İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖZEL BİR SÖNÜMLEYİCİNİN FARKLI FREKANS BANTLARINDA DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet GÜLLÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖZEL BİR SÖNÜMLEYİCİNİN FARKLI FREKANS BANTLARINDA DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet GÜLLÜ
(501101002)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ercan YÜKSEL

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **501101002** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ahmet GÜLLÜ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"ÖZEL BİR SÖNÜMLEYİCİNİN FARKLI FREKANS BANTLARINDA DENEYSEL İNCELENMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Ercan YÜKSEL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Oğuz Cem Çelik** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 05/05/2012
Savunma Tarihi : 11/06/2012

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, kurşun ekstrüzyon sönümleyici ve diğer sönümleyiciler hakkında geniş bir literatür çalışması yapıldıktan sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Laboratuvarında üretilen özel bir sönümleyicinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, üretilmiş olan sönümleyici farklı deplasman genlikleri ve titreşim bantlarında deneylere tâbî tutulmuştur. Bu çalışmada farklı titreşim bantlarındaki deneylerden elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Bu çalışmada bilgi ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan, çok değerli bilgilerini bizimle paylaşan kıymetli hocamız Doç. Dr. Ercan YÜKSEL'e, yardımlarından dolayı Araş. Gör. Cihan SOYDAN'a ve İnş. Yük. Müh. Tansu GÖKÇE'ye, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı çalışanlarına ve en son olarak da manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, maddi desteklerini ise her koşulda benden esirgemeyen annem Fatma GÜLLÜ'ye, babam Veysel GÜLLÜ'ye, ablam Ayşe GÜLLÜ'ye, kardeşim Muhammed GÜLLÜ'ye teşekkür ederim. Ayrıca çalışma saatlerimde kolaylık sağlayan ve her türlü yardımlarının benden esirgemeyen Büro İstanbul İnş. Müh. ve Müşavirlik Ltd. Şti. kurucuları Ömer ve Özkan YALÇIN'a da teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışması 35065 numaralı İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü BAP projesinin sağladığı imkânlarla İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu kuruluşlara vermiş oldukları destekten ötürü teşekkür ederim.

Mayıs 2012

Ahmet GÜLLÜ
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
Sayfa ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1 GİRİŞ **1**
1.1 Konu 1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 2
2 SİSMİK ENERJİ SÖNÜMLEME SİSTEMLERİ ve KURŞUN EKSTRÜZYON SÖNÜMLEYİCİ **3**
2.1 Sismik Enerji Sönümleme Sistemleri 3
2.1.1 Yapılmış olan çalışmalar 3
2.1.1.1 Ünal Aydemir, 2005 4
2.1.1.2 Fahim Sadek, Bijan Mohraz, Andrew W. Taylor ve Riley M. Chung 4
2.2 Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici 17
2.2.1 Yapılmış olan çalışmalar 18
2.2.1.1 Robinson ve Greenbank, 1976 18
2.2.1.2 Robinson ve Greenbank, 1975 24
2.2.1.3 Cousins ve Porritt, 1993 25
2.2.1.4 G.W.Rodgers ve diğerleri, 2006 31
2.2.1.5 C.S. Tsai, W.S. Lai, C.W. Chang ve M. C. Li, 2002 38
2.2.1.6 Parulekar, Reddy, Vaze, Kushwaha, 2003 41
3 KURŞUN EKSTRÜZYON SÖNÜMLEYİCİNİN ÖZELLİKLERİ ve DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ **43**
3.1 Constantinou ve Symans, 1992 46
3.2 Deney Düzeneği 51
3.3 Deney Sonuçlarının İrdelenmesi 58
4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER **99**
KAYNAKLAR **101**
ÖZGEÇMİŞ **103**

KISALTMALAR

LED	: Kurşun ekstrüzyon sönümleyici
TSD	: Tek serbestlik dereceli sistem
SD	: Spektral yerdeğiştirme
ÇSD	: Çok serbestlik dereceli sistem
ADAS	: Ek sönüm ve rijitlik
SMA	: Şekil hafızalı alaşımlar
VE	: Viskoelastik Sönümleyici
TMD	: Ayarlı kütle sistemler
TLD	: Ayarlı sıvı sönümleyiciler
TLCD	: Ayarlı sıvı kolon sönümleyiciler
LVDT	: Doğrusal değişken diferansiyel dönüştürücü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 100 kN kapasiteli çıkıntılı şaft kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin 12 ardışıkdeney boyunca yaklaşık enerji sönümü……31

ŞEKİL LİSTESİ

Savfa

Şekil 2.1 Aktif kontrolün şematik diyagramı…..……...…..4
Şekil 2.2 Harmonik yük etkisinde farklı sönüm oranlarındaki TSD sistemlerin pik tepkileri……6
Şekil 2.3 ADAS eleman ve kurumu…….……...…....9
Şekil 2.4 Kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin boylamasına kesiti……..…….....11
Şekil 2.5 LED histeresizi……11
Şekil 2.6 SMA cihazların süper elastik davranışı……..……12
Şekil 2.7 Çevrimsel yük altındaki VE sönümleyicinin eliptik yük – deplasman eğrisi……13
Şekil 2.8 Viskoz sönümleyici duvar ve histeresiz eğrisi……....14
Şekil 2.9 Bir metalin ekstrüzyonunda mikro yapıdaki değişiklikler……..20
Şekil 2.10 Girintili tüp tipi kurşun ekstrüzyon sönümleyici……..…….....20
Şekil 2.11 Çıkıntılı şaft sönümleyici…….....21
Şekil 2.12 Girintili tüp için 1 cm/dk hızda tipik yük deplasman eğrisi…….....21
Şekil 2.13 Çıkıntılı şaft sönümleyici için 1 cm/dk hızda tipik yük – deplasman eğrisi……22
Şekil 2.14 Kurşun ekstrüzyon sönümleyici tiplerinin yanal kesitleri…….27
Şekil 2.15 100 kN ve 700 kN kapasiteli kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler...……...27
Şekil 2.16 700 kN kapasiteli çıkıntılı şaft kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin ±150mm/0.033Hz de uygulanan sinüsoidal yer değiştirmenin sonucunda elde edilen karakteristikleri……...29
Şekil 2.17 Başlangıç prototipinin kesit görünüşü……...…….....33
Şekil 2.18 Sönümleyicinin yapısal birleşimlere muhtemel yerleşim biçimleri……..34
Şekil 2.19 40 mm çıkıntı ve 30 mm şaft çaplı öngerilmesiz cihazın histeresiz döngüsü……...35
Şekil 2.20 50 mm çıkıntı çaplı cihazın histeresiz döngüleri…….....36
Şekil 2.21 40 mm çıkıntı çaplı cihazda öngerilmeli durumda oluşan döngüler.....37
Şekil 2.22 50 mm çıkıntı çaplı cihazda öngerilmeli durumda oluşan döngüler.....37
Şekil 2.23 Deneysel ve sunulan ekstrüzyon ilişkisini gösteren deneysel ilişki……..38
Şekil 2.24 Kurşun ekstrüzyon sönümleyici…….....42
Şekil 2.25 Kurşun ekstrüzyon sönümleyici ve çıkıntılı şaft…….....42
Şekil 3.1 Enerji Oranları Yöntemi……..43
Şekil 3.2 Kiriş kolon birleşimi deney düzeneği……..44
Şekil 3.3 Yalın ve sönümleyicili durumda kuvvet – yerdeğiştirme grafikleri…...….44
Şekil 3.4 Yalın ve sönümleyicili durumda eşdeğer sönüm ve rijitlik değerlerinin karşılaştırılması……...45
Şekil 3.5 Akışkan viskoz sönümleyicinin yapısı……...……46
Şekil 3.6 Deney düzeneğinin şematiği……...……48
Şekil 3.7 Soğuk deney düzeneğinin görünüşü……....50
Şekil 3.8 Sıcak deney düzeneğinin görünüşü…….50

Şekil 3.9 Çubuk elemanlar bilgisayar modeli……..……..51
Şekil 3.10 Çerçeve ön görünüş……...52
Şekil 3.11 Çerçeve bağlantı detayları…….52
Şekil 3.12 Plak sistemi sonlu eleman modeli……..……..53
Şekil 3.13 Plak sistemi ön görünüş…….…53
Şekil 3.14 Plak sistemi yan ve üst görünüşler……..…….....53
Şekil 3.15 Deney düzeneğinin ilk hali……....54
Şekil 3.16 Deney düzeneği ikinci durum……..……....55
Şekil 3.17 Deney düzeneği üçüncü durum……55
Şekil 3.18 Deney düzeneği dördüncü durum……..……..…….56
Şekil 3.19 Düzlem dışı hareketi engellemek için tasarlanan yatak……56
Şekil 3.20 Tasarlanan yatağın uygulanması……...……....57
Şekil 3.21 Ölçüm alınan noktalar……...57
Şekil 3.22 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0167Hz)……..….....59
Şekil 3.23 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0167Hz)..……..……59
Şekil 3.24 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0167Hz)..……..59
Şekil 3.25 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0167Hz)..……...….....60
Şekil 3.26 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0167Hz)……...60
Şekil 3.27 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.01667Hz)..…..…….60
Şekil 3.28 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.02Hz)…….....61
Şekil 3.29 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.02Hz)…….……61
Şekil 3.30 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.02Hz)..……...……..61
Şekil 3.31 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.02Hz)..……...…….....62
Şekil 3.32 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.02Hz)…….…...……..62
Şekil 3.33 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.02Hz)…….……...62
Şekil 3.34 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0222Hz)…...….....63
Şekil 3.35 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0222Hz)…..……63
Şekil 3.36 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0222Hz)..……..……..63
Şekil 3.37 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0222Hz)..……...…….....64
Şekil 3.38 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0222Hz)…….……..64
Şekil 3.39 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.0222Hz)…...…...…...64
Şekil 3.40 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.025Hz)…..….....65
Şekil 3.41 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.025Hz)…..……...……...65
Şekil 3.42 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.025Hz)..……...…….....65
Şekil 3.43 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.025Hz)…….……..….....66
Şekil 3.44 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.025Hz)……..……...……...66
Şekil 3.45 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.025Hz)..……....66
Şekil 3.46 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.033Hz)…..….....67
Şekil 3.47 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.033Hz)…..……...…….…..67
Şekil 3.48 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.033Hz)..…...……...……....67
Şekil 3.49 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.033Hz)..……..…….....68
Şekil 3.50 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.033Hz)……...……..….....68
Şekil 3.51 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.05Hz)….....…….68
Şekil 3.52 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.05Hz)…...….....69
Şekil 3.53 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.05Hz)…..……...…….....69
Şekil 3.54 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.05Hz)..……...…….....69
Şekil 3.55 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.05Hz)..…….....70
Şekil 3.56 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.05Hz)……...….....70
Şekil 3.57 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.05Hz)……...…….....70
Şekil 3.58 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0667Hz)...….....71

Şekil 3.59 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0667Hz)..……..……..…...71
Şekil 3.60 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0667Hz)..……..….....71
Şekil 3.61 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0667Hz)..…….....72
Şekil 3.62 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0667Hz).....……..….....72
Şekil 3.63 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.0667Hz)…….....72
Şekil 3.64 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.1Hz)..…….....73
Şekil 3.65 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.1Hz)..……..…...73
Şekil 3.66 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.1Hz)..……..…….....73
Şekil 3.67 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.1Hz)..…….....74
Şekil 3.68 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.1Hz)…….....74
Şekil 3.69 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.1Hz)……..…....74
Şekil 3.70 Her bir frekans değeri için eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (u_0=0.5mm)…….....75
Şekil 3.71 Her bir frekans değerinde ortalama tüketilen enerji miktarları.....75
Şekil 3.72 Her bir frekans değerinde ortalama sönüm katsayısı…….....76
Şekil 3.73 Her bir frekans değerinde ortalama kaybedilen rijitlik……..……...76
Şekil 3.74 Her bir frekans değerinde ortalama depolanan rijitlik……..……77
Şekil 3.75 Her bir frekans değerinde ortalama eşdeğer sönüm oranı……..……77
Şekil 3.76Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0167Hz)……..….....78
Şekil 3.77 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0167Hz)..……...…...78
Şekil 3.78 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0167Hz)..……..……..…..79
Şekil 3.79 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0167Hz)..……..……..…....79
Şekil 3.80 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0167Hz)……..……..……79
Şekil 3.81 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.01667Hz).....……79
Şekil 3.82 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.02Hz)…….....80
Şekil 3.83 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.02Hz)..……..……...80
Şekil 3.84 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.02Hz)..……..……...80
Şekil 3.85 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.02Hz)..…….....81
Şekil 3.86 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.02Hz)……..……..……..81
Şekil 3.87 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.02Hz)……...81
Şekil 3.88 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0222Hz)…..….....82
Şekil 3.89 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0222Hz)..…..……..……82
Şekil 3.90 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0222Hz)..……..…….82
Şekil 3.91 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0222Hz)..…..……..….....83
Şekil 3.92 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0222Hz)……..……...83
Şekil 3.93 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.0222Hz)…….....…..83
Şekil 3.94 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.025Hz)…..….....84
Şekil 3.95 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.025Hz)..…..……...84
Şekil 3.96 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.025Hz)..…..……..……....84
Şekil 3.97 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.025Hz)..…..…….....85
Şekil 3.98 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.025Hz)…..……....85
Şekil 3.99 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.025Hz)…..…….....85
Şekil 3.100 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.033Hz)…..….....86
Şekil 3.101 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.033Hz)..…..……...86
Şekil 3.102.Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.033Hz)..……..…..……....86
Şekil 3.103 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.033Hz)..…..……..…….....87
Şekil 3.104 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.033Hz)……..…..……...87
Şekil 3.105 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.05Hz)…..……...87
Şekil 3.106 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.05Hz)…..….....88
Şekil 3.107 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.05Hz)…..……....88

Şekil 3.108 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.05Hz)..…..……..…….....88
Şekil 3.109 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.05Hz)…….……..…….....89
Şekil 3.110 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.05Hz)……..…….....89
Şekil 3.111 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.05Hz)…..……...89
Şekil 3.112 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0667Hz).....….....90
Şekil 3.113 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0667Hz)..……..…….....90
Şekil 3.114 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0667Hz)..…...……...…….....90
Şekil 3.115 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0667Hz)..…….…….....91
Şekil 3.116 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0667Hz)….……...…….....91
Şekil 3.117 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.0667Hz)…...…..…..91
Şekil 3.118 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.1Hz)...…….....92
Şekil 3.119 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.1Hz)..……..……...92
Şekil 3.120 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.1Hz)..……..…….…….....92
Şekil 3.121 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.1Hz)..…….……....….....93
Şekil 3.122 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.1Hz)….……..….....93
Şekil 3.123 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.1Hz)…….....…..93
Şekil 3.124 Her bir frekans değeri için eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (u_0=1mm)……..94
Şekil 3. 125 Her bir frekans değerinde ortalama tüketilen enerji miktarları…..…...94
Şekil 3.126 Her bir frekans değerinde ortalama sönüm katsayısı……..….....…….95
Şekil 3.127 Her bir frekans değerinde ortalama kaybedilen rijitlik……...…95
Şekil 3.128 Her bir frekans değerinde ortalama depolanan rijitlik…….....…...96
Şekil 3.129 Her bir frekans değerinde ortalama eşdeğer sönüm oranı……..…..96
Şekil 3.130 Tüketilen enerjinin artan çevrim ve frekansla değişimi…….....…….97
Şekil 3.131 Kaybedilen rijitliğin artan çevrim ve frekansla değişimi…….....…….97
Şekil 3.132 Depolanan rijitliğin artan çevrim ve frekansla değişimi……...……..97
Şekil 3.133 Eşdeğer sönüm oranının artan çevrim ve frekansla değişimi……..…....98
Şekil 3.134 Sönüm katsayısının artan çevrim ve frekansla değişimi……....98

ÖZEL BİR SÖNÜMLEYİCİNİN FARKLI FREKANS BANTLARINDA DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışma, yapılarda sismik etkileri ve dolayısıyla oluşacak hasarları azaltmak için kullanılan pasif sönümleyici sistemlerinden biri olan kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin deneysel olarak incelenmesinden oluşmaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda üretilen sönümleyiciye çift yönlü, değişken yatay yükler uygulayarak kuvvet – yerdeğiştirme eğrileri çizdirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler yazılan bilgisayar programında giriş bilgisi olarak kullanılmış ve bu sayede sönümleyicinin sönüm katsayısı, sönüm oranı, depolanan ve saklanan rijitliği gibi karakteristik özellikleri ile her bir çevrimde kurşun ekstrüzyon sönümleyici tarafından sönümlenen enerji miktarı hesaplanmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, kurşun ekstrüzyon sönümleyici hakkında kısa bir bilgi ile tez çalışmasının amacı ve kapsamı yer almaktadır. Giriş kısmında kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin gelişiminden ve farklı türlerinden bahsedilmiştir. Daha sonra benzer özelliklere sahip pasif sönümleyicilerden viskoelastik sönümleyici ile karşılaştırılma yapılmıştır.

İkinci bölümde aktif ve pasif sönümleyiciler hakkında bilgi verildikten sonra kurşun ekstrüzyon sönümleyici hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyici ve diğer sönümleme sistemleri ile ilgili yapılmış olan literatür araştırması da bu kısımda yer almaktadır.

Üçüncü bölümde İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında üretilen sönümleyiciden bahsedilmiştir. İlk olarak deneylerin nasıl yapıldığı anlatılmış daha sonra deney sonuçlarını değerlendirmek için yazılan bilgisayar programından bahsedilmiş ve bu programda kullanılan algoritmanın alındığı Constantinou ve Symans'ın ilgili yayını da yine bu kısımda yer almıştır. Bütün bunlardan sonra deney düzeneğinin tasarım sürecinden, yükleme çerçevesinin detaylarından bahsedilmiş ve üretim için gerekli detay çizimlerine yer verilmiştir. Deney düzeneğinin kurulumu, deneyler sırasında karşılaşılan zorluklar ve bunlara karşılık yapılmış olan iyileştirme çalışmalarından da yine bu bölümde bahsedilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler yazılan bilgisayar programı ile irdelenmiş ve sönümleyicinin karakteristik özellikleri ortaya konmuştur.

Dördüncü ve sonuncu bölümde ise yapılan bütün deney ve çalışmalardan elde edilen sonuçlar anlatılmıştır.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF A SPECIAL ENERGY DISSIPATER in VARIOUS FREQUENCY RANGES

SUMMARY

In this M.Sc. thesis, characteristic properties of a lead extrusion damper are investigated in the experimental manner. A prestressed lead extrusion damper produced in Istanbul Technical University Structural and Earthquake Engineering Laboratory (STEELAB) has been tested by using cyclic loading at different frequencies and strokes.

An experimental setup is established to fix the designed lead extrusion damper into the proper position and so that to obtain force – displacement relationships of the device could be possible. The loading frame, which has high lateral stiffness and load carrying capacity, is installed into an existing reaction frame to transfer the resulting forces to the reinforced concrete slab. Additionally adaptor elements and out – of – plane stopper systems are used within this experimental study. After having established the loading frame and other elements, experimental study was started.

The mathematical method used by Constantinou and Symans (1992) is adopted in this study for determining rigidity and damping characteristics of LED. A computer code has been developped for calculating rigidity and damping properties of the experiments. Once getting test results, the code reads this file as an input file and makes necessary calculations. Owing to this code, evaluation of testing results takes just a few seconds.

In the first chapter of the thesis, history of lead extrusion damper and its usage at structures mentioned briefly. Secondly, two types of lead extrusion damper, bulged shaft and constricted tubeare explained in detail. It is also described that what are the differences between bulged shaft and constricted tube dampers. Additionally it is discussed that why we select bulged shaft type lead extrusion damper for experiments. Moreover, the damper tests explained briefly.

The experimental studies showed that the lead extrusion damper produced in STEELAB has a significant damping ratio at any frequency. As we want to compare the designed lead extrusion damper with other passive damping devices an intensive literature survey has been performed about the viscoelastic dampers which have the similar properties with lead extrusion damper. The literature survey yield that the viscoelastic dampers can reach 25% damping ratio and it can be affected by the environmental conditions while the lead extrusion damper produced and designed in STEELAB reaches about 43% damping ratio. Furthermore viscous liquid of the viscoelastic dampers may loose their viscous properties by the time but lead, the working material of the designed damper, can regain its original properties in a short time after even the temperature is around -5ºC.

In the second chapter, a detailed literature survey is presented covering previous studies on lead extrusion damper and all the other damping devices.

At the starting point, it is mentioned that the seismic events like earthquakes, tsunamis or tornados apply significant energy to buildings or other structures and this energy may cause structural damages. It is predicted that these damages occur primarily at the beam ends and so at the bottom of the columns in the classical structural engineering concept. So that the total collapse of buildings are prevented by these order of damage formation. It may be possible to absorb the seismic energy without having heavy damages by the special damping devices.

Using additional damping devices or systems can be desirable for the following reasons,

- Additional damping devices/systems may provide additional damping and stiffness to the structure to reduce the response.
- Energy dissipation in structures can be confined by usage of the supplemental devices.
- Damage to the structure can be limited by the supplemental dampers which are easier to replace than structural components and do not affect the gravity load – resisting system, [4].

Eventhough estimating the seismic loads is very hard, owing to developments in the computer technologies, dynamic loads affect the structure can be measured before the load effect to the structure and necessary control loads can be calculated at control computer, in the active control systems. These control loads are applied to the structure by the active load mechanisms that placed into structure.

On the other hand, passive systems do not require computers and complicated algorithms. Once load affect to the structure, these devices absorb this energy by using different mechanisms. Some passive damping devices are frictional dampers and most of these devices generate rectangular hysteresis loops. Yielding steel dampers use the yield properties of miled steel for damping. When shape memory alloys loaded undergo a reversible phase transformation as they deform and therefore have ability to yield repeatedly without sustaining any permanent deformation. Viscoelastic dampers exhibit combined features of viscous liquid and elastic solid. When they deform, they return to their original shape after each cycle and dissipate a great amount of energy. Some of fluid viscous dampers operate on the principle of fluid flow through orifices, [4].

Lead extrusion damper convert the mechanical energy to heat energy by the deformation of lead. It maintains damping even repetitive seismic events because of lead regain its original properties owing to three processes that related which other. They are recover recrystallization and gain growth.

Extrusion prosess come true as forcing a material through an orifice thereby altering its shape. This orifice may be in two different forms. At first, constricted tube type damper, orifice is created by a constriction from the outer cylinder. At second, the bulged shaft damper, one can creat the orifice by a bulgen on the shaft. Producing the bulge shaft damper is easier and cheaper than the producing constricted tube damper. Also the bulged shaft damper has better performance. Therefore bulged shaft type lead extrution damper has been used in this study.

In reality, the working with lead is hard. When lead solidified micro voids occur due to trapped air. These voids inhibit fully fill the volume inside of damper. If there are

micro voids, damper cannot work at full capacity. Some part of motion is used for compressing the voids and whiles this compressing there is no damp.

In the third chapter of the thesis, production phases of the specimens, experimental setup, the details of the experimental studies and the results of the experiments are presented. The experimental studies cover frequencies 0.0167, 0.0200, 0.0222, 0.0250, 0.0333, 0.0500, 0.0667 and 0.1000 Hz.The designed damper is tested for the cyclic type loading. The designed damper is tested for the cyclic type loading. All the experimental results are drawn as graphs to understand and interpret much more easily. Firstly the amount of dissipated energy for each cycle shown. Secondly, changing of damping coefficient and equivalent damping ratio are shown with increasing number of cycles to understand damping properties of produced device at any frequency and stroke ranges. Moreover, loss and storage stiffness values of device at any cycle are drawn to evaluate rigidity properties of device. Finally, hysteresis loops are shown so that dissipated energy can be calculated for each cycle. After representing these graphs, changing of damping and rigidity characteristics of device with frequency is shown.

It is mentioned as a result at the fourth chapter,

- Characteristic features of device such as equivalent damping ratio and dissipated energy do not change by the ascending frequency values.
- Equivalent damping ratio of the device is about 43% and it is nearly independent from changing in frequency.
- It can be said also the device is independent from number of cycles.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

İlk kez 1970'li yılların başlarında W. H. Robinson tarafından geliştirilen kurşun ekstrüzyon sönümleyici temel olarak sismik etkiler oluştuğunda kurşunun bir daraltıya doğru ekstrüze edilip enerjinin kurşunun plastik şekil değiştirme enerjisine ve sıcaklığa dönüştürülüp enerji soğrulması prensibiyle çalışır. Keşfedildiği tarihten beri Yeni Zelanda'da 3 köprü ile 10 katlı bir binanın sismik izolasyon sistemlerinde sönüm sağlamak için kullanılmıştır [3].

Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin ilk olarak iki tipi üretilmiştir. Bunlardan biri olan girintili tüp sönümleyicide dıştaki silindirde oluşturulan bir girinti ile daraltı oluşturulur ve kurşun bu daraltıya doğru ekstrüze edilir. Diğer tür olan çıkıntılı şaft sönümleyici de ise tek fark daraltının şaft üzerindeki bir çıkıntı ile oluşturulmasıdır.
Bu çalışma kapsamında çıkıntılı şaft sönümleyiciüretiminin çok daha kolay ve ucuz olması, daha önce yapılan çalışmalarda performansının çok daha verimli olması gibi baskın üstünlüklerinden dolayı tercih edilmiştir.

Çıkıntılı şaft kurşun ekstrüzyon sönümleyici üzerinde yapılan deneylerde sönümleyicinin bir ucu sabit tutulmuş diğer ucundansa sinüsoidal bir yerdeğiştirme protokolü uygulanmıştır. Farklı titreşim bantlarında yapılan deneyler sonucunda üretilen sönümleyicinin karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Farklı titreşim bantlarında yapılan yoğun deneyler sonucunda kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin sönüm oranı %50 civarındayken benzer özelliklerdeki sönümleyicilerden olan viskoelastik sönümleyici için bu oran %25 olarak verilmiş ve bu sönüm oranının yapının taban kesme kuvvetinde ortalama %25 azalma sağladığından bahsedilmektedir [13]. Yapılan bir çalışmada ise bu oran %15 olarak önerilmiştir [14]. Yapılan diğer bir çalışmada da bu oranın sıcaklıkla değişebildiği ancak %25 değerine kadar çıkabildiği gösterilmiştir [15].

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının ana amacı kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin sönüm ve rijitlik özelliklerinin belirlenmesidir. Üretilmiş olan cihaz sinüsoidal yükleme protokolüne tabii tutularak kuvvet – yerdeğiştirme eğrileri elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, ilk olarak günümüzde kullanılmakta olan aktif ve pasif enerji sönümleme sistemleri incelenmiş daha sonra geniş bir şekilde kurşun ekstrüzyon sönümleyiciden bahsedilmiştir. Bu bilgilendirmelerden sonra yapılan deney sonuçları irdelenmiş ve üretilen kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin karakteristikleri ortaya konmuştur.

2 SİSMİK ENERJİ SÖNÜMLEME SİSTEMLERİ ve KURŞUN EKSTRÜZYON SÖNÜMLEYİCİ

2.1 Sismik Enerji Sönümleme Sistemleri

2011 yılında mart ayında Japonya'da meydana gelen 8.9 büyüklüğündeki deprem ve beraberinde oluşan tsunami gibi veya ülkemizde 2011 yılı ekim ayında meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki Van depremi gibi kuvvetli sismik etkenlerden oluşan enerjinin yapıya önemli bir hasar vermeden soğurulması günümüzdeki en önemli mühendislik problemlerinden bir tanesidir.

Ülkemizde yapılan genellikle yapıya etkiyen deprem yüklerinin, öncelikle kirişlerde oluşan plastik deformasyonlarla ve limit durumda kolon alt uçlarındaki plastik deformasyonlarla tüketilmesi prensibine göre tasarlanmaktadır. Oluşan bu plastik şekildeğiştirmeler yapıda çok büyük hasarlar bırakabilir. Yapının güçlendirilmesi veya yeniden inşa edilmesi gibidurumlar söz konusu olabilir.

Depremden doğan enerji, yapıda oluşan hasarlarla tüketilmesi yerine hasar gördükten sonra değiştirilmesi daha kolay olan veya değişmesinin hiç gerekmeyeceği sismik izolasyon yöntemleri ile soğrulabilir. Bu yöntemler en temel biçimde aktif ve pasif sistemler olarak sınıflandırılabilirler ancak yarı aktif sistemler ve karma sistemlerde söz konusudur.

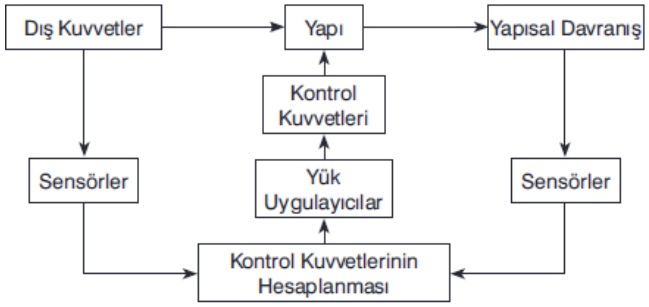
2.1.1 Yapılmış olan çalışmalar

Daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenirken öncelikle aktif ve pasif yöntemlerin tamamını içeren bir inceleme yapılmıştır. Aktif sistemlerden bahsedildikten sonra kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin de içinde bulunduğu pasif enerji tüketim sistemleri hakkında daha detaylı bir inceleme yapılmıştır.

2.1.1.1 Ünal Aydemir, 2005

Yapıya gelecek olan yükleri önceden tahmin etmek çok zordur. Bilgisayar, elektro – hidrolik sistemler ve sensör teknolojisindeki gelişmeler neticesinde yapıya gelecek dinamik kuvvetler önceden ölçülerek kontrol bilgisayarında gerekli kontrol kuvvetleri hesaplanabilmektedir ve bu kuvvetler yapıya yerleştirilen aktif kuvvet mekanizmaları ile uygulanabilmektedir.
Kontrol kuvvetleri genelde tendonlar ile uygulanmaktadır. Bu tendonlar öngerilmeli ve elektrik ile çalışan hidrolik bir mekanizma ile kontrol edilmektedir.

Japonya'da aktif kontrol sistemlerinin bulunduğu çok sayıda bina bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi 1992'de tamamlanan Applause kulesidir. Bu yapıda aktif kütle olarak binadaki mevcut helikopter platformu kullanılmıştır.



Şekil 2.1 Aktif kontrolün şematik diyagramı

2.1.1.2 Fahim Sadek, BijanMohraz, Andrew W. Taylor ve Riley M. Chung

Bu yayında yapıların sismik taleplerini azaltmak için önerilen ve geliştirilen farklı pasif enerji azaltma cihazlarındankısacabahsedilmiştir.Bu cihazlar pasif sönümleyiciler ve ayarlanmış sistemler olarak iki gruba ayrılırlar. İlk grupta sürtünme, metalik, viskoelastik ve viskoz sönümleyiciler bulunurken ikinci grup ayarlanmış kütle sönümleyiciler, ayarlanmış sıvı sönümleyiciler ve ayarlanmış sıvı kolon sönümleyicilerden oluşur.

Yapısal elemanlarda elastik ötesi davranışla ek enerji sönümü sağlanırken sıklıkla büyük hasarlar da meydana gelir. Buna ek olarak tekrarlı elastik ötesi çevrimlerde elemanların histeretik davranışları azalır. Elastik ötesi davranış dolgu duvarlar, kapı ve pencereler vb. yapısal olmayan elemanlarda da önemli hasarlar oluşturur ve büyük kat ötelemerine ihtiyaç duyar.

Yapıda depremden dolayı oluşan enerjinin bir kısmını enerji sönümleme cihazları ile soğurulup kiriş, kolon ve perde gibi birincil yapısal elemanların enerji sönümleme istemleri minimize edilebilinir. Buda daha düşük ivme, daha küçük değerlerdeki kesme kuvvetleri ve dolayısıyla yapıda daha düşük süneklik istemi doğurur.

Pasif enerji sönümleme sistemleri (pasif kontrol sistemleri olarak da bilinir), enerjiyi; kinetik enerjinin ısıya dönüştürülmesi veya farklı titreşim modları arasında enerji aktarımıyla sönümleyebilme yeteneğine göre karakterize edilir. İlk grup pasif enerji azaltma sistemlerini içerirken ikinci grup ayarlanmış sistemler olarak adlandırılır.

Sismik Tepkilerde Ek Sönümün Etkisi

Yapısal elemanlarda ek sönümün avantajları uzun zaman önce fark edilmiş ve kabul görmüştür. Bütün yapısal sistemlerde enerji sönümünün doğası tam olarak anlaşılamasa da pratikte var olan eşdeğer viskoz sönüm %2 – 5 olarak kabul edilmiş ve dinamik hesaplarda kullanılmıştır.
Serbest veya zorlanmış titreşim altındaki tek serbestlik dereceli (TSD) bir yapı için sönüm oranındaki (β) bir artış titreşim genliğinde azalmaya neden olur. Bu doğal frekansı 'ω' olan sönümlü TSD bir sistemin hareket denkleminden anlaşılabilir. Serbest titreşim altındaki oskilatörün yer değiştirmesi x(t) aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$x(t) = e^{-\beta\alpha x}\left[x_0 cos\omega_d t + \frac{\dot{x_0}+x_0\beta\omega}{\omega_d} sin\omega_d t\right] \qquad \textbf{(2.1)}$$

$x_0$ve $\dot{x_0}$ sırasıyla başlangıç konumu ve hızını, $\omega_d = \sqrt{1-\beta^2}$ sönümlü titreşim frekansını göstermektedir. Rijitliği 'k' olan ve 'Psinωt' harmonik yükü etkisi altında bulunan TSD bir sistem için deplasman Claugh ve Panzien tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir (1998).

$$\frac{x(t)}{P/k} = \frac{1}{[1-\bar{\omega}/\omega]^2+[2\beta\bar{\omega}/\omega]^2}[[1-\bar{\omega}/\omega]^2 sin\bar{\omega}t - 2\beta\bar{\omega}cos\bar{\omega}t/\omega] \qquad \textbf{(2. 2)}$$

$\bar{\omega}$ zorlanmış frekansı göstermektedir ve sistemin doğal frekansına yakındır. Eğer zorlanmış frekans doğal frekansa yakın olmazsa ($\bar{\omega}$ / ω ≈ 1,2 – 0,8) ek vizkoz sönümün çok büyük bir etkisi olmayacaktır.

Doğal ve ek sönümün spektral yer değiştirme (SD) üzerindeki etkisi yoğun olarak çalışılmış bir konudur. Ashour ve Hanson (1987) sönüm oranı β daki artışla elastik SD'daki azalışı tanımlayan bir ilişkiyi önerdiler. İstatistiksel analizleri azaltma katsayısı 'r_f' in ortaya çıkmasını sağlamıştır. Sönümsüz durumda normalizasyon yapıldığında r_f;

$$r_f = \sqrt{\frac{1-e^{-\beta B}}{\beta B}} \qquad \textbf{(2.3)}$$

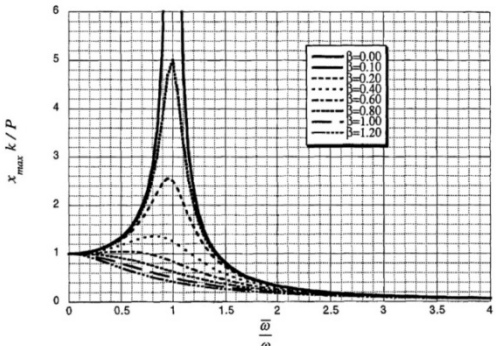
%5 sönümlü durumda normalizasyon yapıldığında ise aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$r_f = \sqrt{0{,}05\frac{1-e^{-\beta B}}{\beta\left(1-e^{-0{,}05\beta B}\right)}} \qquad \textbf{(2.4)}$$

B, sönümsüz durumda 24 – 140 arasında, %5 sönümlü durumda ise 18 – 65 arasında değişen bir parametredir. Yukarıdaki denklemler sönümdeki artışın deplasmanda önemli bir azalmaya sebep olduğunun kanıtıdır.

Wu ve Hanson (1989), yüksek sönüm oranlarına sahip ve farklı sünekliklerdeki TSD sistemlerin elastik – plastik davranışını araştırdılar. İstatiksel analizlerinin sonucunda, her periyotta aşağıdaki denklemden elde edilebilecek bir ψ (tepki parametresinin pik yerdeğiştirmeye oranı) artım katsayısı elde ettiler.

$$\psi(\beta,\mu) = p_1 ln(p_2\beta)[p_3\mu - (p_3 - 1)]^4 \qquad \textbf{(2.5)}$$



Şekil 2.2 Harmonik yük etkisinde farklı sönüm oranlarındaki TSD sistemlerin pik tepkileri

p_1, p_2, p_3, p_4 verilen periyotlara ait katsayılardır ve yayında tablo halinde verilmiştir. Ek sönümleyicinin bulunduğu TSD yapıların tepkisini aratırmak için benzer bir analiz bu çalışmada uygulanmıştır. Bu çalışmada periyodu 0.1 – 3 s arasında 0,1s aralıklarla artan ve sönüm oranları %0, 2, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 olan TSD

sistemler ele alınmıştır. Yapılar 36 faklı istasyondan alınan 72 ivme kaydının yatay bileşenine tabii tutulmuştur. Kayıtlardaki deprem büyüklükleri 5,2 – 7,7, merkez üssü uzaklığı 6 – 127 km, pik yer ivmeleri 0,044g – 1,172g arasında değişen değerler ve kaya ile alüvyon olmak üzere iki tür zemin cinsini içermektedir.

Ek sönüm yerdeğiştirmede büyük azalmalara neden olur. Yüksek sönüm oranları (yaklaşık %40 dan daha büyük) yerdeğiştirmede daha da büyük azalmalara neden olurken, özellikle periyodu uzun olan yapılarda, ek azaltım çok fazla değildir ve belki de ters etki yaratabilir.

$$\xi_k = \beta_k + \frac{1}{2}\frac{\sum_j c_j cos^2\theta_j \left(\emptyset_{j,k} - \emptyset_{j,k-1}\right)^2}{\omega_k \sum_j m_j \emptyset_j^2} \qquad \textbf{(2.6)}$$

Bu denklemdeki β_k yapının k. modda var olan sönümünü, c_j j. katta bulunan sönümleyicinin sönüm katsayısını, $\theta_{j,k}$ j. kat k. modda mod şekli genliğini, ω_k k. modda titreşim frekansını ve m_j j. katın kütlesini göstermektedir.

Bu denklem modal sönüm oranına en büyük katkıyı yapabilmek için sönümleyiciler modal katlar arası ötelenmelerin maksimum olduğu kat hizalarına yerleştirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Pasif Sönüm Cihazları

Yapılardaki sönümün yerdeğiştirme ve ivmeyi önemli ölçüde azaltabilir ve bina yüksekliği boyunca kesme kuvvetini düşürebilir. Yapılarda ek pasif sönümleyicilerinin kullanılması aşağıdaki sebeplerle istenebilir

- Ek sönümleyiciler yapıya, tepkileri azaltacak ek sönüm ve rijitlik sağlarlar
- Binalardaki enerji sönümü yapısal elemanlar yerine ek sönümleyicilerle sağlanabilir
- Binaların göreceği zarar yapısal elemanlar yerine değiştirilmesi daha kolay olan ek sönümleyicilerle sınırlandırılabilir.

Sürtünmeli Sönümleyiciler

Bu cihazların çoğu sürtünmeli sönümleyicilerin Coloumb sürtünmesine benzer olduğunu gösteren dikdörtgen histeresizler oluşturur. Genellikle performans özellikleri iyidir ve davranışları kuvvet frekansından, yük çevrimi sayısından veya

sıcaklık değişiminden neredeyse bağımsızdır. Yorulmaya karşı da büyük dirençleri vardır. Bu cihazlar mekanik karmaşıklığı ve kayıcı yüzeyde kullanılan malzemeye göre farklılık gösterirler.

Sürtünmeli cihazların uzun zaman dilimlerinde özelliklerini devam ettirme konusunda zorlukları vardır çünkü;

a) Metalik arayüzler korozyona karşı hassastır. Özellikle pirinç, bronz ve bakıra temans eden çelik çubuklar ağır korozyon problemleri yaşarlar.
b) Kayıcı ara yüzdeki normal kuvvet tam olarak sabit kalmaz ve bazı gerilme azalmaları beklenebilir.
c) Bir depremden sonra kalıcı çıkıklıklar oluşabilir.

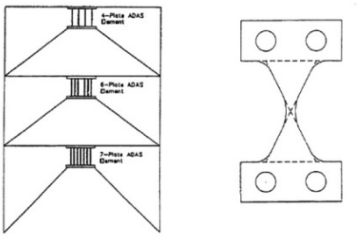
Metalik Sönümleyiciler

Bu tip sönümleyiciler metallerin doğrusal olmayan bölgedeki histeretik davranışını kullanır. Sönümleyicinin direnç kuvveti çoğu zaman doğrusal olmayan gerilme – şekil değiştirme özelliklerine dayanır. Bu tarz sönümleyicilerin avantajları; kararlı davranışları, uzun süreli güvenirlikleri ve çevre ile sıcaklık koşullarında olan direncidir. Bunlara ek olarak metalik sönümleyiciler binaya artan rijitlik, dayanım ve enerji soğurma kapasitesi sağlarlar.

Akıcı Çelik Sönümleyiciler

Yumuşak çeliğin akma özellikleri uzun zaman önce fark edilmiş ve yapıların sismik performansını arttırmak için kullanılmıştır. Enerji tüketiminin öncelikle kesme bağlantılarında yoğunlaştığı eksantirik çapraz çerçeveler geniş kabul görmüşlerdir. Bu bağlantılar yapısal sistemin büyük depremde ağır hasar görecek parçalarıdır. Çapraz çerçevelerin uzun periyotta enerji sönümleme yeteneği, tekrarlı burkulma ve çaprazların akması çaprazlarda rijitlik ve dayanım kaybına neden olabileceği için sorgulanabilir.

Bu cihazlardan biri çoklu X şekilli çelik plaklardan oluşan eklenmiş sönüm ve rijitlik cihazlarıdır (ADAS = Additional Damping and Stiffness).



Şekil 2.3 ADAS eleman ve kurumu

Rijit sınır elemanlar kullanarak plak iki eğimde deformasyona uğrar ve akma tüm plak yüzeyinde gerçekleşir.

3 katlı çelik moment çerçevesinin sarsma tablası deneyleri, ADAS elemanların varlığının çerçevenin rijitliğini, dayanımını ve enerji sönümleme yeteneğini arttırdığını kanıtlamıştır. ADAS elemanların eklenmesiyle kat ötelemeleri %30 – 70 oranında azaltmıştır. Taban kesme kuvveti oranları (ADAS elemanların bulunduğu yapı/yalın yapı) 0,6 – 1,25 arasında değişmektedir. Kesme kuvvetinin öncelikle ADAS elemanlar ve onları destekleyen çaprazlarla karşılandığı not edilmelidir. ADAS elemanlar önceden belirlenmiş bir şekilde akarlar ve çerçeveyi çok büyük süneklik isteminden kurtarırlar.

Sürtünme ve akma sönümleyiciler aşağıdaki özellikleri paylaşırlar.

- Kuvvet limitlidirler
- Oldukça doğrusal olmayan özellikleri vardır
- Davranışları hızdan bağımsızdır

Scholl (1993) rijitliği k_s olan TSD sistem ve rijitliği k_d olan sönüm cihazlarının k_b rijitlikli çaprazlara eklendiğini düşünerek bu tarz cihazların tasarımı için bir prosedür önermiştir. Çapraz ve sönümleyicinin birleştirilmiş rijitliği $k_{bd} = \frac{k_b k_d}{k_b + k_d} = \frac{k_b}{1 + k_b/k_d}$ olarak verilmiştir. Rijitlik oranı SR cihazla yapının birleştirilmiş rijitliğinin yapının rijitliğine oranı olarak tanımlanır. $SR = \frac{k_{bd}}{k_s} = \frac{k_b/k_s}{1 + k_b/k_d}$

Yük oranı (FR) sönümleyicideki kuvvetin, maksimum yerdeğiştirmede yapıda oluşan elastik kuvvete oranıdır. Sürtünmeli sönümleyicilerde bir başlangıç rijitliği var olmadığı not edilmelidir ($k_d = \infty$) ve böylece $SR = k_b/k_s$ olarak elde edilir.

Scholl eşdeğer sönümün aşağıdaki gibi olacağını göstermiştir.

$$\xi = \frac{2FR}{\pi}\left(\frac{SR-FR}{SR+FR^2}\right) \quad \textbf{(2.7)}$$

Sönümleyicinin tasarımı için aşağıdaki sınırlandırmalar farklı birleşenlerin rijitliğine empoze edilmelidir.

1) k_b/k_d oranı enerji sönümünü maksimuma çıkarmak için olabildiğince büyük tutulmalıdır. Bu oranın ikiden büyük olması tasarımda pratik olarak bulunmuştur.
2) Artan SR daha yüksek sönüm oranlarına sebep olmaktadır. Bu yüzden mümkün olan en büyük SR değeri istenir. Pratik uygulamalar için 3 – 4 gibi SR değerlerine ulaşmak zordur. Bazı doğrusal olmayan bilgisayar simülasyonlarının sonucu ikiden büyük bir SR değerinin tavsiye edilebileceğini göstermektedir.

Akma çelik sönümleyiciler deprem etkisinde yapının tepkisini azaltmak için pasif enerji tüketim cihazları kadar etkili olabilir. Cihazın akma sonrası deformasyon alanı, cihazın erken yorulma olmadan yeterli sayıda çevrimde çalışabileceğini gösterecek büyük bir endişedir. Diğer bir endişe ise cihazın tekrarlı doğrusal olmayan deformasyonlardaki kararlı histeretik davranışıdır.

Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici

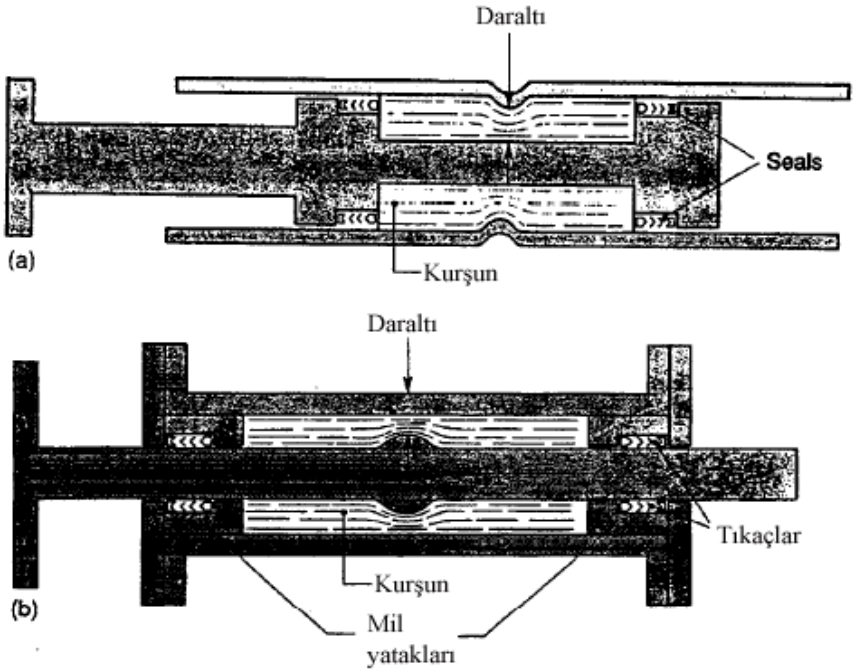
Ekstrüzyon süreci bir materyalin bir delik ya da daraltıya doğru zorlanarak şeklinin değiştirilmesinden oluşur. LED'in Yeni Zelanda'da zemin izolasyonlu yapılarda enerji tüketim cihazı olarak kullanılması ilk olarak Robinson tarafından önerilmiştir. Robinson ilk olarak 2 tür cihaz üretmiştir. İlk cihaz kalın çeperli bir tüp ve pistonla ortak eksenli bir şafttan oluşmaktaydı. Tüple piston başları arasında bir girinti vardı ve bu boşluk tamamıyla kurşunla doldurulduu. Dış yükler uygulandığında piston tüp boyunca hareket etmekteydi ve kurşun tüpteki girintiyle oluşturulan daraltıya doğru ileri geri ekstrüze edildi.

