İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PASİF ENERJİ YUTUCU SİSTEMLER VE ÇOK KATLI BİR ÇELİK YAPI ÜZERİNDE UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Burcu POLAT

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PASİF ENERJİ YUTUCU SİSTEMLER VE ÇOK KATLI BİR ÇELİK YAPI ÜZERİNDE UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Burcu POLAT
(501991252011)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : Doç.Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Zekai Celep (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Zekeriya Polat (Y.T.Ü.)

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Deprem riski olan bütün ülkelerde; yapılar ve buna bağlı olarak inşaat sektörü gelişim açısından zarar görmektedir. İlk başta askeri ve savunma amacı ile geliştirilen Koruyucu Sistemler; sonraları yapılarda depremden dolayı oluşabilecek zararları önlemek, yapıların maliyetlerini çok fazla artırmaya gerek kalmadan yerdeğiştirmelerini sınırlandırma ve performanslarını artırma amacı ile dünyanın bir çok ülkesinde kullanılmaya başlanmıştır. Çok önemli bir bölümü deprem kuşağında yer alan ülkemizde de Koruyucu Sistemler' in hesap esaslarının öğrenilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Yapmış bulunduğum yüksek lisans çalışmasında Koruyucu Sistemler ile ilgili genel bilgi verilmiş, içlerinden Pasif Enerji Yutucu Sistemler ile ilgili detaylı açıklamalar yapılmış, çok katlı bir çelik yapı üzerinde çeşitli uygulama türleri gösterilmiş ve bu türler için El Centro 1940 Depremi karşısında davranış incelenmiştir.

Tüm hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı-Deprem Mühendisliği Programı öğrenimim süresince fikirleri ile beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ 'e teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2003 Burcu POLAT

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xii**
SUMMARY **xiii**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı 1

2. YAPILARDA SÖNÜM **4**
2.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Sönüm 6
2.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerde Sönüm 11
2.2.1. Rayleigh Sönümü 12
2.2.2. Eşdeğer Viskoz Sönüm ve Etkili Sönüm 14

3. PASİF ENERJİ YUTAN SİSTEMLER **16**
3.1. Metal Sönümleyiciler 16
3.1.1. Metal Sönümleyicilerin Özellikleri 20
3.1.2. Metal Sönümleyicilerin Uygulaması 21
3.2. Sürtünme Sönümleyicileri 22
3.2.1. Sürtünme Sönümleyicilerinin Özellikleri 23
3.2.2. Sürtünme Sönümleyicilerinin Uygulaması 25
3.3. Visko-Elastik Sönümleyiciler 25
3.3.1. Visko-Elastik Sönümleyicilerin Özellikleri 27
3.3.2. Visko-Elastik Sönümleyicilerin Uygulaması 29
3.4. Viskoz Sönümleyiciler 29
3.4.1. Viskoz Sönümleyicilerin Özellikleri 29
3.4.2. Viskoz Sönümleyicilerin Uygulaması 34
3.5. Ayarlanmış Kütle Sönümleyicileri 35
3.6. Ayarlanmış Sıvı Sönümleyicileri 37
3.7. Pasif Enerji Yutucu Sistemler İle İlgili Fema 356 ve Fema 274 Hükümleri 37
3.7.1. Enerji Yutucu Sistemlerin Modellenmesi 38
3.7.2. Yerdeğiştirme-Bağımlı Cihazlar 39
3.7.3. Hız-Bağımlı Cihazlar 40
3.7.3.1 Katı Visko-Elastik Cihazlar 40
3.7.3.2 Sıvı Visko-Elastik Cihazlar 41
3.7.3.3 Sıvı Viskoz Cihazlar 42
3.7.4. Lineer Hesap Yöntemleri 42
3.7.4.1 Yerdeğiştirme-Bağımlı Cihazlar için Lineer Statik Hesap Yöntemi 43
3.7.4.2 Hız-Bağımlı Cihazlar için Lineer Statik Hesap Yöntemi 45
3.7.4.3 Yerdeğiştirme-Bağımlı Cihazlar için Lineer Dinamik Hesap Yöntemi 47
3.7.4.4 Hız-Bağımlı Cihazlar için Lineer Dinamik Hesap Yöntemi 47

4. LİNEER VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİLERİN ÇOK KATLI BİR ÇELİK YAPI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ **49**
4.1. Taşıyıcı Sistemin Özellikleri 49
4.2. Düşey Yük Analizi 50
4.3. Yatay Yük Analizi 51
4.3.1. Kat Ağırlıklarının Belirlenmesi 51
4.3.2. Kat Kütlelerinin Belirlenmesi 51
4.3.3. Eşdeğer Deprem Yüküne Göre Hesap 52
4.4. Düşey ve Yatay Yüklere Göre Boyutların Belirlenmesi 54
4.5. Zaman Tanım Alanında Çelik Yapının İncelenmesi 54
4.6. Yapının Sönümleyiciler Yerleştirildiği Durumda Zaman Tanım Alanında İncelenmesi 56
4.6.1. Sönümleyicilerin Özelliklerinin Belirlenmesi ve Sisteme Eklenmesi 56

5. SONUÇLAR **59**
5.1. Sönümleyicisiz ve Sönümleyicili Yapının Karşılaştırılması 59
5.2. Sönümleyici Yerleştirilmiş Sistemlerin Karşılaştırılması 60

KAYNAKLAR **62**

EKLER **64**

ÖZGEÇMİŞ **118**

KISALTMALAR

ABYYHY98	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik '98
AISC-ASD89	: American Institute of Steel Construction-Allowable Stress Design'89
FEMA	: Federal Emergency And Management Agency
TS498	: Türk Standartları 498

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 1.1	Koruyucu Sistemin Sınıflandırılması ……...	1
Tablo 1.2	Yerdeğiştirme Azalım Faktörleri ……...	3
Tablo 3.1	Fema Bs ve B1 katsayılarının etkili sönüm oranı ile değişimi …….	44
Tablo 4.1	Yapının periyotları ……... ... ……..	52
Tablo 4.2	Yapının tasarım parametreleri ……... ...	53
Tablo 4.3	Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri ….. ….. ….. ….. ….. ...	54
Tablo 4.4	Tip ismine göre lineer viskoz sönümleyicinin sönüm katsayısı…..	56
Tablo 5.1	52 No'lu düğüm noktasının maksimum yerdeğiştirmeleri ... ... …..	59
Tablo 5.2	52 No'lu düğüm noktasının maksimum ivmeleri ... ... ….	59
Tablo 5.3	Maksimum taban kesme kuvvetleri……..	60
Tablo 5.4	Sönümleyici sistem tepkilerinde meydana gelen azalma ... ... …..	60
Tablo 5.5	Eşdeğer viskoz sönüm oranının modlara göre değişimi	61

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Çevrimsel Kuvvet-Yerdeğiştirme davranışı..... 5
Şekil 2.2 : Değişik sönüm değerleri için Yerdeğiştirme-Zaman grafiği 6
Şekil 2.3 : Tek Serbestlik Dereceli Sistem 6
Şekil 2.4 : Logaritmik Azalım 10
Şekil 2.5 : Rayleigh Sönümü 13
Şekil 2.6 : Yapı ve ek cihazlar tarafından yutulan enerji 14
Şekil 3.1 : Metal Sönümleyici tiplerinin yerleştirilmesi 17
Şekil 3.2 : Eksenel yük taşıyan sönümleyicilere ait bir örnek 18
Şekil 3.3 : Kesme kuvveti ve moment aktaran sönümleyicilere bir örnek 19
Şekil 3.4 : Metal sönümleyicilerin Kuvvet-Yerdeğiştirme grafiği 20
Şekil 3.5 : Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti 22
Şekil 3.6 : Sumitomo sürtünme aygıtının kurulumu 23
Şekil 3.7 : Pall sürtünme aygıtı 23
Şekil 3.8 : Sürtünme sönümleyicilerinin Kuvvet-Yerdeğiştirme grafiği 24
Şekil 3.9 : Sönümleyici kuvvetinin yapının karşıladığı kuvvetten küçük olması durumu 24
Şekil 3.10 : Sönümleyici kuvvetinin yapının karşıladığı kuvvetten büyük olması durumu 25
Şekil 3.11 : Visko-elastik sönümleyici 26
Şekil 3.12 : Visko-elastik sönümleyiciye etkiyen kuvvetler 26
Şekil 3.13 : Visko-elastik sönümleyicinin yerleşimi 26
Şekil 3.14 : Visko-elastik sönümleyicinin Kuvvet-Yerdeğiştirme grafiği 27
Şekil 3.15 : Visko-elastik sönümleyicinin Kuvvet-Yerdeğiştirme grafiğine frekansın etkisi 28
Şekil 3.16 : Visko-elastik sönümleyicinin Kuvvet-Yerdeğiştirme grafiğine kayma şekil değiştirmesinin etkisi 28
Şekil 3.17 : Amerikan Hava Kuvvetleri'nde kullanılan viskoz sönümleyici 29
Şekil 3.18 : Yerdeğiştirme ve hız arasındaki faz farkı 31
Şekil 3.19 : Sönüm kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin C 'ye göre değişimi 32
Şekil 3.20 : Sönüm kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin α'ya göre değişimi 32
Şekil 3.21 : Sönüm kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin C ve α'ya göre değişimi 33
Şekil 3.22 : Sönüm kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin hız limitine göre değişimi 33
Şekil 3.23 : Sönüm kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin yükleme periyoduna göre değişimi 34
Şekil 3.24 : α=0.5 için yerdeğiştirmenin artırımının sönüm kuvvetine etkisi... 34
Şekil 3.25 : Ayarlanmış kütle sönümleyicileri 35
Şekil 3.26 : Ayarlanmış kütle sönümleyici ile tek serbestlik dereceli sistem .. 36
Şekil 3.27 : Enerji Yutucu Cihazlar'ın, yapının Taban Kesme Kuvveti-Şekildeğiştirme davranışı üzerindeki etkileri 37

Şekil 3.28 : Enerji Yutucu Cihazlar'ın yerleşimi 38
Şekil 3.29 : Yerdeğiştirme-Bağımlı Cihazlar' ın ideal Kuvvet-Yerdeğiştirme çevrimleri..... 39
Şekil 3.30 : Hız-Bağımlı Cihazlar' ın ideal Kuvvet-Yerdeğiştirme çevrimleri .. 39
Şekil 3.31 : Katı Visko-Elastik Cihazlar'ın Kuvvet-Yerdeğiştirme Grafiği 40
Şekil 3.32 : Katı Visko-Elastik Cihazlar için Kelvin Modeli 41
Şekil 3.33 : Sıvı Visko-Elastik Cihazlar için Maxwell Modeli 41
Şekil 3.34 : FEMA Genel Yatay İvme Spektrumu 44
Şekil 4.1 : Taşıyıcı sistem 49
Şekil 4.2 : Düğüm Nokta Numaraları 50
Şekil 4.3 : Sönümleyicisiz sistemin 52 No'lu Düğüm Noktası'na ait Yerdeğiştirme-Zaman Grafiği..... 55
Şekil 4.4 : Sönümleyicisiz sistemin 52 No'lu Düğüm Noktası'na ait İvme-Zaman Grafiği..... 55
Şekil 4.5 : Sönümleyicisiz sistemin Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği .. 56
Şekil 4.6 : A Tipi 57
Şekil 4.7 : B Tipi 57
Şekil 4.8 : C Tipi 58
Şekil A.1 : Tüm sistemler için sönümsüz serbest titreşime ait 1. Mod Şekli . 66
Şekil A.2 : Tüm sistemler için sönümsüz serbest titreşime ait 2. Mod Şekli . 67
Şekil A.3 : Tüm sistemler için sönümsüz serbest titreşime ait 3. Mod Şekli . 68
Şekil A.4 : Tüm sistemler için sönümsüz serbest titreşime ait 4. Mod Şekli . 69
Şekil B.1 : A-01,A-02,A-03,S Sistemlerine ait Yerdeğiştirme-Zaman Grafiği 71
Şekil B.2 : B-01,B-02,B-03,S Sistemlerine ait Yerdeğiştirme-Zaman Grafiği 72
Şekil B.3 : C-01,C-02,C-03,S Sistemlerine ait Yerdeğiştirme-Zaman Grafiği 73
Şekil B.4 : A-01,B-01,C-01,S Sistemlerine ait Yerdeğiştirme-Zaman Grafiği 74
Şekil B.5 : A-02,B-02,C-02,S Sistemlerine ait Yerdeğiştirme-Zaman Grafiği 75
Şekil B.6 : A-03,B-03,C-03,S Sistemlerine ait Yerdeğiştirme-Zaman Grafiği 76
Şekil C.1 : A-01,A-02,A-03,S Sistemlerine ait İvme-Zaman Grafiği 78
Şekil C.2 : B-01,B-02,B-03,S Sistemlerine ait İvme-Zaman Grafiği 79
Şekil C.3 : C-01,C-02,C-03,S Sistemlerine ait İvme-Zaman Grafiği 80
Şekil C.4 : A-01,B-01,C-01 Sistemlerine ait İvme-Zaman Grafiği 81
Şekil C.5 : A-02,B-02,C-02 Sistemlerine ait İvme-Zaman Grafiği 82
Şekil C.6 : A-03,B-03,C-03 Sistemlerine ait İvme-Zaman Grafiği 83
Şekil D.1 : A-01,A-02,A-03,S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 85
Şekil D.2 : B-01,B-02,B-03,S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 86
Şekil D.3 : C-01,C-02,C-03,S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 87
Şekil D.4 : A-01,B-01,C-01,S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 88
Şekil D.5 : A-02,B-02,C-02,S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 89
Şekil D.6 : A-03,B-03,C-03,S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 90
Şekil E.1 : A-01,A-02,A-03 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı-Mod Şekli Dağılımı 92
Şekil E.2 : B-01,B-02,B-03 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı-Mod Şekli Dağılımı 93
Şekil E.3 : C-01,C-02,C-03 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı-Mod Şekli Dağılımı 94
Şekil E.4 : A-01,B-01,C-01 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı-Mod Şekli Dağılımı 95

Şekil E.5 : A-02,B-02,C-02 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı-Mod Şekli Dağılımı 96
Şekil E.6 : A-03,B-03,C-03 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı-Mod Şekli Dağılımı 97
Şekil F.1 : S Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği 99
Şekil F.2 : A-01 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği 100
Şekil F.3 : A-02 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği 101
Şekil F.4 : A-03 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği 102
Şekil F.5 : B-01 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği 103
Şekil F.6 : B-02 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği 104
Şekil F.7 : B-03 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği 105
Şekil F.8 : C-01 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği 106
Şekil F.9 : C-02 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği 107
Şekil F.10 : C-03 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği 108

SEMBOL LİSTESİ

a_o, a_1 : Rayleigh sönüm oranı sabitleri
A, B, C_1,C_2,... : İntegrasyon sabitleri
A_b : Viskoelastik sönümleyicinin toplam alanı
A_p : Piston başlık alanı
A_r : Piston çubuğunun alanı
A_o : Etkin yer ivmesi katsayısı
A_1 : Delik alanı
A_2 : Kontrol valflerinin alanı
A(T) : Spektral ivme katsayısı
b : Viskoz sönümleyici sabiti
B_s ,B_1 : Fema spektrum katsayıları
c : Sönüm katsayısı
C, C_o, Cj : Sönümleyicinin sönüm katsayısı
C_{d1} : Deliğin tahliye katsayısı
C_{d2} : Kontrol valfi katsayısı
CF_1, CF_2 : Durum kombinasyon çarpanları
C_t : Çelik yapı için periyot katsayısı
D_{ave} : Sönümleyicinin ortalama yerdeğiştirmesi
D : Sönümleyicinin uçları arasındaki göreli yerdeğiştirme
D' : Sönümleyicinin uçları arasındaki göreli hız
E : Yatay deprem yükleri
f : Sönümleyicinin rijitliğinin, yapının rijitliğine oranı
f_I : Atalet kuvveti
f_D : Sönüm kuvveti
f_S : Yay kuvveti
f_1 : Yapının 1. temel frekansı
F_D : Sönümleyici kuvveti
F_i : i' nci katta hesaplanan deprem yükü
F_{mi} : m' inci modda i' inci katta yatay atalet kuvveti
g : Sönümleyicinin akma yükünün, yapının aldığı toplam yüke oranı
g : Yerçekimi ivmesi
G : Düşey sabit yükler
G' : Depolanan kayma modülü
G" : Kayıp kayma modülü
H_n : Yapının temelden itibaren yüksekliği
I : Bina önem katsayısı
k : Yay rijitliği
k_{eff} : Sönümleyicinin etkili rijitliği
K_D : Sönümleyicinin rijitliği
K_E : Yapının rijitliği
m : Kütle
n : Piston başındaki delik sayısı
p(t) : Dış yük
p_{12} : Basınç diferansiyeli
P : Viskoz sönümleyicinin karşıladığı kuvvet
Ra(T) : Deprem yükü azaltma katsayısı

S(T) : Spektrum katsayısı
Q : Düşey hareketli yükler
t : Visko-elastik malzemenin toplam kalınlığı
T : Sönümsüz sistemin doğal titreşim periyodu
$\mathbf{T_A}$ **,** $\mathbf{T_B}$: Zemin karakteristik periyotları
$\mathbf{T_D}$: Sönümlü sistemin doğal titreşim periyodu
$\mathbf{T_{1A}}$: Birinci doğal titreşim periyodu
$\mathbf{T_m}$: Hız-bağımlı cihazların rijitlikleri de hesaba katılarak bulunan yapının m' inci periyodu
u : Sönümleyicinin hızı
v, y, z : Yerdeğiştirme
v', y', z' : Hız
v", y", z" : İvme
Vt : Toplam Eşdeğer Deprem Yükü
$\mathbf{w_i}$: i' nci katın ağırlığı,
$\mathbf{W_D}$: Sönümleyici tarafından yutulan enerji
$\mathbf{W_j}$: j cihazının, δ_i yerdeğiştirmelerine karşı gelen bir tam çevriminde yaptığı iş
$\mathbf{W_k}$: Maksimum yay enerjisi
$\mathbf{W_{mj}}$: Modal δ_{mi} yerdeğiştirmelerine karşı gelen bir tam çevrim sırasında cihaz tarafından yapılan iş
$\mathbf{W_{mk}}$: m' inci modda yapıda meydana gelen maksimum yay enerjisi
$\mathbf{W_S}$: Yapı tarafından yutulan enerji
$\mathbf{W_T}$: Toplam yapı ağırlığı
Δ : Sistemin yapabileceği maksimum yerdeğiştirme
Δ_y : Sönümleyicinin akma yerdeğiştirmesi
$\Delta \mathbf{F_N}$: Yapının N 'inci katına etkiyen eşdeğer deprem yükü
α : Hız üsteli
β : Sönüm oranı
β_{eff} : Etkili sönüm oranı
β_{eq} : Eşdeğer sönüm oranı
β_m : Yapının m' inci moddaki sönümü
δ : Logaritmik azalım
δ_i : Sönümleyicinin uçları arasındaki göreli yerdeğiştirme
δ_{mi} : m' inci modda i' inci katta yatay yerdeğiştirme
δ_{mrj} : m' inci modda cihazın uçları arasındaki j doğrultusunda göreli yerdeğiştirme
δ_{rj} : Cihazın uçları arasındaki j doğrultusunda göreli yerdeğiştirmesi
ϕ_i : Serbest titreşime ait mod şekli
ω : Sönümsüz sistemin açısal frekansı
ω_D : Sönümlü sistemin açısal frekansı
θ : Faz farkı
θ_j : j cihazının yatayla yaptığı açı
ϕ_i : i' nci katın birinci mod yerdeğiştirmesi
ϕ_{rj} :cihazın uçları arasında yatay doğrultudaki birinci mod göreli yerdeğiştirmesi
ρ : Maksimum genlik

PASİF ENERJİ YUTUCU SİSTEMLER ve ÇOK KATLI BİR ÇELİK YAPI ÜZERİNDE UYGULAMASI

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, yapılarda depremden dolayı oluşan yerdeğiştirmeleri sınırlayan, hasarları önleyen veya azaltan, yapıya ek sönüm veya sönümle birlikte ek rijitlik vererek enerji yutucu sistemlerin sahip oldukları kavramları, çalışma prensiplerini, birbirlerine göre farklılıklarını, yapılan kabulleri ve hesap esaslarını ortaya koymaktır. Bu cihazlardan hız bağımlı lineer viskoz sönümleyicilerin çok katlı bir çelik yapı üzerinde etkileri araştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, genel olarak yapıların depreme karşı korunmasını sağlayan Koruyucu Sistemler ile ilgili bilgi verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, yapılarda sönüm kavramı ele alınmıştır. Tek ve çok serbestlik dereceli sistemlerin sönüm oranları, Rayleigh Sönümü, Eşdeğer ve Etkili Sönüm kavramları açıklanmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, yapılarda kullanılan Pasif Enerji Yutucu Sistemler' in tasarımları yapılırken nelere dikkat edileceği, yapıya kattıkları özellikler ve uygulamaları incelenmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, 12 katlı bir çelik yapının TS 498 'e göre düşey yük hesabı, ABYYHY98'e göre eşdeğer deprem yükü bulunarak yatay yük hesabı yapılmış ve Sap2000 programı vasıtası ile kesit boyutları tespit edilmiştir. Çelik yapının 1940 El Centro depremine göre, Zaman Tanım Alanı'nda sönümleyicisiz ve sönümleyici cihazlar eklendikten sonra çatı katı yerdeğiştirmesi ve ivmesi, taban kesme kuvveti davranışları ile enerji dağılımı incelenmiş ve eşdeğer viskoz sönüm oranları ile mod şekli dağılımı elde edilmiştir.

Son bölümde, sönümleyicisiz yapı ile sönümleyici eklenmiş yapı tipleri arasında ve sönümleyici eklenmiş tiplerin kendi aralarında karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu karşılaştırmalara göre eklenen lineer viskoz sönümleyicilerin sönüm katsayılarının doğru orantılı bir şekilde artırılması, eşdeğer sönüm oranlarını da doğru orantılı olarak artırmıştır. Çalışmanın amacı olan yerdeğiştirmelerin azaltılması Pasif Enerji Yutucu Sistemler vasıtası ile mümkün olmuş ve en iyi sonuçlar B tipi yerleşim ile elde edilmiştir. B-03 tipinde 1. mod için sisteme sağlanan ek %5.7 eşdeğer sönüm sayesinde yerdeğiştirmelerin %30 oranında, ivmelerin %56 oranında ve taban kesme kuvvetinin %25 oranında azaldığı görülmüştür.

PASSIVE ENERGY DISSIPATING SYSTEMS and AN APPLICATION ON MULTI STOREY STEEL STRUCTURE

SUMMARY

The fundamental aim of this study is to emerge computation characteristics, assumptions, working principles and differences between types of Passive Energy Dissipating Systems which prevents or decreases damages and restricts displacements, by adding damping or damping and rigidity against to the earthquakes. The effect of the velocity dependent viscous dampers of these systems has been researched on multi-storey steel structure.

In the first chapter of this study, it has been given information about protective systems which protects the structure against the earthquake.

In the second chapter of this study, the concept of the damping in structure has been examined. The damping ratios, single degree of freedom systems and multi degrees of freedom systems, equivalent and effective damping concepts has been clarified.

In the third chapter of this study, it has been researched what to consider while designing the passive energy systems used in structures and characteristics which they add to structure and the applications.

In the fourth chapter of this study, analysis of the vertical loads was performed according to TS 498 and analysis of horizontal loads was performed according to Equivalent Earthquake Load in Turkish Earthquake Design Code, ABYYHY98. The structure has been designed by required internal loads using SAP2000 program. It has been researched that the roof displacement and acceleration, base shear force responses and energy distribution of twelve storey structure with dampers and without dampers in Time History Analysis, by El Centro 1940 earthquake and has been obtained equivalent viscous damping ratios according to mode shapes.

In the last chapter, it has been compared that the system without damper and with dampers. Another comparison has been made between the systems have different damper locations and damping coefficients. According to these comparisons; it has been obtained increasing the damping coefficient linearly of linear viscous dampers, increases the equivalent viscous damping ratio linearly. The aim of this study has been reached, decreasing the displacements of buildings by Passive Energy Dissipating Systems, due to earthquake. It has been obtained the best results at location type of B. The displacements have been decreased 30%, accelerations have been decreased 56% and base shear forces have been decreased 25% by adding 5.7% equivalent viscous damping for first mode, at type of B-03.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

1990 yılında Soğuk Savaş' ın sona ermesi ile politik ve ekonomik değişim, gelişmiş ülkelerin askeri ve savunma amaçlı kullandığı teknolojinin toplum yararına kullanılmasına imkan sağladı. Bunlardan en bilineni internet olmakla birlikte İnşaat Mühendisliği alanında yüksek kapasiteli sönümleyici ve enerji yutucu aletlerin başta geldiği "Koruyucu Sistemler", rüzgar ve depreme maruz yapılar ve köprülerdeki ticari uygulamalara dönüştü.

Soğuk Savaş sırasındaki güvenilirlikleri nedeni ile özellikle sıvı sönümleyiciler inşaat sektöründeki yerlerini hızla almaya başladı. Yapılarda kullanılan yeni kavramlar "Koruyucu Sistemler" olarak sınıflandırılmış ve Tablo 1.1 'de gösterilmiştir **(Soong and Constantinou, 1994)**.

Tablo1.1 Koruyucu Sistemlerin Sınıflandırılması

Koruyucu Sistemler		
Pasif Kontrol		**Aktif Kontrol**
Sismik Yalıtım	Pasif Enerji Yutucular	
Elastomerik Mesnetler	Metal Sönümleyiciler	Bağ Sistemleri
Kurşun-Kauçuk Mesnetler	Sürtünme Sönümleyicileri	Kütle Sistemleri
Elastomerik Mesnetler ve Enerji	Viskoelastik Sönümleyiciler	Değişken Rijitlik ve Kütle Sistemleri
Yutucu Cihazlar	Viskoz Sönümleyiciler	Şok Sistemler
Sürtünme Sarkacı Mesnetleri	Ayarlanmış Kütle Sönümleyiciler	Aerodinamik Sistemler
Yassı Kayıcı Mesnetler ve Yük	Ayarlanmış Sıvı Sönümleyiciler	
Veren Cihazlar		
Yağlanmış Kayan Mesnetler ve		
Enerji Yutucu Sistemler		

Koruyucu sistemin özellikleri gelen yüklemeye bağlı olarak değiştirilebiliyorsa Aktif Kontrol Sistemi, değiştirilemiyorsa Pasif Kontrol Sistemi adını alır. Pasif Kontrol Sistemleri'nden, Sismik Yalıtım Sistemleri ile Pasif Enerji Yutucular benzer sistemler olmalarına karşın, aralarında çalışma prensipleri yönünden fark vardır. Yalıtım sistemleri genelde temel seviyesine yerleştirilir ve gelen deprem enerjisini,yapı

içinde dağılmadan, yapının hakim periyodunu kaydırarak sönümlerken, enerji yutucular yapının içinde çeşitli yerlerde ve deprem enerjisi yapıya ulaştıktan sonra kinetik ve şekil değiştirme enerjisi olarak sönümler.

Koruyucu Sistemler depremlerin yapı gelişimine verdiği hasarı ve deprem bağlantılı kayıpların azaltılmasına yönelik bir yöntem olarak geliştirilmiştir. Temel amaç olarak yaşam güvenliği temin etmek değil binanın deprem sırasındaki performansını artırmaktır. Bu sistemler yapının tepkisini ve buna bağlantılı olarak hasarı azaltırlar.

Geleneksel yaklaşımlar yapının depreme dayanımı olarak, şekil değiştirebilme ve enerji yutabilme özelliklerinin bir kombinasyonu olarak pasif şekilde deprem etkilerine dayanmasını öngörür. Yapıların sönüm derecesi çok düşük olduğu için elastik davranış sırasında enerji yutma kapasiteleri de çok düşüktür. Güçlü depremler sırasında bu yapılar elastik davranışın ötesine geçip, plastik mafsalların oluşması gibi elastik olmayan şekil değiştirmeler yaparak ayakta kalabilirler.

Deprem hasarlarını azaltmada başka bir yaklaşım olan Pasif Enerji Yutucu Sistemleri anlamak için yapı içindeki enerji dağılımını düşünmek gereklidir. Deprem hareketi sırasında sonlu miktarda bir enerji yapıya girmiş olur. Bu giriş enerjisi kinetik ve potansiyel enerjiye dönüşür. Sistemde sönüm olmasaydı bu enerjinin yarattığı titreşimin sonsuza kadar devam etmesi gerekirdi. Ama yapıda her zaman belli bir değerde doğal sönüm bulunduğu için hareket bir süre sonra durur. Yapılara eklenen ek sönüm aygıtlarının yuttuğu enerjiyi, enerjinin korunumu denklemine yerleştirebiliriz.

$$E=E_k+ E_s+ E_h+ E_d \qquad (1.1)$$

E deprem hareketinden binaya gelen mutlak enerji, E_k mutlak kinetik enerji, E_s geri dönebilen elastik yay enerjisi, E_h yapısal sistem tarafından sönümlenen elastik olmayan geri dönüşümsüz enerji, E_d ek sönüm aygıtları tarafından yutulan enerjidir. E mutlak giren enerji toplam taban kesme kuvvetinin temeldeki zemin yerdeğiştirmesinde yaptığı işe eşittir **(Constantinou and Symans, 1993)**.

Geleneksel yaklaşımda kabul edilir yapısal performans elastik olmayan şekil değiştirmelerin varlığı ile başarıya ulaşır. Elastik olmayan şekil değiştirmelerin varlığı E_h 'nin artmasına sebep olur. Ama dolaylı olarak da sistemde bir yumuşama meydana gelir. Sisteme verilecek esneklik deprem enerjisinin bir kısmını süzerek yapıya etkimesini sağlar. Sismik yalıtımda bu mantık doğrultusunda esneklik ve

enerji yutabilme yeteneği sağlar. Bu esneklik sayesinde 2 sn mertebesinde periyotlar sağlayarak yapının elastik olmayan hareketler yapmasına engel olur. Ayrıca yerdeğiştirmeleri sınırlar ve yapıyı rezonanstan korur. Fakat yüksek periyotlu depremlerde depremden gelen enerjiyi yansıtacak yeterli esnekliğe ulaşmakta problemler yaşanır. Bunun için enerji yutma yeteneği önemli bir rol oynamaktadır. Bunu sağlama amacı ile yapıya ek sönüm sağlayan aygıtlar yerleştirilmektedir.

Sismik yalıtım sistemlerinin uygulanmasında zemine ankastre bağlı bir yapı için yapının ve yalıtıcının özelliklerine de bağlı olmak üzere kuvvetler ve yerdeğiştirmeler 4 kata kadar azaltılabilir. Benzer bir azalım önemli rijitlikleri olmadığı için enerji yutucular açısından geçerli değildir. Eğer enerji yutucuların rijitlikleri nedeni ile yerdeğiştirme azalmasına yaptığı katkı ihmal edilirse sönümlerinden dolayı sağladıkları yerdeğiştirme azalımı Tablo 1.2 'de gösterilmiştir.

Tablo1.2 Yerdeğiştirme Azalım Faktörleri

Tablo 1.2 'den görüldüğü gibi enerji yutucu aygıtlar tarafından sağlanan %20-%30

Kritik Sönümün Yüzdesi	Yerdeğiştirme Azalım Faktörleri
5	1,0
10	1,2
15	1,4
20	1,6
30	1,9

sönüm, sistemin tepkisinin %30 ile %50 oranında azalmasına sebep olur. Yapının elastik sınırlar içinde davranması öngörüldüğü durumlarda, ek sönüm aygıtlarının eleman davranışlarının %50 oranından fazla azaltmasına izin verilmez **(Aiken, 1996)**.

Bu çalışmada yapılardaki sönüm kavramları açıklanacak, Pasif Enerji Yutucu Sistemler' in özellikleri ve hesap yöntemleri tanıtılacak ve Viskoz Sönümleyiciler' in, 3 açıklıklı 12 katlı temelde ankastre bir çelik yapı davranışı üzerinde meydana getirdiği etkiler araştırılacaktır.

2. YAPILARDA SÖNÜM

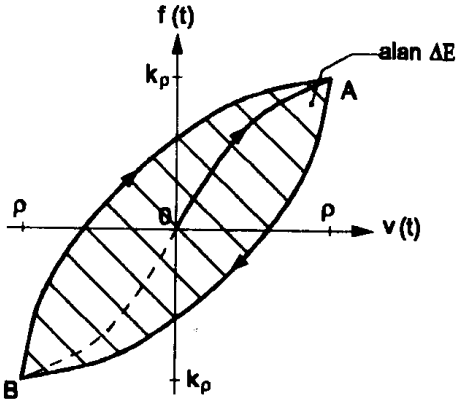
Sönüm; titreşimi azaltmak ya da durdurmak olarak tanımlanabilir. Yapı mühendisliği açısından sönüm malzemenin doğasında olan harekete ters yönlü doğal bir özelliktir. Doğadaki her nesnenin az veya çok bir sönümü vardır. Bir yapıda sönüm ne kadar fazla ise sistemin durgun hale gelmesi o kadar çabuk olur. Yapı ve zeminin özelliklerine bağlı olarak deprem hareketi sebebi ile yapıda değişik türlerden sönüm ortaya çıkar. Bu sönümler ve parametreleri hem malzeme türüne hem de depremin büyüklüğüne bağlıdır.

a) Dış Viskoz Sönüm: Yapının içinde bulunduğu su veya hava ortamının meydana getirdiği sönümdür ve diğer sönümlere göre değeri ihmal edilebilir.

b) İç Viskoz Sönüm: Yapı malzemesinin iç sönümüdür ve hıza bağımlıdır. Bu tür sönüm gerilmelerden dolayı oluşan plastik şekil değiştirmelere bağlıdır. Küçük yer değiştirmelerde sönümün değeri küçükken yüksek deprem yükleri altında oluşan elastik ötesi şekil değiştirmeler sonucu oluşan çatlaklar sönümü artırır.

c) Coulomb Rijit Cisim Sönümü: Taşıyıcı sistemin mesnetlerinde ve birleşim yerlerinde ortaya çıkar. Hız ve yer değiştirmeden bağımsız olarak sabit kabul edilebilir.

d) Çevrimsel Sönüm: Malzemenin doğrusal elastik olmayan davranışında ve yükün yön değiştiren türünde etkimesi durumunda meydana gelir. Şekil 2.1 ‘de gösterilen kuvvet-yerdeğiştirme düzleminde bir çevrim yapılması ile çevrim içinde kalan alana karşı gelen enerji kaybolur. Bu tür sönüm hızdan bağımsız ve yerdeğiştirmeye bağlıdır. Bu tür bir sönüm yerine eşdeğer viskoz sönümün kullanılması tercih edilir.



Şekil 2.1 Çevrimsel Kuvvet-Yer değiştirme davranışı.

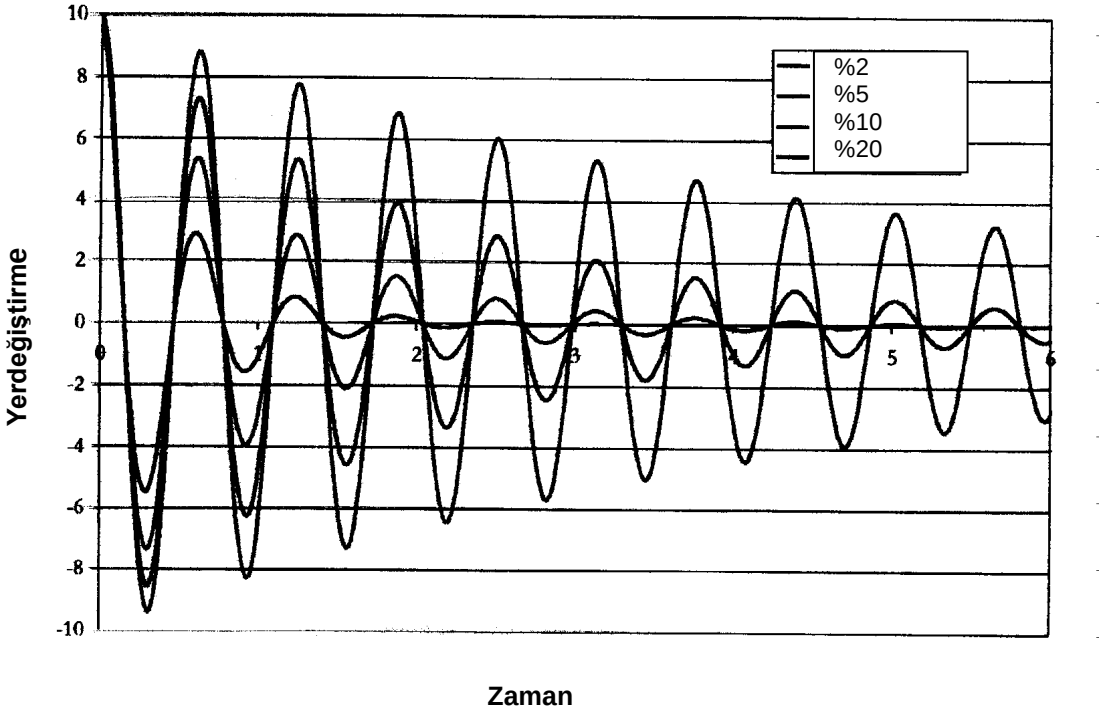
e) Enerji Yayılma Sönümü: Ana kayadan gelen hareket zemin tabakalarından geçerek yapıyı titreştirir. Bu titreşim zemin serbest yüzeyinden yansır ve yapı içinde yukarı doğru ilerler, en üst kattan yansıyarak geri döner ve yarı sonsuz ortam olan zemin içinde geri yayılır. Bu suretle enerjinin bir kısmı geri dönmemek üzere kaybolur. Yapı rijitleştikçe, mesnet ortamı yumuşadıkça ve zeminde ana kaya üzerindeki dolgu büyüdükçe, mesnet ortamında enerji yayılması nedeniyle sönüm artar. Viskoz sönümün tersine, yüksek modlardaki enerji yayılma sönümünün, düşük modlara göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Bu sönüm türlerinden matematiksel hesaba katılabilen sönüm viskoz sönümdür. Bu sebeple diğer sönüm türleri eşdeğer viskoz sönüme çevrilerek hesaba katılır. Yüksek modlarda sönüm frekansla orantılı bir şekilde artar. Ayrıca sönüm yüksek genliklerde de yüksek olur. Yapılarda eşdeğer sönüm, titreşim yer değiştirmesinde zamanla meydana gelen azalma esas alınarak bulunur **(Celep ve Kumbasar, 2000)**.

Bir sistemdeki viskoz sönüm oranı β, sönümsüz sistemin periyodunu sönümlü periyoda dönüştürür.

$$T_D = T / \sqrt{(1-\beta^2)} \qquad (2.1)$$

Tipik yapısal sönüme sahip yapılarda bu sönümlü sistem periyodu ile sönümsüz sistem periyodu arasındaki fark çok küçük olduğu için ihmal edilebilir. Fakat Şekil 2.2 'den görüldüğü gibi sönümün yerdeğiştirmeler üzerindeki etkisi çok büyüktür.

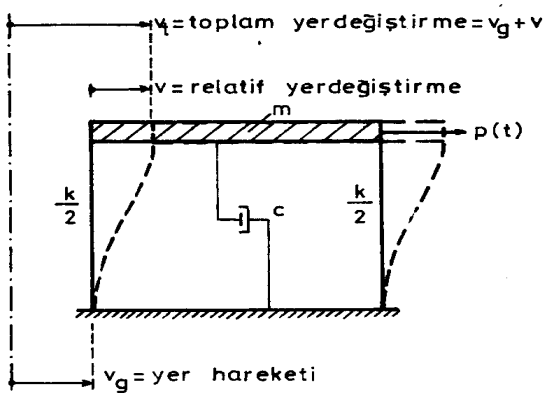


Şekil 2.2 Değişik sönüm değerleri için Yerdeğiştirme-Zaman grafiği.

2.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Sönüm

Şekil 2.3 'de verildiği gibi tek katlı bir çerçeve düşünürsek kat kütlesi m, elastik yay rijitliği k, sönümü c olan tek serbestlik dereceli sisteme etkiyen p(t) deprem kuvveti etkidiğinde kuvvet dengesi ;

$$f_I + f_D + f_S = p(t) \qquad (2.2)$$



Şekil 2.3 Tek Serbestlik Dereceli Sistem.

Burada $f_I = m\, v''_t$ atalet kuvvetini, $f_D = c\, v'$ sönüm kuvvetini, $f_S = k\, v$ elastik yay kuvvetini ifade etmektedir. Toplam yer değiştirme v_t, sistemin göreli yer değiştirmesi v ile yer hareketinin yer değiştirmesinden meydana gelmektedir.

$$v_t = v + v_g \tag{2.3}$$

$$m\, v'' + c\, v' + k\, v = -m\, v''_g + p(t) \tag{2.4}$$

Denklem (2.4) 'den görüldüğü gibi yer hareketinin etkisi dış kuvvete benzer olarak ortaya çıkmaktadır. Yer hareketi deprem olarak alınırsa $p_{eff}(t) = -m.\, v''_g(t)$ olur ve hareket denkleminde ivme, hız ve yer değiştirme zamana bağlı fonksiyonlar haline dönüşür.

$$m\, v''(t) + c\, v'(t) + k\, v(t) = p_{eff}(t) + p(t) \tag{2.5}$$

Denklem (2.5) 'te eşitliğin her iki tarafı m kütlesine bölünürse;

$$v'' + c\, v'/m + k\, v/m = (p + p_{eff}) / m \tag{2.6}$$

Denklem (2.7) 'de β sönüm oranı ve ω frekans olmak üzere $c/\omega m = 2.\beta$ ve $k/m = \omega^2$ 'dir.

$$v'' + 2\beta\omega v' + \omega^2 v = (p + p_{eff}) / m \tag{2.7}$$

Sönümsüz ve dış etkilerin olmadığı durumda denge denklemi;

$$v'' + \omega^2 v = 0 \tag{2.8}$$

haline dönüşür. Bu sönümsüz sistemin serbest titreşim formülüdür. Periyodu $T=2\pi / \omega$ 'dır.

Sönümlü sistem içinse hareket denklemi;

$$v'' + 2\beta\omega\, v' + \omega^2 v = 0 \tag{2.9}$$

haline dönüşür ve çözümü $v=e^{\lambda t}$ olmak üzere kökler Denklem (2.10) haline gelir.

$\lambda_{1,2} = -\beta\omega \pm \sqrt{(\beta\omega)^2 - \omega^2}$ (2.10)

$\lambda_{1,2} = \omega(-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 1})$ (2.11)

$\beta = c / c_{cr} = c / 2m\omega$ (2.12)

$\beta^2 - 1 = 0$ ise $\beta = 1$ ve $c = c_{cr}$ olur. Buna kritik sönümlü hareket denir, denklemin kökleri ve denklem;

$\lambda_{1,2} = -\beta\,\omega = -\omega$ (2.13)

$v(t) = C_1 e^{-\omega t} + C_2\, t\, e^{-\omega t}$ (2.14)

olarak bulunur. Fakat bu titreşim oluşturan bir hareket değildir.

$\beta^2 - 1 > 0$ ise $\beta > 1$ ve $c > c_{cr}$ olur. Buna kritik sönüm üstü hareket denir, denklemin kökleri ve denklem;

$\lambda_1 = \omega(-\beta + \sqrt{\beta^2 - 1})$ ve $\lambda_2 = \omega(-\beta - \sqrt{\beta^2 - 1})$ (2.15)

$v(t) = C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2\, e^{-\lambda_2 t}$ (2.16)

olarak bulunur. Fakat bu da bir titreşim hareketi değildir.

$\beta^2 - 1 < 0$ ise $\beta < 1$ ve $c < c_{cr}$ olur. Buna kritik sönüm altı hareket denir, denklemin kökleri ve denklem;

$\lambda_1 = -\beta\omega + i\,\omega\sqrt{(1-\beta^2)}$ ve $\lambda_2 = -\beta\omega - i\,\omega\sqrt{(1-\beta^2)}$ (2.17)

$\omega_D = \omega\sqrt{(1-\beta^2)}$ (2.18)

$v(t) = C_1 e^{(-\beta.\omega + i.\,\omega_D)t} + C_2 e^{(-\beta.\omega - i.\,\omega_D)t}$ (2.19)

olarak bulunur. Yapı mühendisliğinde bahsedilen, sönümlü titreşim hareketinin denklemi elde edilir. Burada C_1 ve C_2 başlangıç koşullarıdır. Denklem (2.19) düzenlenirse ;

$$v(t)= e^{-\beta.\omega t}[C_1 e^{i.\omega_D t} + C_2 e^{-i.\omega_D t}] \quad (2.20)$$

$$v(t)= e^{-\beta.\omega t}[A \cos \omega_D t + B \sin \omega_D t] \quad (2.21)$$

haline gelir. Hareketin t = 0 anında v(0) yer değiştirmesi ve v ’(0) hızı ile başladığı kabul edilirse, A ve B sabitleri hesap edilebilir ve çözüm için sonuç olarak;

$$v(t)= e^{-\beta.\omega t}[v(0) \cos \omega_D t + (v\,'(0)+ \beta\, \omega\, v(0)) \sin \omega_D t /\omega] \quad (2.22)$$

elde edilir. Maksimum genlik ρ, faz açısı θ olmak üzere;

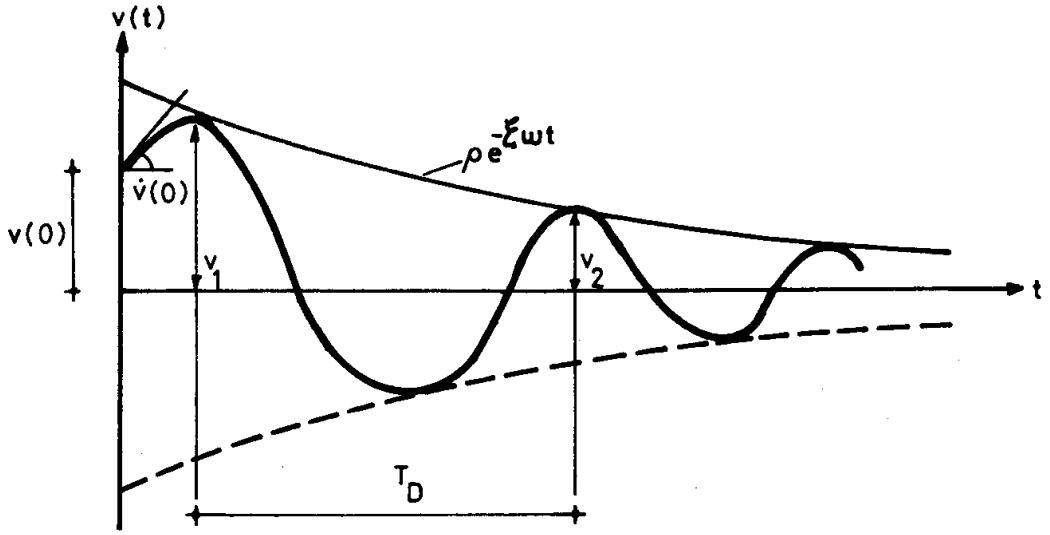
$$\rho = \{ [v(0)]^2 + [v\,'(0)+ \beta\, \omega\, v(0) /\omega]^2 \}^{1/2} \quad (2.23)$$

$$\theta = \arctan [(v\,'(0) + v(0)\beta\, \omega)/ \omega_D\, v(0)] \quad (2.24)$$

hareket denklemi;

$$v(t)= \rho\, e^{-\beta.\omega t} \cos (\omega_D t -\theta) \quad (2.25)$$

şeklini alır.



