

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARDA TABAN İZOLASYONU SİSTEMLERİ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN TAYIN MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Özgür Ünal
501981046**

104123

104123

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Haziran 2001**

Tez Danışmanı :

Prof. Dr. Antonio L. TRUPIA 13.07.2001

Tez Jürisi :

Prof. Dr. Gülay ALTAY

Prof. Dr. Metin AYDOĞAN 13.07.2001

HAZİRAN 2001

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	ix
1. TABAN İZOLASYONU SİSTEMLERİNİN TİPLERİ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Elastomer Esaslı Sistemler	3
1.2.1 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Mesnetler	3
1.2.2 Kurşun Çekirdekli Mesnetler	4
1.2.3 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Sistemler	7
1.3 Kayıcı İzolasyon Sistemleri	9
1.3.1 Electricité - de - France Sistemi	9
1.3.2 EERC Bileşik Sistemi	9
1.3.3 TASS Sistemi	10
1.3.4 Geri Şekillenen Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi	10
1.3.5 Sürtünmeli Sarkaç Sistemi	11
1.4 Yay Sistemler	12
1.5 Kılıflı Kazık İzolasyon Sistemi	12
1.6 Rocking Sistemi	13
2. SİSMİK İZOLASYONUN TEORİK ESASLARI	14
2.1 Lineer Teori	14
2.2 Teorinin Bina Tipi Yapılara Uygulanması	22
2.2.1 Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemleri	22
2.2.2 Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modal Analizleri	23
2.3 Hareket Denklemlerinde Sönüm Etkilerinin Dikkate Alınması	26
3. İZOLATÖRLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ	37
3.1 Giriş	37
3.2 Elastomer Mesnetlerin Mekanik Özellikleri	37
3.3 Kurşun - Kauçuk Mesnetlerin Mekanik Özellikleri	42
3.4 Sürtünmeli Sarkaç Sisteminin Mekanik Özellikleri	43
4. SİSMİK İZOLASYONDA YÖNETMELİK ŞARTLARI	48
4.1 Giriş	48
4.2 1997 - UBC Yönetmeliğinde Yer Alan Taban İzolasyonlu Yapılarla İlgili Şartlar	49
4.2.1 Sismik Risk Düzeyi	49

4.2.2	Tasarım Metodları	50
4.2.3	Statik Analiz	50
4.2.4	Dinamik Analiz	58
4.2.5	İzole Edilmiş Yapıların Analizinde ve Tasarımında Deprem Kayıtları Uygulamaları	59
4.2.6	UBC - 97 Statik Analiz Şartları Kullanılarak Taban İzolasyonlu Tasarım	62
5.	ANALİTİK UYGULAMA I	66
5.1	Giriş	66
5.2	UBC - 97 Statik Analizi (Yönetmelik Minimum Değerleri)	67
5.3	Duhamel Entegrali ile Çözüm	68
5.4	SAP2000 Bilgisayar Programı ile Nonlinear Analiz	72
5.4.1	SAP2000' de İzolatör Özelliklerinin Nonlinear Link Elemanı Olarak Tanımlanması	72
5.4.2	Plastik Model	79
5.4.3	SAP2000' de Taban İzolasyonlu Yapıların Nonlinear analizi için Akış Diyagramı	81
5.4.4	Basit Örnek için SAP2000 Nonlinear Analizlerinde Tanımlanan İzolatör Özellikleri	82
5.4.5	Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	84
6.	ANALİTİK UYGULAMA II	86
6.1	Giriş	86
6.2	Alternatif Kayıcı Sistem	87
6.3	Mesnet Tipleri	88
6.4	Analiz Sonuçları	89

KAYNAKLAR

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 Sönüm katsayısı	54
Tablo 4.2 Azaltma faktörleri	57
Tablo 4.3 Yönetmelik minimum değerleri.....	59
Tablo 5.1 Basit örnek için SAP2000 nonlinear analizlerinde tanımlanan izolatör özellikleri	82
Tablo 5.2 Karşılaştırma I.....	85
Tablo 5.3 Karşılaştırma II	85
Tablo 6.1 Zaman tanım alanında nonlinear analiz için seçilen deprem kayıtları	87
Tablo 6.2 Seçilen sürtünmeli sarkaçların mekanik özellikleri.....	88
Tablo 6.3 Birinci doğal titreşim periyodları.....	89
Tablo 6.4 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	90

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet	4
Şekil 1.2 : “Skellerup” Elastomer mesneti	5
Şekil 1.3 : “Dis” Kurşun – kauçuk mesneti	6
Şekil 1.4 : “Scougal” Yüksek sönümlü kauçuk mesnet	8
Şekil 1.5 : Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi	10
Şekil 1.6 : “EPS” Sürtünmeli sarkaç mesneti	11
Şekil 2.1 : İzole edilmiş binanın şematik çizimi	15
Şekil 2.2 : Taban izolasyonlu sistemin iki serbestlik dereceli ideal modeli ..	15
Şekil 2.3 : Kat ivmelerinde sönümün etkisi.....	36
Şekil 3.1 : Basınç modülü Ec’ nin geometriye bağlı azalım grafiği	39
Şekil 3.2 : Salt eğilme etkisinde tutucu tabakalar arasında kauçuk tampon	40
Şekil 3.3 : Kuvvet – yerdeğiştirme grafiğinin parametreleri	43
Şekil 3.4 : Sürtünmeli sarkaç izolatörünün düşey yerdeğiştirmesi.	45
Şekil 4.1 : Dışmerkezliği dikkate alan toplam yerdeğiştirme hesabı için plan boyutları	56
Şekil 5.1 : Sürtünmeli sarkaç mesnetler kullanılarak oluşturulan taban izolasyonlu yapı	66
Şekil 5.2 : Nllink elemanı iç kuvvet ve momentleri	73
Şekil 5.3 : Isolator 1 property elemanının çift eksenli kayma davranışı idealizasyonu.....	74
Şekil 5.4 : Isolator 2 property elemanının sürtünmeli sarkaç kayma davranışı idealizasyonu.....	76
Şekil 5.5 : Sürtünme katsayısının basınç ve hız ile değişimi.....	80
Şekil 6.1 : Perspektif iç görünüş.....	86
Şekil 6.2 : Kesit.....	87

YAPILARDA TABAN İZOLASYONU SİSTEMLERİ

ÖZET

1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, şiddetli ve yıkıcı deprem etkilerinde can kaybı olmaksızın (toptan göçme engellenerek), yapısal olan ve olmayan elemanlarda hasar oluşmasına izin veren tasarım şartları içerir. Şiddetli bir deprem sonrasında, kullanılması acil olan itfaiye merkezleri, polis merkezleri, sivil savunma ve özel kurtarma merkezleri, telekomünikasyon ve posta merkezleri, hükümet binaları ve hastanelerde yapısal elemanlarda hasar oluşmamalı ve yapının içindeki eşya, malzemeler ve makinelerle faaliyet sürdürülmelidir. Bununla birlikte, çok hassas elektronik ve bilgisayar donanım ı bulunan yapılar ve kimyasal madde içeren tanklar, depremin yer titreşimi etkisinden mümkün olduğunca korunmalıdır.

Bu çalışmada, Türkiye’ de teorik ve uygulama açısından gelişme süreci içinde olan ve yeni yapılacak yapılarla birlikte mevcut konvansiyonel yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde bir alternatif oluşturan taban izolasyonu kavramı, gelişimi, teorik esasları ve analitik uygulamaları konu edinilmiştir. Taban izolasyon sistemlerini oluşturan nonlinear davranış gösteren mesnetlere ait fiziksel ve mekanik özellikler farklı mesnet tiplerine bağlı olarak gösterilmiştir ve bu parametreler kullanılarak nonlinear deprem analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları tablolar ve şekiller halinde açıklanmıştır. Nonlinear deprem analizleri ilk olarak, taban izolasyonlu sistemlerde kullanılan parametrelerin daha kolay anlaşılmasını sağlamak amacıyla Kocaeli Depreminin Petkim(Yarımca) İstasyonu kaydı kullanılarak basit bir örnek sistem için ve daha sonra çeşitli deprem ivme kayıtlarına ait bileşenler kullanılarak dokuz katlı perdeli – çerçeveli bir sistem için gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, kayıcı ve elastomer farklı iki mesnet tipi ile oluşturulan farklı izolasyon sistemlerinin ve aynı yapının ankastre tabanlı olması durumlarındaki performanslarını karşılaştırmalı olarak sunar. Türkiye’ de mühendislik projelerinde uygulanan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’ te bu konu ile ilgili şart yoktur. Bu nedenle Amerika Birleşik

Devletleri' nde yürürlükte olan ve taban izolasyonlu yapılarla ilgili şartlar içeren yönetmelikler hakkında bilgi verilmiş, bu yönetmeliklerden UBC 97 ilgili şartları açıklanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri' nin sismik olarak etkin bölgesi California' da taban izolasyon sistemleri geniş ölçüde hatta farklı sistemlerin üreticileri arasında rekabet yaratan düzeyde uygulama alanına sahiptir. Bu durum ülke koşullarıyla ve yapılan araştırmalarla orantılıdır. Tezde son olarak, lkemiz koşullarına uygun ve sonraki araştırmalarla geliştirilebilecek bir kayıcı mesnet tipi nerilmiştir.



BASE ISOLATED SYSTEMS OF STRUCTURES

ABSTRACT

The concept, improvement, theory and analytical applications of the base isolation is considered in this study. The base isolation subject that has the improvement process in the mean of theory and application in Turkey is an alternative solution for the retrofit design of the existing structures and the new structures. The physical and mechanical properties of the bearings that show nonlinear behavior are described due to different bearing types. The nonlinear analysis are performed and the analysis results are represented as tables and analytical shapes. The nonlinear earthquake analysis are performed first, for a basic system that provide easiness to understand the base isolation parameters using the Kocaeli Earthquake Petkim(Yarımca) Station acceleration records and second, using the various earthquake records or time histories for a shear wall-frame combined structural system with nine storeys. The comparative analysis results represent the performances for two different isolation systems formed by the sliding and elastomeric bearings and the same building with fixed base. Since the Turkish Earthquake specifications include no objects for the base isolation, the American specifications for the structures with base isolation are used. The base isolation projects have the wide application range particularly in the California State seismic zone. This situation is proportionally with the country conditions and the investigations done. The last in this study, a sliding bearing type is recommended for our country economical conditions. This isolator can be a source model for the later investigations.

1. TABAN İZOLASYONU SİSTEMLERİNİN TİPLERİ

1.1 Giriş

Taban izolasyonu kavramı ilk olarak yirminci yüzyılın başında ortaya çıkmıştır. İnce kum, mika veya pudra hammaddesi ile oluşturulan bir katman ve serbest düğüm noktaları mekanizmasıyla, deprem anında üstyapının kayarak binaya iletilecek deprem kuvvetinin azaltılması ilkesi, taban izolasyonu veya sismik izolasyon olarak adlandırılan, depreme dayanıklı yapı tasarımının ilk örneğidir. Yapıları depremin yıkıcı etkilerinden korumak amacıyla kayıcılar, topraklar, kablolar ve kum denenmiştir. Sivastopol, Ukrayna’ da bir binada ve Mexico City’ de beş katlı bir okul binasında topraklar kullanılmıştır. Pekin’ de Devlet Deprem Gözlemevi binasında ise yapı ile temel arasına, bir deprem anında yapının kaymasına olanak verecek kum tabakası serilmiştir.

Taban izolasyonu sistemleri, son yirmi senede çok tabakalı elastomer köprü mesnetlerinin ve titreşim izolasyonunda kullanılan mesnetlerin deprem izolasyonu amacı doğrultusunda geliştirilmesiyle gerçek anlamda pratik uygulama olanakları bulmuştur. Günümüzde, deprem kuşağında bulunan Amerika Birleşik Devletlerinde ve Japonya’ da taban izolasyonu uygulamaları artarak devam etmektedir. Yeni Zelanda ve İtalya’ da ise önemli ve büyük bazı binalarda taban izolasyonu yapılmıştır. Türkiye’ de ise yıkıcı son depremlerden sonra, taban izolasyonu kavramı önem kazanmıştır. Atatürk Havaalanı Dış Hatlar Terminali’nde, Bolu Dağı Viyadüğü’ nde, Güney Otoyolunda (Gaziantep – Tarsus) kayıcı mesnetler kullanılmıştır. Ayrıca Kocaeli Üniversitesi Hastanesi binasında ve Marmara Ereğlisi’

nde mevcut likit gaz tanklarının olası bir depreme karşı güçlendirilmesinde kayıcı mesnetlerle oluşturulan taban izolasyonu sistemleri proje aşamasındadır.

Bu mesnetler düşeyde çok rijit davranış göstererek kolon yüklerini taşıyabilir ve yatayda ise esnek davranış göstererek güçlü yer hareketlerinde yapının yatayda hareket etmesine olanak sağlarlar. Bir deprem anında binalarda, katlararası büyük yerdeğiştirmeler katlara bağlı bulunan ekipmanlarda ve yapısal olmayan bileşenlerde, yüksek kat ivmeleri ise kat içerisindeki hassas ekipmanlarda hasara yol açarlar. Taban izolasyonu sistemleri, bina tipi yapılarda yerdeğiştirmelerin izolasyon seviyesinde toplanması ile üstyapıda katlararası görelî yerdeğiştirmeleri azaltır ve esnek bir üst yapı oluşturmaya olanak sağlayarak kat ivmelerini düşürür.

Taban izolasyonu sistemi, yapı ile temel arasındaki yapısal elemanların düşük yatay rijitliği yardımı ile yapıyı yer hareketlerinin yatay bileşenlerinden ayırır. Bu durumda yapının doğal titreşim periyodu, hem ankastre mesnetli durumdakinden hem de yer hareketinin hakim periyodundan yüksektir. İzole edilmiş yapının ilk dinamik modu, üst yapının rijit davranış sergilediği, deformasyonların sadece izolasyon sisteminde olduğu moddur. Üstyapıda deformasyonlara neden olan yüksek modlar, birinci moda dolayısıyla yer hareketine ortogonaldırlar. Yüksek modlar yer hareketinde yer almazlar ve böylece yüksek frekanslı yer hareketinin sahip olduğu yüksek enerji yapıya aktarılmaz. İzolasyon sistemi deprem enerjisini soğuramaz fakat sistem, dinamik karakteristiği ile bu enerjinin yapıya aktarılmasını önler. Sönüm ise izolasyon periyodunda oluşabilecek olası rezonans durumunu bastırmak için faydalıdır.

Bu çalışmada, elastomer esaslı ve kayıcı olmak üzere günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan iki ayrı grupta taban izolasyon sistemleri ağırlıklı olarak ele alınmıştır.

Kauçuk izolasyon sisteminin deprem izolasyonu için ilk kullanımı 1969 yılında Üsküp, Makedonya' da bir ilkokul binasında gerçekleştirilmiştir. Bu projede kullanılan kauçuk mesnetlerde, bugünkü kauçuk mesnetlerdeki yüksek düşey rijitlik sağlayan ara güçlendirici çelik plakalar kullanılmamıştır ve bunun sonucu olarak kauçuk bina ağırlığı altında ezilerek yanlara bel verip deforme olmuştur. Kullanılan kauçuğun yatay ve düşey rijitlikleri aynı olduğu için, bina deprem anında öne arkaya yatacaktır. Çelik plakalarla güçlendirilmiş kauçukların köprülerde yaygın olarak kullanılması ve geliştirilmesi ile bugünkü düşey yük taşıyıcı, yatayda esnek, imalatı kolay ve dayanıklı mesnetler binalarda da deprem izolasyonu uygulamalarında yaygınlaşmaktadır.

Kayıcı izolasyon sistemlerinin bugünkü anlamda kullanımı ise kauçuk sistemlere göre daha yenidir; fakat hızlı bir uygulama süreci içerisindedir. Amerika’ da New York Eyalet Üniversitesi’ ndeki NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research) araştırma merkezinde ve California’ da EERC (Earthquake Engineering Research Center) deprem mühendisliği araştırma merkezinde 1989 ve 1990 yıllarında başlayan ve sonraki yıllarda devam eden deneylerle ve analitik çalışmalarla kayıcı sistemler, binalarda ve köprülerde deprem izolasyonu sistemleri oluşturmak amacıyla geliştirilmiştir.

Bu bölümde, bina tipi yapılarda kullanılan taban izolasyonu sistemleri tanıtılmıştır ve Ek B’ de bazı mesnet tipleri ve bu mesnetlerin dinamik performanslarını belirleyen testlerin sonuçları (1998 yılında American Civil Engineering Research Foundation (CERF) kurumuna bağlı Highway Innovative Technology Evaluation Center (HITEC) tarafından yapılan test sonuçlarının metrik sisteme çevrilmiş aktarımı sunulmuştur) yer almaktadır. Mesnetler, sırasıyla üretici isimleriyle şunlardır :

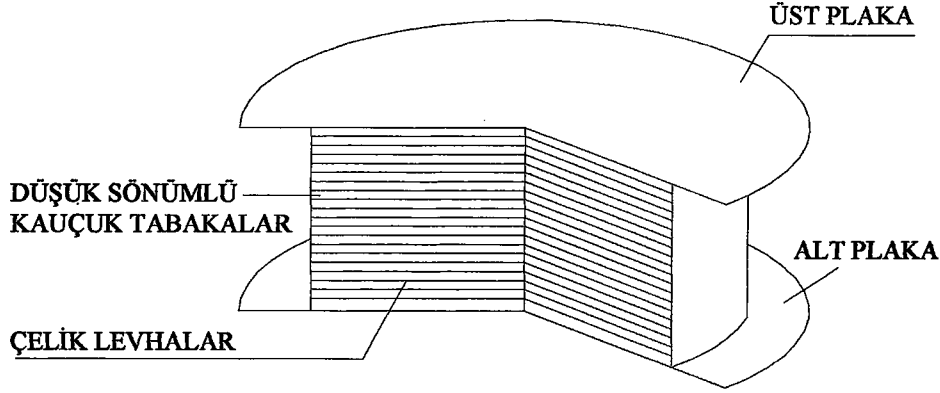
1. “Earthquake Protection Systems, Inc.” Friction Pendulum Bearings (Ek B1)
2. “Dynamic Isolation Systems, Inc.” Elastomeric Bearings (Ek B2)
3. “Scougal Rubber Corporation” High Damping Rubber Bearings (Ek B3)
4. “Skellerup Base Isolation” Elastomeric Bearings (Ek B4)

1.2 Elastomer Esaslı Sistemler

1.2.1 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Mesnetler

Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler ve sentetik kauçuk mesnetler, Japonya’ da, geniş ölçüde, ilave sönüm aletleri ile birlikte kullanılmıştır. (viskoz sönümleyiciler, çelik çubuklar, kurşun çubuklar, sürtünmeli aletler v.b.). Bazı projelerde elastomer olarak, Japonya’ da doğal kauçuk kullanılmasına karşın, Fransa’ da neopren kullanılmıştır. Bu izolatörlerde, kauçuk vulkanize (kauçuğun sülfürle yüksek ısıda sertleştirilmesi) edilip sıcaklık ve basınç altında tek hamleyle çok sayıda ince çelik levhalar arasına sıkıştırılmıştır. Şekil 1.1’ de görülen çelik levhalar, kauçuğun yana bombe yapmasını önler ve yüksek miktarda düşey rijitlik sağlar. Yatay rijitlik ise elastomerin düşük kayma modülü ile gerçekleşir. Malzemenin kayma davranışı, % 100 kayma şekil değiştirmesine kadar doğrusaldır. Bu durum, kritik sönümün % 2 – 3 ‘ ü aralığındaki sönüm için geçerlidir. Malzeme sünme yapmaz ve uzun ömürlüdür.

Sönümsüz ve tam doğrusal kayma davranışı sergileyen bir izolatör üretmek mümkündür. Bu tip izolatörler, İngiltere’ deki Central Electricity Generating Board



Şekil 1.1 Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet

tarafından geliştirilen viskoz sönümleyicilerle birlikte kullanılarak kompozit bir izolasyon örneği oluşturmuştur. Earthquake Engineering Research Center, EERC, Berkeley, CA. Laboratuvarlarında test edilen bu sistem, % 150 kayma şekil değiştirmesine kadar tam doğrusal ve tam sönümsüz bir davranış göstermiştir. Doğrusal viskoz dinamik model oluşturmak amacı taşıyan bu birleşik modelde, kauçuk modele tam uygunluk sağlarken, sönümleyicinin tepkisi tam doğrusal viskoz özellikte değildir.

Düşük sönümlü elastomer mesnetlerin avantajları:

- Kolay üretim
- Kolay model oluşturulması
- Mekanik özelliklerin zamandan, sıcaklıktan v.b. etkilenmemesi

Tek dezavantajı:

Genel olarak, ek bir sönüm sistemi gerektirmesi. Bu ek sistemler detaylı bağlantılar gerektirir.

1.2.2 Kurşun Çekirdekli Mesnetler

1970’ lerde Yeni Zelanda’ da geliştirilen bu mesnet tipi, bugün en sık kullanılan izolasyon sistemidir (Şekil 1.2 ve Şekil 1.3). Kurşun çekirdekli mesnet, düşük sönümlü kauçuk mesnetlerdeki gibi kauçuk tabakalara ek olarak bir veya daha fazla

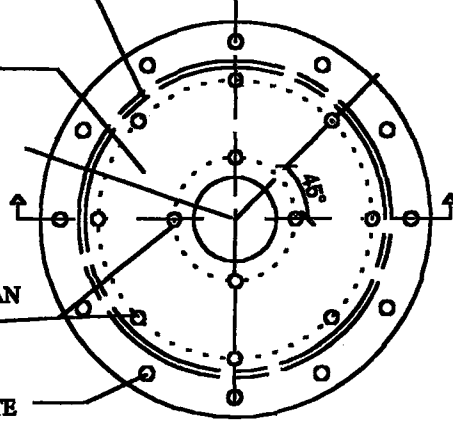
3.18 CM. KALINLIKLI 77.22 CM. ÇAPINDAKİ
DAİRESEL YÜKLEME PLAKASI

24.82 CM. YÜKSEKLİK Lİ VE
59.4 CM. ÇAPINDA İZOLATÖR

MERKEZDE 16.51 CM. ÇAPINDAKİ
KURŞUN ÇEKİRDEK İÇİN DELİK

ALTTA VE ÜSTTE
12 ADET 2.54 CM. ÇAPINDA
YÜKLEME PLAKALARINI
MESNET PLAKALARINA BAĞLAYAN
İRİBAŞLI CİVATALAR

ALTTA VE ÜSTTE
BULONLAR İÇİN BIRAKILMIŞ
2.70 CM. ÇAPINDA DELİKLER



PLAN

DAİRESEL YÜKLEME PLAKASI

25.4 MM. KALINLIĞINDA
59.4 CM. ÇAPINDA MESNET PLAKASI
MERKEZDE 16.51 CM. ÇAPINDA DELİK

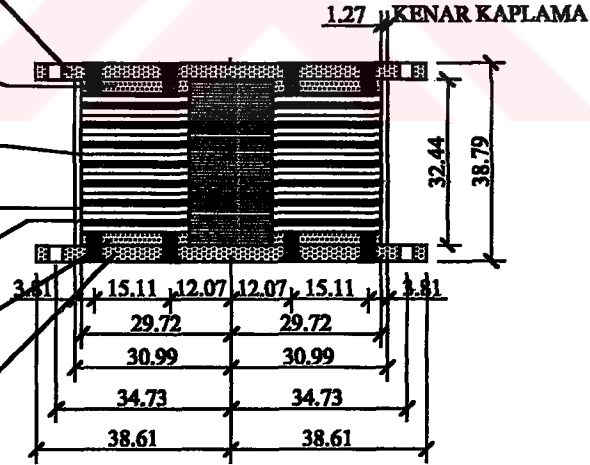
3 MM. KALINLIK Lİ 59.4 CM. ÇAPINDA
24 ADET ÇELİK LEVHA

24.82 CM. YÜKSEKLİK Lİ VE
59.4 CM. ÇAPINDA İZOLATÖR

8 MM. KALINLIK Lİ 25 ADET KAUÇUK TABAKA

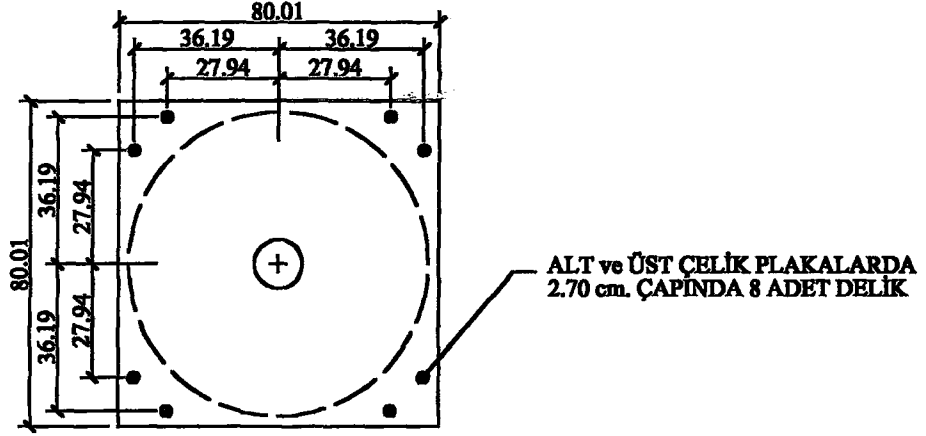
25.4 MM. KALINLIĞINDA
59.4 CM. ÇAPINDA MESNET PLAKASI
MERKEZDE 16.51 CM. ÇAPINDA DELİK

DAİRESEL YÜKLEME PLAKASI

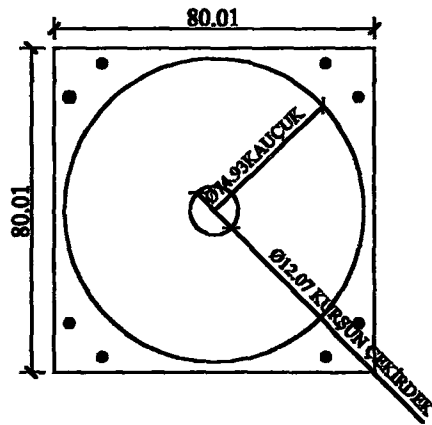
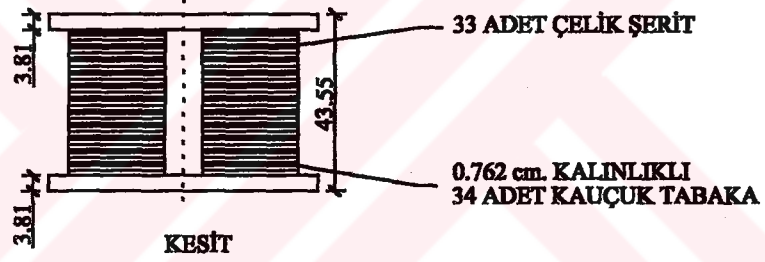


KESİT

Şekil 1.2 "SKELLERUP" Elastomer mesnetleri



ÜST GÖRÜNÜŞ



ALT GÖRÜNÜŞ

Şekil 1.3 "DIS" Kurşun - kauçuk mesnet

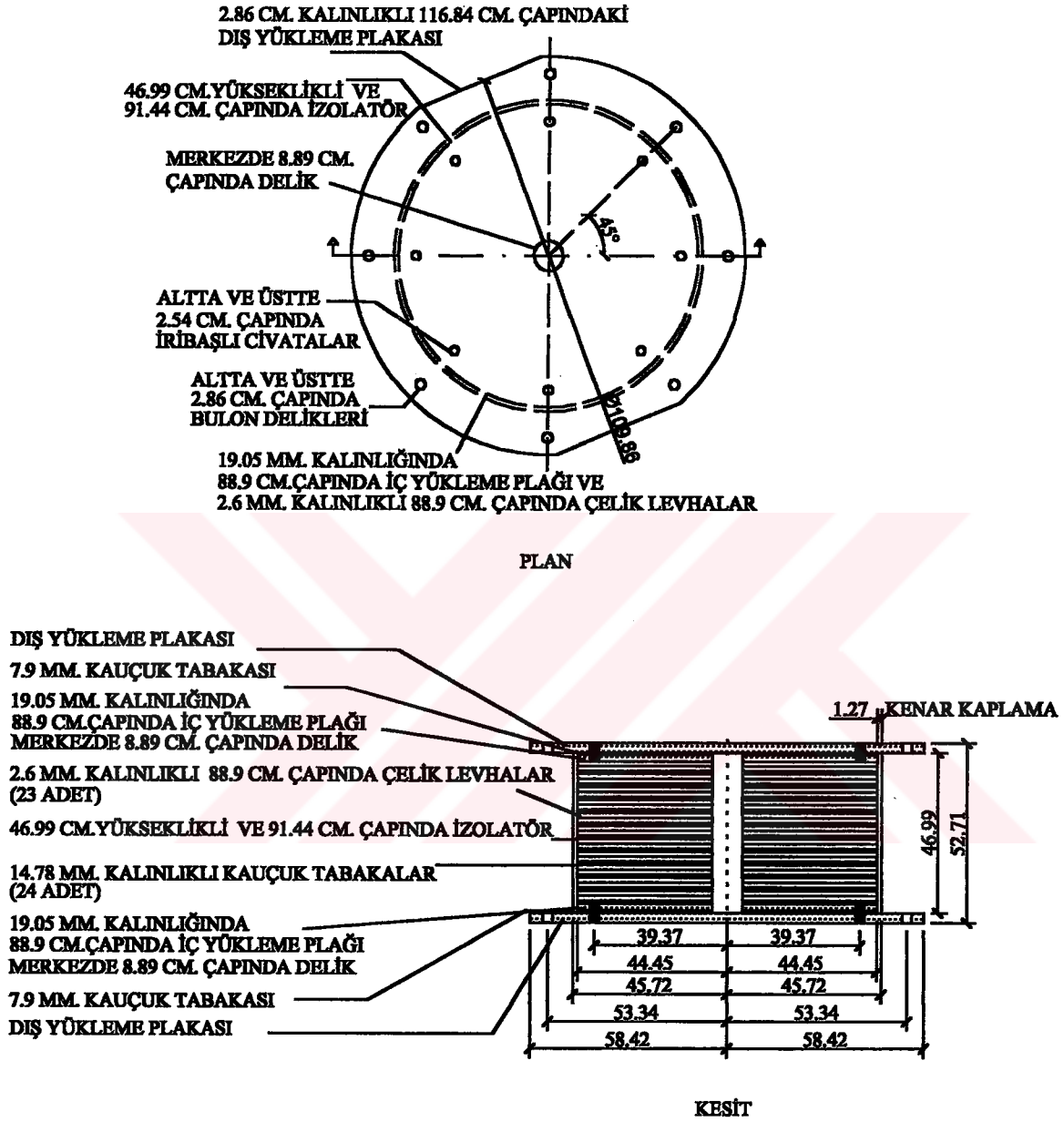
sayıda, uygun deliklere yerleştirilmiş kurşun çekirdeklerden oluşur. Çelik plakalar, kurşun çekirdeği kayma deformasyonu yapmaya zorlar. Kurşun, 10 Mpa gerilme seviyesinde deforme olur ve mesnette iki eksenli tepki gözlenir. Efektif rijitlik ve efektif sönüm yer değiştirmeye bağlı olduğu için, yer değiştirme belirli bir sönüm değeri için belirlenir. Bu tip mesnetlerle izole edilmiş binalar, 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde iyi bir performans göstermişlerdir.

1.2.3 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Sistemler (HDNR)

Düşük sönümlü mesnetlerdeki ek sönüm elemanları ihtiyacını gidermek amacıyla, yeteri derecede sönümlü doğal kauçuklar, 1982 yılında Malaysian Rubber Producers' Research Association kurumunda geliştirilmiştir. Karbon blok, yağ veya çam sakızı ve özel doldurucular ilave edilerek kauçuğun sönümü artırılır. Düşük rijitlikte düşük seviyelerde sönüm ve 0,34 MPa kayma modülü, yüksek rijitlikte yüksek seviyelerde sönüm ve 1,40 MPa kayma modülüne sahip kauçuk, % 100 kayma şekil değiştirmesinde kritik sönümün % 10 – 20' si değerlerine kadar yükselen sönüm oluşturur.

Malzeme, % 20' nin altındaki kayma şekil değiştirmelerinde doğrusal değildir, rüzgar yükleri ve düşük seviyeli deprem hareketlerinin etkilerini en aza düşürecek şekilde yüksek rijitlik ve sönüm karakterlidir. % 20 - % 120 kayma şekil değiştirmesi aralığında, modül düşük ve sabittir. Yüksek şekil değiştirmelerde, kauçukta enerji yutmanın artışı ile birlikte oluşan şekil değiştirme kristalizasyon süreci, modülü artırır. Yüksek şekil değiştirmelerdeki bu rijitlik ve sönüm artışı, düşük seviyeli deprem etkilerinde rijit, tasarım seviyesi deprem etkilerinde doğrusal ve esnek bir sistem davranışı oluşturur. Tasarım seviyesinin üzerinde olabilecek etkilerde ise yerdeğiştirmeleri sınırlandırır.

Şekil 1.4' te gösterilen izolatörlerdeki sönüm viskoz ya da histeretik değildir, bu ikisinin arasındadır. Tam doğrusal viskoz elemanda, enerji yutumu yer değiştirmeye ikinci dereceden bağlıdır; histeretik bir sistemde ise bu ilişki doğrusal olma eğilimindedir. EERC' de çok sayıda kauçuk izolatörü üzerinde yapılan testlerde, bir döngü için yutulan enerjinin, yerdeğiştirmenin 1,5 üssü gibi bir değerle ilişkilendiği gözlenmiştir. Böyle bir mesnet, doğrusal viskoz ve elastik – plastik elemanların birleşimi olarak modellenebilir.



Şekil 1.4 "SCOUGAL" Yüksek sönümlü kauçuk mesnet

Yüksek sönümlü kauçuk sistemler, trafik ve yeraltı raylı sistemleri kökenli yüksek frekanslı düşey titreşimleri azaltma uygulamalarında da kullanılırlar.

1.3 Kayıcı İzolasyon Sistemleri

1.3.1 Electricité – de – France Sistemi

Bu sistem, 1970' lerin başında nükleer enerji santrali uygulaması için geliştirilmiştir. Sistem, neopren tabakalar ile paslanmaz çelikte temas halinde olan kurşun – bronz alaşımı ve elastomer mesnet üzerine oturtulmuş kayma yüzeyinden oluşur. Kayıcı yüzeyin sürtünme katsayısı 0,2 olarak öngörülmüştür. Kauçuk tamponun yerdeğiştirme kapasitesi çok düşüktür. (± 50 cm.) Bu değeri aşan yerdeğiştirmeler oluştuğunda, kayıcı elemanlar gerekli hareketi sağlarlar. Bu sistem, mesneti merkezleyen (merkeze geri çeken) bir mekanizmaya sahip değildir ve kalıcı yerdeğiştirmeler oluşabilir. Sistem sadece Koeberg, Güney Afrika' da büyük bir enerji santralinde kullanılmıştır.

1.3.2 EERC Bileşik Sistemi

Elastomer ve kayıcı sistemin kombinasyonuyla oluşturulan sistem, EERC' de test edilmiştir. Bu sistemde, yapının iç kolonları, paslanmaz çelikten kayıcı elemanların üzerindeki Teflon tarafından taşınır, dış kolonlar ise düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler üzerindedir. Elastomer mesnetler merkeze yönelim kapasitesine sahiptir ve yapının burulma davranışını kontrol ederler. Kayıcı elemanlar ise sönüm yaratırlar.

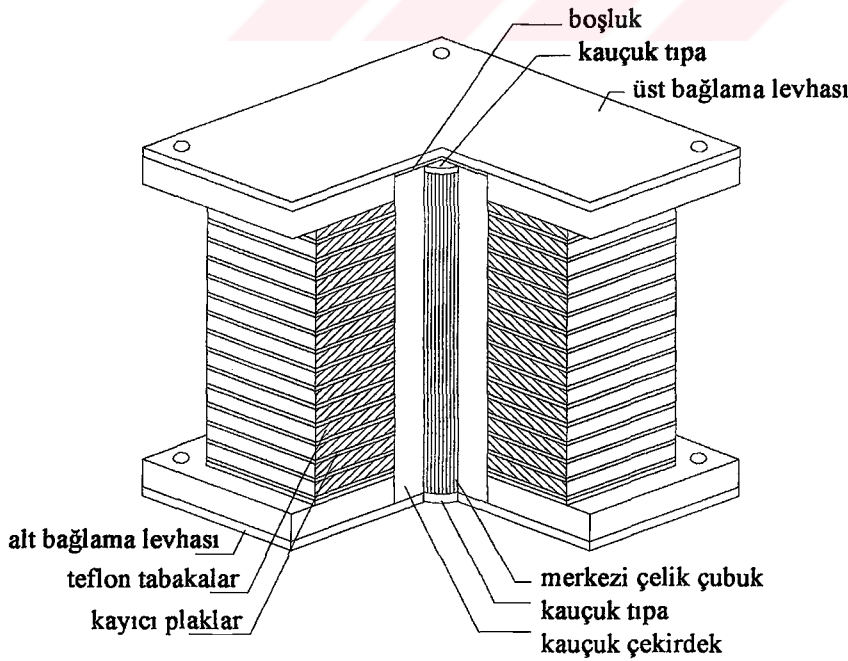
Bu sistemin bir benzeri, “ Mackay School of Mines at the University of Nevada, Reno, Nevada” binasının retrofit çalışmasında ve “ County of Los Angeles, the M.L. King, Jr. _ C.R. Drew Diagnostics Trauma Center in Willowbrook, California” yeni hastane binasında kullanılmıştır. Bu iki yapıda da HDNR elastomer mesnetler kullanılmıştır. Kayıcı elemanlar olarak üniversite binasında teflon – paslanmaz çelik kullanılmasına karşın, hastane binasında paslanmaz çelik üzeri kurşun – bronz alaşımı plakalar kullanılmıştır.

1.3.3 TASS Sistemi

TASS sistemi Japonya’ da TAISEI Corp. tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde tüm düşey yük düz yüzeyli paslanmaz çelik –Teflon elemanlar tarafından taşınır. Buna ek olarak, yük taşımayan tabakalı neopren mesnetler merkezci kuvvetler oluştururlar. Teflon kayıcı yüzey 10 MPa gibi bir basınca sahiptir ve sürtünme katsayısı, düşük kayma hızlarında 0,05, yüksek kayma hızlarında ise 0,15 aralığında değerler alır. Bu sistemin dezavantajları, elastomer mesnetlerin düşey yük taşımadıkları için çekmeye çalışmaları ve kayma yüzeyinin hız vektörüne bağlı hassaslığı nedeniyle modellemedeki güçlüktür.

1.3.4 Geri Şekillenen Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi (R – FBI)

Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon mesnetleri, yüksek hızlarda paslanmaz çelik üzeri teflonun yüksek sürtünme katsayısı sorununu, tek mesnette çok sayıda kayma düzlemi kullanarak çözmüştür (Şekil 1.5). Mesnetin alt ve üst yüzleri arasındaki hız farkı çok sayıda tabakaya bölündüğü için her yüzdeki hız değerleri küçüktür ve düşük sürtünme katsayısı oluştururlar. Kayıcı elemanlara ek olarak,



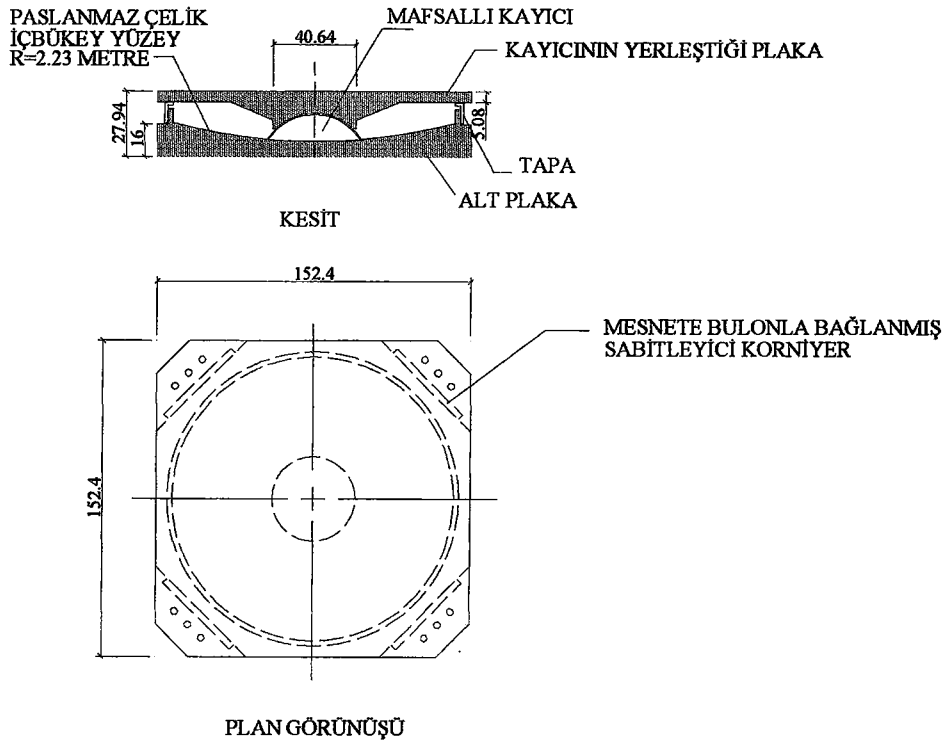
Şekil 1.5 Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi

düşey yük taşımayan, geri dönüş kuvveti oluşturan merkez kauçuk çekirdek vardır. Test sonuçlarına göre, kauçuk çekirdeğin yerdeğiştirmelerin tek düzlemde toplanmasını önleyemediği görölmüştür. Bu nedenle yerdeğiştirmeleri kayıcı tabakalar boyunca dağıtan çelik bir çubuk, kauçuk çekirdeğin içine yerleştirilmiştir.

1.3.5 Sürtünmeli Sarkaç Sistemi

şekil 1.6'da gösterilen sürtünmeli sarkaç sistemi, geometrisi nedeniyle kayma hareketi ve geri dönüş kuvveti oluşturan sürtünmeli bir izolasyon sistemidir.

Sürtünmeli sarkaç sistemi, paslanmaz çelikten küresel yüzeyde hareket eden bir mafsallı kayıcıya sahiptir. Mafsallı kayıcının küresel yüzeyle temasta olan yarı küresel yüzeyi düşük sürtünmeli kompozit malzemeyle kaplanmıştır. Kayıcının diğer yüzü tam küreseldir ve paslanmaz çelikte kaplanmıştır ve düşük sürtünmeli kompozit malzemeyle kaplanmış olan küresel kovuğa oturur. Kayıcı, küresel yüzey üzerinde hareket ederek, taşıdığı kütleyi kaldırır ve geri dönüş kuvveti oluşturmaz. Mafsallı kayıcı ile küresel yüzey arasındaki sürtünme, izolatörlerde sönüm oluşturmaz. İzolatörün efektif rijitliği ve yapının izolasyon periyodu içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapı ile kontrol edilir.



şekil 1.6 "EPS" Sürtünmeli sarkaç mesneti

1.4 Yay Sistemler

Elastomer ve kayıcı izolasyon sistemleri sadece yatay izolasyon sağlamak amacıyla düzenlenirler. Üç boyutlu bir izolasyon, elastomer mesnetler kullanılarak, yay tipi sistemler şeklinde oluşturulabilir.

GERB sistemi, güç santrali türbin üretim ekipmanlarının titreşim izolasyonu için geliştirilmiştir. Bu sistemde, yatay ve düşey doğrultularda esnek davranış sergileyen büyük helezon çelik yaylar bulunur. Düşey frekans, yatay frekansın 3 – 5 katı civarındadır. Çelik yaylar sönümsüzdür ve sistem GERB viskosönümleyicilerle birlikte çalışır. Bütün üç boyutlu sistemlerde olduğu gibi, izolasyon sisteminin ağırlık merkezinin rijitlik merkezinin üstünde olmasından dolayı, yatay hareket ile devrilme hareketinin güçlü bir etkileşimi söz konusudur. Bu sistem, ağırlık merkezi ile rijitlik merkezinin aynı seviyede olması durumunda (nükleer enerji santrallerindeki reaktör tekneleri) pratik anlam kazanır.

Bu sistem, Skopje, Makedonya’ da sallama masasında test edilmiştir ve Santa Monica, California’ da, taşıyıcı sistemi çelik çerçevelerden oluşan iki konut tipi yapıda uygulanmıştır. Bu konutlar, 1994 Northridge depremini tecrübe etmişlerdir ve güçlü yer hareketi ölçerlerin sonuçlarına göre, izolasyon sistemi, devirmeye çalışan etkiyle oluşan ivmeleri azaltmada etkili olamamıştır.

1.5 Kılıflı Kazık İzolasyon Sistemleri

Derin kazıkların kullanılması zorunlu olan çok yumuşak zeminlerdeki yapılarda, izolasyon sisteminin yatay esnekliğini sağlamakta etkili olurlar. Kazıklar, kendilerini saran tüplerde bırakılan uygun boşlukla esneklik kazanırlar. Kolonların mekaniğinin sonucu olarak, yatay rijitlik EI/L^3 ile orantılı olurken, burkulma yükü EI/L^2 ile orantılıdır. Burada, EI kazığın eğilme rijitliği ve L boyudur. Kazık tarafından taşınan yük W ve sistemin periyodu T ise,

$$\alpha EI/L^3 = W/g * (2\pi/T)^2$$

α : kazığın her iki ucundaki sınır koşullarına bağlı bir katsayı

Burkulma yükü,

$$P_{kritik} = \beta EI / L^2$$

β : sınır koşullarına bağlı katsayı

Burkulmaya karşı güvenlik katsayısı:

$$SF = P_{kritik} / W = \alpha/\beta * L/gT^2$$

Belirli bir düşey yük ve yatay frekans için, burkulmaya karşı güvenlik katsayısı, kazık boyu ile doğru orantılı olarak artar.

Bu sistem, ilk taban izolasyonu projelerinden biri olan ve 1983 senesinde tamamlanmış olan “Union House in Auckland” yapısında uygulanmıştır.

Benzer bir yaklaşım ise, 1991 senesinde tamamlanmış olan “the Wellington Central Police Station” binasının izolasyon çalışmasında uygulanmıştır.

1.6 Rocking Sistemleri

Üzerlerinde ağır konstrüksiyon yükleri taşıyan uzun ve narin yapılar, temel seviyesinde çekme kuvveti oluşturan devrilme momentlerinin etkisi altındadırlar. Derin su altı temellerinde ankrajla çekme kapasitesi sağlamak, oldukça pahalı bir çözüm olabilir. Buna alternatif olarak, kolonları ya da köprü ayaklarını temel seviyesinden ayıran bir sistem önerilebilir. Bu kısmi izolasyon uygulaması, yapıya etkileyen deprem yüklerini ve özellikle kolonlarda veya köprü ayaklarında oluşacak çekme kuvvetlerini azaltır.

Basamaklı yapının dinamiği konvansiyonel yapılarınkinden farklıdır. Bu konu üzerinde, EERC’ de teorik ve pratik boyutlarda çalışılmıştır. Bu sistem, Yeni Zelanda’ da “ The South Rangitikei River Bridge” demiryolu köprüsünde uygulanmıştır. 69 m. boyundaki köprü ayakları, deprem yüklemesinde kalkabilecek olan temeli, aşağı bastırarak şekilde tasarlanmıştır. Her bir köprü ayağında, düşük karbonlu çelik çubukların elastik – plastik burulması esasına dayanan iki büyük enerji yutucu alet vardır. Ayakların yukarı veya aşağı hareketlerinde, bu mekanizma sayesinde gerekli kontrol gücüne ulaşılır. Bu aletler 1971 ve 1972 senelerinde Yeni Zelanda’ da, “Department of Sceintific and Industrial Research Physics and Engineering Laboratory” de tasarlanıp testleri yapılmıştır ve enerji yutucuların ilk kullanımı olmuştur. Bu yöntem, başka köprü projelerinde kullanılmamasına karşın, the Golden Gate Bridge, the Oakland Bay Bridge, ve the Williamsburg Bridge gibi köprülerin daha sonraki yıllarda yapılacak olan retrofit çalışmalarına referans oluşturmıştır.

2. SİSMİK İZOLASYONUN TEORİK ESASLARI

2.1 Lineer Teori

Sismik izolasyonda lineer teori iki kütleli yapı modeline dayanır.

Dinamik etki dikkate alınacağı için üst yapı, rijit davrandığı varsayımı yapılarak tek kütle olarak modele alınır.

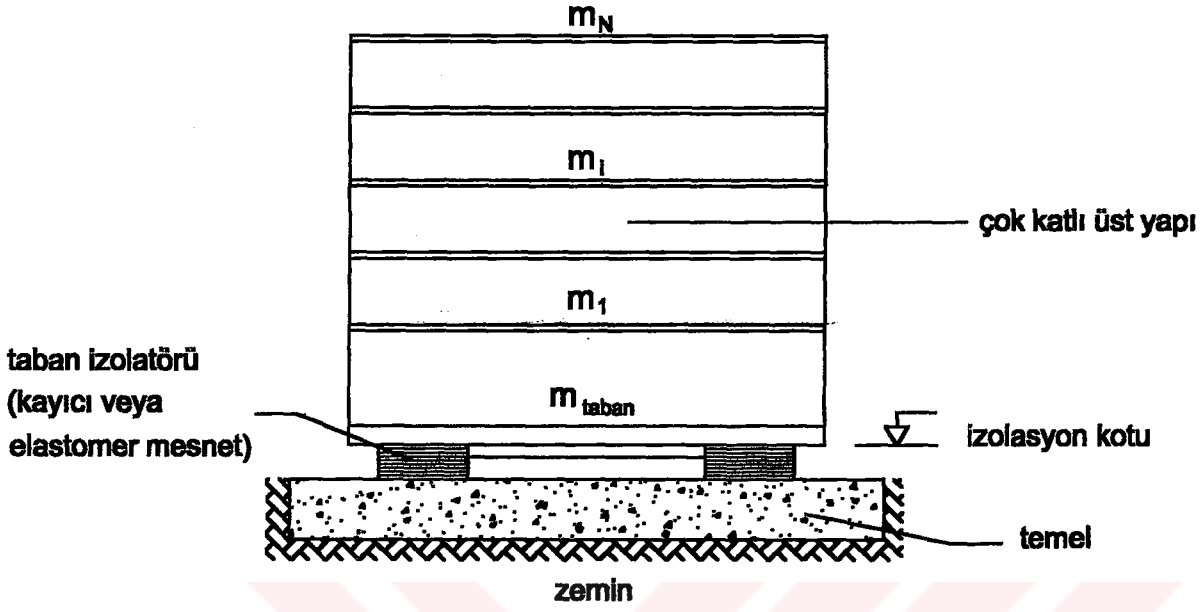
Aşağıdaki idealizasyonda yer alan notasyonlar şunlardır: (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2)

- m : üstyapının kütlesi
- m_b : izolasyon sisteminin üzerindeki taban seviyesinin kütlesi
- k_s : üstyapı eşdeğer rijitliği
- c_s : üstyapıya ait sönüm
- k_b : izolasyon sisteminin toplam yatay rijitliği
- c_b : izolasyon sisteminin toplam sönümü
- k_v : izolasyon sisteminin düşey rijitliği (Düşey rijitlikleri yüksek olan bu mesnetler için sonsuz kabul edilmiştir.)
- u_s : üstyapının mutlak yerdeğiştirmesi
- u_b : izolasyon kütesinin mutlak yerdeğiştirmesi
- u_g : yerin yerdeğiştirmesi

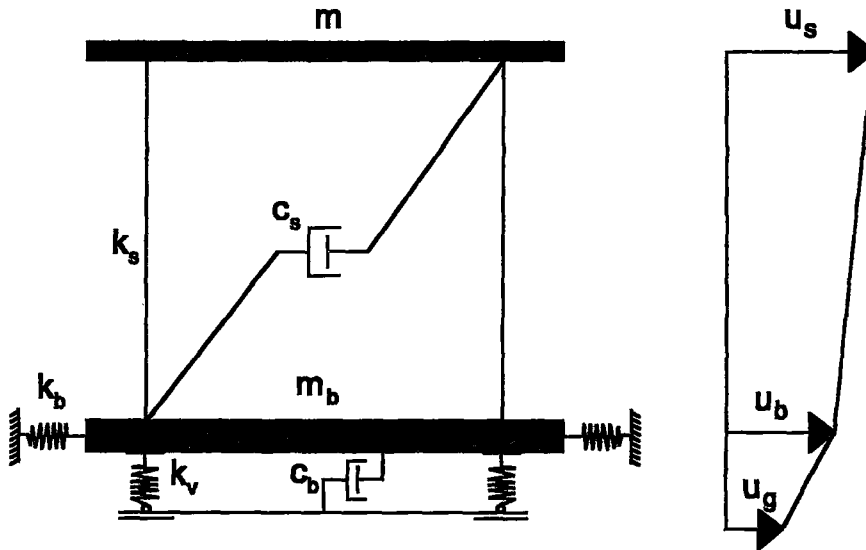
Analiz açısından görelı yerdeğiştirmeleri kullanmak daha uygun olacaktır.

$$v_b = u_b - u_g \quad v_s = u_s - u_b \quad (2.1)$$

v_b , izolasyon sisteminin yere göre yerdeğiştirmesidir. v_s , üstyapının izolasyon kütesine göre yerdeğiştirmedir. Bu terimler kullanılarak temel hareket denklemleri,



Şekil 2.1 İzole edilmiş binanın şematik çizimi



Şekil 2.2 Taban izolasyonlu sistemin iki serbestlik dereceli ideal modeli

iki serbestlik dereceli sistem için şu şekilde düzenlenir:

$$(m + m_b) \ddot{v}_b + m \ddot{v}_s + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (2.2a)$$

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

Bu denklemler matris formunda şöyle ifade edilir:

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

Burada $M = m + m_b$ dir ve matris notasyonu kullanılarak,

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

yazılır. Kütle oranı γ

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

şeklinde tanımlanır ve nominal frekanslar, (yapı dinamiğinden hatırlanacağı üzere)

$$\left\{ \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \right\} \quad \left\{ \beta = \frac{c}{2m\omega} \right\}$$

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

olarak verilirse ve aşağıdaki tanımlama yapılırsa,

$$\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = \epsilon \quad \epsilon = O(10^{-2}) \quad (2.6)$$

[$O(10^{-2})$] merteye olarak yüzde –virgülden sonra iki basamak-anlamındadır.0.01, 0.05 gibi]

sönüm faktörleri β_b ve β_s aşağıdaki formda şekillenir:

$$\begin{aligned} 2\omega_b\beta_b &= \frac{c_b}{m + m_b} \\ 2\omega_s\beta_s &= \frac{c_s}{m} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Bu büyüklükler kullanılarak 2.2a ve 2.2b hareket denklemleri yeniden düzenlenir:

$$\gamma \ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (2.8a)$$

$$\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_s \beta_s \dot{v}_s + \omega_s^2 v_s = -\ddot{u}_g \quad (2.8b)$$

Birleşik sistemin klasik modları, ω_1 ve ω_2 frekansları ile, ϕ^1 ve ϕ^2 olarak adlandırılır.

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

Frekanslar için karakteristik denklem,

$$(1 - \gamma)\omega^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (2.9)$$

ve denklemin çözümleri:

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 - \left[(\omega_b^2 - \omega_s^2) + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{1/2} \right\} \\ \omega_2^2 &= \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + \left[(\omega_b^2 - \omega_s^2) + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{1/2} \right\} \end{aligned} \quad (2.10)$$

olarak bulunur. Yukarıdaki ϵ tanımını kullanılırsa,

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= \omega_b^2 (1 - \gamma\epsilon) \\ \omega_2^2 &= \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} (1 + \gamma\epsilon) \end{aligned} \quad (2.11)$$

şeklinde sadeleştirilirler.

$(\phi_b^i = 1) [i = 1, 2]$ yardımıyla mod şekilleri belirlenir:

$$\begin{aligned} \phi^{1T} &= (1, \epsilon) \\ \phi^{2T} &= \left\{ 1, -\frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon] \right\} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Modal koordinatlardaki yerdeğiştirmeleri ifade etmek için,

$$\begin{aligned} v_b &= q_1 \phi_b^1 + q_2 \phi_b^2 \\ v_s &= q_1 \phi_s^1 + q_2 \phi_s^2 \end{aligned} \quad (2.13)$$

tanımlamaları yazılır. Burada q_1 ve q_2 zamana bağlı modal katsayılarıdır.

Modal büyüklükler M_i ve L_i ,

$$\begin{aligned} M_i &= \phi^{iT} \mathbf{M} \phi^i \\ M_i L_i &= \phi^{iT} \mathbf{M} \mathbf{r} \end{aligned} \quad (2.14)$$

şeklinde tanımlanırlar. ϵ ' de birinci dereceden bu ifadeler düzenlenirse,

$$\begin{aligned} M_1 &= M(1 + 2\gamma\epsilon) \\ M_2 &= M \frac{(1 - \gamma)[1 - 2(1 - \gamma)\epsilon]}{\gamma} \end{aligned} \quad (2.15)$$

ve

$$\begin{aligned} L_1 &= 1 - \gamma\epsilon \\ L_2 &= \gamma\epsilon \end{aligned} \quad (2.16)$$

formunu alırlar.

2.2a ve 2.2b'deki hareket denklemlerindeki (v_b , v_s), ϕ^1 ve ϕ^2 , nin terimleriyle ifade edilirse, modal katsayılar (q_1 , q_2)' nin yer aldığı iki denklem elde edilir:

$$\ddot{q}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{q}_1 + \lambda_1\dot{q}_2 + \omega_1^2 q_1 = -L_1\ddot{u}_g \quad (2.17a)$$

$$\ddot{q}_2 + \lambda_2\dot{q}_1 + 2\omega_2\beta_2\dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = -L_2\ddot{u}_g \quad (2.17b)$$

$2\omega_1\beta_1$ ve $2\omega_2\beta_2$ terimleri aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır:

Buradan,

$$M_i 2\omega_i \beta_i = \phi^{iT} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^i \quad (2.18)$$

ve β ' ların çözümü olarak,

$$2\omega_1\beta_1 = 2\omega_b\beta_b(1 - 2\gamma\epsilon) \quad (2.19)$$

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

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \beta_b(1 - \frac{3}{2}\gamma\epsilon) \\ \beta_2 &= \frac{\beta_s + \gamma\beta_b\epsilon^{1/2}}{(1 - \gamma)^{1/2}}(1 - \frac{\gamma\epsilon}{2}) \end{aligned} \quad (2.20)$$

bulunur. Etkileşim katsayıları λ_1 ve λ_2 aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır :

Buradan,

$$\begin{aligned}\lambda_1 M_1 &= \phi^{1T} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^2 \\ \lambda_2 M_2 &= \phi^{2T} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^1 = \lambda_1 M_1\end{aligned}\quad (2.21)$$

(denklem 2.12' ye bakılabilir.)

$$\begin{aligned}\lambda_1 M_1 &= (1, \epsilon) \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -a \end{pmatrix} = c_b - \epsilon a c_s \\ a &= \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma) \epsilon]\end{aligned}\quad (2.22)$$

bulunur.

Daha önce 2.15 denkleminde tanımlanan $(M_1$ ve $M_2)$ ' yi kullanarak,

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \frac{2\omega_b \beta_b M - \epsilon \left\{ (1/\gamma) [1 - (1 - \gamma) \epsilon] \right\} 2\omega_s \beta_s m}{M(1 + 2\gamma \epsilon)} \\ &= 2\omega_b \beta_b (1 - 2\gamma \epsilon) - \epsilon 2\omega_s \beta_s (1 - 2\gamma \epsilon) \\ &= 2\omega_b [\beta_b (1 - 2\gamma \epsilon) - \epsilon^{1/2} \beta_s]\end{aligned}\quad (2.23a)$$

ve

$$\begin{aligned}\lambda_2 &= \frac{2\omega_b \beta_b M - \epsilon \left\{ (1/\gamma) [1 - (1 - \gamma) \epsilon] \right\} 2\omega_s \beta_s m}{\left[M(1 - \gamma) / \gamma \right] [1 - 2(1 - \gamma) \epsilon]} \\ &= (2\omega_b \beta_b - \epsilon 2\omega_s \beta_s) [1 + 2(1 - \gamma) \epsilon] \frac{\gamma}{1 - \gamma} \\ &= 2\omega_b \left\{ \beta_b [1 + 2(1 - \gamma) \epsilon] - \epsilon^{1/2} \beta_s \right\} \frac{\gamma}{1 - \gamma}\end{aligned}\quad (2.23b)$$

olarak sonuçlanır.

Yapısal uygulamaların büyük bir kısmında sönüm yeterince küçük kabul edilebilir ve diyagonal olmayan bileşenlerin(burada λ_1 ve λ_2) etkisi ihmal edilebilir ve etkileşimsiz(ayrık) modal hareket denklemleri elde edilir:

$$\begin{aligned}\ddot{q}_1 + 2\omega_1 \beta_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 &= -L_1 \ddot{u}_g \\ \ddot{q}_2 + 2\omega_2 \beta_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 &= -L_2 \ddot{u}_g\end{aligned}\quad (2.24)$$

Eğer yer hareketinin zamana bağılılığı $\ddot{u}_g(t)$ biliniyorsa, modal bileşenler $q_1(t)$ ve $q_2(t)$ hesaplanabilir:

$$q_1 = \frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\omega_1 \beta_1 \tau} \sin \omega_1 \tau d\tau \quad (2.25a)$$

$$q_2 = -\frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\omega_2 \beta_2 \tau} \sin \omega_2 \tau d\tau \quad (2.25b)$$

q_1 ve q_2 'nin en büyük değerleri ise:

$$|q_1|_{\max} = L_1 S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (2.26a)$$

$$|q_2|_{\max} = L_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \quad (2.26b)$$

ile verilir. Burada, $S_D(\omega, \beta)$ yer hareketinin ω frekansında ve β sönüm faktörü için yerdeğiştirme tepki spektrumudur.

İzolasyon sisteminin ve yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri, SRSS(karelerin toplamının karekökü) metoduyla belirlenir.

$$|v_s|_{\max} = \left[(\phi_2^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_2^2 |q_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (2.27a)$$

$$|v_b|_{\max} = \left[(\phi_1^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_1^2 |q_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (2.27b)$$

Daha önceki 2.15, 2.16, 2.27a ve 2.27b denklemlerinin sonuçları kullanılarak,

$$\begin{aligned} |v_b|_{\max} &= \left\{ [L_1 S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [L_2 S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ (1 - \gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (2.28)$$

ve

$$\begin{aligned} |v_s|_{\max} &= \left\{ \epsilon^2 (1 - \gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 \frac{1}{\gamma^2} [1 - (1 - \gamma) \epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \epsilon \left\{ (1 - 2\gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [1 - 2(1 - \gamma) \epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (2.29)$$

bulunur.

Genel olarak, yüksek frekanslardaki (ω_2) yerdeğiştirmeler, düşük frekanslardaki (ω_1) yerdeğiştirmelerden fazlaca küçük kaldığı için,

$$\epsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2$$

terimi ihmal edilebilir. Böylece,

$$|v_b|_{\max} = (1 - \gamma\epsilon) S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (2.30)$$

yazılabilir. Eğer ϵ^2 den yüksek terimler ihmal edilirse, üstyapıda en büyük görelî yerdeğıştirme,

$$|v_s|_{\max} = \epsilon \left[S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \quad (2.31)$$

yazılabilir. Benzer şekilde, taban kesme kuvveti katsayısı C_s ,

$$\begin{aligned} C_s &= \left| \frac{k_s v_s}{m} \right|_{\max} = \omega_s^2 |v_s|_{\max} \\ &= \omega_s^2 \epsilon \left[S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \\ &= \left[\omega_b^4 S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + \epsilon^2 \omega_s^4 S_D(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \\ &= \left[S_A(\omega_1, \beta_1)^2 + \epsilon^2 S_A(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (2.32)$$

ifadesini alır. Sadece ilk terimleri dikkate alarak,

$$|v_s|_{\max} = \frac{\epsilon S_V}{\omega_b} = \epsilon S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (2.33)$$

$$|v_b|_{\max} = \frac{S_V}{\omega_b} = S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (2.34)$$

ve

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{k_s v_s}{m} = \omega_s^2 v_s \\ &= \omega_b S_V \left[1 + \epsilon^2 \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} \right]^{1/2} = S_A(\omega_b, \beta_b) \left(1 + \frac{\epsilon}{1 - \gamma} \right)^{1/2} \\ &\approx S_A(\omega_b, \beta_b) \end{aligned} \quad (2.35)$$

yazılır. Bu ifadeler şunu söylemektedir: Küçük ϵ değeri ve tipik bir tasarım spektrumu için, izolasyon sisteminin tasarımı ilk adım olarak görelî taban yerdeğıştirmesi $S_D(\omega_b, \beta_b)$ alınarak ve üstyapının tasarımı ise taban kesme kuvveti katsayısının $S_A(\omega_b, \beta_b)$ alınmasıyla yapılabilir. $C_s = S_A(\omega_s, \beta_s)$ olan ankastre tabanlı bir yapıyla karşılaştırıldığında, taban kesme kuvvetindeki azalma $S_A(\omega_b, \beta_b)/$

$S_A(\omega_s, \beta_s)$ oranı ile belirlenebilir. Sabit-hız spektrumu için bu oran ω_b/ω_s veya $\epsilon^{1/2}$ ile verilir; genelde β_b, β_s' den büyük olduğu için, taban kesme kuvvetindeki azalma olması gerekenin altında kalır.

2.2 Teorinin Bina Tipi Yapılara Uygulanması

2.2.1 Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemleri

Basit lineer modelin iki serbestlik dereceli analizi çok katlı binalar için geliştirilebilir. Kütle matrisi $\mathbf{M}$, sönüm matrisi $\mathbf{C}$ ve rijitlik matrisi $\mathbf{K}$ olan bir yapı sistemini ele alalım. Konvansiyonel yapı sistemi için, her bir serbestlik derecesinin yere göre göreli yerdeğiştirmesi,

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = -\mathbf{M}\mathbf{r}\ddot{u}_g \quad (2.36)$$

formundaki hareket denklemi ile verilir. Burada $\mathbf{r}$, her bir serbestlik derecesini yer hareketiyle etkinleştiren bir vektördür. Bu yapısal model, taban kütlesi m_b , rijitliği k_b ve sönümü c_b olan bir taban izolasyon sisteminin üstüne oturtulduğunda, denklem 2.36' nın yeni formu,

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{K}\mathbf{v} = -\mathbf{M}\mathbf{r}(\ddot{u}_g + \ddot{v}_b) \quad (2.37)$$

olur. Burada, $\mathbf{v}$, taban döşemesine göre yerdeğiştirme ve v_b , taban döşemesinin yere göre yerdeğiştirmesidir. Bina ve taban izolasyon sisteminin oluşturduğu birleşik sistemin hareket denklemi:

$$\mathbf{r}^T \mathbf{M}(\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{r}\ddot{v}_b + \mathbf{r}\ddot{u}_g) + m_b(\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = 0 \quad (2.38)$$

Bir başka formda,

$$\mathbf{r}^T \mathbf{M}\ddot{\mathbf{v}} + (m + m_b)\ddot{v}_b + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b)\ddot{u}_g \quad (2.39)$$

yazılabilir. Denklem 2.39' da $\mathbf{r}^T \mathbf{M} \mathbf{r}$ üst yapının toplam kütlesi m , $m+m_b$ ise izolasyon sisteminin taşıdığı toplam kütledir. Matris formunda,

$$\mathbf{M}^* \ddot{\mathbf{v}}^* + \mathbf{C}^* \dot{\mathbf{v}}^* + \mathbf{K}^* \mathbf{v}^* = -\mathbf{M}^* \mathbf{r}^* \ddot{u}_g \quad (2.40)$$

şeklini alır. Açılımlar aşağıdadır:

$$\mathbf{M}^* = \begin{bmatrix} m+m_b & \mathbf{r}^T \mathbf{M} \\ \mathbf{M} \mathbf{r} & \mathbf{M} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & \mathbf{C} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & \mathbf{K} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{r}^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{v}^* = \begin{bmatrix} v_b \\ \mathbf{v} \end{bmatrix}$$

2.2.2 Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modal Analizleri

Ankastre mesnetli yapıların doğal modlarının biliniyor olduğu varsayılır ve ϕ^i [$i=1,2,\dots,N$] ile adlandırılırlar. Bu mod şekillerinin terimlerini kullanarak, yapının her bir serbestlik derecesinin yerdeğiştirmesi,

$$\mathbf{v} = \sum_{i=1}^N q_i \phi^i \quad (2.41)$$

ile temsil edilebilir. Doğal frekanslar, ω_i^2 ,

$$\mathbf{M} \phi^i \omega_i^2 = \mathbf{K} \phi^i \quad (2.42)$$

denklemini ile verilir. Aşağıdaki varsayım yapılmıştır:

$$\phi^i \mathbf{C} \phi^j = 0 [i \neq j]$$

Hareket denkleminin matris formu N+1 sayıda denklem takımına dönüştürülebilir:

$$\sum_{i=1}^N \mathbf{r}^T \mathbf{M} \phi^i \ddot{q}_i + (m + m_b) \ddot{v}_b + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (2.43a)$$

ve

$$\ddot{q}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -L_i (\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) [i = 1, \dots, N] \quad (2.43b)$$

yazılır. Burada, L_i , ankastre mesnet durumunda modların katılma faktörleridir.

$$L_i = \frac{\phi^{iT} \mathbf{M} \mathbf{r}}{\phi^{iT} \mathbf{M} \phi^i} \quad (2.44)$$

Ankastre mesnet durumunda modal kütleler,

$$M_i = \phi^{iT} \mathbf{M} \phi^i \quad (2.45)$$

olarak verilir. Denklemler aşağıdaki formda yazılabilir:

$$\sum_{i=1}^N \frac{L_i M_i}{m + m_b} \ddot{q}_i + \ddot{v}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (2.46)$$

ve

$$L_i \ddot{v}_b + \ddot{q}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -L_i \ddot{u}_g [i = 1, \dots, N] \quad (2.47)$$

Genelde, birinci modun üstündeki modlar, üstyapı ve izolasyon sisteminin tasarımında etkili değildir; bu nedenle analizde birinci mod dikkate alınacaktır.

Hemen yukarıdaki hareket denklemlerini, 2.8a ve 2.8b denklemleriyle verilen tek serbestlik dereceli izole edilmiş sistemin hareket denklemleri ile karşılaştırarak, v_b yerine $L_1 v_b$

ve $\ddot{u}_g$ yerine $L_1 \ddot{u}_g$ kullanılırsa ve

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

ile

$$\gamma_1 = \frac{L_1^2 M_1}{m + m_b}$$

yerdeğiştirirse,

$$\begin{aligned} \frac{L_1^2 M_1}{m + m_b} \ddot{q}_i + (L_1 \ddot{v}_b) + 2\omega_b \beta_b (L_1 \dot{v}_b) + \omega_b^2 (L_1 v_b) &= -L_1 \ddot{u}_g \\ (L_1 \ddot{v}_b) + \ddot{q}_i + 2\omega_b \beta_b \dot{q}_i &= -L_1 \ddot{u}_g \end{aligned} \quad (2.48)$$

elde edilir.

Bu denklemlerin çözümü sonucunda, q_1 için sonuç, tek serbestlik dereceli sistemdeki v_s çözümüne ulaşır.

Tek serbestlik dereceli sistem için elde edilmiş olan yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti katsayısı büyüklükleri,

$$|v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} S_A(\omega_b, \beta_b) \quad (2.49)$$

$$C_s = [S_A(\omega_b^*, \beta_b^*) + \epsilon^2 (1 - \gamma)^2 S_A^2(\omega_b^*, \beta_b^*)]^{1/2} \quad (2.50)$$

çok serbestlik dereceli sistem için aşağıdakilerle yerdeğiştirir. Maksimum görelî taban yerdeğiştirmesi,

$$|L_1 v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} L_1 S_A(\omega_b, \beta_b) \quad (2.51)$$

ile verilir; fakat L_1 terimi eşitliğin her iki tarafında bulunduğu için sonuç öncekiyle aynıdır.

Taban kesme kuvvetini elde etmek için,

$$|q_1|_{\max} = \left[\frac{\epsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_b^*, \beta_b^*)}{\omega_b^4} + \frac{\epsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)}{\omega_s^4} \right]^{1/2} \quad (2.52)$$

büyüklüğü kullanılabilir. Burada ω_s^*, β_s^* daha önce hesap edilenlerle aynıdır, $\epsilon, \epsilon_1 = \omega_b^2 / \omega_1^2$ ile yer değiştirir. Görelî yer değiştirme vektörü v ,

$$v = q_1 \phi^1 \quad (2.53)$$

ile verilir ve sönüm katılımları ihmal edilerek, her bir elemandaki atalet kuvvetleri hesaplanır:

$$F = Kv = q_1 K \phi^1 = q_1 M \phi^1 \omega_1^2 \quad (2.54)$$

Üstyapı için toplam yatay kuvvet:

$$r^T F = q_1 \omega_1^2 L_1 M_1 \quad (2.55)$$

Taban kesme kuvveti katsayısı C_s ile ifade edilirse,

$$C_s m = r^T F \quad (2.56)$$

Böylece,

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{L_1 M_1}{m} \left[L_1^2 S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma_1)^2 \epsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*) \right]^{1/2} \\ &= \frac{L_1^2 M_1}{m} \left[S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma_1)^2 \epsilon^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*) \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (2.57)$$

yazılır. Burada, daha önce ifade edildiği şekliyle $\epsilon = \omega_b^2 / \omega_1^2$ dir.

2.3 Hareket Denklemlerinde Sönüm Etkilerinin Dikkate Alınması

Yapısal uygulamaların büyük bir kısmında sönüm küçüktür ve diyagonal olmayan bileşenlerin etkisi ihmal edilerek etkileşimsiz (ayrık) modal hareket denklemlerinden çözüme ulaşılır. Çok serbestlik dereceli sistemler için yukarıda uygulanan analizler, bu varsayım doğrultusunda taban yer değiştirmesi, taban kesme kuvveti ve katlararası görelî yer değiştirmelerinin basit sonuçlarını verirler. Taban izolasyonlu yapılarla ilgili mevcut şartnamelerde (yabancı kaynaklı) öngörülen tasarım yer değiştirmesi

değerlerinin fazla konservatif(güvenlikli) olmasından dolayı, tasarımcılar bu büyük yerdeğiştirmeleri sınırlandırmak için ek viskoz sönümleyiciler kullanma yolunu seçerler. Bunun sonucu olarak, izolasyon sisteminde 0,50 mertebesinde bir sönüm faktörü elde edilir. Açık olarak, bu seviyede bir sönüm için hareket denklemlerinin etkileşimsiz olacağı(ayrık) düşünülemez.

ϵ' de sıfırıncı mertebede dört adet sönüm terimi vardır ve diyagonal olmayan bileşenler, diyagonal bileşenlerle aynı mertebeye sahiptir:

$$2\omega_1\beta_1 = 2\omega_b\beta_b$$

$$2\omega_2\beta_2 = \frac{1}{1-\gamma} 2\omega_s\beta_s$$

$$\lambda_1 = 2\omega_b\beta_b$$

$$\lambda_2 = 2\omega_b\beta_b \frac{\gamma}{1-\gamma}$$

$L_1 \approx O(1)$ ve $L_2 \approx O(\epsilon)$ olduğu dikkate alınarak,

$$L_1 = 1 - \gamma\epsilon \approx 1$$

$$L_2 = \gamma\epsilon \quad (\epsilon \ll 1)$$

$\lambda_1 \dot{q}_2$ teriminin q_1 sonucu üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceği ve
 $\lambda_2 \dot{q}_1$ teriminin q_2 üzerindeki etkisinin büyük olacağı varsayımı yapılır.

Böylece modal katsayılarla(q_1, q_2) verilen 2.17a ve 2.17b hareket denklemleri bu doğrultuda değiştirilir :

$$\begin{aligned} \ddot{q}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 &= -L_1 \ddot{u}_g \\ \ddot{q}_2 + 2\omega_2\beta_2\dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 &= -L_2 \ddot{u}_g - \lambda_2 \dot{q}_1 \end{aligned} \quad (2.58)$$

Çözümü kolaylaştırmak için bu denklemler Laplace fonksiyonuna dönüştürülür:

$$LT[f(t)] = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt = \bar{f}(s)$$

Laplace geçiş formunda terimler,

$$\begin{aligned} \bar{q}_1(s) &= \frac{L_1 \bar{a}(s)}{s^2 + 2\omega_1\beta_1 s + \omega_1^2} \\ \bar{q}_2(s) &= \frac{L_2 \bar{a}(s)}{s^2 + 2\omega_2\beta_2 s + \omega_2^2} + \frac{\lambda_2 L_1 s \bar{a}(s)}{(s^2 + 2\omega_2\beta_2 s + \omega_2^2)(s^2 + 2\omega_1\beta_1 s + \omega_1^2)} \\ &= -L_2 A_1(s) \bar{a}(s) + \lambda_2 L_1 A_2(s) \bar{a}(s) \end{aligned} \quad (2.59)$$

eşitlikleriyle ifade edilirler. Burada,

$$\bar{a}(s) = LT[\ddot{u}_g]$$

dir. $A_2(s)$ terimi kısmi kesirlerle indirgenebilir:

$$A_2(s) = \frac{a + bs}{s^2 + 2\omega_1\beta_1s + \omega_1^2} + \frac{c + ds}{s^2 + 2\omega_2\beta_2s + \omega_2^2}$$

Bir takım operasyondan sonra,

$$\begin{aligned} a &= \frac{\omega_1^2(2\omega_2\beta_2 - 2\omega_1\beta_1)}{D} \\ b &= \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{D} \\ c &= \frac{\omega_2^2(2\omega_2\beta_2 - 2\omega_1\beta_1)}{D} \\ d &= -\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{D} \end{aligned} \quad (2.60)$$

ve

$$D = (\omega_2^2 - \omega_1^2)^2 + (2\omega_2\beta_2 - 2\omega_1\beta_1)(\omega_1^2 2\omega_2\beta_2 - \omega_2^2 2\omega_1\beta_1) \quad (2.61)$$

bulunur. $A_2(s)$ ' i oluşturan iki terimin tersini almak için aşağıdaki geçiş formu takip

$$LT^{-1}\left[\frac{s - \alpha}{(s - \alpha)^2 + \gamma^2}\right] = e^{\alpha t} \cos \gamma t$$

edilecektir:

ve

$$LT^{-1}\left[\frac{1}{(s - \alpha)^2 + \gamma^2}\right] = \frac{1}{\gamma} e^{\alpha t} \sin \gamma t$$

İlk terimin tersi:

$$be^{-\omega_1 \beta_1 t} \cos \overline{\omega_1 t} + (a - b \overline{\omega_1 \beta_1}) \frac{e^{-\omega_1 \beta_1 t} \sin \overline{\omega_1 t}}{\overline{\omega_1}}$$

İkinci terimin tersi:

$$de^{-\omega_2 \beta_2 t} \cos \overline{\omega_2 t} + (c - d \overline{\omega_2 \beta_2}) \frac{e^{-\omega_2 \beta_2 t} \sin \overline{\omega_2 t}}{\overline{\omega_2}}$$

Yukarıda,

$$\overline{\omega_1} = \omega_1(1 - \beta_1^2)^{1/2}$$

$$\overline{\omega_2} = \omega_2(1 - \beta_2^2)^{1/2}$$

şeklinde açılır.

$q_1(t)$ ve $q_2(t)$ için çözüm, denklem 2.60' daki a,b,c ve d tanımlarının da yerini almasıyla, son aşamada aşağıdadır:

$$q_1(t) = -\frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_1 \beta_1 \tau} \sin \overline{\omega_1 \tau} d\tau \quad (2.62a)$$

$$q_2(t) = -\frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2 (t-\tau)} \sin \overline{\omega_2 (t-\tau)} \ddot{u}_g(\tau) d\tau$$

$$+ \lambda_2 L_1 \left\{ \begin{aligned} & \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{D} \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1 (t-\tau)} \cos \overline{\omega_1 (t-\tau)} \ddot{u}_g(\tau) d\tau \\ & + \frac{\omega_1^2 (2\omega_2 \beta_2) - (\omega_1^2 + \omega_2^2) \omega_1 \beta_1}{D} \frac{1}{\omega_1} \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1 (t-\tau)} \sin \overline{\omega_1 (t-\tau)} \ddot{u}_g(\tau) d\tau \\ & - \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{D} \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2 (t-\tau)} \cos \overline{\omega_2 (t-\tau)} \ddot{u}_g(\tau) d\tau \\ & - \frac{(\omega_1^2 + \omega_2^2) \omega_2 \beta_2 - \omega_2^2 (2\omega_1 \beta_1)}{D} \frac{1}{\omega_2} \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2 (t-\tau)} \sin \overline{\omega_2 (t-\tau)} \ddot{u}_g(\tau) d\tau \end{aligned} \right\} \quad (2.62b)$$

Herhangi bir yer hareketi $\ddot{u}_g(t)$ için bu entegraller hesaplanabilir.