İkinci cihaz, tüpteki girintiyle değil de merkezi şafttaki çıkıntıyla oluşturulan daraltı dışında ilkine benzerdir. Şaft hareket ettiğinde kurşun daraltıya doğru ekstrüze

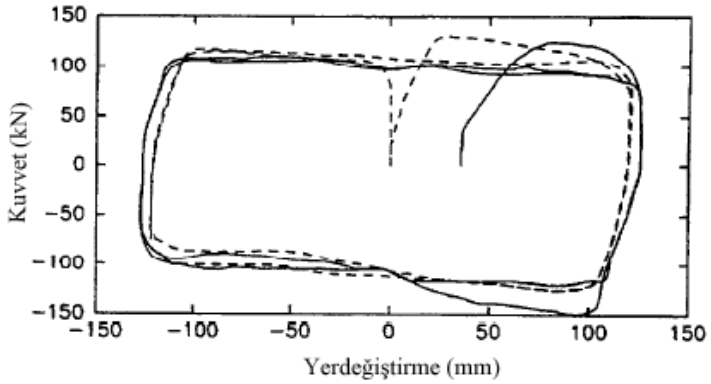
edilmektedir. Çoğu sürtünmeli sönümleyiciye benzer olarak LED'in histeretik davranışı da esasen dikdörtgendir.

LED'in avantajları aşağıdaki gibi sayılabilir.

- Yük deformasyon ilişkileri kararlıdır ve kuvvet çevrimi sayısından etkilenmez
- Çevre koşulları ve yaşlanma etkilerine duyarsızdırlar
- Uzun ömürlüdürler ve kurşun uyarıldıktan sonra deforme olmamış haline çok çabuk dönebildiği için bir depremden sonra değiştirilmeleri veya tamir edilmeleri gerekmez.



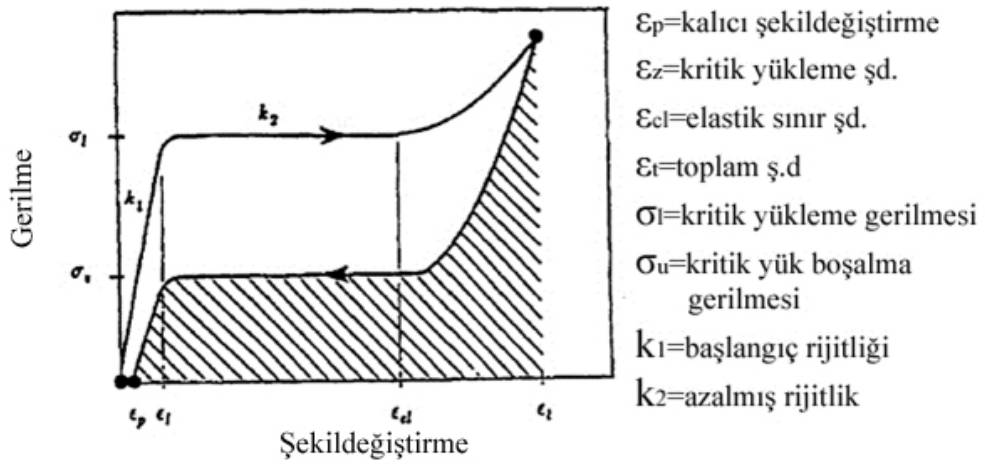
Şekil 2.4 Kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin boylamasına kesiti
(a) Girintili tüp tipi (b) çıkıntılı şaft tipi (Skinner, 1993)



Şekil 2.5 LEDhisteresizi (Robinson ve Cousins, 1987)

Şekil Hafızalı Alaşımlar

Çelik gibi daneler arası şaşırmalar bulunabilen çoğu materyale zıt olarak, şekil hafızalı çubuklar yüklendiklerinde deforme olarak tersinir faz dönüşümlerine uğrarlar ve bu yüzden kalıcı deformasyon olmadan defalarca akma özelliğine sahiptirler. Şekil 2.6 göstermektedir ki düşük gerilmelerde materyal elastik davranmaktadır, yükün boşalması boyunca materyal yükleme durumundakinden daha düşük bir gerilmede ters bir dönüşüme uğrar. Ters farz dönüşümü tamamlandığında materyal tekrar elastik özellik kazanır. SMA cihazları sıcaklıktan neredeyse bağımsızdır ve büyük kuvvetlere dayanabilirler. Bu da onları zemin izolasyonu için ideal kılar. Bazı SMA cihazları mükemmel yorulma dayanımı sergilerler. Ancak bu cihazlar oldukça pahalıdır. Analitik çalışmalar çaprazlı sistemlerde SMA cihazlar kullanıldığında bu binaların sismik tepkilerinin çok büyük ölçüde azaldığını göstermektedir.



Şekil 2.6 SMA cihazların süper elastik davranışı

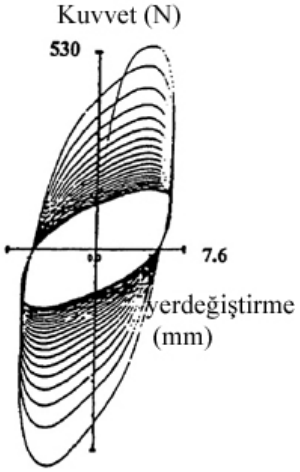
Viskoelastik Sönümleyiciler

Sönümleyicilerin kayma deformasyonlarına maruz kaldığı yapılarda, viskoelastik (VE) sönümleyiciler enerji azaltma cihazları olarak kullanılmıştır. Viskoelastik materyaller deforme olduklarında elastik katı ile viskoz sıvının özelliklerini birlikte sergiler yani her deformasyon çevriminden sonra orijinal şekillerine dönerler ve büyük bir enerji miktarını ısıya çevirerek tüketirler. Tipik bir VE kayma sönümleyicisi çelik plaklara bağlı viskoelastik katmanlardan oluşur.

VE sönümleyicinin $\bar{\omega}$ frekansına sahip sinüsoidal yük altındaki davranışını anlamak içi, kayma gerilmesi τ (t), pik kayma genlemesi (γ_0) ve pik kayma gerilmesi τ_0 cinsinden ifade edilirse;

$$\tau(t) = \gamma_0[G'(\bar{\omega})sin\bar{\omega}t + G"(\bar{\omega})cos\bar{\omega}t] \quad \textbf{(2.8)}$$

Bu denklemdeki $G'(\bar{\omega}) = \tau_0 cos\delta/\gamma_0$ ve $G"(\bar{\omega}) = \tau_0 sin\delta/\gamma_0$ dır. Buradaki δ kayma gerilmesi ile kayma genlemesi arasındaki faz açısıdır. Yukardaki denklem; $\tau(t) = G'(\bar{\omega}) \pm G"(\bar{\omega})\sqrt{\gamma_0^2 - \gamma(t)}$ şeklinde de yazılabilir. Bu hali ile yazılan denklem Şekil 2.7'deki gibi bir eliptik gerilme şekil değiştirme bağıntısı ifade eder. $G'(\bar{\omega})$ elastik rijitlik bileşenini ve $G"(\bar{\omega})$ sönüm bileşenini ifade etmektedir.



Şekil 2.7 Çevrimsel yük altındaki VE sönümleyicinin eliptik yük – deplasman eğrisi

Denklemi tekrar yeniden yazarsak;

$$\tau(t) = G'(\bar{\omega})\gamma(t) + \frac{G"(\bar{\omega})}{\bar{\omega}}\dot{\gamma}(t) \quad \textbf{(2.9)}$$

Bu denklemi TSD bir sistemin denklemiyle karşılaştırırsak, VE materyalin eşdeğer sönüm oranı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\xi = \frac{G"(\bar{\omega})}{\bar{\omega}}\left[\frac{\bar{\omega}}{2G'(\bar{\omega})}\right] = \frac{G"(\bar{\omega})}{2G'(\bar{\omega})} \quad \textbf{(2.10)}$$

Buradaki $G'(\bar{\omega})$ kayma modülü, $G"(\bar{\omega})$ ise kayıp kayma modülü olarak adlandırılır. Kayıp faktörü $\eta = G"(\bar{\omega})/G'(\bar{\omega})$ = tan δ olarak verilmiştir.

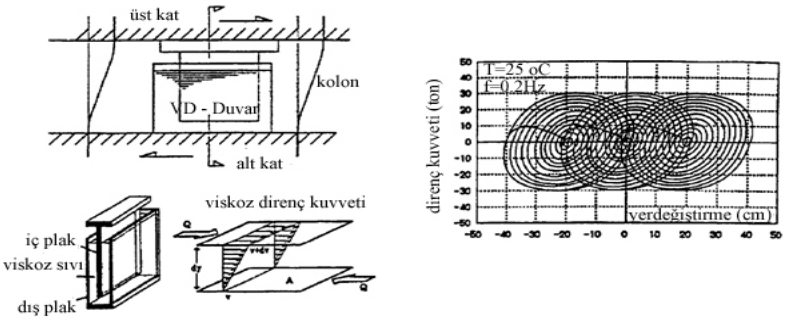
Kayıp faktörü VE sönümleyicide enerji tüketim kapasitesinin bir ölçüsü olarak kullanılır. Toplam kesme alanı A ve kalınlığı h olan VE sönümleyici için kuvvet – yer değiştirme ilişkisi $F(t) = k'(\bar{\omega})x(t) + c'(\bar{\omega})\dot{x}(t)$ olarak verilmiştir. Buradaki $k'(\bar{\omega}) = \frac{AG'(\bar{\omega})}{\mathrm{h}}$ ve $c'(\bar{\omega}) = \mathrm{A}\, G"(\bar{\omega})/\bar{\omega}\mathrm{h}$ tır. Bu denklem sürtünme ve akma sönümleyicilerinin aksine VE sönümleyicinin kısmen enerji depolayan bir katı materyal gibi ve kısmen enerji sönümleyen bir viskoz materyal gibi davranır.

Depolanan ve kayıp kayma modülleri genellikle, uyarının frekansı, kayma gerilmesi, ortamın sıcaklığı ve materyal sıcaklığının bir fonksiyonudur.

Rüzgâr ve sismik yüklerde VE sönümleyicideki sıcaklık sönümleyicinin performansına çok az bir etkisi olan 10 ^{o}C kadar artar. Genel olarak uyarı frekansı arttığında $G'(\bar{\omega})$ ve $G"(\bar{\omega})$ daha büyük değerlere ulaşır. Ortam sıcaklığı arttığında VE malzemenin yumuşadığı ve sönümleyicinin etkisinin azaldığı da görülmüştür. Ancak kayıp faktörünün frekans ve sıcaklıktaki makul değişimlerde hemen hemen aynı kaldığı görülmüştür.

Viskoz Sönümleyiciler

Japonya'da üretilen viskoz sönümleyici, alt kata monte edilen bir çelik kaptan oluşmaktadır ve kabın içinde oldukça viskoz akışkan vardır. Üstten asılı hareket edebilen bir iç çelik plak bulunmaktadır.



Şekil 2.8 Viskoz sönümleyici duvar ve histeresiz eğrisi

Akışkanın daraltıya doğru akıtılması prensibiyle çalışan viskoz sönümleyiciler uzun yıllar otomotiv, uzay ve savunma sanayilerinde kullanılmıştır. Bu sönümleyiciler doğrusal viskoz davranışa sahiptir ve sıcaklık değişimlerinden neredeyse bağımsızdır.

Akışkan sönümleyicideki yük $P = \bar{C}|\dot{u}|^{\alpha}\frac{\dot{u}}{|\dot{u}|}$ şeklinde ifade edilebilir. '$\dot{u}$' piston çubuğun hızını, $\bar{C}$ sönüm sabitini göstermektedir ve α 0,5 – 2 arasında değişen bir katsayıdır. α = 0.5 yüksek hızdaki darbeleri karşılamakta etkilidir. Silindirik daraltılarla ulaşılabilen bir α = 2 değeri yüksek hız uyarıları içeren uygulamalarda kabul edilemez. Sismik enerji tüketimi uygulamalarında istenen α = 1 değeri sönümleyicide doğrusal viskoz davranışa sebep olur.

Diğer pasif sistemler taban kesme kuvvetini azaltmada etkili değilken, akışkan sönümleyicilerin kullanımı kat ve taban kesme kuvvetlerini %40 – 70 oranında azaltır. Akışkan sönümleyicilerin istenen diğer bir özelliği ise sönüm kuvvetinin yer değiştirmeyle düzlem dışı olmasıdır. Akışkan sönümleyicinin dezavantajları ise şunlardır;

- Tıkaçlar görevini uzun süre sağlıklı olarak devam ettiremeyebilir.
- Yapıdaki küçük hareketler aşınma ve sızıntılara neden olabilir.

Pongs'un çalışmasına göre (1994) bir binanın alt katlarına yerleştirilen akışkan sönümleyiciler daha çok enerji tüketirler. Çalışma ayrıca akışkan sönümleyici kullanmanın en büyük dezavantajının sönümleyicinin direnç kuvvetinin hız bağımlılığından dolayı pik tepkinin uyarının erken zamanlarında oluşması durumunda önemli ölçüde azaltılamaması olduğunu göstermektedir.

Ayarlı Sistemler

Ayarlı sistemler, rüzgâr, deprem veya diğer dinamik yük durumlarından ötürü titreşimleri azaltmak için yapılara eklenen ek cihazlardır. Cihazların doğal frekansları ekli oldukları yapıya eşit ya da yakın olduğu için ayarlı sistemler denir. Ayarlı cihazların yeni binalara yerleştirilmesi ve var olan başka biriyle değiştirilmesi neredeyse çok kolaydır. Uygulama için bir dış güç kaynağına ihtiyaç duymazlar ve düşey ve yatay yük yollarına engel olmazlar.

Ayarlı Kütle Sistemler (TMD)

Tipik bir ayarlı kütle sönümleyici yapının yakınına doğru hareket eden bir kütleden oluşur ve paralelinde bir viskoz sönümleyici ve bir yayla yapıya monte edilir.

Yapı titrediğinde TMD yi uyarır ve kinetik enerji yapıdan TMD'ye geçer ve cihazın sönüm bileşeni tarafından soğurulur. TMD nin kütlesi genellikle büyük yer değiştirmeler yapar.

Bir TMD kütlesi, ayarı ve sönüm oranına göre karakterize edilir. Kütle oranı TMD'nin kütlesinin yapı kütlesine ve ayar oranı da TMD nin temel frekansının yapınınkine oranı olarak tanımlanır. TMD rüzgâr yükü ve harmonik yükler altında yapıdaki etkiyi azaltırken, sismik uygulamalar için TMD nin etkili olduğu konusunda genel bir uzlaşı yoktur.

Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler (TLD)

Uzay uyduları ve gemiler tarafından yoğun olarak kullanılan ayarlanmış sıvı sönümleyiciler titreşim kontrolü için yapılara eklenmiştir. TLD çalkalanma hareketinin enerjiyi soğurduğu ve sıvının viskoz hareketiyle yok ettiği ve içinde sığ sıvı bulunan rijit tanklardan oluşan bir sistemdir.

TLD nin hareketi iki yönde aynı anda azaltması ve su ya da diğer sıvıların büyük kütlelerine ihtiyaç duymaması TMD ye göre avantajlarıdır. Sun'a göre (1989) TLD nin doğal frekansı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\omega = \sqrt{\frac{\pi g}{2a} tanh\left(\frac{\pi h}{2a}\right)} \qquad \textbf{(2.11)}$$

Bu denklemde bulunan g, 2a ve h sırasıyla yer çekimi, tank boyu ve sıvı yüksekliğidir. TLD yapıların harmonik yükler ve rüzgâr yükü altında yapının tepkisini azalttığı belirlenmiştir ancak çalışmaların sonucu TLD nin sismik uygulamalarda sadece 1. moddaki tepkiyi azalttığı ancak toplam tepkide etkili olmadığı anlaşılmıştır.

Ayarlanmış Sıvı Kolon Sönümleyiciler (TLCD)

TLCD rijit olarak yapıya eklenen konteynır gibi sıvı dolu tüplerden oluşur. Enerji tüpün içindeki sıvının bir daraltıya doğru hareketiyle sönümlenir. Cihazın titreşim frekansı $\sqrt{2g/L}$ kolon boyu L değiştirilerek kolayca ayarlanabilir. TLCD, TMD nin aksine büyük yerdeğiştirmelere ihtiyaç duymaz.

Diğer ayarlı sistemlere benzer olarak TLCD de harmonik ve rüzgâr yüklerini azaltmakta etkilidir.

Bu yayında özet ve sonuç olarak aşağıdaki maddelerden bahsedilmiştir.

1. Ek sönüm cihazları kullanılarak tepkide önemli ölçüde azaltmalara ulaşılabilir. Ancak yaklaşık %40 dan daha büyük sönüm oranları tavsiye edilmez çünkü deplasmanda daha büyük azalmalar sağlarken ek azaltmalar çok büyük değerler değildir ve belki de ters etkiler yaratabilir.
2. Pasif sönümleyiciler yapılardaki enerji sönümün büyük ölçüde arttırırlar ve yapısal elemanların enerji soğurma istemlerini azaltırlar. Bu cihazların birçoğu kararlı davranış gösterir ve sismik tepkileri azaltmakta oldukça etkilidirler. Daha çalışılması gereken konular ise şunlardır;
    - Uzun dönem güvenilirliği (bozulma, korozyon, tasarım ömrü)
    - Bakım / onarım gerekleri
    - Pratik tasarım metotları
    - Tekrarlı dinamik yükler altında kararlılık ve yorulma özellikleri
3. Ayarlanmış sistemlerin harmonik ve rüzgâr yüklerinden dolayı oluşan titreşimleri azaltma performansları uzun zamandır bilinmektedir. Sismik yükler altında etkili oldukları hakkında genel bir uzlaşı yoktur ve ekstra çalışmalar gerekmektedir.
4. Binalarda ve diğer yapılarda pasif enerji sönüm cihazlarının geniş kabul görmesi değerlendirme ve deneyler için standartlar kadar iyi performans kriterleri hakkında bilgiye ulaşılabilmesine bağlıdır. Küçük ve tam ölçekli cihazların deney prosedürleri ve performans değerlendirme kriterlerinin standartlaşmasını sağlamak için daha fazla araştırmaya gerek vardır.

2.2 Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici

Kurşun ekstrüzyon sönümleyici, yapıya etkiyen sismik etkilerden dolayı oluşan enerjinin kurşunun plastik şekildeğiştirme enerjisine ve ısıya çevirerek sönümler. Silindirik tüpün içerisindeki kurşun şaftın üzerindeki bir çıkıntı ya da silindirik tüpten bir girintiyle oluşturulan daraltıya doğru ekstrüze edilir ve akması sağlanır. Çevrim sayısı arttıkça da cihaz ısınır. Böylece enerji soğurumu sağlanmış olur. Daha önce yapılan çalışmalar kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin etkinliğini kanıtlamıştır.

Kurşun ekstrüzyon sönümleyicide tüketilen enerji miktarı kurşunun saflığının, sismik etkinin frekans ile genliğinin ve kurşuna öngerilme uygulanıp uygulanmamasının bir fonksiyonudur. Sıcaklığın ise kurşun ekstrüzyon sönümleyicide karmaşık bir etkisi vardır çünkü sıcaklık arttıkça;

- Kurşun yumuşar ve ekstrüzyon kuvveti düşer bu da her bir çevrimde daha az enerji sönümlenmesi anlamına gelmektedir.
- Kurşun daha çabuk iyileşir, yeniden kristallenir ve plastisitesini geri kazanır [2].

Kurşuna öngerilme uygulanmadığı durumda, ilk olarak döküm sırasında kurşunda oluşan mikro boşluklar sıkıştırılır ve daha sonra kurşun ekstürize edilmeye başlanır. Bu da her çevrimde tüketilebilecek enerjiden çok daha azının tüketilmesi anlamında gelmektedir. Öngerilme uygulandığı durumda ise kurşun direk olarak ekstrüze edilmeye başlanacak ve sönüm kapasitesinden kayıp vermeyecektir. Böylece cihaz en etkili şekilde kullanılmış olur.

2.2.1 Yapılmış olan çalışmalar

2.2.1.1 Robinson ve Greenbank, 1976

Bir deprem etkisi altında hareket eden yapının normalde bu hareketten dolayı oluşan enerjisini kendisinin soğurması beklenir. Ancak çoğu durumda yapılara bu hareket enerjisinin büyük kısmını sönümleyebilecek sönümleyicilerin yerleştirilebilmesi mümkündür. Buna benzer bir cihazda kurşunu bir açıklığa doğru ileri geri ekstrüze eden kurşun ekstrüzyon sönümleyicidir. Ekstrüzyonla deformasyona uğramış olan kurşun çok çabuk bir şekilde yeniden kristallenir ve orijinal mekanik özelliklerini bir sonraki ekstrüzyon ya da hedef deplasmandan önce geri kazanır. Bu yöntemle sönümlenen enerjinin miktarı kurşunun yorulması veya fazla çalışmasıyla sınırlanmaz ancak sönümleyicinin ısı kapasitesi ve kurşunun erime noktası uygulama sıcaklığı olarak üst sınırı oluştururlar. Bu çalışma kapsamında 20 kN*2 cm hedef deplasmana sahip cihazlardan 200 kN*26 cm hedef deplasmana sahip cihazlar, 10^{-6} ile $3.6*10^{3}$ cm/dk aralığında değişen hızlarda denenmişlerdir. Neredeyse dikdörtgen olan çevrimsel döngüleriyle “plastik bir katı” gibi veya “coloumb sönümleyici” gibi davrandıkları gözlemlenmiştir.

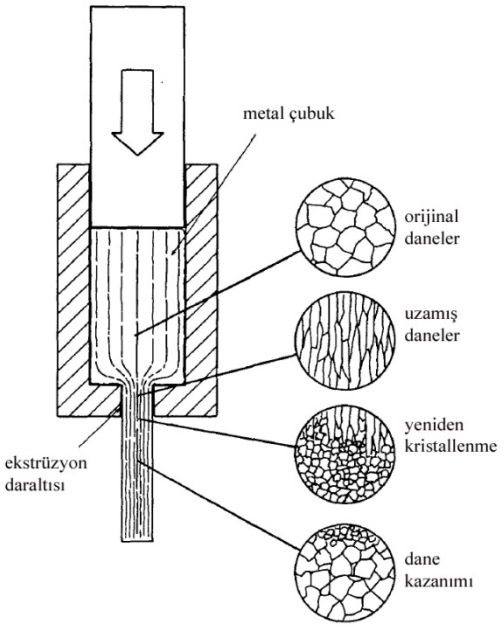
Bir yapının deprem dayanımı genellikle deprem kuvvetlerinden dolayı oluşan titreşim enerjisini absorve edebilme kapasitesine bağlıdır. Eğer bir yapının deprem kuvvetleri etkidikten sonra da elastik davranması istenirse çok büyük dayanım seviyeleri gerekecektir. Ekonomik bir tasarım normal olarak azaltılmış bir elastik dayanım ile kabul edilebilir seviyelerde sınırlandırılmış doğrusal olmayan deformasyonların göze alınmasıyla yapılabilir. Ancak çoğu zaman doğrusal olmayan deformasyonlar önemli ölçüde zarara eşlik ederler. Bu problemin üstesinden gelmek için bir yöntem de yapının elemanlarının kendi ağırlığını taşıdığı ve depremler boyunca elastik deformasyonlara izin verilen ve titreşim genliğini azaltmak için ayrı enerji sönümleyicilerin kullanıldığı yapısal tasarımlar gerçekleştirmektir. Bu tarz cihazlar, verilen bir yük ya da yerdeğiştirme etkisi altında maksimum enerji tüketimi için optimize edilebilirler ve eğer gerekirse büyük bir depremden sonra değiştirilebilirler.

W. H. Robinson bir metalin bir açıklığa doğru zorlanarak ekstrüze edilmesi sürecinin, metalin çok ağır deformasyonlara uğrayarak enerji tüketiminde ve enerji soğurucunun plastik katı gibi davranmasında çok etkili bir yöntem olduğunu söylemiştir. Kurşun oda sıcaklığında yeniden kristallenebildiği için ve bu sayede plastik deformasyonlardan sonra mekanik özelliklerini çok hızlı geri kazanabildiği için ekstrüze edilecek metal olarak seçilmiştir.

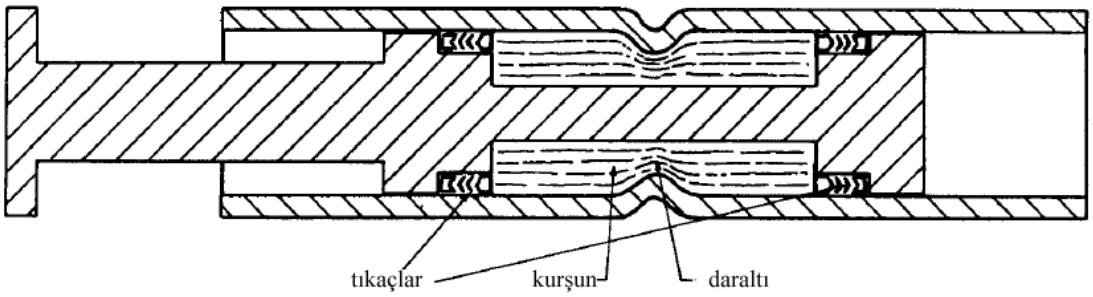
Çok kristalli bir metalin deformasyonu elemanların uzaması ve her bir elemandaki kusurların çok fazla artmasıyla sonuçlanır. Eğer sıcaklık yeterliyse, bir süre sonra metal birbiriyle ilintili üç sürecin; iyileşme, yeniden kristallenme ve dane kazanımı, sayesinde plastik genlemelerin etkisinden kararlı duruma döner. İyileşme sürecinde deforme olmuş danelerin depoladığı enerji. çıkıkların düşük enerji konumları oluşturmak için hareketi ile iç ve dış yüzeylerdeki boşlukların giderilmesiyle azalır. Bir saat içinde metalin %50 sinin yeniden kristallenmesine sebep olan sıcaklık yeniden kristallenme sıcaklığı olarak anılır. Kurşun için bu sıcaklık 20°C nin oldukça altındayken alüminyum, demir ve bakır için sırasıyla 150,200 ve 450°C dir. Yeniden kristallenmenin hangi oranda olacağı çok kuvvetli bir biçimde sıcaklığa bağlıdır. Oda sıcaklığında kurşunla çalışmak 450 ^{o}C deki demir ya da çelikle çalışmaya eşdeğerdir.

Kurşunun özelliklerini kullanarak enerji sönümleyici gibi davranan bir cihaz Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Bu sönümleyici kalın çeperli bir tüp ile iki tane piston taşıyan

ortak eksenli bir şafttan oluşur. Tüple piston arasında bir daraltı vardır ve pistonlar arasındaki boşluk kurşunla doldurulmuştur. Kurşun, hidrolik tıkaçlarla piston etrafında tutulan ince bir yağ tabakasıyla tüpten ayrılmıştır. Eksenel şaft tüpün sonuna kadar uzanır.



Şekil 2.9 Bir metalin ekstrüzyonunda mikro yapıdaki değişiklikler

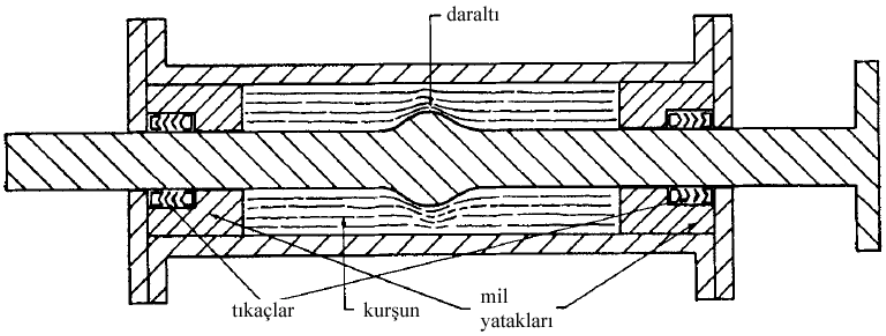


Şekil 2.10 Girintili tüp tipi kurşun ekstrüzyon sönümleyici

Bu şekilde enerji sönümlemenin başarılı uygulanması kullanılan metalin (burada kurşun) uygulama sıcaklığında hızlı şekilde iyileşip yeniden kristallenebilme özelliğine bağlıdır bu yüzden ekstrüzyon için gerekli olan kuvvet de pratik olarak her çevrimde aynı özelliğe bağlıdır. Eğer ekstrüze edilen metal uygulama sıcaklığının üzerinde bir yeniden kristallenme sıcaklığına sahip olursa ekstrüzyon için gerekli olan kuvvet aşılana kadar, bu değer pratik bir enerji sönümleyici için karşılanamayacak değerler olabilir, pekleşme oluşur.

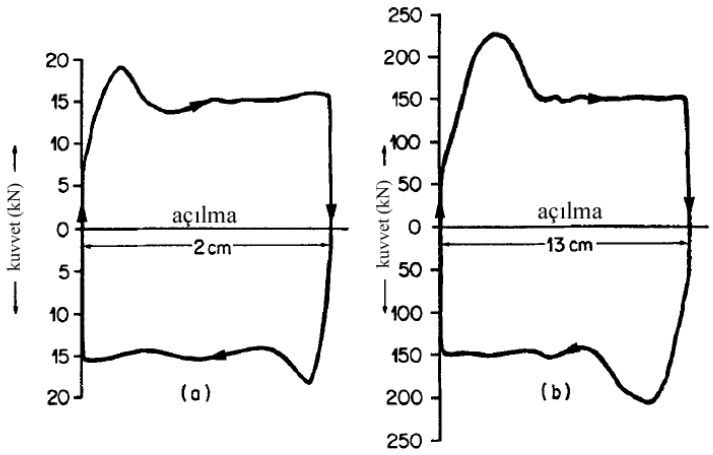
Aynı uygulama prensibine sahip olan ancak yapısal farklılıkları olan başka bir sönümleyici Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Burada daraltı tüpteki bir girinti yerine merkezi şaftın üzerindeki bir çıkıntıyla sağlanır. Şaft tüpe doğru ilerledikçe kurşun çıkıntıyla oluşturulan daraltıya doğru ekstürze edilmelidir.

Enerji sönümleme cihazının en önemli özelliklerinden biri kuvvet – yerdeğiştirme eğrisiyle verilmiştir. Cihaz 'plastik katı' ve ya 'coloumb sönümleyici' olarak davranırsa, kuvvet – yerdeğiştirme eğrisinin çevrimsel döngüsü neredeyse dikdörtgen olacaktır ve tüketilen enerji miktarı maksimumdur.



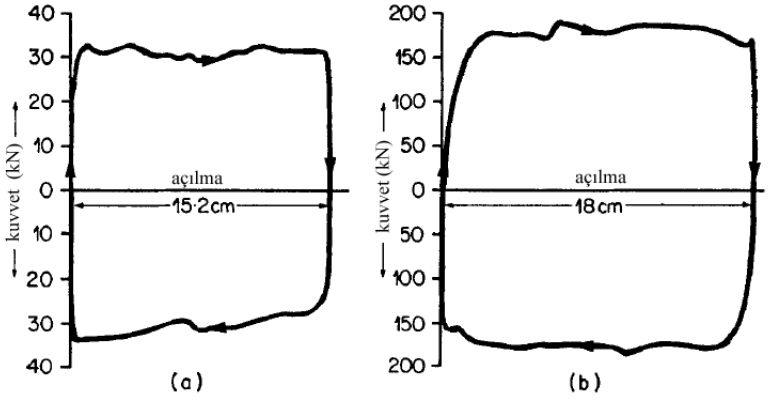
Şekil 2.11 Çıkıntılı şaft sönümleyici

Şekil 2.12 ve 2.13'te çıkıntılı şaft ve girintili tüp sönümleyicilerin tipik histeresiz döngülerini göstermektedir. Her iki tür içinde boşalma sırasında saptanabilir iyileştirebilir bir elastisite görülmemiştir.



Şekil 2.12 Girintili tüp için 1 cm/dk hızda tipik yük deplasman eğrisi a) 15 kN kapasiteli cihaz b) 150 kN kapasiteli cihaz

Girintili tüp sönümleyicinin her geri dönüşten sonra histeresizinde oluşan pik muhtemelen kurşun içinde yeni bir akış yolu oluşturmak için fazladan kuvvete ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Daha simetrik ekstrüzyon daraltısıyla beraber alandaki değişimi de daha kademeli olan çıkıntılı şaft sönümleyiciler bu pik değere sahip değillerdir. Histeresiz döngüler kendisini çevreleyen dikdörtgenlere normalize edildiğinde çıkıntılı şaft sönümleyicide performans faktörü **0.90 - 0.93** iken girintili tüp sönümleyicilerde bu değer **0.73 – 0.79** olarak elde edilmiştir. Ekstrüzyon enerji sönümleyicilerden herhangi birine uygulanan kuvvetin, hedef yerdeğiştirme ve yerdeğiştirmenin hangi noktadan başladığından neredeyse bağımsız olduğu görülmüştür.



Şekil 2.13 Çıkıntılı şaft sönümleyici için 1 cm/dk hızda tipik yük – deplasman eğrisi a) 30 kN kapasiteli cihaz b) 170 kN kapasiteli cihaz

Ekstrüzyon enerji sönümleyicide sıcaklığın etkisi karmaşıktır. Ortam sıcaklığının artışı ya da bir deprem boyunca enerji sönümlenmesinden dolayı sıcaklığın artışının iki birbiriyle zıt etkisi vardır. İlk olarak sıcaklık arttığında ekstrüzyon kuvveti azalır ve bundan dolayı tüketilen enerji miktarı azalır. İkinci ise daha yüksek sıcaklık kurşunun daha hızlı iyileşmesi ve yeniden kristalize olmasını sağlar bundan dolayı pekleşme engellenir ve kurşun plastisitesini tekrar kazanır.

Bu faktörler ekstrüzyon enerji sönümleyicinin büyük kuvvetler altında kendisine zarar vermeyen kararlı bir cihaz olduğunu garanti etmektedir. 15kN kapasiteli bir girintili tüp sönümleyiciye 1Hz de sürekli olarak 1800 çevrim uygulanmıştır ve bu deney boyunca daraltının dış yüzeyindeki sıcaklık 210^{o}C de dengeye ulaşmıştır ancak kuvveti kaydetmek mümkün olmamıştır. Bir sönümleyici -20^{o}C ye kadar

soğutularak düşük sıcaklığın etkisi kontrol edilmiştir ancak 25^oC sıcaklıktaki performansla karşılaştırıldığında fark edilebilir bir değişim gözlenmemiştir.

Ekstrüzyon enerji sönümleyicinin ömrü 15kN kapasiteli bir girintili tüp sönümleyiciye 0.5, 1 ve 2Hz frekanslarda toplamda 3400 çevrim uygulanarak denenmiştir. Beklenen etkilerden daha ağır durumlar sağlayan (bir deprem boyunca cihazın 10 çevrim yapması beklenebilir) bu deneyden sonra ekstrüzyon enerji sönümleyici uygulanabilir bulunmuştur. Belli bir sıcaklıkta şekil verilmiş kurşun sonsuza kadar orijinal mekanik özelliklerini geri kazanacağı için bu sonuç şaşırtıcı değildir. Bu yüzden enerji sönümleyici çok fazla sayıda depremde etkin bir şekilde çalışabilmelidir.

Ekstrüzyon enerji sönümleyici tarafından kısa zamanda soğrulabilecek maksimum enerji miktarı kurşunun ve onu çevreleyen çeliğin ısı kapasiteleriyle sınırlandırılır. 20^oC deki kurşunun, erime noktası olan 327^oC ye kadar kurşunu eritmeden ısıtılması $3.8*10^4$ joule/ (kg kurşun) enerji gerekmektedir. Çevreleyici çelik, cihazın sıcaklık kapasitesinin 4 katına kadar çıkabilir bu yüzden ekstrüzyon sönümleyicinin toplam enerji kapasitesi yaklaşık $1.6*10^5$ joule/kg (toplam ağırlık).

Bu yayında sonuç olarak aşağıdaki maddeler belirtilmiştir.

1-Kurşun ekstrüzyon sönümleyici neredeyse saf bir "coloumb" sönümleyicidir ve yük- yerdeğiştirme döngüleri neredeyse dikdörtgen ve pratik olarak ekstrüzyon oranından bağımsızdır.

2- Kurşunun ekstrüzyonundan sonra meydana gelen birbiriyle ilintili iyileşme, yeniden kristallenme ve dane kazanımı süreçlerinden dolayı enerji sönümleyici pekleşmeden ve yorulmadan etkilenmez ancak kurşun sonsuza kadar orijinal deforme olmamış haline döner. Ekstrüzyon enerji sönümleyici bu yüzden çok uzun bir ömre sahiptir ve bir depremden sonra yenilenmesine gerek duyulmaz.

3- Ekstrüzyon enerji sönümleyici uygulama sırasınca kararlı konumdadır ve iç kuvvetlerin aşırı artışından dolayı kendisini yok etmez. Sönümleyicinin uygulanması sırasında sıcaklığın artması durumunda;

Ekstrüzyon kuvveti azalır ve bu yüzden sönümlenen enerji azalır.

Daha yüksek sıcaklık kurşunun daha çabuk iyileşmesi, yeniden kristallenmesini sağlar ve bu yüzden plastisitesini geri kazanır.

4 – Ekstrüzyon enerji sönümleyicinin yerdeğiştirme boyu sadece sıkıştırma boyunca şaftın burkulma problemiyle sınırlandırılabilir. 150 kN kapasiteli ve ±20 cm yerdeğiştirme boyuna sahip enerji sönümleyicinin ölçüleri,

Dış çapı ~ 15 cm

Toplam boyu ~ 150 cm

Toplam ağırlığı ~ 100 kg.

2.1.1.2 Robinson ve Greenbank, 1975

Ekstrüzyon süreci kurşunu bir daraltıya doğru ileri geri iterek enerji soğurmak için kullanılabilir. Kurşun ekstrüze edildiğinde çok çabuk yeniden kristallenir ve bu sayede orijinal özelliklerini geri kazanır. Enerji sönümleyicinin limitleri kurşunun dayanımı ve pekleşmesi ile değil ancak sönümleyicinin sıcaklık kapasitesiyle sınırlandırılabilir. Bu yüzden sönümleyici birçok depremde kullanılabilir. Bu çalışmada 20 kN*2 cm deplasman kapasiteli ve 200 kN * 26 cm deplasman kapasiteli enerji sönümleyiciler $2*10^{-8}$ ile 60 cm/s arasında değişen hızlarda test edilmişlerdir ve bu sönümleyiciler neredeyse dikdörtgen döngüler ve çok az hız bağımlılığıyla "coloumb sönümleyici" olarak davranmışlardır.

Deprem bölgelerindeki büyük yapılar, depremlerden dolayı yapıda oluşan titreşimlerin sönümlenmesi konusunun düşünülmesi gerekmektedir. Eğer yapıda sönüm veya sönümleyici yoksa büyük bir depremde bu titreşimler yapıya büyük hasarlar verecek ya da yapının tamamen göçmesine neden olabilecek büyüklüklere ulaşabilir.

Enerji soğurmanın verimli yollarından biri de bir metal yahut materyalin plastik şekil değiştirmesiyle enerji soğrulmasının sağlanmasıdır. Metallerde ağır plastik deformasyonlar üretecek süreç ekstrüzyon olarak anılan bir grup malzemenin bir daraltıya doğru akmaya zorlanmasıdır.

Malzemeyi ekstrüze etmek için gerekli olan enerji miktarı anında sıcaklık olarak ortaya çıkar ve bu sıcaklık malzemenin birbiriyle ilintili üç süreçten sonra, iyileşme, yeniden kristallenme, ve dane kazanımı, kendi orijinal özelliklerini kazanmasını sağlar. Orijinal özelliklerin kazanılması süresi sıcaklığın, zamanın, deformasyon derecesinin bir fonksiyonudur ve malzemeye bağlı olarak değişiklik gösterir.

Örneğin deforme olmuş kurşun oda sıcaklığında 10 saniyeden daha kısa bir sürede özelliklerini tamamen geri kazanır. Aynı sıcaklıkta bakırın özelliklerini geri kazanması yaklaşık olarak 100 yıl almakta ancak sıcaklık 100°C ye kadar arttırıldığında süreç 3 saate kadar düşmektedir.

Bu cihazın başarılı uygulamaları çevrimsel olarak ekstrüze edilebilir malzemenin kullanılmasına bağlıdır, bu çalışmada seçilen malzeme kurşundur. Kurşunun yeniden kristallenme ısısı oda sıcaklığının oldukça altındadır (-5^{o}C) bu yüzden her başarılı çevrimde gerekli olan ekstrüzyon kuvveti pratik olarak aynıdır. Bu çalışmada kurşunun -20^{o}C çevre sıcaklığında da çevrimsel olarak ekstrüze edilebileceği bulunmuştur.

Her çevrimde yapılan iş yani tüketilen enerji miktarı hedef deplasmanın uzunluğuna ve ekstrüzyon kuvvetine bağlıdır. Ekstrüzyon kuvveti materyale, ekstrüzyon oranına, kesit alanına ve çok sınırlı bir ölçüde ekstrüzyon oranına bağlıdır.

Bu çalışmada toplam deplasmanları 2cm ve 15.2cm olan cihazların testlerinden elde edilen yük deplasman eğrilerinin elastik oranları 1 mm den daha düşüktür.

Deneyler sonucunda kurşunun ekstrüzyon materyali olarak kullanıldığı ekstrüzyon sönümleyici "coloumb sönümleyici" olarak davrandığı görülmüştür ve neredeyse dikdörtgen kuvvet – yerdeğiştirme eğrilerine sahiptirler. Depremlerde hız oranına bağlılıkları çok düşüktür.

2.1.1.3 Cousins ve Porritt, 1993

Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler sismik izolasyon sistemlerinde sönüm sağlamak için tasarlanmış enerji soğurma cihazlarıdır. Girintili tüp olarak anılan bir türü Yeni Zelanda'daki bazı uygulamalar için üretilmiştir. Yüksek üretim maliyetleri ve performansındaki bazı sorunlar nedeniyle çıkıntılı şaft olarak bilinen alternatif bir tasarım düşünülmüştür. Bu rapor 100 kN ve 700 kN akma dayanımına sahip iki çıkıntılı şaft sönümleyicinin deney sonuçlarını açıklamaktadır. Sonuçlar çıkıntılı şaft tasarımın büyük depremlerden sonra ve ana şok artçı şok etkilerinden sonra bile iyi bir performans beklenebileceğini göstermektedir.

Kurşun ekstrüzyon sönümleyici kurşunun deformasyonuyla mekanik enerjiyi sıcaklığa dönüştüren bir enerji sönümleme aletidir. 1970'lerin başlarında

keşfedildiğinden beri Yeni Zelanda'da 3 köprü ve 10 katlı bir binada sismik izolasyon sistemlerinde sönüm sağlamak için kullanılmıştır.

LED'in iki temel tipi vardır. İlki, girintili tüp olarak anılan sönümleyicide kurşun dış çeperdeki dairesel girintiyle oluşturulan daraltıya doğru ileri geri ekstrüze edilir. Diğer sönümleyici tipi ise çıkıntılı şaft sönümleyicidir. Burada daraltı kurşun içerisinde ileri geri hareket eden şaftın üzerindeki bir çıkıntıyla oluşturulur.

Girintili tüp sönümleyicinin üretiminin zor ve pahalı olduğunu kanıtlamıştır. Üretim süreci boyunca kazanılan deneyimler çıkıntılı şaft sönümleyicinin girintili tüp sönümleyiciden potansiyel olarak daha kolay üretilebilir olduğu konusunda yazarları ikna etmiştir ve performans artışı ile maliyet konusunda da çıkıntılı şaftın daha uygun olduğu görülmüştür.

Çıkıntılı Şaft Sönümleyicinin Avantajları

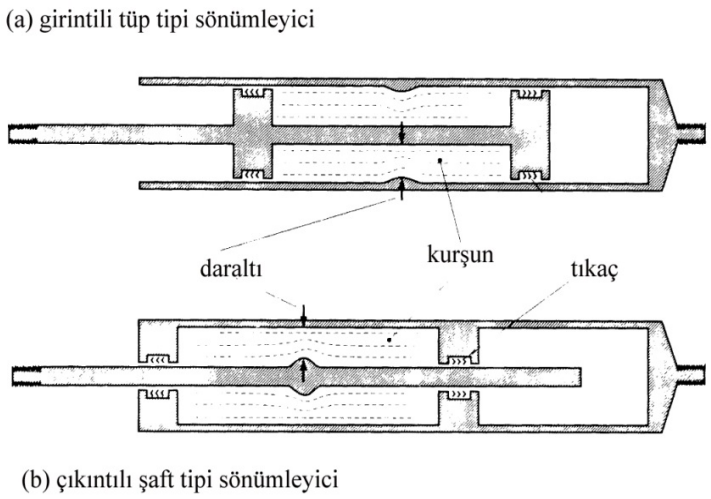
Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciden sürekli ve tatmin edici bir performans elde edebilmek için çelik ve kurşunun birleşim yüzeyleri iyi yağlanmalıdır ve yağ tabakasının bütünlüğü ekstrüzyon için gerekli olan yüksek basınçlarda dahi devam etmelidir. Çelik yüzeylerdeki bitişler yüksek kalitede olmalıdır. Bir şaftın dış yüzeyinde uygun bir bitiş elde etmek neredeyse kolaydır ancak girintili tüpün iç yüzeyinde yüksek kalitede bitişler elde etmek çok zordur.

Girintili tüp sönümleyiciler 3 parçadan yapılmak zorundaydı. Bu parçalar her iki ucunda paralel iki taraflı bölümler için honlanmış delik çelik borular ile ayrıca işlenmiş ve parlatılmış daraltı kısmıdır. Bu üç parçayı birleştirmek ve her birleşim noktasında yüzey düzensizliklerini ortadan kaldırmak çok pahalı üretim aşamalarıdır. Bunun aksi olarak, bir şaft ve üzerindeki bir çıkıntı katı bir çubuktan rahatlıkla üretilebilir ve yüzey bitişleri de oldukça kolaydır. Çıkıntılı şaft sönümleyici için dış tüp tek parça honlanmış oyuk çelik borulardan yapılabilir.

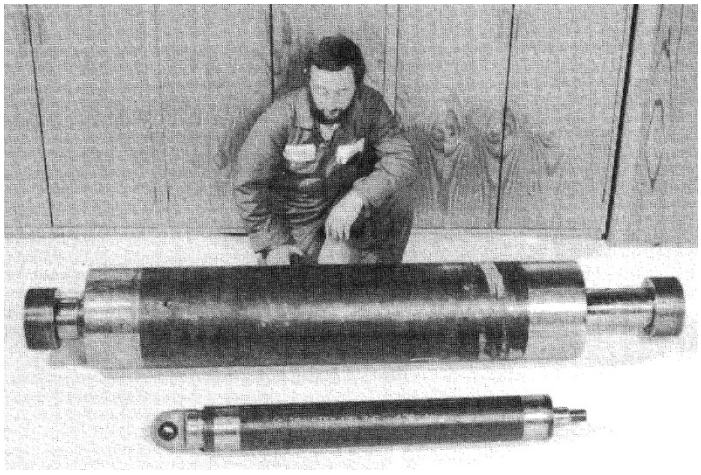
Her iki tür sönümleyici için ortak olan tatmin edici olmayan bir diğer özellik ise işlenmiş kurşun çubukların kullanılmasıdır. Kurşun küçük hata toleranslarıyla işlenmesi zor olan bir maddedir ve sonuç olarak üretilen sönümleyicilerin iki ya da daha çok parçadan yapılması zorunda kalınmıştır ve her bölümün bütün yüzleri işlenmiştir. Bu iki nedenle tatmin etmeyen bir durumdur;

(1) Yüzeylerin işlenmesinin pahalı olması

(2) Kurşun çekirdeğinden daraltıya doğru birleşim noktalarındaki geçişler sönümleyicinin histeresiz döngülerindeki dalgalanmalarda artışa neden olur.



Şekil 2.14 Kurşun ekstrüzyon sönümleyici tiplerinin yanal kesitleri



Şekil 2.15 100 kN ve 700 kN kapasiteli kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler

<u>Çıkıntılı Şaft Sönümleyicinin Özellikleri</u>

100kN ve 700kN kapasiteli çıkıntılı şaft sönümleyiciler üretilmiş ve kuvvet ile enerji sönümleyebilme karakteristiklerini, yükleme hızının etkisi ve ömrünü belirlemek için dinamik mekanik testlere tabi tutulmuşlardır. Deneyler sönümleyicinin bir ucu sabit tutulurken diğer ucuna sinüsoidal yerdeğiştirmelerin uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

700kN kapasiteli sönümleyici 1 den 20 ye kadar değişen çevrimlerle 3 dakikadan 5 güne kadar değişen dinlenme sürelerinden oluşan 20 deneye tabi tutulmuştur. Toplamda bu sönümleyiciye 114 çevrim uygulanırken 100kN kapasiteli sönümleyici benzer koşullarda 250 çevrime tabi tutulmuştur.