Şekil 2.4 Logaritmik Azalım.

Şekil 2.4 'ten görüldüğü gibi sistem denge konumu etrafında ω_D dairesel frekansı ile genliği azalarak titreşir. Genlik sürekli azaldığı halde periyot $T_D = 2\pi / \omega_D$ sabit kalır. Ayrıca birbirini izleyen iki genliğin oranı da sabit olup tabi logaritmasın "Logaritmik Azalım, δ" denir.

$$\delta = \ln (v_n / v_{n+1}) = 2\pi\beta\omega / \omega_D \qquad (2.26)$$

Aralarında mT_D zaman aralığı olan genlikler için;

$$\ln (v_n / v_{n+m}) = 2\pi m\beta \qquad (2.27)$$

olarak genelleştirilirse;

$$(v_n / v_{n+m}) = e^{2\pi m\beta} = 1 + 2\pi m\beta + (2\pi m\beta)^2 / 2! + \ldots \qquad (2.28)$$

Seride ilk iki terimin göz önüne alınması ile küçük sönüm değerleri için;

$$\beta = (v_n / v_{n+m} - 1) / (2\pi m) \qquad (2.29)$$

yazılabilir.

2.2 Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerde Sönüm

Çok serbestlik dereceli bir sistemde sönümsüz serbest titreşim

$$m\,v'' + k\,v = 0 \tag{2.30}$$

denklemi ile belirlenir. Çözümün

$$v(t) = v\,\mathrm{Sin}(\omega t+\theta) \tag{2.31}$$

şeklinde basit harmonik hareket olduğu varsayılır ve (2.30) 'da yerine konursa;

$$(k-\omega^2 m)v = 0 \tag{2.32}$$

homojen lineer denklem sistemi elde edilmiş olur. Bu sistemin sıfırdan farklı çözümü katsayılar matrisinin determinantının sıfır olması ile mümkün olur. Bu denklemin çözümünden sistemin serbest titreşim frekansları $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_n$ bulunur. Her bir moda ait titreşim frekansı için $v=\phi_i$ alınarak ϕ_i' ye bağlı olarak denklem çözülebilir. Böylece elde edilen ϕ_i serbest titreşim mod şekillerinden Modal Matris oluşur.

$$\phi = [\,\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_n\,] \tag{2.33}$$

Çok serbestlik dereceli sönümlü sistemin serbest titreşimi için yer değiştirme vektörü;

$$v(t) = \Sigma\, \phi_i\, Y_i\,(t) \tag{2.34}$$

olarak düşünülürse, hareket denklemi;

$$\Sigma\, m\, \phi_i\, Y_i'' + c\, \phi_i\, Y_i' + k\, \phi_i\, Y_i = 0 \tag{2.35}$$

haline gelir. Denklemi $\phi_j^{\,T}$ ile çarparsak;

$$\Sigma\, \phi_j^{\,T}\, m\, \phi_i\, Y_i'' + \phi_j^{\,T}\, c\, \phi_i\, Y_i' + \phi_j^{\,T}\, k\, \phi_i\, Y_i = 0 \tag{2.36}$$

elde edilir. Mod vektörlerinin ortogonallik bağıntısından

$$\phi_j{}^T m \phi_i = 0,\ \phi_j{}^T k \phi_i = 0 \text{ ve } \phi_j{}^T c \phi_i = 0 \qquad i \neq j \tag{2.37}$$

$M_j=\phi_j{}^T m \phi_j$, $K_j=\phi_j{}^T k \phi_j$, $C_j=\phi_j{}^T c \phi_j=2\beta_j \omega_j M_j$ olmak üzere (2.38)

$$M_j Y_j'' + C_j Y_j' + K_j Y_j=0 \tag{2.39}$$

$$Y_j''+2\beta_j \omega_j Y_j'+ \omega_j{}^2 Y_j=0 \tag{2.40}$$

Tek serbestlik dereceli sistemlere benzer olarak;

$$Y_i (t)=e^{-\beta_i . \omega_i t} [Y_i'(0) \text{ Cos } \omega_{Di} t + (Y_i'(0)+ \beta \omega_i Y_i (0)) \text{ Sin } \omega_{Di} t /\omega] \tag{2.41}$$

$$\omega_{Dj}= \omega_j \sqrt{(1- \beta_j{}^2)} \tag{2.42}$$

elde edilmiş olur.

2.2.1 Rayleigh Sönümü

Çok serbestlik dereceli sistemlerde sönümü hesaplamak için çeşitli hipotezler öne sürülmüştür. Bunlardan biri sönümü rijitlik veya kütle matrisleri ile orantılı ya da her ikisinin bir kombinasyonu şeklinde kabul eden Rayleigh Sönümü' dür. Kütle matrisine bağlı olarak sönüm matrisi Denklem (2.43)'deki gibi ifade edilebilir.

$$C_j= a_o M_j \tag{2.43}$$

Denklem (2.37) 'deki $C_j =\phi_j{}^T c \phi_j=2\beta_j \omega_j M_j$ düşünülürse modal sönüm oranı;

$$\beta_j= a_o / 2\omega_j \tag{2.44}$$

bulunur. Aynı şekilde $K_j = M_j \omega_j{}^2$ olduğundan yola çıkarak

$$C_j= a_1 K_j= a_1 M_j \omega_j{}^2 \tag{2.45}$$

şeklinde rijitlik matrisi ile orantılı bir duruma dönüşür. Bu durumda modal sönüm oranı;

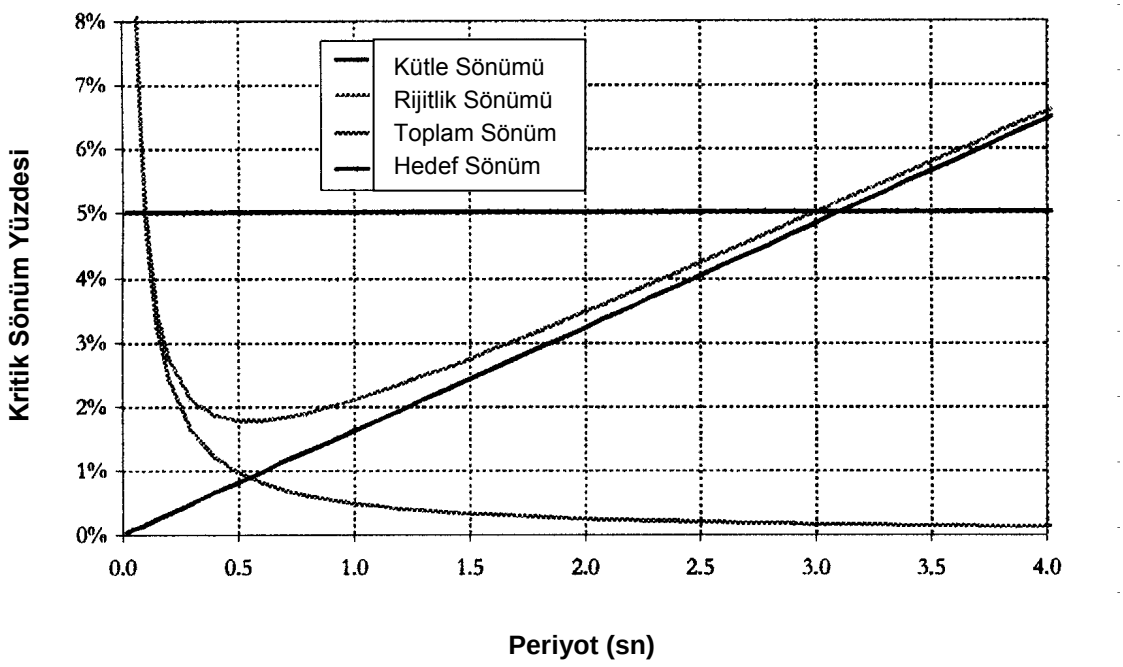
$$\beta_j = a_1 \omega_j / 2 \qquad (2.46)$$

olarak bulunur. Tek başlarına bu ifadeler çok serbestlik dereceli sistemlerin pratik analizi için yeterli değildir. Bu sebeple sönüm matrisinin hem kütle hem rijitlik matrisleri ile orantılı olduğu düşünülecektir. Sırası ile sönüm matrisi ve modal sönüm oranı;

$$C_j = a_o M_j + a_1 K_j \qquad (2.47)$$

$$\beta_j = a_o / 2\omega_j + a_1 \omega_j / 2 \qquad (2.48)$$

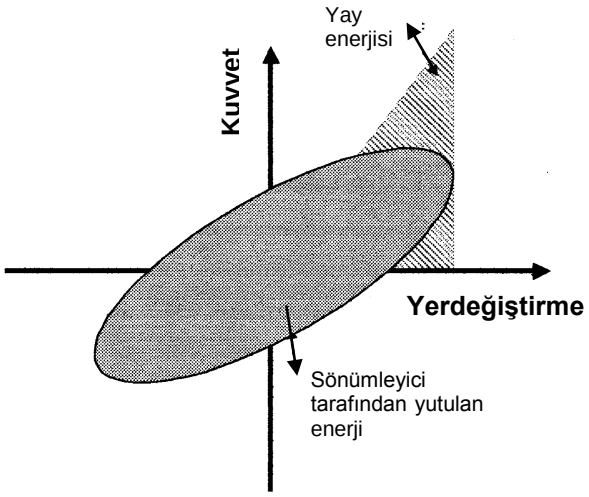
Şekil 2.5 'te görüldüğü üzere ordinatı sonsuzdan gelen ve apsisi sonsuza giden eğri Denklem (2.43) 'e ait olan eğridir. Sıfırdan başlayan eğri ise Denklem (2.45) 'e ait olan eğridir. İkisinin kombinasyonu ile oluşan Denklem (2.47)'ye ait eğri ise bu iki eğrinin asimptotları olan eğridir. Koyu renk ile çizilmiş olan düz çizgi ise hedeflenen sönüm oranını göstermektedir. Genelde yönetmeliklerde betonarme yapılar için %5, çelik yapılar için %2 sönüm kabul edilmesi önerilmektedir.



Şekil 2.5 Rayleigh Sönümü.

2.2.2 Eşdeğer Viskoz Sönüm ve Etkili Sönüm

Yapılarda bulunan doğal sönümün sadece bir kısmı viskoz sönümdür. Fakat bu doğal sönümün tamamını hesaplara dahil edebilmek için eşdeğer viskoz sönüme dönüştürmek gerekir. Şekil 2.6 'da yapı tarafından karşılanan elastik şekil değiştirme enerjisi ve kullanılan ek cihazın sönümlediği enerji görülmektedir.



Şekil 2.6 Yapı ve ek cihazlar tarafından yutulan enerji.

Eşdeğer viskoz sönüm şöyle ifade edilebilir;

$$\beta_{eq}=W_D /4\pi W_S \tag{2.49}$$

Burada W_D sönümleyici tarafından yutulan enerjiyi, W_S ise yapının yuttuğu enerjiyi göstermektedir. Hız bağımlı sönümleyiciler bulunan bir sistemde sönümleyici tarafından yutulan enerji;

$$W_D=2\pi^2 C_j \delta^{\,2}_{rj} \; / \; T \tag{2.50}$$

İle hesaplanır. Burada T yapının sönümleyici eklenmiş durumdaki temel periyodu, C_j cihazın sönüm katsayısı, δ_{rj} cihazın uçları arasında, ekseni doğrultusunda yaptığı göreli yerdeğiştirmedir. Yapı tarafından karşılanan enerji ise;

$$W_S=\Sigma \, F_i \, \delta_i /2 \tag{2.51}$$

ile hesaplanır. Burada F_i katlara gelen elastik deprem kuvvetlerini, δ_i ise bu kuvvetler karşısında katların yaptığı yerdeğiştirmelerdir.

Yapılardaki toplam sönüm oranı “Etkili Sönüm” olmak üzere, yapının doğal sönüm oranı ile “Eşdeğer Viskoz Sönüm” oranının toplamından oluşur.

$$\beta_{eff} = \beta + \beta_{eq} \tag{2.52}$$

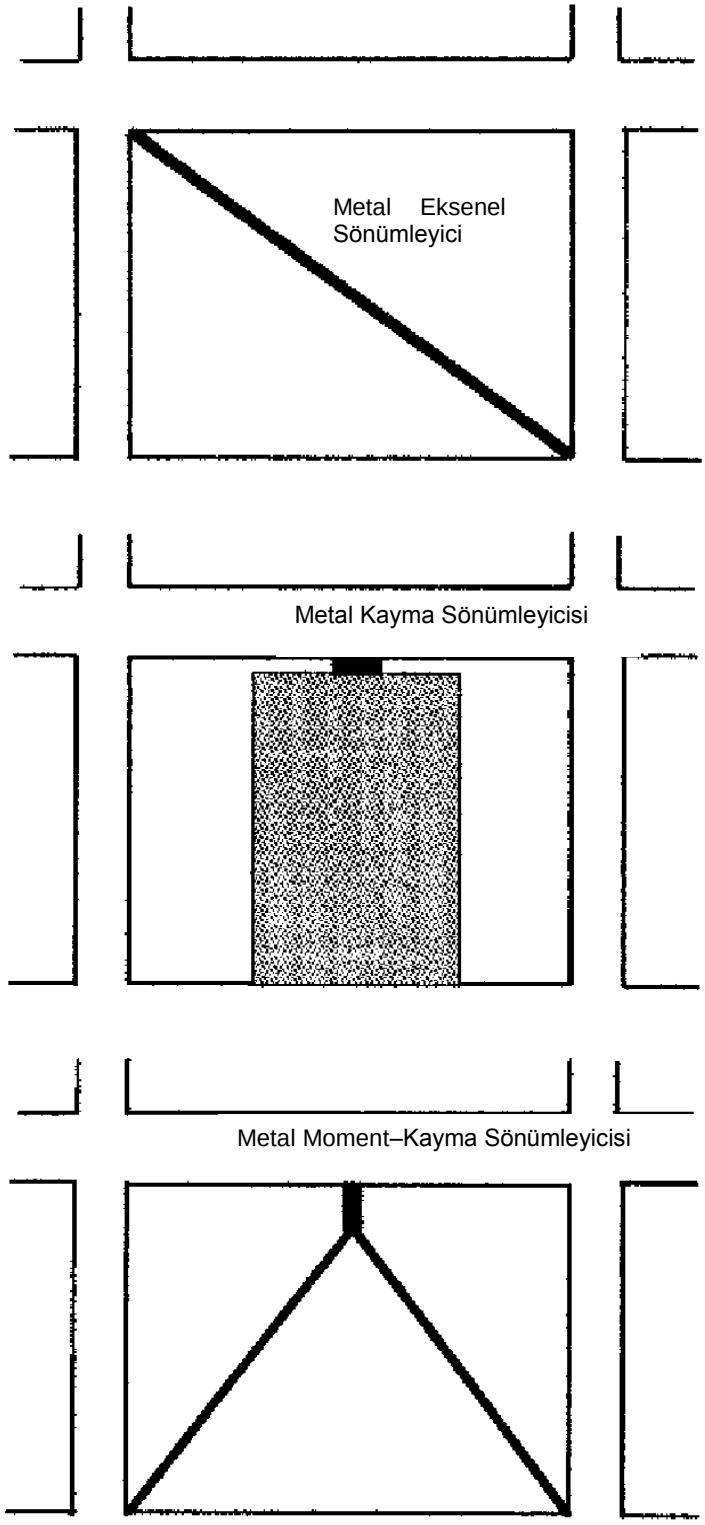
3. PASİF ENERJİ YUTAN SİSTEMLER

Pasif Enerji Yutucu Sistemler yapıya ek sönüm bazen de ek rijitlik sağlayan ve yapının performansını artıran sistemlerdir. Pasif Enerji Yutucu Sistemler' in birincil kullanım amacı depremden dolayı oluşan yerdeğiştirmeleri azaltmaktır. Ayrıca yapının elastik davranması koşulu ile yapı içindeki kuvvetlerin azaltılmasını sağlar. Fakat yapının elastik ötesi davranışlarında yapı içindeki kuvvetleri azaltması beklenmemelidir.

Akademik ve endüstriyel alanlarda yapılan araştırmalar sonucu ek sönüm sağlayan değişik histeretik özelliklere sahip enerji yutucu donanımlar geliştirilmiştir. Hangi aygıtın kullanılacağı, uygulanacak yapıya ve tasarımcının isteklerine bağlıdır. Deprem sonucu oluşan kuvvetlerin yapıdaki elemanlara hangi oranlarda aktarılması istendiği, beklenen yerdeğiştirme değerleri, yutulacak enerji miktarı bu tasarım sırasında göz önüne alınacak ölçütlerdir. Bu amaçla değişik enerji yutucuların özellikleri ve davranışları bu bölümde açıklanacaktır.

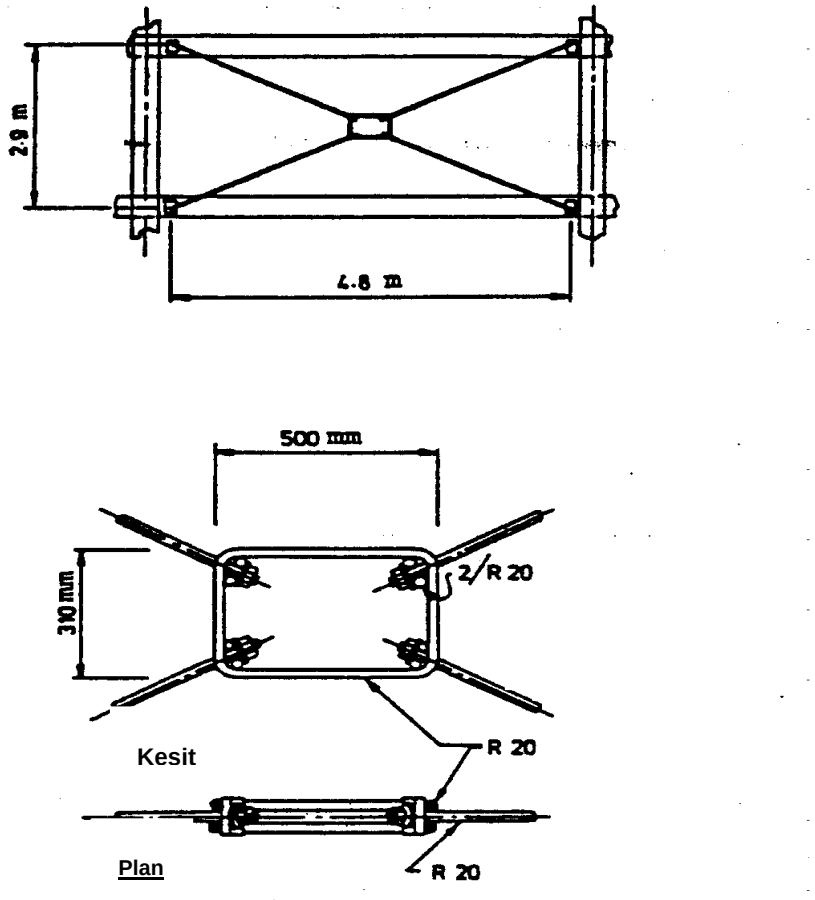
3.1 Metal Sönümleyiciler

Bu tür enerji yutucular metallerin histeretik davranışlarından faydalanılarak, genellikle çelik malzeme ve sismik kat ötelemeleri sonucu oluşan eğilme, kesme veya eksenel yükleri alacak şekilde tasarlanmıştır. Tercih edilmelerindeki en önemli sebepler; uzun süreli çalışma güvenilirlikleri, çevre ve sıcaklık değişimlerine dayanıklı olmalarıdır. Şekil 3.1 'de metal sönümleyicilerin yerleştirilme biçimleri görülmektedir. Eksenel metal sönümleyiciler genelde çapraz bağlantı şeklinde yerleştirilir. Kesme ve eğilmeye çalışan sönümleyiciler duvarın üst noktası ile üst katın kirişinin alt noktası arasına yerleştirilir. Bir diğer kesme ve eğilmeye çalışan sönümleyici tipi çelik bir kafes üzerine monte edilmiş haldir.



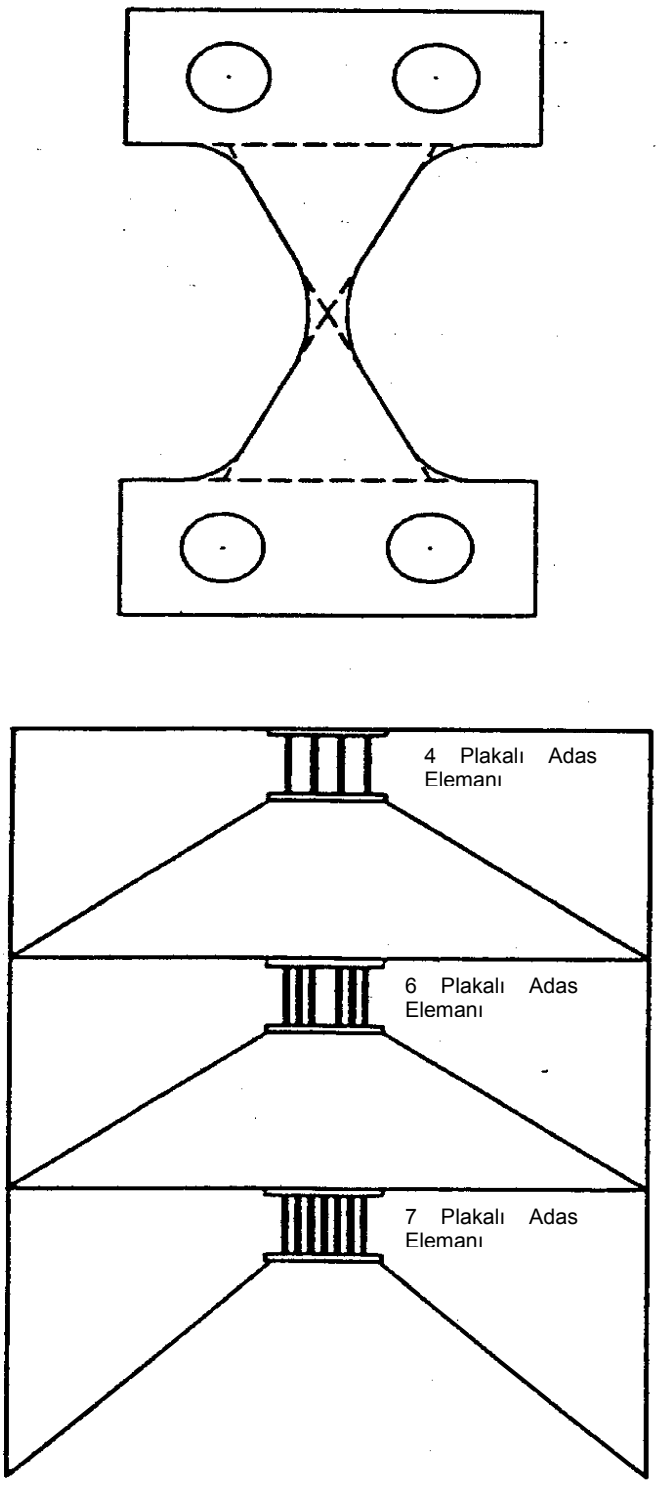
Şekil 3.1 Metal Sönümleyici tiplerinin yerleştirilmesi.

Şekil 3.2 ‘de çelik çubuklardan oluşan eksenel yük alan bir sönümleyici görülmektedir. Burada dikkat edilecek önemli nokta basınç alan elemanların merkezdeki dikdörtgen çelik çerçeveden ayrılıp ve burkulma tehlikesini uzaklaştırmış olmasıdır. Enerji, merkezde bulunan çekme kuvveti altındaki dikdörtgen çelik çerçevenin elastik olmayan şekil değiştirmesi ile yutulmuş olur **(Tyler, 1985)**.



Şekil 3.2 Eksenel yük taşıyan sönümleyicilere ait bir örnek.

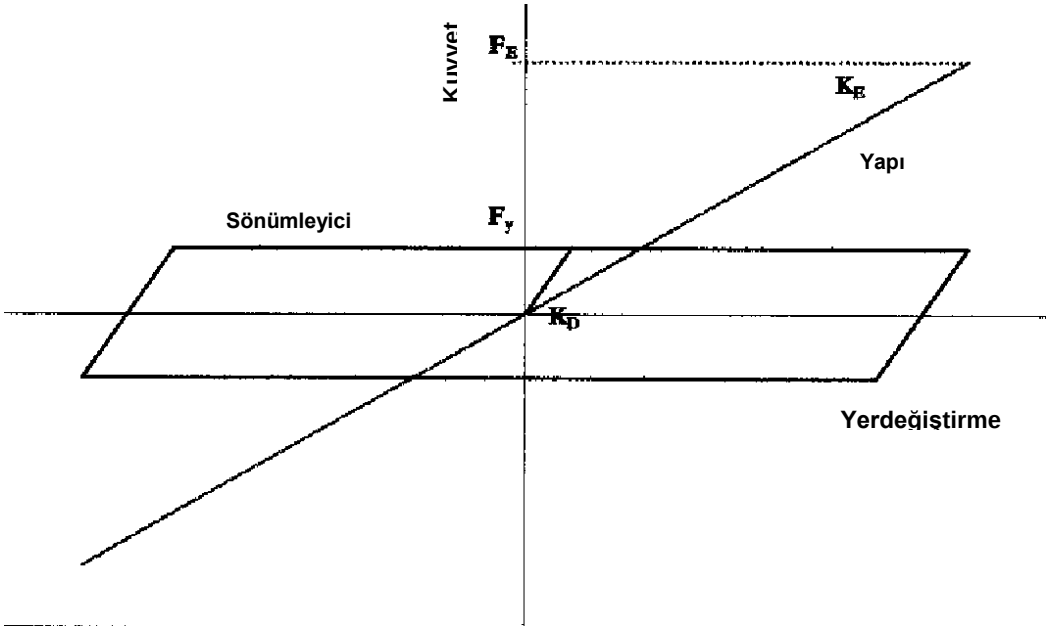
Şekil 3.3 ‘de ADAS ismi verilen (Adding Damping and Stiffness) bir sönümleyici ve 3 katlı bir çerçeve üzerinde yerleşimi görülmektedir. Bu sönümleyicide çok sayıda X şeklinde çelik plakalar vardır. Sönüm bu elemanların şekil değiştirmeleri sayesinde meydana gelir. Bu 3 katlı çerçeve üzerinde yapılan deneylerde amaç çerçevenin rijitliğini, dayanımını ve enerji yutma kapasitesini artırmaktır. Sarsma tablası deneyleri sonucunda katlar arası yer değiştirmelerin 0.3 ile 0.7 arasında azaldığı, yapının taban kesme kuvvetinin de 0.6 ile 1.25 değerleri arasında azaldığı saptanmıştır **(Whittaker and Bertero, 1989)**.



Şekil 3.3 Kesme kuvveti ve eğilme momenti aktaran sönümleyicilere bir örnek.

3.1.1 Metal Sönümleyicilerin Özellikleri

Metal sönümleyiciler akma kuvveti F_y, elastik rijitlik K_D ile tanımlanır. Sönümleyicinin performansı bu özellikler ile yapının elastik rijitliğine K_E bağlıdır.



Şekil 3.4 Metal sönümleyicilerin Kuvvet-Yerdeğiştirme grafiği.

Şekil 3.4'ten görüldüğü gibi genel olarak metal sönümleyiciler için iki ana oran tanımlayabiliriz. Biri sönümleyicinin rijitliğinin yapının toplam rijitliğine oranı f, diğeri de sönümleyicinin akma kuvvetinin yapının toplam yüküne oranı g olarak tarif edilebilir.

$$f= K_D / K_E \qquad (3.1)$$

$$g= F_y / F_E \qquad (3.2)$$

Bu oranlar eşdeğer viskoz sönümün hesaplanmasında kullanılır. Eşdeğer viskoz sönüm; sönümleyicinin histeresis çevriminin altında kalan alanın, toplam yay enerjisine oranı olarak hesaplanır.

$$\beta= W_D / 4\pi W_S \qquad (3.3)$$

$$W_D=4F_y(\Delta-\Delta_y) \qquad (3.3a)$$

Δ sistemin yapabildiği maksimum yerdeğiştirme, Δ_y sönümleyicinin akma yerdeğiştirmesi olmak üzere

$$W_S=(K_E \Delta + K_D \Delta_y)/ 2 \quad (3.3b)$$

Denklemler (3.3.a) ve (3.3.b) , (3.3) 'de yerine konursa sönüm;

$$\beta=2 F_y(\Delta-\Delta_y) / \pi(K_E \Delta + K_D \Delta_y) \quad (3.4)$$

elde edilir. Eğer $F_y= K_D \Delta_y$ ve $K_D =f K_E$ (3.4) 'te yerlerine konursa

$$\beta=2 f\Delta_y(\Delta-\Delta_y) / \pi\Delta(\Delta+f \Delta_y) \quad (3.5)$$

bulunur. Genel histeretik özellikler düşünülürse maksimum yerdeğiştirme ve sönümleyicinin yaptığı akma yerdeğiştirmesi şöyle hesaplanabilir.

$$\Delta= F_E / K_E \quad (3.6)$$

$$\Delta_y= F_y / K_D = gF_E / fK_E \quad (3.7)$$

Denklem (3.6) ve (3.7) , (3.5) 'te yerine konursa

$$\beta=2 g(1-(g/f)) / \pi(1+g) \quad (3.8)$$

olarak elde edilir.

3.1.2 Metal Sönümleyicilerin Uygulaması

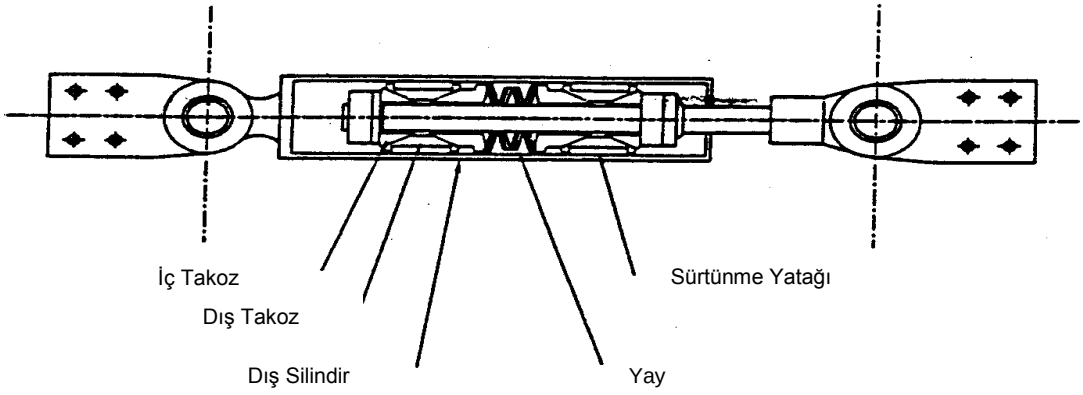
İki önemli sönümleyici özelliği rijitlik ve akma dayanımı yapı rijitliğine ve elastik kuvvet dayanımına bağlı olarak normalize edilmiştir. Tek katlı bir yapı için hesabı basit fakat çok katlı yapılar için yapı yüksekliği boyunca yapı rijitliğinin ve elastik kuvvetlerin hesaplanması gerekir. Ayrıca elastik kuvvetler deprem yüklemesinin bir fonksiyonu şeklindedir. Çoğu sönümleyici gerektiren sistem, elastik sınırlar içinde davranış göstermez ve bu nedenle enerji yapısal elemanlar tarafından emilir. Bunların dışında metal sönümleyicilerin etkili olabilmesi için yüksek rijitlik ve yüksek akma dayanımına ihtiyaç vardır. Yüksek rijitlik ve akma dayanımı sebebi ile yapının dinamik özelliklerinde önemli değişikliklere sebep olurlar. Bu sayede yapının

periyodu düşer taban kesme kuvveti büyür. Uygulamada karşılaşılan bir diğer zorluk ise metal sönümleyicilerin eklenen rijitlik ve sönüm özelliklerinin ikisinin birden yapıdaki yerdeğiştirmeleri azaltmaya yönelik olması nedeni ile hangi oranda katkılarının olduğunun ayrımında yaşanan zorluktur.

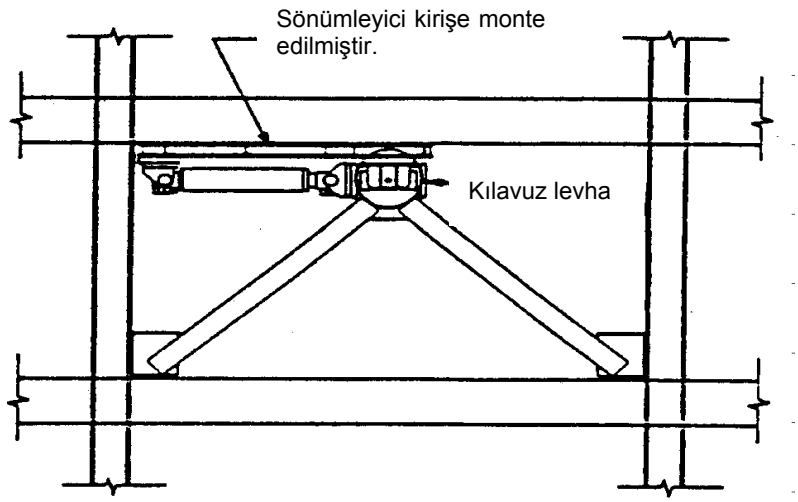
3.2 Sürtünme Sönümleyicileri

Birçok değişik malzeme kullanılarak üretilen kayan yüzeylere sahip sürtünme sönümleyicileri vardır. Genelde çelik alaşımları ve metaller çapraz bağlantı şeklinde kullanılır. Sürtünme cihazlarının genel olarak iyi performans özellikleri bulunmaktadır. Davranışları yükleme genliğinden, frekansından ve yük çevrimi sayısından belirgin bir biçimde etkilenmez.

Şekil 3.5 'de Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti görülmektedir. Kurşun tozu emdirilmiş bakır yastıklar çelik kaplanmış cihaz ile temas halindedir. Değişik takozlarla yükün alındığı sürtünme yüzeyi geliştirilmiştir. Bu cihazlar her zaman çapraz bağlantı şeklinde kullanılmayabilirler. Şekil 3.6 'da görüldüğü gibi bir kafese bağlantılı olarak kat kirişlerine de uygulanabilir **(Aiken and Kelly, 1990)**.

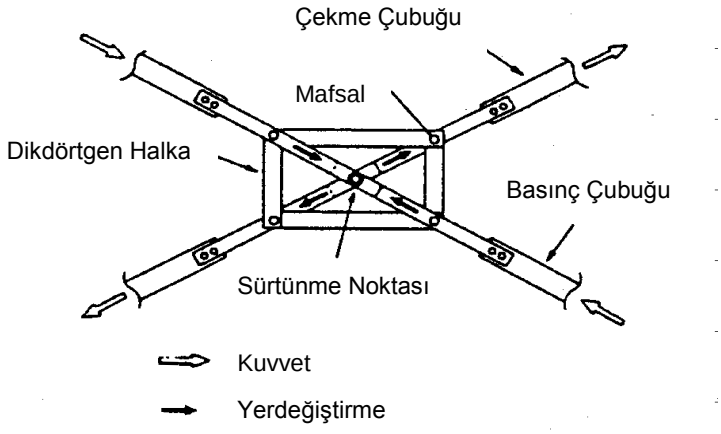


Şekil 3.5 Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti.



Şekil 3.6 Sumitomo sürtünme aygıtının kurulumu.

Şekil 3.7 ‘de Pall Sürtünme Cihazları’na bir örnek görülmektedir. Basınç kuvvetine maruz olan bağlantı elemanı burkulur ve çekme kuvveti alan eleman sürtünme noktasında kaymaya sebep olur. İki çapraz elemanda çekmede etkili olacak şekilde boyutlandırılır **(Pall and Marsh, 1982)**.



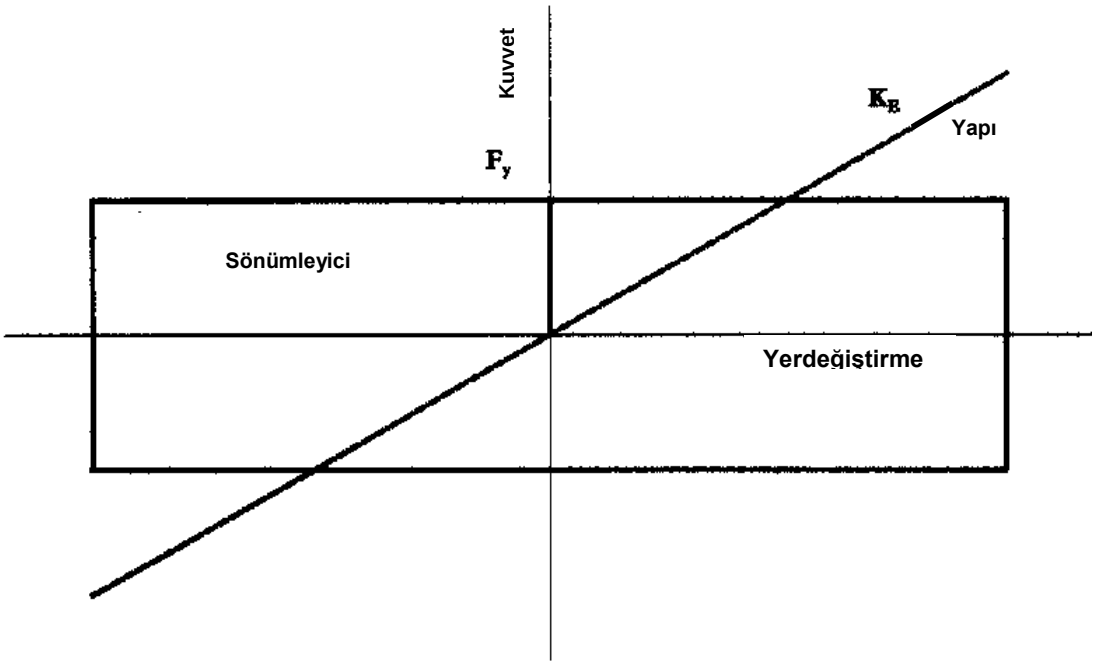
Şekil 3.7 Pall sürtünme aygıtı.

3.2.1 Sürtünme Sönümleyicilerinin Özellikleri

Şekil 3.8 ‘de sürtünme sönümleyicilerinde, Denklem(3.1) ‘deki sönümleyicinin rijitliğinin yapının rijitliğine oranı f’ in sonsuza gittiği kabulü ile Denklem (3.8)’deki eşdeğer viskoz sönüm;

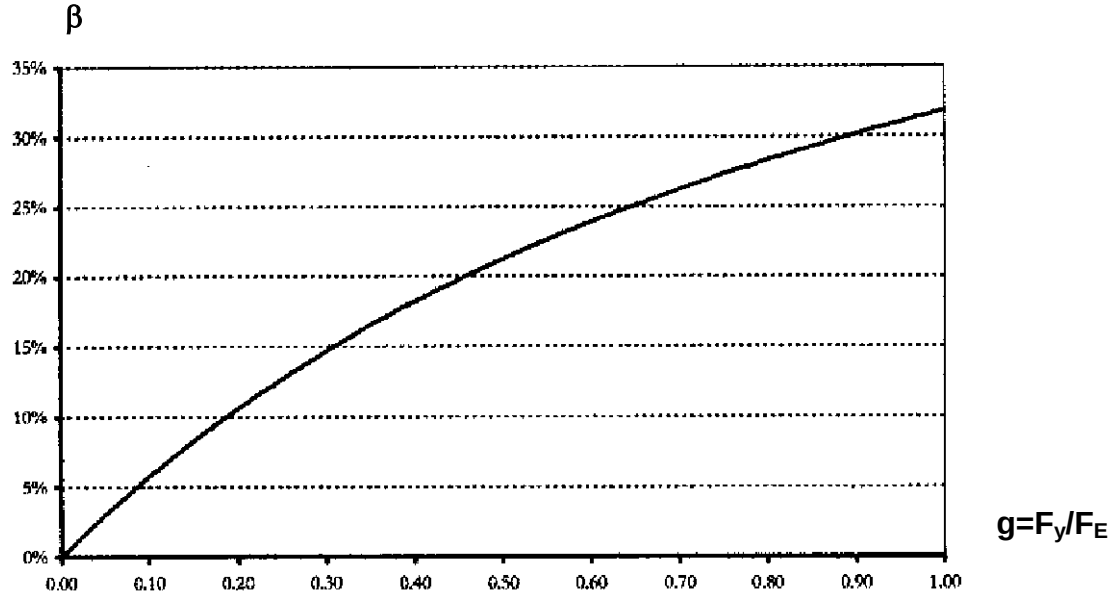
$\beta=2\ g\ /\ \pi(1+g)$ (3.9)

şekline dönüşür.



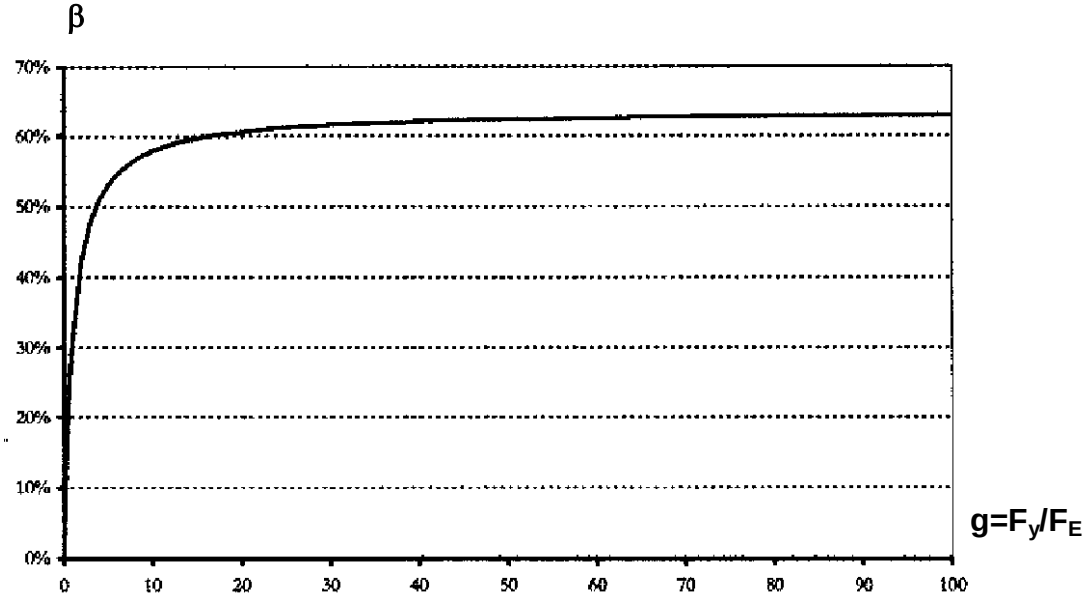
Şekil 3.8 Sürtünme sönümleyicilerinin Kuvvet-Yerdeğiştirme grafiği

Sönüm kuvvetini yapının karşıladığı kuvvetle karşılaştırarak sönüm oranı ile ilgili iki farklı grafik elde edebiliriz. Şekil 3.9 'da sönümleyicinin karşıladığı kuvvet yapının karşıladığından küçüktür.



Şekil 3.9 Sönümleyici kuvvetinin yapının karşıladığı kuvvetten küçük olması durumu.

Şekil 3.10 ‘da ise sönümleyici kuvvetinin yapının karşıladığı kuvvetten fazla olması durumu görülmektedir. Bu orana göre eşdeğer viskoz sönüm bir limit değer olan $2/\pi$=%63.66 değerine ulaşır.



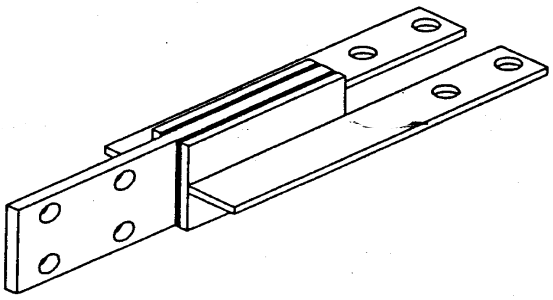
Şekil 3.10 Sönümleyici kuvvetinin yapının karşıladığı kuvvetten büyük olması durumu.

3.2.2 Sürtünme Sönümleyicilerin Uygulaması

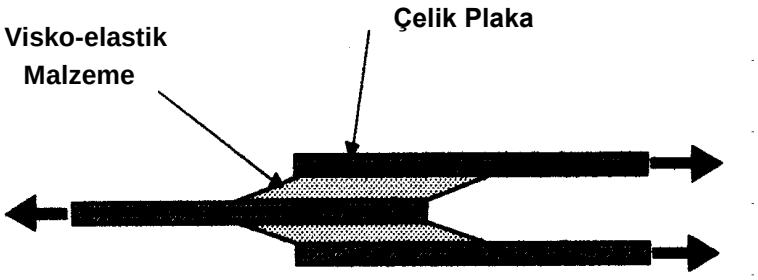
Sürtünme sönümleyici aygıtlar da metal sönümleyiciler gibi yerdeğiştirmeye bağımlıdır. Metal sönümleyiciler için uygulamada yaşanan sorunların çoğu sürtünme sönümleyicilerinde de yaşanmaktadır. Sadece sönümleyici rijitliği ile ilgili olan sorunlar yoktur.

