

768518

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPISAL SİSTEMLERİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE  
TABAN İZOLASYONU YÖNTEMİNİN UYGULANMASI**

**İnşaat Mühendisi Kürşad MENEKŞE**

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

*Y. Doç. Dr. Nilgün Aktaş*  
*N. Aktaş*

*Doç. Dr. Engin Orakcıoğlu*

*E. Orakcıoğlu*

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sema NOYAN ALACALI**

*Yrd. Doç. Dr. Sema Noyan ALACALI*  
*S. Noyan*

**İSTANBUL , 2005**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTIMA LİSTESİ .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖNSÖZ .....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 GİRİŞ .....	xiii
1.1 Sismik Tasarım Prensipleri .....	1
1.2 Hareket Kontrol Sistemleri .....	4
2 SİSMİK İZOLASYON .....	6
2.1 Sismik İzolasyonun Avantajları .....	8
2.2 Taban İzolasyon Tarihi .....	9
2.3 Sismik İzolasyon Teknikleri .....	9
2.3.1 Elastomerik Taban İzolasyon Sistemleri .....	10
2.3.1.1 Doğal Kauçuk Mesnetler .....	10
2.3.1.2 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Mesnetler (LDRB) .....	10
2.3.1.3 Kurşun Saplmalı Doğal Kauçuk Mesnetler (LRB) .....	11
2.3.1.4 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler (HDNR).....	14
2.3.2 Kayma Üzerine Kurulu izolasyon Sistemleri .....	14
2.3.2.1 Çelik Plakalarla Sentetik Yastıklar .....	14
2.3.2.2 Sürtülmeli Sarkaç Sistemi (FPS).....	15
2.3.2.3 Esnek Sürtülmeli Taban İzolasyon Sistemi (R-FBI) .....	17
2.3.3 Serbest Platformlar.....	18
2.3.4 Helezoni Yaylar ve Viskosönümleyiciler .....	19
2.4 Daha Önce Yapılan Çalışmalar .....	19
2.4.1 Elastomerik Taban İzolasyon Sistemleri .....	19
2.4.2 Sürtülmeli Sarkaç ve Diğer Sistemler .....	21
2.5 Güçlendirme Uygulamaları.....	24
2.6 Ülkemizde Sismik İzolasyon Uygulamaları .....	26
3 ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ AYGITLAR .....	28
3.1 Pasif Enerji Sönümleyici Sistemler .....	28
3.2 Histeretik Sistemler.....	30
3.2.1 Metalik Söndürücüler.....	31
3.2.2 Sürtülmeli Söndürücüler .....	32
3.3 Viskoelastik Sistem Tipleri.....	35
3.3.1 Viskoelastik Katı Söndürücüler .....	35
3.3.2 Viskoelastik Sıvı Söndürücüler.....	36
3.3.2.1 Sıvıların Deformasyonu .....	36
3.3.2.2 Sıvıların Akması .....	37
3.3.2.3 Sıcaklık Etkisi .....	38
3.4 Merkezileşen Sistemler .....	38

3.4.1	Basınçlı Sıvı Söndürücüler .....	38
3.4.2	Önyüklemeli Yay-Sürtünme Söndürücüleri .....	39
3.4.3	Faz Dönüşümlü Söndürücüler.....	39
3.5	Dinamik Titreşim Sönümleyicileri .....	39
3.5.1	Ayarlı Kütle Söndürücüler .....	39
3.5.2	Ayarlı Sıvı Söndürücüler .....	40
3.6	Sürtünmeli Söndürücülerin Uygulamaları .....	41
3.7	Viskoelastik Söndürücülerin Uygulamaları .....	45
3.7.1	Kullanım Yerleri .....	45
3.7.2	Viskoelastik Söndürücülerin Kapasiteleri.....	46
3.7.3	Dünya Üzerindeki Uygulamalar .....	46
4	BİLGİSAYAR ANALİZLERİ.....	48
4.1	Giriş.....	48
4.2	İç Deformasyonlar .....	50
4.3	Nlprop Özellikleri .....	50
4.3.1	Doğrusal Olmayan Dahili Yaylar .....	51
4.3.2	Yay Kuvvet-Şekil Değiştirme İlişkileri .....	51
4.3.3	Eleman İç Kuvvetleri .....	52
4.3.4	Doğrusal Kuvvet-Şekil Değiştirme İlişkileri .....	53
4.3.5	Doğrusal Etkin Rijitlik.....	53
4.3.6	Doğrusal Etkin Sönüm.....	53
4.3.7	Doğrusal Olmayan Özellikler .....	54
4.3.8	Damper Property .....	54
4.3.9	Isolator Property.....	55
5	SİSMİK İZOLASYON İÇİN ANALİTİK HESAPLAMALAR .....	58
5.1	Giriş.....	58
5.2	Tasarım Yöntemleri .....	58
5.3	Teknik Terimlerin Tanımlanması .....	58
5.4	Ön Tasarım.....	59
5.5	Hedef Periyot ve Malzeme Özellikleri .....	60
5.6	Minimum Yatay Rijitliklerin Hesaplanması .....	61
5.7	Minimum Yer Değiştirmelerin Hesaplanması .....	61
5.8	Disk Çapının Belirlenmesi .....	62
5.9	İzolasyonlu Yapı Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması.....	62
5.10	Toplam Yer Değiştirmenin Hesaplanması .....	63
5.11	Düşey Titreşim Periyodunun Bulunması .....	64
5.12	Kayma Şekil Değiştirmesi ve Düşey Yükün Hesaplanması .....	65
5.12.1	Kayma Şekil Değiştirmesinin Hesaplanması.....	65
5.12.2	Ortak Alan Hesabı.....	65
5.12.3	Maksimum Düşey Yükün Hesaplanması .....	66
5.12.4	Burkulma Riski Hesabı .....	66
5.13	Kurşun Çekirdeğin Boyutlandırılması .....	66
5.13.1	Kurşun Çekirdek Çapı.....	66
5.13.2	Akma Anındaki Kesme Kuvveti.....	67
5.13.3	Çapın Kesme Kontrolü .....	67

6	UYGULAMA .....	69
6.1	Giriş.....	69
6.2	Ön Tasarım.....	74
6.3	Hedef Periyot ve Malzeme Özellikleri .....	75
6.4	Minimum Yatay Rijitlikler .....	75
6.5	Minimum Yer Değiştirmeler.....	75
6.6	Disk Çapının Belirlenmesi.....	76
6.7	İzolasyonlu Yapı Taban Kesme Kuvveti .....	76
6.8	Düşey Titreşim Periyodunun Bulunması .....	77
6.9	Kayma Şekil Değiştirmesi ve Düşey Yükün Hesabı .....	78
6.9.1	Kayma Şekil Değiştirmesi Hesabı .....	78
6.9.2	Ortak Alan Hesabı.....	78
6.10	Burkulma Riski Hesabı .....	78
6.11	Kurşun Çekirdeğın Boyutlandırılması .....	79
6.12	Sonuçların İrdelenmesi .....	79
7	SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	82
	KAYNAKLAR .....	83
	EKLER .....	85
Ek1	SAP2000n Yapısal Analiz Programı ile Modellenmiş Yapılara İlişkin Sonuçlar .....	85
	ÖZGEÇMİŞ .....	138

## SİMGE LİSTESİ

$A$	İzolatör kesit alanı
$A'$	İzolatör ortak alanı
$A_{kurşun}$	Kurşun çekirdek kesit alanı
$B$	Sönüm azaltma katsayısı
$c$	Viskoz sönüm katsayısı
$c_e$	Doğrusal etkin sönüm katsayısı
$C_{VD}, C_{AD}$	Tasarım depremi sismik katsayıları
$C_{VM}, C_{AM}$	Tasarlanan maksimum deprem sismik katsayıları
$D$	Kauçuk mesnet disk çapı
$d_{j2}$	Kesme yayında j noktasına olan mesafe
$d_D$	Tasarım yer değiştirme
$d_M$	Maksimum yer değiştirme
$d_l$	Kurşun çekirdek çapı
$E$	Deprem davranışından kaynaklanan toplam enerji
$E_K$	Toplam kinetik enerji
$E_S$	Çevrilebilir elastik gerilme enerjisi
$E_P$	Plastik davranışla dağıtılan enerji
$E_D$	Sönüm aygıtları tarafından sönmömlenen enerji
$E_c$	Düşey yük altında kauçuk basınç elastisite modülü
$E_{eff,v}$	Etkin düşey elastisite modülü
$F_t$	Sürtünme kuvveti
$F_n$	Normal kuvvet
$f_{u1}, f_{u2}, f_{u3}$	Yay kuvvetleri
$f_{r1}, f_{r2}, f_{r3}$	Yay momentleri
$G$	Kayma modülü
$g$	Yer çekimi ivmesi
$I$	Bina önem katsayısı
$K$	Rijitlik
$k_{u1}, k_{u2}, k_{u3}$	Çevrimsel rijitlik katsayıları
$k_{r1}, k_{r2}, k_{r3}$	Döngüsel rijitlik katsayıları
$k_2$	Plastik rijitlik
$k_{eff}$	Etkin rijitlik
$k_v$	İzolatör düşey rijitliği
$k_h$	İzolatör yatay rijitliği
$k_2, k_3$	Elastik yay katsayıları
$M_M$	Tasarlanan maksimum deprem davranış katsayısı
$N_a, N_v$	Kaynak yakınlık faktörleri
$P_{cr}$	Düşey burkulma yükü
$Q_y$	Kurşun çekirdek akma kuvveti
$R_i$	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$S$	Şekil faktörü
$T_D$	Yapı tasarım periyodu
$T_M$	Yapı maksimum periyodu
$T_v$	Yapı düşey periyodu
$T_h$	Yapı yatay periyodu
$t_o$	Kauçuk katman kalınlığı
$V_{ankastre}$	Ankastre mesnetli yapı taban kesme kuvveti
$V_S$	Minimum taban kesme kuvveti
$V_D$	Tasarım taban kesme kuvveti
$W$	Bina toplam ağırlığı

$Z$	Deprem bölge katsayısı
$z_2, z_3$	Histeretik iç değişkenler
$\beta_{eff}$	Etkin kritik sönüm derecesi
$\Delta t$	Düşey yer değiştirme
$\gamma$	Kayma şekil değiştirmesi
$\gamma_v$	Düşey yüke bağlı kayma şekil değiştirmesi
$\gamma_s$	Yatay yüke bağlı kayma şekil değiştirmesi
$\gamma_{max}$	Maksimum kayma şekil değiştirmesi
$\tau_y$	Akma gerilmesi
$\mu$	Sürtünme katsayısı
$\omega$	Doğal frekans



## **KISALTMA LİSTESİ**

<b>ATC</b>	<b>Applied Technology Council</b>
<b>FEMA</b>	<b>Federal Emergency Management</b>
<b>NEHRP</b>	<b>National Earthquake Hazards Reduction Program</b>
<b>TDY</b>	<b>Türkiye Deprem Yönetmeliği</b>
<b>UBC</b>	<b>Uniform Building Code</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların şematik gösterimi .....	4
Şekil 2.1 Artan esnekliğin yapı üzerindeki etkisi .....	6
Şekil 2.2 Sismik izolatörlerin yerleşim şekilleri .....	8
Şekil 2.3 Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler .....	11
Şekil 2.4 Kurşun saplamalı doğal kauçuk mesnet .....	12
Şekil 2.5 Kurşun saplamalı izolatör bileşenleri .....	12
Şekil 2.6 Kauçuk izolatörün kolon altına yerleşim detayı .....	13
Şekil 2.7 Sürtünmeli sarkaç modelinin basit sarkaç modeline uyarlanması .....	16
Şekil 2.8 Sürtünmeli sarkaç izolatör kesiti .....	17
Şekil 2.9 Esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi .....	18
Şekil 2.10 Yükleme altındaki bir kauçuk izolatör görünümü .....	20
Şekil 2.11 Kurşun saplamalı silindirik kauçuk izolatör .....	21
Şekil 2.12 Sürtünmeli sarkaç sistemi .....	22
Şekil 2.13 Birleşik Devletler Yargıtay binası .....	23
Şekil 2.14 Sürtünmeli sarkaç izolatör uygulaması .....	23
Şekil 2.15 Abovenet İletişim binası .....	25
Şekil 2.16 Abovenet İletişim binasında kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörü .....	25
Şekil 2.17 Atatürk Havalimanı .....	27
Şekil 2.18 Atatürk Havalimanı'nda kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörü .....	27
Şekil 3.1 Söndürücü tiplerine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkileri .....	29
Şekil 3.2 Söndürücü tiplerine ait ivme-yer değiştirme ilişkileri .....	29
Şekil 3.3 Söndürücülerin kullanım yerleri .....	30
Şekil 3.4 Metalik söndürücü ve yerleşim detayı .....	31
Şekil 3.5 Pall sürtünme söndürücüsü ve tipik yerleşim detayı .....	34
Şekil 3.6 Tipik bir viskoelastik katı söndürücü .....	35
Şekil 3.7 Viskoelastik sıvı söndürücü kesiti .....	36
Şekil 3.8 Viskoelastik sıvı söndürücü .....	37
Şekil 3.9 Ayarlı kütle söndürücü modelleri .....	40
Şekil 3.10 Sürtünmeli söndürücü uygulamaları .....	42
Şekil 3.11 Sürtünmeli söndürücülerin çelik payandalarla kullanımı .....	43
Şekil 3.12 Viskoelastik söndürücü uygulamaları .....	44
Şekil 3.13 Viskoelastik söndürücülerin kullanım yerleri .....	45
Şekil 3.14 Viskoelastik sıvı söndürücü .....	46
Şekil 3.15 Hayward Belediye binası .....	47
Şekil 3.16 Viskoelastik söndürücülerin çatı seviyesinde kullanımı .....	47
Şekil 4.1 İki eksenli nlink eleman deformasyonlar .....	50
Şekil 4.2 (1-2) düzlemine ait deformasyonların idealizasyonu .....	51
Şekil 4.3 Nlink elemanı kuvvet ve momentleri .....	52
Şekil 4.4 Damper, Gap, Hook Property elemanlarının eksenel deformasyon idealizasyonu .....	55
Şekil 4.5 Isolator Property elemanının iki eksenli kayma davranışı idealizasyonu .....	56
Şekil 5.1 Burulmaya bağlı dış merkezlik .....	63
Şekil 5.2 Kayma yer değiştirmesi $d_D$ ve ortak alan $A'$ .....	66
Şekil 5.3 Kurşun saplamalı kauçuk mesnedin kuvvet-yer değiştirme ilişkisi .....	68
Şekil 6.1 Örnek çerçeve yapı modeli .....	69
Şekil 6.2 Ankastre mesnetli sistem modeli .....	71
Şekil 6.3 Sismik izolasyonlu sistem modeli .....	72
Şekil 6.4 Viskoelastik söndürücü takviyeli ankastre sistem modeli .....	73
Şekil 6.5 Viskoelastik söndürücü takviyeli izolasyonlu sistem modeli .....	74
Şekil 6.6 Ankastre mesnetli sistem .....	80
Şekil 6.7 Sismik izolasyonlu sistem .....	80

Şekil 6.8 Viskoelastik söndürücü takviyeli ankastre sistem .....	81
Şekil 6.9 Viskoelastik söndürücü takviyeli izolasyonlu sistem.....	81



## **ÇİZELGE LİSTESİ**

Çizelge 5.1 Ankastre mesnetli yapı ve izolasyonlu yapı UBC 97 süneklığe bağı azaltma faktörleri.....	60
Çizelge 5.2 Sönüm katsayıları, B.....	61



## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında benden yardımlarını esirgemeyen çok kıymetli hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Sema Noyan Alacalı ve Öğretim Görevlisi Dr. Bilge Doran'a şükran ve saygılarımı sunarım. Ayrıca öğrenimim boyunca benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.



## ÖZET

Sismik izolasyon, yapının deprem dayanım kapasitesini artırmayı amaçlayan bir deprem dayanıklılık tasarımıdır. Sismik izolasyonun, geleneksel deprem tasarımından farkı, yapıya zeminden veya temelden transfer olan enerjinin kontrolüdür. Bu genelde üstyapı ile temel arasına yapının esas periyodunu büyülterek deprem hakim periyodundan uzaklaştıracak bir elastik katman koyarak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, yapılarda deprem sarsıntılarını kontrol altına alabilmek amacıyla kullanılan çeşitli pasif kontrol elemanları tanıtılmış ve bunlar hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Genel olarak bu çalışmada kauçuk izolatörler, otomatik merkezleşen sismik izolatörler, viskoelastik söndürücüler ve histeretik sistemler incelenmiştir. Bu sistemlerin uygulamaları, avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur.

Çalışmada örnek olarak, üç katlı bir bina çerçevesi seçilmiş ve bu çerçeve üzerinde sismik izolatörler ve enerji sönmüleyici aygıtlar kullanılarak deprem davranış analizlerinin sonuçları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca, taban izolasyonu alanında yürürlükte olan herhangi bir yönetmeliğin bulunmaması sebebiyle Amerika Birleşik Devletleri'nde yürürlükte olan 1997 UBC yönetmeliği kullanılmıştır.

Bu analizler sonucunda, sismik izolatörlerin ve enerji sönmüleyici aygıtların avantajları, kat yer değiştirmeleri, kolon eğilme momentleri ve bina doğal periyotları gibi birçok davranış parametresi karşılaştırılarak irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Sismik İzolasyon, Viskoelastik Söndürücüler, Sönüm Gereçleri, Taban İzolasyonu, Deprem Davranışı

## **ABSTRACT**

The seismic isolation is an earthquake-resistant design approach that is based on the concept of reducing the seismic demand rather than increasing the earthquake resistance capacity of the structure. The seismic isolation differs from conventional seismic design approaches by control of the energy that is transmitted from the ground or foundation to the structure. This is generally achieved by introducing a flexible layer between the superstructure and the foundation in order to lengthen the fundamental period of the structure away from the predominant period of the earthquake.

Passive energy dissipation systems are described for the control of structures against earthquake vibrations. In this study, rubber isolators, viskoelastic dampers, re-centering devices and hysteretic systems are generally discussed. Also this study is focused on their applications, advantages and disadvantages.

In the presented example, a typical three-story plane frame is selected. Seismic isolators and energy dissipation systems are introduced to the model frame and the results are compared. The seismic isolation provisions of the Uniform Building Code of USA (UBC-1997) have been utilized in the design examples.

The storey drifts, bending moments and structural periods have been determined for a variety of conditions to illustrate the advantages of seismic isolators and energy absorbing devices.

**Keywords :** Seismic Isolation, Viscoelastic Dampers, Damping Devices, Base Isolation, Earthquake Response

## 1.GİRİŞ

### 1.1 Sismik Tasarım Prensipleri

Dünya nüfusunun büyük bir bölümü, deprem riski yüksek olan bölgelerde yaşamaktadır. Depremler her yıl önemli oranda can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Deprem Mühendisliği'nin amacı; mühendislik yapılarını, karayolu ve demiryolu güzergahlarındaki köprü ve viyadük gibi önemli büyük sanat yapılarını depreme dayanıklı olarak projelendirmektir. Bu amaca ulaşmanın tek başına yeterli olamayacağı; dünyada ve yurdumuzda son yıllarda yaşanan şiddetli depremlerin meydana getirdiği can kayıpları, ulaşımın aksaması ve çoğu yerlerde tamamen engellenmesi, yapılarda kalıcı hasarlarla meydana gelen önemli işgücü ve üretimdeki gecikmelerin neden olduğu ekonomik kayıplar ile daha iyi anlaşılmıştır.

Deprem Mühendisliği'nde ve yürürlükteki şartnamelerde amaçlanan, öncelikle deprem etkisine maruz kalabilecek yapılardaki ve çevresindeki canlıların hayatlarını kurtarmak ve en az ekonomik zarar ve hasar ile depremi karşılamaktır. İleri Deprem Mühendisliği'nde son yıllarda meydana gelen gelişmeler, bilgisayar sistemleri ve programları ile hesap metodlarındaki ilerlemeler, buna paralel olarak malzeme ve imalat teknolojilerindeki yenilikler ve deprem etkilerinin deneyimlerle daha iyi anlaşılması sayesinde; deprem dinamik yüklerinin mühendislik yapılarına, köprü ve viyadüklere verebileceği zararların önlenmesi, can ve mal kayıplarının en aza indirilebilmesi amacıyla yapılan denemelerde pek çok sismik tasarım prensibi geliştirilmiştir.

Geleneksel deprem tasarımında, yapının deprem esnasında kabul edilebilir performansı, deprem enerjisinin çok sayıda çevrimle sönmülmesini ve dağılmasını sağlayacak yanal kuvvet dayanım sistemi üzerine kurulmuştur. Enerji dağılımı bazı özel bölgelerde gerçekleşir. Bu bölgeler, girişlerdeki plastik mafsallı bölgeleri ve kolon tabanlarıdır. Plastik mafsallar, taşıyıcı sistemde çoğunlukla tamiri olanaksız hasarların oluştuğu bölgelerdir. Buna rağmen, sağladığı ekonomik yararlar ve yapısal çökmeyi önleyerek can güvenliğini sağlamasından dolayı kabul edilebilir bir tasarım yaklaşımıdır.

Söz konusu yapı tasarımının getirdiği bazı sonuçlar vardır. Orta şiddetli depremlerde yapıda önemli boyutta mimari hasarlar oluşabilir. Duvarlarda mimari çatlaklar, tesisat elemanlarında,

bina içindeki eşya ve donanımlarda büyük hasarlar oluşabilir. Yapı bir süre kullanılamayabilir, yapının onarımı büyük bedeller alabilir. Özellikle deprem anında ve sonrasında, öncelikle sağlam kalması zorunlu olan itfaiye merkezleri, hastaneler, sağlık binaları, kontrol ve bilgi işlem tesisleri, yönetim merkezleri, okullar, acil ihtiyaç duyulacak malların üretimini sağlayan fabrikalar, telekomünikasyon yapıları, depolama tankları gibi hayati önemi olan merkezler arasında ulaşımın devamlılığını sağlayacak köprü ve viyadüklerde bu göze alınamaz bir risktir. Bu gibi durumlarda yapının yeterli dayanıma sahip olacak şekilde ve elastik olmayan hareketi önleyecek ya da minimize edecek şekilde tasarlanması gerekir. Bununla birlikte bu tip yapılarda, binanın kullanılabilirliğinin devamı için gerekli olan bazı özel önlemler alınmalıdır.

Aynı zamanda, çok sayıda mevcut yapının yanal dayanımı yeterli değildir. Bu yapıların depreme karşı güçlendirilmesi geleneksel tasarımla yapılabilir, ancak bu durum istenmeyen mimari değişikliklere ve yüksek maliyetlere sebep olacaktır. Önemli mimari özelliklere sahip olan tarihi yapıların güçlendirilmesi ise özel bir durum gerektirir.

Yapılarda deprem koruyucu sistemlerin birleştirildiği pek çok alternatif tasarım geliştirilmiştir. Bu sistemler, sismik izolasyon sistemlerinden veya tamamlayıcı enerji dağıtıcı aygıtlardan oluşmaktadır. Sistemlerin davranışını ve etkilerini görmek için yapıdaki enerji dağılımı hususuna dikkat etmek gerekir. Var olan enerji, ısı yoluyla sönmülmesi veya dağılması mümkün olan kinetik ve potansiyel enerjiye dönüştürülür. Eğer sönmüm yoksa, her zaman titreşim oluşacaktır. Ancak, her zaman sistemdeki enerjiye karşı koyan ve titreşim genliğini azaltan doğal bir sönmüm derecesi vardır. Yapısal performans, yapının doğal sönmümünün yanı sıra tamamlayıcı aygıtlarla var olan enerjinin bir kısmı absorbe edilerek artırılabilir. Bu durumu ifade eden enerji ilişkisi ( Constantinou ve Dargush 1998 ) aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$E = E_K + E_S + E_P + E_D \quad (1.1)$$

Burada, E: deprem davranışından kaynaklanan toplam enerji,  $E_K$ : toplam kinetik enerji,  $E_S$ : çevrilebilir elastik gerilme enerjisi,  $E_P$ : yapısal sistem tarafından plastik davranışla dağıtılan enerji ve  $E_D$ : tamamlayıcı sönmüm aygıtları tarafından sönmümlenen enerjidir. Toplam enerji E, zemin hareketi üzerinde taban kesme kuvvetinin yaptığı işi ifade etmektedir. Bu, özetle yapının atalet kuvvetlerinin etkisini içermektedir.

Geleneksel tasarımda, kabul edilebilir yapısal performans, elastik olmayan deformasyonların oluşmasıyla sağlanmaktadır. Bu,  $E_p$  enerjisinin artmasının doğrudan etkisidir. Bunun aynı zamanda dolaylı etkisi de vardır. Elastik olmayan deformasyonların oluşması sonucu toplam enerjide azalma görülür ve bu etkide artan esneklik, deprem enerjisinin bir kısmını yansıtan bir filtre gibi davranır. En önemli sonucu ise, ivmelerin ve plastik mafsalların dışındaki bölgelerde gerilmelerin azalmasıdır (Aiken, Nims, Richter, 1993).

Sismik izolasyon tekniği, yapı temelinde kurulacak olan taban izolasyon bileşenleri ile uygulanmaktadır. Bu sistem, esneklik ve enerji yutma kapasitesi ile tanımlanabilir. Deprem enerjisinin büyük bir kısmı, esneklik sayesinde periyodun 2 s ve üzerinde tutulması yoluyla yansıtılabilir. İzolasyon sisteminde enerji dağılımı, yer değiştirmelerin sınırlandırılmasında ve rezonansın önlenmesinde yararlıdır. Şekil 1.1'de yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların şematik olarak sismik tepkisi görülmektedir.

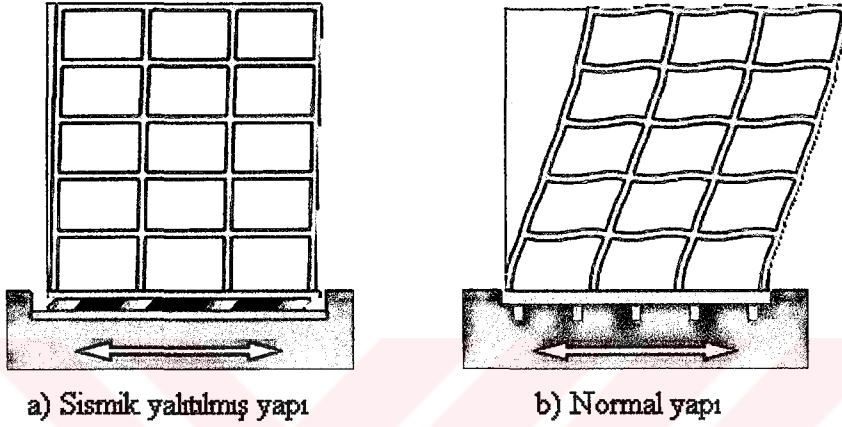
Modern sismik izolasyon sistemleri enerji dağılım mekanizmalarını birleştirmiştir. Örnek olarak, yüksek sönümlü elastomerik mesnetler, kurşun çekirdekli elastomerik mesnetler, yumuşak çelik söndürücüler, viskoz söndürücüler ve sürtünmeli sarkaçlar gösterilebilir.

Deprem tepki performansını ve hasar kontrolünü geliştirmede kullanılan bir diğer yaklaşım ise tamamlayıcı enerji dağıtıcı sistemlerdir. Bu sistemlerde, mekanik aygıtlar yapı yüksekliği boyunca enerji dağılımı sağlamaktadır. Enerji dağılımı yumuşak çeliğin akması, sürtünmeli plakalardaki kayma hareketi, viskoz bir sıvı içerisindeki bir piston veya levha hareketi yada polimerik malzemelerdeki viskoelastik davranış ile sağlanır.

Yapının her katında enerji dağılım kapasitesinin artmasının yanı sıra bazı enerji dağıtıcı sistemler aynı zamanda dayanım ve rijitliği de artırır. Bu sistemler metalik söndürücüler, sürtünmeli plakalar ve viskoelastik söndürücülerden oluşmaktadırlar. Enerji dağıtıcı sistemlerinin eklenmesiyle yapının dayanım ve/veya rijitliği artar, kat ötelemelerinde bir azalma ve bununla birlikte enerji dağılımına bağlı olarak hasarda azalmaya neden olur. Ötelemelerin ve toplam yanal kuvvetin azalması, deformasyonların elastik limit altında kalacak şekilde azaltılmasıyla sağlanabilir.

Bir yapının dinamik davranış modeli; yapı ile zemin etkileşimi, basit olarak; yapı kütlelerine etkiyen deprem kuvvetleri ile sabit ve doğru orantılı bir hareketi (yatay deplasmanı) ve elastisiteyi ifade eden sabit katsayılı yay ve zamana bağlı olarak bu hareketin değiştiğini

gösteren ve sürtünmeyi ifade eden sönüm kutusu modellerinin çeşitli şekillerde yerleştirilmeleri ve birlikte kullanılmaları ile kurulabilir. Sismik izolatör uygulamalarında, genellikle yay modelini, çelik levhalarla kuvvetlendirilmiş elastomerik kauçuk malzemeli çeşitli tip ve boyutlarda imal edilen mesnetler; sönüm kutusu modelini ise içinde yüksek viskoz akışkan bulunan piston benzeri ekipmanlar yerine getirir.



Şekil 1.1 Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların şematik gösterimi

## 1.2 Hareket Kontrol Sistemleri

Sismik izolasyon ve enerji dağıtıcı sistemler, deprem etkisini azaltmaya çalıştıklarından dolayı deprem koruyucu sistemler olarak sınıflandırılmaktadırlar. Deprem etkilerini azaltmak amacıyla, sismik güçlendirme, sismik izolasyon veya enerji dağıtıcı sistemler kullanılabilir. Ayrıca enerji dağıtıcı sistemler yapının rüzgar ve diğer tip yüklemeler altındaki dinamik etkilerini de azaltır. Özetle, sismik izolasyon ve enerji dağıtıcı sistemler pasif kontrol elemanları olarak adlandırılabilirler.

Osiloskoplar, dinamik titreşim sönümleyicileri olarak yapıya yerleştirilerek bir titreşim mod frekansına göre ayarlandıklarında, titreşim modları arasındaki kinetik enerji transferi sonucu mod sönümünün artmasını sağlarlar (Den Hartog 1956; International Association for Structural Control, 1994; Soong and Constantinou, 1994). Dinamik titreşim sönümleyicileri, rüzgar uyarımı, bina sakinlerinin hareketi ve makine titreşimlerinin yapı üzerindeki etkilerini azaltmada kullanılır. Tipik olarak bu uygulama, elastik sınır içinde kalan yapılarla sınırlandırılmış ve çok düşük doğal sönüme sahip yüksek modern binalara uygulanmıştır. Bu

yapılarda sönümleyiciler rüzgar etkisini azaltmak için (tipik olarak kritik sönümün %5'inden az olacak şekilde ) gerekli sönüm miktarını artırır.

Dinamik titreşim sönümleyicilerinin etkisi, yapısal sistem elastik olmayan davranışa geçtiğinde büyük ölçüde azalır. Bunun nedeni, elastik olmayan davranış oluştuğunda sönümleyicilerin ayarlanamaması ve sağlanan sönümün yetersiz oluşudur.

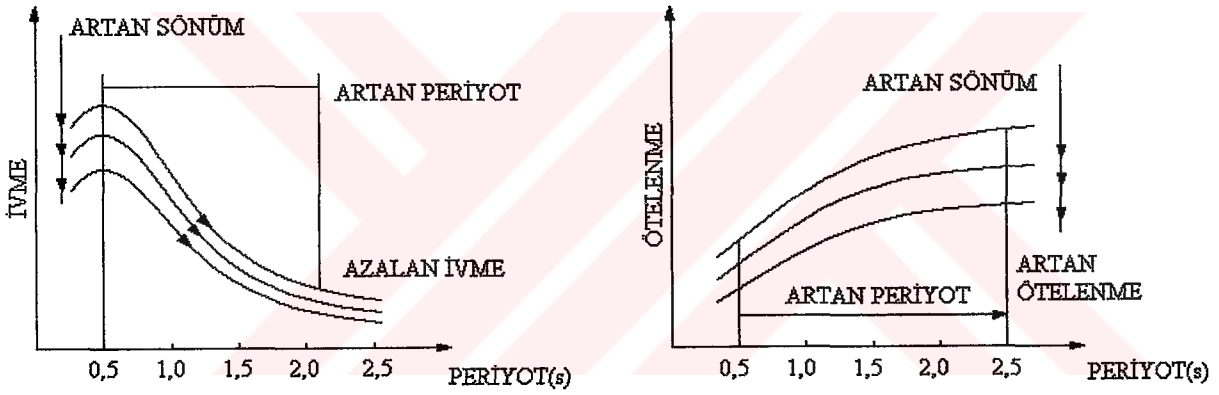
Pasif kontrol sistemleri, sistem bağlantı noktalarında kontrol kuvvetleri geliştirir. Bu kuvvetleri üretmek için gerekli enerji, dinamik uyarım esnasında bağlantı noktalarındaki hareketle sağlanır. Bağlantı noktalarındaki hareket, genliği ve kontrol kuvvetlerinin doğrultusunu saptar.



## 2.SİSMİK İZOLASYON

Sismik izolasyon, yapının deprem dayanım kapasitesini artırmayı amaçlayan bir deprem dayanıklılık tasarımıdır. Bu teknolojiyi en uygun şekilde kullanmak için, yapıların performansını büyük depremler süresince elastik kalacak şekilde sağlamak gerekir.

Bu izolasyon sistemi temel olarak, altyapı ve üstyapı arasına kurulan ve yapının bir dereceye kadar (yaklaşık 100-200 mm) yatay yönde yer değiştirmeler yapmasına müsaade eden yatak parçalarından oluşur. Şekil 2.1 artan esnekliğin yapı üzerindeki etkisini göstermektedir (Whittaker, Constantinou, 2003). Bu aygıtlar, üstyapıya transfer olan enerjiyi azaltan, böylece aynı zamanda altyapıya gelen kuvvetleri de sınırlandıran yatayda birbirinden ayrı bir sistem oluşturur.



Şekil 2.1 Artan esnekliğin yapı üzerindeki etkisi

Geniş kat ötelemeleri yapısal olmayan elemanlara zarar verir. Kat ötelemeleri, yapı takviye edilerek minimize edilebilir ama bu iç donanıma zarar verecek yüksek kat ivmelenmelerine sebep olan zemin davranışının artmasına yol açabilir. Kat ivmeleri, sistemi daha esnek yaparak azaltılabilir ama bu geniş kat ötelemelerinin oluşmasına sebep olur. Kat ötelemelerini ve kat ivmelerini aynı zamanda azaltmanın tek pratik yolu taban izolasyonu kullanmaktır. Taban izolasyon sistemi, izolasyon seviyesine bağlı olarak yer değiştirmelerle gerekli esnekliği sağlar.

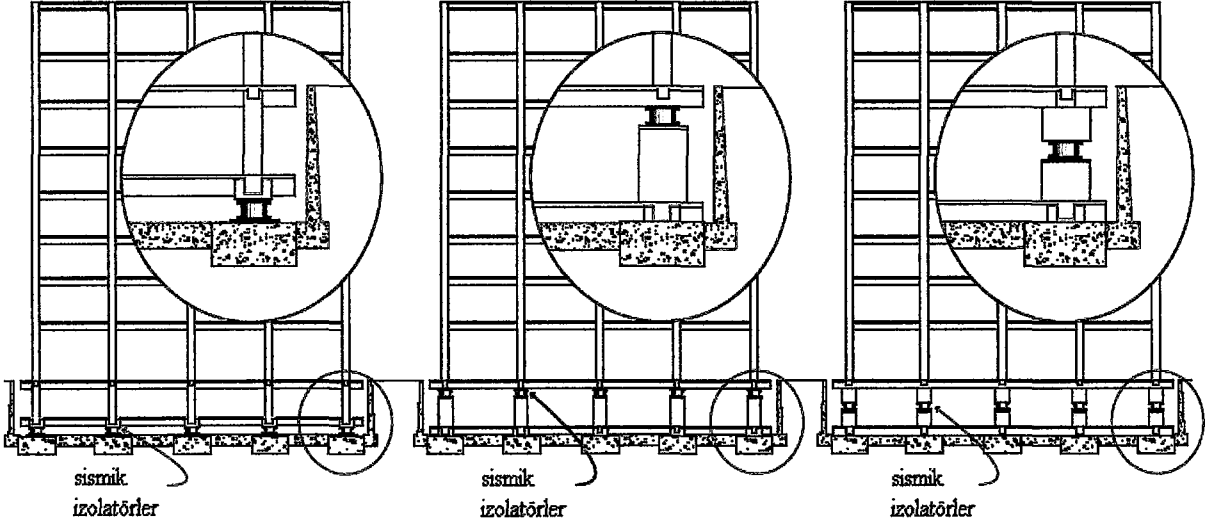
Gerçekte ‘yumuşak kat’ sendromu, taban izolasyonunun temelinde yatan düşünceyi oluşturur. Bütün deprem enerjisi taban izolatörleri kullanılarak dağıtılır, sonuç olarak üst katlar zarar görmez.

Bu sistem, yapı ve temel arasına düşük yatay rijitlikli yapısal elemanlar koyarak, yapıyı zemin etkisinin yatay bileşenlerinden ayırır. Bu, yapıya zemin hakim frekansından ve ankastre temel frekansından daha düşük bir temel frekans verir. 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 düşey deformasyon oluşturmaktadır. Yüksek mod süresince katılım çarpanının değeri düşüktür. Böylece yüksek mod frekanslarında zemin hareketlerinden dolayı oluşan yüksek enerji yapıya geçmez.

Eğer üstyapı rijitse ve yer değiştirmeler izolasyon yataklarında toplanmışsa, sismik izolasyonlu yapıların davranışı tek serbestlik dereceli sistemlere benzer. Tipik elastomerik mesnetlere ait yük-yer değiştirme ilişkisi, doğal sönüm özelliklerine bağlı olarak doğrusal değildir. Bu nedenle, sismik izolasyonlu yapıların davranışını önceden tam olarak haber verebilmek, izolatörlerin doğrusal olmayan özelliklerinin matematiksel modelinin kesinliğine bağlıdır.

Son zamanlarda izolasyonlu binalarda, çok katmanlı kauçuk mesnetlerle birlikte sistemin yük taşıma bileşeni olarak çelik takviyeli katmanlar kullanılmaktadır. Çelik takviyeli plakalar dikey yönde rijit ama yatay yönde çok yumuşak olduklarından, bu sayede izolasyon etkisini gösterirler.

Genelde kullanılan bir diğer izolasyon sistemi de kurşun saplamalı doğal kauçuk mesnetlerdir. Bu mesnetler bir ya da daha fazla dairesel deliği bulunan çok katmanlı elastomerik mesnetlerdir. Kurşun çekirdek, izolasyon sisteminin sönümünü artırmak için bu deliklere yerleştirilir. Şekil 2.2’de sismik izolatörlerin farklı yerleşim şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.2 Sismik izolatörlerin yerleşim şekilleri

### 2.1 Sismik İzolasyonun Avantajları

Deprem izolatörlerinin ilk bakışta yüksek gibi görülen maliyetlerine karşın sağladığı emniyet, can kaybı ve hasarların önlenmesi, ayrıca yapının deprem etkisine maruz kaldığı sürelerde ve sonrasında bütün fonksiyonlarını kesintisiz ve eksiksiz yerine getirmesi, yapının verdiği hizmetler ve üretimde sürekliliğin sağlanması, depremlerden sonra yapıda onarım ve güçlendirme gereksinimini ortadan kaldırması gibi hususlar yanlış bir karar ve pahalı bir yatırım olmadığı gerçeğini ortaya çıkarmıştır.

Sismik izolasyon uygulandığında ortaya çıkan maliyet artışı, yapı maliyetinin %2-4 ü arasında değişmektedir. Bunun yanı sıra, deprem sonrası bir binayı güçlendirmek ve içindeki ekipmanları taşımak (örneğin bir nükleer reaktörün taşınması), sismik izolasyonlu bir yapı inşa etmekten çok daha pahalı olan işlemlerdir.

Geleneksel tasarımda, bütün sismik önlemler alınmasına rağmen, yapısal olmayan elemanlarda büyük hasarların oluşması, çatlaklar ve büyük yer değiştirmeler gibi küçük hasarların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Sismik izolasyon yönteminde, eğilme deformasyonları, görelî kat yer değiştirmeleri, çatlaklar ve plastik deformasyonlar önlenmiştir. Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir. Bu nedenle, büyük bir deprem sonrasında binalar hemen kullanılabilirler.

## 2.2 Taban İzolasyon Kullanımının Tarihçesi

Binaların altına taban izolasyon aygıtları yerleştirme fikri ilk olarak Dr John Milne tarafından ortaya atılmıştır. Dr Milne 1876-1895 yılları arasında Tokyo Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde profesör olarak görev yapmıştır. Dr Milne 25 cm çapında dökme demirden yapılmış küreler üzerine bir yapı inşa ederek yapının hafif bir deprem süresince yeterli performansı verdiğini, bununla birlikte sert rüzgarlar karşısında binanın stabilitesinin yeterli olmadığını gözlemlemiştir. Daha sonraki uygulamalarda kürelerin çapı 2,5 cm'e kadar azaltılmıştır. Bu yolla bina, rüzgar ve deprem yüklerine karşı daha stabil ve güvenli hale getirilmiştir. Taban izolasyon tekniğinin temel tasarımı aslında zemin titreşimlerini yapıdan ayırmaktır. Bu yüzden makaralı yataklar yerine kauçuk yataklar denenmiştir.

Kauçuk izolasyon sistemi ilk olarak 1969 yılında Makedonya'da bir ilköğretim okul binasında kullanılmıştır. Okul, üç katlı betonarme bir bina olup, İsviçreli mühendisler tarafından 'İsviçre Taban İzolasyonu' adıyla bilinen bir sistemle tasarlanıp inşa edilmiştir. Son zamanlarda geliştirilmiş kauçuk yataklardan farklı olarak burada tamamen güçlendirilmemiş doğal kauçuk bloklar kullanılmıştır. Bloklar, deprem yükü belirli başlangıç değeri aştığında kırılacak şekilde davranmışlardır. Bunun nedeni sistemin yatay ve dikey rijitliklerinin hemen hemen aynı olmasıdır. Dolayısı ile bina deprem esnasında ileriye ve geriye doğru sallanıp sarsılmıştır. Bu yataklar, teknolojik olarak kauçuk blokların çelik plakalarla güçlendirilmesinden önce tasarlanmıştır. Bundan dolayı doğal kauçuk blokların tekrar kullanılması pek mümkün değildir (Naeim, Kelly, 1999).

Sismik izolatörler ilk defa, özellikle yeni yapılan, deprem esnasında ve hemen sonra hizmetlerini sürdürmesi zorunlu görülen yapılarda uygulanmaya başlanmıştır. Bu izolatör sistemlerinin deprem esnasında gösterdikleri performansları ile kendilerini kanıtlamış olmaları, zamanla önceden inşa edilmiş önemli ve mevcut (öncelikle hastaneler, kontrol merkezleri, tarihi binalar) yapıların da depreme karşı dayanımlarını arttırmak amacıyla kullanılmalarını sağlamıştır.

## 2.3 Sismik İzolasyon Teknikleri

Bir izolasyon sisteminin öncelikli fonksiyonu, yapıya yatayda yüksek derecede elastikiyet verirken yapıyı desteklemektir. Bir yapının sismik izolasyonunun başarısı izolasyon aygıtlarının ve sistemin yerinde seçilmesine bağlıdır. Özel sismik izolasyon aygıtları

genellikle kauçuk mesnetler, sürtünmeli sarkaçlar ve visko sönümleyicilerle kurulan helezoni yaylardır.

### **2.3.1 Elastomerik Taban İzolasyon Sistemleri**

Elastomerik kauçuk mesnetler; düşey doğrultuda yapının kendi ağırlığını ve hareketli yüklerini, yatay deprem kuvvetleri etkisiyle meydana gelebilecek düşey doğrultuda aşırı basınç (ve çekme) kuvvetlerini taşıyabilecek sert yay, yatay deprem kuvvetleri altında ise yatay hareket yapabilme özelliği ile bu yükleri söndürerek rahatça taşıyabilecek yumuşak yay görevini üstlenirler. Bu tip mesnetlerin düşey yükleri taşıma, aynı zamanda deprem titreşimlerini azaltma ve deprem enerjisini söndürme görevleri vardır. Bu tip deprem izolatörlerinin düşey yükler altında rijit ve yatay yükler altında esnek (elastik) davranabilmeleri gerektiğinden, yapı, düşey yükler altında dayanımı sağlamak için mesnedi kuvvetlendiren çelik levhalar ve yatay deplasmanları gerçekleştirebilmek amacıyla gerekli kayma deformasyon kabiliyetini sağlamak için bazı özel kauçuk malzeme kaliteleri dikkate alınarak projelendirilmelidir.

#### **2.3.1.1 Doğal Kauçuk Mesnetler**

Günümüzde çelik takviyeli plakalar olmadan büyük kauçuk bloklardan oluşan mesnetler yapı ağırlığı altında %25 oranında sıkışacak şekilde kullanılırlar. Bu tip mesnetler nispeten sönümsüz olup düşey rijitliğe ve az miktarda yatay rijitliğe sahip olmaları nedeniyle, yatay elastikiyeti ve merkezi kuvvetlere karşı dayanımı sağlarlar.

Bu tür izolasyon sistemlerinde, yatay hareket sarsıntı hareketine bağlı olduğu için, yalnızca yatay yer hareketinden dolayı düşey ivmeler oluşur.

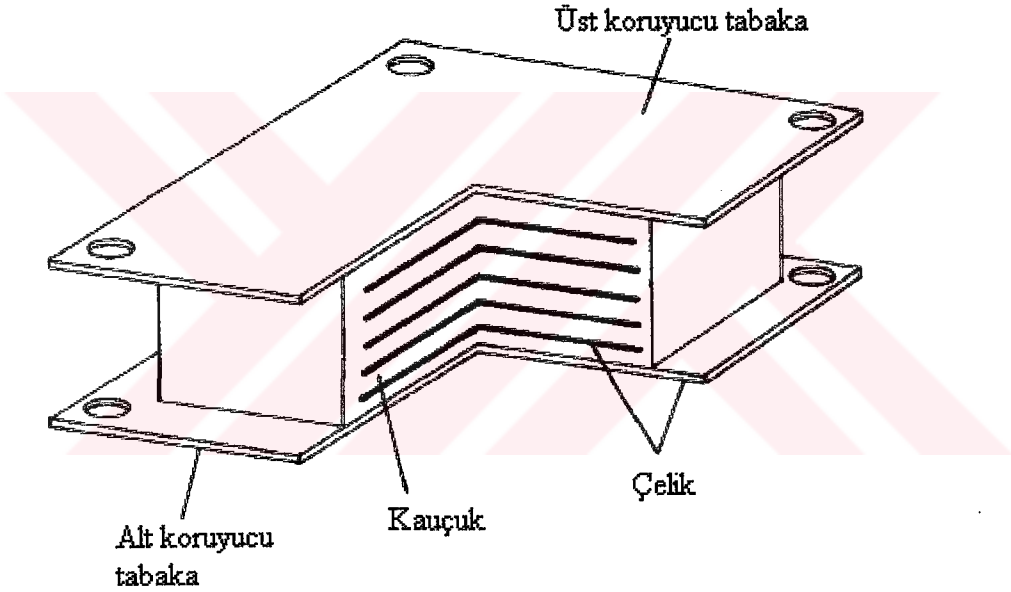
Bu mesnetler, oluşabilecek büyük yatay yer değiştirmelere karşı az bir dayanım sağlarken düşey yöndeki ağırlıkların taşınmasına destek olması amacıyla tasarlanırlar.

#### **2.3.1.2 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Mesnetler(LDRB)**

İzolatörler, iki kalın çelik tabaka ve pek çok ince çelik sac içermektedir. Kauçuk kükürtle sertleştirilmiş ve bir kalıpta ısı ve basınç altında basit bir işlemle çeliğe bağlanmıştır. Şekil 2.3'de düşük sönümlü doğal kauçuk mesnedin şematik bir görünümü verilmektedir.

Çelik saclar kauçuğun genişlemesini (şişmesini) önleyerek düşey yönde yüksek rijitlik sağladığı halde kesme modülüne bağlı olan yatay yöndeki rijitliğe bir etkisi olmaz. Bununla birlikte, kesme ve burulma etkileri karşısında bu tip mesnetler dayanıksızdırlar.

Bu sistemin avantajları: yapımının basit oluşu, kolay modellenebilmesi ve ısı, nem ve zamana karşı mekanik olarak etkilenmemesidir. Tek dezavantajı genellikle yardımcı bir sönümleyici sisteme gerek duymasıdır. Bu yardımcı sönümleyici sistemler detaylı bağlantılar gerektirir ve metalik söndürücüler kullanıldığında düşük çevrimli yorulmaya karşı dayanıksızdırlar (Tsai, Kelly, 1993).