Birçok açıdan 100kN ve 700kN kapasiteli çıkıntılı şaft ve girintili tüp sönümleyicilerin özellikleri daha önceki prototiplerle benzerdir. Histeresiz döngüler neredeyse dikdörtgendir, uygulama kuvveti geri dönüşlerde neredeyse sabit kalmıştır ve uygulama kuvveti ve enerji sönümü devam eden çevrimler boyunca sönümleyici ısındıkça düşen değerler almışlardır. Ortalama soğrulan enerji miktarı ilk üç çevrimde pik kuvvete dayalı bir dikdörtgen histeresiz döngü için yapılan nominal hesabın %80'inden büyüktür ve toplam deney deplasmanı ve ilk 5 çevrim boyunca minimum pik kuvvet değerinin %75'inden fazlaydı.

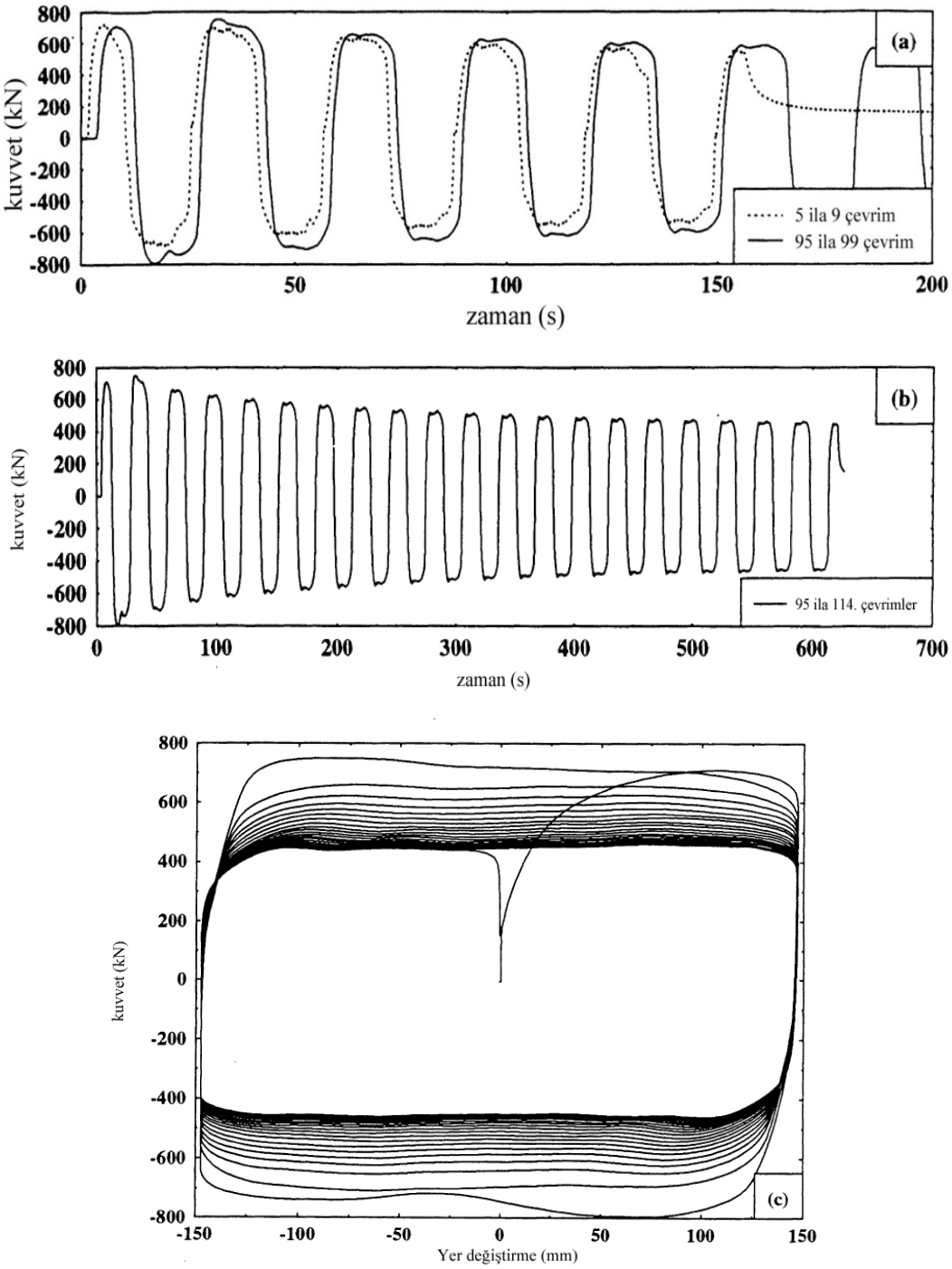
Daha önceden test edilmiş olan girintili tüp sönümleyicilerle bu çalışmadaki çıkıntılı şaft sönümleyiciler arasında önemli farklılıklar vardır. İlk olarak, beklendiği gibi, uygulama kuvveti daha önceden bildirilenlerden daha düzgün yayılı olarak elde edilmiştir ve kurşun içerisinde daraltıya doğru geçişlerden kaynaklanan dalgalanmalar azalmıştır.

Her çıkıntılı şaft sönümleyici bir yapısal düğüm noktası içermektedir ama düğüm noktası mümkün olduğunca kurşun çekirdeğinden uzağa yerleştirilmiştir ve çevrimler boyunca aktif olarak ekstrüze edilen kısımdan da uzaktır. Üretilmiş olan girintili tüp sönümleyiciler ise aktif bölgede yapısal düğüm noktalarına sahiptirler.

Ekstrüzyon oranının ekstrüzyon sönümleyici üzerindeki etkisinin üzerinde de çalışma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Daha önceki çalışmalardan ekstrüzyon kuvveti F ile ekstrüzyon hızı v arasındaki bağıntı daha önceki çalışmalarda aşağıdaki gibi bulunmuştur (G. Pekcan)

$$F = av^b \qquad \textbf{(2.12)}$$

Bu denklemdeki a ve b sabit katsayılardır. 'b' sabiti 10^{-4} m/s nin altındaki ekstrüzyon hızı için 0.12 değerini alırken 10^{-4} m/s nin üzerindeki hızlar için 0.03 değerini almaktadır. Bu yayın kapsamında yapılan çalışmalar ve deneyler sonucunda çıkıntılı şaft sönümleyici için 'b' değeri olarak 0.12 uygunken girintili tüp sönümleyicide bu değerin 0.03 olarak alınmasının uygun olduğu elde edilmiştir.



Şekil 2.16 700 kN kapasiteli çıkıntılı şaft kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin ±150mm/0.033Hz de uygulanan sinüsoidal yer değiştirmenin sonucunda elde edilen karakteristikleri

(a) İlk 5 çevrimlik deney ile son deneyin ilk 5 çevriminin kuvvet – zaman eğrilerinin karşılaştırılması

(b) Son deneyin bütün yük – zaman eğrisi

(c) Son deneyde elde edilen yük – yer değiştirme döngüleri

Büyük sığ depremlerden sonra neredeyse her zaman artçı şoklar oluşur ve tipik olarak en büyük artçı şokun büyüklüğü ana şoktan 1 – 2 derece küçüktür. Örnek olarak, 1968'de meydana gelen 6.7 büyüklüğündeki Inangahua depremini 27 saat ve 7 günlük periyotta sırasıyla 5.7 ve 5.4 büyüklüğündeki artçı şoklar izlemiştir. Yine 1987'de meydana gelen 6.1 büyüklüğündeki Edgecumbe depreminden 8 dakika sonra 5.6 büyüklüğündeki en büyük artçı deprem meydana gelmiştir. Merkez üssünden itibaren 21km'lik alanı kapsayan alanda meydana gelen pik yer ivmeleri sırasıyla 0.33g ve 0.07g olarak kaydedilmiştir. Böylece büyük bir deprem boyunca 10 büyük çevrim yaptıktan 10 dakika sonra büyük bir artçı şoktan dolayı birkaç çevrimin daha oluşması ve bir gün sonra bir başka artçı şoktan dolayı birkaç çevrimin daha gerçekleşmesi bir sönümleyici için gerçekçi ve ağır bir senaryo olabilir.

100kN ve 700kN kapasiteli çıkıntılı şaft sönümleyiciler farklı dinlenme sürelerinde tam deplasmana yakın değişen çok çevrimli deneylere tabi tutulmuştur.

20 çevrimlik deneyde sönümleyicinin kapasitesi iyi bir şekilde ortaya çıkmıştır. Uygulama kuvveti devam eden çevrimlerde kurşunun ısınmasıyla düşüş gösterirken 15 – 20 çevrim sonra bu düşüşün küçük değerler aldığı ve kurşunun kararlı bir konuma geçtiği gözlemlenmiştir.

Yapılan deney sonuçları sönümleyicinin tekrarlı büyük depremlerde veya ana deprem artçı deprem durumlarında etkili olabileceğini açıkça göstermiştir. Ana şoklar arasındaki zaman dilimi 20 saatten daha fazla olursa sönümleyicinin performansı her iki durumda da beklendiği gibi olacaktır ancak bu zaman dilimi birkaç saat veya daha az olursa sönümleyici ikinci şok etkidiğinde çevre sıcaklığına düşemeyecek ve kuvvet ve enerji sönümünün her ikisi de beklenen değerlerden düşük olacaktır.

Bir çalışmadan diğerine performansın tekrar edilebilirliği, benzer koşullar altında, mükemmeldir.

Yapılan çalışmalar sonucunda 100kN kapasiteli cihaz ile 700kN kapasiteli cihaz genel olarak birbirine benzer performans göstermiştir. Aralarındaki temel fark 100kN kapasiteli cihaz 700kN kapasiteli cihazdan daha hızlı iyileşmiştir ve 10 dakika sonra enerji sönümleme kapasitesi başlangıç değerinin %90 ıdır.

Çizelge 2.1 100 kN kapasiteli çıkıntılı şaft kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin 12 ardışıkdeney boyunca yaklaşık enerji sönümü. Her deney 0.05 Hz de ve ±125 mm hedef yerdeğiştirme ve 10 çevrimden oluşmaktadır.

gün	dinlenme süresi (dakika)	tüketilen enerji (%)			
		1. deney	2. deney	3. deney	4. deney
1	5	100	88	82	79
2	10	102	90	84	81
3	30	103	95	91	89

Bu yayında sonuç bölümünde aşağıdakiler belirtilmiştir.

2 farklı boyutlara sahip çıkıntılı şaft sönümleyici tasarlanmış, üretilmiş ve denenmiştir. Kuvvet ve yerdeğiştirme kapasiteleri 100kN/±190mm ve 700kN/±225mm'dir.

Üretim ve birleştirmen işlemlerinin girintili tüp sönümleyiciden daha basit olduğu kanıtlanmıştır ve bazı pahalı üretim süreçlerinin de önüne geçilmiştir.

Kurşun çekirdeğinin üretimi için geliştirilen yöntem daha önce bahsedilen sönümleyicilere göre yerdeğiştirme boyunca daha düzgün yayılı kuvvet oluşmasını sağlamıştır.

Yoğun olarak yapılan deneyler çıkıntılı şaft tasarımının tekrarlı sismik etkilerde veya ana şok artçı şok etkilerinde önemli bir azalma olmadan başarılı bir performansın beklenebileceğini kanıtlamıştır.

2.2.1.4 G. W. Rodgers, J.G. Chase, J.B. Mander, N.C. Leach, C.S. Denmead, L. Cleeve, D. Heaton, 2006

Depremler, kuvvetli rüzgârlar ve darbe yükleri özellikle yapısal bütünlüğü bozan plastik mafsalların oluştuğu kiriş – kolon birleşim bölgelerinde önemli hasarlara neden olurlar. Meydana gelen etki boyunca oluşan bu hasarlar önemli bir enerji sönümü sağlasa da oluşan hasarı gidermek oldukça zor ve pahalıdır. Bu yüzden yapısal bir hasar olmadan enerji tüketimi sağlamak istenen bir gelişmedir.

Son zamanlarda aktif ve yarı aktif yapısal teknolojilerin gelişmesi araştırma için büyük dikkat çekmiş ve sismik etkilerin azaltılmasında oldukça faydalı olduğu

görülmüştür (Chase, 2006; Barroso, 2003; Housner, 1997). Pasif sistemler ile karşılaştırıldığında bu sistemlerin bazı dezavantajları vardır. Yarı aktif sistemler tam aktif sistemlere göre büyük güç kaynaklarına ihtiyaç duymasalar da tepkinin hissedilmesi ve istenen kontrol kurallarının uygulanmasındaki karmaşıklık önemli bir dezavantajdır. Pasif bir sistem, bu hissetme, hesaplama veya harekete geçme mekanizmalarından hiç birine ihtiyaç duymaz ve çok daha ucuza üretilebilir ve kullanılabilir.

Daha önceki yapısal uygulamalarda kullanılan kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler düşük iç basınçdan dolayı oldukça büyük boyutlara sahiptir. Sahip oldukları büyük boyutlar genellikle bir sorun olarak düşünülmüş ve olası bazı uygulamalarını engellemiştir. Bu yüzden kompakt, yüksek iç basınca sahip sönümleyiciler yeni yapısal uygulamalarda önemli bir potansiyel sağlayabilir. Böyle bir sönümleyici olası kullanımını genişletmek için var olan ekstrüzyon sönümleyicilerden oldukça küçük boyutlara sahip olmalıdır. Aynı zamanda var olan sönümleyiciler kadar yük kapasitesine sahip olmalı ve onlar kadar enerji soğurması yapabilmelidir.

Üretilen bu sönümleyiciler betonarme ve çelik çerçevelerden oluşan binaların her ikisine de yerleştirilebilir ve doğrusal olmayan hıza bağımlı döngüsel davranışı neredeyse ideal döngüler sağlar ve kuvvet – deplasman eğrisinin sınırları maksimum alanı kaplar. Olasılık hesaplarıyla ölçülendirilmiş yer hareketlerine uygun olarak yapılan spektral istem analizlerine dayanarak bu aletlerin sismik istemlerde oldukça büyük azaltmalar yapabildiği daha önceki araştırmalar göstermiştir (Rodgers, 2006).

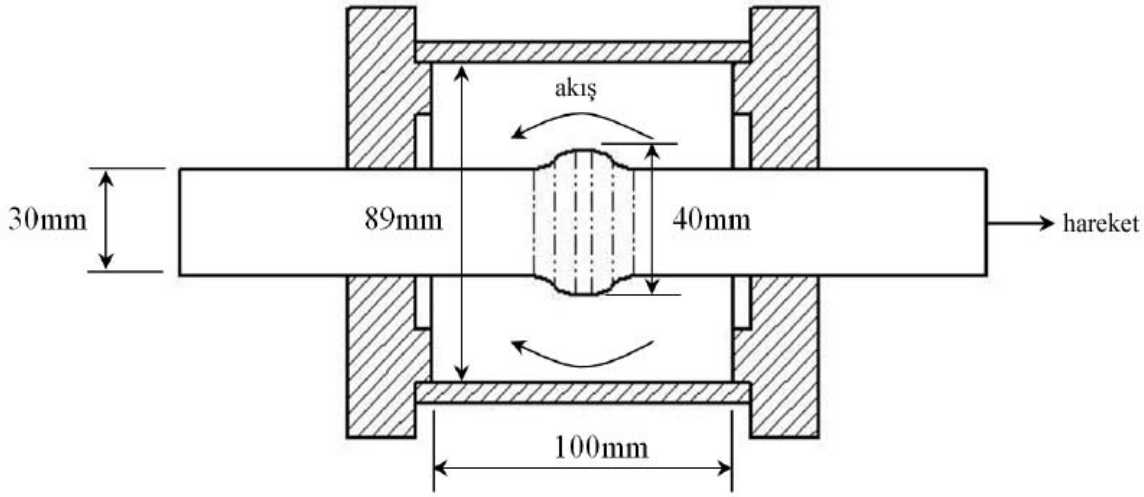
Cihazın doğru tasarımıyla enerji tüketimini maksimuma çıkarırken göreli kat ötelemelerini minimuma indirgeyen simetrik olmayan döngüler sağlanabilir.

Bu çalışmanın amacı yüksek kuvvet – hacim ekstrüzyon sönümleyicilerin uygulanması ve etkinliği hakkında deneysel bir araştırma yapılmasını sağlamaktır. Ayrıca bu çalışma zekice yapılabilecek alet tasarımıyla meydana gelmesi mümkün gelişmeleri de sunmuştur.

Tasarım ve Analiz

Kurşun ekstrüzyon sönümleyici temel tasarım farklılıklarına göre iki gruba ayrılabilirler. Bunlar girintili tüp ve çıkıntılı şaft tipleridir. (Cousins & Porritt, 1993).

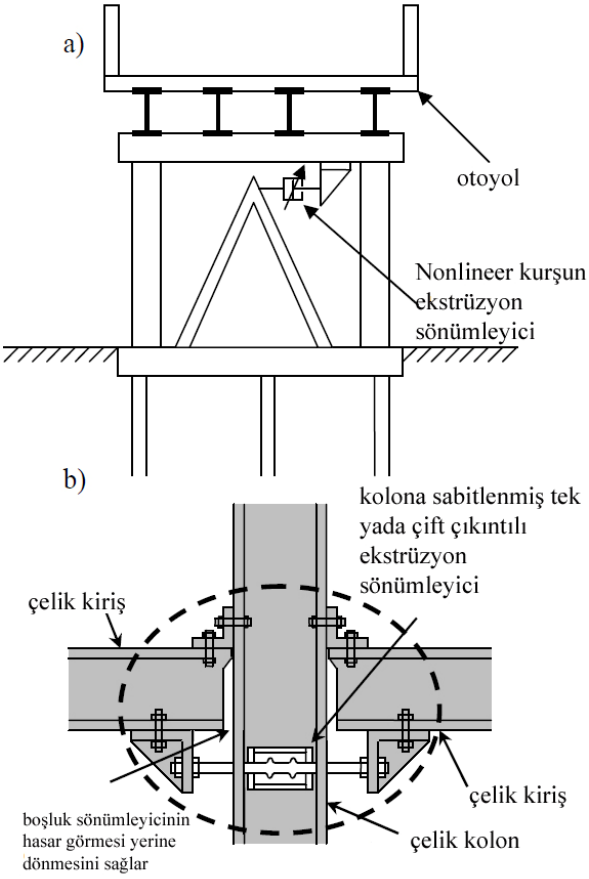
Bu çalışmada düşük maliyeti ve üretim kolaylığı nedeniyle çıkıntılı şaft tasarımıyla prototipler üretilmiş ve denenmiştir. Başlangıç prototipi Şekil 2.17'de temel ölçüleriyle verilmiştir. İkinci bir prototip te ilkine benzer şekilde tasarlanmıştır ancak iç silindir çapı 66 mm ve et kalınlığı 20 mm dir.



Şekil 2.17 Başlangıç prototipinin kesit görünüşü

Bu yolla enerji tüketiminin en büyük sorunlarından biri daraltıya doğru ekstrüze edilen malzemenin boşluk formasyonudur. Bir kurşun ekstrüzyon sönümleyici için, kurşunun sıkıştırılmasından, silindir duvarın genişlemesinden ve kurşunun kalıba dökülmesi sırasında oluşan kusurlardan dolayı mikro ölçekli sıkıştırılabilen boşluklar oluşur. Bu yüzden çıkıntı malzemeye doğru hareket ettiğinde malzeme daha küçük bir hacme sıkıştırılır ve boşluk oluşur. Böylece devam eden çevrimlerde çıkıntı bu boşluklardan geçtiğinde, sönümleyici daha az bir dirençle karşılaşır ve daha az enerji tüketir. Bu çalışmada boşluk formasyonunu minimize etmek için kurşuna öngerilme verilmiştir. Böylece boşluk boyutları, toplam kurşun hacminin yüzdesi olarak, son alet tasarımında en ideal performansı elde etmek için minimize edilmiştir.

Sönümleyici Şekil 2.18'de gözüktüğü gibi kapalı alanların içine veya etrafına sığabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde gösterilmiş olan uygulamaların simülasyonları yapı ağırlığının %10'u civarında kapasiteli bir sönümleyicinin spektral ivme ve deplasmanları %50 nin üzerinde azalttığını göstermiştir. (Rodgers, 2006).



Şekil 2.18 Sönümleyicinin yapısal birleşimlere muhtemel yerleşim biçimleri

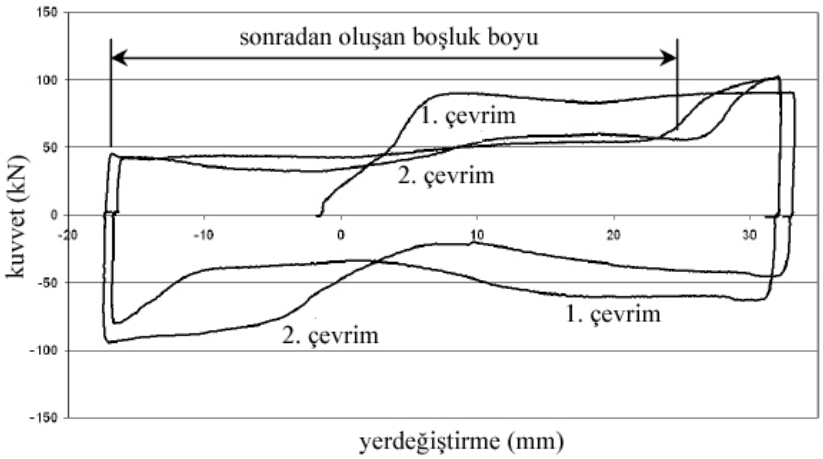
Kuvvet – yerdeğiştirme davranışını karakterize etmek için başlangıç tasarımı üzerinde yarı statik basınç deneyleri uygulanmıştır. Deneyler farklı çıkıntı çaplarına, iç silindir çaplarına ve çeper kalınlıklarına sahip prototipler üzerinde uygulanmıştır. Böyle geniş bir alanda yapılan deney verileri cihaz tasarımında ampirik bağlantıların kurulabilmesini sağlamıştır. Birçok cihaz öngerilmeli ve öngerilmesiz olarak denenmiş ve sonuçları açıklanmıştır.

Öngerilmesiz Sonuçlar

İlk üretim yöntemleri dökme kurşunu çalışılan metal olarak kullanmışlardır. Kurşun katılaştığında, sıkışmış havadan dolayı oluşan mikro boşlukların gelişmesiyle büzülme meydana gelir. Bu yüzden kurşun sönümleyicinin iç hacmini tamamen dolduramaz ve bu kalan hacim sıkıştırılabilir ve çıkıntının arkasında boşluk oluşmasına katkıda bulunur.

Şekil 2.19'da 40mm çaplı çıkıntı ve öngerilmesiz durumun histeresizi verilmiştir. İlk çevrim yerdeğiştirme boyunca oldukça sabit ve tasarım beklentilerine uygun olarak

90kN değerinde bir pik kuvvet oluşturmuştur. Geri dönüş boyunca aletin orta noktasına yeni metal girene kadar kuvvet belirgin şekilde 50kN'un altındadır.



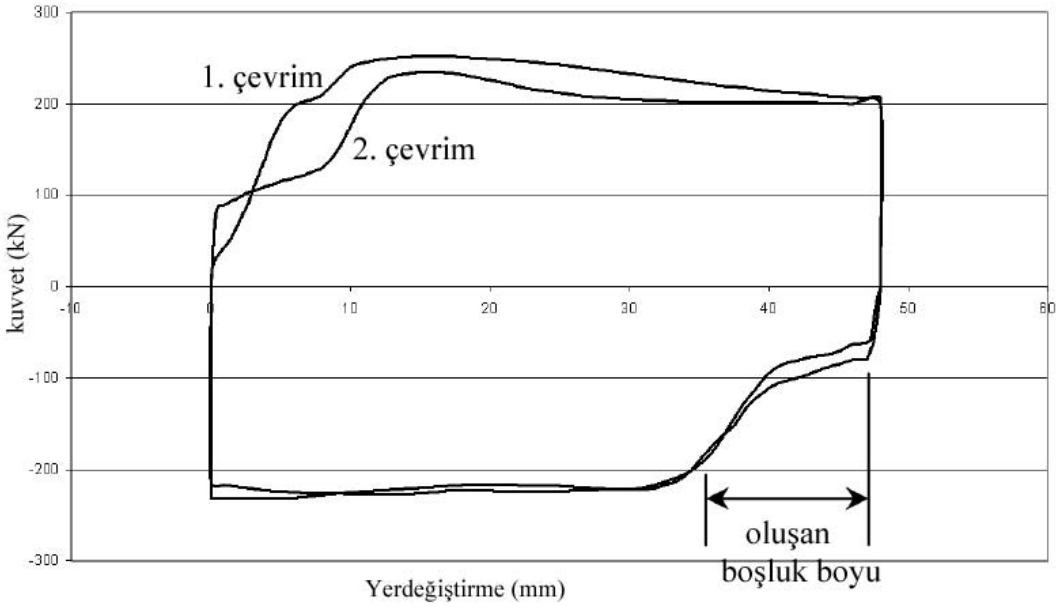
Şekil 2.19 40 mm çıkıntı ve 30 mm şaft çaplı öngerilmesiz cihazın histeresiz döngüsü

Kuvvetteki bu düşüşün nedeni, piston kurşuna doğru zorlandığında kurşunun dışa kaçmasıdır. Böylece kurşun pistonun etrafından akması yerine sıkıştırılır. İçteki boşlukların ölçülen çapı 38mm dir ve bu da kurşunun akması için her iki tarafta yalnızca 1mm olduğunu gösterir. Efektif olarak kurşun yeterince sıkıştırıldığında hacminin yaklaşık % 8 ~ 10'luk kısmını kaybeder. 40mm çıkıntıyla beraber bu kayıp 30mm çapındaki şaft boyunca 38 mm çapında neredeyse sürekli boşluklar oluşturur.

50mm çapında çıkıntısı bulunan öngerilmesiz cihazın histeresiz döngüleri de 40mm çıkıntılı durumla aynı karakteristiklere sahiptir ancak çekirdek etkisi azalmıştır. Çıkıntı çapındaki artıştan dolayı aynı % 8 -10 hava boşluğu hacmi Şekil 2.20'de görüldüğü gibi daha küçük bir boya sahiptir. Bu sonuçlar 40mm çıkıntılı duruma göre bu yüzden daha kareye yakın döngüler oluştururlar. Döngünün şekli çıkıntı arkasında kalan boşluğun boyunun 10mm olduğunu gösterir.

Başlangıç prototipi olarak tasarlanan cihazın 6.5mm kalınlığındaki silindir duvarına şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir ve çıkıntı geçtiğinde oluşan plastik deformasyonlar % 2 mertebelerindedir. Bu deformasyon çalışılan metalin mükemmel sargılanmasını sürdürememesine neden olan boşluk oluşumu formasyonuna da katkı yapmaktadır. Pik kuvvet değerinde en uzun süre durarak enerji tüketimini arttırmak için boşluk hacmini azaltmak önemlidir. Oluşan boşluğu azaltmak ve kurşunun

sıkıştırılan kısmını minimize etmek için aynı cihazlar kurşuna öngerilme uygulanarak denenmiştir.



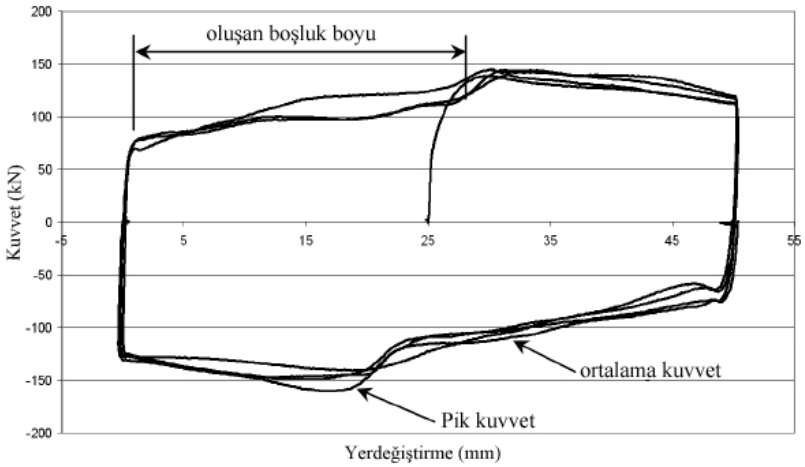
Şekil 2.20 50 mm çıkıntı çaplı cihazın histeresiz döngüleri

Öngerilmeli Sonuçlar

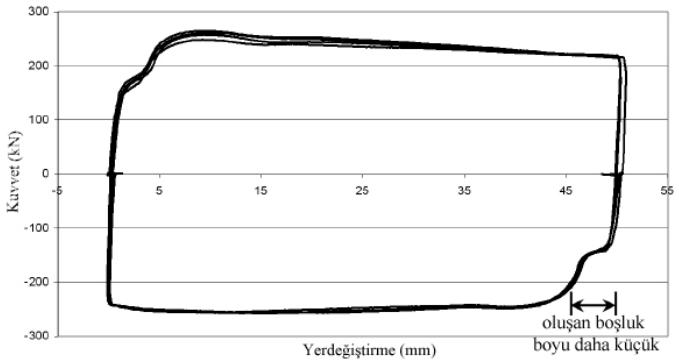
Dökülen kurşun silindir içinde katılaştıktan sonra, 400 kN değerindeki kuvvet bütün hava boşluklarını sıkıştırmak ve metal üzerinde artık bir basınç bırakmak için etkitilmiştir. Şekil 2.21ve 2.22, 40 ve 50mm çıkıntı çaplı öngerilmeli cihazların histeretik döngülerini göstermektedir.

Şekil 2.21ve 2.22 her iki çıkıntı çapı içinde daha kareye yakın, daha uygun histeresiz döngüler göstermektedir. Oluşan boşluk formasyonu devam etmektedir ancak bu boşlukların boyu çarpıcı biçimde azalmıştır. Bu boşluklar hacimce üç kat küçüktür ve bu kuvvette daha az düşüşlere, pik kuvvet değerinde daha uzun süre kalınmasına ve sonuç olarak daha fazla enerji soğrulmasına neden olmuştur.

Eşit derecede önemli olan bir başka durum ise sönümleyici tarafından üretilen kuvvet öngerilmeli durumda daha fazladır. Daha özel olarak 40mm çaplı çıkıntı için 80kN değerinde ve 50mm çaplı çıkıntı çin 35kN değerinde bir artış meydana gelmiştir. Daha büyük çıkıntı çapı daha iyi sıkıştırma sağladığı için çıkıntı çapı arttıkça yükteki bu değişim azalmaktadır.



Şekil 2.21 40 mm çıkıntı çaplı cihazda öngerilmeli durumda oluşan döngüler



Şekil 2.22 50 mm çıkıntı çaplı cihazda öngerilmeli durumda oluşan döngüler

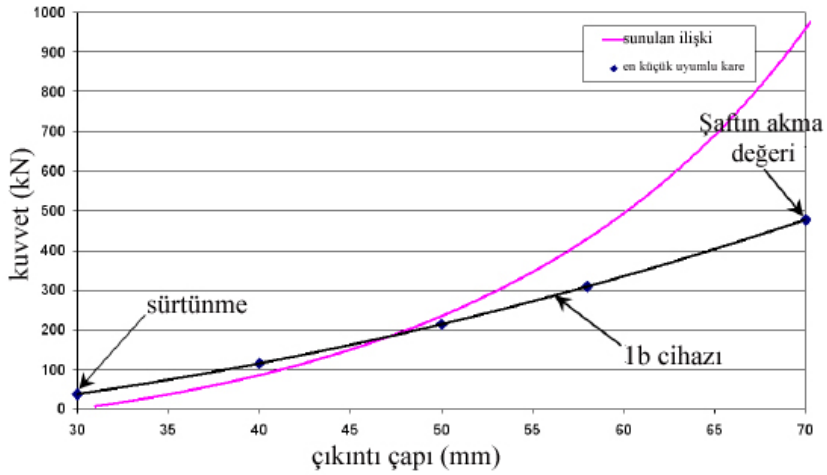
40mm çıkıntı çapı kullanıldığında kuvvette hala bir azalma olsa da çok büyük bir öngerilme kuvveti uygulanmadığı müddetçe bu etki ortaya çıkacaktır. Bu durumda kuvvetteki azalma kısmen 30mm çapındaki şaft üzerindeki 40mm çaplı şaftın düşük yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. 40 mm lik çıkıntı daha küçük bir yüz alanına eşit olduğu için oluşan boşluklar kuvvette önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Bu etki daha büyük çıkıntı çapları kullanılarak veya farklı üretim süreçleri uygulanarak azaltılabilir.

Deneylerden elde edilen ortalama pik kuvvetler cihaz parametreleri ile üretilen kuvvet arasında ilişki kurmak için kullanılmıştır. Şekil 2.23 çıkıntı çapıyla kuvvet arasındaki ilişkiyi göstermektedir ve tahmin edilen 40kN luk sürtünme kuvveti değeri ile olabilecek en büyük çıkıntı çapında şaftın akma dayanımını da içermektedir. Oluşturulan çizgi oldukça doğrusaldır ve bu yüzden benzer ekstürüzyon süreçleri için Pearson (1960) tarafından önerilen ilişkiden farklıdır.

Sunulan ekstrüzyon teorisine bir alternatif olarak daha basit gerilme tabanlı model dikkate alınmıştır. Yarı kırılgan materyaller için Mohr – Coloumb kırılma kriteri kullanılarak D_D cihazın direnç kuvveti aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$D_D = \tau_D A_{şaft} + \sigma_o A_{yüz} \quad \textbf{(2.13)}$$

Bu denklemdeki τ_D şaft ve kurşunun arasındaki kuvvetten dolayı oluşan kayma gerilmesini, $A_{şaft}$ şaftın yüzey alanını, σ_o çıkıntı yüzü alanına etkitilen gerilme, $A_{yüz}$ çıkıntının dairesel yüz alanıdır.



Şekil 2.23 Deneysel ve sunulan ekstrüzyon ilişkisini gösteren deneysel ilişki

Bu çalışma kapsamında 300 – 400kN kapasiteli kompakt sönümleyiciler tasarlanmış ve deneysel olarak doğrulanmıştır. Çalışılan metale öngerilme uygulanması gözenenekliliği azaltması ve faydalı bir artık basınç gerilmesi bırakması nedeniyle kritik öneme sahiptir. Sonuçlar daha kare döngüleri göstermiş ve oluşan direnç kuvvetiyle enerji tüketimi artmıştır.

2.2.1.5 C. S. Tsai, W. S. Lai, C. W. Chang, M. C. Li, 2002

Bu çalışma, Feng-Chia üniversitesinin inşaat mühendisliği bölümünde üretilen yeni kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin özelliklerini belirlemek ve test etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Test edilen sönümleyicilerin hedef deplasmanları ±10 mmdir ve laboratuvar deneylerinde en büyük hareket MTS, kapasitesi 25 ton olan makine, ile ±5mm olarak sağlanmıştır. Deney sonuçları yeni sönümleyicinin mükemmel bir enerji sönüm yeteneği olduğunu göstermiştir. Sinüs dalgası şeklindeki bir yükleme

uygulandığında oluşan iç kuvvetler ile hareketin hızı birbiri ile ilişkilidir. Analitik modelden elde edilen numerik sonuçlar ile farklı yerdeğiştirmeler ve frekanslarda gerçekleştirilen deney sonuçları oldukça iyi uyum göstermişlerdir.

Bu çağda pasif kontrol, yapıların sismik dirençlerini arttırmak için neredeyse olgunlaşmış bir teknolojidir ve dünyada aktif deprem bölgelerindeki birçok yapıda uygulanır. Depremin yapı üzerindeki etkisini azaltmak için enerji soğurucu cihazların kullanılması en ekonomik yöntemlerden bir tanesidir. Enerji sönümleyici cihazlar hıza bağımlı ve hızdan bağımsız olanlar olarak ikiye ayrılabilir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyici gibi hıza bağımlı cihazların sismik risklerin azaltılmasında güvenilir olduğu deneylerle ortaya konmuştur. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin çıkıntılı şaft ve girintili tüp olmak üzere iki temel türü vardır.

Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Analitik Modeli

Kurşun ekstrüzyon sönümleyici gibi hıza bağımlı bir cihaz kurşunun çevrimsel deformasyonu boyunca mekanik enerjiyi plastik deformasyon enerjisine ve sıcaklığa dönüştürebilen bir enerji sönümleme cihazıdır. Ekstrüzyon kuvveti P(t) ekstrüzyon hızına bağlıdır veya şekil değiştirmeye oranlıdır. Bu aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$P(t) = av^b(t) \tag{2.14}$$

a ve b deneysel verilere bağlı olan katsayılardır. b katsayısı 10^{-4} m/s den düşük hız seviyeleri için 0.12 değerini alırken bundan daha yüksek hızlar için 0.03 değerini alması uygundur. Denklem 2.14'te verilen formülasyon çevrimsel veya deprem benzeri yükler altındaki sönümleyicinin sıcaklık bağımlılığını tam olarak yansıtmaz. Deneysel verilere göre "a" değeri bir sabit olamaz. Bundan dolayı aşağıdaki formül, değişken yük ve sıcaklık etkisine maruz kalmış kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin davranışını tanımlamak için verilmiştir.

$$P(t) = \alpha\left(1 + \gamma e^{-\beta[\int P(t)dU(t) + \theta(T - T_0)]}\right)v^b(t) \tag{2.15}$$

Bu denklemdeki α, β, γ ve θ deneysel verilerden elde edilen bilinmeyen katsayılardır, U(t) ekstrüzyon deplasmanı, T ortam sıcaklığı ve T_0 bilinmeyen katsayılardan elde edilen referans sıcaklığıdır. Verilen formül deprem boyunca cihazın sıcaklığa bağımlılığını içermektedir. Bu plastik deformasyon enerjisinin sıcaklığa dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Denklem 2.15 plastik deformasyon enerjisinin

ve ortam sıcaklığından artmasından dolayı oluşan enerjinin artması durumunda ekstrüzyon kuvveti P(t) nin azaldığını göstermektedir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin hıza bağımlılığı plastik deformasyon enerjisinin toplanması oranıyla otomatik olarak hesaba katılır.

Analitik Model ve Deneysel Sonuçlar

Verilmiş olan denklemin doğruluğunu kanıtlamak amacıyla matematik modelden elde edilen numerik sonuçlar yoğun deneyler sonucu elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin bir ucu ankastre bağlanmışken diğer ucuna sinüsoidal bir deplasmana tabii tutulur. Böylelikle α, β, γ, θ, T ve T_0 değerleri hesaplanmıştır. İlgili yayında farklı sıcaklıktaki frekanslarda ve farklı genliklerde farklı türdeki kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin analitik ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması gösterilmiştir. Bu şekilden de kolayca görüleceği gibi analitik sonuçlarla deney verileri birbiriyle uyumludur. Bu şekiller ayrıca cihazın enerji sönümleme kapasitesinin çevrimler arttıkça düştüğünü de göstermiştir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin davranışı hıza, frekansa ve sıcaklığa bağlıdır. Bu faktörlerin hepsi sunulan modelde dikkate alınabilir.

Yeni Tip Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Özellikleri

Ayrıca sunulan yeni tip kurşun ekstrüzyon sönümleyici ile analitik model karşılaştırılmıştır. Bu ikisinin birbiriyle oldukça benzer olduğu bulunmuştur bu yüzden sunulan model bu yeni tip kurşun ekstrüzyon sönümleyici ile de oldukça uyumludur.

Yeni tip kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin mekanik özelliklerinin araştırılması için farklı frekans ve hareket genliklerinde MTS hidrolik vereni kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneysel verilerle uyumlu olarak frekans ve hareket genliğindeki değişikler yeni tür sönümleyicinin davranışını çnemli ölçüde etkilemektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Deneysel verilerden histeresiz döngülerin “plastik katı” veya “coloumb sönümleyici” gibi davrandığını ve hıza bağımlı olduğunu görebiliriz. Ancak plastik deformasyon ve sıcaklık arttıkça kurşun ekstrüzyon sönümleyici enerji sönümünde azalan bir eğim

gösterir. Bu noktada, bu düşüşün seyrekleşeceğini ve sönümün halen sönümleme kapasitesinin %90 mertebelerinde kaldığını bulabiliriz.

2.2.1.6 Parulekar, Reddy, Vaze, Kushwaha, 2003

Kurşun ekstrüzyon sönümleyici kurşunun plastik deformasyonu ve mekanik enerjinin sıcaklığa dönüştürülmesiyle titreşim enerjisini sönümler. Yapısal deformasyon boyunca kurşun bir daraltıya doğru zorlanarak ekstrüze edilir. Bir deprem boyunca kurşun ekstrüzyon sönümleyici enerjiyi sönümleyerek yapıda oluşabilecek yıkıcı titreşimleri sınırlandırır (Robinson ve Greenbank, 1976).

Silindirik bir tüp, çıkıntılı bir şaft ve ikisinin arasını dolduran kurşundan oluşsan silindirik bir kurşun ekstrüzyon sönümleyici Şekil 2.24'te gösterilmiştir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin başarılı uygulamaları kurşunun kalitesine bağlıdır. Şekil 2.25'te gösterilen sönümleyicinin boyutları dikkate alındığında, ekstrüzyon doğrultusunda uygulanan basınç aşağıdaki gibi elde edilebilir (Betzalel, 1968).

$$P = K(1 + \mu cot\alpha) ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right) + K\mu\left(\frac{L}{d'}\right)^2 \qquad \textbf{(2.16)}$$

Bu denklemdeki d' şaftın çapını, L hedef deplasman uzunluğunu, K kurşunun akma dayanımını, α çıkıntının derece cinsinden açısını, μ kurşunla şaft arasındaki sürtünme katsayısını, A_1 orijinal kurşun alanını A_2 ise ekstrüze edilmiş kurşun alanını göstermektedir.

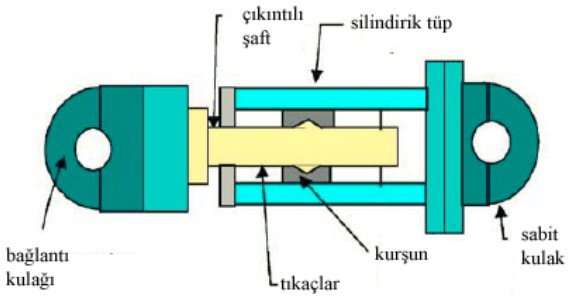
Yukarıdaki denklem kullanılarak, ekstrüzyon doğrultusunda uygulanan basınç 20.34 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Bu basınç değerini ve çıkıntı kısmındaki kurşun alanı olan 5027 mm^2 dikkate alındığında ekstrüzyon için gerekli kuvvet 10 ton olarak hesaplanır. σ_0 kurşunun akma dayanımı olarak düşünülürse Von Mises akma kriterine göre silindirik tüpe etkiyen basınç;

$P_{i=}\sigma_0 + \sigma_x = 90 + 20.34 = 110.34\ N/mm^2$ olarak elde edilir.

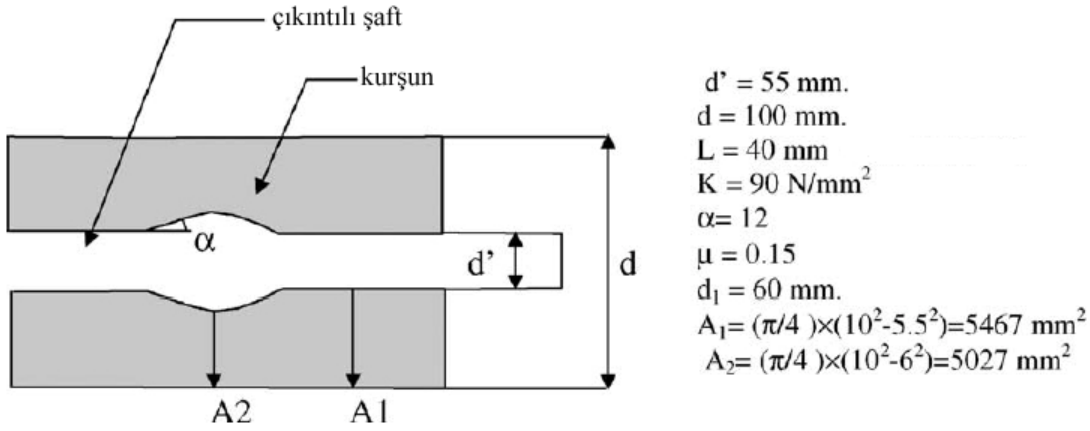
a ve b silindirin iç ve dış yarı çapları olsun. Kalınlğın içinde r yarıçapındaki bir noktada radyal ve tanjatyal gerilmeler aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\sigma_r = \frac{a^2 P_i}{b^2 - a^2}\left\{1 + \frac{b^2}{r^2}\right\} \qquad \textbf{(2.17)}$$

$$\sigma_t = \frac{a^2 P_i}{b^2 - a^2}\left\{1 - \frac{b^2}{r^2}\right\} \qquad \textbf{(2.18)}$$



Şekil 2.24 Kurşun ekstrüzyon sönümleyici



Şekil 2.25 Kurşun ekstrüzyon sönümleyici ve çıkıntılı şaft

Silindirik tüp 240N/mm^2 akma dayanımına sahip olan Fe410W malzemesinden yapılmış olduğu için izin verilebilir gerilme 163.067N/mm^{2}dir. İzin verilebilir gerilmeyi ve iç yarıçap a=50 mm kullanılarak yukarıdaki denklemden dış yarıçap b 90 mm olarak hesaplanır.

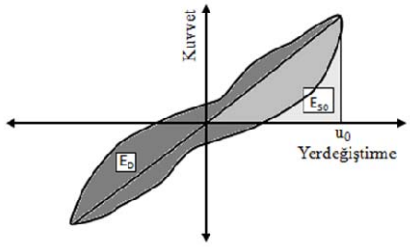
3 KURŞUN EKSTRÜZYON SÖNÜMLEYİCİNİN ÖZELLİKLERİ ve DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında üretilen LED'in her çevrimde kaybedilen veya depolanan rijitliği, sönüm katsayısı ve eşdeğer sönüm oranı gibi fiziksel özelliklerinin farklı titreşim bantlarındaki değişimini incelemek amacıyla bu sönümleyici üzerinde yoğun deneyler yapılmıştır. Deneylerde sönümleyicinin bir ucuna sinüsoidal yerdeğiştirme protokolü uygulanırken diğer ucunun sabit tutulabilmesi maksadıyla bir yükleme çerçevesi tasarlanmıştır.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla üretilmiş olan sönümleyicinin fiziksel özelliklerini belirlemek için çalışma kapsamında üretilen sönümleyiciyle benzer özelliklere sahip olan viskoz sönümleyiciler hakkında Constantinou ve Symans (1992) tarafından yapılan bir çalışma baz alınmış ve bu çalışmada verilen hesap yöntemi kullanılarak bir bilgisayar programı yazılmıştır. Çalışmanın ilgili kısmı ve hesap yöntemi hakkında 'Bölüm 3.1' de geniş bilgi verilmiştir.