3.3 Visko-Elastik Sönümleyiciler

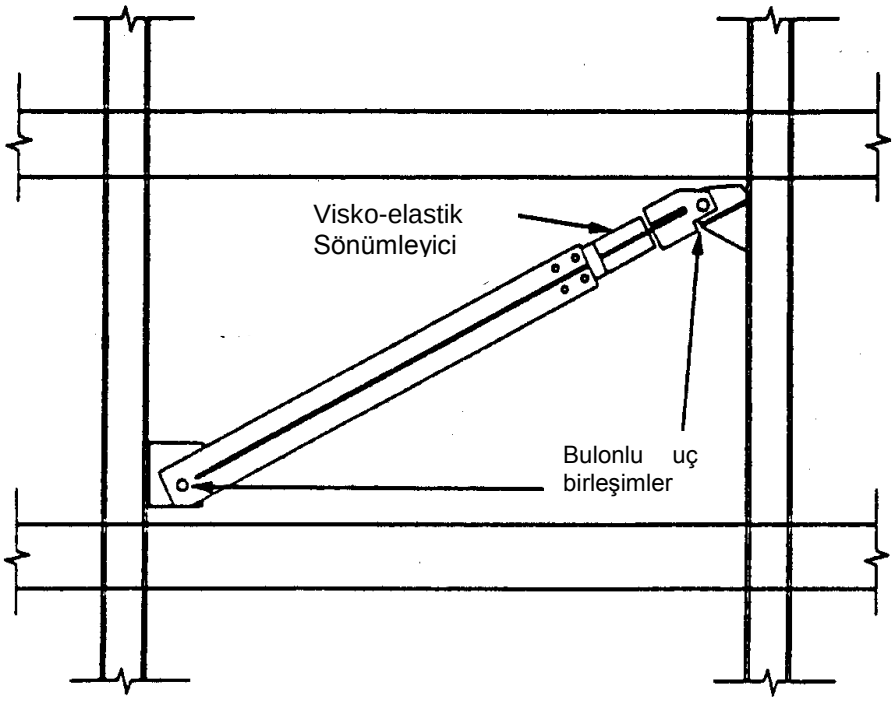
Visko-elastik sönümleyiciler hız bağımlı bir sönüm kuvveti üretirler ve buna ek olarak da elastik rijitliğe sahiptirler. En yaygın tipi merkezde bir çelik tabaka ve etrafında dıştaki iki çelik tabakaya bağlayan akrilik polimer tabakalar bulunan şeklidir.



Şekil 3.11 Visko-elastik sönümleyici.



Şekil 3.12 Visko-elastik sönümleyiciye etkiyen kuvvetler.

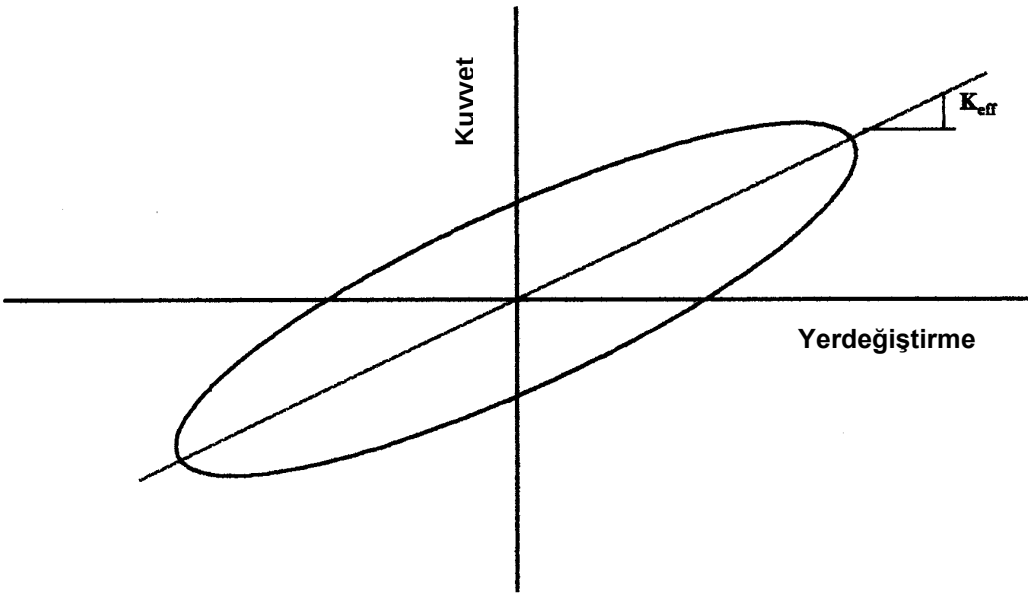


Şekil 3.13 Visko-elastik sönümleyicinin yerleşimi.

Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13 'te örnek visko-elastik sönümleyici, çalışma prensibi ve kurulumu görülmektedir.

3.3.1 Visko-Elastik Sönümleyicilerin Özellikleri

Visko-elastik sönümleyiciler elastik bir yay ve viskoz sönümleyici özelliklerinin kombinasyonu şeklinde özellik göstermişlerdir. Şekil 3.14 'te kuvvet-yerdeğiştirme grafiği görülmektedir.



Şekil 3.14 Visko-elastik sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme grafiği.

Visko-elastik sönümleyicilerin karşıladığı kuvvet şu şekilde hesaplanabilir.

$$F_D = k_{eff} \Delta + C\ u \qquad (3.10)$$

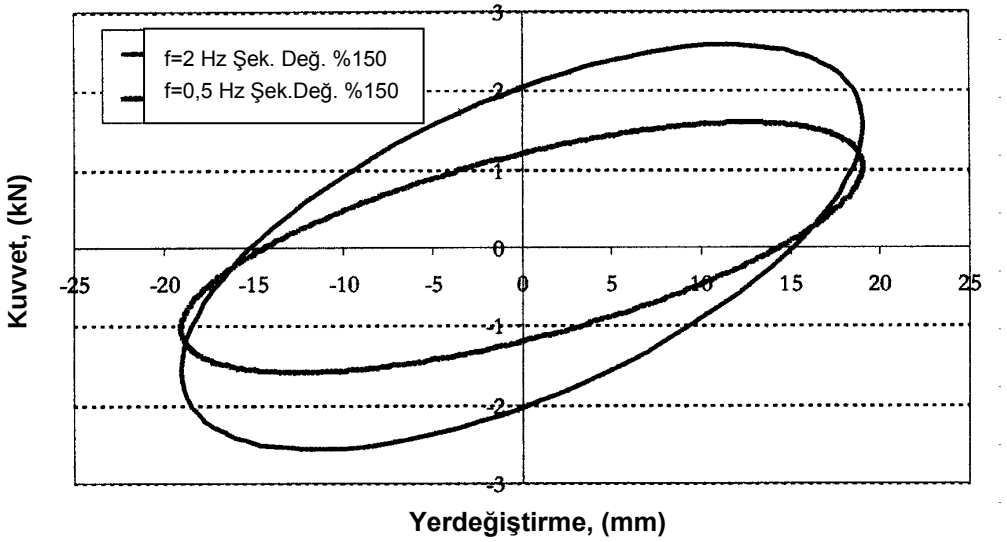
k_{eff} sönümleyicinin etkili rijitliği, Δ yaptığı yerdeğiştirme, C sönüm katsayısı, u ise hızıdır. Viskoz sönümleyicilerden farklı olarak hız bağımlı sönümün üstel değeri 1 alınan lineer bir fonksiyondur. Etkili rijitlik ise;

$$k_{eff} = G' A_b / t \qquad (3.11)$$

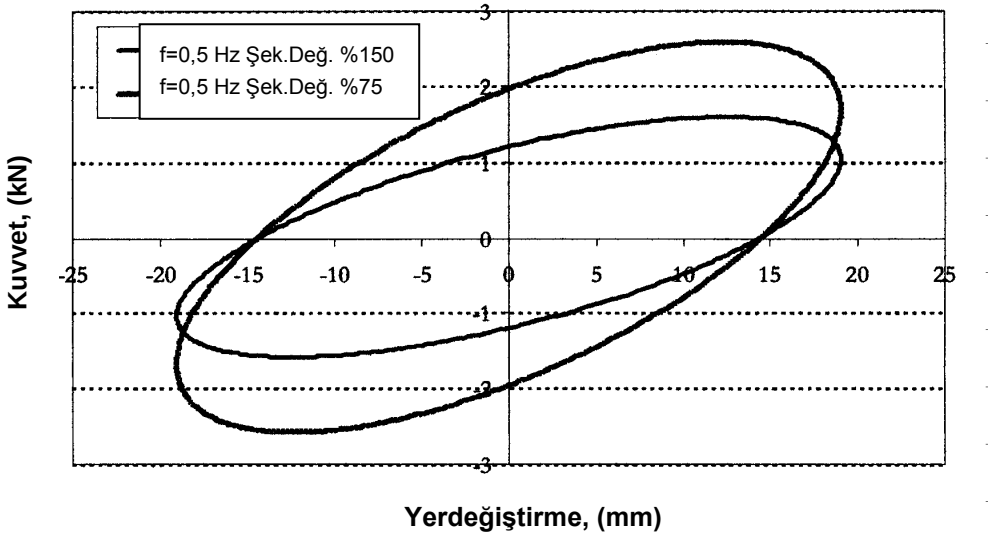
şeklinde hesaplanır. Burada G' depolanan kayma modülü, A_b cihazın toplam bölümlerinin alanı, t visko-elastik malzemenin toplam kalınlığıdır. Sönüm katsayısı C;

$$C = G'' A_b / \omega\ t \qquad (3.12)$$

şeklinde hesaplanır. G" kayıp kayma modülü, ω frekanstır. Sönüm özellikleri G' ve G" frekans , sıcaklık ve şekil değiştirme kapasitesine, kullanılan malzemenin özellikleri doğrultusuna bağlıdır. Deprem sırasında sönümleyicilerde meydana gelecek sıcaklık değişimi çok fazla olmamasına karşın, hava sıcaklığındaki bir değişim sönümleyici özelliklerini farklılaştırmaktadır **(Trevor, 2001)** .



Şekil 3.15 Visko-elastik sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme grafiğine frekansın etkisi.



Şekil 3.16 Visko-elastik sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme grafiğine kayma şekil değiştirmesinin etkisi.

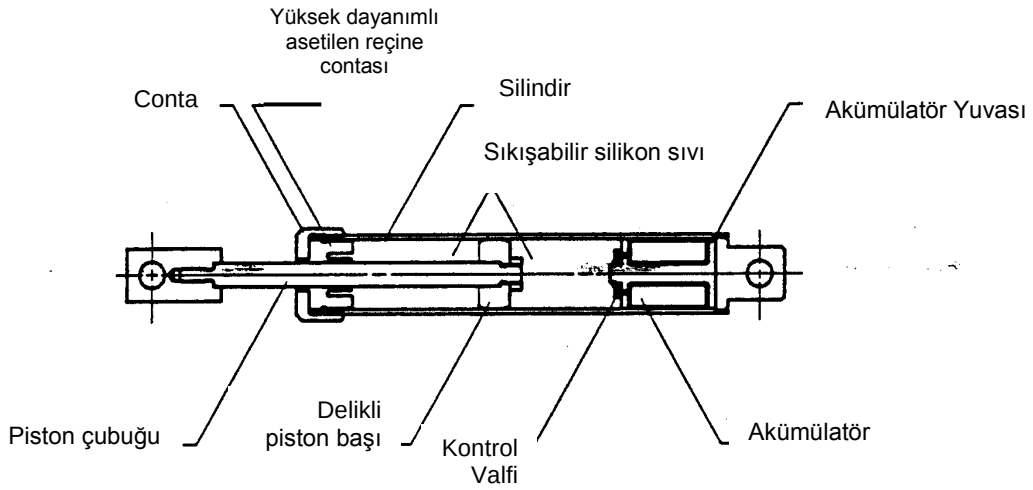
Şekil 3.15 'te frekanstaki değişim histeresis eğrisini nasıl etkilediğini görüyoruz. Şekil 3.16 'da ise visko-elastik sönümleyicilerin şekil değiştirme kapasitesinin histeresis eğrisini nasıl değiştirdiğini görüyoruz.

3.3.2 Visko-elastik Sönümleyicilerin Uygulanması

Visko-elastik sönümleyiciler şekil değiştirmeye, sıcaklığa ve frekansa bağlı özellikler gösterdikleri için tasarım sırasında karışık ve tekrarlanması gereken hesaplar yapılması gerekir. Çoğu yapının periyodu dolayısı ile frekansı bilinmektedir. Sönümün frekans üzerinde çok ufak bir değişiklik yaptığı kabul edilebilir. Kat ötelemeleri için de sönüm oranının tahminine göre elastik ötelemeleri kullanarak bir azalma düşünülebilir. Bu iki basitleştirme ile sönümleyicinin ön tasarım özellikleri seçilebilir.

3.4 Viskoz Sönümleyiciler

Viskoz sönümleyiciler visko-elastik sönümleyiciler gibi hız bağımlı sönüm kuvveti oluşturan cihazlardır fakat yapıya sadece ek sönüm sağlarlar. Çoğu viskoz sönümleyici, sıvı viskoz sönümleyicidir ve arabalardaki şok emici amortisörlere benzer. Bu tür aygıtların üretildiği sıvılar yük yavaş etkidiğinde düşük, hızlı etkidiğinde yüksek dayanım özelliğine sahiptir.



Şekil 3.17 Amerikan Hava Kuvvetleri'nde kullanılan viskoz sönümleyici.

3.4.1 Viskoz Sönümleyicilerin Özellikleri

Şekil 3.17 'de bir viskoz sönümleyicinin yapısı görülmektedir. Delikleri olan bronz başlıklı paslanmaz çelik bir piston ve bir akümülatör vasıtası ile çalışır. İçine silikon yağ konmuştur. Delik akışı -40^{o} C ile 70^{o} C arasında çalışmaya izin verecek şekilde pasif bir termostat ile yerine doldurur. Sönümleyicinin basınç kuvveti aldığını

varsayarsak piston soldan sağa hareket eder ve sıvı ikinci odadan birinci odaya doğru harekete geçer. Sönüm kuvveti bu odalardaki basınç diferansiyeli ile orantılıdır. Ama hareket ve piston çubuğunun alanı sonucu ile sıvı hacmi azalır. Sıvı sıkışabilir olduğundan bu hacimdeki azalma yerine konabilen kuvvetin gelişmesi ile oluşmuştur. Bu durum ise akümülatörün kullanımı ile önlenmiş olur. Cihazlar üzerinde yapılan testlerde 4 Hz 'den az frekanslı piston hareketlerinde ölçülebilen bir rijitliğe rastlanmamıştır. Bu kritik frekans akümülatörün tasarımına bağlıdır ve istenen bir durumdur. Bu cihazlar yapının birinci modunda ek viskoz tipi sönüm, yüksek modlarında da ek sönüm ve ek rijitlik sağlar. Çünkü genel olarak yapıların temel frekansları kritik frekanstan daha düşüktür. Sıvı sönümleyicideki kuvvet şöyle ifade edilebilir ;

$$P=b\, p_{12} \tag{3.13}$$

b bir sabit olup, A_p piston başlık alanının, A_r piston çubuğunun alanının, A_1 delik alanının, n delik sayısının, A_2 kontrol valflerinin alanının, C_{d1} deliğin tahliye katsayısının ve C_{d2} kontrol valfinin bir fonksiyonudur. p_{12} silindirik delikler için piston boyunca basınç diferansiyeli;

$$p_{12}=(p / 2n^2 C_{d1}^2)(A_p/A_1)^2 u^2 Sgn(u) \tag{3.14}$$

şeklinde ifade edilir. Burada p sıvının yoğunluğu, u ise pistonun hızıdır. **(Constantinou and Symans, 1993)**

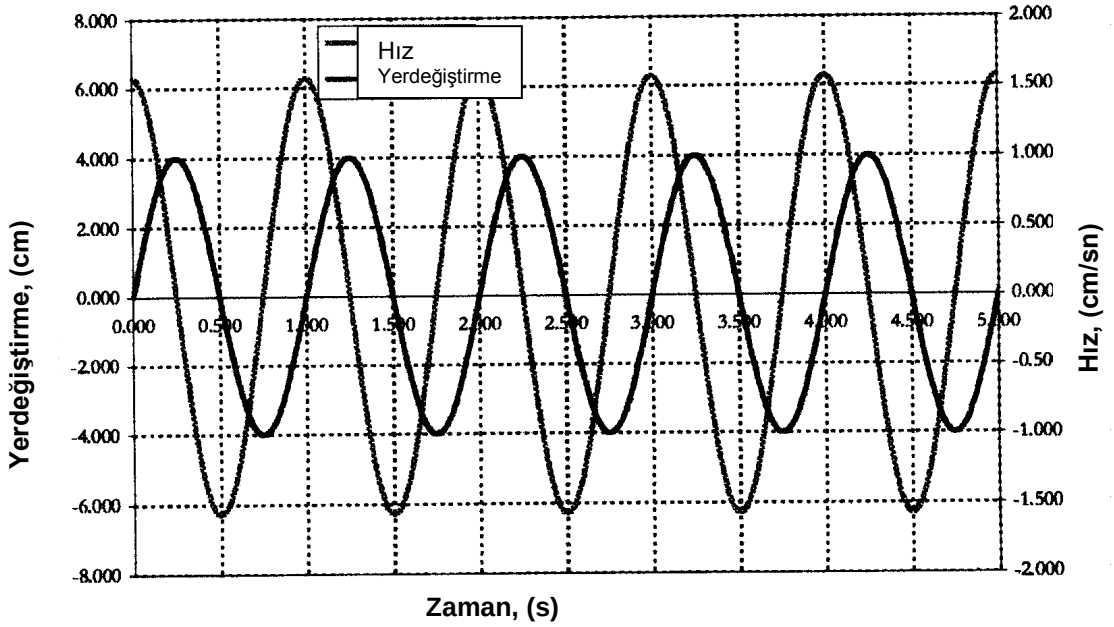
Denklem (3.13) genelleştirilirse;

$$F_D=C\, u^{\alpha} Sgn(u) \tag{3.15}$$

şeklini alır. F_D sönüm kuvveti, C sönüm katsayısı, u uygulanan hız, α sönüm üsteli ve sgn ise göreli hızın işaretini tanımlayan işaret fonksiyonudur. Sönüm üsteli α üretici firmalara göre değişmekle beraber, genellikle 0.5 ile 2.0 arasında bir değer almaktadır. Bazı sönümleyiciler için yukarıda anlatılan belli bir hız limiti sağlayan valfler vardır. Bu limitin üstündeki hızlar için sönüm kuvveti sabittir.

Şekil 3.18 'de 1 sn periyotlu bir sinüs yerdeğiştirme dalgasının karşılığı olan hız fonksiyonu görülmektedir. Yerdeğiştirmenin maksimum olduğu anda hız sıfır, hızın maksimum olduğu anda yerdeğiştirme sıfırdır. Teoride viskoz sönümleyiciler yapının elastik yüklerine bir katkıda bulunmaz çünkü maksimum sönüm kuvveti elastik

kuvvetler yani yerdeğiştirmeler küçükken meydana gelir. Pratikte ise sönüm kuvvetleri ve yerdeğiştirme kuvvetleri birleştirilmek zorundadır.



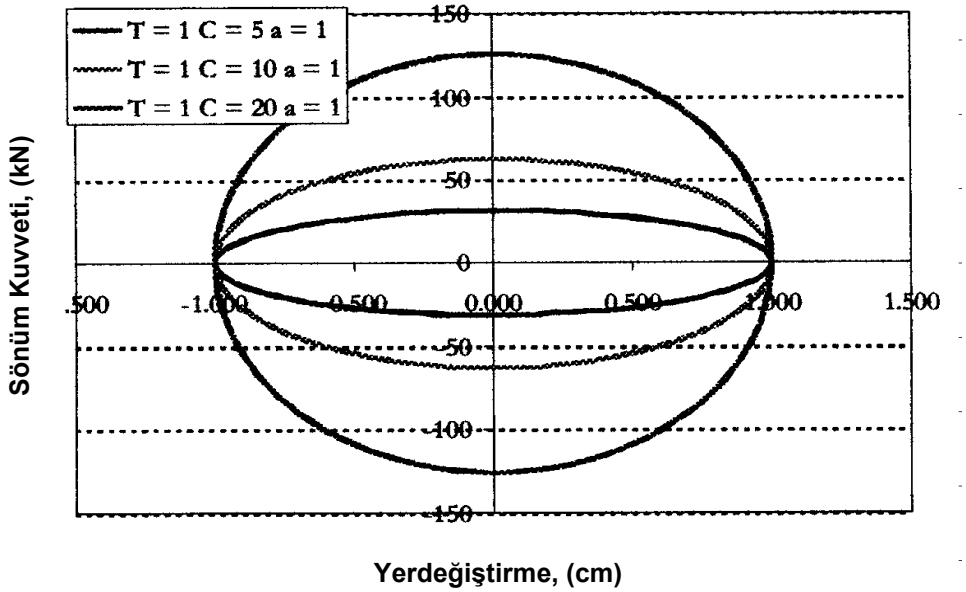
Şekil 3.18 Yerdeğiştirme ve hız arasındaki faz farkı.

Denklem (3.15) 'te gösterildiği gibi sönümleyici özellikleri C katsayısına ve α üstel değerine bağlıdır. Bu parametrelerin özellikleri sinüzoidal yükleme yapılan deneylere ait grafiklerle açıklanmıştır. Bu sinüzoidal yerdeğiştirme fonksiyonu ve buna bağlı hız sırasıyla;

$$\Delta=\Delta_o \text{ Sin } \omega t \qquad (3.16)$$

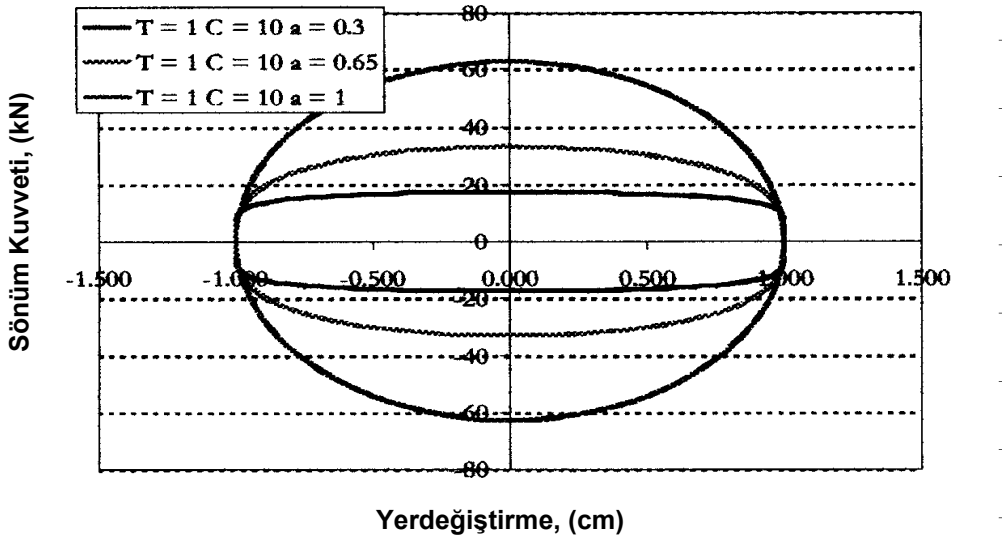
$$u=d\Delta/dt = \Delta_o \omega \text{ Cos } \omega t \qquad (3.17)$$

Burada T uygulanan sinüzoidal fonksiyonun periyodu, a ise α üstelidir. Şekil 3.19 'da T ve α sabit tutularak C 'nin değişimi gözlenmiş ve bu değişimin sönüm kuvvetini lineer olarak artırdığı görülmüştür. C 'nin değişim sırası merkezden dışa doğrudur.



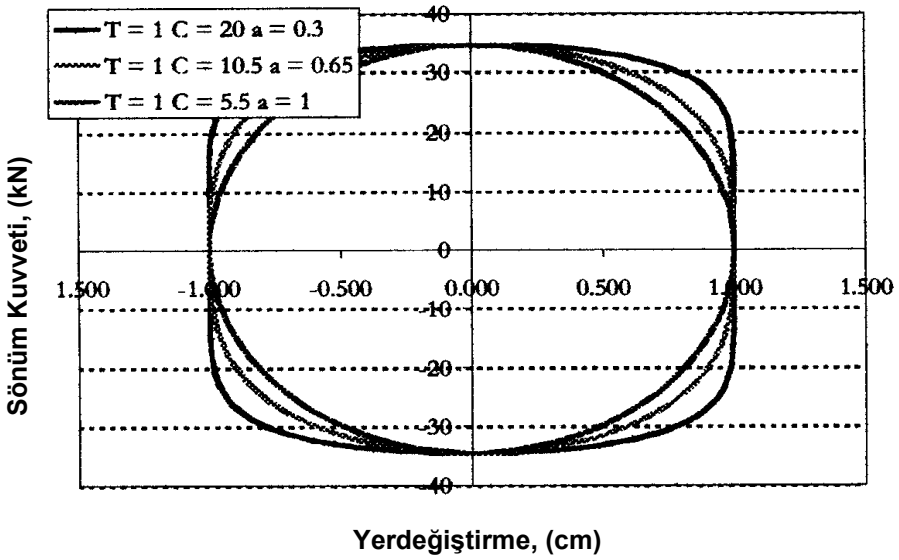
Şekil 3.19 Sönüm kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin C 'ye göre değişimi.

Şekil 3.20 'de C sabit tutularak, α üstelinin değişimi gözlenmiştir. Üstel değer 0.3 ile 1.0 arasında değiştirilmiştir ve 1.0 'den 0.3 'e doğru azaldıkça sönüm kuvveti azalmış ve eğrinin şekli elipsten dikdörtgene dönmüştür. Eğrilerin sırası merkezden dışarı doğrudur.

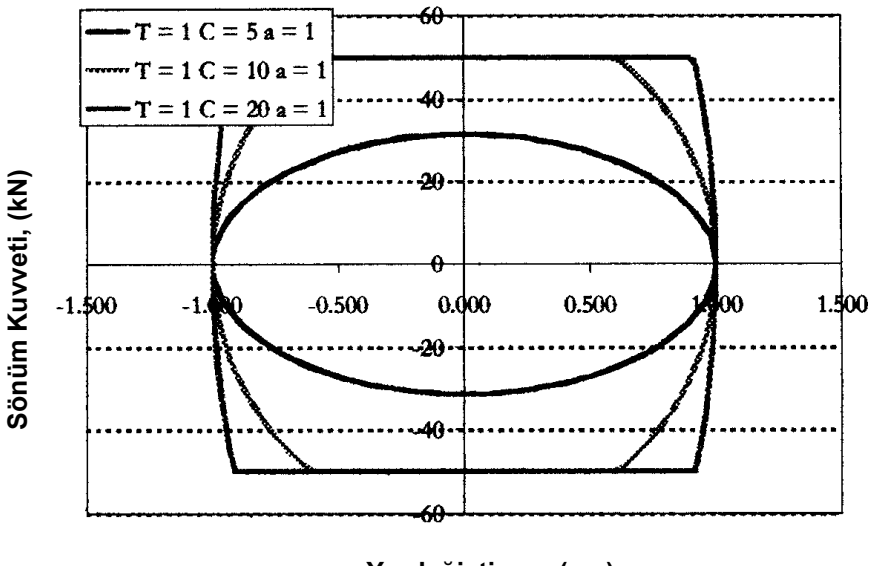


Şekil 3.20 Sönüm kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin α 'ya göre değişimi.

Şekil 3.21 'de sabit bir sönüm kuvveti sağlayacak şekilde C ve α değiştirilmiştir. Üstel değer 1.0 'den 0.3 'e doğru azaldıkça aynı sönüm değerine ulaşabilmek için C değeri 5.5 'ten 20 'ye çıkarılmıştır ve elips şeklindeki eğri, dikdörtgen haline dönüşmüştür. Eğrilerin sırası dıştan içe doğru olacak şekildedir.



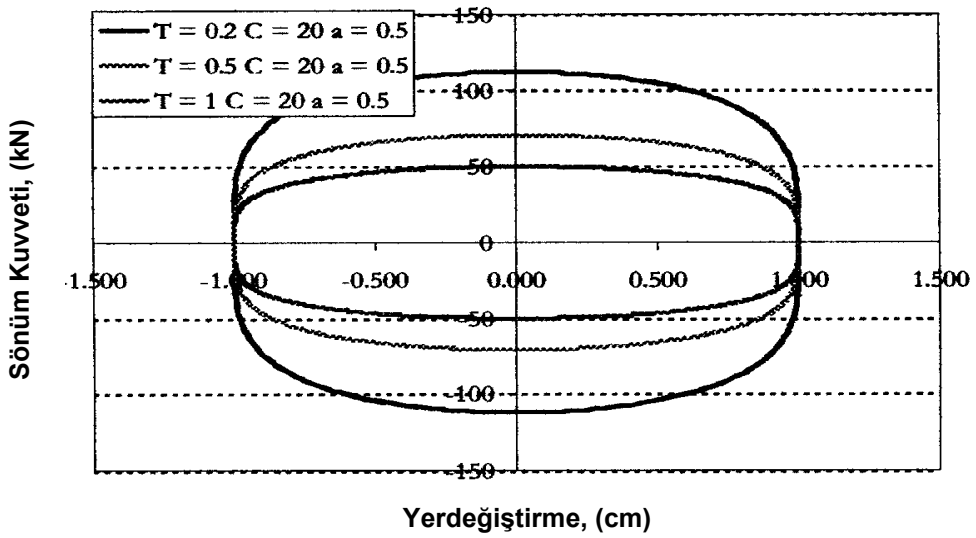
Şekil 3.21 Sönüm kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin C ve α 'ya göre değişimi.



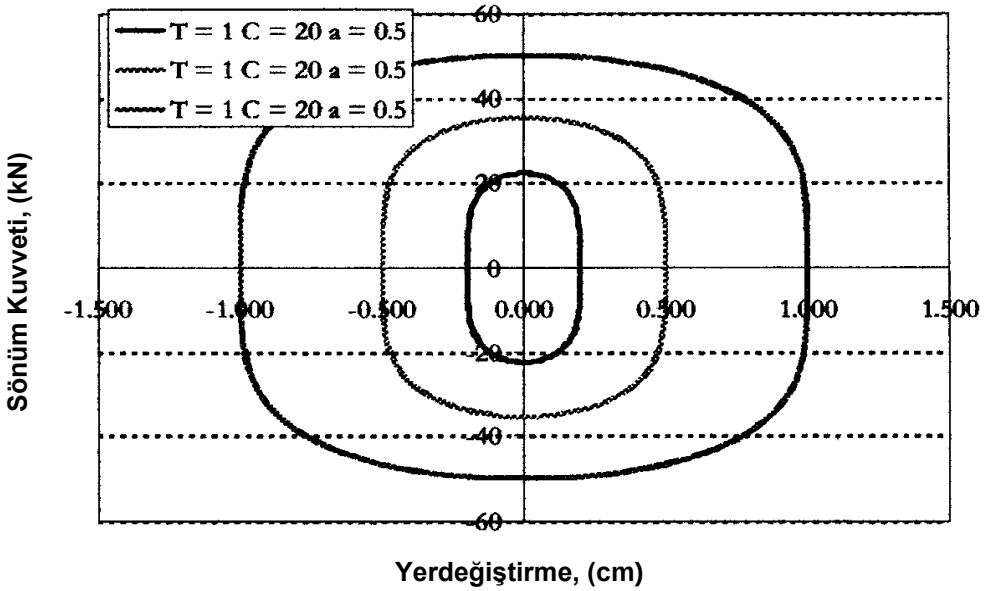
Şekil 3.22 Sönüm kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin hız limitine göre değişimi.

Şekil 3.22 'de belli bir hız limiti için C 'nin değişimi görülmektedir. C 'nin artışı ile hız limiti elipsi keser. Eğriler merkezden dışarı doğru çizilmiştir.

Şekil 3.23 'te aynı genliğe fakat farklı periyotlara sahip sinüs dalgalarının aynı özelliklere sahip sönümleyiciler üzerindeki etkisi görülmektedir. Periyot hızla ters orantılı olduğundan dolayı daha kısa bir periyot daha fazla sönüm kuvveti sağlar. Eğrilerin sırası dıştan merkeze doğrudur.



Şekil 3.23 Sönüm kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin yükleme periyoduna göre değişimi.



Şekil 3.24 α = 0.5 için yerdeğiştirmenin artırımının sönüm kuvvetine etkisi.

Şekil 3.24 'te sönüm kuvveti üsteli oranında hız ile orantılıdır. Hız da yerdeğiştirme ile orantılı olduğundan, sönüm kuvveti yerdeğiştirme ile üstel oranında orantılıdır. Eğer üstel 0.5 ise ve yerdeğiştirmeler 4 katı artırılırsa sönüm kuvveti de 2 katı artmış olur.

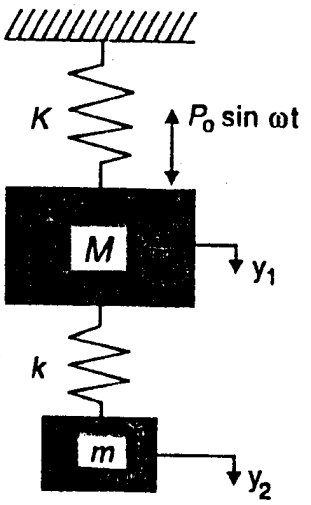
3.4.2 Viskoz Sönümleyicilerin Uygulanması

Viskoz sönümleyiciler, hız bağımlı oldukları için yerdeğiştirmelerle faz farklı olarak sönüm kuvvetleri üretirler. Bu yüzden sönüm kuvvetlerinin, yapısal kuvvetlere katkısı yoktur.

Sönümleyici özelliklerinden C istenilen sönüm oranına göre herhangi bir değer seçilebilir. Hızın üstel değeri α, sönümleyici üreten firmaya göre 0.5 ile 2.0 arasında veya 0.2 ile 1.0 değeri arasında alınabilir. Eğer bu değer en sık kullanılan 1.0 olarak seçilirse viskoz sönümleyicinin lineer hareket ettiği kabulü yapılmış olur.

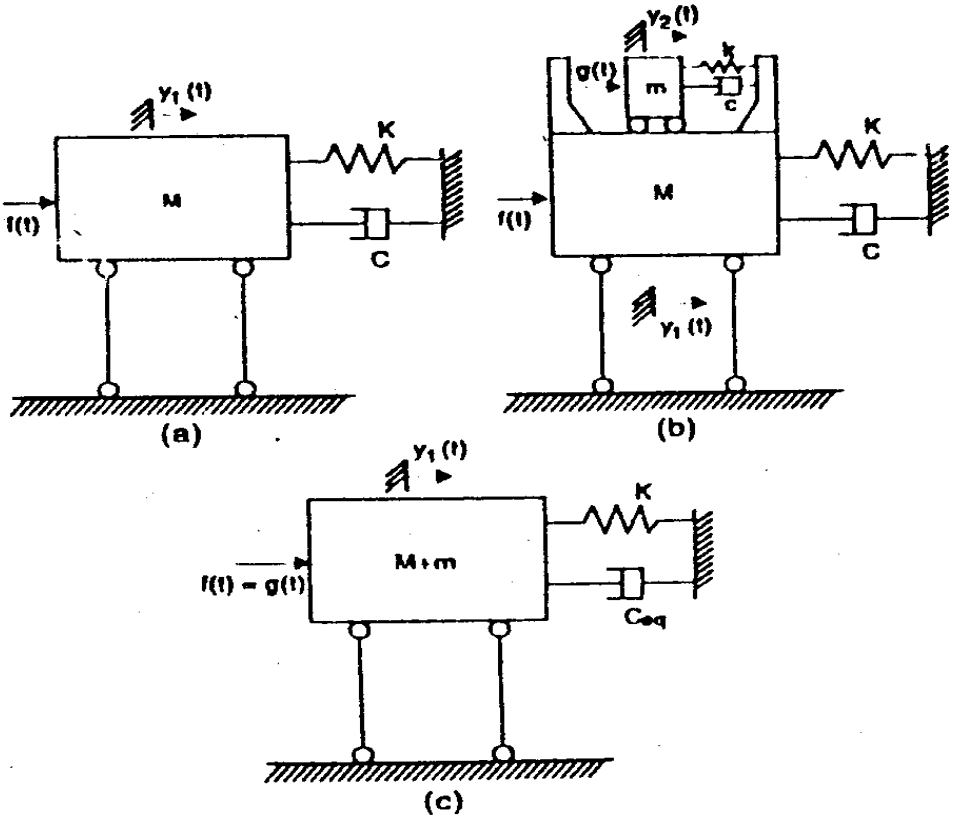
3.5 Ayarlanmış Kütle Sönümleyiciler

İlk başlarda makine mühendisliği açısından geliştirilen bu tür dinamik yük emiciler, kütlesi M ve rijitliği K olan yaya bağlanan, küçük kütle m ve rijitliği k olan yay Şekil 3.25 'teki gibi tanımlanır. Harmonik bir hareket altında M kütlesi, m kütlesinin doğal frekansının $\omega=\sqrt{k/m}$, zorlayıcı frekansa eşit tutulması ile sabit halde bırakılabilir.



Şekil 3.25 Ayarlanmış kütle sönümleyicileri.

İlk olarak tek serbestlik dereceli Şekil 3.26a 'daki gibi bir sisteme f(t) titreşim kuvveti verilmektedir. Yapının tepkisi bazı şartlar sağlanarak ikinci bir kütle veya ayarlanmış kütle sönümleyici konarak azaltılabilir (Şekil 3.26b).



Şekil 3.26 Ayarlanmış kütle sönümleyici ile tek serbestlik dereceli sistem.

Yapı ve ayarlanmış kütleli sönümleyici için hareket denklemleri;

$$M\,y_1''(t) + C\,y_1'(t) + K\,y_1(t) = c\,z'(t) + k\,z(t) + f(t) \qquad (3.18)$$

$$m\,z''(t) + c\,z'(t) + k\,z(t) = -\,m\,y_1''(t) + g(t) \qquad (3.19)$$

Denklem (3.18) ve (3.19) 'da y(t) yapısal sistemin yerdeğiştirme fonksiyonu, z(t) eklenen kütlenin sisteme göre rölatif yerdeğiştirmesidir. Eklenen kütle için sönüm c, rijitlik k, yapı için sönüm C ve rijitlik K' dır. Yapıdaki dış kuvvetler f(t) ve g(t) ile ifade edilir. Rüzgar yükleri için g(t) sıfıra, deprem için μ.f(t) 'ye eşittir. Burada μ = m / M kütle oranıdır. Denklem (3.18) ve (3.19) 'u toplarsak;

$$(M+m)\,y_1''(t) + C\,y_1'(t) + K\,y_1(t) = f(t) + g(t) - m\,z''(t) \qquad (3.20)$$

Küçük kütle m 'i sisteme eklemenin sistemin doğal frekansında ufak bir artışa ve dış yüklerin f(t) 'den f(t)+g(t) 'ye artmasına rağmen hareketi azaltan kuvvet ek olarak gelen [m. z"(t)] 'dir **(Tezcan ve Erkal, 2002)**.

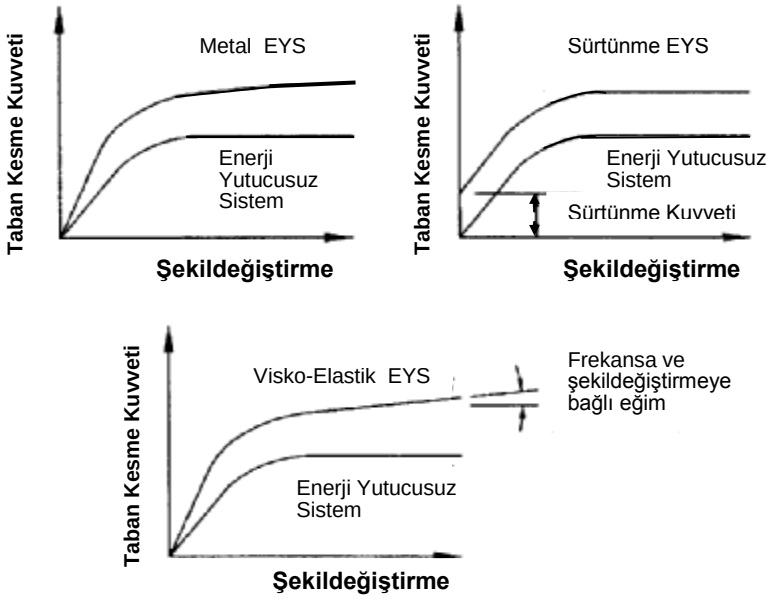
3.6 Ayarlanmış Sıvı Sönümleyiciler

Ayarlanmış sıvı sönümleyiciler, ayarlanmış kütle sönümleyicilere benzerler fakat burada hareketi engelleyen sıvının yüksek derecede lineer olmayan davranışıdır. Bu yüzden ayarlanmış sıvı sönümleyicilerinin özellikleri fiziksel deneylere dayanmaktadır.

3.7 Pasif Enerji Yutucu Sistemler İle İlgili Fema 356 ve Fema 274 Hükümleri

Pasif enerji yutucu sistemlerin birincil kullanım amacı depremden dolayı oluşan yerdeğiştirmeleri azaltmaktır. Yapının elastik davranması şartı ile yapı içindeki kuvvetlerin de azaltılmasını sağlar. Yapının elastik ötesi davranışlarında yapı içindeki kuvvetleri azaltması beklenmemelidir.

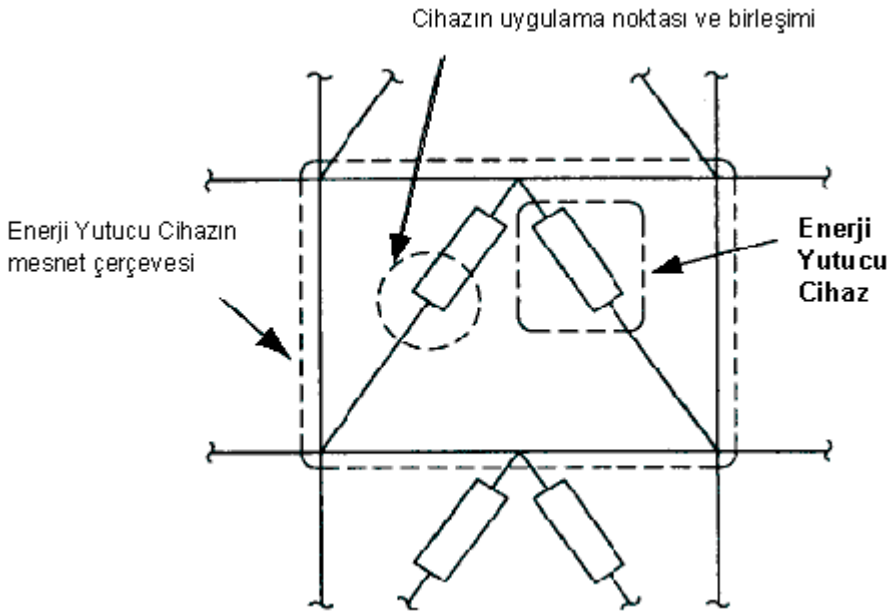
Pasif enerji yutucu sistemler yapıya ek sönüm ve bazen de ek rijitlik sağlayan ve yapının performansını artıran sistemlerdir.



Şekil 3.27 Enerji Yutucu Cihazlar'ın yapının Taban Kesme Kuvveti-Şekildeğiştirme davranışı üzerindeki etkileri.

Şekil 3.27 'de görüldüğü gibi Metal, Sürtünme ve Visko-elastik tipi sönümleyicilerin Taban Kesme Kuvveti-Şekildeğiştirme grafikleri görülmektedir. Her üç tip de yapıya sönümün yanı sıra ek rijitlik sağlamaktadırlar. Viskoz sönümleyiciler ise genellikle

yapıya sadece sönüm sağlarlar. Bu sebeple enerji yutucusuz sistemle viskoz sönümleyici sistemin Taban Kesme Kuvveti-Şekildeğiştirme grafikleri bir değişiklik göstermemektedir. Şekil 3.28 ‘de ise Enerji Yutucu Cihazlar’ın genel yerleşimi görülmektedir.



Şekil 3.28 Enerji Yutucu Cihazlar’ın yerleşimi.

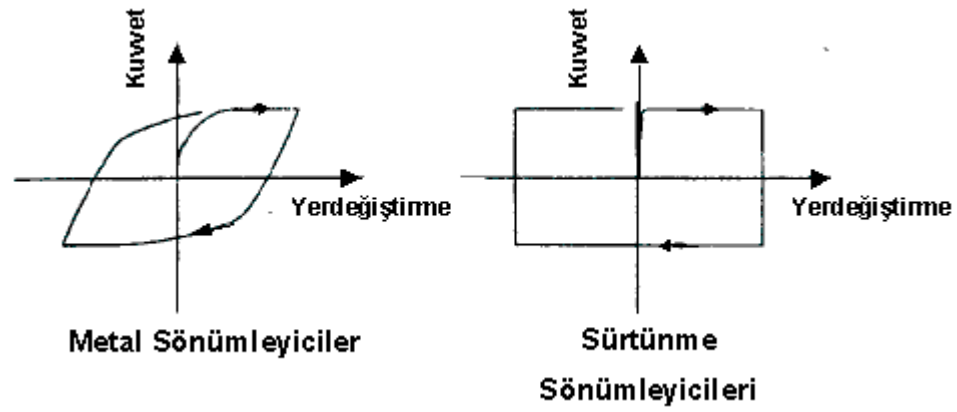
3.7.1 Enerji Yutucu Sistemlerin Modellenmesi

Yerdeğiştirme-bağımlı cihazlar rijit-plastik (sürtünme türü sönümleyiciler), bi-lineer (metal sönümleyiciler) veya tri-lineer histeretik davranış sağlayan sönümleyiciler olmak üzere, hareketin hızından ve frekansından bağımsızdır.

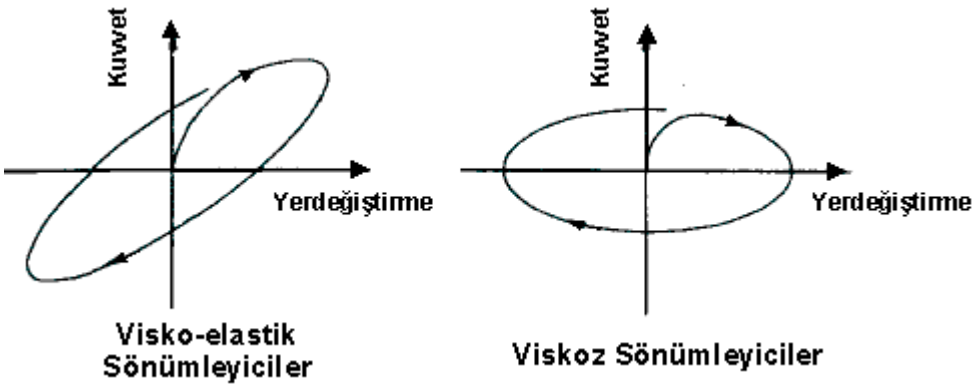
Katı ve sıvı visko-elastik sönümleyiciler, sıvı viskoz sönümleyiciler hız bağımlı cihazlar olarak tanımlanmıştır.

Enerji yutucu sistemlerin modeli; yapısal elemanların rijitliğini, enerji yutucu sistemlerin performansını etkileyen zemin özelliklerini ve yapının esnekliğini, enerji yutucular ile birlikte çalışan kararlılık bağlantılarını ve kararlılık bağları ile enerji yutucular arasındaki bileşimleri kapsamalıdır.