ω_1, ω_2 terimlerini tutan ifadeler 2.10 denklemini kullanılarak nominal frekanslar ω_b, ω_s cinsinden tekrar yazılabilirler.

$$\omega_2^2 - \omega_1^2 = \frac{1}{1-\gamma} [(\omega_s^2 - \omega_b^2)^2 - 4\gamma \omega_b^2 \omega_s^2]^{1/2}$$

$$\omega_2^2 + \omega_1^2 = \frac{\omega_s^2 + \omega_b^2}{1-\gamma}$$

$$\omega_1^2 \omega_2^2 = \frac{\omega_s^2 \omega_b^2}{1-\gamma}$$

Yukarıdaki 2.62b denkleminde q_2 ifadesinde her terimde yer alan paydadaki D ,

$$D = (\omega_2^2 - \omega_1^2)^2 - 4\omega_1^2\omega_2^2(\beta_1^2 + \beta_2^2) + 4\omega_1^2\omega_2^2(\omega_2^2 + \omega_1^2)\beta_1\beta_2$$

şu ifadeyi alır:

$$D = \frac{1}{(1-\gamma)^2} [(\omega_s^2 - \omega_b^2)^2 + 4\gamma\omega_s^2\omega_b^2 - 4(1-\gamma)\omega_s^2\omega_b^2\beta_1^2\beta_2^2 + 4(1-\gamma)^{1/2}\omega_s\omega_b(\omega_s^2 + \omega_b^2)\beta_1\beta_2]$$

Aşağıda yapılan mertebe varsayımıyla her terim için biraz daha sadeleştirme yapılabilir:

$$\gamma = O(1)$$

$$\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = \epsilon \ll 1$$

ϵ ' de birinci mertebe için,

$$D = \frac{\omega_s^4}{(1-\gamma)^2} [1 - 2(1-2\gamma)\epsilon]$$

ve

tüm entegrallerin çarpanları,

$$\begin{aligned} \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{D} &= \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} [1 - (1-2\gamma)\epsilon] \frac{1}{D} \\ &= \frac{(1-\gamma)}{\omega_s^2} [1 + (1-2\gamma)\epsilon] \\ \frac{\omega_1^2(2\omega_2\beta_2) - (\omega_1^2 + \omega_2^2)\omega_1\beta_1}{D\omega_1} &= \frac{(1-\gamma)}{\omega_s^2} \beta_1 \\ \frac{(\omega_1^2 + \omega_2^2)\omega_2\beta_2 - \omega_2^2(2\omega_1\beta_1)}{D\omega_2} &= \frac{(1-\gamma)}{\omega_s^2} \beta_2 \end{aligned}$$

olarak yazılabilir.

ϵ' de birinci merteye için, q_1 ve q_2 ifadeleri:

$$\begin{aligned} q_1(t) &= -\frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1(t-\tau)} \sin \omega_1(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \\ q_2(t) &= -\frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2(t-\tau)} \sin \omega_2(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \end{aligned} \quad (2.63)$$

$$\begin{aligned} & \left[1 + (1-2\gamma)\epsilon \right] \begin{bmatrix} \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1(t-\tau)} \cos \omega_1(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \\ - \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2(t-\tau)} \cos \omega_2(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \end{bmatrix} \\ & + \lambda_2 L_1 \frac{(1-\gamma)}{\omega_s^2} \left\{ \begin{aligned} & -\beta_1 \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1(t-\tau)} \sin \omega_1(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \\ & -\beta_2 \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2(t-\tau)} \sin \omega_2(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (2.64)$$

2.63 ve 2.64 denklemlerindeki entegraller için aşağıdaki tanımlamaları yapmak uygun olacaktır:

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1(t-\tau)} \sin \omega_1(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \\ I_2 &= \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2(t-\tau)} \sin \omega_2(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \\ I_3 &= \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1(t-\tau)} \cos \omega_1(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \\ I_4 &= \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2(t-\tau)} \cos \omega_2(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \end{aligned}$$

Şimdi, katlararası görelî yerdeğiştirmeleri ve kat ivmelerini belirleyelim. Bu iki büyüklük birbirine,

$$\left| \ddot{u}_s \right|_{\max} = \frac{k_s |v_s|_{\max}}{m} \quad (2.65)$$

eşitliğiyle bağlıdır. Dolayısıyla v_s ' in belirlenmesiyle kat ivmeleri de belirlenecektir. ile verilir.

$$v_s = q_1 \phi_s^1 + q_2 \phi_s^2$$

$$v_s = -\epsilon \frac{L_1}{\omega_1} I_1 + \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \frac{L_2}{\omega_2} I_2 - \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \lambda_2 L_1 \frac{(1 - \gamma)}{\omega_s^2} \left\{ [1 + (1 - 2\gamma\epsilon)] (I_3 - I_4) - \beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 \right\}$$

(2.66)

Hesaplanan bu değer üç ayrı parçanın toplamı şeklindedir:

(i) İzolasyon sisteminin oluşturduğu kesme kuvveti kaynaklı

$$v_s^{(1)} = -\epsilon \frac{L_1}{\omega_1} I_1 \quad (2.67)$$

(ii) Ayırık modal denklemlerin sonucu olarak gelen

$$v_s^{(2)} = \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \frac{L_2}{\omega_2} I_2 \quad (2.68)$$

(iii) Etkileşimli terimlerden gelen katkı

$$v_s^{(3)} = -\frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \lambda_2 L_1 \frac{(1 - \gamma)}{\omega_s^2} \left\{ [1 + (1 - 2\gamma\epsilon)] (I_3 - I_4) - \beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 \right\} \quad (2.69)$$

Entegraller I_1, I_2, I_3, I_4 tepki spektrumu analizi için belirlenebilir:

Burada S_D , yerdeğiştirme tepki spektrumudur.

$$\begin{aligned} \frac{1}{\omega_1} |I_1|_{\max} &= S_D(\omega_1, \beta_1) \\ \frac{1}{\omega_2} |I_2|_{\max} &= S_D(\omega_2, \beta_2) \end{aligned} \quad (2.70)$$

$$\left| \int_0^t e^{-\omega\beta(t-\tau)} \cos \omega(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \right|_{\max} \quad (2.71)$$

Bu ifade, frekansı ω , sönüm faktörü β olan tek serbestlik dereceli osilatör için göreceli hız tepki spektrumudur ($S_{RV}(\omega, \beta)$). 2.64 denklemindeki dört entegralin en büyük değerleri farklı zamanlarda oluşur ve SRSS (karelerin toplamının karekökü) metodu

$$\begin{aligned}
|v_s^{(1)}|_{\max} &= \epsilon L_1 S_D(\omega_1, \beta_1) \\
|v_s^{(2)}|_{\max} &= \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] L_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \\
|v_s^{(3)}|_{\max} &= \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \lambda_2 L_1 \frac{(1 - \gamma)}{\omega_s^2} \\
&\quad \left\{ \left[1 + (1 - 2\gamma\epsilon) \right]^2 \left[\omega_1^2 S_D^2(\omega_1, \beta_1) + \omega_2^2 S_D^2(\omega_2, \beta_2) \right] \right. \\
&\quad \left. + \beta_1^2 \omega_1^2 S_D^2(\omega_1, \beta_1) + \beta_2 \omega_2^2 S_D^2(\omega_2, \beta_2) \right\}^{1/2} \quad (2.72)
\end{aligned}$$

kullanılarak v_s ' yi oluşturan üç katkının maksimumları belirlenir:

İzole edilmiş yapılar için düzenlenmiş bulunan tüm tasarım şartnameleri sabit – hız spektrası esaslıdır. Bu nedenle yukarıdaki çeşitli terimler şöyle ilişkilendirilebilir:

$$S_V(\omega, \beta) = S_V H(\beta)$$

S_V sabittir ve $H(\beta)$ sönüm değiştirme fonksiyonudur, artan β değerleriyle azalır ve $\beta=0,05$ değerinde birim olur. Gerek tablolar halinde gerekse sürekli fonksiyonlar olarak bu tür çeşitli fonksiyonlar mevcuttur. Basit bir forma sahip olan Kawashima – Aizawa fonksiyonu ele alınabilir:

$$H(\beta) = \frac{1.5}{1 + 40\beta} + 0.5 \quad (2.73)$$

Burada, $H(0)=2$, $H(0.05)=1$, $\beta \rightarrow \infty$ $H \rightarrow 0.5$ ' e yakınsar. Bu formun sabit – hız spektrumunu ve önceki bölümden elde edilen L_1 , L_2 , ω_1 , ω_2 modal büyüklüklerinin sonuçlarını kullanarak aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$\begin{aligned}
|v_s^{(1)}|_{\max} &= \epsilon \frac{S_V}{\omega_b} H(\beta_1) \\
|v_s^{(2)}|_{\max} &= \epsilon^{2/3} (1 - \gamma)^{1/2} \frac{S_V}{\omega_b} H(\beta_2) \\
|v_s^{(3)}|_{\max} &= 2\epsilon \beta_b \left\{ \left[1 + 2(1 - 2\gamma)\epsilon + \beta_1^2 \right] H^2(\beta_1) + \left[1 + 2(1 - 2\gamma)\epsilon + \beta_2^2 \right] H^2(\beta_2) \right\}^{1/2} \frac{S_V}{\omega_b} \\
&\quad (2.74)
\end{aligned}$$

Açık olarak, β_b ' nin küçük değerleri için, $\beta \approx 0.10$, ilk terim, $|v_s^{(1)}|_{\max}$, baskın terimdir. β_b ' nin tüm değerleri için, ikinci terim, $|v_s^{(2)}|_{\max}$, her zaman ilk terimden küçük kalır ve ihmal edilebilir. Üçüncü terimin etkisi ise, $|v_s^{(3)}|_{\max}$ β_b ' nin değerine bağlı olarak değişir. β_s ' in genelde aldığı değerler için, $\beta_2^{2,}$ nin değeri bire göre küçük kalır ve

$$\frac{v_s^{(3)}}{v_s^{(1)}} = R = \frac{2\beta_b \left\{ (1 + \beta_1^2) H^2(\beta_1) + H^2(\beta_2) \right\}^{1/2}}{H(\beta_1)} \quad (2.75)$$

oranı yazılabilir. $\beta_1 \approx \beta_b$ alınır ve

$$\beta_2 \approx \frac{1}{(1 - \gamma)^{1/2}} (\beta_s + \gamma \epsilon^{1/2} \beta_b)$$

yazılabilir. $H(\beta)$ için Kawashima – Aizawa formülü kullanılarak ve $\epsilon = 1/25$, $\gamma = 1/2$, $\beta_s = 0.02$ alarak bu iki terimin oranını $\beta_b = 0.10$ iken 0.33, $\beta_b = 0.50$ iken 1.80' e yükseldiğini buluruz. Örnek bir proje için uygun düşecek rakamlar kullanarak yukarıdaki ifadeleri somutlaştıralım. Olabilecek en büyük depremde (MCE), şartname gereği yerdeğiştirme, %5 sönüm ve 2.5 saniyelik bir periyod için, 76 cm. olsun. Yerdeğiştirmeyi kabul edilebilir bir seviyeye düşürmek için, sisteme lineer viskoz sönümleyiciler ekleyerek sönümü % 50 civarına çektiğimizi varsayalım. Bu değer için R faktörü 0.57' dir. Şartname notasyonuyla, elastik taban kesme kuvveti $F_s = KD$ olarak verilir. Daha önce,

$$F_s = \frac{K}{M} D \frac{W}{g} = 0.50W \quad (2.76)$$

olan bu değer 0.285W (0,57*0,50) değerine düşmüştür ve uygun görünmektedir. Viskoz kuvvet,

$$F_v = 2\omega\beta M \dot{D}$$

$$\beta = 0.50$$

ve

$$\dot{D} = \omega D$$

için F_s ile aynı değeri alır ($2\omega 0,5M\omega D=\omega^2 MD=KD$). Maksimum taban kesme kuvveti ,

$$\sqrt{2}F_s = 0.40W$$

bulunur. İlgili maksimum kat ivmeleri,

$$\left| \ddot{u}_s \right|_{\max} = \omega_s^2 |v_s|_{\max} \quad (2.77)$$

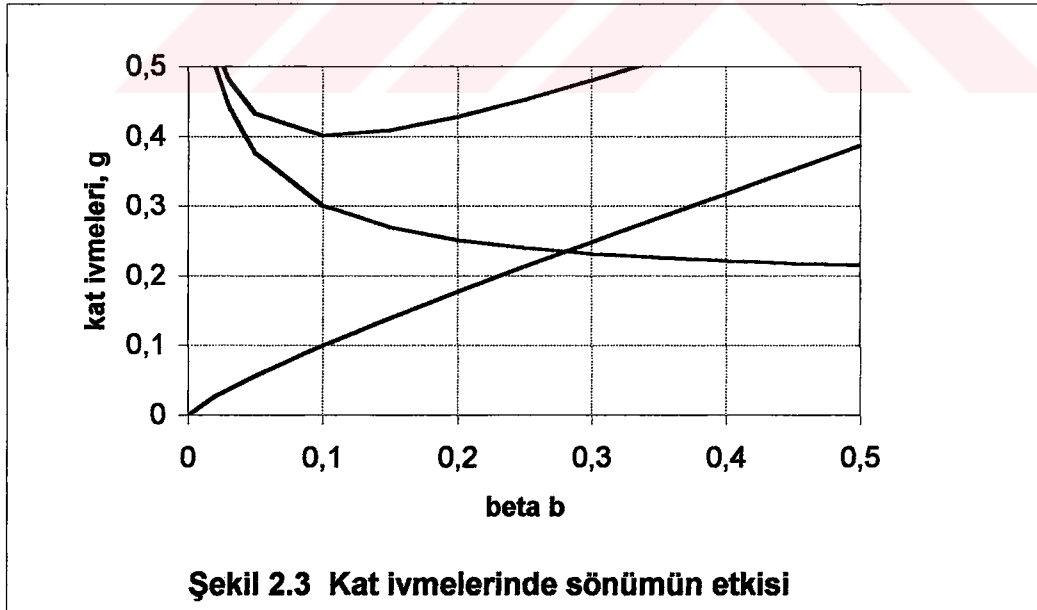
bileşenleriyle,

$$\left| \ddot{u}_s \right|_{\max}^{(1)} = \epsilon \frac{S_V}{\omega_b} H(\beta) \omega_s^2 = \omega_b S_V H(\beta_1) \quad (2.78)$$

ve

$$\begin{aligned} \left| \ddot{u}_s \right|_{\max}^{(3)} &= \omega_s^2 2\epsilon \beta_b \left\{ \left[1 + 2(1-2\gamma)\epsilon + \beta_1^2 \right] H^2(\beta_1) + \left[1 + 2(1-2\gamma)\epsilon + \beta_2^2 \right] H^2(\beta_2) \right\}^{1/2} \frac{S_V}{\omega_b} \\ &= 2\omega_b \beta_b \left\{ \left[1 + 2(1-2\gamma)\epsilon + \beta_1^2 \right] H^2(\beta_1) + \left[1 + 2(1-2\gamma)\epsilon + \beta_2^2 \right] H^2(\beta_2) \right\}^{1/2} S_V \end{aligned} \quad (2.79)$$

değerlerini alırlar.



Şekil 2.3 ile gösterilen grafik, bahsi geçen örnek için maksimum kat ivmelerinin bileşenlerini ve bunların toplamlarını göstermektedir.

Şekil 2.3' deki grafikte, azalan eğri $\left| \ddot{u}_s^{(1)} \right|$ değerlerini,
orjinden başlayan ve artan eğri ise $\left| \ddot{u}_s^{(3)} \right|$ değerlerini,
üstte kalan çanak eğri ise bunların toplamını göstermektedir.

Bu sonuç şunu söyler : Sisteme sönümleyicilerin eklenmesi (β_b ' nin büyük değerler almasını sağlar) v_b ' yi düşürerek izolatör yerdeğiştirmesini kontrol altında tutarken, katlararası görelî yerdeğiştirme ve kat ivmeleri üzerinde artırıcı, olumsuz bir etki yapar. Sabit – hız tasarım spektrumu için etkileşimli terimler tarafından oluşturulan ivmeler, toplamdaki etkin ivmelerdir. Taban izolasyonlu yapılarda, kat ivmelerini ve katlararası görelî yerdeğiştirmeleri taşıyan yüksek modların taban kesme kuvvetiyle ortogonalılığı her zaman düşünülemez. Bu nedenle, küçük taban kesme kuvveti efektif bir izolasyon sisteminin garantisi değildir. Bu bağlamda, sistemin performansını geliştirmek amacıyla ek sönüm kazandırma çabaları gereksiz; sonuçları ise olumsuz olacaktır.

3. İZOLATÖRLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ

3.1 Giriş

İzolatörlerin tasarım süreci, daha önceki projelerden elde olunan parametreleri kullanarak ya da sistemin yapacağı maksimum yer değiştirmesi ve çeşitli kontrol büyüklüklerinin maksimum değerleri (kayma şekil değiştirmesi gibi), yapının taban kesme kuvveti, izolatörlerin stabilitesi ve yapıdaki kolon yüklerine bağlı olarak üreticinin vereceği mekanik özellikler doğrultusunda seçimi ile başlar. Bu ön boyutlamadan sonra, izolatörlerin kesin tasarımına ait alternatifler ve matematik model oluşturulur ve prototip test programları uygulanır. Test sonuçlarına bağlı olarak, gerekli tip ve sayıda izolatör üretilir. Daha sonra üretilen izolatörler üzerinde testler yapılır ve montaj aşamasına geçilebilir.

Bu bölümde taban izolasyon sistemlerini oluşturan izolatörlerin ön tasarımları için gerekli olan mekanik özellikleri açıklanmıştır.

3.2 Elastomer Mesnetlerin Mekanik Özellikleri

Tabakalı elastomer mesnetlerin mekanik karakteristikleri üzerine uzun yıllardır çalışmalar sürdürülmektedir. Doğrusal olmayan tekniklere dayalı kesin analizlerin uygulanmasındaki güçlüklerle karşı, elastik teoriye dayalı basit yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar, laboratuvar testleri ve sonlu elemanlar yöntemi analizleri ile doğrulanmıştır. Elastomer mesnetlerin en önemli özelliği yatay rijitlikleridir.

$$K_H = GA / t_r \quad (3.1)$$

Burada, G : kauçuğun kayma modülü, A : kauçuğun enkesit alanı, t_r : kauçuğun toplam kalınlığıdır. Maksimum yatay yer değiştirme D, maksimum kayma şekil değiştirmesi γ' ya

$$\gamma = D / t_r \quad (3.2)$$

eşitliğiyle bağlıdır. Mesnet boyutlandırmasında gerekli büyüklükler olan düşey rijitlik K_v ve eğilme rijitliği EI, basit bir doğrusal elastik teoriyle belirlenir.

İzole edilmiş bir yapının düşey frekansı, belirli bir sabit yük altında, doğrusal analizle mesnetlerin düşey rijitliği hesaplanarak elde edilebilir.

Diğer önemli mesnet özelliği ise, izolatörlerin burkulma davranışdır. Bu davranış, basınç altındaki mesnetin eğilme momenti tesirine tepkisiyle açıklanabilir. Eğilme rijitliği olarak adlandırılan bu özellik, düşey rijitliğin belirlenmesindeki analizlerin bir uzantısı olarak formüle edilecektir.

Kauçuk bir mesnetin düşey rijitliği,

$$K_v = E_c A / t_r \quad (3.3)$$

formülü ile tanımlanabilir. Burada, A : mesnetin enkesit alanı (levhaların alanı olarak alınır), t_r : toplam kauçuk kalınlığı, E_c : düşey yükün belirli bir seviyesinde, kauçuk – çelik kompozitin basınç modülüdür.

Tekbir kauçuk tabakasının E_c değeri, şekil faktörü S ile kontrol edilir.

$S = \text{yüklenmiş alan} / \text{kuvvet uygulanmayan alan}$

Örnek olarak, t kalınlığında tek bir tabakada, 2b genişliğinde sonsuz bir şerit için,

$$S = b / t \quad (3.4)$$

Çapı Φ ya da yarıçapı R ve kalınlığı t olan dairesel bir tampon için,

$$S = \Phi / 4t \quad S = R / 2t \quad (3.5)$$

Kenar boyutu a ve kalınlığı t olan kare bir tampon için,

$$S = a / 4t \quad (3.6)$$

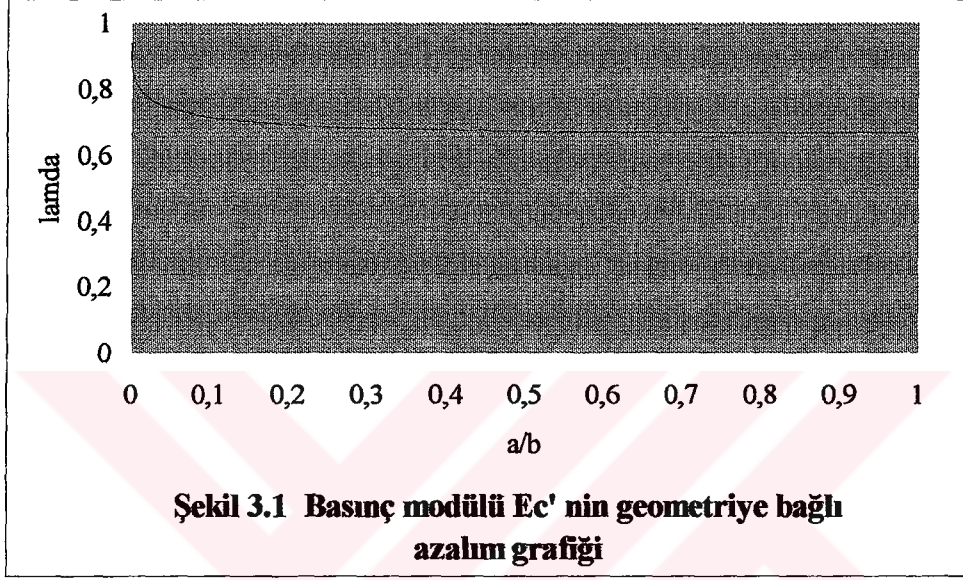
Tam dairesel tek tampon için basınç modülü,

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

Kare tampon için,

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

Bazı durumlarda, mesnetler halka şeklinde tasarlanabilir. İç yarıçapı a, dış yarıçapı b



olan bir mesnet için,

$$E_c = 6\lambda GS^2 \quad (3.9)$$

$$\lambda = \frac{b^2 + a^2 - [(b^2 - a^2) / \ln b/a]}{(b-a)^2} \quad (3.10)$$

$a/b \rightarrow 0$	$\lambda \rightarrow 1$	$E_c = 6GS^2$ (tam dairesel)
$a/b \rightarrow 1$	$a/b = 1 - \epsilon \quad \epsilon \rightarrow 0 \quad \lambda = 2/3$	$E_c = 4GS^2$ (sonsuz şerit)

λ , 2/3 değerine çok hızlı yaklaşır. $a/b > 0,10$ durumunda $\lambda = 2/3$ değerini alır ve bu ifade, ufak bir deliğin dahi E_c değerine etkisinin büyük olduğunu gösterir (Şekil 3.1).

Bu nedenle, merkezinde delik bulunan mesnetlerde E_c için $4GS^2$ değeri uygundur.

Basınç etkisinde, sınır çelik plakasının sarma etkisi kauçukta γ_c ile gösterilen kayma şekil değiştirmesi oluşturur. Nominal basınç şekil değiştirmesi ϵ_c ,

$$\epsilon_c = \Delta / t_r \quad (3.11)$$

Δ : düşey yer değiştirme

$$\gamma_c = 6S\epsilon_c \quad (3.12)$$

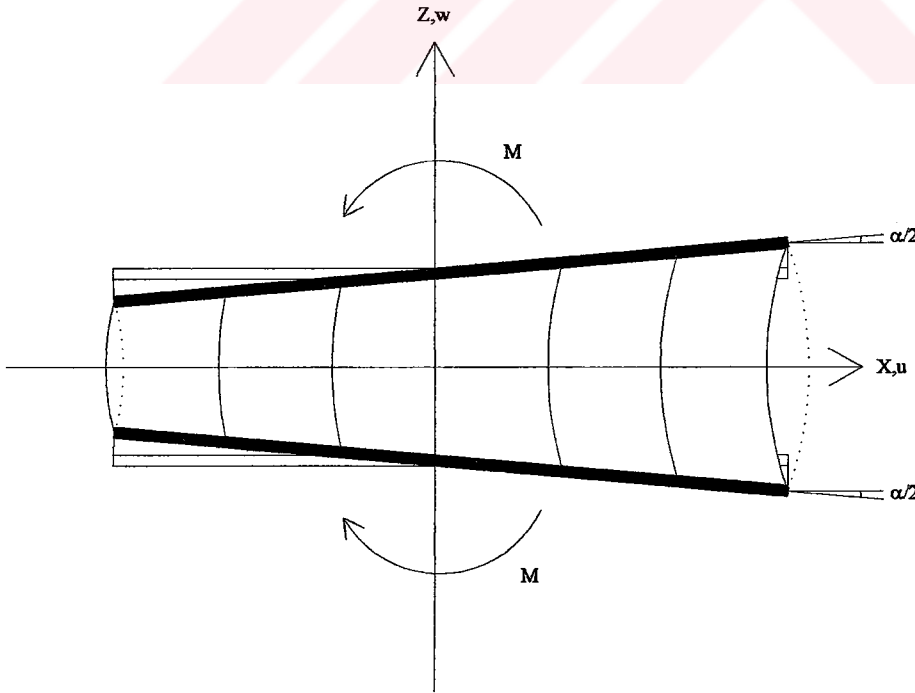
Bu değer, tamponun kenarlarındaki maksimum şekil değiştirmesidir ve tasarım için kullanılır. Kauçuk şekil değiştirmeye hassas olduğu için, farklı şekil değiştirme seviyelerinde G değeri değişiklik gösterir. Ortalama şekil değiştirmeyi elde etmek için kullanılan uygun modül değeri, tamponda depolanmış elastik enerjiden hesaplanır. Ortalama kayma şekil değiştirmesi,

$$\gamma_{ave} = \sqrt{6S\epsilon_c} \quad (3.13)$$

olarak belirlenir.

Düşey rijitliği elde etmek için kullanılan G değeri, bir dizi deneme – yanılmadan sonra bulunur. İlk olarak G için rasgele bir değer seçilir ve ϵ_c , ardından da γ_{ave} hesaplanır. Daha sonra G'nin yeni değeri bulunur ve %20 şekil değiştirmenin üzerinde, modül, şekil değiştirmeye olan bağlılığından sıyrılır ve birkaç iterasyonla uygun değere ulaşılır.

Tamponun eğilme rijitliği de, yerdeğiştirme değerleriyle oluşturulan benzer bir yaklaşımla hesaplanır. Tampona yalnız M momenti etki etmektedir ve üst/alt tutucu plakaların dönmesi şeklinde deformasyon oluşmaktadır. Alt ve üst plakalar arası



Şekil 3.2 Salt eğilme etkisinde, tutucu tabakalar arasında kauçuk tampon

rölatif açı α (Şekil 3.2), eğrilik yarıçapı ρ ile gösterilirse,

$$1/\rho = \alpha/t \quad (3.14)$$

yazılır. Kiriş teorisine benzerlik kurularak,

$$M = EI / \rho \quad (3.15)$$

$$M = (EI)_{\text{eff}} \alpha / t \quad (3.16)$$

hesaplanır. Yarıçapı R olan dairesel bir tampon için sonuç,

$$M = (3\alpha G / 2t^3) (\pi R^6 / 12) \quad (3.17)$$

olur. Dairesel kesitli bir kiriş için $I = \pi R^4 / 4$ olduğu bilinmektedir. Fakat burada, EI terimindeki $E=E_c=6GS^2$ olarak alınır ve $I = \pi R^4 / 12$ bulunur. Bu değer kirişin atalet momentinin 1/3 'üdür. Fark, mesnette basınç dağılışının mesnet boyunca kübik parabol şeklinde oluşmasına karşın, kirişteki eğilme gerilme dağılışının doğrusal değişmesidir. Kare tampon durumunda, efektif EI , kiriş EI' sının 1/3' üne çok yakındır.

$$(EI)_{\text{eff}} = E_c(0,329I) \quad (3.18)$$

Merkezi delikli dairesel tampon için,

$$(EI)_{\text{eff}} = 2GS^2I \frac{(b + a)^2}{(b^2 - a^2)} \quad (3.19)$$

yazılabilir. Eğilme etkisiyle oluşan kayma şekil değiştirmeleri,

$$\gamma_b = 6S\epsilon_b \quad (3.20)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada, $\epsilon_b = R (\alpha / t)$ eğilme sonucu oluşan kenar basınç şekil değiştirmesidir. Ortalama kayma şekil değiştirmesi,

$$\begin{aligned} \gamma_b^{\text{ave}} &= \sqrt{2}S^2\alpha \\ &= \sqrt{2}S(R / 4) (\alpha / t) \\ &= \sqrt{2}/4 (S\epsilon_b) \end{aligned} \quad (3.21)$$

Tamponun şekil faktörü büyüdükçe, kauçuğun sıkıştırılabilme özelliği önem kazanır.

$$1/E_c = 1/E_c' + 1/K \quad (3.22)$$

Burada, $1/E_c'$: sıkıştırılamayan durumda basınç modülü, K : malzemenin hacim modülüdür. K , geniş aralıkta değerler alır (1000MPa – 2500MPa). Mesnetlerin laboratuvar test sonuçlarına uygun düşen değer 2000MPa' dır. Formül,

$$E_c = (E_c' K) / (E_c' + K) \quad (3.23)$$

olarak yeniden düzenlenirse, dairesel tampon durumunda, $E_c' = 6GS^2$ olmak üzere

$$\begin{aligned} E_c &= (6GS^2 K) / (6GS^2 + K) \\ &= 6GS^2 [1 / (1 + 6GS^2/K)] \end{aligned} \quad (3.24)$$

bulunur.

3.3 Kurşun – Kauçuk Mesnetlerin Mekanik Özellikleri

Kurşun – kauçuk mesnetler bilineer elemanlar olarak modellenirler ve karakteristikleri üç parametreye bağlıdır: K_1 , K_2 ve Q . Elastik rijitlik K_1 in belirlenmesi zordur ve akma sonrası rijitlik olarak tarif edilen, kauçuğun kayma modülü ve mesnet boyutlarından kesin bir şekilde hesaplanan K_2 ’ nin ampirik olarak belirli bir katsayı ile çarpılması sonucu elde edilir. Karakteristik mukavemet Q , kuvvet – yerdeğiştirme grafiğinde bir büyüklüktür ve kurşunun akma gerilmesi (10,3 MPa) ile kurşun çekirdeğin alanına bağlı olarak belirlenir.

Kurşun – kauçuk mesnetin efektif rijitliği, kuvvet – yerdeğiştirme grafiğinin en alt noktası ile en üst noktasını birleştiren doğru parçasının eğimidir ve yer değiştirme arttıkça değeri küçülür. Temel parametreler cinsinden,

$$K_{eff} = K_2 + Q/D \quad D \geq D_y \quad (3.25)$$

Burada D_y : akma yerdeğiştirmesidir. Doğal frekans ω ,

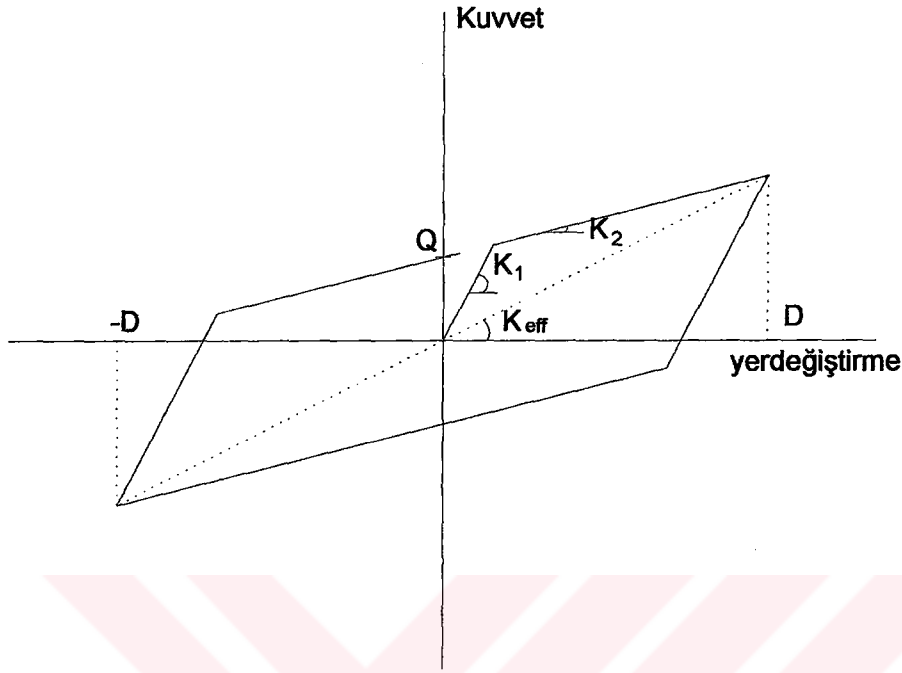
$$\begin{aligned} \omega &= \sqrt{K_{eff} g / W} \\ &= \sqrt{\omega_0^2 + \mu g / D} \end{aligned} \quad (3.26)$$

$\mu = Q/W$, $\omega_0^2 = \sqrt{K_2 g / W}$ ve efektif periyod

$$\begin{aligned} T &= 2\pi / \omega \\ &= 2\pi / \sqrt{\omega_0^2 + \mu g / D} \end{aligned} \quad (3.27)$$

Efektif sönüm β_{eff} , $D \geq D_y$ için

$$\beta_{eff} = \frac{\text{kuvvet – yerdeğiştirme grafiğinin alanı}}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (3.28)$$



Şekil 3.3 Kuvvet - yerdeğiştirme grafiğinin parametreleri

Şekil 3.3' te verilen kuvvet – yerdeğiştirme grafiğinin alanı $4Q(D-D_y)$ ile hesaplanır.

Buradan

$$\begin{aligned} D_y &= F_y/K_1 & F_y &= Q + K_2 D_y \\ D_y &= Q / (K_1 - K_2) \end{aligned} \quad (3.29)$$

ve β_{eff} ' in ve K_{eff} 'in tanımlarını kullanarak,

$$\beta_{eff} = 4Q(D-D_y) / 2\pi(K_2 D + Q)D \quad (3.30)$$

sönüm oranı hesaplanır.

3.4 Sürtünmeli Sarkaç Sisteminin Mekanik Özellikleri

Bir sürtünmeli sarkaç izolatörünün taşıdığı yük W , yatay yer değiştirme D , sürtünme katsayısı μ ile gösterilirse, sistemde oluşan kuvvet,

$$F = (W/R)D + \mu W(\text{sgn} D^*) \quad (3.31)$$

Burada W : toplam düşey yük, μ : sürtünme katsayısıdır, R : küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı, D : yatay yerdeğiştirme, $(\text{sgn} D^*)$: işaret fonksiyonudur ve kayma hızına bağlılığı ifade eder.

Eşitlikteki ilk terim, kayma sonucu yükselen kütlelerin oluşturduğu geri dönüş kuvvetidir (başka bir deyişle sarkaç kuvveti) ve yatay rijitliği belirler :

$$K_H = W/R \quad (3.32)$$

Buradan, izole edilmiş yapının periyodu,

$$T = 2\pi\sqrt{R/g} \quad (3.33)$$

bulunur ve bu periyod basit sarkaç periyodudur ve taşınan kütleden bağımsızdır. İkinci terim, mafsallı kayıcı ile içbükey yüzeyin arasında oluşan sürtünme kuvvetidir. Sürtünme katsayısı μ , mesnetteki p basıncına ve D^* kayma hızına bağlıdır. Sürtünme katsayısı artan basınçla düşer, artan hızla artar ve 51 mm/s'nin üzerindeki hızlarda ve 14 MPa'dan yüksek basınçta, hız vektöründen bağımsız hale gelir. Bu sistemde, geri dönüş kuvvetinin doğrusal özelliği, kayma öncesi yüksek rijitlik ve kayma hareketindeki sürtünmeden oluşan enerji yutumu gibi özellikler kuvvet – yerdeğiştirme grafiğinin karakteristikleridir. Eşdeğer rijitlik,

$$K_{\text{eff}} = W/R + \mu W/D \quad (3.34)$$

olarak belirlenir. Kayıcı yüzeylerdeki sürtünmenin oluşturduğu sönüm :

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{\text{kuvvet – yerdeğiştirme grafiğinin alanı}}{2\pi K_{\text{eff}} D^2} \quad (3.35)$$

Kuvvet – yerdeğiştirme grafiğinin alanı $4\mu WD$ dir ve

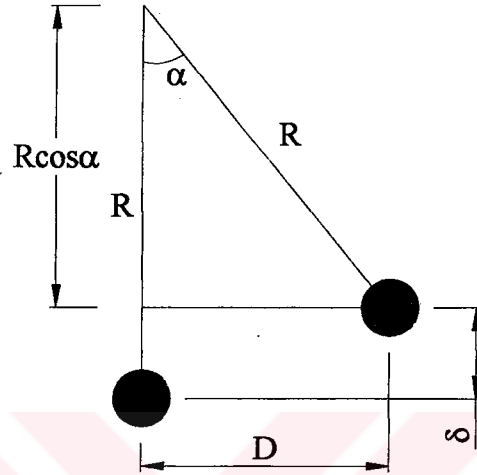
$$\beta = \frac{4\mu Wd}{2\pi[(W/R)D + \mu W]d} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{D/R + \mu} \quad (3.36)$$

olarak temel parametreler cinsinden bulunur. Bu değer, ufak D yerdeğiştirmeleri için $2/\pi$ den D arttıkça $2\mu / (\pi R/D)$ ye değişir. Örnek olarak, $D = 254$ mm $R = 1$ m $\mu = 0,06$ için $\beta = \%12$ olarak hesap edilir.

Sarkaç geometrisini anlamak için T' yi R ile ilişkilendiren eşitliğin tersini düşünmek daha elverişli olur :

$$R = gT^2 / (2\pi)^2 \quad (3.37)$$

Örnek olarak, 2sn. periyod 1metre yarıçaplı eğrilik yüzeyi gerektirir.



Şekil 3.4 Sürtülmeli sarkaç izolatörünün düşey yerdeğiştirmesi

Düşey yerdeğiştirme (Şekil 3.4)

$$\delta_v = R[1 - \cos(\arcsin D/R)] \quad (3.38)$$

bağıntısıyla verilir. Yatay yerdeğiştirmesi $D = 254$ mm olan bir sistem için düşey yerdeğiştirme 32 mm olacaktır. Böylece, 254 mm yatay yer değıştirme yapan 2 sn. periyodlu sistem, 1 sn. periyodunda 32 mm düşey yerdeğiştirme oluşturur. Düşey yerdeğiştirmenin yaklaşık formu

$$\delta_v = \frac{1}{2} D^2/R \quad (3.39)$$

şeklindedir ve bu da düşey yerdeğiştirmenin, yatay yerdeğiştirmeye ikinci dereceden bağılı olduğuna işaret eder.

Bazı literatürde yüksek periyoda sahip sistemlerde geri dönüş kuvvetinin sürtünme kuvvetinden küçük kalması ve sistemin merkez konumuna geri dönememesi olarak savunulan düşünce, dış etkinin dinamik bir etki olduğu dikkate alındığında iddiasını kaybeder.

Sürtülmeli sarkaç mesnetin yanal tutucusu (yerdeğiştirme sınırlandırıcısı), içbükey yüzeyi ve kayıcı bileşenlerini ortam etkilerinden koruyan çelik bir silindirdir ve

kayıcının hareketini yüksek seviyede deprem etkileri için sınırlar. Yerdeğiştirme kapasitesinin üzerinde yerdeğiştirme ihtiyacı doğuran deprem hareketlerinde, mesnet yanal tutucuya çarpar ve izolatörün histeretik tepkisi değişir. Tipik izolasyon sistemleri; yerdeğiştirme kapasiteleri, olması muhtemel en büyük deprem hareketinin doğuracağı yer değiştirmeleri aşan bir değer alacak şekilde tasarlanırlar.

NCEER' da (National Center for Earthquake Engineering Research – State University of New York at Buffalo) gerçekleştirilmiş olan ve rapor olarak sunulan yedi katlı çerçeve sistemlerinde yapılan testlerde; sürtünmeli sarkaç mesnetler kullanılarak oluşturulan sistemler için ölçülen taban kesme kuvveti değerleri, tasarım deprem kuvvetlerini aşan etkilerde yüksek derecede artış göstermiştir. İzolatör yerdeğiştirmeleri ise mesnetlerin tutucularına erişmiştir.

Tüm mesnetlerde eşit yatay yerdeğiştirme oluşacağını varsayarak, yerdeğiştirmenin limit durumunda kesme kuvveti,

$$BS = \mu W + (W/R) u_{bi} \quad (3.40)$$

olarak verilir. u_{bi} : tek bir mesnetin yaptığı yerdeğiştirmedir.

Yapı ağırlığı $W = 21,5$ ton, içbükey yüzeyin yarıçapı $R = 24,76$ cm., akma öncesi yatay rijitliği $K_c = 1694$ t/m., $u_{bi} = 5,0$ cm. ve sürtünme katsayısı $\mu = 0,06$ değerleri için yukarıda verilen eşitlikte, deprem kuvveti katsayısı (taban kesme kuvveti / yapı ağırlığı) 0,265 bulunur.

Testlerde El Centro S00E %220 depreminin uygulanması sonucunda, moment aktaran çerçeveli izole edilmiş yapıda deprem kuvveti katsayısı için, limit değer olan 0,266 değeri elde edilmiştir.

Bazı mesnetler bu ortalama yerdeğiştirme değerini aşan yerdeğiştirme yapmışlardır ve bu da mesnetlerin yanal tutucuya çarpması anlamındadır.

Çarpraz elemanlı çerçeveli izole edilmiş yapıda uygulanan El Centro S00E %220 deprem yüklemesinde 0,450 gibi bir deprem kuvveti katsayısına ulaşılmıştır ki bu da yukarıda hesaplanan 0,265 limit değerinin %70 üzerindedir. İzolatörlerin kuvvet – yerdeğiştirme grafikleri oluşturularak iki uçta yeni elde edilen rijitlikler gözlenir. Bu rijitlik, yanal tutucuya çarpma sonucu oluşmuştur ve tutucu ile izolasyon katındaki kolonların toplam rijitliğidir. Bu değer izolasyon sistemi rijitliğini aşar ve izolasyon katı kolonlarının kayma öncesi rijitliklerinin %43 ' ü mertebesindedir.

Çarpma sonucunda limit değeri aşan kesme kuvveti nedeni ile, enerji yutumu gereğince tutucuda ufak kalıcı plastik şekil değiştirmeler gözlenir.

İzole edilmiş çapraz elemanlı çerçeveli sistem ile izole edilmemiş çapraz elemanlı sistem için yapıda benzer deprem kuvvetlerini oluşturacak şekilde performans karşılaştırması yapıldığında şu sonuç elde edilmiştir :

Benzer kat kesme kuvvetlerine, izole edilmemiş sistem için ElCentro depreminin S00E bileşeninin % 60 yüklemesi sonucunda, izole edilmiş sistem için ise ElCentro depreminin S00E bileşeninin % 220 yüklemesi sonucunda ulaşılmıştır. Başka bir deyişle, yanal tutucuya çarpma sonucu taban kesme kuvvetinde % 70 artış oluşturan deprem yüklemesi, aynı kat kesme kuvvetlerini oluşturan izole edilmemiş sistem için yapılan yüklemenin 3.7 katıdır. Bu sonuç, yanal tutucuya çarpma gerçekleşse dahi taban izolasyonlu yapının daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.



4. SİSMİK İZOLASYONDA YÖNETMELİK ŞARTLARI

4.1 Giriş

Türkiye’ de bugün mevcut mühendislik projelerinde, deprem bölgelerinde yapılacak yapılar için uygulanan bir yönetmelik vardır; fakat bu yönetmelik taban izolasyonlu yapılar için şartlar içermez. Bu nedenle bu çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri’ nde yürürlükte olan ve taban izolasyonlu yapılar için de şartlar içeren yönetmelikler dikkate alınmıştır. Amerika Birleşik Devletleri’ nde, taban izolasyonlu yapıların tasarımında kullanılan yönetmelikler şunlardır :

- “International Conference of Building Officials” tarafından yayımlanmış olan “Uniform Building Code – 1997 Edition” (UBC – 97)
- “Title 24, Part 2 of the California Code of Regulations, Division III” (OSHPD – 96)

Her iki yönetmelik de yeni yapılacak olan binalara ilişkin düzenlemelerden oluşur, mevcut binalarla ilişkili olan şartlar yoktur. Buna karşın, retrofit(olması muhtemel bir depreme karşı mevcut yapıların güçlendirilmesi) projelerinde genelde UBC şartları uygulanmıştır. Ayrıca, UBC düşey doğrultuda izolasyona adres göstermemekle birlikte, ekipmanlar ve örneğin müze eserleri gibi yapısal olmayan elemanların sismik olarak izole edilmesine ait şartlar da içermez.

Yönetmelikler, herhangi bir izolasyon sistemini öne çıkarmazlar; fakat uygulanacak olan izolasyon sisteminin deprem etkileri nedeni ile yapacağı yerdeğiştirmelerde stabil kalmasını, artan yerdeğiştirmeler için artan dayanım sağlamasını ve tekrarlı yüklemeler sonucunda performans kaybetmemesini zorunlu tutarlar.

Bu yönetmeliklerin altında yatan felsefe, bu şartlar kullanılarak izolasyon tasarımı yapılmış bir binanın, orta ve yüksek büyüklükteki deprem etkilerinde, konvansiyonel taşıyıcı sistemlere kıyasla daha iyi bir performans sergilemesi doğrultusundadır.

Sismik izolasyon yönetmeliklerinin amacı yapı maliyetini düşürmek değil, yapının ve içindekilerin karşılaşacağı hasarı kontrol altında tutmaktır. Bu da, izolasyonun yapıda elastik tepki oluşturması ve büyük deprem hareketlerinde düşük kat ivmeleri elde olunması ile gerçekleşir.

Ayrıca, mevcut yapıların sismik tasarımında, “Federal Emergency Management Agency” tarafından yayımlanmış olan “National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA – 273) and its commentary (FEMA – 274)” yönetmelik şartları uygulanabilir. FEMA – 273 şartları, statik doğrusal olmayan analiz veya “pushover” metodu olarak bilinen analiz tekniğine yer vermesi dışında UBC – 97 şartlarına çok yakınlık gösterir.

Bu yönetmelikler, 1980’ lerde “Structural Engineers Association of Northern California (SEAONC)” kuruluşunun bir alt komitesi tarafından geliştirilmiş olan tasarım öngörülerinden türetilmiştir. 1986’ da SEAONC, sarı kitap olarak bilinen “Tentative Seismic Isolation Design Requirements” dokümanını yayımlamıştır. Bu sarı kitapta, eşdeğer yatay yük prosedürleri ve ankastre mesnetli yapıların tasarımı için gerekli deprem etkisi seviyesi – 50 yıllık periyod dahilinde aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi (tasarım depremi) – konuları üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada UBC – 97 şartları esas alınacaktır.

4.2 1997 – UBC Yönetmeliğinde Yer Alan Taban İzolasyonlu Yapılar ile İlgili Şartlar

4.2.1 Sismik Risk Düzeyi

İki farklı sismik risk düzeyi tanımlanmıştır :

- Tasarım Esaslı Deprem “Design Basis Earthquake (DBE)” :
50 yıllık zaman dahilinde aşılma olasılığı %10 olan (tekrar periyodu 475 yıl olan) deprem
- Olabilecek En Büyük Deprem “Maximum Capable Earthquake (MCE)” :
100 yıllık zaman dahilinde aşılma olasılığı %10 olan (tekrar periyodu 1000 yıl olan) deprem

Bu bölümde sırasıyla tasarım ve olabilecek en büyük depremi ifade etmek için, DBE ve MCE kısaltmaları kullanılacaktır.

4.2.2 Tasarım Metodları

Tüm sismik izolasyon tasarımlarında, statik analiz zorunludur. Bu şart, tasarım yerdeğiştirmeleri ve kuvvetleri için minimum sınırdır. Dinamik analiz şartı koşulduğunda, izolasyon sisteminin ve yapının ön boyutlandırılması ve tasarım öngörüsü için statik analiz uygulanır.

Çoğ u durumda dinamik analiz, tepki spektrumu ya da deprem kayıtları analizi formunda gereklidir. Yerel zemin koşullarına bağı spektra oluşturulması,

- İzole edilecek olan yapı yumuşak zemin üzerine oturuyorsa (S3 veya S4),
- İzole edilecek olan yapı bilinen bir aktif fay hattına 10 km. mesafe dahilinde bulunuyorsa,
- İzole edilecek olan yapının MCE periyodu 3 saniyeden büyükse, zorunludur.

Tepki spektrumu analizi,

- Yerel zemin koşullarına bağı spektra zorunlu ise,
- Üst yapı yatayda veya düşeyde düzensiz ise,
- Yapı dört kattan ya da 19,8 m. den fazla yükseliyorsa,
- Yapının izolasyon periyodu (DBE) ankastre mesnetli periyottan üç kat büyük ise zorunludur.

Deprem kayıtları analizi metodu, tepki spektrumu analizi ile aynı şartlarda kullanılır; fakat izolasyon sistemi ve üst yapı yüksek derecede doğrusal olmayan özellikte iseler bu metod zorunludur.

4.2.3 Statik Analiz

Statik analiz formülleri yerdeğiştirme ve kuvvetleri kapsar ve 1 sn. – 3 sn. periyod aralığında sabit hızlı spektradan oluşur. UBC – 94 ve OSHPD – 96’ da hız spektrumu değerleri “Applied Technology Council – ATC_3_06” şartından türetilmiştir. $Z = 0,40$, zemin faktörü $S = 1$ ve %5 sönüm için sabit hız 0,60 m/sn. dir ve

$$S_D = S_v / \omega = (T/2\pi)(Z/4)(0,60)$$

olarak yerdeğiştirme spektrumu S_D ' yi verir.

Spektrum, zemin faktörü ve sönüm faktörü etkileri ile ve diğeri sismik bölgeler için düzenlenir; sonuç olarak tasarım yerdeğiştirmesi D ' ye ulaşılır.

Hesaplanacak olan yerdeğiştirmenin üç düzeyi vardır:

- D , tasarım yerdeğiştirmesi, izolasyon sisteminin DBE düzeyinde deprem etkisinde rijitlik merkezindeki yerdeğiştirme
- D_T , toplam tasarım yerdeğiştirmesi, D yerdeğiştirmesi yönünde burulma yerdeğiştirmesi bileşenlerini de içeren, binanın köşesindeki bir mesnetin yerdeğiştirmesi
- D_{TM} , toplam maksimum yerdeğiştirme, MCE düzeyinde deprem etkisinde hesaplanan toplam tasarım yerdeğiştirmesi

Tasarım yerdeğiştirmesi D , UBC – 94 ve OSHPD – 96' da tüm tasarım sürecinin başlangıç noktasıdır ve dinamik analiz şart koşulsun ya da koşulmasın hesaplanmalıdır.

$$D = 0,25 Z N S_I T_I / B \quad (4.1)$$

Z : sismik bölge katsayısı
 S_I : zemin katsayısı
 T_I : efektif periyod (saniye)
 B : sönüm katsayısı

Konsept aynı kalmakla birlikte, UBC – 97 formülasyonu daha karmaşıktır. Yeni terimler eklenmiştir. Hesaplanması öngörülen altı farklı yerdeğiştirme vardır. Zemin profili tipleri altıya yükselmiştir. Hesaplanacak dört adet sismik katsayı vardır; fakat bölge 4' te sismik kaynak tipi ve sismik kaynak uzaklığına bağı olan N_a ve N_v , ZN_v ' ye bağı olarak değışen M_M , M_m , N_a ve N_v ' ye bağı olarak değışen C_{AM} ve C_{VM} faktörleri de hesaplanmalıdır.

Tüm izolasyon projeleri dinamik analizler kullanılarak tasarlanıyor olsalar dahi, tasarım büyüklüklerinin statik analizler sonucu belirlenen bazı minimum sınırların altına düşmemesi gerekir.

UBC – 97' ye göre, hesaplanması gerekli iki temel yerdeğiştirme D_D ve D_M ' dir. (izolasyon sisteminin rijitlik merkezindeki DBE ve MCE yerdeğiştirmeleridir.)

$$D_D = (g/4\pi^2) C_{VD} T_D / B_D \quad (4.2)$$

$$D_M = (g/4\pi^2) C_{VM} T_M / B_M \quad (4.3)$$

Burada, g yerçekimi ivmesi, C_{VD} ve C_{VM} sismik katsayılar, T_D ve T_M izolasyon periyodları, B_D ve B_M sönüm katsayılarıdır. C_{VD} ve C_{VM} , sismik bölge faktörü Z , zemin profil tipi ve kaynak yakınlığı faktörlerinden N_V ' ye bağlı olan sismik katsayılarıdır.

4.2.3.1 Sismik Bölge Faktörü Z

Sismik bölge faktörleri, bölge 1 için 0,075' ten bölge 4 için 0,40' a kadar değişir.

4.2.3.2 Zemin Profili Tipi

Zeminin üst 30,5 m. sindeki ortalama kayma dalgası hızına göre belirlenir ve S_A ' dan S_E ' ye değişir. Hız, yumuşak zeminler(S_E) için 180 m/s' den küçük ve sert kaya zeminler(S_A) için 1500 m/s' den büyüktür. Bir başka zemin profili tipi S_F , yerel zemin sınıfına bağlı değerlendirme gerektirir ve kayma hızına bağlı olarak sınıflandırılmaz ve sıvılaşma tehlikesi bulunduran zayıf zemin koşullarını temsil eder.

4.2.3.3 Sismik Kaynak Tipleri : A, B ve C

Sismik fay hatları, temsil ettikleri riskin ciddiyetine göre üç kategoride gruplanabilirler.

Büyük manyetüdlü ($M \geq 7,0$) depremler oluşturabilecek ve sismik aktivitenin yüksek oranda (yıllık ortalama sismik yırtılmanın (SR) 5 mm. ya da daha fazla) olduğu fay hatları tip A kaynakları; orta manyetüdlü depremler ($M < 6,5$) oluşturabilecek ve düşük oranda sismik aktiviteye sahip ($SR \leq 2$ mm.) fay hatları tip C kaynakları olarak sınıflandırılırlar. A ve C tipleri dışındaki bütün fay hatları tip B olarak sınıflandırılırlar.

4.2.3.4 Kaynak Yakınlığı Faktörü : N_a ve N_v

Kaynak yakınlığı etkisini modellemek için iki faktör kullanılır. İlki, N_a , kısa periyod aralığında, sabit ivmeli tepki spektrası için uygulanır. İkincisi, N_v , sismik izolasyon uygulamalarında öncelikli olarak kullanılan, orta periyod aralığında veya tepki spektrasının sabit hızlı bölümü için uygulanır. Kaynak yakınlığı faktörleri, sismik kaynağa en yakın mesafe ve sismik kaynak tipinin bir fonksiyonudur. UBC – 97

kaynak mesafesini, yapının yapılacağı zemin ile kırığın yüzeydeki düşey izdüşümü arasındaki en yakın mesafe olarak tanımlar. 10 km. den daha derindeki kırıklar için kaynak yakınlığı etkisi ihmal edilir.

4.2.3.5 MCE Tepki Katsayısı M_M

MCE Tepki Katsayısı M_M , DBE karakteristiklerinde MCE tepkisini dikkate almak için kullanılır. M_M , ZN_V çarpımının bir fonksiyonu olarak $ZN_V = 0,075$ için 2,67' den $ZN_V \geq 0,50$ için 1,20' ye kadar değerler alır. Daha ufak DBE etkileri için büyük M_M değerleri atamanın altındaki mantık, düşük depremsellik bölgelerinde, yüksek depremsellik bölgelerine göre DBE ve MCE etkileri arasındaki farkın daha büyük olmasındadır.

4.2.3.6 Spektral Sismik Katsayılar : C_{VD} , C_{VM} ve C_{AD} , C_{AM}

Bu katsayılar, tasarımda kullanılacak olan minimum spektral ordinatları tanımlamak için kullanılır. C_{VD} ve C_{AD} terimleri sırasıyla DBE spektrumunun sabit hız ve sabit ivme bölgelerine karşılık gelmektedir. Benzer olarak C_{VM} ve C_{AM} de MCE spektrumu terimleridir.

Sismik izolasyonlu yapılar için tanımlanan C_{VD} ve C_{AD} , konvansiyonel yapılar için tanımlanan C_V ve C_A katsayılarıyla aynıdır.

C_{VD} ve C_{AD} , sismik bölge faktörü ve zemin profili tipinin fonksiyonlarıdır. Bölge 4 için, grafiklerde gösterilen değerler, kaynak yakınlığı faktörleri N_a veya N_V ile çarpılmalıdır. Benzer bilgiler C_{VM} ve C_{AM} için de geçerlidir. Burada, MCE tepki katsayısı işin içine girer. $M_M ZN_V$ veya $M_M ZN_a$ değerlerinin 0,40' tan büyük olduğu durumlarda, grafiklerde gösterilen değerler bu büyüklerle çarpılmalıdır.

4.2.3.7 Sönüm Katsayıları : B_D ve B_M

Sistemdeki efektif sönüm, β , DBE ve MCE tepki düzeylerinde (β_D ve β_M) aşağıda görüldüğü gibi hesaplanır.

$$\beta_D = 1/2\pi (\text{kuvvet-yerdeğiştirme grafiğinin alanı} / K_{D,\max} D_D^2) \quad (4.4)$$

$$\beta_M = 1/2\pi (\text{kuvvet-yerdeğiştirme grafiğinin alanı} / K_{M,\max} D_M^2) \quad (4.5)$$

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

fonksiyonu olarak grafik edilmiştir. Grafik değerlerine çok yakın değerler veren formülasyon,

$1/B = 0,25 (1 - \ln \beta)$ şeklinde yazılabilir. Çeşitli sönüm oranlarına karşı gelen sönüm katsayıları Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1 Sönüm katsayıları

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

Burada, β , kritik sönüm oranı olarak hesapta yerini alır.

4.2.3.8 Efektif Sistem Titreşim Periyodları : T_D ve T_M

T_D ve T_M periyodları DBE ve MCE tepkilerinin karşılığı olarak,

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{D, \min} g}} \quad (4.6)$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M, \min} g}} \quad (4.7)$$

şeklinde hesap edilirler.

Burada, W = yapı ağırlığı

g = yerçekimi ivmesi

$$K_{D, \text{eff}} = (F_D^+ - F_D^-) / (D_D^+ - D_D^-)$$

$$K_{M, \text{eff}} = (F_M^+ - F_M^-) / (D_M^+ - D_M^-)$$

$K_{D, \min}$ = Test sonucu saptanan D_D yerdeğiştirmesindeki $K_{D, \text{eff}}$ değerinin minimumu

$K_{D, \max}$ = Test sonucu saptanan D_D yerdeğiştirmesindeki $K_{D, \text{eff}}$ değerinin maksimumu

$K_{M,min}$ = Test sonucu saptanan D_M yerdeğiştirmesindeki $K_{M,eff}$ değerinin minimumu

$K_{M,max}$ = Test sonucu saptanan D_M yerdeğiştirmesindeki $K_{M,eff}$ değerinin maksimumu

$K_{D,min}$, $K_{D,max}$, $K_{M,min}$ ve $K_{M,max}$ değerleri ön boyutlandırma aşamasında bilinmez. K_{eff} için daha önceki testlerden veya malzeme karakteristiklerini kullanarak belirlenen herhangi bir değer atanarak tasarım prosedürüne başlanır. Ön boyutlama tamamlandıktan sonra, prototip izolatörler ısımarlanır ve test edilir. Prototiplere uygulanan bu testlerin sonucu olarak $K_{D,min}$, $K_{D,max}$, $K_{M,min}$ ve $K_{M,max}$ bulunur. F_D^+ , F_D^- , F_M^+ , F_M^- ve D_D^+ , D_D^- , D_M^+ , D_M^- terimleri, sistemin mekanik karakteristiklerini belirleyen, prototip mesnetlerdeki DBE ve MCE tepki düzeylerine karşılık gelen maksimum kuvvet ve yerdeğiştirmelerdir. Testler sonucu belirlenen değerler, ön boyutlandırmada kullanılanlarla karşılaştırılır. Dinamik analiz için, bu statik analiz değerleri, çeşitli tasarım büyüklüklerinin sınır(minimum) değerlerini oluştururlar. Mekanik karakteristikler olan efektif rijitlik ve efektif sönüm yerdeğiştirmeye bağlı olduğundan, efektif sistem periyodunu ve efektif sönümü hesaplamak iterasyonla mümkündür.

4.2.3.9 Toplam Tasarım Yerdeğiştirmeleri : D_{TD} ve D_{TM}

Toplam tasarım yerdeğiştirmeleri D_{TD} ve D_{TM} (burulma etkilerini de içeren)

$$D_{TD} = D_D (1 + y (12e/b^2+d^2)) \quad (4.8)$$

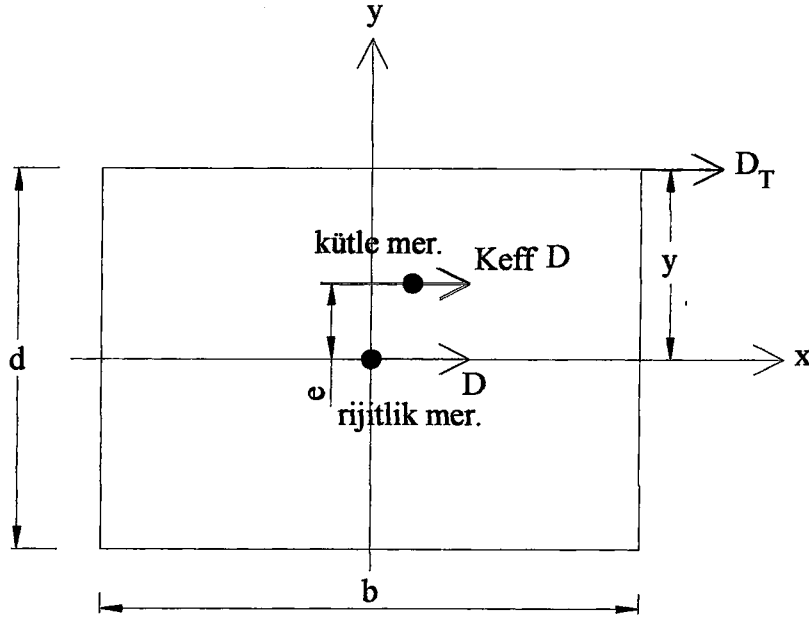
$$D_{TM} = D_M (1 + y (12e/b^2+d^2)) \quad (4.9)$$

olarak hesap edilir. Burada, e, gerçek dışmerkezlik ve ek dışmerkezliğin toplamı, y, deprem doğrultusuna dik, kenara olan uzaklıktır. Bu formüller, deprem yükü $K_{eff}D'$ nin rijitlik merkezinden e mesafedeki kütle merkezinde etkidiği üzerine oluşturulmuştur. Boyutları b x d olan ve izolatörlerin düzgün yayılı olduğu bir dikdörtgen planda (şekil 4.1) izolasyon sisteminin burulma rijitliği $K_{eff}(b^2+d^2) / 12$, ve dönme θ ,

$$\theta = K_{eff}De / K_{eff} [(b^2+d^2)/12] = 12De / b^2+d^2$$

olarak hesaplanır. Dönme etkisiyle oluşan ek yerdeğiştirme,

$$[12De / (b^2+d^2)]y$$



Şekil 4.1 Dışmerkezliği dikkate alan toplam yerdeğiştirme hesabı için plan boyutları

$$\theta = K_{eff} D e / K_{eff} [(b^2 + d^2)/12] = 12 D e / (b^2 + d^2)$$

olarak hesaplanır. Dönme etkisiyle oluşan ek yerdeğiştirme,

$$[12 D e / (b^2 + d^2)] y$$

yukarıdaki toplam yerdeğiştirme eşitliklerinde yer alan terimdir. Eğer sistemin gerçek burulma rijitliği hesaplanırsa ek yerdeğiştirme yukarıda formüllerle verilen değerlerden küçük kalırsa, bu hesaplanan değer kullanılabilir; fakat bu değer $1,1 D_D$ ve $1,1 D_M$ ' den küçük olamaz. Toplam maksimum yerdeğiştirme D_{TM} , izolasyon sisteminin stabilitesini belirlemek için gereklidir.

4.2.3.10 Tasarım Kuvvetleri

Üst yapı ve izolasyon sisteminin altında kalan elemanların tasarımı için kullanılacak olan kuvvetler tasarım yerdeğiştirmesi D' ye bağlı olarak hesaplanır. İzolasyon sisteminin altında kalan elemanlar için,

$$V_b = K_{D,max} D_D \quad (4.10)$$

denklemini, izolasyon sisteminin üstünde kalan elemanlar için,

$$V_s = K_{D,max} D_D / R_I \quad (4.11)$$

denklemini kullanılır.

Yukarıdaki ikinci eşitlikteki R_1 , taban izolasyonlu yapılar için 1,4' ten 2,0' ye değişen tasarım kuvveti azaltma faktörü (süneklik faktörü) dır. Aşağıda tablo 4.2' de çeşitli taşıyıcı sistemler için, ankastre mesnetli ve izole edilmiş sistemlere ait R değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Azaltma faktörleri

Taşıyıcı Sistem	R_1	R
Moment aktaran çerçeve	2	8,5
Perde duvar	2	5,5
Merkezi çaprazlı çerçeve	1,6	5,6
Dışmerkez çaprazlı çerçeve	2	7

Ankastre mesnetli tasarım için belirlenen azaltma faktörlerinin, izole edilmiş yapı tasarımında kullanılacak olanlara kıyasla daha büyük değerler almasının nedenleri şunlardır:

En önemli neden periyodun artmasıdır. Yapı aktıkça (elastik sınır ötesi şekil değiştirmeler yaptıkça), periyod büyür ve yapıya gelecek deprem kuvveti azalır. Aynı zamanda, yapıdaki sönüm, elastik olmayan şekil değiştirmelerin etkisiyle histeretik davranış sebebiyle artar. Bunlara ek olarak, yeniden dağılım ilkesi gereğince kapasite üstü etkiler taşıyıcı sistemin tüm elemanları tarafından karşılanır. İzole edilmiş sistemde sadece yeniden dağılım söz konusudur.

Örnek olarak, üstyapı taşıyıcı sistemi moment aktaran çerçeve olan bir yapıda, yönetmeliğin izin verdiği azaltma faktörü 2,0 alınacaktır. Bunun anlamı;

- Yapı sistemi, nominal akma seviyesinin iki katı bir kuvvet etkisinde akacaktır.
- Sistem, yönetmelik formülleriyle belirlenen kuvvet etkisinde gerçek akma sınırının eşiğindedir.

Periyodun artması, izolasyon sisteminin etkinliğini öne çıkarır, çünkü ankastre mesnetli periyod ile izolasyon periyodu arasındaki ayrım azalır ve yapıya daha büyük kuvvetler etkir, yüksek modların katkısı artar. Buna ek olarak, izole edilmiş yapıda sönüm, ankastre mesnetli yapıdakinden daha fazla olamaz. Tüm bu sebeplerden dolayı aynı taşıyıcı sistem için R_1 faktörleri R faktörlerinden küçük alınır. Şunu da

belirtmekte fayda var; büyük süneklik, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelebilir anlamını taşır; bu nedenle d    k R_I değerleri izole edilmiş yapı sistemleri için hasar kontrolü sa lar.

Hesaplanan V_s değeri,

- UBC  artlarının ankastre mesnetli yapılar için  ng rd   deprem kuvvetinden,
- Tasarım rüzgar yükünden
- Kur   n- ekirdekli kauçuk mesnetler için akma yükü, kayıcı mesnet sistemleri için kayma sınırı olarak tanımlanabilen izolasyon sistemini tam olarak harekete geçirecek yatay kuvvetin 1,5 katından

daha az olamaz.

4.2.3.11 Yatay Deprem Kuvvetinin Yapı Y ksekli ince Dağılımı

Yatay Deprem Kuvvetinin Yapı Y ksekli ince Dağılımı

$$F_x = V_s (h_x w_x) / \sum w_i h_i \quad (4.12)$$

denklemleri ile belirlenir. Burada, F_x , x katındaki yatay kuvvet; V_s , izolasyon sisteminin üstündeki elemanlar için hesaplanmış olan taban kesme kuvveti; w_x ve w_i , i . veya x . katın ağırlığı; h_x ve h_i , izolasyon seviyesinden ölçülen kat y kseklikleridir. Bu formülasyon, elastomer mesnetlerdeki kur   n çekirdekler veya kayıcı mesnetlerdeki sürtünme etkileri gibi doğrusal olmayan davranışın olu turaca ı yüksek mod katkılarını dikkate alan d  seyde    en bir dağılım gösterir.

4.2.3.12 Yerde i tirme Sınır  artları

 styapıda katlar arası en büyük göreli kat  telemesi $0,01/R_I$ değerini a mamalıdır.

4.2.4 Dinamik Analiz

Zemin koşullarına bağlı spektra,

- $T_M \geq 3,0$ sn. ise
- Zemin cinsi S_E , S_F ise
- Yapı, aktif bir fay hattına 10 km. mesafe dahilinde bulunuyorsa zorunludur.

İzole edilmiş yapının efektif periyodu, T_D , izolasyon sisteminin üstündeki yapının ankastre mesnetli periyodunun üç katından büyükse dinamik analiz zorunludur. Eğer zemin koşullarına bağlı bir spektrum kullanılırsa, bu spektrum yönetmelik tepki spektrumunun % 80' inin altına düşemez.

Dinamik analiz sonucunda, eşdeğer statik yöntemle bulunan tasarım kuvvetlerinin ve tasarım yerdeğiştirmelerinin altında değerler elde edilebilir. Yönetmelik, tasarım değerlerini şu şekilde sınırlandırmıştır:

Tablo 4.3 Yönetmelik minimum değerleri

Parametre	Statik Analiz	Tepki Spektrumu Analizi	Zaman Tanım Alanı Analizi
D_{TD}	$D_{TD} > 1,10D_D$	$0,90 D_{TD}$	$0,90 D_{TD}$
D_{TM}	$D_{TM} > 1,10D_M$	$0,80 D_{TM}$	$0,80 D_{TM}$
V_b	$V_b = k_D \max D_D$	$> 0,90 V_b$	$> 0,90 V_b$
V_s (düzenli yapı)	$V_s = k_D \max D_D / R_I$	$> 0,80 V_s$	$> 0,60 V_s$
V_s (düzensiz yapı)	$V_s = k_D \max D_D / R_I$	$> 1,0 V_s$	$> 0,80 V_s$
Görelî Yerdeğiştirme	$0,010 / R_I$	$0,015 / R_I$	$0,020 / R_I$

4.2.5 İzole Edilmiş Yapıların Analizinde ve Tasarımında Deprem Kayıtları Uygulamaları

Sismik tasarım prosedürlerinin dayandığı nokta, yer hareketlerinin tepki spektrumu olarak sunumudur. Bu durumda, tepki spektrumu tasarımın gerektirdiğı tüm yer hareketi bilgisini kapsamalıdır. Tasarım prosedürü, tepki spektrumuyla birlikte deprem kayıtlarının kullanılmasını ya da yapay olarak oluşturulmasını gerektiriyorsa, uygun deprem kayıtlarının seçiminde bazı metodlar kullanılır. Bu amaçla, deprem kayıtlarının tasarım spektrumu uyumlu bir seviyeye getirilmesi işlemine benzeştirme (veya ölçeklendirme) denir. Benzeştirme, zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında gerçekleştirilebilir.

Deprem kayıtlarının benzeştirilmesinde sakıncalı bir noktayı burada vurgulamakta fayda vardır: Titreşim periyodlarının geniş aralığında, tasarım spektrumuna uygun hale getirilecek olan tek deprem kaydı bileşeni veya bileşen ikilisini, frekans tanım alanında benzeştirmek, ham kayıtların enerji karakteristiklerini tamamen bozabilir. Bu işlem, gerçekçi olmayan deprem etkileri oluşturur [16]

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik' te ilgili bölümde kısa olarak bahsi geçen benzeştirme ve analiz ilkelerini, izole edilmiş yapılar için spesifik olarak veren Amerikan Şartnamelerinden takip etmek uygun olacaktır.

4.2.5.1 UBC – 94 (Uniform Building Code – 1994 Edition)

Bu yönetmelik, sismik izolasyon uygulanan tüm yapıların tasarımında, deprem kayıtlarının kullanılabileceğini; statik analiz ve tepki spektrumu analizi kriterlerini sağlamayan yapılarda ise deprem kayıtlarının kullanılmasının zorunlu olduğunu yazar. Deprem kayıtlarıyla analizin, üç yöntem (statik, tepki spektrumu ve deprem kayıtları analizi) arasında en doğru sonuç veren yöntem olduğunu savunur.

UBC – 94' te, izole edilmiş yapıların analizi ve tasarımında, deprem kayıtlarının seçilmesi ve uygulanması ile ilgili olarak aşağıdaki şartlar mevcuttur:

- En az üç tane, iki bileşenli olarak, yatay yer hareketi seçilmeli ve kullanılmalıdır.
- Bu kayıtlar, tasarım yer hareketinin (DBE ve/veya MCE) büyüklüğü ve kaynak karakteristikleriyle uyumlu olan güçlü yer hareketi süresini temsil etmelidir.
- Aktif fay hatlarına olan mesafesi 15 km.'lik alanda kalan zeminler için oluşturulmuş deprem kayıtları, fay hattına yakınlık fenomenyasını yansıtmalıdır.
- Yatay yer hareketi bileşenlerinin her çifti için, benzeştirilmiş yatay bileşenlerin %5 sönümlü spektrumunun kareleri toplamının karekökü oluşturulmalıdır.
- Deprem kayıtları, karelerin toplamının karekökü spektrasının ortalama değerinin, T_1-1 _ T_1+2 zaman aralığında, %5 sönümlü tasarım spektrumunun (DBE veya MCE) 1,3 katının %10' dan fazla aşağısına düşmeyecek şekilde benzeştirilmelidir. Burada, T_1 , izole edilmiş yapının dikkate alınan doğrultudaki periyodudur. Bahsi geçen karelerin toplamının karekökü spektrası için ortalama değer yeni bir tanımlamadır ve UBC – 91 yönetmeliğinin 1993 ekinde yer almıştır. Daha önceki şartnamelerde bu durum, zaman değerlerine karşılık gelen her yer hareketi çiftinin, karelerin toplamının karekökü spektrasına uygun olarak benzeştirilmesi yönünde idi.
- Deprem kayıtlarının her çifti, kütle dışmerkezliğinin en olumsuz durumları dikkate alınarak modele uygulanacaktır.
- İzolasyon sisteminin maksimum yerdeğiştirmesi, her bir zaman değerine karşılık gelen iki ortogonal bileşenin vektörel toplamı şeklinde hesaplanacaktır.

- Her bir deprem kayıtları analizleri için ilgili parametreler hesaplanacaktır. Eğer üç adet deprem kayıtları analizi gerçekleştirilecek ise, tasarım için ilgili parametrelerin maksimum tepkisi kullanılacaktır. Eğer yedi adet veya daha fazla deprem kayıtları analizi kullanılacak ise, ilgili parametrelerin ortalama değerleri kullanılabilir. Bahsi geçen yedi çift deprem kayıtları analizi ve bu durumda ilgili parametrelerin ortalama değerlerinin kullanımı konusu yeni bir şarttır ve UBC – 91 yönetmeliğinin 1993 ekinde yer almıştır. Daha önceki şartnamede, üç çift kayıt analizinden elde olunan maksimum tepki parametrelerinin kullanımı zorunlu idi.

4.2.5.2 UBC – 97 (Uniform Building Code – 1997 Edition)

UBC – 94 şartlarına ek olarak aşağıdaki şartları içerir:

- En az üç adet daha önceden alınan kayıt şartı vardır. Ancak kaydedilmiş uygun veriler yoksa, yapay olarak elde edilenler kullanılabilir.
- Benzeştirme işleminin uygulandığı periyod aralığı, $T_{I-1} \text{ -- } T_{I+2}$ 'den $0,5T_D \text{ -- } 1,25T_M$ 'ye değişmiştir. Burada, T_D ve T_M , sırasıyla, tasarım yerdeğiştirmesinde ve maksimum yerdeğiştirmede efektif izolasyon periyodudur.

4.2.5.3 OSHPD – 91

Bu doküman, deprem kayıtları analizlerinin incelendiği en kapsamlı şartnamelerden biridir; fakat birçok eleştiri almıştır ve fazla etkili olamamıştır. Eleştirilen bölüm, şartnamede şu şekilde yer alır: “Eğer deprem kayıtları analizleri kullanılacaksa, bu kayıtlar farklı kaydedilmiş hareketlerden seçilmelidir ve kaynak büyüklüğü ve mesafesi, temel malzemesi ve tektonik koşullara uygunluk aranmalıdır. Kayıtların %5 sönümlü tepki spektrumu, zemin cinsine bağlı spektrumu kapsayacak ve herhangi bir periyod değeri için, zemin cinsine bağlı spektrumunun %10'dan fazla altına düşmeyecek şekilde frekans tanım alanında benzeştirilmelidir. Aktif fay hattına olan mesafesi 15 km.'lik alanda kalan zeminler için oluşturulmuş kayıtlar, fay hattına yakınlık fenomenyasını yansıtmalıdır. Deprem kayıtlarının süresi, yer hareketinin büyüklüğü ve kaynak karakteristikleri ile uyumlu olmalıdır.”

Yukarıda açıklanan ve tasarım spektrumuna uygun seçilmesi gereken deprem kaydının frekans tanım alanında benzeştirilmesini zorunlu kılan tasarım şartları, tasarım spektrasının tanımıyla, amacıyla ve uygulama konseptiyle çelişir. Bunun

sonucu olarak da gerçekçi olmayan, fiziksel olarak yanlış veya imkansız yer hareketi kayıtları oluşturulmuş olur.

4.2.5.4 OSHPD – 96

UBC – 94’ te yer alan şartlara ek olarak aşağıdaki şartlar mevcuttur:

- Yatay yer hareketi bileşenleri en az üç adet kaydedilmiş olaylardan seçilmelidir. (Yapay kayıt oluşturulamaz)
- Periyod aralığı T_I-1 _ T_I+1 olacaktır.
- Deprem kayıtlarının zaman değerleri, tasarım esaslı deprem(DBE) veya olması muhtemel en büyük deprem(MCE) kaynak karakteristikleri ve büyüklüğüyle uyumlu olmalıdır.
- Faya yakınlık faktörü $N > 1$ olan zeminler için oluşturulan deprem kayıtları faya yakınlık fenomenyasını yansıtmalıdır.
- T_I periyodunda, benzeştirilmiş deprem kayıtları bileşenlerinin karelerinin toplamının karekökü, %5 sönümlü spektraya eşit ya da spektradan büyük olmalıdır.

Bu bölümde ele alınan statik analizde, yönetmeliğin öngördüğü (UBC – 97) minimum şartlar ağırdır; başka bir deyişle kaynak yakınlığı faktörü nedeniyle çok güvenli (konservatif) yerdeğiştirme değerleri verir ve bu durum taban izolasyonu uygulamalarını çok efektif kılmaz. Bununla birlikte, NEHRP97 şartlarını esas alan ve U.S.Geological Survey(USGS) tarafından geliştirilmiş olan risk haritalarını kullanan 2000 yılı kodu – International Building Code (IBC 2000) daha uygun koşullar ortaya koyar. Fakat bu yönetmelikteki haritalar Birleşik Devletler (Alaska ve çevre adalar dahil) için hazırlanmış olduğundan bu çalışmada yer verilmemiştir.