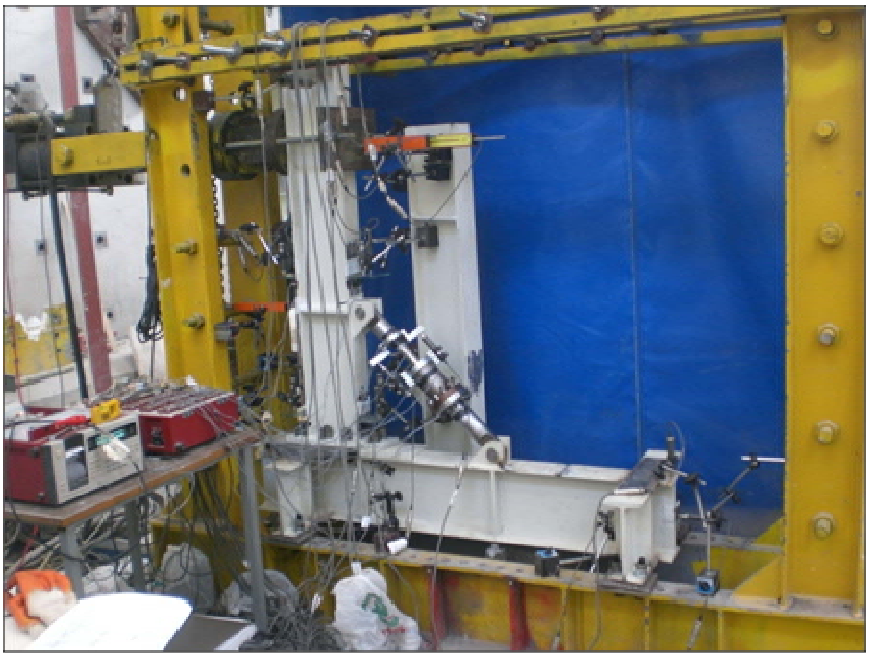
Yazılan programda sönüm oranı enerji oranları yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu yöntemde, bir kapalı çevrimde tüketilen enerji miktarı E_D, en büyük şekildeğiştirme enerjisi E_{S0} olarak gösterilmektedir. En büyük şekildeğiştirme enerjisi miktarının viskoz sönüm ile soğrulan enerjiye eşitlenmesiyle elde edilir.

$$\zeta_{eq} = \frac{1}{4\pi}\frac{E_D}{E_{S0}} \tag{3.1}$$

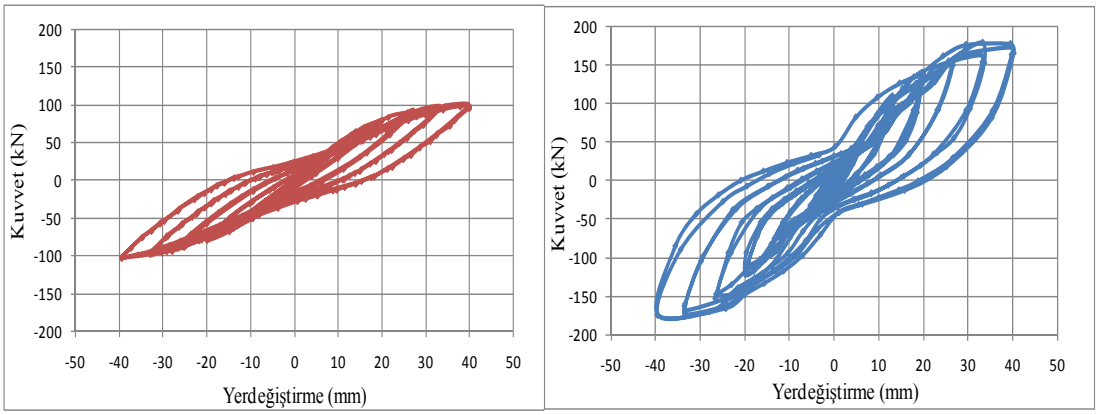


Şekil 3.1 Enerji Oranları Yöntemi

Üretilmiş olan bu sönümleyicinin etkinliği, bir yüksek lisans çalışması kapsamında, çelik kiriş – kolon birleşim bölgesine yerleştirilerek anlaşılmıştır. Bu tez kapsamında kiriş – kolon birleşimi yalın durumda ve diyagonel olarak yerleştirilen sönümleyicinin bulunduğu durumda adım adım itme ve çekme kuvvetleri uygulanarak birleşim bölgesindeki sönüm ve rijitlik değerleri elde edilmiştir.



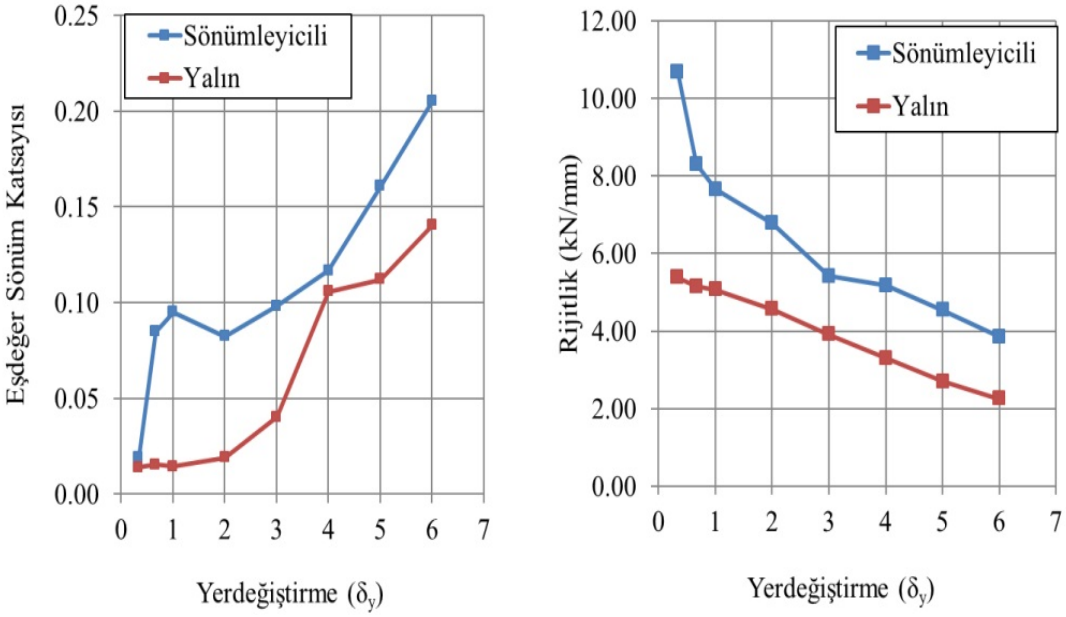
Şekil 3.2 Kiriş kolon birleşimi deney düzeneği



Şekil 3.3 Yalın ve sönümleyicili durumda kuvvet – yerdeğiştirme grafikleri

Yukarıdaki grafiklerde görüldüğü gibi yalın durumda ±40mm deplasman değeri için okunan en büyük kuvvet değeri yaklaşık olarak ±100kN iken sönümleyicili durumda yapılan deneylerde aynı ±40mm deplasman değeri için okunan kuvvet değeri yaklaşık 175kN'dur. Bu sebeple sönümleyicili durumda kuvvet yerdeğiştirme eğrileri altında kalan alan daha büyüktür dolayısıyla birleşim bölgesinde tüketilen enerji

miktarının daha fazla olduğu yani üretilmiş olan cihazın beklendiği gibi ek sönüm sağladığı kanıtlanmıştır.



Şekil 3.4 Yalın ve sönümleyicili durumda eşdeğer sönüm ve rijitlik değerlerinin karşılaştırılması

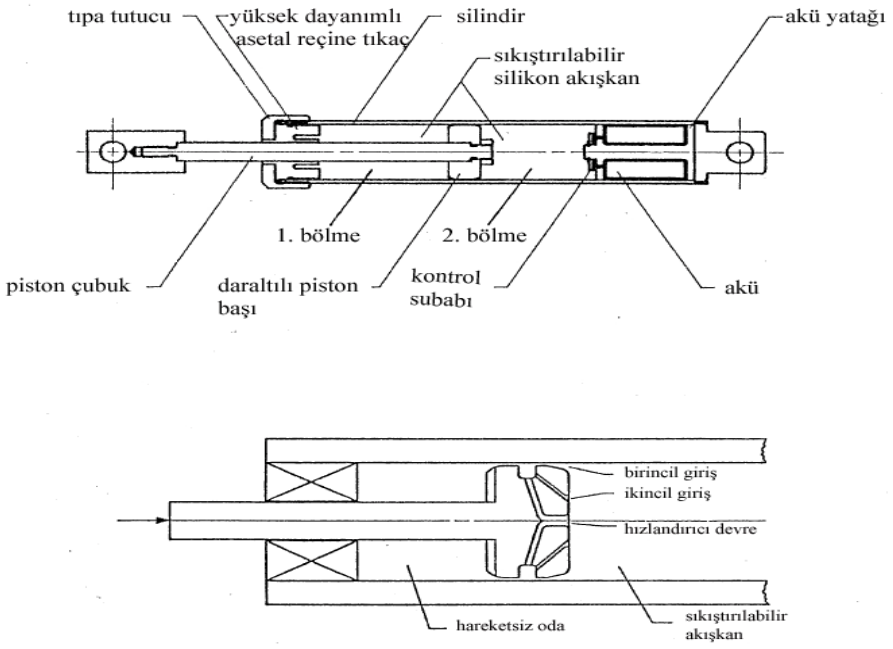
Yukarıdaki grafiklerde ise yalın ve sönümleyicili birleşimler için yapılan deneylerden elde edilen veriler ile hesaplanan birleşim bölgesindeki sönüm oranları ve rijitlik değerleri karşılaştırılmıştır. Kurşunun akma noktasından önce yapılan deneyden elde edilen sonuçla, yalın durumla sönümleyicinin bulunduğu durum arasında gerek eşdeğer sönüm açısından gerekse rijitlik bakımından büyük bir farklılık olduğu söylenebilir. Kurşunun akmasıyla beraber birleşim bölgesinin eşdeğer sönüm oranında küçük bir azalma olsa da yalın duruma göre bu değer çok daha yüksektir.Artan yerdeğiştirme değerlerinde ise yalın ve sönümleyicili durumda sönüm oranı bakımından aradaki fark azalsada sönümleyicinin etkinliği açık bir şekilde görülmektedir. Artan yerdeğiştirme değerlerinde kurşun akmaya başladığı ve sonrasında daha da bozulduğu için birleşim bölgesinin rijitliğinde azalma görülmüştür. Bu azalma kurşunun akmasına kadar geçen sürede daha keskinken kurşun akmaya başladıktan sonra daha yumuşak değerlerde ve neredeyse doğrusaldır. Elde edilen bu iki grafik üretilmiş olan kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin eklendiği yapıya ek sönüm ve rijitlik sağlayacağını açık bir şekilde göstermektedir.

3.1 Constantinou ve Symans, 1992

Akışkanın çıkıntıya doğru akmasını kullanan soğurucu cihazlar ilk olarak ordu teçhizatlarının şok izolasyonu için geliştirilmiştir.

İncelemekte olan akışkan sönümleyiciler şok izolasyon sönüm cihazlarından esinlenerek üretilmiştir. Test edilen sönümleyicinin yapımı Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Bu sönümleyiciler bronz çıkıntısı olan paslanmaz bir çelik pistondan ve aküden oluşur. İçindeki boşluk silikon yağ ile doldurulmuştur. Çıkıntıdaki kabarma sönümleyicinin -40^{o}C ile 70^{o}C arasında çalışabilmesini sağlayan pasif bimetalik termostatla sağlanır.

Akışkan sönümleyici tarafından üretilen kuvvet piston kafasındaki basınç değişimden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.5'te görünen sönümleyicinin basınç kuvvetine maruz kaldığını ve dolayısıyla pistonun soldan sağa doğru hareket ettiğini düşünelim. Akışan 2. bölmeden 1. bölmeye doğru akacaktır. Bu nedenle sönüm kuvveti bu iki bölmedeki basınç değişimiyle orantılıdır. Ancak akışkan hacmi piston çubuğun alanı ve hareket nedeniyle azalır. Sıvı sıkıştırılabilir olduğundan dolayı, akışkan hacmindeki bu azalmayla (yay gibi) geri dönüştürücü kuvvetler oluşur. Akü kullanımıyla bu engellenmiştir. Test edilen cihaz 4Hz'den küçük frekans değerlerindeki piston hareketi için ölçülebilir bir rijitlik göstermemiştir.



Şekil 3.5 Akışkan viskoz sönümleyicinin yapısı

Bahsedilen frekans limitinin var olması istenen bir özelliktir. Cihaz yapının temel moduna ek viskoz sönüm sağlayabilir ve yüksek modlara da ek sönüm ve rijitlik kazandırır. Aslında bu yüksek modlarının katkısını tamamen bastırır. Akışkan sönümleyicideki kuvvet aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$P = bp_{12} \tag{3.2}$$

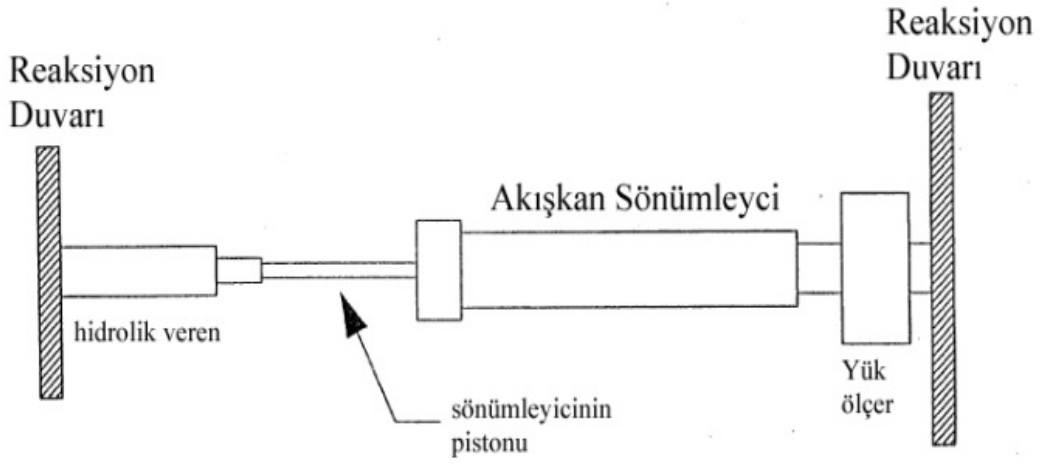
Bu denklemdeki p_{12} 1. ve 2. bölmelerdeki basınç değişimidir. 'b' sabiti piston başı alanının (A_p), piston çubuğun alanının (A_r), çıkıntı alanının (A_1), çıkıntı sayısının (n), kontrol subabı alanının (A_2) ve daraltının deşarj katsayısı (C_{d1}) ile kontrol subabı (C_{d2}) nin bir fonksiyonudur. Silindirik çıkıntılar için piston boyunca basınç değişimi aşağıdaki gibidir.

$$p_{12} = \frac{\rho}{2n^2 C_{d1}^2}\left(\frac{A_p}{A_1}\right)^2 \dot{u}^2 sgn(\dot{u}) \tag{3.3}$$

Bu denklemdeki ρ akışkan yoğunluğunu ve $\dot{u}$ pistonun hızını göstermektedir. Silindirik şekilli çıkıntılarda basınç değişimi piston hızının karesiyle orantılıdır. Böyle çıkıntılar " kare yasa" yada Denklem 3.2 Bernoulli eşitliğinden çıkarıldığı için "Bernoulli" daraltıları olarak da anılırlar. Bu daraltıların ürettiği sönümleyici kuvvetleri genel olarak şok izolasyonunda kabul edilemez.

Test edilen sönümleyicideki çıkıntı tasarımı hızın karesiyle orantılı olan böyle bir kuvvet üretmez. Daraltı akışkan hızıyla akış karakteristiklerini değiştirmek için bir seri özel şekillendirilmiş geçişleri kullanır. Bu $|\dot{u}|^{\alpha}$ ile orantılı kuvvetler oluşmasını sağlar ve α 0.5 ile 1.2 arasında değişen önceden belirlenmiş bir katsayıdır. Deprem mühendisliğinde α = 1 en uygun olarak görünen değerdir. Bu katsayı sonucunda neredeyse doğrusal viskoz davranış oluşur. Be deney proğramında kullanılan cihazlar bu davranışa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

Test edilen sönümleyicilerin mekanik özellikleri Şekil 3.6'da gösterilen deney düzeneği kullanarak belirlenmiştir. Bir hidrolik veren sönümleyicinin merkezinden dinamik bir kuvvet uygular. Sönümleyicideki kuvvet de sönümleyiciyle reaksiyon duvarı arasındaki bir yük ölçer ile ölçülür. Sönümleyicinin yer değiştirmesi de hidrolik verenin içine yerleştirilen bir LVDT kullanılarak ölçülür. Kuvvet – deplasman ilişkileri artık elde edilebilir ve sönümleyicinin mekanik özellikleri belirlenebilir.



Şekil 3.6 Deney düzeneğinin şematiği

Frekans ve sönümleyici pistonunun hareket genliği her deney için farklı değerlerdir. Veren sönümleyici pistonu sinüsoidal hareket yapacak şekilde deplasman kontrollü olarak çalıştırılmıştır. Sönümleyici hareketi aşağıdaki gibidir.

$$u = u_0 sin(wt) \tag{3.4}$$

u_0 deplasman genliğini, ω hareketin frekansını ve t de zamanı göstermektedir. Kararlı durum koşullarında, bu hareketi devam ettirmek için gerekli olan kuvvet;

$$P = P_0 sin(\omega t + \delta) \tag{3.5}$$

P_0 kuvvet genliğini ve δ da faz açısını göstermektedir. Kaydedilen yük – deplasman döngülerinin altında kalan alan bir çevrimde tüketilen enerjiyi hesaplamak için ölçülebilir.

$$W_d = \oint P du = \pi P_0 \, u_0 sin(\delta) \tag{3.6}$$

3.5 denklemini yeniden yazarsak;

$$P = P_0 sin(\omega t) cos(\delta) + P_0 cos(\omega t) sin(\delta) \tag{3.7}$$

Aşağıdaki değerleri de denkleme etkittiğimizde 3.9 denklemi elde edilir.

$$K_1 = \frac{P_0}{u_0} cos(\delta) \;\; , \;\; K_2 = \frac{P_0}{u_0} sin(\delta) \tag{3.8}$$

$$P = K_1 u_0 sin(\omega t) + K_2 u_0 cos(\omega t) \tag{3.9}$$

3.9 denklemi aşağıdaki gibi de yazılabilir;

$$P = K_1 u + \frac{K_2}{\omega}\dot{u} \quad \textbf{(3.10)}$$

Bu denklemdeki ilk terim sönümleyicinin rijitliğinden dolayı hareket düzleminde oluşan kuvveti ve ikinci terim sönümleyicide, hareketle arasında 90^o faz farkı bulunan ve sıvının vizkositesinden kaynaklanan kuvveti temsil eder. Sönüm katsayısı ise 3.11 denkleminde verilmiştir.

$$C = \frac{K_2}{\omega} \quad \textbf{(3.11)}$$

3.6 ve 3.8 denklemlerini birleştirirsek,

$$K_2 = \frac{W_d}{\pi u_o^2} \quad \textbf{(3.12)}$$

$$\delta = sin^{-1}\left(\frac{K_2 u_0}{P_0}\right) \quad \textbf{(3.13)}$$

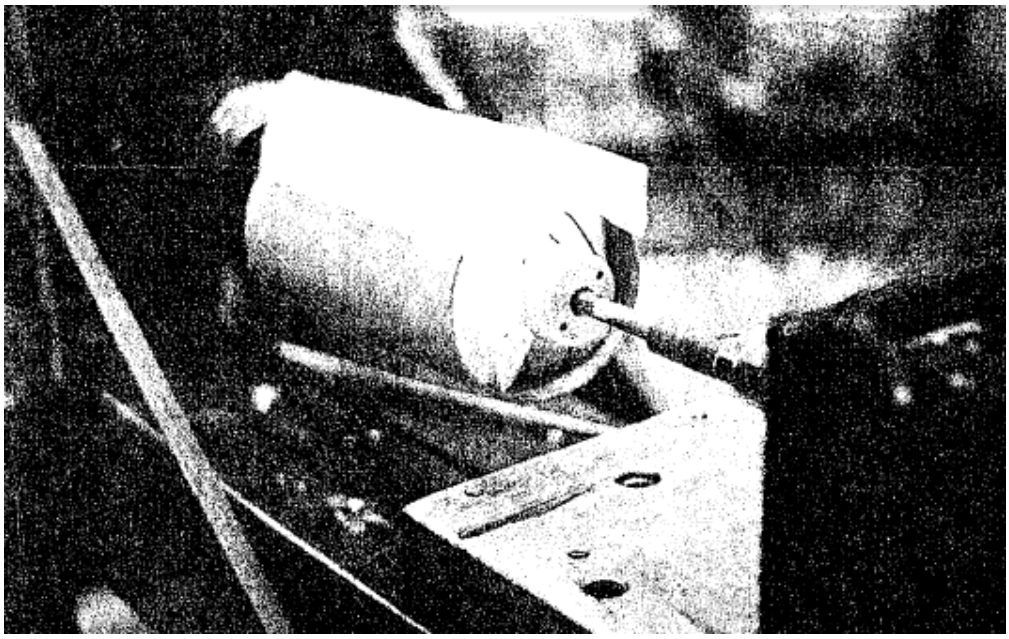
Deneysel olarak ölçülen W_d, P_o ve u_o değerlerini elde etmek için artık 3.8 denklemiyle 3.11, 3.12 ve 3.13 denklemlerini kullanabilir. İlk olarak kaybedilen rijitlik 3.12 denkleminden elde edilir. Sisteme etkitilen frekans bilindiği için C sönüm katsayısı 3.11 denkleminden bulunur. 3.13 denklemi faz açısını hesaplamak için kullanılır. Son olarak da depolanan rijitlik 3.8 denkleminden hesaplanır.

Toplam 58 deney 0.1 ile 25Hz frekans aralığında, 16.5 ile 462.3mm/s pik hız aralığında ve 0^0C, oda sıcaklığı (yaklaşık 22^0C) ve 50^0C de yapılmıştır. Bütün deneyler 5 çevrimde tamamlanmıştır.

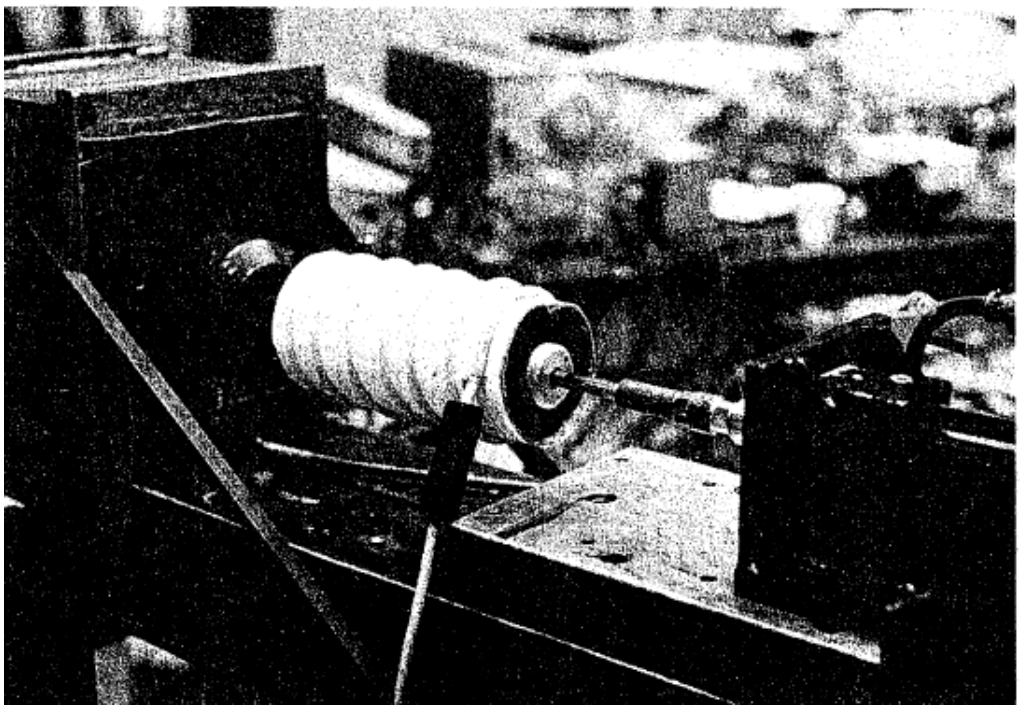
Düşük sıcaklık deneylerinde sönümleyici sıcaklığı düşürmek için buz ve alkol içeren plastik bir silindirle sarılmıştır. Yüksek sıcaklık deneyleri ise silindirik mukavva ayarlanabilir sıcaklık ünitesi etrafında birkaç kez dolanan teflonla kaplanmıştır. Her durumda cihazın yüzeyindeki sıcaklık bir sıcaklık ölçerle (thermocouple) ölçülmüştür.

4Hz den düşük frekans değerlerinde cihaz çok küçük depolanmış rijitlik değerleri göstermiştir ve bu durumdaki davranışı esasen doğrusal viskozdur. 2Hz ve 4Hz frekans değerlerinde ölçülen pik kuvvetler neredeyse benzerdir.

4Hz den büyük frekans değerleri için cihaz, 20Hz'i aşan frekans değerlerine kadar depolanan rijitliği kaybedilen rijitliğine eşit değerler göstermiştir. Cihazın bu mekanik özellikleri neredeyse tamamen hareketin genliğinden bağımsızdır. Bu aynı frekans ve farklı genlikte yapılan deneylerle doğrulanmıştır.



Şekil 3.7 Soğuk deney düzeneğinin görünüşü

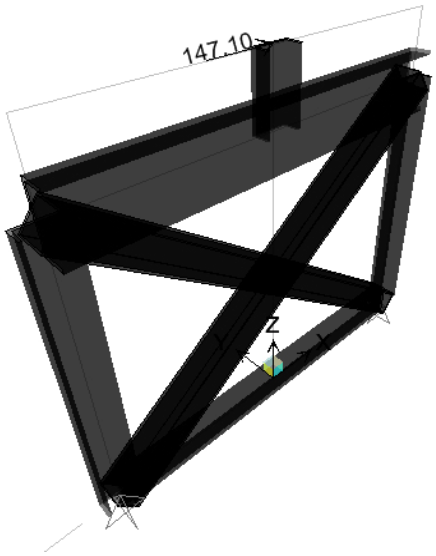


Şekil 3.8 Sıcak deney düzeneğinin görünüşü

0^0C ile 50^0C aralığında değişen sıcaklıklarda cihaz mekanik özellikleri sıcaklığa bağlı davranmıştır. Ancak bu bağlılık çok önemli ölçülerde değildir.

3.2 Deney Düzeneği

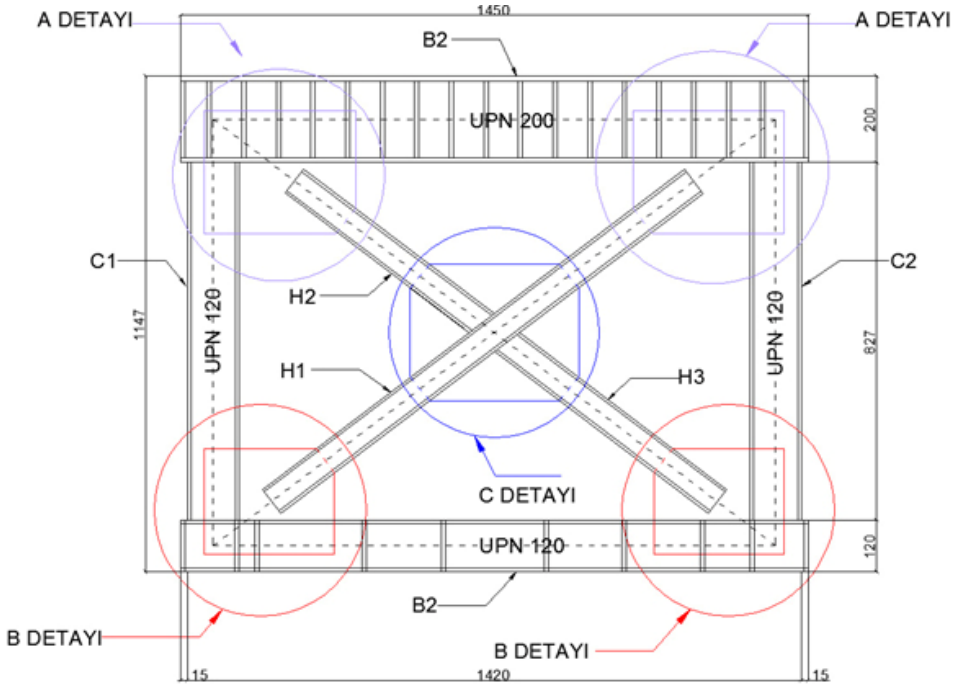
Deney düzeneği, kurşun ekstrüzyon sönümleyici bir ucundan farklı titreşim bantlarında ve sabit değerli sinüsoidal yerdeğiştirme protokolüne maruz bırakılırken diğer ucunun sabit kalması sağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Sönümleyicinin ucunu sabit tutacak çerçeve ST37 (S235JR) çeliğinden üretilmiş profiller ile oluşturulmuştur. Hidrolik verenden aktarılan kuvvetin büyük kısmını karşılayacak olan üst kiriş UNP200 olarak seçilirken diğer elemanlar UNP120 olarak seçilmiştir. Çaprazlariçinse 100*100*5mm boyutundaki kutu profillerin kullanılması öngörülmüştür. Çerçevenin bilgisayar eleman modeli SAP2000 programı ile tek çerçeve olarak oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde çerçevenin üzerinde bulunan plak ise bu modelde oluşturulmamış, onun için ayrıca sonlu eleman modeli oluşturulup analiz edilmiştir. Çerçeve analizinde ise bu plak sistemi yerine fiktif bir çubuk kullanılmıştır ve bu çubuğun üst ucuna hidrolik verenin kapasitesi olan 28 ton kuvvet değerinin yarısını karşılayacak şekilde 15 ton kuvvet uygulanmıştır.



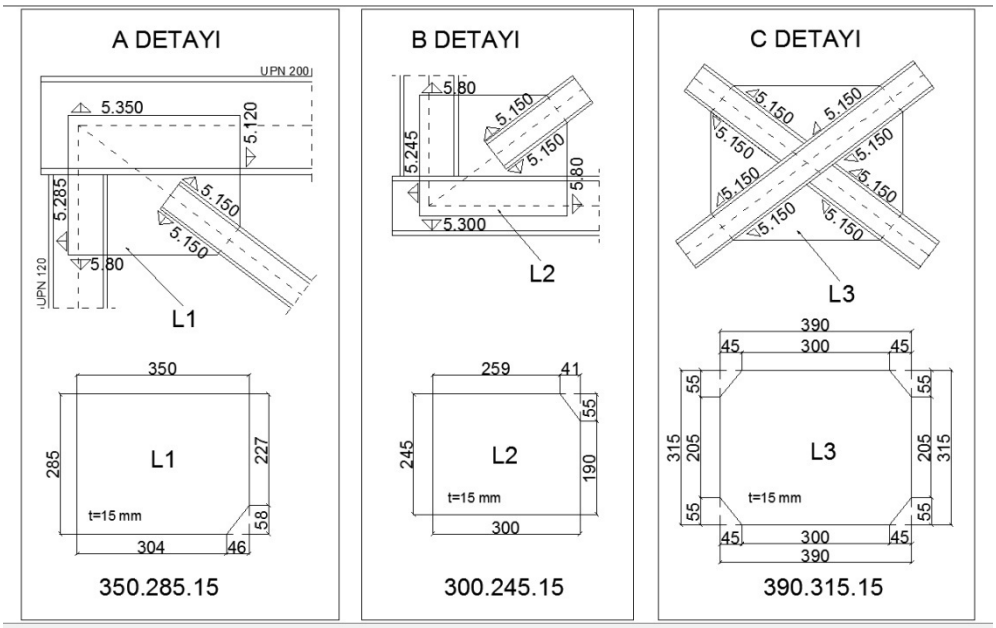
Şekil 3.9 Çubuk elemanlar bilgisayar modeli

Sönümleyicinin bağlandığı ve hidrolik veren tarafından verilen kuvvetin çerçeveye aktarılmasını sağlamak için tasarlanan plak sistemi için oluşturulan SAP2000 modelinde sönümleyicinin bağlanması için plakta açılacak olan boşlukların etkisi de dikkate almak için söz konusu plakta eşdeğer bir boşluk oluşturulmuştur. Hidrolik

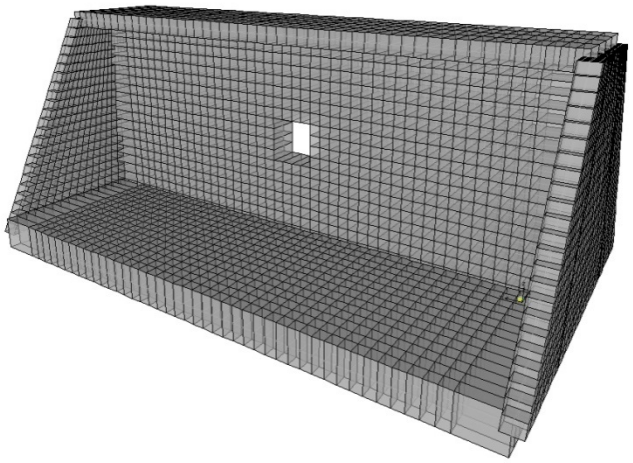
verenin kapasitesinden daha büyük olan 32 ton kuvvet plağın ortasında açılan boşluğun etrafındaki noktalara eşit şekilde etkitilmiş ve plakta meydana gelen deformasyon ile gerilmelerin izin verilebilir seviyelerin altında kalmasını sağlayacak şekilde plak boyutları belirlenmiştir.



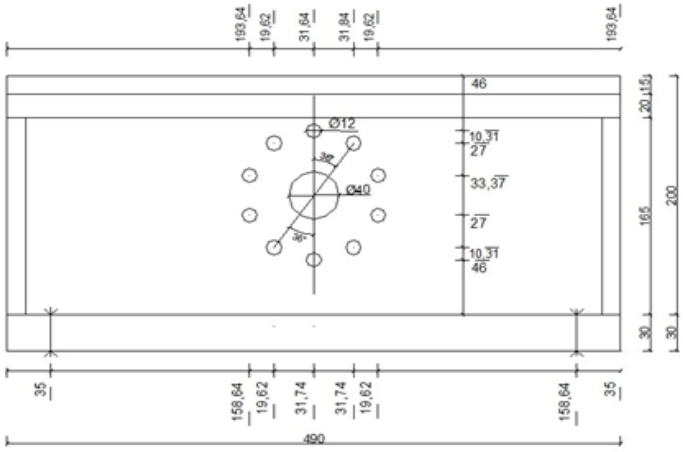
Şekil 3.10 Çerçeve ön görünüş



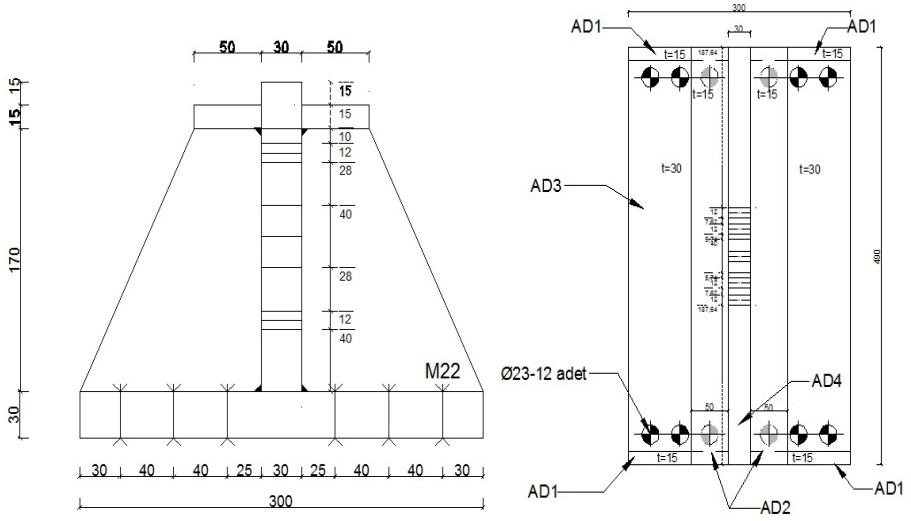
Şekil 3.11 Çerçeve bağlantı detayları



Şekil 3.12 Plak sistemi sonlu eleman modeli



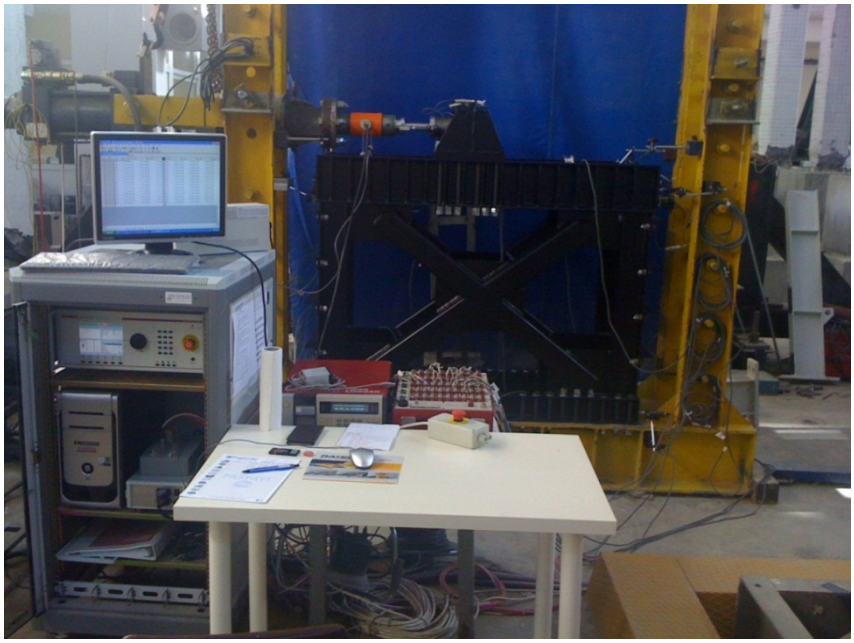
Şekil 3.13 Plak sistemi ön görünüş



Şekil 3.14 Plak sistemi yan ve üst görünüşler

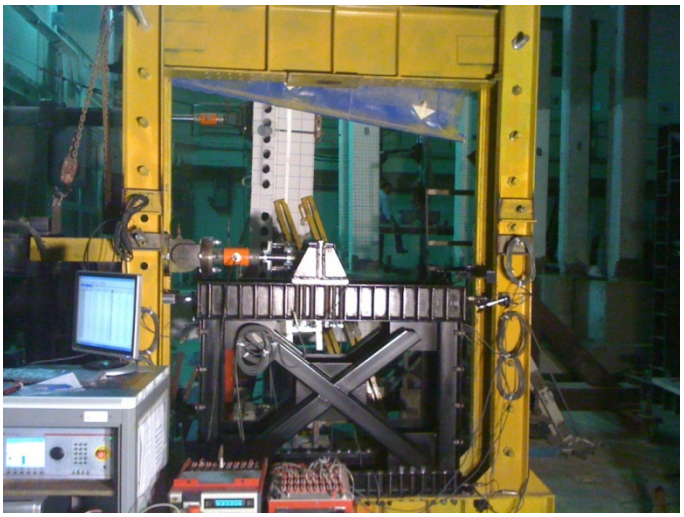
Plak sisteminin rahatlıkla kaydırılabilmesi için üst kirişin alt ve üst başlıklarında 40 mm aralıklarla 22mm çapında delikler açılmıştır bu deliklerden 20mm çapında bulonlar vasıtasıyla plakların çerçeveye bağlantısı sağlanmıştır.

Sönümleyici sabit tutup yük aktarımını sağlamak için tasarlanan yükleme çerçevesi Şekil 3.15'de de görülen boyutca daha büyük olan diğer bir yükleme çerçevesine, alttaki kirişin başlıklarında açılmış olan 22mm deliklerden geçirilen M20 bulonlar vasıtasıyla bağlanmıştır.Yükleme çerçeveleri ise birbirine kolon profillerinin üst başlıklarından açılan 17mm çapındaki deliklerden geçirilen M16 bulonları ve L70.70.7 korniyerler kullanılarak bağlanmıştır. Bu şekilde çerçevenin düzlem dışı hareketi de engellenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.15 Deney düzeneğinin ilk hali

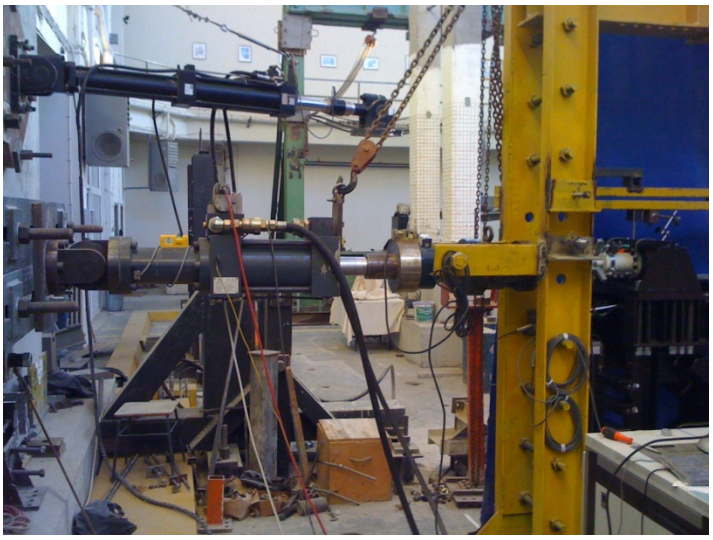
Kurulan deney düzeneğinde ±5mm yerdeğiştirme kapasiteli yerdeğiştirme ölçerler kullanılarak düzlem dışı hareketler, tepe noktası yerdeğiştirmeleri ölçülmüş ve hidrolik veren tarafından uygulanacak olan hedef deplasmanın büyüklüğüne göre de ±5mm ve ±12.5mm kapasiteli yerdeğiştirme ölçerlerle şaftın sönümleyici içerisindeki hareketi ölçülmüştür. Bu durumda sönümleyici şaftının rölatif hareketi iki adet yerdeğiştirme ölçer kullanılarak kaydedilmiştir. Ölçümler başlangıçta statik veri toplayıcı ile toplanmıştır. Sönümleyici üzerindeki yük ilk düzenekte 50 ton kapasiteli ayrı bir yük ölçer ile ölçülürken daha sonra bu ölçüm hidrolik verenin kendi içerisindeki yük ölçerle yapılmıştır.



Şekil 3.16 Deney düzeneği ikinci durum

Deney düzeneği ilk kurulduğunda sönümleyici etrafındaki iki yerdeğiştirme ölçerle uygun sonuçlar elde edilememiş bu sebeple gözlemlenen olumsuzlukları daha rahat anlayabilmek için sönümleyicinin şaftı etrafında radyal olarak yerleştirilen dört yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır

Dört yerdeğiştirme ölçerle de anlamlı veriler alınamayınca deney düzeneğinde büyük bir değişiklikler yapılmıştır. Bu kapsamda sistemden yük ölçer çıkartılmış ve aynı zamanda sönümleyici içerisindeki şaft oldukça küçültülmüştür. Böylece sistemin burkulma boyunda büyük bir azalma sağlanmıştır. Üstteki mevcut plak sistemi de kaydırılarak çerçevenin üst kirişindeki ilk deliklerden itibaren bağlanmıştır. Sönümleyici de yine bu plağa bulonlar vasıtasıyla sabitlenmiştir.



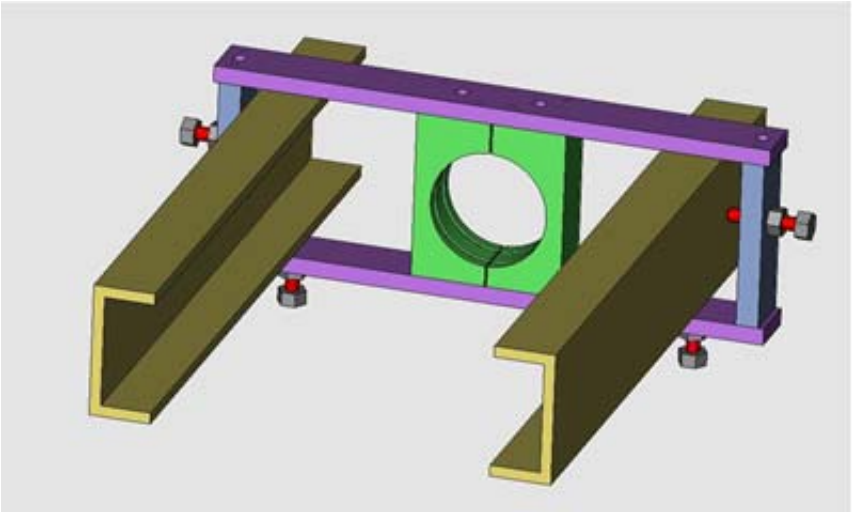
Şekil 3.17 Deney düzeneği üçüncü durum

Sistemin bu haliyle de düzlem dışı hareketler yaptığı gözlenmiş ve anlamlı veriler toplanamamıştır. Bu durumda da hidrolik verenin ön mafsalı çıkartılmış ve sönümleyici pistonla hidrolik verenin arasına yerleştirilmiştir. Sönümleyicinin yerine ise aynı ebatlarda katı cisimler yaptırılmış ve bağlanmıştır.



Şekil 3.18 Deney düzeneği dördüncü durum

Bu durumda deneyler tekrarlandığında eski durumlara göre çok daha iyi sonuçlar elde edilmiş olsa da pistonun düzlem dışı hareket etme istemi tam anlamıyla engellenememiştir. Bu hareketin engellenebilmesi için sönümleyiciyi saran ancak içerisinde sönümleyicinin rahatça hareket edebildiği geişlikte bir yatak tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım Şekil 3.19 ve 3.20'de görülmektedir.

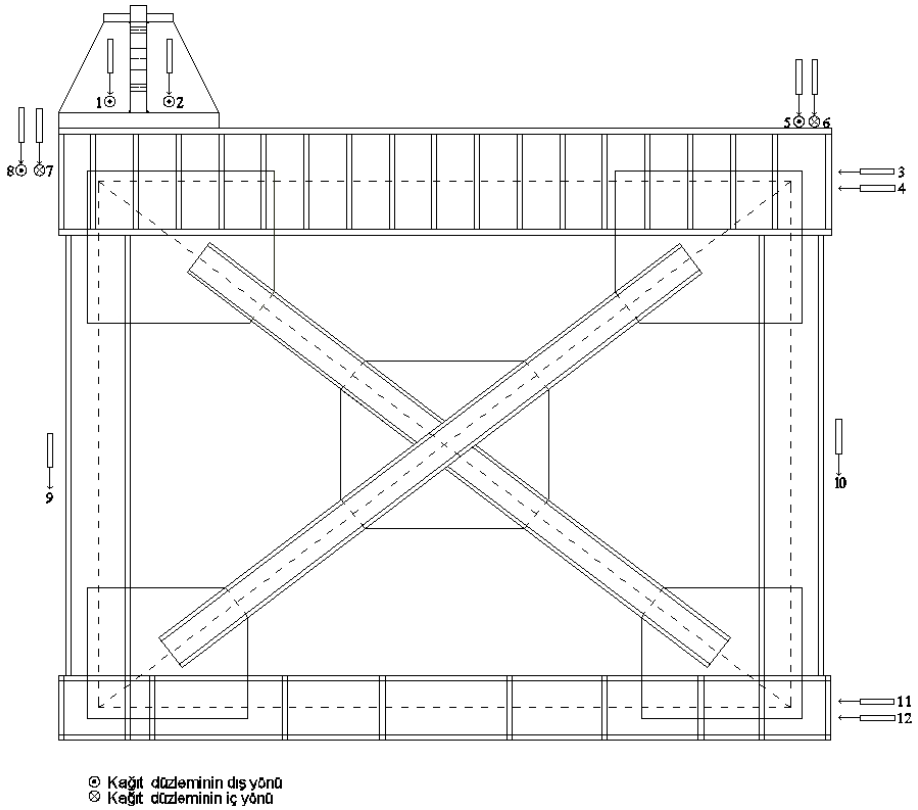


Şekil 3.19 Düzlem dışı hareketi engellemek için tasarlanan yatak



Şekil 3.20 Tasarlanan yatağın uygulanması

Deney düzeneği ideal duruma getirildiğinde seri deneylere başlanmıştır. Düzenekte sönümleyicinin etrafına yerleştirilen dört yerdeğiştirme ölçere ek olarak alınan ölçümlerin doğruluğunu kısıtlayabilecek yerdeğiştirmelerin olup olmadığını kontrol etmek amacıyla ölçüm alınan noktalar Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Ölçüm alınan noktalar

1 ve 2 numaralı yerdeğiştirme ölçerlerle plak sisteminin yaptığı düzlem dışı hareket, 3 ve 4 çerçevenin tepe deplasmanını, 5, 6, 7 ve 8 çerçevenin düzlem dışı hareketini, 9 ve 10 çerçeveleri birbirine bağlayan korniyerlerdeki kalkma hereketini, 11 ve 12 ise çerçevenin kayma hareketini ölçmek için yerleştirilmiştir. Yapılan ön deneylerden toplanan veriler ışığında, ölçüm alınan bu noktalardaki yerdeğiştirme değerlerinin etkisinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu gözlemlenmiş ve bu noktalardan alınan ölçümler takip edilmemiştir.