Şekil 3.29 ‘da yerdeğiştirme-bağımlı cihazların idealleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri görülmektedir. Şekil 3.30 ’da ise hız-bağımlı cihazların idealleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri görülmektedir.



Şekil 3.29 Yerdeğiştirme-Bağımlı Cihazlar' ın ideal Kuvvet-Yerdeğiştirme çevrimleri



Şekil 3.30 Hız-Bağımlı Cihazlar'ın ideal Kuvvet-Yerdeğiştirme çevrimleri

3.7.2 Yerdeğiştirme Bağımlı Cihazlar

Yerdeğiştirme-bağımlı cihazın kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi cihazın uçları arasındaki göreli yerdeğiştirmenin bir fonksiyonu şeklindedir. Yerdeğiştirme-bağımlı cihazlar dış zorlamanın frekansından ve cihazın uçları arasındaki göreli hızdan bağımsızdır. Test verilerinden elde edilen sonuçlara göre yerdeğiştirme-bağımlı cihazlardaki kuvvet Denklem (3.21) ile hesaplanacaktır.

$$F = k_{eff} D \tag{3.21}$$

Etkili rijitlik k_{eff} Denklem (3.22) ile hesaplanacaktır.

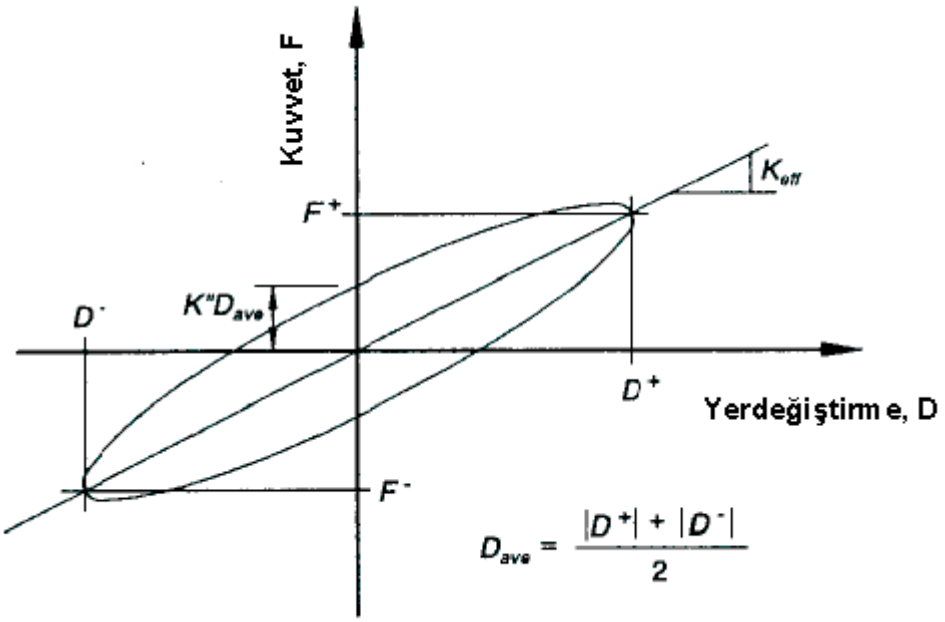
$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|D^+| + |D^-|} \tag{3.22}$$

Sönümleyici içindeki kuvvetler F^+ ve F^- sırası ile D^+ ve D^- için hesaplanacaktır.

3.7.3 Hız Bağımlı Cihazlar

3.7.3.1 Katı Visko-Elastik Cihazlar

Katı Visko-Elastik Cihazlar genellikle visko-elastik polimer tabakalardan oluşur. Bu tür cihazlar genellikle frekansa, sıcaklığa ve hareketin genliğine bağlı mekanik özellikli visko-elastik katı davranışı gösterirler. Bir visko-elastik cihaza ait, ω açısal frekansına bağlı bir sinüzoidal hareket altındaki kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 3.31'de görülmektedir.



Şekil 3.31 Katı Visko-Elastik Cihazlar'ın Kuvvet-Yerdeğiştirme Grafiği.

Cihazın içinde oluşan kuvvet Denklem (3.23) ile hesaplanır.

$$F = k_{eff} D + C D' \tag{3.23}$$

Enerji yutucu cihazların etkili rijitliği Denklem (3.24) ile hesaplanır.

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|D^+| + |D^-|} \tag{3.24}$$

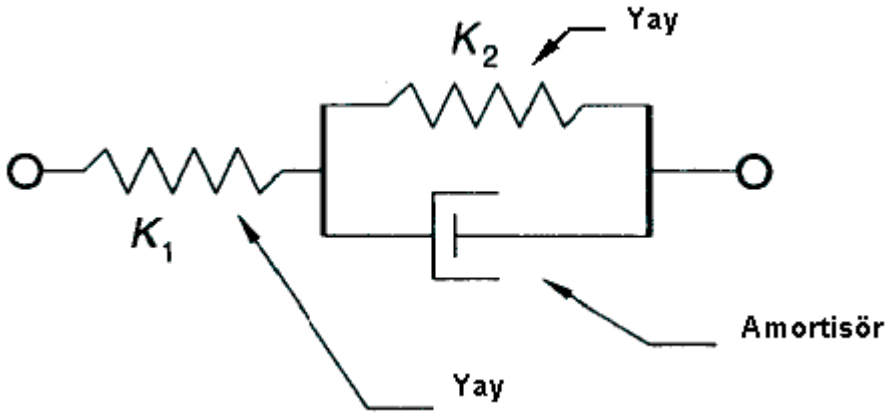
Cihazın sönüm katsayısı C ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C = \frac{W_D}{\pi \omega D^2_{ave}} \tag{3.25}$$

D_{ave} D^+ve D^- mutlak değerlerinin ortalaması şeklindedir. W_D ise cihazın D^+ve D^- yerdeğiştirmeleri arasındaki yaptığı bir çevrimde kapladığı alana eşittir. Etkili rijitlik depolanan rijitlik olarak da isimlendirilir ve K' ile gösterilir. Sönüm katsayısı ise kayıp rijitlik K" cinsinden tanımlanabilir.

$$C=K"/\omega \tag{3.26}$$

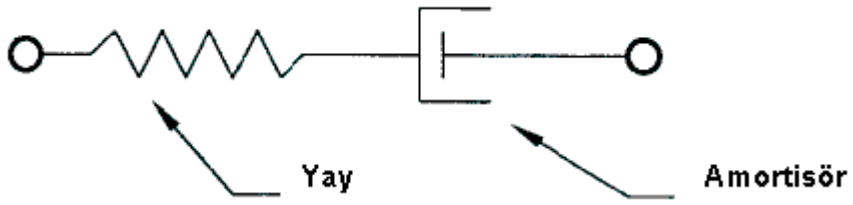
Katı Visko-Elastik Cihazlar Şekil 3.32'de görüldüğü gibi birbiri ile paralel çalışan bir yay ve amortisör şeklindeki Kelvin Modeli'nden yararlanılabilir.



Şekil 3.32 Katı Visko-Elastik Cihazlar için Kelvin Modeli.

3.7.3.2 Sıvı Visko-Elastik Cihazlar

Sıvı Visko-Elastik Cihazlar Şekil 3.33'de görüldüğü gibi bir yay ve amortisörün birbirine seri bağlanması ile elde edilen Maxwell Modeli şeklinde modellenebilir.



Şekil 3.33 Sıvı Visko-Elastik Cihazlar için Maxwell Modeli.

Sıvı Visko-Elastik Cihazlar, Katı Visko-Elastik Cihazlar'a benzer olarak hareketin genliğine ve frekansına bağımlı olup, hareket sırasında oluşabilecek sıcaklık artışlarından ve yerleşim sırasındaki sıcaklıktan etkilenirler.

3.7.3.3 Sıvı Viskoz Cihazlar

$0.5f_1$ ve $2f_1$ frekans aralığında sisteme ek sönümün yanında ek rijitlik de sağlayan lineer sıvı viskoz cihazlar, sıvı visko-elastik cihazlar gibi modellenmelidirler. Burada f_1 yapının birinci temel frekansıdır. $0.5f_1$ ve $2f_1$ frekans aralığında cihazın ek rijitliğinin olmaması durumunda sönüm kuvveti Denklem (3.27) 'ye göre hesaplanacaktır.

$$F= C_0 |D'|^{\alpha} \text{sgn}(D') \qquad (3.27)$$

C_0 sönüm katsayısı, α hız üsteli, D' cihazın uçları arasındaki göreli hız ve sgn göreli hızın yönünü gösteren işaret fonksiyonudur.

3.7.4 Lineer Hesap Yöntemleri

Lineer hesap yöntemlerinin kullanılmasına aşağıdaki koşullar altında izin verilir.

- Ek sönümün etkileri göz önüne alındıktan sonra seçilen Deprem Risk Bölgesi için, enerji yutucuları olmayan çerçeve sistem lineer elastik kalmak zorundadır.
- Birinci temel mod için enerji yutucular tarafından sağlanan etkili sönüm oranı kritik sönüm oranının %30 'unu geçemez.
- Maksimum yerdeğiştirmelerde her bir enerji yutucu cihaz için hesaplanan kesen rijitlik matematik modele dahil edilmelidir. Eğer dahil edilmezse spektral yerdeğiştirme talepleri tahmin edilenden daha çok, spektral kuvvet talepleri tahmin edilenden daha az ve modal sönüm katsayıları yanlış hesaplanmış olur.
- Binanın düzensizliği hesaplandığında enerji yutucu cihazlar matematik modele katılmalıdır.

3.7.4.1 Yerdeğiştirme-Bağımlı Cihazlar İçin Lineer Statik Hesap Yöntemi

Lineer Statik Hesap Yöntemi'nin kullanılması için Lineer Hesap Yöntemleri başlığı altında sayılan dört şarta ek olarak sağlanması gereken iki şart daha vardır.

- Hesabı düşünülen doğrultu için, her bir katın maksimum dayanımının kesme kuvvetine oranı %80 ile %120 arasında olacaktır. Maksimum kat dayanımı hesaplanırken yapıdaki tüm bileşenler ve elemanlarla birlikte enerji yutucu cihazlar da düşünülecektir.

Bu şart katların düzenli bir davranış göstermesini ve herhangi bir katta oluşabilecek hasar yoğunlaşmasını önlemeyi amaçlamaktadır. Her bir katın maksimum dayanımını hesaplamak için enerji yutucu cihazların eklendiği sistemin plastik analizinin yapılması tercih edilmektedir.

- Göz önüne alınan doğrultu için, bir kat içindeki enerji yutucu cihazların maksimum dayanımı; o kat içinde enerji yutucuların dışında kalan yapısal elemanların, BSE-2 türü depremlerde beklenen yerdeğiştirmeler için hesaplanan dayanımlarının %50 'sinden fazla olamaz.

Bu şart ise enerji yutucu cihazların yapının davranışındaki etkisini sınırlandırmaktadır. Enerji yutucu cihazların dayanımı, yapının enerji yutucular ile birlikte toplam dayanımının 1/3 'ü olacak şekilde sınırlandırılmıştır.

Hesap aşağıdaki sıra ile yapılacaktır.

1. Göz önüne alınan doğrultudaki yatay deprem yükü hesaplanır. Bu yük ABYYHY (1997) 'deki Eşdeğer Deprem Yükü'ne benzer olarak çeşitli katsayılar ve ivme spektrum değerleri ile birlikte ağırlığa bağlı olarak bulunmaktadır. Kabul edilen sönüm değeri için Tablo 3.1 'den B_S ve B_1 değerleri okunur. Bu değerlere göre Şekil 3.34 'teki İvme Spektrumu-Periyot Grafiği'nden S_a ivme spektrum değeri bulunur ve buna göre değişen deprem yükü hesaplanır.

2. Değişen deprem yüküne göre yatay kat kuvvetleri hesaplanır.

3. Her bir kat için, hesaplanmış yatay kay kuvvetlerine karşılık gelen δ_i yerdeğiştirmeleri hesaplanır.

4. Bu δ_i yerdeğiştirmeleri kullanılarak yapının etkili sönümü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\beta_{eff}=\beta + \frac{\Sigma W_j}{4\pi W_k} \qquad (3.28)$$

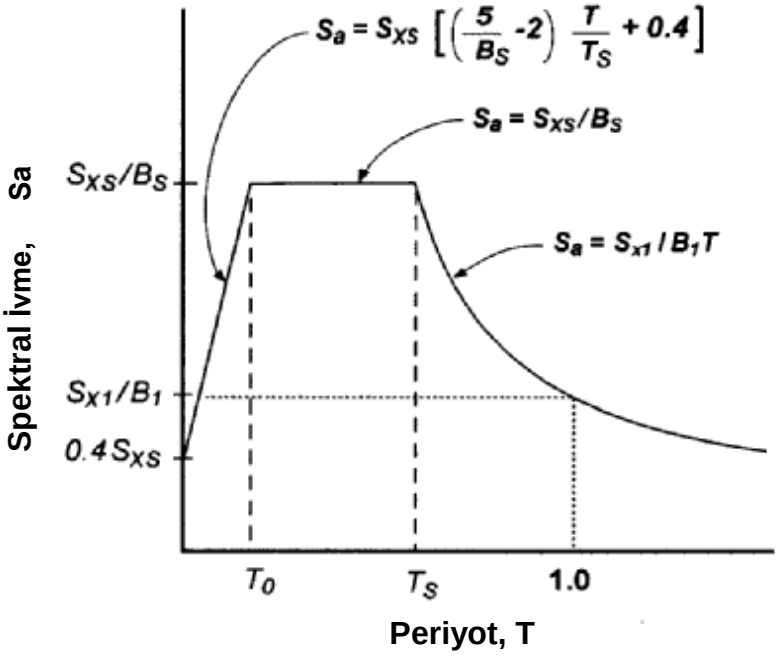
Burada β yapının kendi sönümü, W_j her bir yerdeğiştirme-bağımlı j cihazının δ_i yerdeğiştirmelerine karşı gelen bir tam çevriminde yaptığı işe denir ve tüm cihazlar için bu değer toplanır. W_k ise sistemde hesaplanan maksimum yay enerjisidir ve Denklem (3.29) ile hesaplanır. F_i i' nci katta hesaplanan deprem yükü, δ_i bu yüke karşı gelen yerdeğiştirmedir.

$$W_k = \frac{1}{2} \Sigma F_i \delta_i \quad (3.29)$$

5. Kabul edilen etkili sönüm oranının (1. Adım), Denklem (3.28) ‘de bulunan etkili sönüm oranına eşit olduğu duruma kadar 1. ile 4. adımlar tekrarlanır.

Tablo 3.1 FEMA B_s ve B_1 katsayılarının etkili sönüm oranı ile değişimi.

Etkili Sönüm Oranı , β_{eff} ,(%)	B_S	B_1
<2	0,8	0,8
5	1,0	1,0
10	1,3	1,2
20	1,8	1,5
30	2,3	1,7
40	2,7	1,9
>50	3,0	2,0



Şekil 3.34 FEMA Genel Yatay İvme Spektrumu.

3.7.4.2 Hız-Bağımlı Cihazlar İçin Lineer Statik Hesap Yöntemi

Hız-bağımlı cihazlarda da ek bir sınırlama mevcuttur.

- Göz önüne alınan doğrultu için, bir kat içindeki enerji yutucu cihazların maksimum dayanımı; o kat içinde enerji yutucuların dışında kalan yapısal elemanların, BSE-2 türü depremlerde beklenen yerdeğiştirmeler için hesaplanan dayanımlarının %50 'sinden fazla olamaz.

Hesap aşağıdaki sıra ile yapılacaktır.

1. Göz önüne alınan doğrultudaki yatay deprem yükü hesaplanır. Bu yük ABYYHY (1997) 'deki Eşdeğer Deprem Yükü'ne benzer olarak çeşitli katsayılar ve ivme spektrum değerleri ile birlikte ağırlığa bağlı olarak bulunmaktadır. Kabul edilen sönüm değeri için Tablo 3.1 'den B_S ve B_1 değerleri okunur. Bu değerlere göre Şekil 3.34 'deki İvme Spektrumu-Periyot Grafiği'nden S_a ivme spektrum değeri bulunur ve buna göre değişen deprem yükü hesaplanır.

2. Değişen deprem yüküne göre yatay kat kuvvetleri hesaplanır.

3. Her bir kat için, hesaplanmış yatay kay kuvvetlerine karşılık gelen δ_i yerdeğiştirmeleri hesaplanır.

4. Bu δ_i yerdeğiştirmeleri kullanılarak yapının etkili sönümü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\beta_{eff}=\beta + \frac{\Sigma W_j}{4\pi W_k} \qquad (3.30)$$

Burada β yapının kendi sönümü, W_j her bir hız-bağımlı j cihazının δ_i yerdeğiştirmelerine karşı gelen bir tam çevriminde yaptığı işe denir ve tüm cihazlar için bu değer toplanır. W_k ise sistemde hesaplanan maksimum yay enerjisidir ve Denklem (3.31) ile hesaplanır. F_i i' nci katta hesaplanan deprem yükü, δ_i bu yüke karşı gelen yerdeğiştirmedir.

$$W_k= \frac{1}{2} \Sigma F_i \delta_i \qquad (3.31)$$

Hız-bağımlı j cihazlarının bir tam çevrim sırasında yapmış olduğu iş ise Denklem (3.32) ile hesaplanır.

$$W_j = \frac{2\pi^2}{T} C_j \delta^2_{rj} \qquad (3.32)$$

Burada T; hız-bağımlı cihazların rijitlikleri de hesaba katılarak bulunan yapının temel periyodu, Cj sönüm katsayısı, δ_{rj} ise cihazın uçları arasındaki j doğrultusunda göreli yerdeğiştirmedir. Lineer viskoz cihazların hesabı içinse Denklem (3.30) yerine Denklem (3.33) 'de kullanılabilir.

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{T \Sigma C_j \ Cos^2 \theta_j \ \phi^2_{rj}}{4\pi\Sigma \ (wi/g) \ \phi^2_i} \qquad (3.33)$$

Burada ise θ_j j cihazının yatayla yaptığı açı, ϕ_{rj} cihazın uçları arasında yatay doğrultudaki birinci mod göreli yerdeğiştirmesi, w_i i' nci katın ağırlığı, ϕ_i ise i' nci katın birinci mod yerdeğiştirmesidir.

5. Kabul edilen etkili sönüm oranının (1. Adım), Denklem (3.30) veya (3.33) 'te bulunan etkili sönüm oranına eşit olduğu duruma kadar 1. ile 4. adımlar tekrarlanır.

Hız-bağımlı enerji yutucu cihazların tasarım kuvvetlerini hesaplamak, viskoz kuvvetlerin doğrudan hesaplanamaması yüzünden daha karışıktır. Maksimum eleman kuvvetlerine ulaşılan 3 durum söz konusudur.

- **Viskoz kuvvetlerin sıfır, yerdeğiştirmelerin maksimum olduğu durum;**

Her bir kata gelen yatay kuvvetler değişmiş eşdeğer taban kesme kuvvetine göre hesaplanacaktır.

- **Hızın maksimum olduğu yerdeğiştirmelerin sıfır olduğu durum;**

D, maksimum yerdeğiştirmenin olduğu durumda cihazın uçları arasındaki göreli yerdeğiştirme olmak üzere $2\pi f_1 D$ çarpımının göreli hıza (D') eşit olması ve bulunan göreli hızın Denklem (3.23) ve (3.27) 'de yerine konması ile viskoz kuvvetler bulunmuş olacaktır. Bulunan viskoz kuvvetler yatay atalet kuvvetleri ile birlikte matematik modele uygulandığında her bir katın yerdeğiştirmesi sıfıra eşit olacaktır.

- **Maksimum ivmenin olduğu durum;**

Maksimum ivme, genliğin maksimum yerdeğiştirmeye eşit frekansın f_1 olduğu bir harmonik hareket kabulü ile hesaplanacaktır. Bu şart altında maksimum ivme; maksimum yerdeğiştirmenin olduğu andaki ivme ile (CF_1+ $2\beta_{eff}$ CF_2) 'nin çarpımına eşittir. Durum kombinasyon çarpanları olan CF_1=CF_2=1 olduğu durum güvenli sonuçlar vermektedir.

$$CF_1=\cos[\tan^{-1}(2\beta_{eff})] \quad (3.34)$$

$$CF_2=\sin[\tan^{-1}(2\beta_{eff})] \quad (3.35)$$

3.7.4.3 Yerdeğiştirme-Bağımlı Cihazlar İçin Lineer Dinamik Hesap Yöntemi

Lineer Dinamik Hesap Yöntemi olarak, Tepki Spektrumu kullanımında, her iki ana doğrultuda temel modlardaki etkili sönüm oranlarının kritik sönümün %30'undan fazla olmaması gerekmektedir.

Tepki Spektrumu Yöntemi'nde yerdeğiştirme-bağımlı cihazlar tarafından sağlanan sönümün hesabı için %5 sönümlü tepki spektrumunun kullanılmasına izin verilmiştir. %5 sönümlü ivme spektrumu, mod-bağımlı sönüm değişim çarpanları Tablo 3.1'deki B_S ve B_1'e göre azaltılacak ve her bir mod için bu azaltma yapılacaktır. Eğer dinamik analiz yöntemi ile bulunan taban kesme kuvveti, değişmiş eşdeğer taban kesme kuvvetinin %80'inden daha az ise, eleman kuvvetleri ve şekildeğiştirmeler değişmiş eşdeğer taban kesme kuvvetinin %80'i oranında artırılacaktır.

3.7.4.4 Hız-Bağımlı Cihazlar İçin Lineer Dinamik Hesap Yöntemi

Tepki spektrumu kullanımında, her iki ana doğrultuda temel modlardaki etkili sönüm oranlarının kritik sönümün %30'undan fazla olmaması gerekmektedir.

Tepki Spektrumu Yöntemi'nde hız-bağımlı cihazlar tarafından sağlanan sönümün hesabı için %5 sönümlü tepki spektrumunun kullanılmasına izin verilmiştir. %5 sönümlü ivme spektrumu, mod-bağımlı sönüm değişim çarpanları Tablo 3.1'deki B_S ve B_1'e göre azaltılacak ve her bir mod için bu azaltma yapılacaktır.

Titreşim hareketinin m' inci modu için etkili sönüm Denklem (3.36)'ya göre hesaplanacaktır.

$$\beta_{eff\text{-}m} = \beta_m + \frac{\Sigma W_{mj}}{4\pi W_{mk}} \quad (3.36)$$

β_m yapının m' inci moddaki sönümü, W_{mj} modal δ_{mi} yerdeğiştirmelerine karşı gelen bir tam çevrim sırasında cihaz tarafından yapılan iş, W_{mk} m' inci modda yapıda meydana gelen maksimum yay enerjisidir.

$$W_{mk} = \frac{1}{2} \Sigma F_{mi} \delta_{mi} \quad (3.37)$$

F_{mi} m' inci modda i' inci katta yatay atalet kuvveti, δ_{mi} m' inci modda i' inci katta yatay yerdeğiştirmedir. Lineer viskoz cihaz tarafından m' inci modda yapılan iş Denklem (3.38) ile hesaplanır.

$$W_{mj} = \frac{2\pi^2}{T_m} C_j \delta^2_{mrj} \quad (3.38)$$

Burada T_m ; hız-bağımlı cihazların rijitlikleri de hesaba katılarak bulunan yapının m' inci periyodu, Cj sönüm katsayısı, δ_{mrj} ise m' inci modda cihazın uçları arasındaki j doğrultusunda göreli yerdeğiştirmedir.

Tepki spektrumunun doğrudan uygulanmasına ek olarak maksimum yerdeğiştirme ve maksimum hızda eleman kuvvetlerinin hesaplanması ile maksimum ivmenin hesaplanmasında kullanılacak yöntem Bölüm 3.7.4.2 'de açıklanmıştır. Kombinasyon çarpanları CF_1 ve CF_2 Denklem (3.34) ve (3.35) ile m' inci mod için $\beta_{eff\text{-}m}$ kullanılarak hesaplanacaktır.

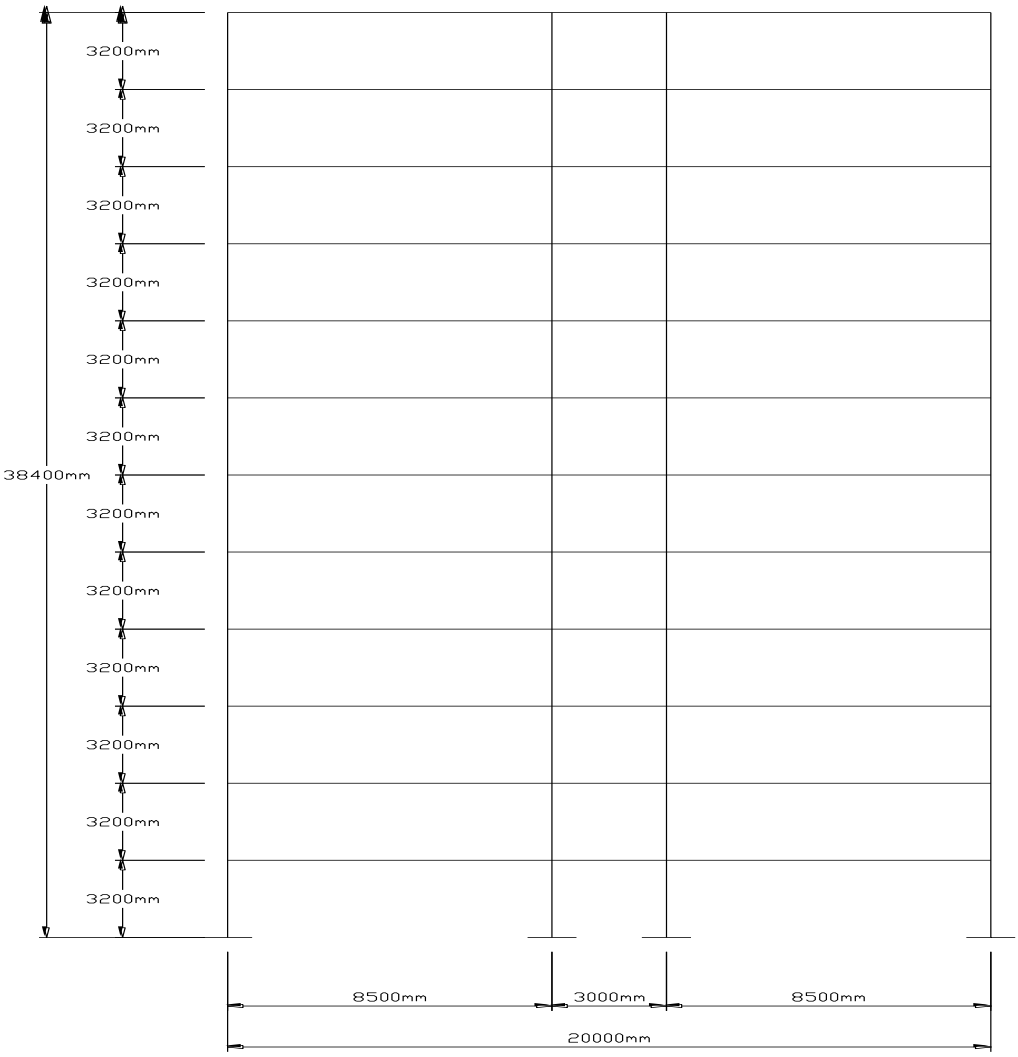
Hız-bağımlı cihazların eklendiği sistemlerde de dinamik analiz yöntemi ile bulunan taban kesme kuvveti, değişmiş eşdeğer taban kesme kuvvetinin %80'inden daha az ise, eleman kuvvetleri ve şekildeğiştirmeler değişmiş eşdeğer taban kesme kuvvetinin %80'i oranında artırılacaktır.

Hem yerdeğiştirme-bağımlı cihazlar için hem de hız-bağımlı cihazlarda yerdeğiştirme üzerinde etkin olan tepki birinci mod için oluşur. Böylece birinci mod sönüm oranı, sönümleyiciler tarafından ne kadar enerji yutulduğunu yansıtır. Bu bakış açısı ile enerji yutucuların yüksek modlardaki faydası ihmal edilmiş olur.

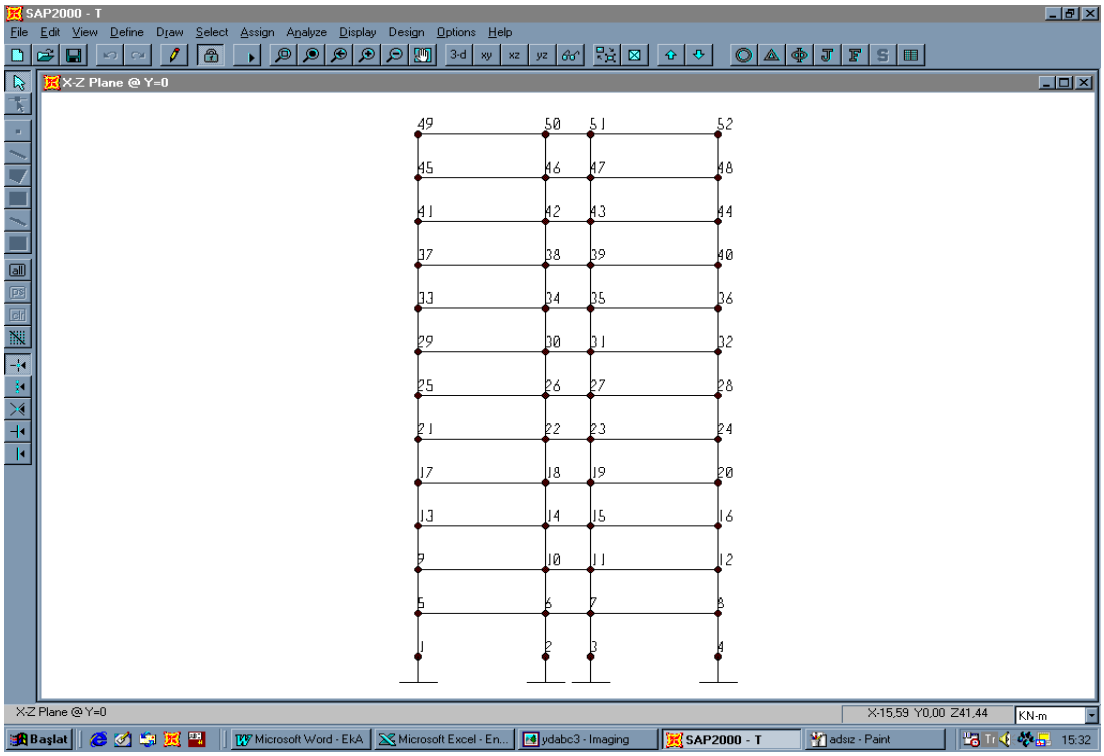
4. SÖNÜMLEYİCİLERİN ÇOK KATLI ÇELİK YAPI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

4.1 Taşıyıcı Sistemin Özellikleri

Şekil 4.1 ‘de çok katlı çelik yapının geometrik özellikleri görülmektedir. Yapının şekilde görülen kesitine dik doğrultuda kolon aralığı 4.00 metredir ve 2.00’şer metrelerde tali kirişler mevcuttur. Yapı Z4 zemin sınıfında, 1. Derece deprem bölgesinde işyeri olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.1 Taşıyıcı sistem.



Şekil 4.2 Düğüm Nokta Numaraları.

4.2 Düşey Yük Analizi:

Sabit Yük

7 cm yüksekliğinde betonarme döşeme	7 cm*0.25 kN/m^2=1.75 kN/m^2
Koruyucu şap+tesviye+marley	3 cm*0.22 kN/m^2=0.66 kN/m^2
Çelik malzeme (normal kat)	0.60 kN/m^2
Çelik malzeme (çatı)	0.40 kN/m^2
Asma tavan	0.10 kN/m^2
Alçı panel duvar	10 cm*0.0070 kN/m^2=0.07 kN/m^2
Çelik çatı (sandviç panel)	0.65 kN/m^2

Hareketli Yük

Normal kat	2.00 kN/m^2
Çatı katı	0.90 kN/m^2

- **Normal Kat için**

g=(1.75+0.66+0.60+0.10)*2.00+8.50*0.07=6.82 kN/m

q=2.00*2.00=4.00 kN/m

Pg=3.11*4.00*1.50=18.66 kN

Pq=2.00*4.00*1.50=12.00 kN

- **Çatı Katı için**

g=(0.40+0.10+0.65)*2.00=2.30 kN/m

q=0.90*2.00=1.80 kN/m

Pg=1.15*4.00*1.50=6.90 kN

Pq=0.90*4.00*1.50=5.40 kN

4.3 Yatay Yük Analizi

4.3.1 Kat Ağırlıklarının Belirlenmesi

- **Normal Kat için**

W_1=296.84 kN

- **Çatı Katı için**

W_2=113.60 kN

- **Toplam**

W_T=296.84*11+113.60=3378.84 kN

4.3.2 Kat Kütlelerinin Belirlenmesi

- **Normal Kat için**

m_1=6.43 kNsn^2/m (kenar akslardaki düğüm noktaları için)

m_2=8.70 kNsn^2/m (iç akslardaki düğüm noktaları için)

- **Çatı Katı için**

m_3=2.46 kNsn^2/m (kenar akslardaki düğüm noktaları için)

m_4=3.33 kNsn^2/m (iç akslardaki düğüm noktaları için)

4.3.3 Eşdeğer Deprem Yüküne Göre Hesap

Bölüm 4.3.2 ‘de elde edilen kütleler için Tablo 4.1 ‘de de görüldüğü üzere, Sap2000 bilgisayar programından alınan yapının birinci periyoduna ait değer T_1=2.26 sn ‘dir. İlk 4 mod için mod şekilleri Ek-A’ da verilmiştir.

Tablo 4.1 Yapının periyotları.

Mod	Periyot (sn)
1	2,262346
2	0,805144
3	0,474494
4	0,330138
5	0,254841
6	0,207945
7	0,176243
8	0,159184
9	0,130959
10	0,114075
11	0,096006
12	0,082276

ABYYHY ‘98 Madde 6.7.4.4 ‘e göre yapının birinci doğal titreşim periyodu 1 saniyenin üzerinde ise elde edilen T_1 ‘in en büyük değeri T_{1A} ‘nın 1.30 katından büyük olmayacaktır.

$$T_{1A} = C_t * H_n ¾ \quad (4.1)$$

C_t taşıyıcı sistemi sadece çelik çerçevelerden oluşan binalar için 0.08’dir. H_n ise yapının temel üstünden ölçülen toplam yüksekliğidir.

$T_{1A} = 0.08 * 38.40^{3/4} = 1.23$ sn

$T_1 < 1.30 * T_{1A} = 1.60$ sn bulunur. Yapının eşdeğer deprem yükü hesabında kullanılacak birinci doğal periyot değeri 1.60 sn olarak alınacaktır. Buna bağlı olarak ABYYHY ‘98 Madde 6.4.3 ‘e göre Spektrum katsayısı S(T), Z4 zemin sınıfı için hakim periyotları T_A ve T_B için belirlenecektir. T_A =0.20 sn T_B =0.90 sn ve $T_1 > T_B$ olması sebebi ile

$$S(T) = 2.5 * (T_B / T_1)^{0.8} \quad (4.2)$$

formülü ile S(T)=1.58 değeri elde edilir. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı $T_1>T_A$ olduğu için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısına eşit ve süneklik düzeyi yüksek olarak seçilmiştir. Elde edilen bilgiler Tablo 4.2 'de görülmektedir.

Tablo 4.2 Yapının tasarım parametreleri.

Deprem Bölgesi	1.
Zemin Cinsi	Z4
Bina Önem Katsayısı	1,00
Ao	0,40
S(T)	1,58
Ra(T)	8,00

Spektral ivme katsayısı ;

$$A(T)=Ao*I*S(T) \quad (4.3)$$

olarak hesaplanır ve değeri A(T)=0.63 olarak bulunur. Toplam Eşdeğer Deprem Yükü Vt ABYYHY '98 Bölüm 6.7 'ye göre belirlenecektir.

$$Vt= A(T)*W_T/ Ra(T) \quad (4.4)$$

Vt=0.63*3378.84/8=266.08 kN

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi için ABYYHY '98 Bölüm 6.7.2 'den yararlanılmıştır.

$$Fi=(Vt-\Delta F_N)* Wi.Hi/\Sigma Wj.Hj \quad (4.5)$$

Burada ΔF_N , H_N>25 m olduğu durumlarda binanın N 'inci katına etkiyen ek eşdeğer deprem yüküdür.

$$\Delta F_N =0.07*T_1* Vt<0.2*Vt \quad (4.6)$$

ΔF_N =0.07*1.60* 266.08=29.80 kN < 0.2*Vt=53.22kN

Tablo 4.3 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat no:	Wi (kN)	Hi (m)	Wi*Hi	DFn	Fi
1	296,84	3,20	949,89	0	3,35
2	296,84	6,40	1899,78	0	6,70
3	296,84	9,60	2849,66	0	10,05
4	296,84	12,80	3799,55	0	13,40
5	296,84	16,00	4749,44	0	16,75
6	296,84	19,20	5699,33	0	20,10
7	296,84	22,40	6649,22	0	23,45
8	296,84	25,60	7599,10	0	26,79
9	296,84	28,80	8548,99	0	30,14
10	296,84	32,00	9498,88	0	33,49
11	296,84	35,20	10448,77	0	36,84
12	113,6	38,40	4362,24	30,49	15,38
		Toplam	67054,85		

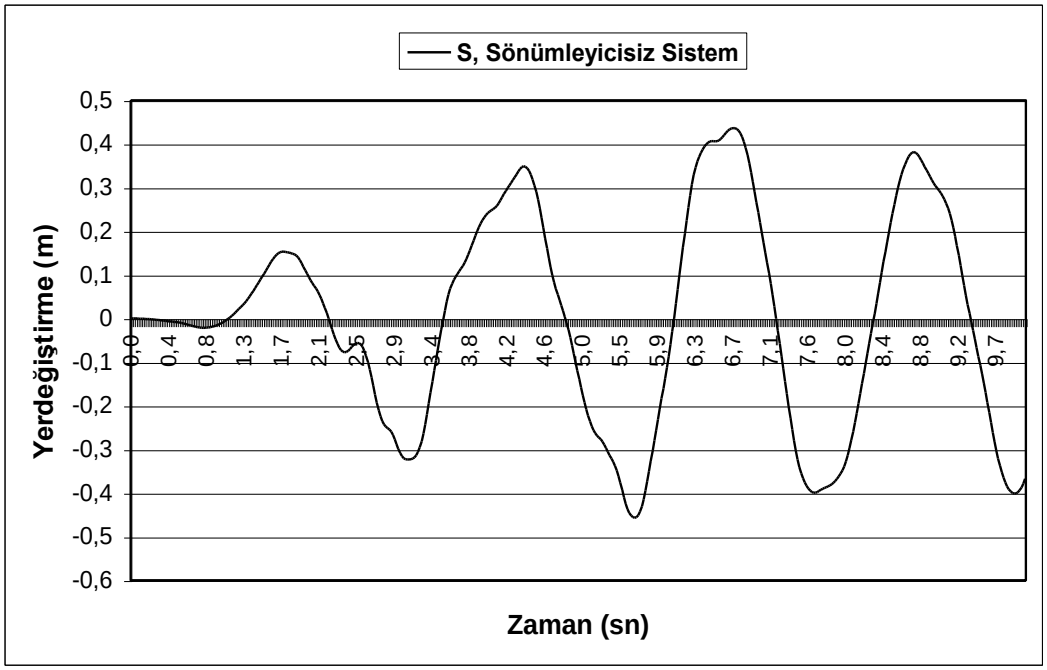
4.4 Düşey ve Yatay Yüklere Göre Boyutların Belirlenmesi

Düşey ve yatay yüke analizlerinden elde edilen yükler üç ana grup halinde toplanmış (G, Q, E) ve bunlardan bir kombinasyon serisi hazırlanmıştır. Bu seriye göre en elverişsiz sonucu veren yüklemeler ve SAP2000 programında tercih edilen bazı kesit tipleri için uygun boyutların AISC-ASD89 yönetmeliğine göre otomatik olarak seçilmesi sağlanmıştır.

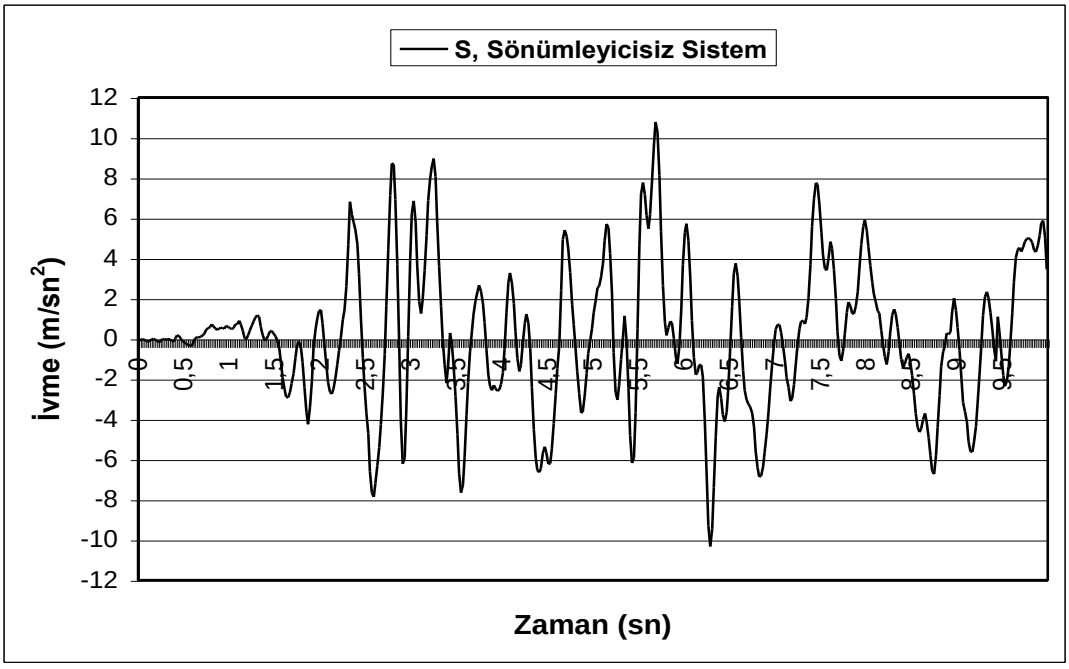
Bu analiz sonucunda statik yüklere göre yapının boyutları seçilmiştir. Buna göre çatı katı kirişleri büyük açıklıklarda IPE300, küçük açıklıkta IPE140, normal kat kirişleri büyük açıklıklarda IPE450, küçük açıklıkta IPE180 seçilmiştir. Kolonlar ise dış akslarda temelden kat 6'ya kadar et kalınlığı 10 mm olan 30 cmX30 cm kutu yapma kesit, 6'dan 12'inci kata kadar ise 10 mm et kalınlıklı 20 cmX20 cm kutu yapma kesit seçilmiştir. İç akslardaki kolonlarda ise temelden 3'üncü kata kadar 15 mm kalınlıklı 30 cmX30 cm kutu yapma kesit, 9'uncu kattan 12'nci kata kadar 10 mm kalınlıklı 20 cmX20 cm ve aradaki kolonlarda 10 mm kalınlıklı 30 cmX30 cm seçilmiştir.

4.5 Zaman Tanım Alanında Çelik Yapının İncelenmesi

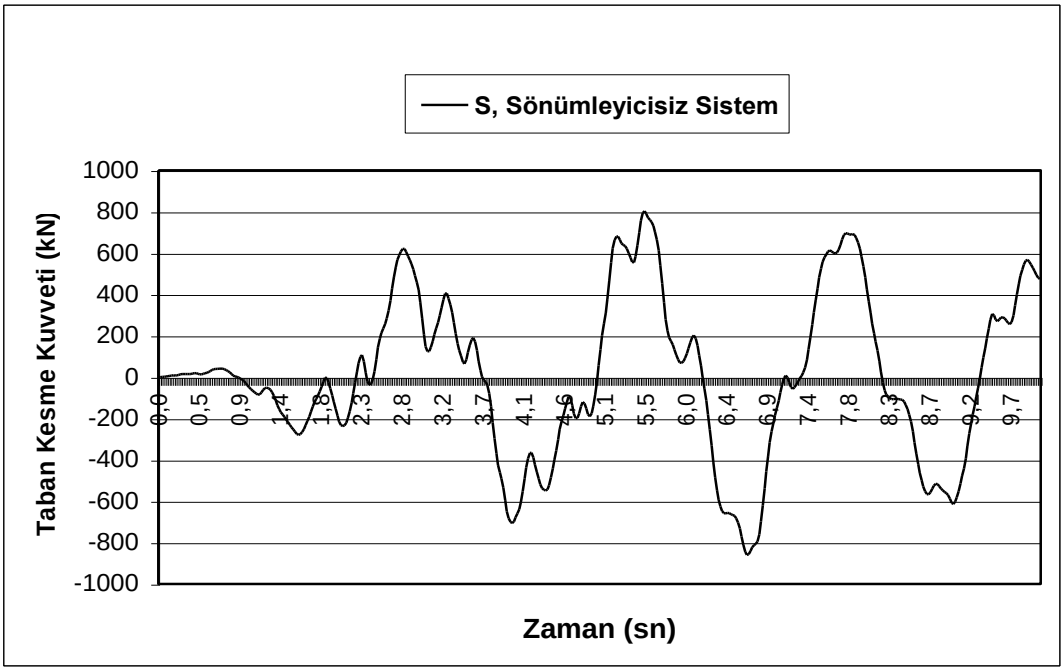
El Centro 1940 depreminin Kuzey-Güney bileşen ivme kaydına göre %2 sönüm oranı için Δt=0.02 aralıkla 500 adımlık çıktı ile 10 saniyelik bir deprem zamanına karşılık yapının çatı katı yerdeğiştirmesinin , ivmesinin ve taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi incelenmiştir. Zaman Tanım Alanı yüklemesi lineer ve Ex deprem yükü ile aynı yöndedir.



Şekil 4.3 Sönümleyicisiz Sistemin 52 No'lu Düğüm Noktası'na Ait Yerdeğiştirme-Zaman Grafiği.



Şekil 4.4 Sönümleyicisiz Sistemin 52 No'lu Düğüm Noktası'na Ait İvme-Zaman Grafiği.



Şekil 4.5 Sönümleyicisiz Sistemin Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği.

Şekil 4.3 'te Çatı Katı Yerdeğiştirmesi'nin, Şekil 4.4 'te de Çatı Katı İvmesi'nin, Şekil 4.5 'te Taban Kesme Kuvveti'nin zamanla değişimi görülmektedir.