4.2.6 UBC – 97 Statik Analiz Şartları Kullanılarak Taban İzolasyonlu Tasarım

Ön tasarım :

1. *Sismik Bölge Faktörü (Z)* : Sismik Bölge UBC – 97 Fig. 16-2 den tespit edilir ve buna karşı gelen sismik bölge faktörü, UBC – 97 Tablo 16 – I’ dan belirlenir.
2. *Zemin Profili Kategorisi* : UBC – 97 Tablo 16-J’ den seçilir.

3. *Sismik Kaynak Tipi* : Sismik fay hatlarına göre ilgili kaynak tipi, UBC – 97 Tablo 16-U’ dan seçilir.
4. *Kaynak Yakınlık Faktörü (N_a ve N_v)* : Belirlenen sismik kaynak tiplerine göre UBC – 97 Tablo 16-S ve 16-T’ den N_a ve N_v belirlenir.
5. *Olabilecek En Büyük Deprem Tepkisi Katsayısı (M_M)* : Yukarıda hesaplanan Z ve N_v değerleri çarpılarak ZN_v elde edilir. M_M ’ in ilgili değeri UBC – 97 Tablo A-16-D’ den okunur.
6. *Sismik Katsayılar (C_{VD} ve C_{AD})* : Yukarıda belirlenen sismik bölge faktörü ve zemin profili ile UBC – 97 Tablo 16-R ve 16-Q’ dan C_{VD} ve C_{AD} elde edilir.
7. *Sismik Katsayılar (C_{VM} ve C_{AM})* : Zemin profili kullanılarak M_M , Z ve N_v çarpılarak M_MZN_v bulunur. C_{VM} , UBC – 97 Tablo A-16-G’ den elde edilir. Benzer olarak, M_MZN_a hesaplanır ve Tablo A-16-F kullanılarak C_{AM} katsayısının değeri hesaplanır.
8. *Yapısal Sistem Azaltma Faktörü (R_I)* : UBC – 97 Tablo A-16-E kullanılarak, izolasyon seviyesinin üzerindeki taşıyıcı sistemin tipine göre azaltma faktörü belirlenir.
9. *İzolatör tiplerinin ve sönüm katsayısının (B_D ve B_M) seçilmesi* : İzolatör tipi (yüksek sönümlü kauçuk, kurşun-kauçuk ve kayıcı mesnet) seçilir ve bu sisteme ait yaklaşık sönüm değerlerine göre Tablo A-16-C’ den ilgili sönüm katsayısı bulunur. (B_D ve B_M için aynı değer atanır ve gerekirse ara değerlerde enterpolasyon yapılır.
10. *İzolasyon Sisteminin Periyodu (T_D)* : Tasarım yerdeğiştirmesinde, izolasyon sistemi periyodu için bir ön değerle karar kılınır. Bu değer, eğer mesnet tipi sürtünmeli sarkaç izolatörleri seçilmiş ise eğrilik yarıçapları R ile tayin edilir. Taban izolasyonlu sistemlerde genelde 2 sn. ile 3 sn. arasındaki periyod değerleri uygundur.
11. *İzolasyon Sisteminin Efektif Rijitliği (K_{eff})* : İzolasyon periyoduna göre efektif rijitlik belirlenir.
12. *Minimum Tasarım Yerdeğiştirmesi (D_D)* : Minimum tasarım yerdeğiştirmesinin ilk değeri, daha önce belirlenen parametreler kullanılarak denklem 4.2’ ye göre belirlenir. Eğer bu değer, mesnetlerin yerdeğiştirme kapasitesini veya sistem için izin verilen değeri aşıyorsa, daha rijit bir sistem (daha ufak periyodlu) seçilir.
13. *Minimum Tasarım Yatay Kuvvetleri (V_b ve V_s)* : Denklem 4.10 ve 4.11 kullanılarak izolasyon sisteminde ve izolasyon düzleminde ve aşağısındaki

yapısal elemanlar için V_b , izolasyon düzleminin üzerinde kalan yapısal elemanlar için ise V_s minimum yatay kuvvetleri hesaplanır. V_s için UBC – 97 Bölüm 1658.4.3’ te verilen sınır değerler dikkate alınmalıdır. Eğer hesaplanan V_b ve V_s değerleri proje için kabul edilebilecek değerlerden büyükse, daha esnek bir izolasyon sistemi oluşturulmalıdır (daha yüksek bir periyod ön değeri seçilmeli ve bu aşamaya kadar olan hesaplamalar tekrarlanmalıdır).

14. *Üstyapı elemanları için ön tasarım* : Hesaplanan V_s , üstyapı yüksekliği boyunca dağıtılmalıdır. Denklem 4.12 ile katlara dağıtılan ve kat hizalarında etkiyen bu deprem yüklerine göre yapısal elemanlarda gerilme tahkikleri yapılmalı ve yatay yerdeğiştirme değerleri sınır değerlerle karşılaştırılmalıdır. (UBC – 97 Bölüm 1658.6)
15. *İzolatörler ve dağılımları (plandaki yerleşimleri) için ön tasarım* : Hesaplanan yerdeğiştirme, rijitlik, kuvvet ve sönüm özellikleri kullanılarak, düşey yüklere, yatay yüklere ve yerdeğiştirmelere mukavemet gösterecek olan izolatörler tasarlanır.

Kesin Tasarım :

16. *İzole edilmiş yapının matematik modelinin oluşturulması* : UBC – 97 Bölüm 1659.5 şartları doğrultusunda ve üreticinin vereceği mekanik özellikler kullanılarak yapının ankastre mesnetli ve izolasyonlu modelleri oluşturulur (ETABS veya SAP2000 programları kullanılabilir).
17. *Tasarım spektrumu ve ilgili parametreler kullanılarak deprem etkisi belirlenir.*
18. *Tasarım yerdeğiştirmesinin ve izolasyon periyodunun kesinleştirilmesi :*

Yerdeğiştirme ve içkuvvetleri dikkate alarak izolasyon sistemine ve üstyapıya ait tasarım parametreleri elde edilir. Projede geçerli olacak D_D ve D_M yerdeğiştirmeleri kesin olarak belirlenir. Bu değerler daha önce minimum olarak hesaplanan sınır yerdeğiştirme değerlerinden farklıdır. D_M , D_D ’ den; D_D ise ön tasarım aşamasında hesaplanandan daha büyüktür.

19. *Efektif Rijitlik için Hedef Değer :*

Çok farklı pozitif ve negatif tepki değerleri veren durumlar hariç,

$$K_{D,max} = K_{D,min} = DBE \text{ taban kesme kuvveti} / D_D$$

$$K_{M,max} = K_{M,min} = MCE \text{ taban kesme kuvveti} / D_D$$

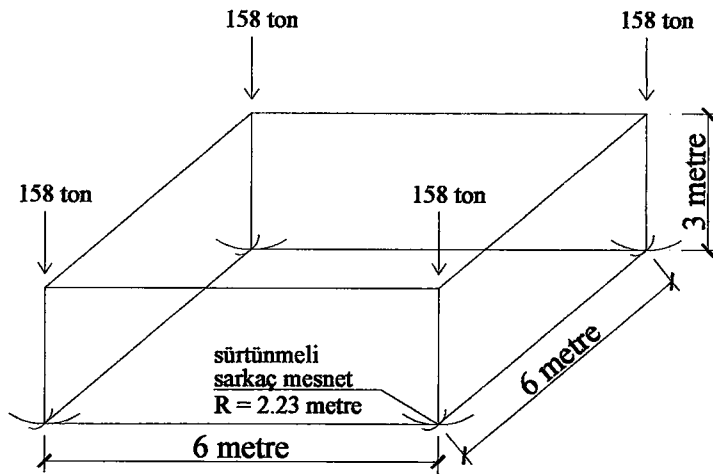
büyüklikleri efektif rijitlik değerleridir.

20. *Matematik model sonucu elde edilen periyodun doğrulanması* : Minimum değerler kullanılarak hesaplanan periyodla matematik model sonucu elde edilen periyodun karşılaştırması yapılır.
21. *Matematik model sonucu elde edilen sönüm seviyesinin doğrulanması* : Denklem 4.4 ve 4.5 kullanılarak, seçilen sönüm değeriyle matematik model sonucu elde edilen karşılaştırılır.
22. *Tasarım yerdeğiştirmeleri ve kuvvetlerinin yönetmelik minimum değerleriyle karşılaştırılması* : Eğer bu karşılaştırma sonucunda, hesaplanan tasarım yerdeğiştirmesi yönetmelik minimum şartından küçük kalırsa, tüm tepki parametreleri (eleman kuvvetleri ve deformasyonları da dahil) yönetmelik minimum değerlerine yükseltilmelidir. Aynı şekilde taban kesme kuvvetleri de arttırılacaktır.
23. *Prototip mesnetlerin test sonuçlarına göre performans tayini* :
Elde edilebilen prototip test sonuçlarına göre, en düşük ve en yüksek mesnet özelliklerini yansıtan revize edilmiş matematik model oluşturulacaktır. UBC – 97 Bölüm 1665.5.1 şartlarına uyularak $K_{D,max}$, $K_{D,min}$, $K_{M,max}$ ve $K_{M,min}$ tekrar hesaplanıp 20. 21. ve 22. tasarım basamakları revize edilmiş matematik model sonuçlarına göre tekrarlanacaktır.
24. *İmalat mesnetlerinin test sonuçlarına göre performans tayini* :
Son aşama olarak elde edilebilen prototip test sonuçlarına göre, en düşük ve en yüksek mesnet özelliklerini yansıtan revize edilmiş matematik model oluşturulacaktır. UBC – 97 Bölüm 1665.5.1 şartlarına uyularak $K_{D,max}$, $K_{D,min}$, $K_{M,max}$ ve $K_{M,min}$ tekrar hesaplanıp 20. 21. ve 22. tasarım basamakları tekrarlanarak sistemin en doğru modellenmesi yapılır ve tüm sistemin performansı analitik olarak tespit edilir.

5. ANALİTİK UYGULAMA I

5.1 Giriş

Bu bölümde Şekil 5.1’ de şematik olarak verilen sürtünmeli sarkaç mesnetlere oturan rijit kolon ve rijit kiriş kesitlerinden oluşan taşıyıcı sisteme sahip basit bir bina tipi yapı için, ilk olarak Bölüm 4’ te bahsedilen yönetmelik minimum şartları belirlenmiştir. İkinci olarak, Bölüm 2’ de anlatılan teorik esaslar çerçevesinde tek serbestlik dereceli sistemin Simpson yöntemi kullanılarak Duhamel entegraliyle



Şekil 5.1 Sürtünmeli sarkaç mesnetler kullanılarak oluşturulan taban izolasyonlu yapı

çözümü elde edilmiştir. Son olarak ise SAP2000 bilgisayar programı kullanılarak nonlineer analiz yapılmış ve sonuçlar Duhamel entegraliyle bulunanlarla karşılaştırılmıştır. Analizlerde, Kocaeli Depremi Petkim (Yarımca) Tesislerinde alınan kayıt kullanılmıştır.

Mesnetlerin aynı yerdeğiştirmeyi yapmalarını sağlamak amacıyla mesnetler taban seviyesinde birbirlerine bağlanmışlardır. Örnekte kullanılan mesnetler Ek B1 Tablo B1.1' de fiziksel özellikleri verilen B tipi sürtünmeli sarkaç mesnetidir:

Tasarım basınç yükü $DCL = 226,5$ ton

Üreticinin yaptırdığı testlerde kullanılan tasarım yerdeğiştirmesi $D_D = 22,86$ cm.

Küçük yerdeğiştirmeler sınırı $= 7,62$ cm ($\pm 3,81$)

Ağırlık $= 2083,8$ kg

Yükseklik $= 27,94$ cm.

Plan boyutu $= 139,7 * 139,7$ cm*cm

Kolonlar, dolayısıyla her bir mesnet tasarım basınç yükünün % 70' i ile yüklenmiştir.

$$0,70 * 226,5 = 158 \text{ ton}$$

5.2 UBC – 97 Statik Analizi (Yönetmelik Minimum Değerleri)

1. Deprem Bölgesi 4 $Z = 0,40$
2. Zemin profili kategorisi S_B kabul edilsin.
3. Sismik kaynak tipi A
4. Kaynak yakınlık faktörleri $N_v = 1,2$ $N_a = 1,2$
5. $ZN_v = 0,4 \times 1,2 = 0,48$ $M_M = 1,20$
6. $C_{VD} = 0,40 \times 1,2 = 0,48$
 $C_{AD} = 0,40 \times 1,2 = 0,48$
7. $C_{VM} = 1 \times 0,58 = 0,58$
 $C_{AM} = 1 \times 0,58 = 0,58$
8. Azaltma faktörü $R_I = 2,0$
9. Sürtünmeli sarkaç mesnetlerde genelde kritik sönümün % 20' si gibi bir sönüm oranına ulaşılabilir.
10. Yapının, tasarım esaslı deprem için $T_D = 3,0$ sn., olabilecek en büyük deprem için $T_M = 3,2$ sn. değerlerinde periyoda sahip olması isteniyor.
11. Efektif rijitlikler :

$$3 = 2\pi \sqrt{\frac{632}{K_{D, \min} \times 9,81}} \quad K_{D, \min} = 283 \text{ t/m}$$

$$3,2 = 2\pi \sqrt{\frac{632}{K_{M, \min} \times 9,81}}$$

$$K_{M, \min} = 248 \text{ t/m}$$

(Bina toplam ağırlığı
W = 4 x 158 = 632 ton)

Rijitlik için % 10 sapma düşünülebilir :

$$K_{D, \max} = (1,10/0,90) \times 283 = 346 \text{ t/m}$$

$$K_{M, \max} = (1,10/0,90) \times 248 = 303 \text{ t/m}$$

12. Minimum Yerdeğiştirmeler :

$$D_D = \frac{(g/4\pi^2)C_{vD}T_D}{B_D} = \frac{(9,81/4\pi^2) \times 0,48 \times 3}{1,5} = 0,239 \text{ metre}$$

$$D_M = \frac{(g/4\pi^2)C_{vM}T_M}{B_M} = \frac{(9,81/4\pi^2) \times 0,58 \times 3,2}{1,5} = 0,307 \text{ metre}$$

13. İzolasyon sisteminde ve taban seviyesindeki ve altındaki yapısal elemanlarda minimum kesme kuvveti :

$$V_b = K_{D, \max} D_D = 346 \times 0,239 = 82,7 \text{ ton} = 0,13W$$

İzolasyon seviyesinin üstündeki yapısal elemanlarda minimum kesme kuvveti

$$V_s = K_{D, \max} D_D / R_I = 346 \times 0,239 / 2,0 = 41,3 \text{ ton}$$

olarak hesaplanır.

5.3 Duhamel Entegrali İle Çözüm

İzolatörlerin içbükey yüzeyinin eğrilik yarıçapı R = 2,23 m. dir.

Basit sarkaç periyod formülüyle:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2,23}{9,81}} = 3 \text{ sn.}$$

doğal titreşim periyoduna sahip bir taban izolasyonlu yapı elde edilmiştir.

İzolasyon sisteminin kütlesi ihmal edilerek hareket denklemleri basitleştirilmiştir. Bu durumda, izole edilmiş yapının toplam ağırlığı ve kütlesi :

$$W = 4 \cdot 158 = 632 \text{ ton} \quad m = W/g = 632/9,81 = 64,42 \text{ tsn}^2/\text{m}$$

olur ve hareket denklemlerindeki terimler $m_b = 0$ $M = m$ ve $\gamma = 1$ halini alırlar.

İzolasyon sisteminin rijitliği :

$$k_b = \frac{W}{R} = \frac{632}{2,23} = 283,4 \text{ t / m}$$

İzolasyon sisteminin frekansı :

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m} = \frac{283,4}{64,42} = 4,40 \text{ 1 / sn}^2$$

olarak hesaplanır.

Sisteme, izolatörler yerine izolatörlerin kapalı olması (dört kenardan alt ve üst çelik plakaların bulonlarla birbirine bağlanması) durumuna karşılık gelen mafsallar atanarak $\mu W = 0,05 \cdot 632 = 31,6$ ton yatay yükleme yapılmıştır. Burada $\mu = 0,05$ izolatörde yüzeyler arası sürtünme katsayısıdır ve μW değeri sistemin karakteristik mukavemet değeridir; başka bir deyişle kayıcı sistemi harekete geçirecek en küçük kuvvettir. Bu yükleme sonucunda okunan yatay yerdeğiştirme $D_y = 8,58 \cdot 10^{-4}$ m. sistemin akma yerdeğiştirmesidir. Üst yapının rijitliği, $k_s = F_y/D_y = 31,6/8,58 \cdot 10^{-4} = 36830$ t/m hesaplanır.

Üst yapının frekansı :

$$\omega_s^2 = \frac{k_s}{m} = \frac{36830}{64,42} = 572 \text{ 1 / sn}^2$$

$$\epsilon = \omega_b^2 / \omega_s^2 = 0,0077$$

Sürtünmeli sarkaç mesneti kullanılan izolasyon sistemlerinde genelde kritik sönümün %20' si gibi bir sönüm oranı elde edilir.

Çelik üst yapının sönümü $\beta_s =$ kritik sönümün % 2' si değerindedir.

İlgili büyüklükler daha önce Bölüm 2'deki eşitlikler yardımıyla aşağıda ardı ardına hesaplanmıştır :

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= \omega_b^2 (1 - \gamma \epsilon) \\ &= 0,992 \omega_b^2 = 4,366 \text{ 1 / sn}^2 \\ \omega_2^2 &= 100 \omega_s^2 = 57200 \text{ 1 / sn}^2 \end{aligned}$$

$$M_1 = M(1 + 2 \times 0,0077) = 1,015M$$

$$M_2 = 0$$

$$L_1 = 1 - 0,0077 = 0,9923$$

$$L_2 = 0,0077$$

$$\beta_1 = \beta_s(1 - 3/2 \times 0,0077) = 0,198$$

$$\beta_2 = \{\beta_s + \beta_2 \sqrt{0,0077}\} \times 10 \times (1 - 0,0077/2)$$

$$9,9615\beta_s + 0,8741\beta_2 = \beta_2$$

$$\beta_2 = 0,01264\beta_s$$

$$\beta_2 = 0,0002$$

Zamana bağılı modal katsayılar q_1 ve q_2 , Duhamel entegralinin Simpson yöntemi ile sayısal çözümünden elde edilecektir :

$$q_1 = -\frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\beta_1 \omega_1 (t-\tau)} \sin \omega_1 (t-\tau) d\tau$$

Sinüs açılımı yaparak,

$$q_1 = -\frac{L_1}{\omega_1} \left[\int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\beta_1 \omega_1 (t-\tau)} \sin \omega_1 t \cos \omega_1 \tau d\tau - \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\beta_1 \omega_1 (t-\tau)} \cos \omega_1 t \sin \omega_1 \tau d\tau \right]$$

ve son olarak

$$q_1 = -\frac{L_1}{\omega_1} e^{-\beta_1 \omega_1 t} \left[\sin \omega_1 t \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{\beta_1 \omega_1 \tau} \cos \omega_1 \tau d\tau - \cos \omega_1 t \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{\beta_1 \omega_1 \tau} \sin \omega_1 \tau d\tau \right]$$

yazılabilir.

Ek A' da (cildin arka kapağına iliştirilmiş olan disket) q_1 modal bileşeninin, Duhamel entegralinin Simpson yöntemi ile sayısal entegrasyonu sonucunda zamana bağlı değerleri elde edilmiştir. Tablonun sonunda q_1 'in maksimum değeri :

$$|q_1|_{maks} = 0,463 m.$$

olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, Bölüm 2' de bahsedildiği üzere q_2 'nin çok küçük olduğu dikkate alınarak (sayısal hesap sonucunda bu sistemde en büyük değer olarak $q_2 = 1,093 \cdot 10^{-6}$ bulunmuştur) izolasyon sisteminin ya da izolatörlerin göreceli maksimum yerdeğiştirilmesi olarak alınır.

Ayrıca, Bölüm 2' de denklem 2.1.18a' da verilen eşitlik gözönüne alınırsa, sönüm oranı % 5 alınarak oluşturulmuş Kocaeli Depremi Yerdeğiştirme Spektrumu (SD) grafiğinden periyot $T=3$ sn. değerine karşılık gelen yerdeğiştirme 0,7 metre okunur ve bu değer, sönüm oranının % 20 olması durumunda $B_D=1,5$ olan sönüm katsayısına bölünerek, sönüm oranı % 20 olan bir sistemin $T = 3$ sn. için yerdeğiştirme tepki spektrumu bulunur. Bu değer yukarıda hesaplanan $L_1 = 0,9923$ ile çarpılır ve sonuç 0,463 m. bulunur.

Taban izolasyonlu yapılarda, izolasyon sisteminin ön tasarımı tipik yerdeğiştirme spektrumları kullanılarak bu şekilde yapılabilir. Çeşitli sönüm oranlarına karşılık gelen sönüm katsayıları Bölüm 4 Tablo 4.1' den alınabilir.

Üst yapı çok rijit tanımlandığı için göreceli en büyük yerdeğiştirme,

$$|v_s|_{maks} = \epsilon_{SD}(\omega_1, \beta_1) = 0,0077 \times 0,466 = 0,0036 m.$$

olarak hesaplanır.

Taban kesme kuvveti katsayısı C_s , Bölüm 2'deki ifadesiyle,

$$C_s = \omega_s^2 |v_s|_{maks} / g = 572 \times 0,0036 / 9,81 = 2,0592 / 9,81 = 0,21$$

bulunur. Buradan taban kesme kuvveti,

$$V_t = 0,21 \times 632 = 133 \text{ ton}$$

olarak hesaplanır.

5.4 SAP2000 Bilgisayar Programı ile Nonlinear Analiz

5.4.1 SAP2000' de izolatör özelliklerinin nonlinear link elemanı olarak tanımlanması

SAP2000, Computers and Structures, Inc. firması tarafından geliştirilmiş olan, sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yapıların üç boyutlu statik ve dinamik analizlerini ve tasarımlarını yapan, mühendislerin de yakından tanıdığı genel amaçlı bir bilgisayar programıdır. Taban izolasyonlu yapıların analizlerinde kullanılan diğer programlarda olduğu gibi - N-PAD (Base Isolation Consultants, San Francisco, CA), 3D-BASIS (State University of New York at Buffalo), ETABS (Computers and Structures, Inc.) ve ulaşılması ve etkin bir şekilde kullanılması yukarıdakilere göre daha masraflı ve daha zaman alıcı olan diğer kodlar - SAP2000 Nonlinear versiyonunda da nonlinear elemanlar tanımlanabilmektedir. Bunlar; Damper Property, Gap Property, Hook Property, Plastic 1 Property, Isolator 1 Property ve Isolator 2 Property isimleriyle programda yer alırlar. Bu çalışmada, kurşun-kauçuk izolatörlerin modellenmesi Isolator 1, sürtünmeli sarkaç izolatörlerin modellenmesi ise Isolator 2 nonlinear link elemanları kullanılarak yapılmıştır. Aşağıda bu elemanların özellikleri hakkında bilgi verilecektir.

Nlink elemanı için altı bağımsız iç deformasyon (altı serbestlik derecesi) tanımlıdır. Bu deformasyonlar, elemanın j ucunun görelî yerdeğıştirmesinden hesaplanır. SAP2000' de Nlink elemanı iki düğüm noktalı ve tek düğüm noktalı (yere sabitlenmiş) olmak üzere iki tiptir. Bu çalışmada ikincisi tercih edilmiştir. Bu durumda deformasyonlar,

Eksenel	: $d_{u1} = u_{1j}$
1-2 düzleminde kayma	: $d_{u2} = u_{2j}$
1-3 düzleminde kayma	: $d_{u3} = u_{3j}$
Burulma	: $d_{r1} = r_{1j}$
1-3 düzleminde salt eğilme	: $d_{r2} = -r_{2j}$
1-2 düzleminde salt eğilme	: $d_{r3} = r_{3j}$

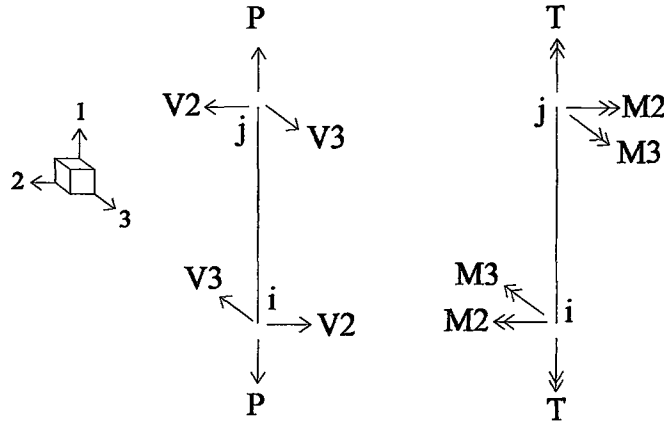
olarak gösterilebilir.

Bu deformasyonlara karşılık gelen yay kuvvetleri elemanın davranışını belirler :

Eksenel	: d_{u1} için f_{u1}
Kayma	: d_{u2} için f_{u2} ve d_{u3} için f_{u3}
Burulma	: d_{r1} için f_{r1}
Salt eğilme	: d_{r2} için f_{r2} ve d_{r3} için f_{r3}

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

Eleman iç kuvvetleri P , V_2, V_3 ve iç momentleri T , M_2 , M_3 çubuk elemanlardaki gibidir (Şekil 5.2). İç yay kuvvet ve momentleri cinsinden:



Şekil 5.2 Nlink elemanı iç kuvvet ve momentleri

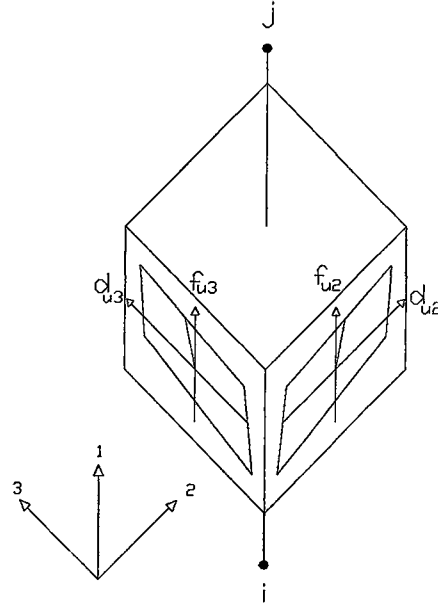
Eksenel	: $P = f_{u1}$	
1-2 düzleminde kayma	: $V_2 = f_{u2}$	$M_{3s} = d f_{u2}$
1-3 düzleminde kayma	: $V_3 = f_{u3}$	$M_{2s} = d f_{u3}$
Burulma	: $T = f_{r1}$	
1-3 düzleminde salt eğilme	: $M_{2b} = f_{r2}$	
1-2 düzleminde salt eğilme	: $M_{3b} = f_{r3}$	

Kesme ve salt eğilme etkileri beraber düşünüldüğünde,

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2s} + M_{2b} \\ M_3 &= M_{3s} + M_{3b} \end{aligned}$$

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

Isolator 1 Property, iki doğrultudaki ortogonal ve etkileşimli kayma deformasyonları



Şekil 5.3 Isolator 1 Property elemanının çift eksenli kayma davranışı idealizasyonu

için plastik davranış gösteren ve diğer dört deformasyon için (toplam altı serbestlik derecesi) lineer efektif rijitlik özelliği gösteren çift eksenli (iki yönlü – biaxial) histeretik bir izolatördür (Şekil 5.3). Bu tanımdaki histeretik kavramı, dış yükleme sonucunda elemanda oluşan iç kuvvet – deformasyon ilişkisinin ortaya çıkardığı döngüsel (çevrimsel) tepki davranışdır. Bu eleman için oluşturulan plastik model, Wen (1976), Park, Wen ve Ang (1986) [20] tarafından öngörülen histeretik davranış esas alır ve taban izolasyonlu yapıların analizi için Nagarajaiah, Reinhorn ve Constantinou (1991) [17] tarafından önerilmiştir.

Herbir kayma deformasyonu serbestlik derecesi için lineer veya nonlinear davranış tanımlanabilir:

- Eğer her iki yöndeki kayma deformasyonu serbestlik derecesi de nonlinear ise, etkileşimli (coupled) kuvvet – deformasyon ilişkisi aşağıdaki gibidir :

$$f_{u2} = \text{ratio2 } k_2 d_{u2} + (1-\text{ratio2}) \text{ yield2 } z_2 \quad (5.1a)$$

$$f_{u3} = \text{ratio3 } k_3 d_{u3} + (1-\text{ratio3}) \text{ yield3 } z_3 \quad (5.1b)$$

Burada, k_2 ve k_3 elastik yay katsayıları, $yield2$ ve $yield3$ akma kuvvetleri, $ratio2$ ve $ratio3$ akma sonrası rijitliğin elastik rijitliğe (k_2 ve k_3) oranları, z_2 ve z_3 ise iç histeretik değişkenlerdir. Bu değişkenler,

$$\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$$

aralığında değerler alırlar ve $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$ zarfı akma yüzeyi ismini alır. z_2 ve z_3 ün başlangıç değerleri sıfırdır ve aşağıdaki diferansiyel denklemlere bağlı olarak değerler alırlar:

$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{k_2}{yield2} du_2 \\ \frac{k_3}{yield3} du_3 \end{Bmatrix} \quad (5.2)$$

Burada,

$$a_2 = \begin{cases} 1, & du_{2z_2} > 0 \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (5.3a)$$

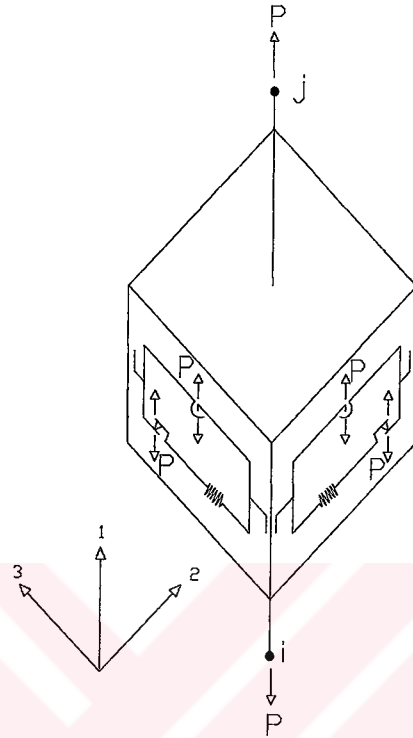
$$a_3 = \begin{cases} 1, & du_{3z_3} > 0 \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (5.3b)$$

Bu denklemler, Park, Wen ve Ang (1986) [20] tarafından verilenlerle ($A = 1$ $\beta = \gamma = 0,5$ olması durumunda) çakışır.

- Eğer sadece bir yöndeki kayma serbestlik derecesi nonlinear ise, yukarıdaki denklemler Plastic 1 Property (exp =2 durumu) [4] nlink elemanın tek eksenli plastik davranışına indirgenir. Eksenel deformasyon, moment deformasyonları ve nonlinear özellik göstermeyen kayma deformasyonları için lineer yay ilişkileri ($k \cdot d = F$) uygulanır. Tüm lineer serbestlik dereceleri atanmış olan ilgili efektif rijitlikleri kullanırlar.

Isolator 2 Property, iki doğrultudaki ortogonal ve etkileşimli kayma deformasyonları için sürtünmeli davranış gösteren, kayma doğrultularında kayıcı yüzeyin sarkaç yarıçapına bağlı olarak kayma sonrası rijitlik oluşturan, eksenel doğrultuda gap (boşluk – salt basınç elemanı) [4] davranışı sergileyen ve moment deformasyonları için lineer efektif rijitlik özellikleri tanımlanan çift eksenli sürtünmeli sarkaç izolatördür (Şekil 5.4).

Sürtünmeli model, Wen (1976), Park, Wen ve Ang (1986) tarafından öngörülen histeretik davranışı esas alır ve taban izolasyonlu yapıların analizi için Nagarajaiah, Reinhorn ve Constantinou [17] tarafından önerilmiştir. Sarkaç davranışı, bu



Şekil 5.4 Isolator 2 Property elemanın sürtünmeli sarkaç kayma davranışı idealizasyonu

çalışmada öne çıkan California'lı EPS firmasının ürettiği Friction Pendulum Seismic Isolation Bearings izolatörünün mucidi Zayas ve firma mühendisi Low (1990) tarafından önerilmiştir.

Sürtünme kuvvetleri ve sarkaç kuvvetleri, elemandaki eksenel basınç yükü ile doğrudan orantılıdır. Bu eleman çekme almaz. Eğer sürtünmeli sarkaç kullanılarak izole edilmiş bir yapıda devrilme momentleri etkili ise (özellikle dar plan boyutuna sahip yapılarda) ve bazı kolonlarda çekme kuvveti oluşturuyorsa modellemede Isolator 2 Property ile Hook Property* (salt çekme elemanı) [4] nlink elemanları aynı mesnette birlikte kullanılmalıdır.

Eksenel kuvvet, P , her zaman nonlineerdir.

$$P \equiv f_{u1} = \begin{cases} k_1 d_{u1}, & d_{u1} < 0 \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (5.4)$$

k_1 rijitliği, elemanda nonlinear kayma kuvveti oluşturmak için pozitif olmalıdır.

Herbir kayma deformasyonu serbestlik derecesi için lineer veya nonlinear davranış tanımlanabilir:

- Eğer her iki yндеki kayma deformasyonu serbestlik derecesi de nonlinear ise, herbir kayma deformasyonu için sürtünme ve sarkaç etkileri paralel (birlikte) oluşur. Sürtünmeli sarkaç izolatorlerde genelde bu durum hakimdir.

$$f_{u2} = f_{u2f} + f_{u2p} \quad (5.5a)$$

$$f_{u3} = f_{u3f} + f_{u3p} \quad (5.5b)$$

Sürtünme kuvveti – deformasyon ilişkileri aşağıda verilmiştir:

$$f_{u2f} = -P\mu_2 z_2 \quad (5.6a)$$

$$f_{u3f} = -P\mu_3 z_3 \quad (5.6b)$$

Burada, μ_2 ve μ_3 sürtünme katsayıları ve z_2 , z_3 ise i histeretik değişkenlerdir. Sürtünme katsayıları hıza bağımlıdır:

$$\mu_2 = \text{fast2} - (\text{fast2} - \text{slow2}) e^{-rv} \quad (5.7a)$$

$$\mu_3 = \text{fast3} - (\text{fast3} - \text{slow3}) e^{-rv} \quad (5.7b)$$

Burada, slow2 ve slow3 hızın sıfır olduğu andaki, fast2 ve fast3 yüksek hızlardaki sürtünme katsayılarıdır ve v ise bileşke kayma hızıdır:

$$v = \sqrt{\dot{du}_2^2 + \dot{du}_3^2} \quad (5.8)$$

r , efektif ters hızdır:

$$r = \frac{\text{rate2} \dot{du}_2^2 + \text{rate3} \dot{du}_3^2}{v^2} \quad (5.9)$$

rate2 ve rate3 karakteristik kayma hızlarının tersleridir.

İ histeretik değişkenler $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$ aralığında değerler alırlar ve $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$ zarfı akma yüzeyini tanımlar. z_2 ve z_3 ’ n başlangıç değerleri sıfırdır ve aşağıdaki diferansiyel denklemlere bağlı olarak değerler alırlar:

$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_{2z_2}^2 & -a_{3z_2z_3} \\ -a_{2z_2z_3} & 1 - a_{3z_3}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{k_2}{P\mu_2} \dot{u}_2 \\ \frac{k_3}{P\mu_3} \dot{u}_3 \end{Bmatrix} \quad (5.10)$$

Burada, k_2 ve k_3 kaymanın olmadığı durumlarda elastik kayma rijitlikleridir ve

$$a_2 = \begin{cases} 1, & \dot{u}_{2z_2} > 0 \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (5.11a)$$

$$a_3 = \begin{cases} 1, & \dot{u}_{3z_3} > 0 \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (5.11b)$$

Bu denklemler, Park, Wen ve Ang (1986) tarafından verilenlerle ($A = 1$ $\beta = \gamma = 0,5$ olması durumunda) çakışır.

Sarkaç kuvveti – deformasyon ilişkileri aşağıda verilmiştir:

$$f_{u2p} = -P \frac{du_2}{radius2} \quad (5.12a)$$

$$f_{u3p} = -P \frac{du_3}{radius3} \quad (5.12b)$$

- Eğer sadece bir yöndeki kayma serbestlik derecesi nonlinear ise, yukarıdaki denklemler aşağıdakilere indirgenir:

$$\mu = fast - (fast - slow)e^{-rate d} \quad (5.13)$$

$$f_f = -P\mu z \quad (5.14)$$

$$\dot{z} = \frac{k}{P\mu} \begin{cases} d(1 - z^2), & \dot{d} z > 0 \\ d, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (5.15)$$

Sarkaç denklemleri nonlinear olan serbestlik derecesi için aynı kalır.

Moment deformasyonları ve nonlinear özellikte olmayan kayma deformasyonları için lineer yay ilişkileri uygulanır. Tüm lineer serbestlik dereceleri atanmış olan ilgili efektif rijitlikleri kullanırlar.

5.4.2 Plastik Model

Yukarıda bütünlüğü bozmamak amacıyla SAP2000 Analiz Referansına paralel aktarma yapılmıştır; fakat sık bahsi geçen ve SAP2000’ de tanımlanan nonlinear elemanların davranışlarına esas oluşturan plastik modele değinmekte yarar vardır. Ayrıca aşağıda SAP2000’ de tanımlanan nonlinear elemanların basit örnek için oluşturulmuş data dosyasındaki mekanik karakteristik değerlerine ve taban izolasyonlu yapıların SAP2000’ de analizine ilişkin bir akış diyagramına yer verilmiştir.

X ve Y doğrultularında U_x ve U_y yerdeğiştirme bileşenleriyle ve $\dot{U}_x$ ve $\dot{U}_y$ hız vektörü bileşenleriyle düzlemde hareket eden bir mesnette, yatay kuvvetler oluşur ve bu kuvvetler çift eksenli etkileşim sergilerler. Burulma etkisi önemsiz mertebededir. Mesnette oluşan, hareket yönüne ters bileşke kuvvetin doğrultusu :

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\dot{U}_y}{\dot{U}_x} \right) \quad (5.16)$$

olarak verilir. Çift eksenli etkileşim modeli, Park, Wen ve Ang (1986) [20] tarafından verilen denklem takımına dayanır :

$$\begin{Bmatrix} \dot{Z}_x Y \\ \dot{Z}_y Y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A \dot{U}_x \\ A \dot{U}_y \end{Bmatrix} - \begin{pmatrix} Z_x^2 \left(\gamma \text{Sign}(\dot{U}_x Z_x) + \beta \right) & Z_x Z_y \left(\gamma \text{Sign}(\dot{U}_y Z_y) + \beta \right) \\ Z_x Z_y \left(\gamma \text{Sign}(\dot{U}_x Z_x) + \beta \right) & Z_y^2 \left(\gamma \text{Sign}(\dot{U}_y Z_y) + \beta \right) \end{pmatrix} \quad (5.17)$$

Burada, Z_x ve Z_y histeretik boyutsuz büyüklükler, Y akma yerdeğiştirmesi, A, γ ve β histeretik eğrini kontrol eden boyutsuz büyüklüklerdir. Birçok araştırmada ve yayımlanmış olan raporda deneylere dayanılarak $A = 1$, $\gamma = 0,9$ ve $\beta = 0,1$ alınmıştır, SAP2000’ de $A = 1$, $\gamma = 0,5$ ve $\beta = 0,5$ olarak yer alır. Akma ya da kayma gerçekleştiğinde, yukarıdaki denklem takımı, $A / \gamma + \beta = 1$ eşitliğini sağlayan aşağıdaki çözümle sonuçlanır :

$$Z_x = \cos\theta \quad Z_y = \sin\theta \quad (5.18)$$

Z_x ve Z_y histeretik boyutsuz büyüklükleri ± 1 ile sınırlanır ve histeretik kuvvetlerin çift eksenli etkileşimini ve doğrultusunu belirler. Yukarıdaki denklem takımıyla verilen etkileşim eğrisi daireseldir.

5.4.2.1 “EPS” Sürtünmeli Sarkaç Mesneti için Çift Eksenli Model

Kayıcı bir tip olan “EPS” sürtünmeli sarkaç mesnetinde oluşan kuvvetler aşağıdaki denklemlerle ifade edilirler [17] :

$$F_x = \mu_s W Z_x \quad F_y = \mu_s W Z_y \quad (5.19)$$

Burada, W mesnet üzerindeki düşey yük, μ ise mesnet basıncına, θ açısına ve kayma hızına bağlı olarak değişen sürtünme katsayısıdır. Sürtünme katsayısının mesnetteki basınç ve kayma hızına bağlılığı Şekil 5.5’ te gösterilmiştir.

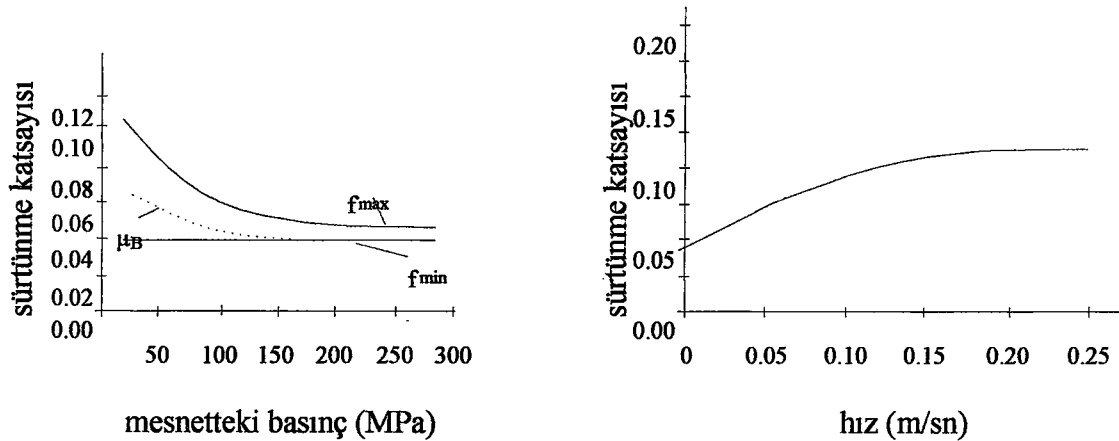
Sürtünme katsayısı,

$$\mu_s = f_{\max} - \Delta f \exp(-a | \dot{U} |) \quad (5.20)$$

eşitliğiyle verilir. Burada,

$$\dot{U} = \left(\dot{U}_x^2 + \dot{U}_y^2 \right)^{1/2} \quad (5.21)$$

olarak verilen kayma hızı, $f_{\max}$ yüksek kayma hızındaki maksimum değer, Δf



Şekil 5.5 Sürtünme katsayısının basınç ve hız ile değişimi

maksimum ve minimum (kayma hızının sıfır olduğu andaki) değerler arasındaki farktır. Δf , dinamik etkilere göre değişen sürtünme katsayısı genliğini temsil eder, a ise kayma hızıyla birlikte bu değişimin oranını kontrol eden parametredir. f_{max} , Δf ve a mesnet basıncının ve kayma yönünün birer fonksiyonudurlar. Kayma yönü, x eksenine θ açısı yapan doğrultu ile verilir. Düşey yükün değişim etkisini dikkate alan deney sonuçlarına göre θ açısına bağlılık ihmal edilebilir. Bu sonuç, analitik olarak şu şekilde gösterilebilir :

± 1 değerleriyle sınırlanan Z_x ve Z_y , kayma düzlemlerinin ayrılma ve tekrar birleşme durumlarını ve ayrıca sürtünme kuvvetlerinin doğrultusunu ve çift eksenli etkileşimini dikkate alırlar. Kayma anında, $Z_x = \cos\theta$ ve $Z_y = \sin\theta$ değerlerini alırlar [15]. Bu değerler, sürtünme kuvvetlerini veren ifadelerde kullanılırlarsa F_x ve F_y kuvvetlerinin oluşturacağı etkileşim eğrisi dairesel formda olur. Bu eğri, ancak sürtünme arayüzeyinin izotropik (her doğrultuda aynı fiziksel özellik gösteren) olması durumunda dairesel olur; bu nedenle μ_s , kayma doğrultusu θ' ya bağlı değildir. SAP2000' de bu esas kabul edilmiştir.

5.4.2.2 “DIS,Inc.” Kurşun – Kauçuk Mesneti için Çift Eksenli Model

Elastomer bir tip olan “DIS,Inc.” kurşun – kauçuk mesnetinde oluşan kuvvetler aşağıdaki denklemlerle ifade edilirler :

$$F_x = \alpha \frac{F'}{Y} U_x + (1 - \alpha) F' Z_x \quad F_y = \alpha \frac{F'}{Y} U_y + (1 - \alpha) F' Z_y \quad (5.22)$$

Burada, α akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı, F' akma kuvveti ve Y akma yerdeğiştirmesidir. Z_x ve Z_y histeretik kuvvetlerin doğrultusu ve çift eksenli etkileşimini dikkate alan boyutsuz büyüklüklerdir.

5.4.3 SAP2000' de Taban İzolasyonlu Yapıların Nonlineer Analizi İçin

Akış Diyagramı

- Üstyapıya ait tim kesitler ve malzeme atanır.
- Konvansiyonel sistemlerde atanan mesnet şartları yerine, izolasyon sistemi için belirlenen izolatörler Nlink elemanı olarak atanır. (alt kat kolonları alt ucuna tek düğüm noktasında veya iki düğüm noktalı bir eleman olarak)

- İzolasyon seviyesinde (kolon alt uçlarında) mesnetlerin aynı yerdeğiştirmeyi yapmasını sağlamak amacıyla diyafram (constraint) tanımlanır.
- Üstyapı düğüm noktalarına her üç yerdeğiştirme doğrultusunda da kütle tanımlanır.
- Kolonlara birim düşey yük verilir.
- Zaman tanım alanında analiz fonksiyonları tanımlanır.
- Her bir deprem kaydına ait bileşen çiftleri için ilgili fonksiyonlar kaydın zaman aralıkları ve süresi ile birlikte ölçek faktörleri (tasarım spektrumuna uyumluluk için) ve 1 sn' lik gecikme zamanı verilerek ve bir birim olarak verilen düşey yükün RAMP fonksiyonuyla gerçek değerine yükseltilmesi için ölçek faktörü tanımlanarak analiz tipi olarak nonlinear analiz seçilir.
- Program çalıştırılır.

5.4.4 Basit Örnek için SAP2000 Nonlinear Analizlerinde Tanımlanan İzolatör Özellikleri

Şekil 5.1' de görünen basit örnek için, SAP2000 bilgisayar programında 5.4.3' te açıklanan biçimde sürtünmeli sarkaç ve kurşun – kauçuk izolasyon sistemleri için iki ayrı model oluşturulmuştur. Modellerde kullanılan nllink elemanı datası sürtünmeli sarkaç izolatörleri için ve kurşun – kauçuk izolatörler için Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1 Basit Örnek için SAP2000 Nonlinear Analizlerinde Tanımlanan İzolatör Özellikleri

Taban İzolasyon Sistemi (Nonlinear Eleman Tipi)						
Doğrultu	Kurşun - Kauçuk Mesnet (Isolator 1 property)			Sürtünmeli Sarkaç Mesnet (Isolator 2 Property)		
		linear	nonlinear		linear	nonlinear
U1 (düşey)	rijitlik [t/m]	247884	-	rijitlik [t/m]	2000000	2000000
U2 (yatay)	rijitlik [t/m]	118,3	682,3	rijitlik [t/m]	70,85	9208
	akma dayanımı [ton]	-	12,74	yüksek hızlarda sürtünme katsayısı		0,03
	a (akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı)		0,1	düşük hızlarda sürtünme katsayısı		0,05
				a parametresi		5
				kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapı [metre]		2,23

Tablo 5.1' deki değerler tek bir izolatöre ait değerlerdir.

Sürtünmeli sarkaç sisteminin Bölüm 5.3' te hesaplanan toplam rijitliği (283,4 t/m), sistemdeki dört izolatörün efektif rijitlikleri (4 x 70,85) toplamıdır. Aynı şekilde bir tek sürtünmeli sarkaç izolatörün kayma öncesi rijitliği, Bölüm 5.3' te tüm sistem için hesaplanan rijitliğin aynı özellikteki dört izolatöre paylaştırılmasıyla $36830/4 = 9208$ t/ m olarak girilmiştir. a parametresi denklem 5.19' daki kontrol parametresidir ve SAP2000' de denklem 5.9 ile verilen $r =$ efektif ters hızına karşılık gelir.

Kurşun - kauçuk mesnet ise fiziksel özellikleri Ek B2 Tablo B2.1' de verilen B tipi kurşun - kauçuk mesnetidir :

Tasarım basınç yükü $DCL = 226,5$ ton

Üreticinin yaptırdığı testlerde kullanılan tasarım yerdeğiştirmesi $D_D = 22,86$ cm.

Küçük yerdeğiştirmeler sınırı = $7,62$ cm ($\pm 3,81$)

Ağırlık = $849,38$ kg

Yükseklik = $35,93$ cm.

Plan boyutu = $74,93$ cm çapındadır.

Tek kauçuk tabakasının kalınlığı = $7,62$ mm. toplam kauçuk kalınlığı = $34 \times 0,762 = 25,9$ cm.

Merkezdeki kurşun çekirdek çapı = $12,07$ cm.

Kolon yükleri sürtünmeli sarkaç uygulamasındaki gibidir.

Bölüm 3' te verilen mekanik özellikler dikkate alınarak ilgili değerler hesaplanmıştır.

B tipi mesnetteki kurşun çekirdek $12,07$ cm çapındadır. Kurşunun akma dayanımı 8

$$Q = 0,1 \times \frac{\pi \times 12,07^2}{4} = 11,44 \text{ ton}$$

MPa ~ 10 MPa gibidir. Bu durumda karakteristik mukavemet $Q = f_y \times$ enkesit alanı

Kauçuğun akma sonrası rijitliği,

$$K_r = \frac{GA}{t_r} = \frac{40 \times \pi \times 0,75^2}{4 \times 0,259} = 68,23 \text{ t / m}$$

Kurşun – kauçuk mesnetler düşük sönümlü, yüksek mukavemetli kauçuktan imal edilirler. %100 kayma şekil değiştirmesi için 0,4 MPa ~ 0,7 MPa aralığında kayma modülüne sahiptirler. Bu mesnet için $G = 0,4 \text{ MPa}$ kullanılacaktır.

$$K_{eff} = K_r + Q/D = 68,23 + 11,44/0,2286 = 118,3 \text{ t/m.}$$

Mesnetin düşey rijitliği,

$$S = \Phi/4t = 74,93/(4 \times 0,762) = 24,6$$

$$E_c = 6GS^2 = 6 \times 40 \times 24,6^2 = 145238 \text{ t/m}^2$$

$$K_c = E_c A/t_r = 145238 \times \pi \times 0,75^2 / 4 \times 0,259 = 248000 \text{ t/m}$$

Akma öncesi rijitliğin, kurşun – kauçuk mesnetlerde akma sonrası rijitliğinin 10 katı alınabileceği kabulü ile $K_1 = 10 \times K_2 = 10 \times 68,23 = 682,3 \text{ t/m}$

$$\text{Akma yerdeğiştirmesi } D_y = Q / (K_1 - K_2) = 11,44 / (9 \times 68,23) = 0,019 \text{ m.}$$

$$\text{Akma mukavemeti } F_y = Q + K_r D_y = 11,44 + 68,23 \times 0,019 = 12,74 \text{ ton}$$

Akma sonrası rijitliğin akma öncesi(elastik) rijitliğe oranı $\alpha = 1/10 = 0,1$ alınmıştır.

5.4.5 Analiz Sonuçları Karşılaştırmaları

Tablo 5.2' den izleneceği üzere, tek serbestlik dereceli sistem için Duhamel Entegraliyle çözüm sonuçları ile SAP2000 nonlineer analizi sonuçları, taban yerdeğiştirmesi ve katlararası göreceli yerdeğiştirme değerleri için çakışır. Taban kesme kuvveti SAP2000 nonlineer analizinde % 17 daha büyük değer vermiştir. Simpson yöntemiyle Duhamel entegralinin çözümü Ek A' da (disket olarak) verilmiştir. Bu sistem için bazı SAP2000 çıktıları ise Ek C olarak verilmiştir. İlk olarak sürtünmeli sarkaç izolatörlere ait çıktılar ve ikinci olarak kurşun – kauçuk izolatörlere ait çıktıların sırası aşağıdadır. Tablo 5.3' te ise izolasyon sistemlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

Ek C' deki grafiklerde, sürtünmeli sarkaç sistemi için oluşturulmuş olan grafikler önce, kurşun kauçuk sistemi için oluşturulmuş olan grafikler ise daha sonra yer almışlardır.

Ek C1	Çubuk elemanların ve düğüm noktalarının numaraları
Ek C2	Nonlineer link elemanlarının numaraları
Ek C3	60 saniyelik Kocaeli Depremi bileşeni ivme kaydı [m/sn^2]

Ek C4	4 numaralı Nllink elemanı yerdeğiştirmesi (izolasyon sistemi veya taban yerdeğiştirmesi)
Ek C5	7 numaralı düğüm noktası görelî yerdeğiştirmesi
Ek C6	8 numaralı düğüm noktası görelî yerdeğiştirmesi
Ek C7	Taban kesme kuvveti
Ek C8	4 numaralı Nllink elemanında kesme kuvveti
Ek C9	4 numaralı Nllink elemanının kuvvet – yerdeğiştirme grafiğı (histeretik eğırisi)
Ek C10	7 numaralı düğüm noktasının ivmesi (sadece sürtünmeli sarkaç için)
Ek C11	8 numaralı düğüm noktasının ivmesi (sadece sürtünmeli sarkaç için)

Tablo 5.2 Karşılaştırma 1

	Duhamel Entegrali	Sap2000 Analizi
İzolatör sisteminin yerdeğiştirmesi [m]	0,463	0,463
Üstyapıda görelî maksimum yerdeğiştirme [m]	0,0036	0,0036
Taban kesme kuvveti [ton]	133	155

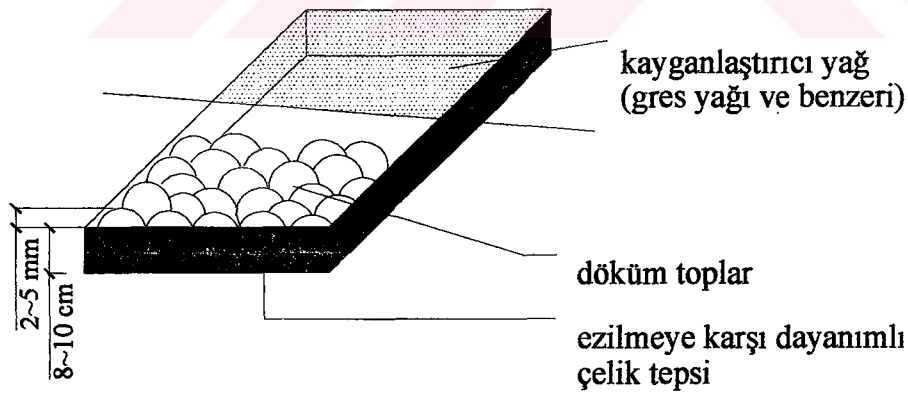
Tablo 5.3 Karşılaştırma 2

	Taban İzolasyon Sistemi (Nonlinear Eleman Tipi)	
	Kurşun - Kauçuk Mesnet (Isolator 1 property)	Sürtünmeli Sarkaç Mesnet (Isolator 2 Property)
izolasyon sistemi yerdeğiştirmesi [m]	0,324	0,463
katlararası görelî yerdeğiştirme [m]	0,0043	0,0036
taban kesme kuvveti [ton]	134	155

6. ANALİTİK UYGULAMA II

6.1 Giriş

Bu bölümde, betonarme çok katlı perdeli – çerçeveli bir sistemin ankastre mesnetli, kurşun – kauçuk mesnetli, sürtünmeli sarkaç mesnetli ve aşağıda açıklanan alternatif sistem kullanılarak SAP2000’ de yapılan analizlerin sonuçları Tablo 6.4 olarak sunulmuştur. Yapı, 1. kat tavanı dişli döşeme, diğer kat tavanları kirişli plak döşeme olan 9 katlı ve her iki doğrultuda da yapı yüksekliği boyunca kalınlığı 20 cm olan



Şekil 6.1 Perspektif iç görünüş

betonarme perdeli büro tipi binadır. 1. kat tavanı kalıp planı ve normal katlar tavan kalıp planları Ek E’ de A3 kağıt formatında yer almışlardır [23]. Nonlineer analizlerde deprem etkisi olarak Tablo 6.1’ de verilen deprem kayıtları bileşen çiftleri kullanılmıştır. Tablo 6.4’ te sunulan zaman tanım alanında nonlineer analiz sonuçları, Bölüm 4’ te ele alınan yönetmelik şartları gereğince, üç adet kayıt

kullanıldığı için okunan tepkilerin en büyük değerleri olarak verilmiştir. Genelde Northridge Depremi Sylmar İstasyon kaydı en elverişsiz tepki değerlerini vermiştir. Kurşun – kauçuk mesnetlerle izole edilmiş binaya ait SAP2000 program çıktıları Ek D’ de verilmiştir.

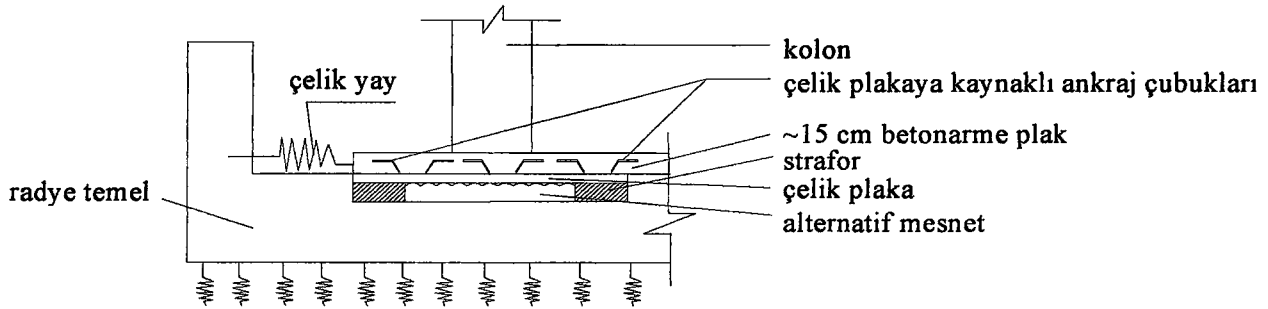
Tablo 6.1 Zaman Tanım Alanında Nonlineer Analiz için Seçilen Deprem Kayıtları

Sıra No	Deprem	Kayıt İstasyonu	Sene	Bileşen	Pga (g)	Maksimum Hız (cm/sn)	Maksimum Yerdeğiştirme (cm)
1	Loma Prieta, CA	Hollister, South and Pine	1989	0 90	0,369 0,178	62,778 30,891	30,176 20,418
2	Landers, CA	Lucerne Valley	1992	L T	0,703 0,665	25,718 68,443	8,824 28,22
3	Northridge, CA	Sylmar, County Hospital Parking Lot	1994	90 360	0,604 0,843	76,936 128,884	15,217 32,55

6.2 Alternatif Kayıcı Sistem

Ülke koşullarına uygun, ekonomik ve uygulaması kolay bir alternatif kayıcı mesnet önerilmiştir. Bu mesnetin, yapılarda uygulanması ancak bazı testlerden sonra mekanik özelliklerinin belirlenmesiyle mümkün olacaktır; fakat bu çalışmada verilen ön görüş ve yapılan analitik hesaplamalar daha sonra mesnetin geliştirilmesinde kaynak olacaktır.

Şekil 6.1’ de gösterilen mesnet, 8~10 cm. çapında döküm toplardan, bu döküm toplar



Şekil 6.2 Kesit

arasında sürtünmeyi azaltıcı kayganlaştırıcı yağ ve bunları taşıyan bir çelik tepside oluşur. Mesnetin yüksekliği top çapına göre ve toplar tepside 2~5 mm. taşacak şekilde belirlenir. Plandaki boyutları ise top sayısına ve üzerindeki kolon kesitine göre belirlenir. Top sayısı, toplar üzerlerindeki kolon yükünü taşıyacak şekilde ezilme tahkiki yapılarak belirlenir. Toplar tepsi içinde aralıksız ve kenarlarda boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Radye temele gömülen mesnetin üstüne, boyutları her iki doğrultuda deprem etkisinde yerin maksimum yerdeğiştirmesine göre belirlenecek çelik plaka yerleştirilir ve bu plakanın üst yapıya ait olan betonarme diyaframa ankrajı sağlanır. Kayganlaştırıcı yağın tepsi içinde homojen dağılımı sağlanmalıdır. Topların kendi aralarında ve tepsi tabanı ve çelik plakayla sürtünmesi sonucu sistemde sönüm elde edilir.

Tepsinin düz bir yüzeye sahip olmasından dolayı, mesnet bir deprem anında yatay yerdeğiştirme yapacak fakat merkeze geri dönemeyecektir. Bu nedenle, mesnetler üzerinde bir betonarme plak (rijit diyafram) oluşturulur ve bu plak dört kenarından radye temel havuzuna, belirli aralıklarla yerleştirilen ve sistemde geri dönüş kuvvetini oluşturacak olan yaylarla bağlanır. Taban izolasyonu seviyesinde mesnetlerin bağlanması, mesnetlerin aynı yer değiştirmeyi yapmalarını sağlayarak yayların aynı oranda kısıp uzamasına ve dolayısıyla ek zorlamaların oluşmamasına olanak verir. Şekil 6.2' de sistemden bir kesit görülmektedir.

6.3 Mesnet Tipleri

Kurşun – kauçuk mesnetler Ek B2 Tablo B2.1' de fiziksel özellikleri verilen Tip B ve Tip C mesnetleridir. Bu iki tip için kurşun çekirdek ve mesnet boyutları aynıdır ve nonlinear analize data oluşturan mekanik özellikleri Bölüm 5' te basit örnek için hesaplanmıştı. Böylece kurşun – kauçuk izolasyon sistemi için sadece bir nonlinear eleman tanımlanmıştır ve kolon ve perde altlarına birer adet olmak üzere toplam 24 adet yerleştirilmiştir.

Tablo 6.2 Seçilen sürtünmeli sarkaçların mekanik özellikleri

İzolatör Tipi	Kolon Adı/Adet	Eksenel Yük	Efektif Rijitlik	Elastik Rijitlik
	A5 / 2	130 ton	58 t/m	1300 t/m
B	B1 / 4	106 ton	48 t/m	1060 t/m
	B2 / 4	192 ton	86 t/m	1920 t/m
	B5 / 2	182 ton	82 t/m	1820 t/m
A	A1' / 4	290 ton	130 t/m	2900 t/m
	A3 / 8	403 ton	180 t/m	4030 t/m

Sürtünmeli sarkaç mesnetler Ek B1 Tablo B1.1' de fiziksel özellikleri verilen Tip B ve Tip C mesnetleridir. Tablo 6.1' de seçilen sürtünmeli sarkaç mesnetlerin mekanik özellikleri verilmiştir. Tüm mesnetlerde sürtünme katsayısı %5 alınmıştır ve izolatörlerin içbükey yüzeylerinin eğrilik yarıçapları 2.23 metredir.

Bu mesnetlere alternatif olarak önerilen mesnetlerde ise efektif rijitlik $K_{eff} = 185 \text{ t/m}$ alınmıştır. Bu değer çelik yaya ait yay katsayısıdır. Kayma öncesi rijitlik değerleri, Tablo 6.1' de sürtünmeli sarkaç mesnetleri için verilenlerle aynıdır. Sürtünme katsayısı olarak ise %15 seçilmiştir ve tüm düşey taşıyıcılar altında aynı tip kullanılmıştır. SAP2000 modellemesinde nonlinear elemanı özelliği olarak bu mesnetlere Isolator 2 Property atanmıştır ve kayıcı yüzey düz olduğu için eğrilik yarıçapı $R = \infty$ girilmiştir.

6.4 Analiz Sonuçları

Her sistem için elde edilen birinci doğal titreşim periyodları Tablo 6.3' de verilmiştir. Ankastre mesnetli ve farklı izolasyon sistemleriyle oluşturulmuş farklı yapı sistemleri için elde edilen SAP2000 nonlinear analiz sonuçları takip eden sayfada Tablo 6.4' te verilmiştir.

Tablo 6.3 Birinci Doğal Titreşim Periyodları

Yapı Sistemi	Periyodlar [sn]
Ankastre mesnetli bina	0,805
Kurşun - kauçuk izolasyon sistemi	3,158
Sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemi	2,667
Alternatif kayıcı sistem	2,603

Tablo 6.4 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kat NO	Taban İzolasyon Sistemi									
	Kursun - Kaucuk Mesnet		Sürtünmeli Sarkaç Mesnet		Alternatif Mesnet		Ankastre Mesnet			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
9	0,0009	0,0002	0,0011	0,0005	0,0007	0,0002	0,0026	0,0016		
8	0,0009	0,0002	0,0011	0,0006	0,0008	0,0003	0,0027	0,0017		
7	0,0008	0,0002	0,0011	0,0007	0,0007	0,0003	0,0028	0,0018		
6	0,0007	0,0003	0,001	0,0009	0,0006	0,0005	0,0029	0,0019		
5	0,0007	0,0004	0,001	0,001	0,0006	0,0007	0,0028	0,0019		
4	0,0008	0,0006	0,0011	0,0013	0,0006	0,001	0,0027	0,0018		
3	0,001	0,0008	0,0013	0,0015	0,0008	0,0012	0,0024	0,0017		
2	0,0013	0,0011	0,0017	0,0018	0,0011	0,0016	0,0019	0,001		
1	0,0018	0,0013	0,0022	0,002	0,0015	0,0019	0,001	0,0008		
9	6,93	8,953	7,575	6,595	8,298	10,57	4,33	8,744		
8	6,931	8,927	7,288	6,628	7,746	10,16	3,57	7,507		
7	6,935	8,901	6,994	6,663	7,18	9,738	2,924	6,346		
6	6,945	8,87	6,715	6,701	6,635	9,287	2,775	5,374		
5	6,963	8,84	6,465	6,738	6,141	8,8	2,425	4,408		
4	6,984	8,809	6,247	6,771	5,709	8,291	1,915	3,507		
3	6,999	8,769	6,056	6,794	5,34	7,776	1,316	2,568		
2	6,997	8,718	5,876	6,805	5,015	7,561	0,798	1,597		
1	6,97	8,656	5,69	6,799	4,711	7,586	0,369	0,716		
Taban	6,894	8,556	5,404	6,769	4,281	7,594	0	0		
	299	353	412	868	311	394	1376	2404		

* Ankastre mesnetli çözüm sonuçları davranış katsayısı R = 4 için elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **“Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik,”** (1998),
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- [2] Akçay, S. (1995), **“Esnek – Sürtünmeli Temel Ayırıcılı Sistemin Deprem Etkisindeki Davranışı,”** Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi
- [3] Al – Hussaini, T. M., Zayas, V.A., Constantinou, M.C. (1994), **“Seismic Isolation of a Multi - Story Frame Structure Using Spherical Sliding Isolation Systems,”** Technical Report NCEER – 94 – 0007, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- [4] Computers and Structures, Inc. (1998), **SAP2000 Analysis Reference**, Version 7.0 Berkeley, CA.
- [5] **“DIS, Inc., Seismic Isolation Catalogue”**
- [6] **“Friction Pendulum Seismic Isolation,”** (2000), Earthquake Protection Systems, Inc. CA.
- [7] Gündüz, A.N. (1998), **“Yapı Dinamiği Ders Notları,”** İstanbul Teknik Üniversitesi
- [8] Highway Innovative Technology Evaluation Center (HITEC) (1998), **“Evaluation Findings for Dynamic Isolation Systems, Inc. Elastomeric Bearings,”** Technical Evaluation Report
- [9] Highway Innovative Technology Evaluation Center (HITEC) (1998), **“Evaluation Findings for Earthquake Protection Systems, Inc. Friction Pendulum Bearings,”** Technical Evaluation Report
- [10] Highway Innovative Technology Evaluation Center (HITEC) (1998), **“Evaluation Findings for Scougal Rubber Corporation High Damping Rubber Bearings,”** Technical Evaluation Report
- [11] Highway Innovative Technology Evaluation Center (HITEC) (1998), **“Evaluation**

Findings for Skellerup Base Isolation Elastomeric Bearings,”
Technical Evaluation Report

- [12] International Conference of Building Officials (1997), **“Earthquake Regulations for Seismic - Isolated Structures,”** Uniform Building Code, Appendix Chapter 16, Whittier, CA.
- [13] International Conference of Building Officials (2000), **“Seismically Isolated Structures,”** International Building Code, Section 1623, Whittier, CA.
- [14] Mokha, A.S., Amin, N., Constantinou, M.C., Zayas, V. (1996), **“Seismic Isolation Retrofit of Large Historic Building,”** Journal of Structural Engineering, Vol.122, No.3
- [15] Mokha, A.S., Constantinou, M.C., Reinhorn, A.M. (1993), **“Verification of Friction Model of Teflon Bearings under Triaxial Load,”** Journal of Structural Engineering, Vol.119, No.1
- [16] Naeim, F., Kelly, J.M. (1999), **“Design of Seismic Isolated Structures – From Theory to Practice,”** John Willey and Sons, Inc.
- [17] Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M., Constantinou, M.C. (1991), **“3D – BASIS _ Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Structures : PART II,”** Technical Report NCEER – 91 – 0005, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- [18] **“Oiles Corporation” General Catalogue of Earthquake Isolation and Vibration Damping**
- [19] Ohsaki, Y. (1991), **“Deprem Dalgasının Spektral Analizine Giriş,”** (çeviren : Muzaffer İpek), TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
- [20] Park, Y.J., Wen, Y.K., Ang, A.H.S. (1986), **“Random Vibration of Hysteretic Systems under Bi – Directional Ground Motions,”** Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 14.
- [21] **“The Seismic Design Handbook,”** (1989), edited by Farzad Naeim, Van Nostrand Reinhold, NY.
- [22] TS 498 (1987), **“Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri,”** Türk Standardları Enstitüsü, Ankara

[23] TS 500 (2000), “**Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları,**” Türk
Standartları Enstitüsü, Ankara

[24] Ünal, Ö. (1998), “**Betonarme Çokkatlı Yapı,**” Lisans Bitirme Projesi, İstanbul
Teknik Üniversitesi



EKLER



EK A

**DUHAMEL ENTEGRALİ ÇÖZÜMÜ
(ARKA KAPAKTAKİ DİSKET)**



EK B

MESNET TİPLERİ VE TEST SONUÇLARI



EK B1

**“EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS, INC.” FRICTION PENDULUM
BEARINGS**



Tablo B1.1 "EPS" SÜRTÜNMELİ SARKAÇ MESNETLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

MESNET TİPİ	TASARIM BASINÇ YÜKÜ (DCL) (ton)	TASARIM YERDEĞİŞTİRMESİ (DD) (cm)	KÜÇÜK YERDEĞİŞTİRMELER SINIRI (cm)	AĞIRLIK (kg)	YÜKSEKLİK (cm)	PLAN BOYUTU (cm)
A TİPİ	67,95	15,24	5,08 (+/- 2,54)	2083,8	27,94	139,7*139,7
B TİPİ	226,5	22,86	7,62 (+/- 3,81)	2083,8	27,94	139,7*139,7
C TİPİ	339,75	30,48	10,16 (+/- 5,08)	2446,2	27,94	152,4*152,4

Tablo B1.2 MESNETLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİNİN YÜK SEVİYESİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ

MESNET TİPİ	DÜŞEY YÜK	RIJİTLİK, K _{eff} (t/cm)	SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)	BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU, EDC (tcm)
A TİPİ	% 100 DCL	0,59	45,6	378,4
	% 70 DCL	0,23	91,3	298,6
	% 40 DCL	0,25	53,2	187,4
B TİPİ	% 100 DCL	1,27	27,6	1096,9
	% 70 DCL	0,78	38,4	945,3
	% 40 DCL	0,62	34,7	694,9
C TİPİ	% 100 DCL	1,93	25,4	2716,6
	% 70 DCL	1,41	28,2	2204,6
	% 40 DCL	0,84	31,3	1479,7

Bu değerler, tasarım yerdeğiştirmesindeki 2 sn. periyodlu çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test sonuçlarıdır.

Tablo B1.3 MESNETLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİNİN PERİYODA BAĞLI DEĞİŞİMİ

MESNET TİPİ	PERİYOD (saniye)				
	20,0	5,0	2,0	1,0	0,5*
	RİJİTLİK (t/cm)				
A TİPİ	0,5	0,57	0,59	0,61	1,05
B TİPİ	1,36	1,28	1,27	1,14	2,21
C TİPİ	1,98	1,91	1,93	1,53	3,03
	SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)				
A TİPİ	49,7	45,7	45,6	42,9	51,5
B TİPİ	29,8	27,4	27,6	28,7	30,6
C TİPİ	25	24,7	25,4	31,5	32,8
	BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU (tcm)				
A TİPİ	361,9	368,3	378,4	367,2	197,6
B TİPİ	1294,4	1130,6	1096,9	1005,5	554,7
C TİPİ	2793,7	2613,1	2716,6	2454,3	1218,5

Bu değerler, tasarım basınç yükü altında ve tasarım yerdeğiştirmesindeki çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test sonuçlarıdır.

* tasarım yerdeğiştirmesinin yarısı için elde edilmiştir.

Tablo B1.4 MESNETLERİN LİMİT DAVRANIŞI

MESNET TİPİ	TASARIM YERDEĞİŞTİRMESİ (DD) (cm)	SINIR YERDEĞİŞTİRMESİ (FD) (cm)	GÜVENLİK ORANI (FD/DD)
A TİPİ	15,24	50,8	3,28
B TİPİ	22,86	50,8	2,22
C TİPİ	30,48	50,8	1,67

Sınır yerdeğiştirmeleri, mafsallı kayıcının fiziksel limitine ulaştığı değer olarak elde edilmiştir.

Tablo B1.5 MESNETLERİN PERFORMANSLARININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

MESNET TİPİ	EFEKTİF RİJİTLİK (t/cm)		EŞDEĞER SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)		BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU, EDC (tcm)	
	TASARIM	GERÇEK	TASARIM	GERÇEK	TASARIM	GERÇEK
A TİPİ	0,7	0,59	36,2	45,6	372,8	378,4
B TİPİ	1,61	1,27	23,6	27,6	1242,7	1096,9
C TİPİ	2,25	1,93	20,6	25,4	2692,5	2716,6

Gerçek değerler, tasarım basınç yükü altında ve 2 sn. periyodundaki çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunmuş olan test değerleridir.

PERİYOD (sn)	RİJİTLİK (t/cm)		SÖNÜM (kritik sönümün %)		ENERJİ YUTUMU (tcm)	
	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra
20,0	1,30	1,30	30,2	25,7	1262,2	1073,8
5,0	1,37	1,25	27,1	26	1166,7	1019
1,0	1,36	1,28	25,4	27,3	1055	1075,3
0,5*	1,93	1,78	34	34,1	538,1	499,7

Tablodaki 'önce' şunu ifade eder : 226,5 ton tasarım basınç yüklü B tipi mesneti için; 10 sn. periyodlu (yüksek frekanslı) servis yüklemelerinin (sıcaklık ve hareketli yük etkileri - diğer anlamda Tablo 1.1' deki küçük yerdeştirmeler sınırını oluşturan yük etkileri) 10000 adet döngü sonrasında oluşturduğu yorulma etkileri ve Amerikan Standardı ASTM B117 şartlarının öngördüğü 1000 saat tuz spreyi odasında hızlandırılmış çevresel etkiye maruz bırakılması durumlarından önce mesnetin hemen imalat sonrası mekanik karakteristikleridir.

Tablodaki 'sonra' ise, bu etkilerden sonra mesnetin sismik performansının (mekanik karakteristiklerinin) değişimini göstermektedir.

* Bu satırdaki değerler tasarım yerdeştirmesinin yarısı için elde edilmiştir.

Tablo B1.7 SICAK VE SOĞUK ORTAMDA DİNAMİK PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ

PERFORMANS PARAMETRELERİ	SOĞUKTA		NORMAL ŞARTLARDA		SICAKTA	
	22 saat @ -22 Cderece		21 Cderece		24 saat @ 48 Cderece	
RİJİTLİK (t/cm)	1,41 (%1)		1,39		1,27 (-%9)	
SÖNÜM (krit. sönüm%)	23,9 (-%6)		25,5		22,9 (-%10)	
ENERJİ YUTUMU (tcm)	1201,2(+%-8)		1114,7		1055,1 (-%5)	

Parantez içindeki değerler % olarak normal şartlardan sapmaları işaret eder.

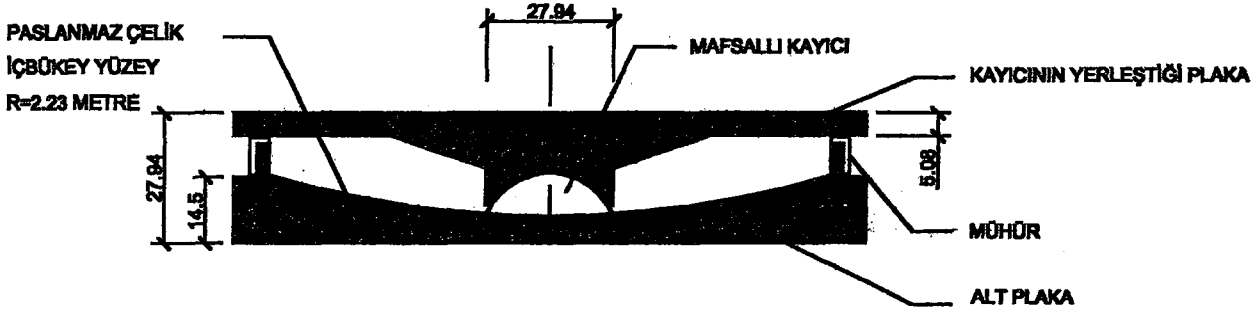
Tablo B1.8 DAYANIKLILIK

MESNET TİPİ	F1 (ton)	F5 (ton)	F10 (ton)	F15 (ton)	F20 (ton)
A TİPİ	10,9 (14,5)*	8,2	7,7	7,7	7,7
B TİPİ	36,7 (32,6)*	29,9	29,9	30,4	32,6
C TİPİ **	68,0 (48,1)*	59,8	-	-	-
**	-	68,0 (48,1)*F6	58,9	58	56,2

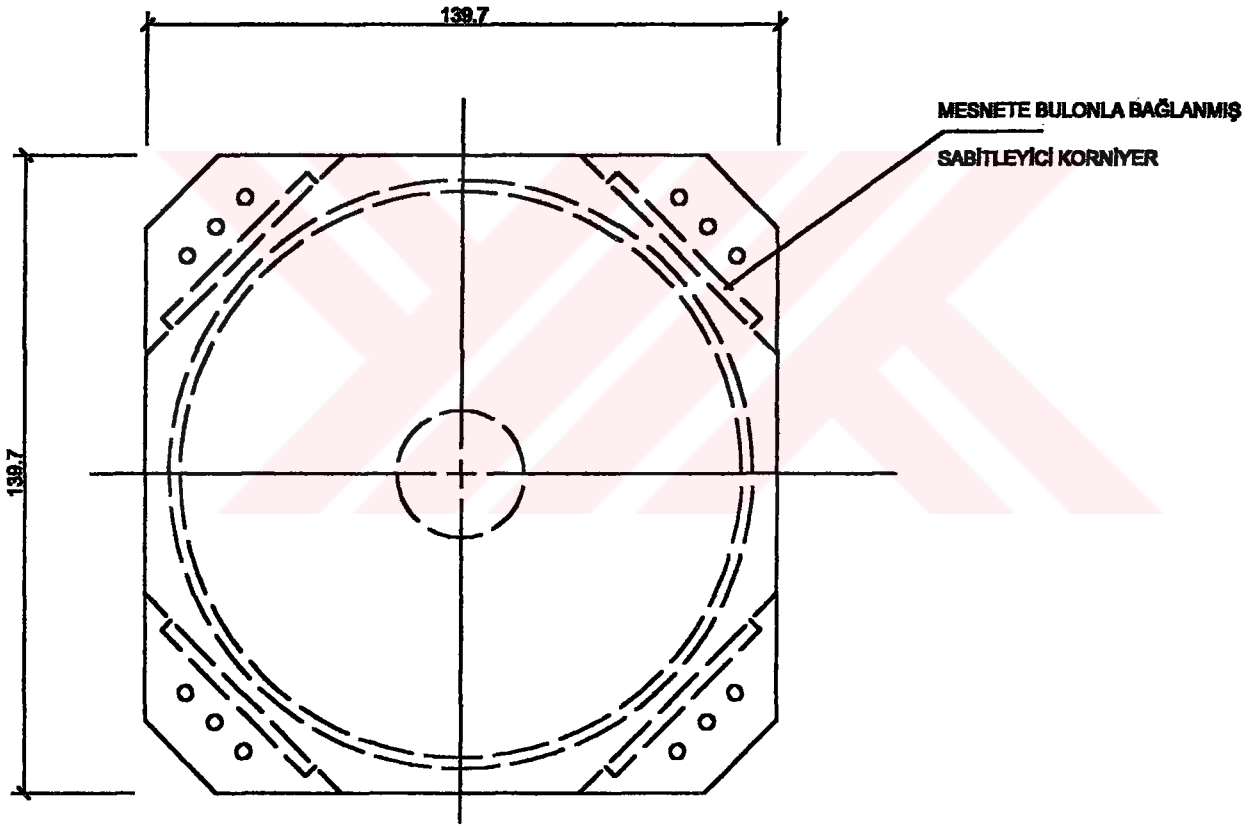
* Parantez içindeki değerler EPS izolatörlerinin ilk yüklemelerinde, statik sürtünmeyi yenmek için uygulanan kuvvetlerdir.