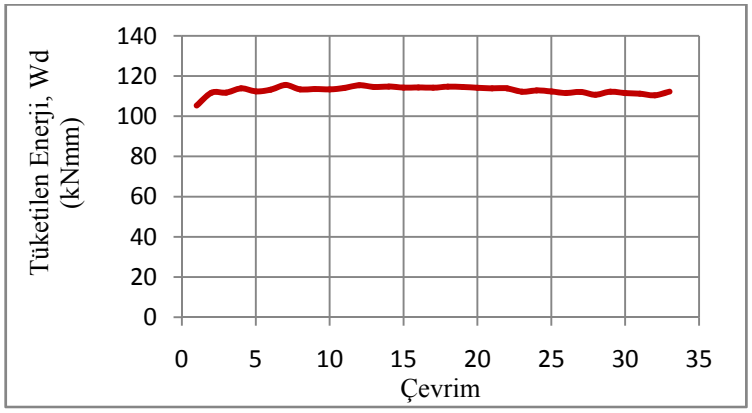
Ön deneylerde kullanılan ölçümlerin toplandığı statik veri toplayıcıda tetik gecikme süresi 0.5saniye ve bir kanal okunma süresi 0.08 saniyedir. Veri toplayıcıda toplamda 16 adet yerdeğiştirme ölçerle birlikte hidrolik verenden gelen bir adet yerdeğiştirme ve bir adet kuvvet kanalıyla toplam ölçüm alınan kanal sayısı 18 adettir. Bu 18 kanaldan ölçüm almak için gerekli minimum süre 0.5+18x0.08=1.94 saniyedir. Verilerin daha rahat okunabilmesi için bu süre 3s olarak seçilmiştir. Deney süresince sönümleyiciye uygulanacak olan sinüsoidal hareketin sağlanması için her bir çevrimde en az 10 veri toplanmalıdır. 10 veri toplamak için gerekli süre de 30 saniyedir. Bunu sağlamak için ilk olarak 0.0333Hz frekans değerinde deneyler yapılmıştır. Bu durumda sinüsoidal hareket tam olarak yakalanamamış ve bundan dolayı frekans 0.01667Hz değerine düşürülmüştür ve deneylere bu frekansta devam edilmiştir.

3.3 Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

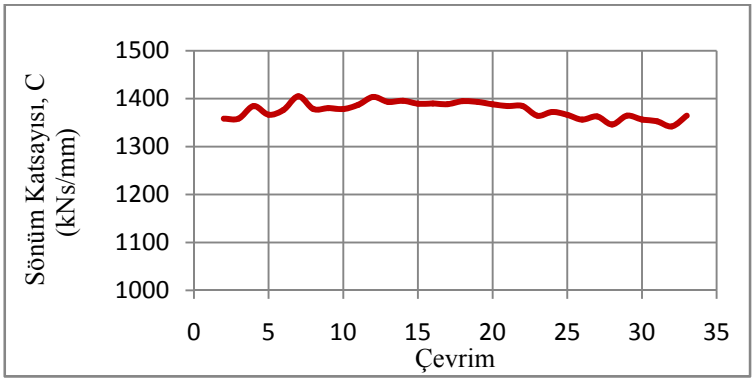
Deneyler sabit 0.5ve 1.0mm deplasman genliğinde ve bir çevrimin tamamlanması için gereken 60, 50, 45, 40, 30, 20, 15 ve 10s periyot değerlerine karşılık gelen frekans bantlarındaher bir frekans değeri için otuz üç çevrim uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak sabit 0.5mm deplasman genliğinde ve 0.01667Hz frekans değerinde deneyebaşlanmıştır. İlk çevrimlerde kuvvet – deplasman eğrileri altında kalan alan diğer çevrimlerden daha küçük değer almaktadır ancak devam eden çevrimler arasında fark yok denecek kadar azdır. İlk çevrimdeki bu fark hidrolik verenin yetersiz kalmasından kaynaklanmaktadır. Bütün çevrimler dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, bir çevrimde tüketilen enerji (W_d) için ortalama değer yaklaşık 113kNmm, en küçük değer 105kNmm ve en büyük değer 115kNmm'dir.

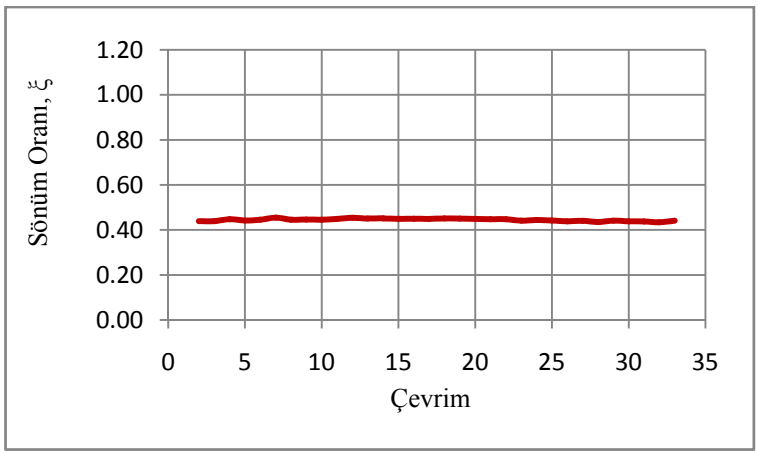
Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 144kN/mm, en küçük değer 136.8kN/mm ve en büyük değer 147.1kN/mm'dir. Depolanan rijitliği (K_1) için ortalama değer 75kN/mm, en küçük değer 63kN/mm ve en büyük değer 85kN/mm'dir.Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 1356kNs/mm, en küçük değer 1342kNs/mm ve en büyük değer 1405kNs/mm'dir.Sönüm oranı (ξ) ortalaması ise %44 olarak bulunmuştur. Sönüm oranının en küçük değeri %43 en büyük değeri ise %45'dir.



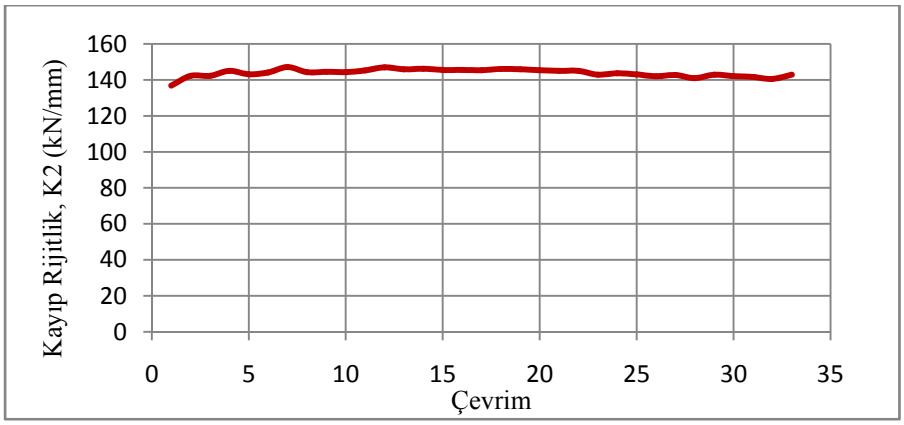
Şekil 3.22 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.01667Hz)



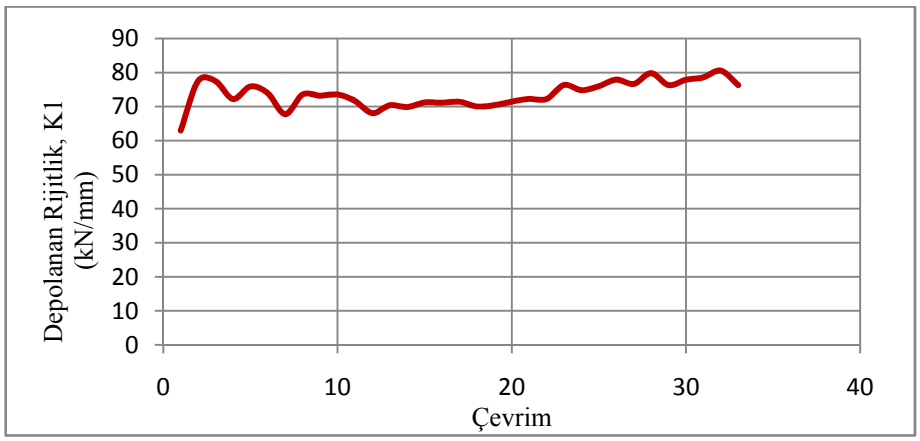
Şekil 3.23 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.01667Hz)



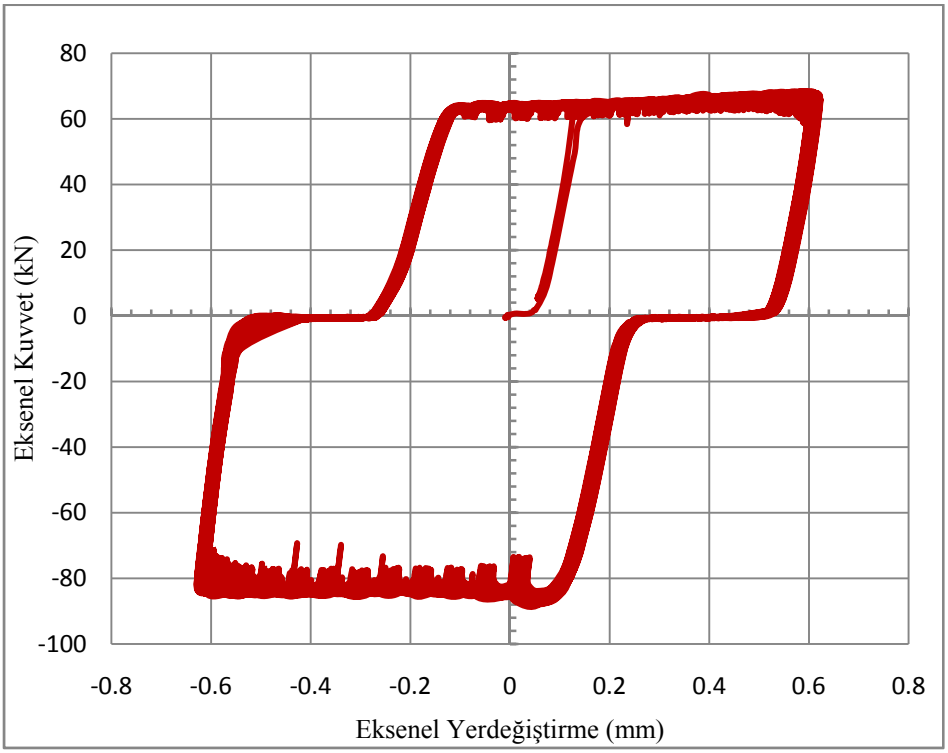
Şekil 3.24 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.01667Hz)



Şekil 3.25 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.01667Hz)

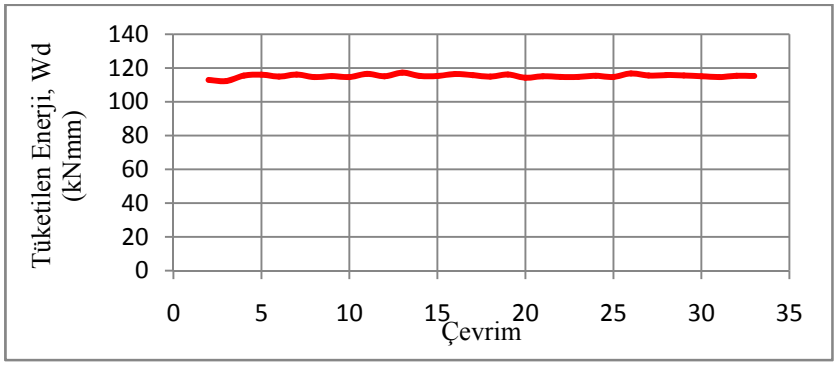


Şekil 3.26 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.01667Hz)

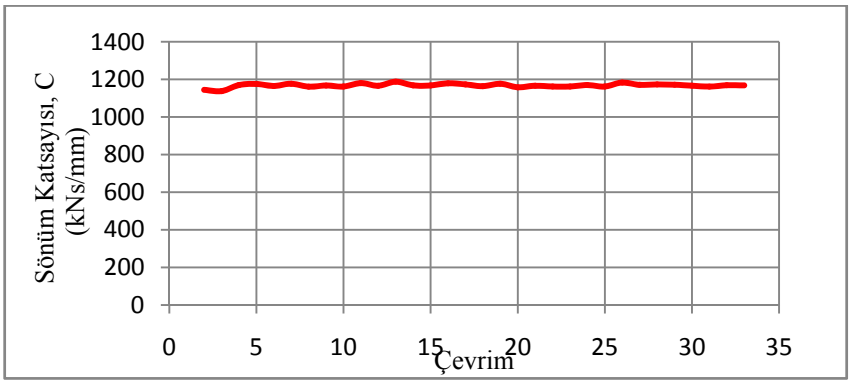


Şekil 3.27 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.01667Hz)

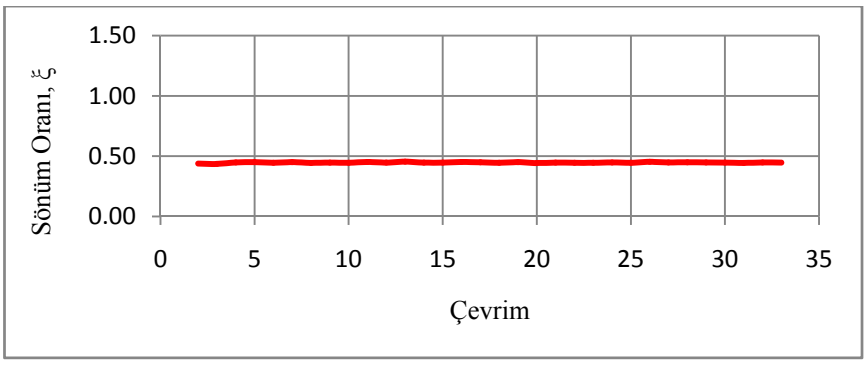
0.02Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ise ortalama tüketilen enerji (W_d) 115kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 112.3kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 117.2kNmm'dir.Kayıp rijitlik (K_2) için ortalama değer 14kN/mm, en küçük değer 143kN/mm iken en büyük değer 149.3kN/mm'dir.Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 73.2kN/mm, en küçük değer 68kN/mm ve en büyük değer 80kN/mm'dir.Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 1167kNs/mm, en küçük değer 1138kNs/mm ve en büyük değer 1187kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %44, en küçük değer %43.5 ve en büyük değer %45.5 olarak bulunmuştur.



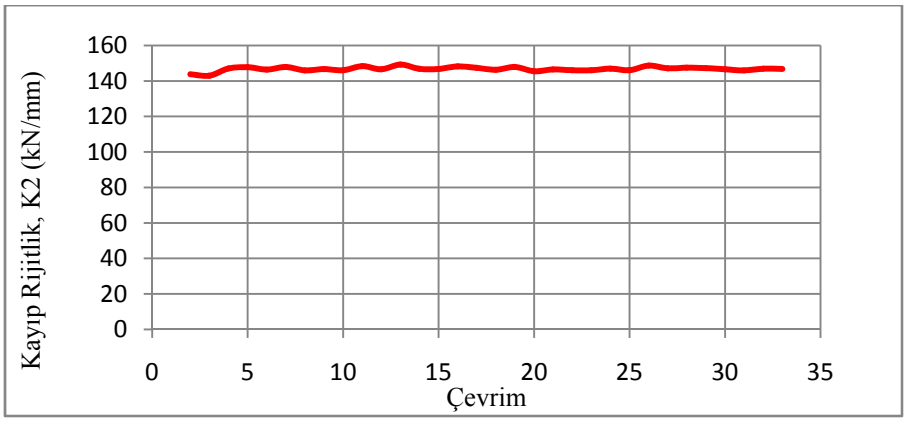
Şekil 3.28 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.02Hz)



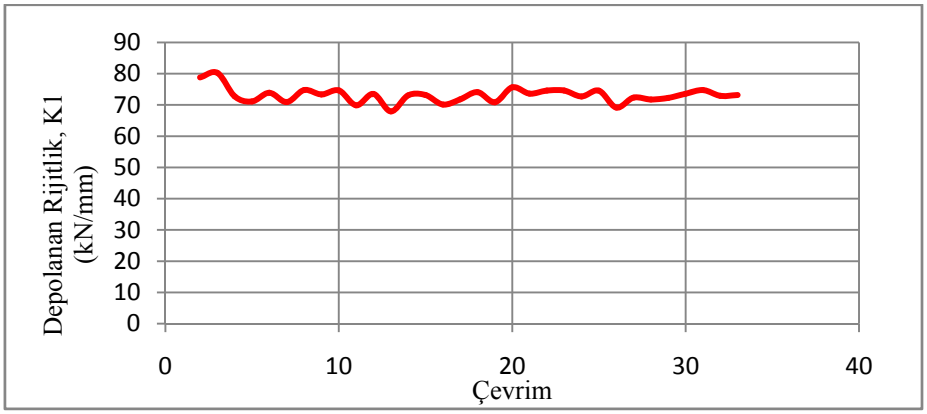
Şekil 3.29 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.02Hz)



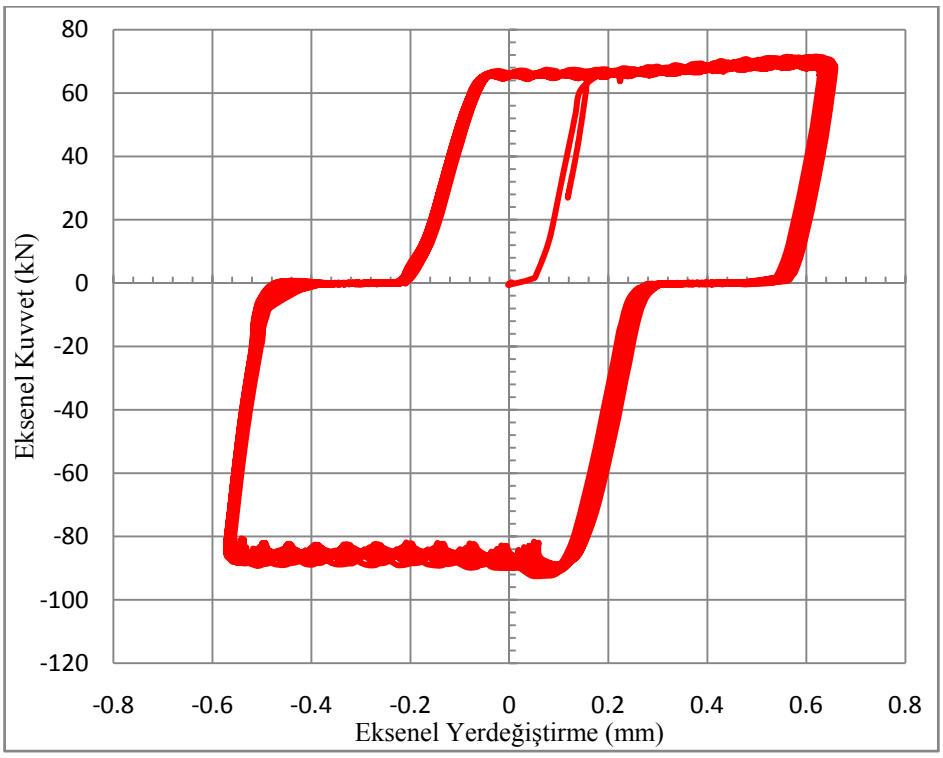
Şekil 3.30Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.02Hz)



Şekil 3.31 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.02Hz)

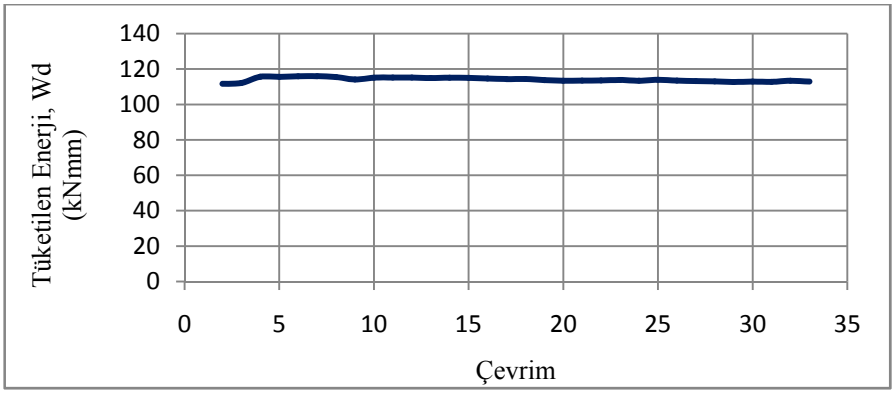


Şekil 3.32 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.02Hz)

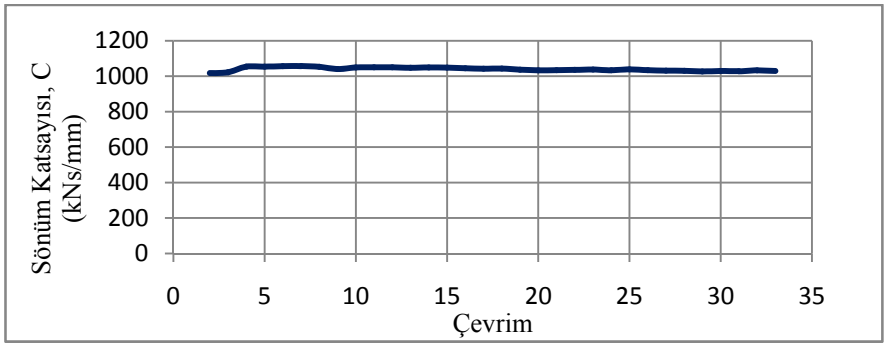


Şekil 3.33 Eksenelkuvveet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.02Hz)

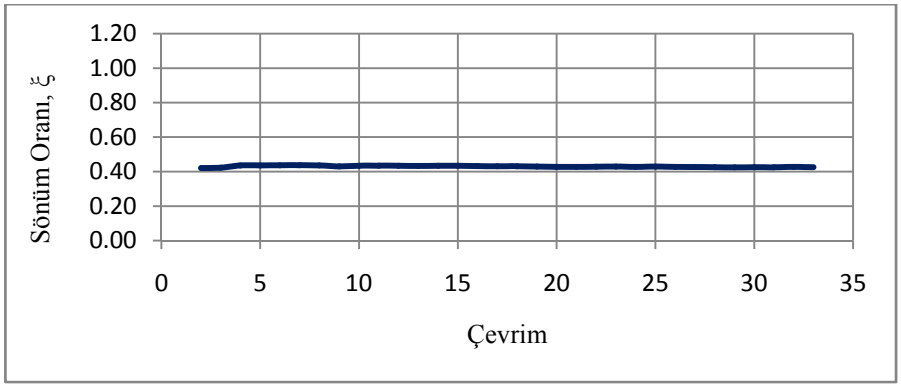
0.0222Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ise ortalama tüketilen enerji (W_d) 113.6kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 111.7kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 116kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 144.6kN/mm, en küçük değer 142.2kN/mm iken en büyük değer 147.6kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 82kN/mm, en küçük değer 91 kN/mm iken en büyük değer 91kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 1036kNs/mm, en küçük değer 1018kNs/mm ve en büyük değer 1057kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %43, en küçük değer %42 ve en büyük değer %44 olarak bulunmuştur.



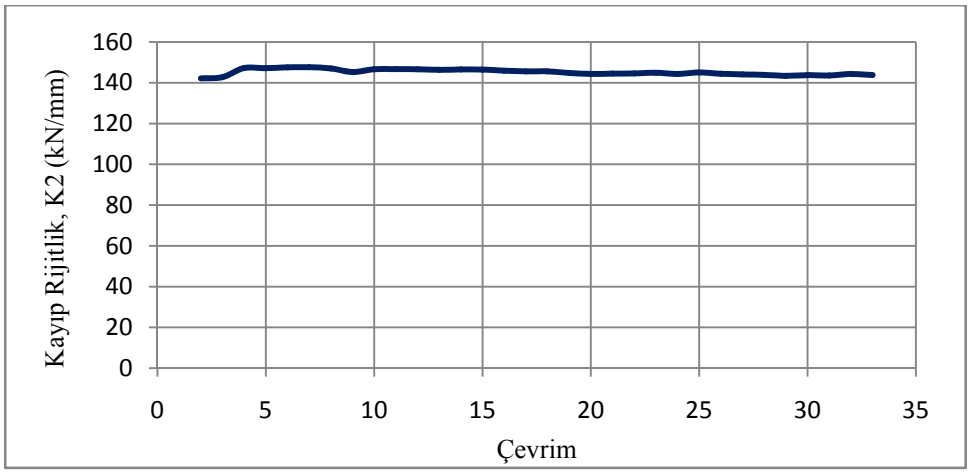
Şekil 3.34 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0222Hz)



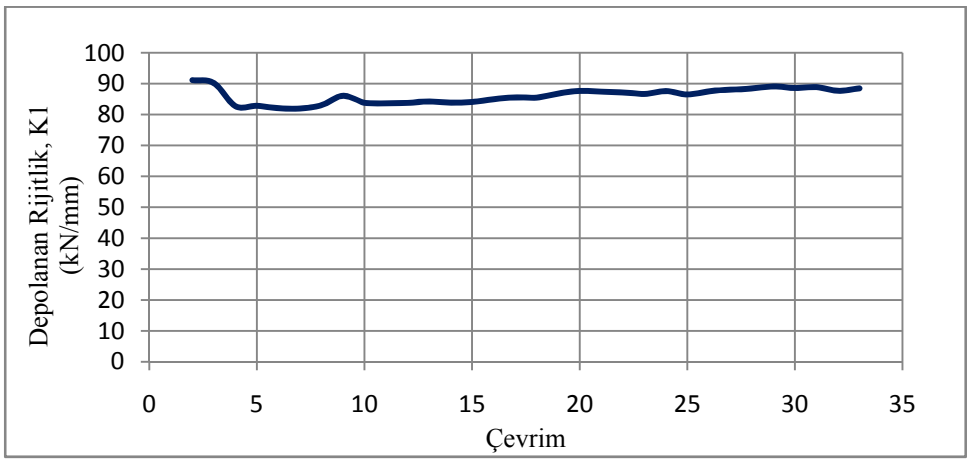
Şekil 3.35 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0222Hz)



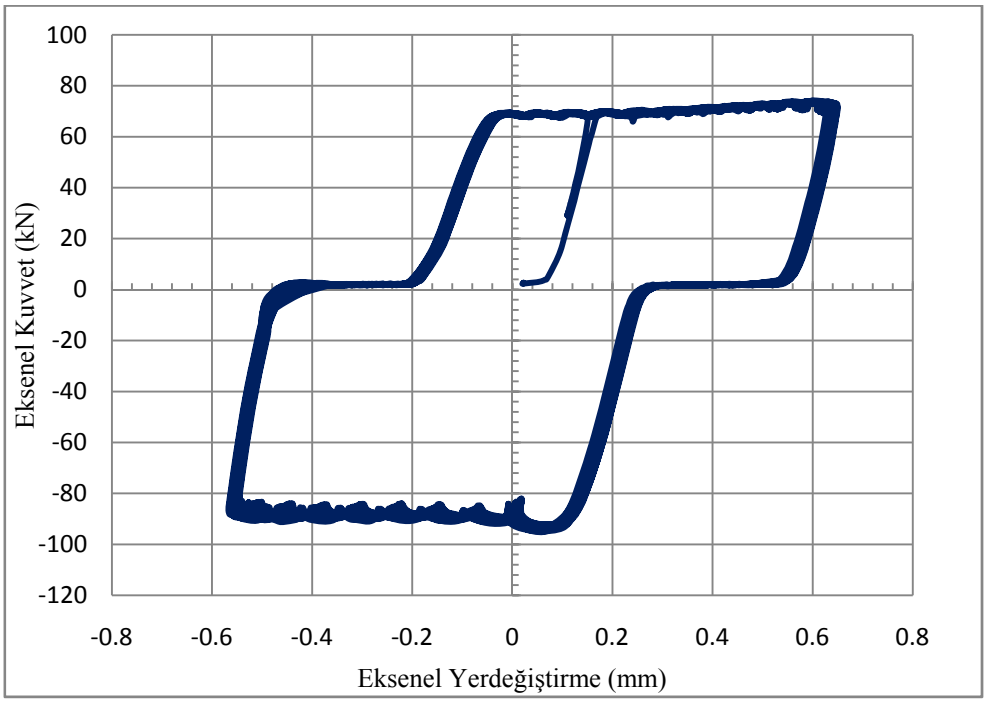
Şekil 3.36 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0222Hz)



Şekil 3.37 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0222Hz)

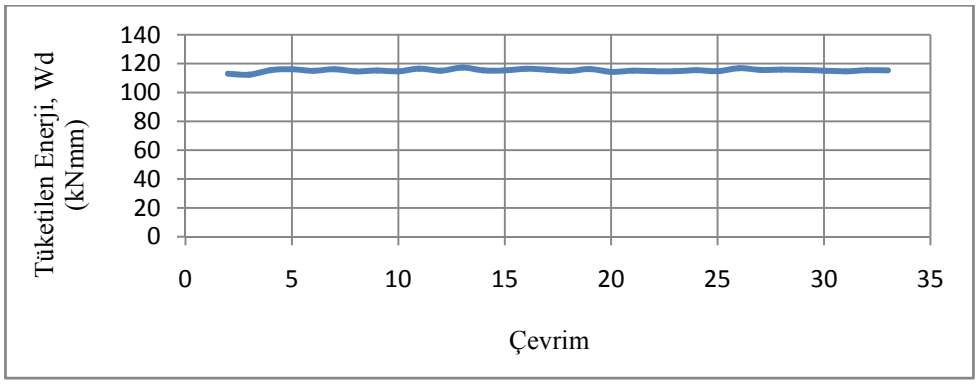


Şekil 3.38 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0222Hz)

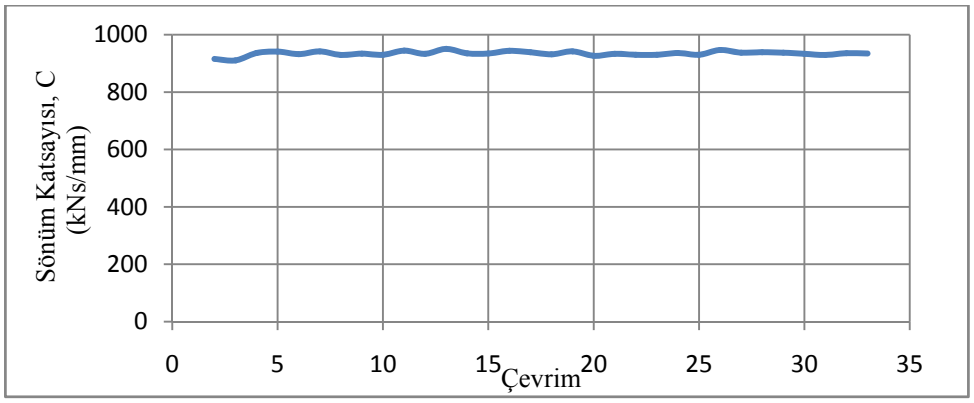


Şekil 3.39 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.0222Hz)

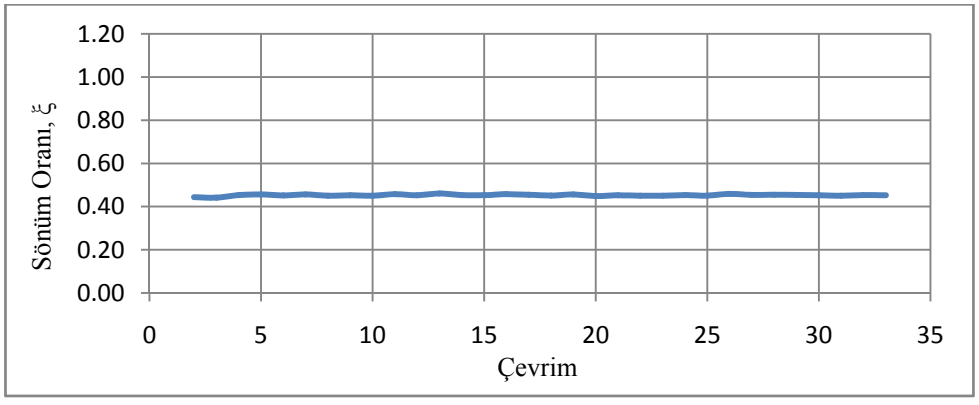
0.025Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ise ortalama tüketilen enerji (W_d) 740.7kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 114.6kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 745kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 56.5kN/mm, en küçük değer 55.8kN/mm iken en büyük değer 56.8kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için bütü bu değerler sıfıra çok yakındır. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 18kNs/mm, en küçük değer 17.8kNs/mm ve en büyük değer 18.1kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %50.9, en küçük değer %50.3 ve en büyük değer %51.2 olarak bulunmuştur.



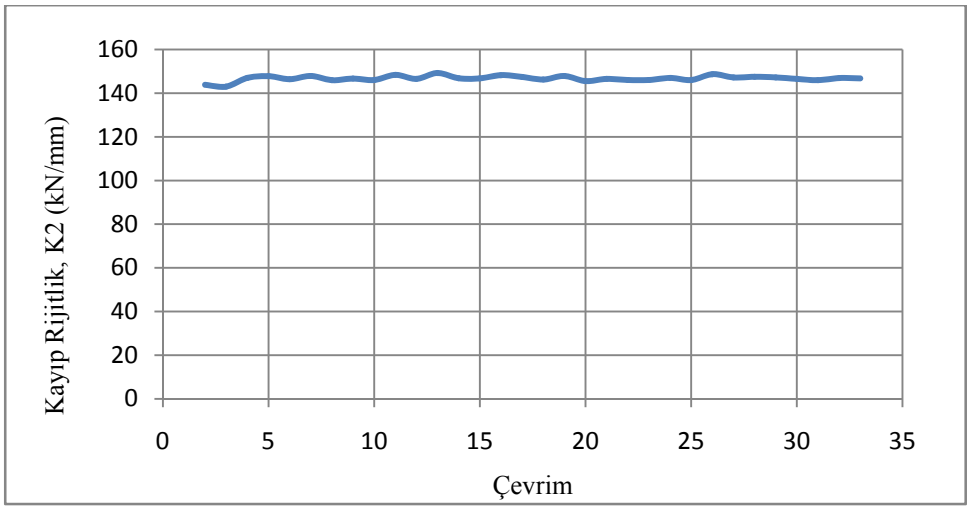
Şekil 3.40 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.025Hz)



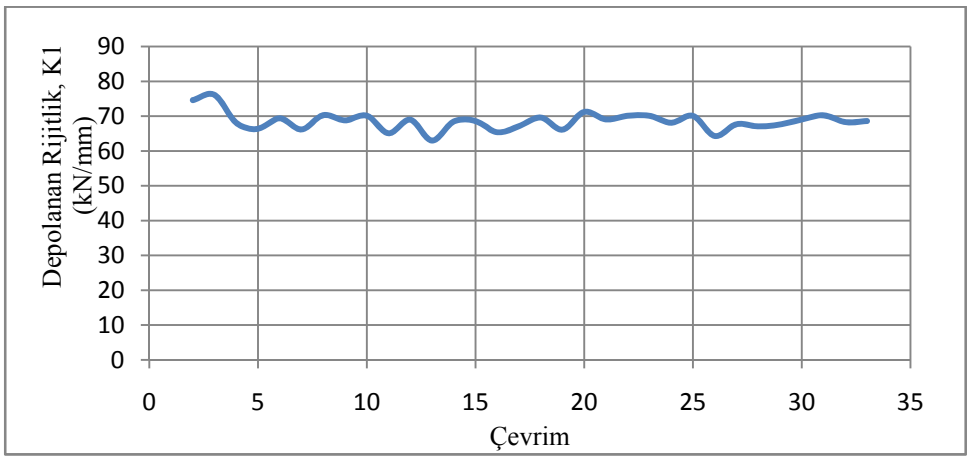
Şekil 3.41 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.025Hz)



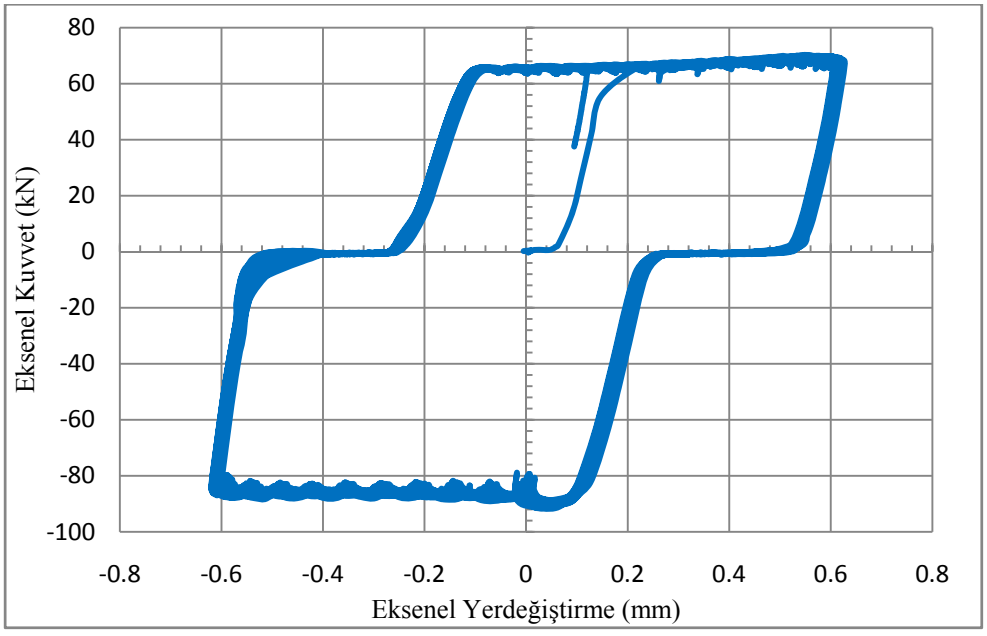
Şekil 3.42 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.025Hz)



Şekil 3.43 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.025Hz)

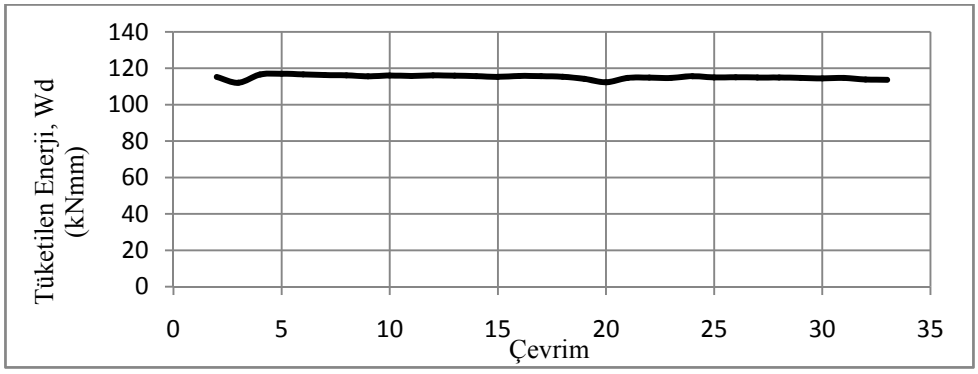


Şekil 3.44 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.025Hz)

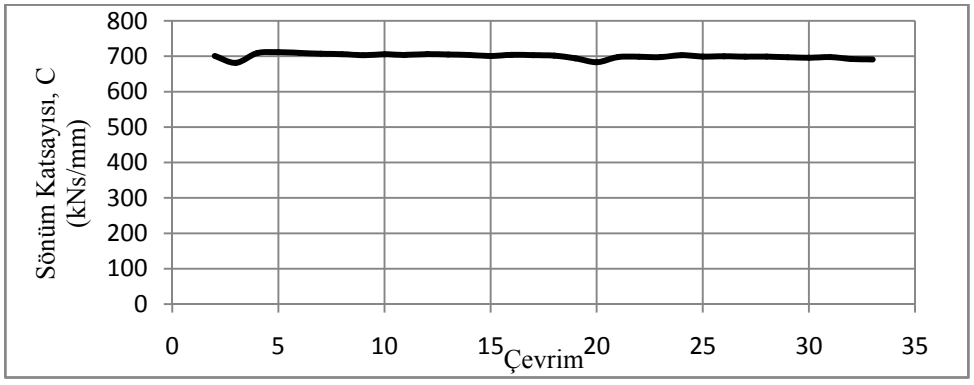


Şekil 3.45 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.025Hz)

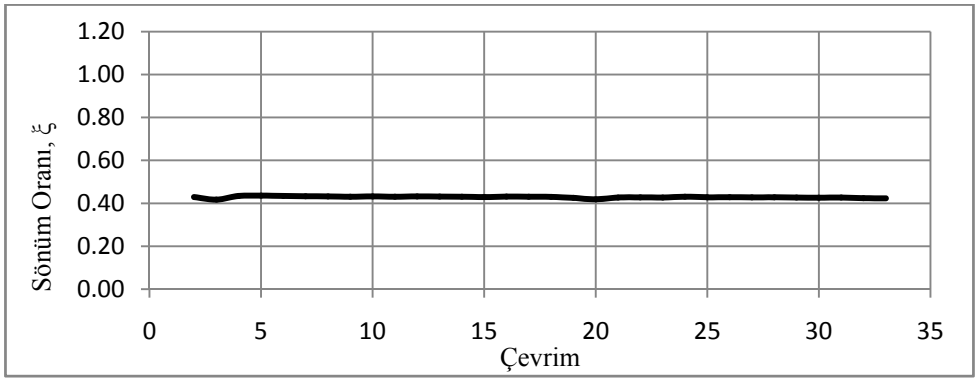
0.0333Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ise ortalama tüketilen enerji (W_d) 114.5kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 112kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 117kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 145.8kN/mm, en küçük değer 142.6kN/mm iken en büyük değer 149kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 88.1kN/mm, en küçük değer 83.8 kN/mm iken en büyük değer 94 kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 696.3kNs/mm, en küçük değer 681kNs/mm ve en büyük değer 711.3kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %43, en küçük değer %42 ve en büyük değer %44 olarak bulunmuştur.



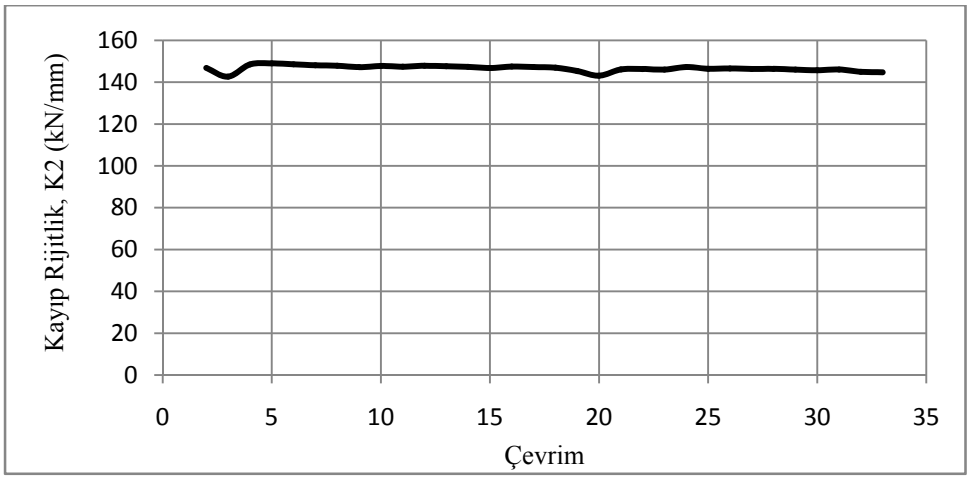
Şekil 3.46 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0333Hz)



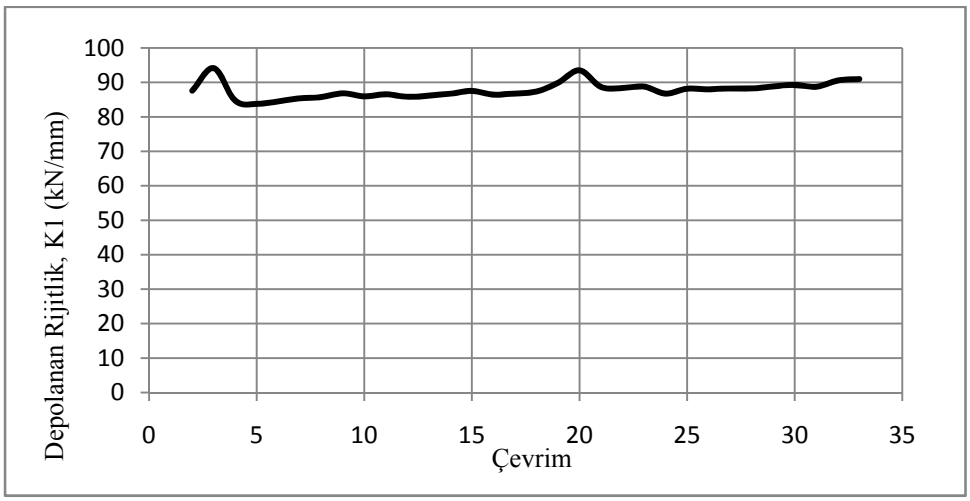
Şekil 3.47 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0333Hz)



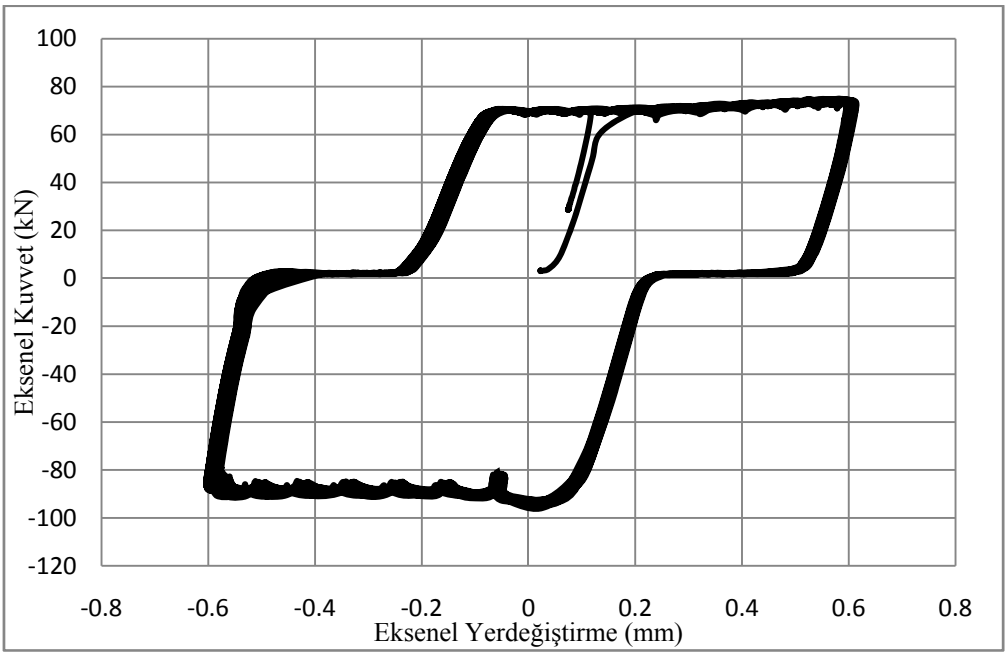
Şekil 3.48 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0333Hz)



Şekil 3.49 Kaybedilen rijitliğin çevrimle değişimi (0.0333Hz)

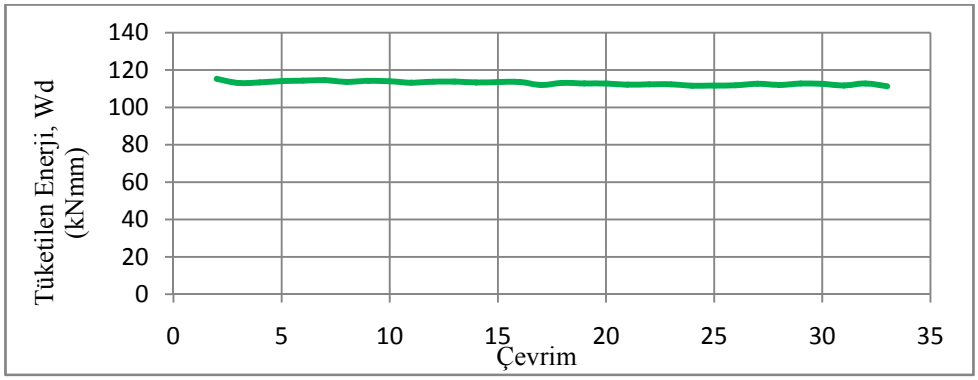


Şekil 3.50 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0333Hz)

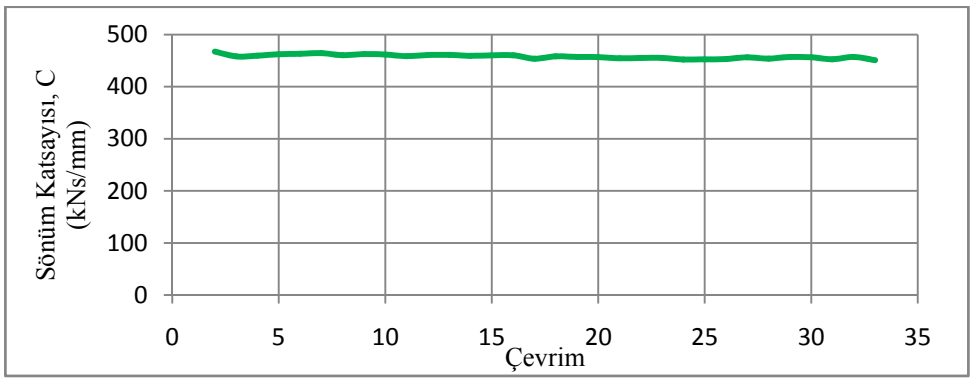


Şekil 3.51 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.0333Hz)

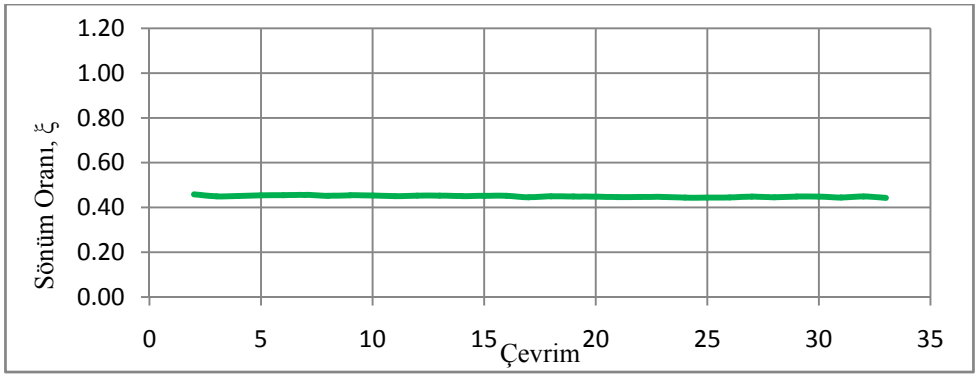
0.05Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ise ortalama tüketilen enerji (W_d) 113kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 111.3kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 115.3kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 143kN/mm, en küçük değer 141.8kN/mm iken en büyük değer 146.8kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 70kN/mm, en küçük değer 63.7kN/mm iken en büyük değer 74.2kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 455.4kNs/mm, en küçük değer 451.1kNs/mm ve en büyük değer 467.2kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %44, en küçük değer %43 ve en büyük değer %45olarak bulunmuştur.