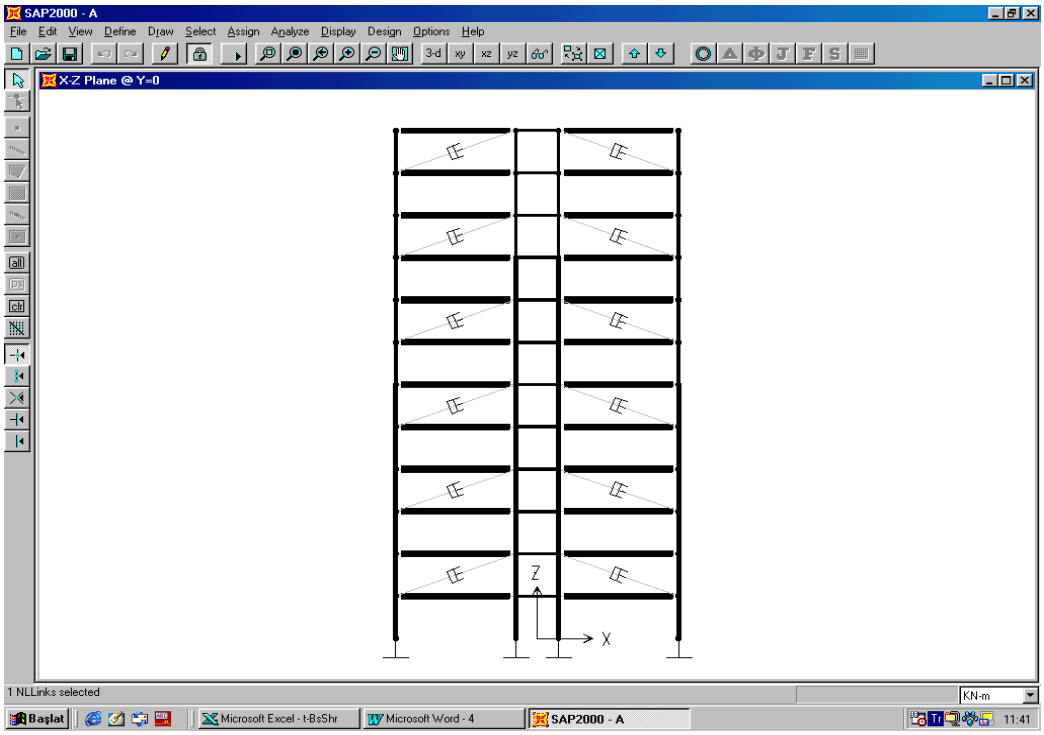
4.6 Yapının Sönümleyiciler Yerleştirildiği Durumda Zaman Tanım Alanında İncelenmesi

4.6.1 Sönümleyicilerin Özelliklerinin Belirlenmesi ve Sisteme Yerleştirilmesi

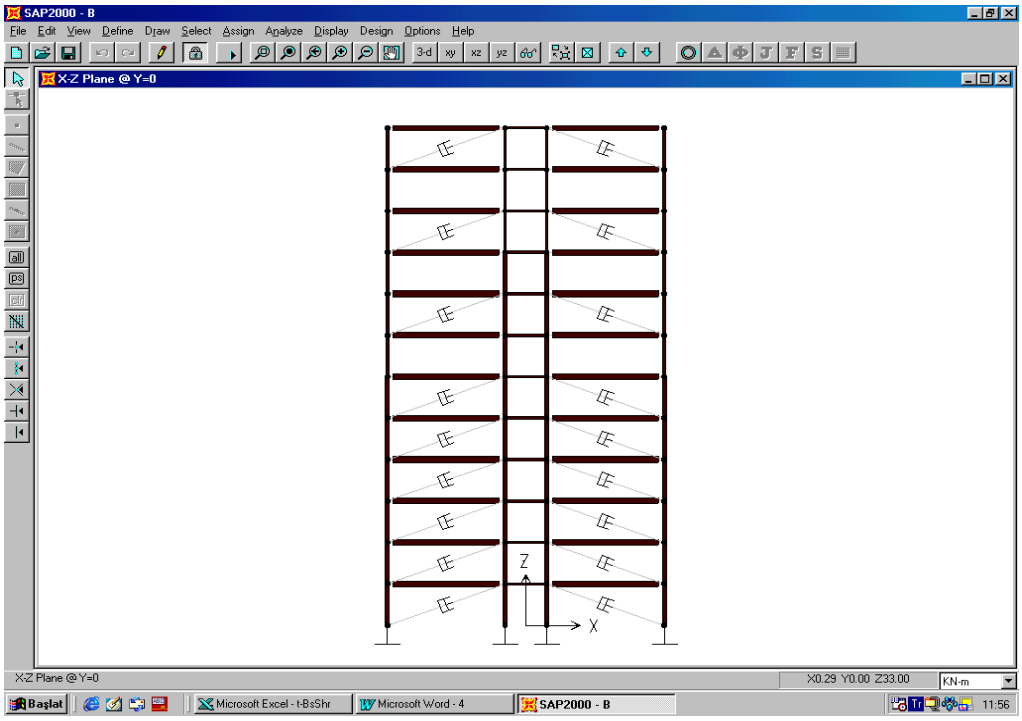
Çok katlı çelik yapıya üç farklı yerleşim şekli ve üç farklı sönüm katsayısına sahip lineer viskoz sönümleyiciler yerleştirilerek yapının çatı katı yerdeğiştirmesine, ivmesine, taban kesme kuvvetine ve sönüm oranına etkileri Zaman Tanım Alanı'nda incelenmiştir. Sönümleyicilerin düzenli bir şekilde yerleştirildiği tip A, yapının alt bölgelerinde yoğunlaşmış tip B ve yapının üst bölgelerinde yoğunlaşmış tip C olarak isimlendirilmiştir. Farklı sönüm katsayıları için tip isimlendirilmesi Tablo 4.4' te görülmektedir.

Tablo 4.4 Tip ismine göre lineer viskoz sönümleyicinin sönüm katsayısı.

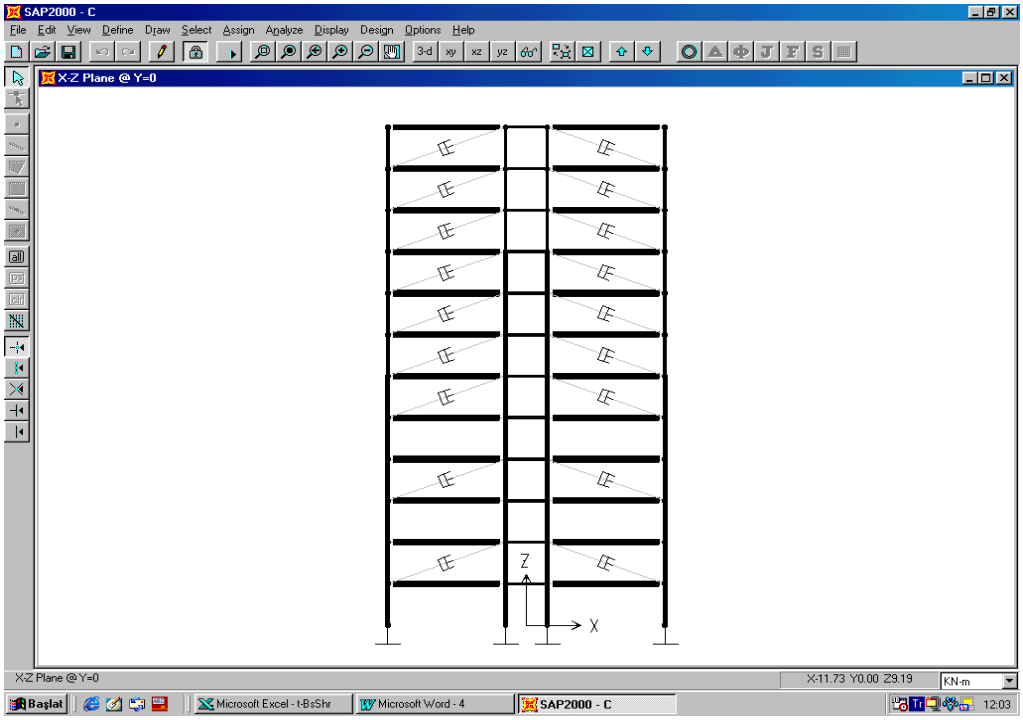
Tip İsimleri			Sönüm Katsayısı, C, (kN.sn/m)
A01	B01	C01	100
A02	B02	C02	200
A03	B03	C03	400



Şekil 4.6 A Tipi.



Şekil 4.7 B Tipi.



Şekil 4.8 C Tipi.

Sönümleyicisiz sistem ve her üç yerleştirme için sönüm katsayıları değiştirilerek oluşturulan 9 tip için elde edilen sonuçlar Ek-B , Ek-C, Ek-D, Ek-E ve Ek-F' de karşılaştırmalı grafikler olarak verilmiştir. Ek-G' de ise B-03 tipine ait Sap2000 veri dosyası

5. SONUÇLAR

Sonuçlar El Centro 1940 Kuzey-Güney ivme bileşeni için elde edilmiştir.

5.1 Sönümleyicisiz ve Sönümleyicili Yapının Karşılaştırılması

- Tablo 5.1'den görüldüğü gibi sönümleyicisiz sistemin S, çatı katı hizasında yaptığı maksimum yerdeğiştirme 43.6 cm iken, sönümleyici eklendiği durumlar içinde sönüm katsayısının en yüksek değer olan 400 kN.sn/m' ye sahip B-03 tipinde, aynı yerde maksimum yerdeğiştirme 30.6 cm olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.1 52 No'lu düğüm noktasının maksimum yerdeğiştirmeleri.

S	A-01	B-01	C-01	A-02	B-02	C-02	A-03	B-03	C-03
δ, (m)	δ, (m)	δ, (m)	δ, (m)	δ, (m)	δ, (m)	δ, (m)	δ, (m)	δ, (m)	δ, (m)
0,43663	0,40905	0,39452	0,40407	0,39009	0,36321	0,37754	0,35153	0,30635	0,32436

- Tablo 5.2'den görüldüğü gibi sönümleyicisiz sistemin çatı katı hizasında maksimum ivmesi 10.77 m/sn^2 iken sönümleyici eklendiği durumlar içinde sönüm katsayısının en yüksek değeri olan 400 kN.sn/m 'ye sahip C-03 tipinde, aynı yerde maksimum ivme 4.61 m/sn^2 olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.2 52 No'lu düğüm noktasının maksimum ivmeleri.

S	A-01	B-01	C-01	A-02	B-02	C-02	A-03	B-03	C-03
a, (m/sn^2)	a, (m/sn^2)	a, (m/sn^2)	a, (m/sn^2)	a, (m/sn^2)	a, (m/sn^2)	a, (m/sn^2)	a, (m/sn^2)	a, (m/sn^2)	a, (m/sn^2)
10,7713	7,03819	6,86625	6,3802	6,27845	5,99522	5,26574	5,02462	4,71776	4,61701

- Tablo 5.3'ten görüldüğü gibi sönümleyicisiz sistemin maksimum taban kesme kuvveti 802.85 kN iken sönümleyici eklendiği durumlar içinde sönüm katsayısının en yüksek değeri olan 400 kN.sn/m 'ye sahip B-03 tipinde, maksimum taban kesme kuvveti 599.66 kN olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.3 Maksimum taban kesme kuvvetleri.

S	A-01	B-01	C-01	A-02	B-02	C-02	A-03	B-03	C-03
V, (kN)	V, (kN)	V, (kN)	V, (kN)	V, (kN)	V, (kN)	V, (kN)	V, (kN)	V, (kN)	V, (kN)
802,854	758,56	741,030	744,431	725,257	691,399	693,49	656,265	599,656	604,178

Tablo 5.4 'te sönümleyicisiz sistemin yerdeğiştirmesi, hızı ve taban kesme kuvvetini birim değer kabul edip, sönümleyicisiz sistemin yerdeğiştirmesi, hızı ve taban kesme kuvvetinde meydana gelen azalma görülmektedir. Böylece B-03 tipi yerleştirme ile yerdeğiştirmelerde %30, ivmelerde %56 ve taban kesme kuvvetlerinde %25 oranında bir azalma sağlanmıştır.

Tablo 5.4 Sönümleyicili sistem tepkilerinde meydana gelen azalma.

Tipler	S	A-01	B-01	C-01	A-02	B-02	C-02	A-03	B-03	C-03
Yerdeğiştirme	1	0,063	0,096	0,075	0,107	0,168	0,135	0,195	0,298	0,257
İvme	1	0,347	0,363	0,408	0,417	0,443	0,511	0,534	0,562	0,571
Taban Kesme Kuvveti	1	0,055	0,077	0,073	0,097	0,139	0,136	0,183	0,253	0,247

5.2 Sönümleyici Yerleştirilmiş Sistemlerin Karşılaştırılması

- Bu çalışmada yapılan analizler sonucu Ek-B' deki grafiklerde görüldüğü üzere; A,B ve C tiplerinin her üçünde de sönüm katsayıları artırıldıkça yerdeğiştirmelerin azaldığı görülmüştür. Aynı sönüm katsayısına sahip sönümleyicilerin eklendiği sistemler arasında bir karşılaştırma yapıldığında; B-01, B-02 ve B-03 tiplerinde, tüm tipler içinde minimum yerdeğiştirmeler elde edilmiştir.

- Ek-C' deki grafiklerde görüldüğü üzere; A,B ve C tiplerinin her üçünde de sönüm katsayıları artırıldıkça ivmelerin azaldığı görülmüştür. Aynı sönüm katsayısına sahip sönümleyicilerin eklendiği sistemler arasında bir karşılaştırma yapıldığında; C-01, C-02 ve C-03 tiplerinde, tüm tipler içinde minimum ivmeler elde edilmiştir.

- Ek-D' deki grafiklerde görüldüğü üzere; A,B ve C tiplerinin her üçünde de sönüm katsayıları artırıldıkça taban kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Aynı sönüm katsayısına sahip sönümleyicilerin eklendiği sistemler arasında bir karşılaştırma yapıldığında; B-01, B-02 ve B-03 tiplerinde, tüm tipler içinde minimum taban kesme kuvvetleri elde edilmiştir.

- Ek-E' deki grafiklerde ve Tablo 5.5 'te görüldüğü üzere; A,B ve C tiplerinin her üçünde de sönüm katsayıları artırıldıkça eşdeğer viskoz sönüm oranı lineer orantılı olarak artmıştır. Aynı sönüm katsayısına sahip sönümleyicilerin eklendiği sistemler arasında bir karşılaştırma yapıldığında; B-01, B-02 ve B-03 tiplerinde 1. Modda en çok etkili olan sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra C ve A tipleri gelmektedir.

Tablo 5.5 Eşdeğer viskoz sönüm oranının modlara göre değişimi.

Mod	Eşdeğer viskoz sönüm oranı, β_{eq}								
	A01	A02	A03	B01	B02	B03	C01	C02	C03
1	0,009023	0,018045	0,036091	0,014268	0,028537	0,057073	0,012546	0,025092	0,050185
2	0,032790	0,065580	0,131159	0,039435	0,078869	0,157738	0,053551	0,107102	0,214205
3	0,052047	0,104095	0,208189	0,063020	0,126040	0,252079	0,092878	0,185756	0,371513
4	0,062858	0,125717	0,251434	0,084084	0,168168	0,336336	0,111842	0,223684	0,447367
5	0,117590	0,235180	0,470360	0,128294	0,256588	0,513177	0,180461	0,360921	0,721843
6	0,176183	0,352367	0,704734	0,193954	0,387909	0,775817	0,187512	0,375025	0,750050
7	0,135511	0,271023	0,542045	0,160555	0,321109	0,642218	0,223665	0,447330	0,894660
8	0,090612	0,181224	0,362448	0,126896	0,253791	0,507582	0,179107	0,358213	0,716427
9	0,092413	0,184826	0,369652	0,121760	0,243519	0,487038	0,138834	0,277668	0,555335
10	0,092057	0,184115	0,368230	0,108132	0,216264	0,432528	0,156054	0,312107	0,624214
11	0,080532	0,161065	0,322130	0,132098	0,264196	0,528393	0,100656	0,201313	0,402625
12	0,073995	0,147990	0,295980	0,140172	0,280344	0,560689	0,075182	0,150364	0,300728

- Ek-F' deki grafiklerde görüldüğü üzere; A,B ve C tiplerinin her üçünde de sönüm katsayılarının artırılması etkili sönümün artmasına sebep olduğu için, modal sönüm vasıtası ile yutulan enerjiyi artırmış, katların yerdeğiştirme ve hızlarının azalması sebebi ile potansiyel ve kinetik enerji yolu ile yutulan enerjiyi azalmıştır. Böylece yapının yerdeğiştirme ve hız ile harcadığı enerjinin yerini sönüm cihazları tarafından yutulan enerji almıştır. Aynı sönüm katsayısına sahip sönümleyicilerin eklendiği sistemler arasında bir karşılaştırma yapıldığında; B-01, B-02 ve B-03 tiplerinde modal sönüm enerjisinin en yüksek olduğu sonuçlar elde edilmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda 12 katlı, Şekil 4.1 'deki geometrik özelliklere sahip bir çelik yapının deprem yükleri etkisindeki yerdeğiştirmeleri azaltılmak istendiğinde ve bu amaçla yapıya lineer viskoz sönümleyici eklenmesi düşünüldüğünde en verimli yerleştirme şeklinin B tipinde seçilen olduğunu, arkasından sırasıyla C ve A tiplerinin geldiğini söylemek mümkündür. Bu sonucun çıkmasındaki en büyük etken ise B tipi yerleştirmenin kayma çerçevesi türü olan yapının 1. Temel periyodu üzerindeki etkisinin daha fazla olmasıdır.

KAYNAKLAR

ABYYHY, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi,* İstanbul.

Aiken, I. D., 1996. Proceedings, Los Angeles County and Seaosc Symposium on Passive Energy Dissipation Systems for New and Existing Buildings, Los Angeles, July 1996.

Aiken, I. D. and Kelly, M., 1990. Earthquake simulator testing and analytical studies of two energy-absorbing systems for multistory structures, Report No. UCB/EERC-90/03, University of California, Berkeley, U.S.A.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 1996. Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliği'ne Giriş, Sema Matbaacılık, İstanbul.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2000. Deprem Mühendisliği'ne Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

Constantinou, M.C. and Symans M.D., 1993. Seismic Response of Structures with Supplemental Damping, *The Structural Design of Tall Buildings***, Vol. 2**, 77-92 (1993), John Wiley & Sons, Ltd.

Fema 274, 1997. NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C.

Fema 356, 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C.

Pall, A.S. and Marsch C., 1982. Response of friction damped braced frames, *J.Struc. Engrg., ASCE*, **108(6),**1313-1323.

Soong, T.T. and Constantinou, M.C., eds., 1994. Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering, Springer-Verlag, Wien.

Tezcan, S.S. and Erkal, A., 2002. Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices, Cenkler Matbaası, İstanbul.

TS-498, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

Trevor, E.K., 2001. In-Structure Damping and Energy Dissipation, Design Guidelines, Holmes Consulting Group, New Zealand.

Tyler, R.G., 1985. Further notes on a steel energy-absorbing element for braced frameworks, *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering,***18(3),** 270-279*.*

Whittaker A.S., Bertero V.V., Alonso J.L. and Thompson C.L., 1989. Earthquake simulator testing of steel plate added damping and stiffness elements. *Report No:* **UCB/EERC-89/02,** University of California, Berkeley.

EKLER

Ek-A : Tüm sistemlerin sönümsüz serbest titreşimleri için ilk 4 moda ait mod şekilleri.

Ek-B : Bütün sistemler için Zaman Tanım Alanı yüklemesi altında karşılaştırmalı Yerdeğiştirme-Zaman grafikleri.

Ek-C : Bütün sistemler için Zaman Tanım Alanı yüklemesi altında karşılaştırmalı İvme-Zaman grafikleri.

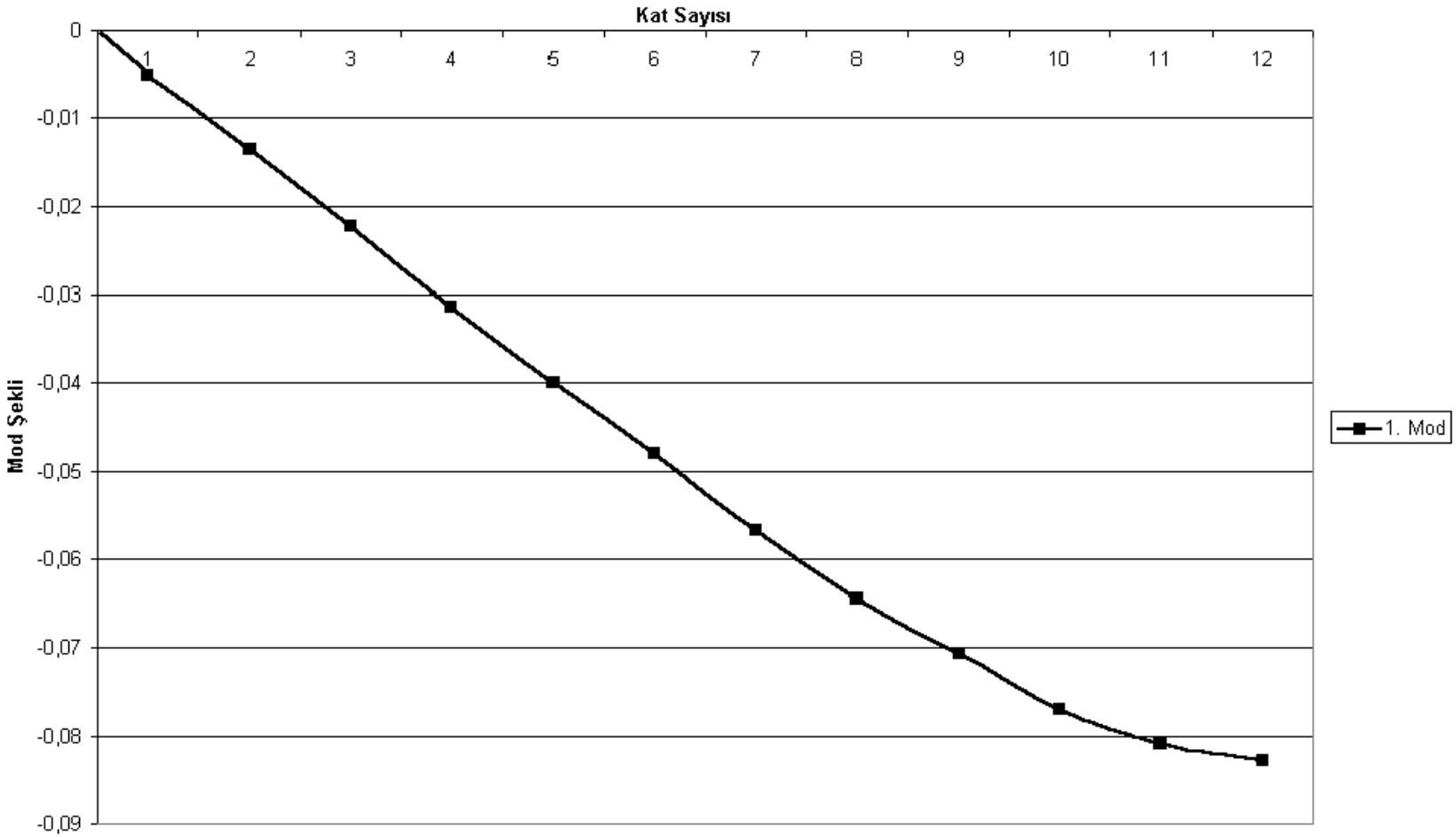
Ek-D : Bütün sistemler için Zaman Tanım Alanı yüklemesi altında karşılaştırmalı Taban Kesme Kuvveti-Zaman grafikleri.

Ek-E : Bütün sistemler için Zaman Tanım Alanı yüklemesi altında karşılaştırmalı Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı-Mod Şekli grafikleri.

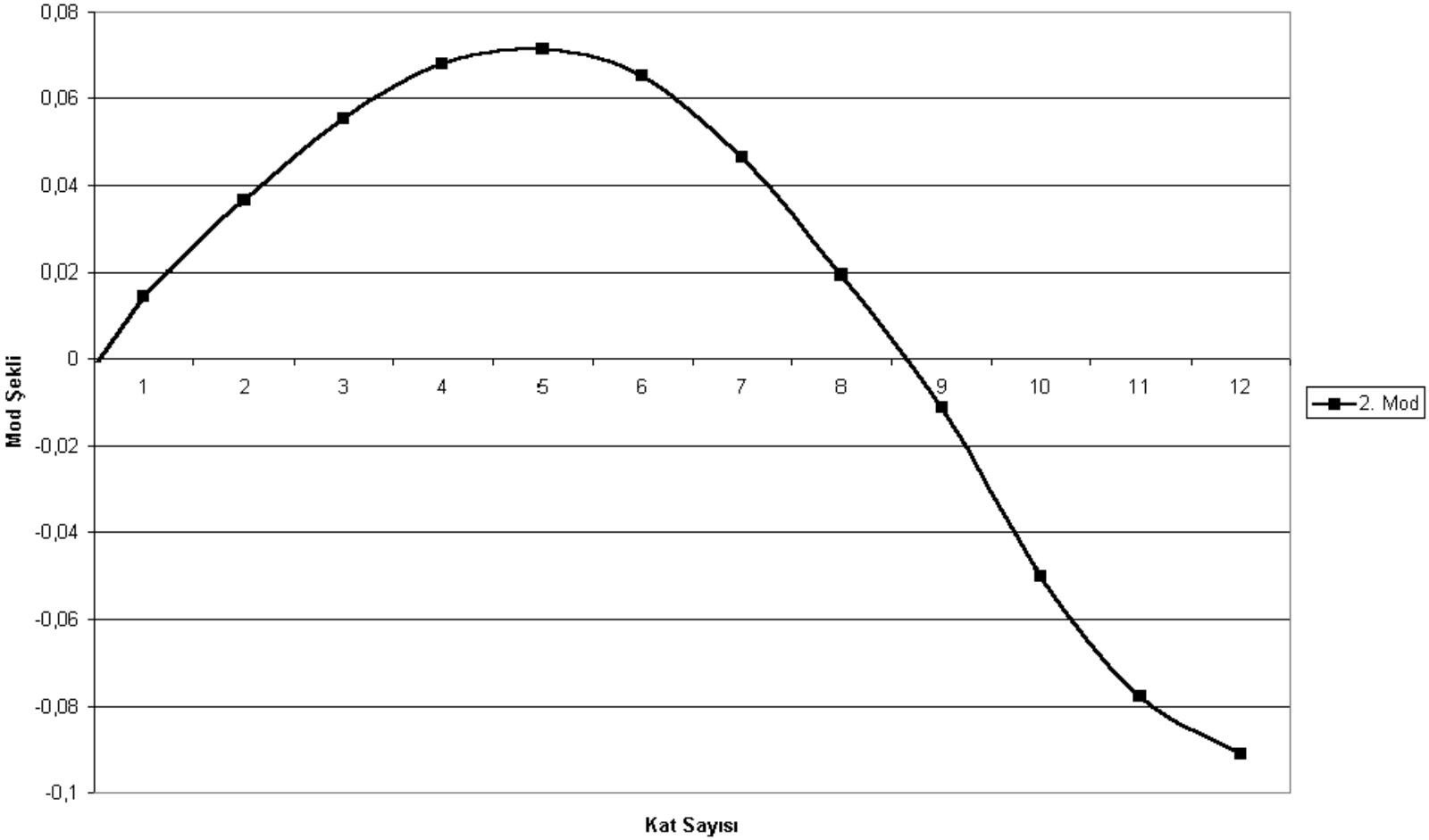
Ek-F : Bütün sistemler için Zaman Tanım Alanı yüklemesi altında Enerji-Zaman grafikleri.

Ek-G : B-03 sistemine ait Sap2000 veri dosyası ve El Centro 1940 Depremi Kuzey-Güney ivme bileşen kaydı.

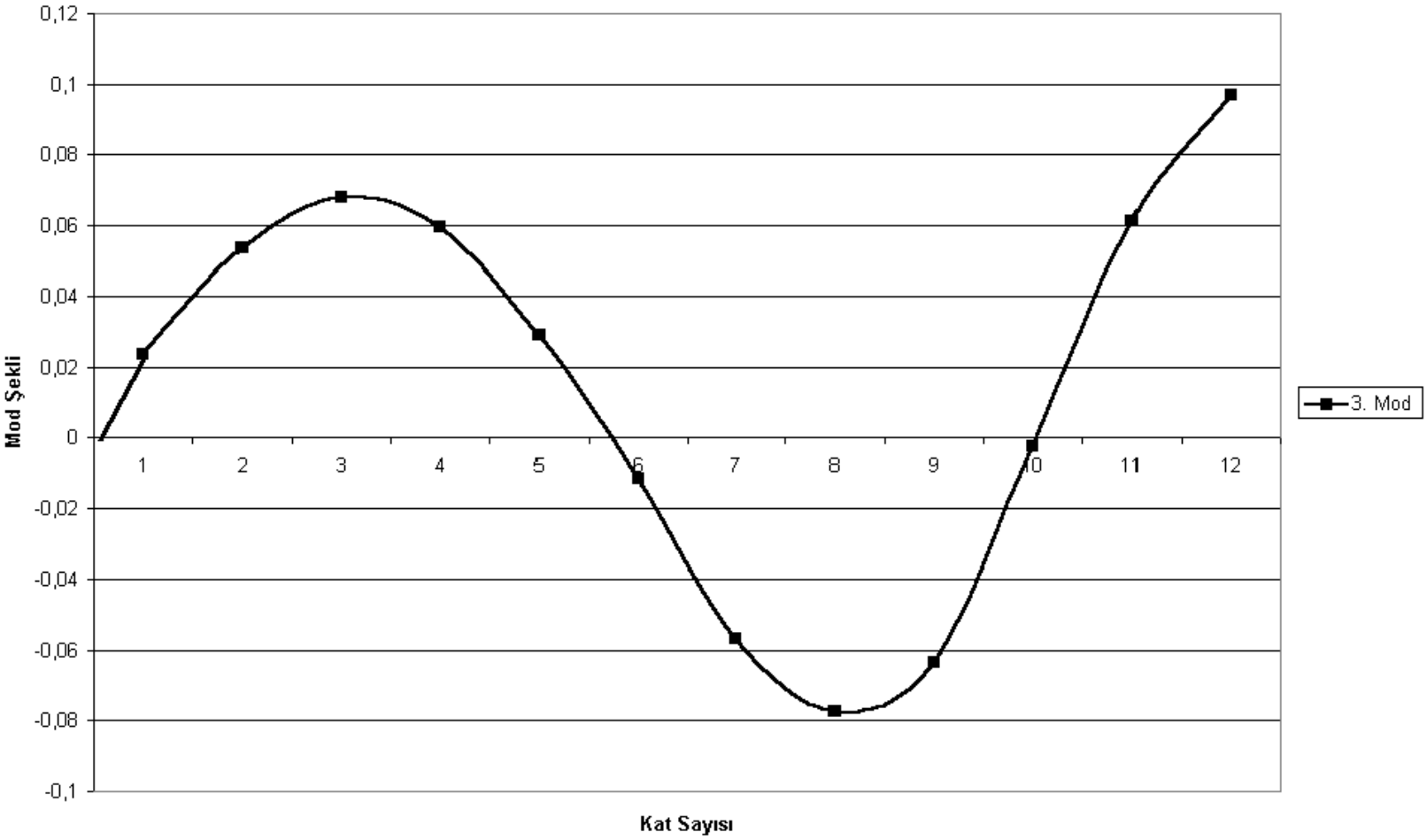
EK A



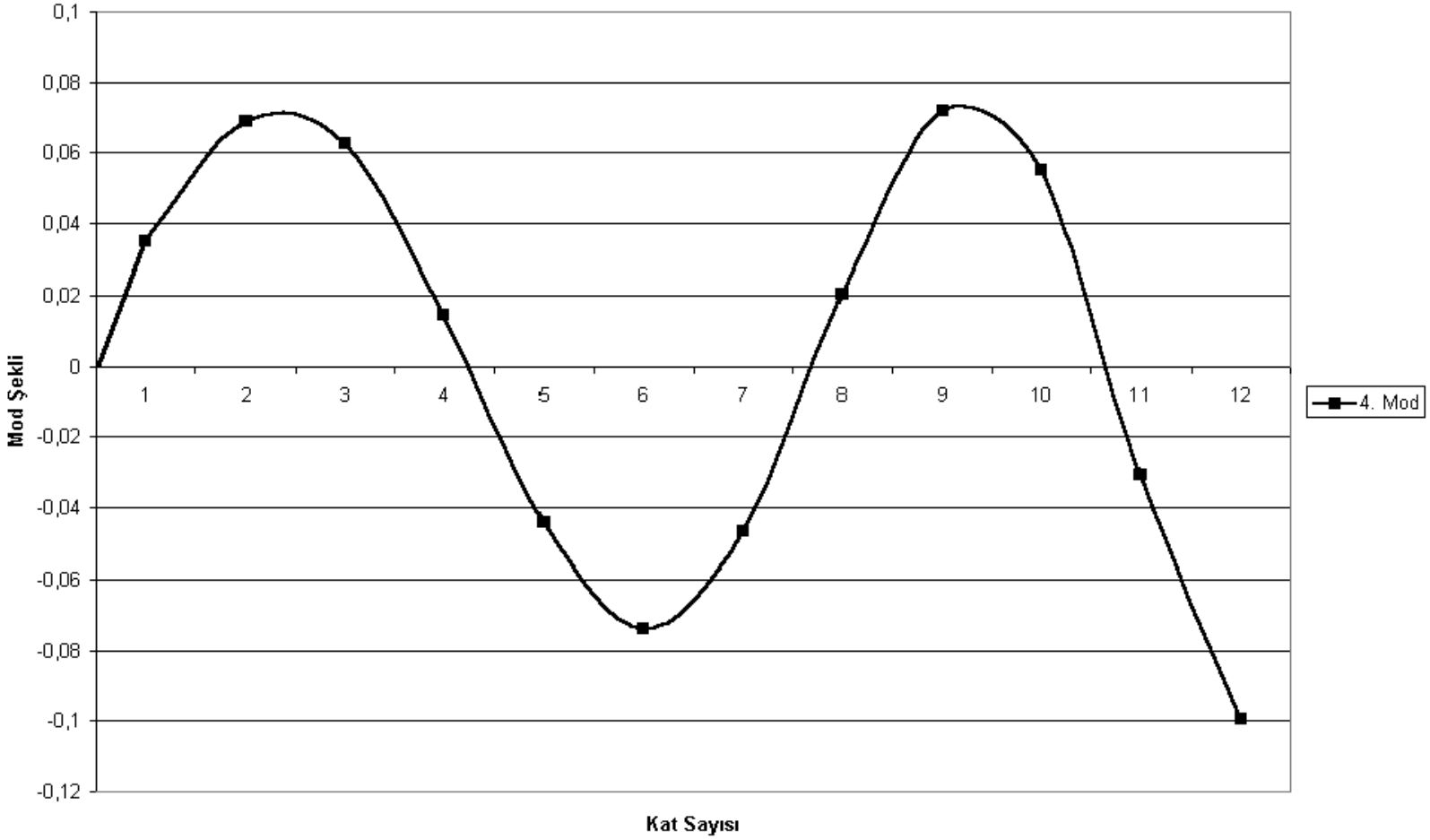
Şekil A.1 Tüm sistemler için sönümsüz serbest titreşime ait 1.Mod Şekli.



Şekil A.2 Tüm sistemler için sönümsüz serbest titreşime ait 2.Mod Şekli.

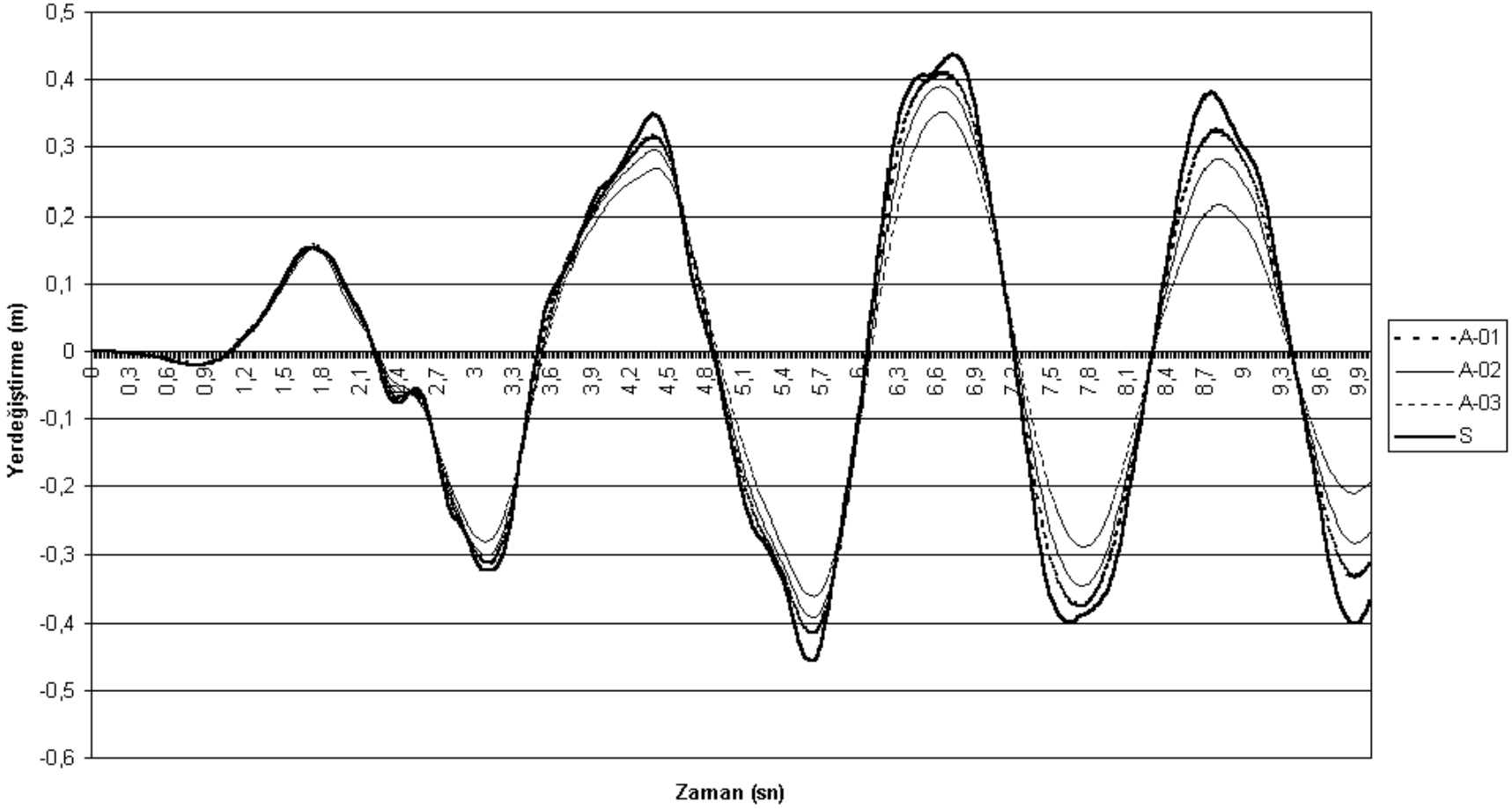


Şekil A.3 Tüm sistemler için sönümsüz serbest titreşime ait 3.Mod Şekli.

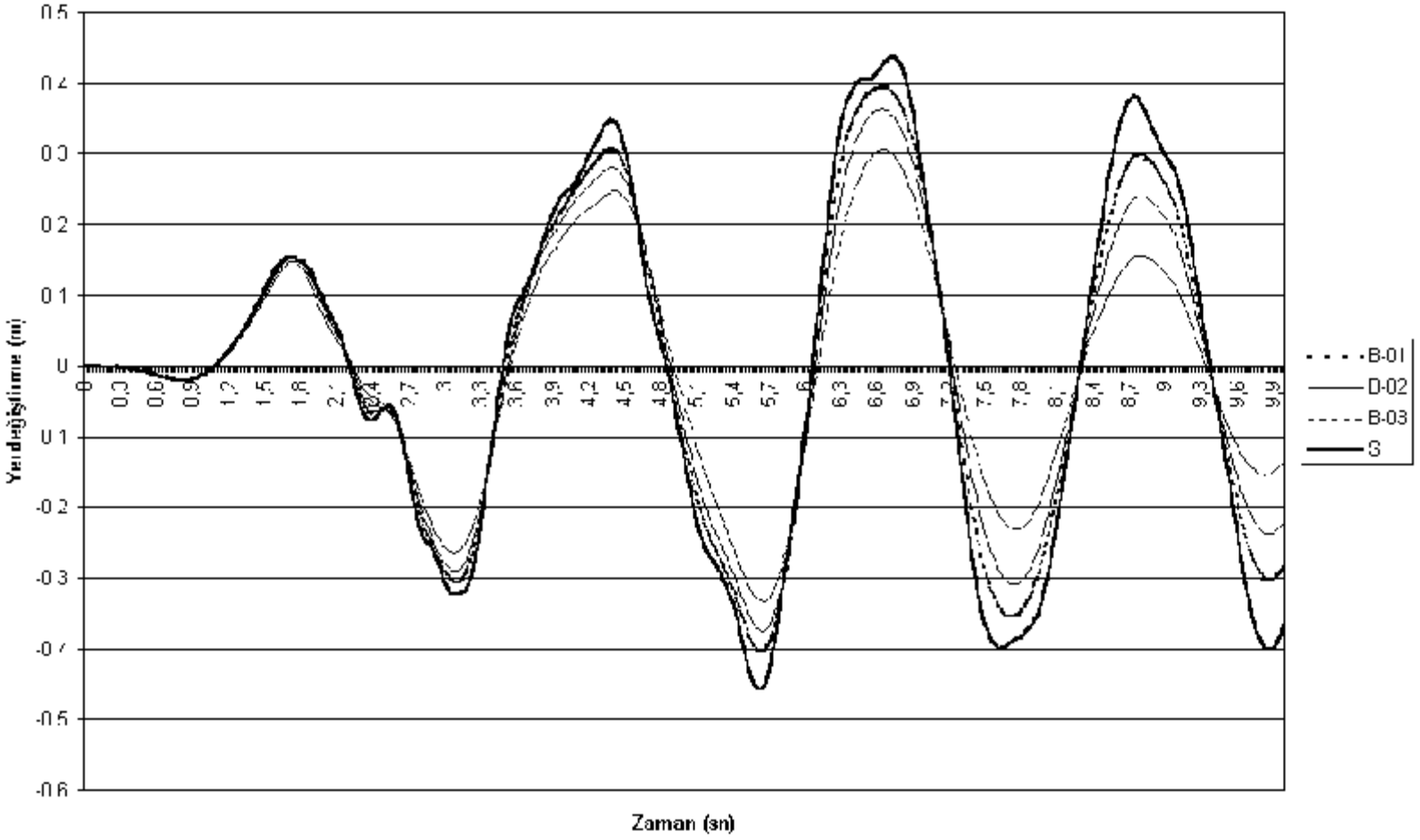


Şekil A.4 Tüm sistemler için sönümsüz serbest titreşime ait 4.Mod Şekli.