** Bu mesnet için 5 döngü ve 15 döngü olmak üzere iki ayrı yükleme yapılmıştır.

Fi = i. döngüdeki en büyük yatay kuvvet

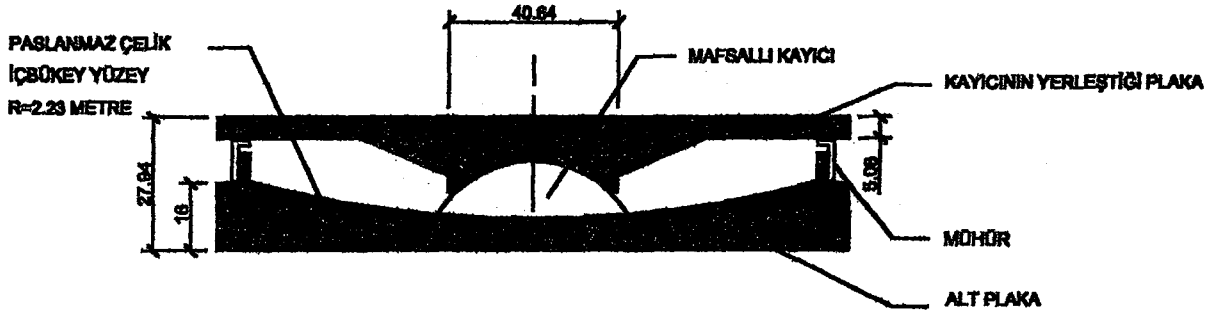


KESİT

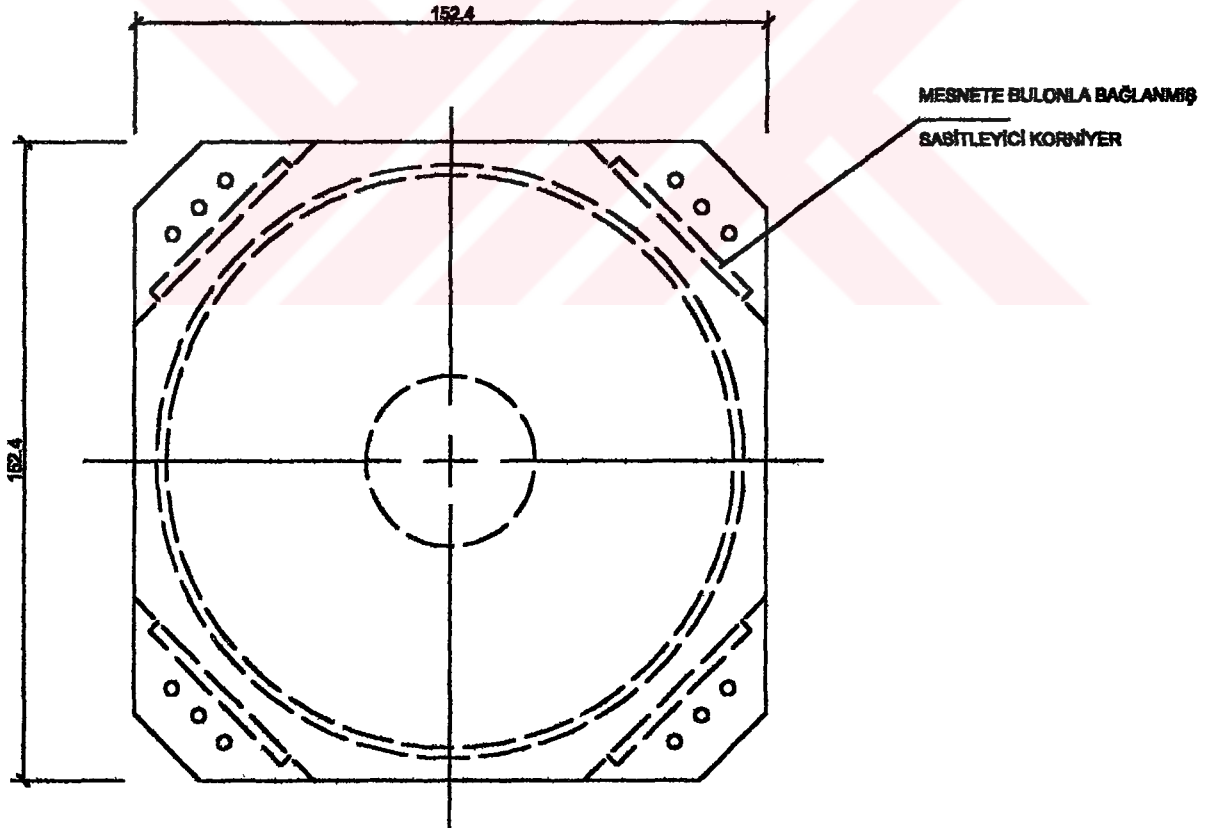


PLAN GÖRÜNÜŞÜ

EPS SÜRTÜNMELİ SARKAÇ MESNET [A VE B TİPİ]



KESİT



PLAN GÖRÜNÜŞÜ

EPS SÜRTÜNMELİ SARKAÇ MESNET [C TİPİ]

EK B2

“DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS, INC.” ELASTOMERIC BEARINGS



Tablo B2.1 DİS KURŞUN - KAUÇUK MESNETLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

MESNET TİPİ	TASARIM BASINÇ YÜKÜ (DCL) (ton)	TASARIM YERDEĞİŞTİRMESİ (DD) (cm)	KUÇUK YERDEĞİŞTİRMELER SINIRI (cm)	AĞIRLIK (kg)	YÜKSEKLİK (cm)	PLAN BOYUTU (cm)
A TİPİ	67,95	15,24	5,08 (+/- 2,54)	434,88	21,01	57,15
B TİPİ	226,5	22,86	7,62 (+/- 3,81)	849,38	35,93	74,93
C TİPİ	339,75	30,48	10,16 (+/- 5,08)	849,38	35,93	74,93

Tablo B2.2 MESNETLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİNİN YÜK SEVİYESİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ

MESNET TİPİ	DÜŞEY YÜK	RUJİTLİK, Keff (t/cm)	SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)	BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU, EDC (tcm)
A TİPİ	% 100 DCL	1,39	17,7	347,14
	% 70 DCL	1,44	16,8	341,62
	% 40 DCL	1,46	16,3	337,13
B TİPİ	% 100 DCL	1,98	16,3	990,45
	% 70 DCL	2,03	15,3	955,7
	% 40 DCL	2,07	14,7	953,4
C TİPİ	% 100 DCL	1,55	17	1465,89
	% 70 DCL	1,62	15,6	1408,36
	% 40 DCL	1,69	15,1	1417,56

Bu değerler, tasarım yerdeğiştirmesindeki 2 sn. periyodlu çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test sonuçlarıdır.

Tablo B2.3 MESNETLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİNİN PERİYODA BAĞLI DEĞİŞİMİ

MESNET TİPİ	PERİYOD (saniye)				
	20,0	5,0	2,0	1,0	0,5*
RİJİTLİK (t/cm)					
A TİPİ	1,39	1,36	1,39	1,55	1,84
B TİPİ	1,68	1,82	1,98	1,94	2,71
C TİPİ	1,43	1,46	1,55	1,8	2,6
SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)					
A TİPİ	18,4	19,2	17,7	17,5	14,7
B TİPİ	17,4	16,5	16,3	16,9	14,9
C TİPİ	18,5	17,8	17	16,3	13,4
BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU (tcm)					
A TİPİ	361,52	366,47	347,14	370,96	88,02
B TİPİ	915,2	943,51	990,45	1010,01	332,07
C TİPİ	1485,45	1464,74	1465,89	1547,58	460,36

Bu değerler, tasarım basınç yükü altında ve tasarım yerdeğiştirmesindeki çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test sonuçlarıdır.

* tasarım yerdeğiştirmesinin yarısı için elde edilmiştir.

Tablo B2.4 MESNETLERİN LİMİT DAVRANIŞI

MESNET TİPİ	TASARIM YERDEĞİŞTİRMESİ (DD) (cm)	SINIR YERDEĞİŞTİRMESİ (FD) (cm)	GÜVENLİK ORANI (FD/DD)
A TİPİ	15,24	50,8	3,33
B TİPİ	22,86	>55,88	>2,44
C TİPİ	30,48	*	*

* C Tipi mesnetin yerdeğiştirme kapasitesi test ekipmanının oluşturabileceği limit yerdeğiştirmeden büyüktür.

Tablo B2.5 MESNETLERİN PERFORMANSLARININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

MESNET TİPİ	EFEKTİF RİJİTLİK (t/cm)		EŞDEĞER SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)		BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU, EDC (tcm)	
	TASARIM	GERÇEK	TASARIM	GERÇEK	TASARIM	GERÇEK
A TİPİ	1,27	1,39	16,9	17,7	312,97	347,14
B TİPİ	1,66	1,98	14	16,3	762,86	990,45
C TİPİ	1,57	1,55	11,3	17	1028,65	1465,89

Gerçek değerler, tasarım basınç yükü altında ve 2 sn. periyodundaki çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunmuş olan test değerleridir.

Tablo B2.6 MESNETLERİN YORULMA VE ÇEVRESEL ETKİLER DİKKATE ALINARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

PERİYOD (sn)	RİJİTLİK (t/cm)		SÖNÜM (kritik sönümün %)		ENERJİ YUTUMU (tcm)	
	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra
20,0	1,64	1,53	17,7	19,6	933,7	967,7
5,0	1,82	1,61	18,3	18,8	1042,2	948
1,0	1,94	1,69	17,3	17,5	1031,5	909,8
0,5*	2,57	2,44	14,8	17,5	298,1	335,8

Tablodaki 'önce' şunu ifade eder : 226,5 ton tasarım basınç yüklü B tipi mesneti için; 10 sn. periyodlu (yüksek frekanslı) servis yüklemelerinin (sıcaklık ve hareketli yük etkileri - diğer anlamda Tablo 1.1' deki küçük yerdeştirmeler sınırını oluşturan yük etkileri) 10000 adet döngü sonrasında oluşturduğu yorulma etkileri ve Amerikan Standardı ASTM B117 şartlarının öngördüğü 1000 saat tuz spreyi odasında hızlandırılmış çevresel etkiye maruz bırakılması durumlarından önce mesnetin hemen imalat sonrası mekanik karakteristikleridir.

Tablodaki 'sonra' ise, bu etkilerden sonra mesnetin sismik performansının (mekanik karakteristiklerinin) değişimini göstermektedir.

* Bu satırdaki değerler tasarım yerdeştirmesinin yansı için elde edilmiştir.

Tablo B2.7 SICAK VE SOĞUK ORTAMDA DİNAMİK PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ

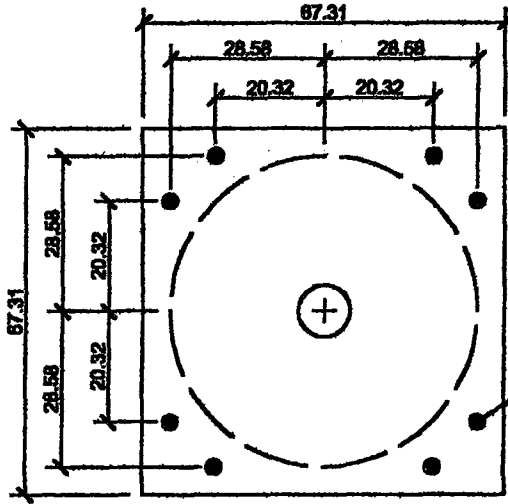
PERFORMANS PARAMETRELERİ	SOĞUKTA 48 saat @ -8 Cderece		NORMAL ŞARTLARDA 21 Cderece		SICAKTA 30 saat @ 48Cderece	
RİJİTLİK (t/cm)	2,57 (%23)		2,09		1,91 (-%9)	
SÖNÜM (krit.sönüm%)	22,6 (-%43)		15,8		14,2 (-%10)	
ENERJİ YUTUMU (tcm)	1731,7 (+%72)		1038		852,7 (-%18)	

Parantez içindeki değerler % olarak normal şartlardan sapmaları işaret eder.

Tablo B2.8 DAYANIKLILIK

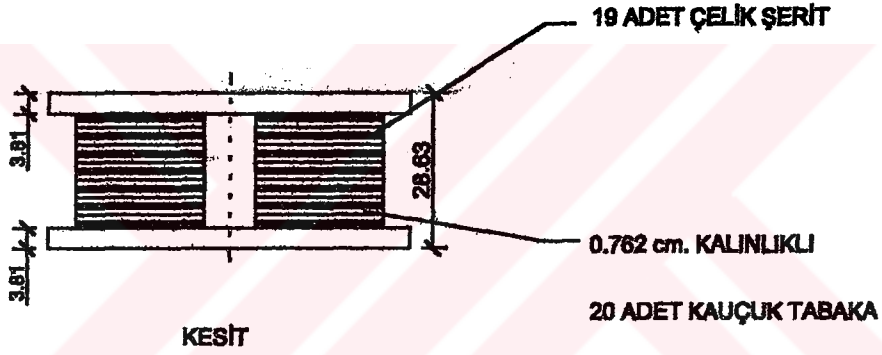
MESNET TİPİ	F1 (ton)	F5 (ton)	F10 (ton)	F15 (ton)	F20 (ton)
A TİPİ	22,7	20,8	19	17,7	17,2
B TİPİ	45,3	40,3	37,6	36,2	35,3
C TİPİ *	52,1	43,5	-	-	-
*	-	51,2	43,1	39,4	37,6

* Bu mesnet için 5 döngü ve 15 döngü olmak üzere iki ayrı yükleme yapılmıştır.
F_i = i. döngüdeki en büyük yatay kuvvet

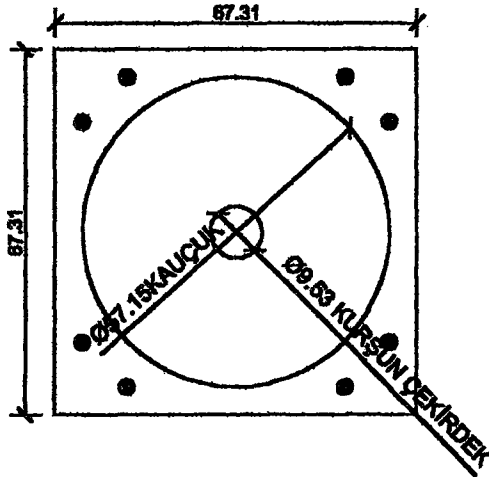


ALT ve ÜST ÇELİK PLAKALARDA
2.70 cm. ÇAPINDA 8 ADET DELİK

ÜST GÖRÜNÜŞ

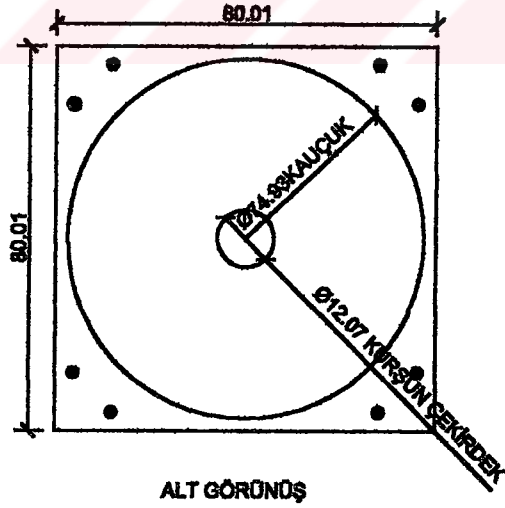
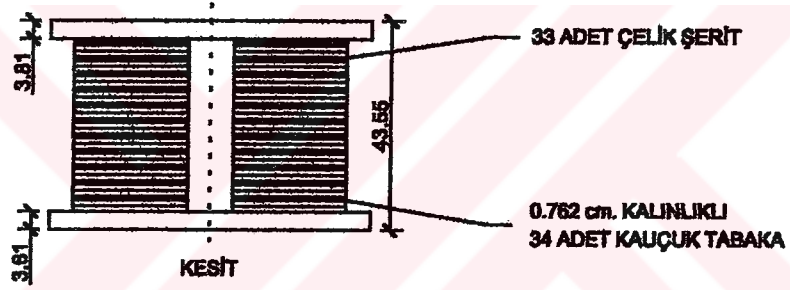
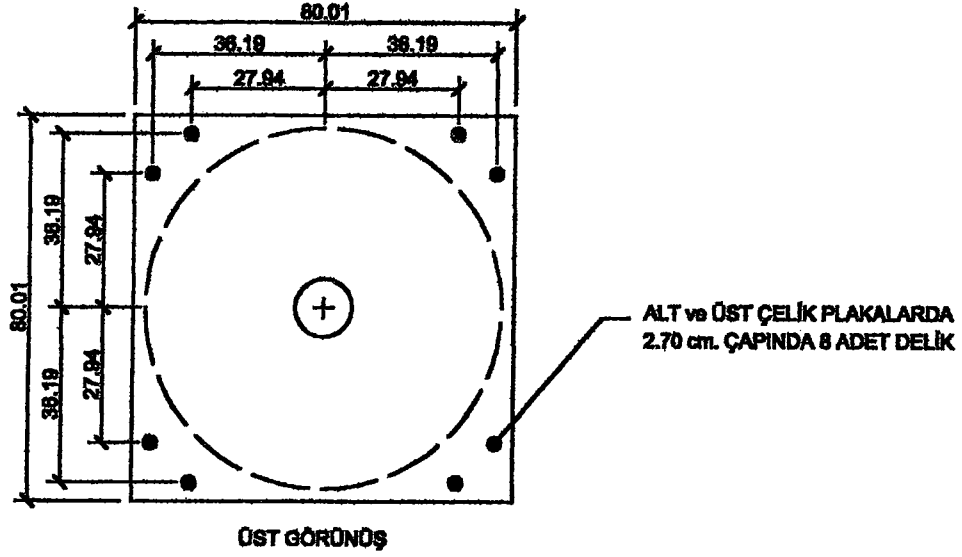


KESİT



ALT GÖRÜNÜŞ

DIS KURŞUN - KAUÇUK MESNET [A TİPİ]



DİS KURŞUN - KAÜÇÜK MESNET [B VE C TİPİ]

EK B3

**“SCOUGAL RUBBER CORPORATION” HIGH DAMPING RUBBER
BEARINGS**



Tablo B3.1 SCOU GAL YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAÜÇÜK MESNETLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

MESNET TİPİ	TASARIM BASINÇ YÜKÜ (DCL) (ton)	TASARIM YERDEĞİŞTİRMESİ (DD) (cm)	KUÇUK YERDEĞİŞTİRMELER SINIRI (cm)	AGIRLIK (kg)	YÜKSEKLİK (cm)	PLAN BOYUTU (cm)
A TİPİ	67,95	15,24	5,08 (+/- 2,54)	348,5	27,94	40,84
B TİPİ	228,5	22,86	7,62 (+/- 3,81)	634,2	37,46	66,04
C TİPİ	339,75	30,48	10,16 (+/- 5,08)	1359	46,99	91,44

Tablo B3.2 MESNETLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİNİN YÜK SEVİYESİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ

MESNET TİPİ	DÜŞEY YÜK	RÜJÜTLÜK, Keff (t/cm)	SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)	BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU, EDC (tcm)
A TİPİ	% 100 DCL	0,52	11,9	86,6
	% 70 DCL	0,52	11,6	84,3
	% 40 DCL	0,57	10,1	81,7
B TİPİ	% 100 DCL	0,84	12,6	337,9
	% 70 DCL	0,86	11,8	341,6
	% 40 DCL	0,93	10,9	324,2
C TİPİ	% 100 DCL	1,5	10,9	908,1
	% 70 DCL	1,53	10,4	885,9
	% 40 DCL	1,59	9,9	868

Bu değerler, tasarım yerdeğıştirmesindeki 2 sn. periyodlu çevrimsel yatay yüklemlerin ikinci çevrimi için okunan test sonuçlarıdır.

Tablo B3.3 MESNETLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİNİN PERİYODA BAĞLI DEĞİŞİMİ

MESNET TİPİ	PERİYOD (saniye)				
	20,0	5,0	2,0	1,0	0,5*
	RİJİTLİK (t/cm)				
A TİPİ	0,45	0,46	0,52	0,48	0,73
B TİPİ	0,78	0,77	0,84	0,86	1,23
C TİPİ	1,41	1,39	1,5	1,64	2,37
	SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)				
A TİPİ	10,8	12	11,9	13,4	9,2
B TİPİ	12,7	13,3	12,6	13,6	10,7
C TİPİ	10,8	11,3	10,9	10,4	8,9
	BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU (tcm)				
A TİPİ	67,8	78,2	86,6	87,8	26,1
B TİPİ	319,5	327,6	337,9	365,7	113,3
C TİPİ	856,3	886,9	908,1	917,6	288,1

Bu değerler, tasarım basınç yükü altında ve tasarım yerdeğiştirmesindeki çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test sonuçlarıdır.

* tasarım yerdeğiştirmesinin yarısı için elde edilmiştir.

Tablo B3.4 MESNETLERİN LİMİT DAVRANIŞI

MESNET TİPİ	TASARIM YERDEĞİŞTİRMESİ (DD) (cm)	SINIR YERDEĞİŞTİRMESİ (FD) (cm)	GÜVENLİK ORANI (FD/DD)
A TİPİ	15,24	26,9	1,76
B TİPİ	22,86	>55,9	>2,44
C TİPİ	30,48	*	*

* C Tipi mesnetin yerdeğiştirme kapasitesi test ekipmanının oluşturabileceği limit yerdeğiştirmeden büyüktür.

Tablo B3.5 MESNETLERİN PERFORMANSLARININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

MESNET TİPİ	EFEKTİF RİJİTLİK (t/cm)		EŞDEĞER SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)		BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU, EDC (tcm)	
	TASARIM	GERÇEK	TASARIM	GERÇEK	TASARIM	GERÇEK
A TİPİ	0,61	0,52	16	11,9	141,5	86,6
B TİPİ	0,98	0,84	16	12,6	515,5	337,9
C TİPİ	1,34	1,5	16	10,9	1249,6	908,1

Gerçek değerler, tasarım basınç yükü altında ve 2 sn. periyodundaki çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunmuş olan test değerleridir.

Tablo B3.6 MESNETLERİN YORULMA VE ÇEVRESEL ETKİLER DİKKATE ALINARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

PERİYOD (sn)	RİJİTLİK (t/cm)		SÖNÜM (kritik sönümün %)		ENERJİ YUTUMU (ton)	
	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra
20,0	0,86	0,91	12,2	11,8	336	344,3
5,0	0,91	0,96	11,9	11,4	347,5	353,1
1,0	1,02	1,05	11,8	11,5	377,2	369,8
0,5*	1,43	1,46	10,5	10,4	123	124,3

Tablodaki 'önce' şunu ifade eder : 226,5 ton tasarım basınç yüklü B tipi mesneti için; 10 sn. periyodu (yüksek frekanslı) servis yüklemelerinin (sıcaklık ve hareketli yük etkileri - diğer anlamda Tablo 1.1' deki küçük yerdeştirmeler sınırını oluşturan yük etkileri) 10000 adet döngü sonrasında oluşturduğu yorulma etkileri ve Amerikan Standardı ASTM B117 şartlarının öngördüğü 1000 saat tuz spreyi odasında hızlandırılmış çevresel etkiye maruz bırakılması durumlarından önce mesnetin hemen imalat sonrası mekanik karakteristikleridir.

Tablodaki 'sonra' ise, bu etkilere sonra mesnetin sismik performansının (mekanik karakteristiklerinin) değişimini göstermektedir.

* Bu satırdaki değerler tasarım yerdeştirmesinin yansı için elde edilmiştir.

Tablo B3.7 SICAK VE SOĞUK ORTAMDA DİNAMİK PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ

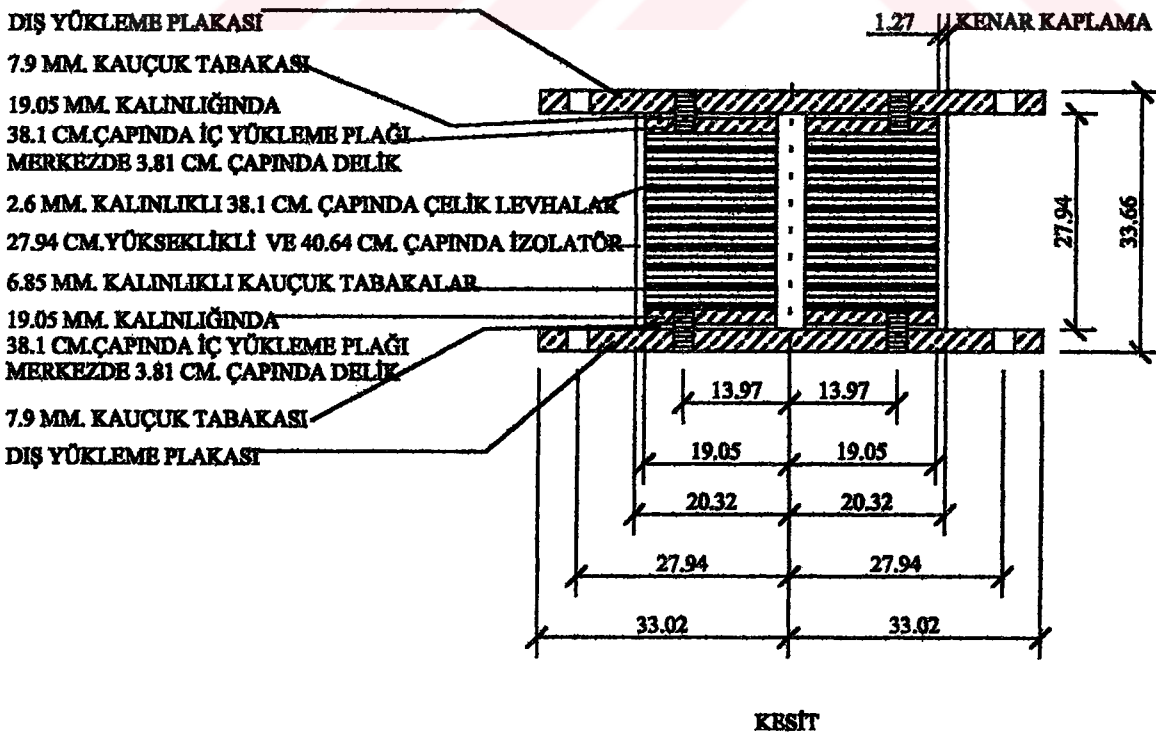
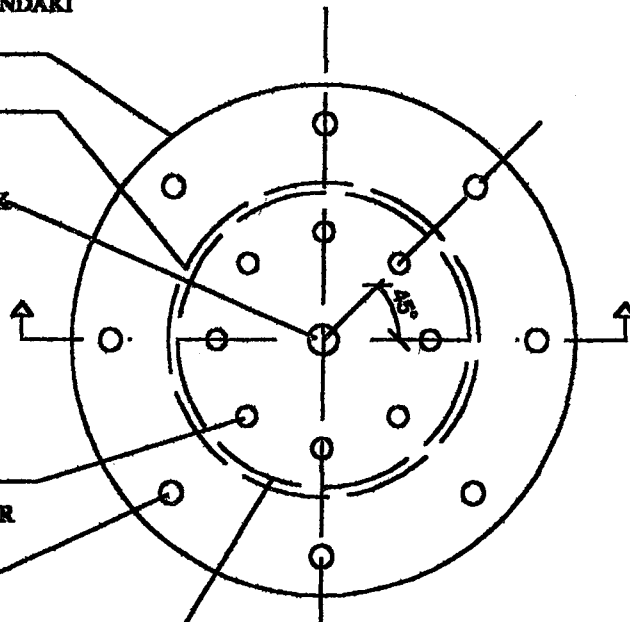
PERFORMANS PARAMETRELERİ	SOĞUKTA		NORMAL ŞARTLARDA		SICAKTA	
	95 saat @ -22 Cderece	*	21 Cderece	29 saat @ 48 Cderece	0,80 (-%9)	11,9 (-%8)
RİJİTLİK (t/cm)			0,87			
SÖNÜM (krit.sönüm%)		*	12,9			
ENERJİ YUTUMU (tcm)		*	352,8			

* Soğukta, mesnetin rijitiğindeki ani artma nedeniyle tasarım yerdeştirmesine ulaşılmasından önce yük kapasitesine ulaşılmıştır. Parantez içindeki değerler % olarak normal şartlardan sapmaları işaret eder.

Tablo B3.8 DAYANIKLILIK

MESNET TİPİ	F1 (ton)	F5 (ton)	F10 (ton)	F15 (ton)	F20 (ton)
A TİPİ	10	8,6	8,2	8,2	8,2
B TİPİ	21,7	19,9	19	18,6	18,6
C TİPİ *	52,1	47,6	-	-	-
*	-	50,7	47,1	46,2	45,3

* Bu mesnet için 5 döngü ve 15 döngü olmak üzere iki ayrı yükleme yapılmıştır.
Fi = i. döngüdeki en büyük yatay kuvvet



2.86 CM. KALINLIKLİ 91.44 CM. ÇAPINDAKİ
DIŞ YÜKLEME FLAKASI

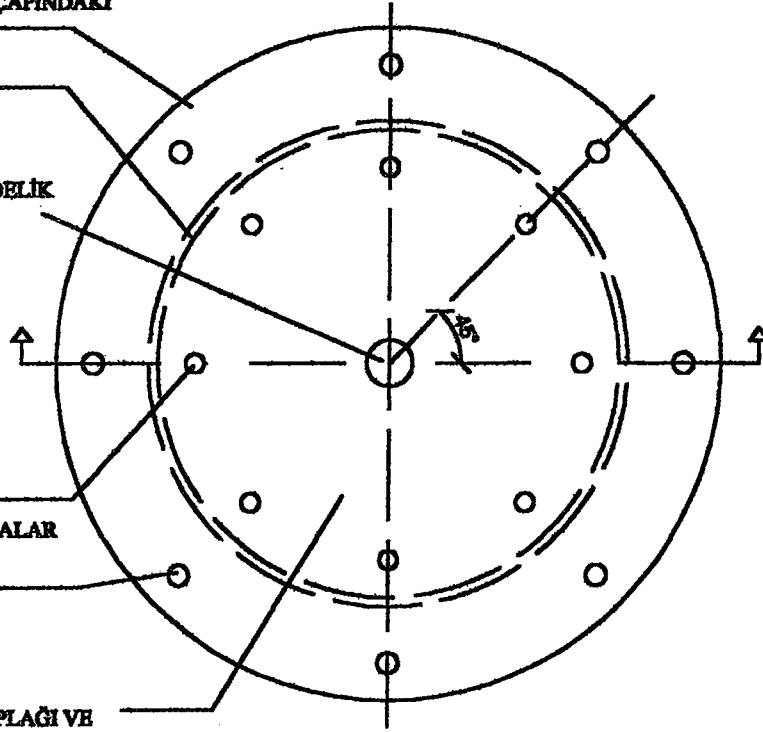
37.46 CM. YÜKSEKLİKLİ VE
66.04 CM. ÇAPINDA İZOLATÖR

MERKEZDE 6.35 CM. ÇAPINDA DELİK

ALTTA VE ÜSTTE
2.54 CM. ÇAPINDA İRİBAŞLI VİDALAR

ALTTA VE ÜSTTE
2.86 CM. ÇAPINDA DELİKLER

19.05 MM. KALINLIĞINDA
63.5 CM. ÇAPINDA İÇ YÜKLEME PLAĞI VE
2.6 MM. KALINLIKLİ 63.5 CM. ÇAPINDA ÇELİK LEVHALAR



PLAN

YÜKLEME FLAKASI

M. KAÜÇUK TABAKASI

MM. KALINLIĞINDA
M. ÇAPINDA İÇ YÜKLEME PLAĞI
MERKEZDE 6.35 CM. ÇAPINDA DELİK

M. KALINLIKLİ 63.5 CM. ÇAPINDA ÇELİK LEVHALAR
(DET)

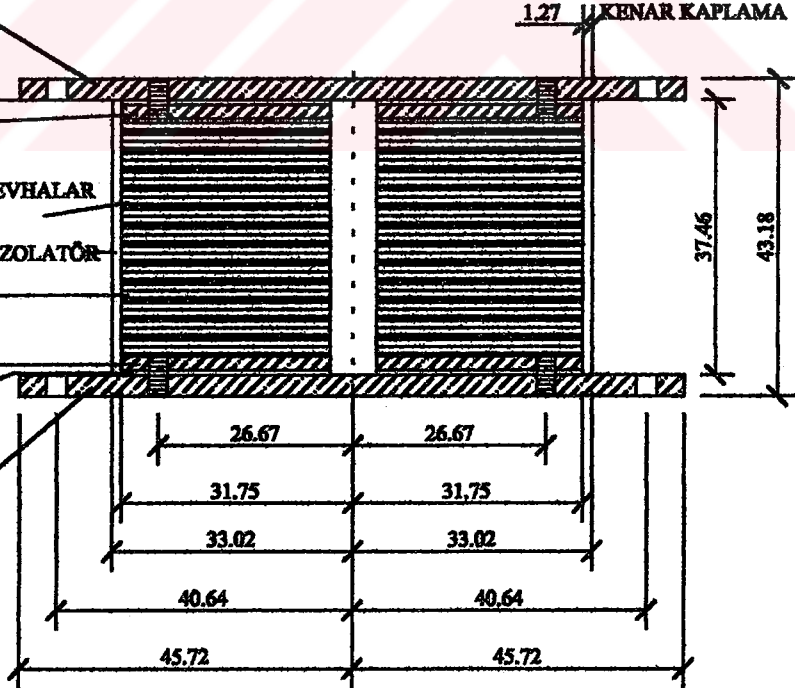
CM. YÜKSEKLİKLİ VE 66.04 CM. ÇAPINDA İZOLATÖR

MM. KALINLIKLİ KAÜÇUK TABAKALAR
(DET)

MM. KALINLIĞINDA
M. ÇAPINDA İÇ YÜKLEME PLAĞI
MERKEZDE 6.35 CM. ÇAPINDA DELİK

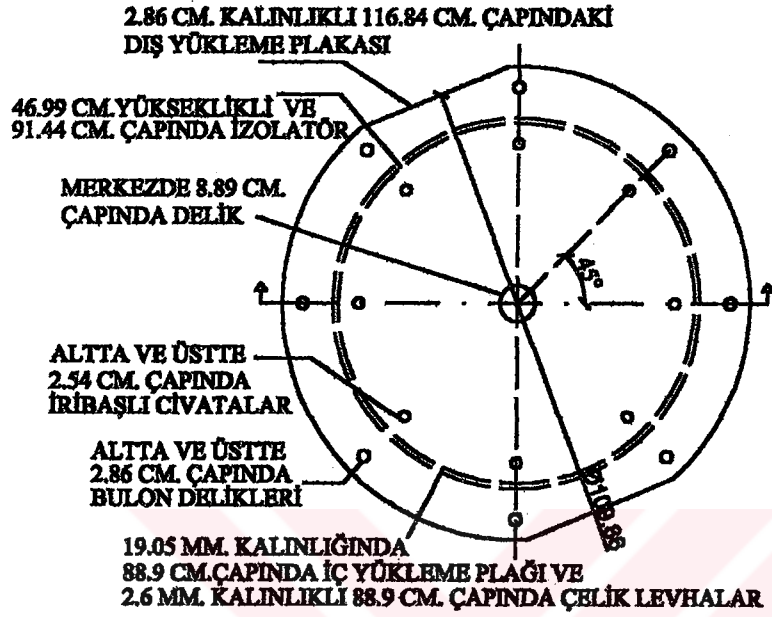
M. KAÜÇUK TABAKASI

YÜKLEME FLAKASI

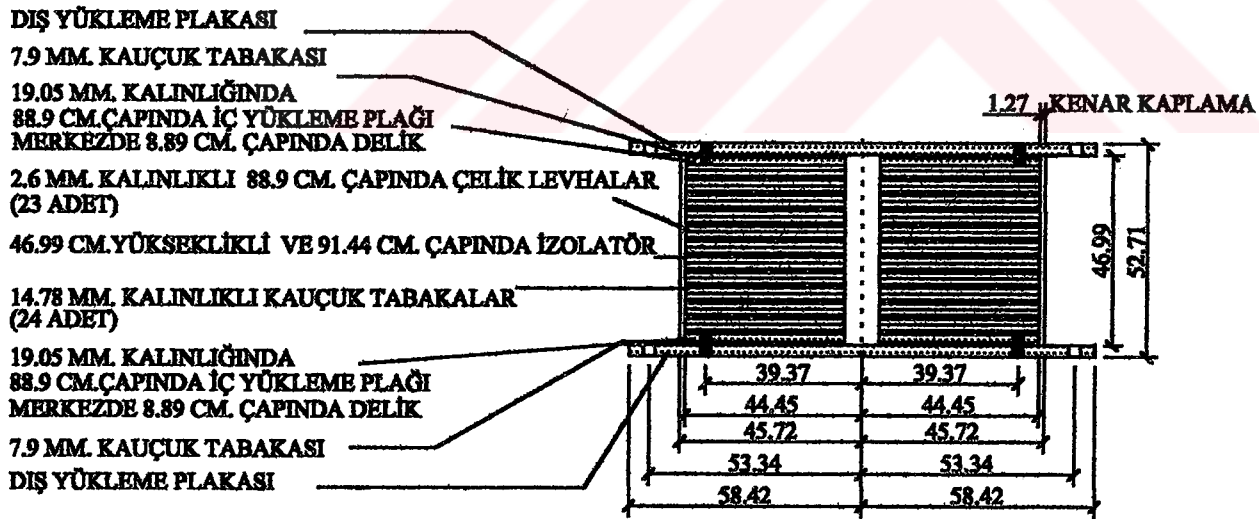


KESİT

SCOUAL YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAÜÇUK MESNET (B TİPİ)



PLAN



KESİT

SCOU GAL YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAÜÇUK MESNET (C TİPİ)

EK B4

“SKELLERUP BASE ISOLATION” ELASTOMERIC BEARINGS



Tablo B4.1 "SKELLERUP" ELASTOMER MESNETLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

MESNET TİPİ	TASARIM BASINÇ YÜKÜ (DCL) (ton)	TASARIM YERDEĞİŞTİRMESİ (DD) (cm)	KÜÇÜK YERDEĞİŞTİRMELER SINIRI (cm)	AĞIRLIK (kg)	YÜKSEKLİK (cm)	PLAN BOYUTU (cm)
A TİPİ	67,95	15,24	5,08 (+/- 2,54)	280,9	18,54	44,96
B TİPİ	226,5	22,86	7,62 (+/- 3,81)	561,7	24,89	61,98
C TİPİ	339,75	30,48	10,16 (+/- 5,08)	770,1	32,26	61,98

Tablo B4.2 MESNETLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİNİN YÜK SEVİYESİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ

MESNET TİPİ	DÜŞEY YÜK	RULUJLUK, Keff (t/cm)	SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)	BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU, EDC (tcm)
A TİPİ	% 100 DCL	1,21	41,2	707,6
	% 70 DCL	1,36	38,3	732
	% 40 DCL	1,37	36,5	707,9
B TİPİ	% 100 DCL	1,85	37,5	2182,7
	% 70 DCL	2,05	34,3	2259,8
	% 40 DCL	2	35,2	2206,9
C TİPİ	% 100 DCL	1,05	47,8	2840,9
	% 70 DCL	1,27	40	2807,5
	% 40 DCL	1,34	38,8	2876,6

Bu değerler, tasarım yerdeğiştirmesindeki 2 sn. periyodlu çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test sonuçlarıdır.

Tablo B4.3 MESNETLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİNİN PERİYODA BAĞLI DEĞİŞİMİ

MESNET TİPİ	PERİYOD (saniye)				
	20,0	5,0	2,0	1,0	0,5*
	RİJİTLİK (t/cm)				
A TİPİ	1,14	1,21	1,21	1,3	2,94
B TİPİ	1,71	1,85	1,85	2,07	3,21
C TİPİ	0,92	1,02	1,05	1,41	3,41
	SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)				
A TİPİ	40,9	38,1	41,2	39,9	39,2
B TİPİ	36,2	35,3	37,5	35,2	51
C TİPİ	45,1	53,6	47,8	34,6	35,3
	BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU (tcm)				
A TİPİ	659,3	652,4	707,6	707,6	421,1
B TİPİ	1990,6	2103,3	2182,7	2235,7	1227,7
C TİPİ	2401,3	2534,8	2840,9	2800,6	1418,7

Bu değerler, tasarım basınç yükü altında ve tasarım yerdeğiştirmesindeki çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test sonuçlarıdır.

* tasarım yerdeğiştirmesinin yansı için elde edilmiştir.

Tablo B4.4 MESNETLERİN LİMİT DAVRANIŞI

MESNET TİPİ	TASARIM YERDEĞİŞTİRMESİ (DD) (cm)	SINIR YERDEĞİŞTİRMESİ (FD) (cm)	GÜVENLİK ORANI (FD/DD)
A TİPİ	15,24	33,5	2,2
B TİPİ	22,86	43,4	1,9
C TİPİ	30,48	*	*

* C Tipi mesnetin yerdeğiştirme kapasitesi test ekipmanının oluşturabileceği limit yerdeğiştirmeden büyüktür.

Tablo B4.5 MESNETLERİN PERFORMANSLARININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK KARŐILAŐTIRIL

MESNET TİPİ	EFEKTİF RİJİTLİK (t/cm)		EŞDEĞER SÖNÜM (kritik sönümün yüzdesi)		BİR DÖNGÜDEKİ ENERJİ YUTUMU, EDC (tcm)	
	TASARIM	GERÇEK	TASARIM	GERÇEK	TASARIM	GERÇEK
A TİPİ	1,68	1,21	20,3	41,2	497,3	707,6
B TİPİ	2,21	1,85	20,5	37,5	1486,5	2182,7
C TİPİ	1,68	1,05	20,4	47,8	1991	2840,9

Gerçek değerler, tasarım basınç yükü altında ve 2 sn. periyodundaki çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunmuş olan test değerleridir.

Tablo B4.6 MESNETLERİN YORULMA VE ÇEVRESEL ETKİLER DİKKATE ALINARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

PERİYOD (sn)	RİJİTLİK (t/cm)		SÖNÜM (kritik sönümün %)		ENERJİ YUTUMU (tcm)	
	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra
20,0	1,69	2,09	33,6	36	1830,6	2355,3
5,0	1,68	2	35,3	34	1856	2133,2
1,0	1,75	1,73	38,3	37,7	2056,2	1953,8
0,5*	3,8	3,28	39,5	37,6	1178,2	925,1

Tablodaki 'önce' şunu ifade eder : 226,5 ton tasarım basınç yüklü B tipi mesneti için; 10 sn. periyodlu (yüksek frekanslı) servis yüklemelerinin (sıcaklık ve hareketli yük etkileri - diğer anlamda Tablo 1.1' deki küçük yer değiştirmeler sınırını oluşturan yük etkileri) 10000 adet döngü sonrasında oluşturduğu yorulma etkileri ve Amerikan Standardı ASTM B17 şartlarının öngördüğü 1000 saat tuz spreyi odasında hızlandırılmış çevresel etkiye maruz bırakılması durumlarından önce mesnetin hemen imalat sonrası mekanik karakteristikleridir.

Tablodaki 'sonra' ise, bu etkilerden sonra mesnetin sismik performansının (mekanik karakteristiklerinin) değişimini göstermektedir.

* Bu satırdaki değerler tasarım yer değiştirmesinin yansı için elde edilmiştir.

Tablo B4.7 SICAK VE SOĞUK ORTAMDA DİNAMİK PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ

PERFORMANS PARAMETRELERİ	SOĞUKTA 49 saat @ -11 Cderece	NORMAL ŞARTLARDA 21 Cderece	SICAKTA 23 saat @ 48 Cderece
RİJİTLİK (t/cm)	3,03 (+%56)	1,94	1,85 (-%5)
SÖNÜM (krit.sönüm%)	36,7 (-%3)	37,8	35,1 (-%7)
ENERJİ YUTUMU (tcm)	3336,8 (+%45)	2305,8	2044,7 (-%11)

Parantez içindeki değerler % olarak normal şartlardan sapmaları işaret eder.

Tablo B4.8 DAYANIKLILIK

MESNET TİPİ	F1 (ton)	F5 (ton)	F10 (ton)	F15 (ton)	F20 (ton)
A TİPİ	26,3	18,1	15,4	14,5	13,6
B TİPİ	59,8	36,7	32,2	29,9	28,5
C TİPİ *	52,5	28,1	-	-	-
*	-	48,5 (F6)	26,7	21,3	18,6

* Bu mesnet için 5 döngü ve 15 döngü olmak üzere iki ayrı yükleme yapılmıştır.
F_i = i. döngüdeki en büyük yatay kuvvet

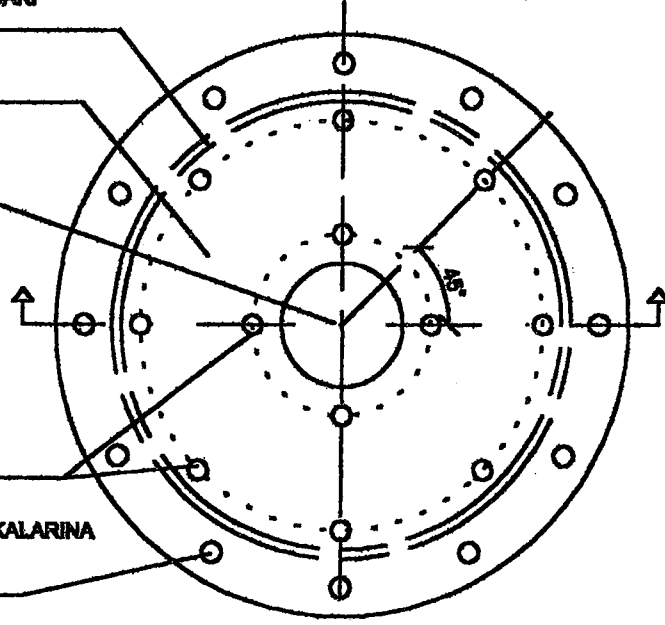
3.18 CM. KALINLIKLİ 77.22 CM. ÇAPINDAKİ
DAİRESEL YÜKLEME PLAKASI

24.82 CM. YÜKSEKLİKLİ VE
59.4 CM. ÇAPINDA İZOLATÖR

MERKEZDE 16.51 CM. ÇAPINDAKİ
KURŞUN ÇEKİRDEK İÇİN DELİK

ALTTA VE ÜSTTE
12 ADET 2.54 CM. ÇAPINDA
YÜKLEME PLAKALARINI MESNET PLAKALARINA
BAĞLAYAN İRİBAŞLI VIDALAR

ALTTA VE ÜSTTE
BULONLAR İÇİN BIRAKILMIŞ
2.70 CM. ÇAPINDA DELİKLER



PLAN

DAİRESEL YÜKLEME PLAKASI

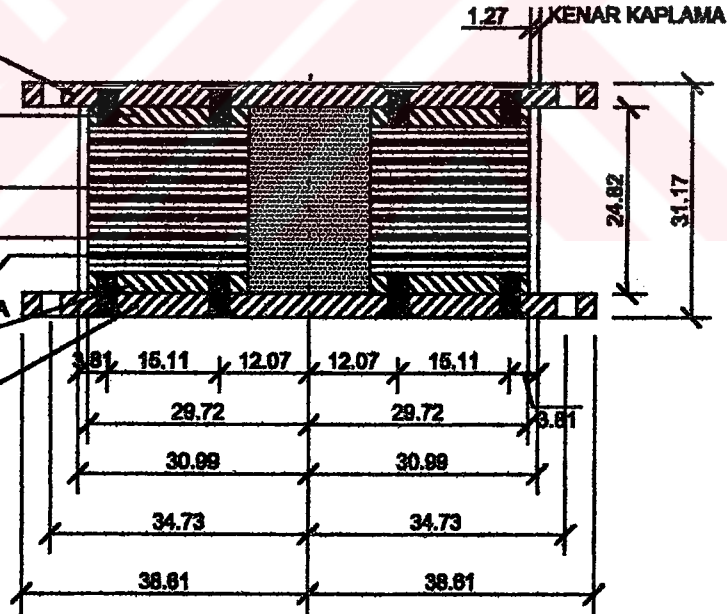
25.4 MM. KALINLIĞINDA
59.4 CM. ÇAPINDA MESNET PLAKASI
MERKEZDE 16.51 CM. ÇAPINDA DELİK

3 MM. KALINLIKLİ 59.4 CM. ÇAPINDA
15 ADET ÇELİK LEVHA

24.82 CM. YÜKSEKLİKLİ VE
59.4 CM. ÇAPINDA İZOLATÖR

9.53 MM. KALINLIKLİ 16 ADET KAÜÇUK TABAKA

25.4 MM. KALINLIĞINDA
59.4 CM. ÇAPINDA MESNET PLAKASI
MERKEZDE 16.51 CM. ÇAPINDA DELİK
DAİRESEL YÜKLEME PLAKASI



KESİT

SKELLERUP ELASTOMER MESNETLERİ (B TİPİ)

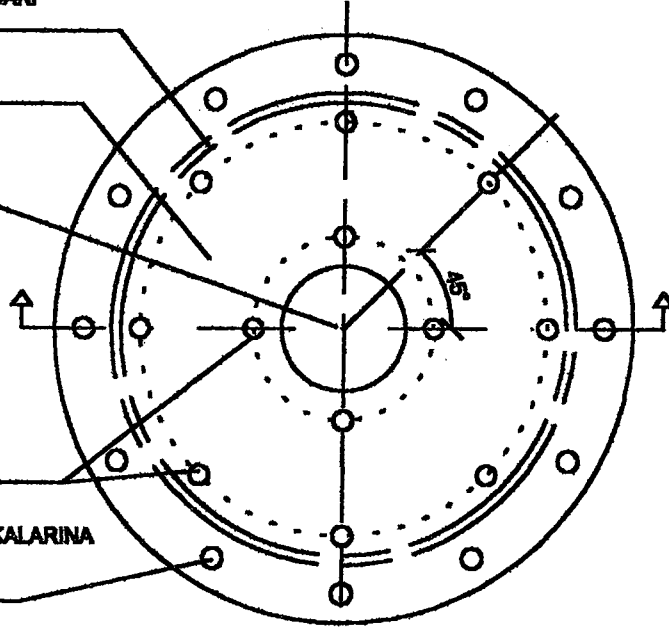
3.18 CM. KALINLIKLİ 77.22 CM. ÇAPINDAKİ
DAİRESEL YÜKLEME PLAKASI

24.82 CM.YÜKSEKLİKLİ VE
59.4 CM. ÇAPINDA İZOLATÖR

MERKEZDE 18.51 CM. ÇAPINDAKİ
KURŞUN ÇEKİRDEK İÇİN DELİK

ALTTA VE ÜSTTE
12 ADET 2.54 CM. ÇAPINDA
YÜKLEME PLAKALARINI MESNET PLAKALARINA
BAĞLAYAN İRİBAŞLI VİDALAR

ALTTA VE ÜSTTE
BULONLAR İÇİN BIRAKILMIŞ
2.70 CM. ÇAPINDA DELİKLER



PLAN

DAİRESEL YÜKLEME PLAKASI

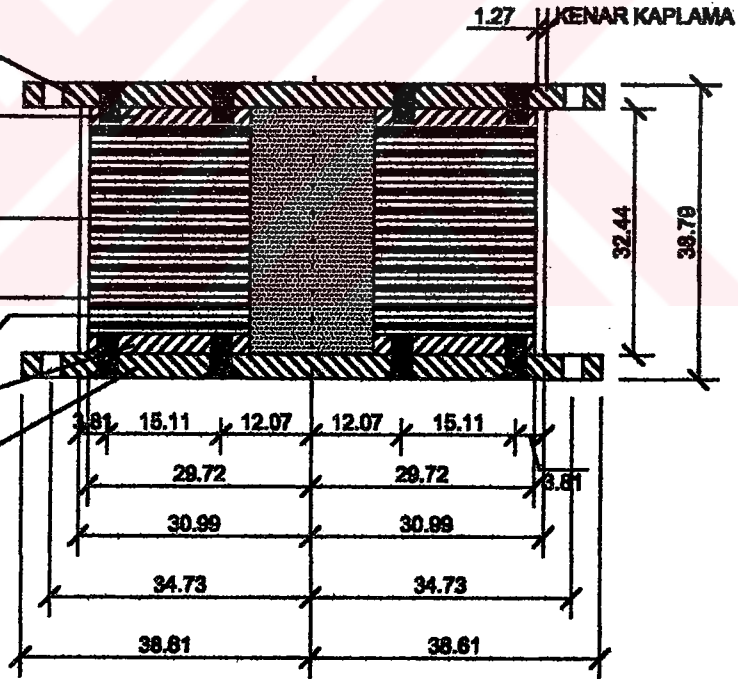
25.4 MM. KALINLIĞINDA
59.4 CM.ÇAPINDA MESNET PLAKASI
MERKEZDE 18.51 CM. ÇAPINDA DELİK

3 MM. KALINLIKLİ 59.4 CM. ÇAPINDA
24 ADET ÇELİK LEVHA

24.82 CM.YÜKSEKLİKLİ VE
59.4 CM. ÇAPINDA İZOLATÖR

8 MM. KALINLIKLİ 25 ADET KAÜÇUK TABAKA

25.4 MM. KALINLIĞINDA
59.4 CM.ÇAPINDA MESNET PLAKASI
MERKEZDE 18.51 CM. ÇAPINDA DELİK
DAİRESEL YÜKLEME PLAKASI



KESİT

SKELLERUP ELASTOMER MESNETLERİ (C TİPİ)

EK C

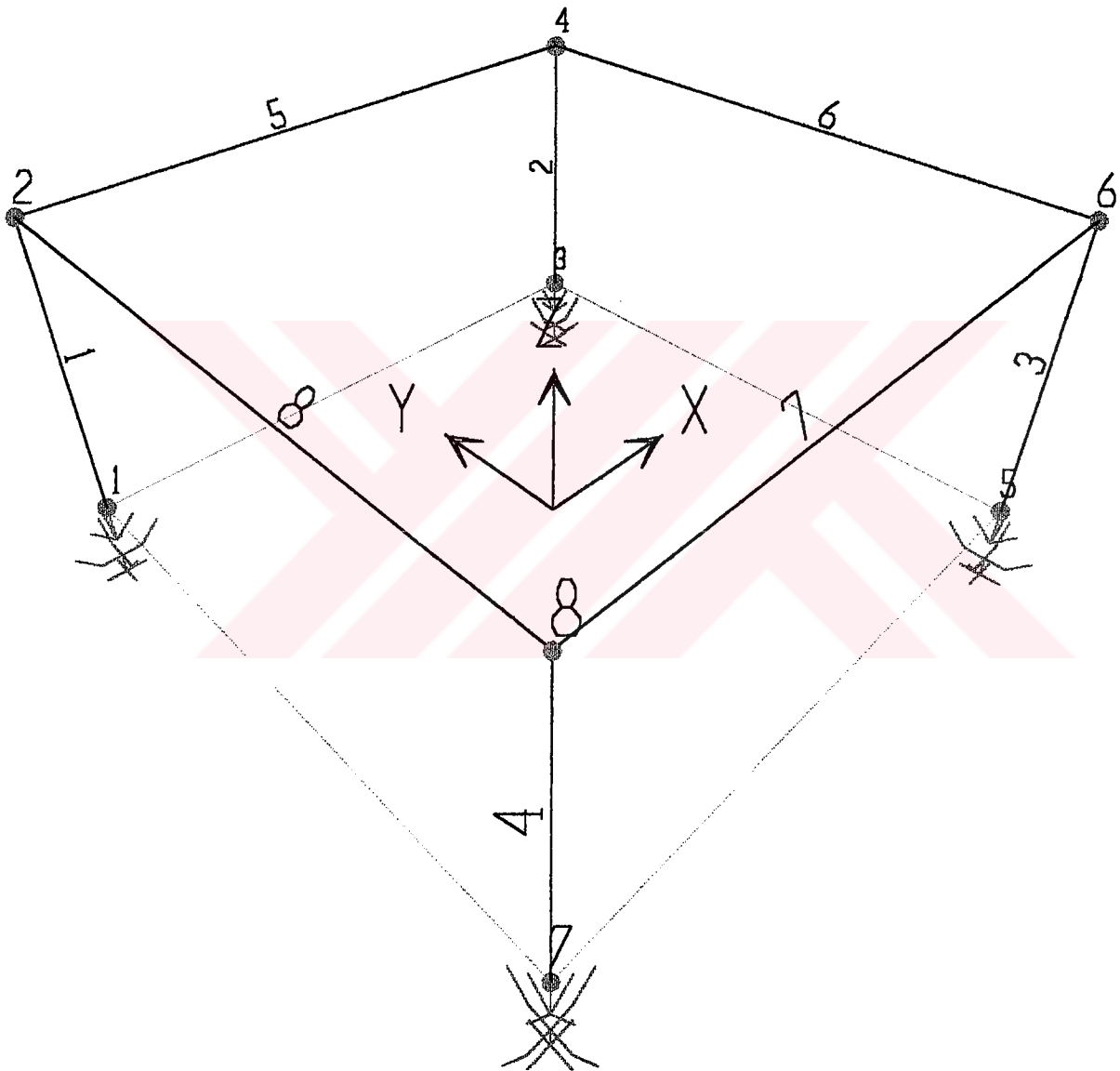
BASİT ÖRNEK ANALİZ SONUÇLARI



EK C1

ÇUBUK ELEMANLARIN VE DÜĞÜM NOKTALARININ NUMARALARI

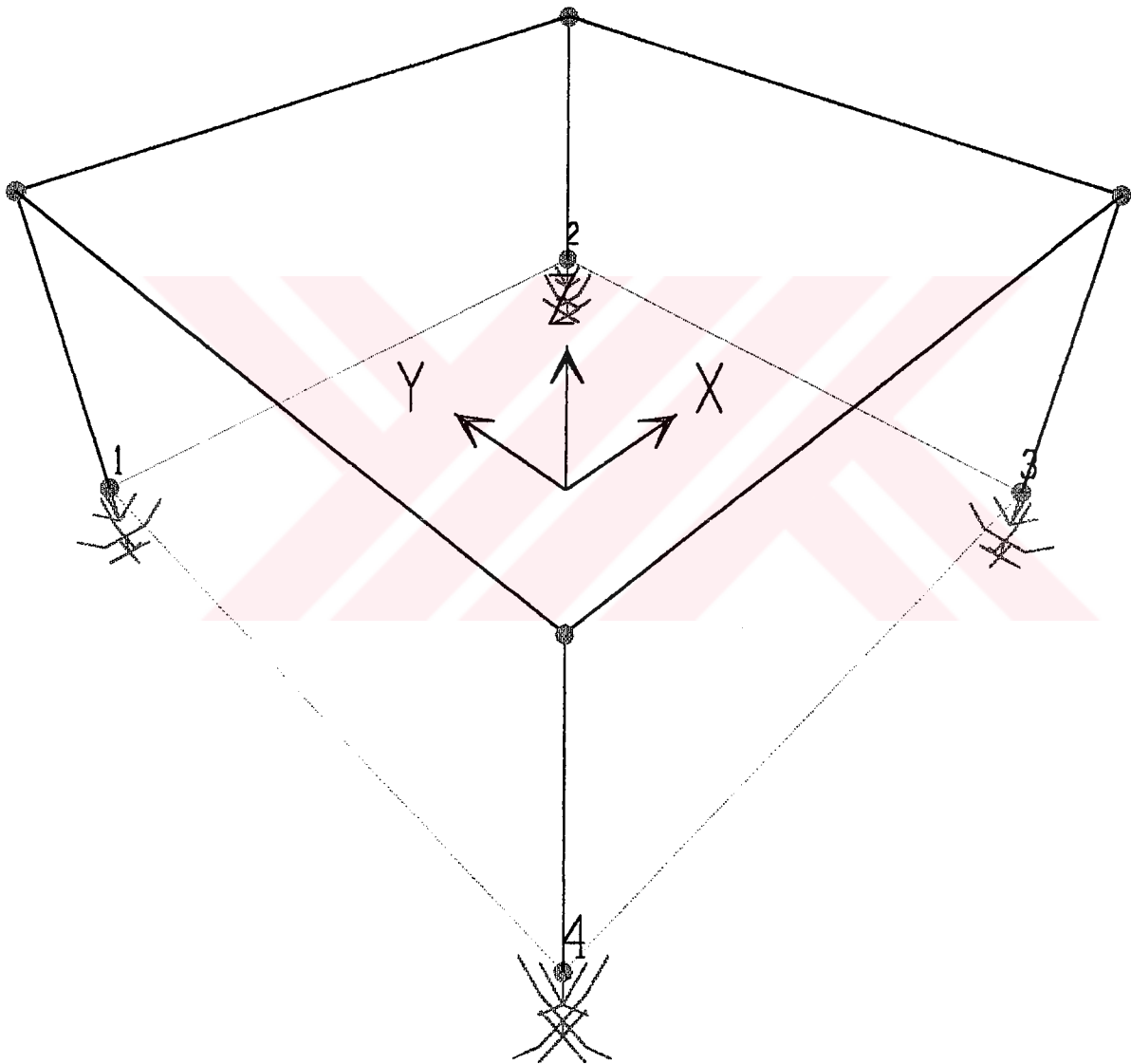




EK C2

NONLINEER LİNK ELEMANLARININ NUMARALARI



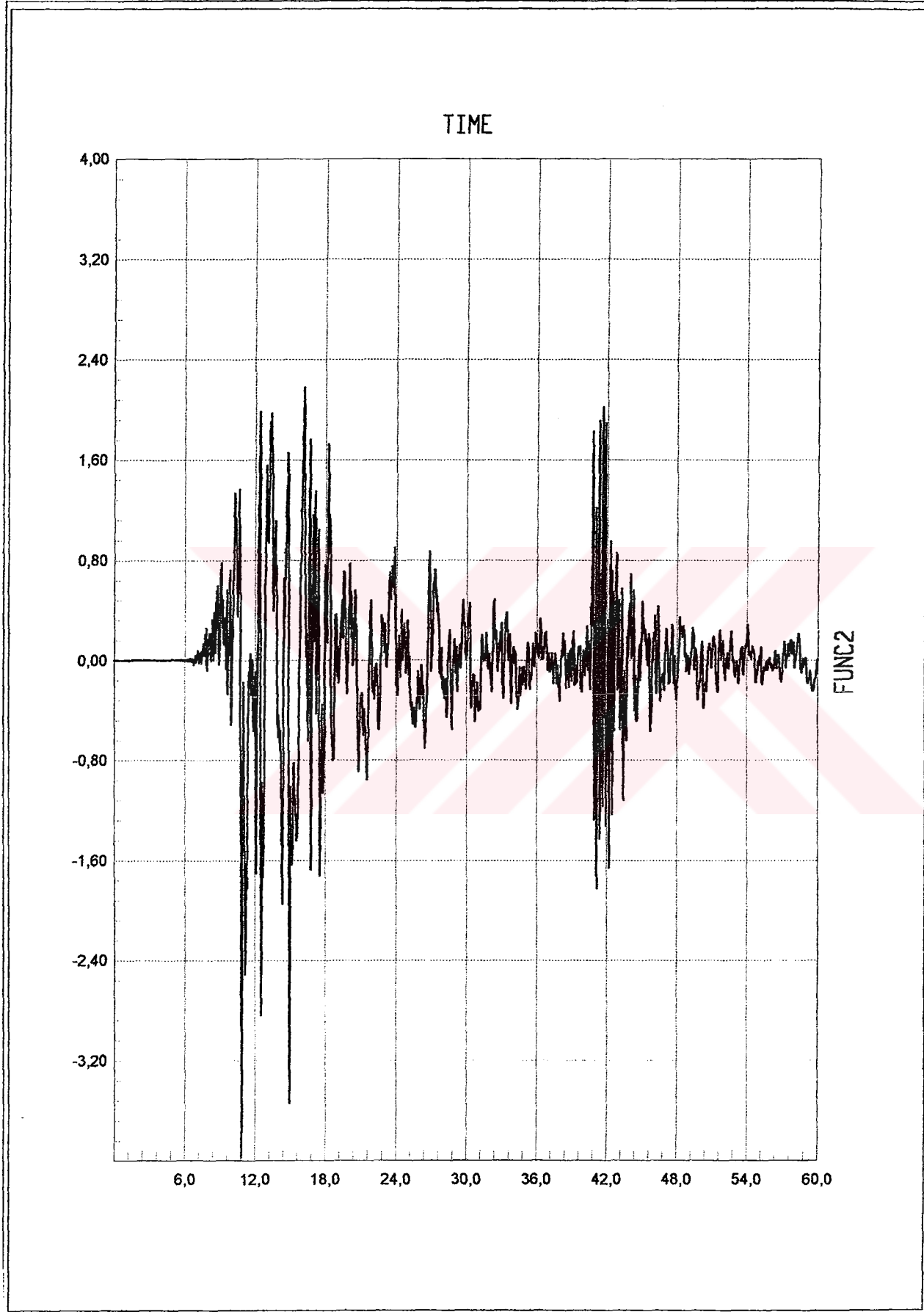


EK C3

60 SANİYELİK KOCAELİ DEPREMİ BİLEŞENİ İVME KAYDI [m/sn²]



**T.C. TÜRKİYE
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**



SAP2000 v6.11 - File:basit ornek - Ton-m Units

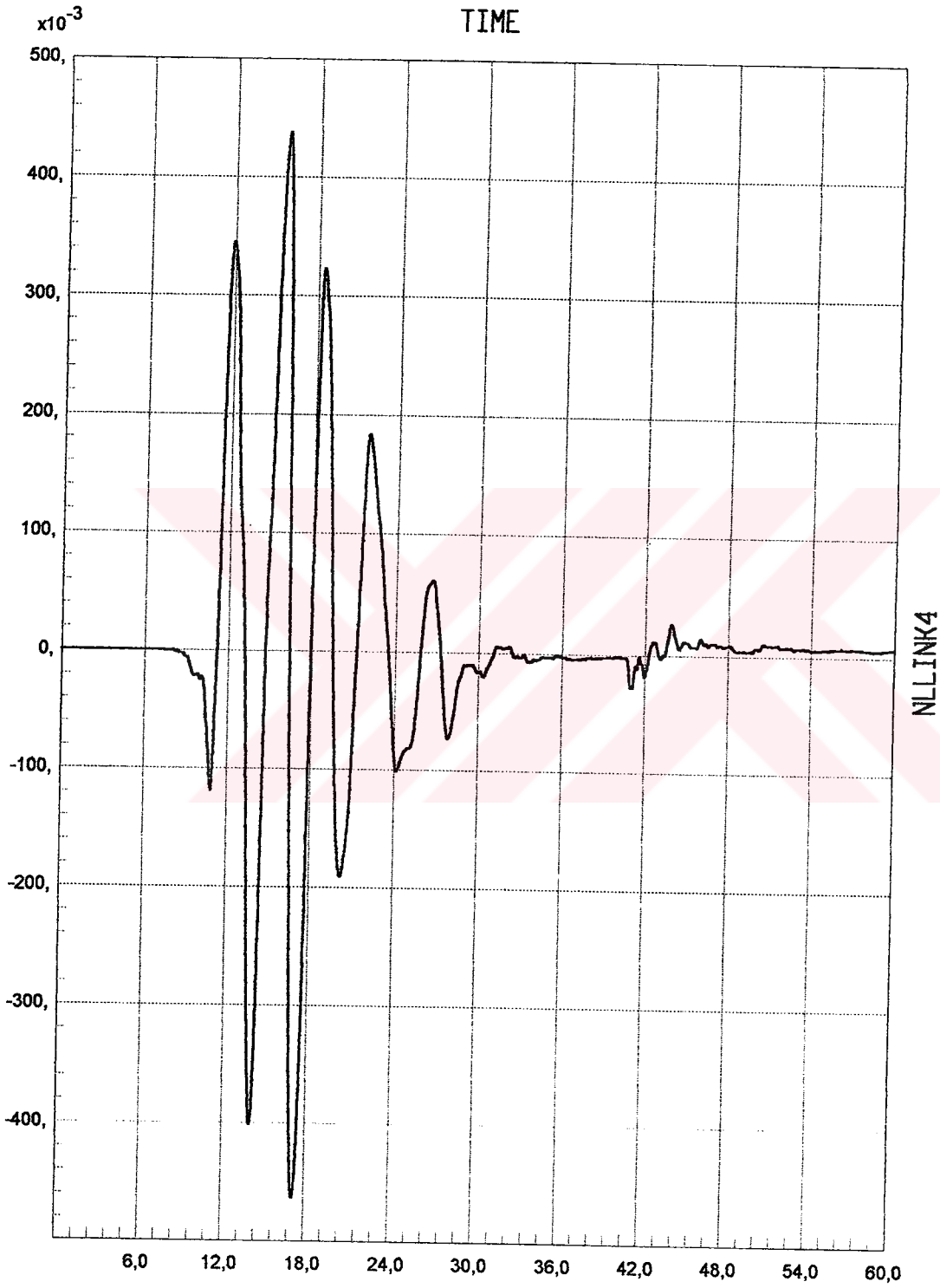
FUNC2: Function FUNC2 Vs Time

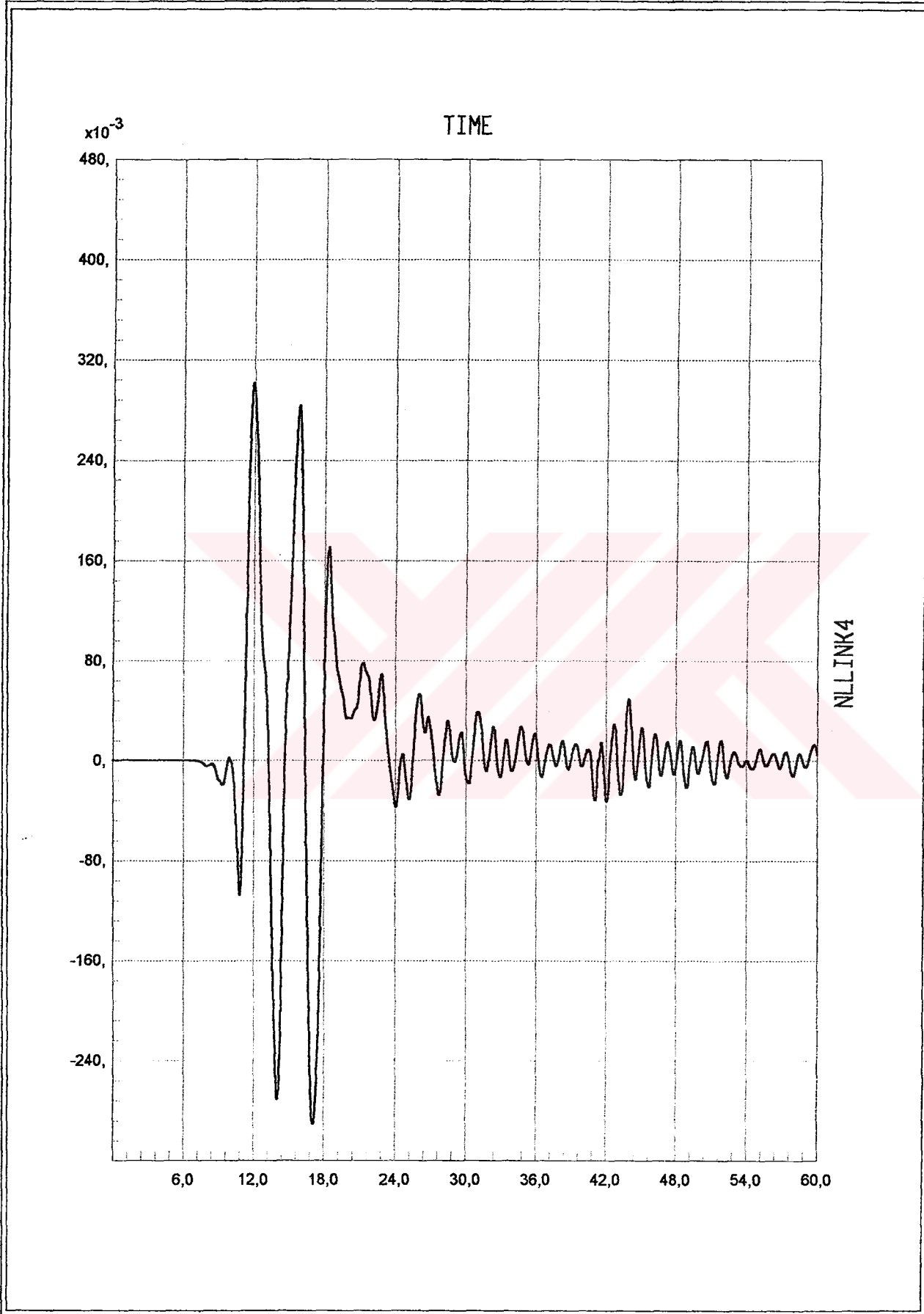
Min is -3,971e+00 at 1,0880e+01 Max is 2,176e+00 at 1,6120e+01

EK C4

**4 NUMARALI NLLİNK ELEMANI YERDEĞİŞTİRMESİ
(İZOLASYON SİSTEMİ VEYA TABAN YERDEĞİŞTİRMESİ)**







SAP2000 v6.11 - File:basit ornek1 - Ton-m Units

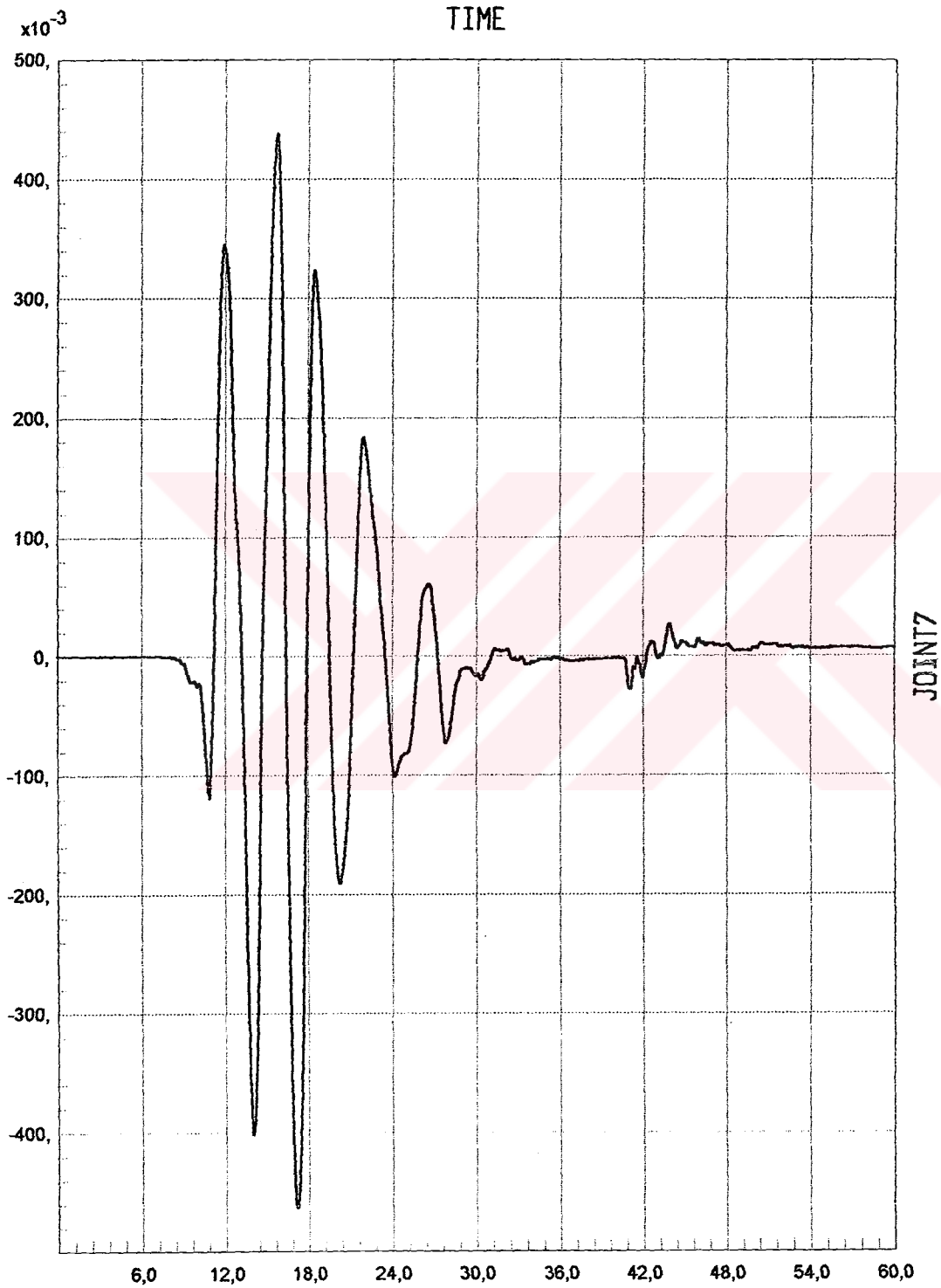
NLLink4: NLLink 4 U2 Vs Time

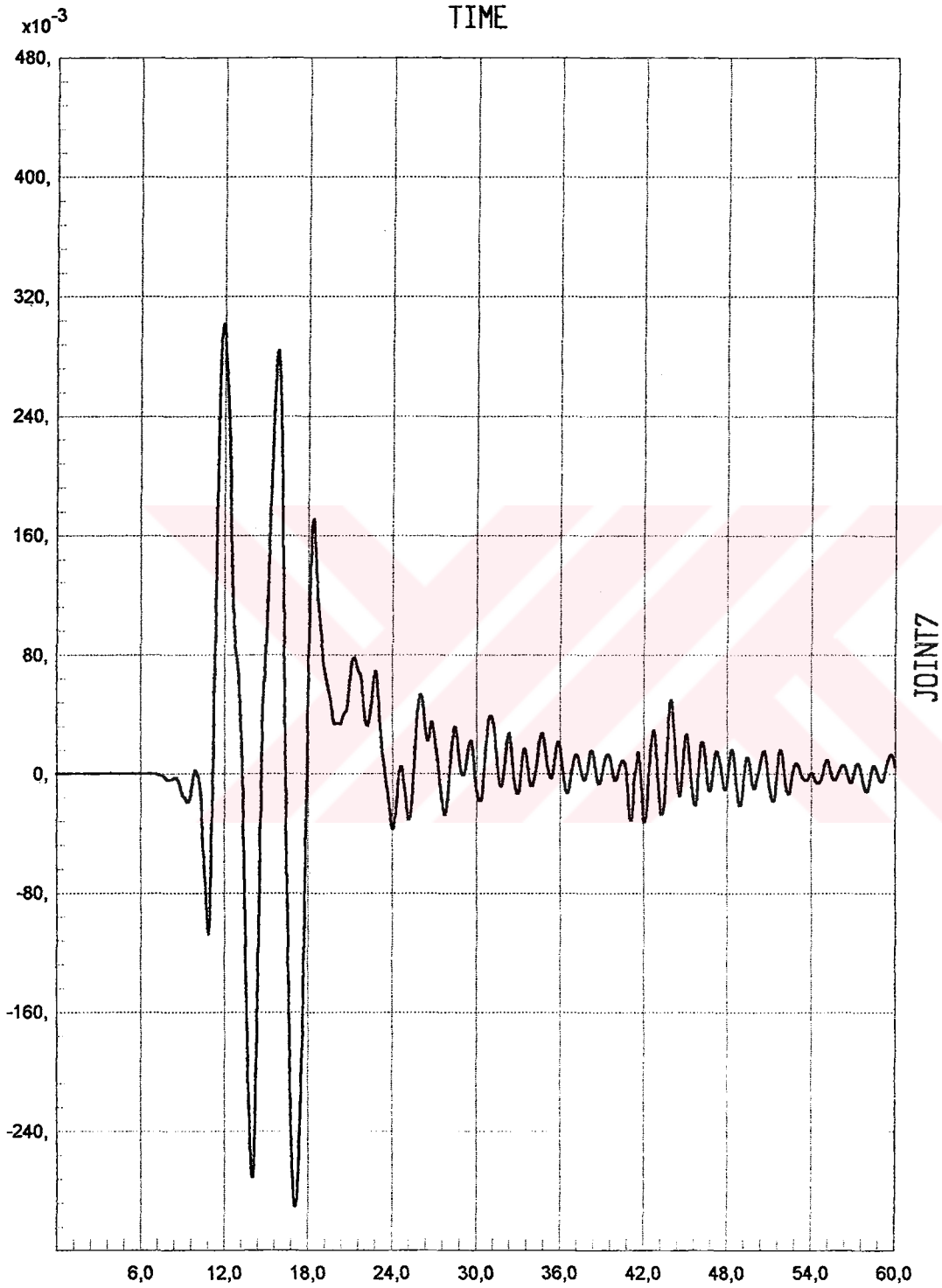
Min is -2,907e-01 at 1,7100e+01 Max is 3,018e-01 at 1,1900e+01