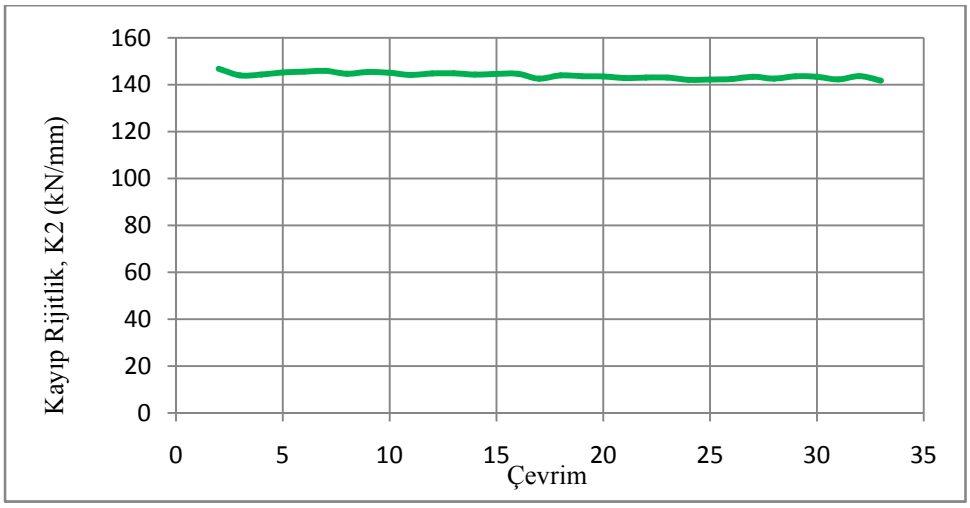
Şekil 3.52 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.05Hz)



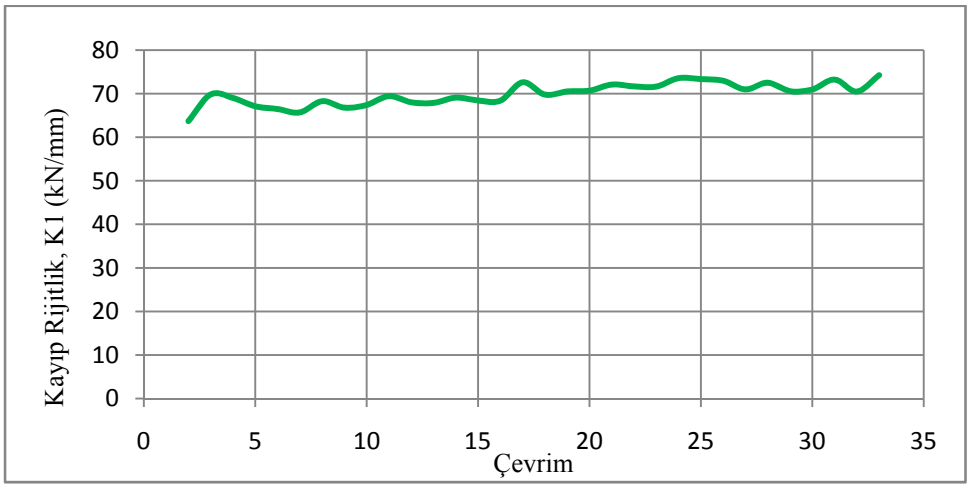
Şekil 3.53 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.05Hz)



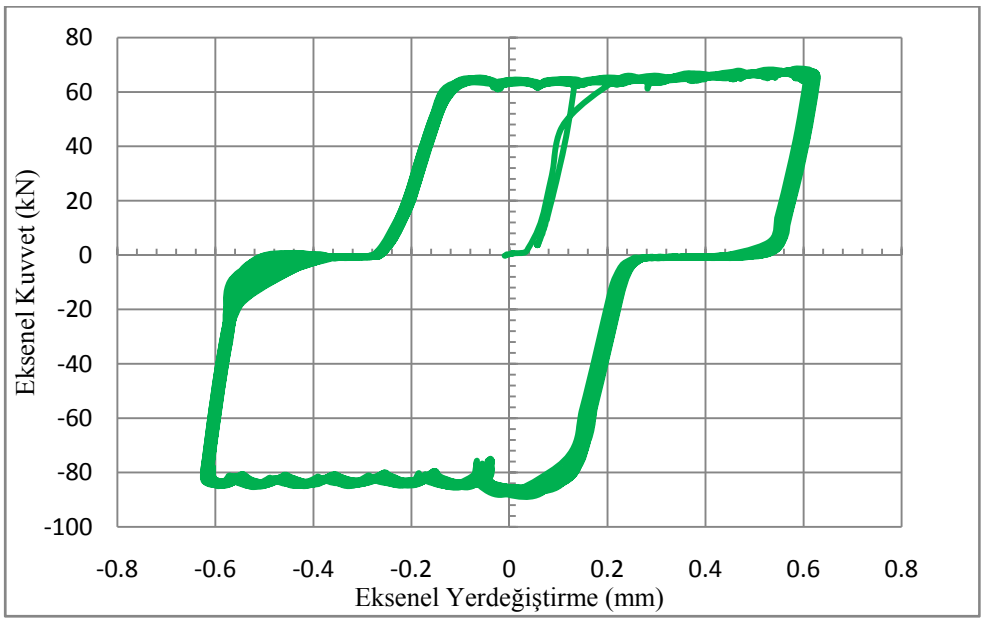
Şekil 3.54 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.05Hz)



Şekil 3.55 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.05Hz)

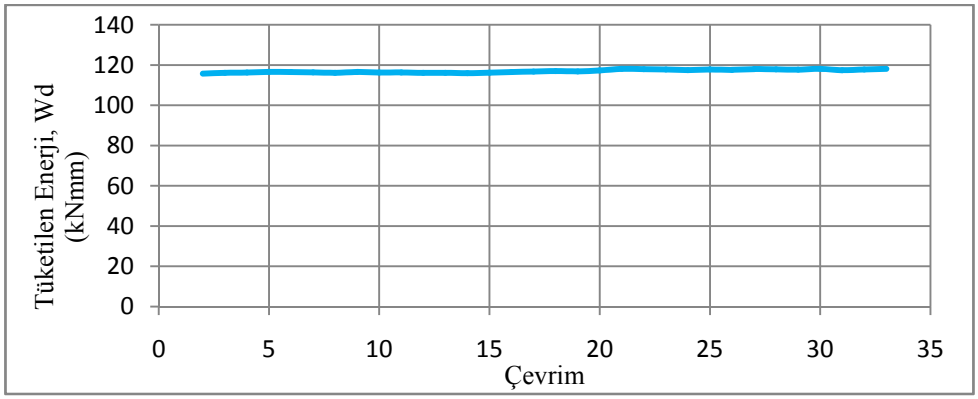


Şekil 3.56 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.05Hz)

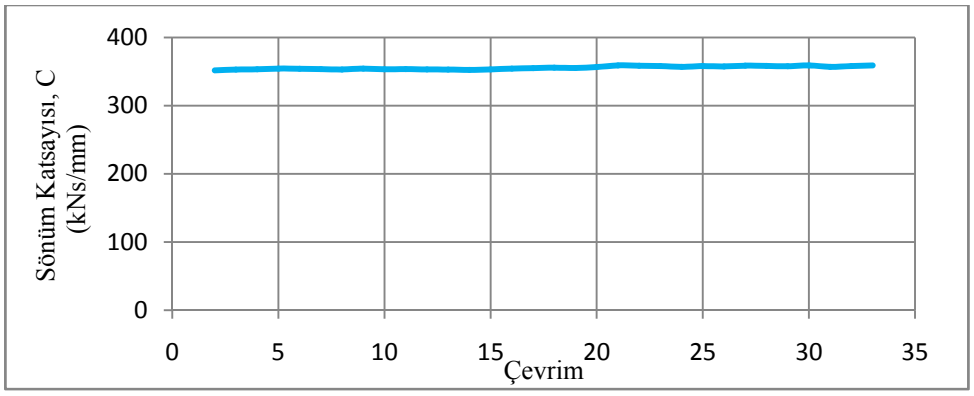


Şekil 3.57 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.05Hz)

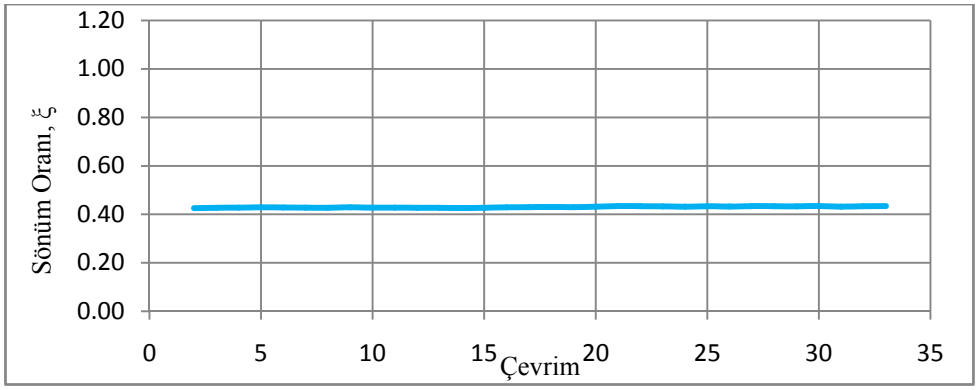
0.0677Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ise ortalama tüketilen enerji (W_d) 117kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 116kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 118kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 148kN/mm, en küçük değer 147kN/mm iken en büyük değer 150kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 88.4kN/mm, en küçük değer 85.9kN/mm iken en büyük değer 91.1 kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 355.6kNs/mm, en küçük değer 352kNs/mm ve en büyük değer 359kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama, en küçük ve en büyük değer eşit ve %43'tür.



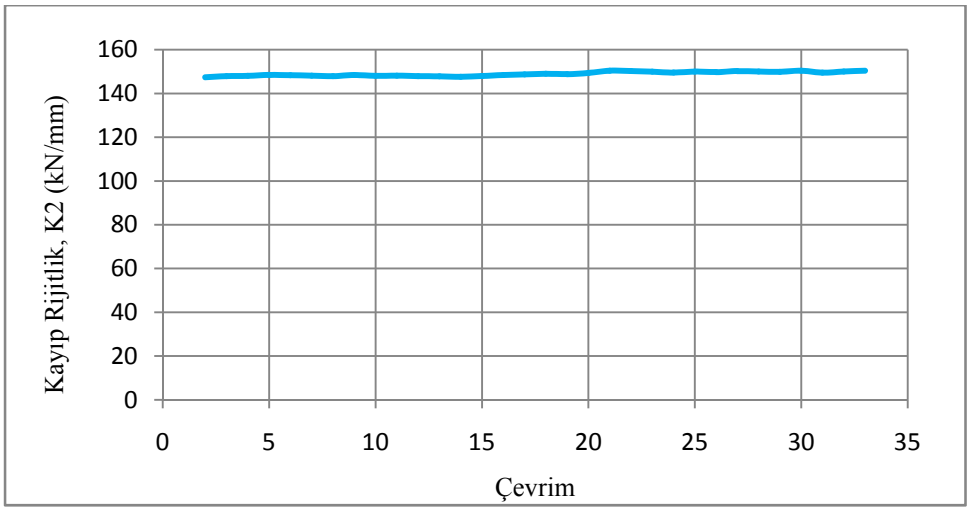
Şekil 3.58 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0667Hz)



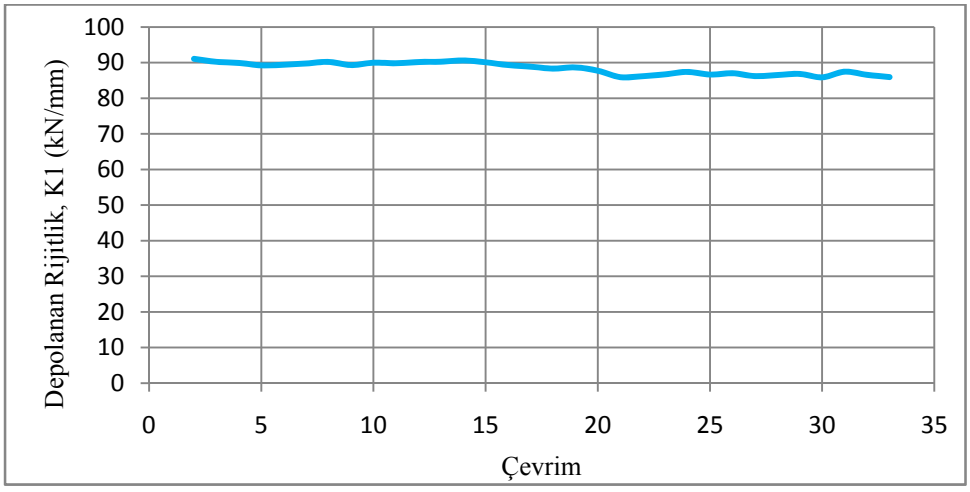
Şekil 3.59 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0667Hz)



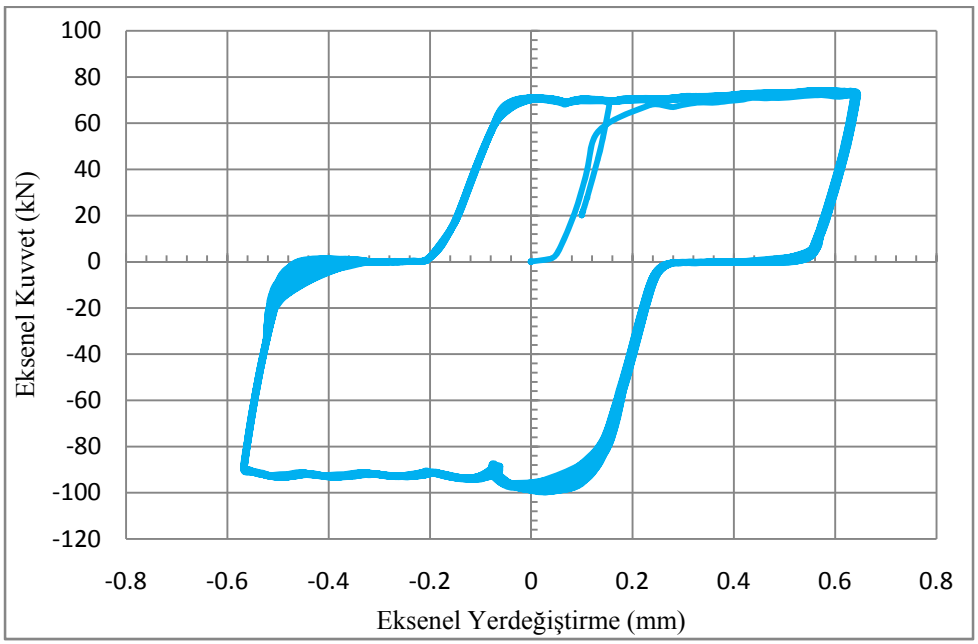
Şekil 3.60 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0667Hz)



Şekil 3.61 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0667Hz)

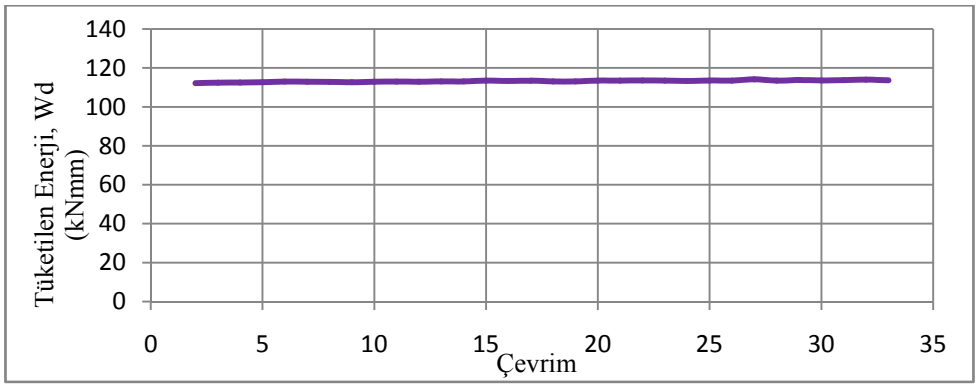


Şekil 3.62 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0667Hz)

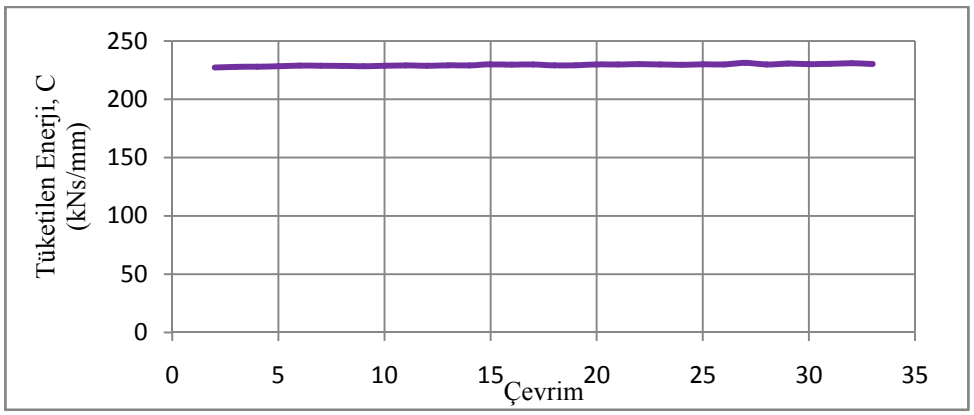


Şekil 3.63 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.0667Hz)

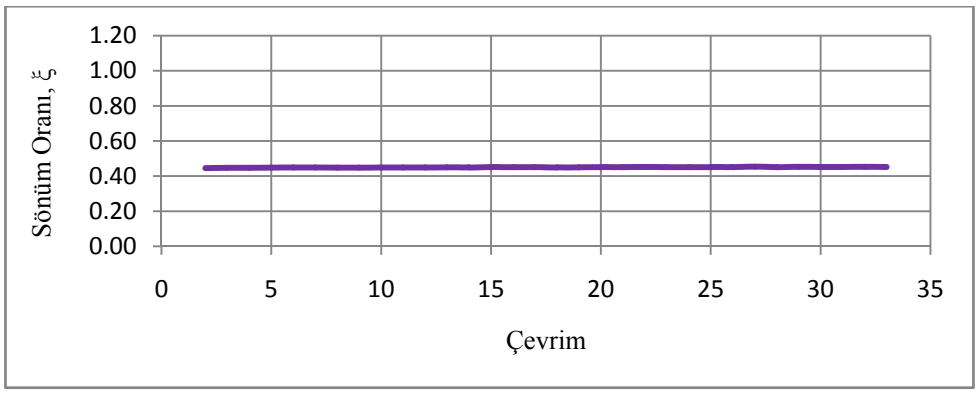
0.1Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ise ortalama tüketilen enerji (W_d) 113.2kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 112.1kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 114.1kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 143.1kN/mm, en küçük değer 142.7kN/mm iken en büyük değer 145.3kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 69.5kN/mm, en küçük değer 67kN/mm iken en büyük değer 72.3 kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 229.4kNs/mm, en küçük değer 227.2kNs/mm ve en büyük değer 231.2kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama, en küçük ve en büyük değerler %44'tür.



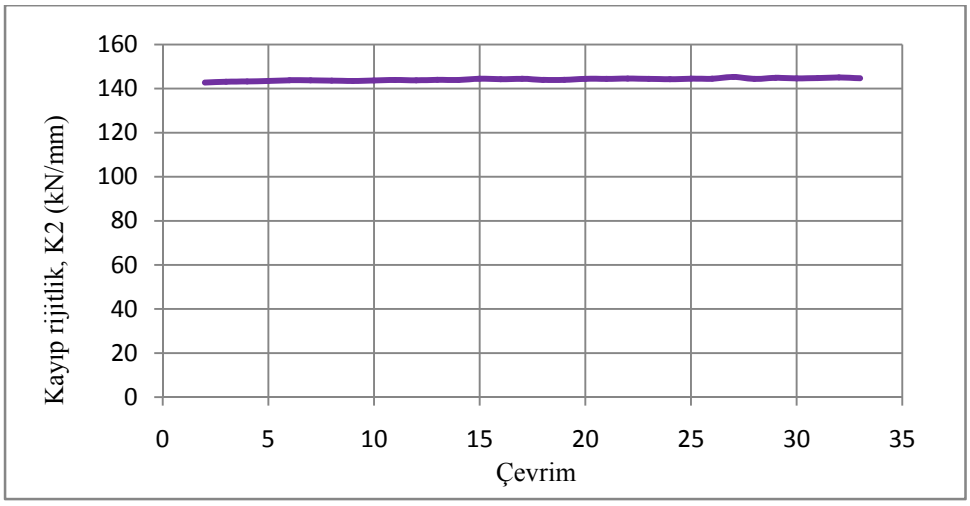
Şekil 3.64 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.1Hz)



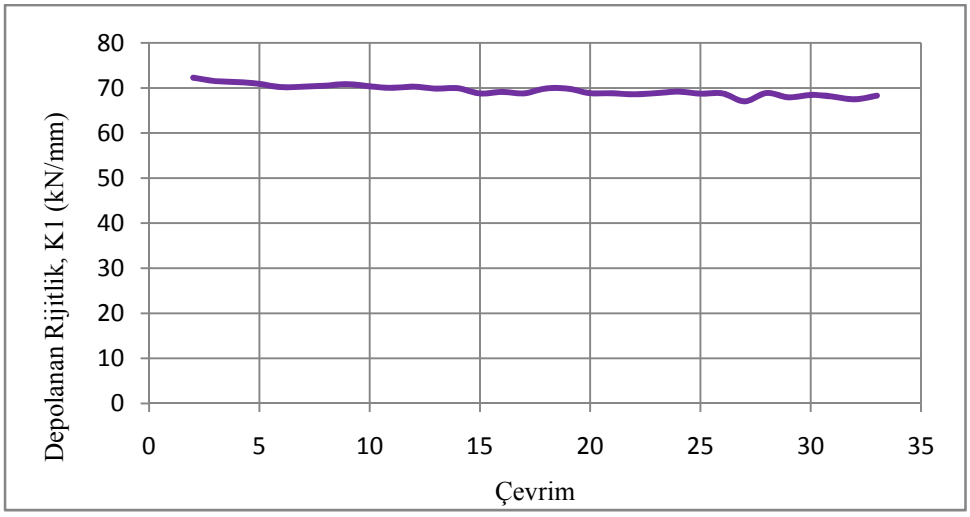
Şekil 3.65 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.1Hz)



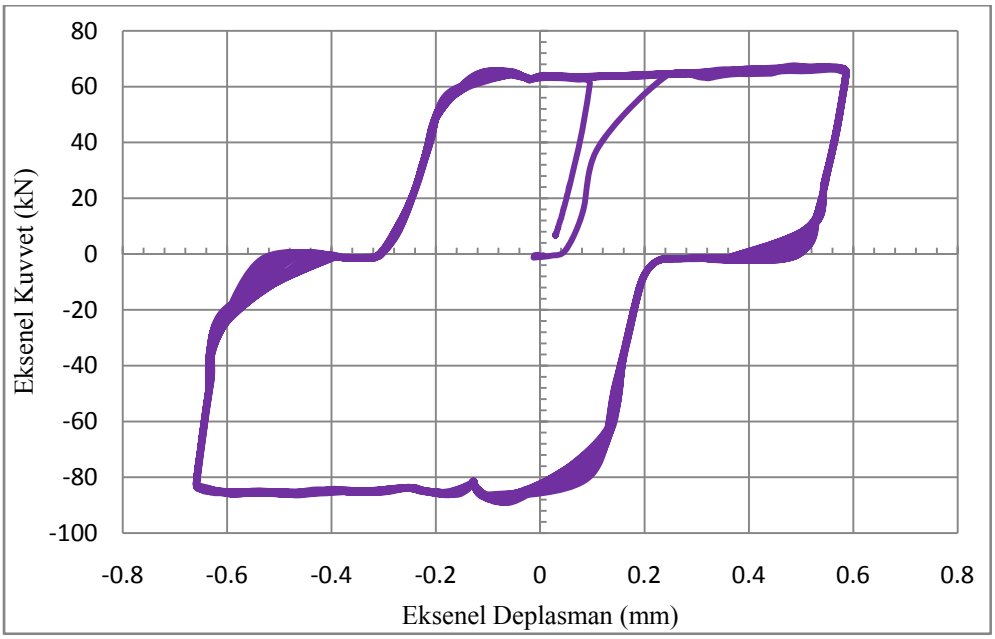
Şekil 3.66 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.1Hz)



Şekil 3.67 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.1Hz)

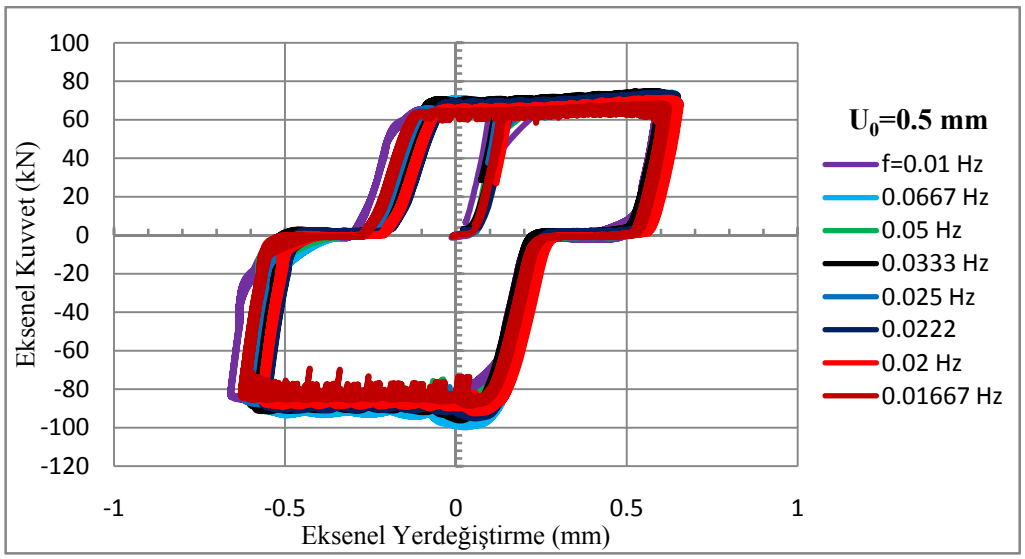


Şekil 3.68 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.1Hz)

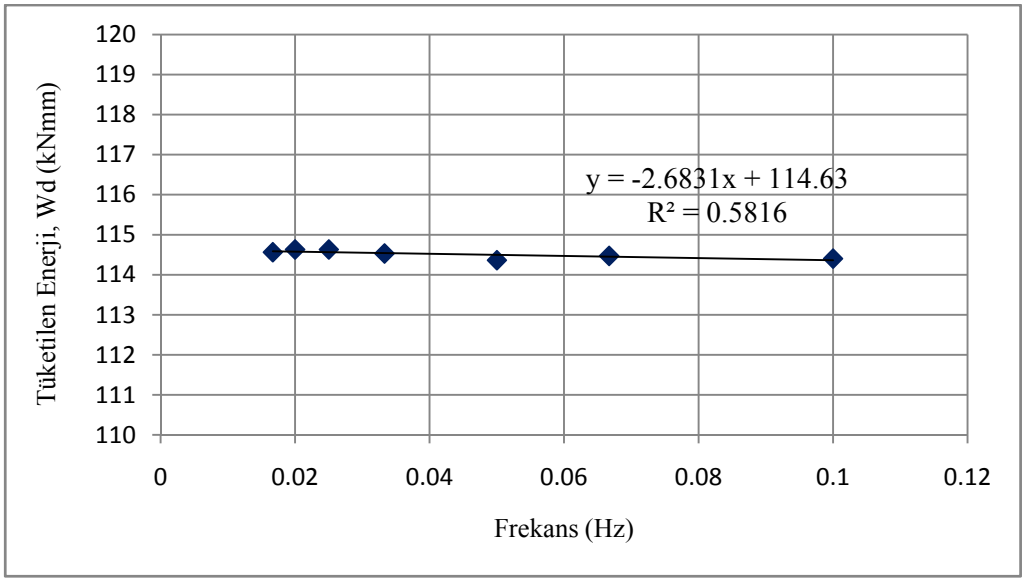


Şekil 3.69 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.1Hz)

Yukarıda farklı frekans değerleri için verilen ve sönümleyicinin fiziksel özelliklerinin otuz üç çevrim boyunca değişimini de gösteren grafiklerden, devam eden çevrimlerde sönümleyicinin fiziksel özelliklerinde,küçük farklılıklar olsa da, değişiklik görülmemiştir. Bu yüzden üretilmiş olan sönümleyicinin çevrim sayısından bağımsız olduğu söylenebilir. Tüketilen enerji miktarının artan frekans değerleriyle değişimi ise Şekil 3.70'de her bir frekans için çizdirilen eksenel kuvvet eksenel yerdeğiştirme ilişkilerinin üst üste eklenmesiyle oluşturulan grafikten ve Şekil 3.71'de her bir frekans değerinde ortalama tüketilen enerji miktarları kullanılarak çizdirilen grafiklerden görülebileceği gibi neredeyse sabittir.

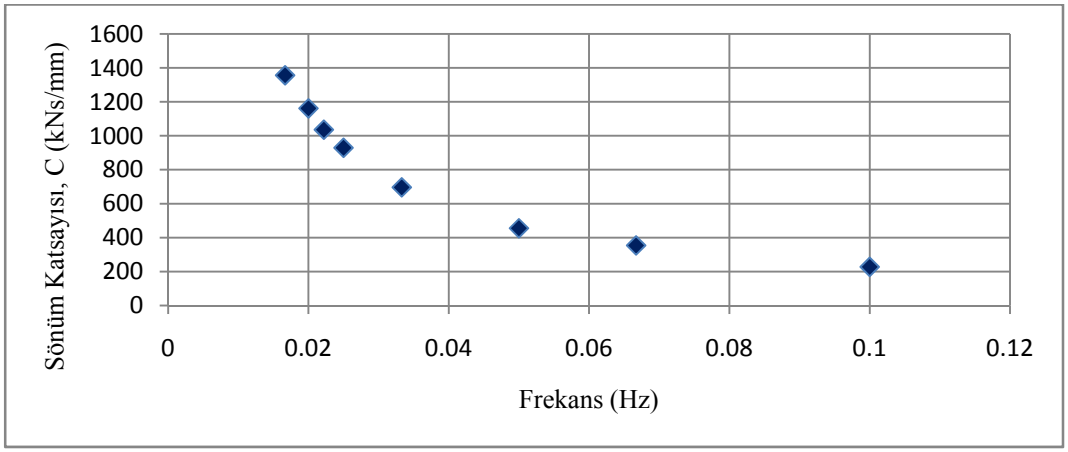


Şekil 3.70 Her bir frekans değeri için eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (u_0=0.5mm)



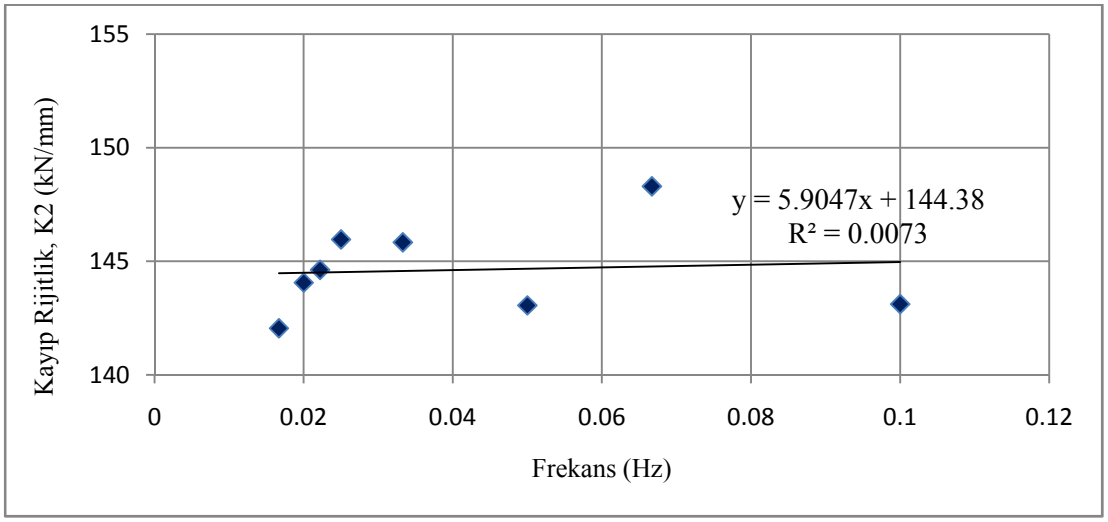
Şekil 3.71 Her bir frekans değerinde ortalama tüketilen enerji miktarları

Şekil 3.72'de ise sönüm katsayısının artan frekans değerleriyle değişimi gösterilmiştir. Bölüm 3.1'de anlatılan matematik yöntemde sönüm katsayısının kayıp rijitliğin açısal frekansa bölümüyle elde edildiği gösterilmişti. Artan frekans değerleriyle bu formülde paydadaki değerin büyümesi ve Şekil 3.73'de gösterildiği gibi kayıp rijitliğin sabit kalması nedeniyle sönüm katsayısında artan frekans değeriyle görülen azalma beklendiği gibi elde edilmiştir.



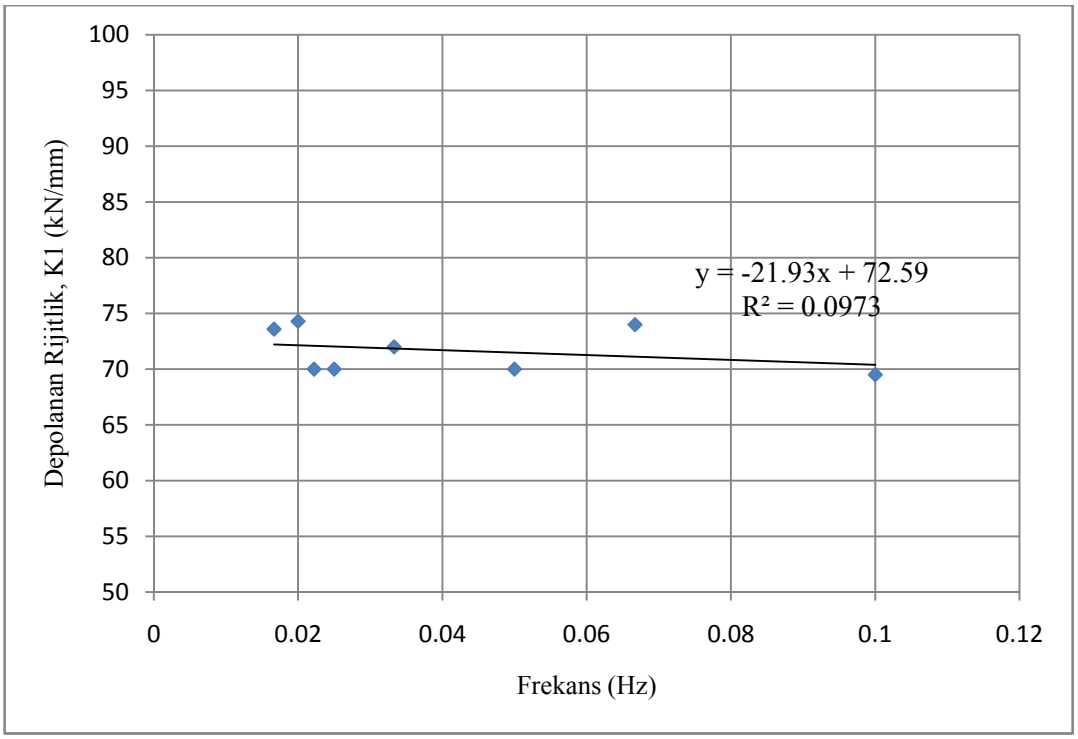
Şekil 3.72 Her bir frekans değerinde ortalama sönüm katsayısı

Şekil 3.73'de görüldüğü gibi kayıp rijitlik en küçüğü 142 ve en büyüğü 148 olan değerler arasında değişen değerler almıştır ve ortalama olarak 144.4 kabul edilebilir.



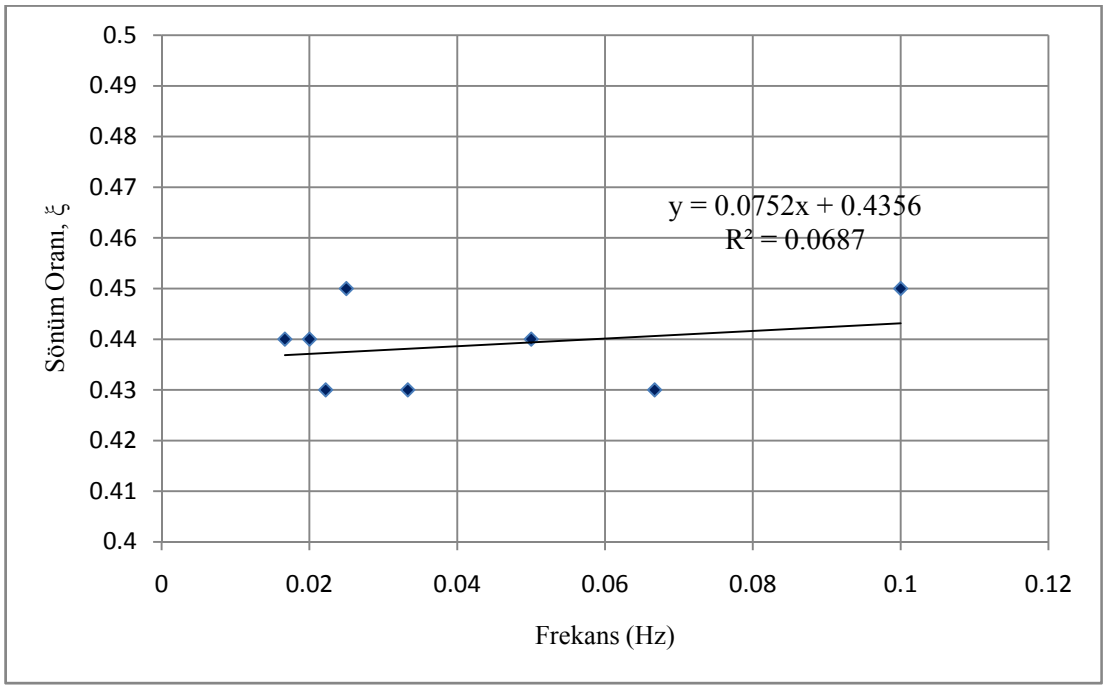
Şekil 3.73 Her bir frekans değerinde ortalama kaybedilen rijitlik

Şekil 3.74'te ise depolanan rijitlik değerinin çevrimle değişimi gösterilmiştir. Depolanan rijitlikte farklı frekans değerlerinde ufak farklılıklar gösterse de neredeyse sabit olduğu ve 0.5mm deplasman genliği için 72.6kN/mm'ye eşit olduğu söylenebilir.



Şekil 3.74 Her bir frekans değerinde ortalama depolanan rijitlik

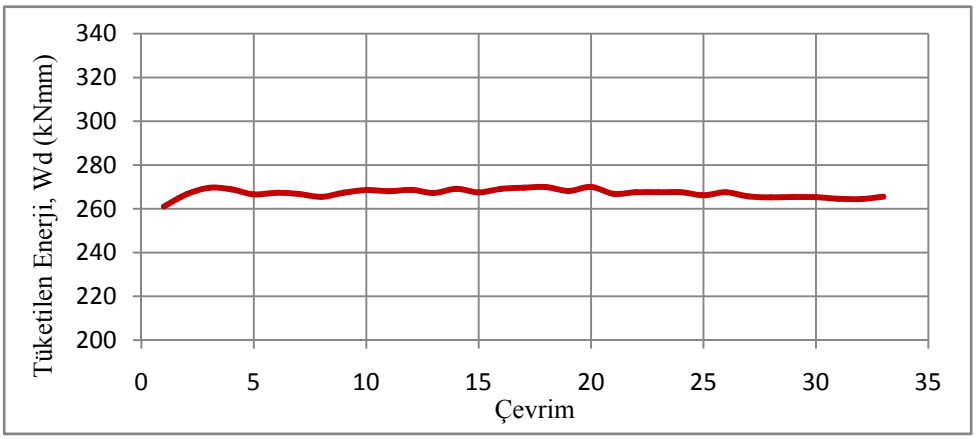
Şekil 3.75'te ise eşdeğer sönüm oranının artan frekans değerleriyle değişimi gösterilmiştir. Bu grafiktende görülebileceği gibi sönüm oranının frekans büyüklüğünden bağımsız olduğu söylenebilir.



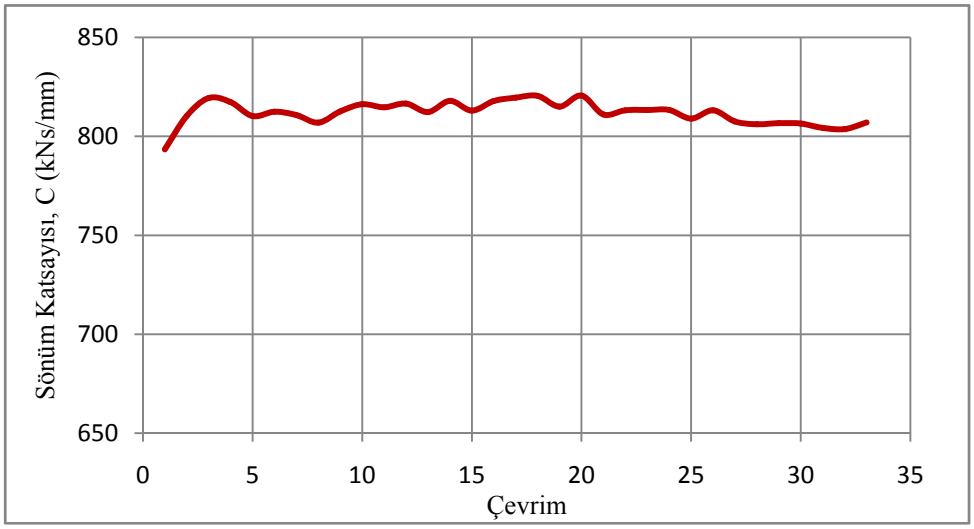
Şekil 3.75 Her bir frekans değerinde ortalama eşdeğer sönüm oranı

0.5mm deplasman genliğinde bütün frekans değerleri için deneyler tamamlandıktan sonra, yine aynı frekans değerlerinde 1.0mm deplasman genliğinde deneyler yapılmıştır. Deneyler yine ilk olarak en yavaş frekans olan 0.0167Hz değerinden başlanarak en hızlı frekans değerine doğru gerçekleştirilmiştir.

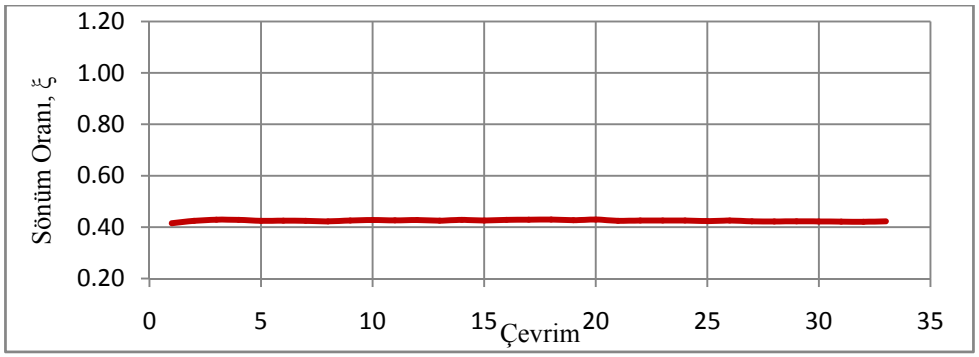
0.0167Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ortalama tüketilen enerji (W_d) 267.1kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 261kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 270kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 85kN/mm, en küçük değer 83.1kN/mm iken en büyük değer 86kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 52.6kN/mm, en küçük değer 51.4kN/mm iken en büyük değer 55.6kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 812kNs/mm, en küçük değer 800kNs/mm ve en büyük değer 820.6kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %43, en küçük değer %42 ve en büyük değerler %43'tür.