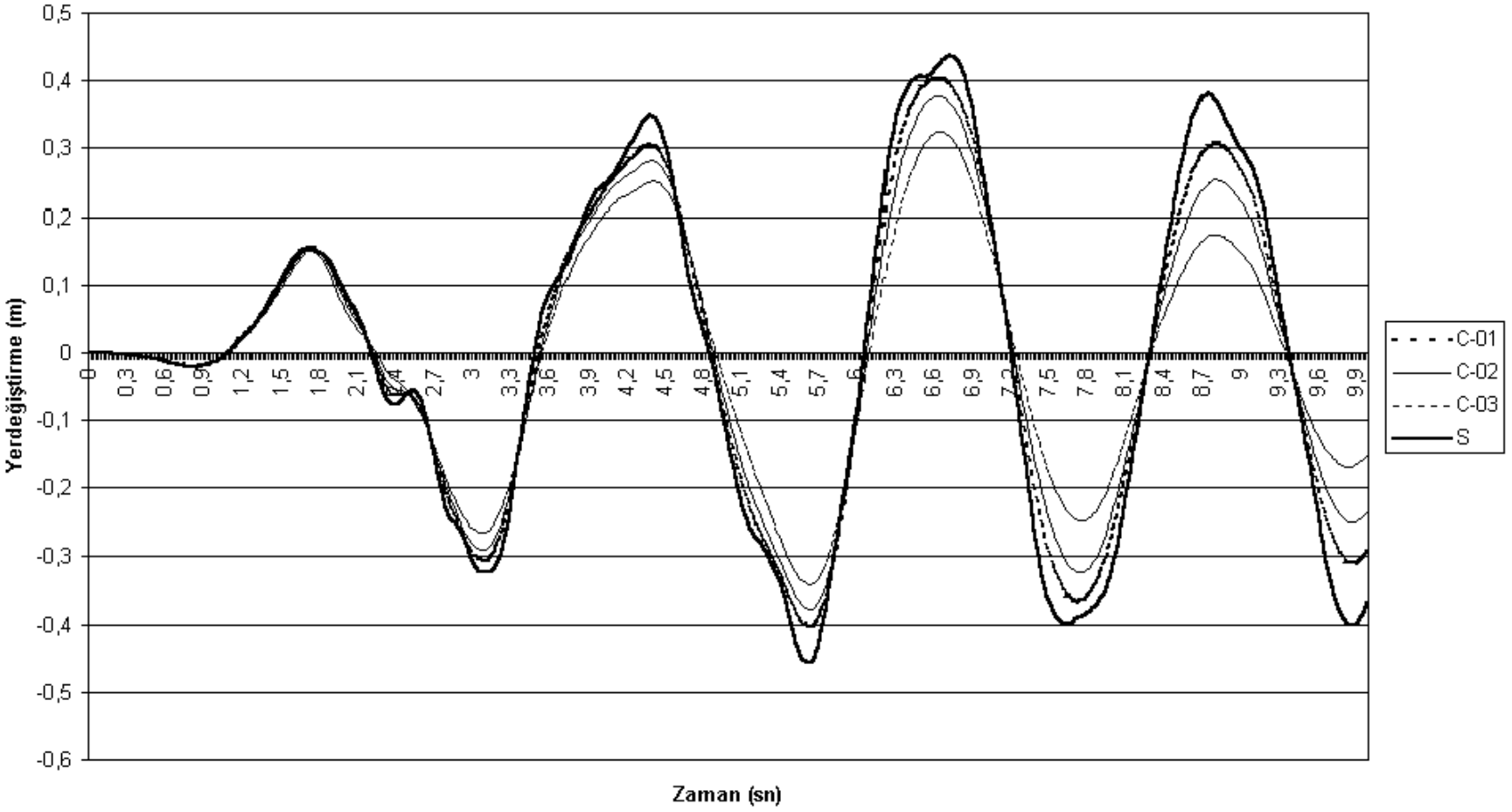
EK B



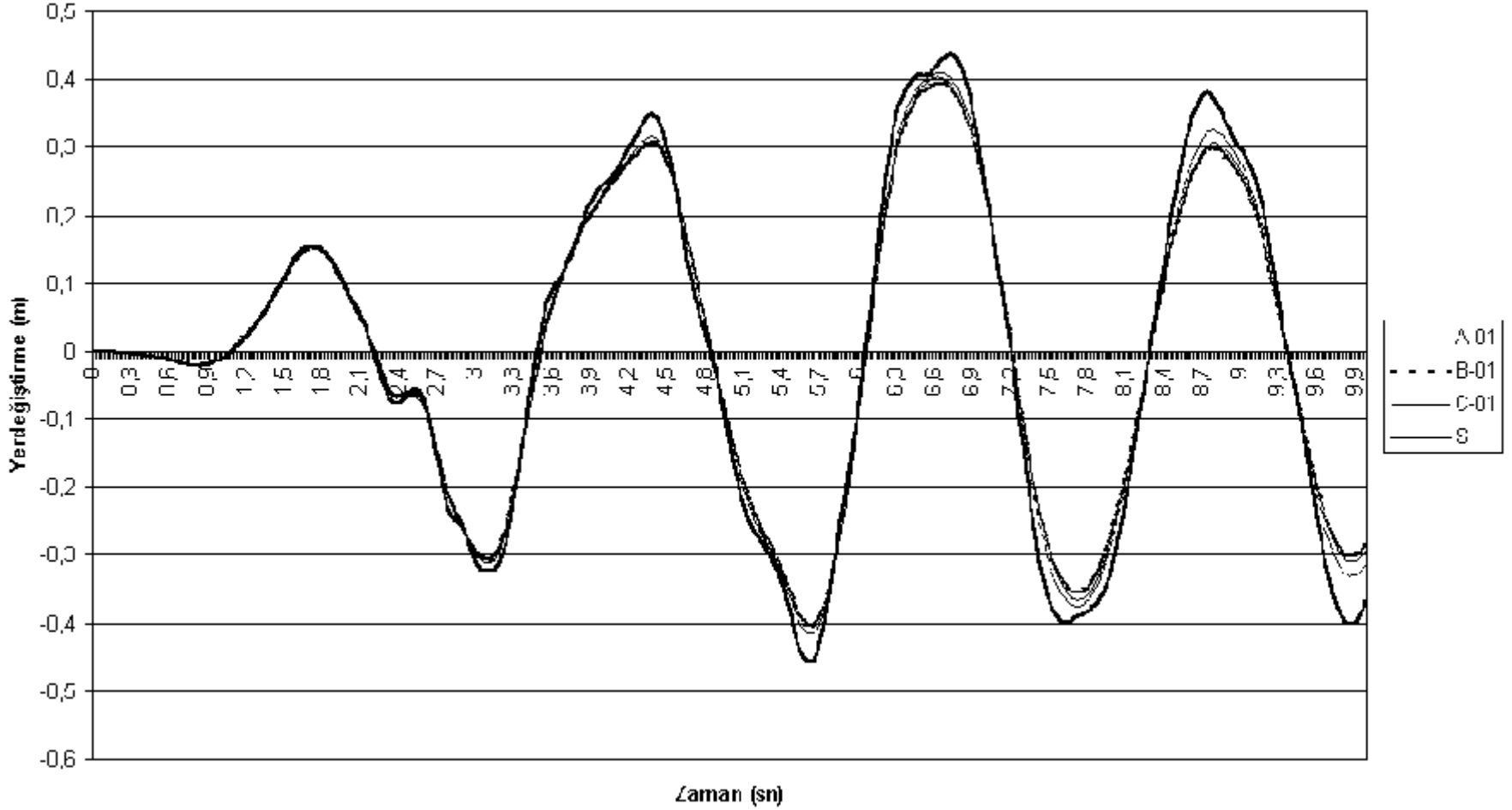
Şekil B.1 A-01, A-02, A-03, S Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının Yerdeğiştirme-Zaman Grafiği.



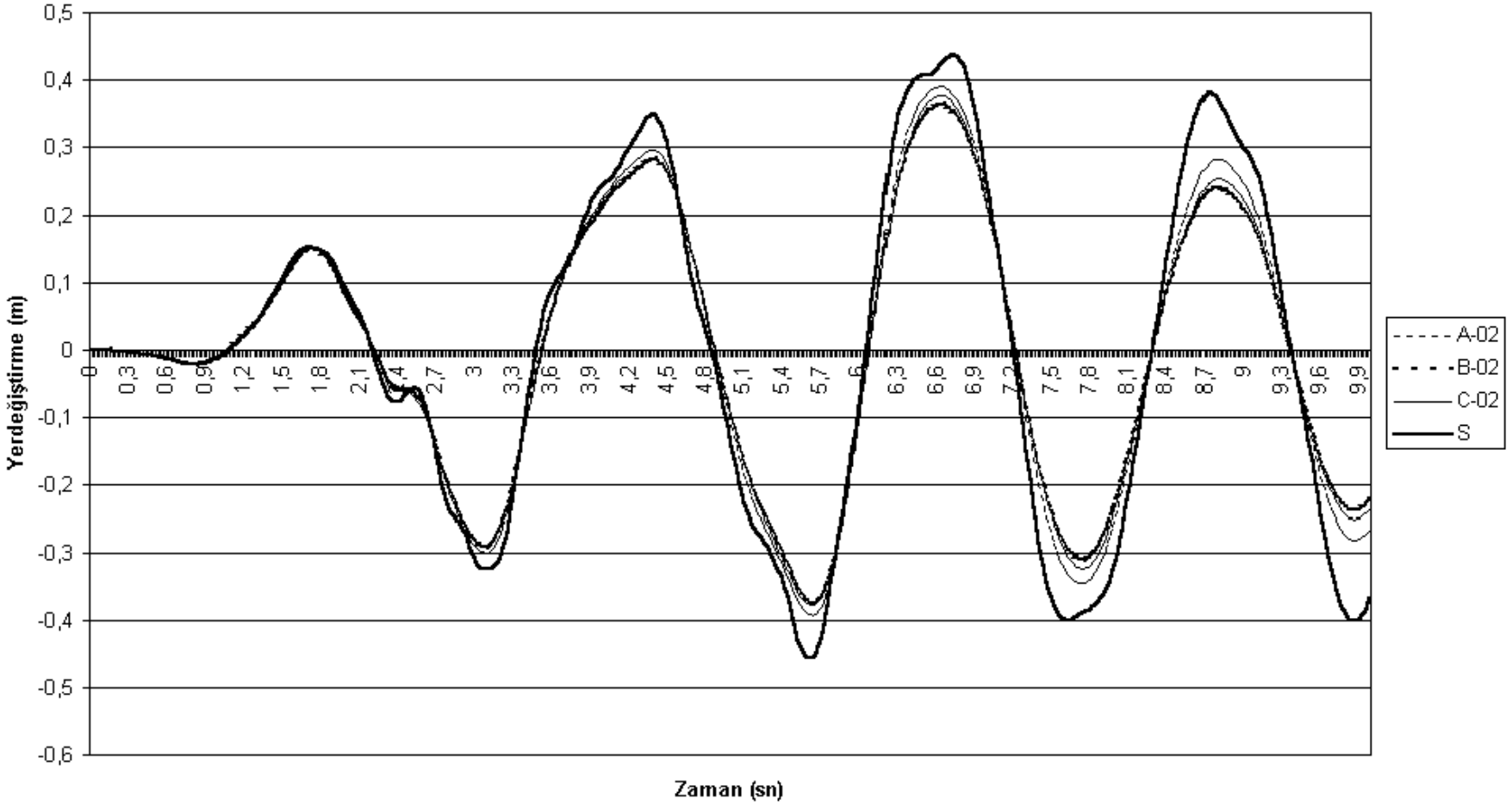
Şekil B.2 B-01, B-02, B-03,S Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının Yerdeğiştirme-Zaman Grafiği.



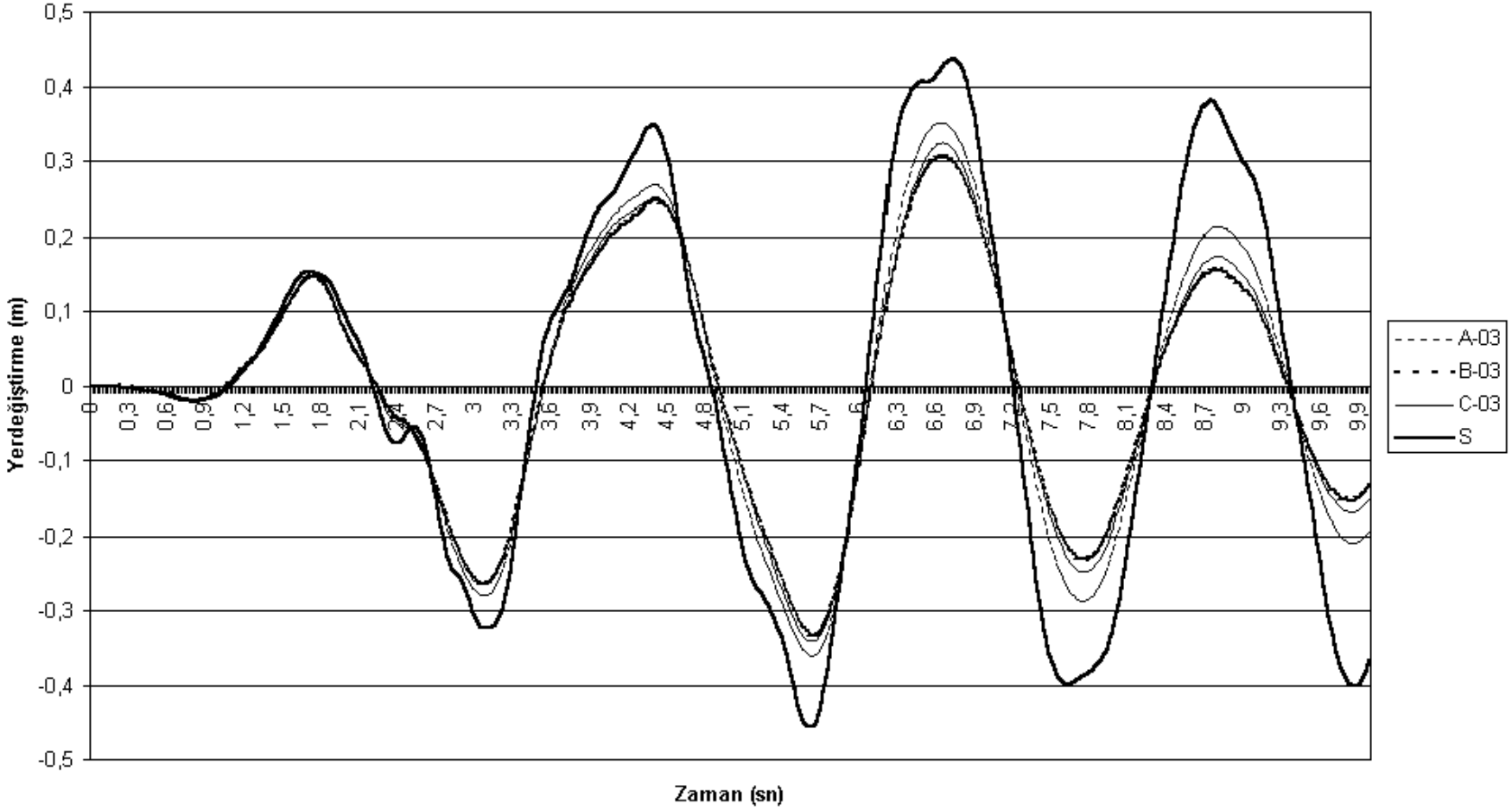
Şekil B.3 C-01, C-02, C-03, S Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının Yerdeğiştirme -Zaman Grafiği.



Şekil B.4 A-01, B-01, C-01,S Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının Yerdeğiştirme -Zaman Grafiği.

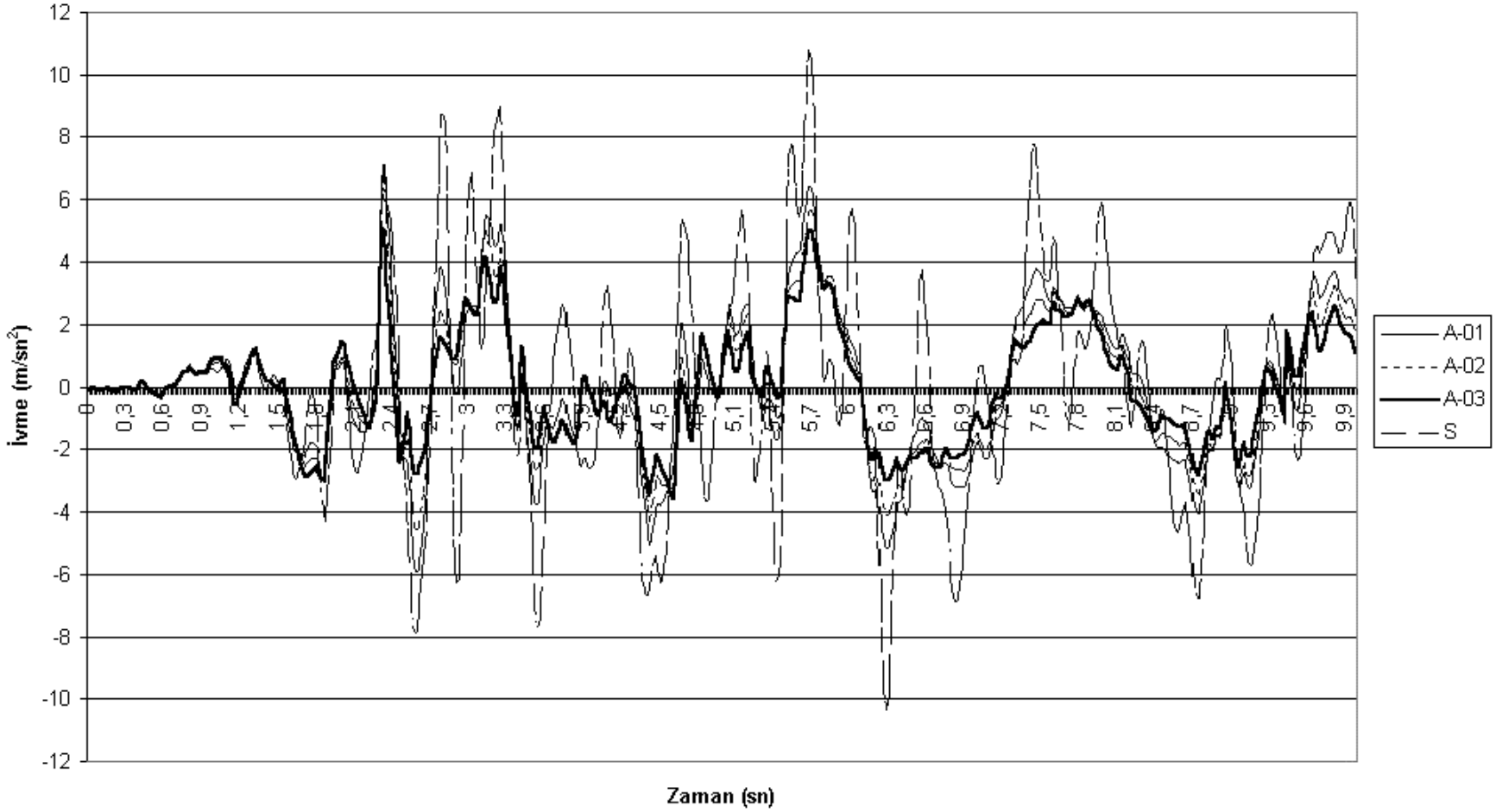


Şekil B.5 A-02, B-02, C-02, S Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının Yerdeğiştirme -Zaman Grafiği.

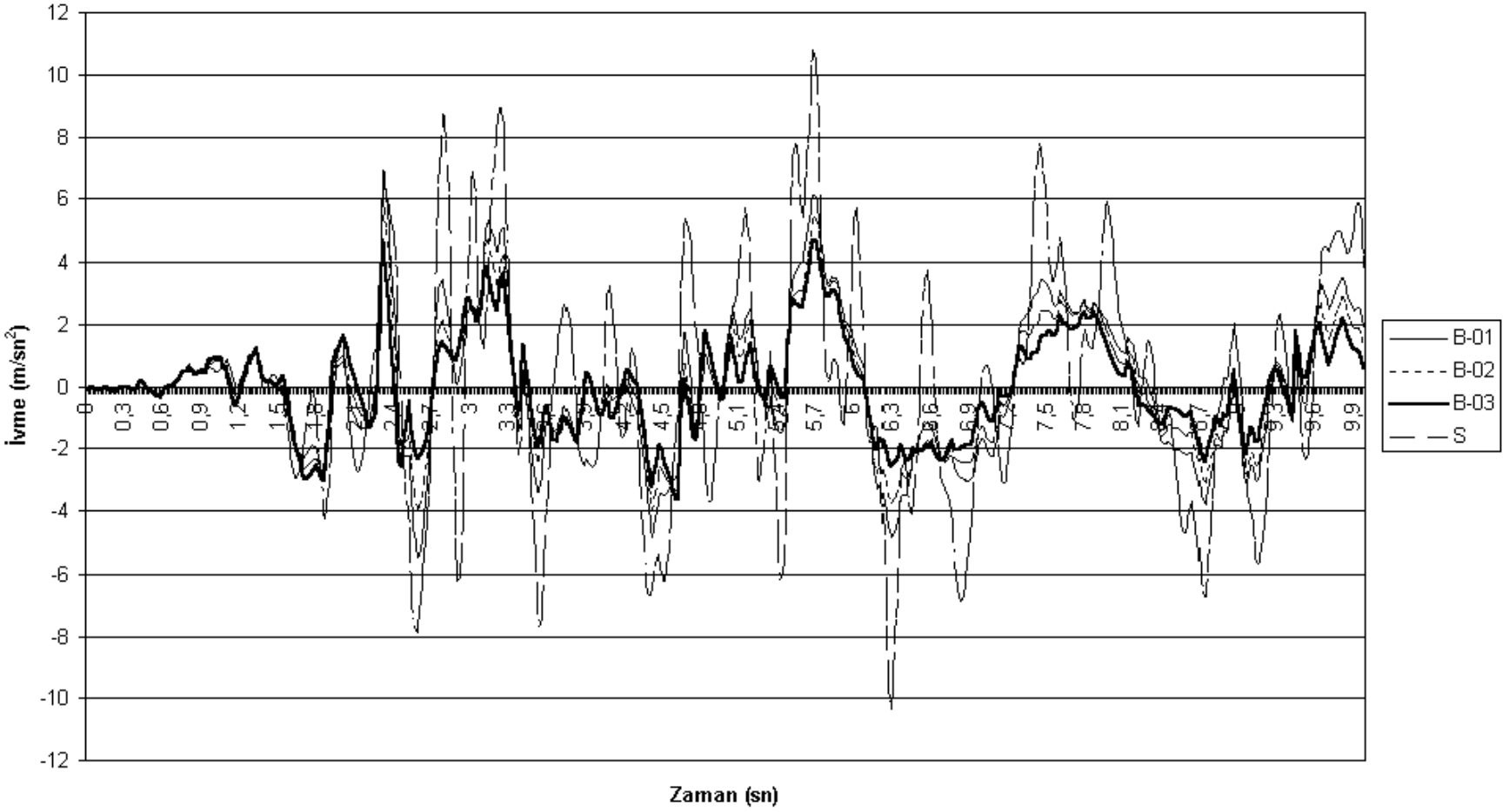


Şekil B.6 A-03, B-03, C-03, S Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının Yerdeğiştirme -Zaman Grafiği.

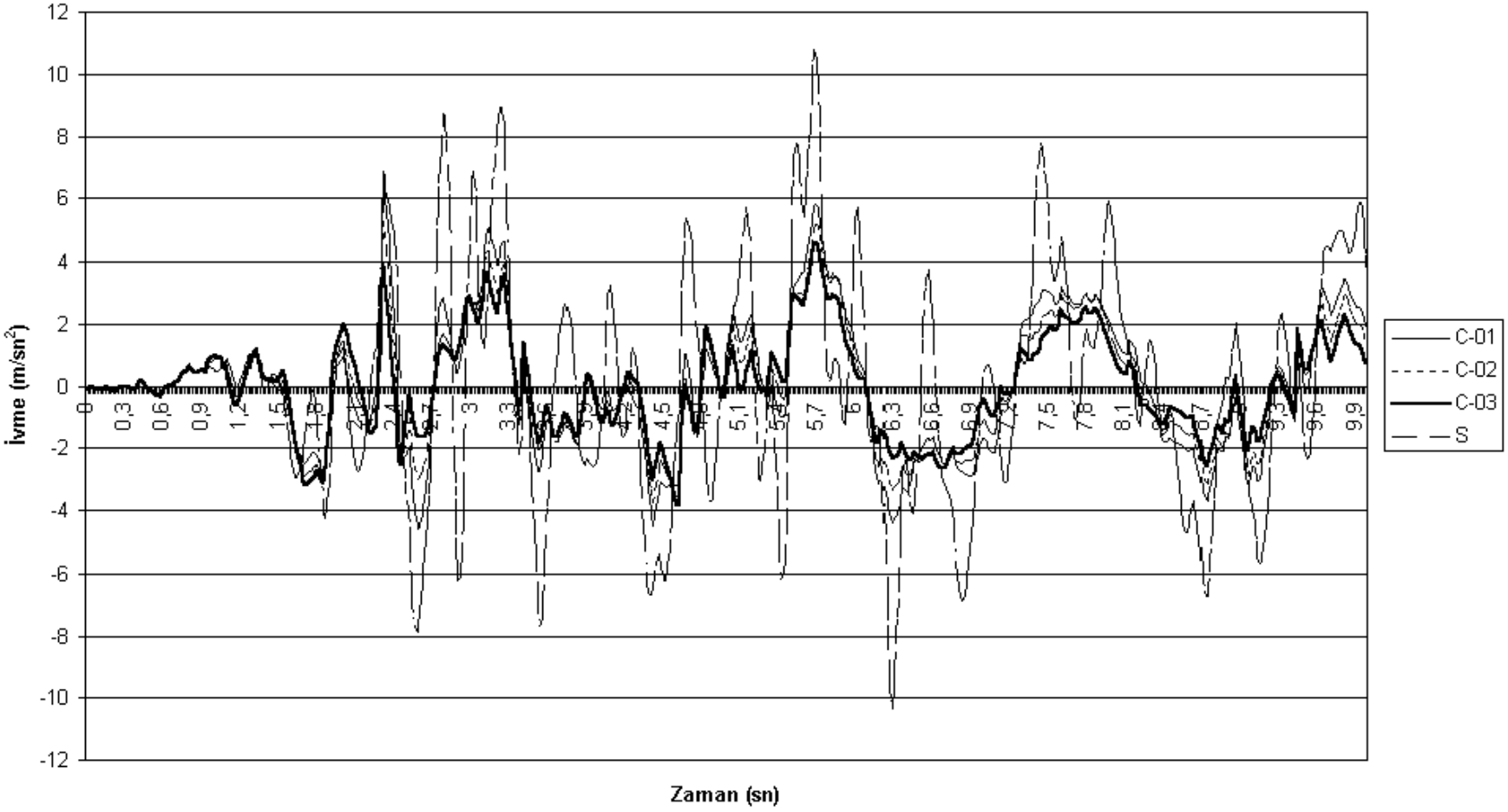
EK C



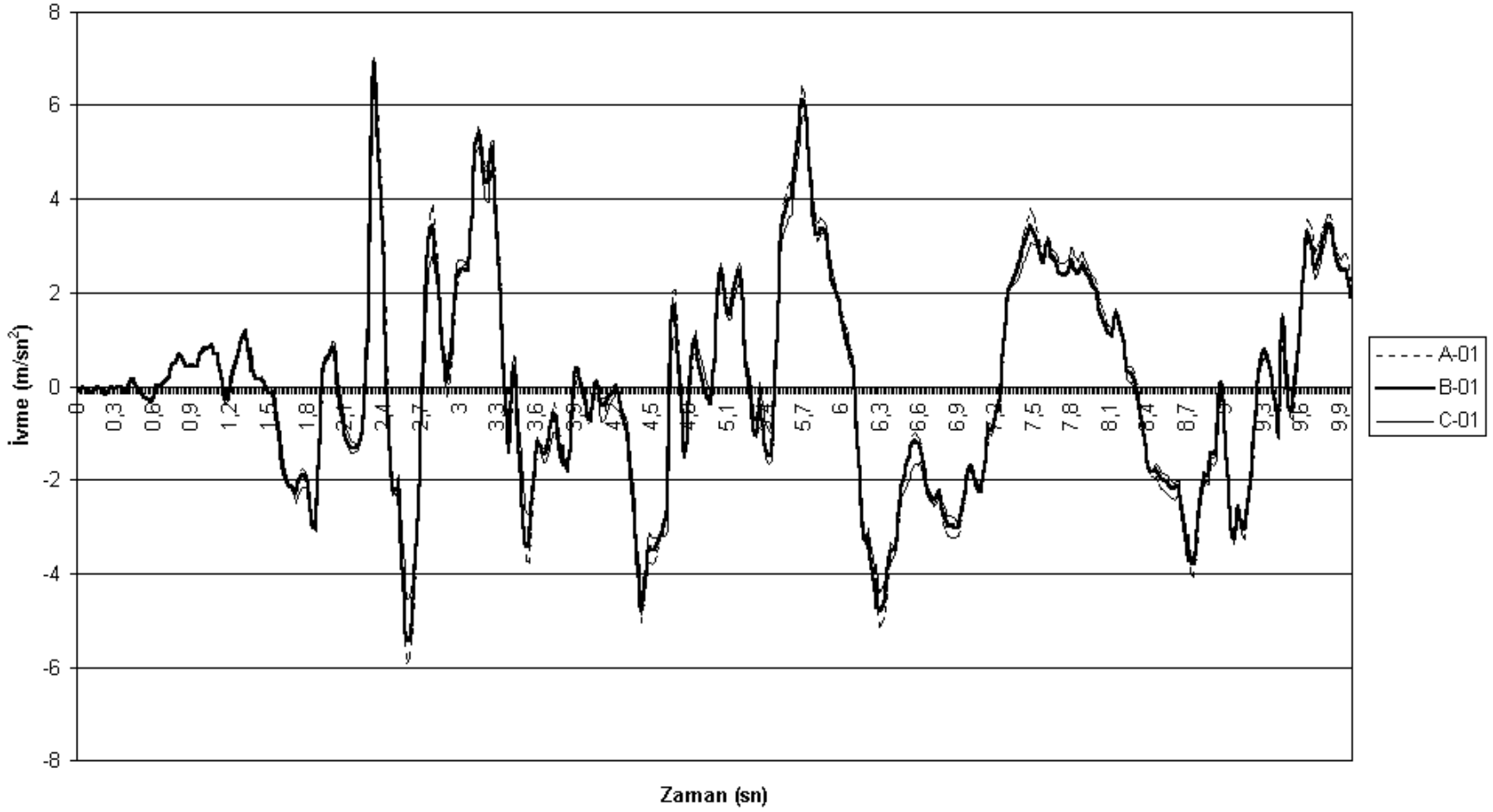
Şekil C.1 A-01, A-02, A-03, S Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının İvme-Zaman Grafiği.



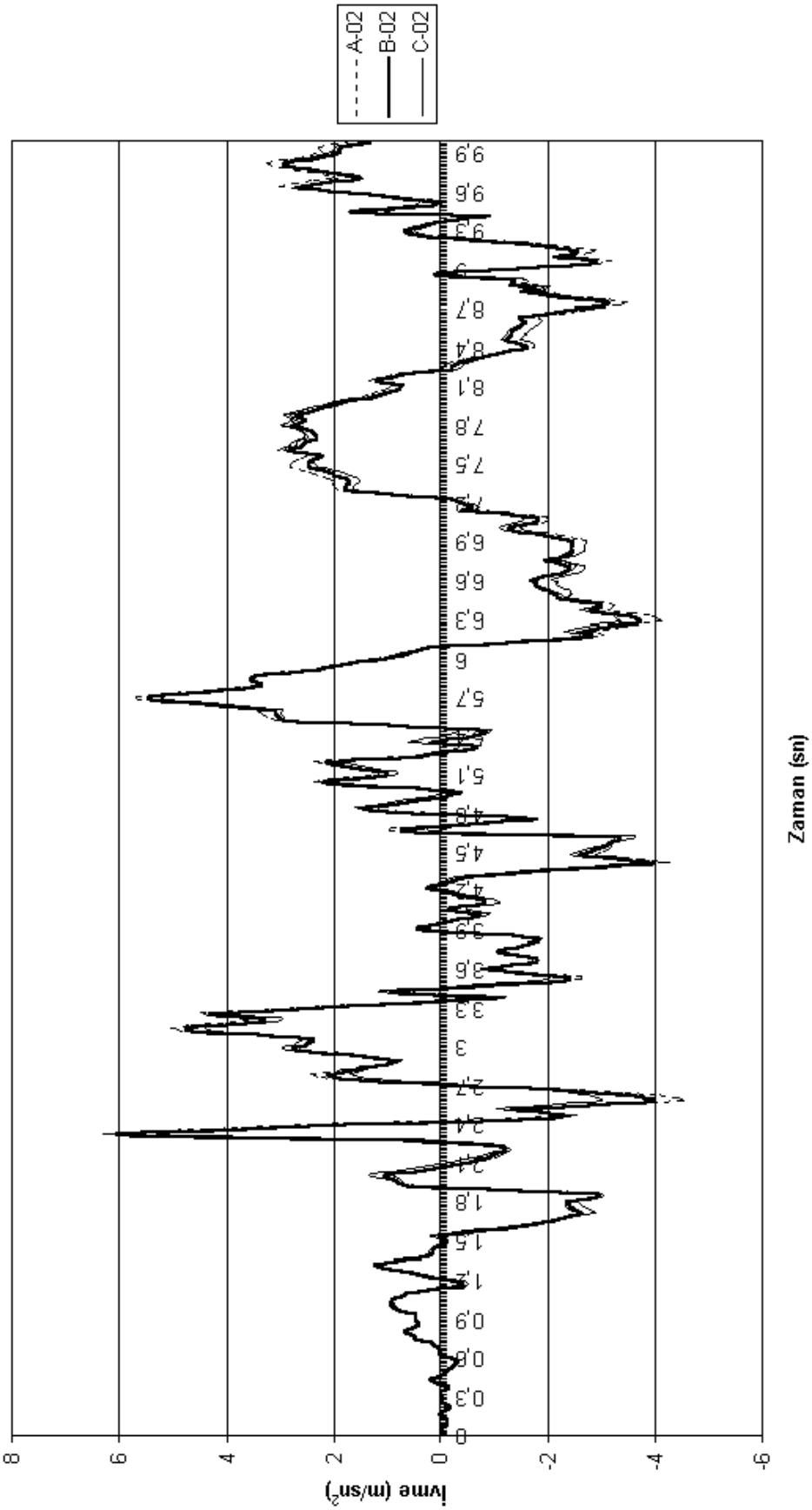
Şekil C.2 B-01, B-02, B-03,S Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının İvme -Zaman Grafiği.



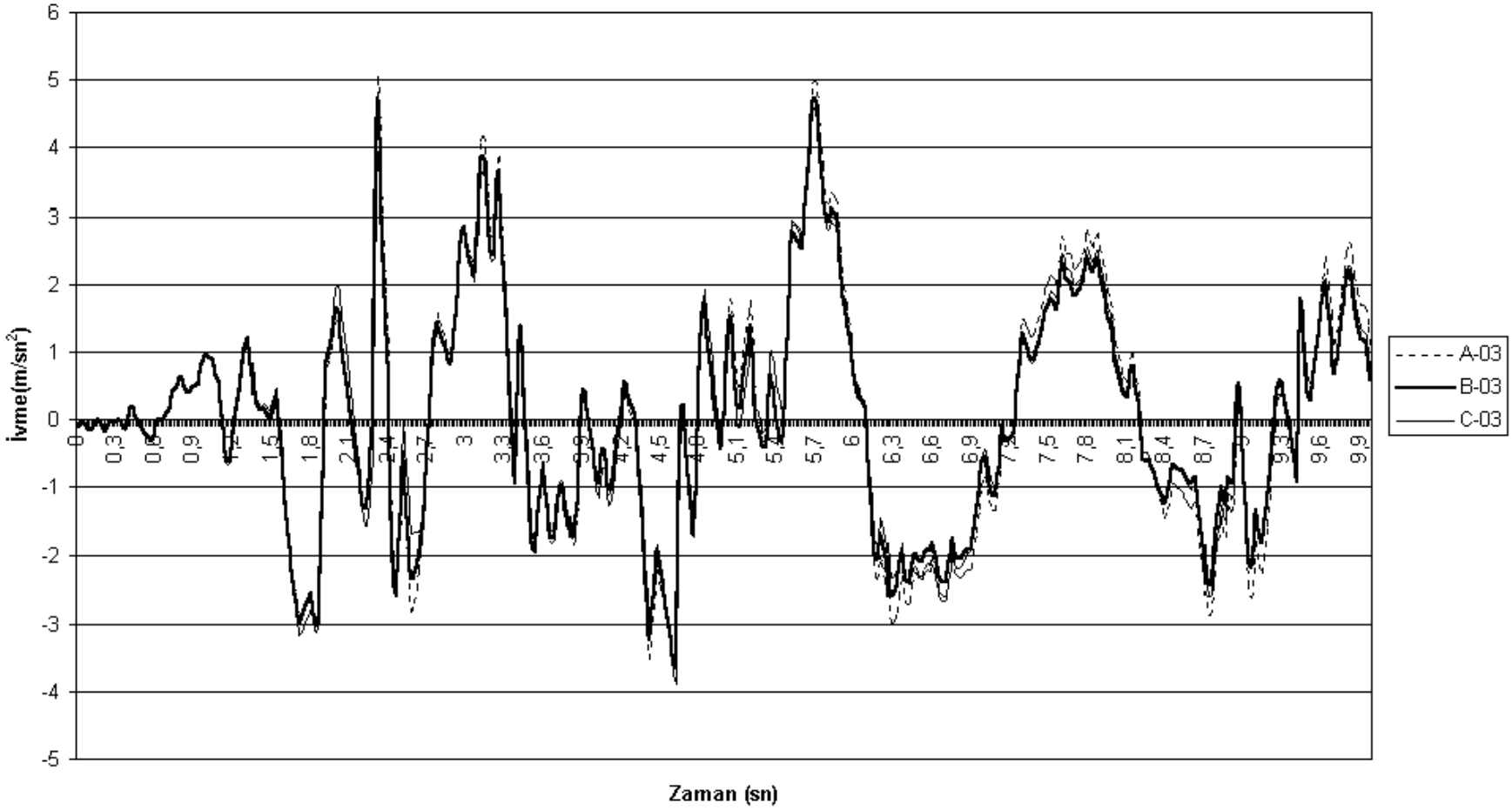
Şekil C.3 C-01, C-02, C-03, S Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının İvme-Zaman Grafiği.



Şekil C.4 A-01, B-01, C-01 Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının İvme-Zaman Grafiği.

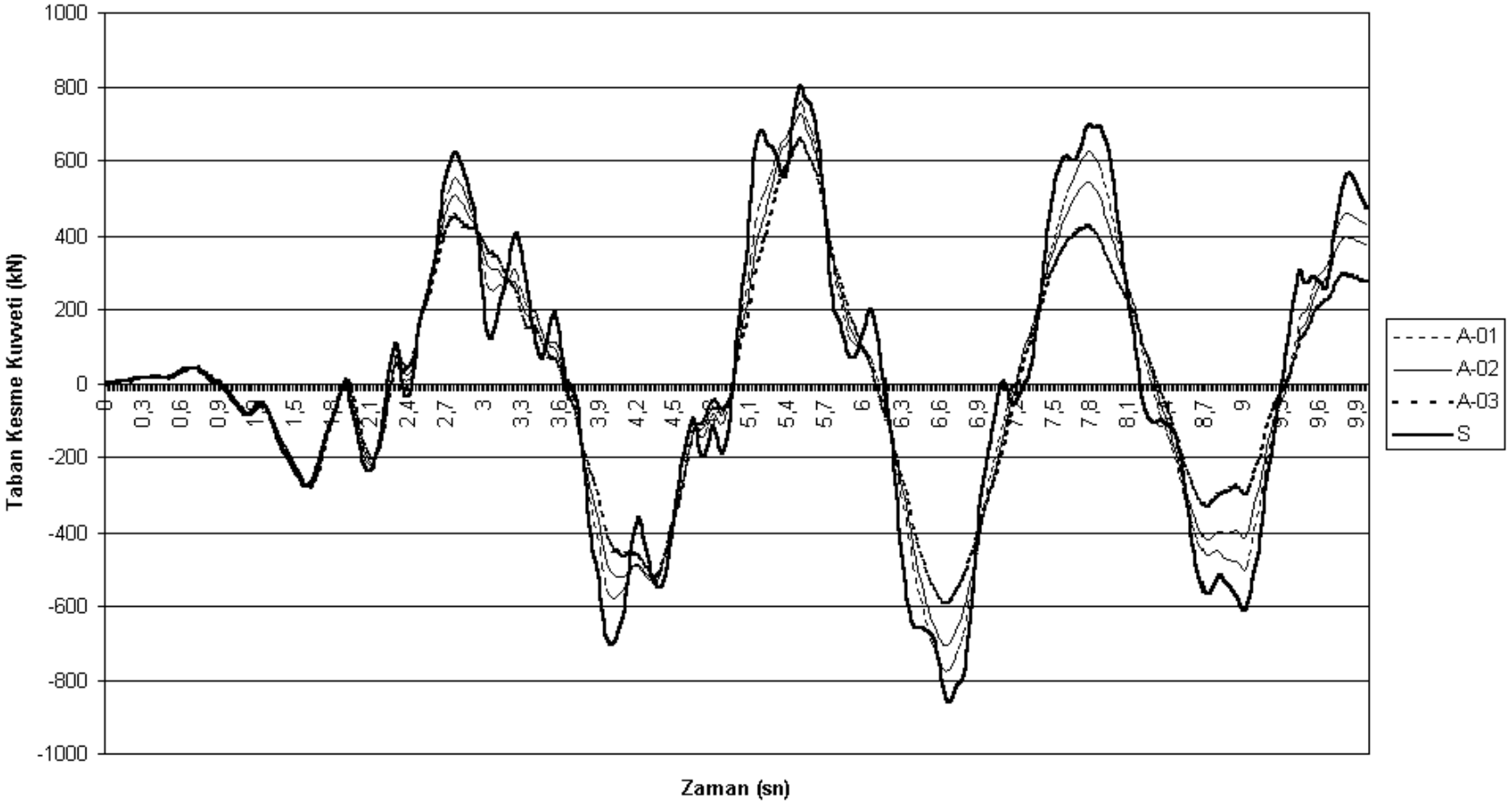


Şekil C.5 A-02, B-02, C-02 Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının İvme-Zaman Grafiği.

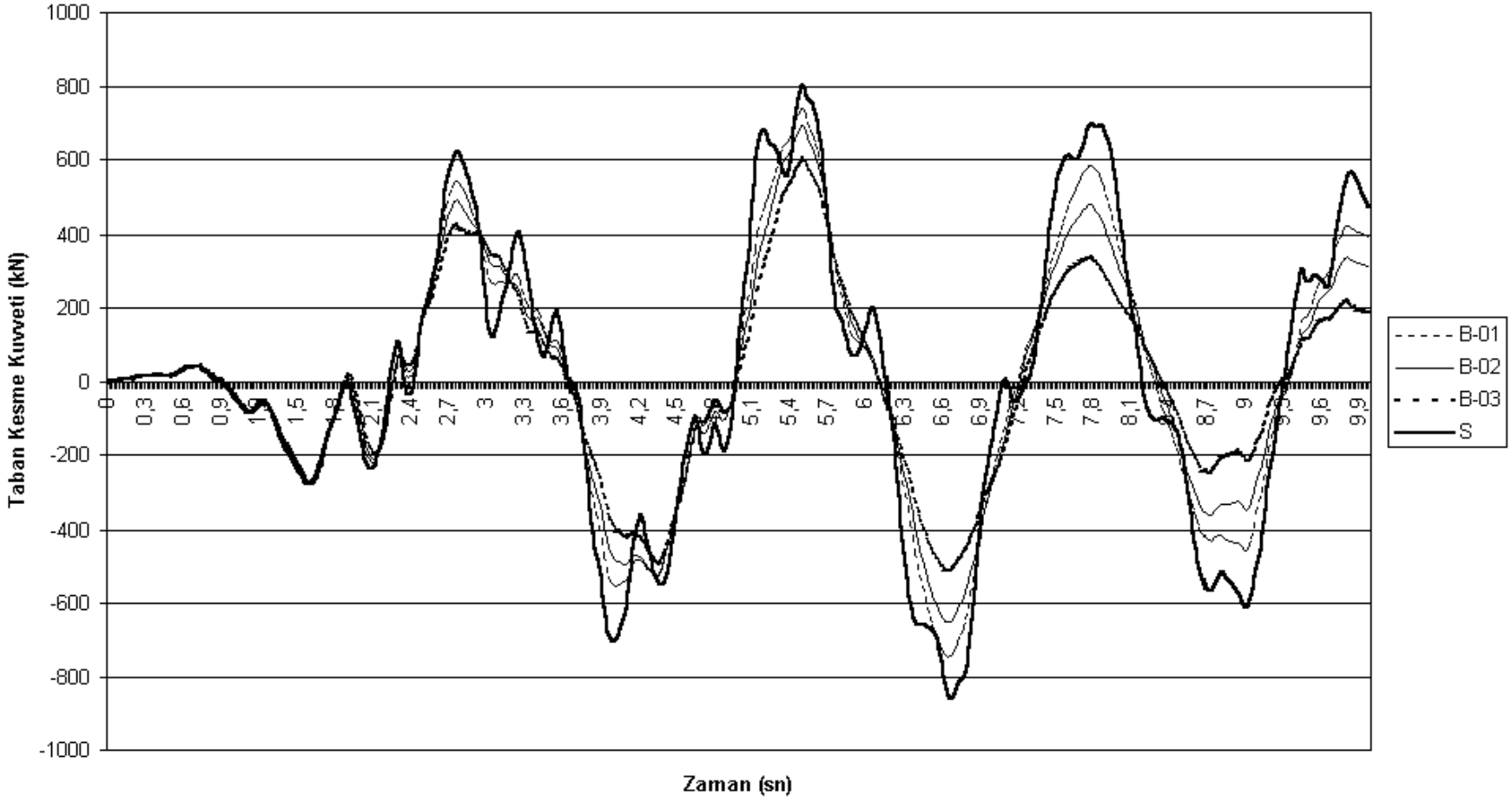


Şekil C.6 A-03, B-03, C-03 Sistemlerine ait 52 No'lu Düğüm Noktasının İvme-Zaman Grafiği.