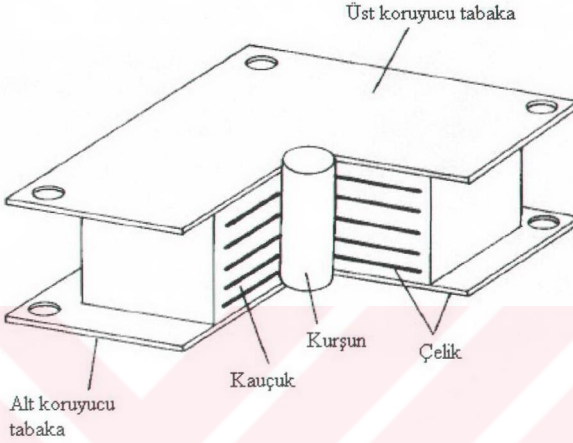


Şekil 2.3 Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet

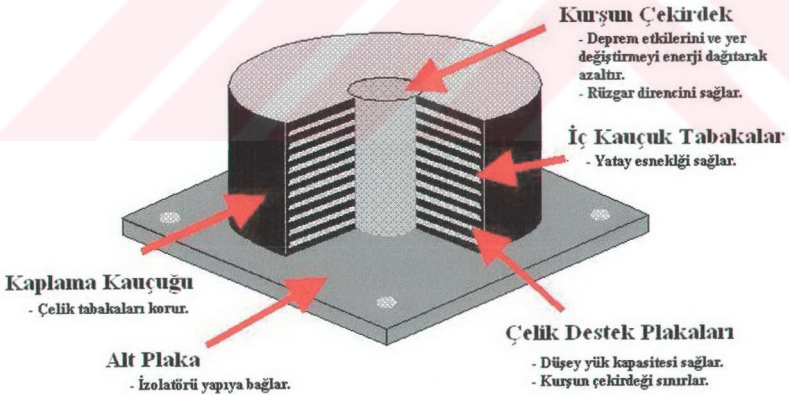
### 2.3.1.3 Kurşun Saplama Doğal Kauçuk Mesnetler(LRB)

Kurşun saplamalı doğal kauçuk mesnetler, düşük sönümlü kauçuk mesnetlere benzer olup bir yada daha fazla kurşun çekirdek içerirler. Mesnetteki çelik plakalar, kurşun çekirdekleri kesme etkisi altında deformasyon yapmaya zorlanırlar. Malzeme olarak kurşunun seçilmesinin nedeni, kesme etkisi altında kurşunun 10MPa ve altındaki gerilmelerde akması ve elasto-plastik bir katı gibi davranması, buna ek olarak, plastik zorlanmalara karşı döngü sırasında iyi yorulma özelliklerine sahip olmasıdır (Kelly, 1972,1977; Skinner, 1975). Şekil 2.4'de kurşun

saplamalı kauçuk mesnedin şematik bir görünümü verilmektedir. Şekil 2.5’de de kurşun saplamalı izolatör bileşenleri görülmektedir.



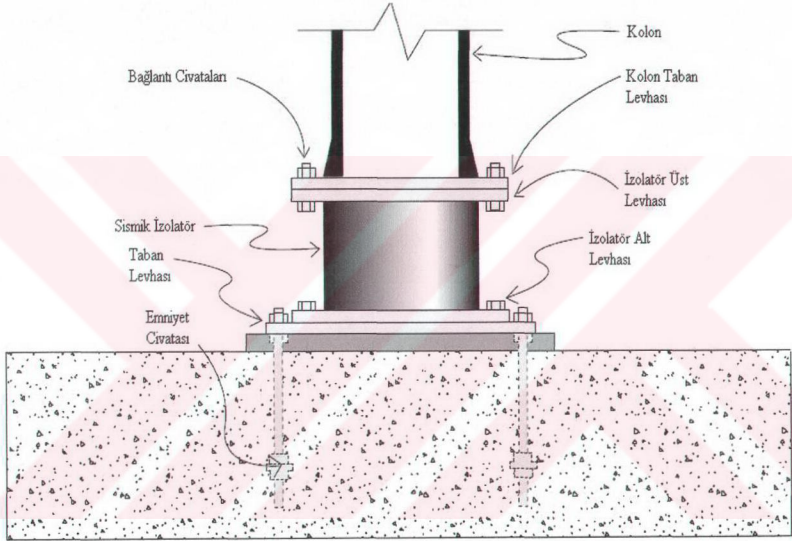
Şekil 2.4 Kurşun saplamalı doğal kauçuk mesnet



Şekil 2.5 Kurşun saplamalı izolatör bileşenleri

Kurşun saplamalı doğal kauçuk mesnetlerde, yatay yönde oluşan kayma deformasyonu %150'ye yakındır. İzolatörün orijinal pozisyonuna dönmesi düşey yüke, içindeki çelik levhalara ve kurşun çekirdeğe bağlıdır.

Hesaplanan yatay ve düşey yer değiştirmeleri karşılayabilecek kapasitedeki kauçuk esaslı sismik izolatör taban plakaları yardımıyla kolon altına yerleştirilir. Şekil 2.6'da kauçuk izolatörün kolon altına yerleşim detayı görülmektedir.



Şekil 2.6 Kauçuk izolatörün kolon altına yerleşim detayı

Kurşun çekirdek, elastomerik mesnete sıkıca oturtulmalıdır. Bu, kurşun çekirdek delikten biraz fazla geniş yapıp içine yerleştirilerek sağlanır. Böylece, elastomerik mesnetler yatayda deforme olduklarında, kurşun birbirine bağlı çelik plakalar tarafından kesme altında bütün hacmi boyunca deforme olmaya zorlanır. Kurşun saplamalı mesnetlerin efektif rijitlik ve efektif sönüm değerleri yer değiştirmeye bağlıdır. Bu yüzden spesifik bir sönüm değeri istendiğinde yer değiştirmeyi saptamak önemlidir.

### 2.3.1.4 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Sistemler (HDNR)

Elastomerik mesnetleri üstyapı ve temel arasında kullanmak için yapının temel frekansı, deprem hakim frekansından daha düşük ayarlanmalıdır. Buna rağmen, pek çok geçmiş örnekte düşük frekanslı zemin hareketlerinde düşük rijitlikli sismik izolasyon sistemlerinin yapının zemin katlarında kabul edilemez büyük yer değiştirmelere sebep olduğu görülmüştür. HDNR kullanımı, yapı lineer sınır dışında çalıştığında yüksek enerji dağıtımını garanti ettiğiinden önemle tavsiye edilmektedir.

Bu sistem, yardımcı sönüm elemanlarına gerek duymayan, yeterli doğal sönüme sahip bir doğal kauçuk sistemdir. Sönüm, yüksek kalitede karbon blok, yağ veya reçine ve diğer tescilli dolgular eklenerek artırılır. İzolatörlerin sertleştirilmesi, birleştirilmesi ve inşasında herhangi bir değişiklik yoktur.

Yüksek sönümlü kauçuk sistemin bir avantajı da çevresel titreşim derecesini azaltmasıdır. İzolatörler, trafik ve yer altı raylı sistemlerin neden olduğu yüksek frekanslı düşey titreşimleri de sönümleyecek şekilde çalışır.

### 2.3.2 Kayma Üzerine Kurulu İzolasyon Sistemleri

Tek başına kayıcı sistemler en eski ve en basit izolasyon sistemidir. 1909 yılında İngiltere’de bir doktor olan Johannes Avetican Calantarients tarafından sadece kayma kullanan bir sistem ortaya atılmıştır. Yapıyı, temelden bir talk katmanı ile ayırmayı öneren Calantarients’in sisteminde, günümüzde sismik izolasyon için gerekli olduğu görülen tüm elemanlar birleştirilmiştir: yapıyı temelden ayıran bir yöntem, büyük yer değiştirmelere dayanan bir yöntem ve rüzgar tutma sistemi gibi (Naeim, 2001).

Kayıcı yataklar için genellikle kullanılan malzeme paslanmaz çelik üzerine PTFE veya teflondur. Sistemin sürtünme karakteristikleri ısıya, zamana ve yüzeyin temizliğine bağlıdır.

#### 2.3.2.1 Çelik Plakalarla Sentetik Yastıklar

Sentetik yastıklar, çelikle güçlendirilmiş elastomerik kauçuk ve biri paslanmaz çelikten, diğeri kurşun bronz alaşımı bir çift sürtünme plakası içerir. Bu teknik esasen nükleer santrallerde ve köprü desteklerinde kullanılır. Sürtünme plakalarının amacı yatay ivmeyi 0,2g civarında tutmaktır. Sentetik yastıklar özellikle  $\pm 5,0\text{cm}$ ’i geçmeyen çok düşük bir yer değiştirme

kapasitesine sahiptir. Yer değiştirme miktarı bu değeri aşarsa, kayıcı eleman gerekli hareketi sağlar.

Sentetik yastık ve sũrtũnme plakaları zemin hareketinin yatay bileşenine karşı yeterli bir titreşim izolasyonu sağlamasına rağmen çok ciddi bir dezavantaj olan deprem dũřey hareketine karşı pratikte hiçbir titreşim izolasyonu başarılı olmamıştır. Bunun nedeni, nũkleer santral içindeki donanımların dũřey yũndeki sismik tepkisinin çok fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

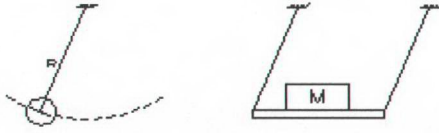
### 2.3.2.2 Sũrtũnmeli Sarkaç Sistemi (FPS)

Sũrtũnmeli sarkaç sistemi, sũrtũnmeli bir izolasyon sistemi olup kayma hareketi ile kuvvet geometrisini birlikte kullanır. Sũrtũnmeli sarkaç izolatũrleri bina doğal periyodunu artırmak için sarkaç karakteristiklerini kullanır, bu sayede bũyũk deprem kuvvetleri önlenmiş olur. Sũrtũnmeli sarkaç izolatũrũ, paslanmaz çelikten yapılmış kũresel bir yũzeyde hareket eden mafsallı bir kayıcıya sahiptir. Mafsallı kayıcının kũresel yũzeeye temas eden bũlũmũ dũřũk sũrtũnmeli kompozit bir malzeme ile kaplıdır. Kayıcının diğer bũlũmũ de kũresel bir boşluk olup dũřũk sũrtũnmeli kompozit bir malzeme ile kaplıdır. Yatak işlemleri, konkav yũzeyin yukarı ya da aşağı durumda olması durumunda aynıdır.

İzolatũr periyodu, konkav yũzeyin eğrilik yarıçapı seçilerek kolayca belirlenebilir. Bu durum, desteklenmiş yapının kũtesinden bağımsızdır. Yapının burulma davranışları en aza indirgenmiştir, ũnkũ yatakların rijitlik merkeziyle desteklenmiş yapının kũtle merkezi otomatik olarak çakışmaktadır. İzolasyon periyodu konkav yũzeyin eğrilik yarıçapı, R seçilerek kontrol edilebilir. Şekil 2.7'de sũrtũnmeli sarkaç izolatũrlerinin temel çalışma prensipleri grũlmektedir.

Sũrtũnmeli sarkaç yataklarıyla desteklenmiş bir rijit yapının doğal titreşim periyodu sarkaç eşitliği ile belirlenmiştir.

$$T=2\pi[R/g]^{1/2} \quad (2.1)$$



a) Basit sarkaç modeli

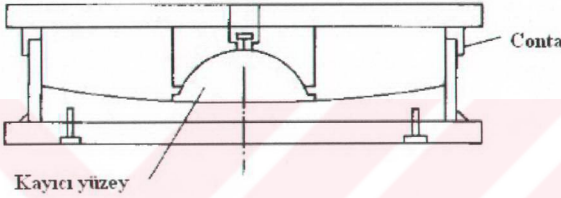
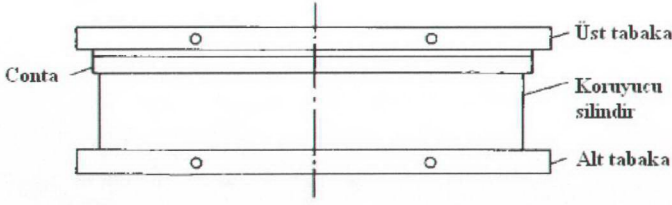


b) Sürtünmeli sarkaç modeli

Şekil 2.7 Sürtünmeli sarkaç modelinin basit sarkaç modeline uyarlanması

Sürtünmeli sarkaç yatakları, geniş ölçüde özellikler sağlayacak esnekliğe sahiptir. Kayma periyodunu 2 s'den 3 s'ye çıkarmak ve sürtünme katsayısını 0,10'dan 0,15'e çıkarmak taban kesme kuvvetini azaltır ve yer değiştirmeyi artırır. Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvet düzeyinin altında olduğunda sürtünmeli sarkaçlarla desteklenmiş yapı, geleneksel tasarımlı bir yapı gibi davranarak izolasyonsuz titreşim periyodunu kullanır. Ancak sürtünme kuvvet düzeyi bir kez aşıldığında yapı izolasyonlu periyodunu kullanır, dinamik davranış ve yatak özellikleriyle kontrol edilen sönümle cevap verir (Naeim and Kelly, 1999)..

Gerçekte sürtünmeli sarkaç yataklarının yapı kütesinden bağımsız olması, yapı davranışının kontrolünde çok önemli bir özelliktir. İstenen periyot, konkav yüzey eğrilik yarıçapı seçilerek kolayca elde edilebilir. Periyot, hafif veya ağır yapılar için ve bina ağırlığının değiştiği durumlarda bile değişmez. Şekil 2.8'de sürtünmeli sarkaç izolatör kesiti görülmektedir (Zayas, 1990).



Şekil 2.8 Sürtünmeli sarkaç izolatör kesiti

### 2.3.2.3 Esnek Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi (R-FBI)

Esnek sürtünmeli taban izolasyon yatakları, basit bir yatakta pek çok kayıcı arayüz kullanarak, yüksek hızlarda paslanmaz çelik üzerine yüksek sürtünme katsayılı teflon kullanma problemini çözmeyi amaçlamaktadır. Böylece, yatak üst ve alt noktaları arasındaki hız pek çok sayıda katmana bölünmüştür. Kayıcı elemanlara ek olarak düşey yük taşımayan ama kuvvet geri dönüşümünü sağlayan bir kauçuk merkezi çekirdek bulunmaktadır. Deneyler sonucunda kauçuk çekirdeğin arayüzler arasındaki yer değiştirmeyi önleyemediği görülmüştür. Bununla birlikte, kauçuk çekirdek içerisine yerleştirilen merkezi çelik bir çubukla kayıcı katmanlar arasındaki yer değiştirme dağılımı sağlanmıştır. Şekil 2.9'da esnek sürtünmeli izolasyon sisteminin şematik bir görünümü verilmektedir (Mostaghel, Khodaverdian, 1987).

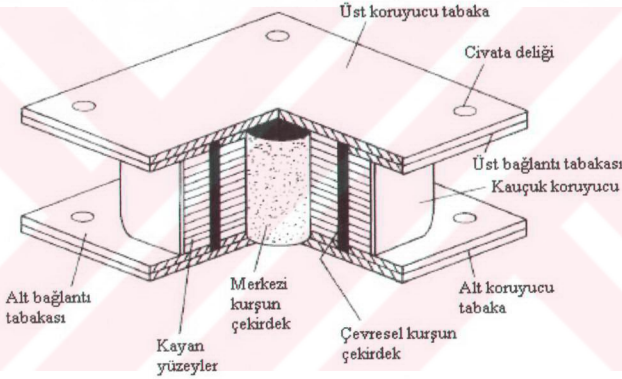
Esnek sürtünmeli sistemlerin önemli avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Esnek sürtünmeli yalıtım sistemlerinde, rijitlik merkeziyle kütle merkezi ayırma seviyesinde çakıştığı için simetrik olmayan yapılar için de uygundur.

2. Sistemdeki sürtünme, düşük genlikli yer hareketinden veya rüzgar hareketinden doğan, tabanın yanıl hareketinin önlenmesini sağlar.

3. Bu sistemdeki elastik elemanlar, sadece yer hareketinden doğan yanıl yüklerle maruz kalırlar. Ağırlık yükleri ise genellikle daha rijit olan kayıcı bölümlerle taşınır. Bu da sünme ve ağırlık etkileri altındaki sünme ile ilgili problemleri azaltır ve sistemin yer değıştirme kapasitesini, stabilitesini artırır.

4. Çok sayıda deney, bu ayırıcıların, çok kararlı histeretik çevrimlerle etkili yutucu olduklarını göstermiştir ( Constantinou, Tsolepas ve Nagarajaiah, 1997 ).



Şekil 2.9 Esnek sürtülmeli taban izolasyonu sistemi

### 2.3.3 Serbest Platformlar

Bu teknikte yapı, kesme yüklerini yapıya aktarmayan su üzerinde serbest hareket eden bir platformla desteklenmektedir. Bununla birlikte deprem etkileri de önemli derecede azalmaktadır. Yine de, bu tasarım sadece nükleer buhar jeneratörlerini, birleşik dağıtma elemanlarını ve güvenlik sistemlerini içermektedir. Bütün diğer yapılar çevresel dalgakıran platformlar üzerine inşa edilir.

Serbest bir platform için, yatay yöndeki sismik izolasyon tamamen sağlanmaktadır. Bununla birlikte, sığ sular için düşey ivmeler güçlü sarsıntılara sebep olmaktadır. Dalgakıranlar, fırtına, tsunami, deprem gibi çevresel afet etkilerine dayanabilecek şekilde inşa edilmelidir.

### 2.3.4 Helezoni Yaylar ve Viskosönümleyiciler

Helezoni yaylar ve viskosönümleyiciler her üç boyutta da dayanım ve sönüm sağlarlar. Gerçek helezoni yaylar, yapı doğal titreşim periyodunu istenen düzeye çıkarmak için, sismik davranışı basit bir düzeye indirmek için yapıyı desteklemekte kullanılır. Geniş helezoni çelik yaylar yatay ve düşey yönde oldukça elastiktir. Düşey frekans, yatay frekansın 3-5 katı mertebesindedir. Çelik yaylar tamamen sönümsüzdürler ve her zaman viskosönümleyicilerle birlikte kullanılırlar. Bundan dolayı, geniş rijit kütle yer değiştirmeleri viskosönümleyicilerle önlenir.

Bütün üç boyutlu sistemlerde yatay davranış ile salınım davranışı arasında çok güçlü bir bağ bulunmaktadır. Çünkü izolasyonlu yapının yer çekim merkezi rijitlik merkezinin üzerindedir. Bu tip sistemlerde yer çekim merkezi ile rijitlik merkezinin aynı düzeyde olduğu durumlarda işlem pratikleşir (nükleer santralde bulunan bir reaktör kazanı gibi).

Endüstri yapılarında mekanik titreşimlerin izolasyonunda helezoni yaylar ve viskosönümleyiciler zorunludur.

## 2.4 Daha Önce Yapılan Çalışmalar

### 2.4.1 Elastomerik Taban İzolasyon Sistemleri

Son zamanlarda yapı uygulamalarının çoğunda sistemin yük taşıma bileşeni olarak çelik tabakalarla güçlendirilmiş çok katmanlı sentetik mesnetler kullanılmıştır. Çelik tabakalarla güçlendirmenin amacı, bu yatakların düşey yönde çok rijit ancak yatay yönde çok yumuşak olmalarından dolayı meydana gelebilecek istenmeyen etkilerin önlenmesidir. Bu yatakların hareket eden parçalarının olmaması, zaman ve çevresel etkilere karşı dayanıklı olması üretimini kolaylaştırır. Şekil 2.10 ve 2.11’de kauçuk izolatör uygulamaları görülmektedir

Özellikle Yeni Zelanda ve Japonya’da kullanılan çoğu yalıtım sisteminde, düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetlerle birlikte bazı mekanik söndürücüler kullanılmıştır. Bunların içinde hidrolik söndürücüler, çelik çubuklar, çelik bobinler ve kurşun çekirdekler bulunmaktadır.

Binaların yalıtımında söndürücüleri kullanmanın pek çok dezavantajı vardır. Bütün sönümleyiciler –dahili kurşun çekirdek hariç- mekanik bağlayıcılar ve rutin bakım gerektirir. Metalik söndürücülerin akması doğrusal değildir. Bu da dinamik analizleri güçleştirir ve yüksek modlarda tepkiye sebep olarak izolasyon derecesini düşürürler.

Amerika’da genelde kullanılan izolasyon sistemi, kurşun saplamalı kauçuk mesnetlerdir. Bu mesnetler, çok katmanlı elastomerik mesnetler olup, bir veya daha fazla dairesel delik bulundurulur. İzolasyon sistemine sönüm ilave etmek için kurşun çekirdekler bu deliklere yerleştirilir. Bazı projeler sadece kurşun saplamalı kauçuk mesnetlerle yalıtılmasına rağmen, genellikle kurşun çekirdekler olmadan çok katmanlı elastomerik mesnetler kullanılır.



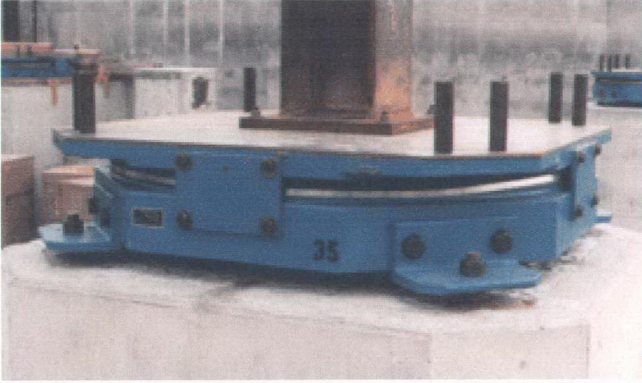
Şekil 2.10 Yükleme altındaki bir kauçuk izolatör görünümü



Şekil 2.11 Kurşun saplamalı silindirik kauçuk izolatör

#### 2.4.2 Sürtülmeli Sarkaç ve Diğer Sistemler

Son yıllarda, sürtülmeli sarkaç aygıtları ve benzer sistemlerde kayma yaklaşımında yapılan değişikliklerle önemli gelişmeler yaşanmıştır. Günümüzde dünyanın pek çok bölgesinde önemli yapıları deprem etkisinden korumak amacıyla taban izolasyonu kullanılmaktadır. Amerika ve Japonya'da bunun pek çok örneği mevcuttur. İtalya ve Yeni Zelanda'da da önemli binalar için az sayıda taban izolasyonlu bina inşa edilmiştir. Şili, Çin Halkları Cumhuriyeti, Endonezya ve Ermenistan gibi gelişmekte olan ülkelerde konutlar için düşük maliyetli izolasyon sistemlerinin araştırma projelerine başlanmıştır.



Şekil 2.12 Sürtünmeli sarkaç sistemi

Sürtünmeli sarkaç sistemi, kayıcı bir izolasyon sistemi olup yapının ağırlığı küresel kayıcı yüzeyler tarafından taşınmaktadır. Bu kayıcı yüzeyler zemin davranışı belli bir başlangıç değeri aştığı zaman birbirine bağıntılı olarak hareket ederler. Küresel yüzeylerde kayma oluştuğu zaman bina yükseltilerek yalıtım sağlanmış olur. Bu sistem 1986 yılında geliştirilmiş olup ilk olarak San Francisco’da 1989 yılında Loma Prieta depreminde büyük hasar gören Marina Apartment binasında kullanılmıştır. Uygulamada ahşap çerçevesi yapının zemin katına, üstteki 3 katı destekleyen bir çelik moment dayanım çerçevesi yerleştirilmiştir. İzolatörler çelik çerçevenin kolonları altına yerleştirilmiştir.

Sürtünmeli sarkaç izolatörlerinin bir başka uygulaması San Francisco’daki Birleşik Devletler Yargıtay binasıdır (Şekil 2.13). Bu beş katlı, 32,512m<sup>2</sup> alana sahip bina 1905 yılında inşa edilmiş ve 1906 yılındaki San Francisco depreminde ayakta kalmıştır. Orijinal yapı çelik çerçeve olup granit ve tuğla duvarlardan oluşmuştur. Sürtünmeli sarkaç izolatörleri mevcut çelik kolonların altına taze betonla kurulum izolasyon seviyesi üzerine yeni rijit bir diyafram sistemi kurulmuştur. San Francisco Havaalanı yanındaki Uluslararası Terminal ve yeni yapılan Hayward Belediye Binası da sürtünmeli sarkaçla izole edilmiştir.



Şekil 2.13 Birleşik Devletler Yargıtay binası



Şekil 2.14 Sürtünmeli sarkaç izolatör uygulaması

## 2.5 Güçlendirme Uygulamaları

Tarihi ve anıtsal binaların altına izolatörleri yerleştirmek çok zordur ve kolonların kesilip kolon yüklerinin geçici desteklere aktarılmasını gerektirir. Binanın içini korumak için kolonlar çalışma süresince yaklaşık 2,5mm yükseltilir.

Sismik güçlendirme can kaybı riskini ve depremde meydana gelebilecek sistemdeki bozulmaları azaltmakla birlikte büyük bir deprem sonrası yapının kullanıma hazır olmasını da sağlar. Kesme duvarlarıyla yapıyı güçlendirmek yapı üzerindeki sismik etkileri azaltmaz ama bu etkileri yapı sakinlerine, mobilyalara ve yapısal olmayan elemanlara aktarır. Bunun sonucu olarak da potansiyel yaralanmalara ve zarara yol açar. Bununla birlikte, kesme duvarıyla güçlendirmede genellikle bina sakinlerinin tahliyesini ve yapı fonksiyonlarının durdurulması gerekir ki bu hastane gibi yerlerde mümkün olmayan bir durumdur.

Taban izolasyonu, binanın rijitliğini artırarak güçlendirmenin yanı sıra deprem kuvvetlerine karşı dayanması için yeterli elastiklik verir. İzolatörler, her kolonun tabanına yerleştirilir ve yapıyı deprem sarsıntısından korumak için 'şok emici' olarak davranırlar. Bu sönümleyici etki, yapının zemin hareket ederken hareketsiz kalmasını sağlar. Yapısal destek sistemi, taban izolasyonu ile güçlendirilmiş bir bina elastiktir, sismik davranışla hareket eder ve sismik etkiyi soğurur. Sismik etki binanın dışına, bina sakinlerine ve mobilyalara aktarılarak büyük ölçüde azaltılır.

Sismik taban izolasyonu sistemi, izolasyon aygıtlarının seri halde her kolonun tabanına yerleştirilmesini gerektirir. Taban izolatörleri, yapı geçici olarak desteklenirken yapıya zarar vermeden tek tek yerleştirilir.

San Francisco'daki AboveNet İletişim binasının güçlendirme projesine Şubat 2000'de, inşaatına Temmuz'da başlanmış ve 2001 Mart ayında bina kullanıma açılmıştır (Şekil 2.15). San Francisco'da meydana gelebilecek büyük bir deprem sırasında bilgisayar şebekelerini ve destek sistemlerini korumak amacıyla sismik izolasyon sistemi kullanılmıştır. Şekil 2.16'da binada kullanılan sürtümlü sarkaç izolatörü görülmektedir.



Şekil 2.15 Abovenet İletişim binası



Şekil 2.16 Abovenet İletişim binasında kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörü

Tasarım ve inşaat sürecinde ulaşılan bu inanılmaz hız, 1940 sonrası sünek olmayan güçlendirilmiş betonun geliştirilmesiyle gerçekleşmiştir. Özel bir yapının sismik performansını artırma olarak adlandırılan bu proje, yapının büyük bir deprem sırasında ve sonrasında kullanılmasını sağlayarak, 20 yıldır kullanılmayan ve yerleşim için güvensiz olarak bildirilen söz konusu yapı için büyük bir ilerlemedir. 98 adet sürtünmeli sarkaç izolasyon yatağı içeren izolasyon sistemi güçlendirmede kullanılmıştır. Zemin kat ile 1.kat

arasındaki mevcut 4,3m yükseklikten faydalanarak mühendisler izolasyon yataklarını zemin kat kolonlarının üstüne, 1.kat kolonlarının hemen altına yerleştirmişlerdir.

Kayıcı yüzeylerle mafsallı sürtünmeli sarkaç sisteminin tasarımı, yapı ağırlığı kullanılarak deprem sonucu ortaya çıkacak harekete karşı eylemsizlik ve sönüm sağlar. Bu yolla, sismik enerji, yapı tarafından soğurulmadan hareketle dağıtılır. Bu yataklar, yalıtımlı binanın periyodunu uzatan ve üstyapıyı büyük deprem kuvvetlerinden koruyan sarkaç karakteristiklerini kullanır. Deprem sırasında, kayıcılarla mafsallı yataklar içbükey bir yüzey boyunca kayarak yapının küçük sarkaç davranışlarıyla hareket etmesini sağlar. Bu hareket, deprem enerjisini soğurmak için gerekli sönümü sağlayan bir dinamik sürtünme kuvveti oluşturur. Eğrilik yarıçapı  $R=223\text{cm}$  olan içbükey plakalı 98 izolatör bulunmaktadır. Her izolatör yatayda 38cm ve düşeyde yukarıya doğru 3,2cm hareket etme kapasitesine sahiptir. Sismik izolasyon sistemi büyük bir deprem sırasında, yapı doğal periyodunu  $T=3\text{sn}$ 'ye çıkardıktan sonra kuvvetleri ve kat ivmelerini önemli derecede azaltır. Maksimum çatı ve kat ivmelerini 0,30g'nin altına indirir.

Taban izolasyonunun ilginç bir örneği Japonya'da bulunan İleri Teknoloji Sağlık Merkezi binasında uygulanmıştır. Planda 372m<sup>2</sup> alana sahip 3 katlı betonarme çerçevesi yapıda, kapasiteleri 150ton ile 350ton arasında değişen 20 laminat kauçuk yatak, 108 çelik sönümleyici ( $\Phi 32\text{mm}$ ), 4 yağ sönümleyici ve 24 visko-elastik sönümleyici ( $\Phi 190\text{mm}$ ) kullanılmıştır (Cimilli, Tezcan, 2002).

## 2.6 Ülkemizde Sismik İzolasyon Uygulamaları

İstanbul Atatürk Havalimanı'nın uzay kafes sistem çatısının kolonları 2000 yılında yüksek kaliteli çelik ve teflondan yapılmış sürtünmeli sarkaç yataklarıyla desteklenmiştir. Bu sayede, çelik çatıya hareket serbestliği kazandırılmıştır. Şekil 2.18'de yapıda kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörü görülmektedir.

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

Sismik güçlendirmede, ısısal yer değişmelerde istenmeyen yer değiştirmeleri kontrol ederek düğüm noktalarındaki 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 anında yer değiştirmeler otomatik olarak kilitlenmektedir (Aydın, Polat, 2004).



Şekil 2.17 Atatürk Havalimanı



Şekil 2.18 Atatürk Havalimanı'nda kullanılan sürtülmeli sarkaç izolatörü

### 3. ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ AYGITLAR

Pasif enerji dağılım sistemleri, yapıların sönüm, rijitlik ve dayanım karakteristiklerini geliştirmek için geniş bir malzeme ve teknoloji açısından faydalanmaktadır. Bu dağılım, kinetik enerjinin ısıya dönüştürülmesi yada enerjinin titreşim modlarına aktarılmasıyla sağlanabilir. İlk mekanizma metallerin akma derecesi ve sürtünmeli kayma hareketi prensiplerine dayalı aygıtlar içerir. Sonraki grup viskoelastik katı ve sıvıların deformasyonu üzerine kurulu aygıtlar içerir. Üçüncü bir grup ise sıvı sıkıştırılmasıyla elde edilen önyükleme veya dahili yaylardan faydalanan otomatik merkezleşen aygıtları içerir.

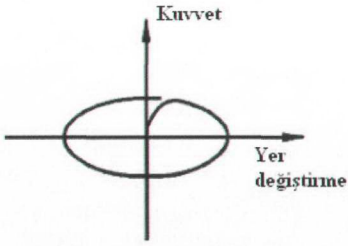
Aygıtların rijitlik ve sönüm karakteristikleri üzerine makroskobik bir model tanımlamak için yapı davranışının tamamen incelenmesi gerekmektedir.

Aşağıda bahsedilen ikinci bir mekanizma, enerji transferinde dinamik titreşim sönümleyicilerinden faydalanmaktadır. Bu sistemlerde, performansı önemli ölçüde artırmak için, osiloskopların dinamik özellikleri asıl yapıya göre ayarlanmalıdır. Ayarlı kütle söndürücüler ve ayarlı sıvı söndürücüler bu kategoride incelenmektedir.

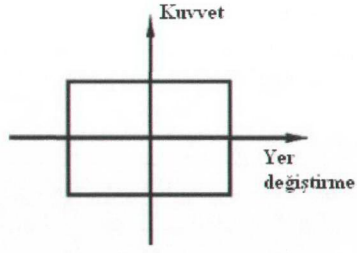
#### 3.1 Pasif Enerji Sönümleyici Sistemler

Pasif enerji dağılım sistemleri burada histeretik, viskoelastik ve diğerleri olarak üç grupta sınıflandırılmıştır. Histeretik sistem uygulamaları, metallerin sünmesi ve kayma sürtünmesi esasına dayalı aygıtlardan oluşmaktadır. Şekil 3.1 söndürücü tiplerine ait tipik kuvvet-yer değiştirme döngülerini göstermektedir. Şekil 3.2'de de söndürücü tiplerine ait ivme-yer değiştirme ilişkileri görülmektedir (Whittaker and Constantinou, 2003).

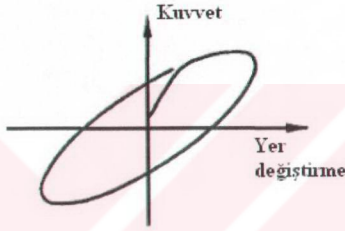
Viskoelastik enerji dağılım sistemleri, viskoelastik katı ve sıvı malzemelerden oluşan aygıtlar içerir ve bu aygıtlar viskoelastik akışkanın deformasyonu yoluyla çalışır. Tipik olarak bu aygıtlar frekansa bağlı rijitlik ve sönüm katsayılarına sahiptirler. Bu aygıtlardaki sönüm kuvveti viskoz davranıştan dolayı hız ile orantılıdır. Sıfır rijitlik ve frekans gibi bağımsız özelliklere sahip olan tamamen viskoz aygıtlar, viskoelastik aygıtların özel durumudur.



Viskoz Sıvı Söndürücü

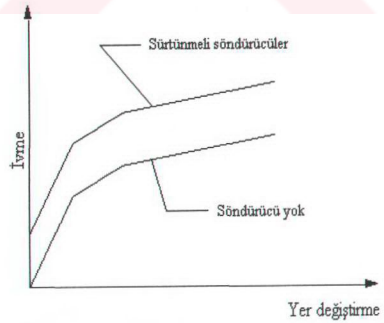
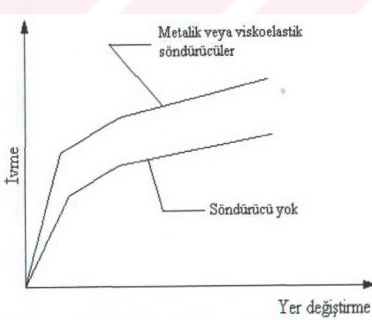


Sürtüneli Söndürücüler



Viskoelastik Sıvı Söndürücü

Şekil 3.1 Söndürücü tiplerine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkileri

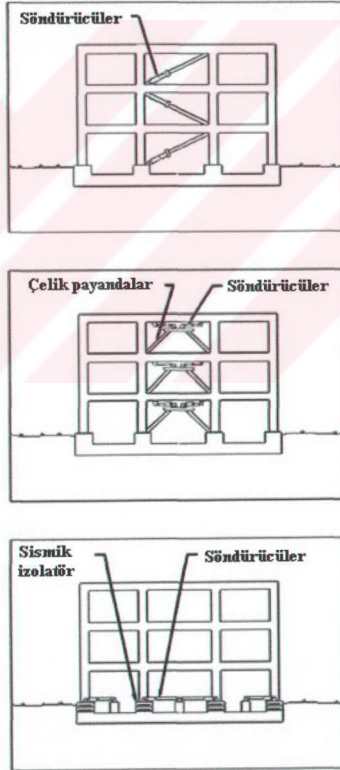


Şekil 3.2 Söndürücü tiplerine ait ivme-yer değiştirme ilişkileri

### 3.2 Histeretik Sistemler

Histeretik sistemler, uygulanan yük derecesinden bağımsız bir mekanizma boyunca enerji dağılımı üzerine çalışır. Bu grupta dağılım mekanizmasında, metallerin akmasına dayalı metalik söndürücüler ve kuru kayıcı bir levha boyunca oluşan ısıya dayalı sürtünmeli söndürücüler bulunmaktadır.

Hem metalik hem de sürtünmeli aygıtlar için, farklı uyarım frekanslarında davranışın gerçekte değişmediği gözlenmektedir. Tüm durumlar için, enerji dağılımının ancak belli bir eşik kuvvetini aştıktan sonra oluştuğu görülmektedir. Sonuç olarak, sismik uygulamalarda öncelikli olarak histeretik söndürücüler tasarlanmaktadır (Constantinou, Soong, Dargush, 1998).

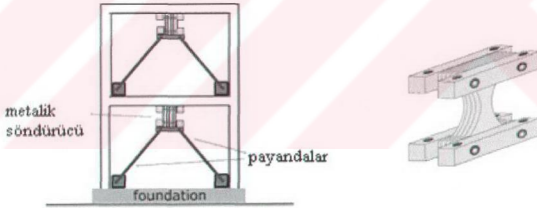


Şekil 3.3 Söndürücülerin kullanım yerleri

### 3.2.1 Metalik Söndürücüler

Enerji dağılımı için en etkili mekanizmalardan biri, deprem esnasında yapıya elastik olmayan deformasyon boyunca metalik malzemeler eklemektir. Çelik yapıların pazarlanmasında sismik tasarım, istenen enerji dağılımının sağlanmasında yapısal elemanların akma sonrası sünekliğine güvenmektedir. Bununla birlikte, sismik enerjinin bir kısmını sönmölemek için üstyapıda tamamlayıcı metalik histeretik söndürücülerin kullanılması fikri, kavramsal ve deneysel olarak Kelly (1972) ve Skinner (1975) tarafından ortaya atılmıştır. Uzun yıllar boyunca metalik söndürücüler ve pek çok yeni tasarım üzerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Şekil 3.4’de tipik bir metalik söndürücü ve yerleşim detayı görölmektedir.

Son yıllarda çapraz ve üçgensel şekildeki metalik söndürücüler yapılarda kullanılmaktadır. Bu benzer levha aygıtlar çerçevede, zikzak şeklindeki payandalar ile kiriş arasına monte edilir. Bunun bir sonucu olarak söndürücüler öncelikli olarak kat ötelemeleri sonucu tek tek levhaların bükölme deformasyonlarıyla yatay kuvvetlere karşı direnimi sağlar. Belli bir kuvvet değerinden sonra, levhalar akmakta ve böylece enerji dağılımı sağlanmaktadır. Levhaların konikleştirilmiş şekli, uzunlukları boyunca üniform akmanın meydana gelmesine yardımcı olur.



Şekil 3.4 Metalik söndürücü ve yerleşim detayı

Çeşitli mekanik aygıtlar arasındaki geometrik farklılıklara rağmen, bütün durumlarda, temelde dağılım mekanizması, metalin elastik olmayan deformasyonuna bağlıdır. Bazen kurşun kullanılmasına rağmen genelde kullanılan metal yumuşak çeliktir. Geliştirilmiş bir sismik tasarımda metalik söndürücülerini etkin bir şekilde kullanmak için, gerekli kuvvet-deformasyon karakteristiklerini içeren bir matematiksel model oluşturulmalıdır.

Bir söndürücü aygıtın kuvvet-yer değiştirme modelini oluşturmada iki yaklaşım bulunmaktadır. İlk yaklaşım, metalik söndürücülerin test edilmesi sonucu elde edilen deneysel bilgi kullanımını içerir. Seçilen kuvvet-yer değiştirme modeli, temel olarak plastisite teorisiyle benzeşmekte ve uygun bir eğri bulunarak model parametreleri belirlenmektedir. İkinci yaklaşımda, kuvvet-yer değiştirme modeli, metalik özelliklerine başvurularak elde edilen uygun bir ilişkiyle belirlenir. Bu son yaklaşım, test aşamasında gerekli şartlar sağlanırken ilave bir katkı sağlar.

### 3.2.2 Sürtünmeli Söndürücüler

Metalik söndürücülerde enerji dağılımını sağlayan mekanizmalardan biri de iç sürtünmedir. Bu söndürücülerde, arzu edilen enerji dağılımı, iki katı kütle arasındaki bağıl kayma hareketi sonucu oluşan sürtünme mekanizmasıyla sağlanır. Mayes ve Mambrey (1975) tarafından sürtünme sonucu oluşan sönmün yapı davranışı üzerindeki etkileri incelenmiş, Keightley (1977) tarafından da ilk defa bina uygulamalarında kullanılmıştır. Sonradan pasif sürtünmeli söndürücülerde sağlanan gelişme ile yapıların sismik dayanımı artırılmıştır.

Çevresel etkiler altında yapıların hasar derecesini azaltacak pek çok sürtünme formu vardır. Sürtünmeli söndürücülerde, katı kütleler arasındaki yüzeysel kayma hareketi sonucu oluşan yüzeysel kuvvet geri çevrilemez bir iş yapar. Bu durum sonucu, söndürücünün kullanım ömrü boyunca göstereceği sürtünme davranışı tahmin edilebilir hale gelir. Bununla birlikte, çevresel faktörlerden etkilenebilen yüzeysel durumu da bu davranış hakkında bilgi verir.

Mayes ve Mambrey (1975) tarafından yapılan çalışmalara kadar, kuru sürtünme üzerine uzun süreli çalışmalar yapılmıştır. Dikdörtgen bloklarla yapılan düzlemsel kayma hareketini içeren fiziksel deneyler sonucunda temel bir teori ortaya çıkmıştır.

- Toplam sürtünme kuvveti, temas eden yüzey alanından bağımsızdır.
- Toplam sürtünme kuvvetiyle ara yüz boyunca oluşan toplam normal kuvvet orantılıdır.
- Düşük bağıl hızlarda kayma durumunda, toplam sürtünme kuvveti hızdan bağımsızdır.

Bu varsayımlar sonucunda, anlık bir kayma durumu için şu ilişki yazılabilir:

$$F_t = \mu \cdot F_n \quad (3.1)$$

Burada,  $F_t$  ve  $F_n$  sırasıyla sürtünme ve normal kuvvetlerini;  $\mu$  ise sürtünme katsayısını ifade etmektedir. Kayma hareketi olmaya yakinken ki statik sürtünme katsayısı,  $\mu_s$  kayma esasındaki kinetik sürtünme katsayısı,  $\mu_k$ 'dir. Sürtünme kuvveti  $F_t$  hareketin ters doğrultusunda ara yüzey boyunca yüzeysel etkimektedir.

Bu teoriyi, üniform olmayan dağılımları veya düzlemsel olmayan yüzeyleri içerecek şekilde genişletmek için bu varsayımlar sonsuz küçük parçalara indirgenmiştir. Böylece, toplam kuvvetler, yüzey çekme kuvvetleriyle yer değiştirerek eşitlik şu hale gelir:

$$\tau_t = \mu \cdot \tau_n \quad (3.2)$$

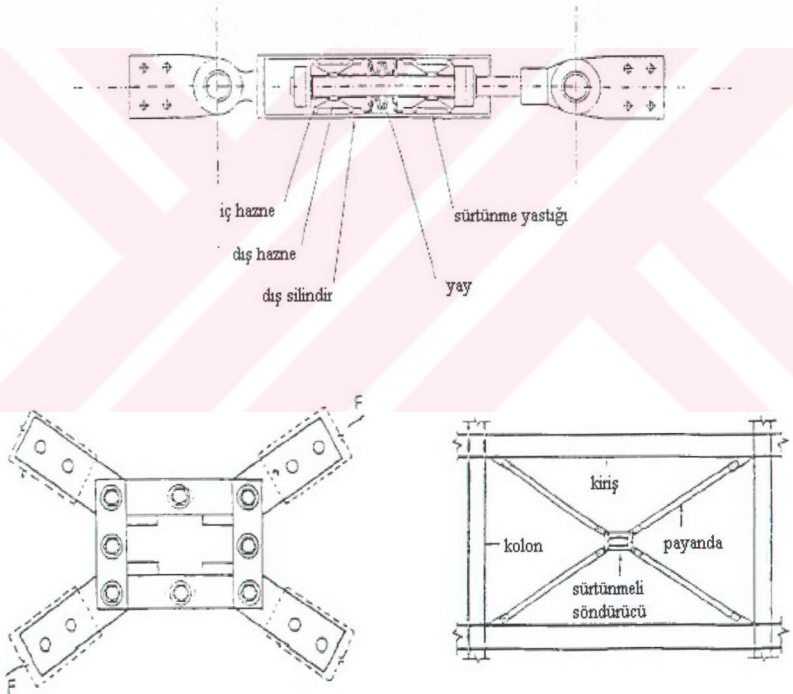
$\tau_t$  yüzeysel,  $\tau_n$  normal çekme kuvvetleridir. Bu form uygun tasarım için gereken nominal bağlantı gerilmelerini araştırmak için yararlıdır.

Yukarıda tanımlanan Coulomb sürtünme tasarımı, sürtünmeli söndürücülerle ilgili birçok teorik esasın ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bununla birlikte, sürtünmeli süreçlerin bu kadar basit olması nadir bir durumdur. Uygulamada, Coulomb teorisi sadece yaklaşık olarak doğrudur. Ayrıca yukarıdaki eşitliklerde görülen sürtünme katsayısı  $\mu$  sabit bir katsayı değildir.  $\mu$ , sadece kayma malzemelerinin seçimine değil aynı zamanda kayıcı ara yüzeyin mevcut durumuna da bağlı değişen bir parametredir. Aynı zamanda yüzeyler üzerinde devam etmekte olan çok sayıda fiziksel ve kimyasal işlem, problemin modellenmesinde büyük ölçüde karışıklığa neden olur. Bu işlemler yüzeylerin fiziksel ve kimyasal yapısını değiştirebilir ve sonuç olarak temas alanında bir değişime sebep olacak şekilde sürtünmeli davranışı etkiler. Özellikle galvanik bileşiklerin (yumuşak çelik, pirinç vb.) kullanılmasından sakınılmalı ve etkin çevre koşullarında korozyonu önlemek için koruyucu tedbirler alınmalıdır (Erkal, Tezcan, 2002).

Modern mekaniğin gelişmesiyle birlikte katı sürtünmesi üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır. Ancak, sürtünmeli davranış üzerine nitelikli bir değerlendirme yapabilmek amacıyla kabul edilen bu ilk prensipler yeterli değildir. Yapılan fiziksel deneylerin daha güvenilir olmasına ihtiyaç vardır. Bu düşünceyle Pall, 1980 yılından itibaren sürtünme söndürücülerini geliştirmek amacıyla çeşitli basit kayıcı elemanlar üzerinde, farklı yüzey durumlarını kullanarak pek çok statik ve dinamik deney uygulamıştır. Amaç, mutlak maksimum enerji dağılımını elde etmekten çok, tahmin edilebilir davranış için sistemi

tanımlayabilmektir. Deney sonuçlarına göre, kayıcı yüzeylerle temas eden yüzey arasındaki bağlantı, öngörülen yüksek dayanımlı civatarla korunmalıdır.

Pall (1980) tarafından ortaya konulan yüzeylerde tahmin edilebilir bir davranış sağlayabilmek amacıyla sisteme eklenen fren balatası yastıkları ve çelik plakalar arasında oluşacak ilişki birincil önem taşımaktadır. Pall tarafından ortaya konulan davranışa göre, basit fren balatalı sürtünmeli sistemlerini karakterize etmek için plastik model parametreleri kullanılabilir. Bunun dışında, sürtünmeli söndürücülerde verilen kayma mesafesi dışındaki yer değiştirmeler için rijit bir davranış evresi oluşmaktadır. Şekil 3.5'de Pall sürtünme söndürücüsünün kesit görünümü ve yerleşim detayı görülmektedir (Aiken and Kelly, 1990; Vezina, 1992).



Şekil 3.5 Pall sürtünme söndürücüsü ve tipik yerleşim detayı

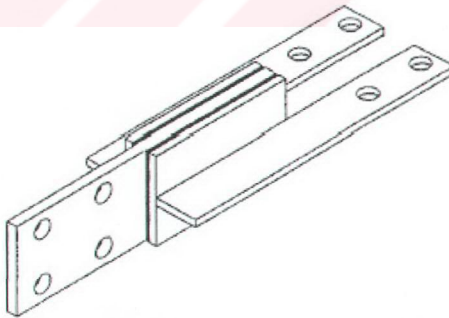
### 3.3 Viskoelastik Sistem Tipleri

Viskoelastik sistemler, enerji dağılım yöntemine bağlı pasif kontrol sistemleridir. Bu grup sıvı deformasyonu ve sıkıştırılması esasına dayalı viskoelastik katı ve sıvı söndürücüler ve bu aygıtların birleştirilmesiyle elde edilen sistemleri içerir. Viskoelastik aygıtlarda davranışın frekansa bağlı olduğuna dikkat etmek gerekir. Bununla birlikte, pek çok farklı uygulamada davranış lineer bir bölgeyle sınırlandırılmıştır. Bu durum gerekli analiz aşamalarını oldukça basitleştirmektedir. Ayrıca, enerji dağılımı sonsuz küçük deformasyonlarla olduğu için viskoelastik aygıtların hem rüzgar hem de deprem güçlendirmesinde potansiyel uygulamaları söz konusudur.