EK C5

7 NUMARALI DÜĞÜM NOKTASI GÖRELİ YERDEĞİŞTİRMESİ



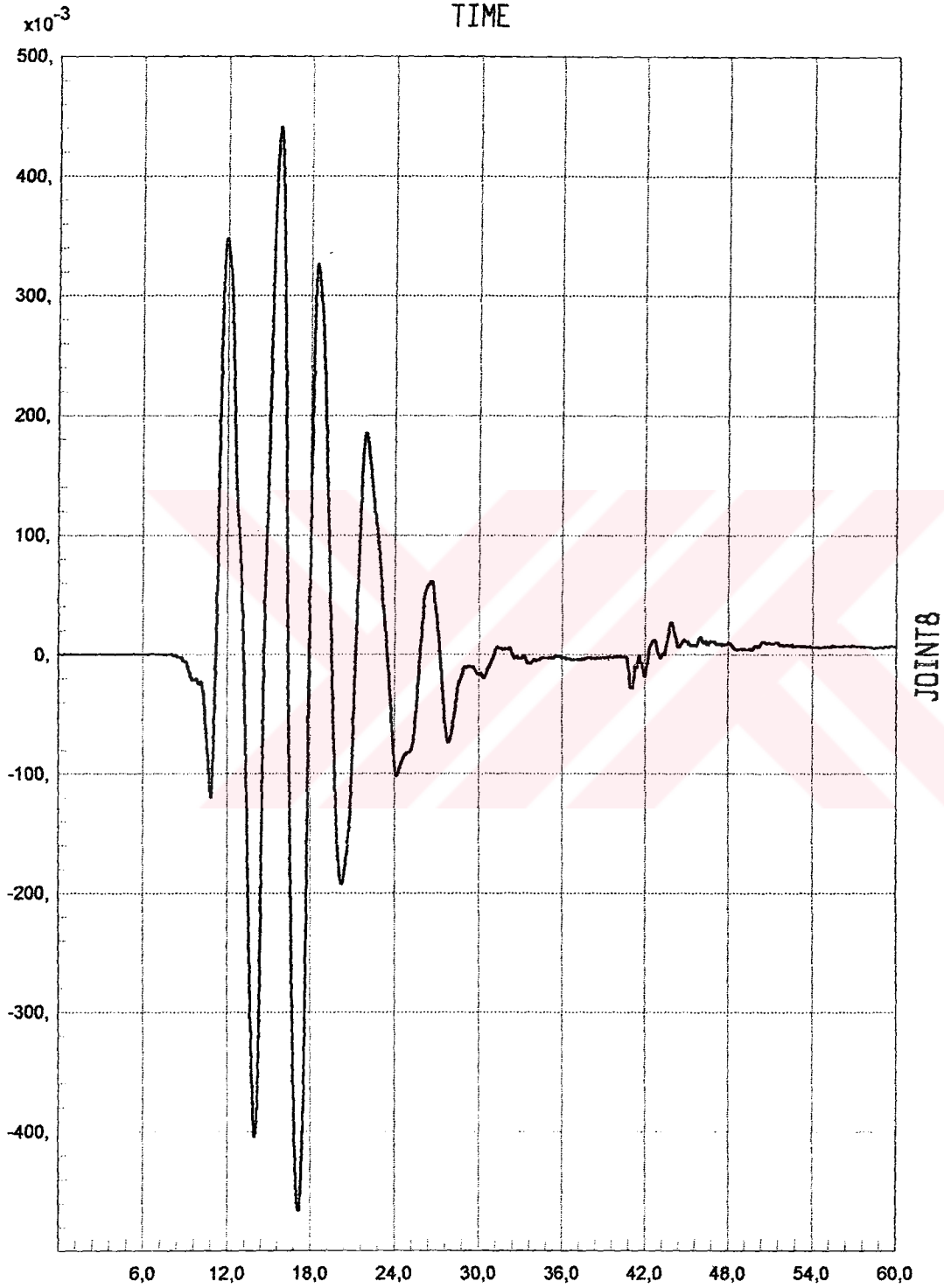




EK C6

8 NUMARALI DÜĞÜM NOKTASI GÖRELİ YERDEĞİŞTİRMESİ

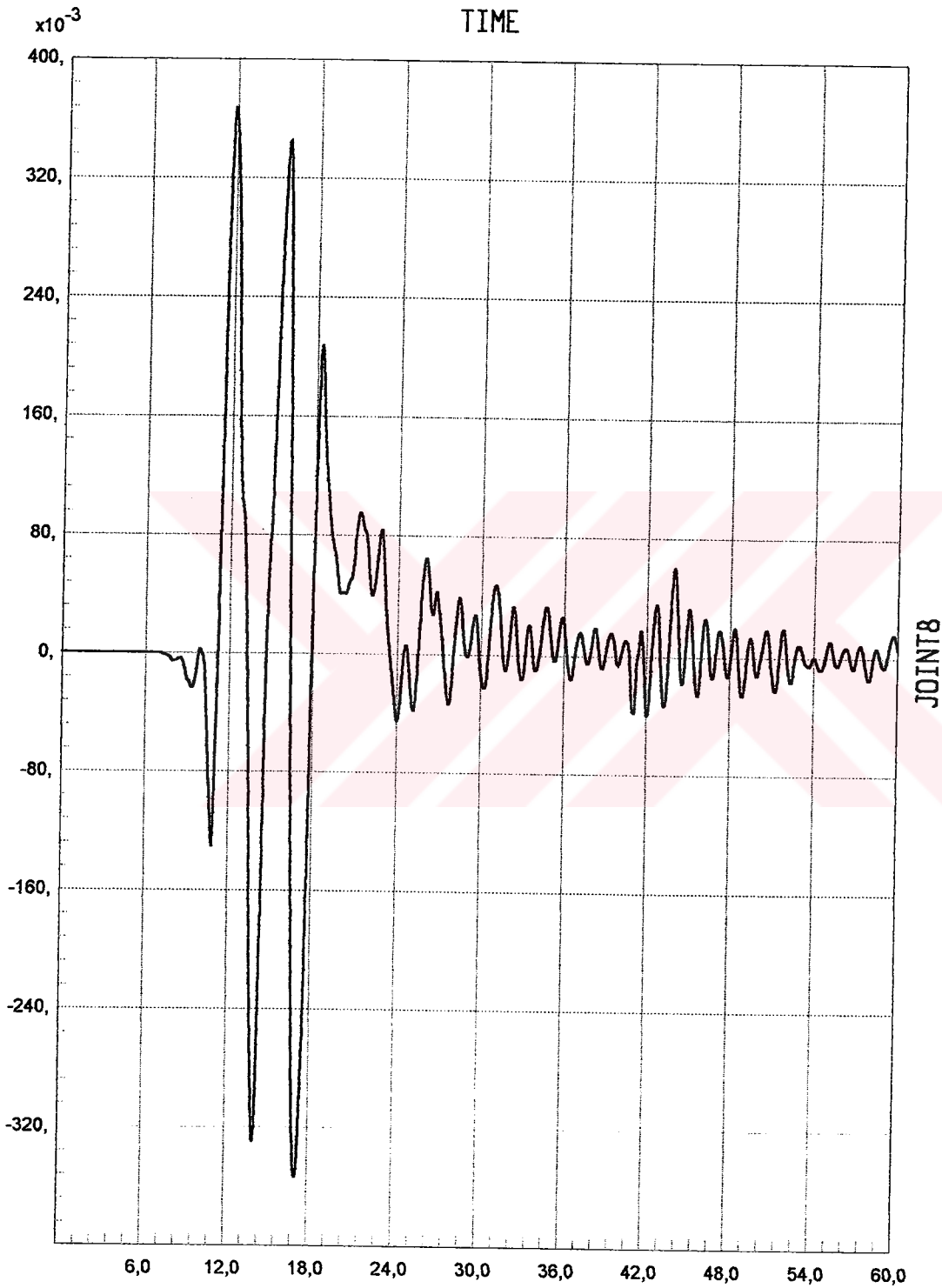




AP2000 v6.13 - File:basit ornek - Ton-m Units

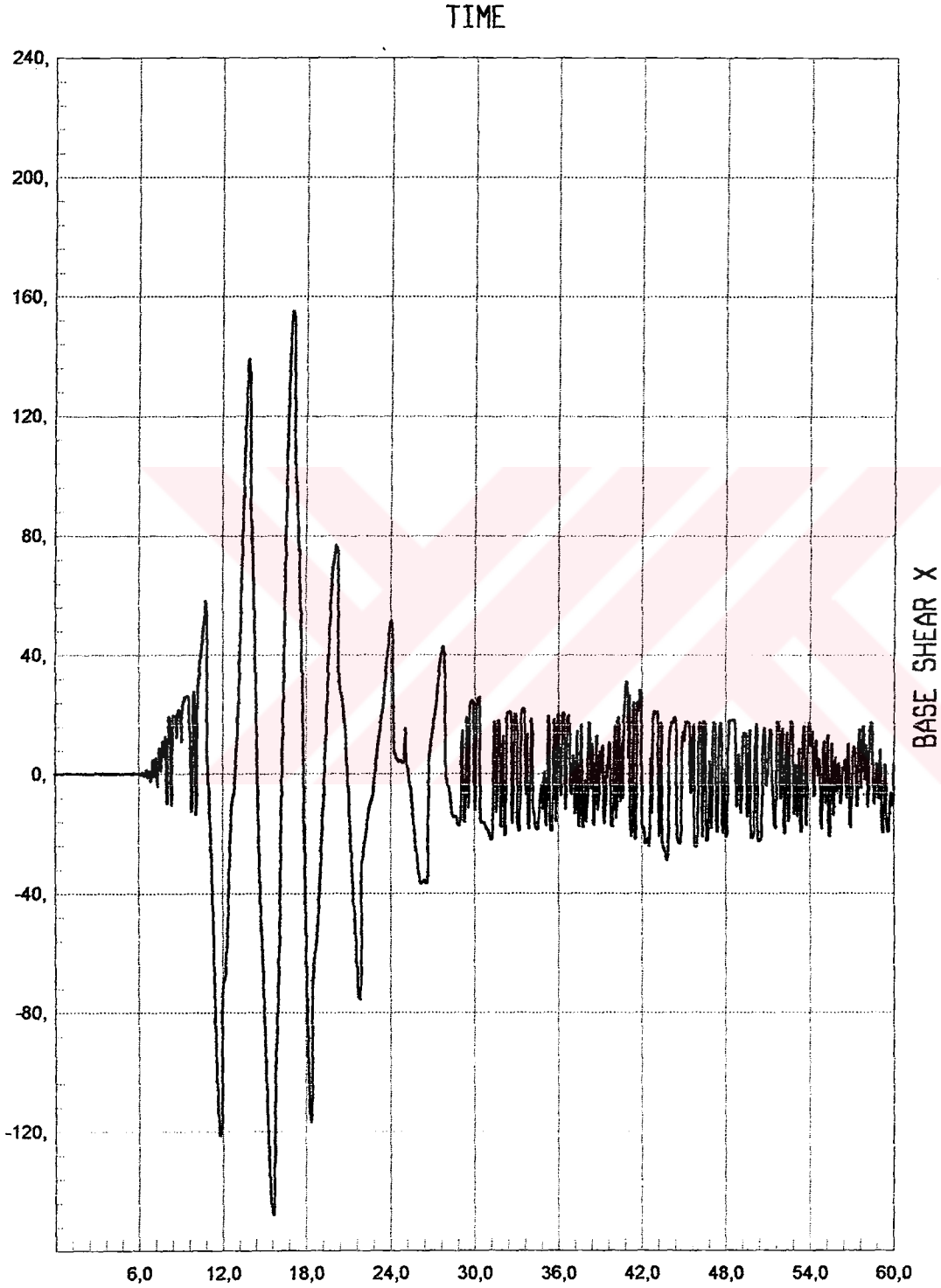
JOINT8: Joint 8 Displacement UX Vs Time

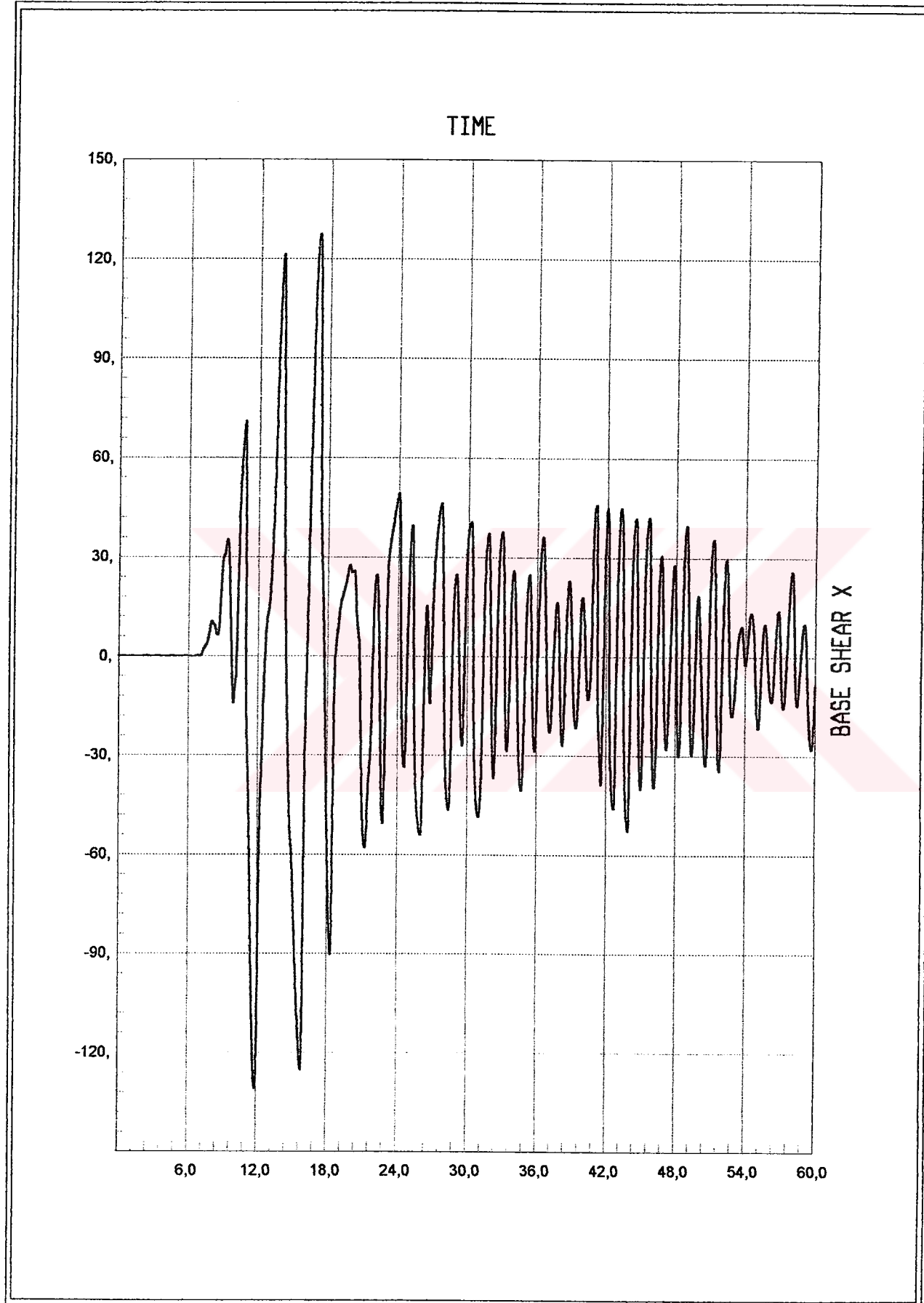
min is -4,670e-01 at 1,7160e+01 Max is 4,410e-01 at 1,5780e+01



EK C7
TABAN KESME KUVVETİ







SAP2000 v6.11 - File:basit ornek1 - Ton-m Units

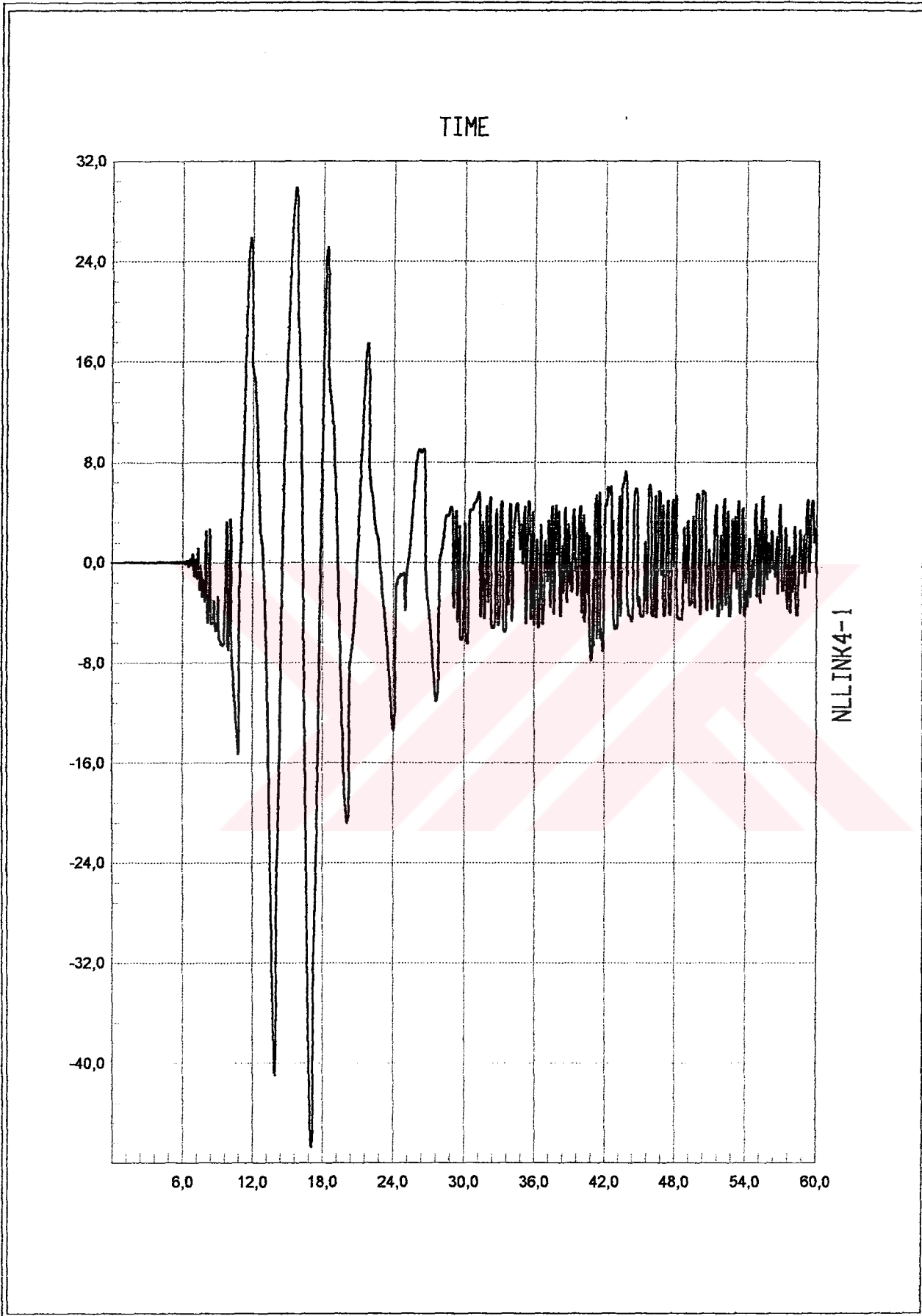
Base Shear X: Base Shear X Vs Time

Min is -1,308e+02 at 1,1900e+01 Max is 1,274e+02 at 1,7100e+01

EK C8

4 NUMARALI NLLİNK ELEMANINDA KESME KUVVETİ



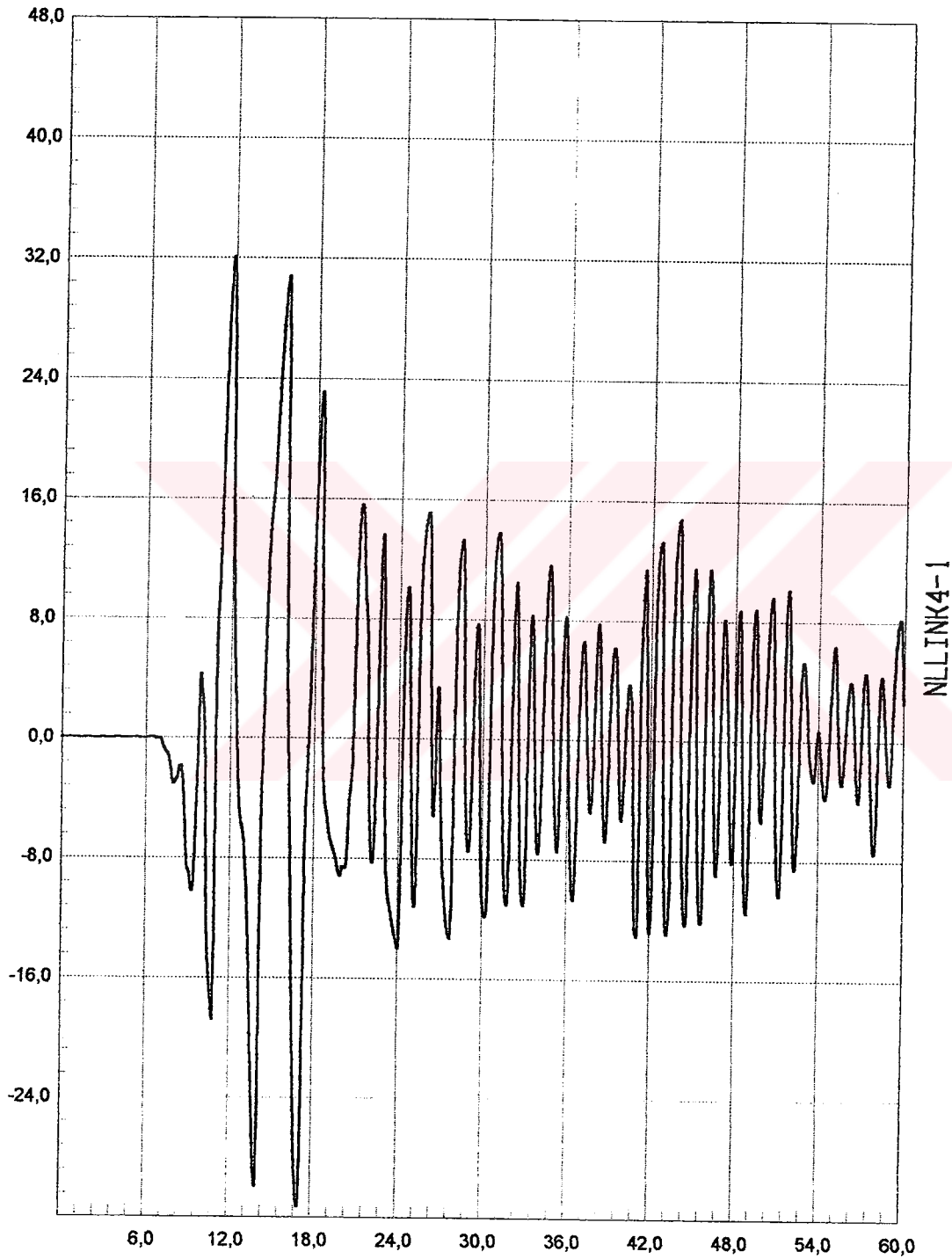


SAP2000 v6.13 - File:basit omek - Ton-m Units

NLLink4-1: NLLink 4 at End-I Shear 2-2 Vs Time

Min is -4,674e+01 at 1,7060e+01 Max is 2,989e+01 at 1,5640e+01

TIME



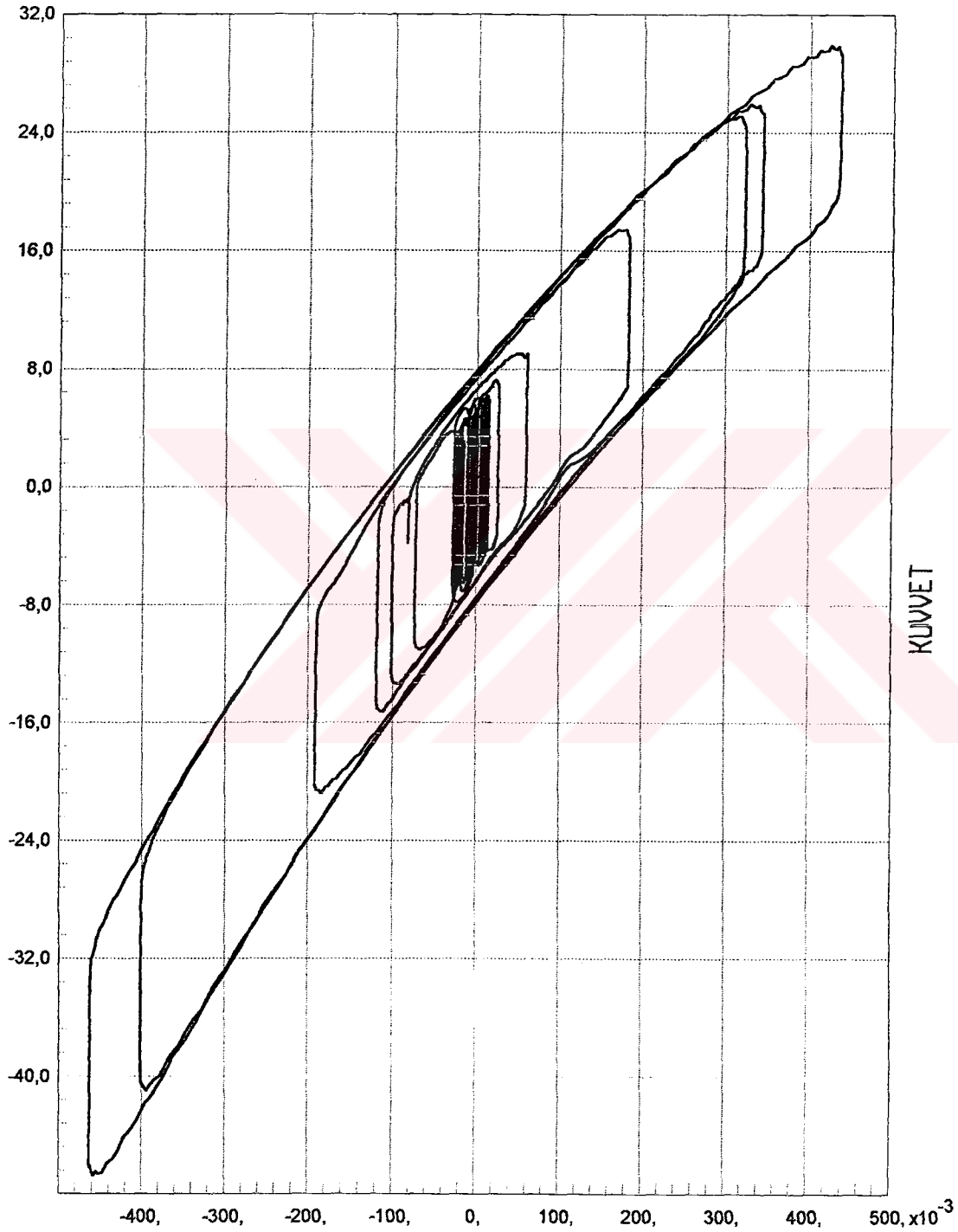
SAP2000 v6.11 - File:basit ornek1 - Ton-m Units
NLLink4-1: NLLink 4 at End-I Shear 2-2 Vs Time
Min is -3,130e+01 at 1,7100e+01 Max is 3,206e+01 at 1,1900e+01

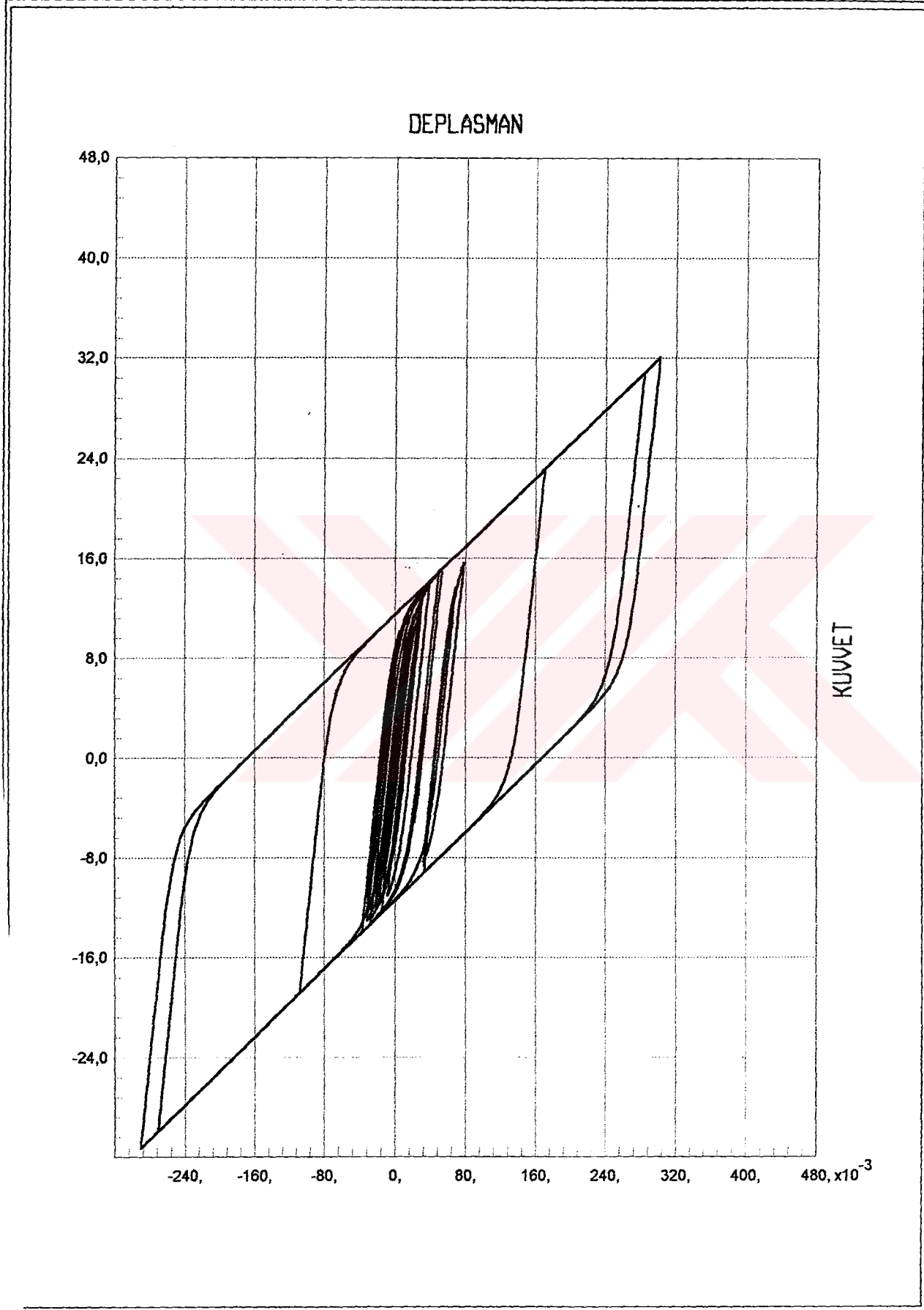
EK C9

**4 NUMARALI NLLİNK ELEMANININ KUVVET – YERDEĞİŞTİRME
GRAFİĞİ (HİSTERETİK EĞRİSİ)**



DEPLASMAN

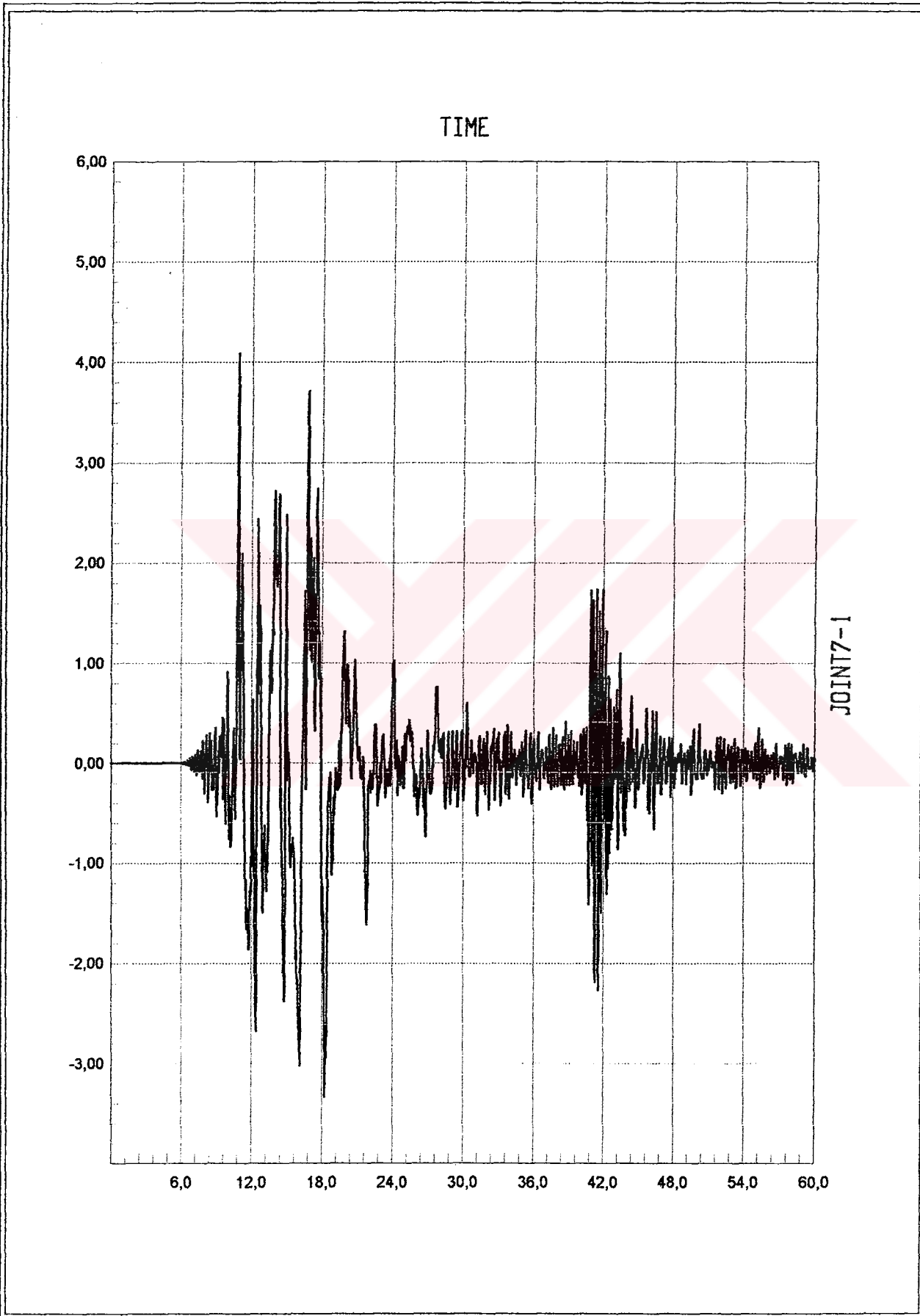




EK C10

7 NUMARALI DÜĞÜM NOKTASININ İVMESİ

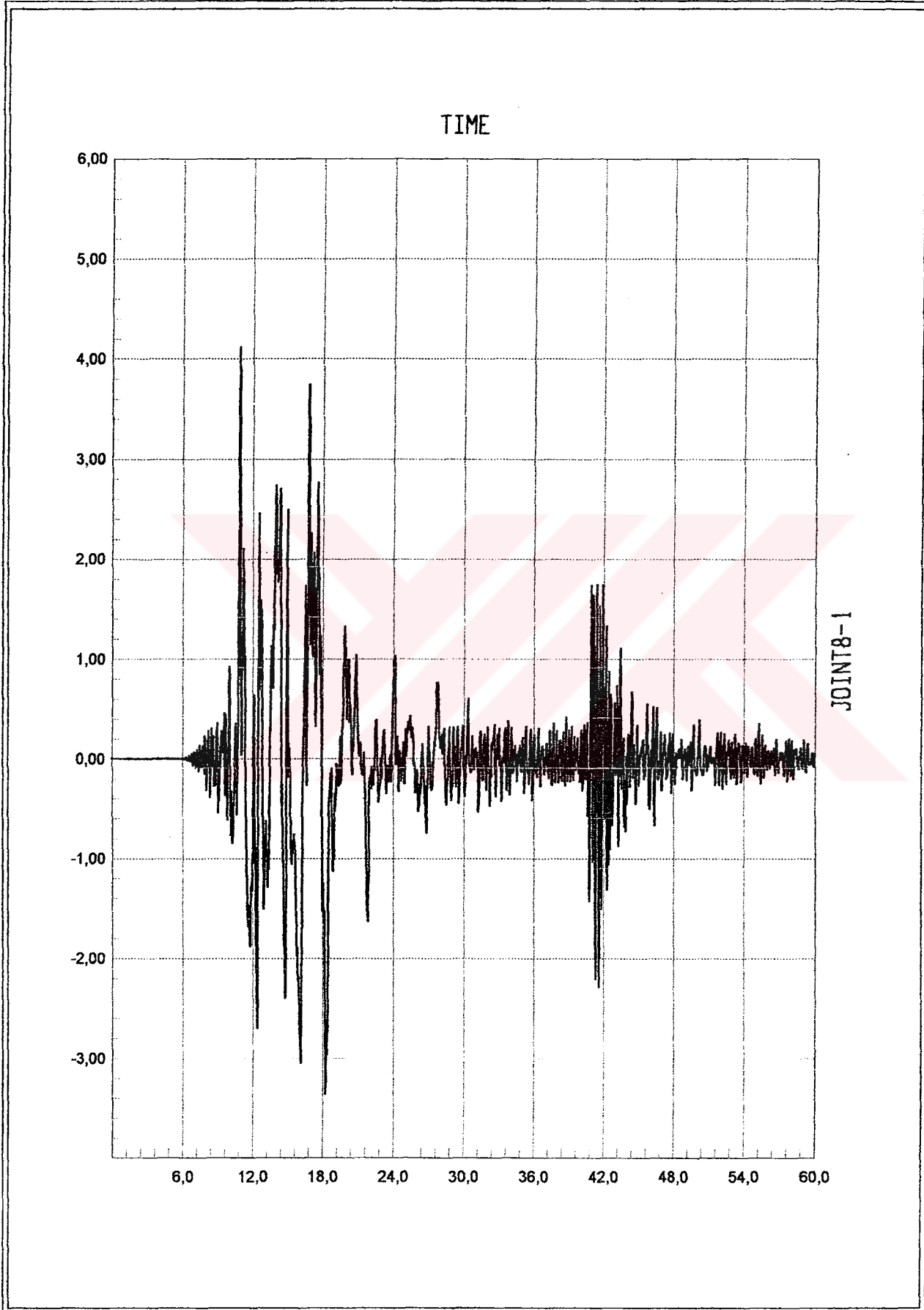




EK C11

8 NUMARALI DÜĞÜM NOKTASININ İVMESİ





SAP2000 v6.13 - File:basit ornek - Ton-m Units

Joint8-1: Joint 8 Acceleration UX Vs Time

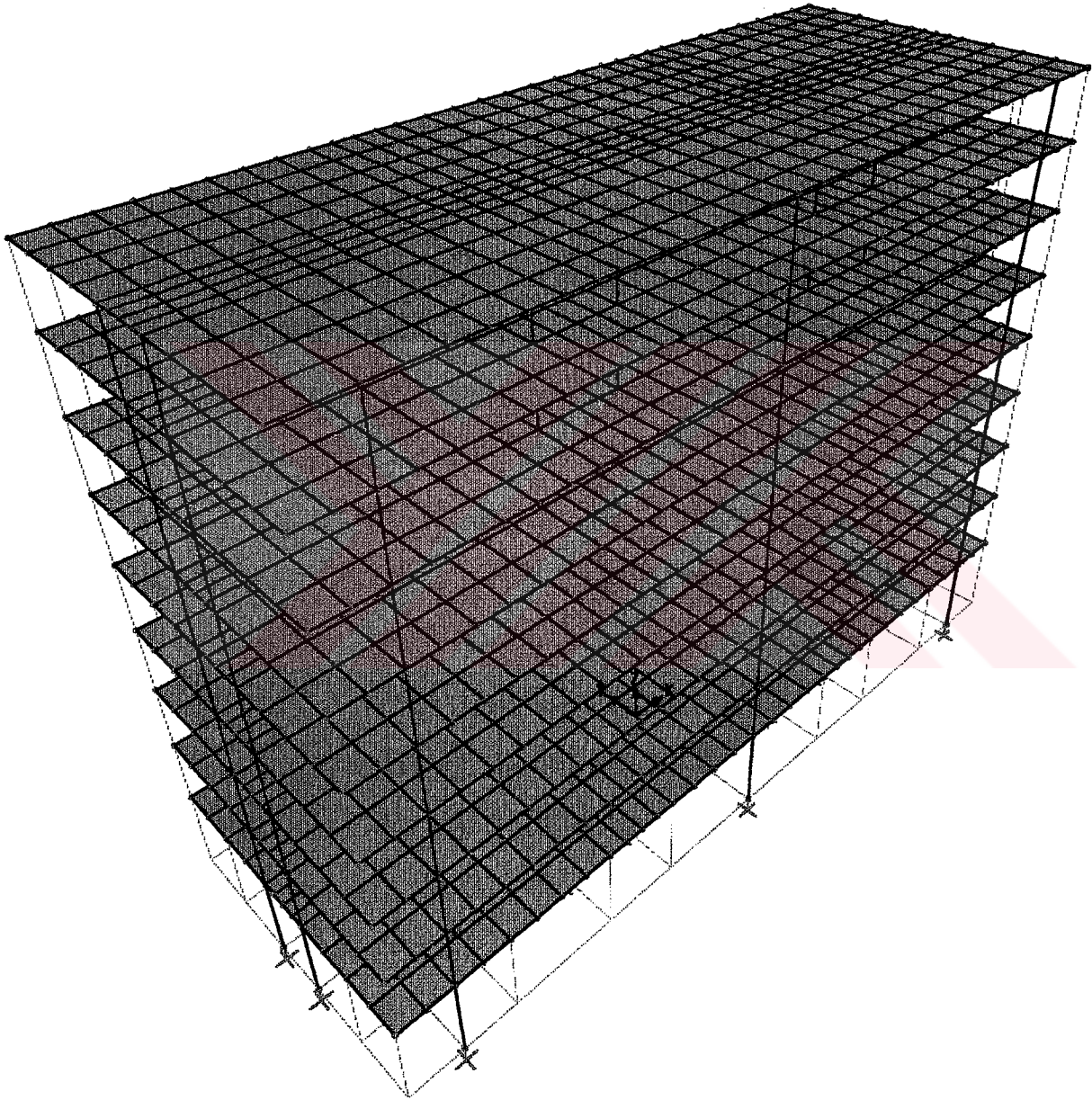
Min is -3,359e+00 at 1,8240e+01 Max is 4,116e+00 at 1,0880e+01

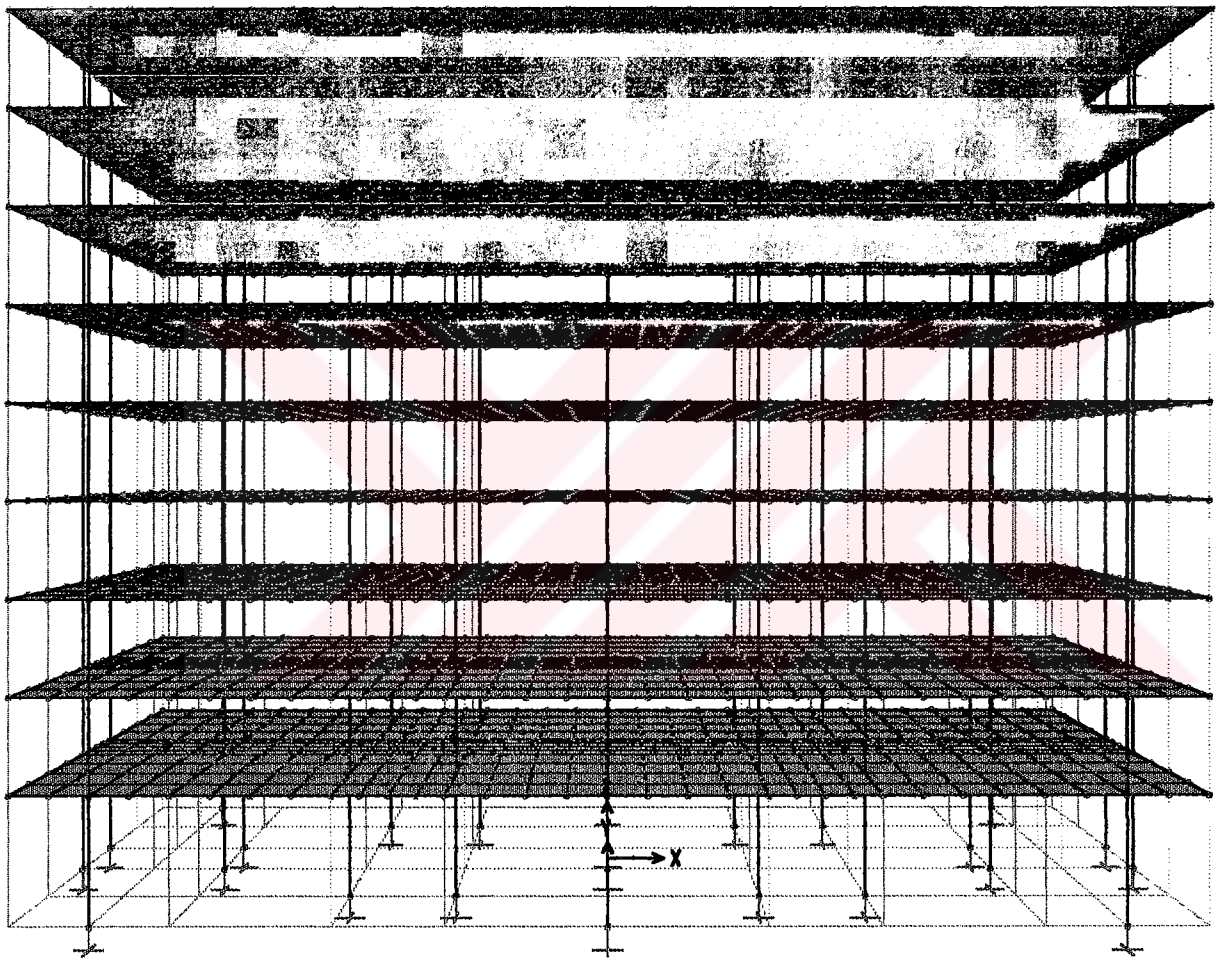
EK D
NONLINEER ANALİZ SONUÇLARI

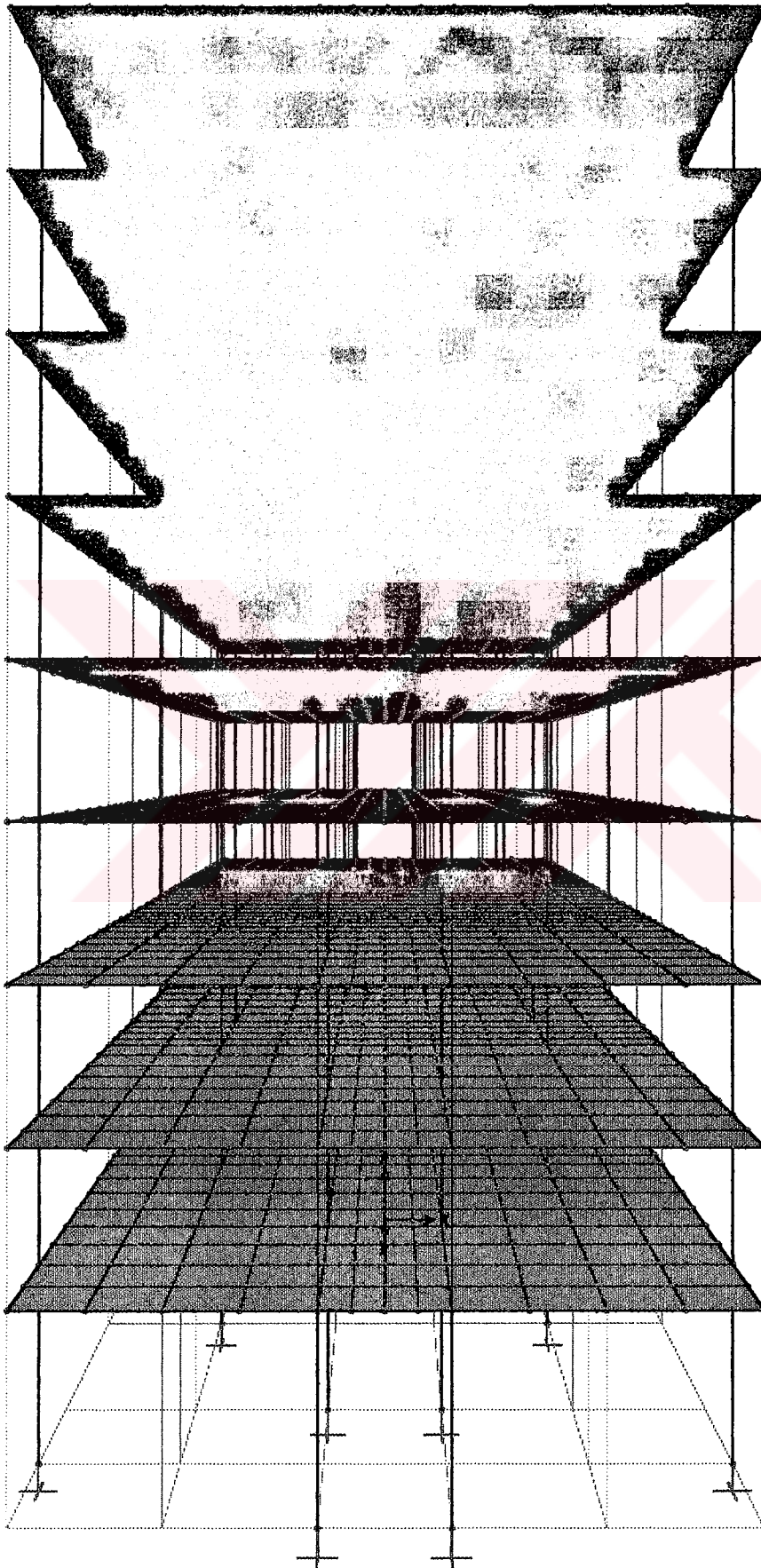


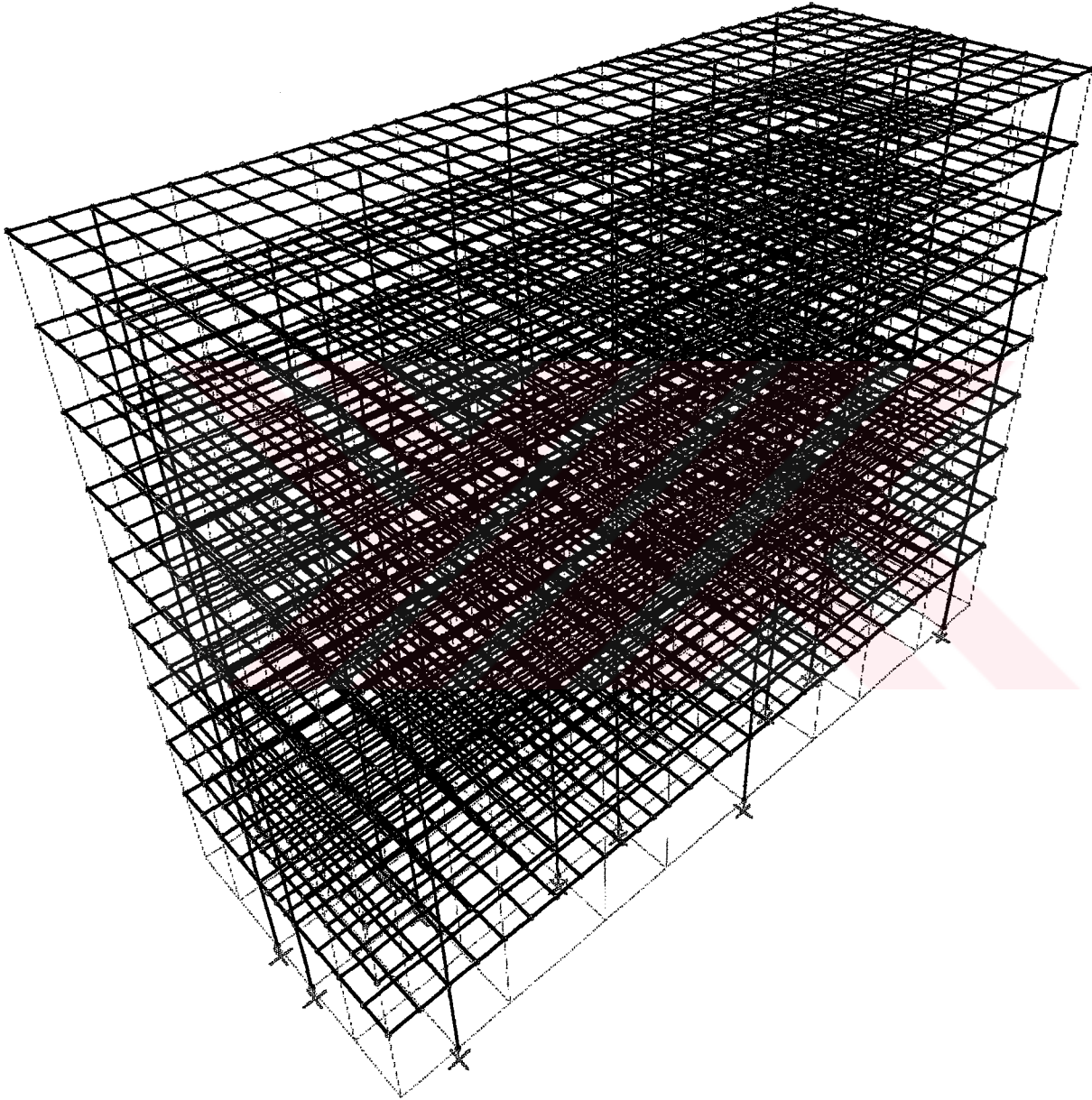
EK D1
GENEL GÖRÜNÜŞLER





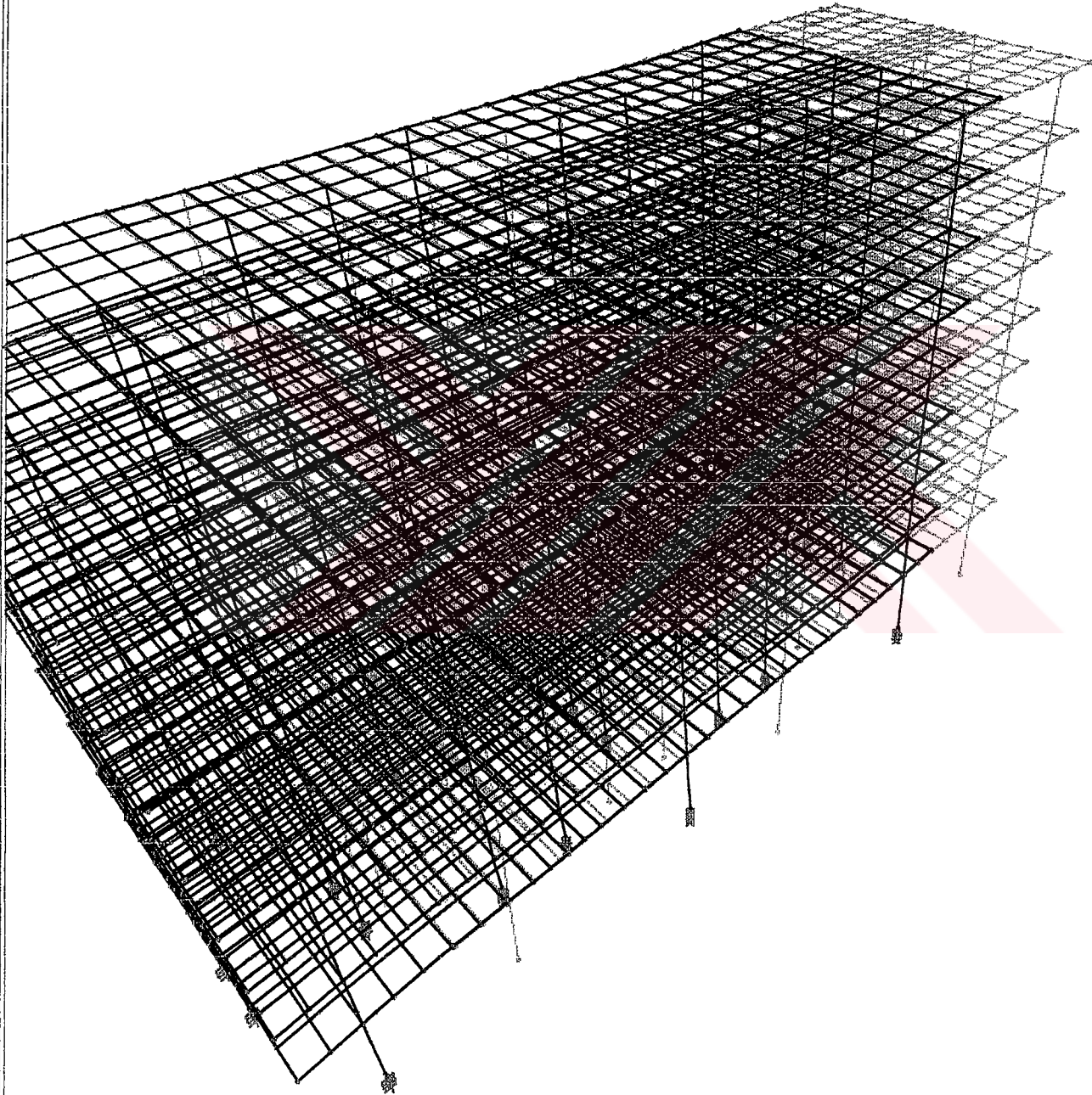


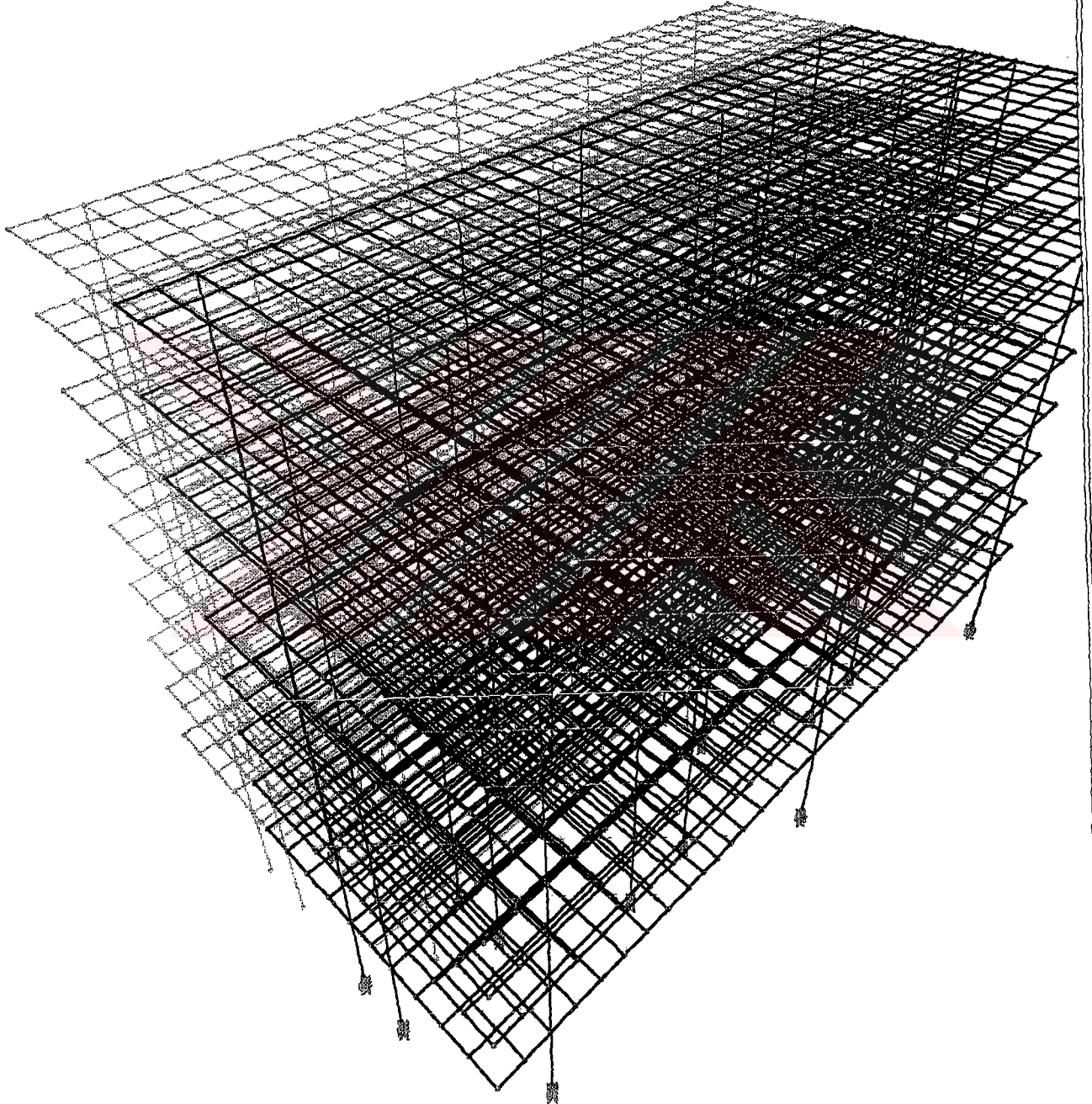


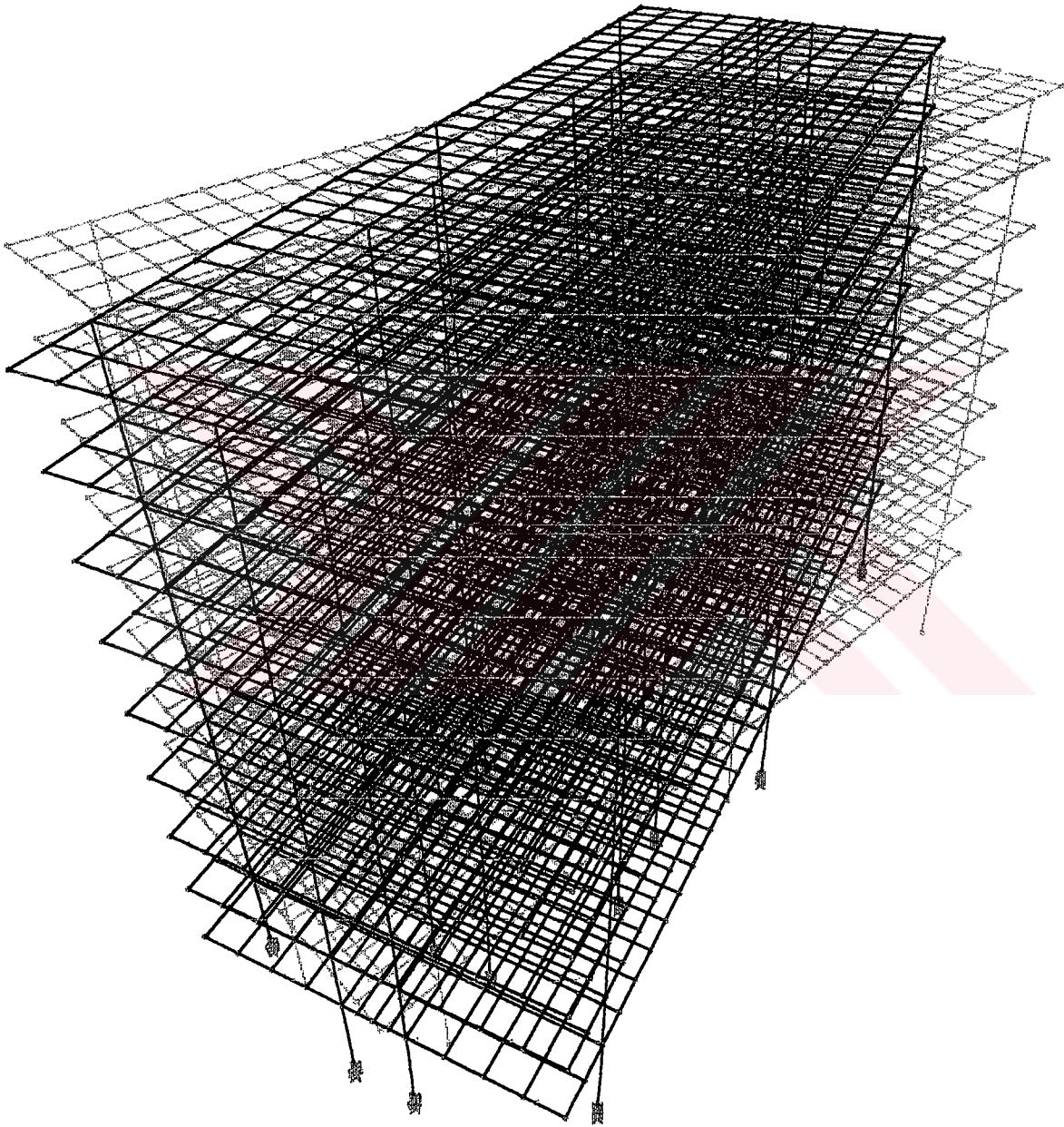


EK D2
TİTREŞİM MODLARI





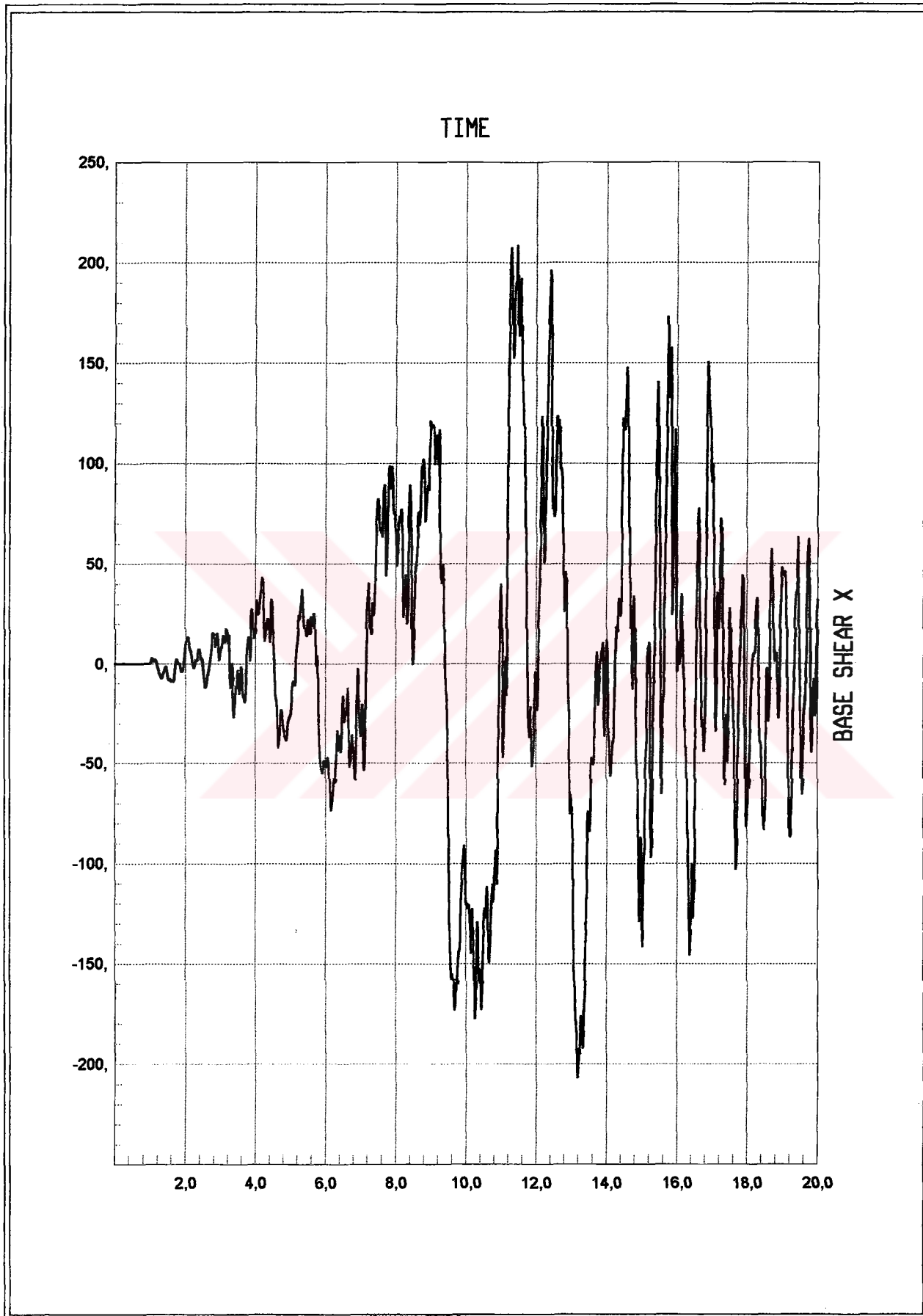




EK D3

TABAN KESME KUVVETLERİ

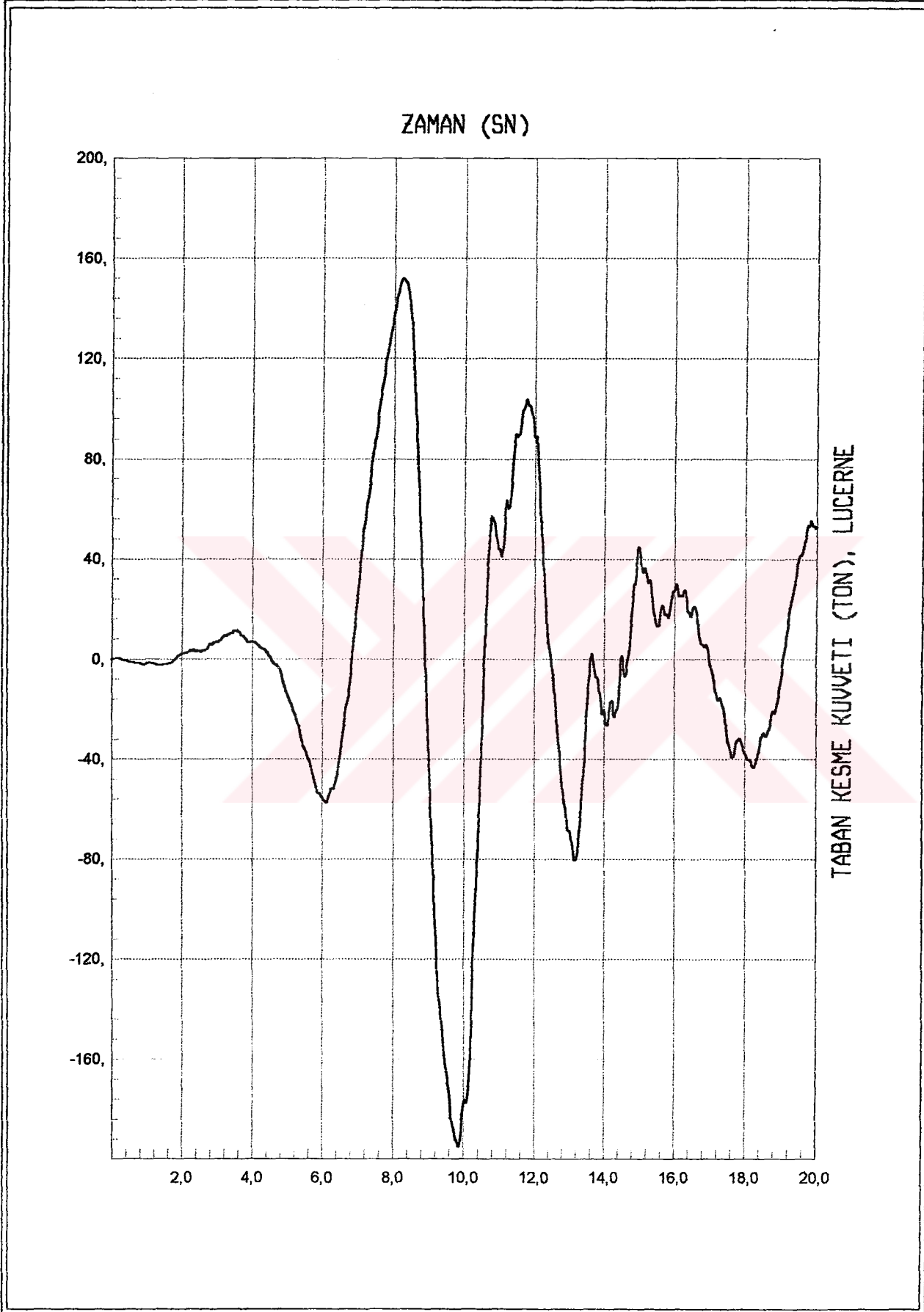




SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator alaturka - Ton-m Units

Base Shear X: Base Shear X Vs Time

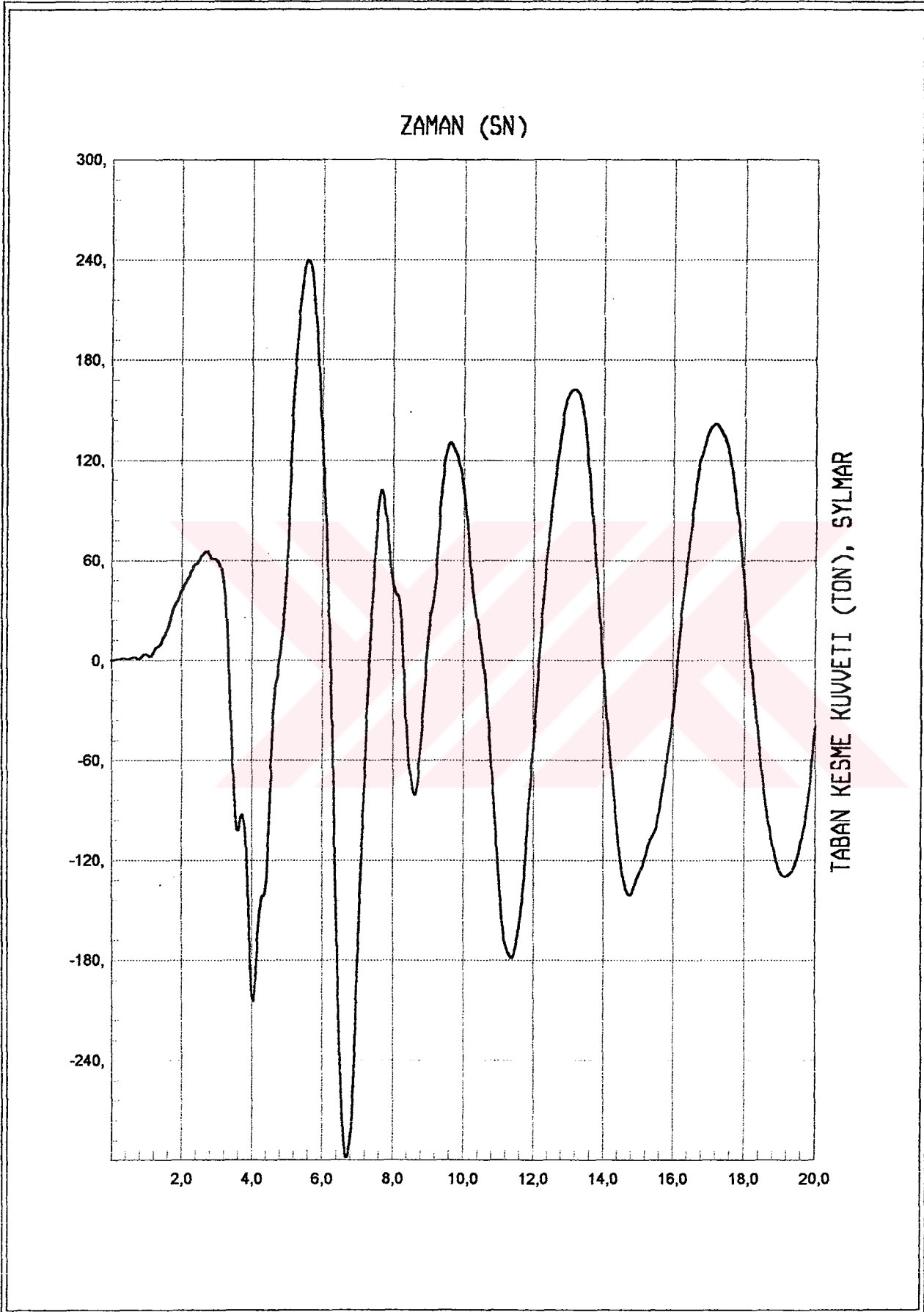
Min is -2,070e+02 at 1,3180e+01 Max is 2,083e+02 at 1,1460e+01



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Base Shear X: Base Shear X Vs Time