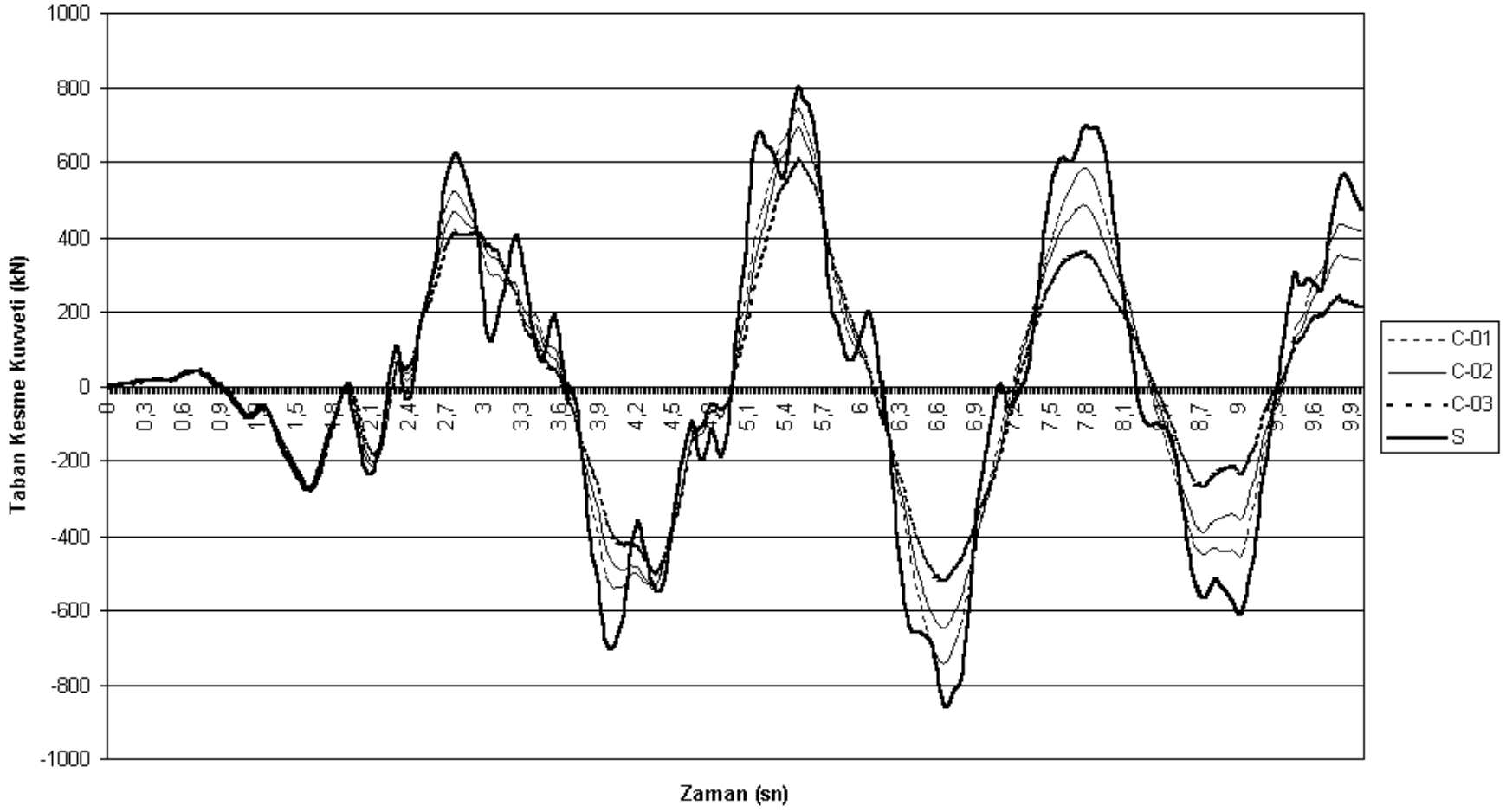
EK D



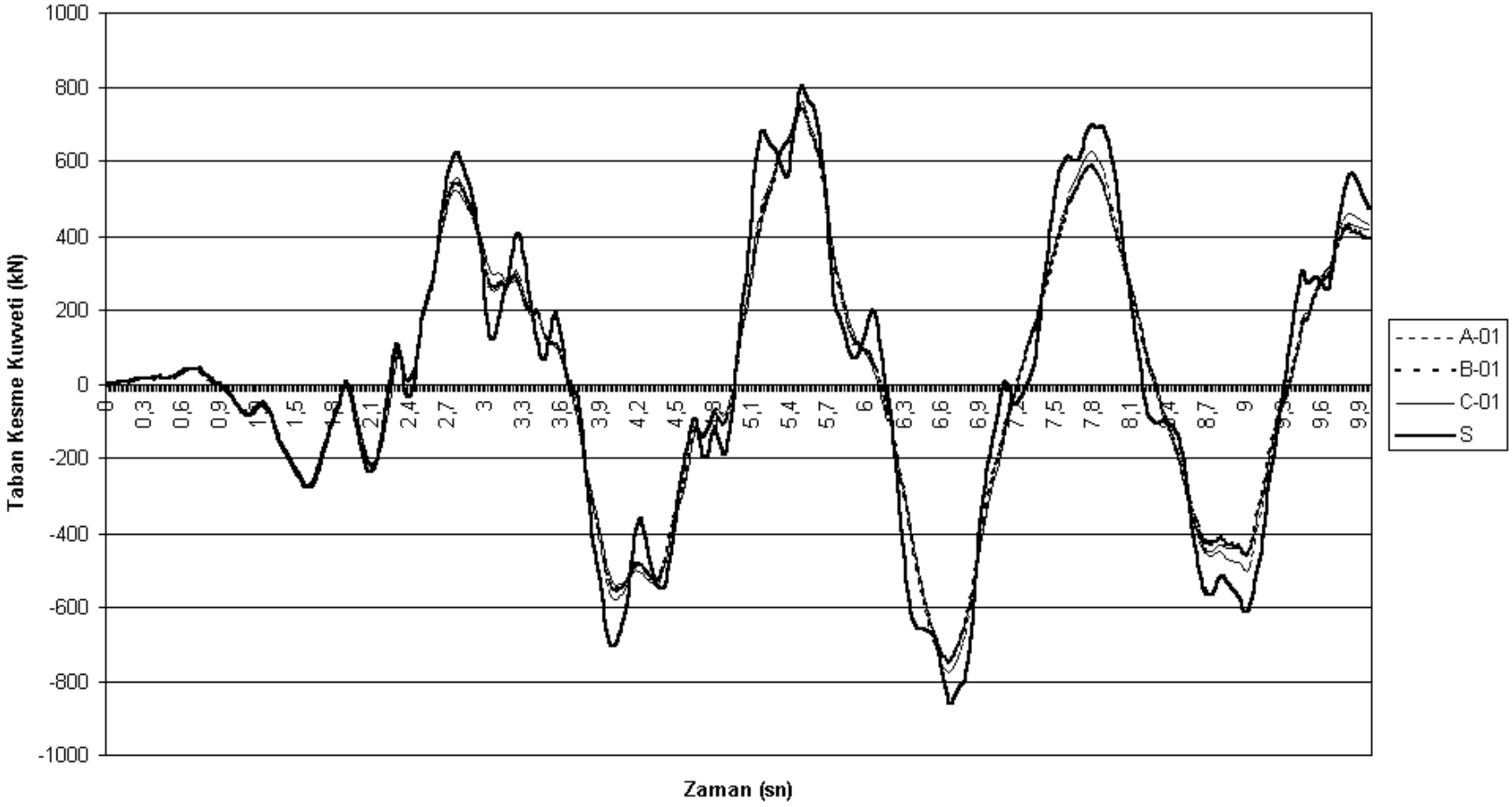
Şekil D.1 A-01, A-02, A-03, S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği.



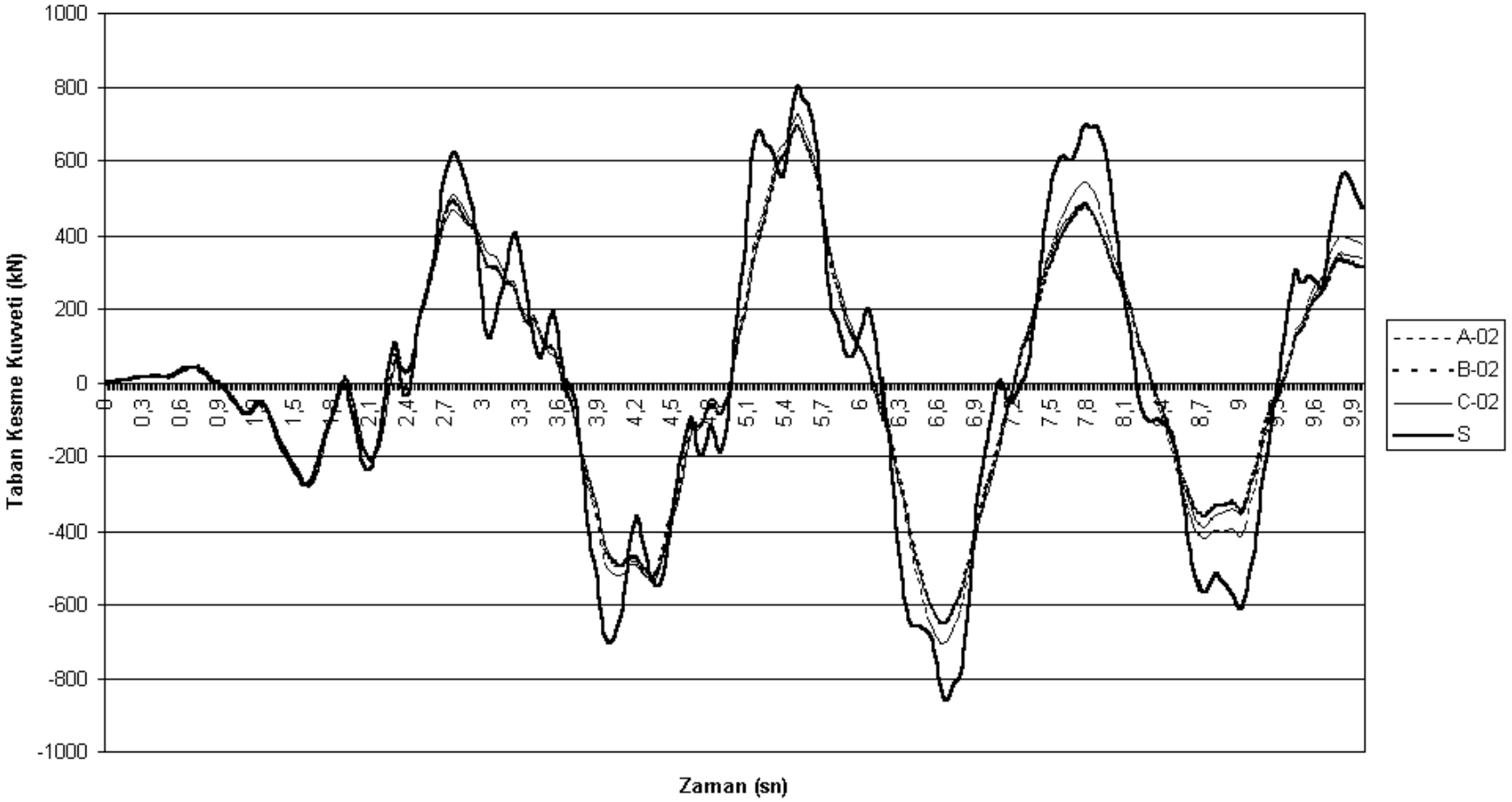
Şekil D.2 B-01, B-02, B-03, S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği.



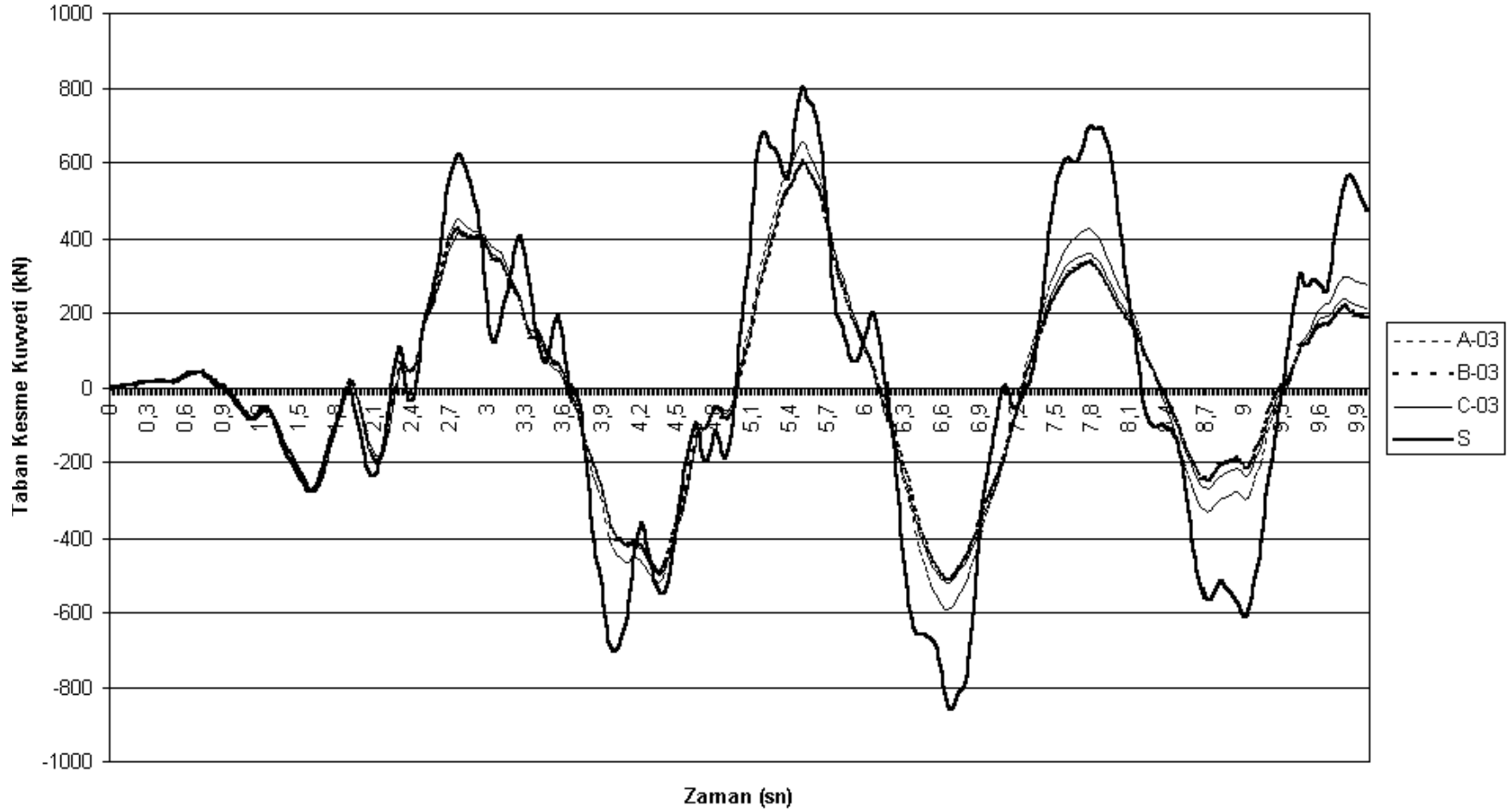
Şekil D.3 C-01, C-02, C-03, S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği.



Şekil D.4 A-01, B-01, C-01, S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği.

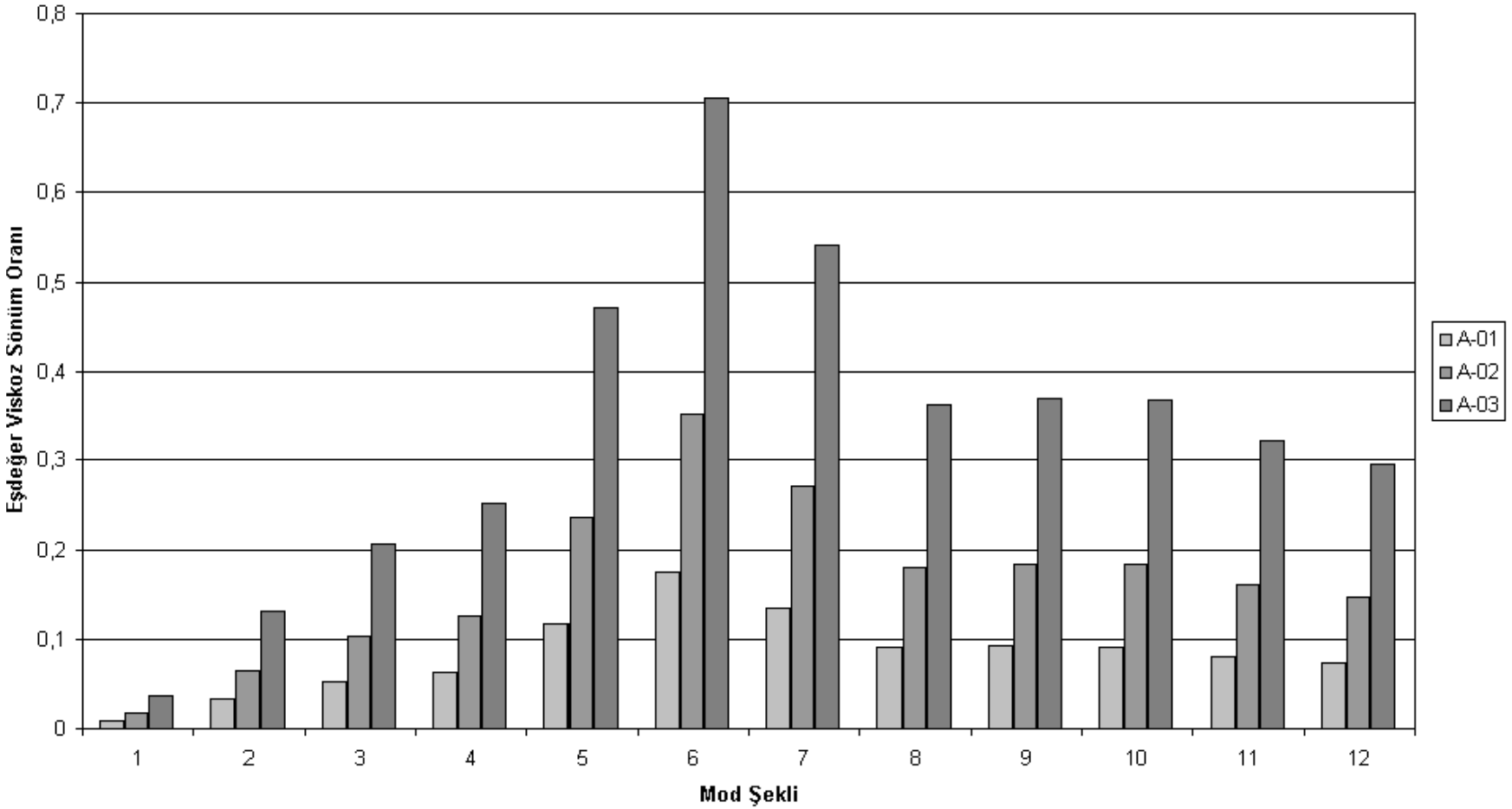


Şekil D.5 A-02, B-02, C-02, S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği.

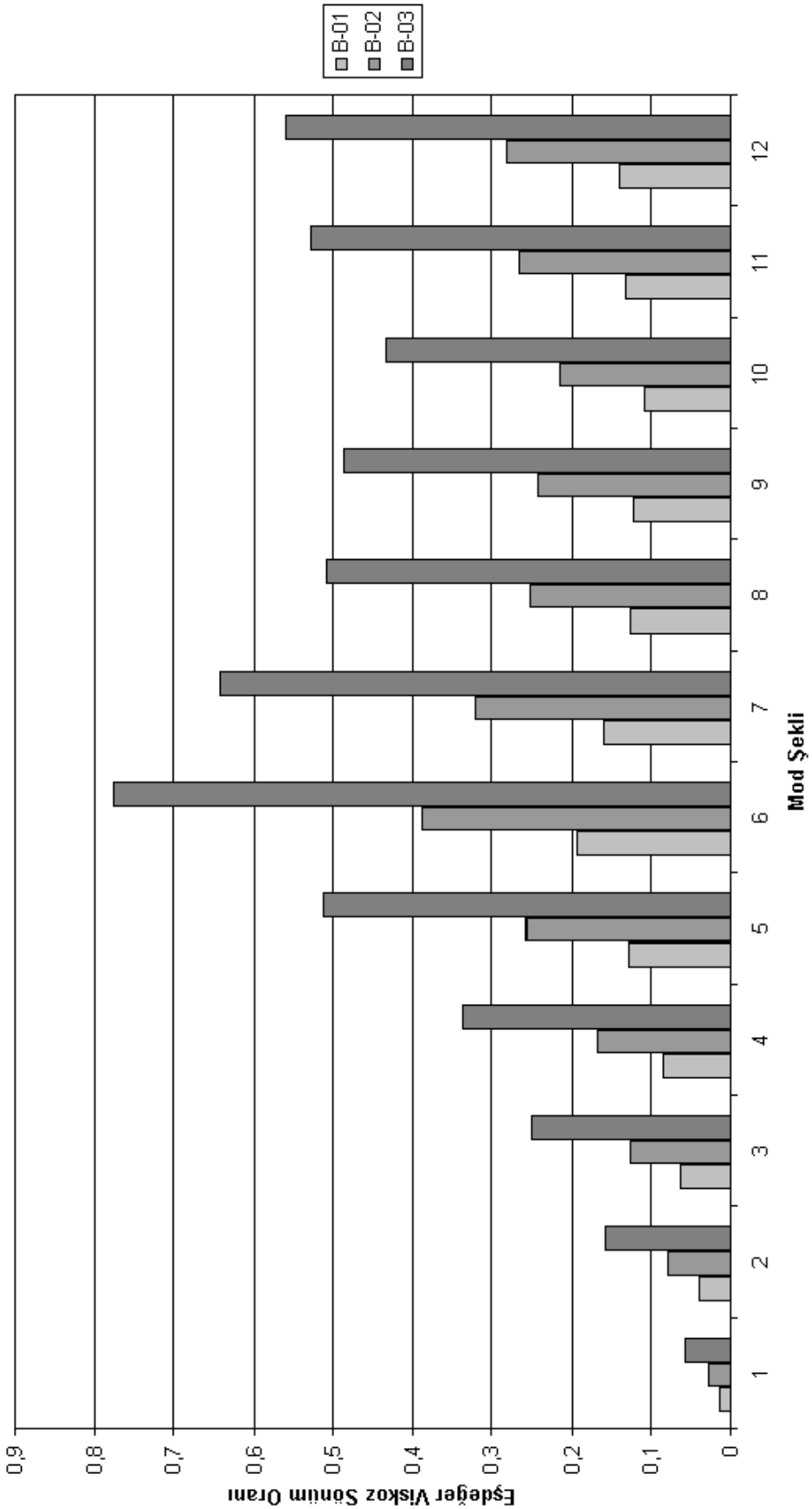


Şekil D.6 A-03, B-03, C-03, S Sistemlerine ait Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği.

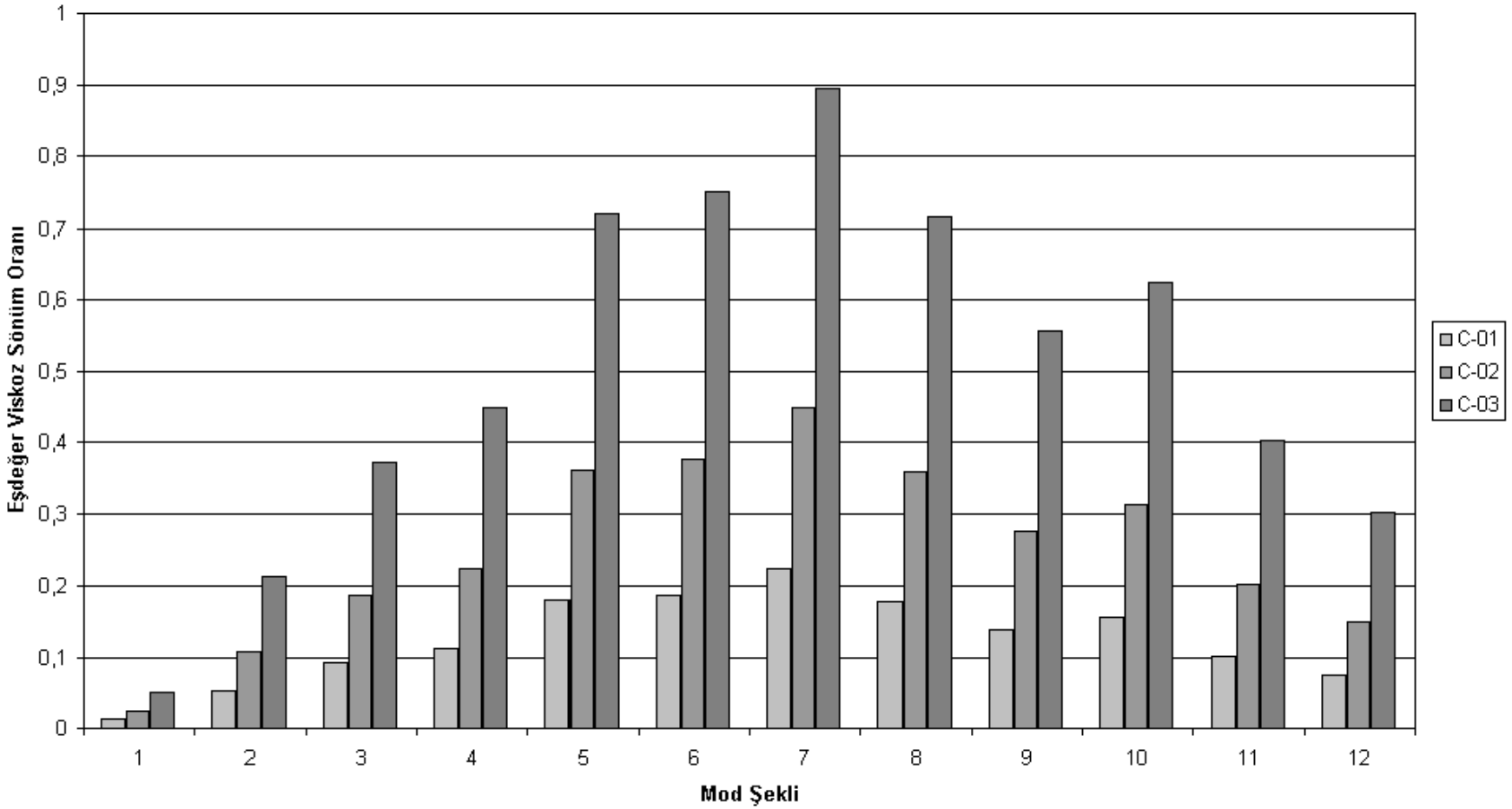
EK E



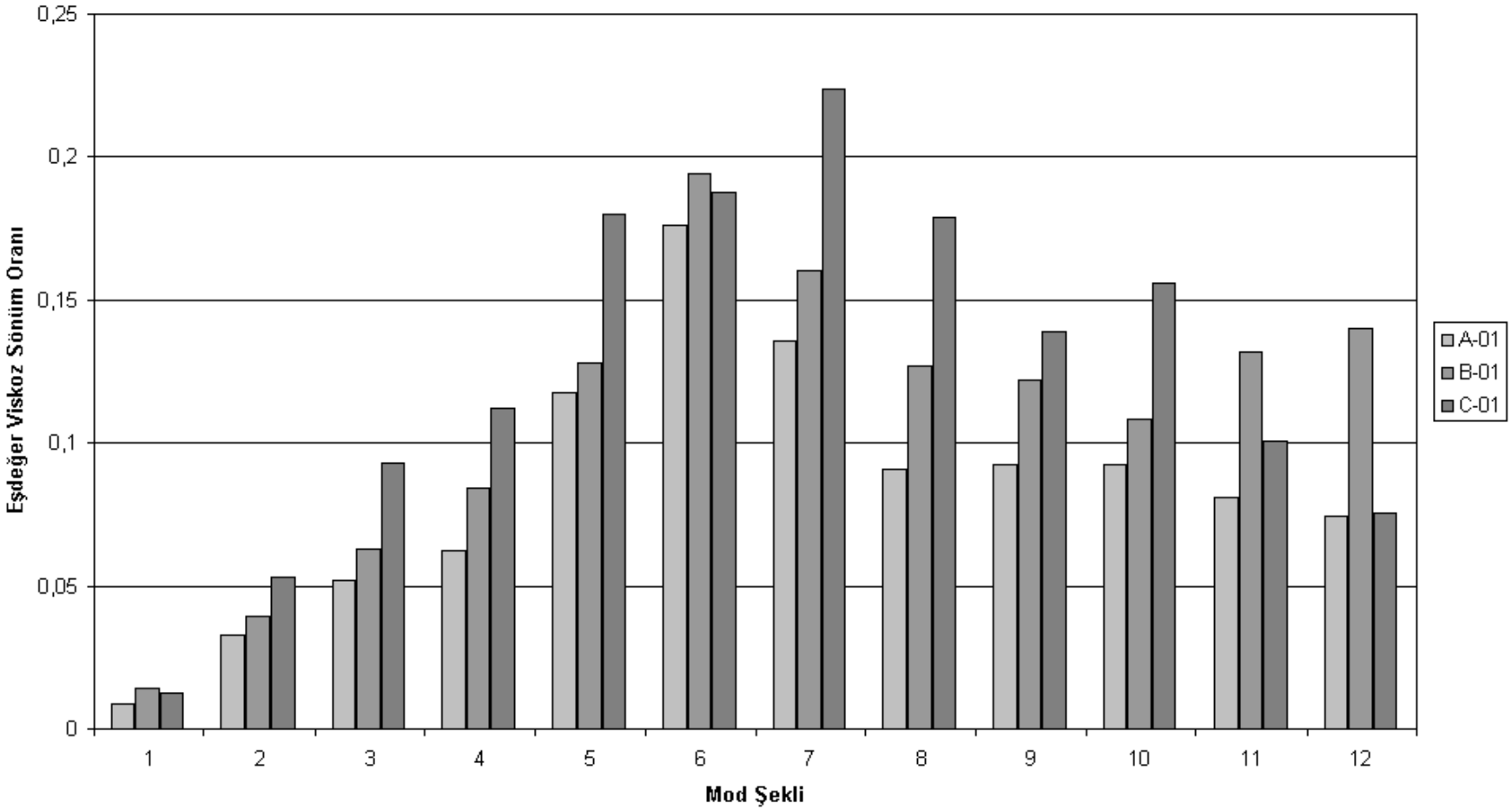
Şekil E.1 A-01, A-02, A-03 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı –Mod Şekli Dağılımı.



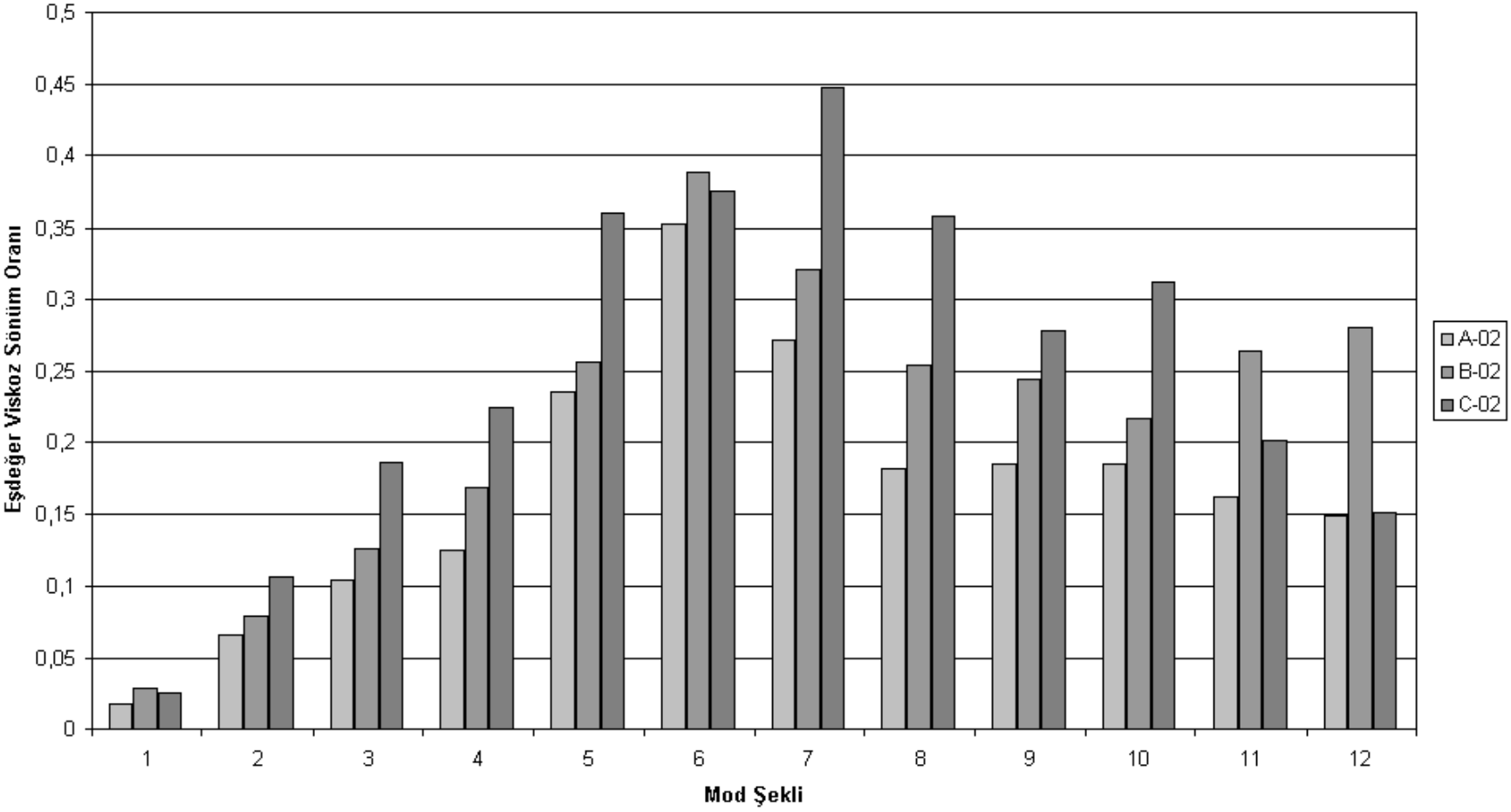
Şekil E.2 B-01, B-02, B-03 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı –Mod Şekli Dağılımı.



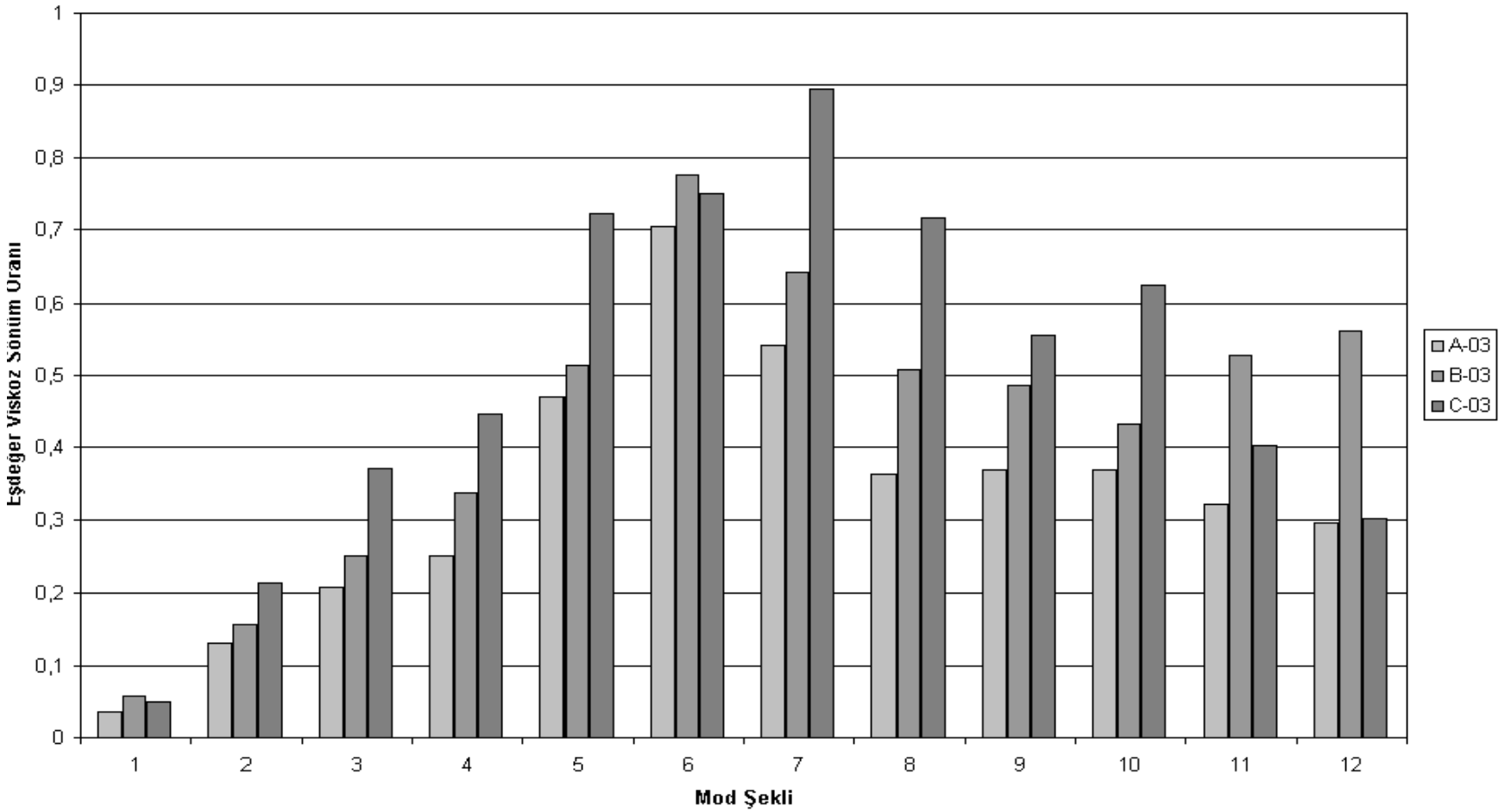
Şekil E.3 C-01, C-02, C-03 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı –Mod Şekli Dağılımı.



Şekil E.4 A-01, B-01, C-01 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı –Mod Şekli Dağılımı.

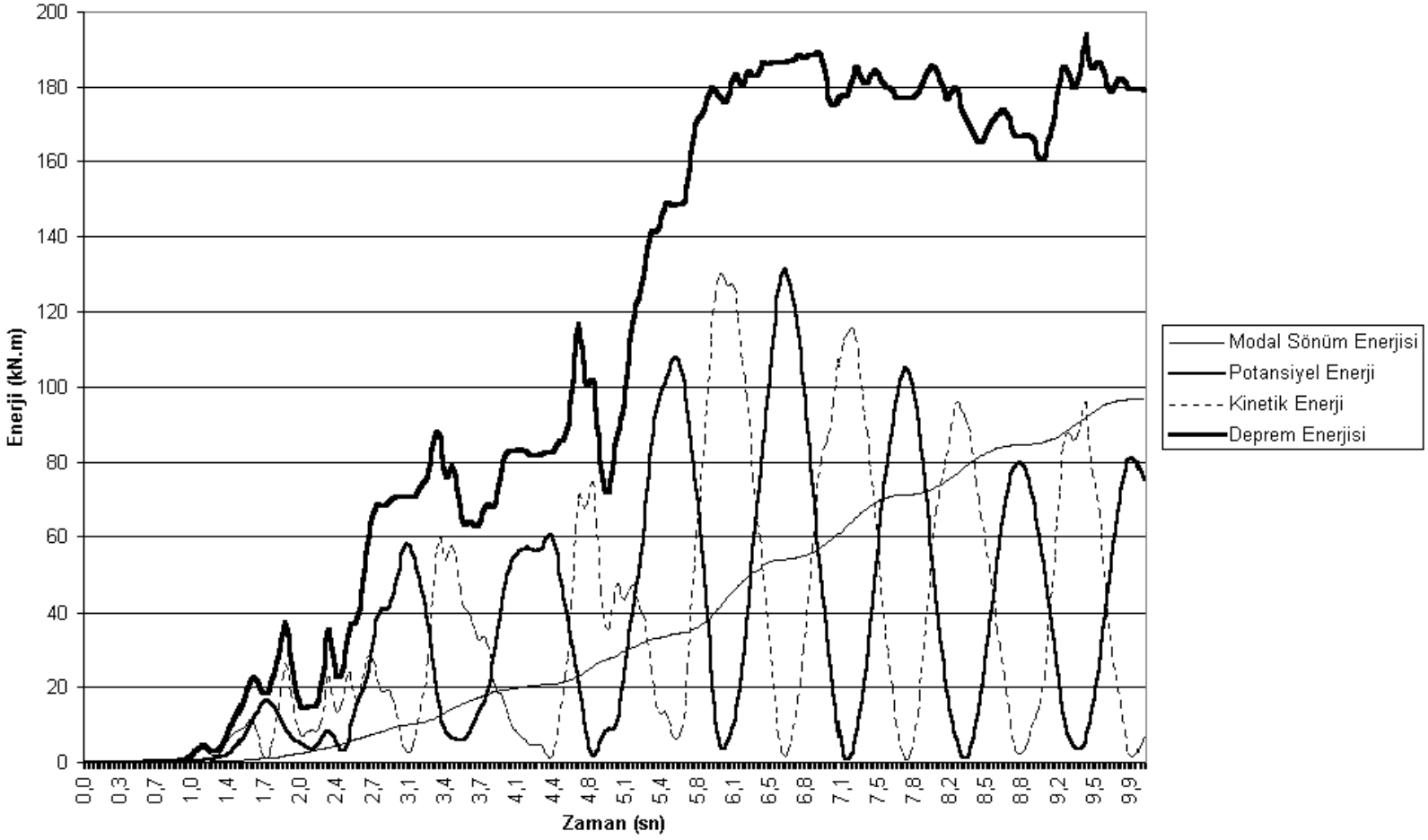


Şekil E.5 A-02, B-02, C-02 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı –Mod Şekli Dağılımı.

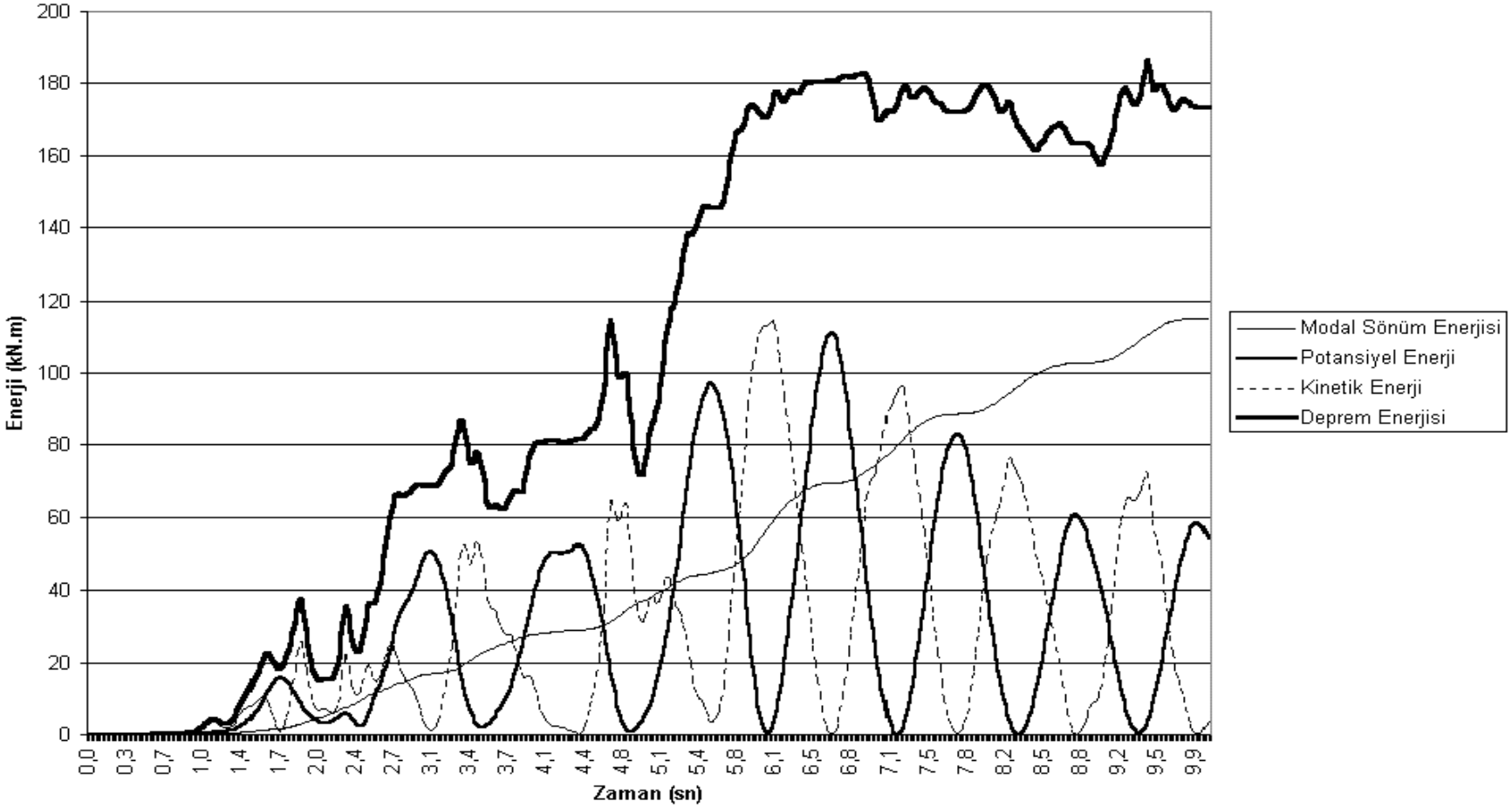


Şekil E.6 A-02, B-02, C-02 Sistemlerine ait Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı –Mod Şekli Dağılımı.

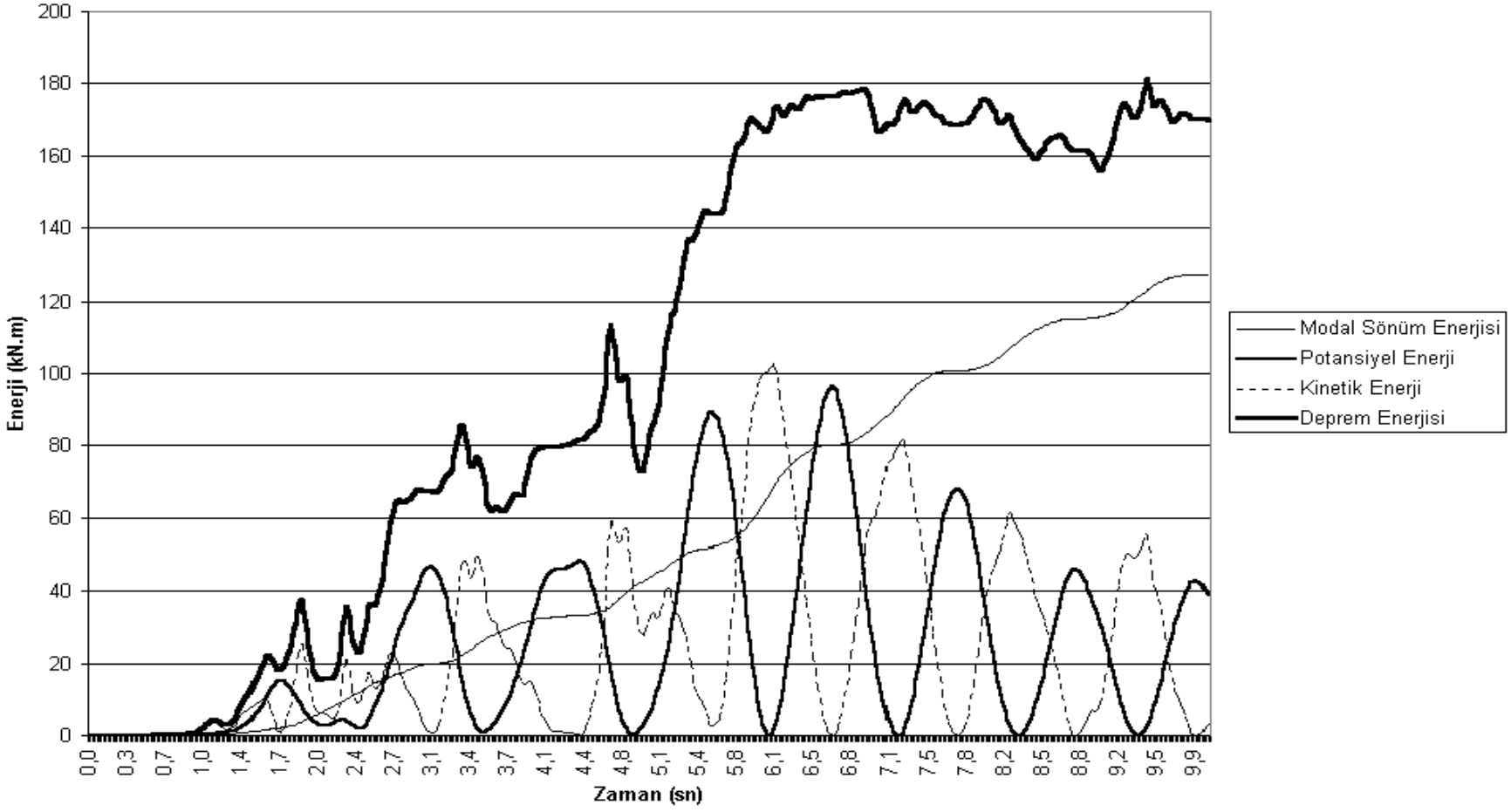
EK F



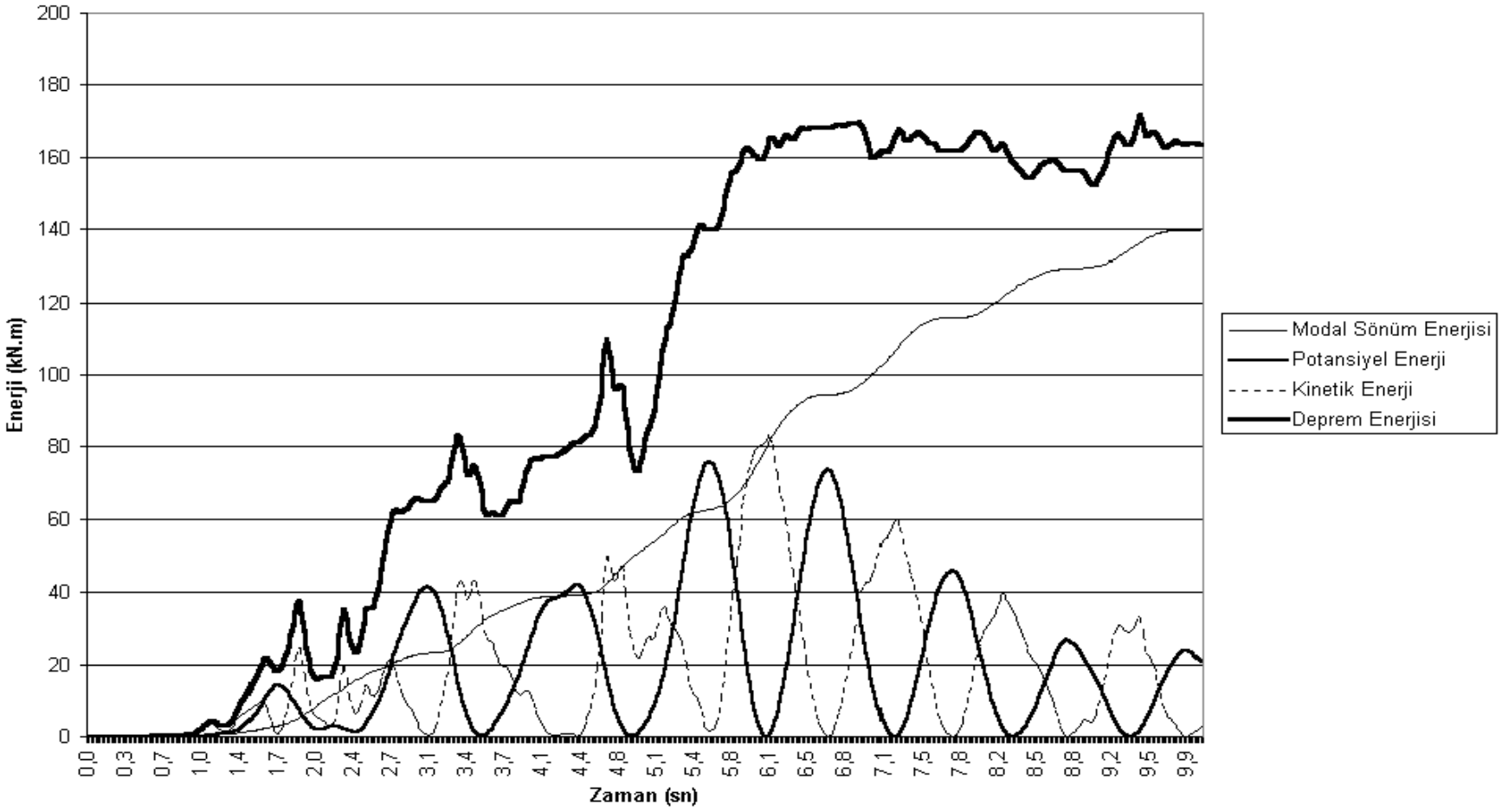
Şekil F.1 S Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği.