#### 3.3.1 Viskoelastik Katı Söndürücüler

Yapısal mühendislik uygulamalarında kesme deformasyonuna maruz bırakıldığında enerji dağılımını sağlaması için kullanılan söndürücülerde viskoelastik katı malzeme olarak genellikle kopolimerler ve camsı bileşenler kullanılmaktadır. Yapıya monte edildiğinde, yapısal titreşimin neden olduğu çelik dış kenarlar ve merkezi plakalar arasındaki bağıl hareket sonucu, kesme deformasyonu ve bunun sonucu olarak enerji dağılımı sağlanır (Aiken, 1990).

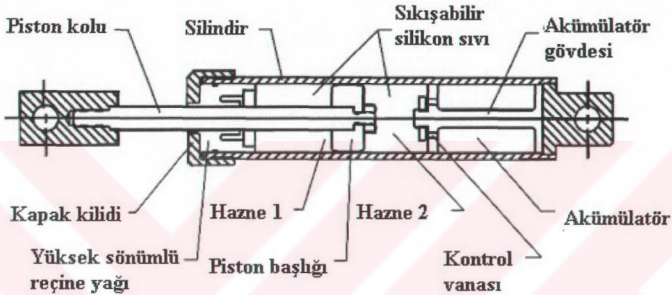
Dinamik yükleme altında, viskoelastik malzemelerin davranışı titreşim frekansına, gerilme düzeyine ve ortam sıcaklığına bağlıdır.



Şekil 3.6 Tipik bir viskoelastik katı söndürücü [1]

### 3.3.2 Viskolastik Sıvı Söndürücüler

Bütün pasif aygıtlar geçici çevresel etkiler altında yapının performansını artırmak için katı söndürücülerin hareketinden yararlanır. Bununla birlikte, sıvı söndürücüler pasif kontrol düzeyini istenen seviyeye çıkarmada etkili olarak kullanılabilir. Son yıllarda, öncelikli olarak askeri alan ve ağır sanayi olmak üzere yapısal uygulamalarda viskoz sıvı söndürücüler doğrudan kullanılmaktadır. Şekil 3.7'de viskoelastik sıvı söndürücünün kesit görünümü verilmektedir.



Şekil 3.7 Viskoelastik sıvı söndürücü kesiti [1]

#### 3.3.2.1 Sıvıların Deformasyonu

Yenilikçi bir yaklaşımla, klasik amortisörler doğrudan örnek alınmıştır. Burada enerji dağılımı, silikon jele benzer koyu ve yüksek akışkanlıklı bir maddenin, bir piston yardımıyla mekanik enerjiyi ısıya dönüştürme yoluyla sağlanmaktadır. Viskoz söndürücü duvar (VDW) adı verilen tasarımda, viskoz sıvı dolu dar bir dikdörtgen çelik kap içerisinde kendi düzleminde hareket etmesi önlenmiş çelik bir piston levha bulunmaktadır. Çerçeve sisteme yerleştirilirken çelik kap alt kata sabitlenir ve piston üst kata bağlanır. Bağlı kat hareketlerinde sıvı kesmeye maruz kalarak enerji dağılımı sağlar.

Yukarıda bahsedilen bütün aygıtlarda gerçekleştirilmek istenen açık bir kap içerisine yerleştirilen viskoz sıvının deformasyonudur. Bu aygıtların enerji dağılım yoğunluğunu en üst seviyeye çıkarmak için yüksek akışkanlıklı malzemeler kullanılmalıdır. Genellikle, malzeme seçimi frekans ve sıcaklığa bağlıdır.



Şekil 3.8 Viskoelastik sıvı söndürücü

### 3.3.2.2 Sıvıların Akması

Sıvı söndürücülerin bir diğer sınıfı da, kapalı kaplarda sıvıların akması esasına dayanır. Bu tasarımlarda piston sadece sıvıyı deforme etmekle kalmayıp sıvıyı küçük orifislerden geçmesi için sıkıştırmaktadır. Bu sayede çok yüksek derecede enerji dağılım yoğunlukları elde edilebilir. Bununla birlikte söndürücü birimin tasarımı için uygun bir yoğunluk gerekmektedir.

Silindirik aygıt bronz başlıklı paslanmaz çelik piston, çubuk hareketi yoluyla sıkıştırılabilir silikon yağ içermektedir. Başlık sıvı kontrol orifis sistemini içermektedir. Buna ek olarak, çubuk pozisyonuna bağlı hacimde meydana gelecek değişimleri gidermek için bir akümülatör bulunmaktadır. Söndürücünün tasarım ömrünü artırabilmek için yüksek dayanımlı contalar kullanılmalıdır. Bu tek eksenli aygıtlar, özellikle askeri alanlarda ve ağır sanayi alanında kullanılmak üzere deprem ve rüzgar etkilerine karşı uygulanan taban izolasyon sistemlerine ek tamamlayıcı söndürücüler olarak kullanılmaktadırlar.

Viskoelastik sıvı söndürücülerin birbirleri arasında ve viskoelastik katı söndürücülerle oldukça çeşitlilik göstermekle birlikte kuvvet-yer değiştirme davranışları üzerine geliştirilen matematiksel modeller benzerlik göstermektedir. Genelde, bu aygıtlar frekans ve sıcaklığa bağlı olmasına rağmen bazı durumlarda genliğe de bağlıdırlar. Son yıllarda viskoelastik

sıvılar için çok sayıda model geliştirilmiştir. Bu modellerin önemli bir kısmı, klasik modellerin kısmi türevlerinin birleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu ilk defa Gemant (1936) tarafından önerilmiştir. Daha sonraları Makris ve Constantinou (1991), viskoelastik sıvı söndürücülerin davranışını temsil etmek için Maxwell modellerine başvurmuş ve daha sonra diğer türevlerini birleştirmek suretiyle modelleri genişletmişlerdir.

Örneğin geniş frekans ve sıcaklık aralığında polibütan sıvısını karakterize etmede kompleks türevli modeller kullanılmıştır (Makris, 1995).

### 3.3.2.3 Sıcaklık Etkisi

Viskoelastik aygıtlar, kendilerine özgü özelliklere sahip viskoelastik malzemeler içerirler. En sık kullanılan malzemeler akrilik kopolimerlerdir. Bu malzemeler, iyi yaşlanma özelliklerine sahip olup çok stabildirler, ayrıca kimyasal zararlar olmayıp çevresel kirliliklere dayanıklıdır. Kesme levhası olarak kullanıldıklarında etkilenen yüzey alanı malzeme hacmine nispeten oldukça küçüktür. Bu yüzden, difüzyona bağlı nem emilimi ve penetrasyonu gibi kimyasal süreçler oldukça yavaştır.

Viskoelastik söndürücülerin en büyük dezavantajı, performansın hedeflenen sıcaklığa bağlı olmasıdır. Eğer sıcaklık artarsa, enerji dağılım kapasitesi de orantılı olarak azalacaktır.

## 3.4 Merkezileşen Sistemler

Merkezileşen aygıtlar, kuvvet-yer değiştirme karakteristiklerinde farklılık göstermektedir. Bu grupta, basınçlı sıvı söndürücüler, önyüklemeli yay sürtünmeli söndürücüler ve faz dönüşümlü söndürücüler bulunmaktadır. Aygıtların davranışı mevcut ısıya bağlı serbestlik derecesine göre belirlenir. Bu aygıtların tümü yüklerin taşınabilirliğine dayanarak çok az deformasyon karşılayabilirler. Böylece doğal bir merkezileşme kapasitesi sağlanır.

### 3.4.1 Basınçlı Sıvı Söndürücüler

Basınçlı sıvı aygıtları, Tsopelas ve Constantinau (1994) tarafından bir taban izolasyon sisteminde sönüm ve merkezileşme kapasitesini sağlamak üzere kullanılmışlardır. Dayanım, başlangıç basıncına bağlı bir önyükleme, silikon yağın sıkıştırılabilirliği, conta sürtünmesi ve orifislerden sıvı geçişine bağlı sönüm gibi pek çok fiziksel olayla sağlanmaktadır.

### 3.4.2 Önyüklemeli Yay-Sürtünme Söndürücülere

Önyüklemeli yaylar için, silindirik bir aygıt içine yerleştirilen takozlardan elde edilen kuvvet-yer değiştirme ilişkilerine benzer bir yaklaşım kullanılabilir (Richter, 1990).

### 3.4.3 Faz Dönüşümlü Söndürücüler

Son yıllarda pasif söndürücülerde yeni bir malzeme sınıfı olan alaşımlara başvurulmaktadır. Bu metaller, çevrilebilir sıcaklık veya martensitli ve ostenitli kristal fazlar arasındaki dönüşümlerin oluşturduğu gerilme sonucu sezgisel bir davranış gösterirler. Şekil değiştirme etkisi örnek olarak verilebilir. Şekil değişimli alaşımlar, düşük martensitli fazda görünüşte kalıcı bir bozulmaya sebep olurlar. Alaşım sıcaklığı kritik bir değerin üzerine çıkarıldığında ostenitli faza dönüşüm olur. Sonuç olarak alaşım orijinal bozulmamış şekline dönüşür.

### 3.5 Dinamik Titreşim Sönümleyicileri

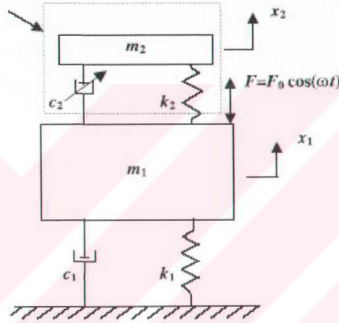
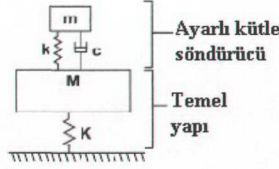
Pasif sistemlerin son sınıfı, yapılarda dinamik titreşim sönümleyicilerinin kullanımını içerir. Dinamik titreşim sönümleyicilerinin yapıya yerleştirilmesi, dış kuvvetler altında öncelikli yapısal elemanların hasarını azaltacak şekilde enerji dağılımını artırmak amacıyla, esasen önceden bahsedilen diğer pasif aygıtlar gibidir.

Burada, yapısal titreşim enerjisinin bir kısmı sönümleyiciye aktarılarak redüksiyon sağlanır. Pratikte iki temel tip titreşim sönümleyici yaygındır. Bunlardan ilki, esas yapıya yerleştirilecek bir kütle-yay-amortisör sistemini içeren ayarlı kütle söndürücülerdir. İkinci tip, bir konteyner içindeki sıvının orifislerden geçirilmesi yoluyla enerji dağılımını sağlayan ayarlı sıvı söndürücülerdir. Ayarlı kütle ve sıvı söndürücüler sismik tasarım için düşünülse de öncelikli olarak rüzgar yükleri sonucu oluşan titreşimleri azaltmada kullanılmaktadırlar. Sismik uygulamalarda mevcut sınırlandırmalarda yapı akmaya başladığında ve arzu edilen sönüm derecelerinde ayarlarda bozulma meydana gelmekte ve yüksek mod davranışlarında etkin kontrol sağlanamamakta, sık sık geçici ve ani uyarımlar oluşmaktadır.

#### 3.5.1 Ayarlı Kütle Söndürücüler

Yapısal uygulamalarda, ayarlı kütle söndürücülerin kullanılma düşüncesinin kökleri Frahm tarafından 1909 yılında yapılan çalışmalara dayanmaktadır (Den Hartog, 1956). Şekil 3.9'da, K rijitlikli yaya bağlı M kütlelerine, k rijitlikli yayla bağlı m kütlelerini içeren şematik bir gösterim bulunmaktadır. Basit bir harmonik yüklem altında, sönümleyicinin doğal frekansı

$\omega = \sqrt{k/m}$  uyarım frekansına göre ayarlandığında M kütesinin tamamen stabil kalabileceği görülmektedir.



Şekil 3.9 Ayarlı kütle söndürücü modelleri

Yukarıda tanımlanan dinamik sönümleyicilerin mekanik mühendisliğinde kullanımı, işletim frekansının makine esas frekansıyla rezonansa girme ihtimalinden dolayı sınırlandırılmıştır. Yapıların inşası, rüzgar ve deprem gibi pek çok frekans bileşenine sahip çevresel yüklere bağlıdır. Dinamik titreşim sönümleyicilerin performansında, sıkça çok serbestlik dereceli sönümlü binalardaki ayarlı kütle söndürücülere başvurulmaktadır.

### 3.5.2 Ayarlı Sıvı Söndürücüler

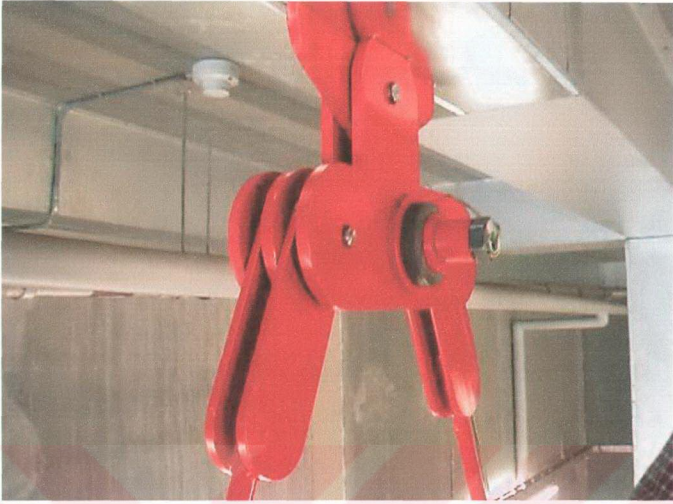
Yapıların dinamik davranışını hafifletmek için kullanılan ayarlı sıvı söndürücülerde temel prensip ayarlı katı söndürücülerde anlatılana yakın bir benzerlik göstermektedir. Özellikle, yapısal sisteme ikincil kütlelerin eklenmesi ve söndürücülerin dinamik titreşim sönümleyiciler gibi çalışacak şekilde ayarlanması olarak ifade edilebilir. Ayarlı sıvı söndürücülerde, genellikle ikincil sistemin davranışı, sıvı taşması veya mevcut orifislere bağlı olarak yüksek derecede nonlineerdir.

Bu doğal nonlineerliğin sonucu olarak, ayarlı sıvı söndürücülerin davranışını karakterize etmede fiziksel deneyler esas alınmaktadır. Bununla birlikte, dalga kırılımı olmadan taşıma genliğinin orta düzeyde kalacağı varsayımıyla pek çok matematiksel model geliştirilmiştir. Bütün bu çalışmalar, Airy ve Boussinesa tarafından bulunan sonlu genlikli yüzeysel su dalgaları teorisinden faydalanmaktadır.

### 3.6 Sürtünmeli Söndürücülerin Uygulamaları

Sürtünme esaslı söndürücü aygıtlar pratikte kullanılan başlıca enerji söndürücülerdendir. Esas amaç , deprem titreşimlerini yutarak yok etmek ve kısa zamanda söndürmektir. Çelik çubuk, kurşun çekirdek gibi metal enerji söndürücüler plastisite (ki burada deprem enerjisi ısıya dönüşür), viskoz akışkanlı enerji söndürücüler ise kayma dirençleri ile titreşimleri emerler. Silikon akışkan kullanılan deprem izolatörleri, silikon malzemenin sıkışabilme özeliği ile yay işlevi, viskozite özeliği ile de enerji söndürme işlevini yerine getirirler. Sürtünmeli sarkaç prensibi ile çalışan çok yönlü kayar çelik mesnetler, çelik malzemeler arasında meydana gelen bir sürtünme ile deprem enerjisini söndürürler. Özellikle, köprü ve viyadük gibi yapıların servis yükleri altında çalışırken oluşabilecek bazı olumsuz etkilerini önlemek amacı ile kayıcı mesnetlerdeki sürtünmelerin en az mertebelerde tutulması istenmektedir.

Enerji yutarak titreşimleri sınırlandıran hemen hemen bütün deprem izolatör sistemlerinde, çoğu kez zamana bağlı olarak işletme yükleri altında bile, az da olsa kalıcı deformasyonlar meydana gelebilir. Beklenenden daha şiddetli bir deprem etkisi altında bazı deprem izolatörleri plastik davranış gösterirler ve yapıya hasar vermese bile orijinal konumundan az da olsa sapmalara sebep olabilirler. Şekil 3.10'da farklı sürtünmeli söndürücü uygulamaları görülmektedir.



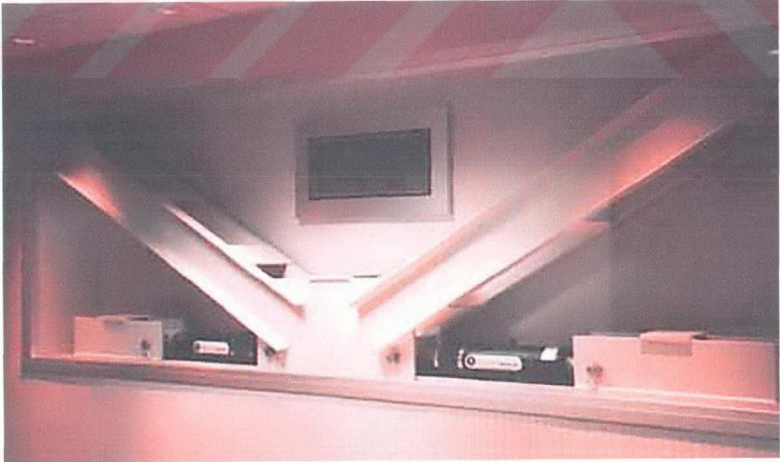
Şekil 3.10 Sürtünmeli söndürücü uygulamaları

Sürtünmeli söndürücülerle, British Columbia ve Berkeley Üniversitelerinde yapılan şiddetli sarsıntı deneylerinden başarılı sonuçlar alınmıştır. Dokuz katlı bir yapı üzerinde (sürtünme söndürücülerıyla güçlendirilmiş), 1985 Meksika Depremi beş kez simule edilip uygulandıktan sonra yapı elastik bölgede kalmış ve hasar görmemiştir.

Washington, Everett’de bulunan Boeing Commercial Uçak Fabrikası dünyanın en geniş hacimli yapısıdır. Çelik çerçeve 37m yüksekliğinde, 105m açıklığa sahip olup 400.000m<sup>2</sup> alana yayılmıştır.

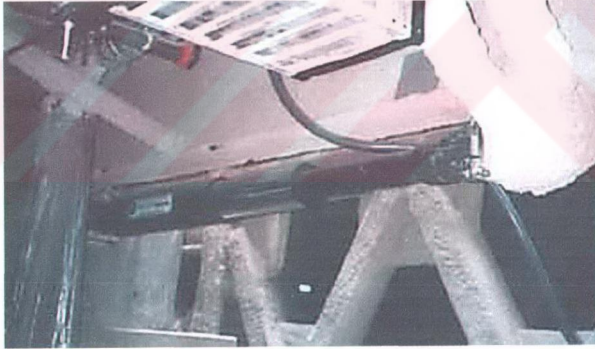
1996’da Boeing mühendisleri sismik güçlendirme için sürtünmeli söndürücülerin kullanılmasına karar vermiştir. Söndürücülerin performansı hızdan bağımsız olduğu için herhangi bir deprem anında bağlantı üzerindeki kuvvetler sabit kalmıştır. Sürtünmeli söndürücüler 100 kN kapasiteye sahiptir. Güçlendirme 1998’de tamamlanmıştır.

1991 yılında tamamlanan on katlı McConnel Binası, yenilikçi yapı tasarımında bir başyapıttır. Yüksek enerji dağılımını sağlayan sürtünmeli söndürücüler, rijit betonarme çerçevelerde çapraz çelik payandaların birleşme noktalarına monte edilmiştir (Şekil 3.11). Çelik payandaların kullanımı yüksek maliyetli beton kesme duvarlarına olan ihtiyacı gidirmiştir (Erkal, Tezcan, 2002).



Şekil 3.11 Sürtünmeli söndürücülerin çelik payandalarla kullanımı

Adalet Karargahı Binası, ulusal parlamento bölgesinde kurulmuş sekiz katlı betonarme bir binadır. Bina 1955 yılında İkinci Dünya Savaşı'nda ölen Kanadalıların anısına inşa edilmiştir. Eğimli bir bakır çatıya sahip taş kaplamalı bina bir miras yapı olarak tasarlanmıştır. Mevcut yapı, yönetmeliğe (Building Code) göre deprem kuvvetlerine karşı yeterli dayanım kapasitesine sahip değildir. Yapı 1997 yılında mevcut yapıyı korumak amacıyla büyük yeniliklerle sismik rehabilitasyona alınmıştır. Sismik geliştirme için en iyi çözüm olarak sürtünmeli söndürücüler önerilmiştir.

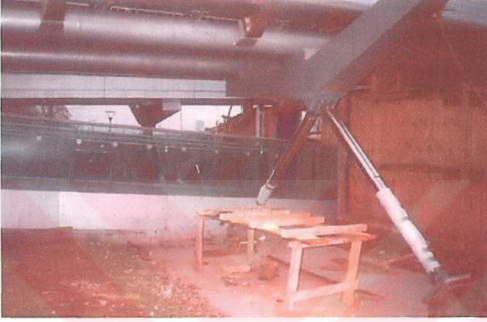


Şekil 3.12 Viskoelastik söndürücü uygulamaları

### 3.7 Viskoelastik Söndürücülerin Uygulamaları

#### 3.7.1 Kullanım Yerleri

Viskoelastik söndürücüler, taban izolasyonunda yatay olarak, üst katlarda diyagonal olarak ve aynı zamanda diyagonal çelik payandalara bağlandığında yatay formda kullanılırlar (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Viskoelastik söndürücülerin kullanım yerleri

### 3.7.2 Viskoelastik Söndürücülerin Kapasiteleri

Sıvı viskoelastik söndürücüler 5 ton ile 1000 ton arası bir kuvvet aralığına ve 305cm'lik piston sığasına uygun olarak üretilebilirler. Ayrıca  $\beta = \%20-50$  arasında yapısal sönüm sağlayabilirler (Şekil 3.14).

Söndürücülerde kullanılan silikon yağ  $T = 300^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar yanıcı değildir. İşletme sıcaklığı ise  $T = -5^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$  arasındadır.



Şekil 3.14 Viskoelastik sıvı söndürücü

### 3.7.3 Dünya Üzerindeki Uygulamalar

Amerika'da 1999 ve 2001 yılları arasında 30'a yakın önemli uygulama yapılmıştır. Türkiye'de Atatürk Havalimanı'nda uzay kafes çelik çatıyı taşıyan dairesel kolonlara 45kN kuvvet ve 2,5cm piston sığasına sahip söndürücüler bağlanmıştır.

Viskoelastik söndürücülerin bir diğer uygulaması da San Francisco Belediye Binası'nda yapılmıştır. Belediye Binası ve Eyalet Binası'nı içeren Şehir Merkez Binası hem taban izolasyonu hem de pasif kontrol sistemleriyle güçlendirilmiştir (Şekil 3.15). Belediye Binası'nın kolon ve duvarları sismik izolatörlerle güçlendirilmiş, ancak yeni Eyalet Binası daha yüksek bir yapı olduğu için en üst kattaki sallanma değeri büyük bir öneme sahip olup daha yenilikçi bir sismik tasarıma ihtiyaç duymuştur. Bu yenilikçi teknik, viskoelastik söndürücü uygulaması olmuştur (Şekil 3.16).



Şekil 3.15 Hayward Belediye binası



Şekil 3.16 Viskoelastik söndürücülerin çatı seviyesinde kullanımı

## 4.BİLGİSAYAR ANALİZLERİ [SAP2000 PROGRAMI]

### 4.1 Giriş

SAP 2000 programı ile yapıların üç boyutlu statik ve dinamik hesapları yapılabilmektedir. Programda doğrusal olmayan yapısal elemanları modellemek için 'Nlink Element' ve doğrusal olmayan davranış özelliklerini tanımlayabileceği 'Nlprop Properties' adı altında seçenekler bulunmaktadır. Bunlardan ilki modellemede kullanılan elemanlarıdır;

- Viskoelastik Söndürücü
- Gap Eleman (sadece basınçta) ve Hook Eleman (sadece çekmede)
- Tek eksenli Plastisite
- İki Eksenli Plastisiteli Taban İzolatörü
- Sürtümlü Sarkaç Taban İzolatörü

Bunlardan ikincisinde de link elemanların özellikleri verilmektedir. Doğrusal olmayan davranış sadece doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinde dikkate alınır. Diğer tüm analizlerde doğrusal olmayan link elemanlar doğrusal davranış gösterir. Doğrusal olmayan link elemanlar için altı serbestlik derecesi tanımlanabilir. Her bir serbestlik derecesi için altı ayrı deformasyon tanımlanmıştır.

- Bütün doğrusal analizlerde doğrusal etkin rijitlik ve etkin sönüm özellikleri kullanılır.
- Sadece doğrusal olmayan analizlerde kuvvet - şekil değiştirme ilişkisi kullanılır.

Doğrusal etkin sönüm sadece tepki spektrumu analizinde ve doğrusal zaman tanım alanında analiz için kullanılır. Davranış modelinin tipine bağlı olarak doğrusal olmayan kuvvet – şekil değiştirme ilişkileri ayrı ayrı veya birbirleriyle etkileşimli olabilirler.

Doğrusal olmayan özellikler adı altında her bir doğrusal olmayan link eleman için kütle, ağırlık ve doğrusal veya doğrusal olmayan kuvvet – şekil değiştirme ilişkileri verilmektedir.

Her bir eleman kendi lokal koordinat sistemine sahiptir. 1 lokal eksenli çubuk eksenli olarak kabul edilir.

- İki eksenli izolatör modelinde 1 lokal eksen i düğüm noktasını j düğüm noktasına bağlayan koordinat olarak alınmaktadır.
- Eleman bir düğüm noktalı olarak alındığında 1 lokal eksen Z global eksen olarak alınır ve pozitif yönü yukarı doğrudur.

Lokal 2 ve lokal 3 eksen, Z global eksenine göre belirlenir. Buna göre;

- 1-2 düzlemi, Z global eksenine paralel ve düşey alınır.
- Lokal 2 eksen, global Z eksenine göre düşey, global X eksen boyunca yatay olarak alınır.
- Lokal 3 eksen, X-Y düzlemine daima yataydır.

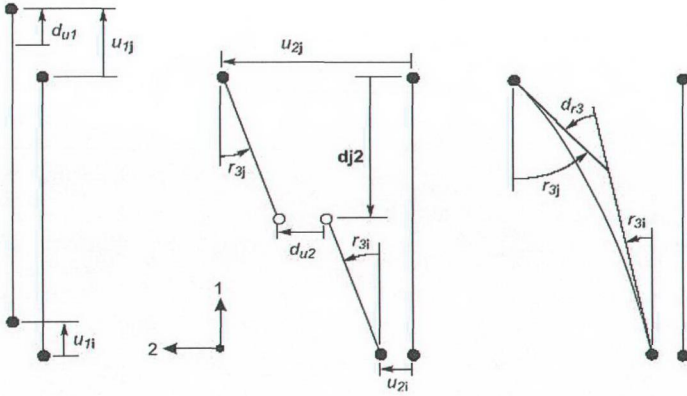
## 4.2 Deformasyonlar

Doğrusal olmayan link elemanlar için altı şekil değiştirme büyüklüğü tanımlanmıştır. Bunlar elemanın j ucunun görelî yer değiştirmesinden yararlanılarak hesaplanır. İki düğüm noktalı eleman için şekil değiştirme büyüklükleri:

- Eksenel :  $d_{u1} = u_{1j} - u_{1i}$
- 1-2 düzleminde kayma :  $d_{u2} = u_{2j} - u_{2i} - \mathbf{dj2}r_{3j} - (L - \mathbf{dj2})r_{3i}$
- 1-3 düzleminde kayma :  $d_{u3} = u_{3j} - u_{3i} - \mathbf{dj3}r_{2j} - (L - \mathbf{dj3})r_{2i}$
- Burulma :  $d_{r1} = r_{1j} - r_{1i}$
- 1-3 düzleminde salt eğilme :  $d_{r2} = r_{2i} - r_{2j}$
- 1-2 düzleminde salt eğilme :  $d_{r3} = r_{3j} - r_{3i}$

Burada;

- $u_{1i}, u_{2i}, u_{3i}, r_{1i}, r_{2i}$  ve  $r_{3i}$  i noktasındaki yer değiştirme ve dönme değerleri
- $u_{1j}, u_{2j}, u_{3j}, r_{1j}, r_{2j}$  ve  $r_{3j}$  j noktasındaki yer değiştirme ve dönme değerleri
- $\mathbf{dj2}$  j noktasından itibaren  $d_{u2}$  kayma deformasyonunun (varsayılan değer sıfır) ölçüldüğü mesafe
- $\mathbf{dj3}$  j noktasından itibaren  $d_{u3}$  kayma deformasyonunun (varsayılan değer sıfır) ölçüldüğü mesafe
- L eleman uzunluğu



Eksenel Deformasyon

Kayma Deformasyonu

Eğilme Deformasyonu

Şekil 4.1 İki eksenli Nlink elemana ilişkin deformasyonlar

### 4.3 Nlprop Özellikleri

Nlprop özellikleri, doğrusal olmayan link elemanın davranışını tanımlamada kullanılacak yapısal özellikleri içerir.

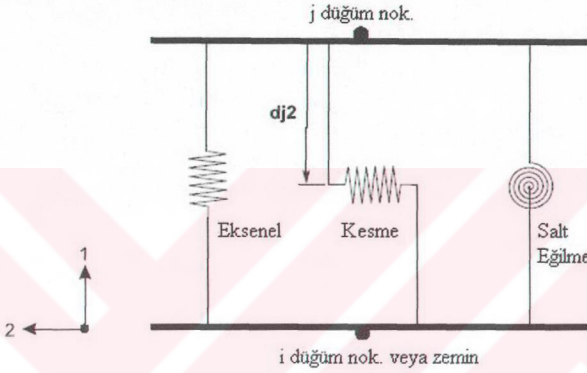
Nlprop özellikleri, altı serbestlik derecesi için seçime bağlı doğrusal olmayan kuvvet – şekil değiştirme ilişkilerini verir. Bu doğrusal olmayan özellikler sadece doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz için kullanılır. Burada aynı zamanda etkin rijitlik ve sönüm özellikleri de tanımlanmaktadır. Bu özellikler bütün doğrusal analizlerde kullanılmaktadır.

Doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesaplarında tüm serbestlik dereceleri için doğrusal olmayan kuvvet – şekil değiştirme ilişkisi kullanıldığından, doğrusal olmayan link elemanın doğrusal olmayan özelliklerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrusal olmayan özelliklerin belirtilmediği durumlarda doğrusal etkin rijitlik kullanılmaktadır.

#### 4.3.1 Doğrusal Olmayan Dahili Yaylar

Doğrusal olmayan link elemanların sahip olduğu altı serbestlik derecesi, doğrusal olmayan dahili yaylarla temsil edilmektedir. Bu yayların kuvvet – şekil değiştirme ilişkileri birbirinden bağımsızdır.

Şekil 4.1 1-2 düzlemine ait ekstenel, kayma ve eğilme deformasyonlarını göstermektedir. Tüm kesme deformasyonunun oluştuğu kesme yayı, j noktasından  $d_{j2}$  uzaklıkta yerleştirilir. Yayları zemine bağlayan link elemanlar kesme altında rijit davranmaktadır. Kayma deformasyonları yay düğüm noktalarında çevrimsel etkilere sebep olabilir. Yayıdaki bu kuvvet uzunluk boyunca doğrusal değişken bir moment üretir ve bu moment, bir mafsal gibi çalışan kesme yayında sıfır olarak kabul edilir.



Şekil 4.2 (1-2) düzlemine ait deformasyonların idealizasyonu

#### 4.3.2 Yay Kuvvet – Şekil Değiştirme İlişkileri

Şekil değiştirmelere karşılık gelen yay kuvvetleri elemanın davranışını belirler:

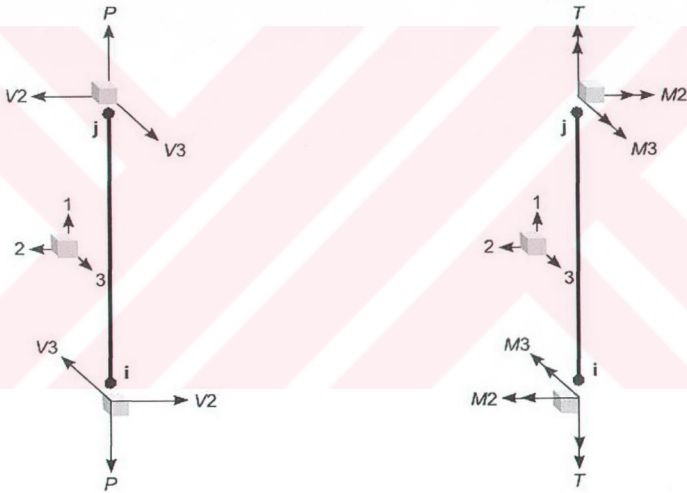
- Eksenel :  $d_{u1}$  için  $f_{u1}$
- Kayma :  $d_{u2}$  için  $f_{u2}$  ve  $d_{u3}$  için  $f_{u3}$
- Burulma :  $d_{r1}$  için  $f_{r1}$
- Eğilme :  $d_{r2}$  için  $f_{r2}$  ve  $d_{r3}$  için  $f_{r3}$

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

### 4.3.3 Eleman İç Kuvvetleri

$P$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  eleman kesit kuvvetleri ve  $T$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  kesit momentleri çubuk elemanlarda olduğu gibidir. Söz konusu kuvvet ve momentler yay kuvvet ve momentleri cinsinden ifade edilebilir;

- Aksenal :  $P = f_{u1}$
- 1-2 düzleminde kayma :  $V_2 = f_{u2}$
- 1-3 düzleminde kayma :  $V_3 = f_{u3}$
- Burulma :  $T = f_{r1}$
- 1-3 düzleminde eğilme :  $M_{2b} = f_{r2}$
- 1-2 düzleminde eğilme :  $M_{3b} = f_{r3}$



Şekil 4.3 Nlink elemanı iç kuvvet ve momentleri

Kayma ve eğilme etkileri birlikte düşünüldüğünde,

$$M_2 = M_{2s} + M_{2b} \quad (4.1)$$

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

şeklinde yazılabilir.

#### 4.3.4 Doğrusal Kuvvet – Şekil Değiştirme İlişkileri

Eğer dahili yayların hepsi doğrusal davranırsa, yay kuvvet – şekil değiştirme ilişkisi matris formda şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{Bmatrix} f_{u1} \\ f_{u2} \\ f_{u3} \\ f_{r1} \\ f_{r2} \\ f_{r3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & k_{u3} & 0 & 0 & 0 \\ & & & k_{r1} & 0 & 0 \\ \text{simetrik} & & & & k_{r2} & 0 \\ & & & & & k_{r3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{u1} \\ d_{u2} \\ d_{u3} \\ d_{r1} \\ d_{r2} \\ d_{r3} \end{Bmatrix} \quad (4.2)$$

Burada,  $k_{u1}$ ,  $k_{u2}$ ,  $k_{u3}$ ,  $k_{r1}$ ,  $k_{r2}$ ,  $k_{r3}$  dahili yay doğrusal rijitlik katsayılarıdır.

Benzer ilişkiler doğrusal sönüm davranışı için de verilebilir. Ancak burada rijitlik terimleri yerine sönüm katsayıları, deplasman terimleri yerine ise hız değerleri yerleştirilmelidir.

#### 4.3.5 Doğrusal Etkin Rijitlik

Doğrusal olmayan link elemanlarda her bir dahili yay için doğrusal etkin rijitlik katsayıları,  $k_e$ , tanımlanmalıdır.

Bütün doğrusal analizler için tanımlanan doğrusal etkin rijitlik değeri, doğrusal olmayan link elemanın toplam elastik rijitliğini temsil etmektedir. Gerçek doğrusal olmayan özellikler doğrusal analizler için yok sayılmıştır. Doğrusal etkin rijitlik değeri doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizinde her serbestlik derecesi için tanımlanacaktır.

#### 4.3.6 Doğrusal Etkin Sönüm

Doğrusal olmayan link elemanlarda her bir dahili yay için doğrusal etkin sönüm katsayıları,  $c_e$ , tanımlanmalıdır.

Tepki spektrumu analizlerinde, doğrusal ve periyodik zaman tanım alanı analizlerinde doğrusal etkin sönüm, doğrusal olmayan link elemanın toplam viskoz sönümünü temsil etmektedir. Gerçek doğrusal olmayan özellikler bu tip analizler için yok sayılmıştır. Etkin sönüm, doğrusal olmayan sönüme, plastisiteye veya sürtünmeye bağlı olarak enerji sönümünü temsil etmek için kullanılabilir.

Etkin kuvvet-şekil değiştirme ilişkileri doğrusal olmayan link elemanlar için 4.2’de verilen eşitlikte bulunan  $k_{u1}$ ,  $k_{u2}$ ,  $k_{u3}$ ,  $k_{r1}$ ,  $k_{r2}$ ,  $k_{r3}$  değerleriyle uygun  $c_c$  değerlerinin ve uygun deformasyon değerlerine bağlı elde edilebilir.

#### 4.3.7 Doğrusal Olmayan Özellikler

SAP 2000 bilgisayar programında doğrusal olmayan davranış özellikler; Damper Property, Gap Property, Hook Property, Plastic 1 Property, Isolator 1 Property ve Isolator 2 Property isimleriyle anılmaktadır. Damper property, viskoelastik söndürücülerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan serbestlik derecesine olarak ve doğrusal olmayan kuvvet – şekil değiştirme ilişkisinin uygun olarak bu özelliklerden biri seçilir.

Bütün serbestlik dereceleri için doğrusal etkin rijitlik ve etkin sönmüm özellikleri belirlenir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizinde, göz önüne alınan kuvvet-şekil değiştirme ilişkileri, adım adım doğrusallaştırılarak dikkate alınır.

Her doğrusal olmayan kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi bir rijitlik katsayısı,  $k$ , içerir. Bu katsayı, doğrusal etkinin ihmal edilebilir olduğu durumlarda doğrusal rijitliği temsil etmektedir.

#### 4.3.8 Damper Property

Her serbestlik derecesi için, bağımsız sönmüm değerleri belirlenir. Sönmüm özellikleri, viskoelastisiteye sahip bir söndürücü ve yaydan oluşan Maxwell modeli temel alınarak oluşturulmuştur.

Doğrusal olmayan kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi;

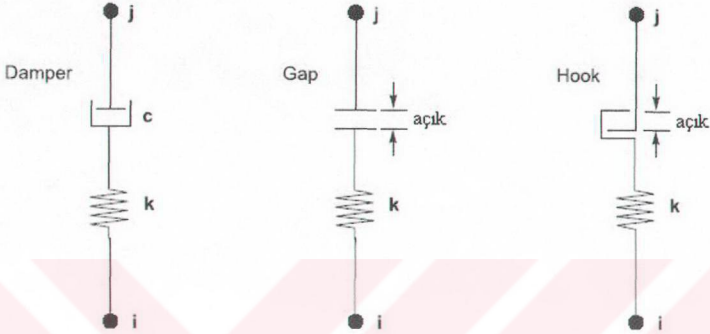
$$f = kd_k = cd_c^{c_{exp}} \quad (4.3)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $k$ , yay katsayısı,  $c$ , sönmüm katsayısı,  $c_{exp}$ , üssel bir sayı,  $d_k$ , yay boyunca şekil değiştirme ve  $d_c$ , söndürücü boyunca şekil değiştirme hızıdır.  $c_{exp}$ , pozitif olmalıdır; pratik aralık 0,2 ile 2,0 arasındadır. Yay ve söndürücü şekil değiştirmeleri beraber düşünöldüğünde;

$$d = d_k + d_c$$

(4.4)

dir. Eğer salt söndürücü davranışı istenirse, yay etkisi yeterli derecede rijit yapılarak ihmal edilebilir.

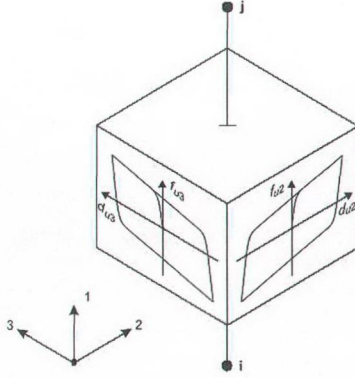


Şekil 4.4 Damper, Gap, Hook Property elemanlarının aksel deformasyon idealizasyonu

#### 4.3.9 Isolator Property

İki doğrultuda ortogonal ve etkileşimli kayma şekil değiştirmeleri için plastik davranış gösteren ve diğer dört şekil değiştirme için doğrusal etkin rijitlik gösteren, çift eksenli çevrimsel bir izolatördür.

Bu eleman için oluşturulan plastik model, Wen, 1976 ve Park, Wen ve Ang 1986'da öngörülen histeretik davranışı esas alır.



Şekil 4.5 Isolator Property elemanın iki eksenli kayma davranışı idealizasyonu

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-şekil değiştirme ilişkisi:

$$f_{u2} = \text{ratio2 } k_2 d_{u2} + (1 - \text{ratio2}) \text{yield2 } z_2 \quad (4.5)$$

$$f_{u3} = \text{ratio3 } k_3 d_{u3} + (1 - \text{ratio3}) \text{yield3 } z_3 \quad (4.6)$$

şeklinde olacaktır. Burada;

$k_2$  ve  $k_3$  : elastik yay katsayıları;

yield2, yield3 : akma kuvvetleri;

ratio2, ratio3 : akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı;

$z_2$  ve  $z_3$  : iç histeretik değişkenlerdir.

$\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$  aralığında değişkenler değer alırlar ve  $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$  zarfı akma yüzeyi olarak ifade edilir.  $z_2$  ve  $z_3$  başlangıç değerleri 0'dır ve aşağıdaki diferansiyel denkleme göre değeri alırlar;

$$\begin{bmatrix} z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \frac{k_2}{\text{yield2}} d_{u2} \\ \frac{k_3}{\text{yield3}} d_{u3} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

$$a_2 = \begin{cases} 1, & d u'_2 z_2 > 0 \\ 0, & d u'_2 z_2 < 0 \end{cases}$$

$$a_3 = \begin{cases} 1, & d u'_3 z_3 > 0 \\ 0, & d u'_3 z_3 < 0 \end{cases}$$

(4.8)



## 5. SİSMİK İZOLASYON İÇİN ANALİTİK HESAPLAMALAR [UBC 1997]

### 5.1 Giriş

Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan gerekli tanımlamalara ve formülasyonlara değinilmiştir. Türkiye deprem yönetmeliğinde (TDY-1998), sismik taban izolatörleri kullanılarak binaları depreme karşı güvenli hale getirmeye ilişkin hususlara yer verilmemiştir. Bu nedenle, bu çalışmada Amerikan bina yönetmeliğinin (UBC-1997) ilgili maddeleri esas alınmıştır.

### 5.2 Tasarım Yöntemleri

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

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

Yerel zemin koşullarına bağlı olarak izole edilecek yapı yumuşak zeminde ise veya aktif fay hattına 10 km uzaklıkta bulunuyorsa ve maksimum olabilecek deprem yükü altında periyodu 3 s'den büyüğe, yönetmelik spektral hesabı şart koşturmuştur. Aynı zamanda tepki spektrumu hesabı, söz konusu üst yapı, yatayda ve düşeyde düzensiz, dört kattan fazla ya da 19,8m'den yüksek ise zorunlu tutulmuştur.

### 5.3 Teknik Terimlerin Tanımlanması

- **Tasarım Esaslı Deprem (DBE):** 475 yıllık periyotlarda, 50 yıllık zaman diliminde aşılma ihtimalinin % 10 olduğu yer hareketi.
- **Olabilecek Maksimum Deprem (MCE):** 1000 yıllık periyotlarda, 100 yıllık zaman diliminde aşılma ihtimalinin % 10 olduğu yer hareketi.
- **Efektif Sönüm ( $\beta$ ):** İzolasyon sisteminin çevrimsel tepkisi boyunca dağıtılan enerji miktarına bağlı eşdeğer viskoz sönüm değeri.
- **Efektif Rijitlik ( $k$ ):** İzolasyon sistemindeki yanal kuvvetin yanal deplasmana bölünmesiyle elde edilen değeri.
- **Tasarım Yer Değıştirmesi ( $d_D$ ):** İzolasyon sistemi tasarımında burulma etkilerini içermeyen tasarım deprem yer değıştirme değeri.

- **Maksimum Yer Değiştirme ( $d_M$ ):** İzolasyon sistemi tasarımında burulma etkilerini içermeyen olabilecek maksimum deprem yer değiştirme değeri.
- **Toplam Tasarım Yer Değiştirmesi ( $d_{td}$ ):** Burulma etkilerini de içeren tasarım yer değiştirme değeri.
- **Toplam Maksimum Yer Değiştirme ( $d_{tM}$ ):** Burulma etkilerini de içeren maksimum yer değiştirme değeri.
- **Tasarım Periyodu ( $T_D$ ):** Sismik izolasyonlu yapının, tasarım yer değiştirmesine göre saniye cinsinden etkin periyot değeri.
- **Tasarlanan Maksimum Periyot ( $T_M$ ):** Sismik izolasyonlu yapının, maksimum yer değiştirmeye göre saniye cinsinden etkin periyot değeri.

#### 5.4 Ön Tasarım

Bu kısımda ön tasarımda kullanılan parametreler tanımlanmıştır.

- **Sismik Bölge Faktörü:** Sismik bölge faktörü  $Z$ , UBC-97'de Tablo 16-1'da sismik bölgeye göre belirlenmiştir. Sismik bölge, UBC-97'de Şekil 16-2'den belirlenir.
- **Zemin Profil Kategorisi:** UBC-97, Tablo 16-J'den seçilir.
- **Sismik Kaynak Tipi:** UBC-97, Tablo 16-U'dan alınır.
- **Kaynak Yakınlık Faktörleri:** Sismik kaynak tipine bağlı  $N_a$ ,  $N_v$  değerleri UBC-97, Tablo 16-S ve Tablo 16-T'de verilmiştir.
- **Tasarım Depremi Sarsıntı Şiddetinin Hesaplanması:** Bu değer  $Z$  ve  $N_v$  değerlerinin çarpılmasıyla elde edilir.
- **Maksimum Deprem Davranış Katsayısı:**  $M_M$ , hesaplanan tasarım depremi sarsıntı şiddeti değeri kullanılarak, UBC-97, Tablo A 16-D'den okunur.
- **Sismik Katsayılar:**  $C_A$ ,  $C_V$  değerleri UBC-97, Tablo 16-Q ve Tablo 16-R'den bulunur.  $C_{AM}$ ,  $C_{VM}$  değerleri de (5.1) ve (5.2) bağıntıları yardımıyla hesaplanır. Bu bağıntılarda kullanılan katsayılar sırasıyla Tablo A 16-F ve Tablo A 16-G 'den alınır.

$$\alpha = M_M Z N_a \rightarrow C_{AM} = 1,1\alpha \quad (\text{Tablo A 16-F}) \quad (5.1)$$

$$\acute{\alpha} = M_M Z N_v \rightarrow C_{VM} = 1,6\acute{\alpha} \quad (\text{Tablo A 16-G}) \quad (5.2)$$

- **İzolasyon Sisteminin Efektif Sönümü:**  $\beta_{\text{eff}}$  değeri kullanılan mesnet tipine göre (5.3) bağıntısından (UBC-97, Formül 65-2) elde edilir:

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi} \frac{\text{kuvvet-deplasmangrafik alan}}{k_D d_D^2} \quad (5.3)$$

$k_D$ ; etkin rijitlik,  $d_D$ ; tasarım deprem yer değiştirmesi değeridir.

- **Sönüm Azaltma Faktörü:** B değeri UBC-97, Tablo 16-C'den okunur.

- **Yapısal Tepki Azaltma Faktörü:**  $R_i$  değeri, taşıyıcı sistem tipine göre UBC-97, Tablo A 16-E'den belirlenir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 Ankastre mesnetli ve izolasyonlu yapıya ilişkin süneklığe bağlı azaltma faktörleri(UBC 97)

Taşıyıcı Sistem	RI (izolasyonlu)	R (ankastre)
Moment aktaran çerçeve	2	8,5
Perde duvarı	2	5,5
Merkezi çaprazlı çerçeve	1,6	5,6
Dış merkez çaprazlı çerçeve	2	7

- **Tasarım Taban Kesme Kuvveti:** Toplam tasarım kesme kuvveti,  $V$ , (5.4) bağıntısıyla (UBC-97, Formül 30-4, 30-5 ve 30-6) hesaplanır.

$$0.11C_A I W \leq V = \frac{C_v I}{RT} W \leq \frac{2.5C_A I}{R} W \quad (5.4)$$

Burada  $W$ ; yapının ağırlığı,  $I$ ; bina önem katsayısı,  $R$ ; taşıyıcı sistem davranış katsayısı,  $T$ ; tasarım periyodudur.

### 5.5 Hedef Periyot ve Malzeme Özellikleri

İzolasyon sisteminde temel titreşim periyotlarının 2-3s arasında olması istenir.  $T_D$  ve  $T_M$  sırasıyla tasarım periyodu ve maksimum deprem periyotlarıdır. Elastisite modülü  $E$ , kayma modülü  $G$  ve maksimum kayma şekil değiştirmesi  $\gamma_{\text{max}}$ , kullanılan mesnet tipine göre seçilir.