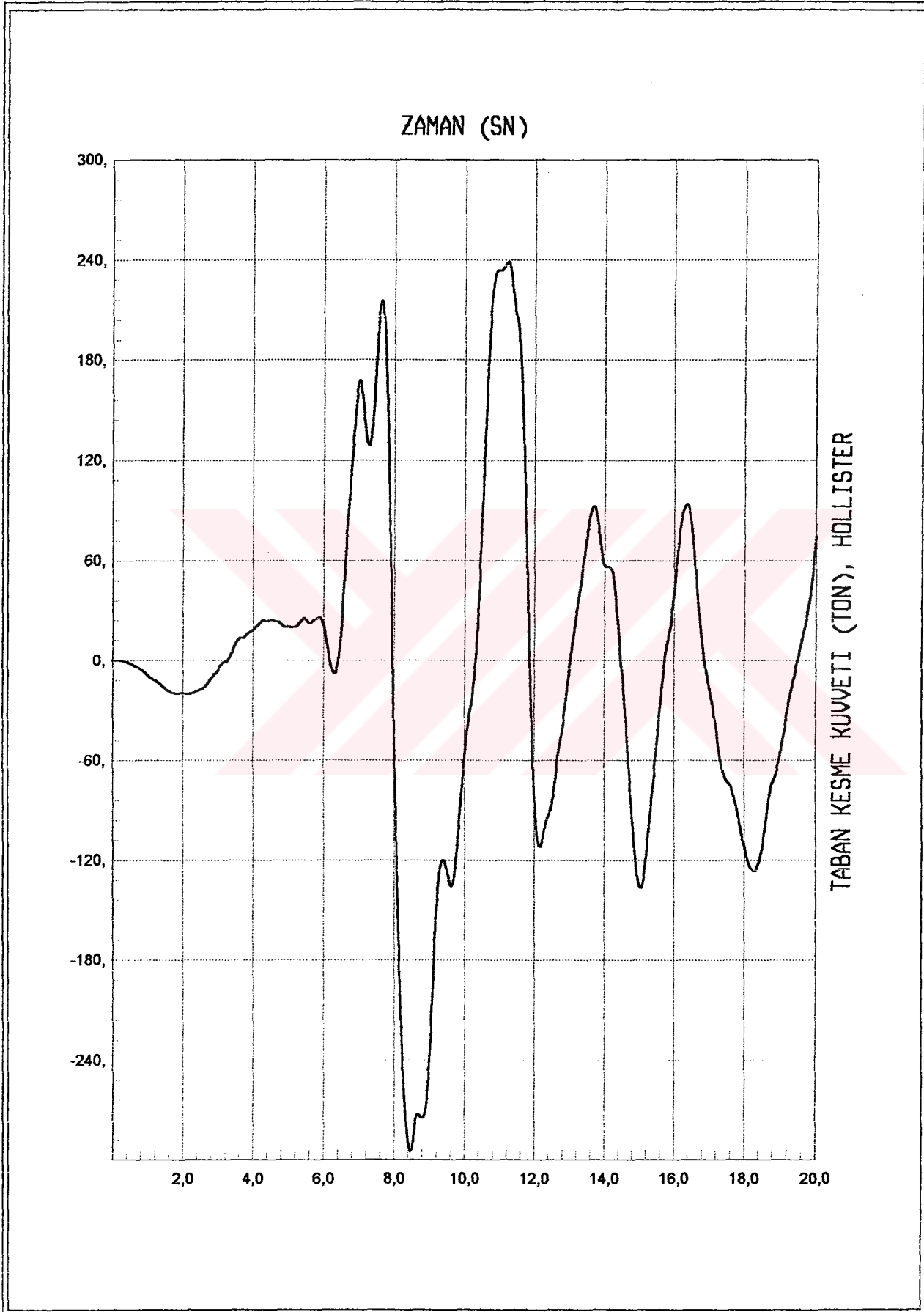
Min is -1,951e+02 at 9,8800e+00 Max is 1,520e+02 at 8,2300e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Base Shear X: Base Shear X Vs Time

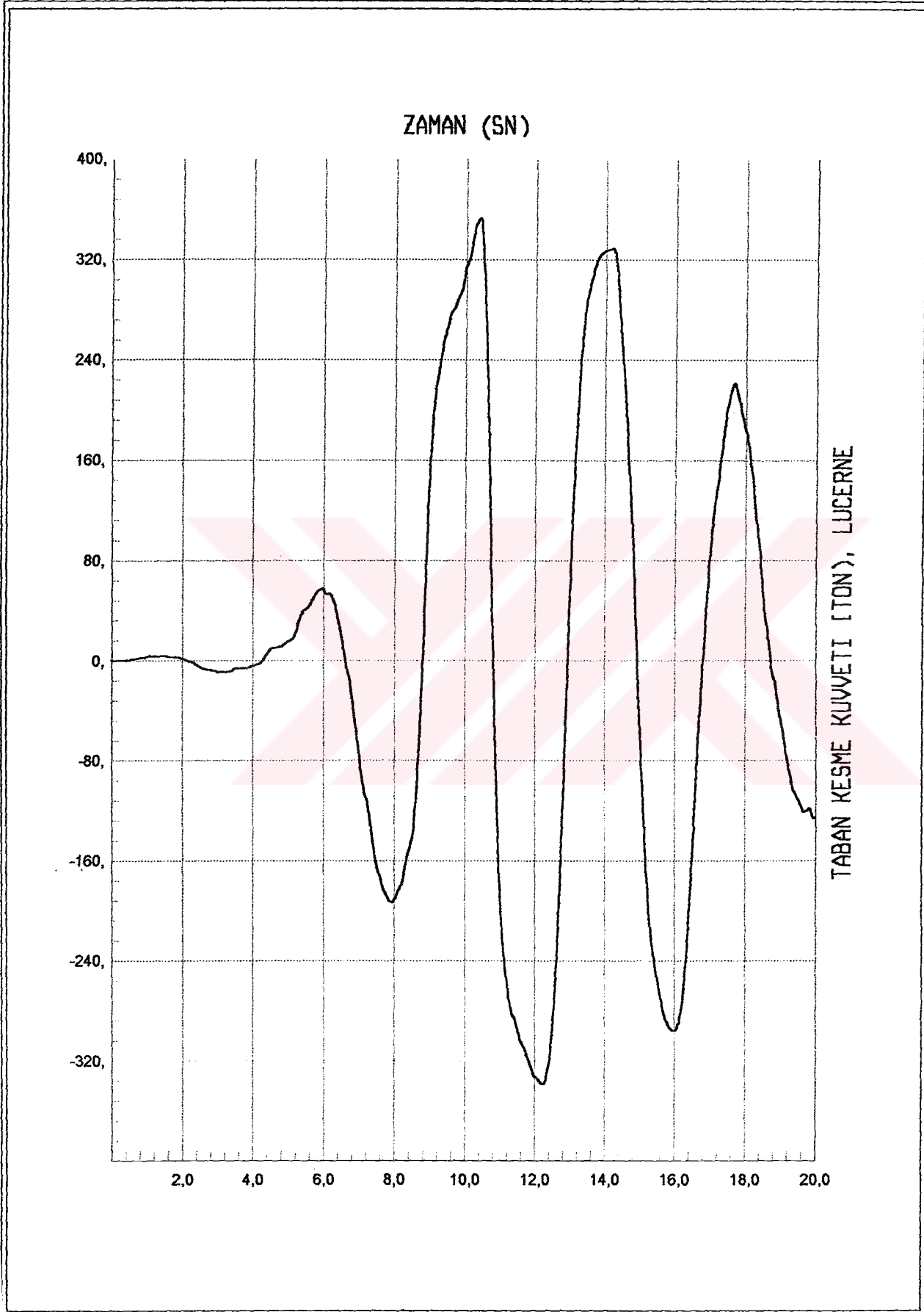
Min is -2,986e+02 at 6,6900e+00 Max is 2,397e+02 at 5,5700e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Base Shear X: Base Shear X Vs Time

Min is -2,950e+02 at 8,4700e+00 Max is 2,388e+02 at 1,1230e+01

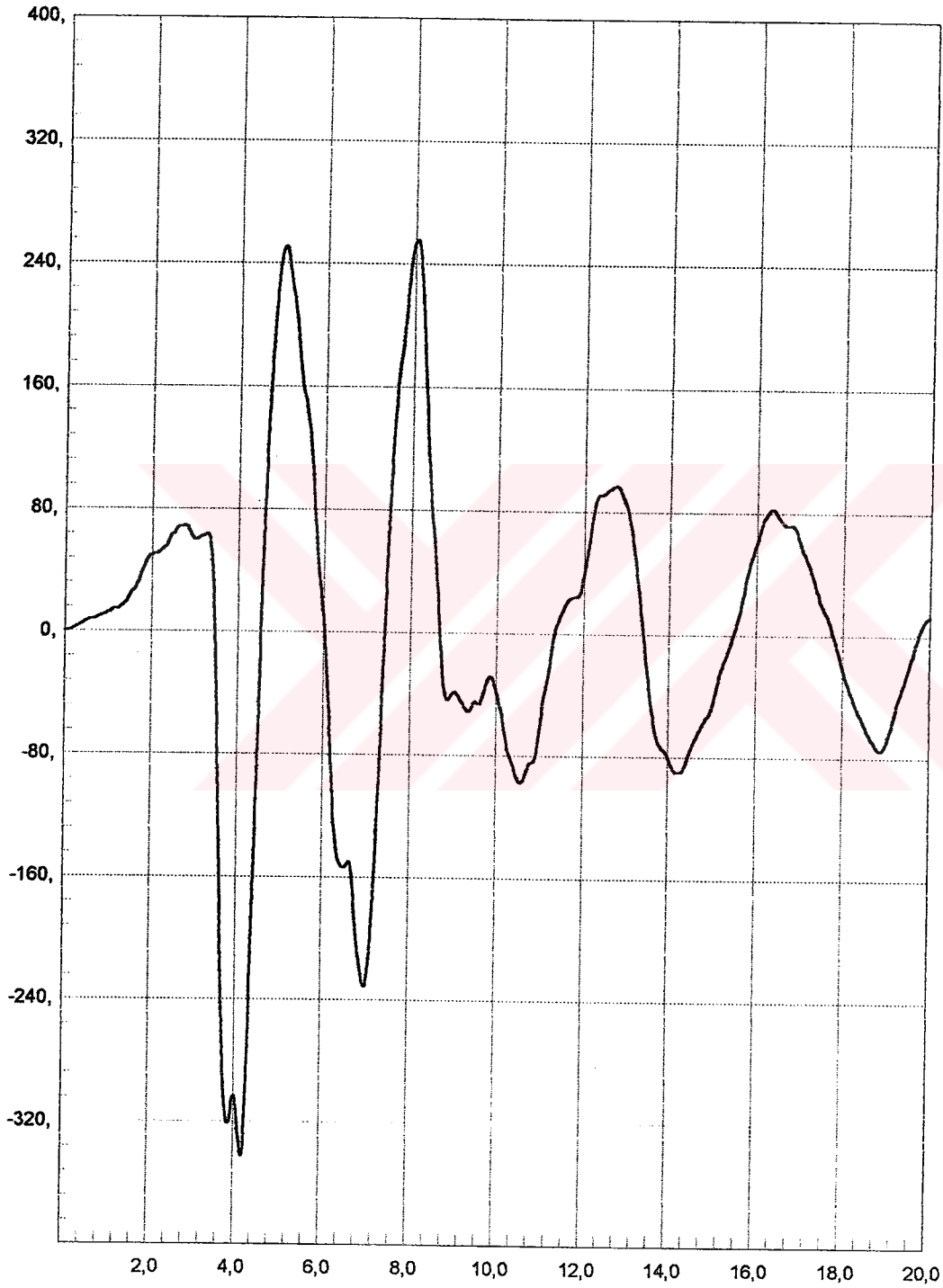


SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

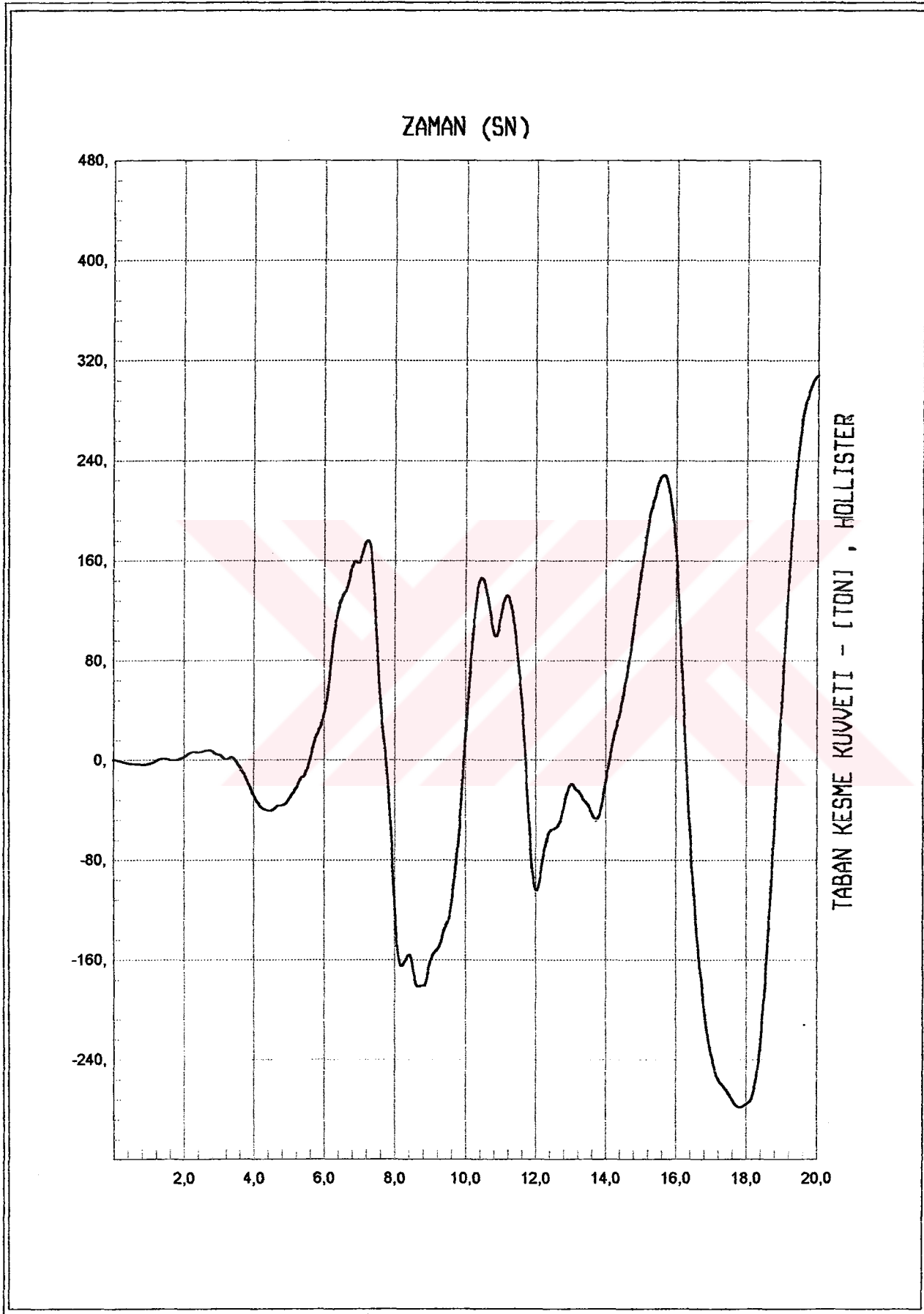
Base Shear Y: Base Shear Y Vs Time

Min is -3,389e+02 at 1,2250e+01 Max is 3,526e+02 at 1,0400e+01

ZAMAN (SN)



TABAN KESME KUVVETI - [TON] , SYLMAR



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Base Shear Y: Base Shear Y Vs Time

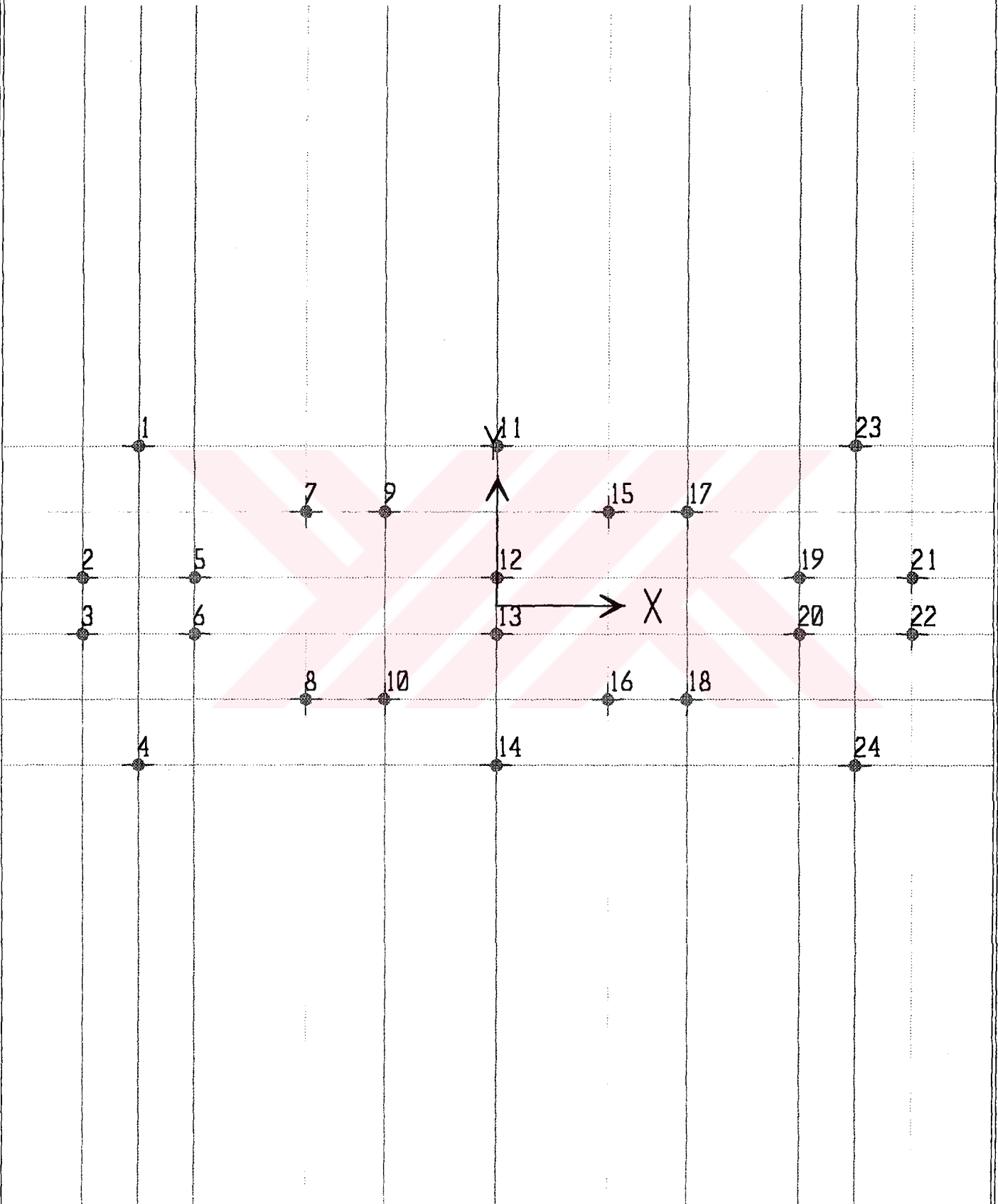
Min is -2,783e+02 at 1,7820e+01 Max is 3,078e+02 at 2,0000e+01

EK D4

İZOLATÖRLERİN PLANDA YERLEŞİMİ



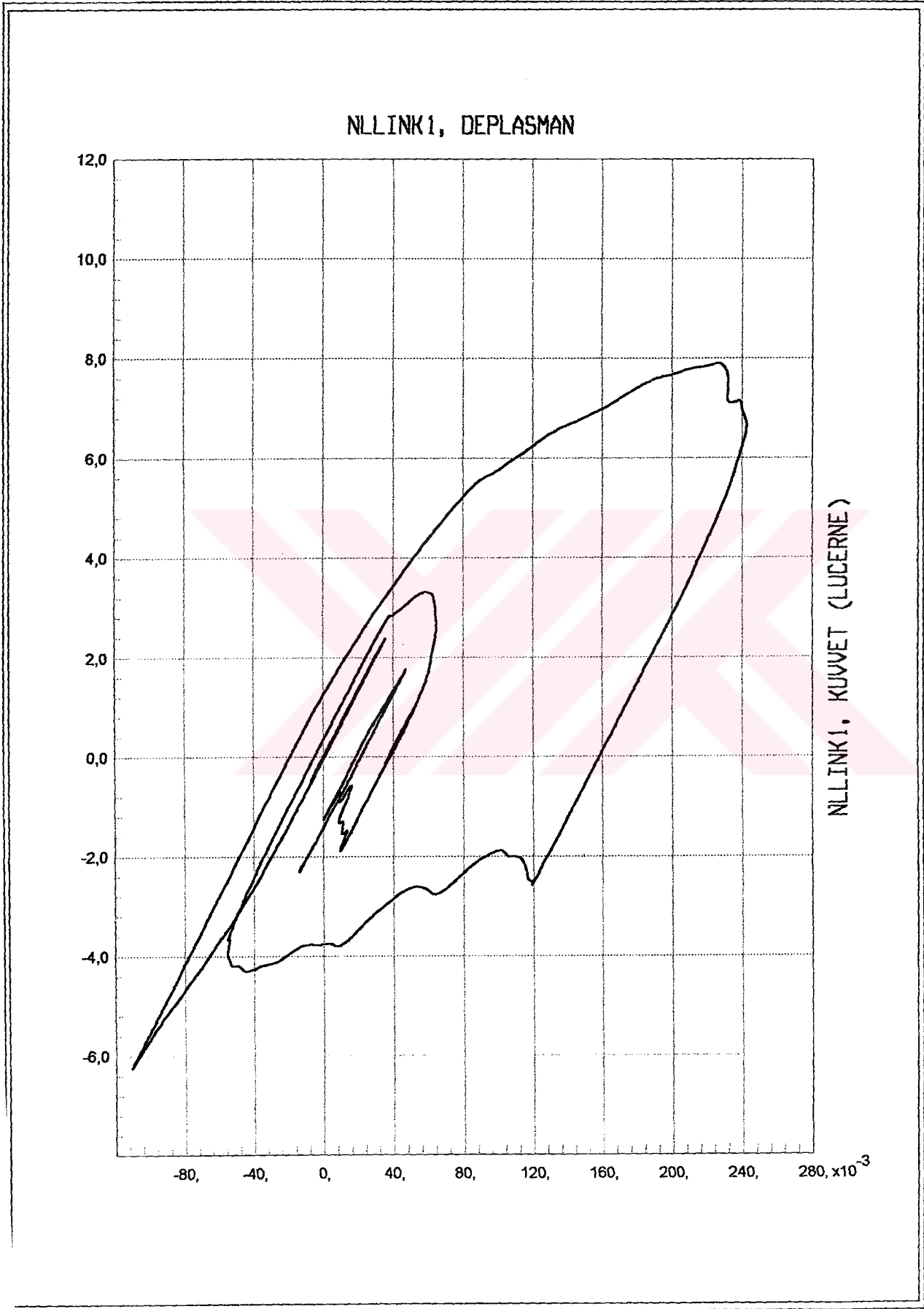
**T.C. YÜKSEK İHTİSAP KURULU
DOKÜMAN YÖNETİM MERKEZİ**

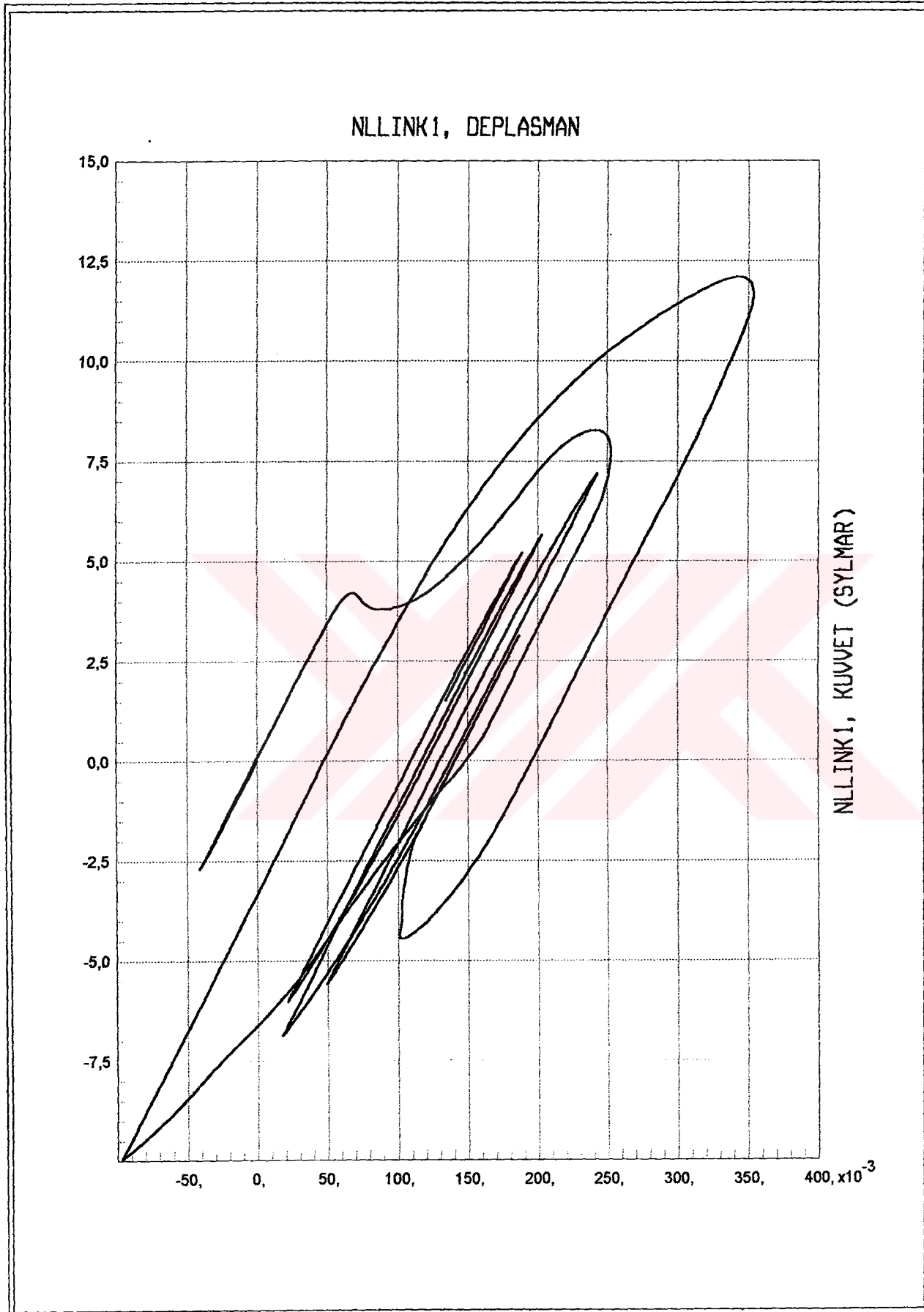


EK D5

**İZOLATÖRLERE AİT KUVVET – YERDEĞİŞTİRME GRAFİKLERİ
(HİSTERETİK EĞRİLER)**



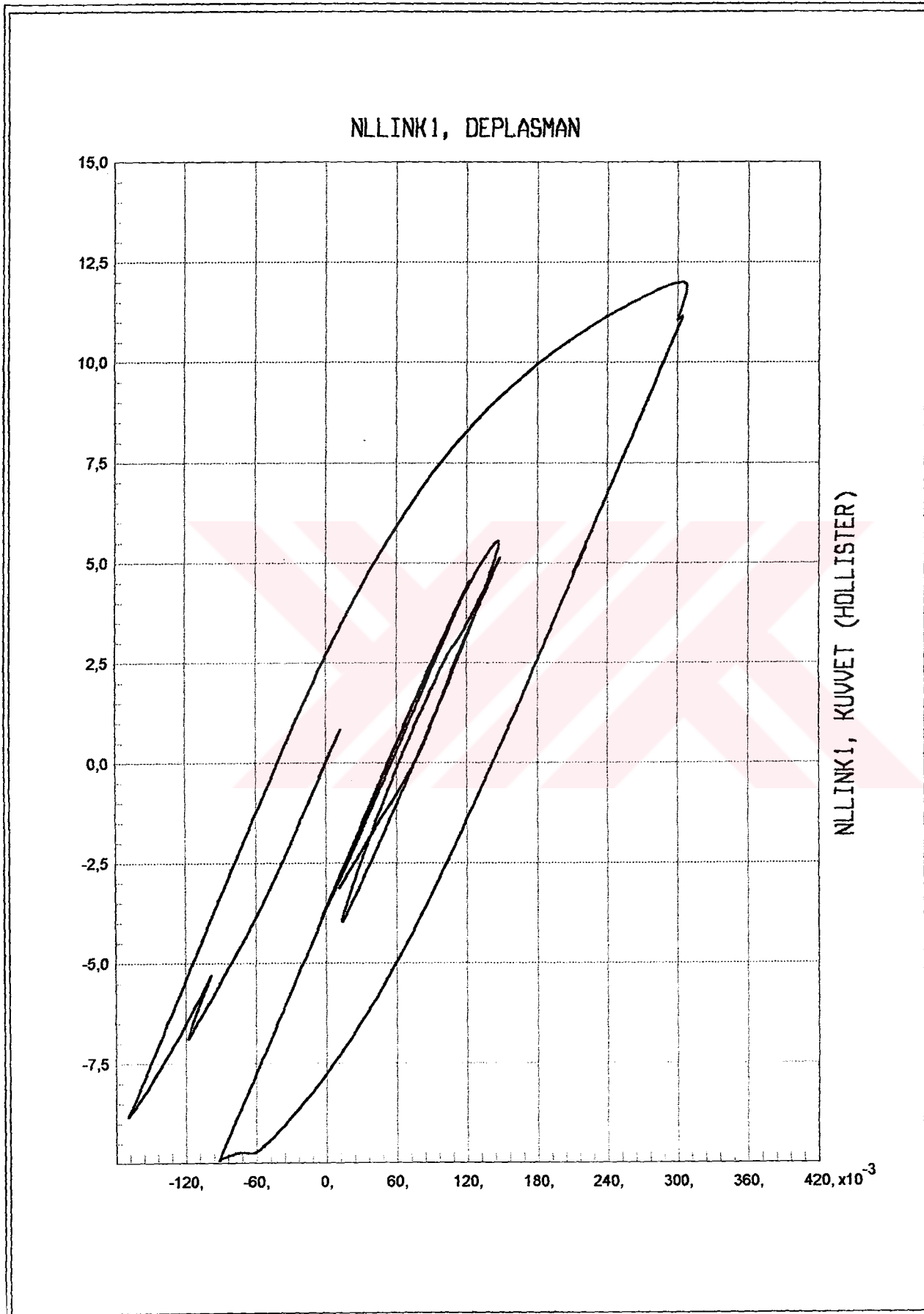




SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

NLLink1-1: NLLink 1 at End-I Shear 2-2

NLLink1: NLLink 1 U2

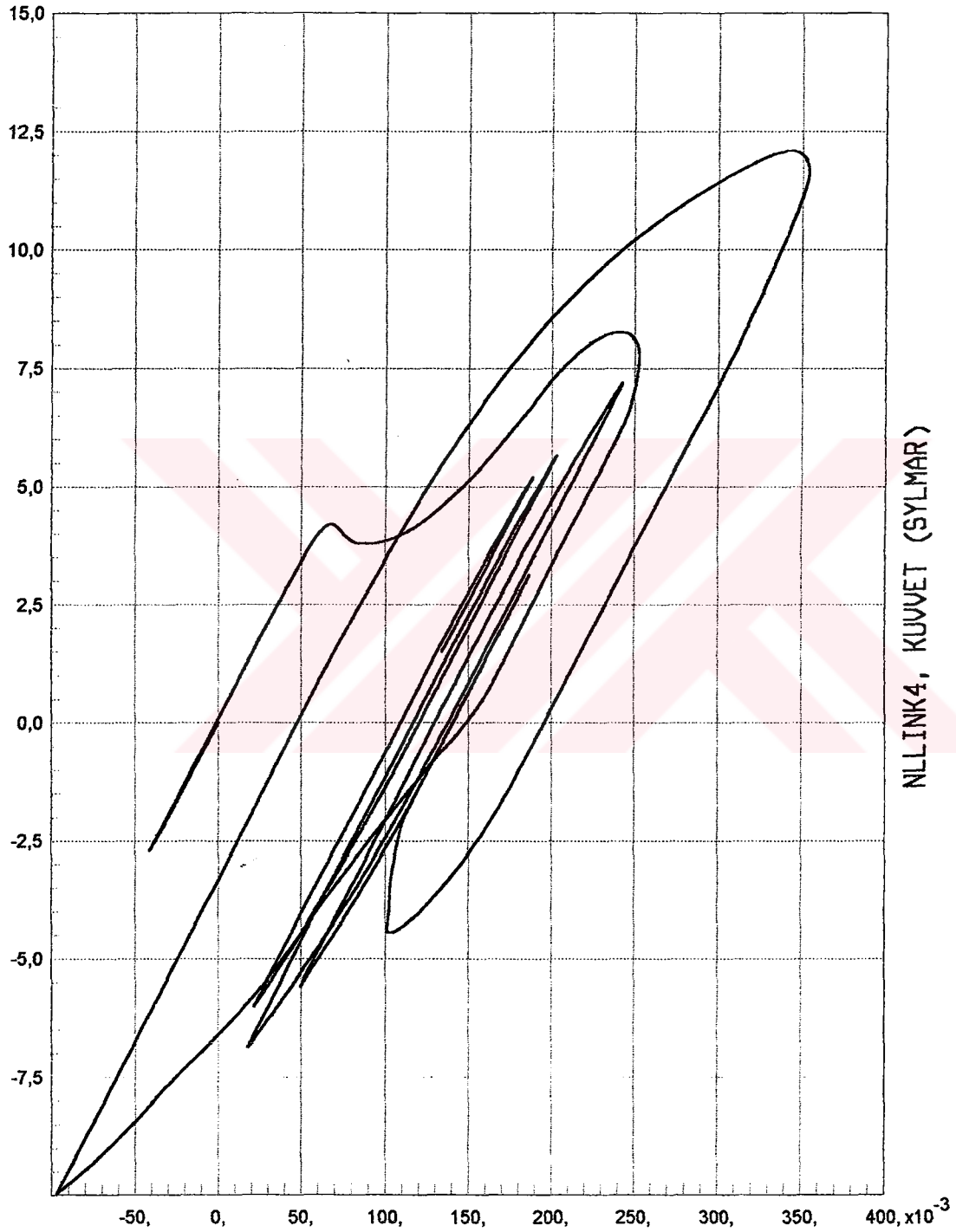


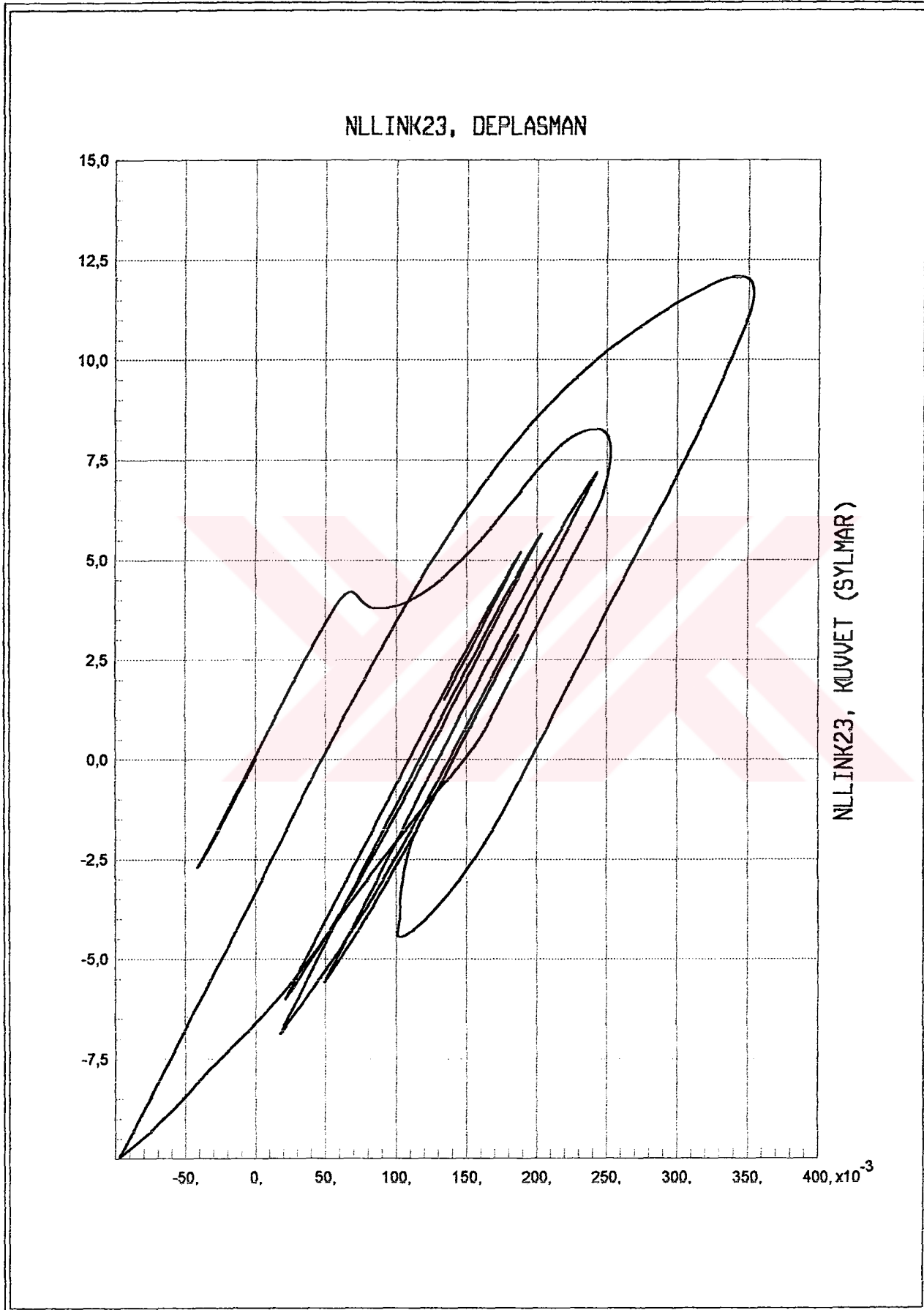
SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

NLLink1-1: NLLink 1 at End-I Shear 2-2

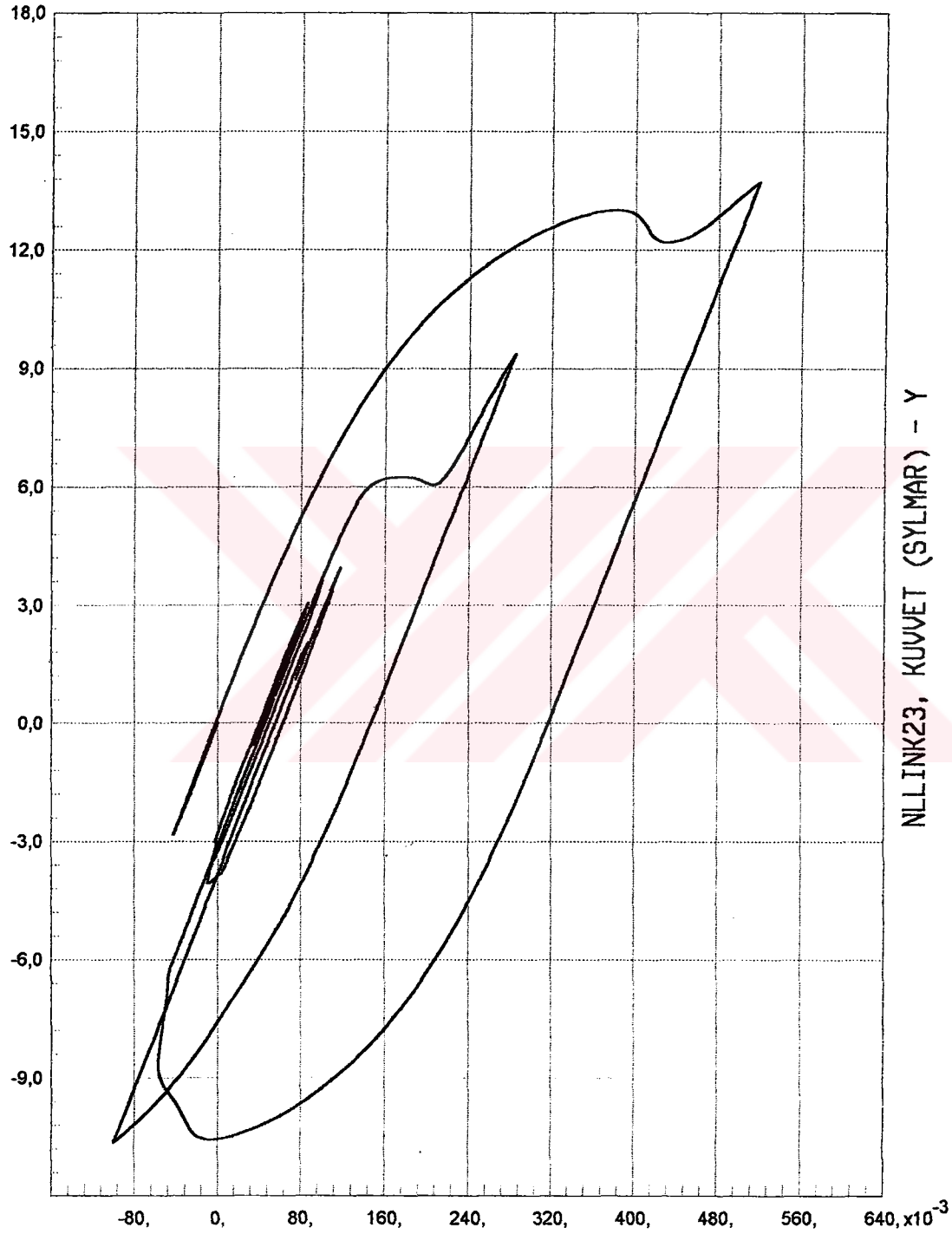
NLLink1: NLLink 1 U2

NLLINK4, DEPLASMAN

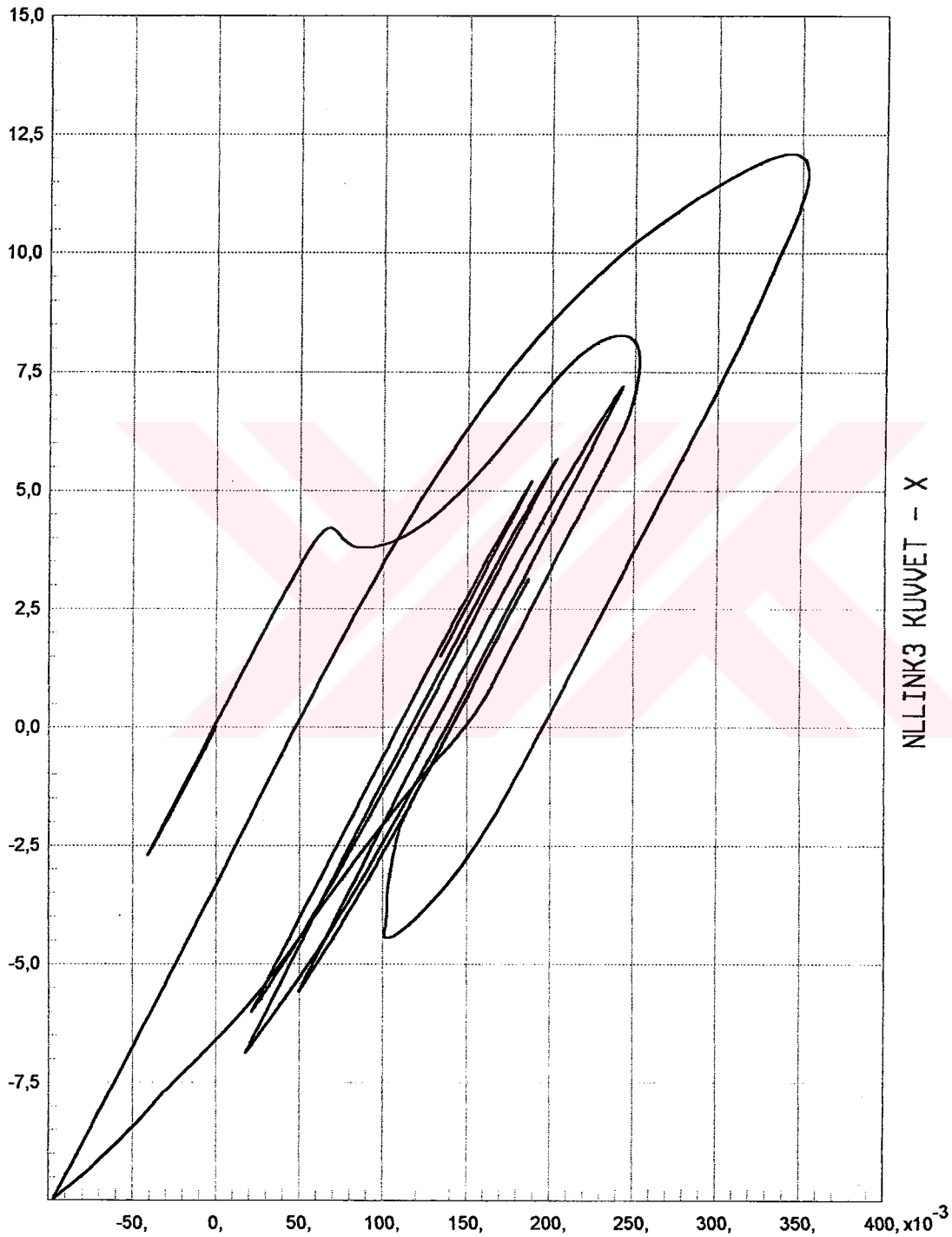


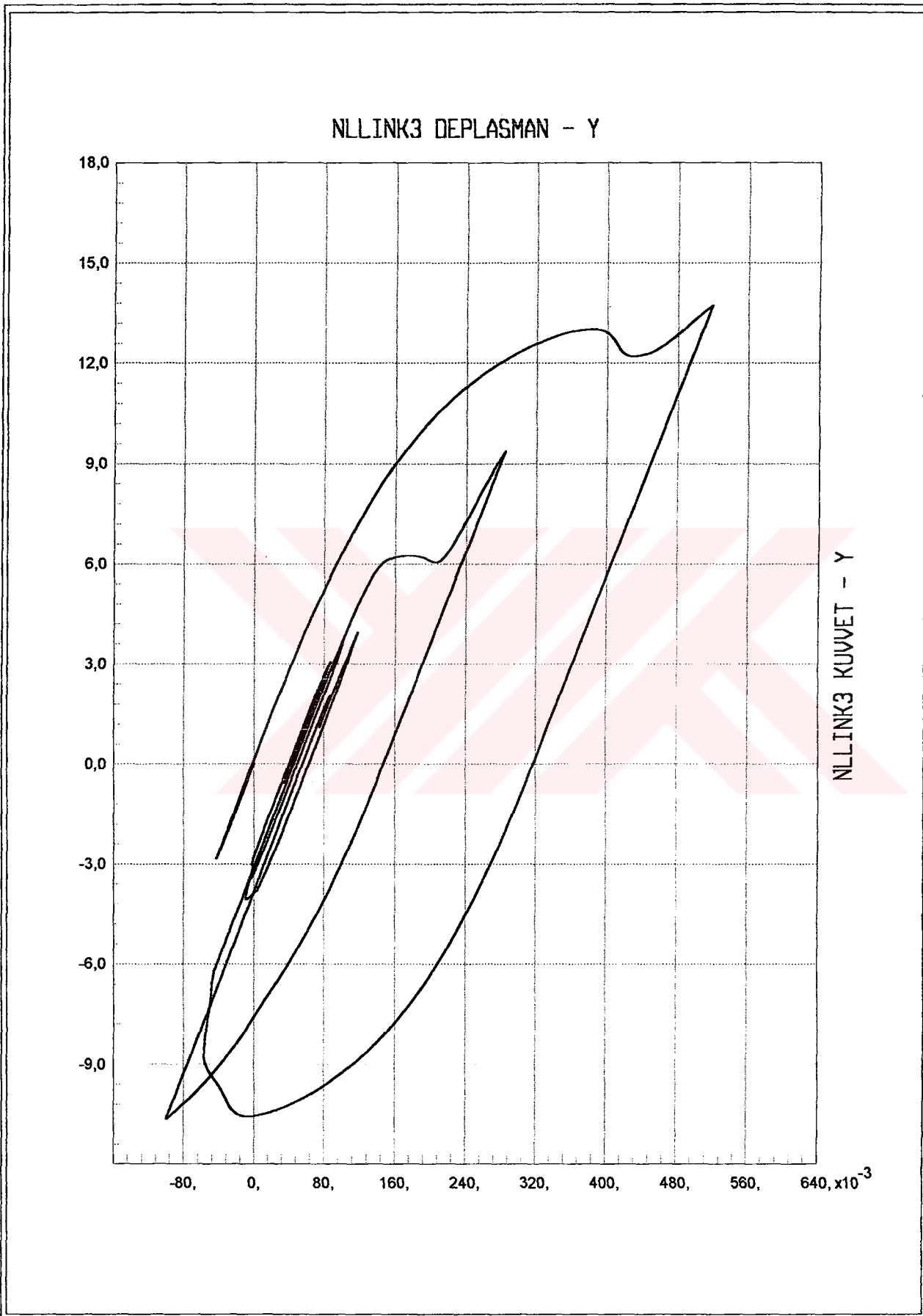


NLLINK23, DEPLASMAN



NLLINK3 DEPLASMAN - X



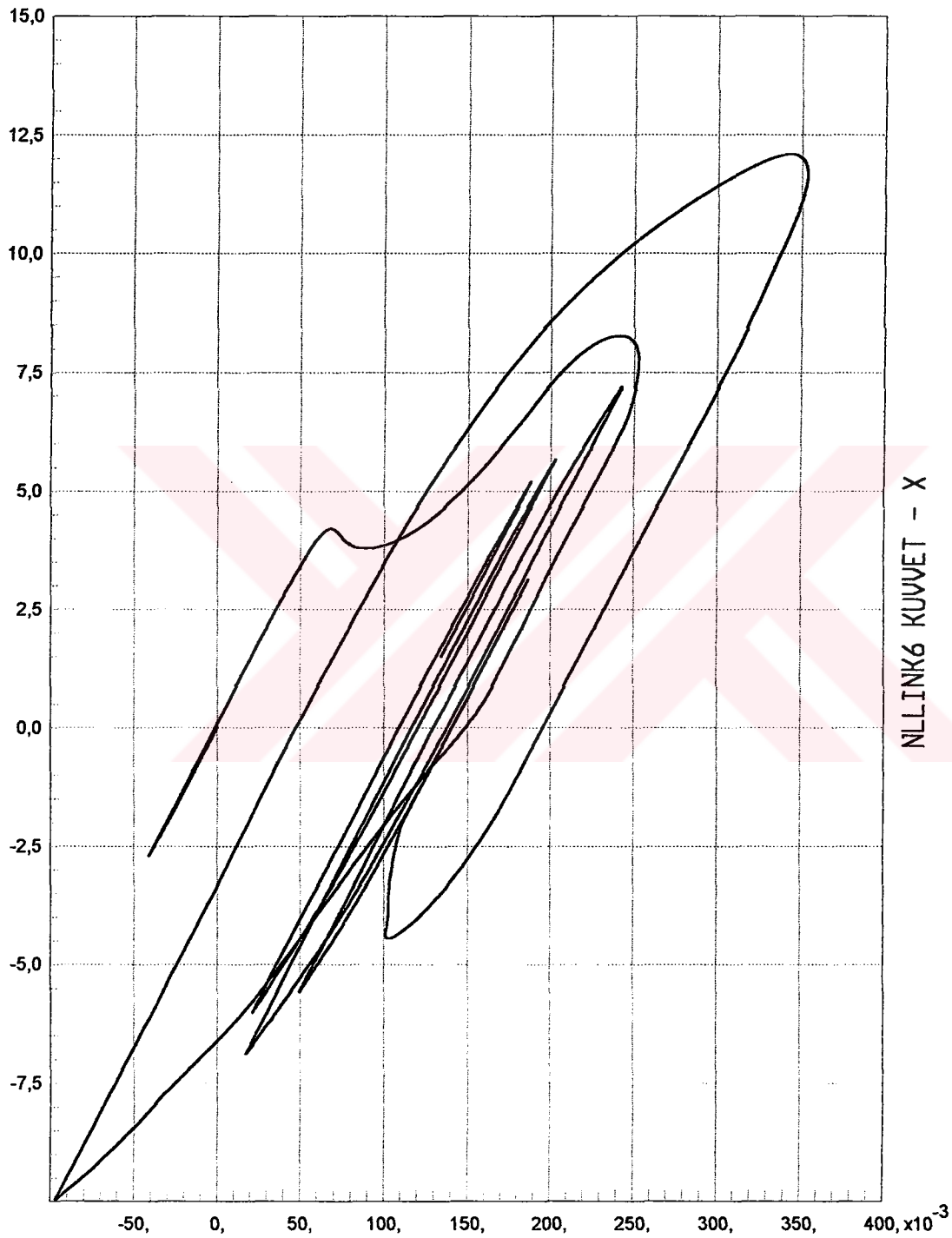


SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

NLLink3-3: NLLink 3 at End-I Shear 3-3

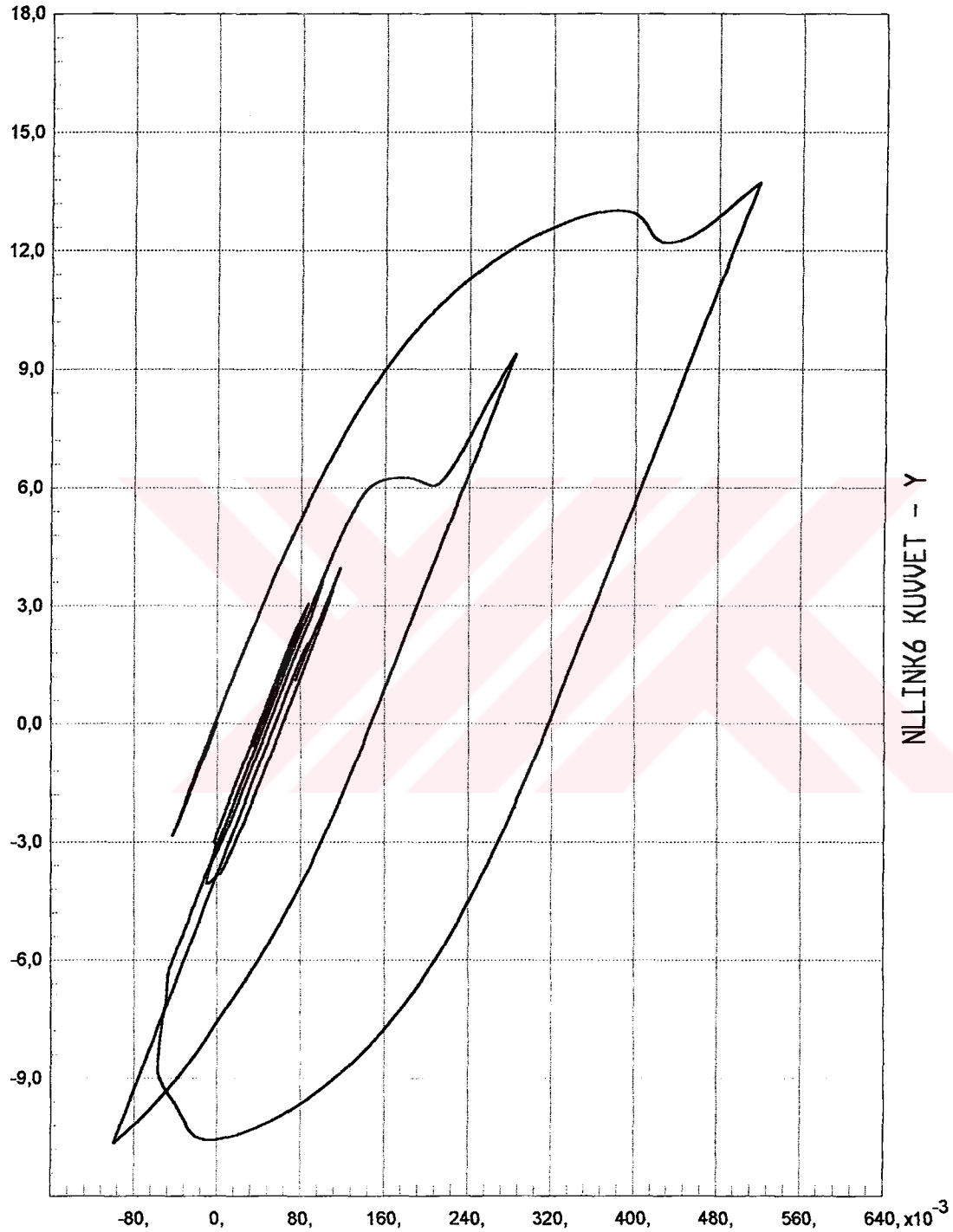
NLLink3-2: NLLink 3 U3

NLLINK6 DEPLASMAN - X



NLLINK6 KUVVET - X

NLLINK6 DEPLASMAN - Y



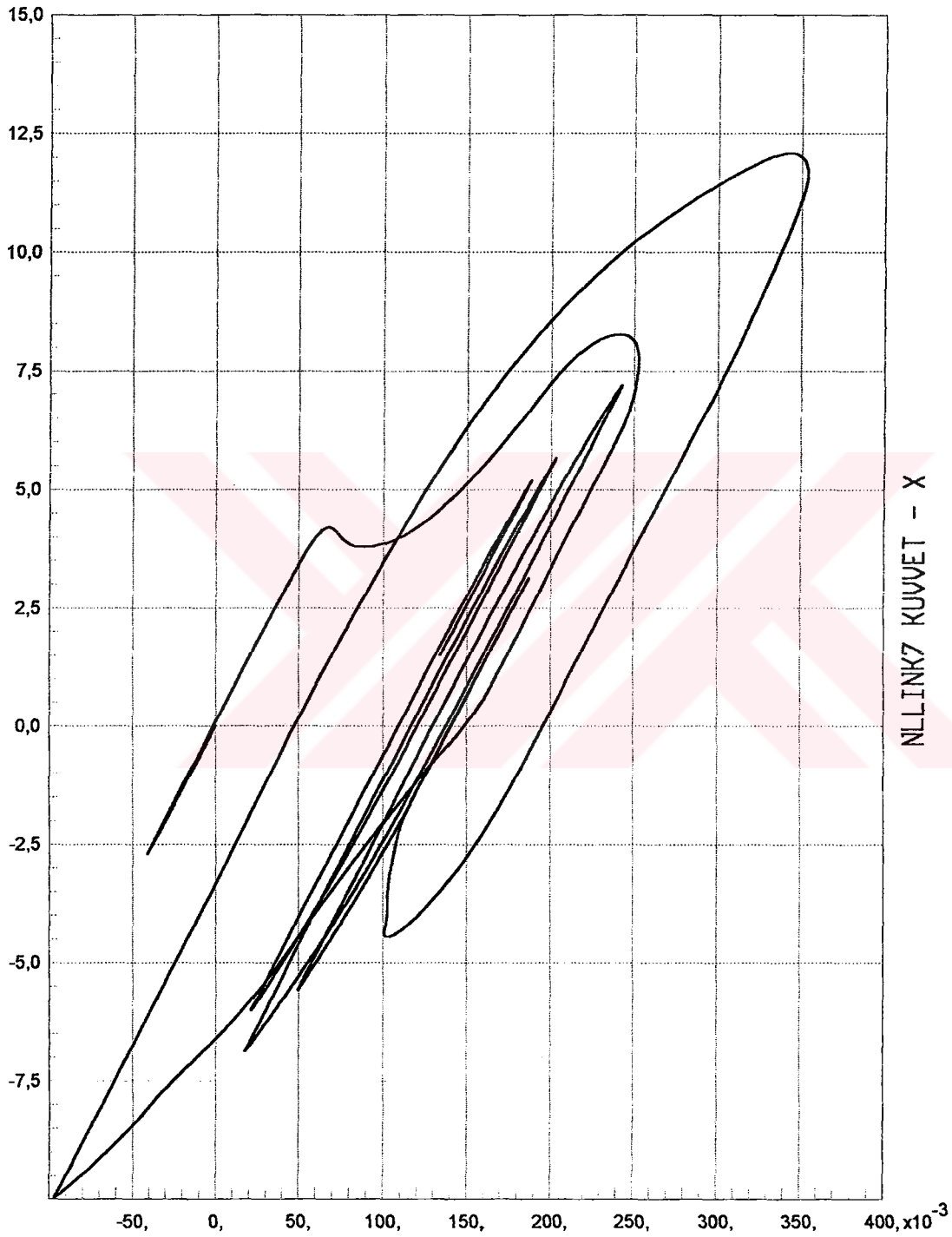
NLLINK6 KUVVET - Y

SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

NLLink6-3: NLLink 6 at End-I Shear 3-3

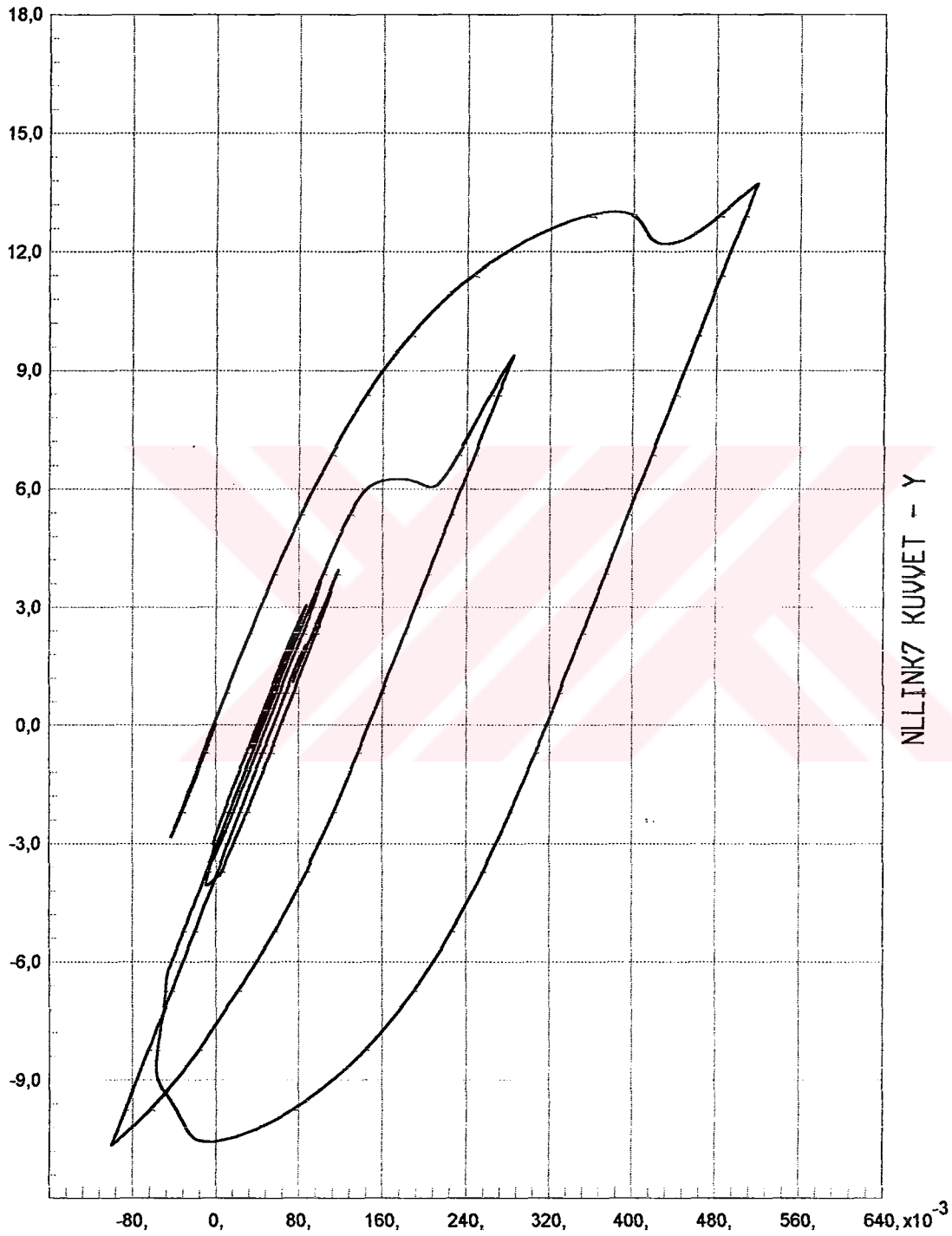
NLLink6-2: NLLink 6 U3

NLLINK7 DEPLASMAN - X

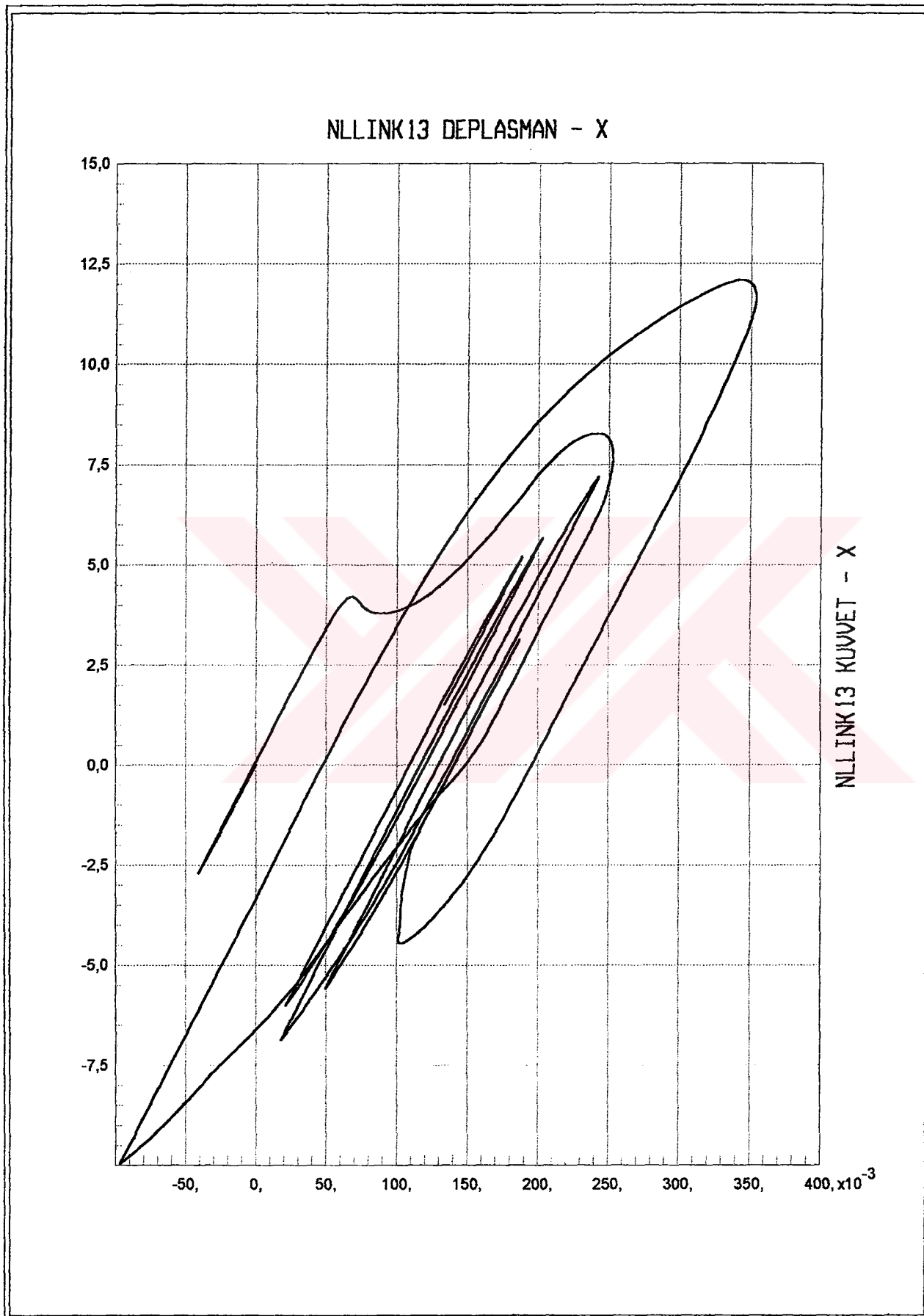


NLLINK7 KUVVET - X

NLLINK7 DEPLASMAN - Y



NLLINK7 KUVVET - Y



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

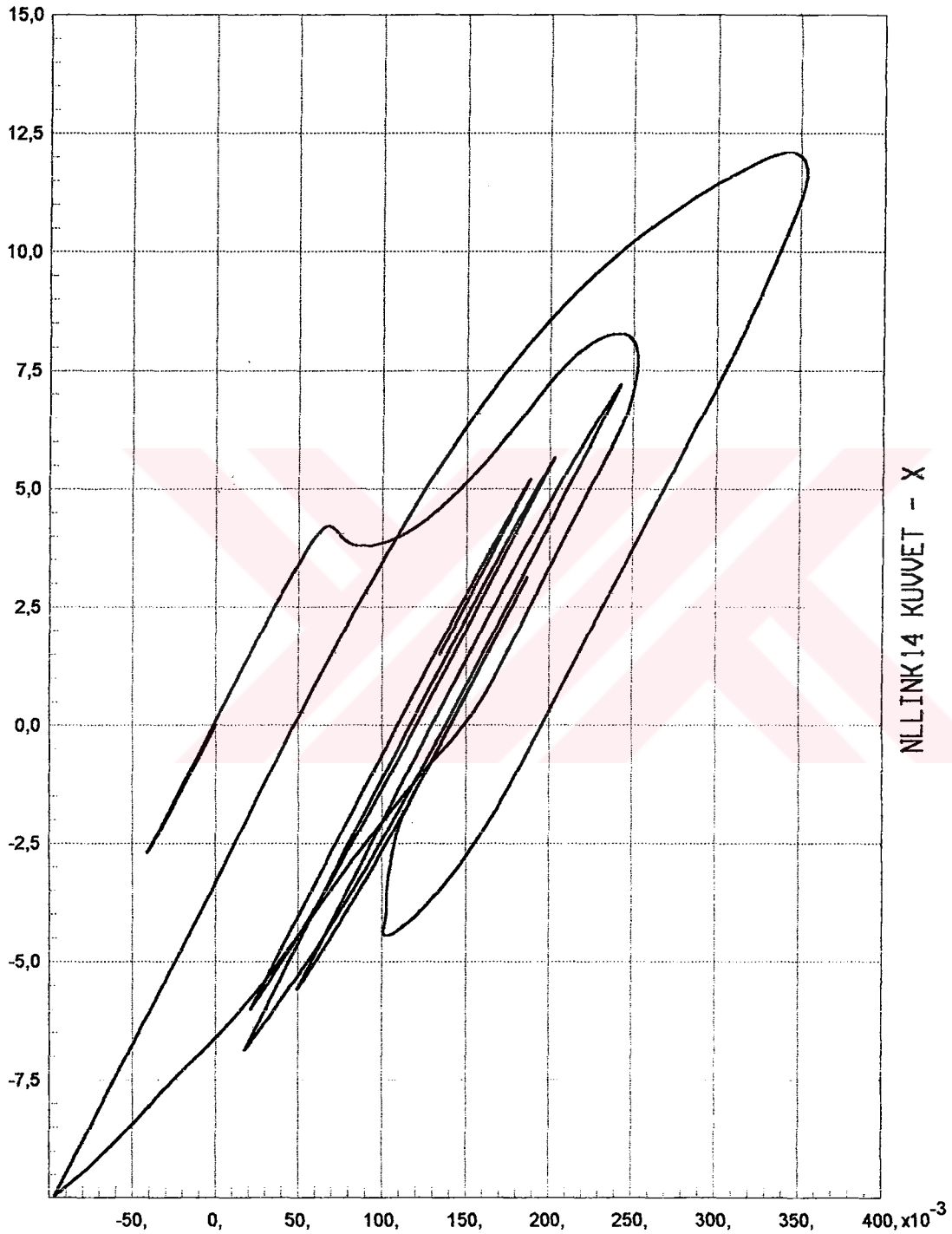
NLLink13-1: NLLink 13 at End-I Shear 2-2

NLLink13: NLLink 13 U2

NLLINK13 DEPLASMAN - Y

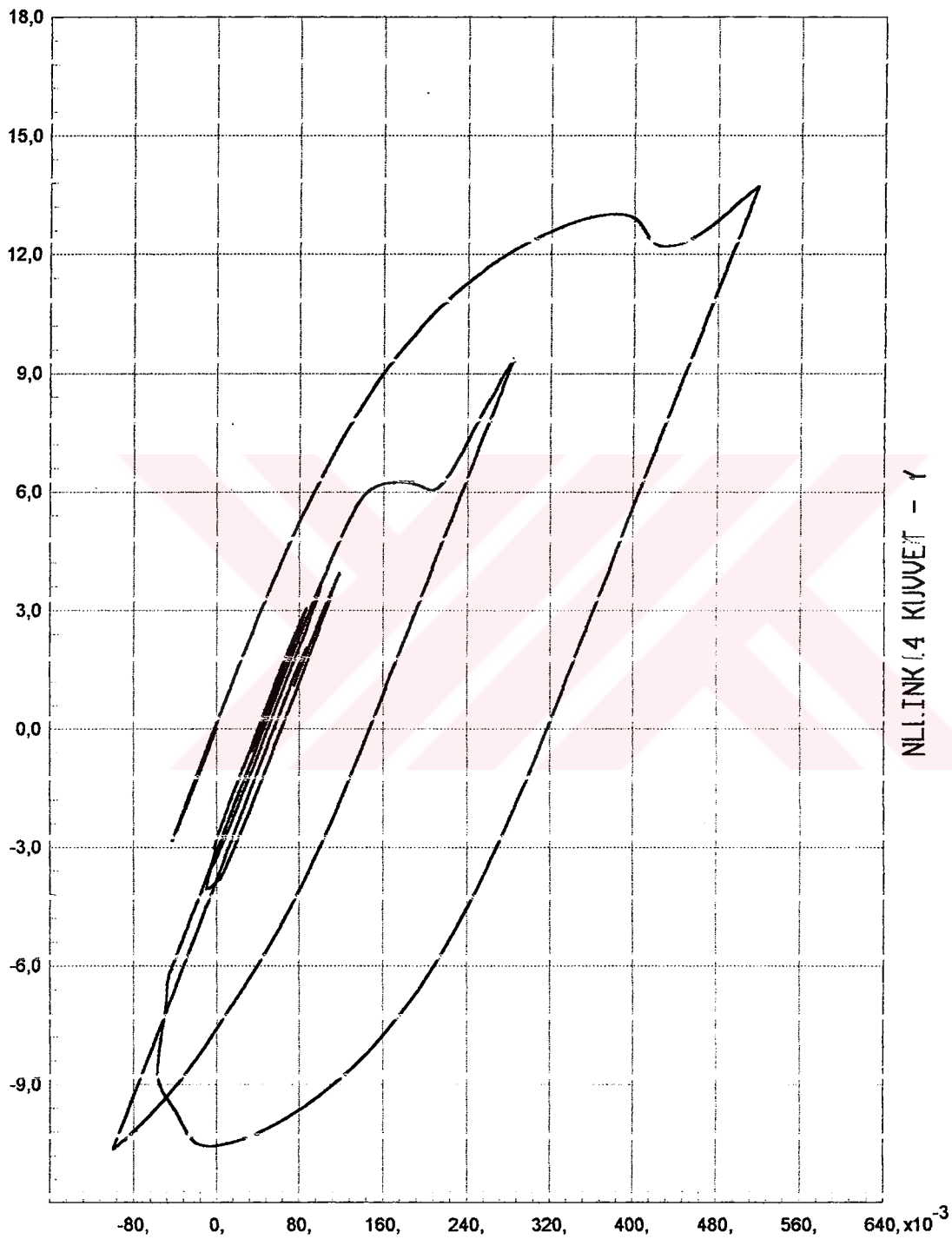


NLLINK14 DEPLASMAN - X



NLLINK14 KUVVET - X

NLLINK14 DEPLASMAN - Y

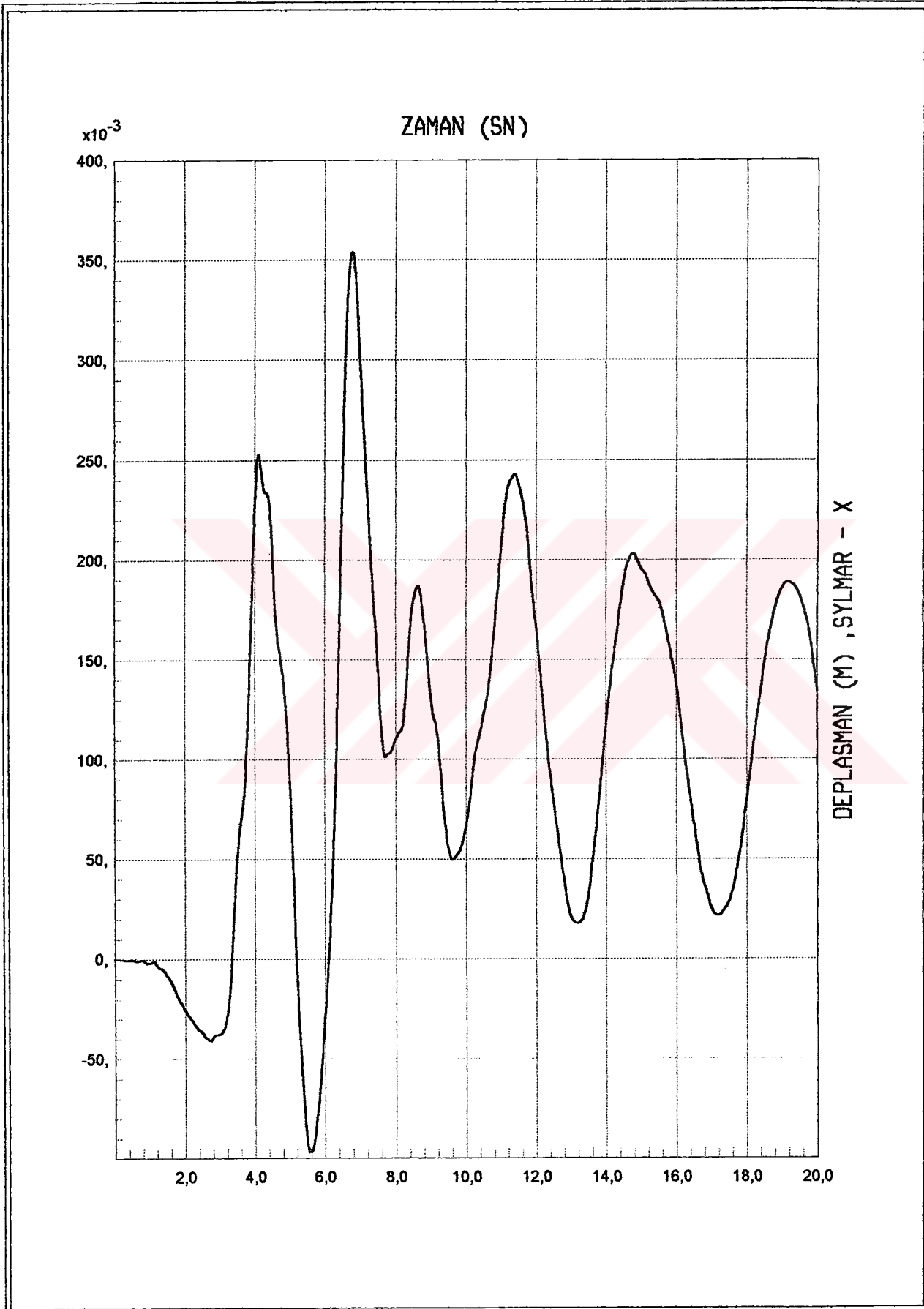


NLLINK14 KUVVET - Y

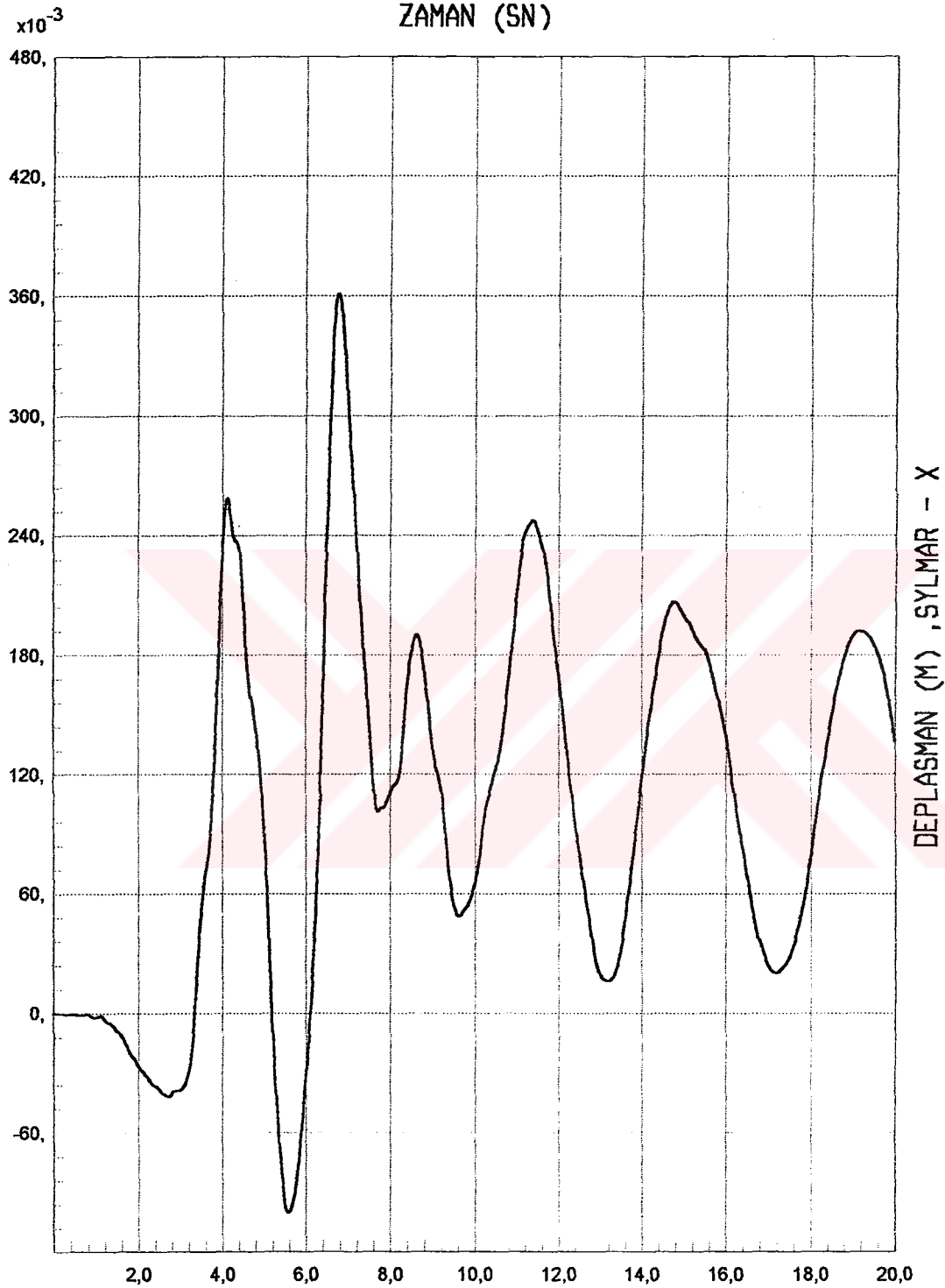
EK D6

KAT GÖRELİ YERDEĞİŞTİRMELERİ





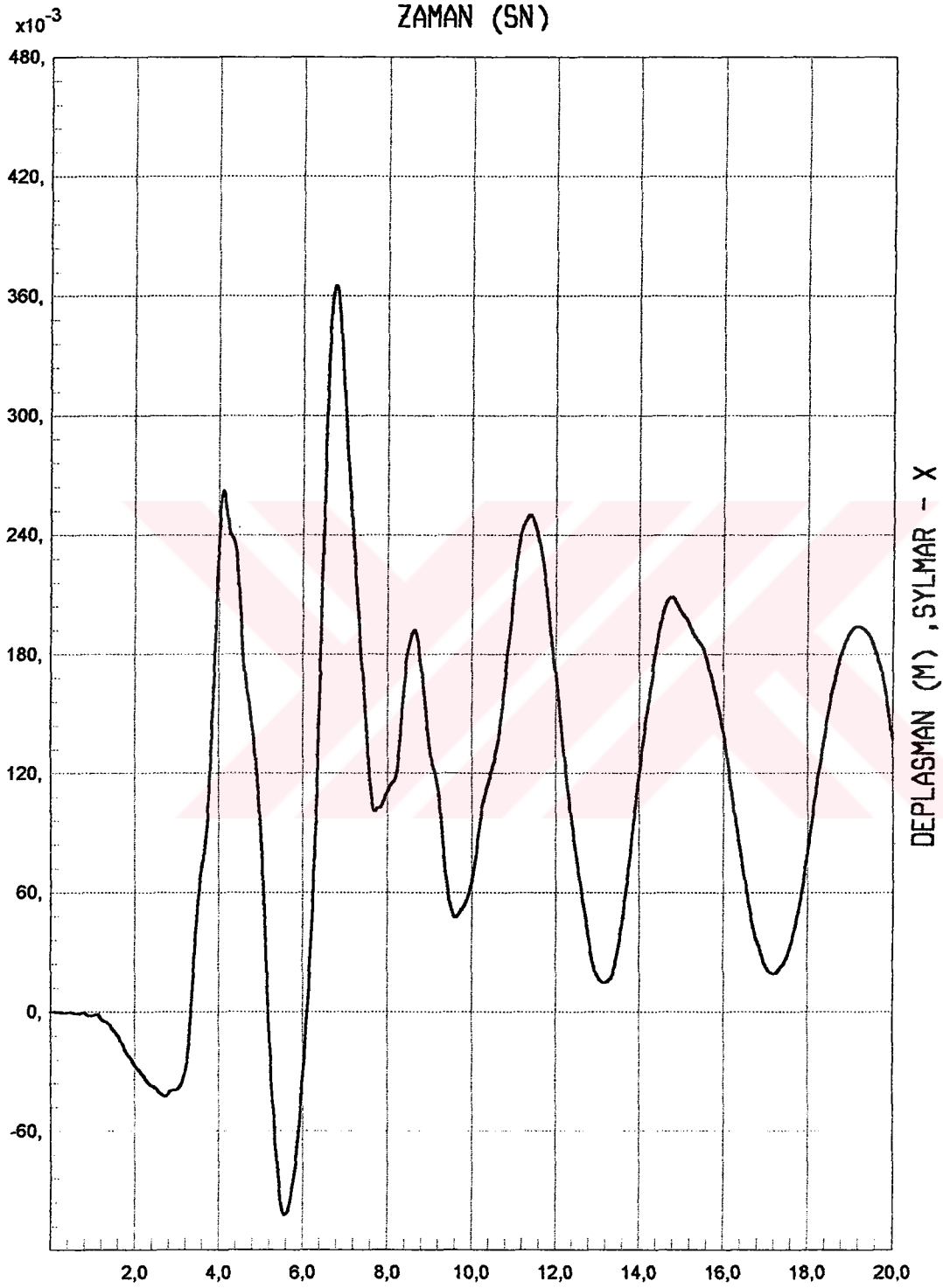
SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units
Joint31: Joint 31 Displacement UX Vs Time
Min is -9,702e-02 at 5,5700e+00 Max is 3,537e-01 at 6,7800e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint32: Joint 32 Displacement UX Vs Time