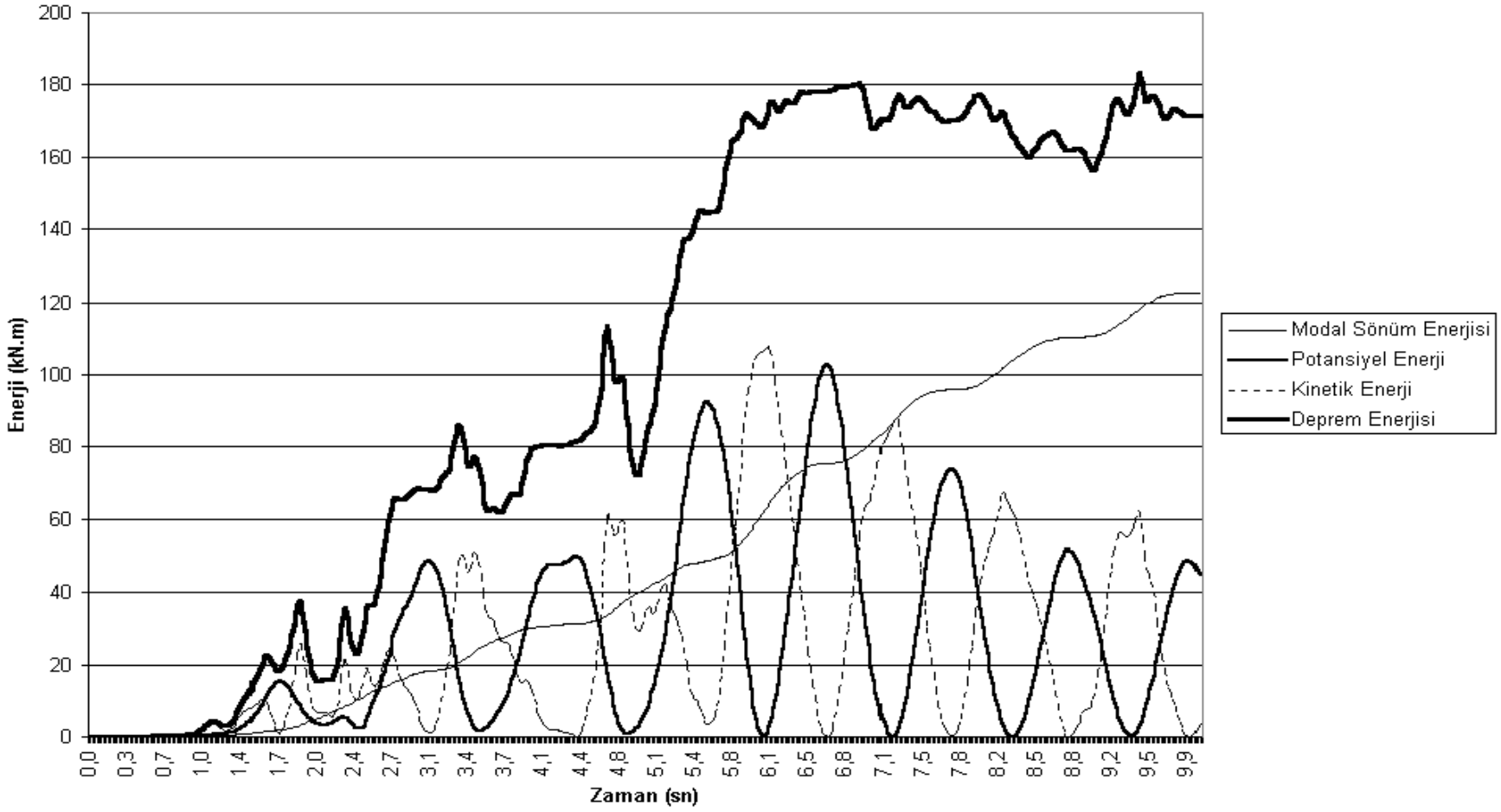
Şekil F.2 A-01 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği.



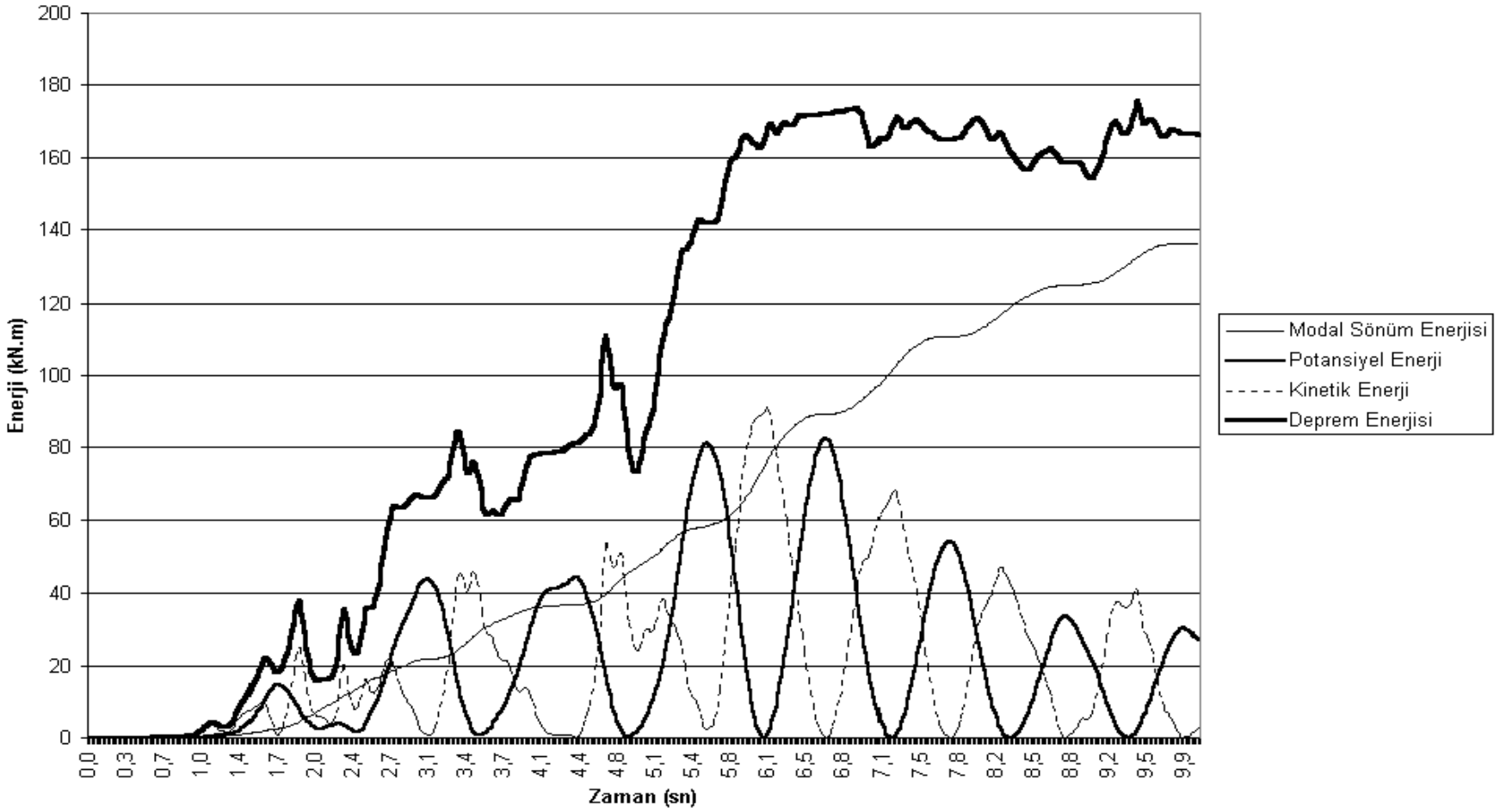
Şekil F.3 A-02 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği.



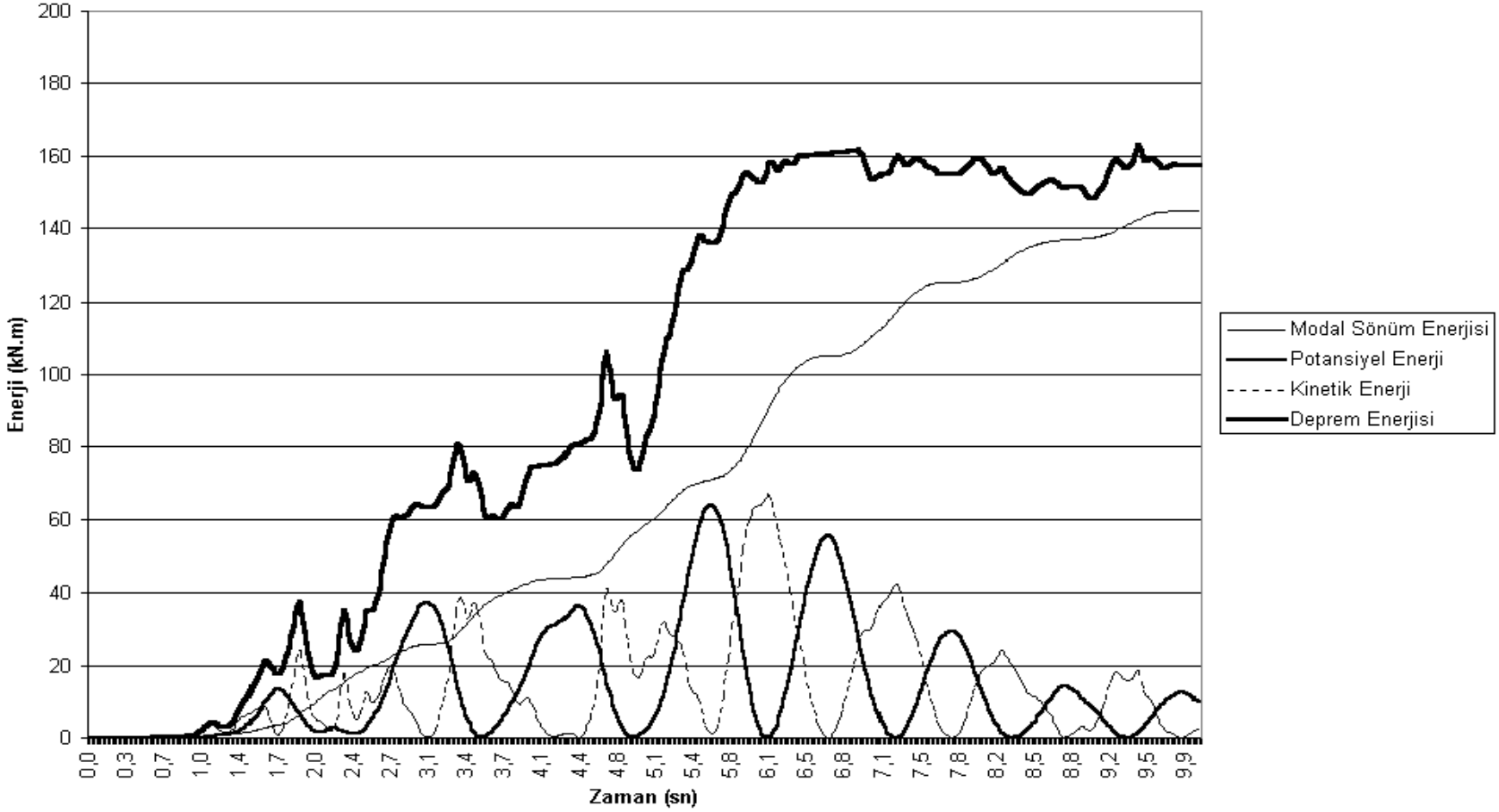
Şekil F.4 A-03 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği.



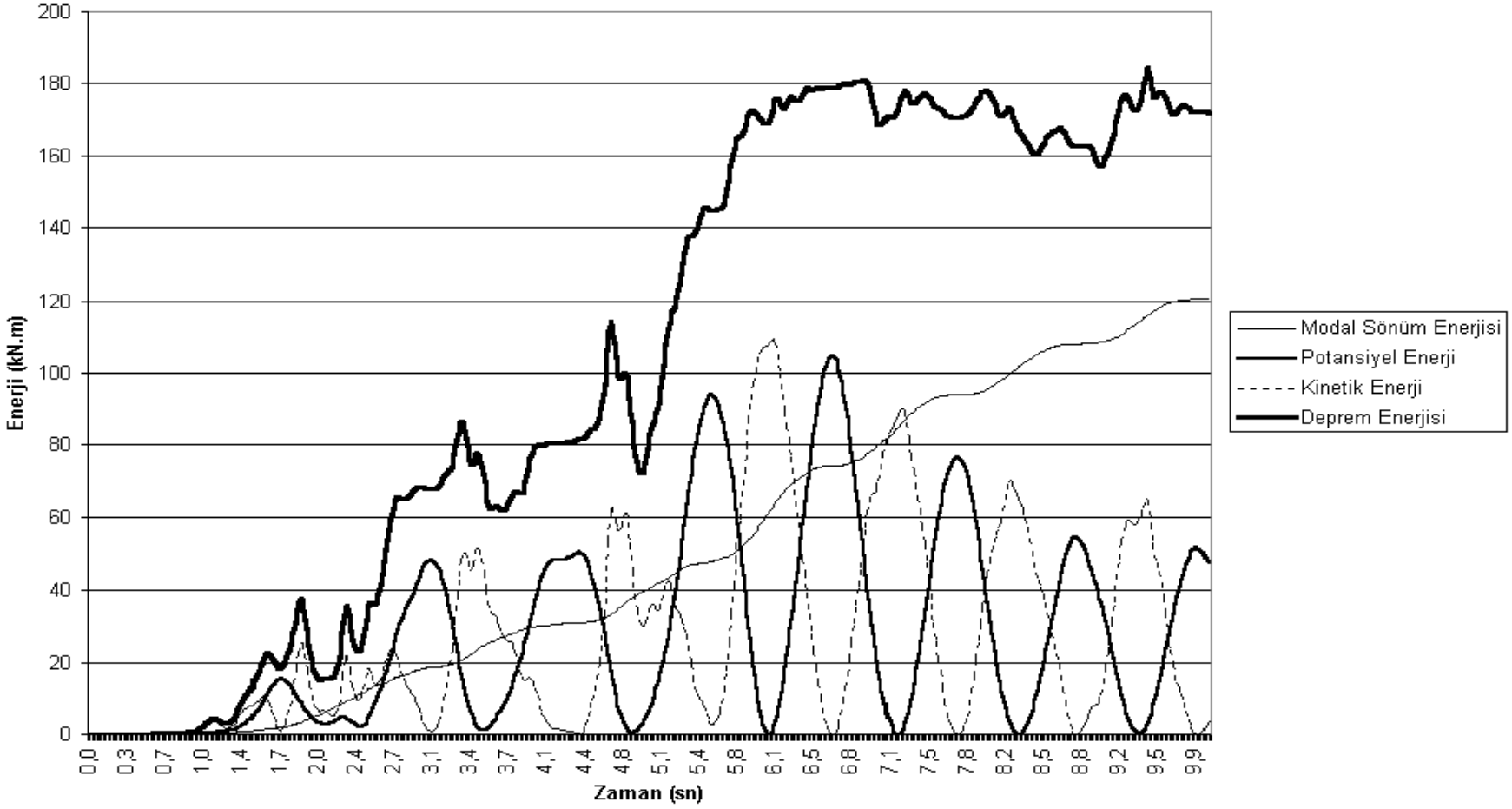
Şekil F.5 B-01 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği.



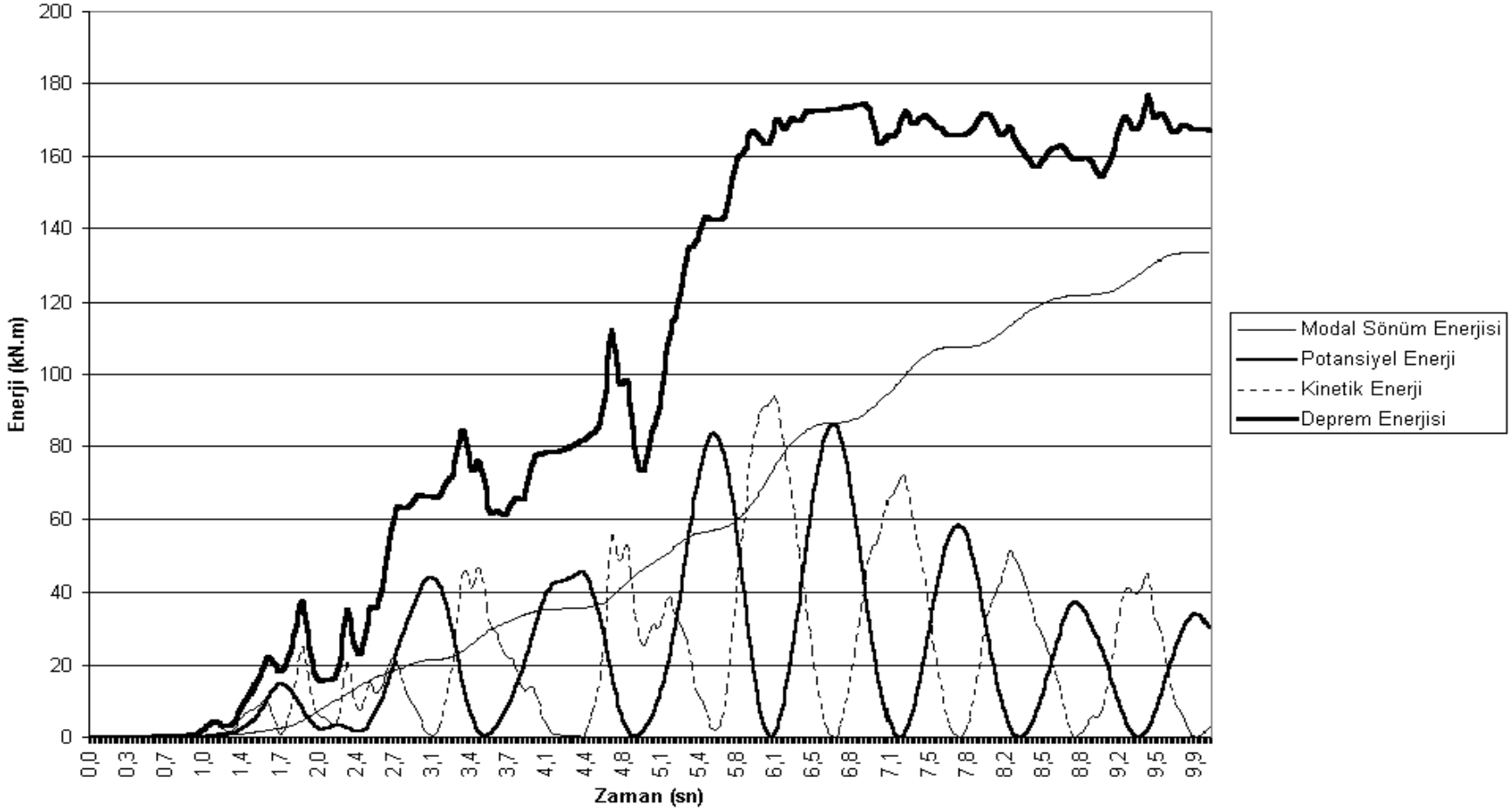
Şekil F.6 B-02 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği.



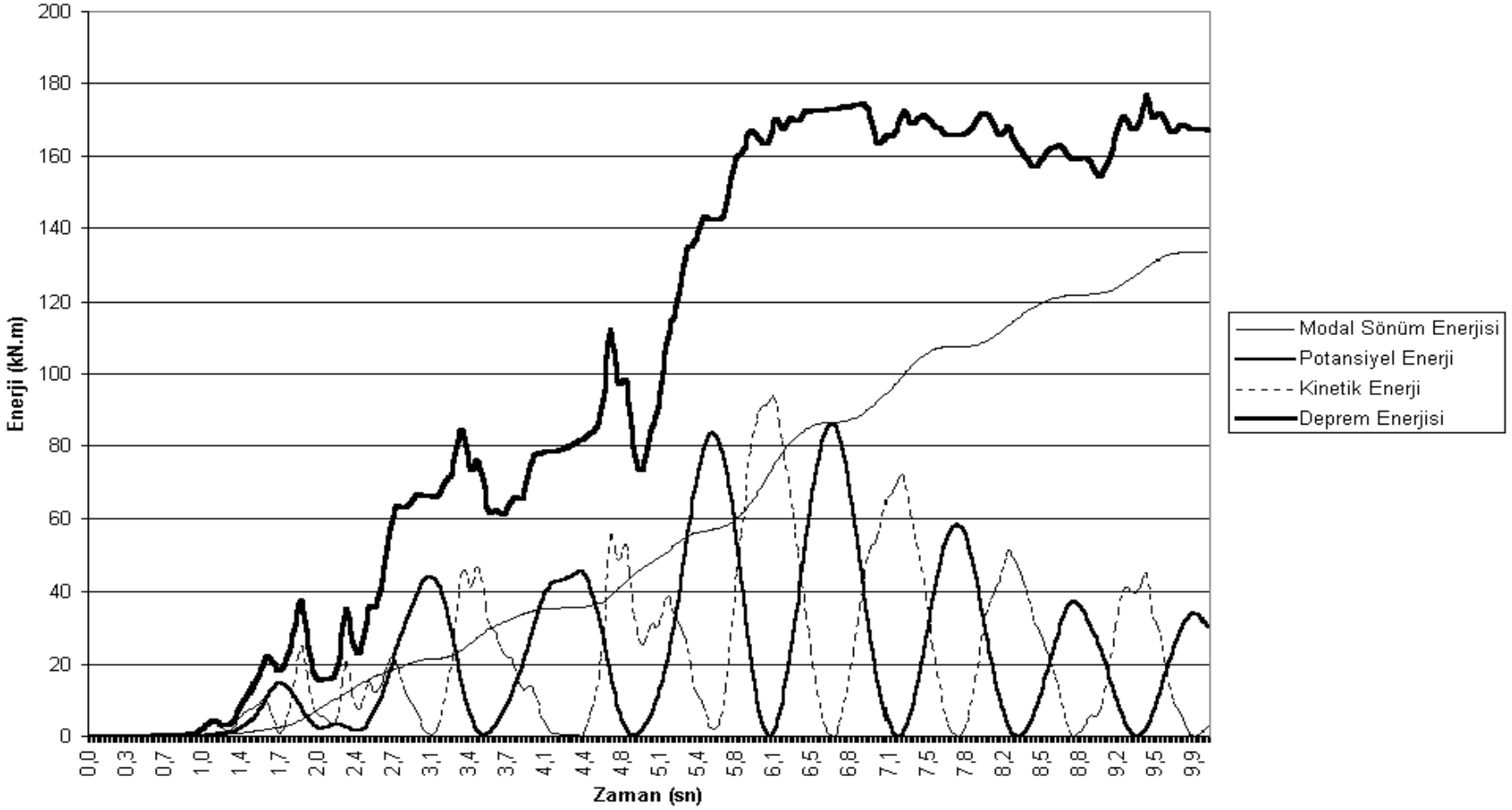
Şekil F.7 B-03 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği.



Şekil F.8 C-01 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği.



Şekil F.9 C-02 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği.



Şekil F.10 C-03 Sistemine ait Enerji-Zaman Grafiği.

EK G

Sap2000 Data dosyası B-03.s2k

```
SYSTEM
 DOF=UX,UZ,RY  LENGTH=m  FORCE=KN  LINES=59
JOINT
  1  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=0
  2  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=0
  3  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=0
  4  X=10  Y=3.552714E-15  Z=0
  5  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=3.2
  6  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=3.2
  7  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=3.2
  8  X=10  Y=3.552714E-15  Z=3.2
  9  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=6.4
  10  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=6.4
  11  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=6.4
  12  X=10  Y=3.552714E-15  Z=6.4
  13  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=9.6
  14  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=9.6
  15  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=9.6
  16  X=10  Y=3.552714E-15  Z=9.6
  17  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=12.8
  18  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=12.8
  19  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=12.8
  20  X=10  Y=3.552714E-15  Z=12.8
  21  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=16
  22  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=16
  23  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=16
  24  X=10  Y=3.552714E-15  Z=16
  25  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=19.2
  26  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=19.2
  27  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=19.2
  28  X=10  Y=3.552714E-15  Z=19.2
  29  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=22.4
  30  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=22.4
  31  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=22.4
  32  X=10  Y=3.552714E-15  Z=22.4
  33  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=25.6
  34  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=25.6
  35  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=25.6
  36  X=10  Y=3.552714E-15  Z=25.6
  37  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=28.8
  38  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=28.8
  39  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=28.8
  40  X=10  Y=3.552714E-15  Z=28.8
  41  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=32
  42  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=32
  43  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=32
  44  X=10  Y=3.552714E-15  Z=32
  45  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=35.2
  46  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=35.2
  47  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=35.2
  48  X=10  Y=3.552714E-15  Z=35.2
  49  X=-10  Y=3.552714E-15  Z=38.4
  50  X=-1.5  Y=3.552714E-15  Z=38.4
  51  X=1.5  Y=3.552714E-15  Z=38.4
  52  X=10  Y=3.552714E-15  Z=38.4

RESTRAINT
  ADD=1  DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
  ADD=2  DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
  ADD=3  DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
  ADD=4  DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
```

```
CONSTRAINT
 NAME=DIAPH1  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=5
  ADD=6
  ADD=7
  ADD=8
 NAME=DIAPH2  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=9
  ADD=10
  ADD=11
  ADD=12
 NAME=DIAPH3  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=13
  ADD=14
  ADD=15
  ADD=16
 NAME=DIAPH4  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=17
  ADD=18
  ADD=19
  ADD=20
 NAME=DIAPH5  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=21
  ADD=22
  ADD=23
  ADD=24
 NAME=DIAPH6  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=25
  ADD=26
  ADD=27
  ADD=28
 NAME=DIAPH7  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=29
  ADD=30
  ADD=31
  ADD=32
 NAME=DIAPH8  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=33
  ADD=34
  ADD=35
  ADD=36
 NAME=DIAPH9  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=37
  ADD=38
  ADD=39
  ADD=40
 NAME=DIAPH10  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=41
  ADD=42
  ADD=43
  ADD=44
 NAME=DIAPH11  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=45
  ADD=46
  ADD=47
  ADD=48
 NAME=DIAPH12  TYPE=DIAPH  AXIS=Z  CSYS=0
  ADD=49
  ADD=50
  ADD=51
  ADD=52


MASS
 ADD=5  U1=6.43
 ADD=6  U1=8.7
 ADD=7  U1=8.7
 ADD=8  U1=6.43
 ADD=9  U1=6.43
 ADD=10  U1=8.7
 ADD=11  U1=8.7
 ADD=12  U1=6.43
 ADD=13  U1=6.43
 ADD=14  U1=8.7
 ADD=15  U1=8.7
 ADD=16  U1=6.43
```

ADD=17 U1=6.43
ADD=18 U1=8.7
ADD=19 U1=8.7
ADD=20 U1=6.43
ADD=21 U1=6.43
ADD=22 U1=8.7
ADD=23 U1=8.7
ADD=24 U1=6.43
ADD=25 U1=6.43
ADD=26 U1=8.7
ADD=27 U1=8.7
ADD=28 U1=6.43
ADD=29 U1=6.43
ADD=30 U1=8.7
ADD=31 U1=8.7
ADD=32 U1=6.43
ADD=33 U1=6.43
ADD=34 U1=8.7
ADD=35 U1=8.7
ADD=36 U1=6.43
ADD=37 U1=6.43
ADD=38 U1=8.7
ADD=39 U1=8.7
ADD=40 U1=6.43
ADD=41 U1=6.43
ADD=42 U1=8.7
ADD=43 U1=8.7
ADD=44 U1=6.43
ADD=45 U1=6.43
ADD=46 U1=8.7
ADD=47 U1=8.7
ADD=48 U1=6.43
ADD=49 U1=2.46
ADD=50 U1=3.33
ADD=51 U1=3.33
ADD=52 U1=2.46

MATERIAL
NAME=STEEL IDES=S W=76.8155
T=0 E=1.999E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3
NAME=CONC IDES=C M=2.40068 W=23.56161
T=0 E=2.482063E+07 U=.2 A=.0000099
NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161
T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

FRAME SECTION
NAME=IPE140 MAT=STEEL A=.00164 J=2.4E-08 I=5.410001E-06,4.49E-07 AS=.000658,.0008395 S=7.728572E-05,1.230137E-05
Z=.0000883,.0000192 R=5.743501E-02,1.654631E-02 T=.14,.073,.0069,.0047,.073,.0069 SHN=IPE140 DSG=W
NAME=IPE180 MAT=STEEL A=.00239 J=4.73E-08 I=1.317E-05,1.01E-06 AS=.000954,.001213 S=1.463333E-04,2.21978E-05
Z=.000166,.0000346 R=7.423247E-02,.0205571 T=.18,.091,.008,.0053,.091,.008 SHN=IPE180 DSG=W
NAME=IPE300 MAT=STEEL A=.00538 J=1.99E-07 I=8.356E-05,6.04E-06 AS=.00213,.002675 S=5.570666E-04,8.053333E-05
Z=.000628,.000125 R=.1246258,3.350637E-02 T=.3,.15,.0107,.0071,.15,.0107 SHN=IPE300 DSG=W
NAME=IPE450 MAT=STEEL A=.00988 J=6.67E-07 I=.0003374,1.676E-05 AS=.00423,.004623 S=1.499555E-03,1.764211E-04
Z=.001702,.000276 R=.1847966,4.118685E-02 T=.45,.19,.0146,.0094,.19,.0146 SHN=IPE450 DSG=W
NAME=K30X10 MAT=STEEL SH=B T=.3,.3,.01,.01 A=.0116 J=2.4389E-04 I=1.627867E-04,1.627867E-04 AS=.006,.006
NAME=K20X10 MAT=STEEL SH=B T=.2,.2,.01,.01 A=.0076 J=6.859E-05 I=4.585333E-05,4.585333E-05 AS=.004,.004
NAME=K30X15 MAT=STEEL SH=B T=.3,.3,.015,.015 A=.0171 J=3.472369E-04 I=2.321325E-04,2.321325E-04 AS=.009,.009

NLPROP
NAME=LINDAMP TYPE=Damper
DOF=U1 KE=0 CE=400

FRAME

1	J=1,5	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	43	J=25,29	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
2	J=2,6	SEC=K30X15	NSEG=2	ANG=0	44	J=26,30	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0
3	J=3,7	SEC=K30X15	NSEG=2	ANG=0	45	J=27,31	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0
4	J=4,8	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	46	J=28,32	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
5	J=5,6	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	47	J=29,30	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0
6	J=6,7	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0	48	J=30,31	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0
7	J=7,8	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	49	J=31,32	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0
8	J=5,9	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	50	J=29,33	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
9	J=6,10	SEC=K30X15	NSEG=2	ANG=0	51	J=30,34	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0
10	J=7,11	SEC=K30X15	NSEG=2	ANG=0	52	J=31,35	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0
11	J=8,12	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	53	J=32,36	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
12	J=9,10	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	54	J=33,34	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0

13	J=10,11	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0	55	J=34,35	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0
14	J=11,12	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	56	J=35,36	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0
15	J=9,13	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	57	J=33,37	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
16	J=10,14	SEC=K30X15	NSEG=2	ANG=0	58	J=34,38	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0
17	J=11,15	SEC=K30X15	NSEG=2	ANG=0	59	J=35,39	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0
18	J=12,16	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	60	J=36,40	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
19	J=13,14	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	61	J=37,38	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0
20	J=14,15	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0	62	J=38,39	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0
21	J=15,16	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	63	J=39,40	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0
22	J=13,17	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	64	J=37,41	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
23	J=14,18	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	65	J=38,42	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
24	J=15,19	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	66	J=39,43	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
25	J=16,20	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	67	J=40,44	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
26	J=17,18	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	68	J=41,42	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0
27	J=18,19	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0	69	J=42,43	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0
28	J=19,20	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	70	J=43,44	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0
29	J=17,21	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	71	J=41,45	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
30	J=18,22	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	72	J=42,46	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
31	J=19,23	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	73	J=43,47	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
32	J=20,24	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	74	J=44,48	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
33	J=21,22	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	75	J=45,46	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0
34	J=22,23	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0	76	J=46,47	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0
35	J=23,24	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	77	J=47,48	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0
36	J=21,25	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	78	J=45,49	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
37	J=22,26	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	79	J=46,50	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
38	J=23,27	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	80	J=47,51	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
39	J=24,28	SEC=K30X10	NSEG=2	ANG=0	81	J=48,52	SEC=K20X10	NSEG=2	ANG=0
40	J=25,26	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	82	J=49,50	SEC=IPE300	NSEG=4	ANG=0
41	J=26,27	SEC=IPE180	NSEG=4	ANG=0	83	J=50,51	SEC=IPE140	NSEG=4	ANG=0
42	J=27,28	SEC=IPE450	NSEG=4	ANG=0	84	J=51,52	SEC=IPE300	NSEG=4	ANG=0

NLLINK

1	J=1,6	NLP=LINDAMP	ANG=0	
2	J=5,10	NLP=LINDAMP	ANG=0	
3	J=7,4	NLP=LINDAMP	ANG=0	
4	J=17,22	NLP=LINDAMP	ANG=0	
5	J=15,12	NLP=LINDAMP	ANG=0	
6	J=21,26	NLP=LINDAMP	ANG=0	
7	J=13,18	NLP=LINDAMP	ANG=0	
8	J=29,34	NLP=LINDAMP	ANG=0	
9	J=9,14	NLP=LINDAMP	ANG=0	
10	J=37,42	NLP=LINDAMP	ANG=0	
11	J=23,20	NLP=LINDAMP	ANG=0	
12	J=45,50	NLP=LINDAMP	ANG=0	
13	J=51,48	NLP=LINDAMP	ANG=0	
15	J=43,40	NLP=LINDAMP	ANG=0	
17	J=35,32	NLP=LINDAMP	ANG=0	
19	J=27,24	NLP=LINDAMP	ANG=0	
21	J=19,16	NLP=LINDAMP	ANG=0	
23	J=11,8	NLP=LINDAMP	ANG=0	

LOAD

NAME=DEAD		NAME=LIVE	
TYPE=FORCE		TYPE=FORCE	
ADD=6	UZ=-18.66	ADD=6	UZ=-12
ADD=7	UZ=-18.66	ADD=7	UZ=-12
ADD=10	UZ=-18.66	ADD=10	UZ=-12
ADD=11	UZ=-18.66	ADD=11	UZ=-12
ADD=14	UZ=-18.66	ADD=14	UZ=-12
ADD=15	UZ=-18.66	ADD=15	UZ=-12
ADD=18	UZ=-18.66	ADD=18	UZ=-12
ADD=19	UZ=-18.66	ADD=19	UZ=-12
ADD=22	UZ=-18.66	ADD=22	UZ=-12
ADD=23	UZ=-18.66	ADD=23	UZ=-12
ADD=26	UZ=-18.66	ADD=26	UZ=-12
ADD=27	UZ=-18.66	ADD=27	UZ=-12
ADD=30	UZ=-18.66	ADD=30	UZ=-12
ADD=31	UZ=-18.66	ADD=31	UZ=-12
ADD=34	UZ=-18.66	ADD=34	UZ=-12
ADD=35	UZ=-18.66	ADD=35	UZ=-12
ADD=38	UZ=-18.66	ADD=38	UZ=-12
ADD=39	UZ=-18.66	ADD=39	UZ=-12

```
    ADD=42              UZ=-18.66                   ADD=42              UZ=-12
    ADD=43              UZ=-18.66                   ADD=43              UZ=-12
    ADD=46              UZ=-18.66                   ADD=46              UZ=-12
    ADD=47              UZ=-18.66                   ADD=47              UZ=-12
    ADD=50              UZ=-6.9                     ADD=50              UZ=-5.4
    ADD=51              UZ=-6.9                     ADD=51              UZ=-5.4
    TYPE=DISTRIBUTED    SPAN                        TYPE=DISTRIBUTED    SPAN
    ADD=5               RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=82              RD=0,1  UZ=-1.8,-
                                                                                1.8
    ADD=12              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=84              RD=0,1  UZ=-1.8,-
                                                                                1.8
    ADD=19              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=5               RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=26              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=12              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=33              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=19              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=40              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=26              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=47              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=33              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=54              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=40              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=61              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=47              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=68              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=54              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=75              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=61              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=7               RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=68              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=14              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=75              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=21              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=7               RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=28              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=14              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=35              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=21              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=42              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=28              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=49              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=35              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=56              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=42              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=63              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=49              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=70              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=56              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=77              RD=0,1  UZ=-6.82,-6.82      ADD=63              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=82              RD=0,1  UZ=-2.3,-2.3        ADD=70              RD=0,1  UZ=-4,-4
    ADD=84              RD=0,1  UZ=-2.3,-2.3        ADD=77              RD=0,1  UZ=-4,-4

  MODE
  TYPE=EIGEN  N=12  TOL=.00001

FUNCTION
  NAME=ELCENTRO NPL=1 PRINT=Y

HISTORY
  NAME=HIST1 TYPE=LIN NSTEP=500 DT=.02 DAMP=.02
    ACC=U1  ANG=0 FUNC=ELCENTRO SF=9.81 AT=0

COMBO
  NAME=COMB1
    LOAD=DEAD  SF=1
  NAME=COMB2
    LOAD=DEAD  SF=1
    LOAD=LIVE  SF=1
  NAME=COMB3
    LOAD=DEAD  SF=1
    LOAD=LIVE  SF=1
    LOAD=EX  SF=1
  NAME=COMB4
    LOAD=DEAD  SF=1
    LOAD=LIVE  SF=1
    LOAD=EX  SF=-1
  NAME=COMB5
    LOAD=DEAD  SF=1
    LOAD=EX  SF=1
  NAME=COMB6
    LOAD=DEAD  SF=1
    LOAD=EX  SF=-1

OUTPUT
; No Output Requested

END
```

El Centro 1940 Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı;

t_1	f_1	t_2	f_2	t_3	f_3
0,00	0,0108	0,04	0,0010	0,10	0,0159
0,16	-0,0001	0,22	0,0189	0,26	0,0001
0,29	0,0059	0,33	-0,0012	0,37	0,0200
0,43	-0,0237	0,47	0,0076	0,58	0,0425
0,62	0,0094	0,67	0,0138	0,72	-0,0088
0,72	-0,0256	0,79	-0,0387	0,79	-0,0568
0,87	-0,0232	0,87	-0,0343	0,94	-0,0402
0,94	-0,0603	1,00	-0,0789	1,07	-0,0666
1,07	-0,0381	1,09	-0,0429	1,17	0,0897
1,32	-0,1696	1,38	-0,0828	1,41	-0,0828
1,44	-0,0945	1,48	-0,0885	1,51	-0,1080
1,54	-0,1280	1,63	0,1144	1,70	0,2355
1,80	0,1428	1,86	0,1777	1,92	-0,2610
2,01	-0,3194	2,22	0,2952	2,27	0,2634
2,32	-0,2984	2,40	0,0054	2,45	0,2865
2,52	-0,0469	2,58	0,1516	2,65	0,2077
2,71	0,1087	2,77	-0,0325	2,89	0,1033
2,98	-0,0803	3,07	0,0520	3,13	-0,1547
3,21	0,0065	3,25	-0,2060	3,39	0,1927
3,42	-0,0937	3,53	0,1708	3,60	-0,0359
3,67	0,0365	3,74	-0,0736	3,84	0,0311
3,90	-0,1833	4,01	0,0227	4,06	-0,0435
4,11	0,0216	4,22	-0,1972	4,31	-0,1762
4,42	0,1460	4,47	-0,0047	4,62	0,2572
4,67	-0,2045	4,76	0,0608	4,83	-0,2733
4,97	0,1779	5,04	0,0301	5,11	0,2183
5,20	0,0267	5,23	0,1252	5,30	0,1290
5,33	0,1089	5,34	-0,0239	5,45	0,1723
5,51	-0,1021	5,61	0,0141	5,69	-0,1949
5,77	-0,0242	5,80	-0,0050	5,81	-0,0275
5,87	-0,0573	5,88	-0,0327	5,93	0,0216
5,98	0,0108	6,01	0,0235	6,09	-0,0665
6,13	0,0014	6,17	0,0493	6,19	0,0149
6,19	-0,0200	6,23	-0,0381	6,28	0,0207
6,33	-0,0058	6,37	-0,0603	6,38	-0,0162
6,41	0,0200	6,46	-0,0176	6,48	-0,0033
6,52	0,0043	6,53	-0,0040	6,56	-0,0099
6,58	-0,0017	6,60	-0,0170	6,65	0,0373
6,69	0,0457	6,71	0,0385	6,73	0,0009
6,77	-0,0288	6,77	0,0016	6,81	0,0113
6,85	0,0022	6,91	0,0092	6,99	-0,0996
7,07	0,0360	7,12	0,0078	7,14	-0,0277
7,15	0,0026	7,17	0,0272	7,23	0,0576
7,30	-0,0492	7,37	0,0297	7,41	0,0109
7,43	0,0186	7,46	-0,0253	7,53	-0,0347
7,57	0,0036	7,60	-0,0628	7,64	-0,0280
7,67	-0,0196	7,69	0,0068	7,75	-0,0054
7,79	-0,0603	7,84	-0,0357	7,88	-0,0716
7,96	-0,0140	7,99	-0,0056	8,00	0,0222
8,07	0,0468	8,13	0,0260	8,13	-0,0335
8,20	-0,0128	8,22	0,0661	8,28	0,0305
8,33	0,0246	8,40	0,0347	8,46	-0,0369
8,53	-0,0344	8,60	-0,0104	8,64	-0,0260

8,74	0,1534	8,82	-0,0028	8,86	0,0233
8,88	-0,0261	8,92	-0,0022	8,96	-0,1849
9,05	0,1260	9,10	0,0320	9,12	0,0955
9,15	0,1246	9,25	-0,0328	9,29	-0,0451
9,43	0,1301	9,44	-0,1657	9,51	0,0419
9,64	-0,0936	9,70	0,0816	9,82	-0,0881
9,90	0,0064	9,94	-0,0006	10,00	0,0586
10,02	-0,0713	10,05	-0,0448	10,05	-0,0221
10,11	0,0093	10,11	0,0024	10,19	0,0510
10,27	-0,1243	10,38	0,0587	10,42	0,0133
10,45	0,0386	10,47	0,1164	10,51	-0,0374
10,53	-0,0572	10,65	0,0308	10,70	0,0223
10,71	0,0515	10,77	0,0903	10,84	-0,0194
10,92	0,0471	10,92	-0,0677	10,96	-0,0794
10,99	-0,0120	11,07	0,0608	11,09	-0,0269
11,12	-0,0416	11,21	0,0293	11,21	0,0552
11,23	0,0756	11,27	0,0431	11,32	0,0208
11,43	0,1180	11,57	-0,0999	11,66	-0,1247
11,73	-0,2094	11,73	-0,1418	11,78	-0,1163
11,81	0,0000	11,88	0,0762	11,92	0,0570
11,99	0,1354	12,04	0,0673	12,11	0,0865

ÖZGEÇMİŞ

Burcu Polat, 1977 yılında Erzurum'da doğdu. İlkokul öğrenimini 1989 yılında Ambarlı İlkokulu'nda, ortaokul ve lise öğrenimini 1994 yılında Avcılar 50.Yıl İnsa Lisesi'nde tamamladı. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü' nden mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'na bağlı Yapı/Deprem Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Şu anda özel sektörde Proje Mühendisi olarak çalışmaktadır.