### 5.6 Minimum Yatay Rijitliklerin Hesaplanması

İzolasyon sisteminin minimum etkin rijitlik değerleri  $k_{D,min}$  ve  $k_{M,min}$ , aşağıdaki bağıntılarla (UBC-97, Formül 58-2 ve 58-4) hesaplanır.

$$k_{D,min} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} \quad (5.5)$$

$$k_{M,min} = \frac{4\pi^2 W}{T_M^2 g} \quad (5.6)$$

Burada  $W$ ; her bir izolatörün taşıdığı ağırlık,  $g$ ; yer çekimi ivmesidir.

### 5.7 Minimum Yer Değiştirmelerin Hesaplanması

UBC-97'de minimum tasarım yer değiştirmeleri  $d_{D,min}$  ve  $d_{M,min}$ , izolasyon sisteminin belirlenen doğrultuda rijit kaldığı düşüncesiyle (5.7) ve (5.8) bağıntıları ile (UBC 97 Formül 58-1 ve 58-3) hesaplanır.

$$d_{D,min} = \frac{g C_{VD} T_D}{B(4\pi^2)} \quad (5.7)$$

$$d_{M,min} = \frac{g C_{VM} T_M}{B(4\pi^2)} \quad (5.8)$$

Burada,  $C_{VD}$ ,  $C_{VM}$ ; sismik katsayılar,  $B$ ; sönüm azaltma faktörüdür.  $B$  değerleri efektif sönüme bağlı olarak Çizelge 5.2 'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Sönüm azaltma faktörü katsayıları,  $B$

Efektif Sönüm, $\beta_{eff}$ kritik sönümün yüzdesi olarak	Sönüm azaltma faktörü, $B$
% 2 ve aşağısı	0,8
% 10	1,0
% 20	1,5
% 30	1,7
% 40	1,9
% 50 ve yukarısı	2,0

### 5.8 Disk Çapının Belirlenmesi

Kauçuk mesnet yüksekliği,  $t$ ,  $d_D = t\gamma_{\max}$  bağıntısından elde edilir;

$$t = \frac{d_D}{\gamma_{\max}} \quad (5.9)$$

Burada  $\gamma_{\max}$ ; maksimum kayma şekil değiştirmesi.

Kauçuk mesnet kesit alanı,  $A$ ,  $k_D = AG/t$  bağıntısından elde edilir;

$$A = \frac{k_D t}{G} \quad (5.10)$$

$G$ ; kayma modülü

Mesnet çapı,  $D$ ;

$$D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (5.11)$$

### 5.9 İzolasyonlu Yapı Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması

İzolatörlerin toplam rijitlikleri kullanılarak titreşim periyodu hesaplanırsa;

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{W}{\sum k_D g}} \quad (5.12)$$

Yapısal elemanlar üzerindeki, izolasyonlu sistemin taban kesme kuvveti  $V_D$ , aşağıdaki formülle hesaplanan değere yakın veya altında olmalıdır.

$$V_D = (\sum k_D)d_D \quad (5.13)$$

İzolasyonlu sistem üzerindeki elemanların taban kesme kuvveti,  $V_{S,D}$ , yapısal tepki katsayısı  $R_i$  ile azaltılır.

$$V_{S,D} = (\sum k_D)d_D \frac{B}{R_i} = V_D \frac{B}{R_i} \quad (5.14)$$

Taban izolasyonlu sistemlerde  $R_i=2$ 'dir. UBC-97'de ankastre mesnetli bir yapı için istenen yanal sismik kuvvet,  $V_{\text{ankastre}}$ , izolasyonlu yapı periyodunun hedeflenen periyoda ( $T_D$ ) eşit olması durumundan elde edilir:

$$V_{\text{ankastre}} = \frac{C_v I}{R T_D} W \geq 0.11 C_a I W \quad (5.15)$$

$V_{S,D}$  değeri,  $V_{\text{ankastre}}$  değerinden az olmamalıdır.

### 5.10 Toplam Yer Değiştirmenin Hesaplanması

Burulma etkilerinin de dikkate alındığı toplam yer değiştirme değeri,  $d_{total}$ , UBC-97, Formül 58-5'de aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmiştir:

$$d_{total} = d_D \left( 1 - \frac{12xe_x}{b^2 + d^2} \right) \quad (5.16)$$

$$x = X - e_x \quad (5.17)$$

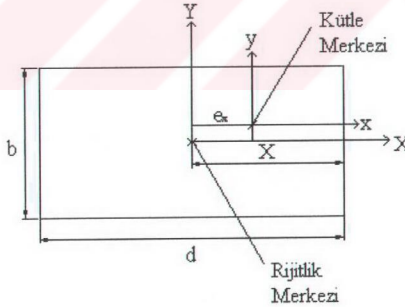
$e$  ve  $d$  değerleri deprem doğrultusuna dik yöndeki değerlerdir. UBC-97, 1658.3.5'deki düzenlemeye göre  $d_{total}$ ,  $d_D$ 'nin 1.1 katından az olmamalıdır.

$$e_x = e_r \pm 0.05d \quad (5.18)$$

$$e_r = \frac{\sum X_i k y_i}{\sum k y_i} \quad (5.19)$$

Burada  $e_r$ ; dış merkezlik,  $e_x$ ; dış merkezlikle, %5 dış merkezliğin toplamı,  $x$ ; deprem doğrultusuna dik kenar uzaklığıdır.

Yukarıdaki açıklamalar depremin Y doğrultusuna göre yapılmıştır. Aynı hesaplamalar benzer şekilde X doğrultusu için de yapılabilir. İzolatörde burulma dış merkezliğine bağlı bir azalmaya müsaade edilmemiştir. Sadece artımlar dikkate alınmıştır.



Şekil 5.1 Burulmaya bağlı dış merkezlik

### 5.11 Düşey Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Kauçuk katman kalınlığı  $t_0$  aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır;

$$\frac{D}{80} \leq t_0 \leq \frac{D}{40} \quad (5.20)$$

Kauçuk katmanların şekil faktörü  $S$ ;

$$S = \frac{\text{Yüklü Alan}}{\text{Serbest Alan}} = \frac{\text{Disk Alanı}}{\text{Yanal Alan}} = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi D t_0} = \frac{D}{4 t_0} \quad (5.21)$$

Kauçuk mesnet düşey rijitliği,  $k_e$ ;

$$k_e = \frac{A E_c}{t} \quad (5.22)$$

$t$ ; mesnet yüksekliği,  $E_c$ ; elastisite modülü

Düşey yer değiştirme,  $\Delta t$ ;

$$\Delta t = \frac{W t}{A E_c} = \frac{W}{k_e} \quad (5.23)$$

Kesme zorlanmasına bağlı düşey rijitlik,  $k_\gamma$ ;

$$k_\gamma = \frac{W}{\Delta t} = 6 S^2 \frac{A G}{t} \quad (5.24)$$

$S$ ; şekil faktörü

Düşey rijitlik aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\frac{1}{k_v} = \frac{1}{k_e} + \frac{1}{k_\gamma} \quad (5.25)$$

Düşey doğrultudaki efektif sıkışma modülü;

$$E_{\text{eff},v} = \frac{6 G S^2 E_c}{6 G S^2 + E_c} \quad (5.26)$$

Düşey titreşim periyodu,  $T_v$ ;

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g k_\gamma}} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \frac{6 S^2 A G}{t}}} \quad (5.27)$$

Yatay rijitlik,  $k_h$ ;

$$k_h = \frac{A G}{t} \quad (5.28)$$

Yatay periyot,  $T_h$ ;

$$T_h = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gk_h}} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{AG \frac{g}{t}}} \quad (5.29)$$

Buradan;

$$\frac{T_h^2}{T_v^2} = 6S^2 \rightarrow \frac{T_h}{T_v} = \sqrt{6S} \quad (5.30)$$

Sonuç olarak, düşey titreşim periyodu,  $T_v$ ;

$$T_v = \frac{T_h}{\sqrt{6S}} \quad (5.31)$$

## 5.12 Kayma Şekil Değiştirmesi ve Düşey Yükün Hesaplanması

### 5.12.1 Kayma Şekil Değiştirmesinin Hesaplanması

Düşey yüke bağlı kayma şekil değiştirmesi,  $\gamma_v$  aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir;

$$\gamma_v = 6S\varepsilon_z \quad (5.32)$$

Bu bağıntıda;

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta t}{t_0} \quad (5.33)$$

olarak tanımlanmıştır.

Yatay yüke bağlı kayma şekil değiştirmesi,  $\gamma_s$ ;

$$\gamma_s = \frac{\tau}{G} = \frac{V_D}{AG} = \frac{k_D d_D}{AG} \quad (5.34)$$

Yatay ve düşey kayma şekil değiştirmelerinin toplanmasıyla elde edilen maksimum kayma şekil değiştirmesi,  $\gamma_{\max}$  ise;

$$\gamma_{\max} = \gamma_s + \gamma_v \quad (5.35)$$

şeklinde yazılabilir.

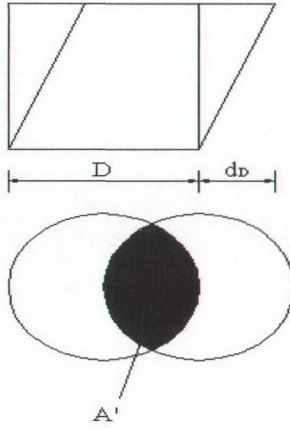
### 5.12.2 Ortak Alan Hesabı

İzolatör ortak alanı,  $A'$ ;

$$A' = A \left[ 1 - \frac{2}{\pi} (\theta + \sin \theta \cos \theta) \right] \quad (5.36)$$

Burada;

$$\sin \theta = d_D / D \text{ dir.} \quad (5.37)$$



Şekil 5.3 Kayma yer değiştirmesi  $d_D$  ve ortak alan  $A'$

### 5.12.3 Maksimum Düşey Yükün Hesaplanması

Maksimum düşey yük aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$W = A'GS\gamma_v \quad (5.38)$$

Bu bağıntıda  $A'$ , izolatör ortak alanını ifade etmektedir.

### 5.12.4 Burkulma Riski Hesabı

Burkulma riski için kritik düşey yük;

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{AG\pi^2 E_{eff,v} I}{3t^2}} \quad (5.39)$$

Burada;

$$I = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{2} \right)^4 \quad (5.40)$$

şeklinde ifade edilir. Bu bağıntılarda  $E_{eff,v}$ ; düşey doğrultudaki efektif sıkışma modülünü göstermektedir.

## 5.13 Kurşun Çekirdeğin Boyutlandırılması

### 5.13.1 Kurşun Çekirdek Çapı

Kurşun çekirdek çapı ve alanı (5.41) ve (5.42) bağıntıları ile hesaplanır;

$$d_1 \leq \frac{t}{1.5} \quad (5.41)$$

$$A_{\text{kurşur}} = \frac{\pi d_1^2}{4} \quad (5.42)$$

### 5.13.2 Akma Anındaki Kesme Kuvveti

Akma kuvveti  $Q_y$  yaklaşık olarak;

$$Q_y = \tau_y A_{\text{kurşur}} \quad (5.43)$$

Akma kesme gerilmesi  $\tau_y=10.5$  MPa alınabilir.

$Q_y$ 'nin hesabında diğer bir yol da çevrimsel döngü altındaki alanı belirlemektir.

$$A_{\text{döngü}} \cong 4Q_y (d_D - d_y) \quad (5.44)$$

Burada  $d_y$  ihmal edilirse;

$$A_{\text{döngü}} \cong 4Q_y d_D \quad (5.45)$$

elde edilir.

Böylece akma kesme kuvveti;

$$Q_y \cong \frac{A_{\text{döngü}}}{4d_D} \quad (5.46)$$

$$A_{\text{döngü}} = \beta_{\text{eff}} (2\pi k_D d_D^2)$$

(5.47)

Burada  $\beta_{\text{eff}}$ ;

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{2 A_{\text{döngü}}}{\pi A_{\text{dikdört}}} = \frac{A_{\text{döngü}}}{2\pi k_D d_D^2} = 0.15 \quad (5.48)$$

### 5.13.3 Çapın Kesme Kontrolü

İzolatörler üzerindeki toplam kuvvet aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$V_D = V_{\text{kurşur}} + V_{\text{kauçuk}} = Q_y + k_2(d_D - d_y) \quad (5.49)$$

Bu ifadede kurşun çekirdeğin akma yer değiştirmesi (Şekil 5.4);

$$d_y = \frac{Q_y}{k_1} \quad (5.50)$$

olarak ifade edilir.

$k_1$ ; kurşun çekirdeğin akma rijitliği;

$k_2$ ; kurşun çekirdeğin plastik rijitliği;

$Q_y$ ; akma kuvveti,

olarak tanımlanmaktadır. Yukarıdaki değerler (5.49) bağıntısında yerine konursa;

$$V_D = Q_y + k_2 \left( d_D - \frac{Q_y}{k_1} \right) = Q_y \left( 1 - \frac{k_2}{k_1} \right) + k_2 d_D \quad (5.51)$$

elde edilir

Genellikle;  $k_1 \sim 10k_2$  ve  $k_{\text{eff}} = V_D/d_D$  'dir.(Şekil 5.4). (5.51) bağıntısı ile tanımlanan  $V_D$  değeri yerine konursa aşağıdaki bağıntı elde edilir.

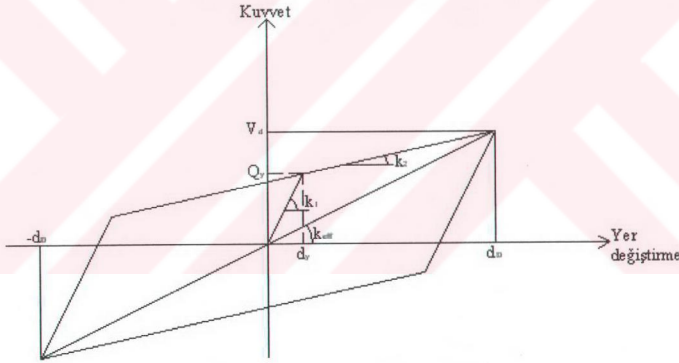
$$k_{\text{eff}} = \frac{V_D}{d_D} = \frac{Q_y}{d_D} \left( 1 - \frac{k_2}{k_1} \right) + k_2 \quad (5.52)$$

Bu bağıntıda  $k_{\text{eff}}$  etkin rijitliği göstermektedir.

Eğer  $k_2/k_1 = 0.1$  ihmal edilirse, kauçuğun rijitliği;

$$k_2 \approx k_{\text{eff}} - \frac{Q_y}{d_D} \quad (5.53)$$

olur.



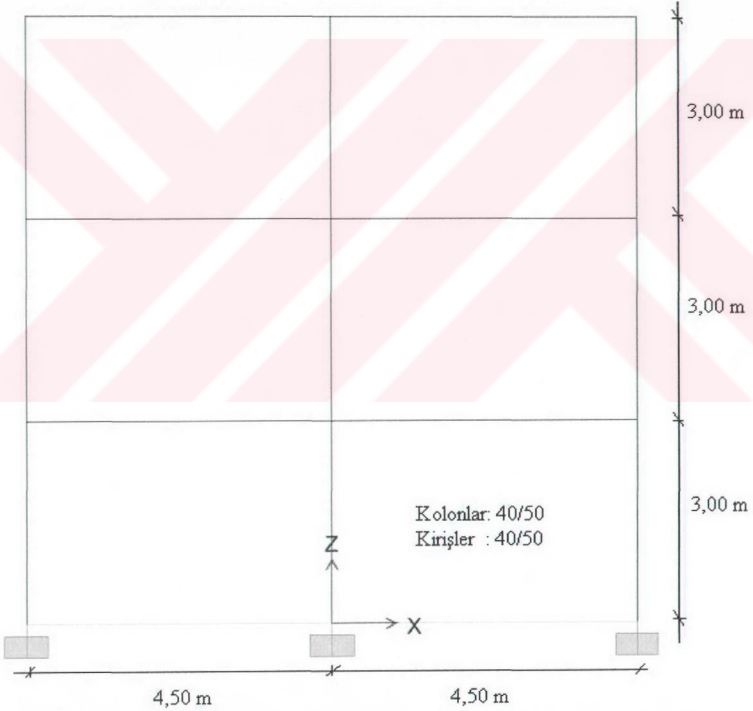
Şekil 5.4 Kurşun saplmalı kauçuk mesnedin kuvvet-yer değiştirme ilişkisi

## 6. UYGULAMA

### 6.1 Giriş

Deprem şiddetinin sismik izolasyon ve pasif enerji dağılım sistemleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Bu çalışmada SAP 2000n bilgisayar programı kullanılmıştır.

Seçilen üç katlı betonarme çerçeve yapıda kolonlar;  $40 \times 50$ , kirişler  $40 \times 50$  cm olarak boyutlandırılmıştır. Beton sınıfı BS25 ve çelik sınıfı S220 olarak alınmıştır. Toplam bina ağırlığı 2354,4 kN olup kat yükseklikleri her kat için 3 m'dir.



Şekil 6.1 Örnek çerçeve yapı modeli

Seçilen çerçeve sistem üzerinde dört farklı model tanımlanmıştır:

İlk olarak, sistem herhangi bir pasif enerji dağılım sistemi olmaksızın ankastre mesnetli duruma göre analiz edilmiştir (Şekil 6.2). İkinci modelde yine viskoelastik söndürücüler olmaksızın bina temel seviyesinde sismik izolatörler kullanılmıştır (Şekil 6.3). Üçüncü modelde, ankastre mesnetli sistemin her kat ve açıklığına diyagonal viskoelastik söndürücüler eklenmiştir (Şekil 6.4). Dördüncü modelde de taban izolatörleri ve viskoelastik söndürücüler birlikte kullanılmıştır (Şekil 6.5).

Bu uygulamada sismik izolatör ve söndürücüler NLink data kümesiyle modellenmiştir. İzolatör ve söndürücülerin doğrusal davranışlarını görmek amacıyla doğrusal zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Doğrusal zaman tanım alanında analiz boyunca, doğrusal kuvvet-deformasyon ilişkileri tüm serbestlik dereceleri için kullanılmıştır.

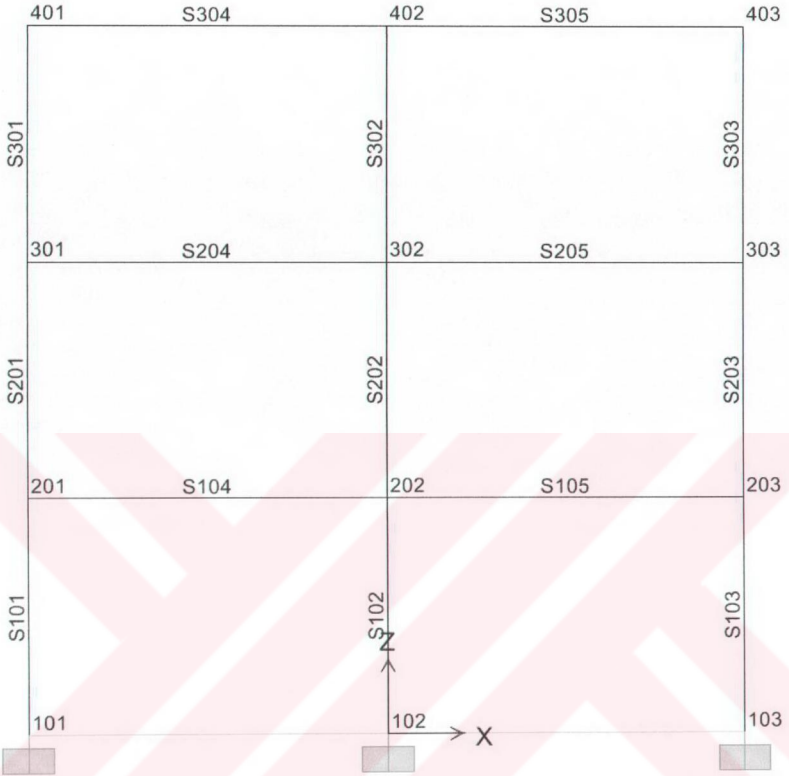
Sismik izolatör olarak kurşun saplamalı kauçuk mesnetler kullanılmış ve boyutlandırma hesaplarına değinilmiştir.

Sistemde sismik izolatörlerin yanı sıra viskoelastik söndürücü aygıtlar kullanılmıştır. Söndürücülere bağlı olarak yapıda  $\beta=21,30$  kritik sönüm üretilebilir. Etkin rijitlik ve viskozite katsayısı sırasıyla  $k_{eff}=24895$  kN/m ve  $c_{eff}=3500$  kN-s/m alınmıştır..

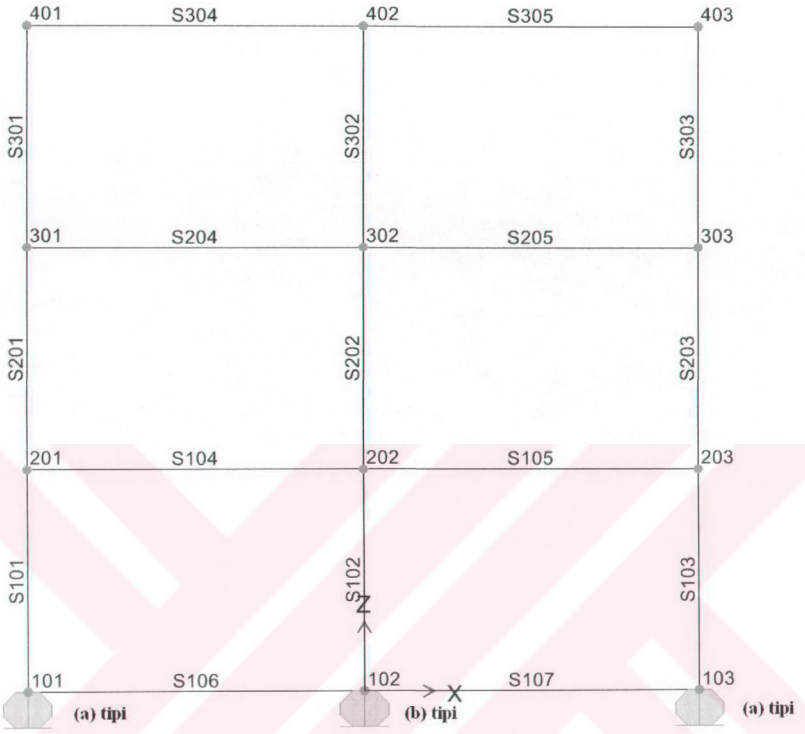
İlk olarak, kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının UBC 97 yönetmeliğine göre tasarımı yapılmıştır. Daha sonra da boyutlandırma ile ilgili büyüklükler hesaplanmıştır.

Bu uygulamada, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin kuzey-güney bileşeni dikkate alınarak doğrusal zaman tanım alanında analiz yapılmıştır.

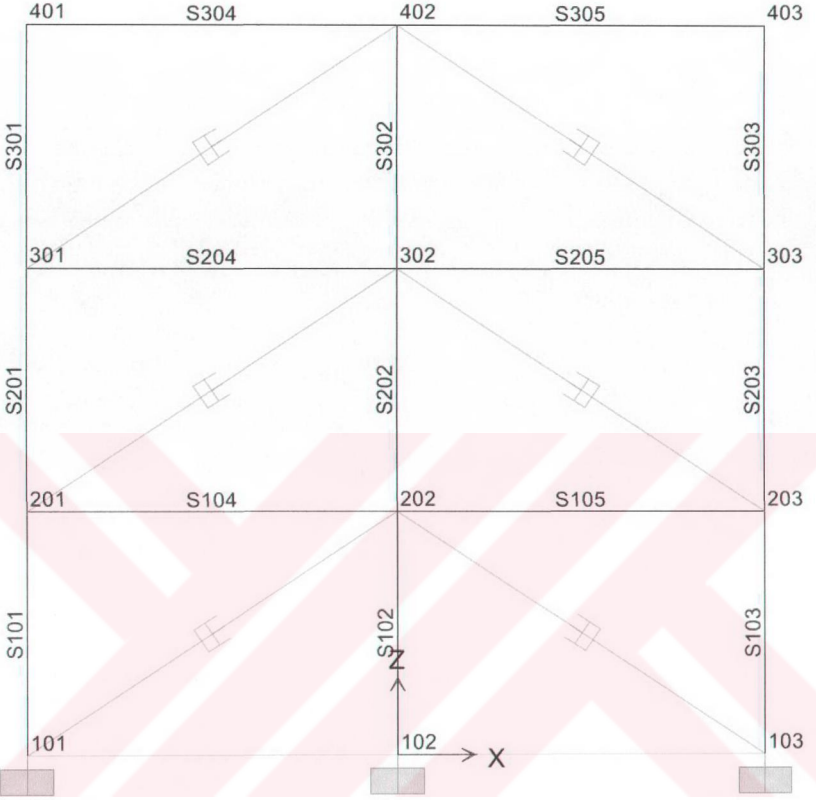
Yer	: Yarımca İstasyonu
Tarih	: 17/08/1999 03:01:39
İvme kayıt sayısı	: 27163
Zaman aralığı(s)	: 0,005
Deprem Episantr koordinatları:	40.752N – 29.987E



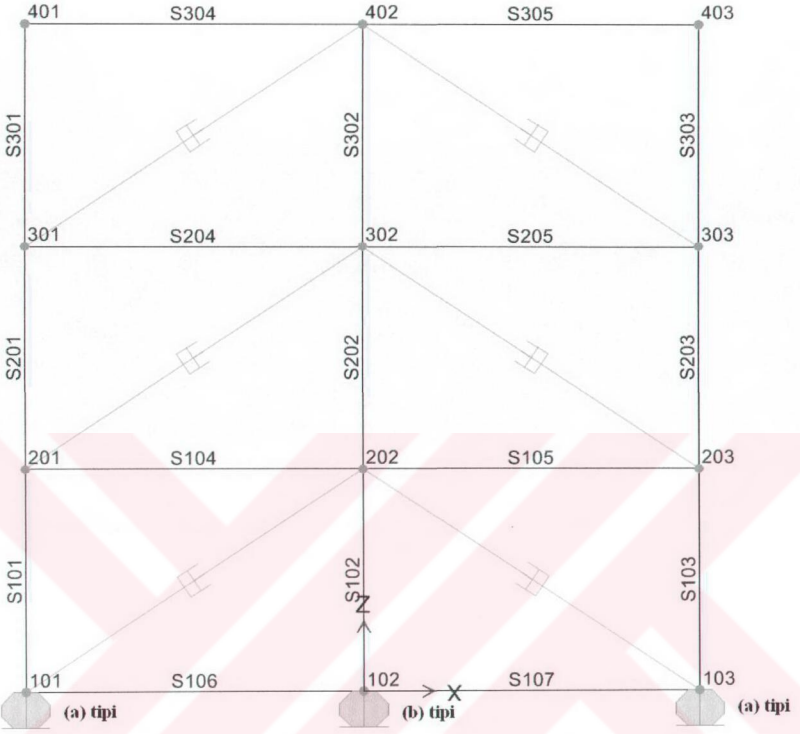
Şekil 6.2 Ankastré mesnetli sistem modeli



Şekil 6.3 Sismik izolasyonlu sistem modeli



Şekil 6.4 Viskoelastik söndürücü takviyeli ankastre sistem modeli



Şekil 6.5 Viskoelastik söndürücü takviyeli izolasyonlu sistem modeli

## 6.2 Ön Tasarım

1. Deprem bölgesi; 4,  $Z=0,40$
2. Zemin profil kategorisi;  $S_D$
3. Sismik kaynak tipi; A ( $M \geq 7$ )
4. Kaynak yakınlık faktörleri;  $\Delta \geq 15 \text{ km}$ ,  $N_a=1$ ,  $N_v=1$
5. Tasarım depremi sarsıntı şiddeti;  $ZN_v=0,40$
6. Maksimum deprem davranış katsayısı;  $M_M=1,25$
7. Tasarım depremi sismik katsayıları (UBC 97 Tablo 16-Q, Tablo 16-R) 'den okunur;

$$C_A = 0,44 \rightarrow C_{AD} = 0,44$$

$$C_V = 0,64 \rightarrow C_{VD} = 0,64$$

Tasarlanan maksimum deprem sismik katsayıları  $C_{AM}$ ,  $C_{VM}$  değerleri (5.1) ve (5.2) bağıntıları ile hesaplanır.

$$\alpha = M_M Z N_a = 1,25 \times 0,40 \times 1 = 0,50 \rightarrow C_{AM} = 1,1\alpha = 1,1 \times 0,50 = 0,55$$

$$\alpha = M_M Z N_v = 1,25 \times 0,40 \times 1 = 0,50 \rightarrow C_{VM} = 1,6\alpha' = 1,6 \times 0,50 = 0,80$$

8. İzolasyon sisteminin efektif sönümü;  $\beta_{eff} = 0,15$

9. Sönüm azaltma faktörü;  $B = 1,35$  (Çizelge 5.2)

10. Yapısal tepki azaltma faktörü;  $R_i = 2$  (Çizelge 5.1)

### 6.3 Hedef Periyot ve Malzeme Özellikleri

Titreşim periyotları;  $T_D = 2,3$  s ve  $T_M = 2,7$  s

Büyük şekil değiştirmeler için;  $G_a = 0,5$  MPa ,  $G_b = 1,0$  MPa

Küçük şekil değiştirmeler için;  $G_a = 0,7$  MPa ,  $G_b = 1,4$  MPa

Elastisite modülü;  $E_c = 2000$  MPa

$$\gamma_{max} = 1,5$$

### 6.4 Minimum Yatay Rijitlikler

İzolasyon sisteminin minimum etkin rijitlik değerleri (5.5) ve (5.6) bağıntıları ile hesaplanır.

$$W_a = 588,6 \text{ kN} \quad (\text{Dış izolatörler})$$

$$W_b = 1177,2 \text{ kN} \quad (\text{İç izolatörler})$$

$W_a, W_b$  ; (a) ve (b) tipi izolatörlerin taşıdığı yapı ağırlığı olmak üzere,

$$k_D = \frac{4\pi^2 W}{T_{Dg}^2} = \frac{4\pi^2 \times 588,6}{2,30^2 \times 9,81} = 447,77 \text{ kN/m} \quad (\text{a tipi})$$

$$k_D = \frac{4\pi^2 W}{T_{Dg}^2} = \frac{4\pi^2 \times 1177,2}{2,30^2 \times 9,81} = 895,54 \text{ kN/m} \quad (\text{b tipi})$$

$$k_M = \frac{4\pi^2 W}{T_{Mg}^2} = \frac{4\pi^2 \times 588,6}{2,70^2 \times 9,81} = 324,93 \text{ kN/m} \quad (\text{a tipi})$$

$$k_M = \frac{4\pi^2 W}{T_{Mg}^2} = \frac{4\pi^2 \times 1177,2}{2,70^2 \times 9,81} = 649,85 \text{ kN/m} \quad (\text{b tipi})$$

### 6.5 Minimum Yer Değiştirmeler

(5.7) ve (5.8) bağıntıları ile hesaplanır.

$$d_D = \frac{g C_{VD} T_D}{B(4\pi^2)} = \frac{9,81 \times 0,64 \times 2,3}{1,35 \times 4\pi^2} = 0,270 \text{ m}$$

$$d_M = \frac{g C_{vM} T_M}{B(4\pi^2)} = \frac{9,81 \times 0,80 \times 2,7}{1,35 \times 4\pi^2} = 0,397 \text{ m}$$

### 6.6 Disk Çapının Belirlenmesi

Kauçuk mesnet yüksekliği;

$$t = \frac{d_D}{\gamma_{\max}} = \frac{0,27}{1,5} = 0,18 \text{ cm}$$

$t = 0,20 \text{ cm}$  olarak seçilerek, disk çapı (5.11) bağıntısı ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D_a = \sqrt{\frac{4tk_D}{\pi G_a}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,20 \times 447,77}{\pi \times 500}} = 0,48 \text{ m (a tipi)}$$

$$D_b = \sqrt{\frac{4tk_D}{\pi G_b}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,20 \times 895,54}{\pi \times 1000}} = 0,48 \text{ m (b tipi)}$$

a ve b tipi mesnetler için disk çapı  $D = 0,50 \text{ m}$  seçilmiştir.

Disk alanı ise;

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 0,50^2}{4} = 0,196 \text{ m}^2 \text{ 'dir.}$$

### 6.7 İzolasyonlu Yapı Taban Kesme Kuvveti

İlk olarak yatay rijitlikler aşağıdaki bağıntılarla tekrar hesaplanır;

$$k_D = \frac{AG_a}{t} = \frac{0,196 \times 0,5}{0,2} = 490 \text{ kN/m (a tipi)}$$

$$k_D = \frac{AG_b}{t} = \frac{0,196 \times 1,0}{0,2} = 980 \text{ kN/m (b tipi)}$$

$$\Sigma k_D = 2 \times 490 + 980 = 1960 \text{ kN/m}$$

İzolasyonlu yapı titreşim periyodu (5.12) bağıntısı ile hesaplanır.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_D g}} = 2\pi \sqrt{\frac{2354,4}{1960 \times 9,81}} = 2,2 \text{ s 'dir.}$$

Yanal yer değiştirme tekrar hesaplanırsa;

$$d_D = \frac{g C_v T_D}{B(4\pi^2)} = \frac{9,81 \times 0,64 \times 2,2}{1,35 \times 4\pi^2} = 0,256 \text{ m bulunur.}$$

Taban kesme kuvveti (5.14) bağıntısı ile;

$$V_{SD} = d_D \Sigma k_D (B/R_i) = 0,256 \times 1960 \times (1,35/2) = 339,35 \text{ kN elde edilir.}$$

(5.15) bağıntısı ile;

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

$$V_{\text{ankastre}} = \frac{0,64 \times 1}{2 \times 2,2} 2354,4 = 3421,46 \text{ kN} \geq 0,11 \times 0,44 \times 2354,4 = 113,95 \text{ kN}$$

bulunur.

### 6.8 Düşey Titreşim Periyodunun Bulunması

(5.20) bağıntısı ile kauçuk katman kalınlığı,  $t_0$ ;

$$t_0 = D/40 = 0,50 / 40 = 0,0125 \text{ m}$$

$t_0 = 0,013 \text{ m}$  olarak seçilir.

Kauçuk katmanların şekil faktörü  $S$ , (5.21) bağıntısı ile;

$$S = D / 4t_0 = 0,50 / 4(0,013) = 9,62 \text{ elde edilir.}$$

$$E_c = 2000 \text{ MPa}$$

Efektif sıkışma modülü (5.26) bağıntısı ile;

$$E_{\text{eff},v} = \frac{6GS^2 E_c}{6GS^2 + E_c}$$

$$E_{\text{eff},v} = \frac{6 \times 0,7 \times (9,62)^2 \times 2000}{6 \times 0,7 \times (9,62)^2 + 2000} = 325,44 \text{ MPa} \quad (\text{a tipi})$$

$$E_{\text{eff},v} = \frac{6 \times 1,4 \times (9,62)^2 \times 2000}{6 \times 1,4 \times (9,62)^2 + 2000} = 559,79 \text{ MPa} \quad (\text{b tipi})$$

bulunur.

Sistemdeki toplam düşey rijitlik (5.25) bağıntısı ile;

$$\sum k_v = \frac{AE_{\text{eff}}}{t} = \frac{2 \times 325,44 + 559,79}{0,2} 0,196 = 1162,24 \text{ MN/m bulunur.}$$

Toplam düşey yer değiştirme;

$$\Delta t_v = \frac{W}{k_v} = \frac{2354,4}{1162240} = 0,0020 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Yatay titreşim periyodu;

$$T_h = T_D = 2,2 \text{ s}$$

Düşey titreşim periyodu  $T_v$ , (5.31) bağıntısından;

$$T_v = \frac{T_h}{\sqrt{6S}} = \frac{2,2}{\sqrt{6(9,62)}} = 0,091 \text{ s bulunur.}$$

## 6.9 Kayma Şekil Değiştirmesi ve Düşey Yükün Hesabı

### 6.9.1 Kayma Şekil Değiştirmesi Hesabı

Düşey yüke bağlı kayma şekil değiştirmesi,  $\gamma_v$  (5.32) bağıntısı ile;

$$\gamma_v = 6S(\Delta t_v) / t$$

$$\gamma_v = 6 \times 9,62 \times 0,0020 / 0,20 = 0,58$$

elde edilir.

Yatay yüke bağlı kayma şekil değiştirmesi,  $\gamma_s$  ise (5.34) bağıntısı ile;

$$\gamma_s = \frac{V_D}{AG}$$

$$\gamma_s = \frac{339,35}{0,196[2 \times 0,5 + 1]} = 0,87$$

Maksimum kayma şekil değiştirmesi,  $\gamma_{\max}$  (5.35) bağıntısı ile;

$$\gamma_{\max} = \gamma_v + \gamma_s = 0,58 + 0,87 = 1,45 \quad \langle \quad \gamma_{\max} = 1,50$$

### 6.9.2 Ortak Alan Hesabı

İzolatör ortak alanı,  $A'$  (5.36) bağıntısından;

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

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

$$\sin \theta = 0,256 / 0,50 = 0,512$$

$$\theta = 30,8^\circ = 0,538 \text{radyan}$$

$$\cos \theta = 0,859$$

$$A' = 0,196 \left[ 1 - \frac{2}{\pi} (0,538 + 0,512 \times 0,859) \right] = 0,074 \text{m}^2$$

elde edilir.

Maksimum düşey yük ise (5.38) bağıntısı ile hesaplanır.

$$W = A' G S \gamma_v = 0,074 \times 0,70 \times 9,62 \times 0,58 = 0,289 \text{MN} \quad \langle \quad W_a = 0,5886 \text{MN}$$

### 6.10 Burkulma Riski Hesabı

Burkulma riski için kritik düşey yük aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{AG\pi^2 E_{\text{eff},v} I}{3t^2}}$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{2} \right)^4$$

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{0,196 \times 0,5 \times \pi^2 \times 325,44 \times \pi \times (0,25)^4 \times 0,25}{3(0,20)^2}} = 2,84 \text{ MN} \gg W_a = 0,5886 \text{ MN}$$

### 6.11 Kuruşun Çekirdeğin Boyutlandırılması

Kuruşun çekirdek çapı seçilir ve alanı hesaplanır;

$$d_1 \leq \frac{t}{1,5} = \frac{0,20}{1,5} = 0,133 \text{ m}; \quad d_1 = 0,20 \text{ m seçilir.}$$

$$A_{kuruşur} = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi(0,20)^2}{4} = 0,031 \text{ m}^2$$

Akma kuvveti  $Q_y$  yaklaşık olarak;

$$Q_y \cong \frac{A_{döngü}}{4d_D}$$

$$A_{döngü} = \beta_{\text{eff}} (2\pi k_D d_D^2)$$

$$A_{döngü} = 0,15 \times 2\pi \times 0,980 \times (0,256)^2 = 0,058 \text{ MN} - \text{m}$$

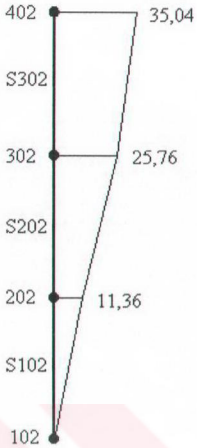
$$Q_y \cong \frac{0,058}{4 \times 0,256} = 0,058 \text{ MN}$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{kuruşur}} = \frac{0,058}{0,031} = 1,87 \text{ MPa} \ll \tau_{y,\text{max}} = 10,5 \text{ MPa} \quad (\text{Akma kesme gerilmesi})$$

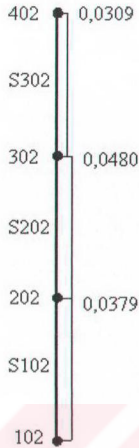
### 6.12 Sonuçların İrdelenmesi

Yapılan tasarım sonucunda elde edilen değerler kullanılarak 4 farklı model için SAP2000n programı ile modelleme yapılarak Şekil 6.6, 6.7, 6.8, 6.9'de görülen Z eksenı üzerindeki düğüm noktası ve elemanlarına ilişkin yer değiştirme, öteleme oranı ve eğilme momenti diyagramları verilmiştir. Ayrıca ekler bölümünde Z eksenı üzerinde bulunan düğüm noktalarına ve çubuk elemanlara ilişkin yer değiştirme, ivme, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin zamana bağlı değişimleri verilmiştir.

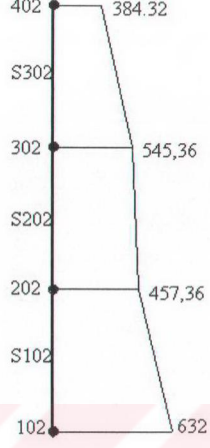
Kat yer değiştirmeleri,mm

 $T=0,5174$  s

Öteleme oranı

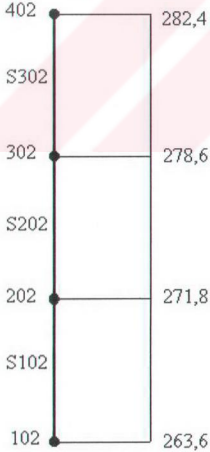


Eğilme momenti, kNm

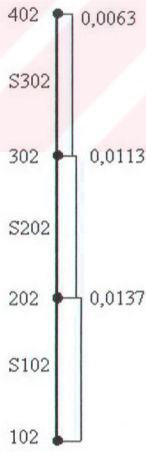


şekil 6.6 Ankastre mesnetli sistem

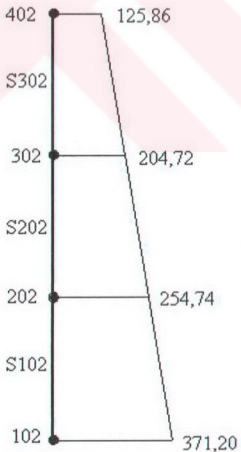
Kat yer değiştirmeleri,mm

 $T=2,3924$  s

Öteleme oranı

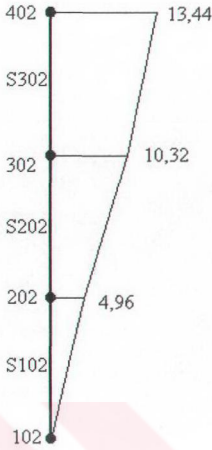


Eğilme momenti, kNm

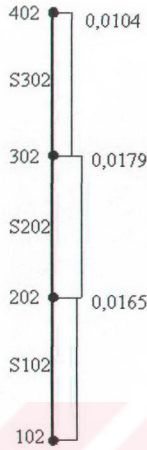


şekil 6.7 Sismik izolasyonlu sistem

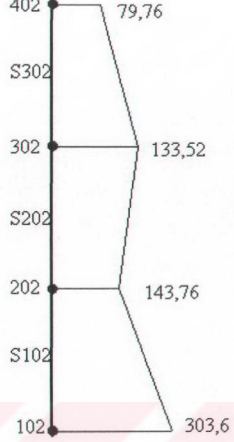
Kat yer değistirmeleri,mm

 $T=0,4168$  s

Öteleme oranı

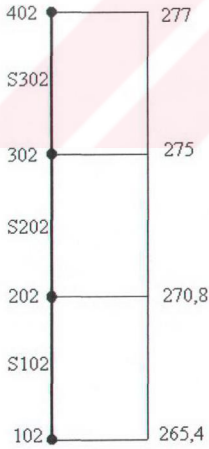


Eğilme momenti, kNm

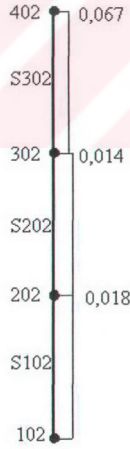


Şekil 6.8 Viskoelastik söndürücü takviyeli ankastré sistem

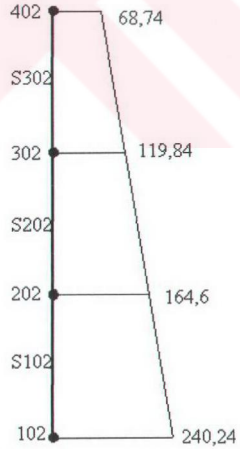
Kat yer değistirmeleri,mm

 $T=2,3701$  s

Öteleme oranı



Eğilme momenti, kNm



Şekil 6.9 Viskoelastik söndürücü takviyeli izolasyonlu sistem

## 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, pasif enerji dağılım sistemlerinin ankastre mesnetli ve taban izolasyonlu durumlardaki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla seçilen çerçeve sistem üzerinde dört farklı model tanımlanmıştır. Yer değiştirmeler, öteleme oranları ve eğilme momentleri her dört durum için de karşılaştırılmıştır.

Ankastre mesnetli durumda yapı periyodu  $T=0,52$  s'dir. Sismik izolatörler olarak kurşun saplamalı kauçuk mesnetler kullanıldığında ve gerekli hesaplamalar yapıldığında periyot  $T=2,2$  s'ye çıkmıştır. Aynı zamanda dinamik analiz yoluyla periyot  $T=2,39$  s olarak belirlenmiştir. Bu değer hedef periyot olan  $T=2,3$  s'ye oldukça yakın bir değerdir.

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 karşılaştırıldığında sismik izolasyonlu sisteme ilişkin kat yer değiştirmelerinin ankastre mesnetli duruma göre oldukça fazla olduğu, bununla birlikte katlar arası öteleme oranlarının değişiminin ankastre mesnetli duruma göre azaldığı görülmektedir. İzolasyon sistemi gerekli esnekliği, yer değiştirmeleri izolasyon seviyesinde yoğunlaştırarak sağlar ve yapının rijit bir kütle gibi davranmasını sağlar.

Benzer şekilde Şekil 6.6 ve Şekil 6.8 karşılaştırılırsa, yapıya viskoelastik söndürücüler yerleştirildiğinde ankastre mesnetli duruma göre kolon eğilme momentlerinde ve kat yer değiştirmelerinde önemli oranda azalmalar meydana geldiği görülmektedir.

Bununla birlikte viskoelastik söndürücülerin sismik izolatörlerle birlikte kullanıldığı sistemde (Şekil 6.9) yapı performansının çok daha iyi olduğu ve yapının tam bir rijit kütle gibi davrandığı görülmektedir. Özellikle Şekil 6.7'de görülen izolasyonlu sistemle karşılaştırıldığında eğilme momentlerinde ve öteleme oranlarında dikkate değer azalmalar olduğu gözlenmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Aiken, I. D., (1996), "Passive Energy Dissipation – Hardware and Applications", Proceedings, Los Angeles County and SEAOSC Symposium on Passive Energy Dissipation Systems for New and Existing Buildings, Los Angeles.
- Aiken, I. D. and Kelly, J. M., (1990), "Earthquake Simulator Testing and Analytical Studies of Two Energy-Absorbing Systems for Multistory Structures", Technical Report UBC/EERC-90/03, University of California, Berkeley, CA.
- Aiken, I. D., Nims, D. K., Whittaker, A. S., Kelly, J. M., (1993), "Testing of Passive Energy Dissipation Systems", Earthquake Spectra, Vol.9, No.3, Earthquake Engineering Research Institute, California.
- ATC 17 – Applied Technology Council, (1986), "Proceeding of a Seminar and Workshop on Base Isolation and Energy Dissipation, National Science Foundation", March, 1986.
- American Structural Engineering Design Provisions, (1997), "Uniform Building Code", USA.
- Aydın, M., (2004), "Taban Yalıtımlı Yapısal Sistemler", Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., (2000), "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", İkinci Baskı, İstanbul.
- Chopra, A. K., Lin, W., (2002), "Earthquake Response of Symmetric and Asymmetric One-Story Elastic Systems with Nonlinear Fluid Viscous Dampers or Nonlinear Viscoelastic Dampers", Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Constantinou, M. Ve Karataş, H., (2003), "Sismik İzolasyon Yöntemiyle Binaların Depremden Korunması Ders Notları", İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Constantinou, M., Soong, T. and Dargush, T., (1998), "Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit", Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo, New York.
- Constantinou, M. and Symans, M.D., (1993), "Seismic Response of Structures with Supplemental Damping", The Structural Design of Tall Buildings.
- Gerçek, M., "Köprü ve Viyadüklerin Depreme Dayanıklı Olarak Projelendirilmesi ve Deprem İzolatörleri", Bülten Sayı 58, IMO.
- Federal Emergency Management (FEMA), (1998), "Commentary on The National Earthquake Hazards Reduction Program Guidelines for Seismic Rehabilitation of Building", FEMA-273, Washington, DC.
- Kelly, J. M., Naeim, F., (2001), "Seismic Design Handbook", New Edition, John Wiley and Sons, Inc.
- Kelly, J. M., (1999), "The Role of Damping in Seismic Isolation", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.28.
- Makris, N., Chang, S., (2000), "Effect of Viscous, Viscoplastic and Friction Damping on The Response of Seismic Isolated Structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, ASCE, Vol.121, No.10.
- Mostagel, N. and Khodaverdian, M., (1987), "Dynamics of Resilient Friction Base Isolator (R-FBI)", Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol.15.
- Nagarajaiah, S. and Ferrell, K., (1999), "Stability of Elastomeric Seismic Isolation Bearings", Journal of Structural Engineering, Vol.125, No.9.

SAP2000n Analysis References Volume 1, (1997), CSI, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.

SAP2000n Analysis References Volume 2, (1997), CSI, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.

SAP2000n Verification Manual, (1997), CSI, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.

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

Tezcan, S., Erkal, A., (2002), "Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices", Yüksek Öğretim ve Araştırma Vakfı, İstanbul.

Wilson, E. L., (1997), "Three Dimensional Dynamic Analysis of Structures with Emphasis on Earthquake Engineering", CSI, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.