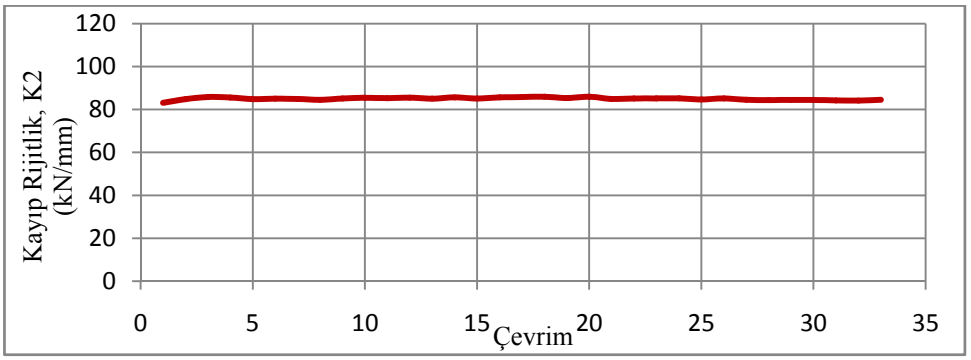
Şekil 3.76 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0167Hz)



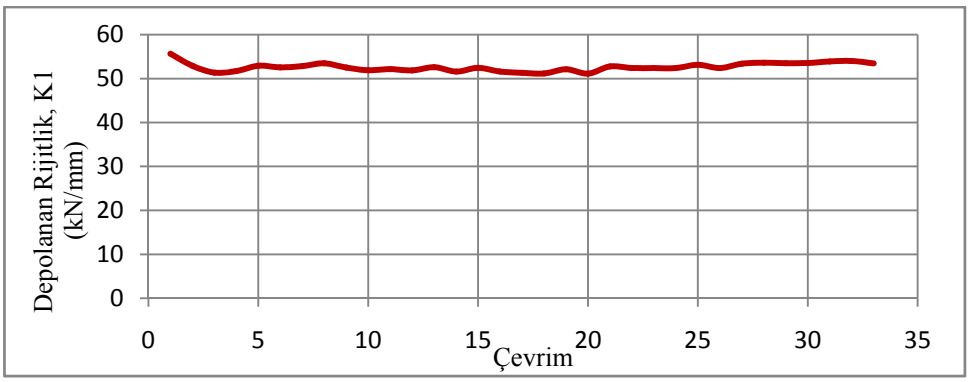
Şekil 3.77 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0167Hz)



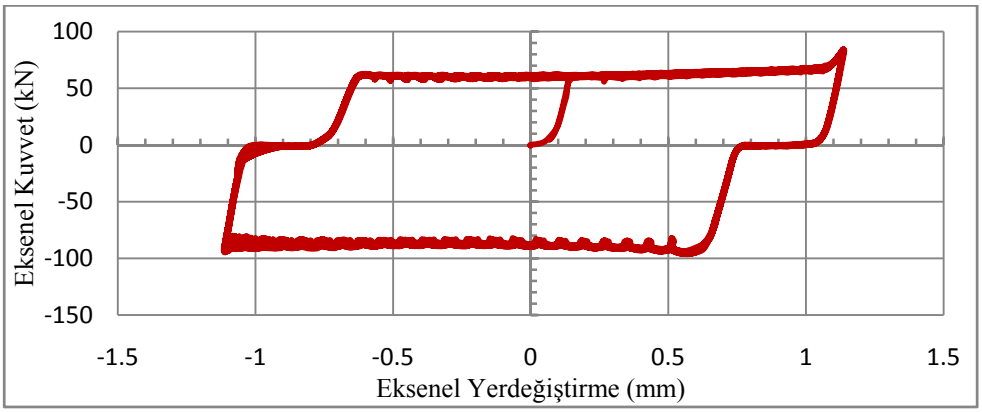
Şekil 3.78 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0167Hz)



Şekil 3.79 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0167Hz)

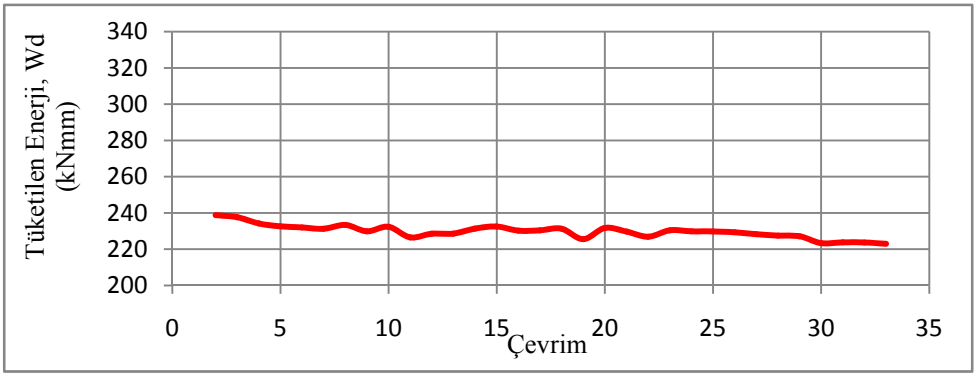


Şekil 3.80 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0167Hz)

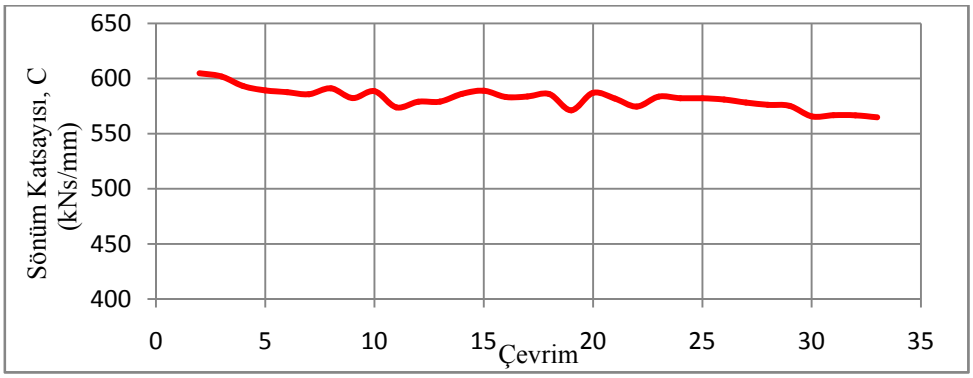


Şekil 3.81 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişksi (0.0167Hz)

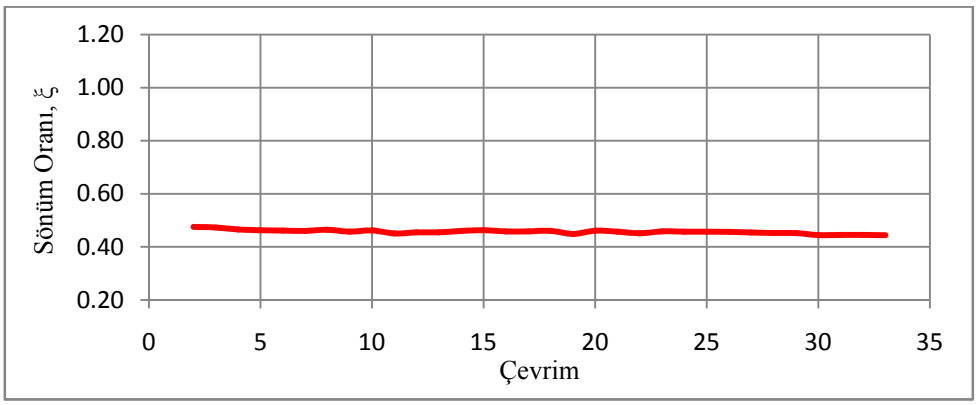
0.02Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ortalama tüketilen enerji (W_d) 270.2kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 259kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 272kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 86.1kN/mm, en küçük değer 83.8kN/mm iken en büyük değer 88kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 52.3kN/mm, en küçük değer 45kN/mm iken en büyük değer 56.9kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 679.6kNs/mm, en küçük değer 642kNs/mm ve en büyük değer 701kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %44, en küçük değer %43 ve en büyük değerler %44'tür.



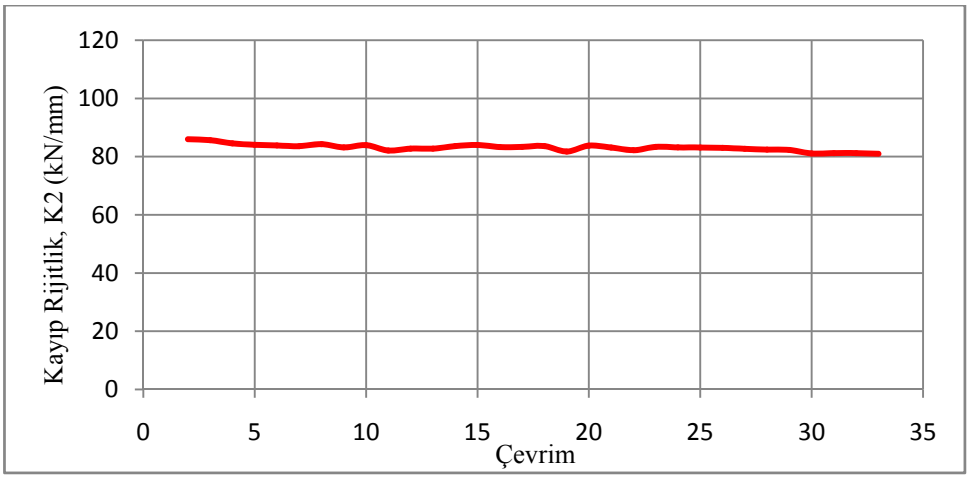
Şekil 3.82 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.02Hz)



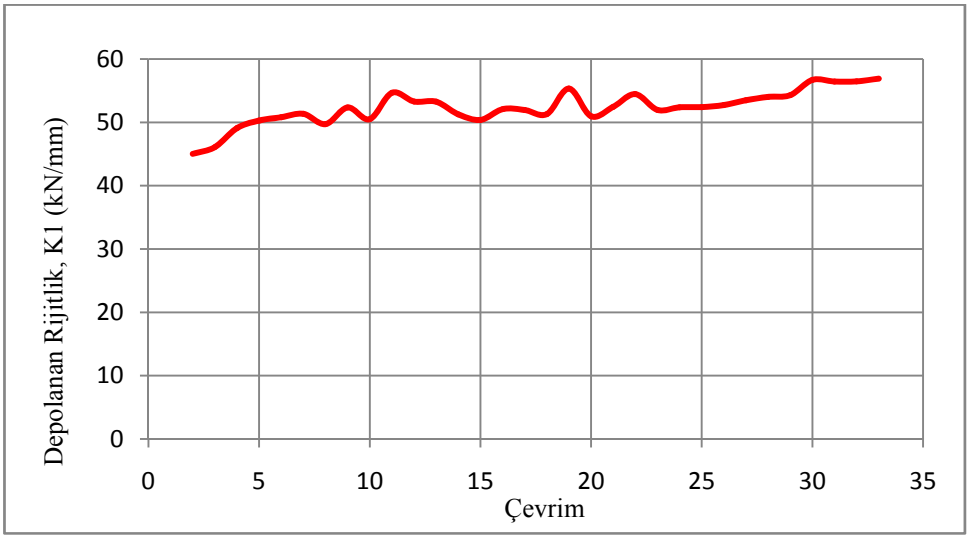
Şekil 3.83 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.02Hz)



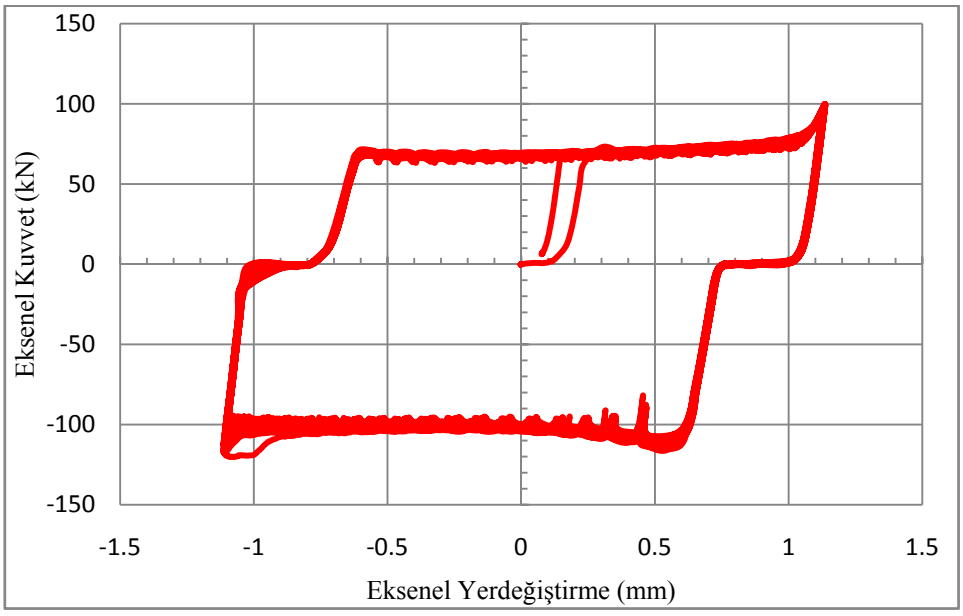
Şekil 3.84 Sönüm oranı çevrimle değişimi (0.02Hz)



Şekil 3.85 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.02Hz)

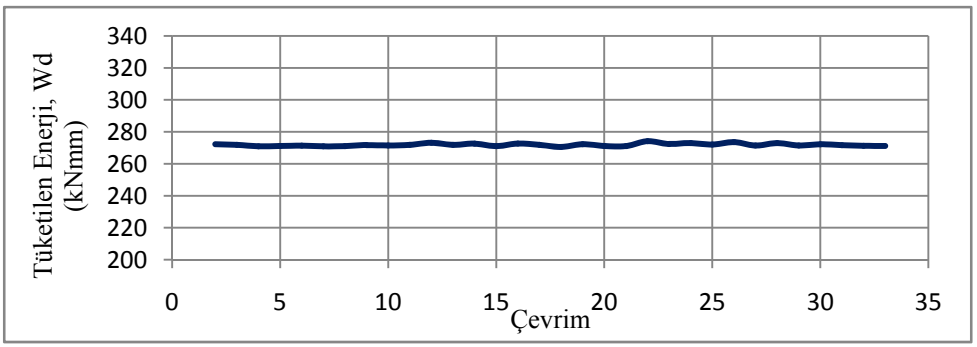


Şekil 3.86 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.02Hz)

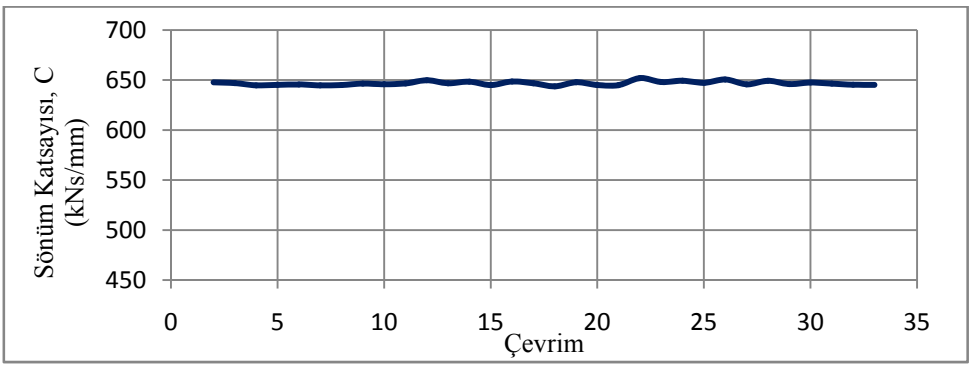


Şekil 3.87 Eksenel kuvvet - eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.02Hz)

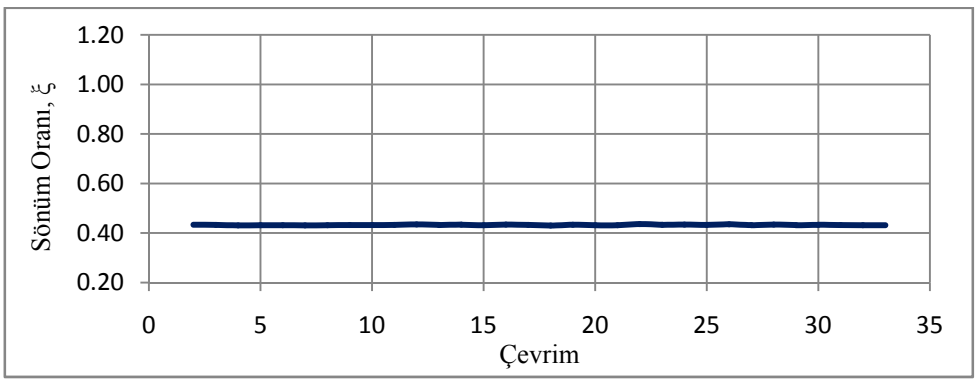
0.0222Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ortalama tüketilen enerji (W_d) 271.8kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 268.1kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 274.1kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 84.5kN/mm, en küçük değer 84.1kN/mm iken en büyük değer 85.3kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 52.7kN/mm, en küçük değer 50.6kN/mm iken en büyük değer 54kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 644.8kNs/mm, en küçük değer 631.2kNs/mm ve en büyük değer 651.9kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %43, en küçük değer %43 ve en büyük değerler %44'tür.



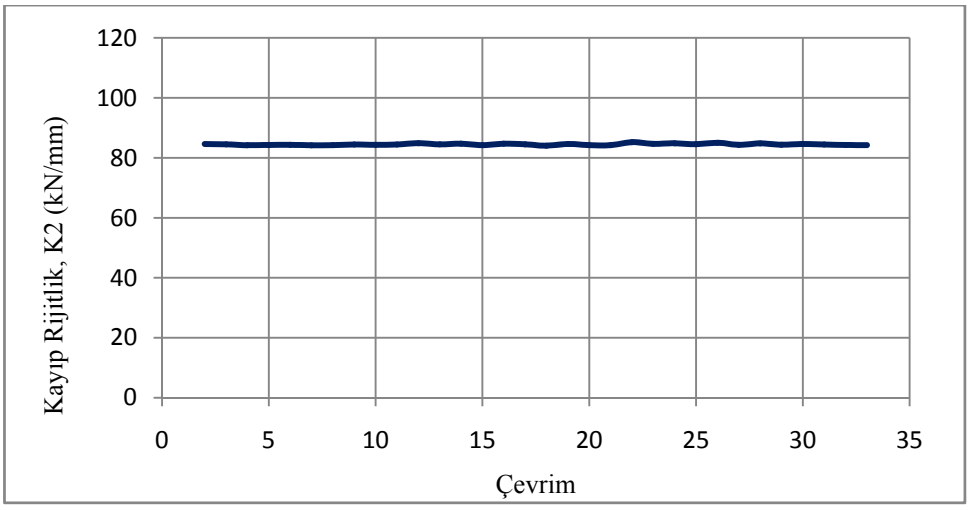
Şekil 3.88 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0222Hz)



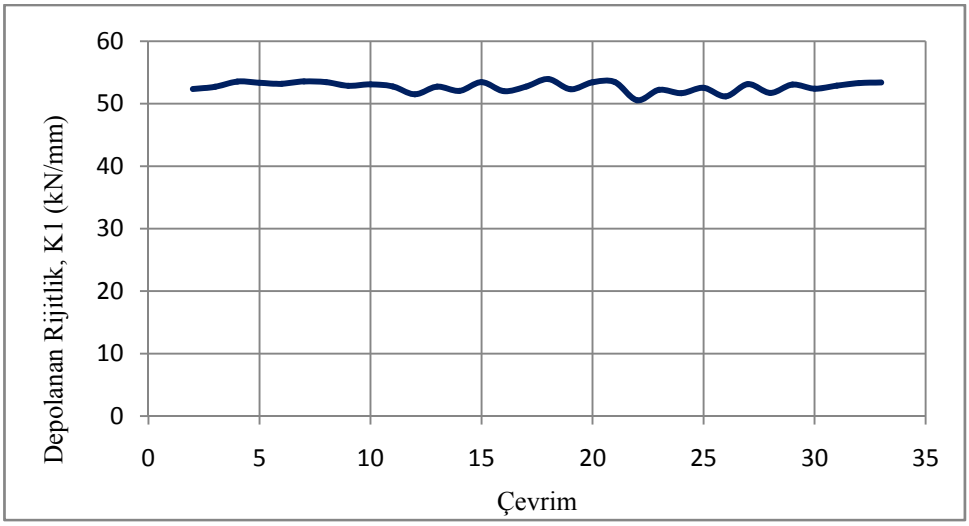
Şekil 3.89 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0222Hz)



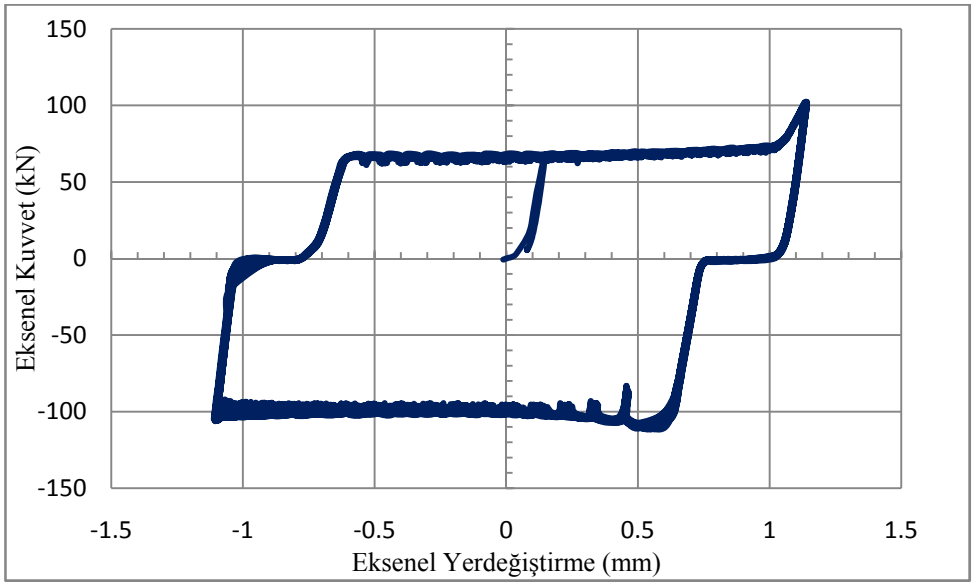
Şekil 3.90 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0222Hz)



Şekil 3.91 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0222Hz)

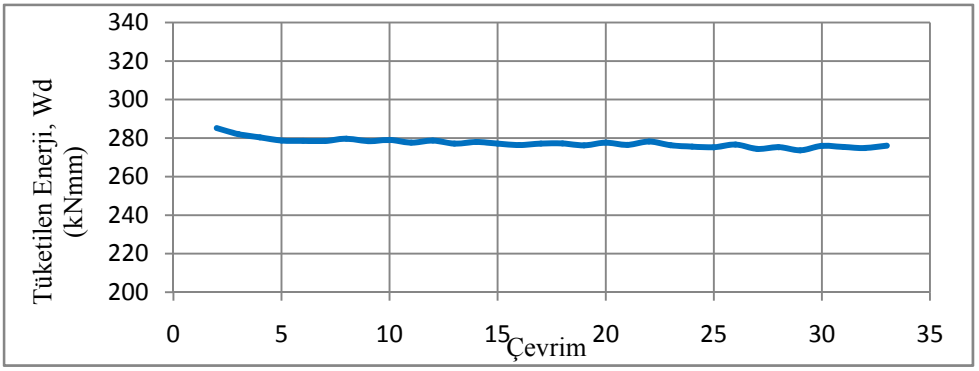


Şekil 3.92 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0222Hz)

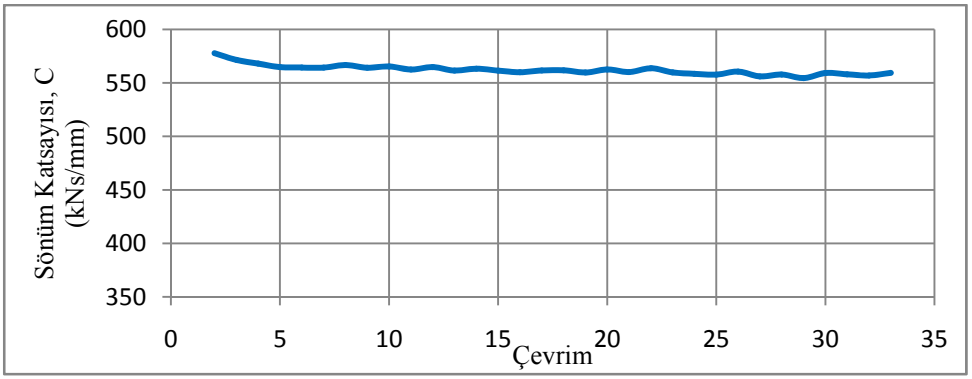


Şekil 3.93 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.0222Hz)

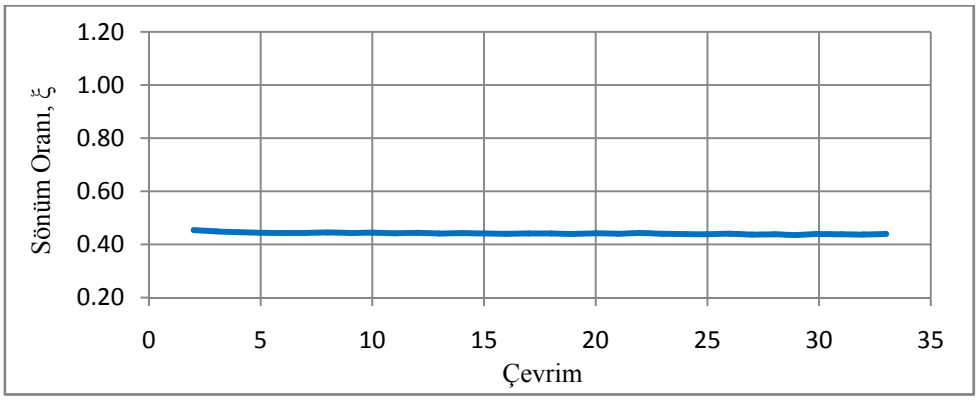
0.025Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ortalama tüketilen enerji (W_d) 275.9kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 273.7kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 278.7kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 87.8kN/mm, en küçük değer 87.1kN/mm iken en büyük değer 90.8kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 47.6kN/mm, en küçük değer 42kN/mm iken en büyük değer 49.1kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 559.1kNs/mm, en küçük değer 554.6kNs/mm ve en büyük değer 577.9kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %44, en küçük değer %44 ve en büyük değerler %45'tir.



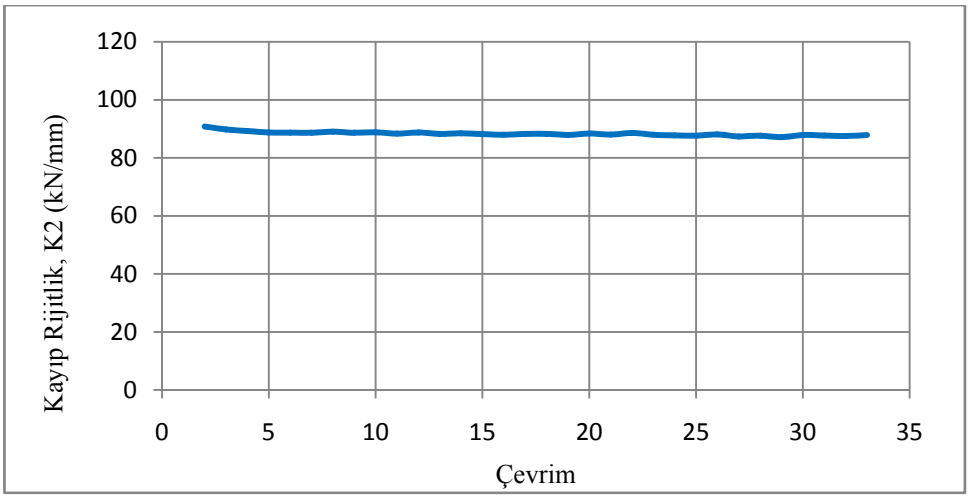
Şekil 3.94 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.025Hz)



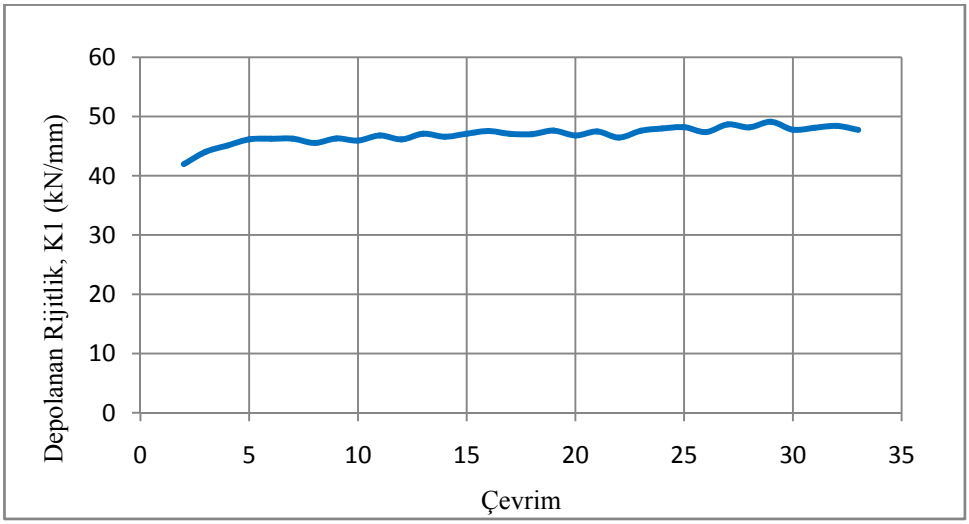
Şekil 3.95 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.025Hz)



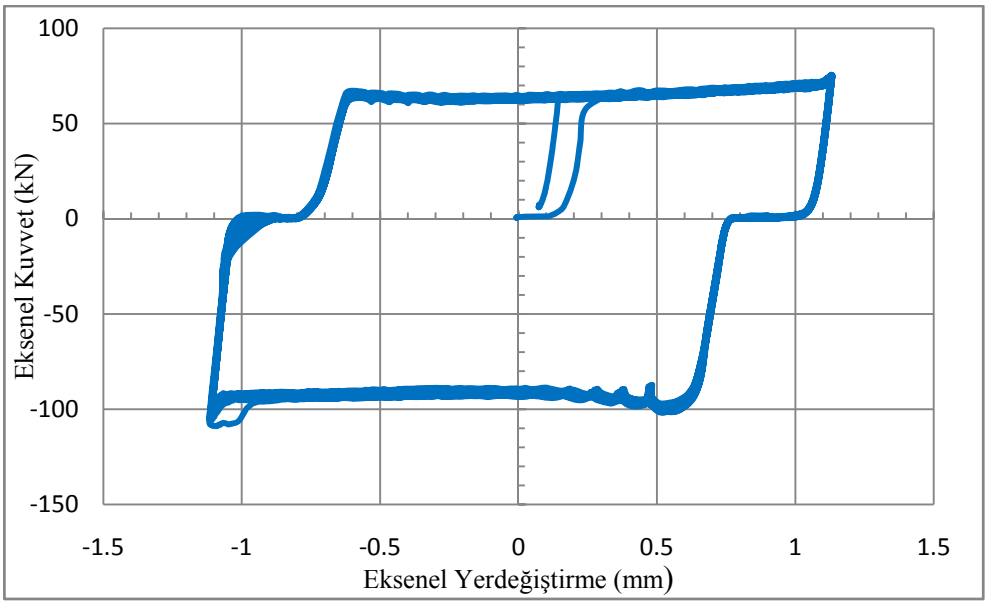
Şekil 3.96 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.025Hz)



Şekil 3.97 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.025Hz)

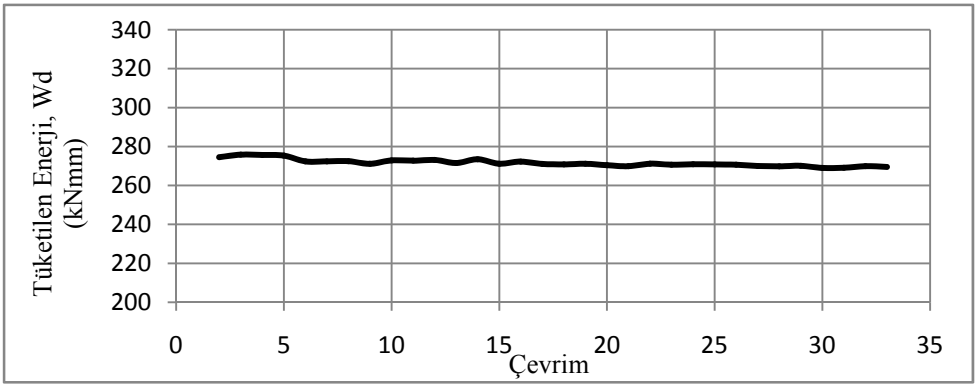


Şekil 3.98 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.025Hz)

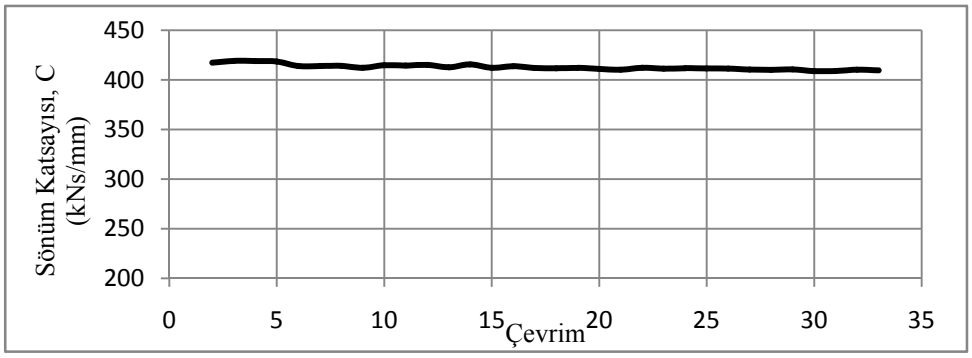


Şekil 3.99 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.025Hz)

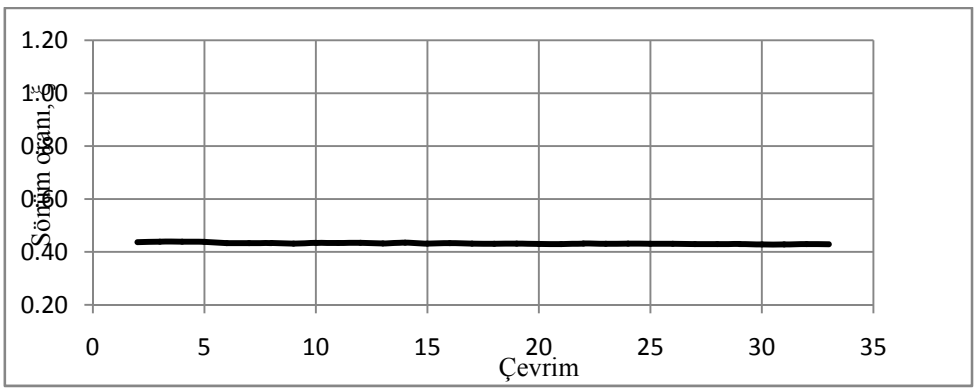
0.033Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ortalama tüketilen enerji (W_d) 271.3kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 269kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 275.8kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 86.4kN/mm, en küçük değer 85.6kN/mm iken en büyük değer 87.8kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 50.4kN/mm, en küçük değer 47.9kN/mm iken en büyük değer 51.7kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 412.3kNs/mm, en küçük değer 408.8kNs/mm ve en büyük değer 419.2kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %43, en küçük değer %43 ve en büyük değerler %44'tür.



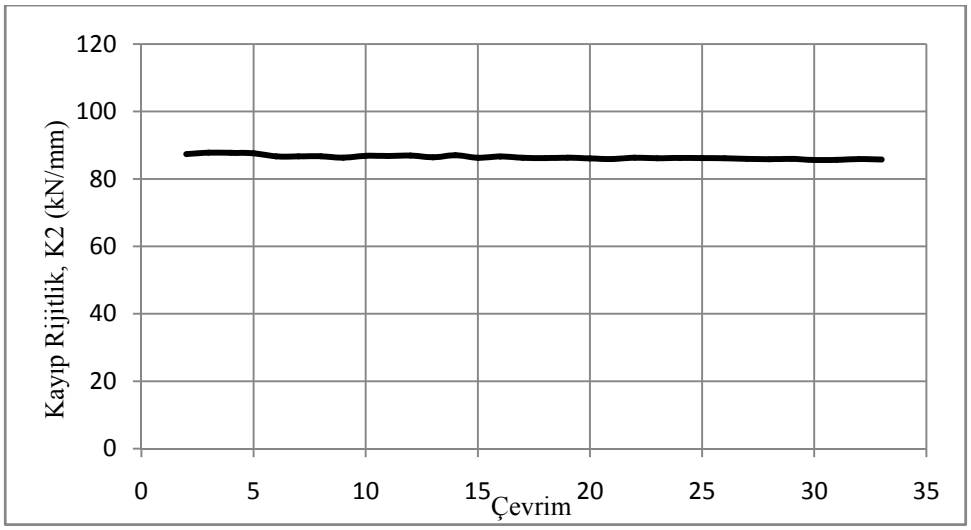
Şekil 3.100 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.0333Hz)



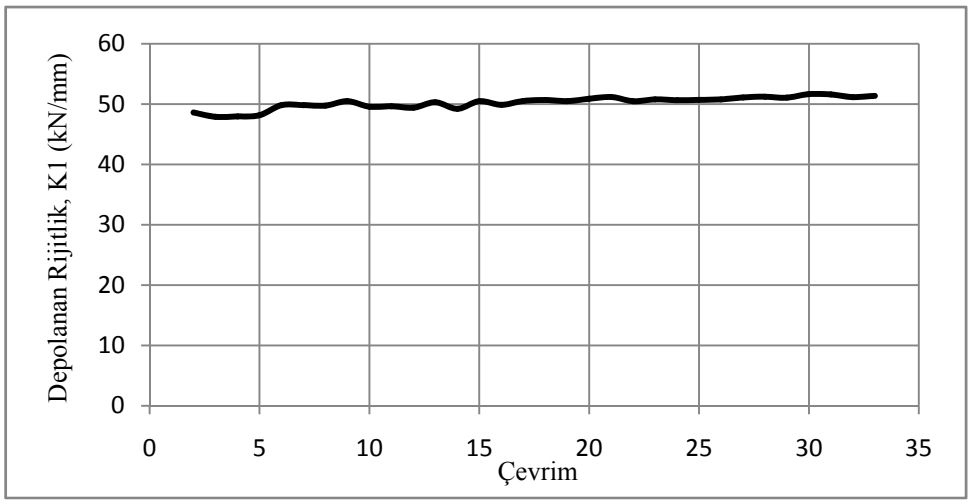
Şekil 3.101 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.0333Hz)



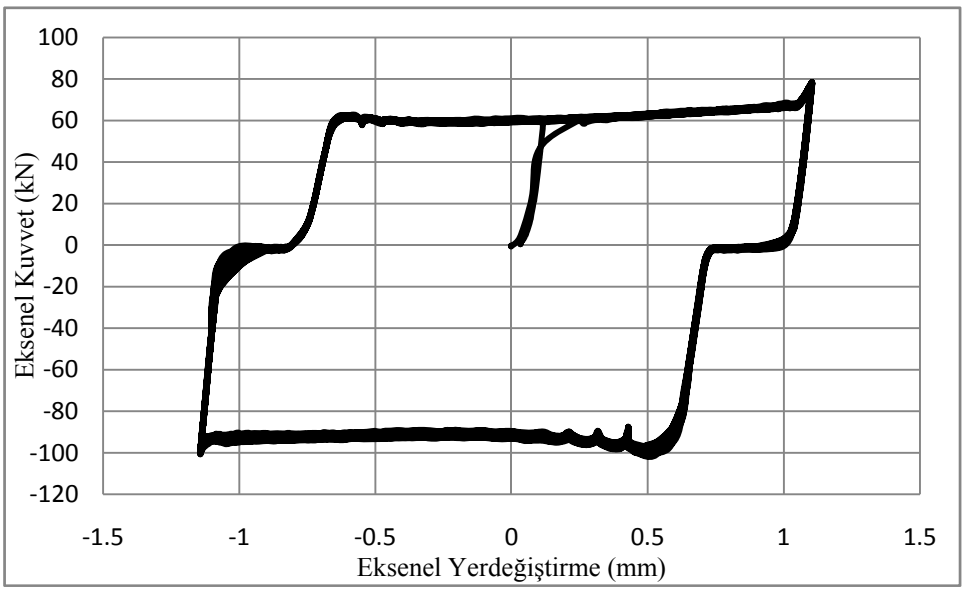
Şekil 3.102 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.0333Hz)



Şekil 3.103 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.0333Hz)

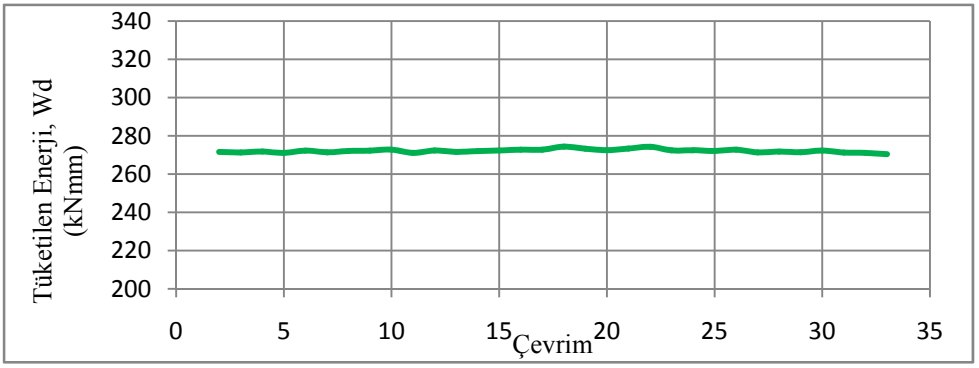


Şekil 3.104 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.0333Hz)

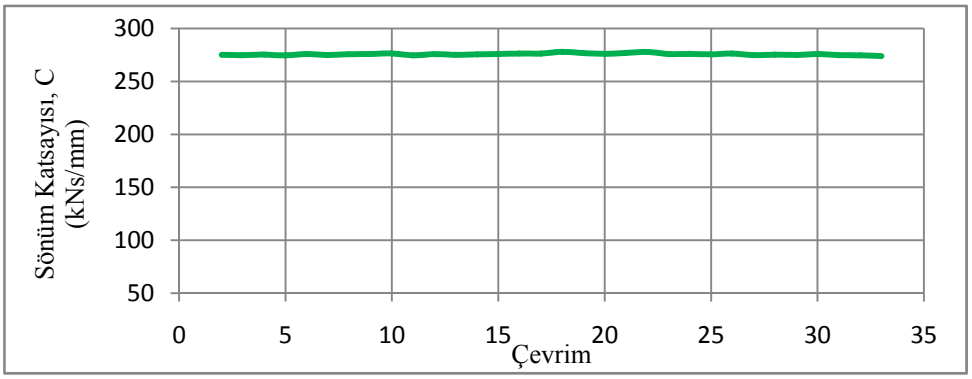


Şekil 3.105 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.0333Hz)

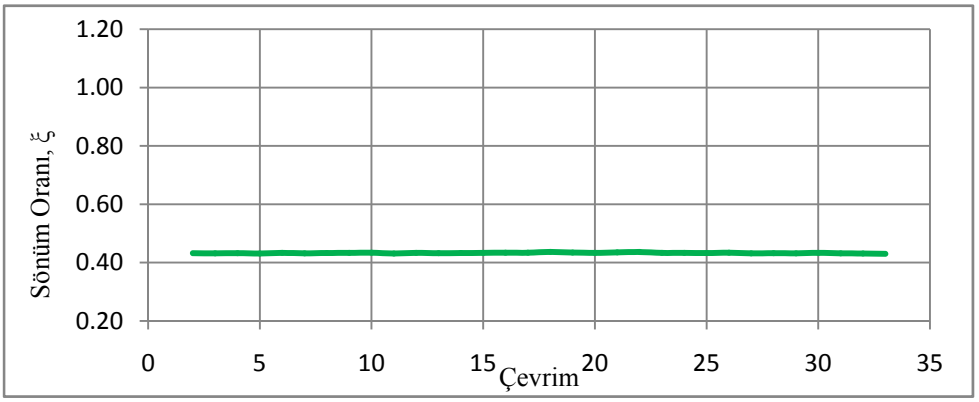
0.05Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ortalama tüketilen enerji (W_d) 271.8kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 270.4kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 274.4kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 86.5kN/mm, en küçük değer 86.1kN/mm iken en büyük değer 87.3kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 50.1kN/mm, en küçük değer 48.7kN/mm iken en büyük değer 50.9kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 275.4kNs/mm, en küçük değer 274kNs/mm ve en büyük değer 278kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %43, en küçük değer %43 ve en büyük değerler %44'tür.



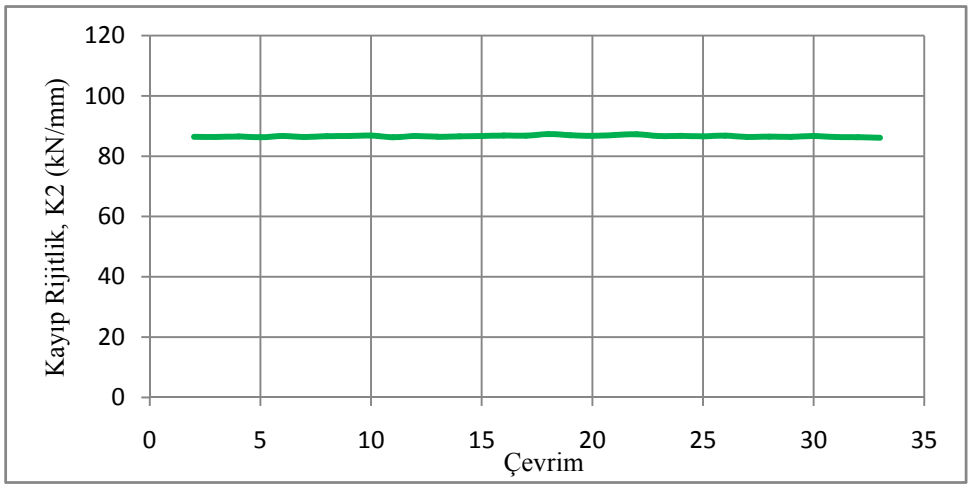
Şekil 3.106 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.05Hz)



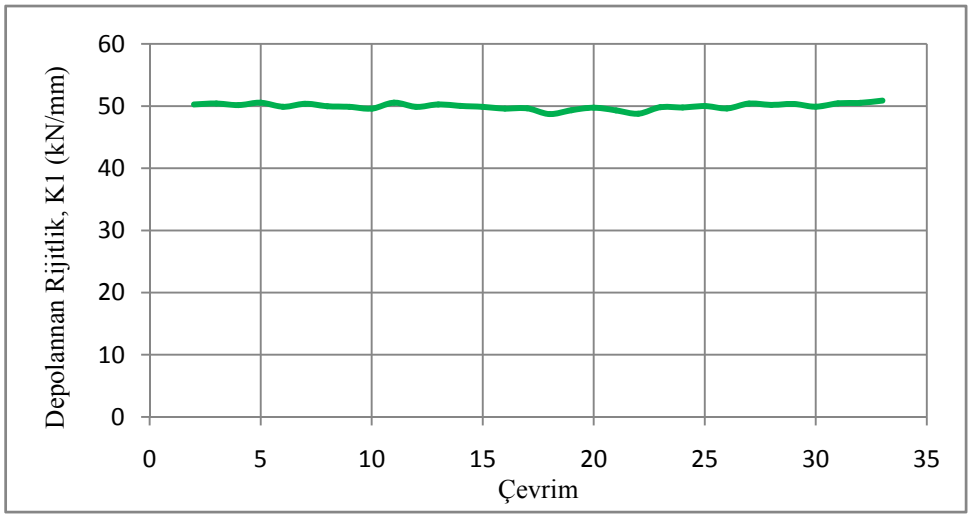
Şekil 3.107 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.05Hz)



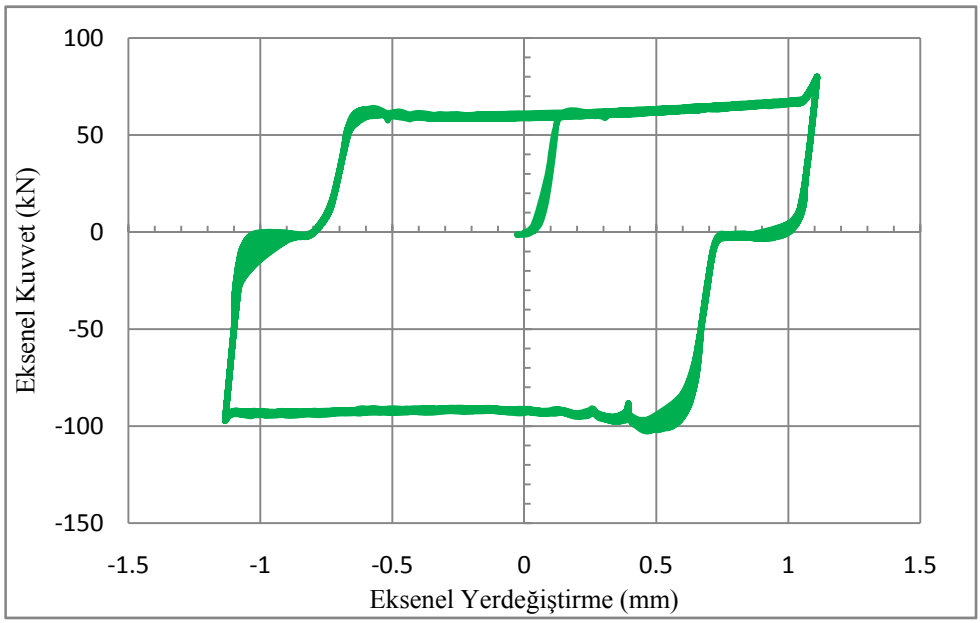
Şekil 3.108 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.05Hz)



Şekil 3.109 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.05Hz)

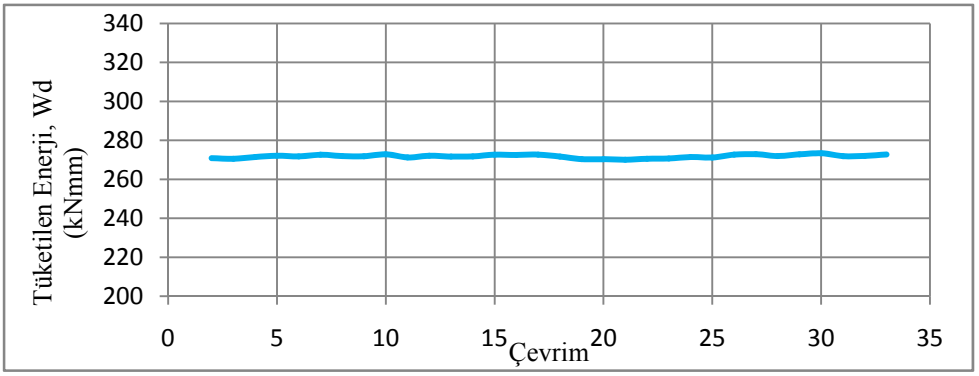


Şekil 3.110 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.05Hz)

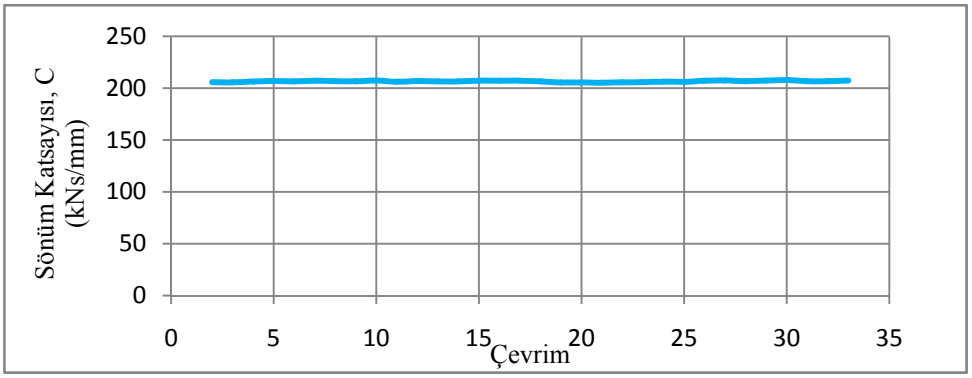


Şekil 3.111 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.05Hz)

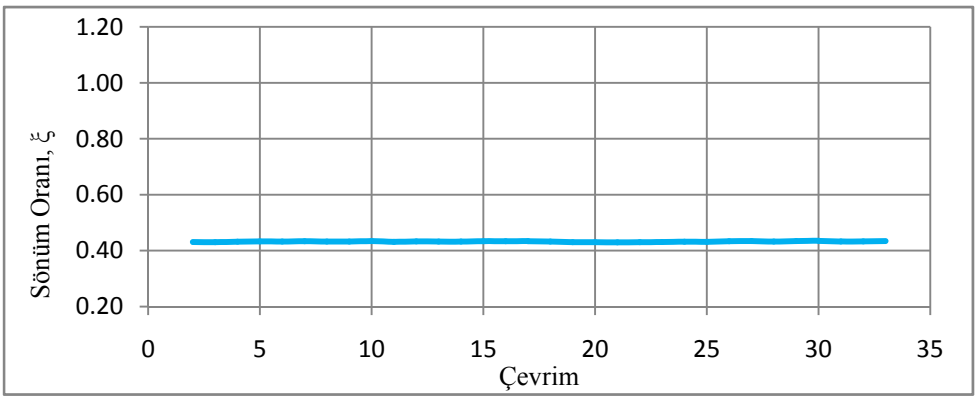
0.067Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ortalama tüketilen enerji (W_d) 271.8kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 270.1kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 273.4kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 86.5kN/mm, en küçük değer 86kN/mm iken en büyük değer 87kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 50.1kN/mm, en küçük değer 49.3kN/mm iken en büyük değer 51.8kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 206.6kNs/mm, en küçük değer 205.2kNs/mm ve en büyük değer 207.8kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %43, en küçük değer %43 ve en büyük değerler %44'tür.