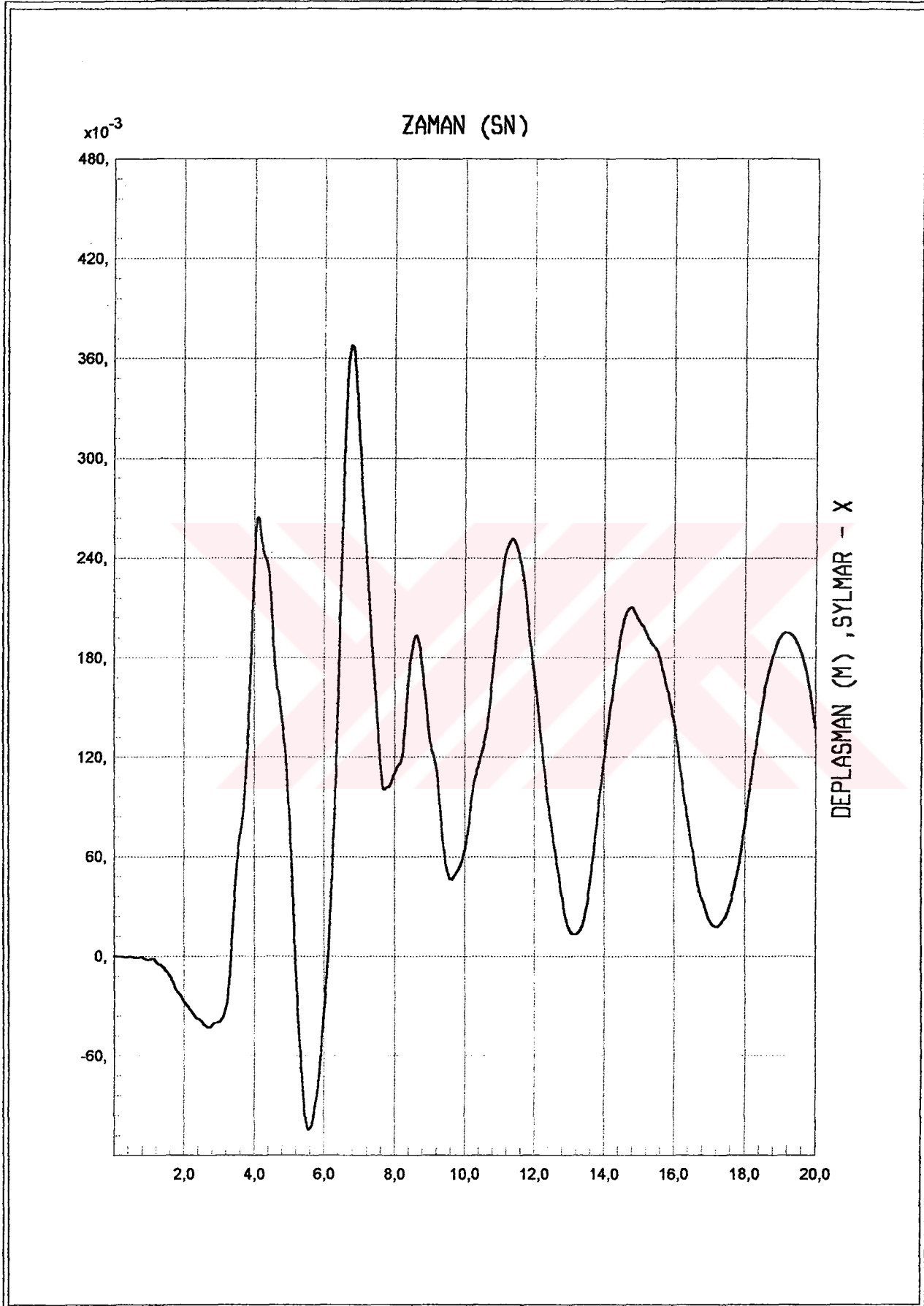
Min is -1,004e-01 at 5,5600e+00 Max is 3,610e-01 at 6,7800e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint33: Joint 33 Displacement UX Vs Time

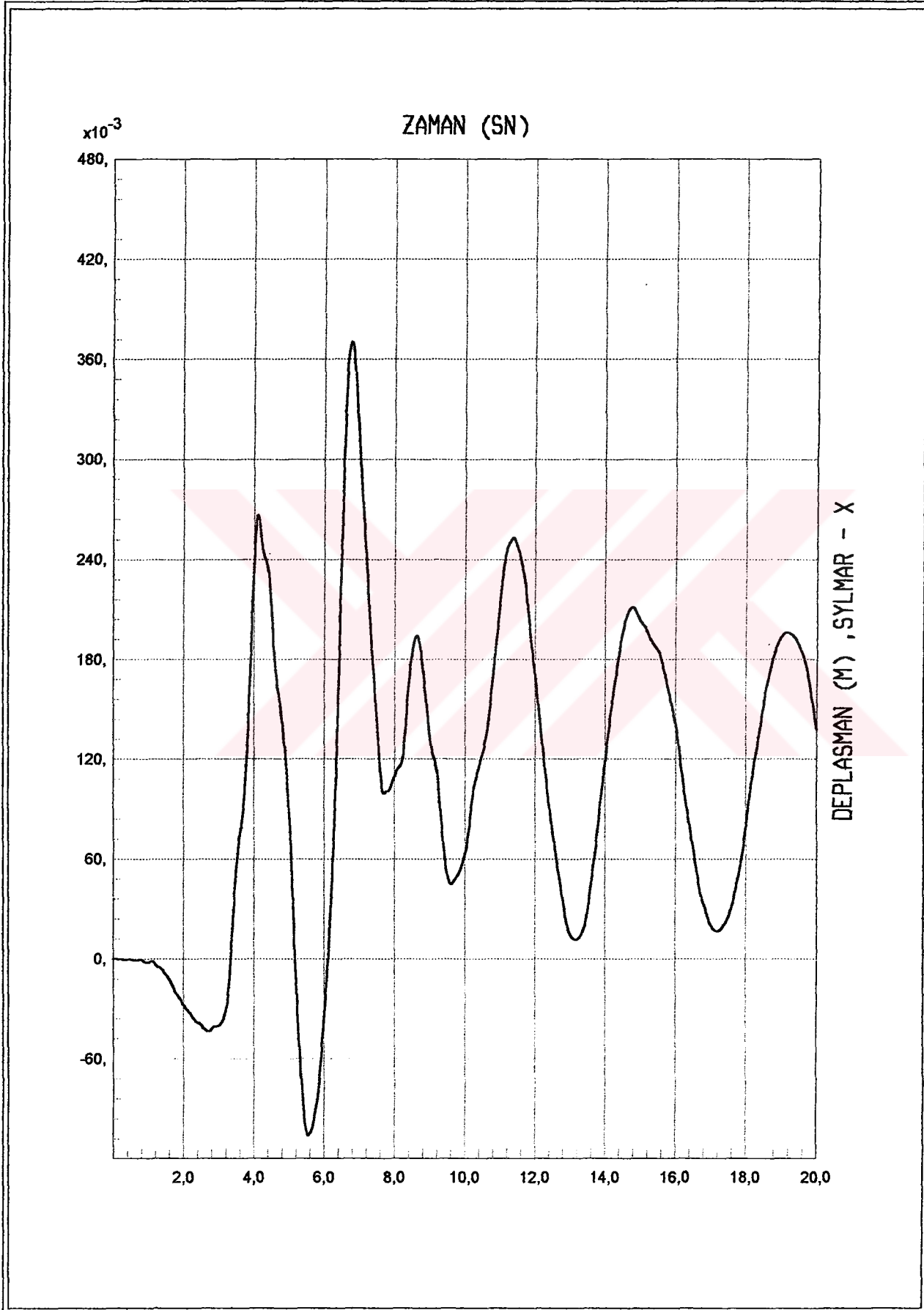
Min is -1,026e-01 at 5,5600e+00 Max is 3,650e-01 at 6,7700e+00



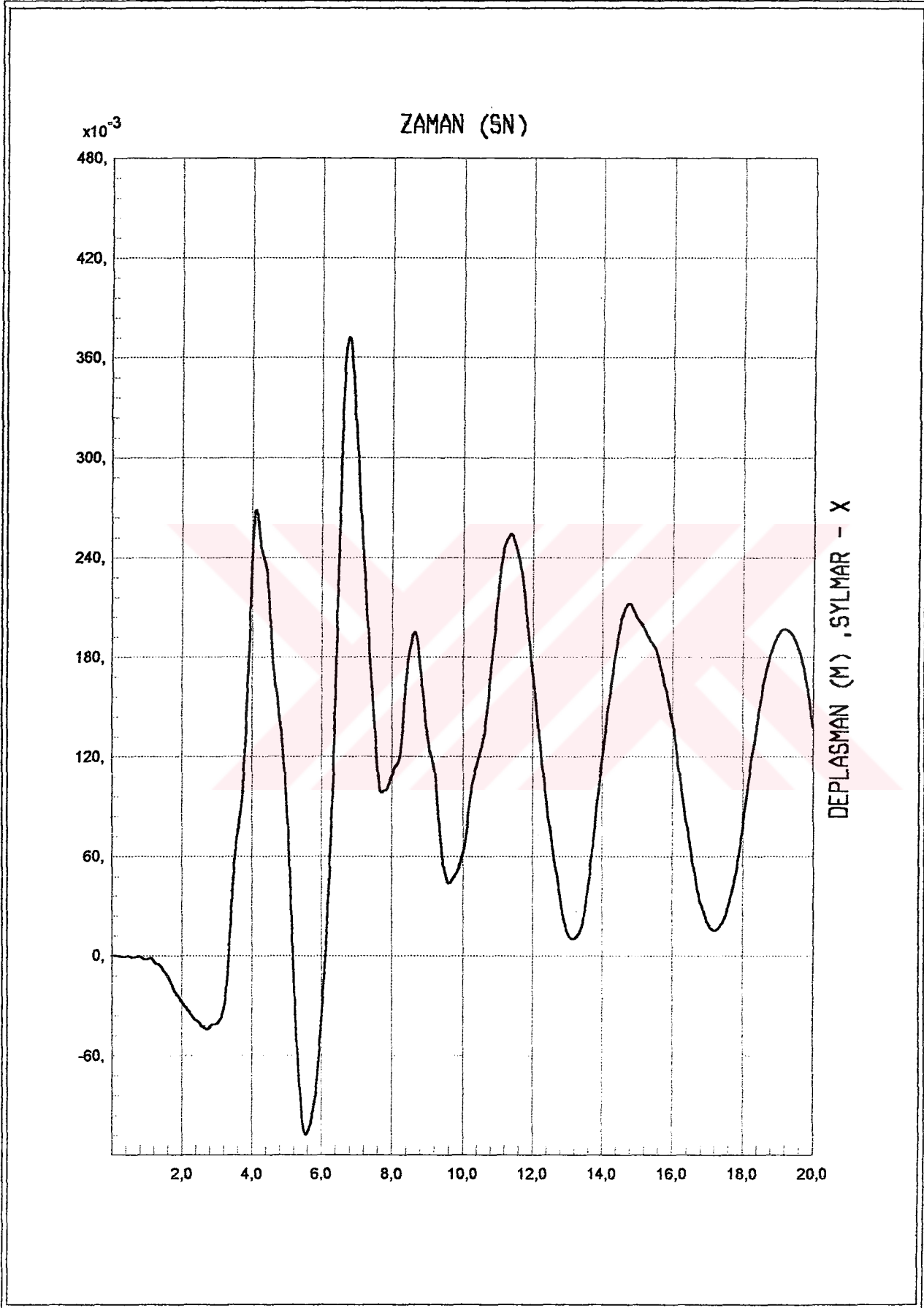
SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint34: Joint 34 Displacement UX Vs Time

Min is -1,045e-01 at 5,5600e+00 Max is 3,679e-01 at 6,7700e+00



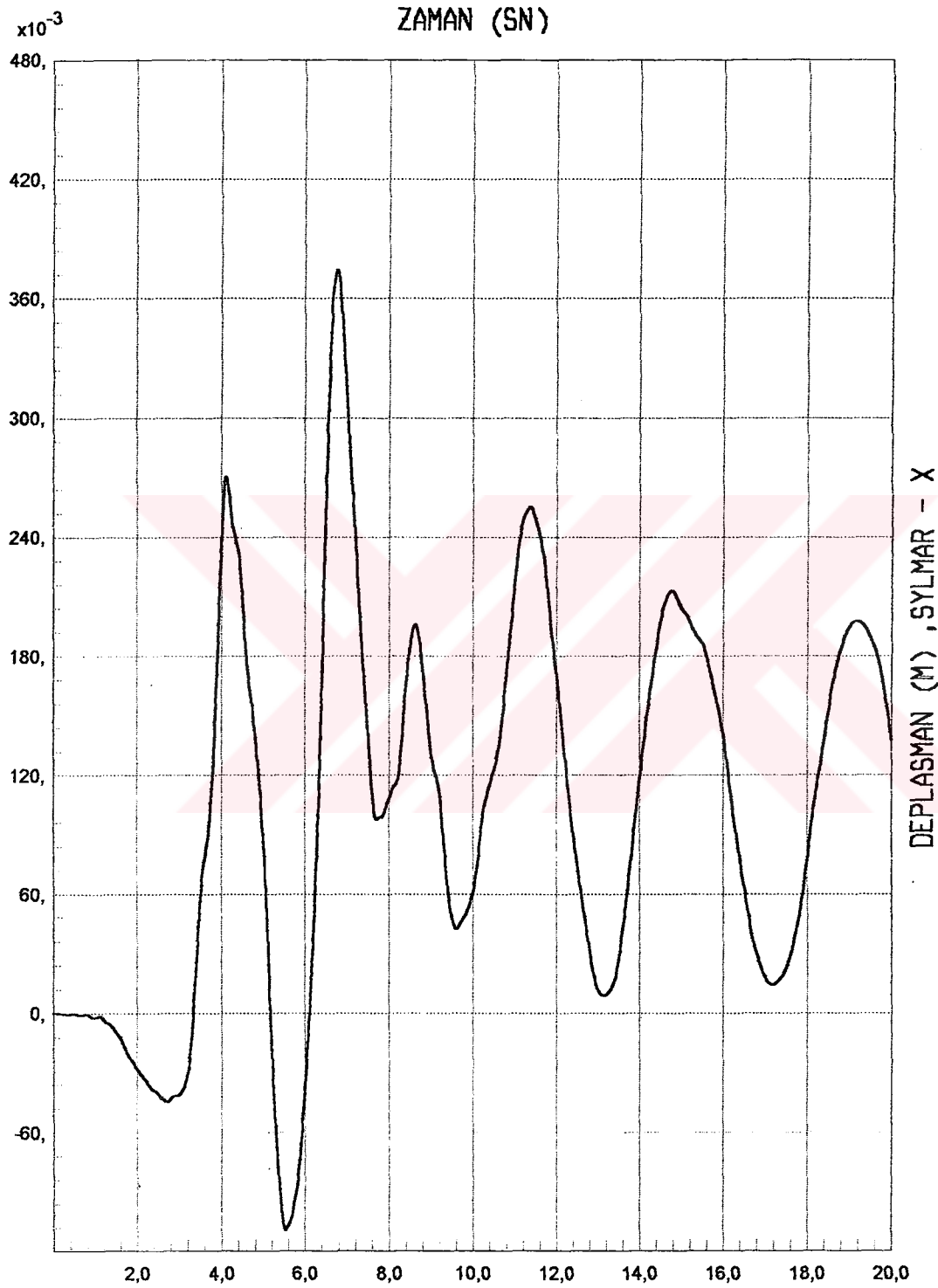
SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units
Joint35: Joint 35 Displacement UX Vs Time
Min is -1,063e-01 at 5,5500e+00 Max is 3,702e-01 at 6,7700e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint36: Joint 36 Displacement UX Vs Time

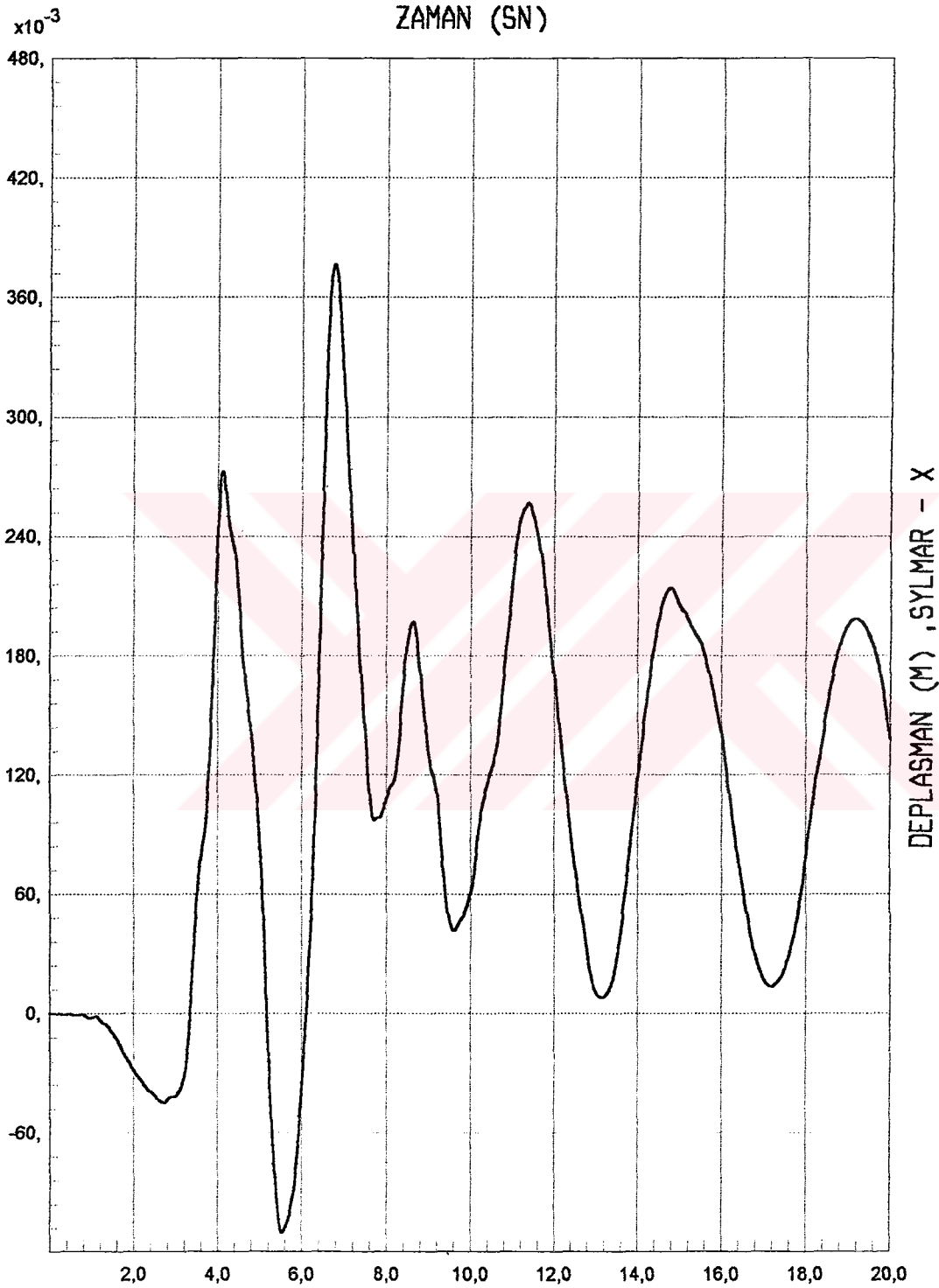
Min is -1,078e-01 at 5,5500e+00 Max is 3,722e-01 at 6,7600e+00

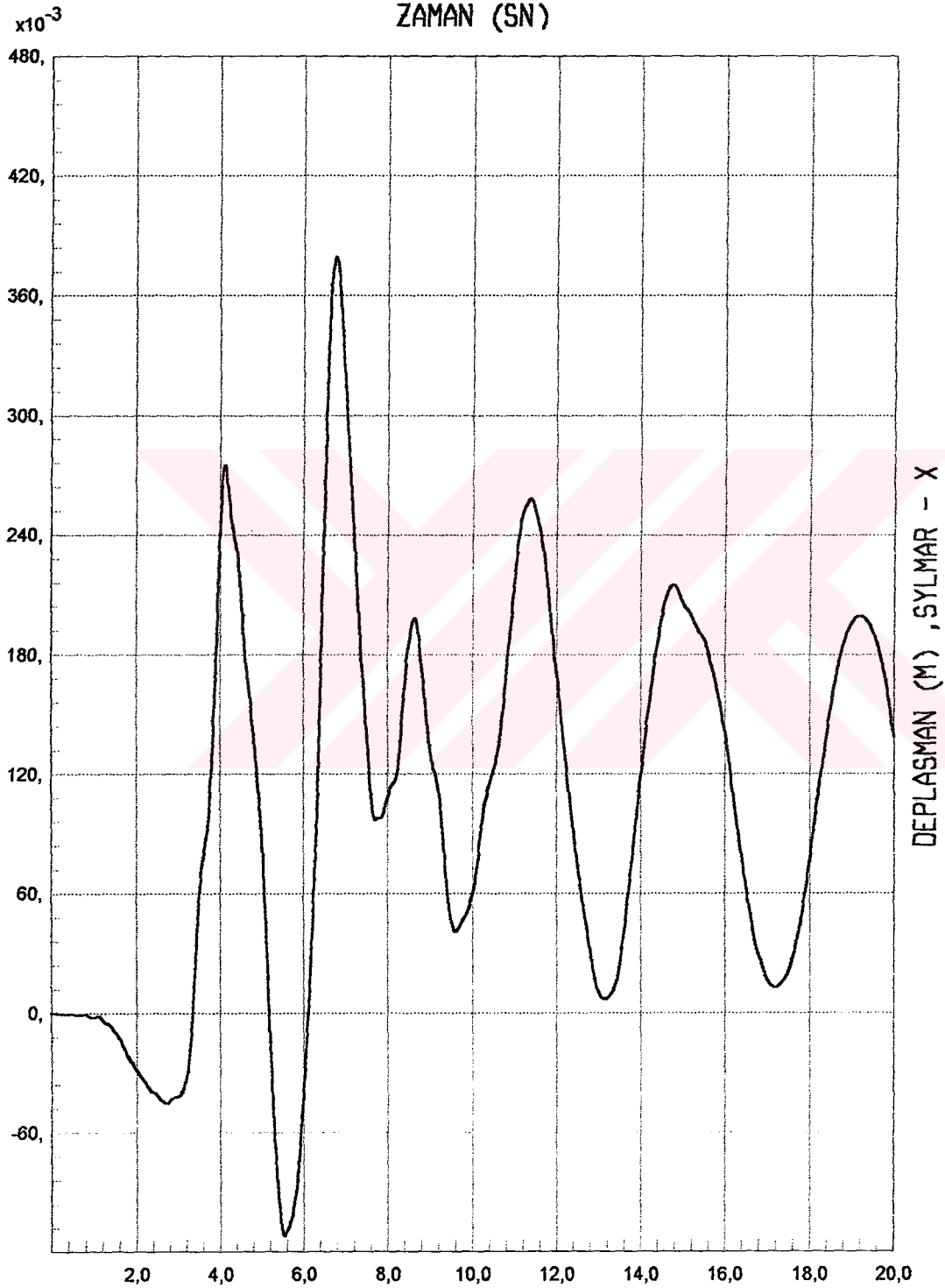


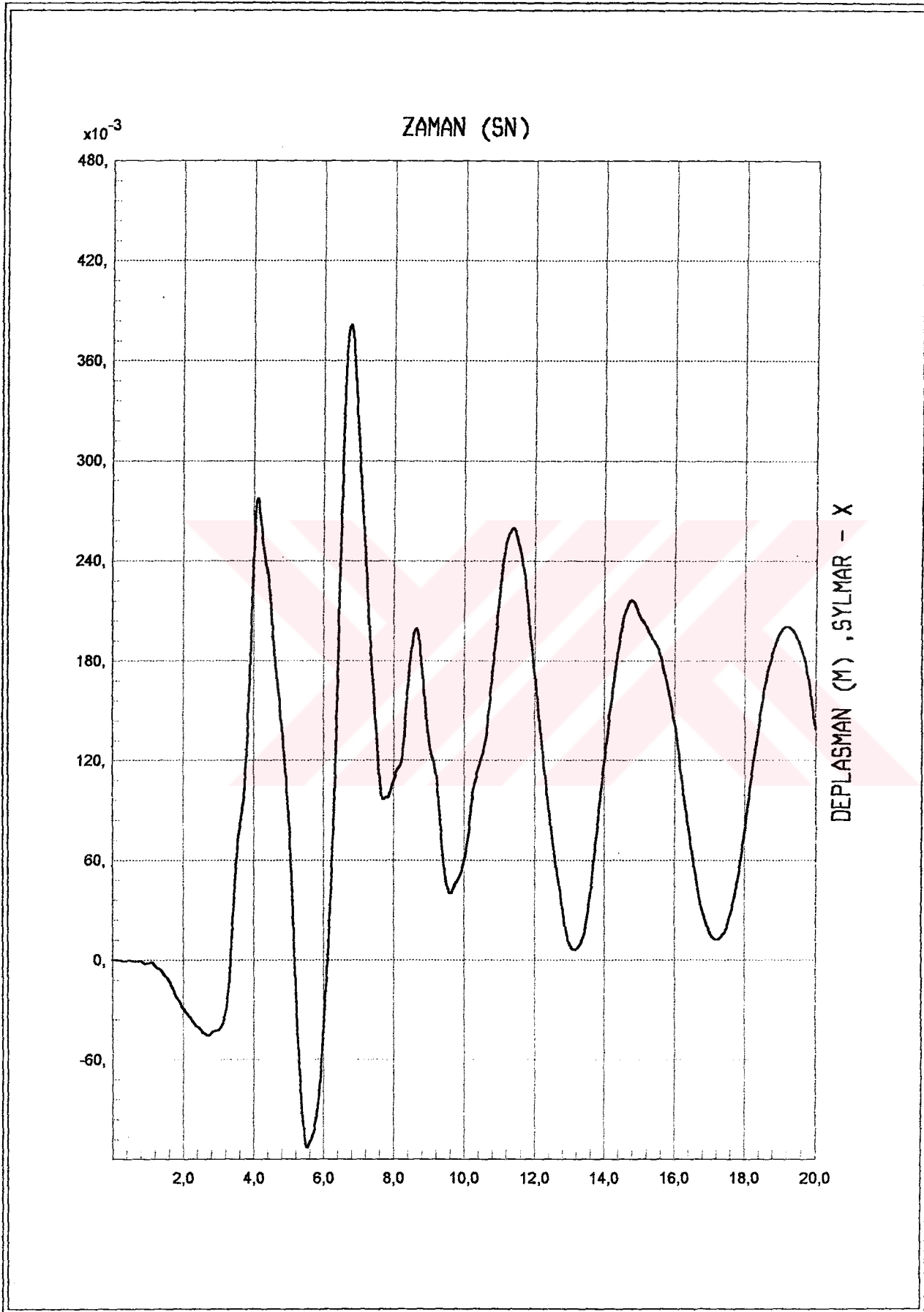
SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint37: Joint 37 Displacement UX Vs Time

Min is -1,093e-01 at 5,5400e+00 Max is 3,743e-01 at 6,7600e+00



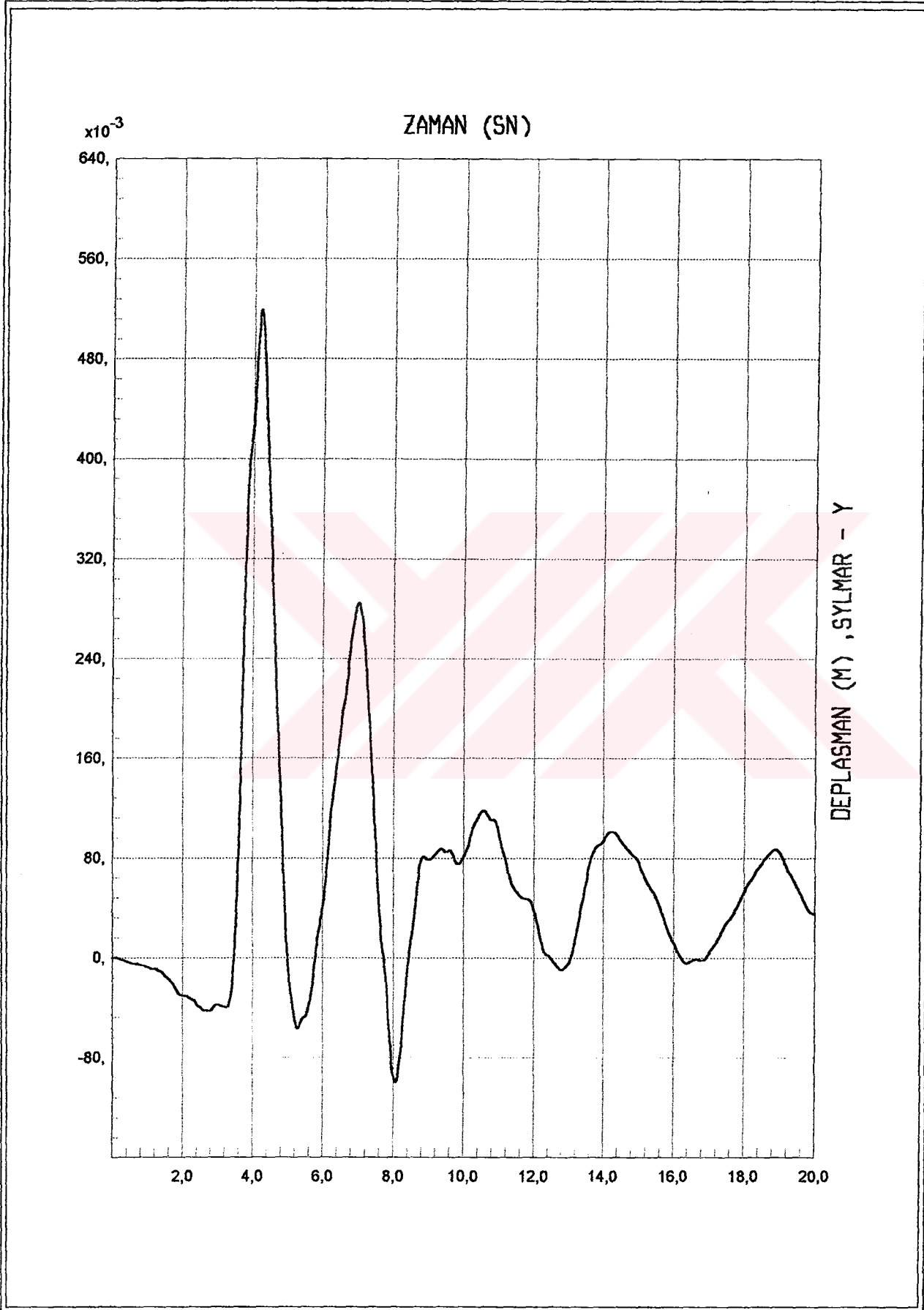




SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint40: Joint 40 Displacement UX Vs Time

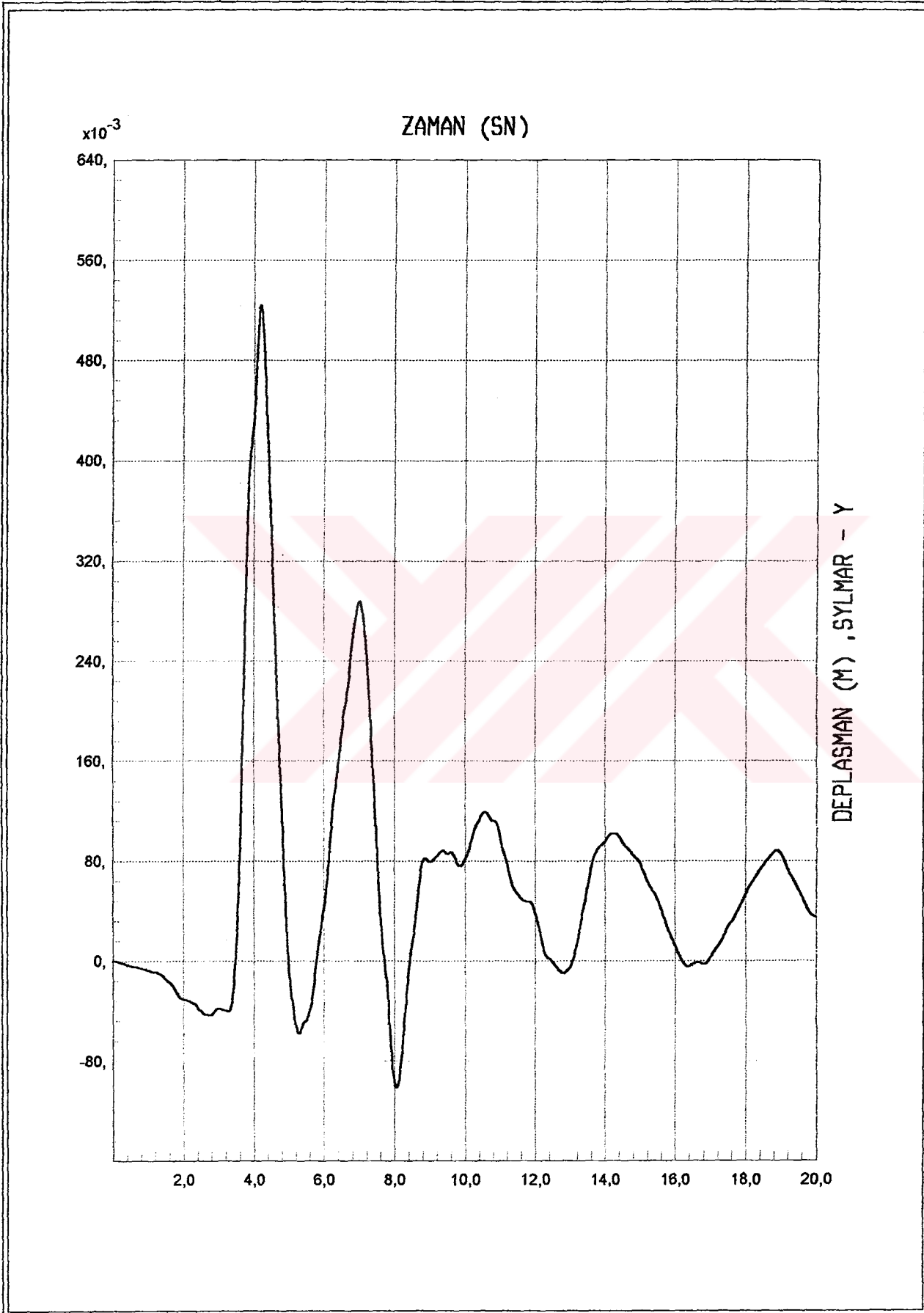
Min is -1,131e-01 at 5,5300e+00 Max is 3,818e-01 at 6,7500e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint31: Joint 31 Displacement UY Vs Time

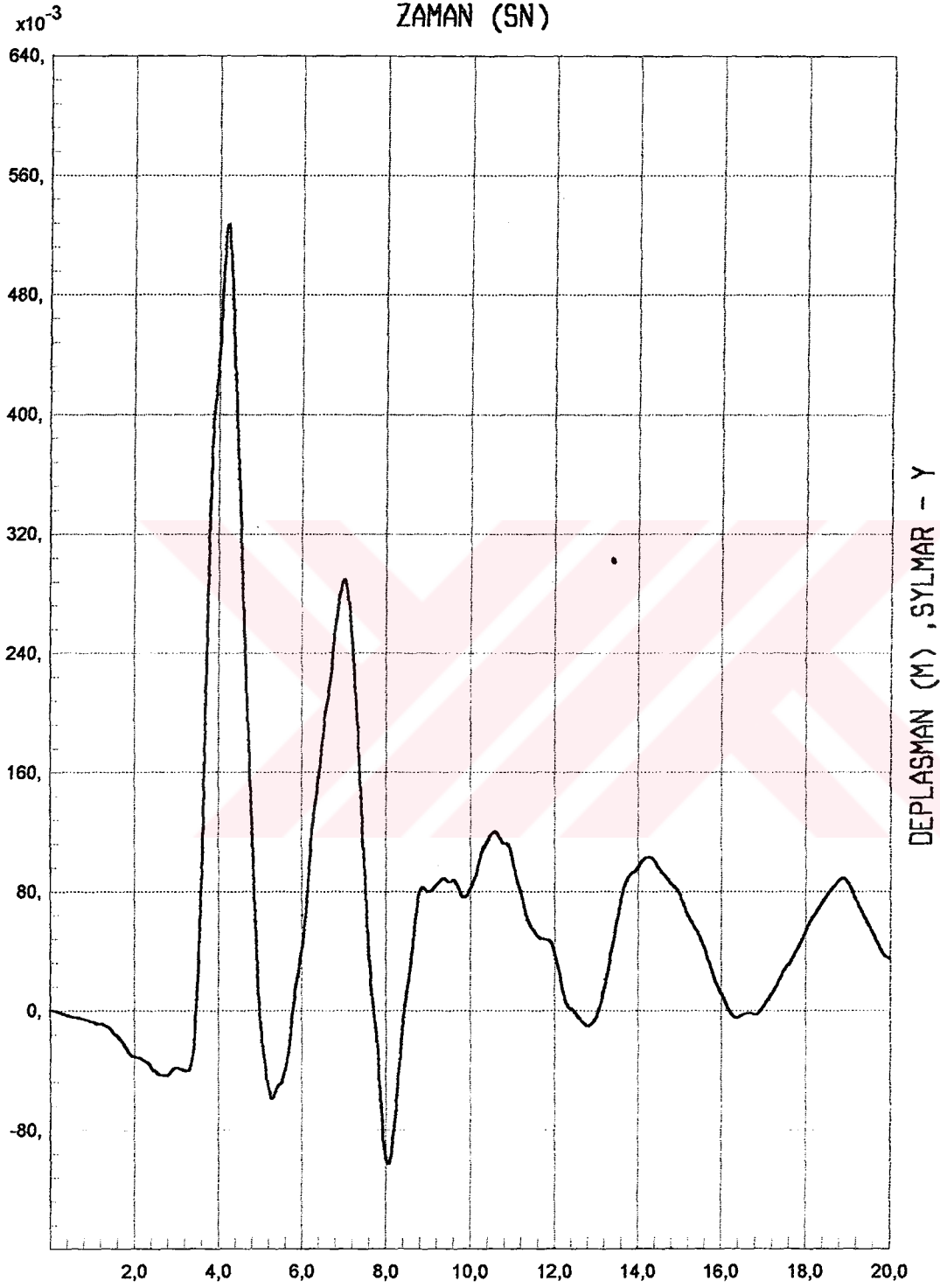
Min is -9,967e-02 at 8,0600e+00 Max is 5,188e-01 at 4,2000e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint32: Joint 32 Displacement UY Vs Time

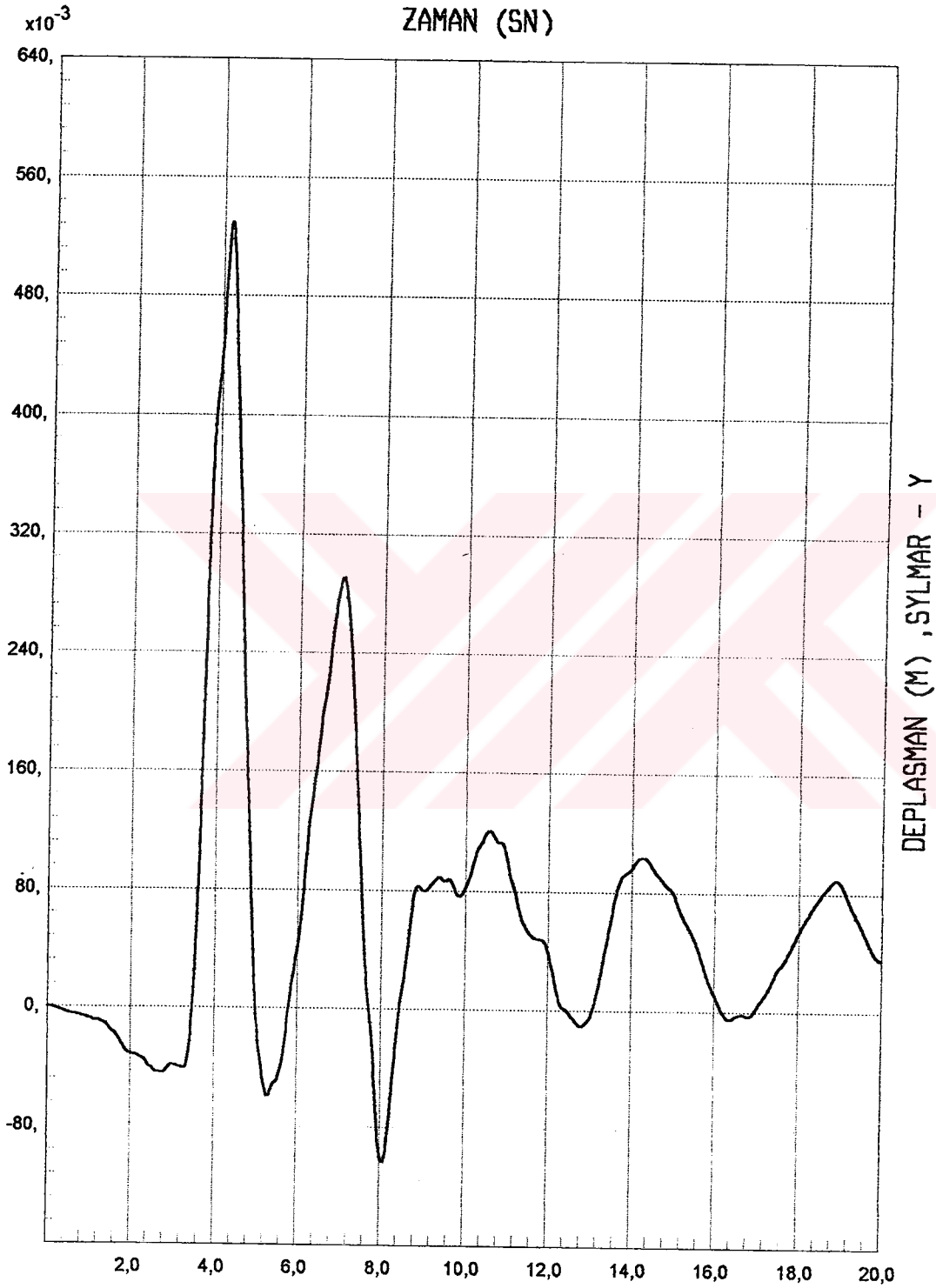
Min is -1,014e-01 at 8,0600e+00 Max is 5,240e-01 at 4,2000e+00

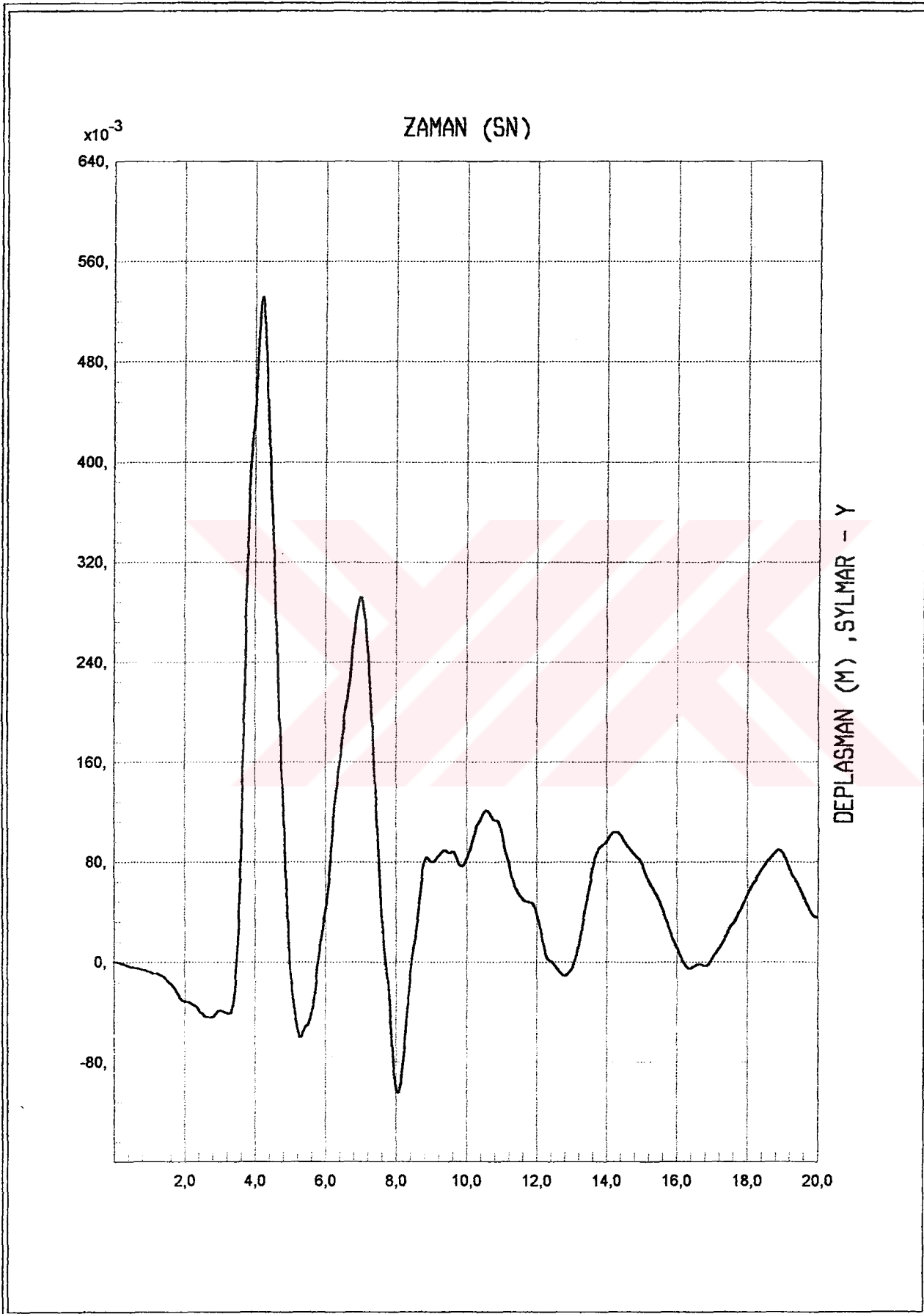


SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint33: Joint 33 Displacement UY Vs Time

Min is -1,026e-01 at 8,0600e+00 Max is 5,272e-01 at 4,2000e+00

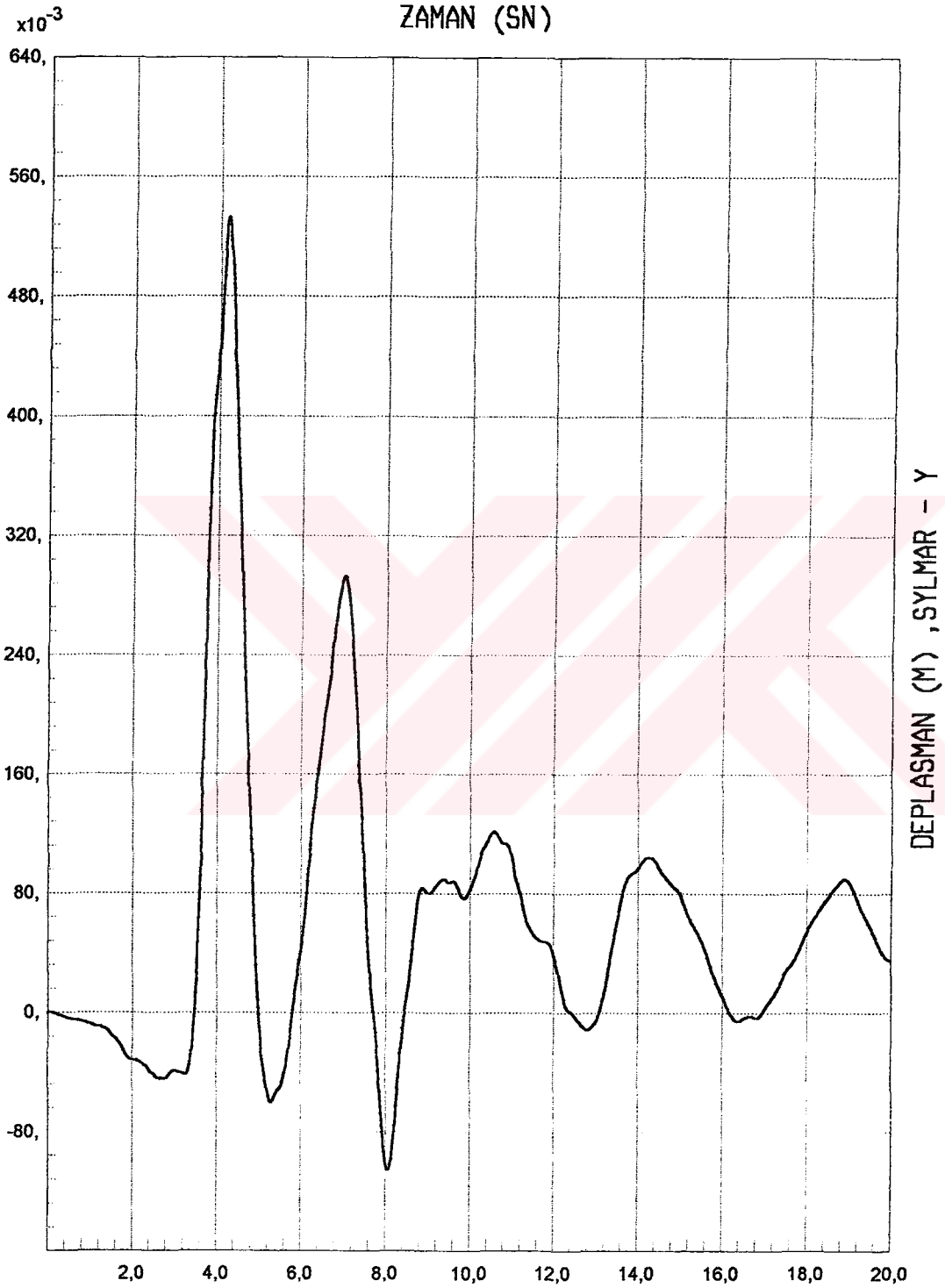




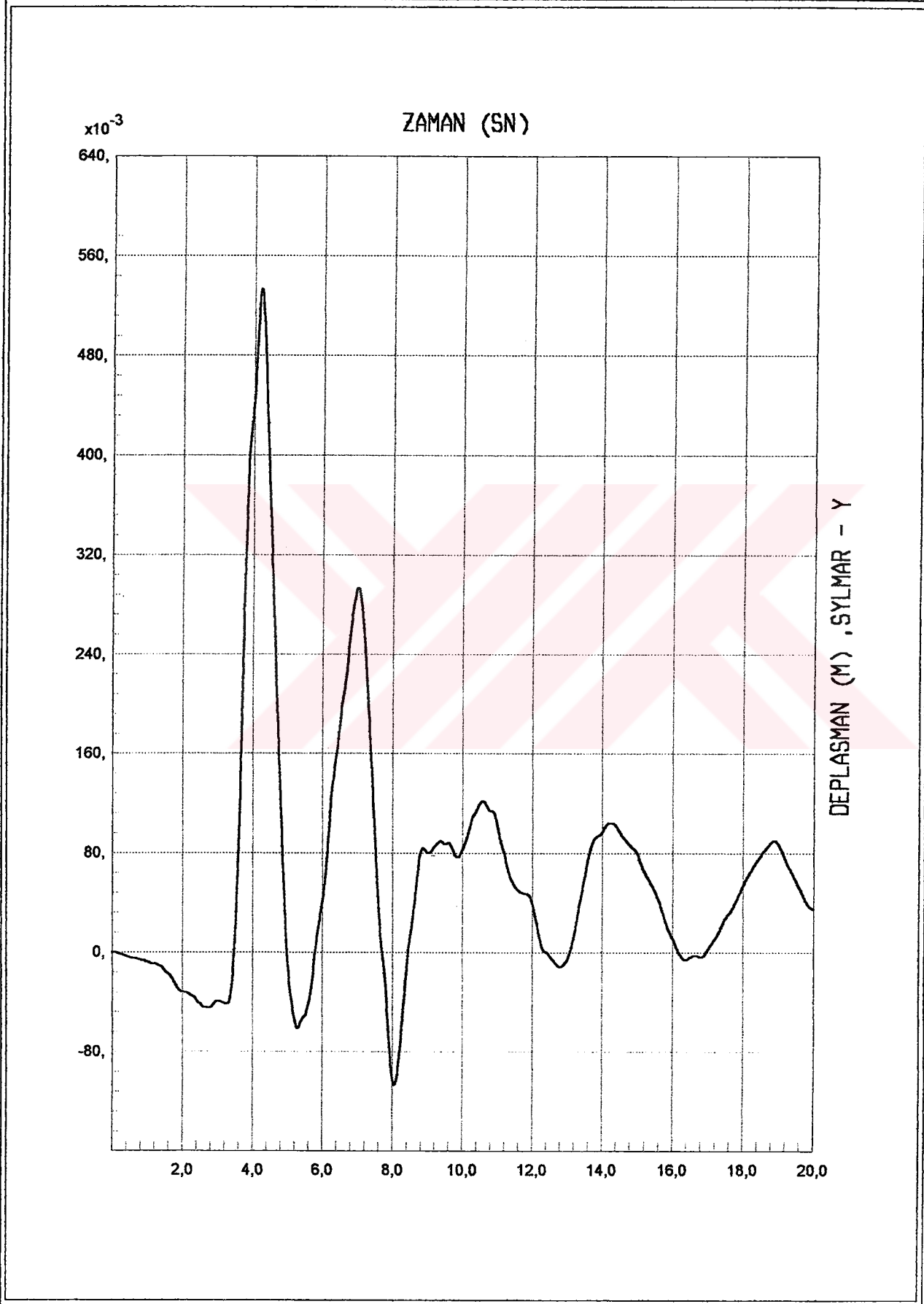
SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

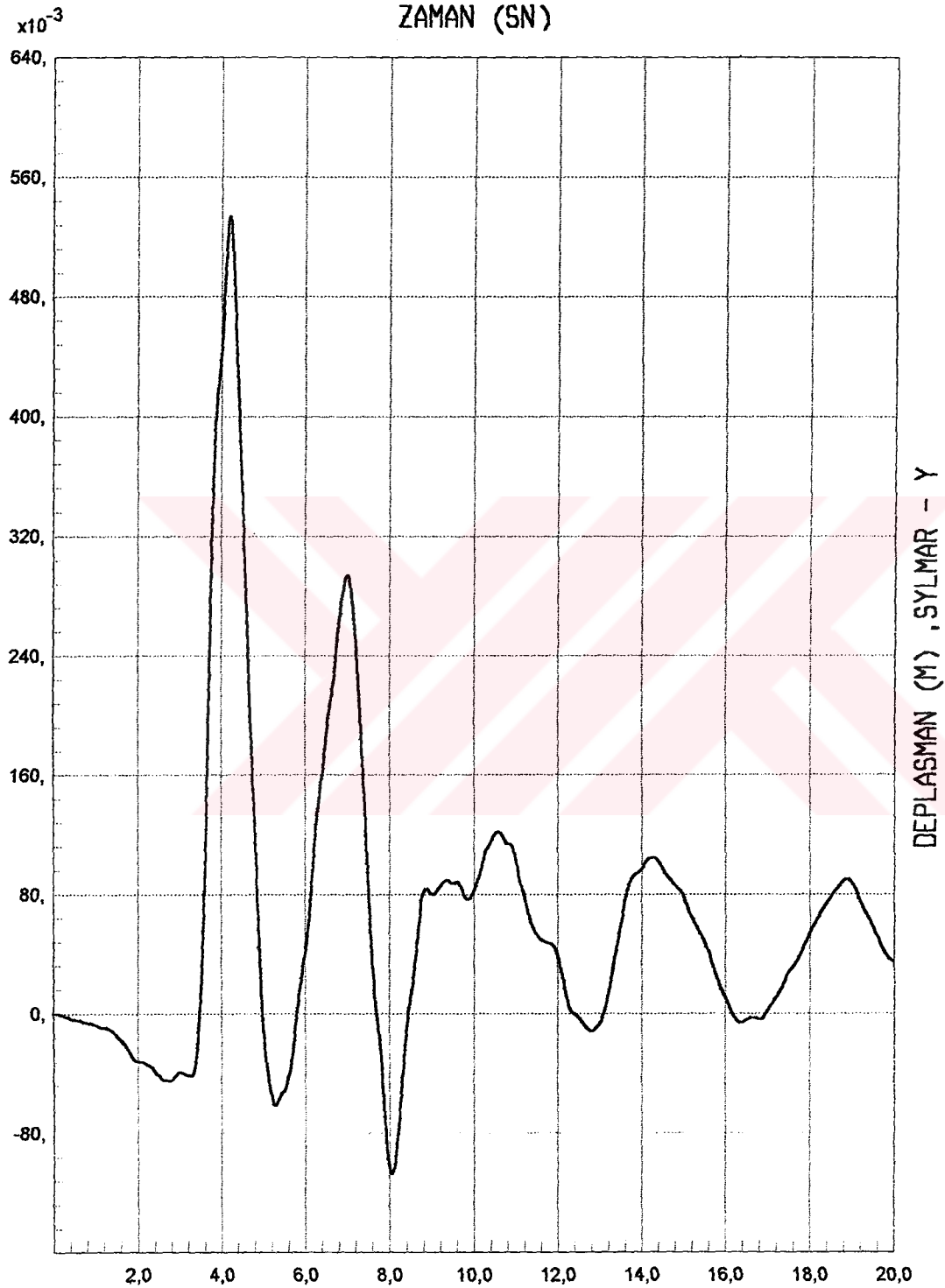
Joint35: Joint 35 Displacement UY Vs Time

Min is -1,047e-01 at 8,0600e+00 Max is 5,314e-01 at 4,2000e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units
Joint36: Joint 36 Displacement UY Vs Time
Min is -1,057e-01 at 8,0600e+00 Max is 5,326e-01 at 4,2000e+00

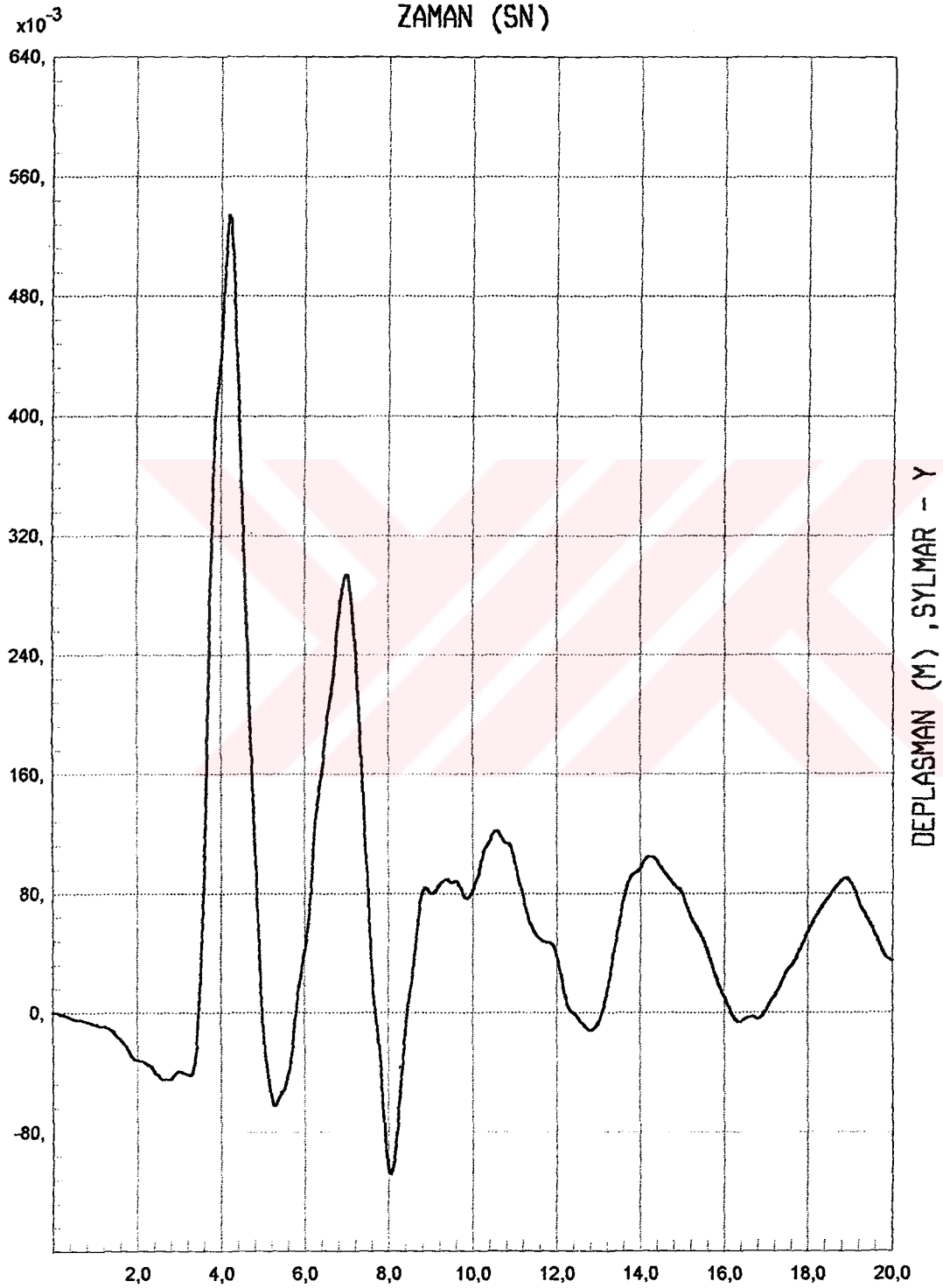


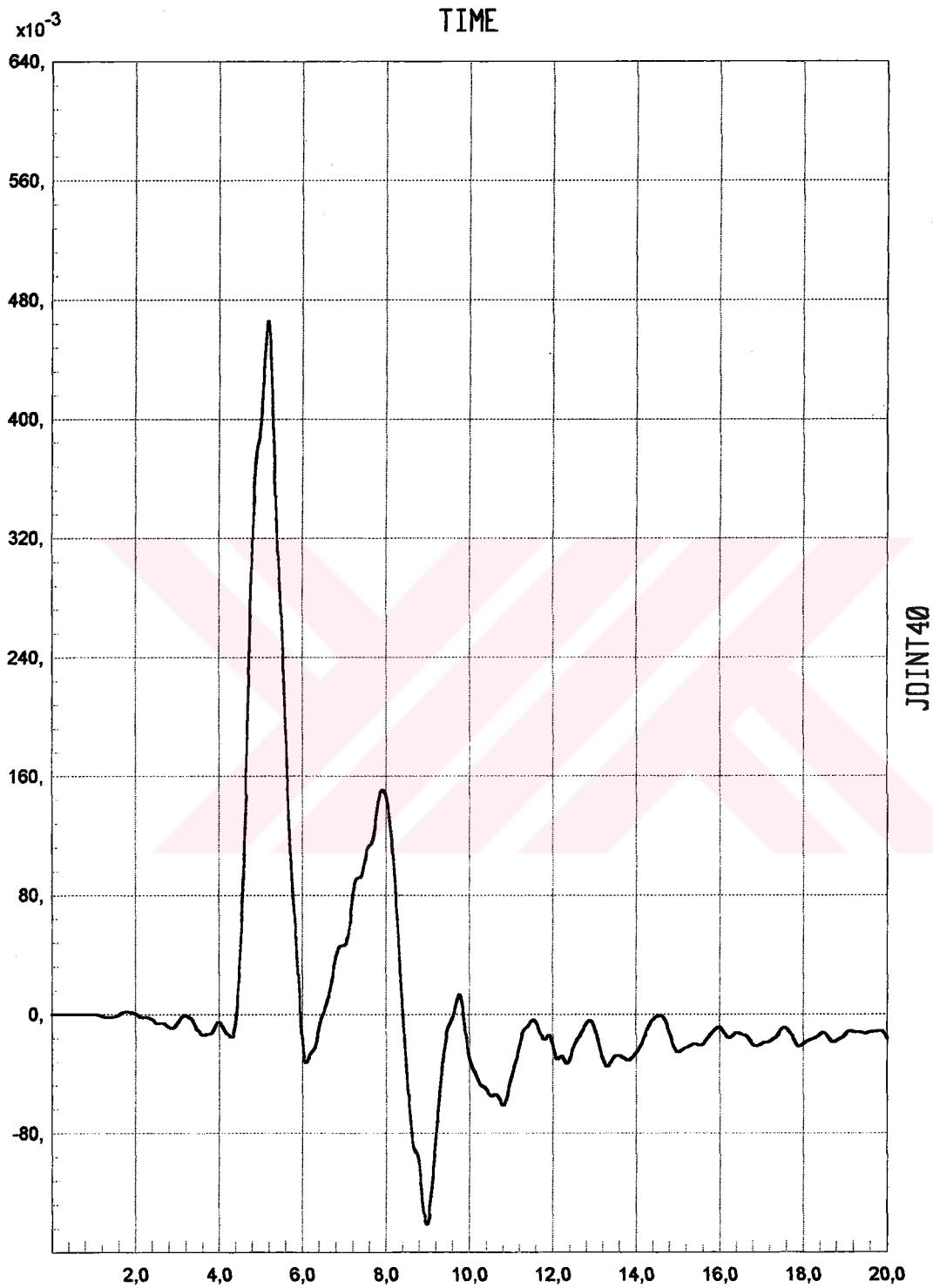


SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

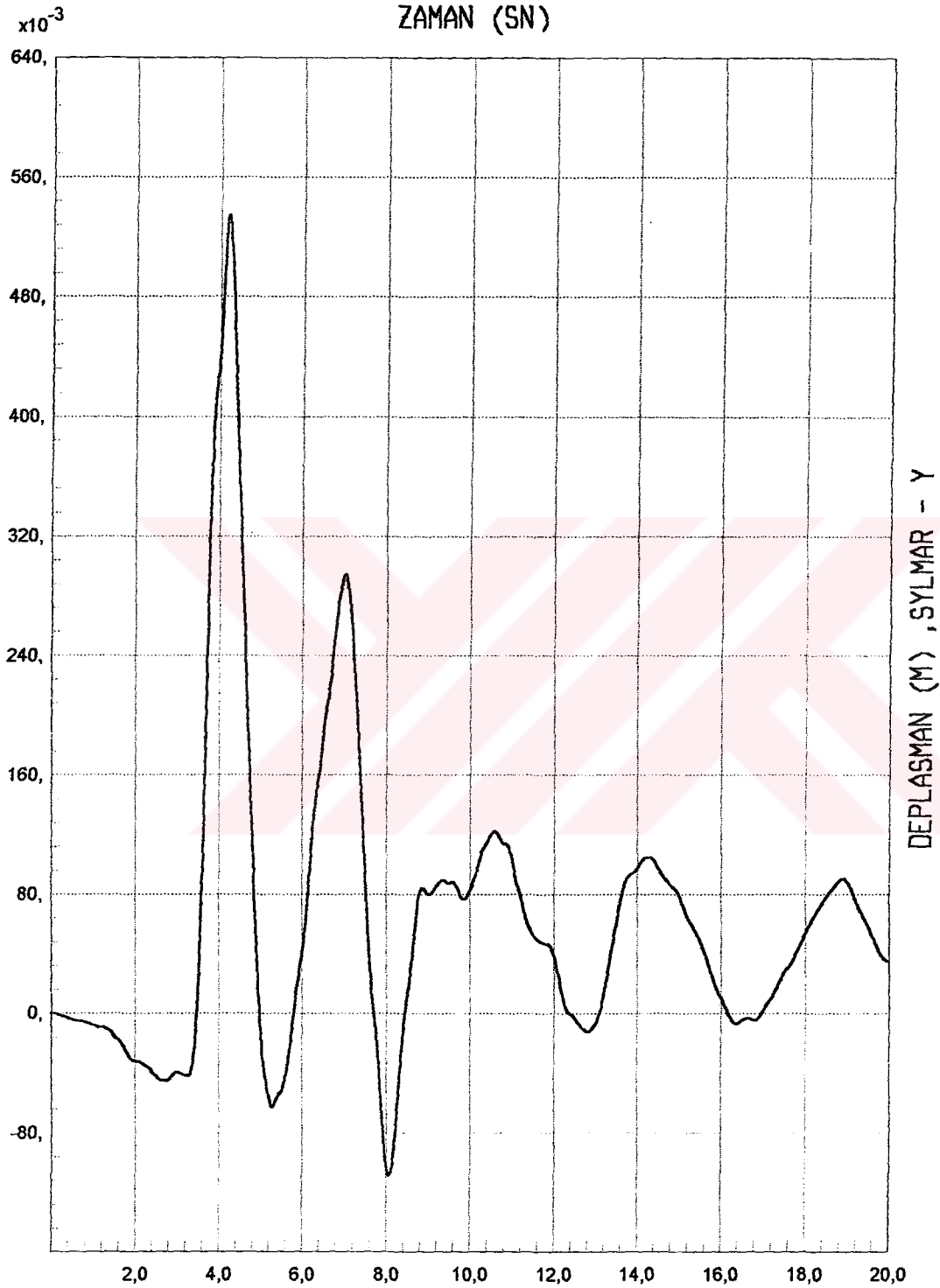
Joint38: Joint 38 Displacement UY Vs Time

Min is -1,073e-01 at 8,0600e+00 Max is 5,338e-01 at 4,2000e+00





SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator alaturka - Ton-m Units
Joint40: Joint 40 Displacement UY Vs Time
Min is -1,412e-01 at 8,9900e+00 Max is 4,657e-01 at 5,1800e+00



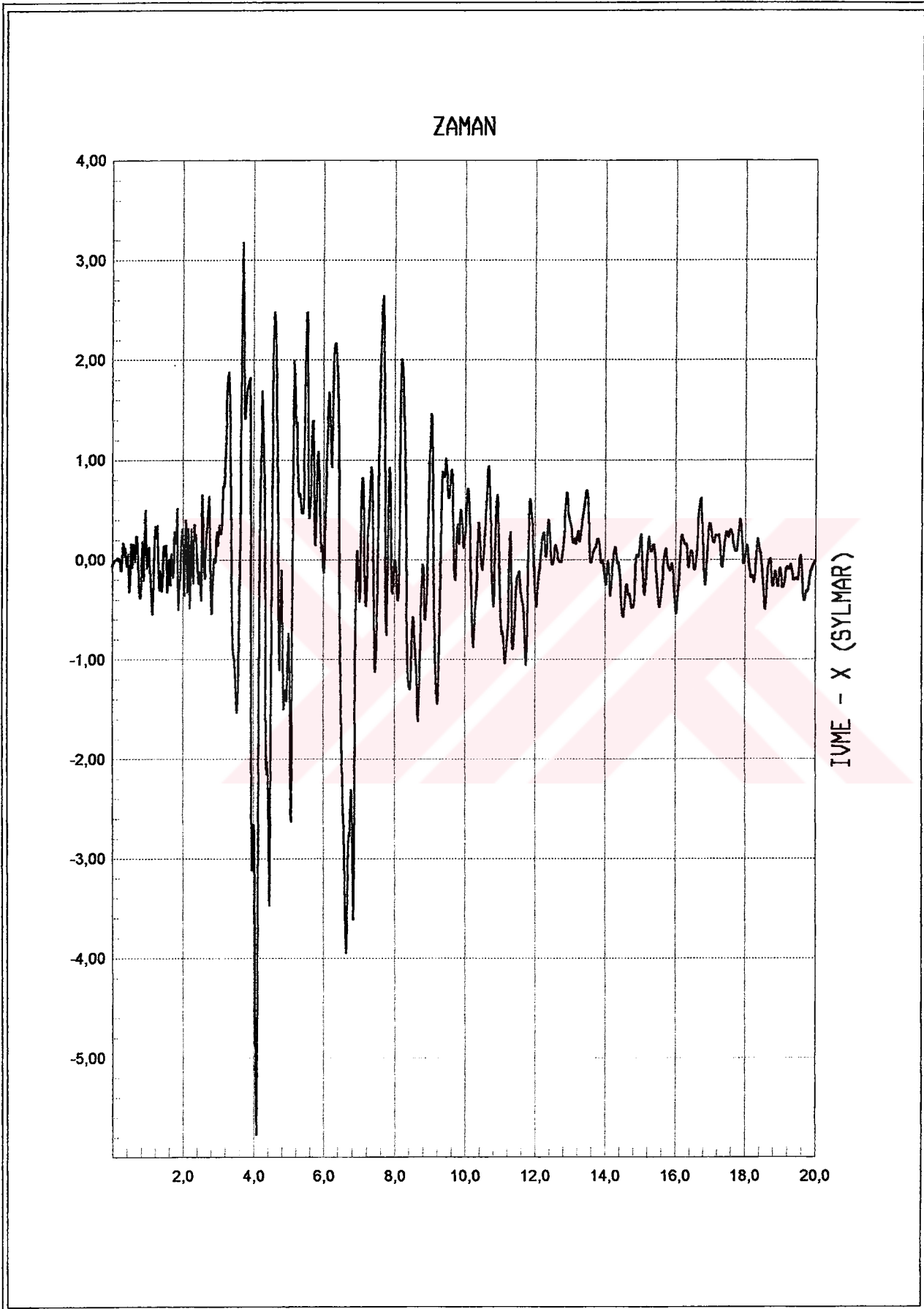
SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint40: Joint 40 Displacement UY Vs Time