Whittaker, A., Constantinou, M., Tsopelas, P., (1998), "Displacement Estimates for Performance-Based Seismic Design", Journal of Structural Engineering, Vol.26

#### **INTERNET KAYNAKLARI**

[1]www.earthquakeprotection.com

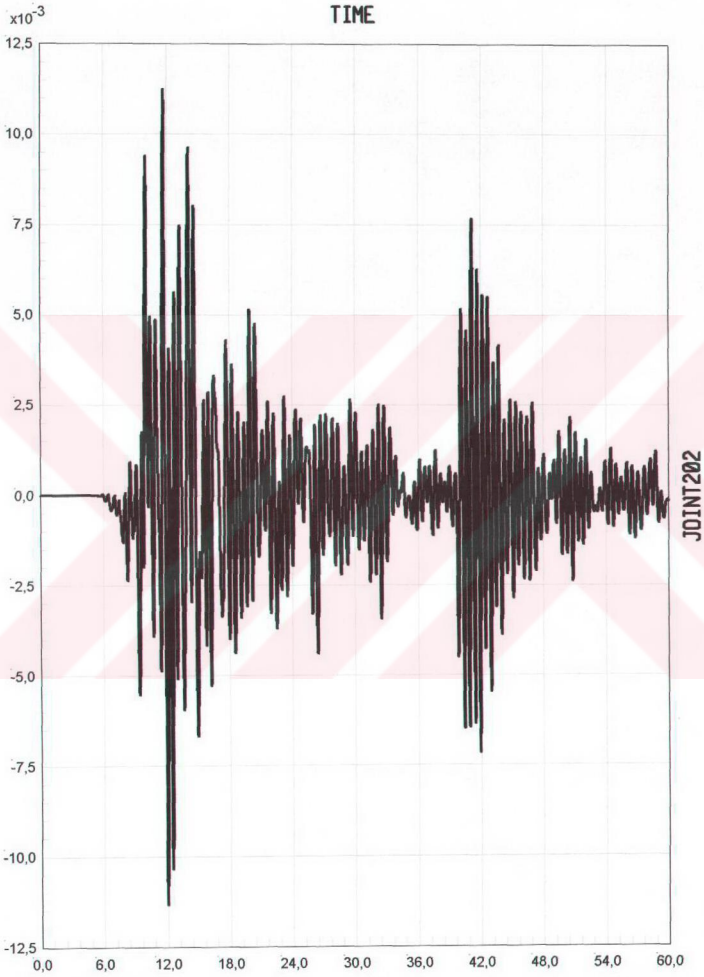
[2]www.dis-inc.com

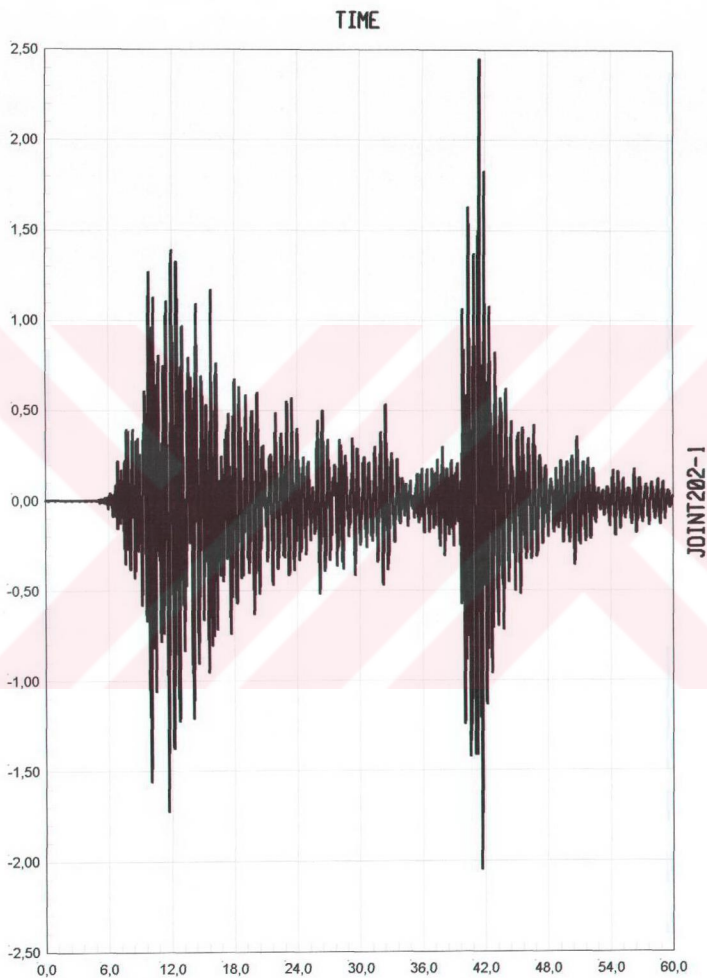
[3]www.taylordevices.com

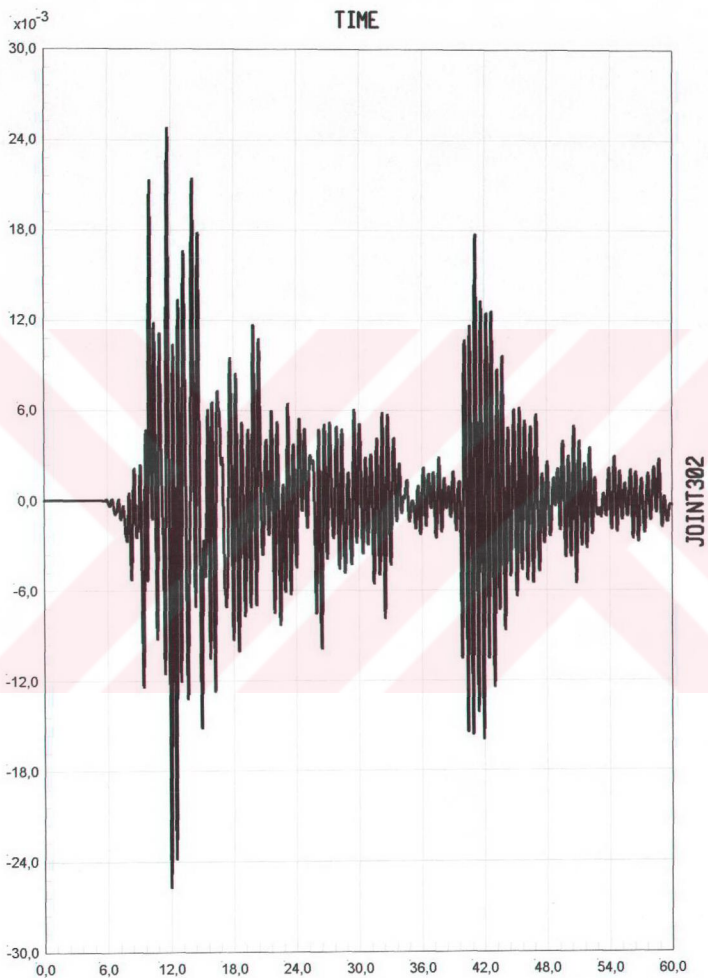
**EKLER**

Ek1 SAP2000n Yapısal Analiz Programı ile Modellenmiş Yapılara İlişkin Sonuçlar





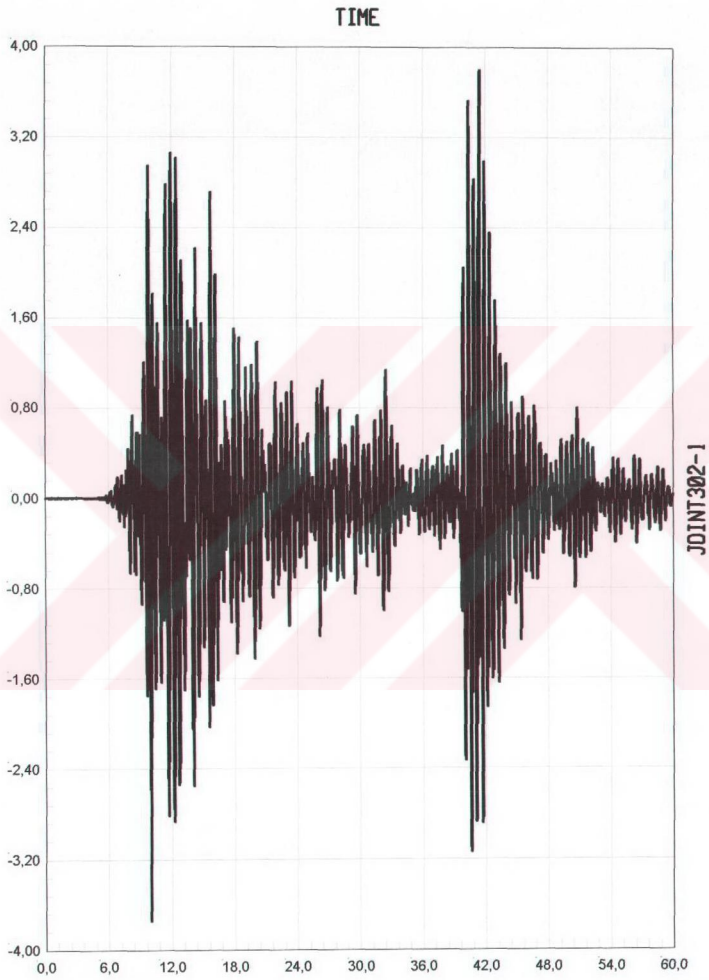


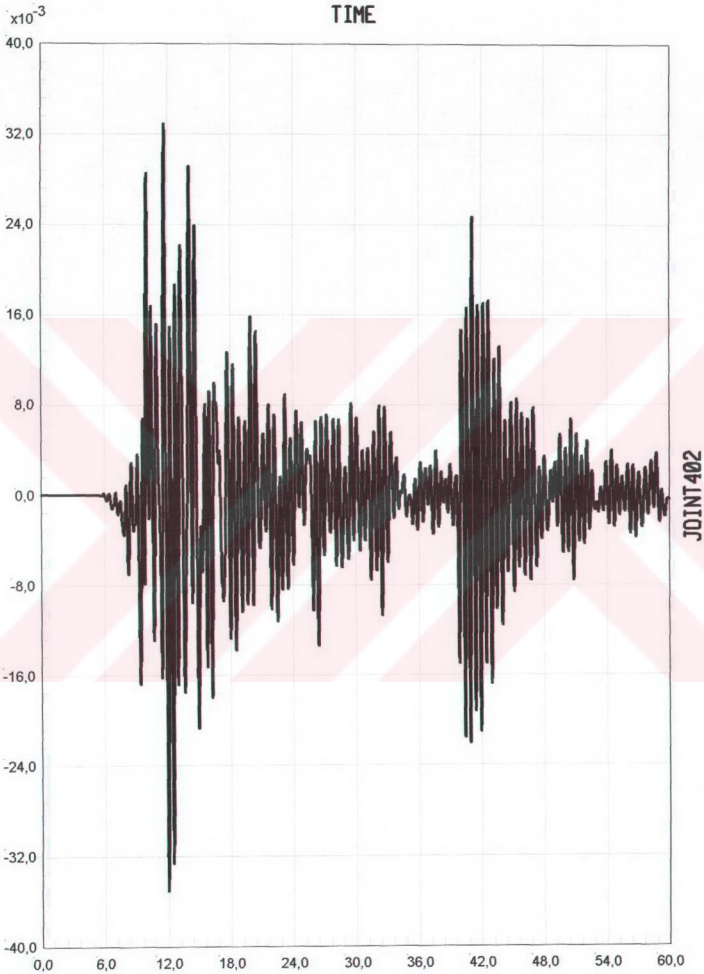


SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units

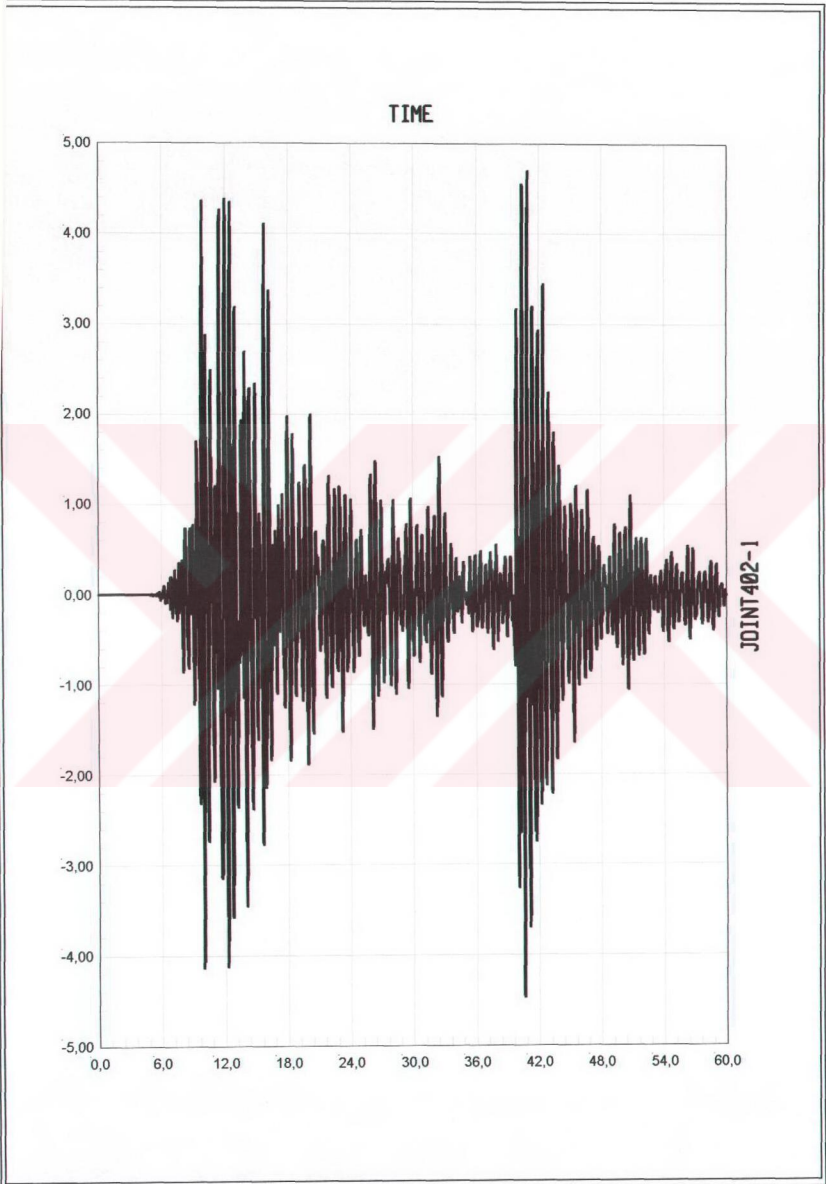
Joint302: Joint 302 Displacement UX Vs Time

Min is -2,574e-02 at 1,2030e+01 Max is 2,478e-02 at 1,1725e+01

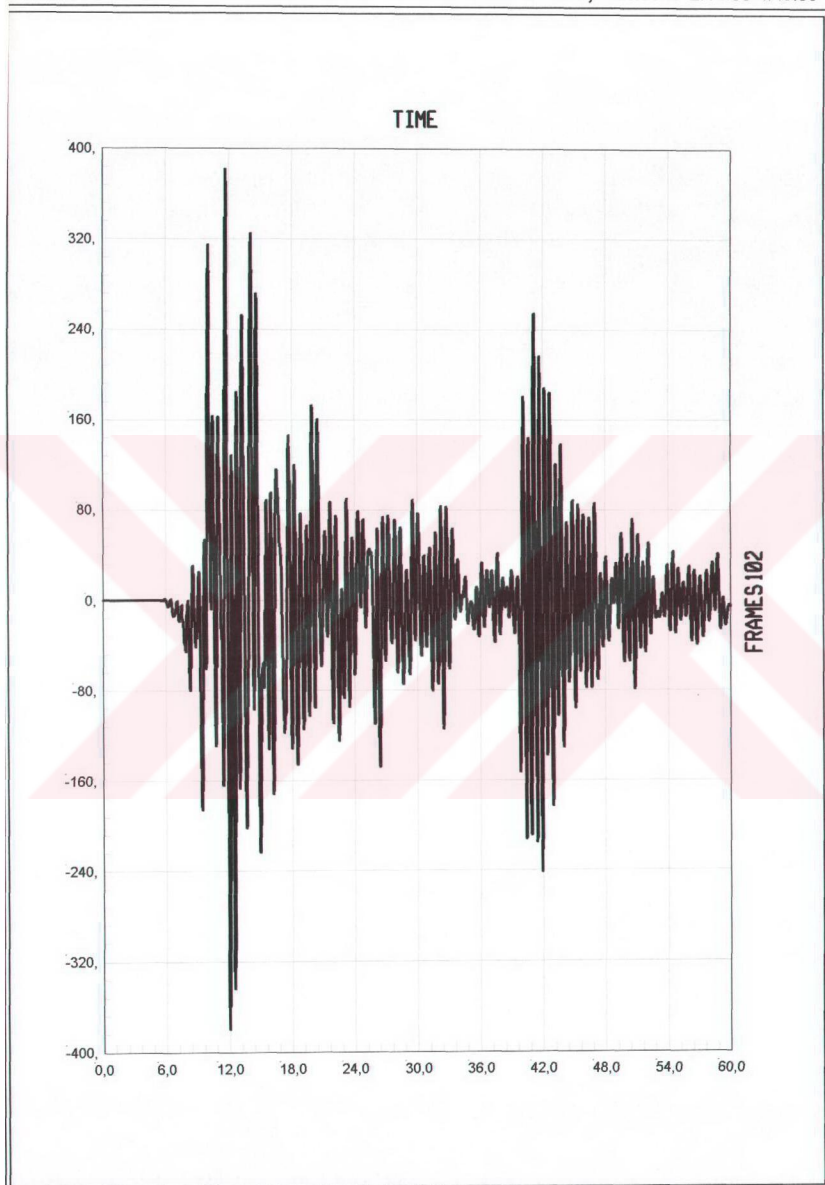




SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint402: Joint 402 Displacement UX Vs Time  
Min is -3,507e-02 at 1,2035e+01 Max is 3,295e-02 at 1,1725e+01



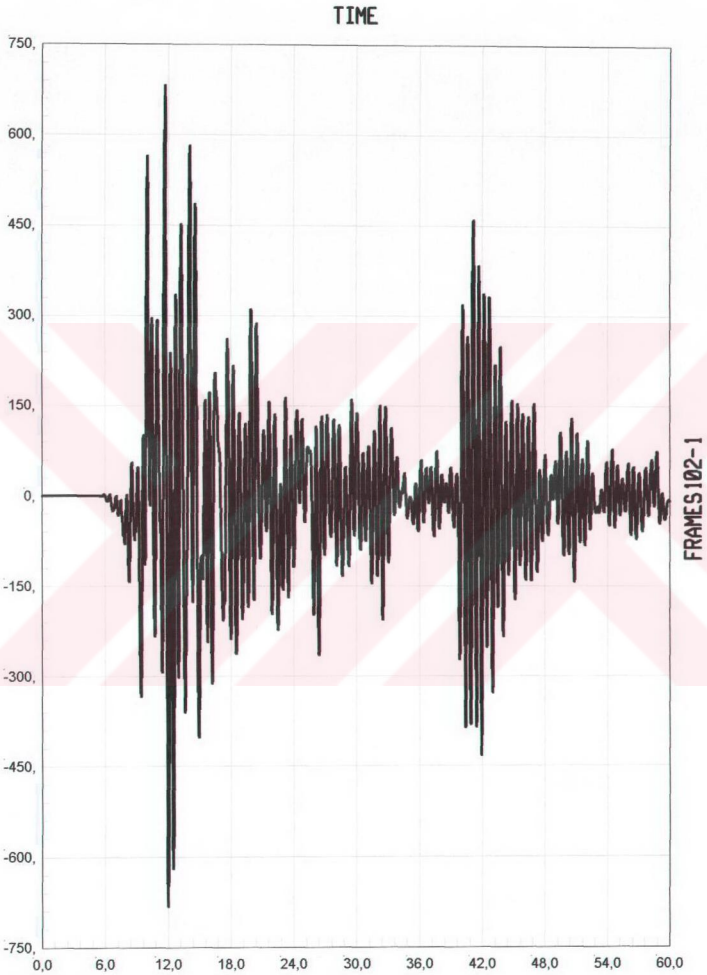
SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint402-1: Joint 402 Acceleration UX Vs Time  
Min is -4,473e+00 at 4,0610e+01 Max is 4,705e+00 at 4,0920e+01



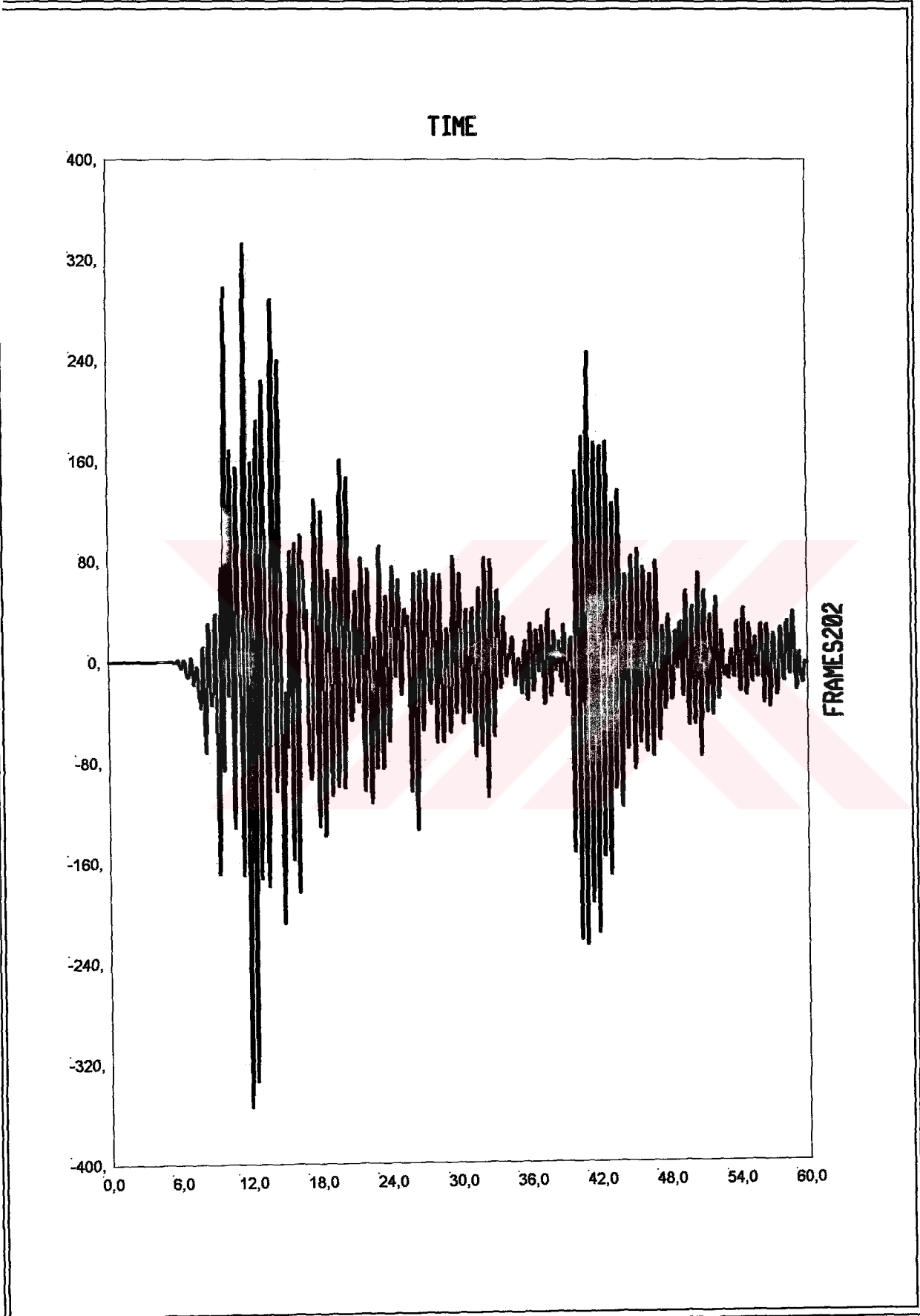
SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units

FrameS102: Frame S102 Station 1 Shear 2-2 Vs Time

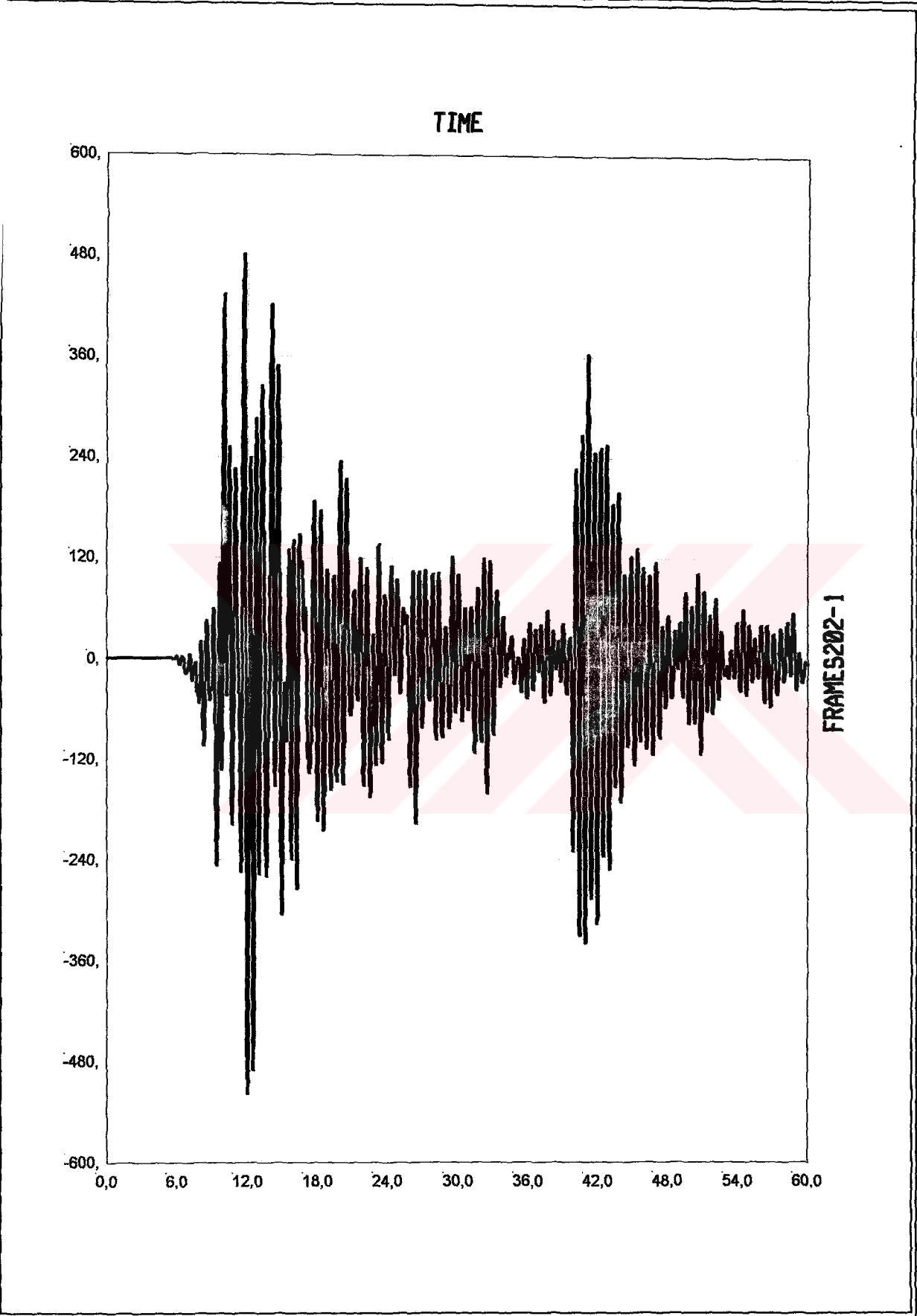
Min is -3,800e+02 at 1,2025e+01 Max is 3,821e+02 at 1,1725e+01



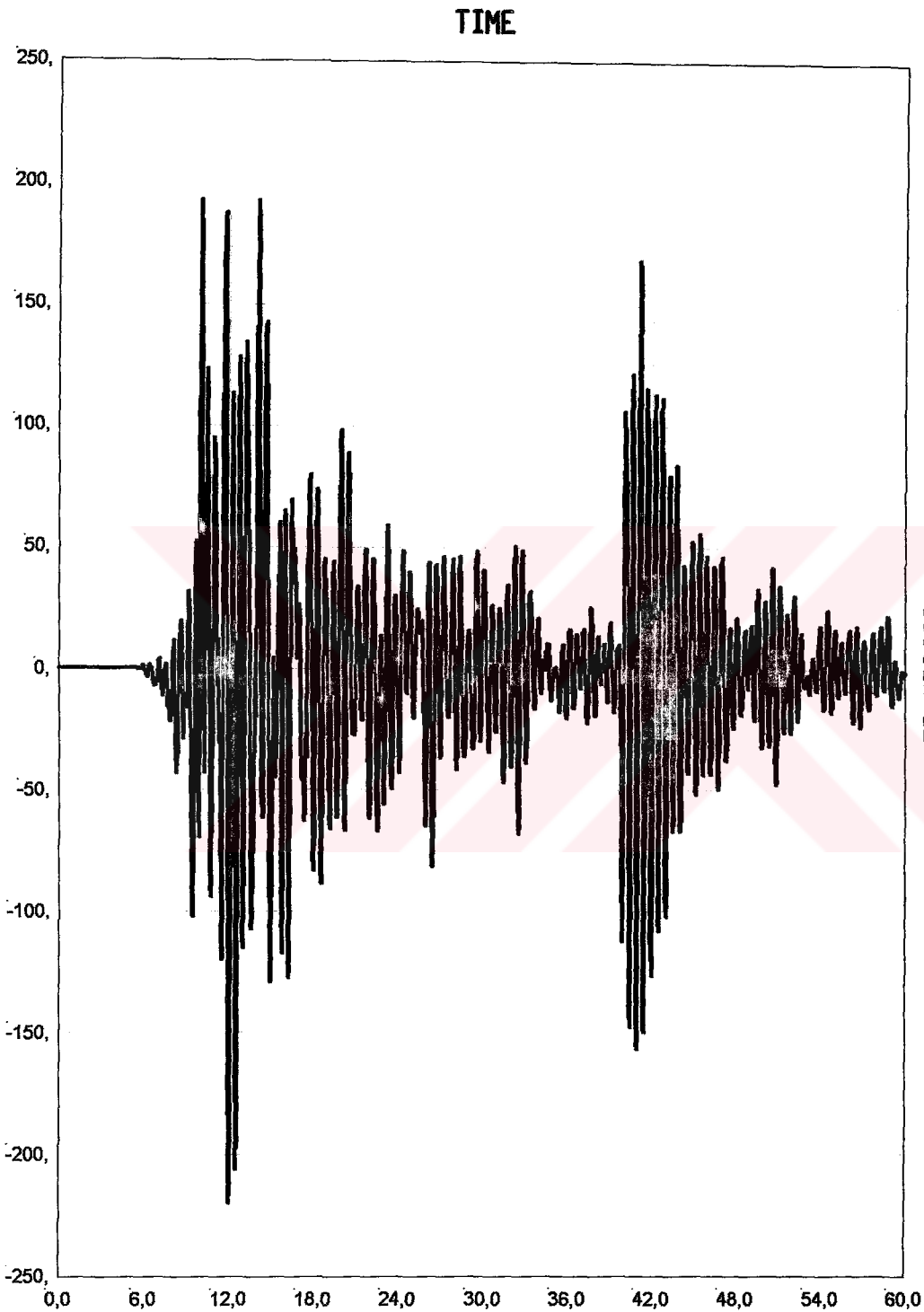
SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS102-1: Frame S102 Station 1 Moment 3-3 Vs Time  
Min is -6,825e+02 at 1,2025e+01 Max is 6,820e+02 at 1,1725e+01



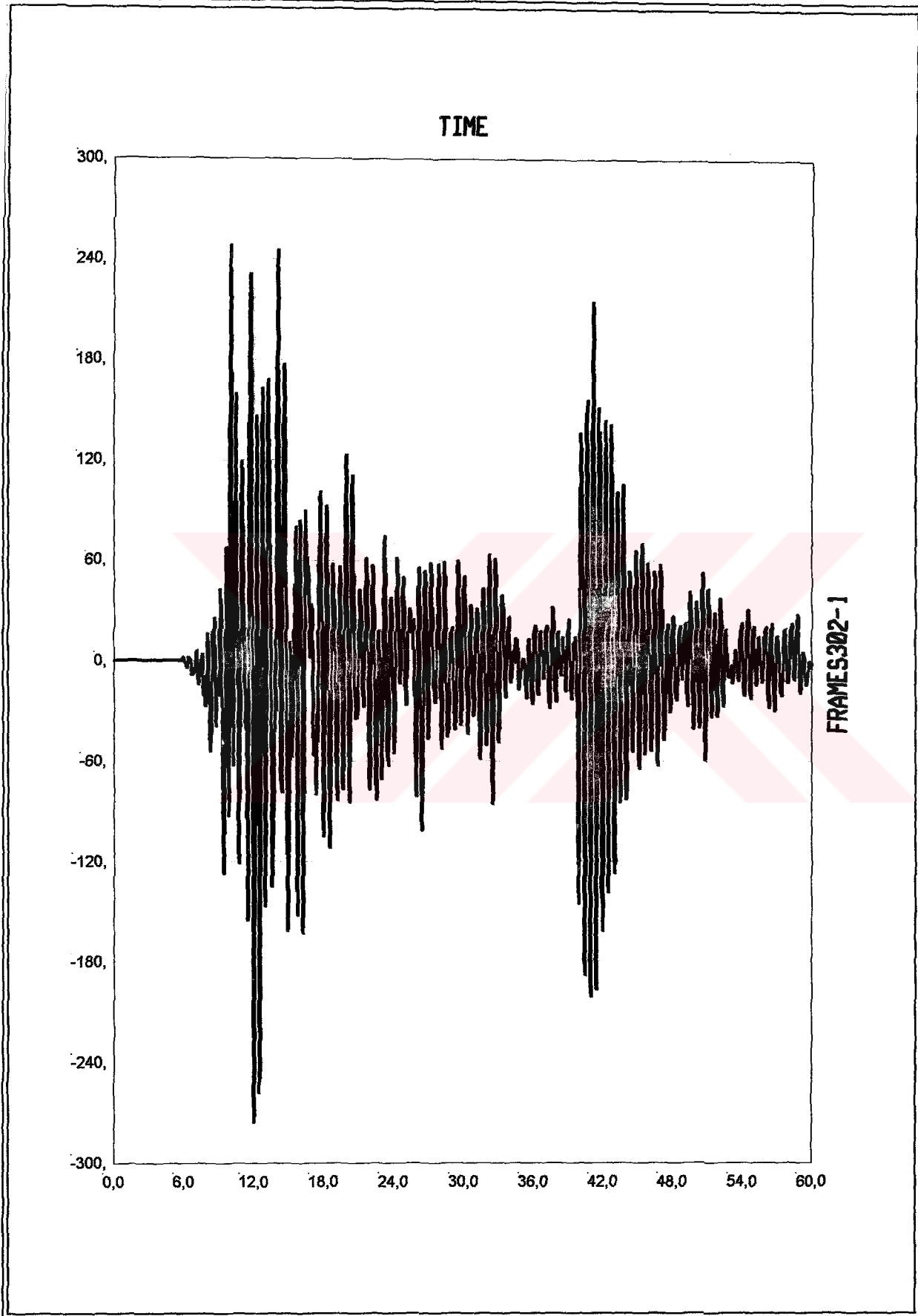
SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS202: Frame S202 Station 1 Shear 2-2 Vs Time  
Min is -3,546e+02 at 1,2030e+01 Max is 3,331e+02 at 1,1720e+01



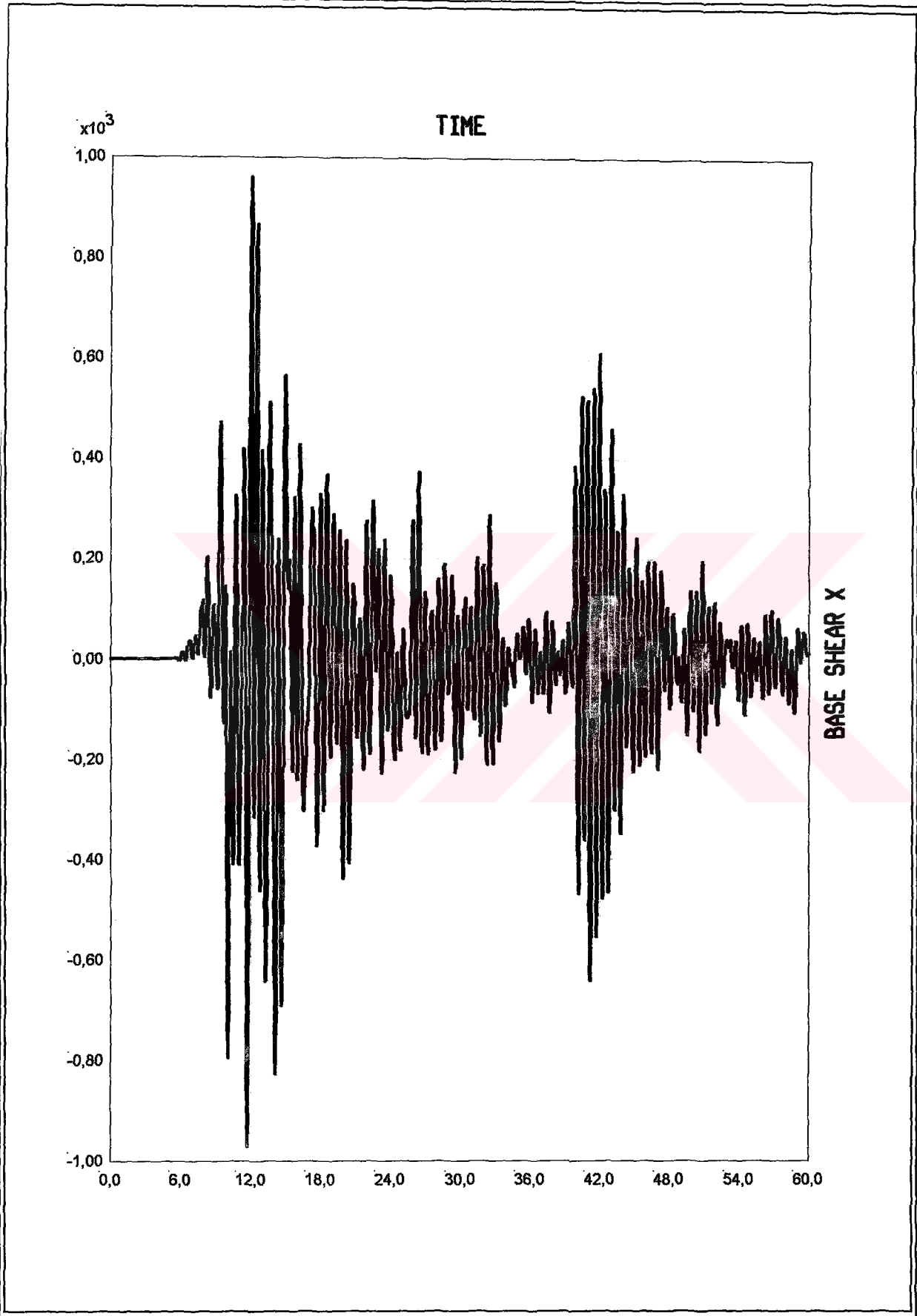
SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS202-1: Frame S202 Station 1 Moment 3-3 Vs Time  
Min is -5,187e+02 at 1,2035e+01 Max is 4,812e+02 at 1,1715e+01



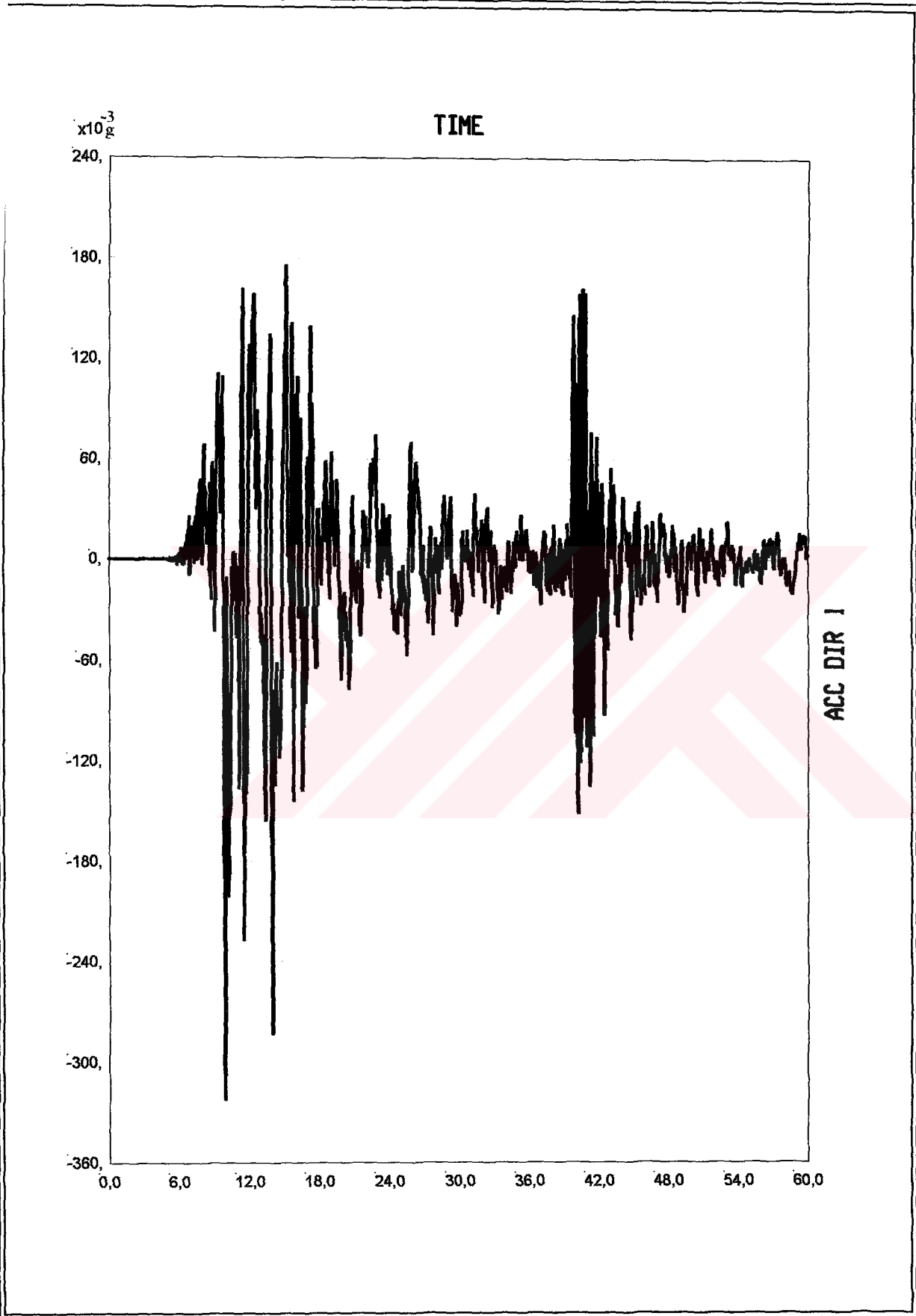
SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS302: Frame S302 Station 1 Shear 2-2 Vs Time  
Min is -2,200e+02 at 1,2040e+01 Max is 1,928e+02 at 1,4075e+01



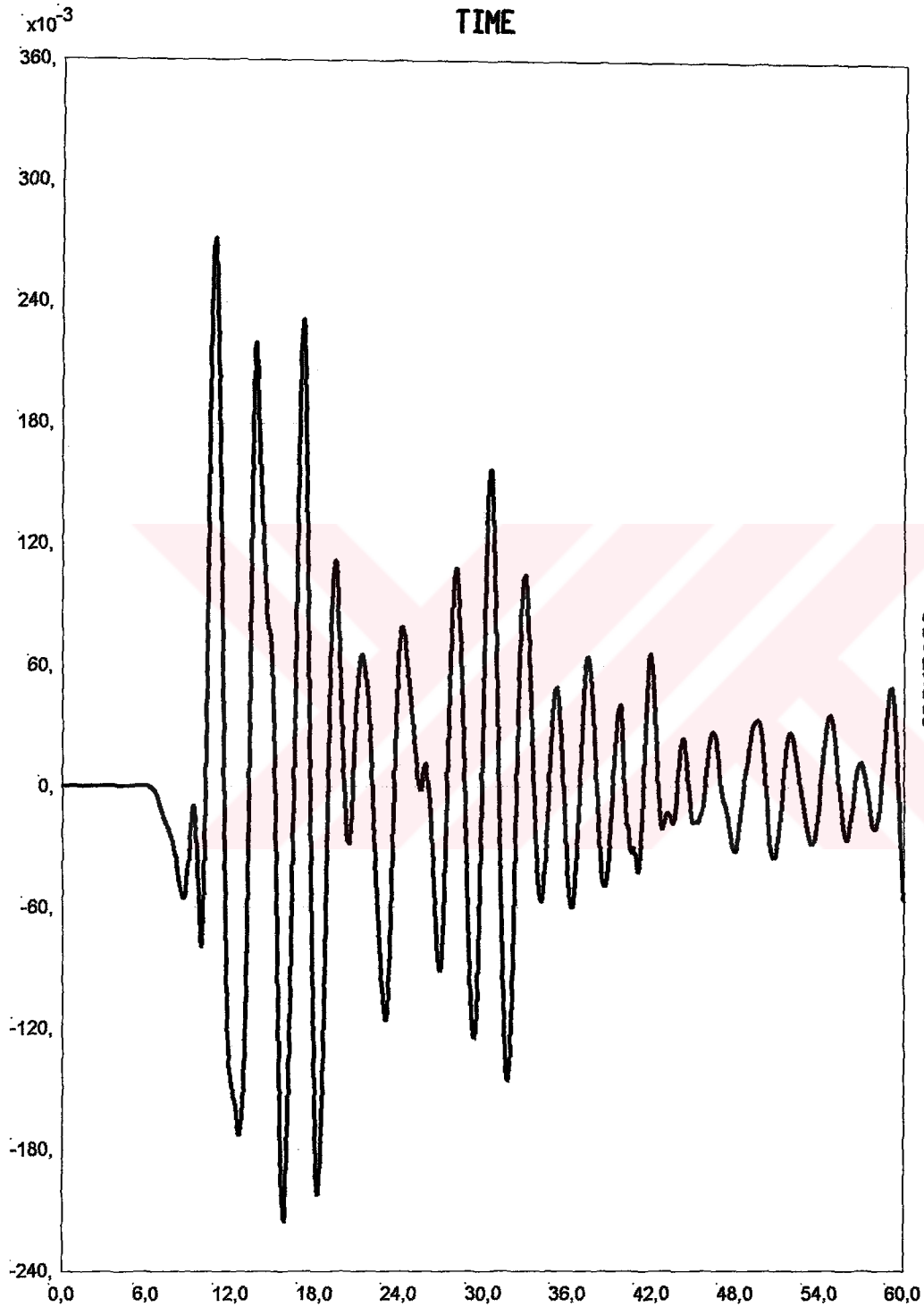
SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS302-1: Frame S302 Station 1 Moment 3-3 Vs Time  
Min is -2,759e+02 at 1,2045e+01 Max is 2,484e+02 at 1,0005e+01