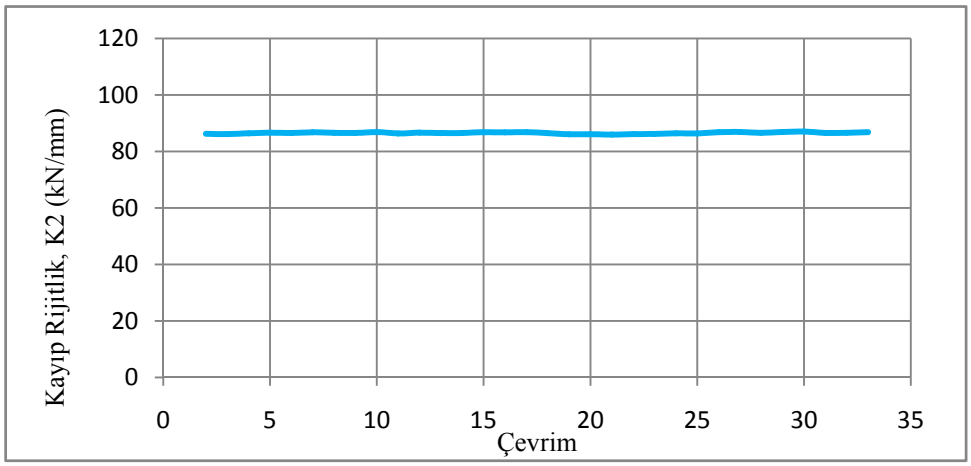
Şekil 3.112 Tüketilen enerji miktarınıın çevrimle değişimi (0.067Hz)



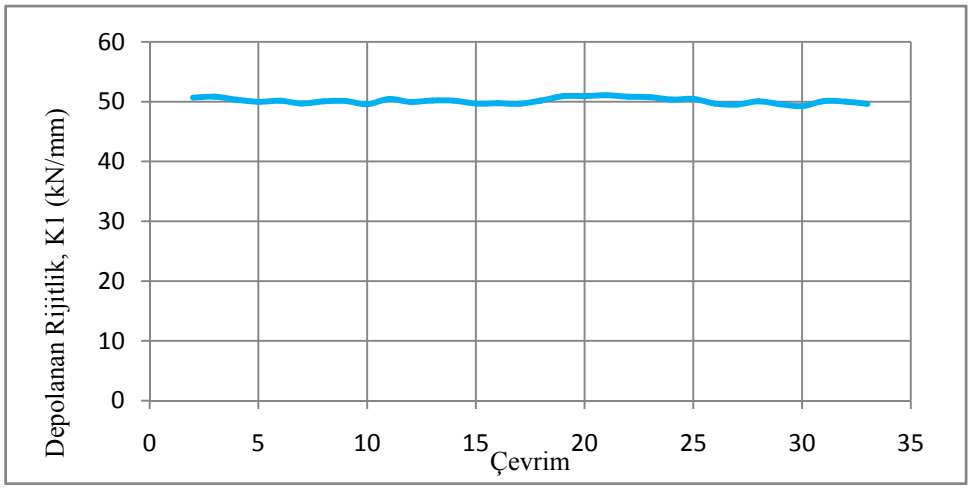
Şekil 3.113 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.067Hz)



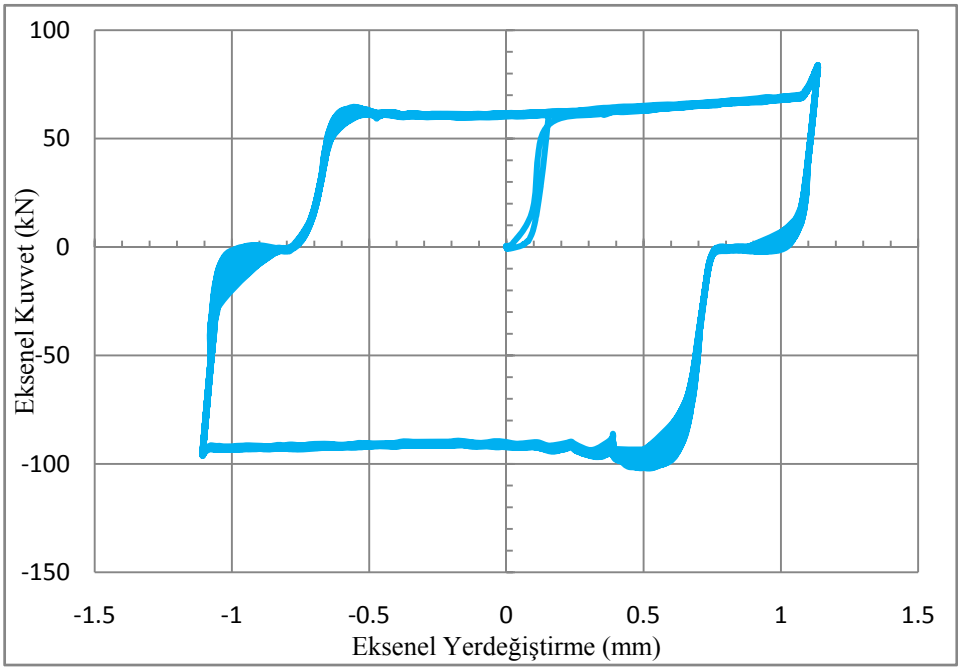
Şekil 3.114 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.067Hz)



Şekil 3.115 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.067Hz)

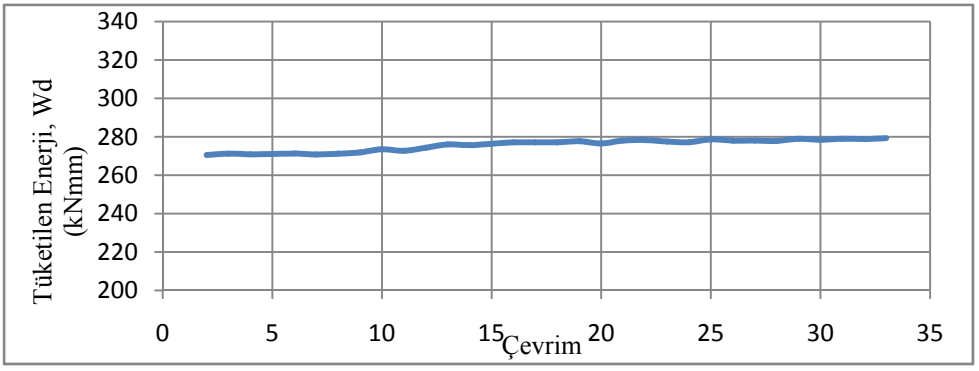


Şekil 3.116 Depolanan rijitliğin çevrimle değişimi (0.067Hz)

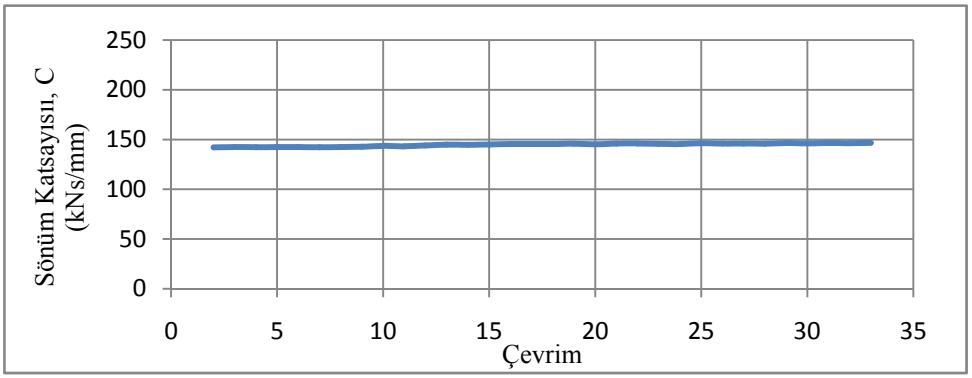


Şekil 3.117 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.067Hz)

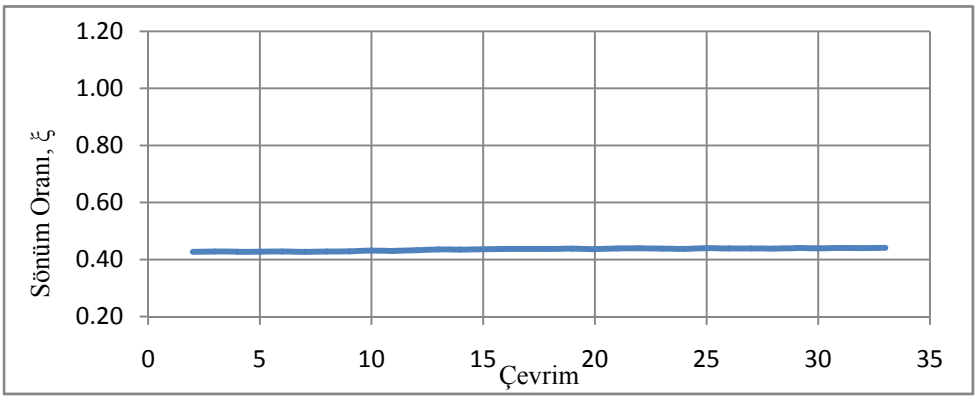
0.01Hz frekans değerinde yapılan deneyin sonucunda ortalama tüketilen enerji (W_d) 275.7kNmm, en küçük tüketilen enerji değeri 270.5kNmm ve en büyük tüketilen enerji miktarı 279.3kNmm'dir. Kayıp rijitliği (K_2) için ortalama değer 86.9kN/mm, en küçük değer 85.3kN/mm iken en büyük değer 88.1kN/mm'dir. Depolanan rijitlik (K_1) için ortalama değer 50kN/mm, en küçük değer 47kN/mm iken en büyük değer 53kN/mm'dir. Sönüm katsayısı (C) için ortalama değer 144.7kNs/mm, en küçük değer 142.1kNs/mm ve en büyük değer 146.6kNs/mm'dir. Sönüm oranı (ξ) için ise ortalama değer %43, en küçük değer %43 ve en büyük değerler %44'tür.



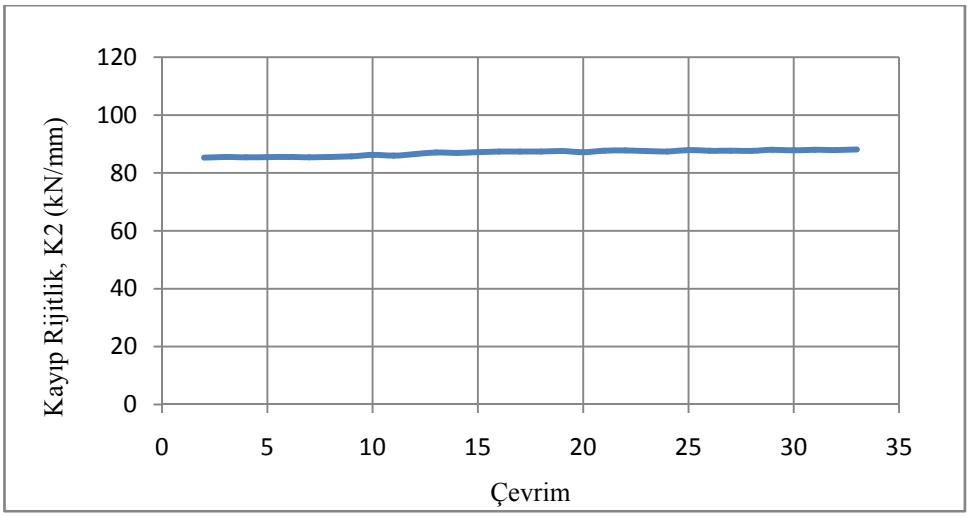
Şekil 3.118 Tüketilen enerji miktarının çevrimle değişimi (0.01Hz)



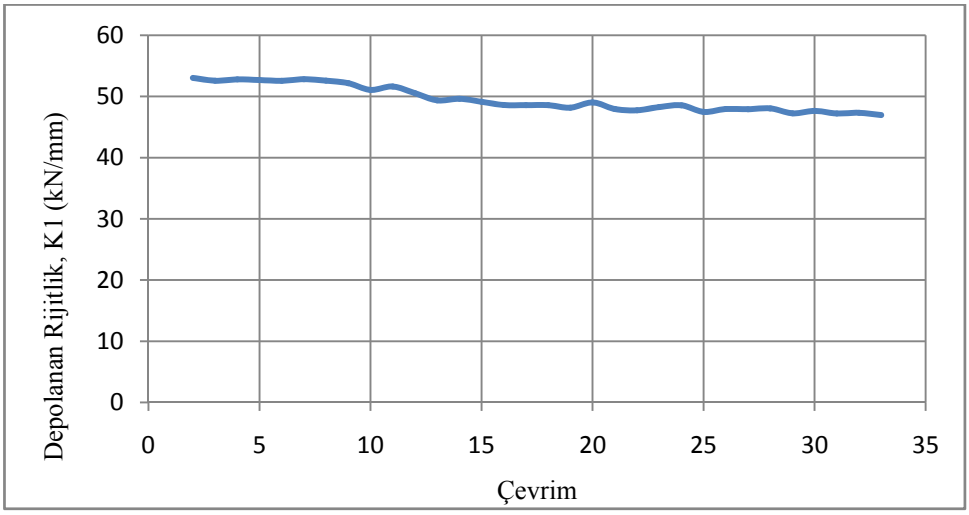
Şekil 3.119 Sönüm katsayısının çevrimle değişimi (0.01Hz)



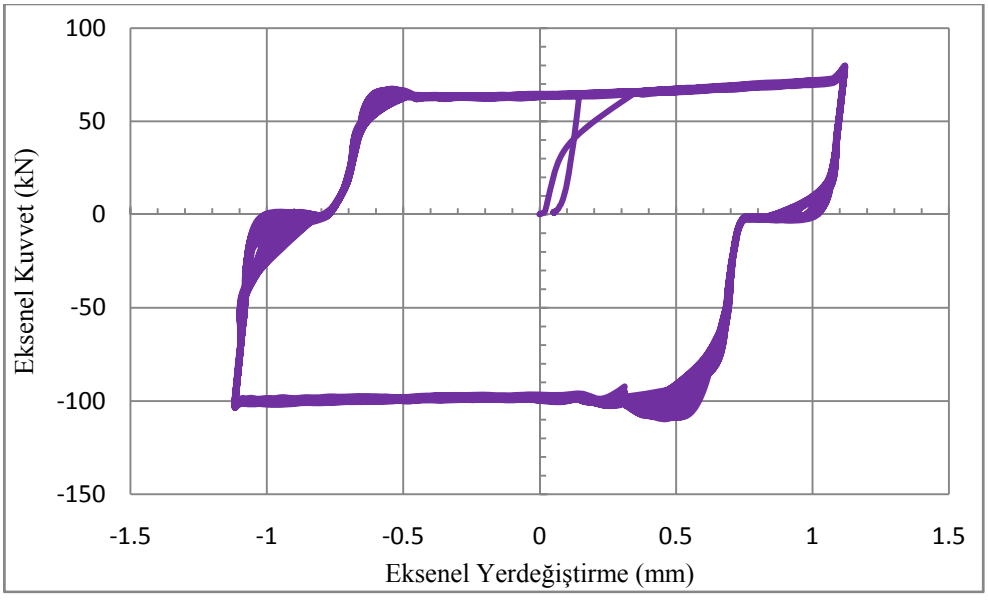
Şekil 3.120 Sönüm oranının çevrimle değişimi (0.01Hz)



Şekil 3.121 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.01Hz)

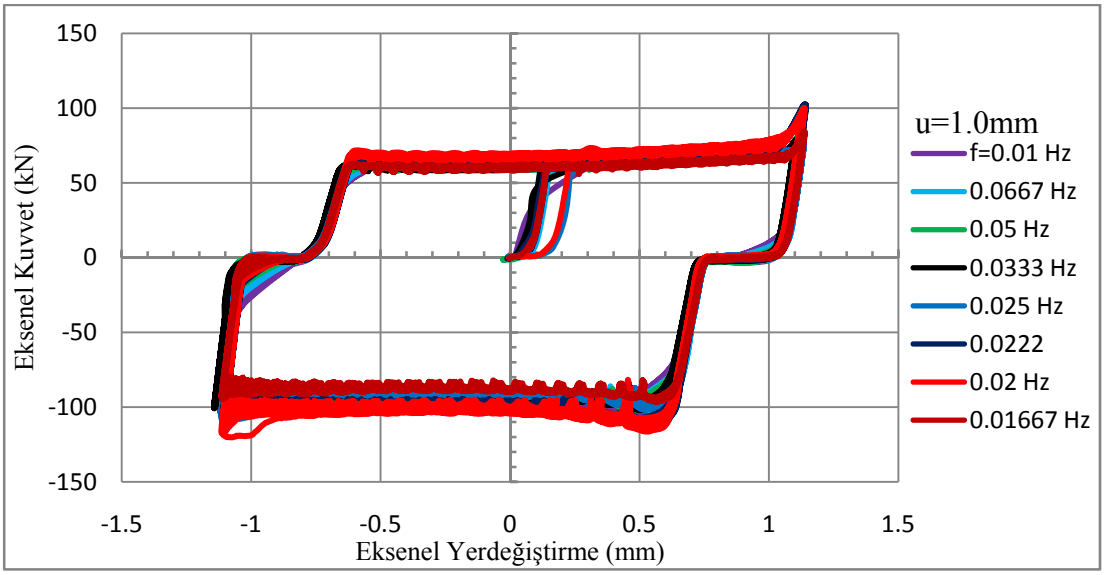


Şekil 3.122 Kayıp rijitliğin çevrimle değişimi (0.01Hz)

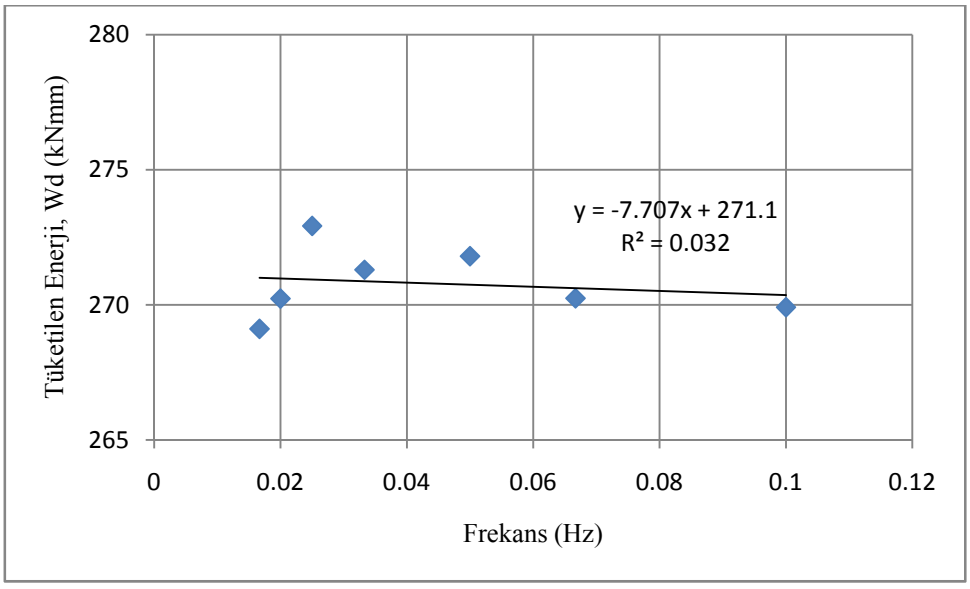


Şekil 3.123 Eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkisi (0.01Hz)

1.0mm deplasman genliğinde yapılan deneylerde de sönümleyicinin fiziksel özelliklerinin devam eden çevrimlerde, küçük farklılıklar olsa da, değişiklik görülmemiştir. Bu yüzden üretilmiş olan sönümleyicinin çevrim sayısından bağımsız olduğu söylenebilir. Tüketilen enerji miktarının artan frekans değerleriyle değişimi ise Şekil 3.124'de her bir frekans için çizdirilen eksenel kuvvet eksenel yerdeğiştirme ilişkilerinin üst üste eklenmesiyle oluşturulan grafikten ve Şekil 3.125'te her bir frekans değerinde ortalama tüketilen enerji miktarları kullanılarak çizdirilen grafiklerden görülebileceği gibi neredeyse sabittir.

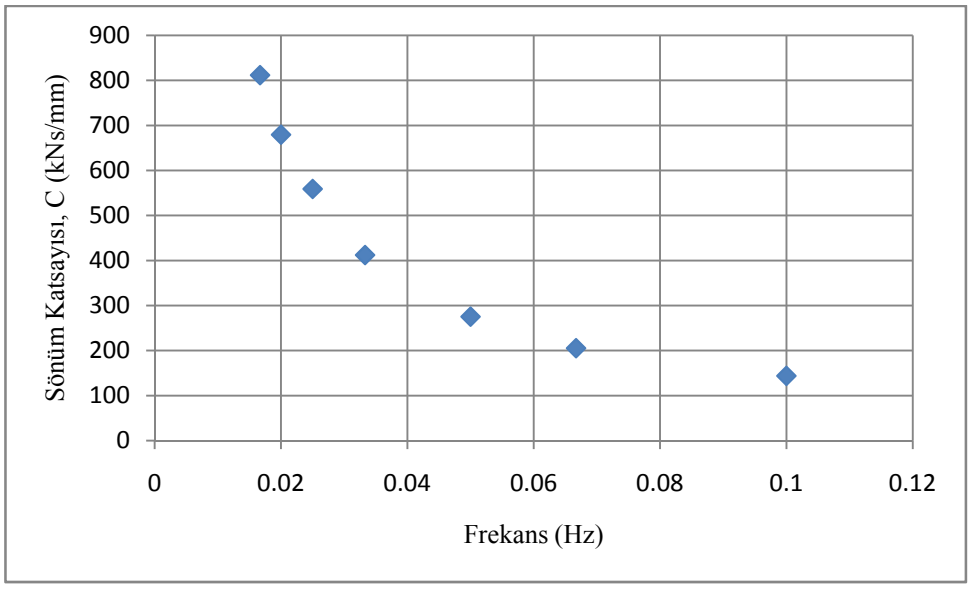


Şekil 3.124 Her bir frekans değeri için eksenel kuvvet – eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (u_0=1mm)



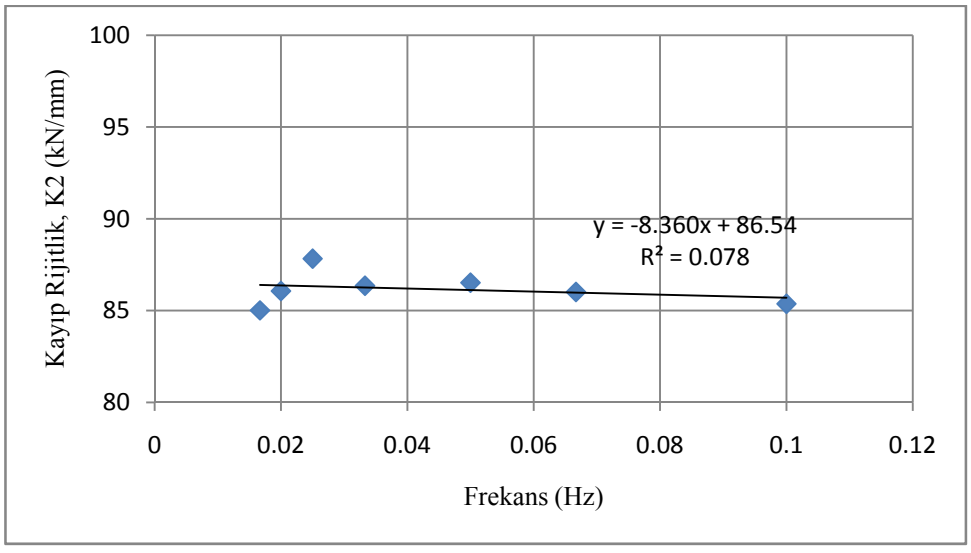
Şekil 3.125 Her bir frekans değerinde ortalama tüketilen enerji miktarları

Şekil 3.126'da sönüm katsayısının artan frekans değerleriyle değişimi gösterilmiştir. Bu deney serisinde, 0.5mm deplasman genliğindeki deneylerde olduğu gibi, sönüm katsayısı kayıp rijitliğin açısal frekansa oranıyla bulunduğu için artan frekans değerlerinde sönüm katsayısında beklenen küçülmeler olmuştur.

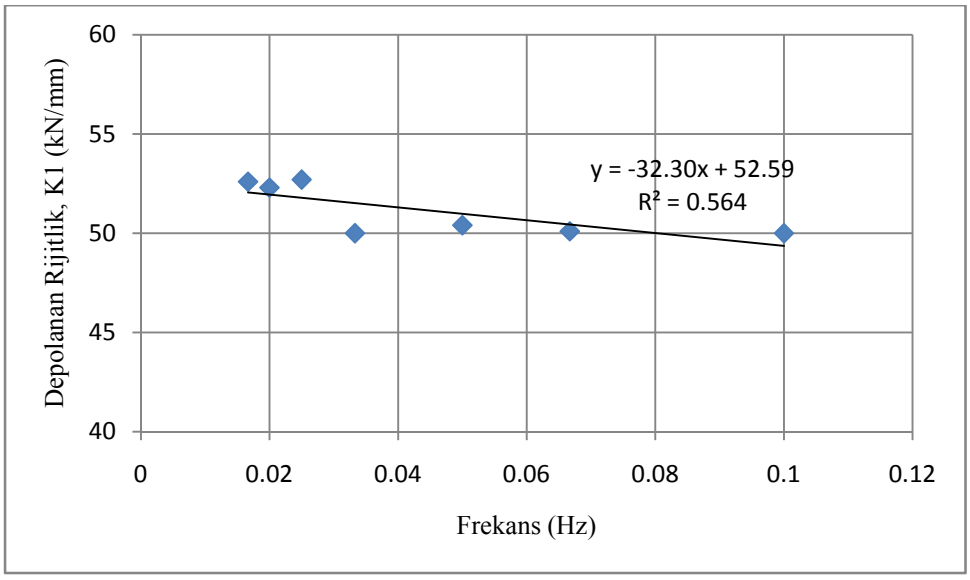


Şekil 3.126 Her bir frekans değerinde ortalama sönüm katsayısı

Kayıp rijitlik ve depolanan rijitlik de yine her frekans için neredeyse sabittir. Bu değerlerin artan frekanslarla değişimi şekil 3.127 ve 128'te gösterilmiştir. Kayıp rijitlik için kabul edilebilecek ortalama değer 86.5kN/mm, depolanan rijitlik için 53kN/mm'dir.

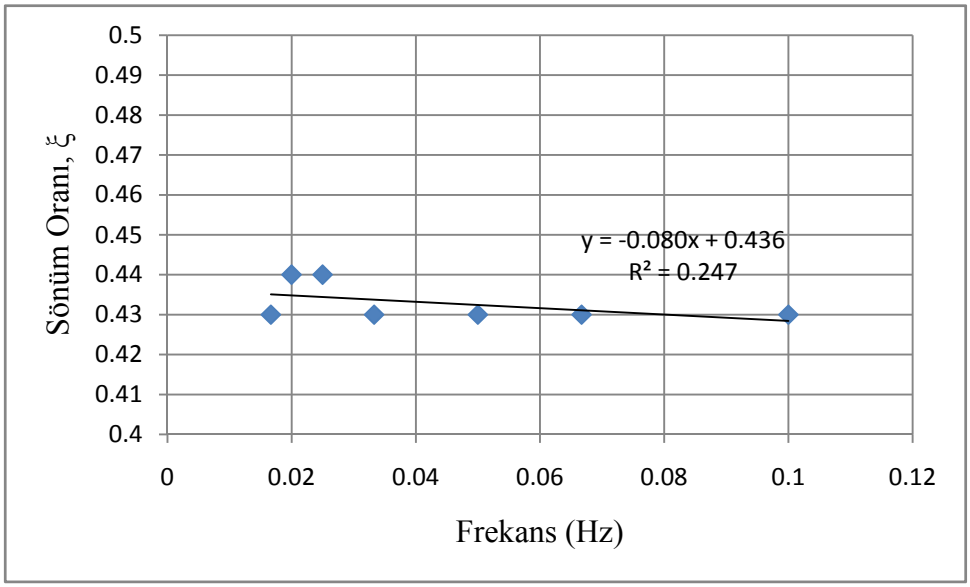


Şekil 3.127 Her bir frekans değerinde ortalama kaybedilen rijitlik



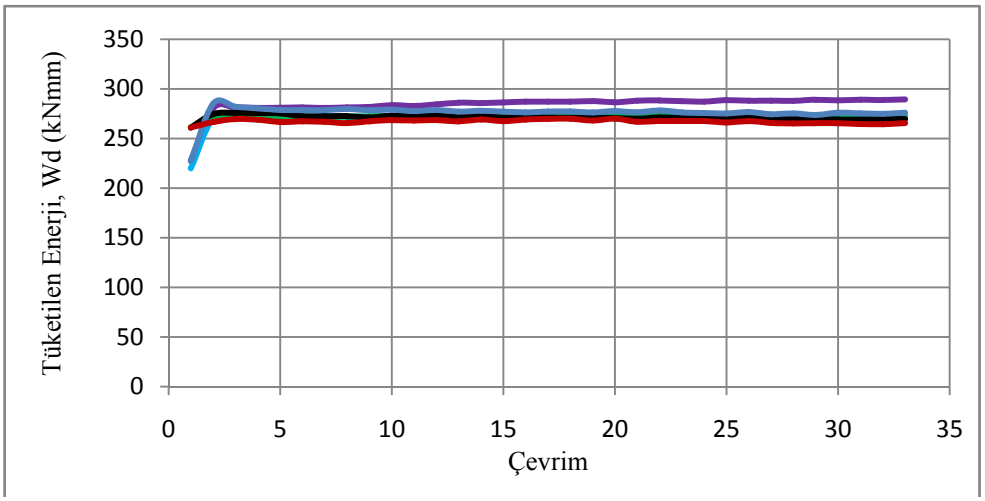
Şekil 3.128 Her bir frekans değerinde ortalama depolanan rijitlik

Şekil 3.129'da ise eşdeğer sönüm oranının frekansla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikten eşdeğer sönüm oranının ortalama olarak %43 kabul edilebilineceği anlaşılabilir.

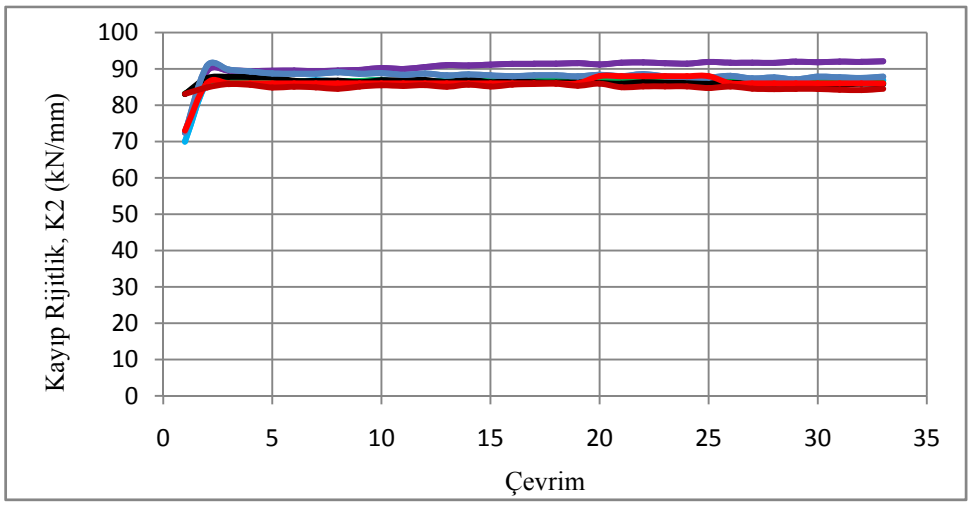


Şekil 3.129 Her bir frekans değerinde ortalama eşdeğer sönüm oranı

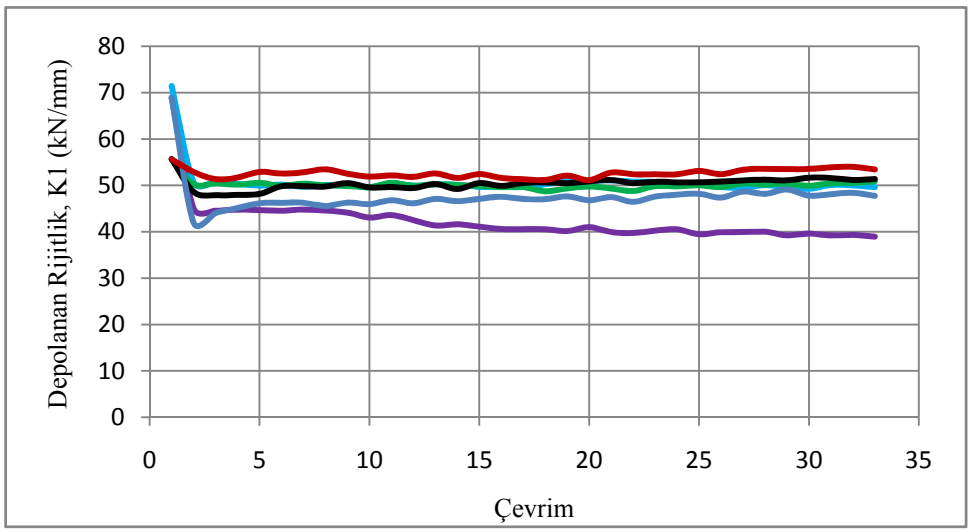
Yukarıdaki grafiklerde ilk olarak üretilmiş olan sönümleyicinin fiziksel özelliklerinin devam eden çevrimlerde değişimi gösterilmiş ve daha sonra aynı fiziksel özelliklerin farklı titreşim bantlarındaki değişimi çizdirilmiş ve her iki durum içinde bu özelliklerin sabit kaldığının kabul edilebilineceği görülmüştür. Aşağıdaki grafikler ise bu iki durumu bir arada içermektedir.



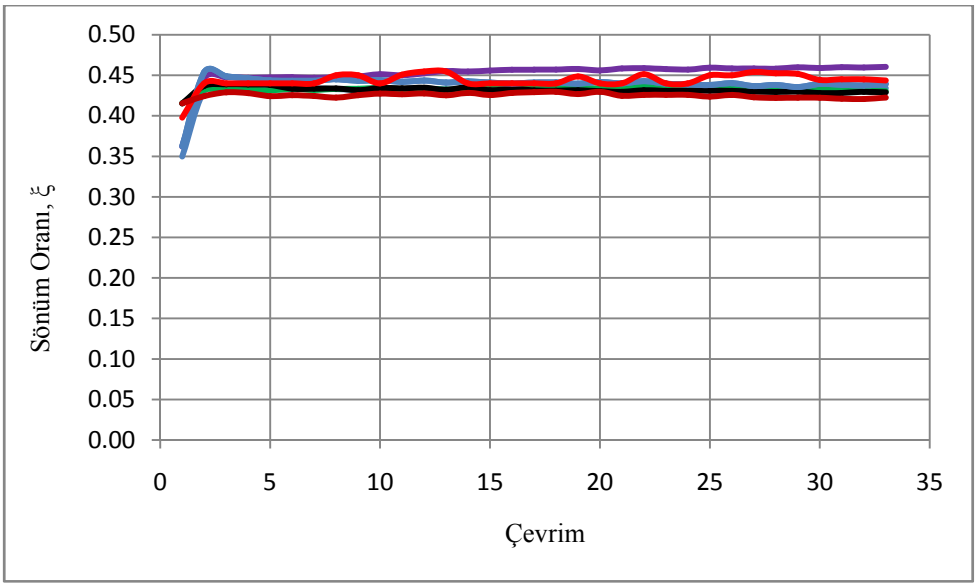
Şekil 3.130 Tüketilen enerjinin artan çevrim ve frekansla değişimi



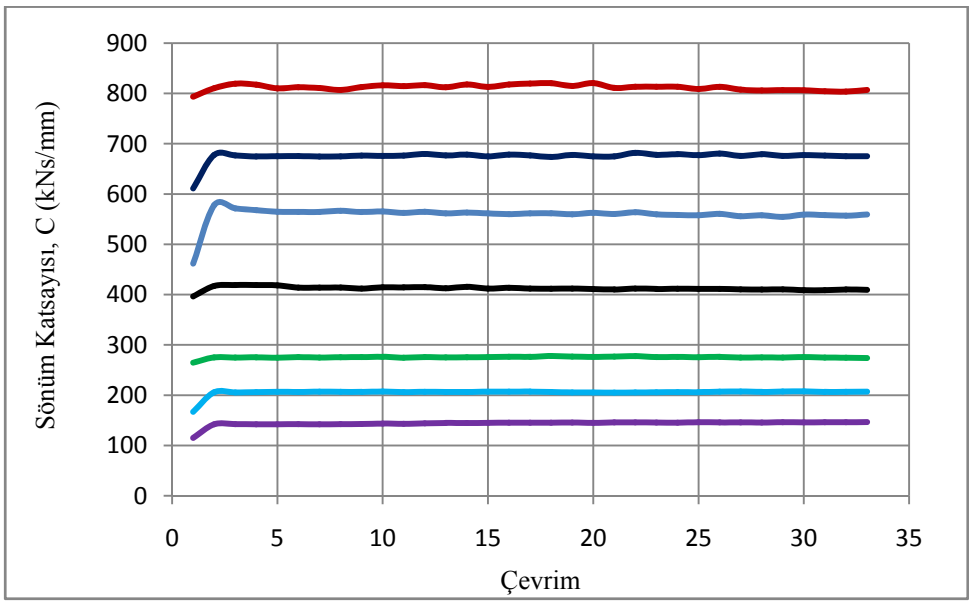
Şekil 3.131 Kaybedilen rijitliğin artan çevrim ve frekansla değişimi



Şekil 3.132 Depolanan rijitliğin artan çevrim ve frekansla değişimi



Şekil 3.133 Eşdeğer sönüm oranının artan çevrim ve frekansla değişimi



Şekil 3.134 Sönüm katsayısının artan çevrim ve frekansla değişimi

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenen ve yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, özel bir sönümleyicinin farklı titreşim bantlarında incelenmesi projesi kapsamında İTÜ Yapı ve Deprem Laboratuvarında üretilmiş olan özel bir sönümleyici fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla bir kısım deneylere tabii tutulmuştur. Deneylerden elde edilmiş veriler kullanılarak, yazılan bilgisayar programıyla sönümleyicinin fiziksel özellikleri belirlenmiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir;

- Artan frekans değeriyle tüketilen enerji ve eşdeğer sönüm oranındaneredeyse herhangi bir değişim görülmemektedir. Ancak bir gün içerisinde yapılan 264 çevrimden sonra yapılan deneylerde kurşunda yumuşama meydana gelmiştir. Son yapılan deney olan 0.1Hz frekans değerinde elde edilen kuvvet – yerdeğiştirme grafiklerinden de görülebileceği gibi sönümleyicinin başlangıç rijitliğinde bir miktar azalma olmuştur. Yine de tüketilen enerji miktarı ve sönüm oranı gibi karakteristik özelliklerinde fark yaratacak kadar büyük değişimler görülmemiştir. Bu verilere dayanarak, üretilmiş olan sönümleyicinin yükleme frekansı ve artan çevrim sayısından bağımsız davranış sergilediği söylenebilir.
- Farklı frekans bantlarında sönümleyicinin sönüm oranı yaklaşık olarak sabit ve %43 civarındadır. Sönüm oranının frekans büyüklüğünden neredeyse bağımsız olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Robinson, W.H.**,**Greenbank, W.R.**, **1975**, "Properties of an Extrusion Energy Absorber", *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 8, No.3*

[2] **Robinson, W.H.**,**Greenbank, W.R.**, **1976**, "An Extrusion Energy Absorber Suitable for the Protection of Structures During an Earthquake", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol.4 p. 251-259*

[3] **Cousins, W.J.**,**Porritt, T.E.**, **1993**, "Improvements to Lead Extrusion Damper Technology", *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 26, No.9*

[4] **Sadek, F.**,**Mahraz, B.**, **Taylor, A.W.**, **Chung, R.M.**, **1996**, "Passive Energy Dissipation Devices for Seismic Applications", *Teknik Rapor, National Institute of Standarts and Technology*

[5] Parelukar, Y.M.,**Reddy, G.R.**, **Vaze, K.K.**, **Kushwaha, H.S.**, **2003**, "Lead Extrusion Dampers for Reducing Seismic Response of Coolent Channel Assembly", *Nuclear Engineering and Design 227 p. 175-183*

[6] **Tsai, C.S.**,**Lai, W.S.**, **Chang, C.W.**, **Li, M.C.**, **2002**, "Testing and Analysis of a New Lead Extrusion Damper", *ASME Pressure and Piping Conference*

[7] **Rodgers, G.W.**,**2009**, "Next Generation Structural Technologies: Implementing High Force to Volume Energy Absorbers", *Doktora Tezi, Canterbury Üniversitesi, Christchurch, Yeni Zelanda*

[8] **Rodgers, G.W.**,**Chase, J.G.**, **Mender, J.B**, **Leach, N.C.**, **Denmead, C.S.**, **Cleeve, L.**, **Heaton, D.**,**2006,** "High Force to Volume Extrusion Dampers and Shock Absorbers for Civil Infrastructure"

[9] **Rodgers, G.W.**,**Chase, J.G.**, **Mender, J.B**, **Leach, N.C.**, **Denmead, C.S.**, **2006**, "Experimental Development, Tradeoff Analysis and Design Implemantation of High Force to Volume Damping Technology" *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. XX, No.Y*

[10] **Rodgers, G.W.**,**Chase, J.G.**, **Mender, J.B**, **Leach, N.C.**, **Denmead, C.S.**, **2006**, "Spectral Evaluation of High Force to Volume Lead Dampers for Structural Response Reduction", *New Zealand National Society for Earthquake Engineering Annual Conference*

[11] **Aldemir, Ü.**,**Aydın, E.**, **2005**, "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar", *Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 435*

[12] **Constantinou, M.C, Symans, M.D., 1992**, " Experimental and Analytical Investigation of Seismic Response of Structures with Fluid Viscous Dampers", *National Center for Earthquake Engineering Research Technical Report, 5923*

[13] **Sabetahd, R., Zandi, Y., Shadbad, K.K., Dehghan, S., Sohrabi, A., 2012**, "Evaluation Performance of Viscoelastic Dampers in Reduction Seismic Base Shear of Structures Using Nonlinear Dynamic Analysis", *American Journal of Scientific Research ISSN 1450-223 X Issue 43 pp. 58-67*

[14] **Chang, K.C.**, **Lin Y.Y.**, **Lai M.L.**, **1998**, "Seismic Analysis and Design of Structures with Viscoelastic Dampers", *ISET Journal of Earthquake Technology Paper No 380 Vol. 35 No 4 pp 143-166*

[15] **Soda, S.**, **Takahashi Y.**, **2000**, "Performance Based Seismic Design of Building Structures with Viscoelastic Dampers", *12th World Conference of Earthquake Engineering*

[16] **Soydan, C., Koçak, M., Özkaynak, H., Yüksel, E., İrtem, E., 2011**, "Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Bir Birleşim Davranışına Olan Etkisi", 7. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*

[17] **Soydan, C., Güllü, A., Hepbostancı, O., Yüksel E., İrtem, E., 2012**, "Design of a Special Lead Extrusion Damper" *15th World Conference of Earthquake Engineering* (Sunulacak)

[18] **Koçak, M., 2012**, " Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Çelik Bir Birleşimin Davranışına Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Ahmet GÜLLÜ
Doğum Yeri ve Tarihi:	ANKARA-KEÇİÖREN 17/04/1987
E-Posta:	ahmgullu@gmail.com
Lisans Üniversite:	Yıldız Teknik Üniversitesi -2010
Çalıştığı Firma:	Büro İstanbul İnşaat Müh.ve Müşavirlik Ltd. Şti.