Min is -1,087e-01 at 8,0500e+00 Max is 5,344e-01 at 4,2000e+00

EK D7
KAT GÖRELİ İVMELERİ

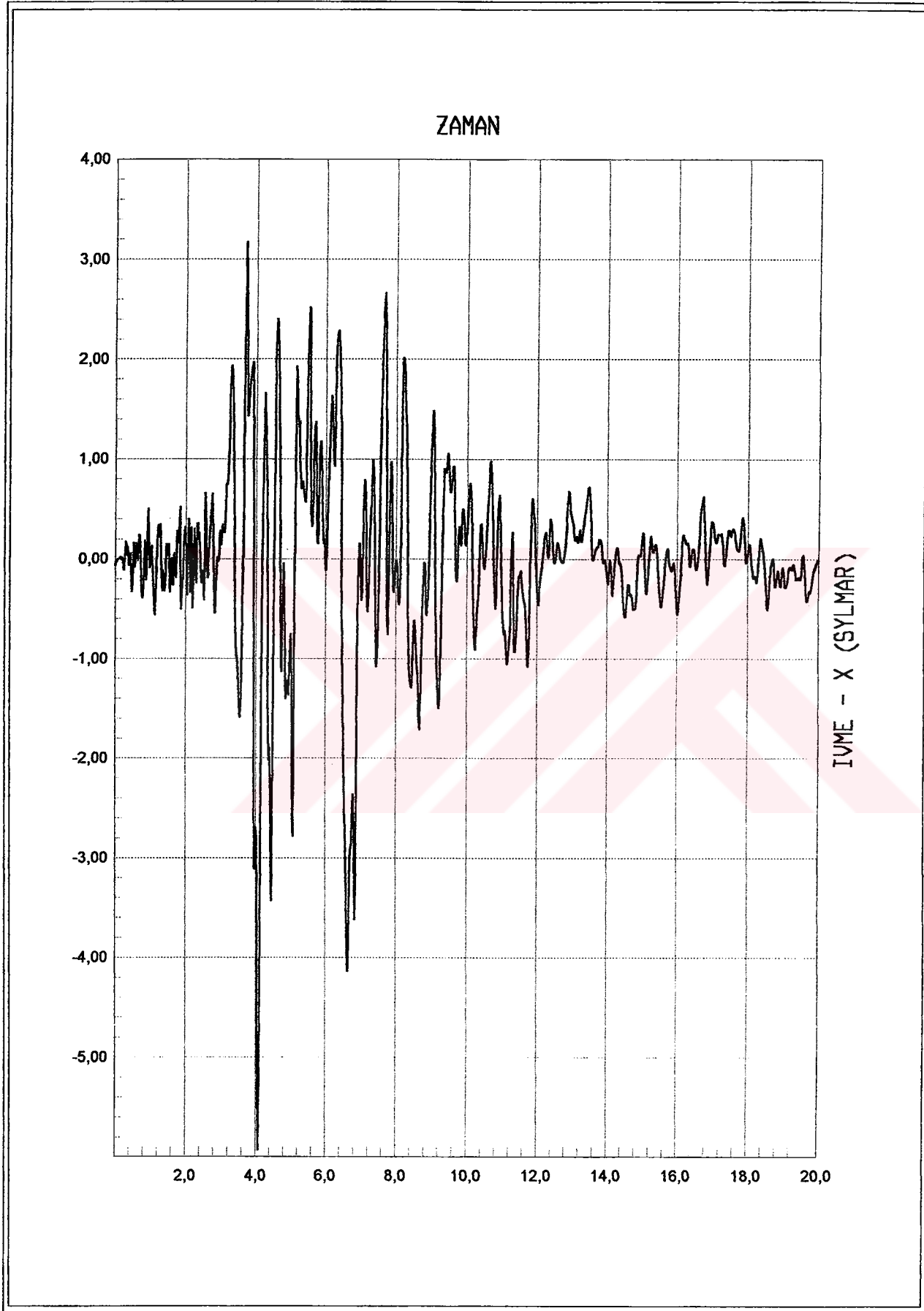




SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint31: Joint 31 Acceleration UX Vs Time

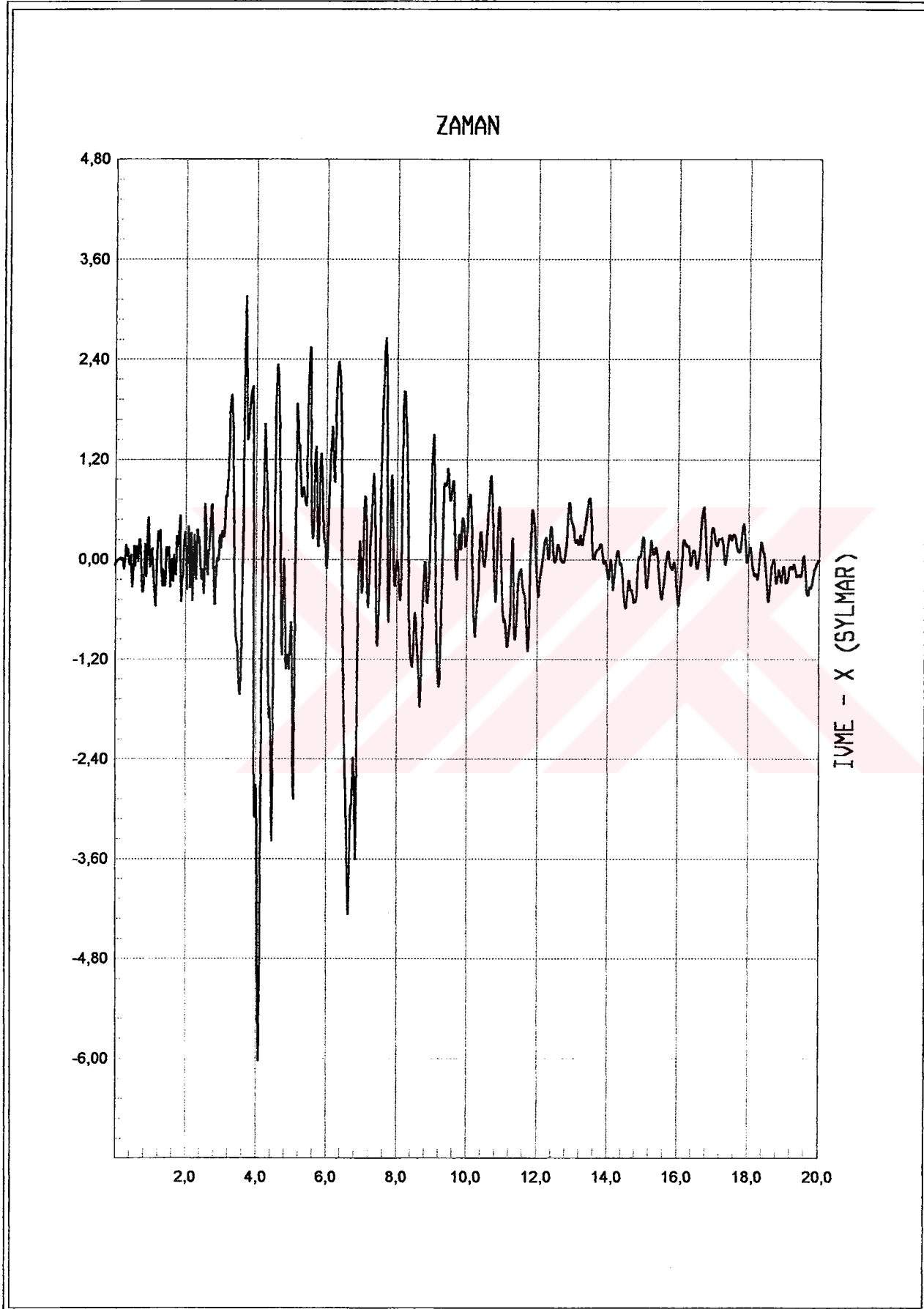
Min is -5,773e+00 at 4,0800e+00 Max is 3,172e+00 at 3,7000e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint32: Joint 32 Acceleration UX Vs Time

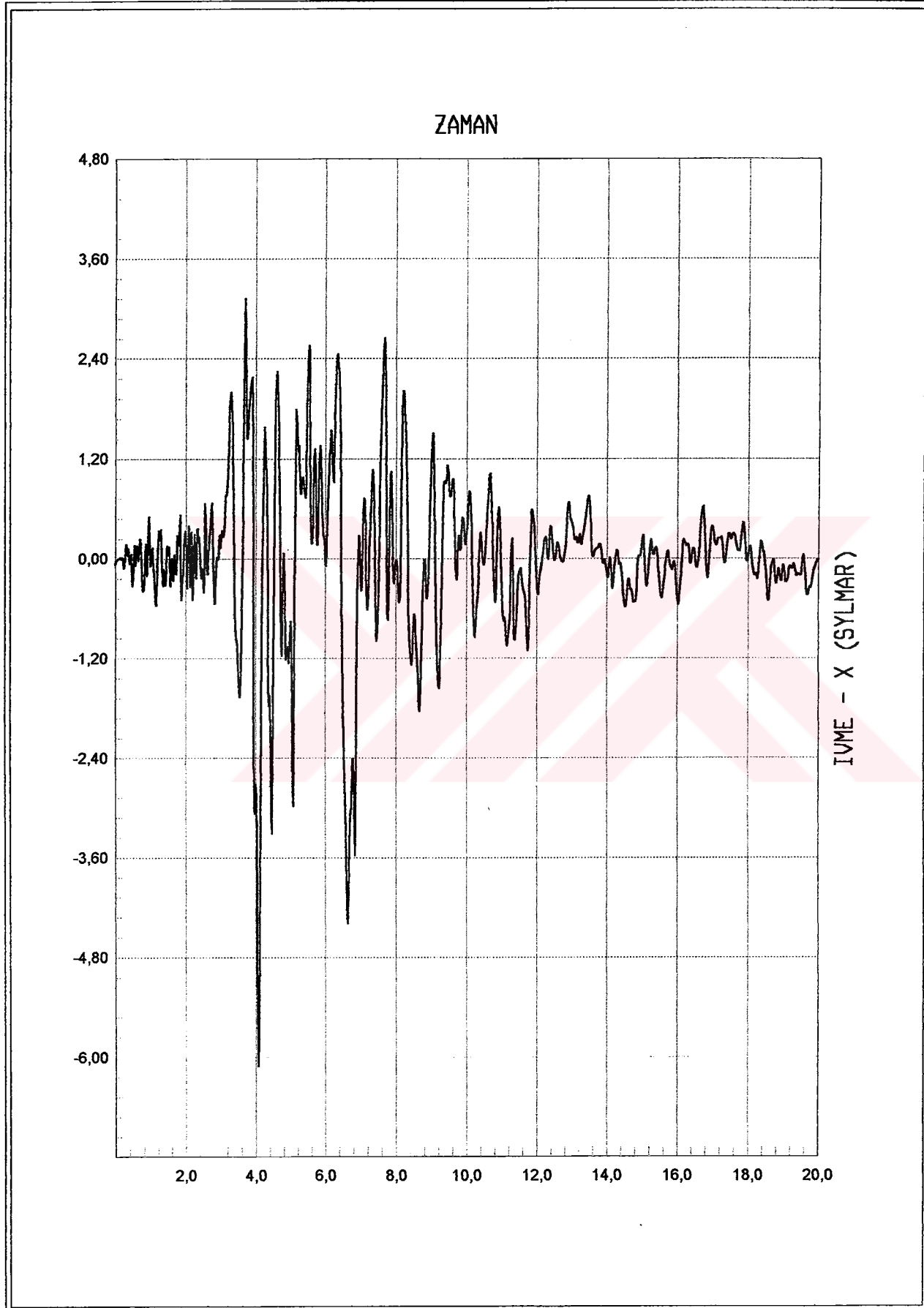
Min is -5,932e+00 at 4,0800e+00 Max is 3,170e+00 at 3,7000e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauчук - Ton-m Units

Joint33: Joint 33 Acceleration UX Vs Time

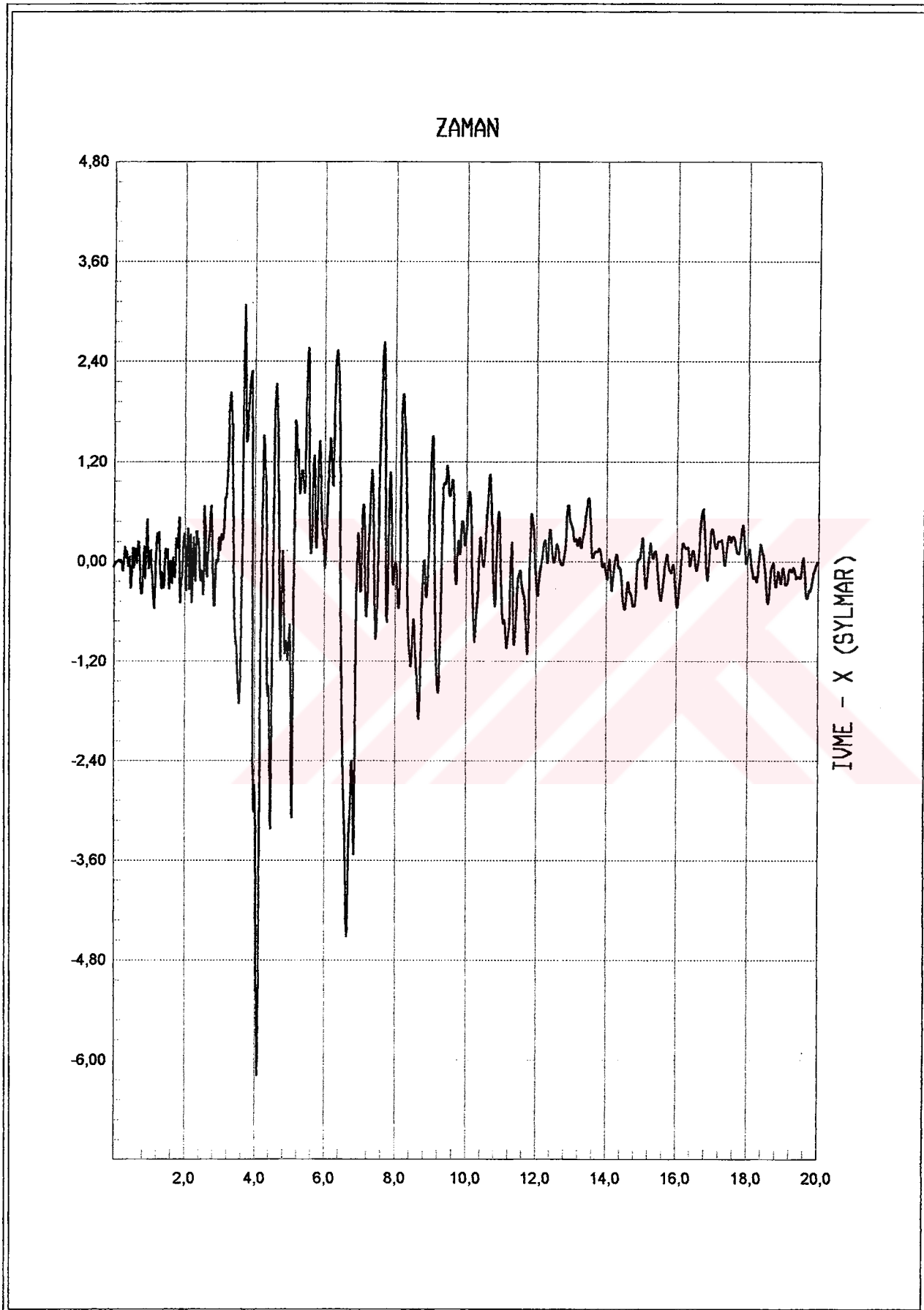
Min is -6,027e+00 at 4,0800e+00 Max is 3,153e+00 at 3,7000e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint34: Joint 34 Acceleration UX Vs Time

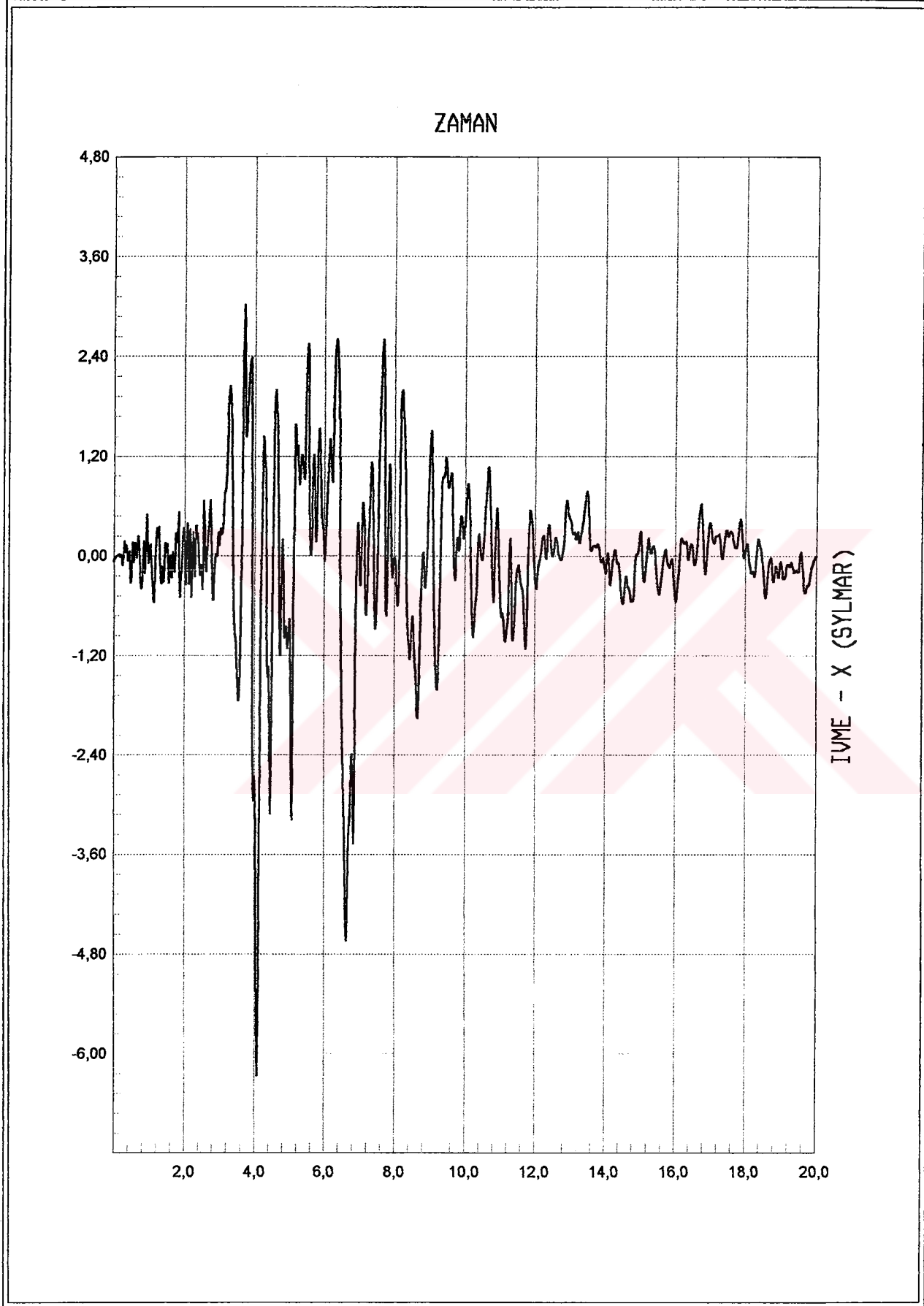
Min is -6,110e+00 at 4,0800e+00 Max is 3,120e+00 at 3,7000e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint35: Joint 35 Acceleration UX Vs Time

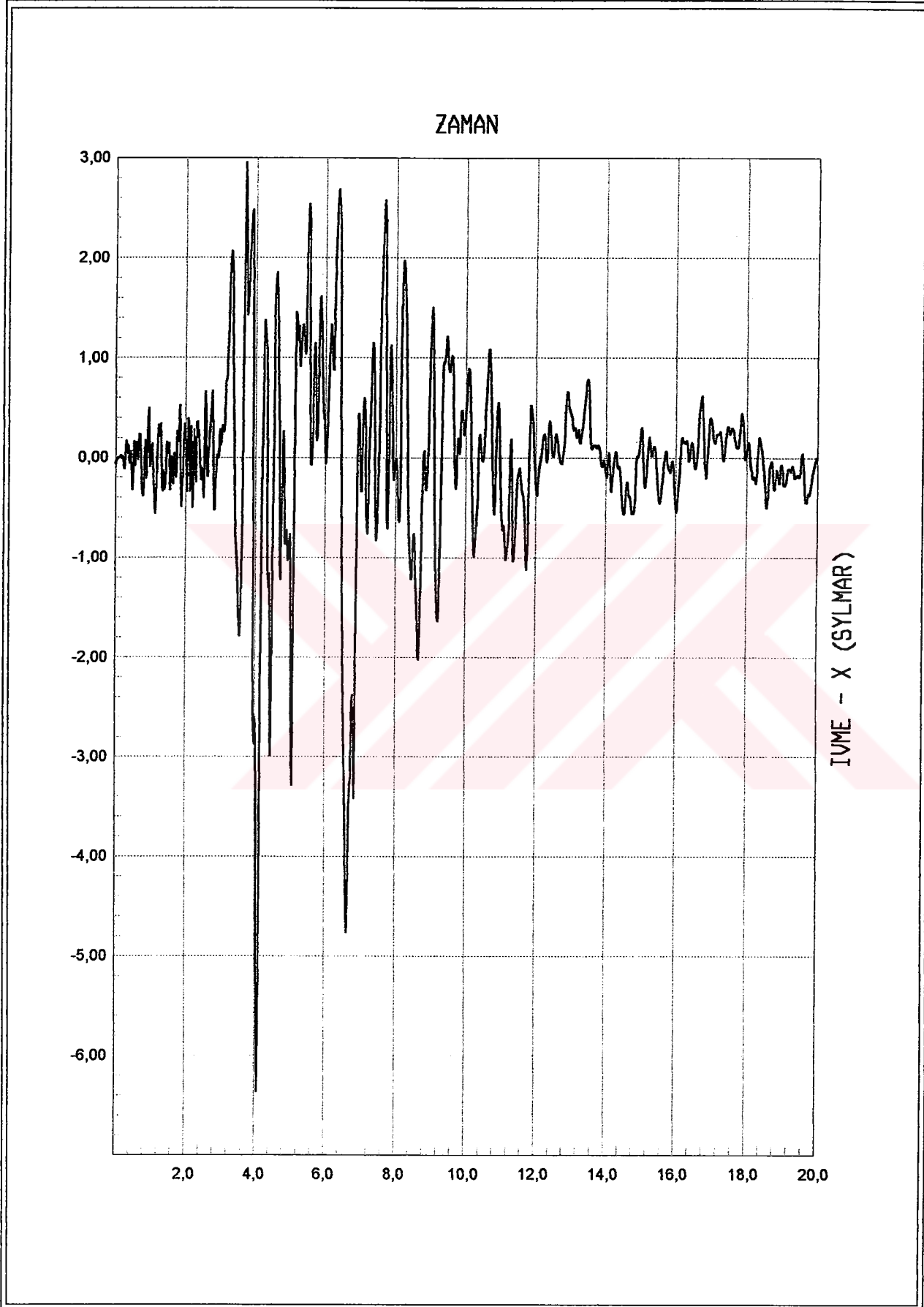
Min is -6,188e+00 at 4,0800e+00 Max is 3,073e+00 at 3,7000e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint36: Joint 36 Acceleration UX Vs Time

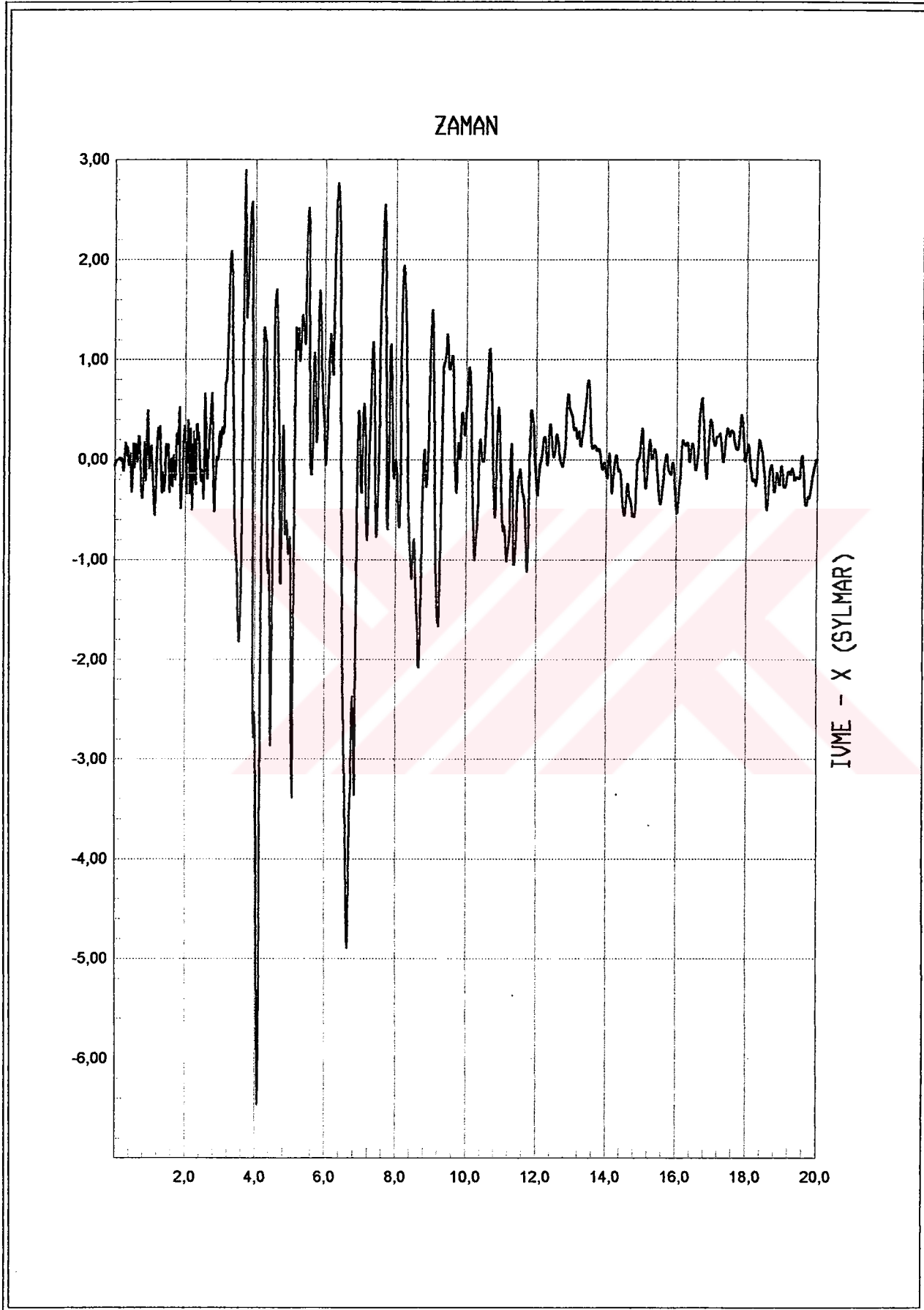
Min is -6,270e+00 at 4,0800e+00 Max is 3,016e+00 at 3,7000e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint37: Joint 37 Acceleration UX Vs Time

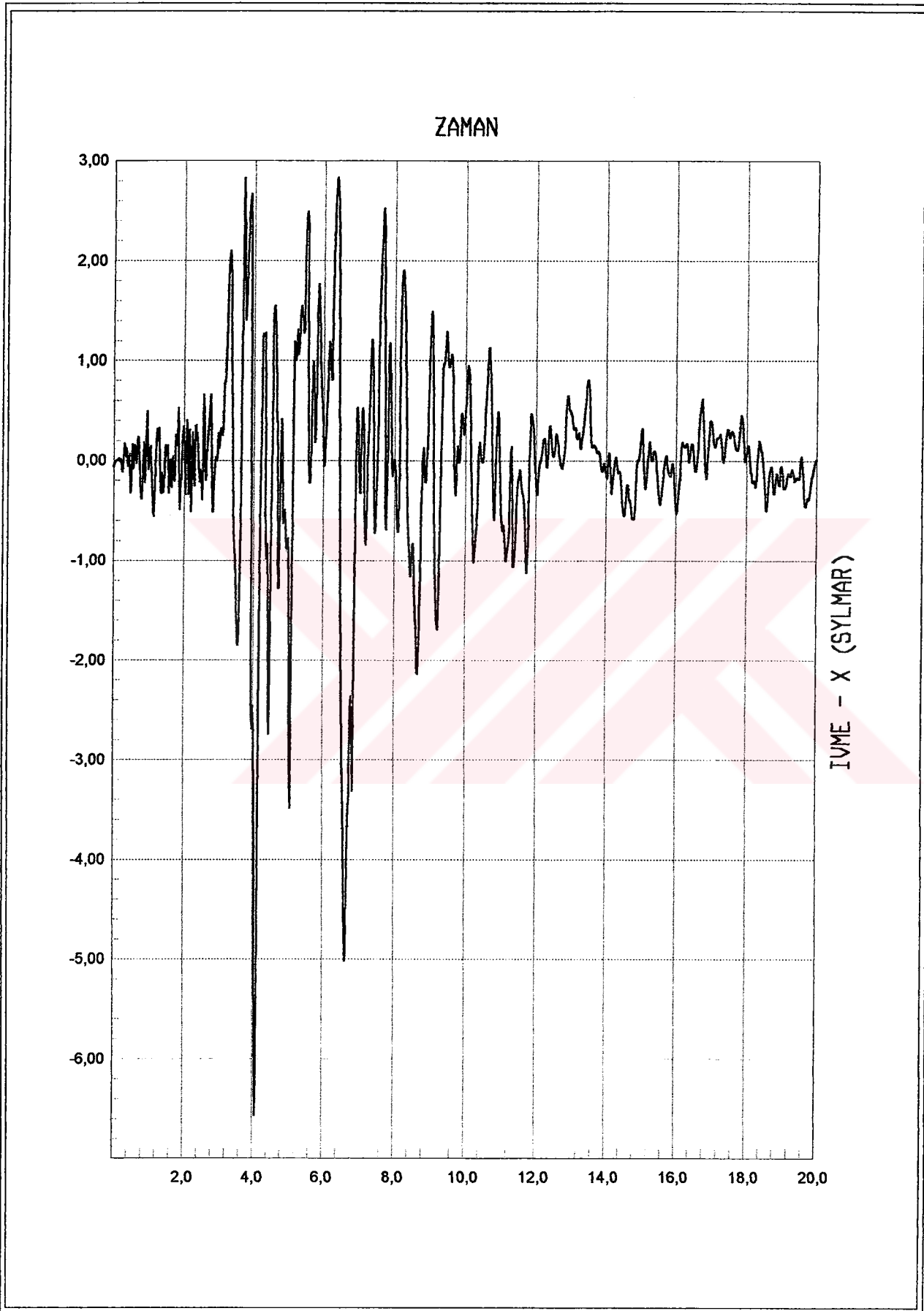
Min is -6,362e+00 at 4,0800e+00 Max is 2,953e+00 at 3,7000e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint38: Joint 38 Acceleration UX Vs Time

Min is -6,464e+00 at 4,0800e+00 Max is 2,889e+00 at 3,7000e+00

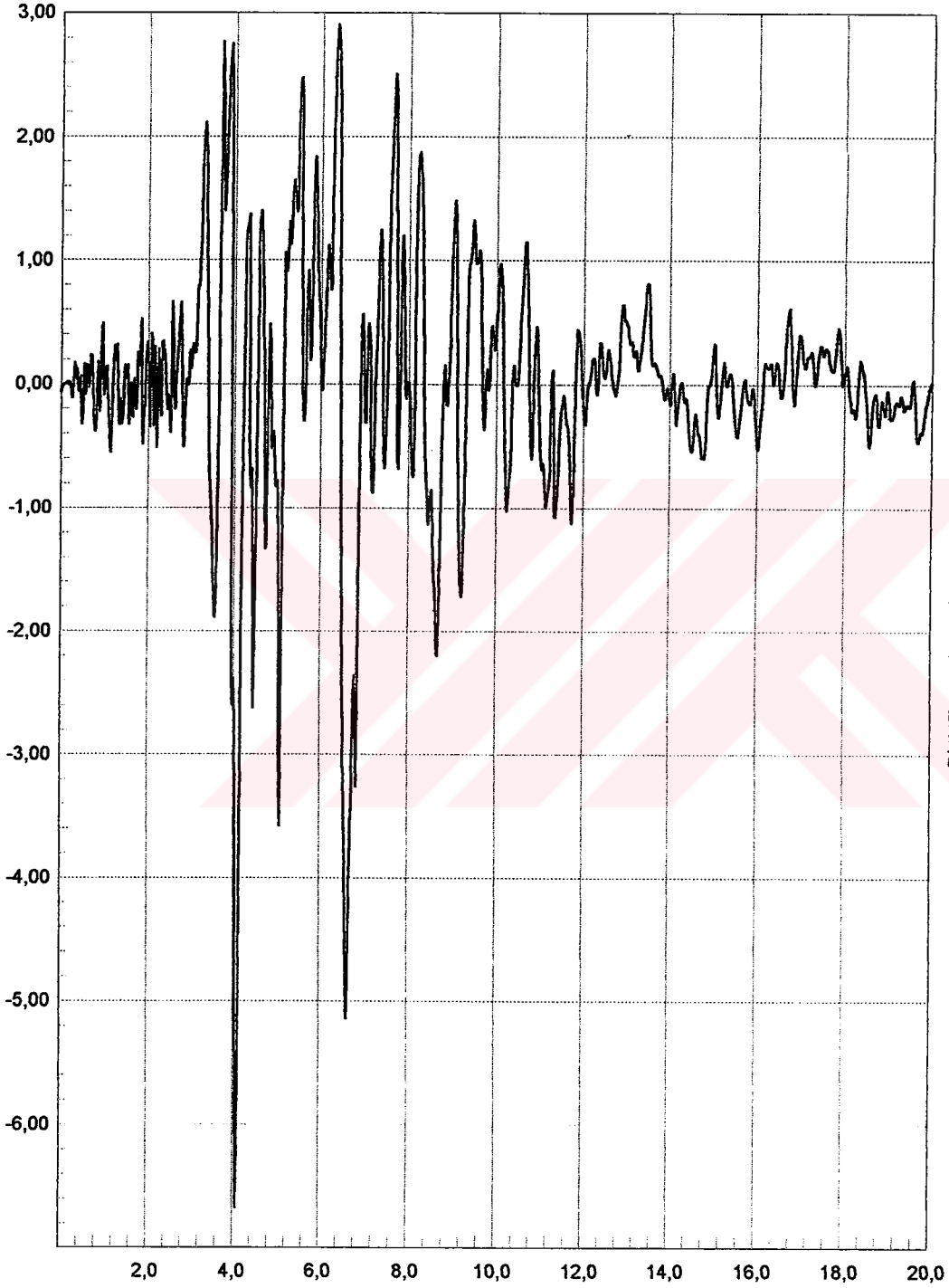


SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

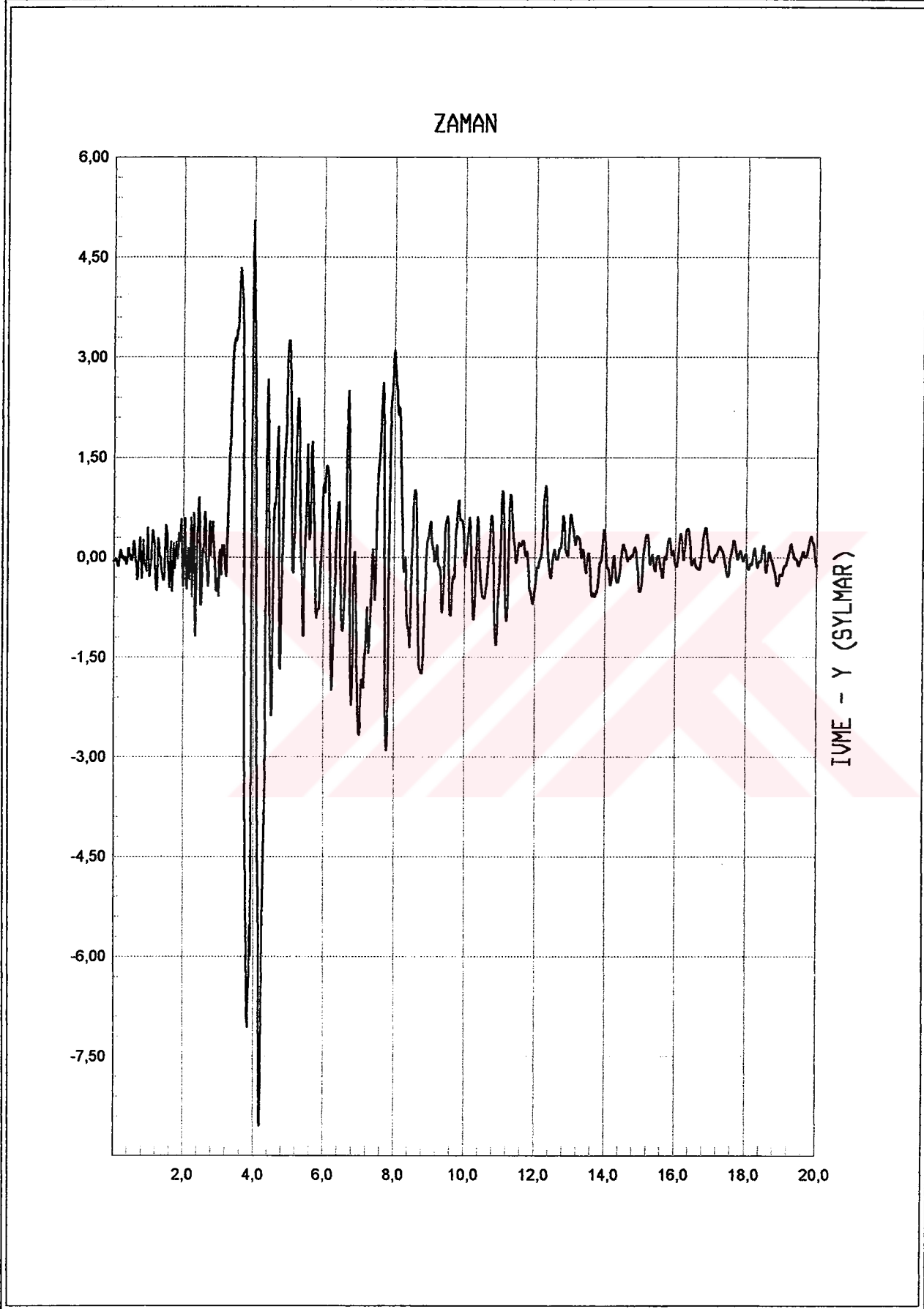
Joint39: Joint 39 Acceleration UX Vs Time

Min is -6,571e+00 at 4,0800e+00 Max is 2,831e+00 at 6,3600e+00

ZAMAN



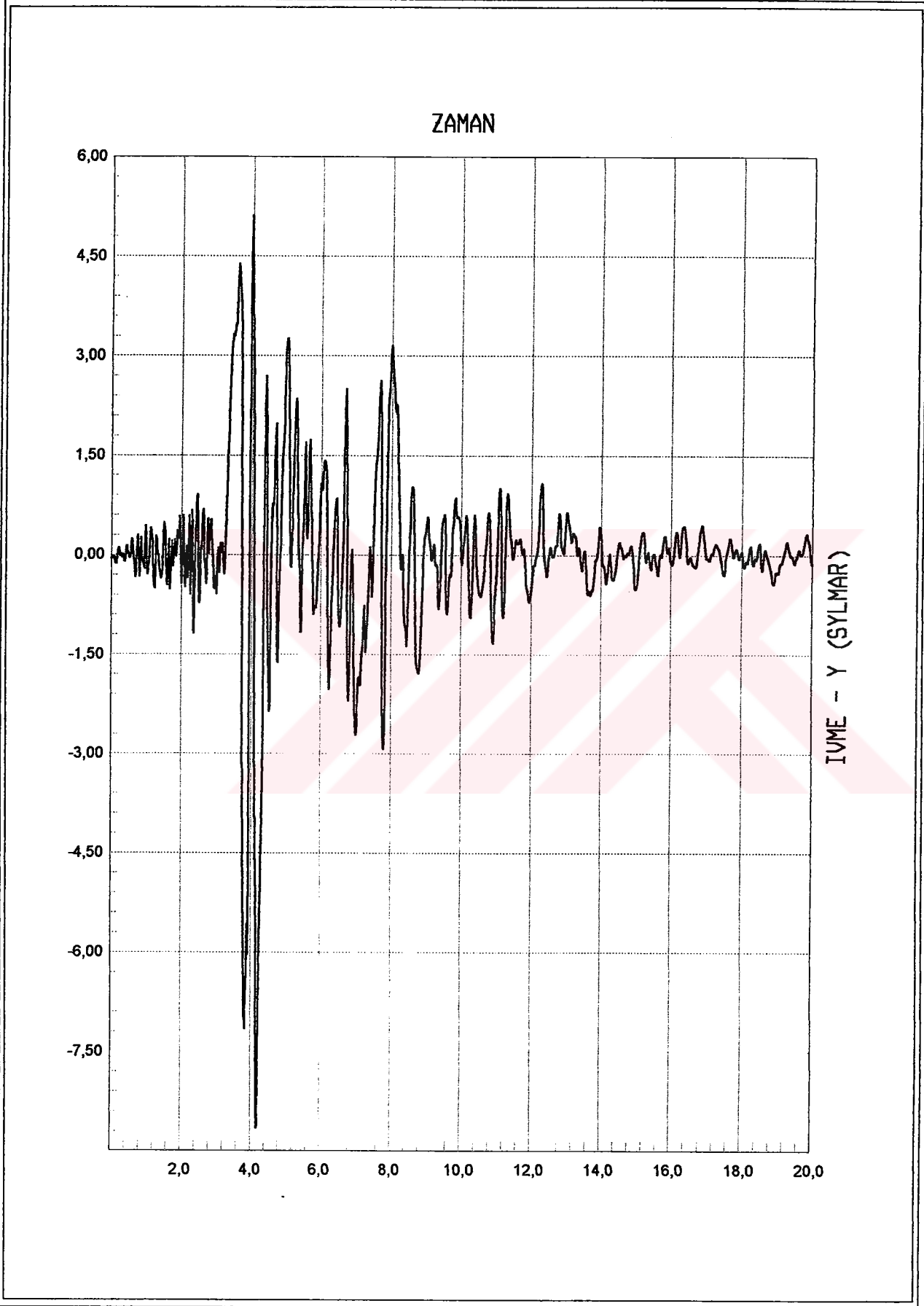
IVME - X (SYLMAR)



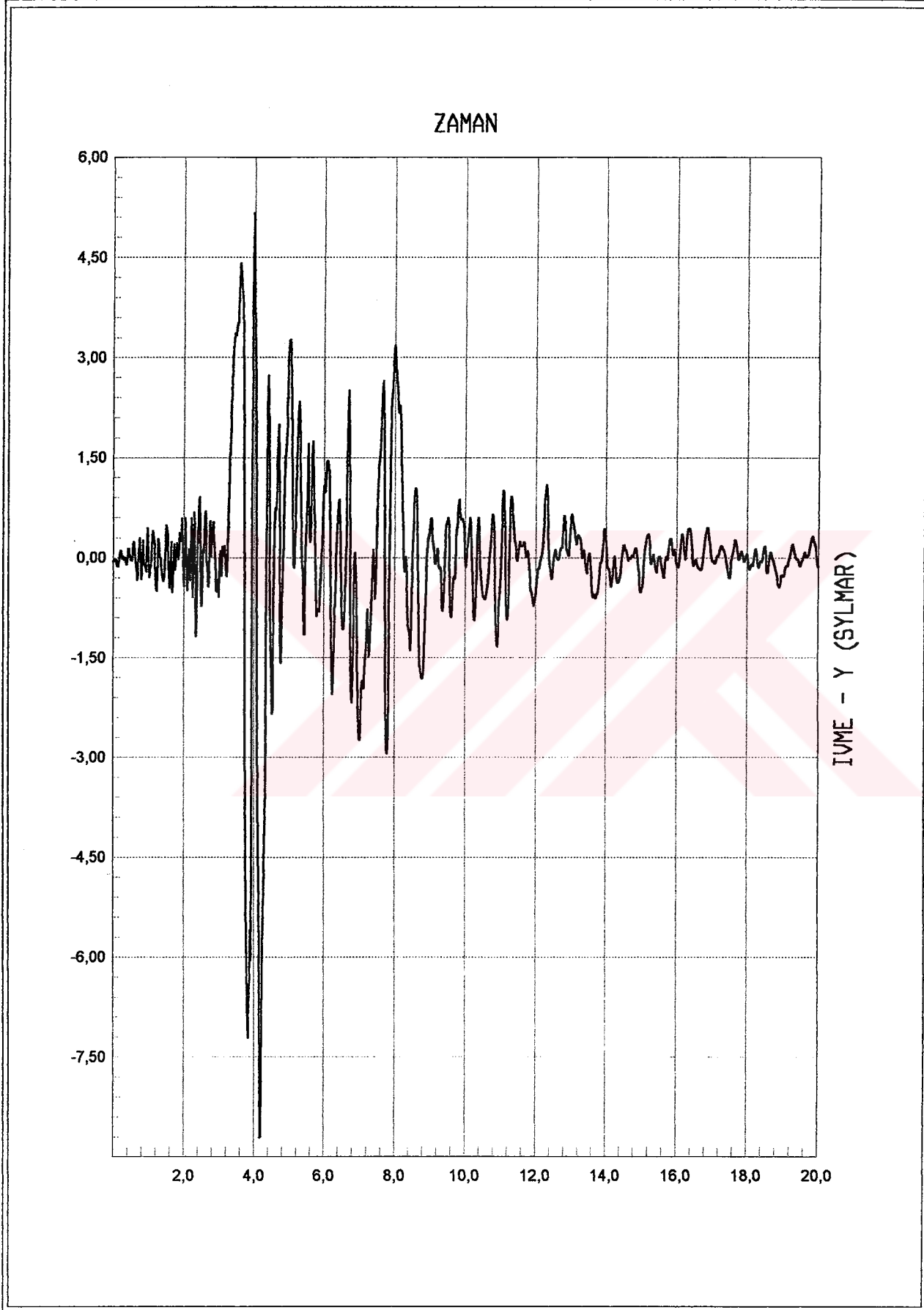
SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint31: Joint 31 Acceleration UY Vs Time

Min is -8,556e+00 at 4,1800e+00 Max is 5,044e+00 at 3,9800e+00



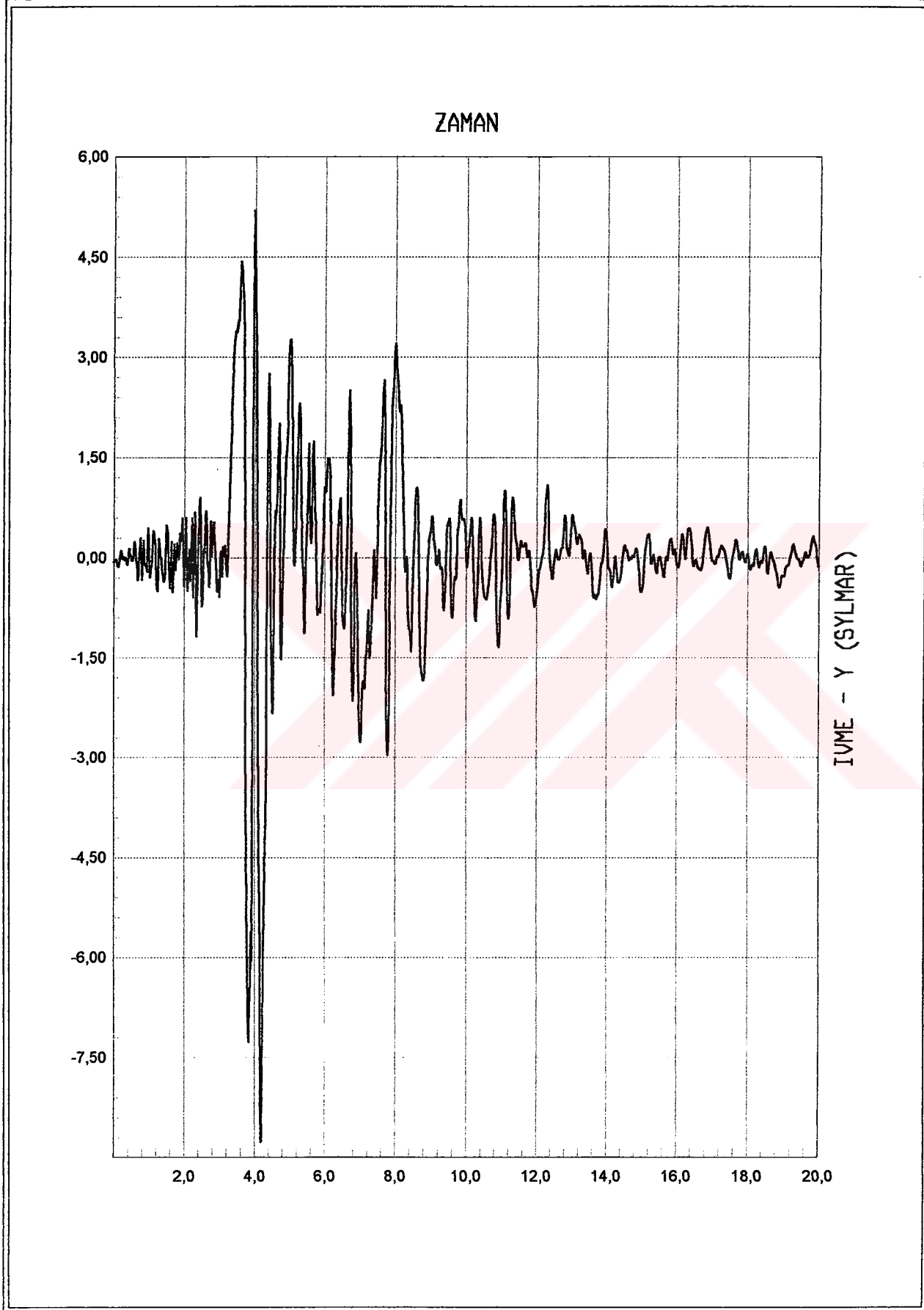
SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units
Joint32: Joint 32 Acceleration UY Vs Time
Min is -8,656e+00 at 4,1800e+00 Max is 5,111e+00 at 3,9800e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint33: Joint 33 Acceleration UY Vs Time

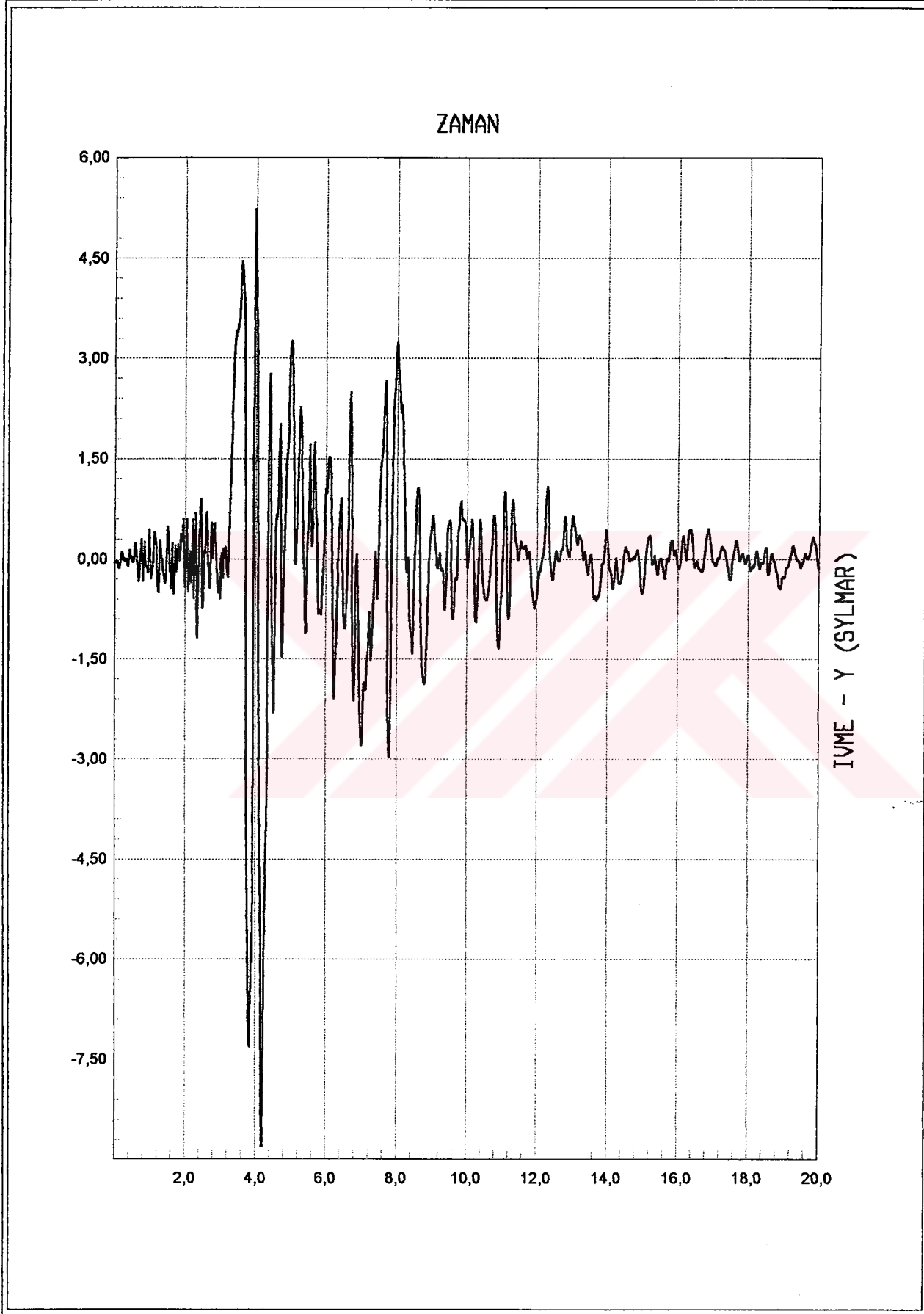
Min is -8,718e+00 at 4,1800e+00 Max is 5,154e+00 at 3,9800e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint34: Joint 34 Acceleration UY Vs Time

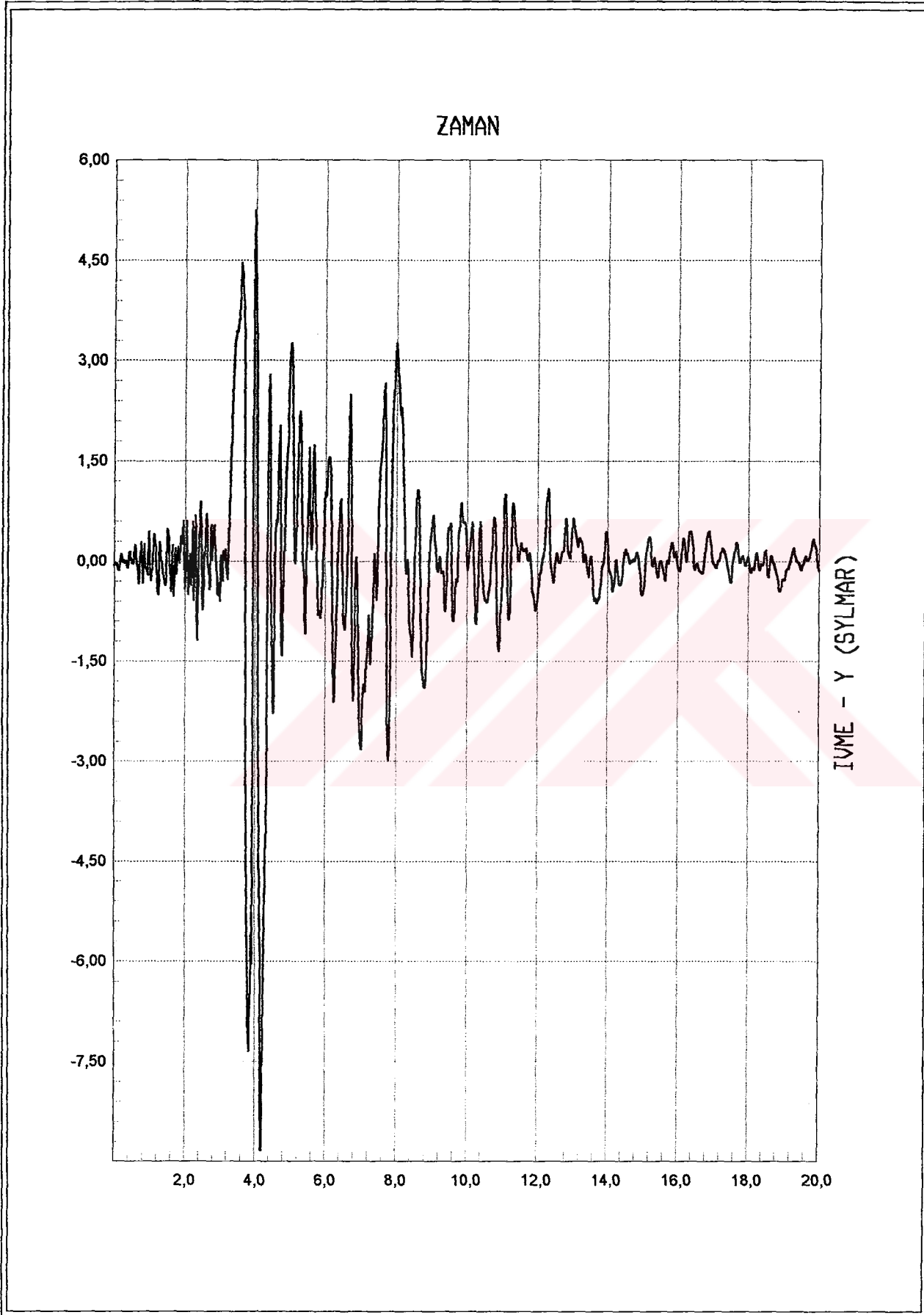
Min is -8,769e+00 at 4,1800e+00 Max is 5,190e+00 at 3,9800e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint35: Joint 35 Acceleration UY Vs Time

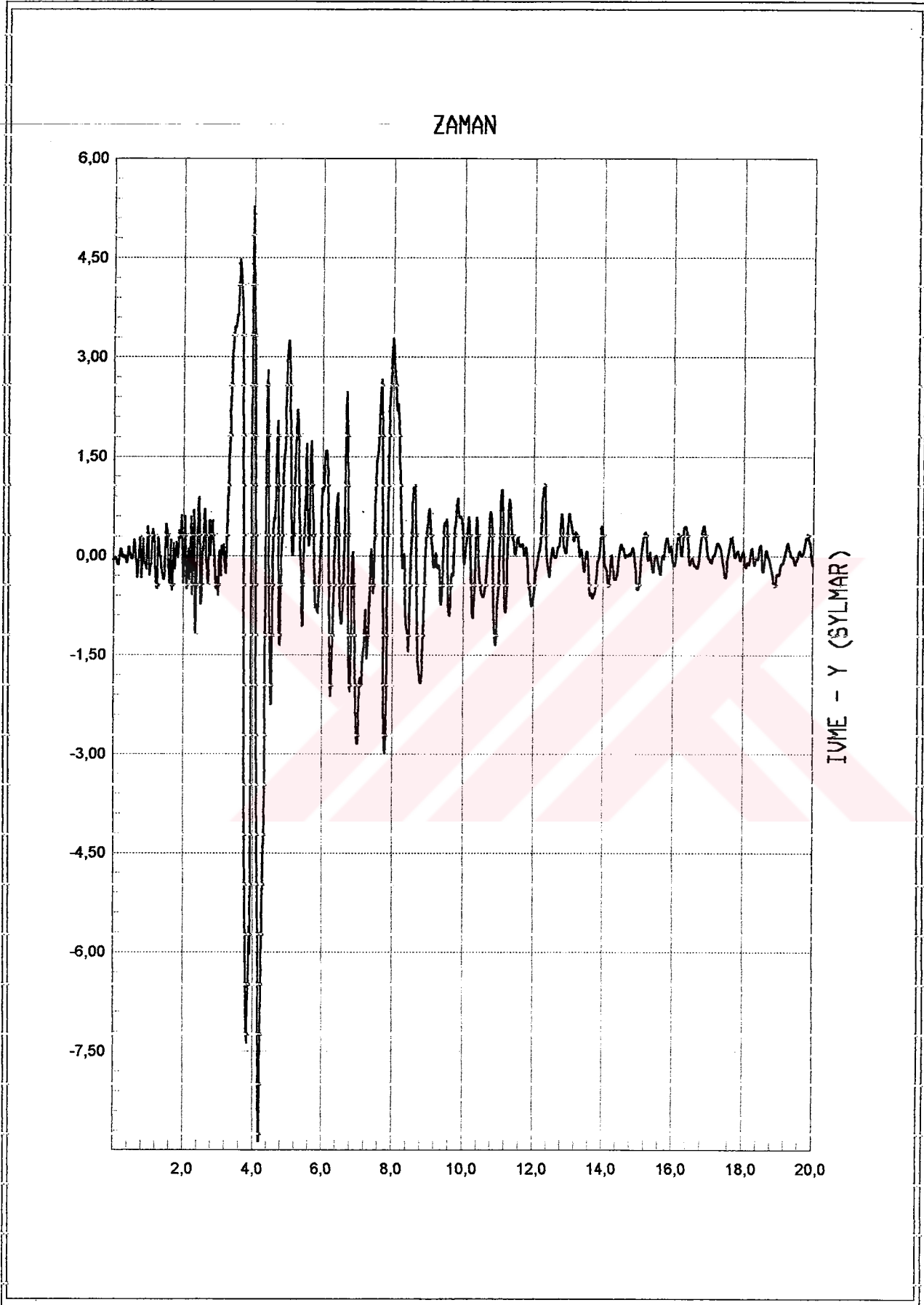
Min is -8,809e+00 at 4,1800e+00 Max is 5,221e+00 at 3,9800e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint36: Joint 36 Acceleration UY Vs Time

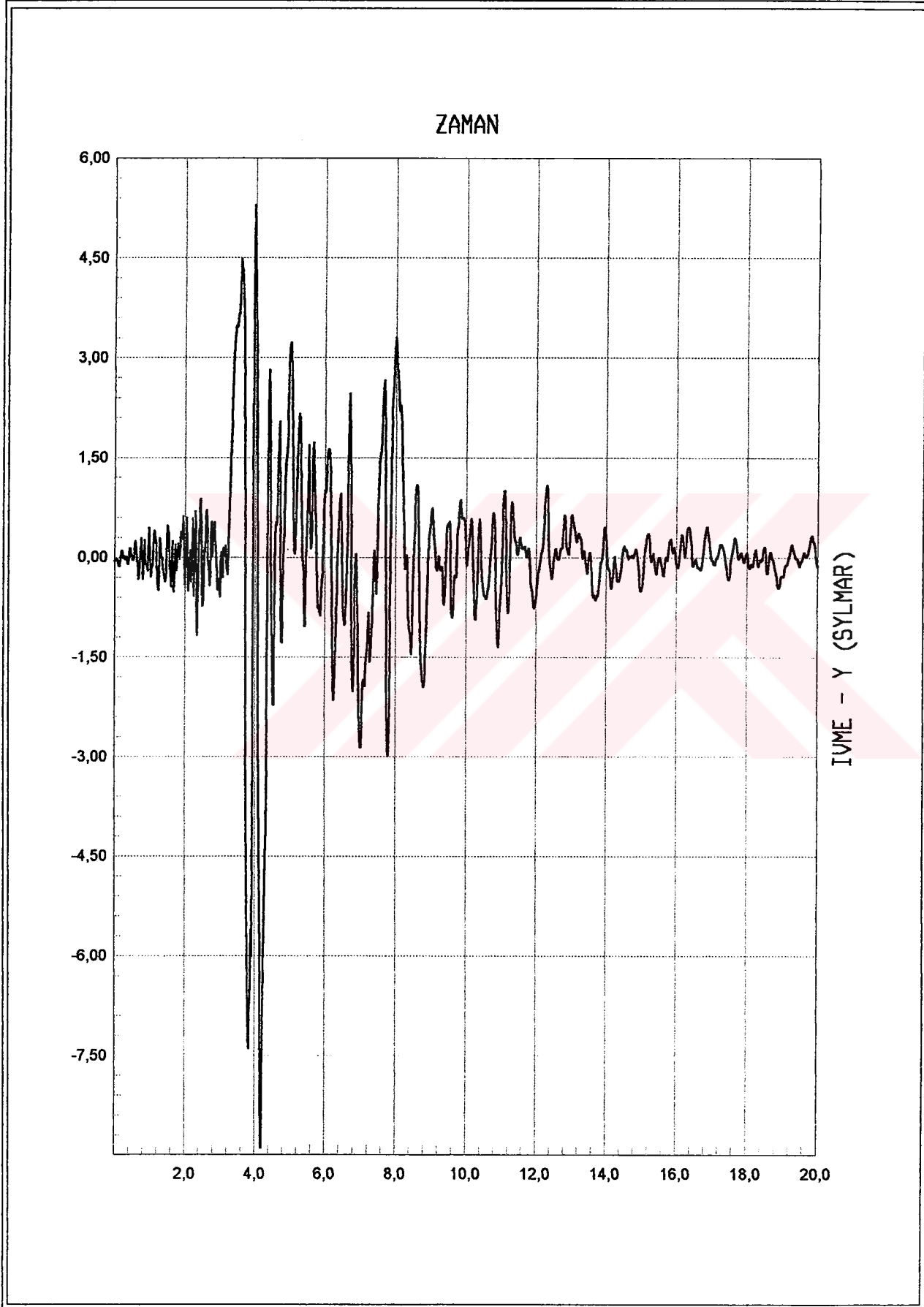
Min is -8,840e+00 at 4,1800e+00 Max is 5,247e+00 at 3,9800e+00

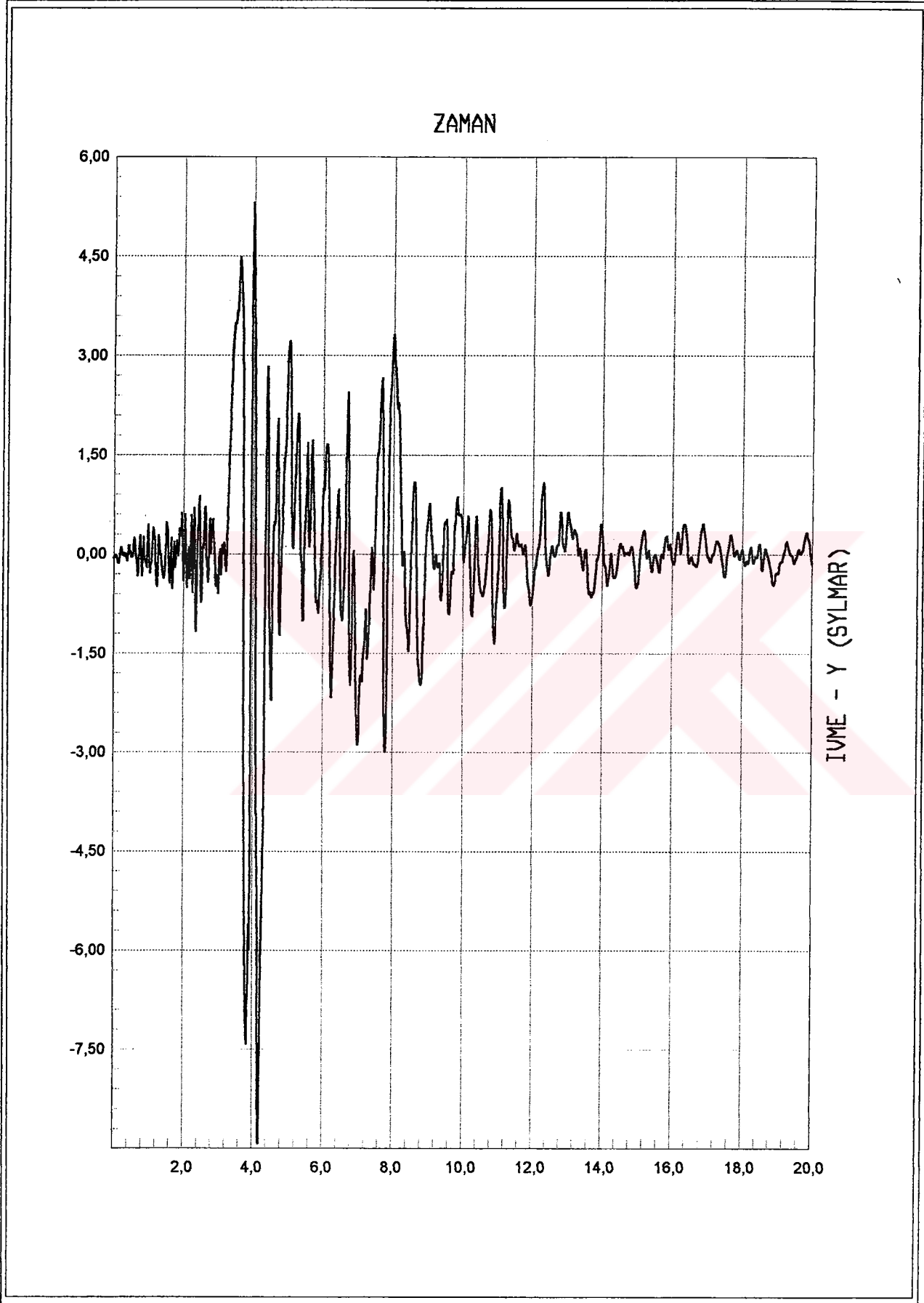


SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint37: Joint 37 Acceleration UY Vs Time

Min is -8,870e+00 at 4,2000e+00 Max is 5,269e+00 at 3,9800e+00

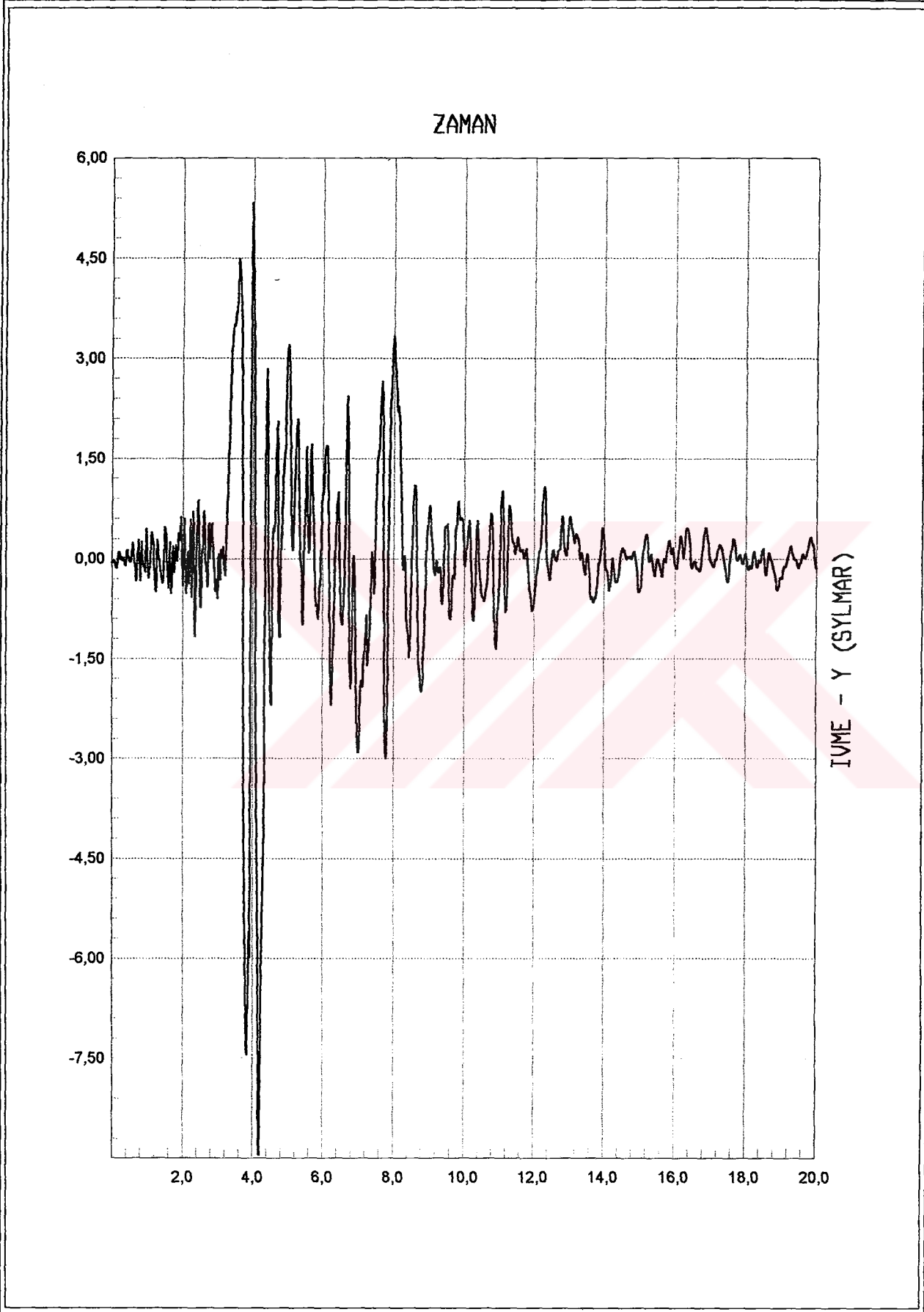




SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

Joint39: Joint 39 Acceleration UY Vs Time

Min is -8,927e+00 at 4,2000e+00 Max is 5,305e+00 at 3,9800e+00



SAP2000 v6.11 - File:perdeli izolator kauçuk - Ton-m Units

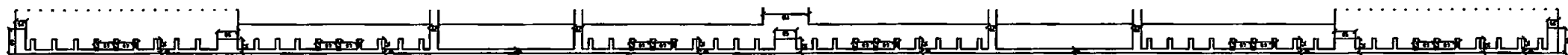
Joint40: Joint 40 Acceleration UY Vs Time

Min is -8,953e+00 at 4,2000e+00 Max is 5,321e+00 at 3,9800e+00

EKE
KALIP PLANLARI



КЕСИТ 1-1



А

В

С

Д

1

2

3

4

5

6

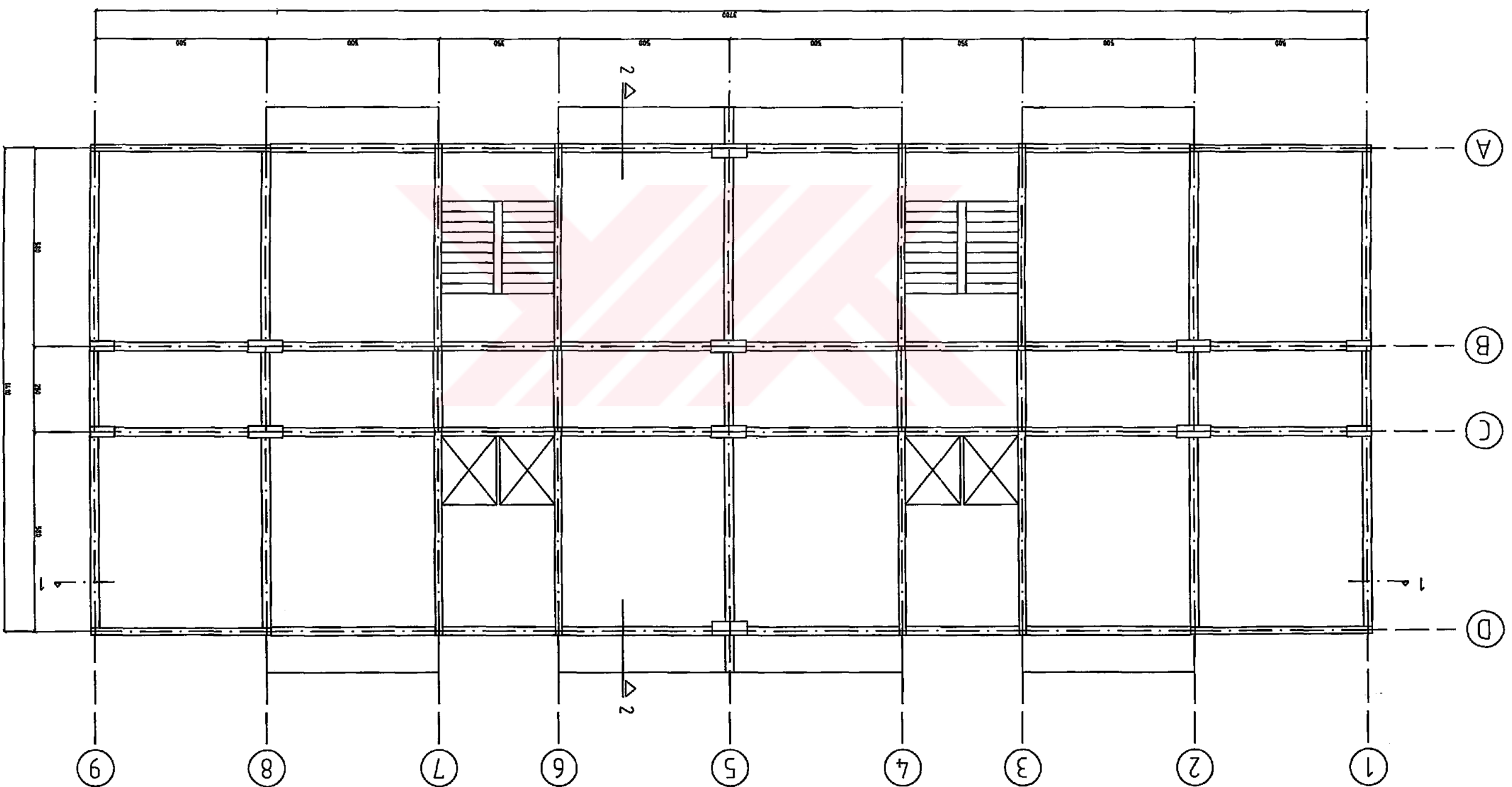
7

8

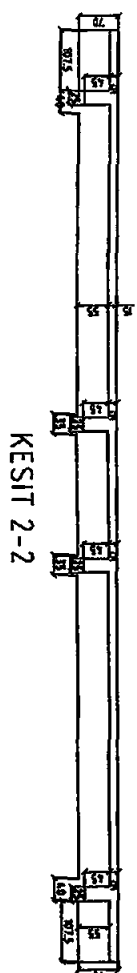
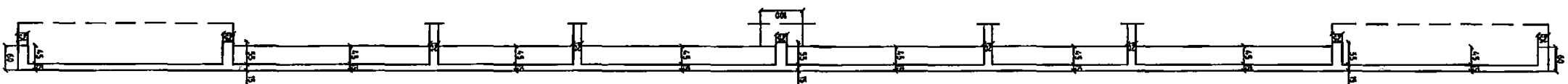
9

КЕСИТ 2-2





KESIT 1-1



KESIT 2-2

ÖZGEÇMİŞ

Özgür Ünal 07.04.1976 tarihinde Konya’ da doğdu. 1994 yılında Konya Anadolu Lisesi’ nden, 1998 yılında ise İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ nden mezun oldu. Yaklaşık üç senedir TEM Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti. ‘nde inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.