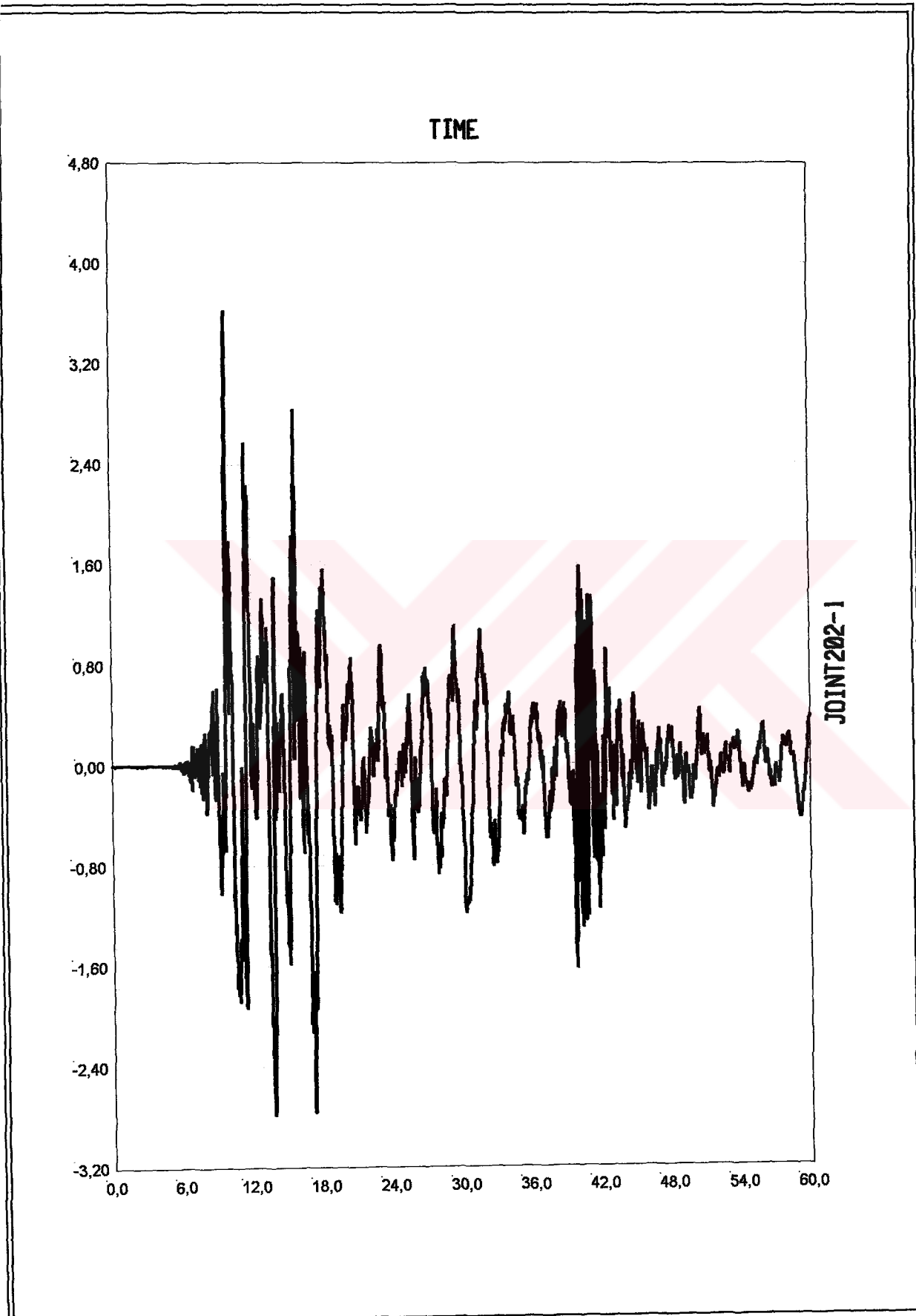
SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Base Shear X: Base Shear X Vs Time  
Min is -9,726e+02 at 1,1725e+01 Max is 9,612e+02 at 1,2025e+01



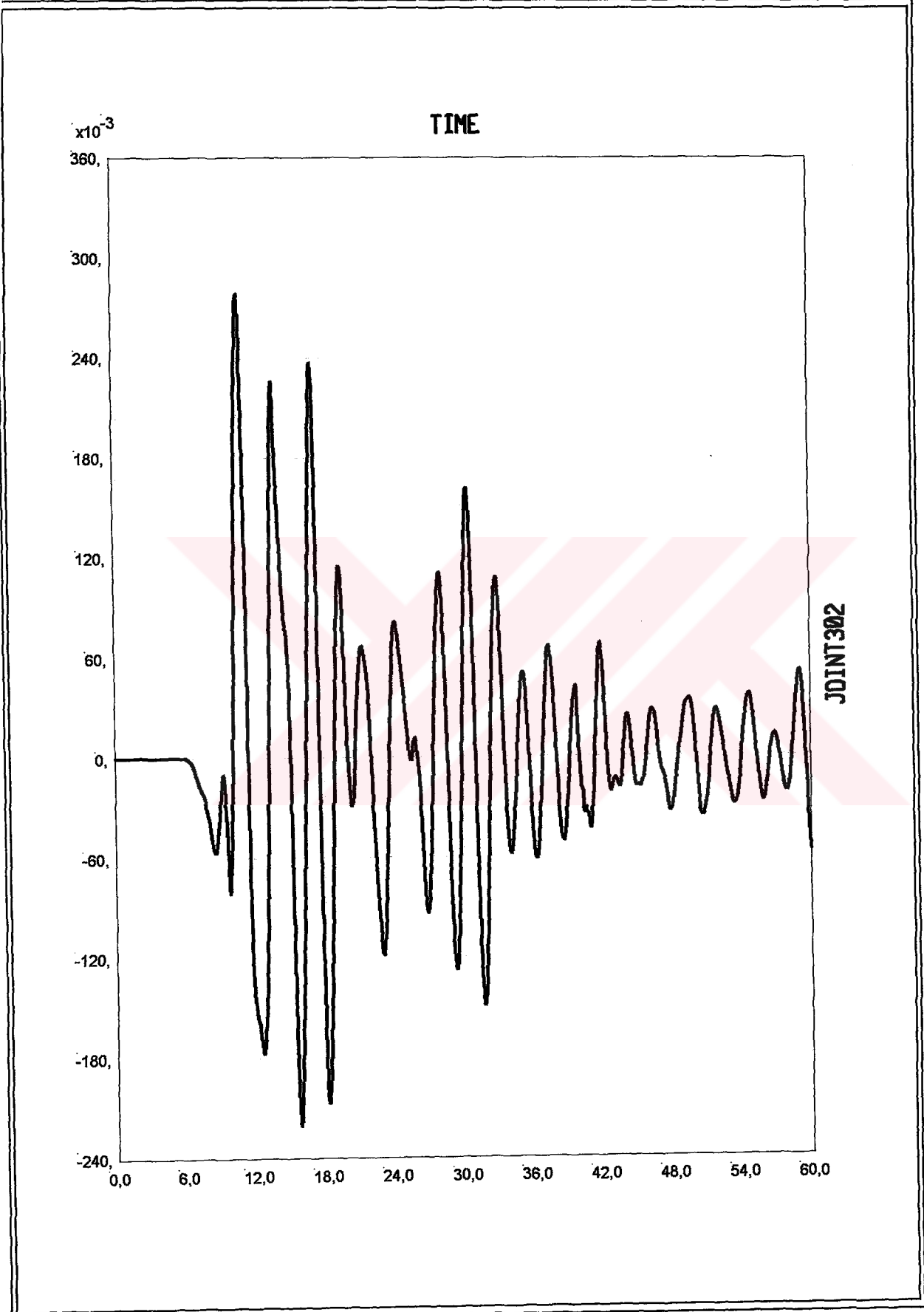
SAP2000 v8.0.8 - File:fixed-based\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
acc dir 1: Function acc dir 1 Vs Time  
Min is -3,222e+08 at 9,8850e+00 Max is 1,754e+08 at 1,5125e+01



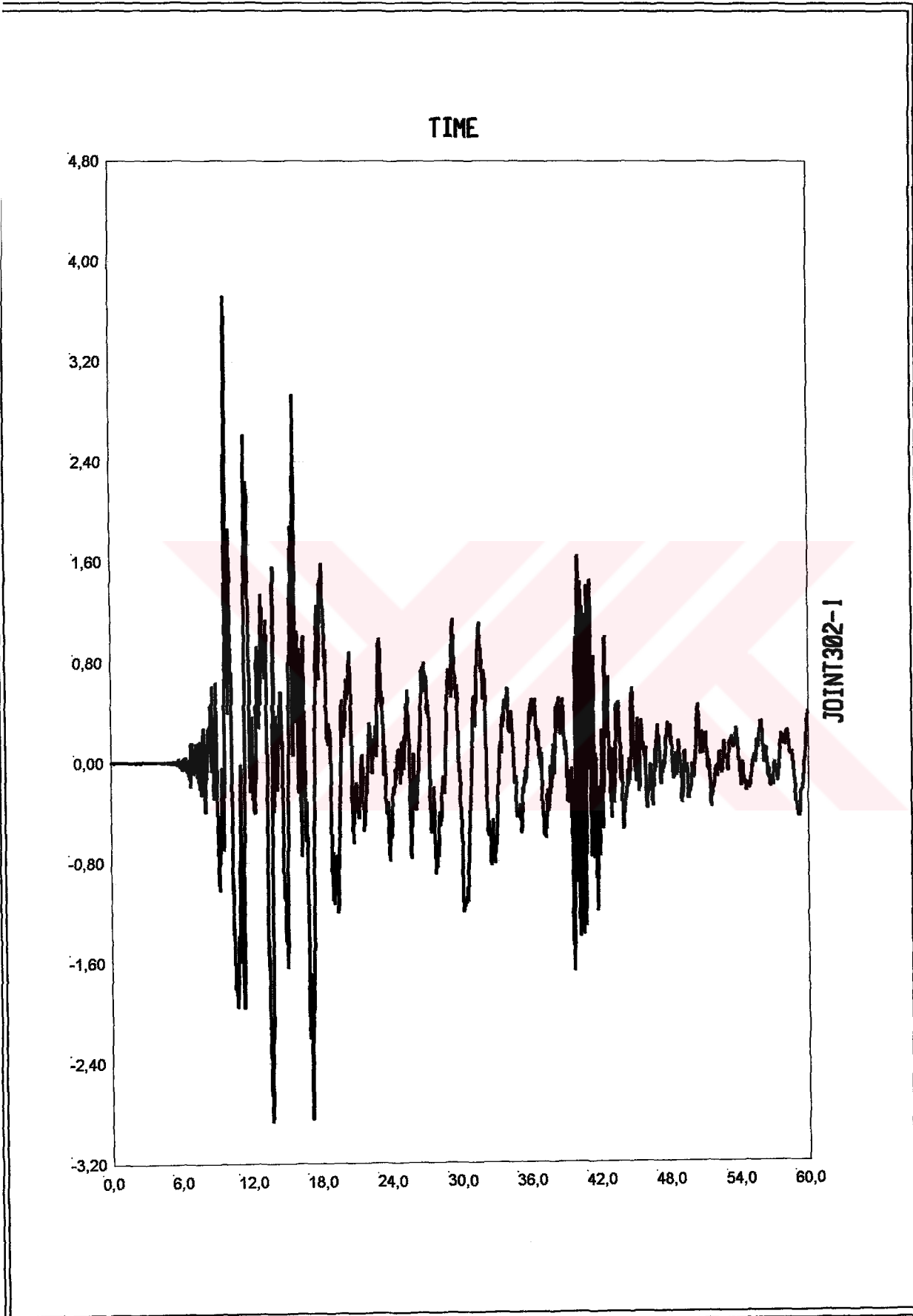
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint202: Joint 202 Displacement UX Vs Time  
Min is -2,154e-01 at 1,5775e+01 Max is 2,717e-01 at 1,0820e+01



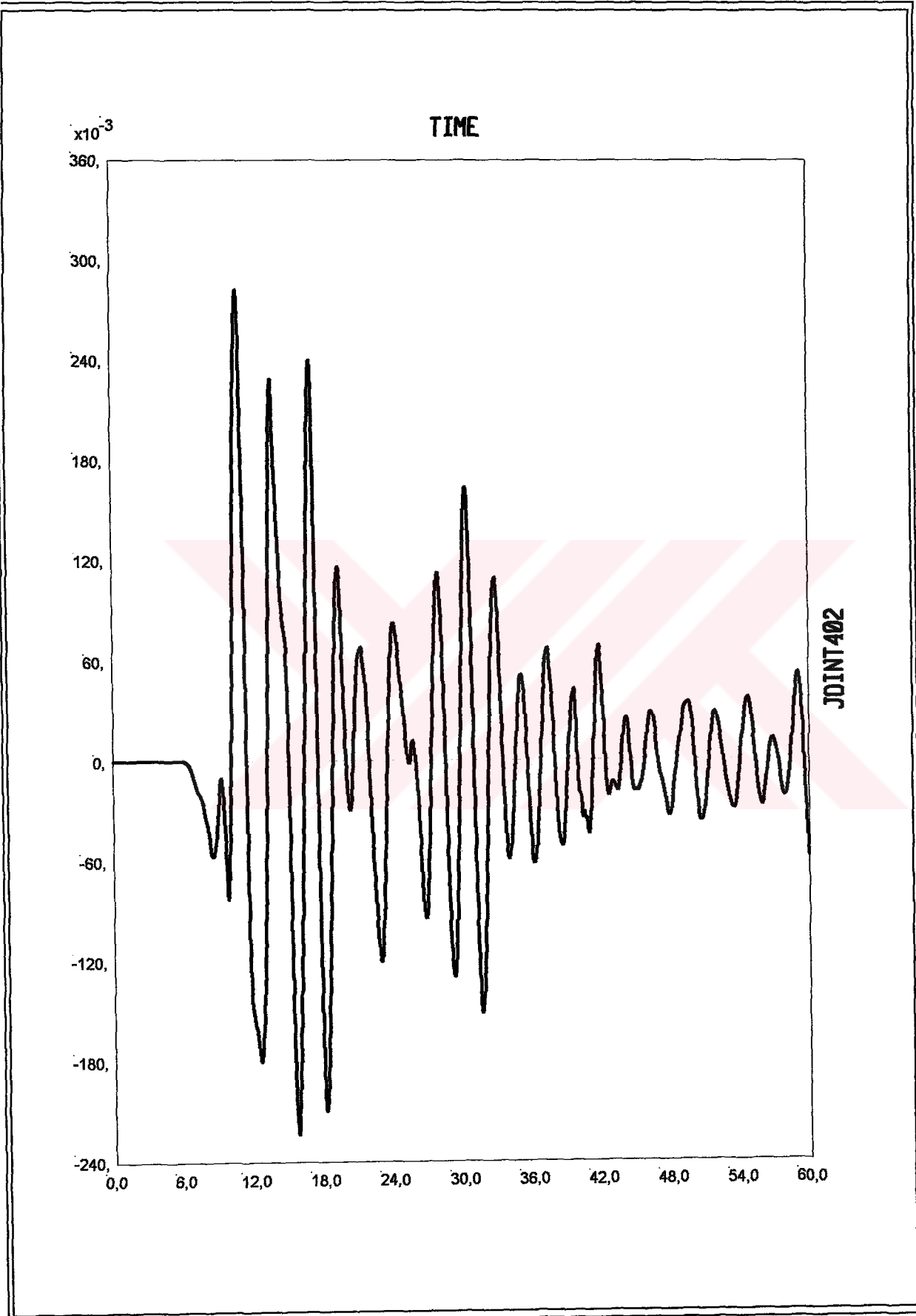
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint202-1: Joint 202 Acceleration UX Vs Time  
Min is -2,783e+00 at 1,3775e+01 Max is 3,624e+00 at 9,8850e+00



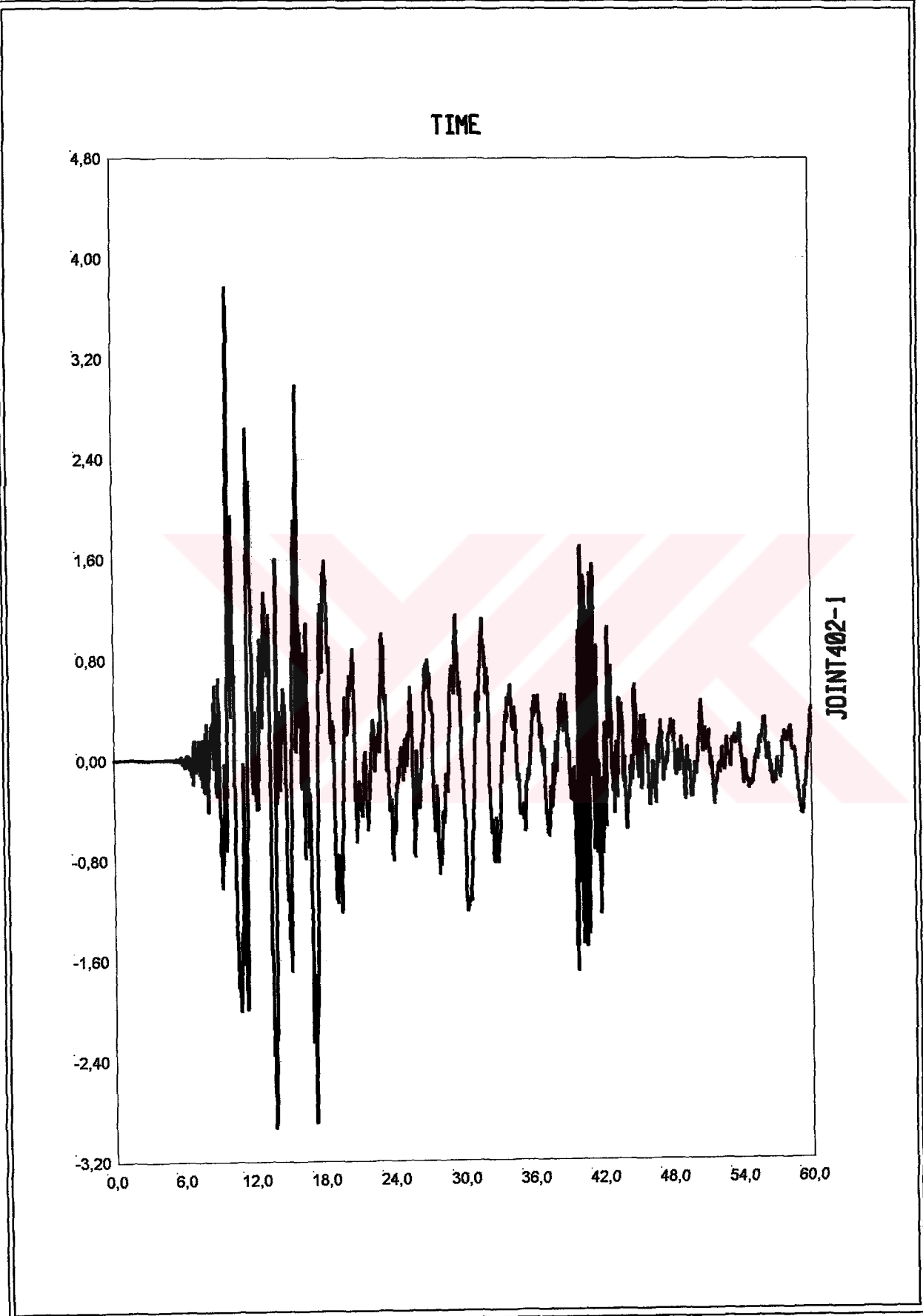
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint302: Joint 302 Displacement UX Vs Time  
Min is -2,209e-01 at 1,5775e+01 Max is 2,786e-01 at 1,0820e+01



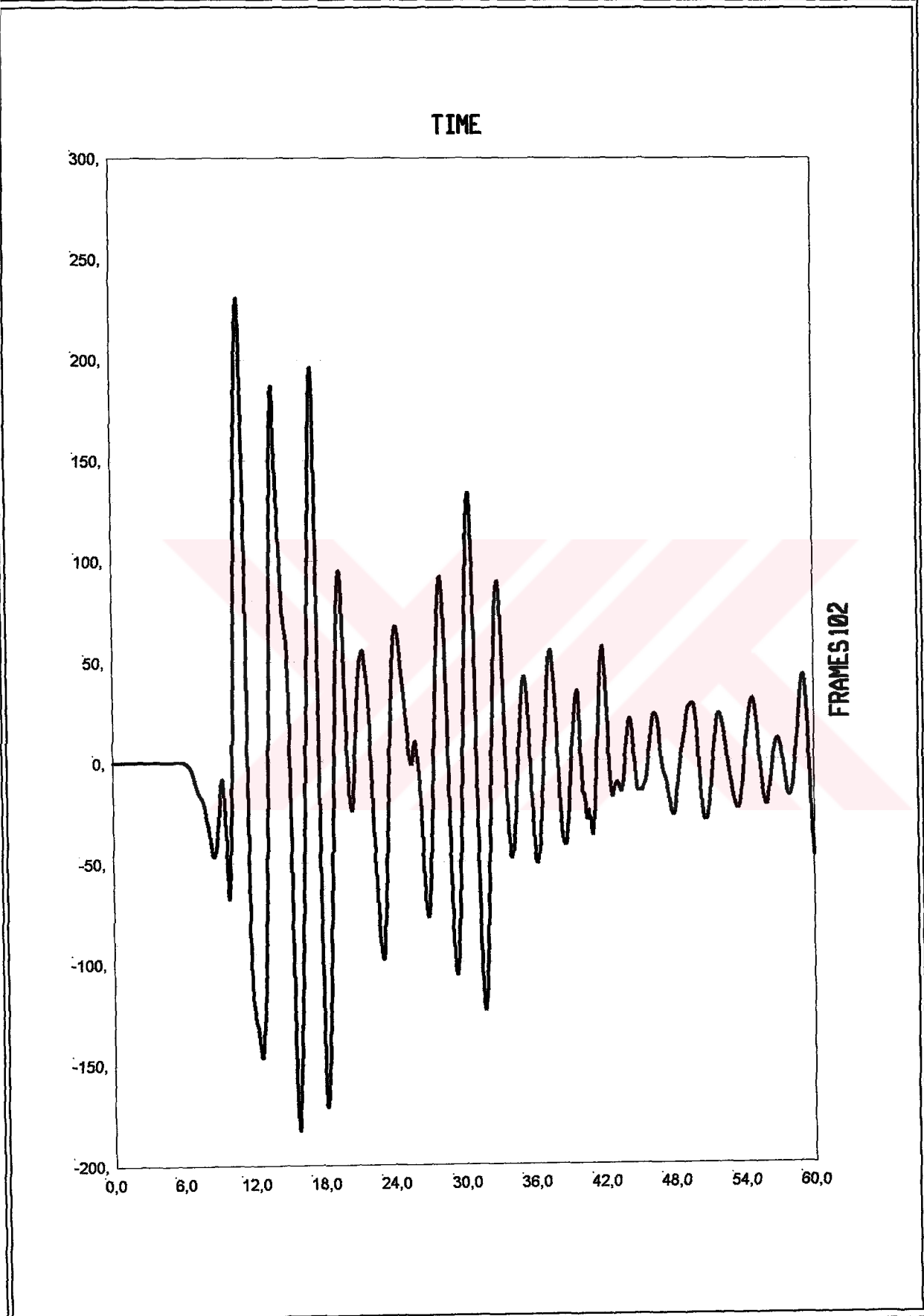
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint302-1: Joint 302 Acceleration UX Vs Time  
Min is -2,869e+00 at 1,3775e+01 Max is 3,720e+00 at 9,8850e+00



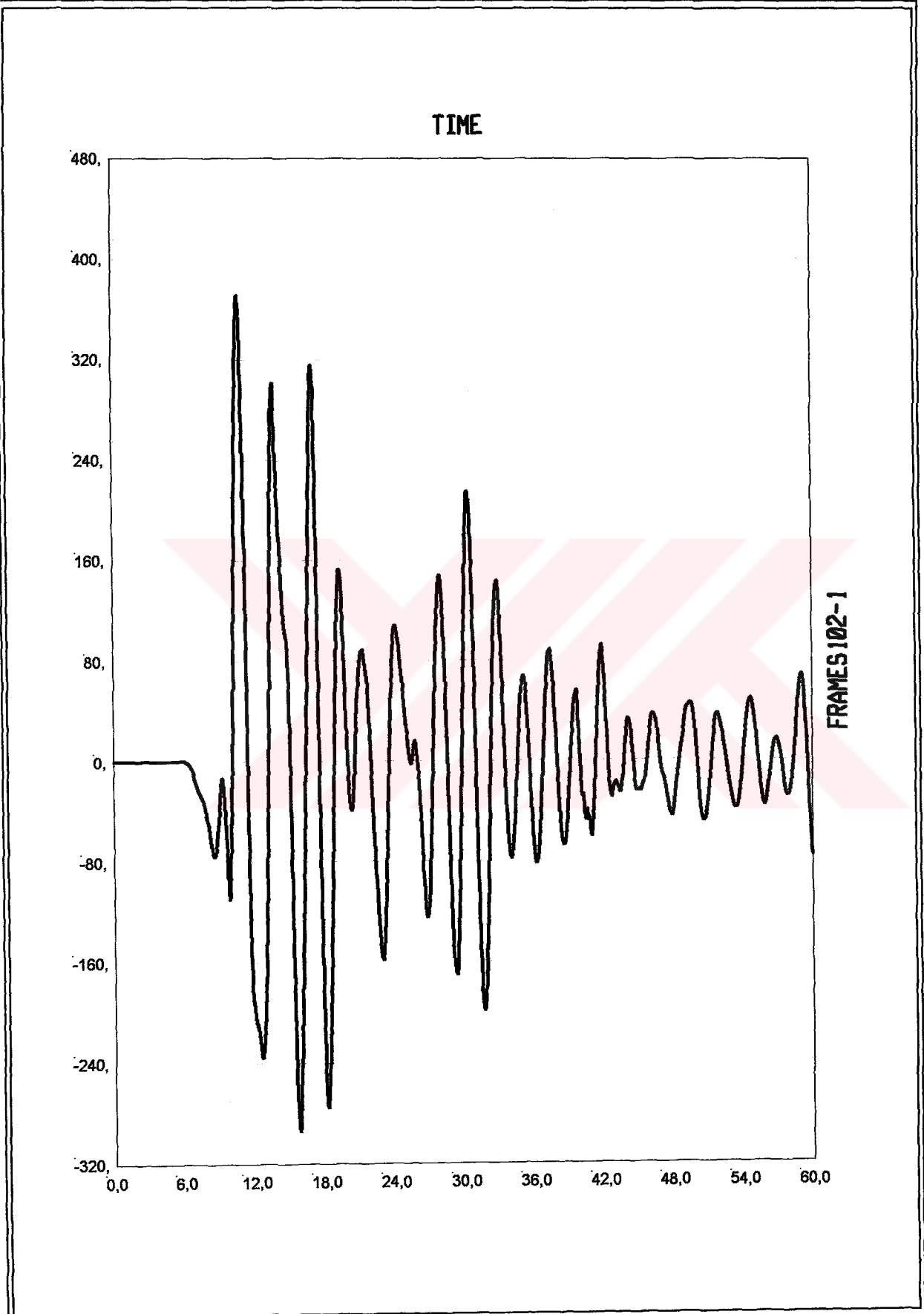
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint402: Joint 402 Displacement UX Vs Time  
Min is  $-2,240e-01$  at  $1,5775e+01$  Max is  $2,825e-01$  at  $1,0820e+01$



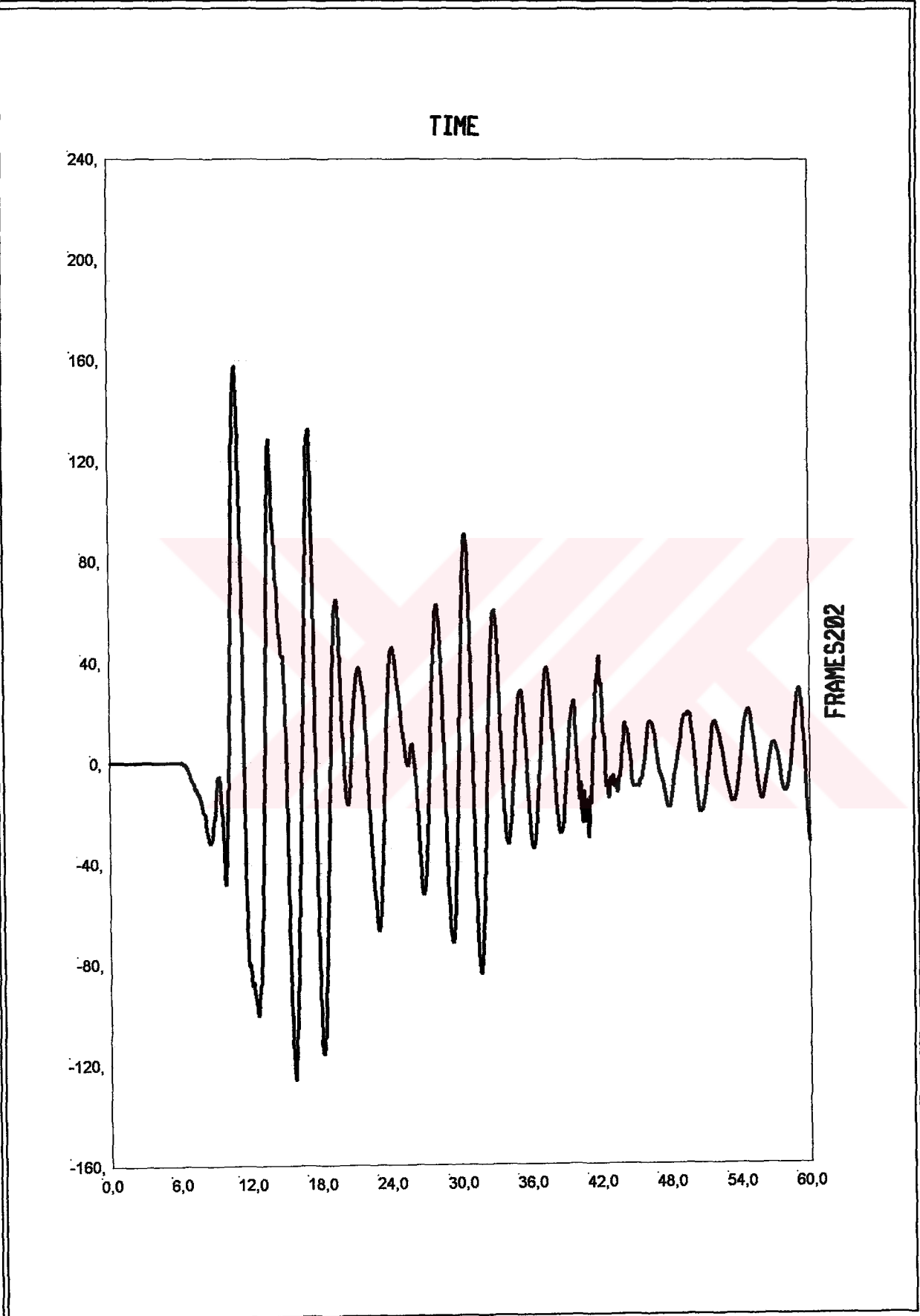
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint402-1: Joint 402 Acceleration UX Vs Time  
Min is -2,936e+00 at 1,3775e+01 Max is 3,778e+00 at 9,8850e+00



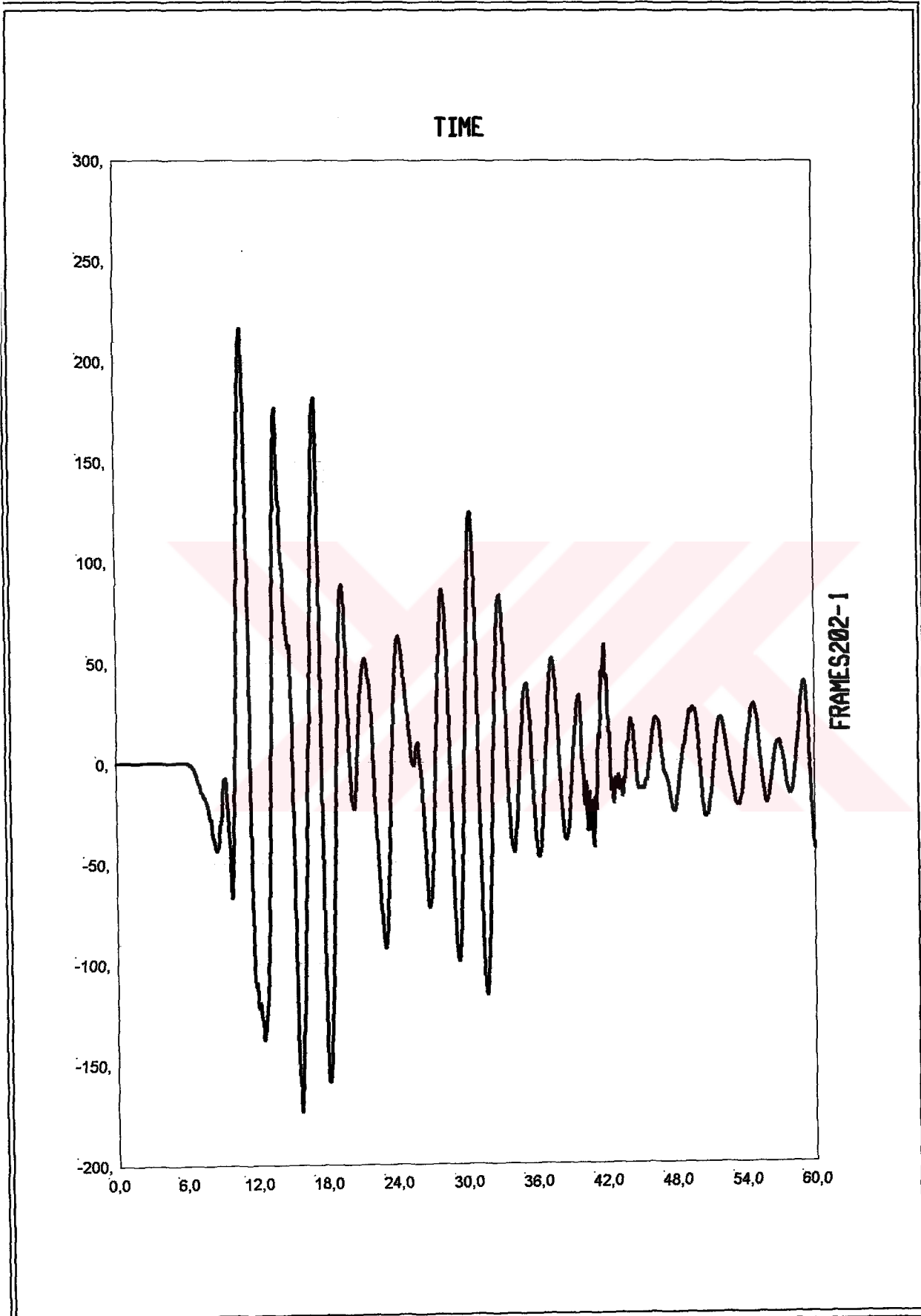
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS102: Frame S102 Station 1 Shear 2-2 Vs Time  
Min is -1,831e+02 at 1,5780e+01 Max is 2,308e+02 at 1,0820e+01



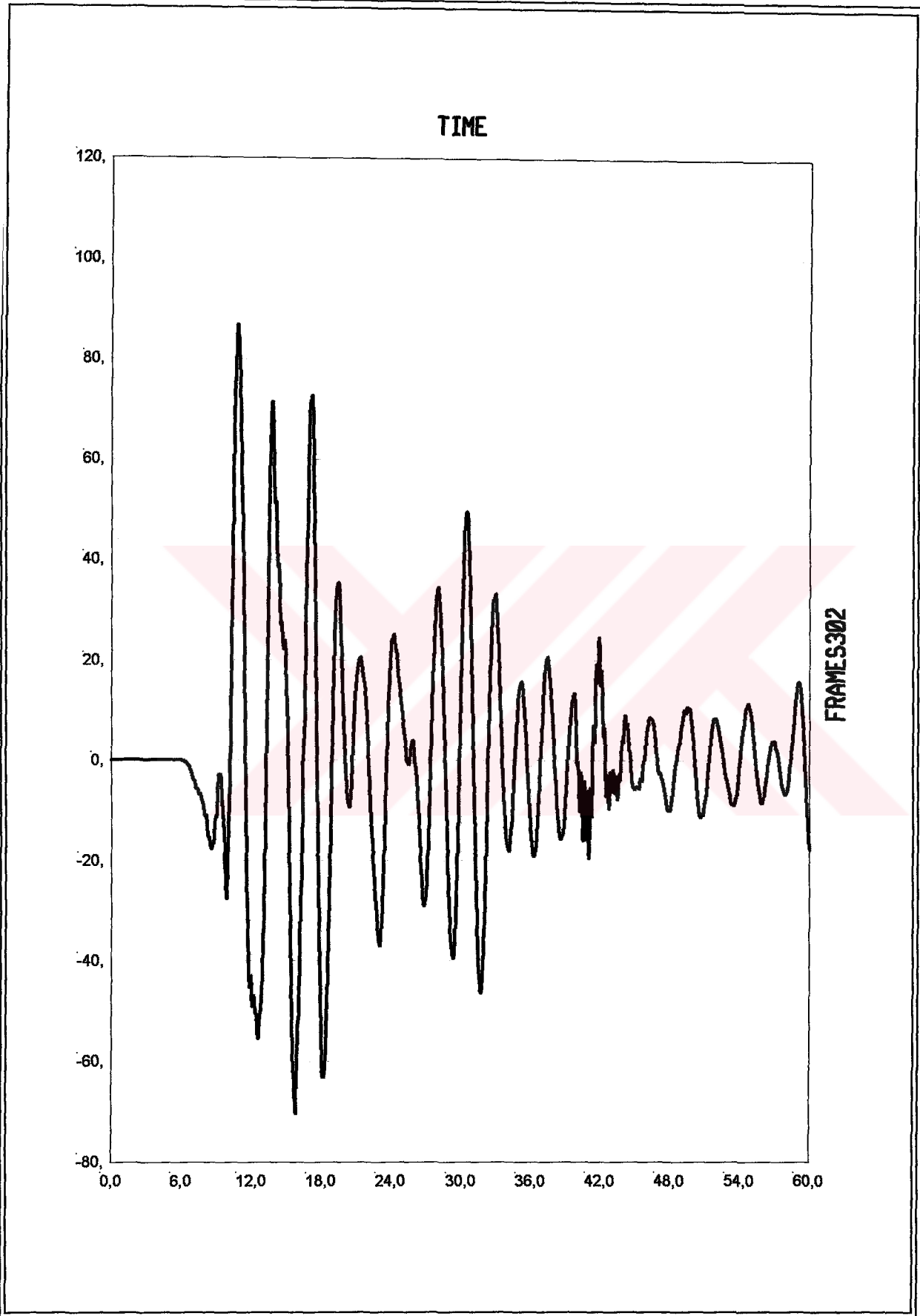
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS102-1: Frame S102 Station 1 Moment 3-3 Vs Time  
Min is -2,946e+02 at 1,5780e+01 Max is 3,712e+02 at 1,0820e+01



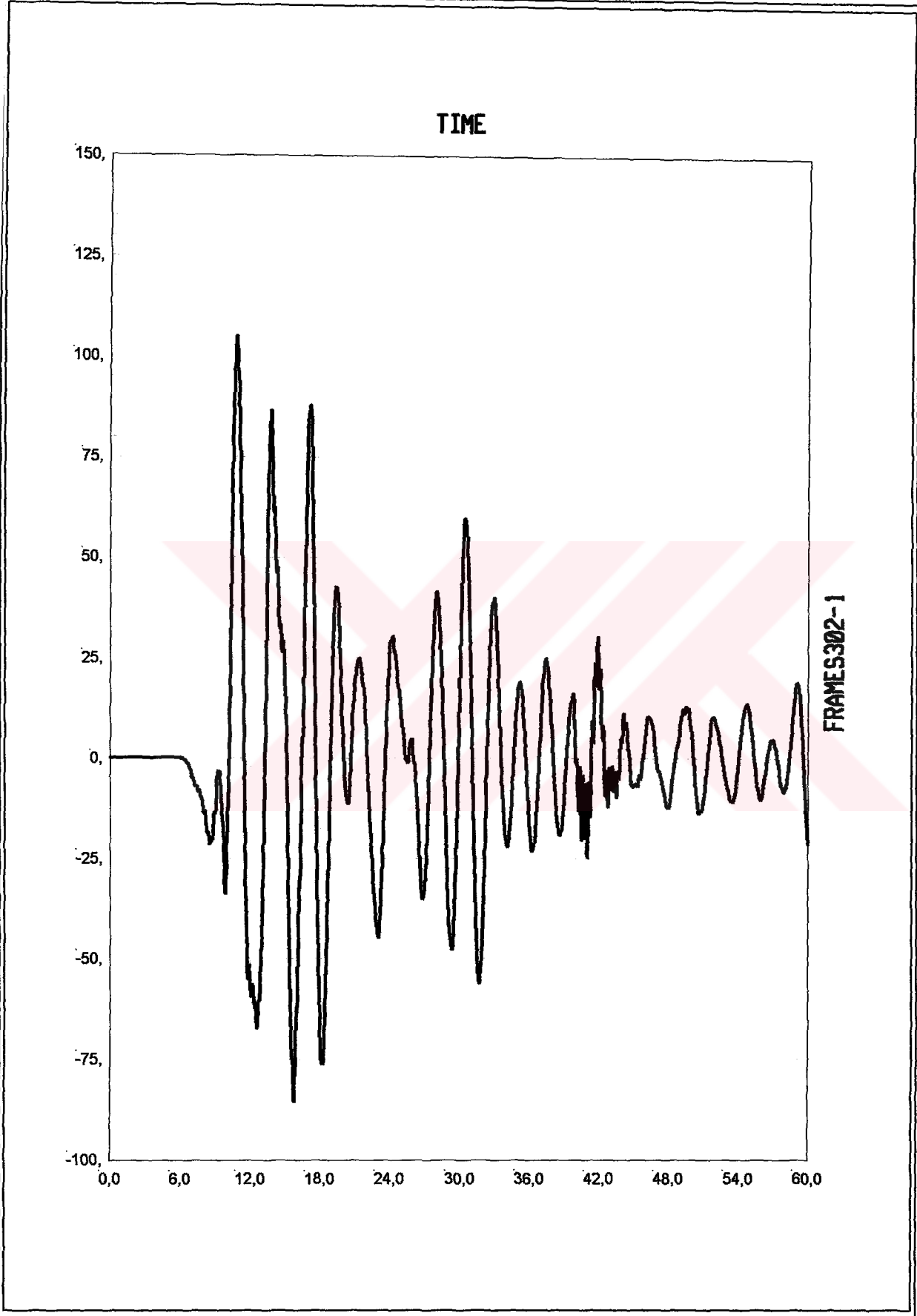
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS202: Frame S202 Station 1 Shear 2-2 Vs Time  
Min is -1,262e+02 at 1,5805e+01 Max is 1,577e+02 at 1,0815e+01



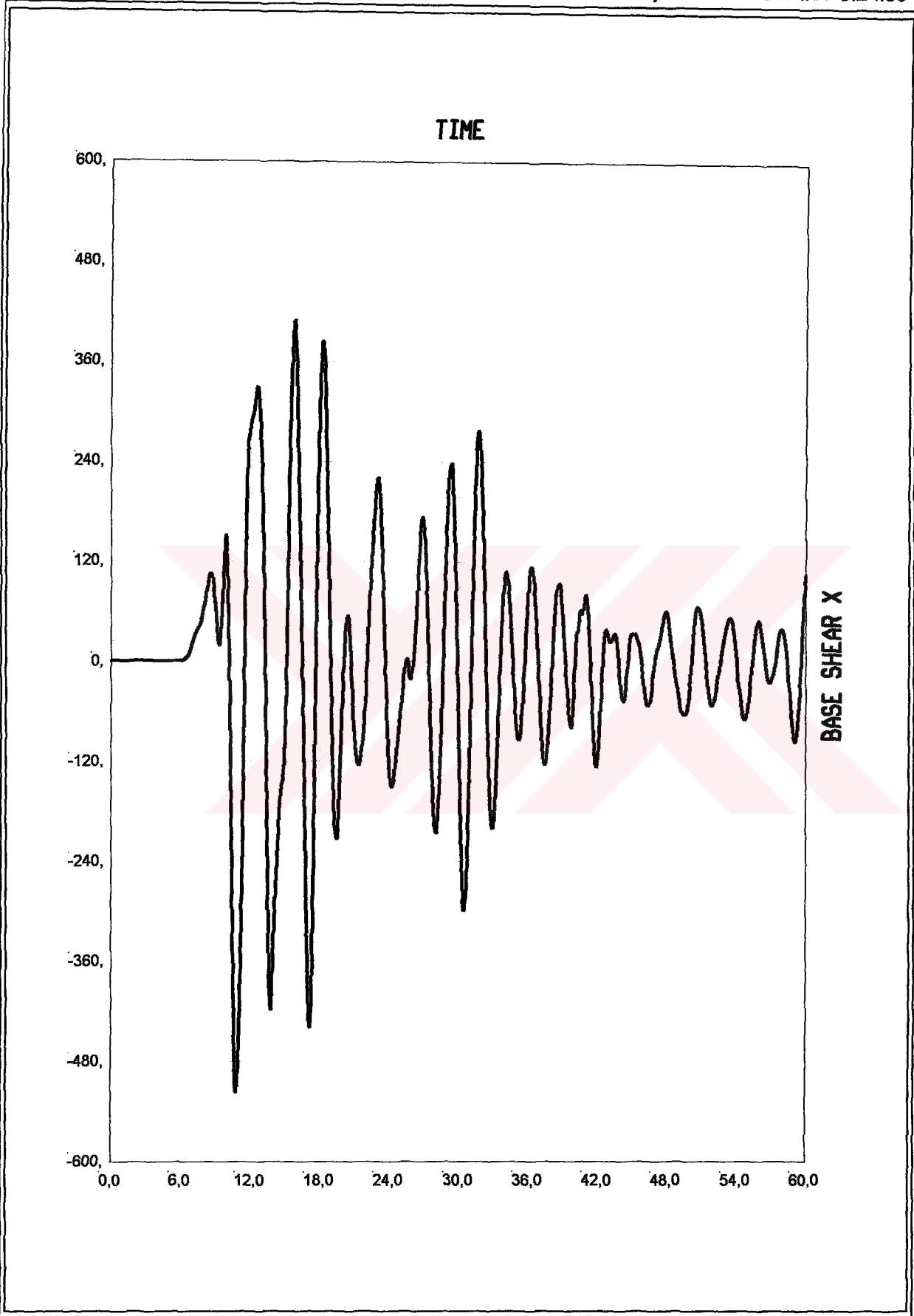
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS202-1: Frame S202 Station 1 Moment 3-3 Vs Time  
Min is -1,740e+02 at 1,5805e+01 Max is 2,167e+02 at 1,0815e+01



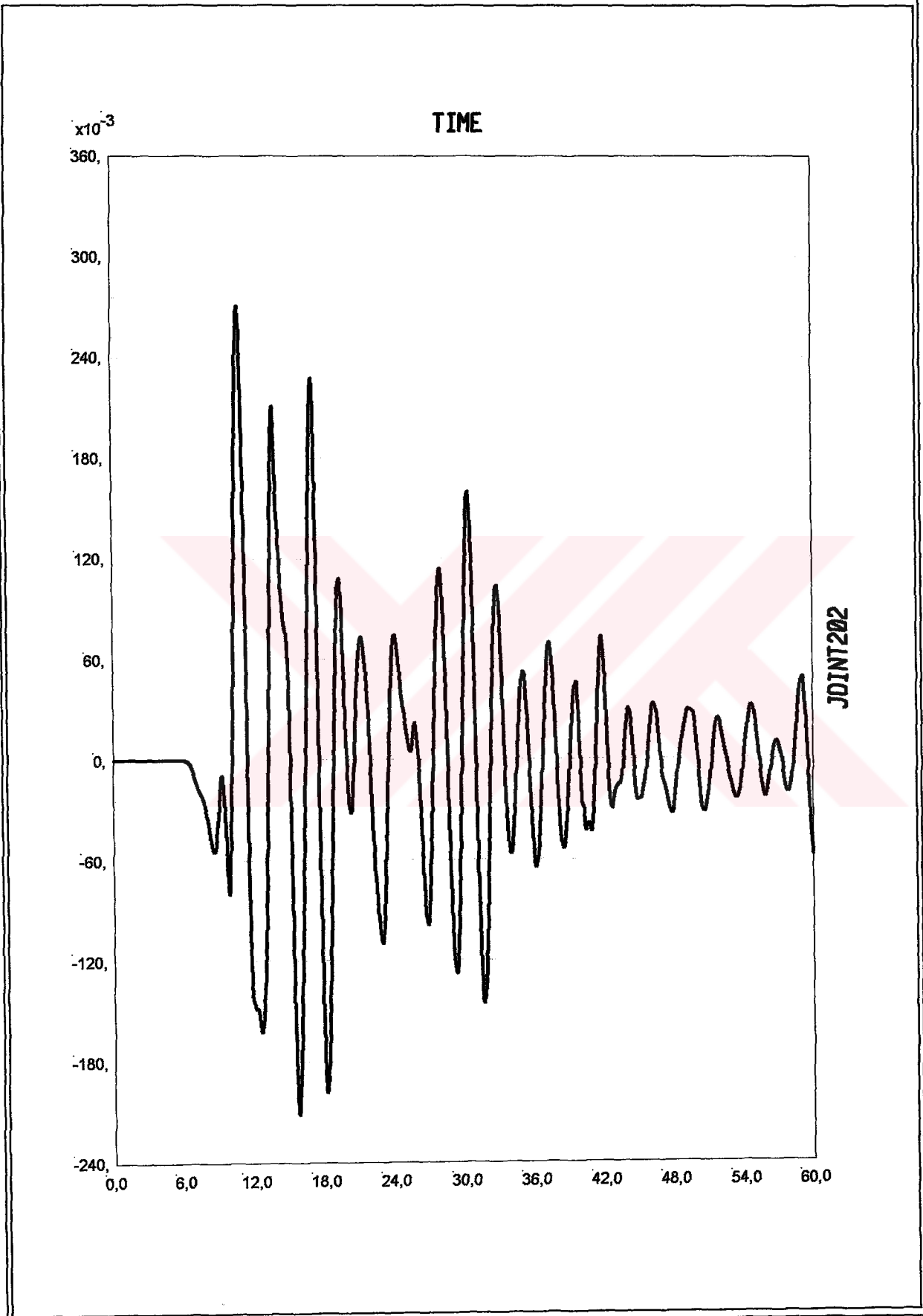
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS302: Frame S302 Station 1 Shear 2-2 Vs Time  
Min is -7,046e+01 at 1,5815e+01 Max is 8,692e+01 at 1,0810e+01



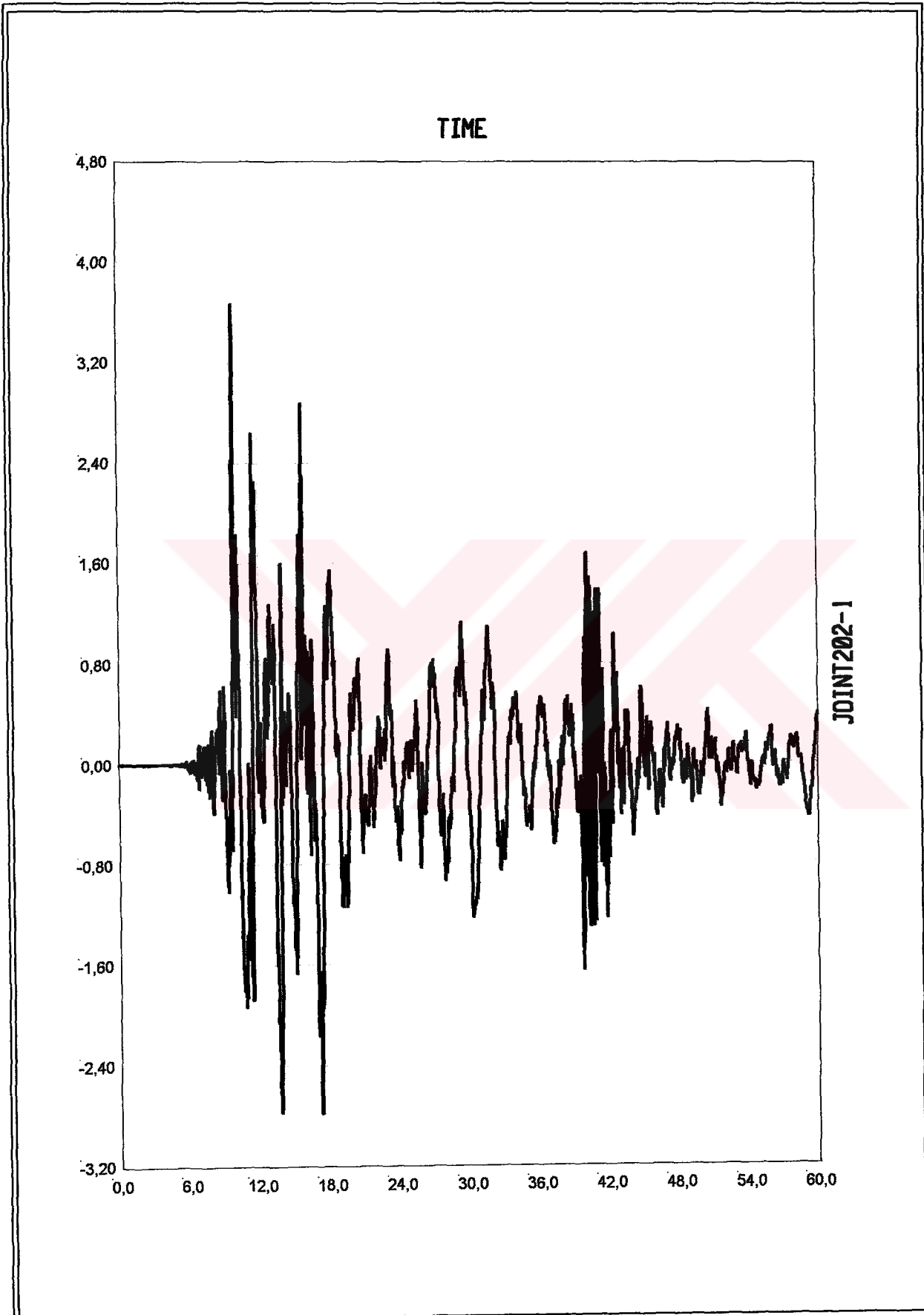
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS302-1: Frame S302 Station 1 Moment 3-3 Vs Time  
Min is -8,552e+01 at 1,5815e+01 Max is 1,051e+02 at 1,0810e+01



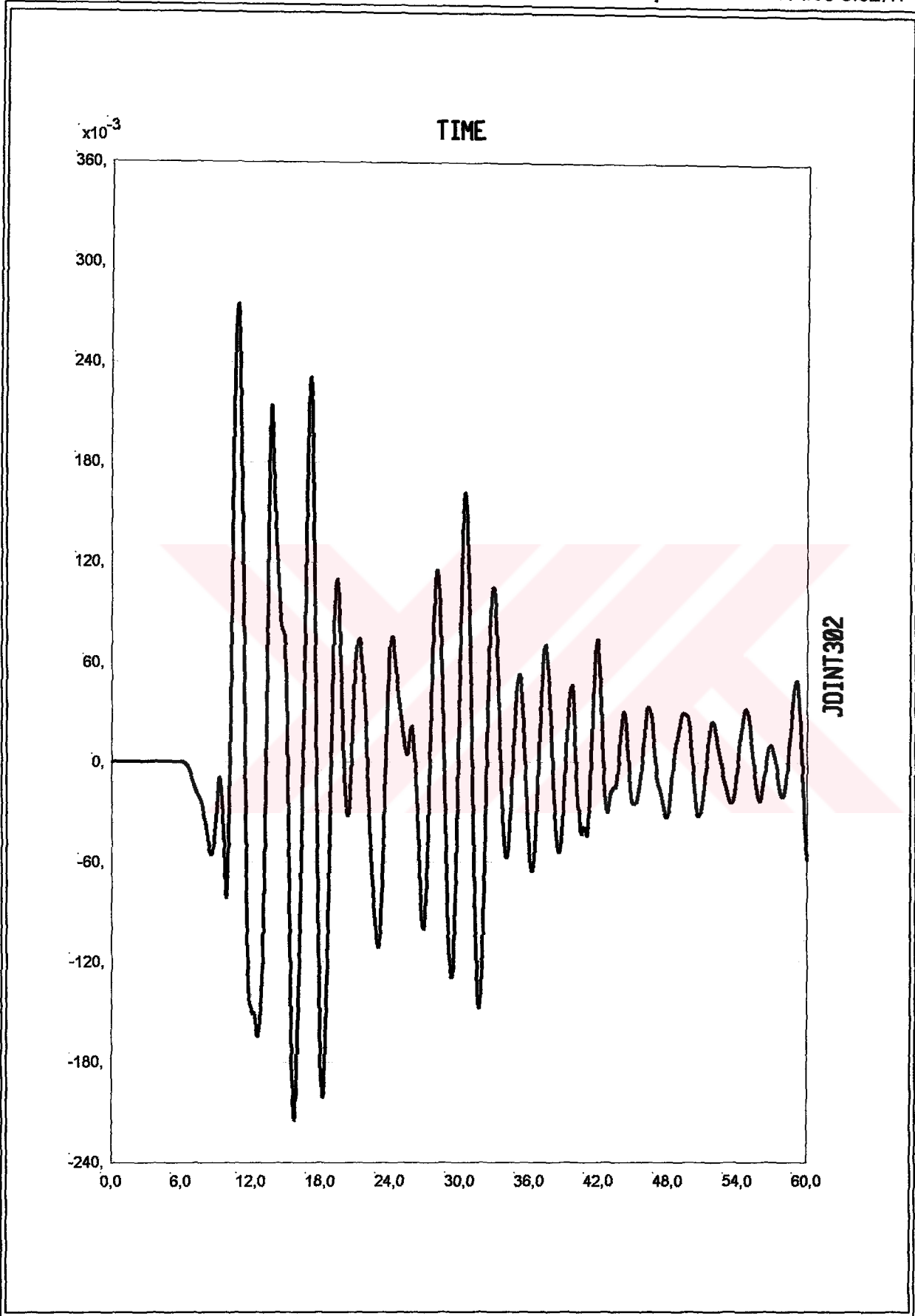
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Base Shear X: Base Shear X Vs Time  
Min is -5,167e+02 at 1,0820e+01 Max is 4,095e+02 at 1,5775e+01



SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
Joint202: Joint 202 Displacement UX Vs Time  
Min is -2,118e-01 at 1,5780e+01 Max is 2,707e-01 at 1,0815e+01

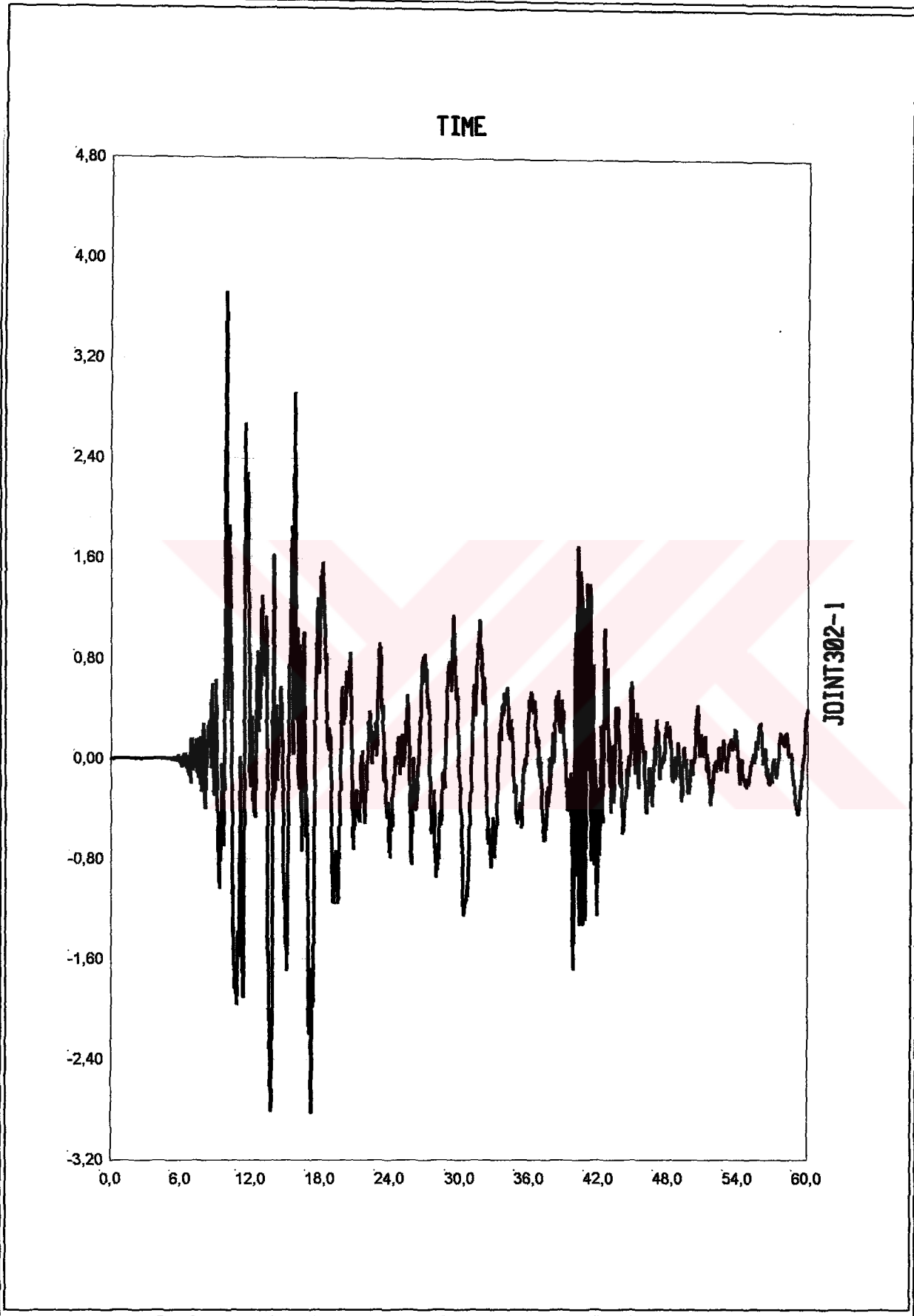


SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
Joint202-1: Joint 202 Acceleration UX Vs Time  
Min is -2,783e+00 at 1,7235e+01 Max is 3,666e+00 at 9,8850e+00

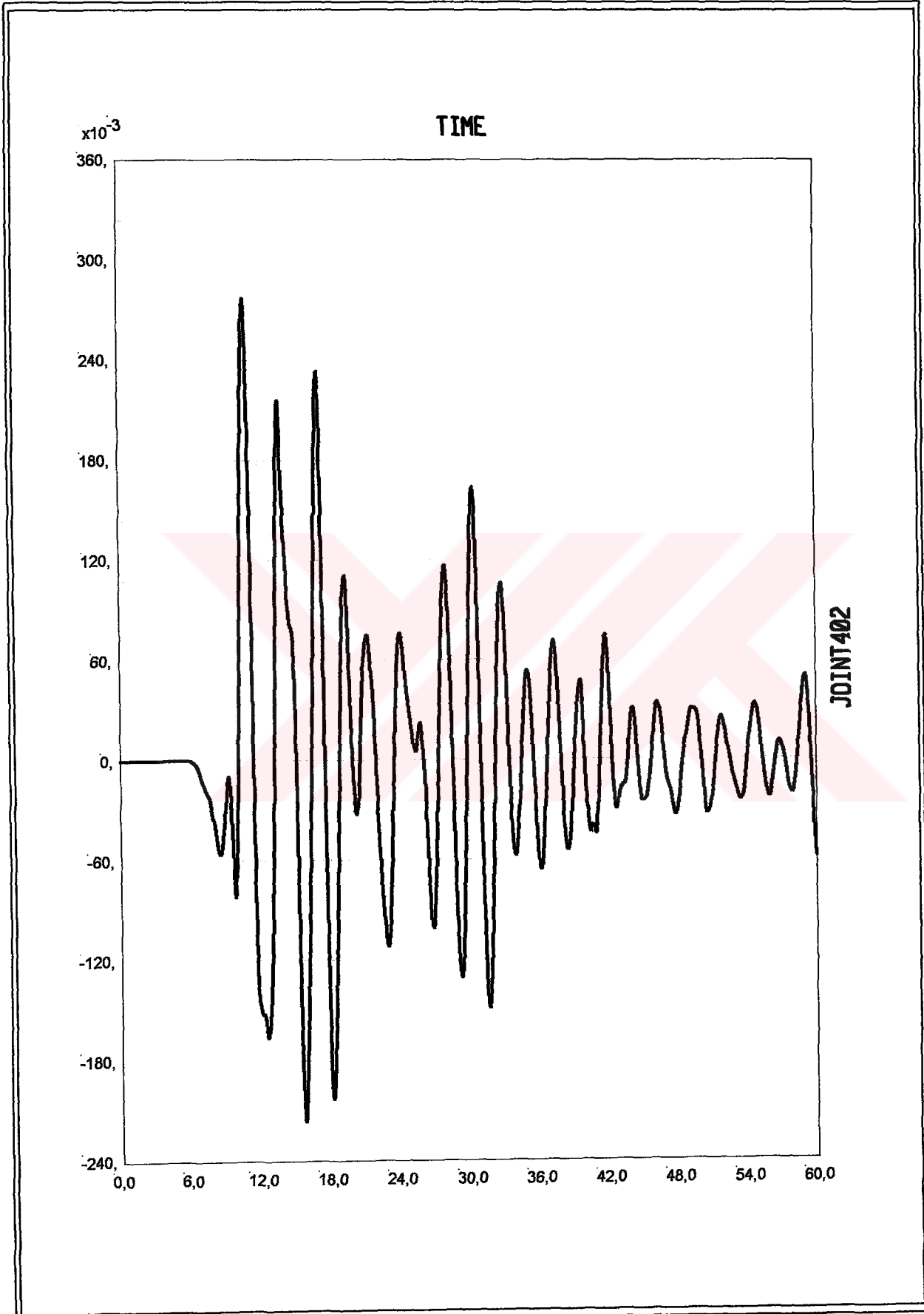


SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
Joint302: Joint 302 Displacement UX Vs Time

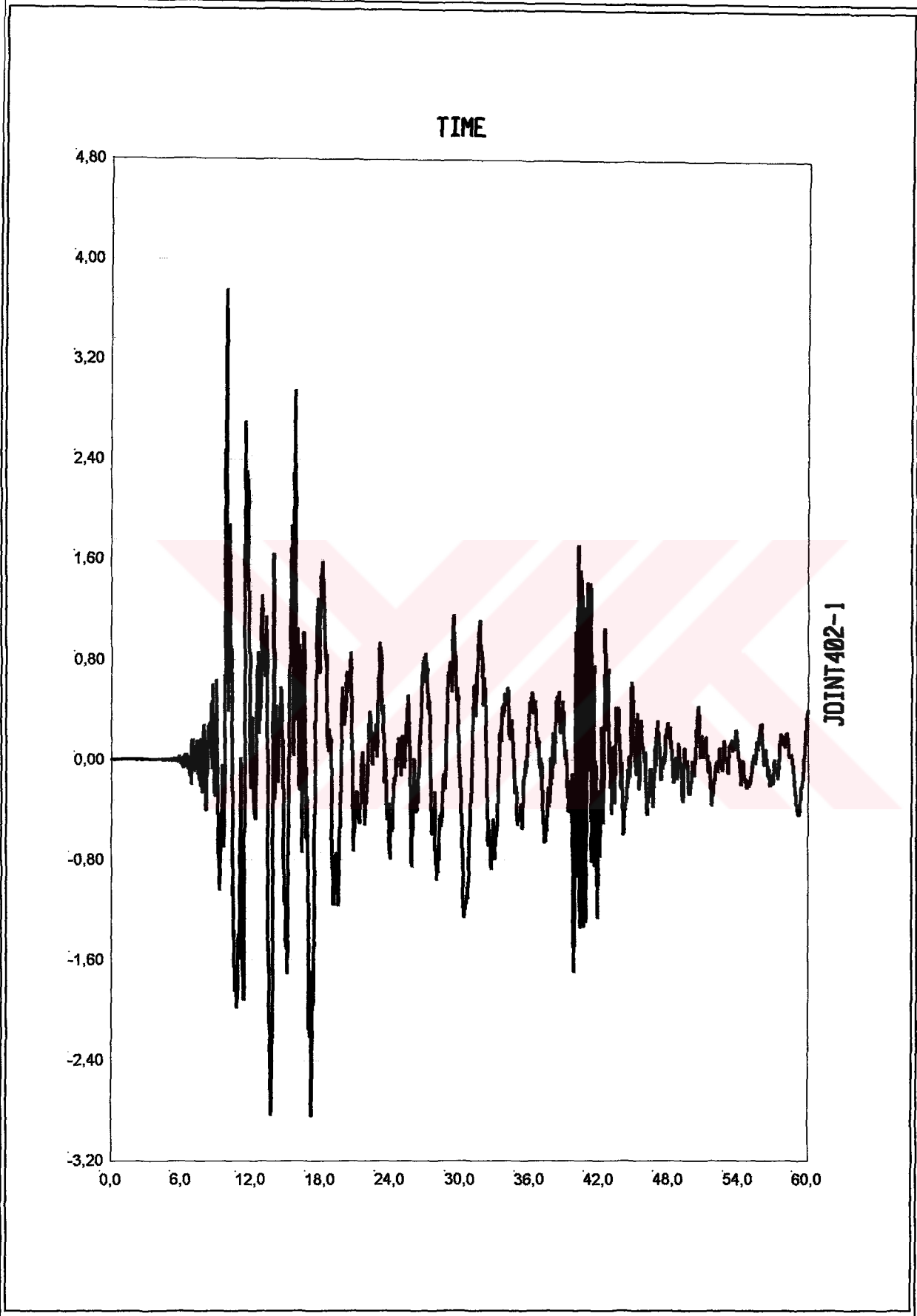
Min is  $-2,151e-01$  at  $1,5780e+01$  Max is  $2,749e-01$  at  $1,0815e+01$



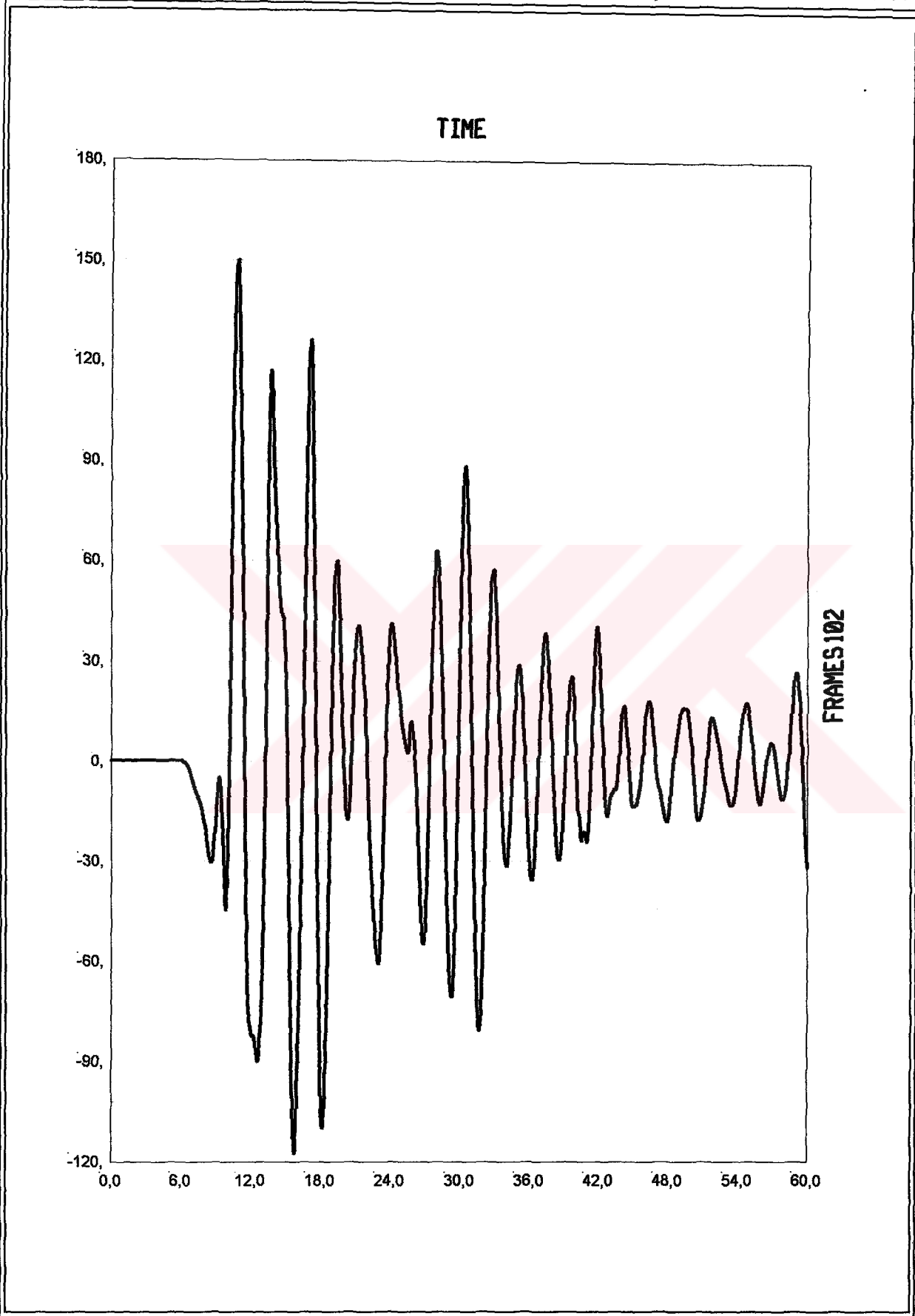
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
Joint302-1: Joint 302 Acceleration UX Vs Time  
Min is -2,825e+00 at 1,7235e+01 Max is 3,724e+00 at 9,8850e+00



SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
Joint402: Joint 402 Displacement UX Vs Time  
Min is -2,169e-01 at 1,5780e+01 Max is 2,771e-01 at 1,0815e+01

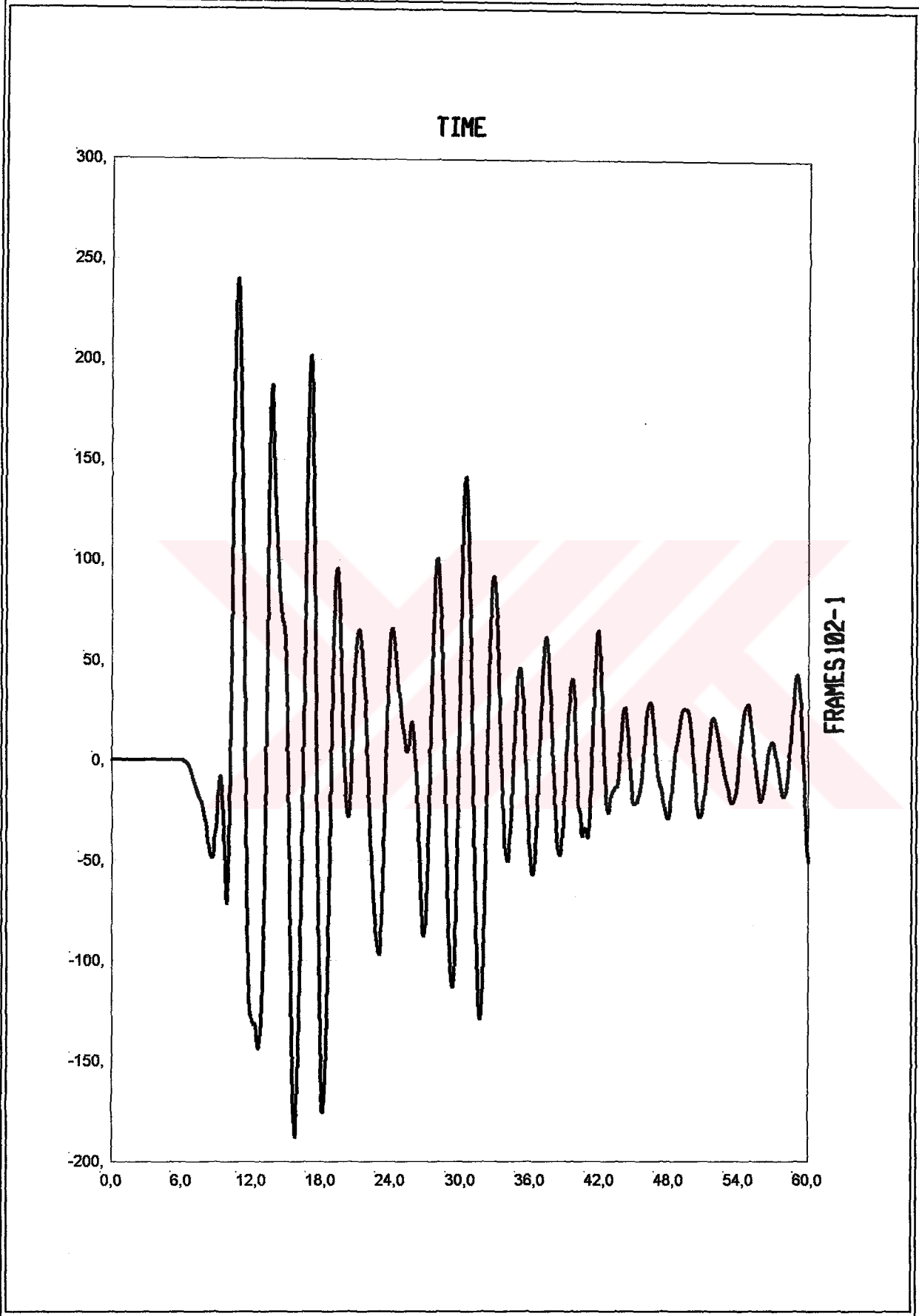


SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
Joint402-1: Joint 402 Acceleration UX Vs Time  
Min is -2,847e+00 at 1,7235e+01 Max is 3,755e+00 at 9,8850e+00



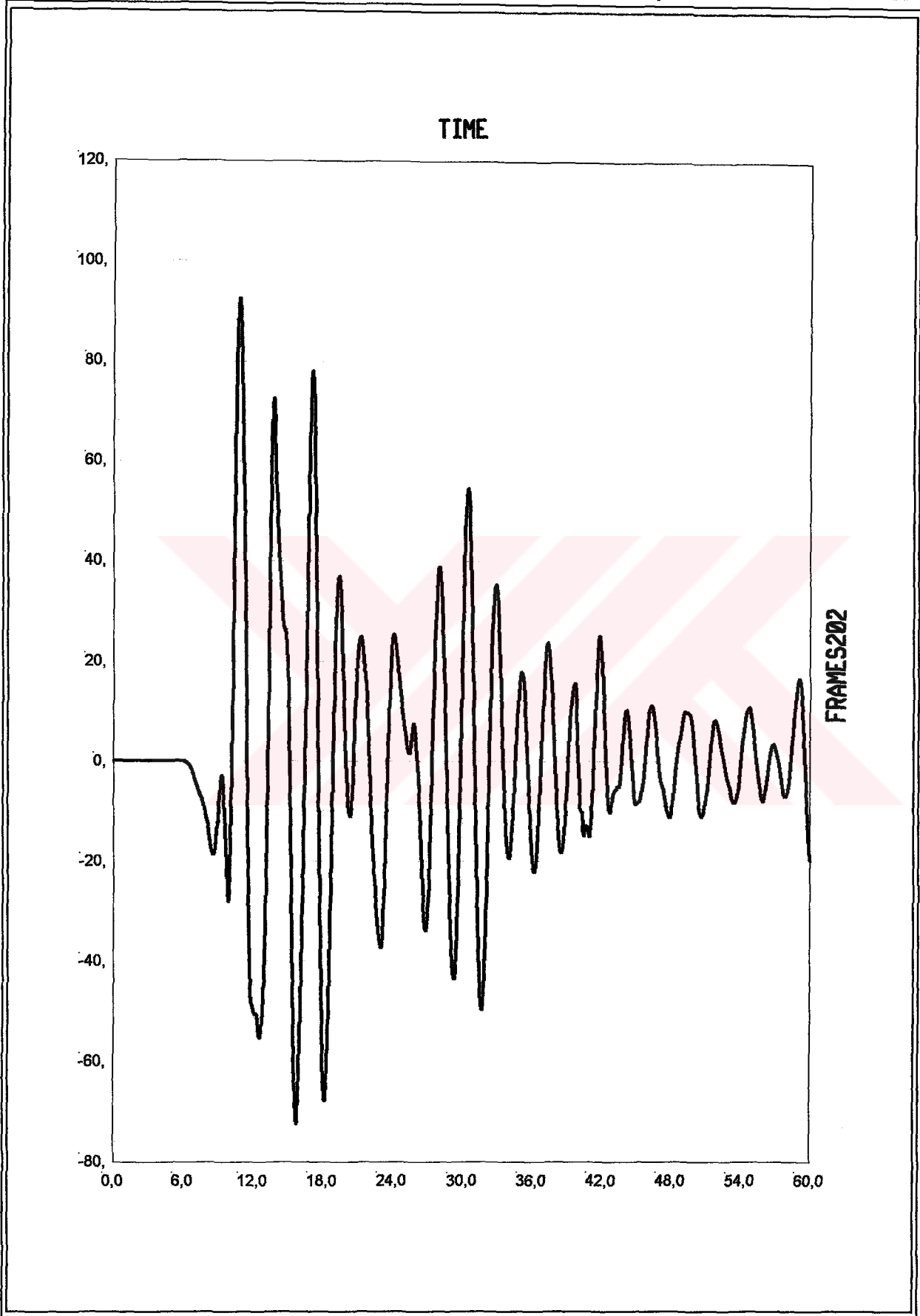
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
FrameS102: Frame S102 Station 1 Shear 2-2 Vs Time

Min is -1,175e+02 at 1,5780e+01 Max is 1,502e+02 at 1,0815e+01

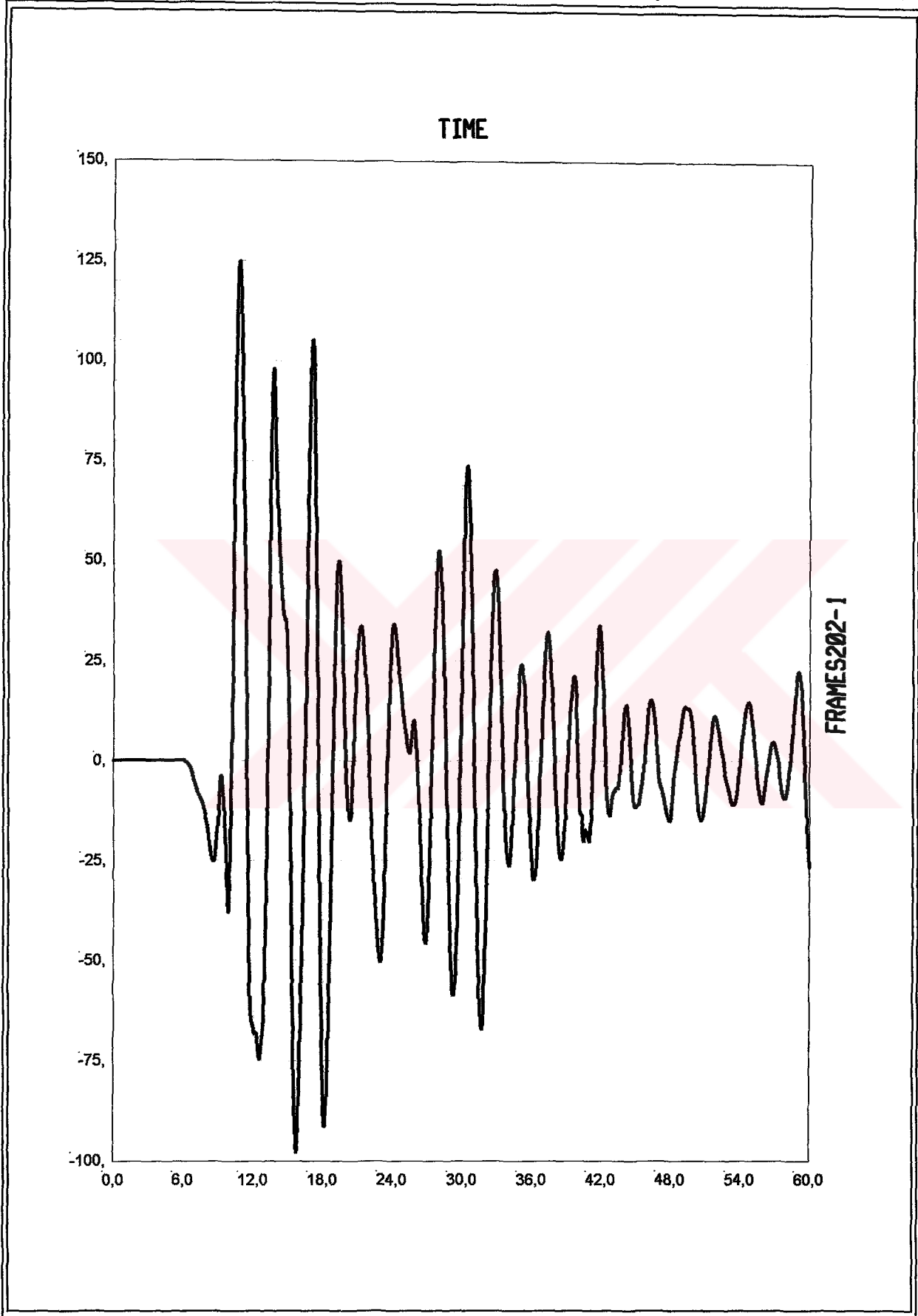


SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
FrameS102-1: Frame S102 Station 1 Moment 3-3 Vs Time

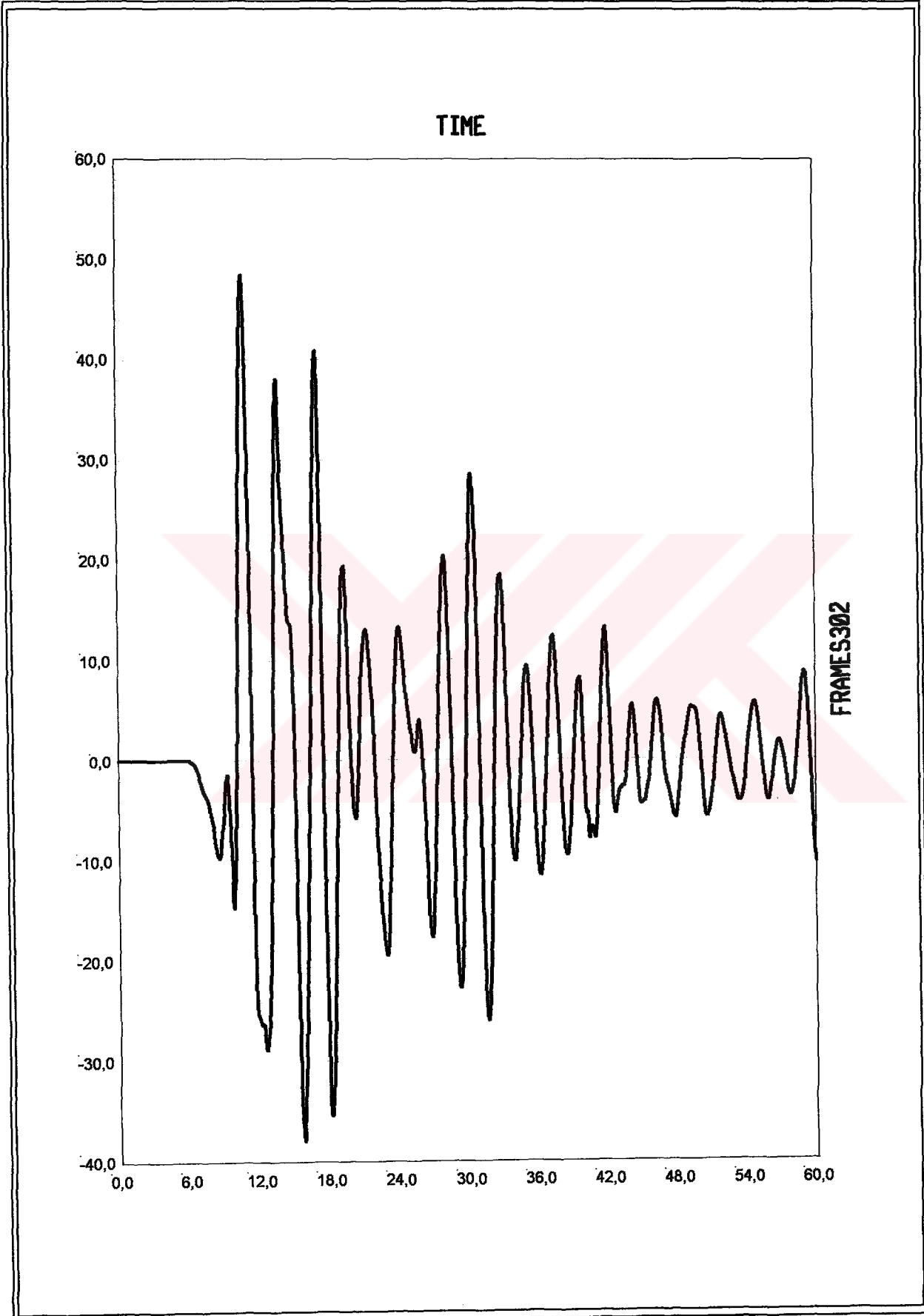
Min is -1,880e+02 at 1,5780e+01 Max is 2,402e+02 at 1,0815e+01



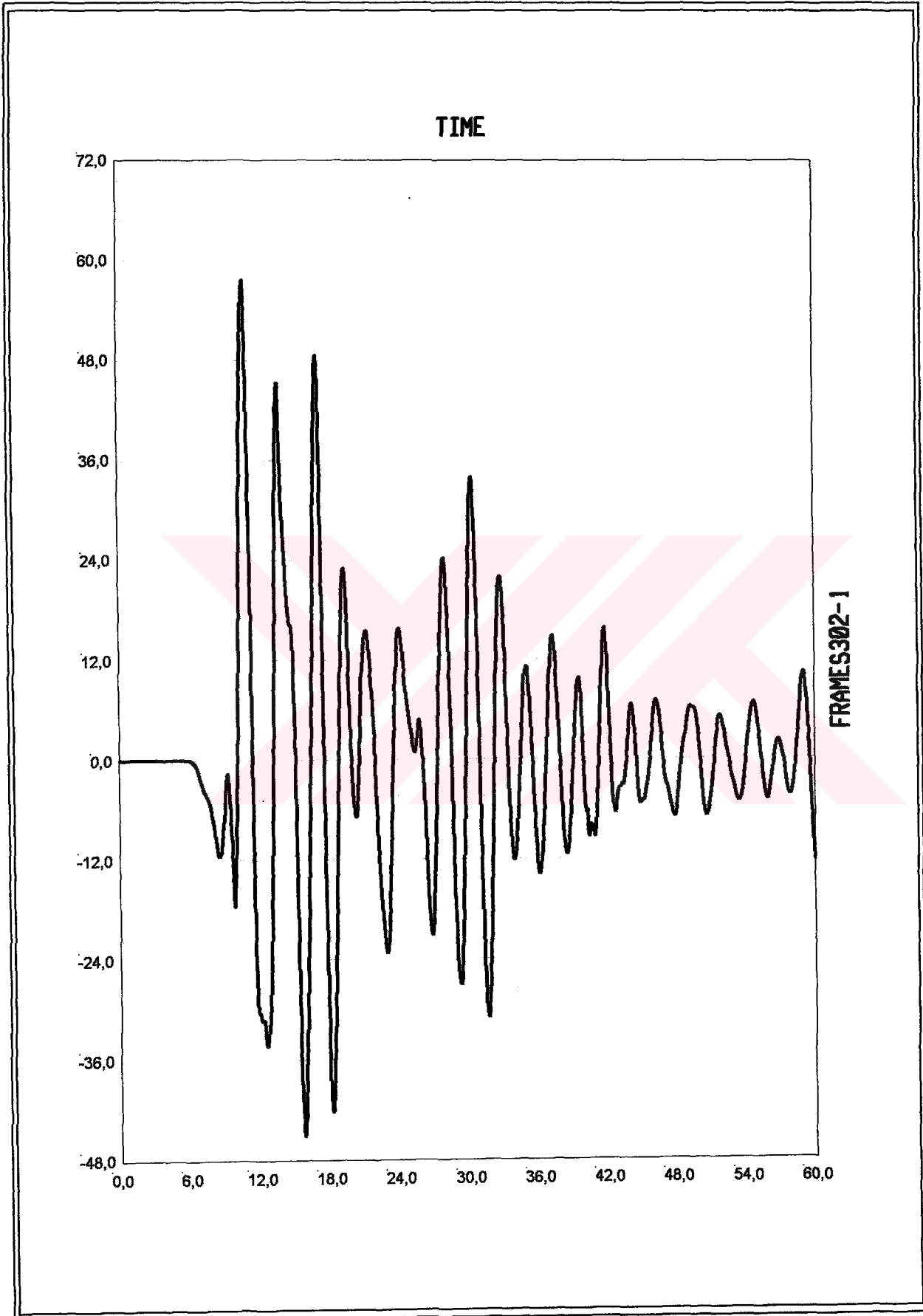
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
FrameS202: Frame S202 Station 1 Shear 2-2 Vs Time  
Min is -7,259e+01 at 1,5790e+01 Max is 9,264e+01 at 1,0815e+01



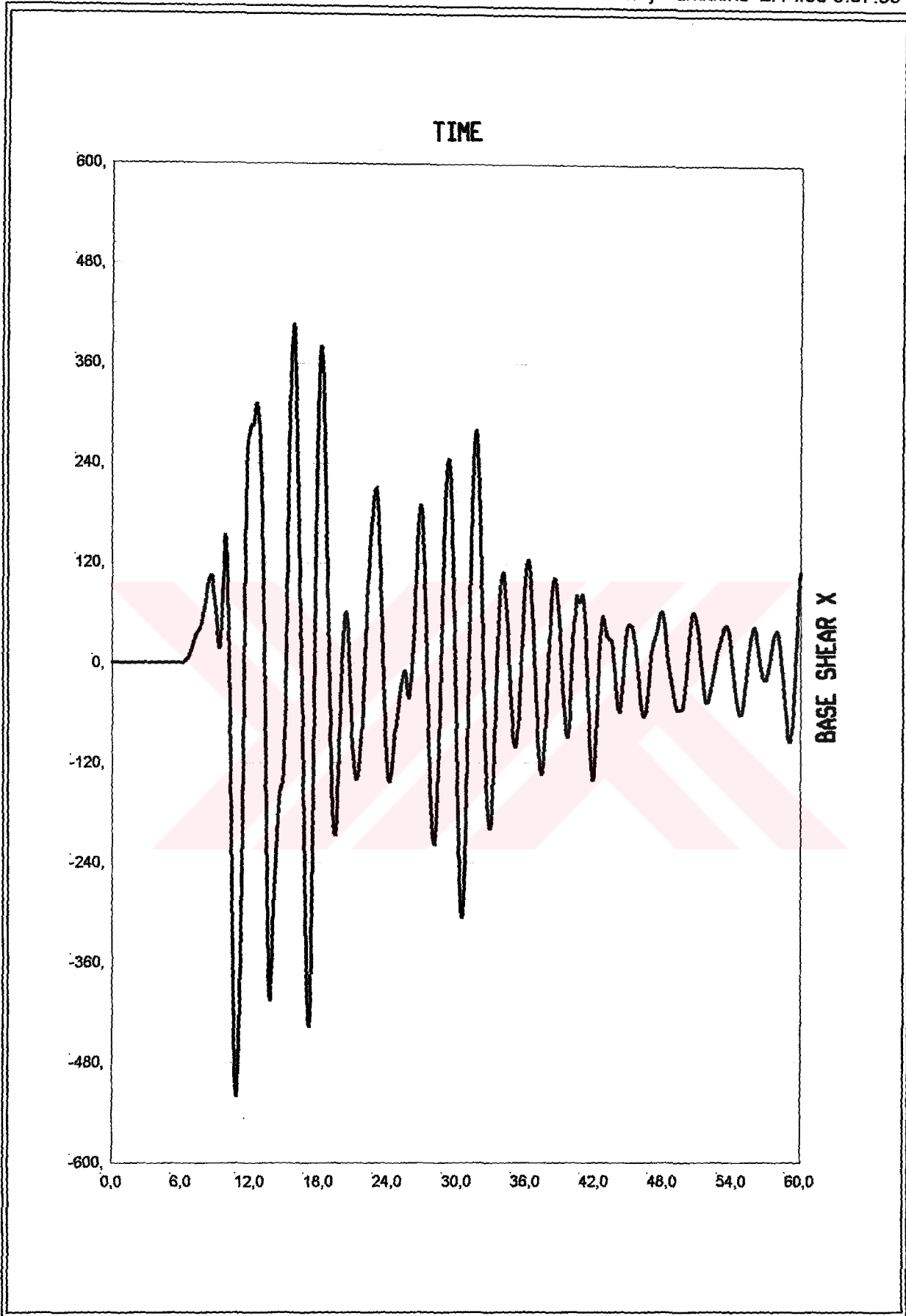
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
FramesS202-1: Frame S202 Station 1 Moment 3-3 Vs Time  
Min is -9,795e+01 at 1,5790e+01 Max is 1,250e+02 at 1,0815e+01



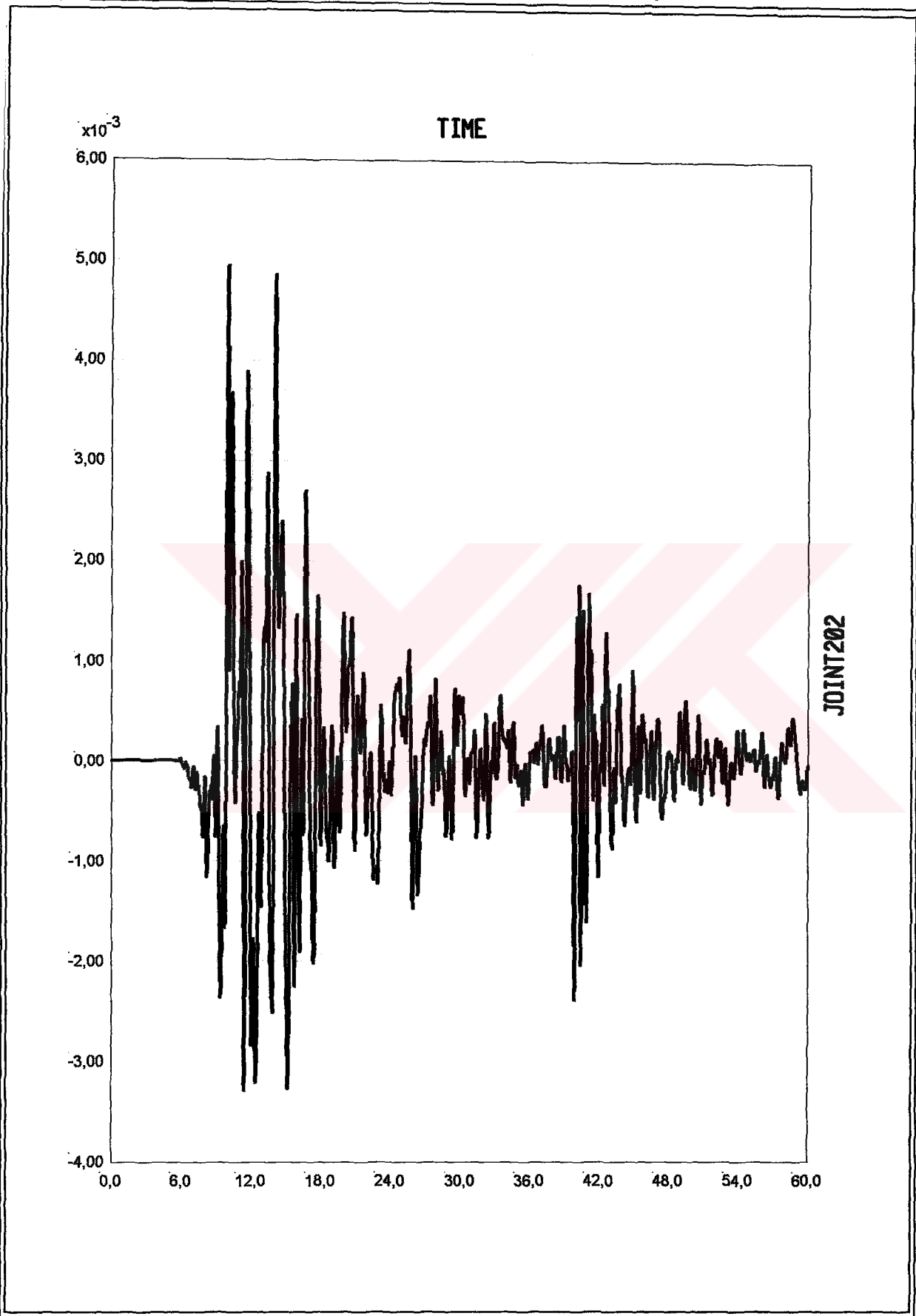
SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
FrameS302: Frame S302 Station 1 Shear 2-2 Vs Time  
Min is -3,796e+01 at 1,5790e+01 Max is 4,843e+01 at 1,0815e+01



SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
FrameS302-1: Frame S302 Station 1 Moment 3-3 Vs Time  
Min is -4,515e+01 at 1,5795e+01 Max is 5,758e+01 at 1,0815e+01

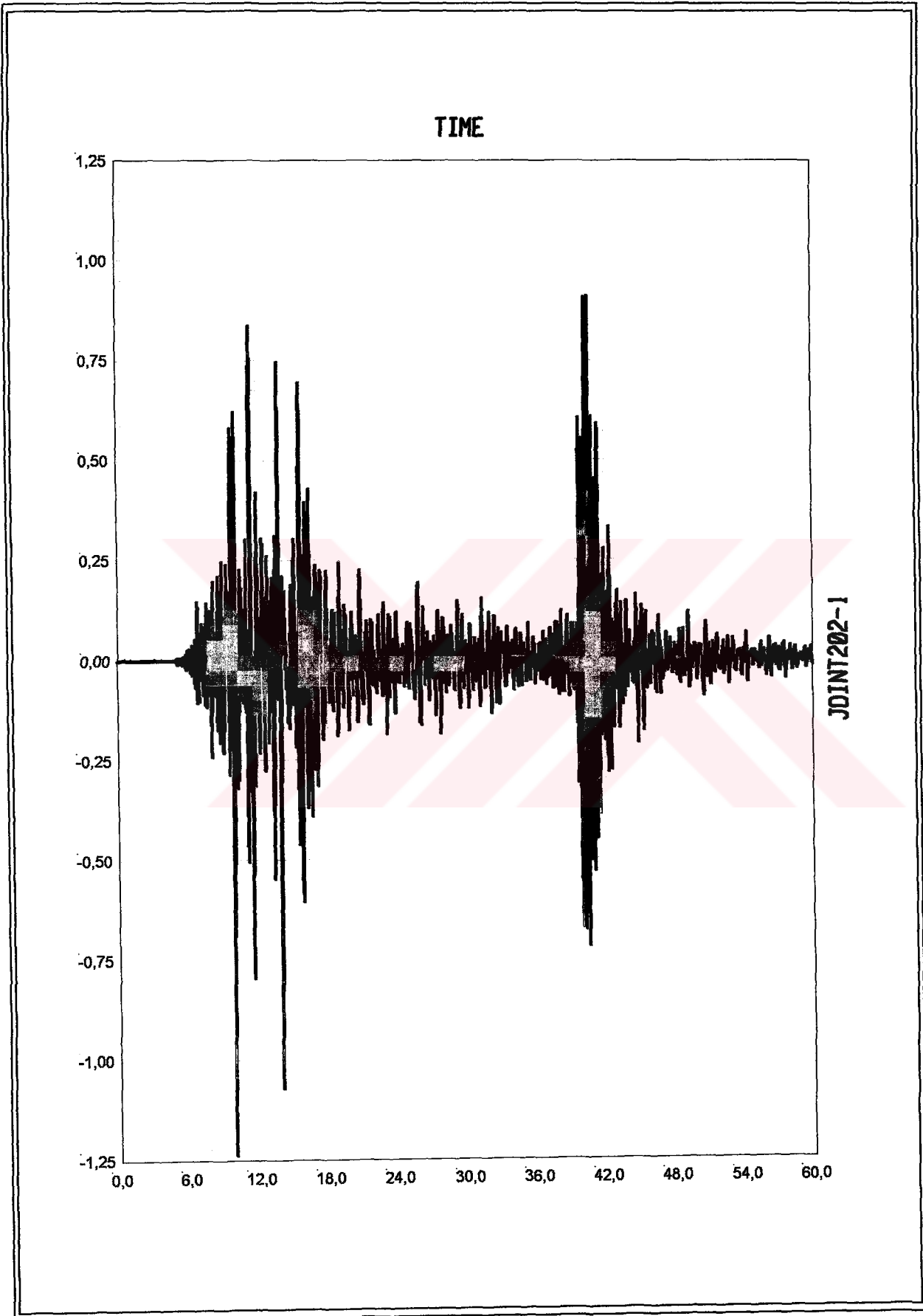


SAP2000 v8.0.8 - File:isolated-viscodamp\_V8 - Case:HIST1 - KN, m, C Units  
Base Shear X: Base Shear X Vs Time  
Min is -5,204e+02 at 1,0810e+01 Max is 4,071e+02 at 1,5780e+01

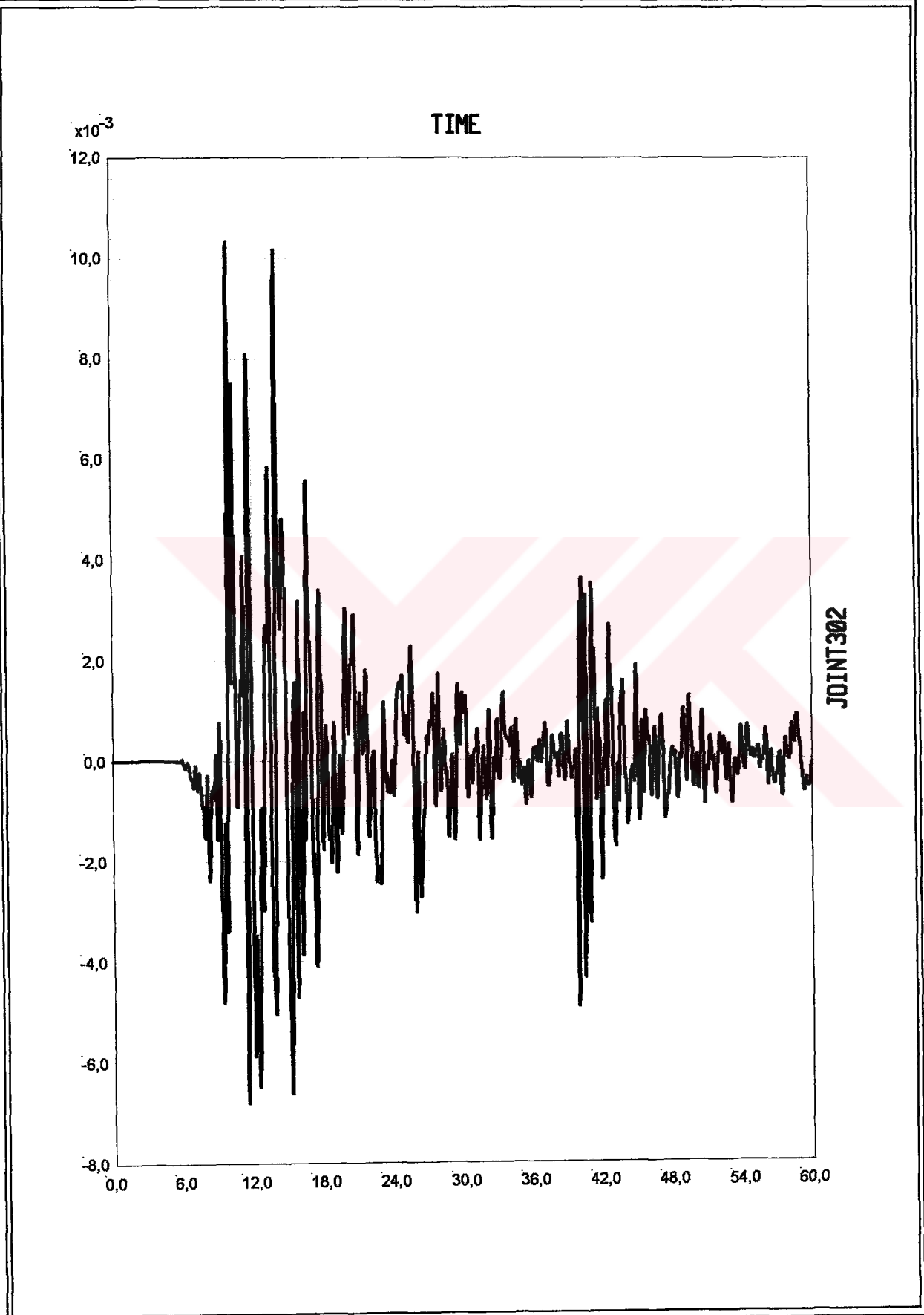


SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint202: Joint 202 Displacement UX Vs Time

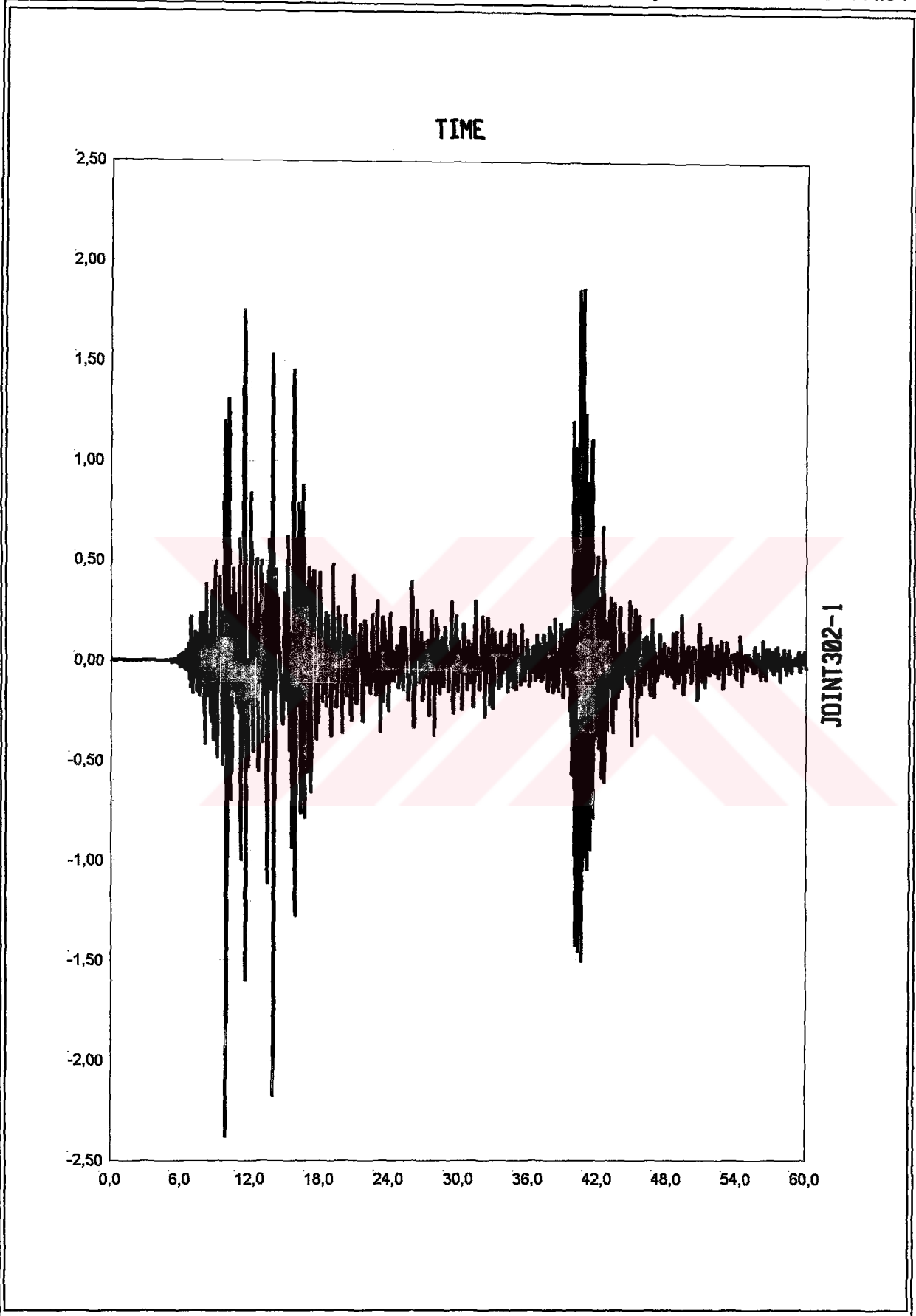
Min is -3,288e-03 at 1,1450e+01 Max is 4,949e-03 at 9,9650e+00



SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint202-1: Joint 202 Acceleration UX Vs Time  
Min is -1,239e+00 at 9,9250e+00 Max is 9,115e-01 at 4,0665e+01



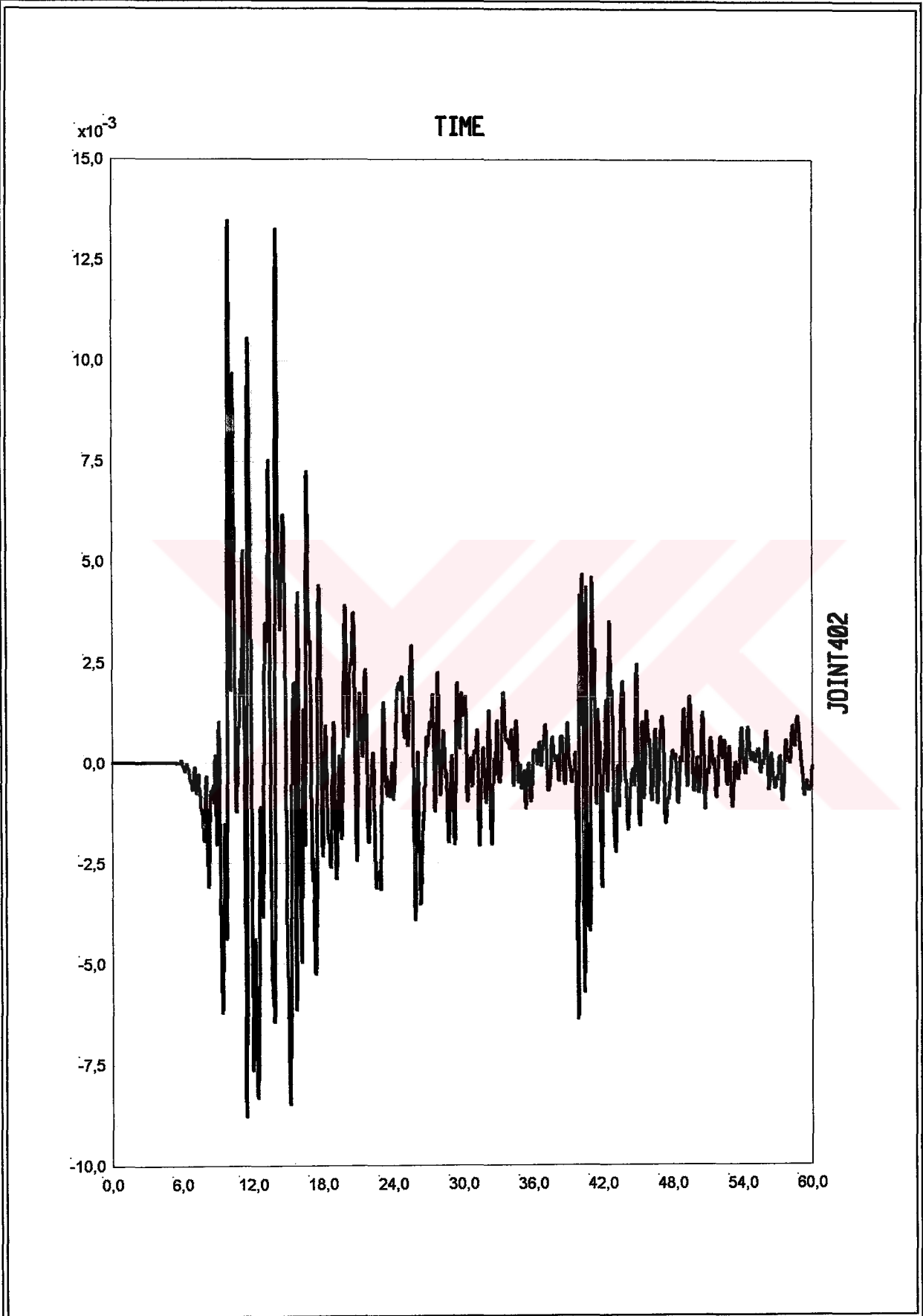
SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint302: Joint 302 Displacement UX Vs Time  
Min is -6,794e-03 at 1,1455e+01 Max is 1,034e-02 at 9,9700e+00



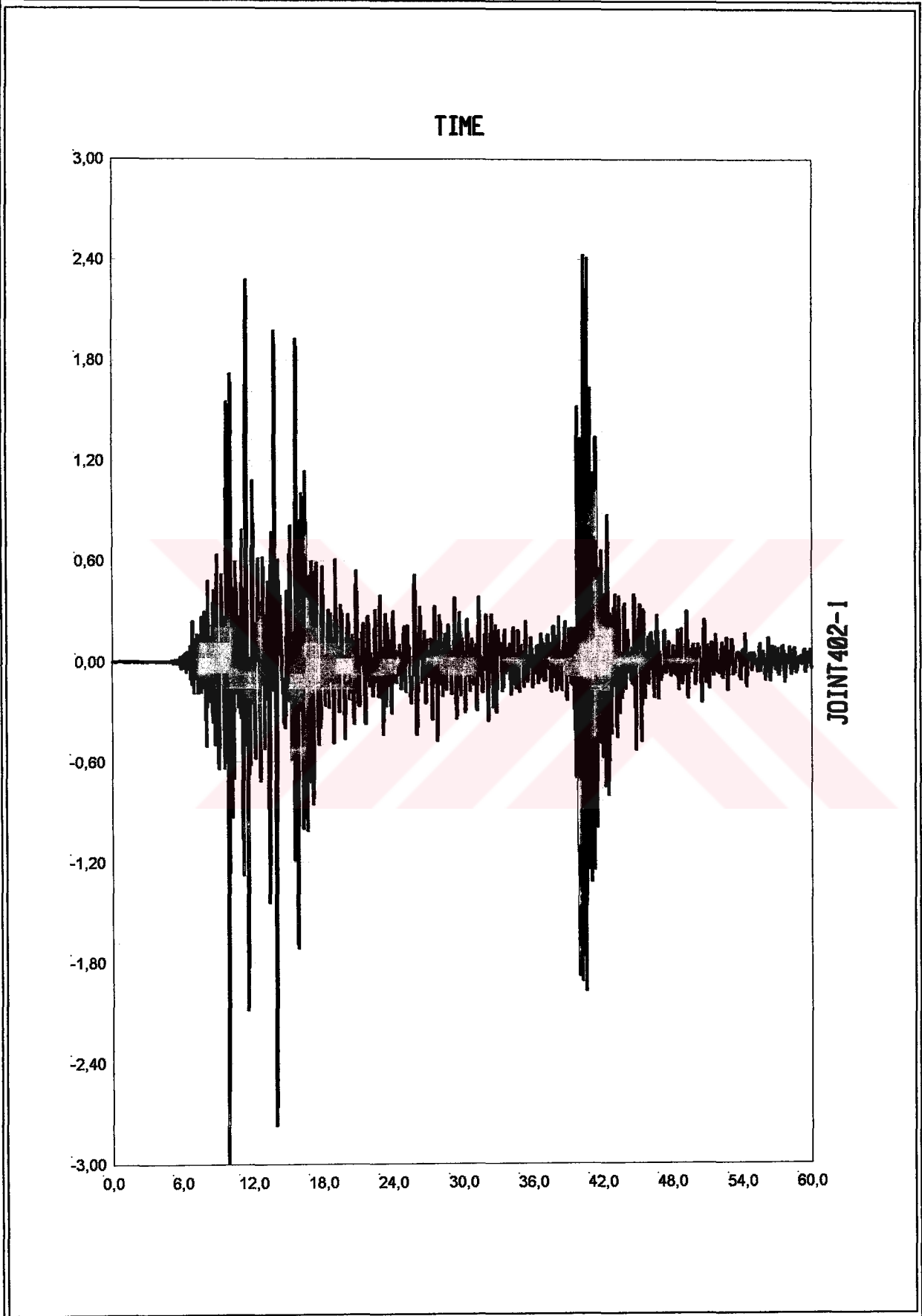
SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units

Joint302-1: Joint 302 Acceleration UX Vs Time

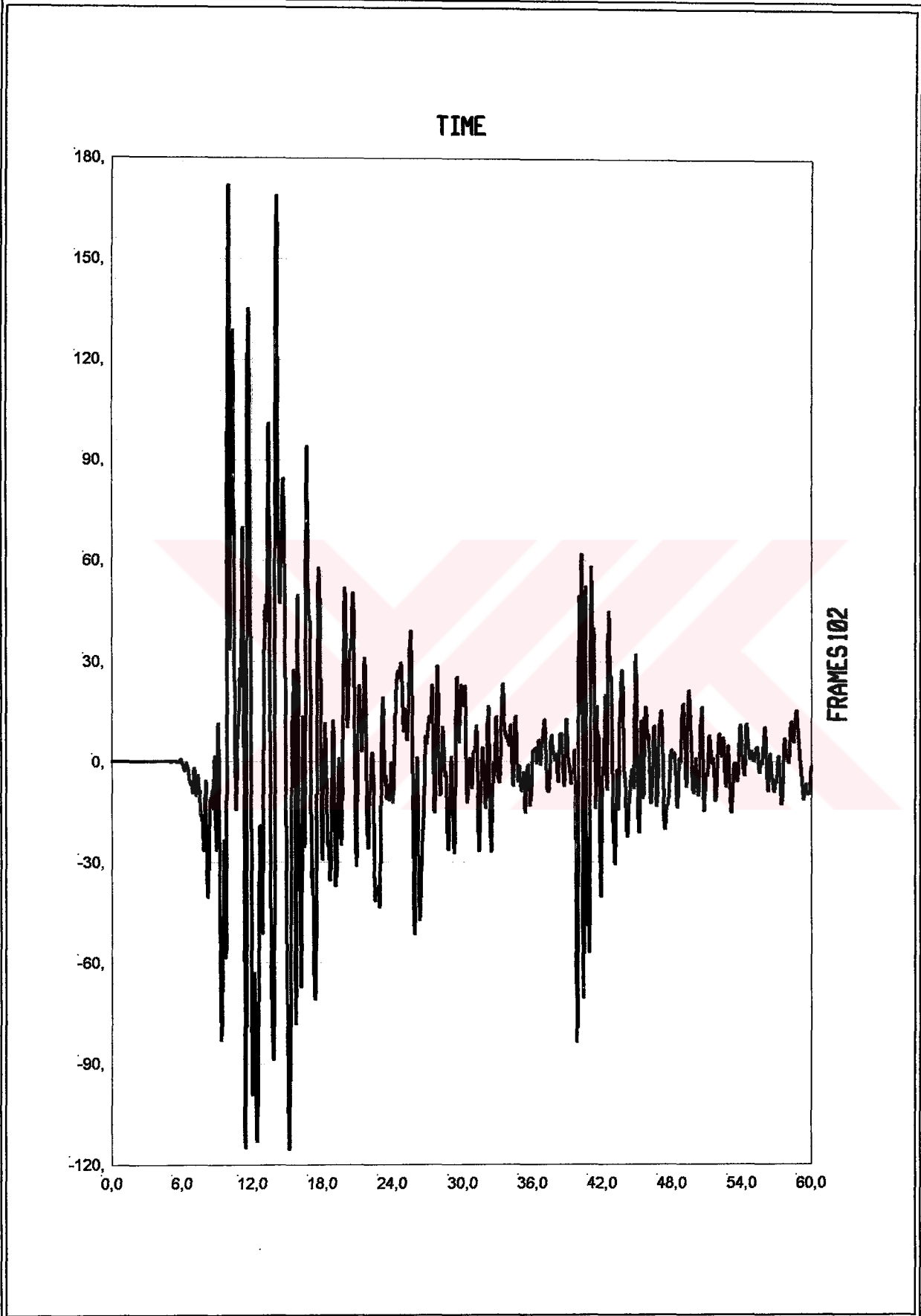
Min is -2,381e+00 at 9,9350e+00 Max is 1,866e+00 at 4,0670e+01



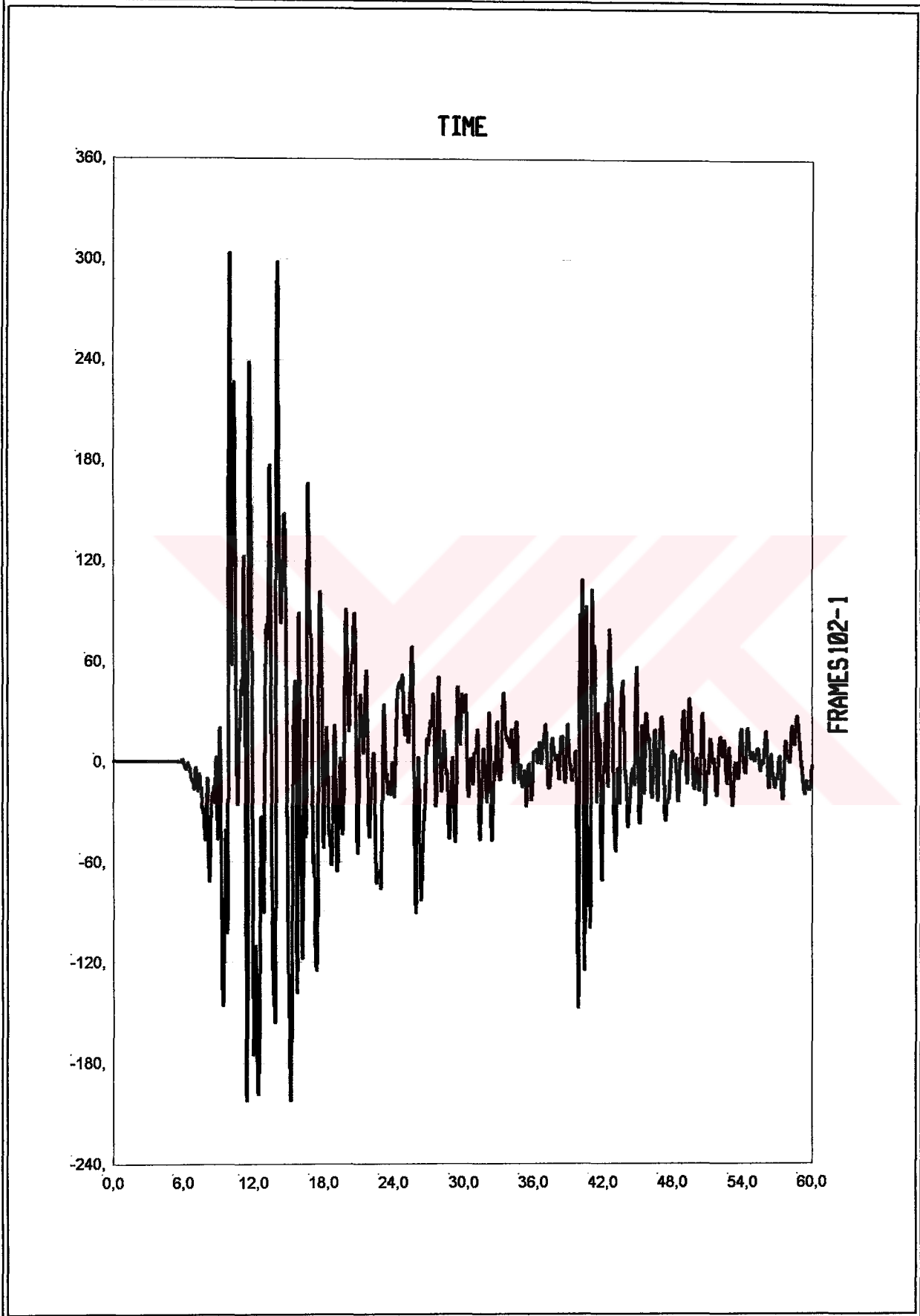
SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint402: Joint 402 Displacement UX Vs Time  
Min is -8,809e-03 at 1,1460e+01 Max is 1,348e-02 at 9,9700e+00

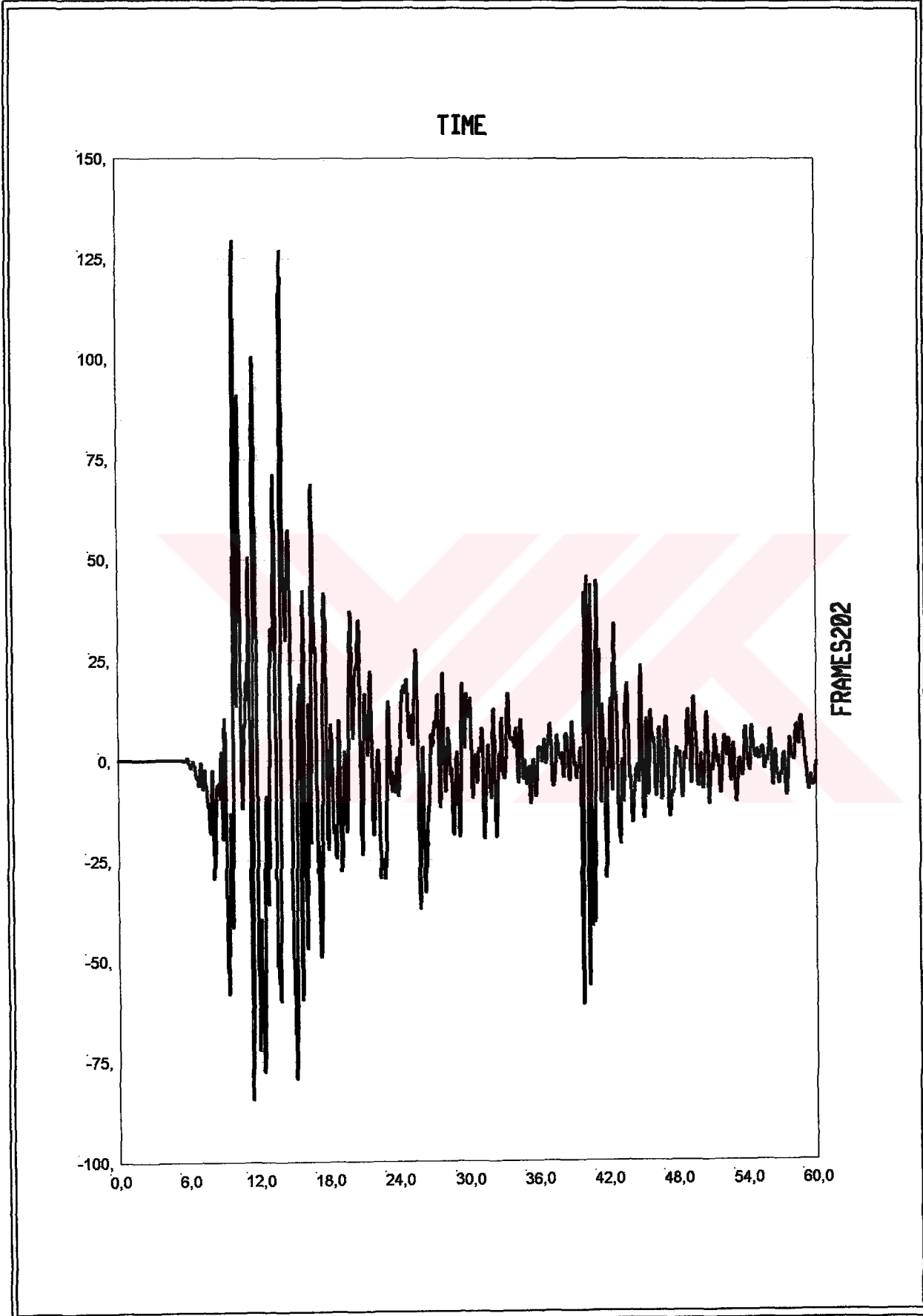


SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Joint402-1: Joint 402 Acceleration UX Vs Time  
Min is -2,998e+00 at 9,9400e+00 Max is 2,426e+00 at 4,0405e+01

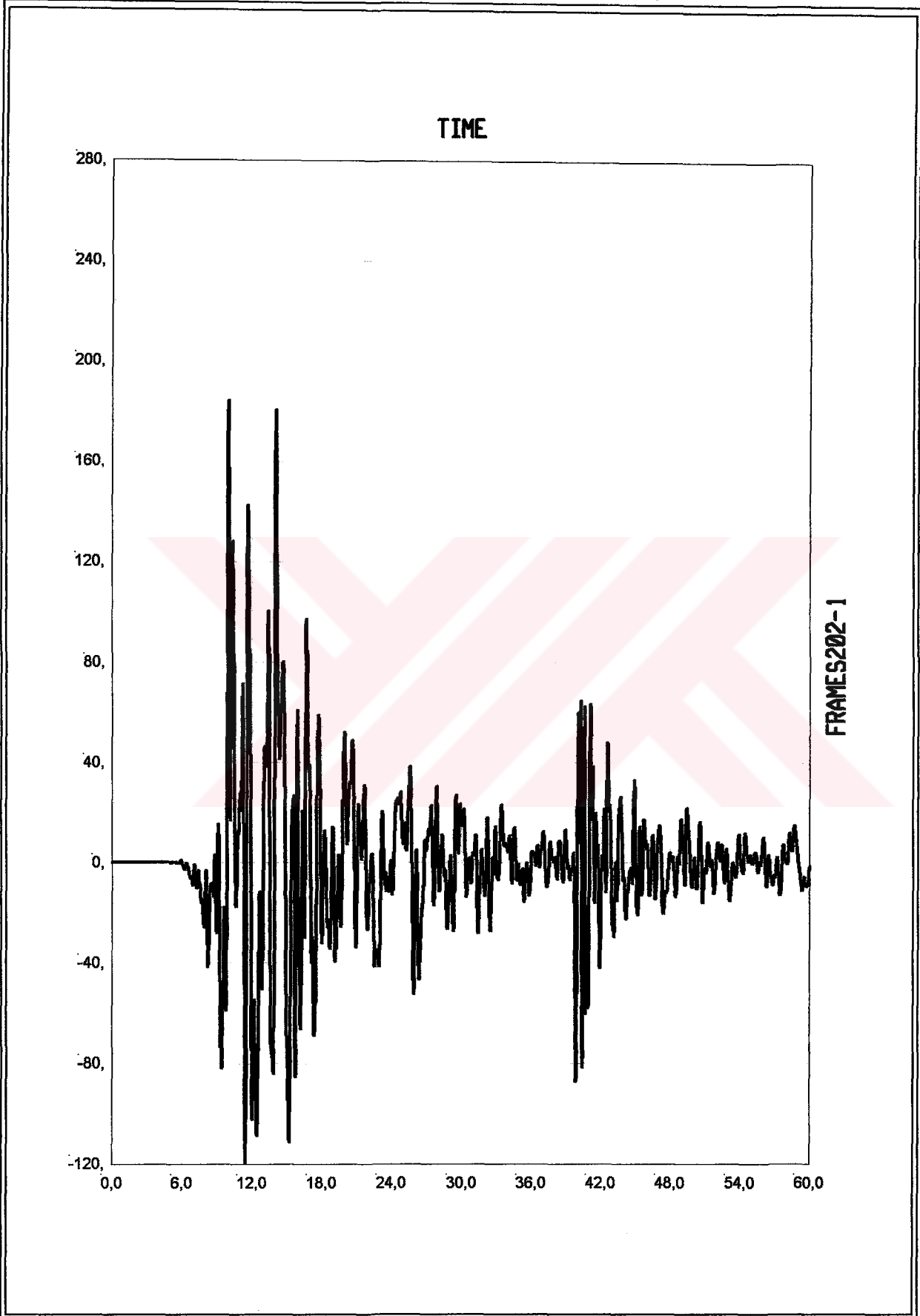


SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS102: Frame S102 Station 1 Shear 2-2 Vs Time  
Min is -1,154e+02 at 1,5195e+01 Max is 1,719e+02 at 9,9600e+00

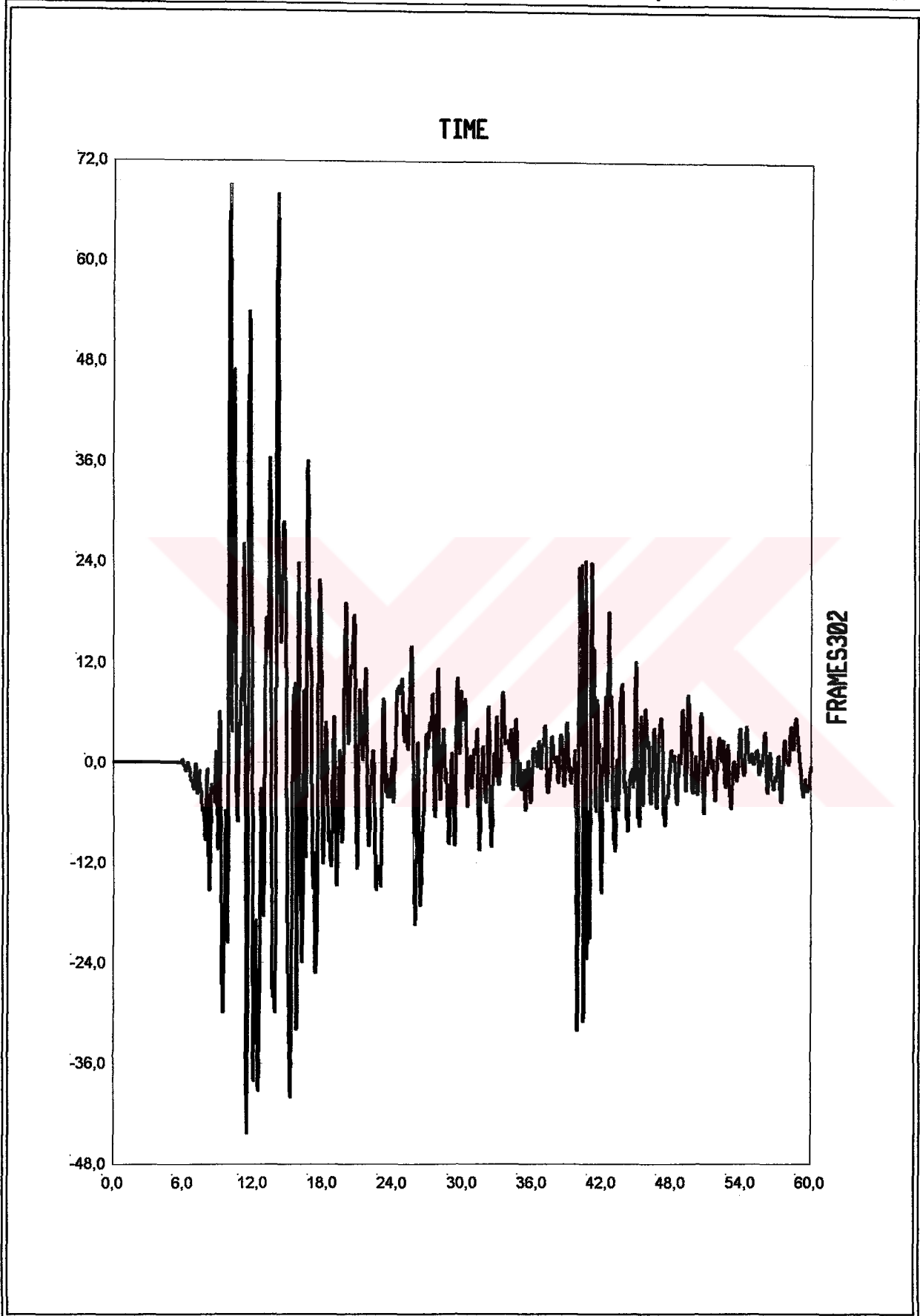




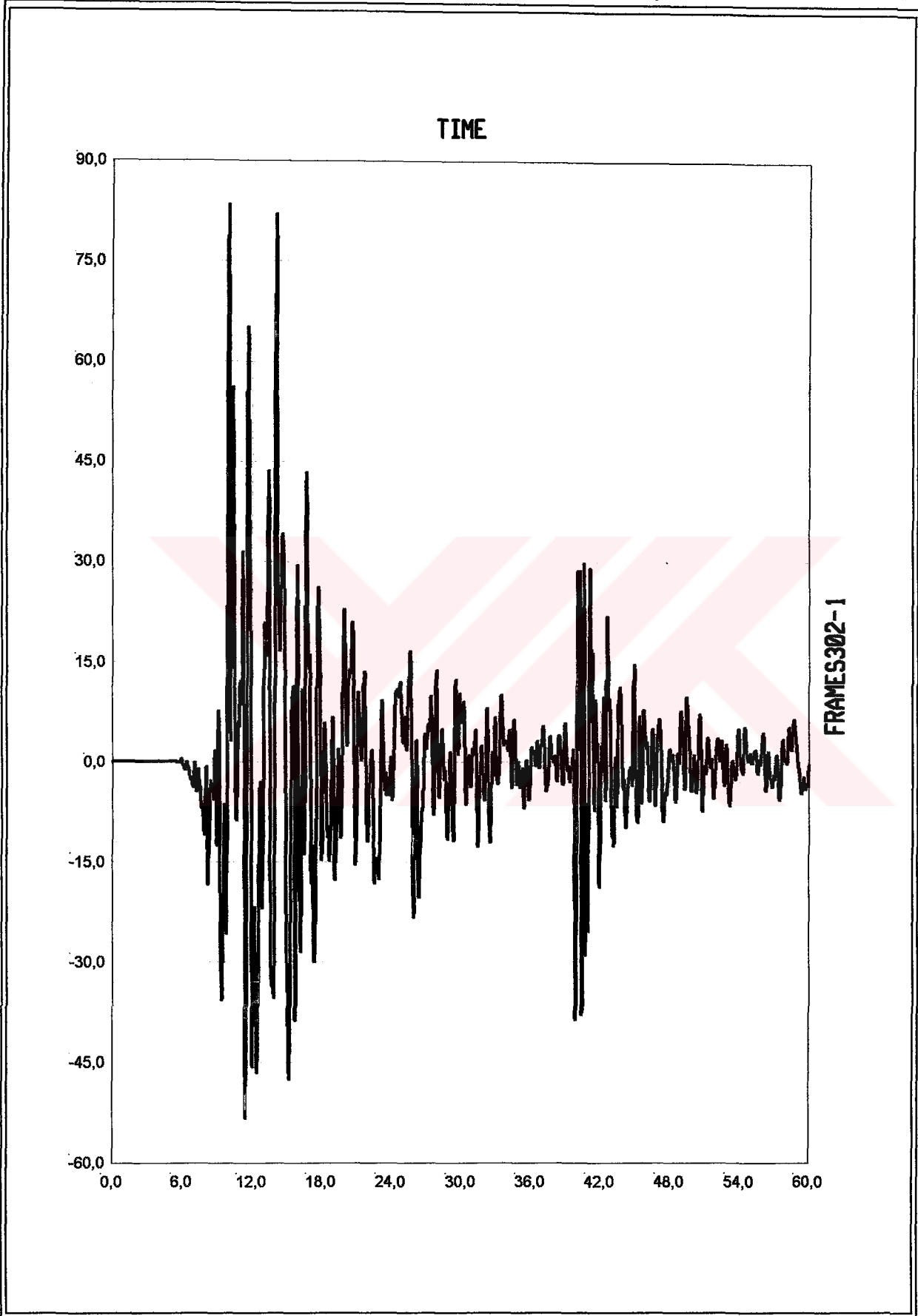
SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS202: Frame S202 Station 1 Shear 2-2 Vs Time  
Min is -8,447e+01 at 1,1465e+01 Max is 1,295e+02 at 9,9750e+00



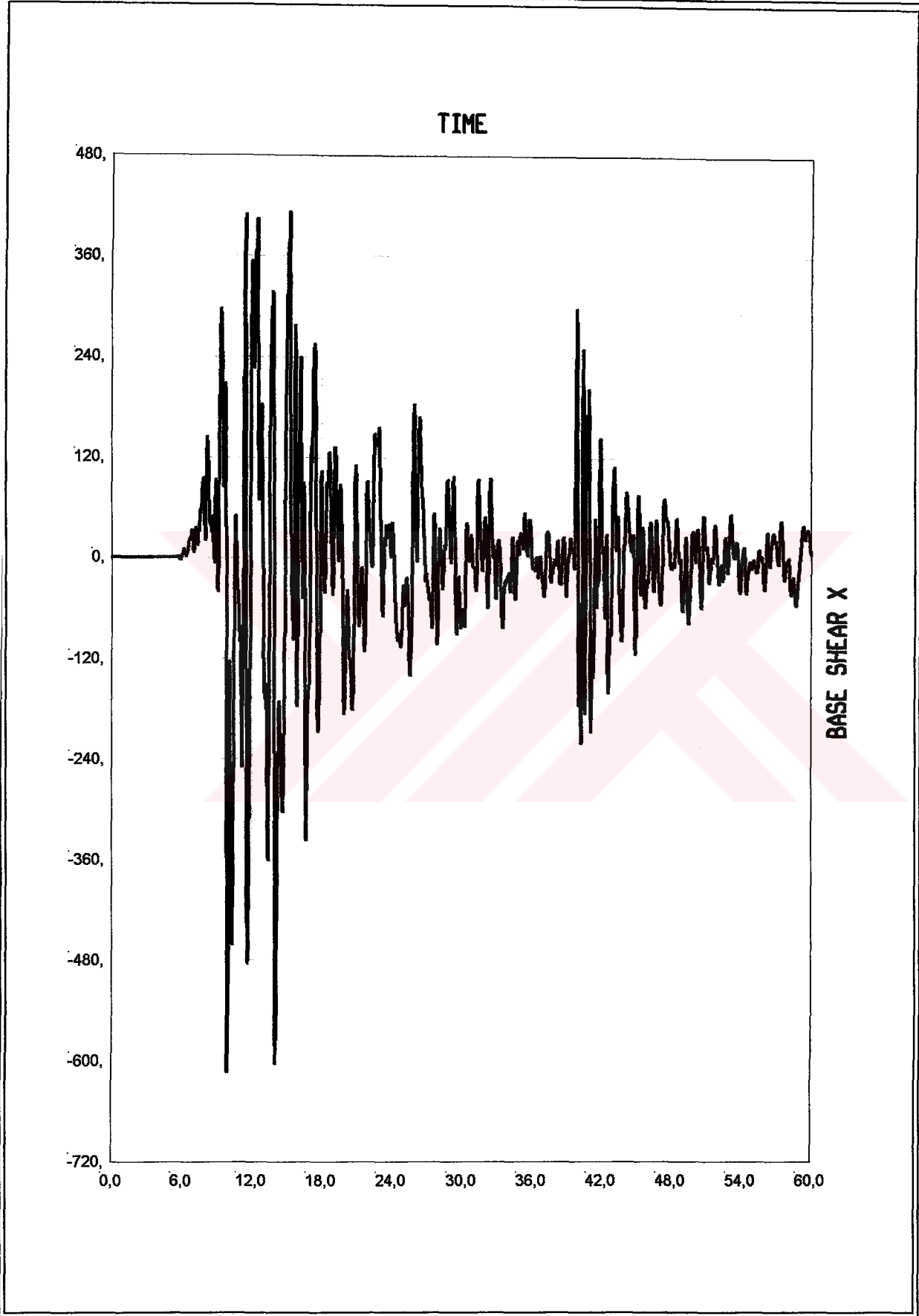
SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS202-1: Frame S202 Station 1 Moment 3-3 Vs Time  
Min is -1,200e+02 at 1,1465e+01 Max is 1,842e+02 at 9,9750e+00



SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS302: Frame S302 Station 1 Shear 2-2 Vs Time  
Min is -4,435e+01 at 1,1470e+01 Max is 6,912e+01 at 9,9800e+00



SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
FrameS302-1: Frame S302 Station 1 Moment 3-3 Vs Time  
Min is -5,338e+01 at 1,1475e+01 Max is 8,340e+01 at 9,9800e+00



SAP2000 v8.0.8 - File:viscodamped\_V8 - Case:17AGUS - KN, m, C Units  
Base Shear X: Base Shear X Vs Time  
Min is -6,133e+02 at 9,9600e+00 Max is 4,131e+02 at 1,5195e+01

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	31.05.1981	
Doğum yeri	Malatya	
Lise	1995-1998	Malatya Anadolu Lisesi
Lisans	1998-2002	Karadeniz Teknik Üniversitesi Müh. Mim. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2002-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı

