

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK DEPREM YALITIM BİRİMİNİN
TAMAMEN YERLİ TASARIMININ YAPILARAK ÜRETİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kerem Erdem DEMİRHAN

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

OCAK 2019

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK DEPREM YALITIM BİRİMİNİN
TAMAMEN YERLİ TASARIMININ YAPILARAK ÜRETİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kerem Erdem DEMİRHAN
(802151229)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

OCAK 2019

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802151229 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Kerem Erdem DEMİRHAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK DEPREM YALITIM BİRİMİNİN TAMAMEN YERLİ TASARIMININ YAPILARAK ÜRETİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İhsan Engin BAL**
Hanze Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Hollanda

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Fatih SÜTÇÜ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Cüneyt TÜZÜN
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Kasım 2018
Savunma Tarihi : 03 Ocak 2019





Aileme ve tüm sevdiklerime,



ÖNSÖZ

Yüksek lisansım eğitimim boyunca desteğini ve bilgilerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. İhsan Engin BAL'a, yine bana sonsuz güvenerek çalışma hayatımın yanında yüksek lisans yapmam için bana fırsat sunan saygıdeğer yöneticilerim Berat ÖZTİMUR ve Dr. Serhat PALANCIOĞLU'na, çalışma hayatımda eğitimimi tamamlayabilmem adına açıklarımı kapatan, sonsuz yardım ve destekte bulunan sayın müdürlerim Murat KURAN, İbrahim BÜYÜKEREN ve çalışma arkadaşlarım Harun HACIALİOĞLU, Elif GÜNGÖR, Elif YILDIRIM'a ve bana bu yolda destek olan ailem ve diğer tüm arkadaşlarıma teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Kasım 2018

Kerem Erdem DEMİRHAN
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Deprem Yalıtımı Nedir?	2
1.2 Deprem Yalıtımının Temel Prensipleri	4
1.3 Deprem Yalıtımının Geçmişi	6
1.4 Deprem Yalıtım Birimi Çeşitleri	16
1.4.1 Kauçuk esaslı deprem yalıtımı sistemleri	17
1.4.1.1 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri (LRB)	21
1.4.1.2 Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimleri (HDRB)	23
1.4.1.3 Düşük sönümlü elastomer yalıtım birimleri (LDRB)	26
2. KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK YALITIM BİRİMLERİNİN TASARIMI VE ÜRETİMİ	29
2.1 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtım Birimlerinin Tasarımı	31
2.1.1 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin fiziksel özellikleri	31
2.1.2 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin mekanik özellikleri	34
2.1.3 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin doğrusal olmayan davranışı ve bu davranışın doğrusallaştırılması	35
2.1.3.1 Doğrusal davranışın tanımlanmasında etkin rijitliğin rolü	36
2.1.3.2 Doğrusal davranışın tanımlanmasında etkin sönümün rolü	37
2.1.4 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin tasarımında EN 15129 standartı yaklaşımı	38
2.1.4.1 Kayma birim şekil değiştirmesi kontrolü	41
2.1.4.2 Stabilite kontrolü	42
2.1.4.3 Takviye plakalarının kontrolü	43
2.1.4.4 Yuvarlanma stabilitesi kontrolü	43
2.2 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtım Birimlerinin Üretimi	44
2.2.1 Kauçuk karışımın (hamurun) hazırlanması	44
2.2.2 Deprem yalıtım birimi üretimi için kullanılacak kalıpların hazırlanması	46
2.2.3 Deprem yalıtım birimlerinin preste üretilmesi	47
2.2.4 Deprem yalıtım birimlerinin montajının yapılması ve korozyon koruma işlemlerinin gerçekleştirilmesi	49
3. KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK YALITIM BİRİMLERİNİN TESTLERİ	53

3.1 Ürün Geliştirme İçin Fabrikada Yapılan Testler	53
3.2 Yurtdışı Test Merkezlerinde Yapılan Testler	61
3.2.1 Eucentre Pavia- İtalya	61
3.2.1.1 Test planları	63
3.2.1.2 Hesap yöntemleri.....	65
3.2.1.3 Test sonuçları	66
3.2.2 Sismalab Taranto- İtalya, CE belgelendirme testleri	82
3.2.2.1 CE belgelendirme test planı	84
3.2.2.2 Hesap yöntemleri.....	85
3.2.2.3 Test sonuçları	86
4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR.....	107
KAYNAKLAR.....	109
EKLER	113
ÖZGEÇMİŞ.....	135



KISALTMALAR

LRB	: Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi
HDRB	: Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimi
LDRB	: Düşük sönümlü elastomer yalıtım birimi
FPS	: Sürtünmeli sarkaç tipi deprem yalıtım birimi
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
CE	: Avrupa Uygunluk Belgesi
NR	: Doğal kauçuk
CR	: Neopren kauçuk



SEMBOLLER

T	: Doğal periyot
ω	: Doğal frekans
W	: Toplam ağırlık
Q	: Karakteristik mukavemet
S	: Şekil faktörü
H	: Histeretik eğri alanı
F₁, F₂	: Kuvvet bileşenleri
K_{eff}	: Etkin rijitlik
K₁	: Birinci (elastik) rijitlik
K₂, K_r	: İkinci (elastik ötesi) rijitlik
K_{vert}	: Düşey rijitlik
β_{eff}	: Etkin sönüm
D, u	: Deplasman değerleri
G_L, G_R	: Kurşun ve kauçuk kayma modülleri
A_L, A_R	: Kurşun ve kauçuk etkin alanları
P_{cr}	: Kritik stabilite
E_c	: Basınç modülü
f_y	: Çelik akma dayanımı
D'	: Yalıtım birimi çapı
h_L, h_R	: Kurşun yüksekliği ve kauçuk kalınlığı
t_r, t_s	: İç elastomer katman ve iç çelik plaka kalınlığı
a', b'	: Dikdörtgen deprem yalıtım birimi için yalıtım birimi ebatları
α	: Rotasyon
$\epsilon_{c,E}$: Basınca bağlı kayma birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{\alpha,E}$: Dönmeye bağlı kayma birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{q,E}$: Yatay etkilere bağlı kayma birim şekil değiştirmesi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	:EN 15129 Tablo 8’de istenen ve sağlanması gereken deprem yalıtım birimi kauçuk malzemesine ait mekanik özellikler.	29
Çizelge 2.2	:Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi tasarımı arayüzü (Veri Girdileri).	39
Çizelge 2.3	:Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi tasarımı arayüzü (Hesap Kontrolleri).	40
Çizelge 3.1	:Dinamik yükleme cihazına ait genel bilgiler.	54
Çizelge 3.2	:Eucentre dinamik deprem yalıtım birimi test cihazı özellikleri.	62
Çizelge 3.3	:Düşey rijitlik testi sonuçları.	67
Çizelge 3.4	:Tek yönde yatay etkin rijitlik testi sonuçları.	67
Çizelge 3.5	:ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı etkin rijitlikleri.	68
Çizelge 3.6	:ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı etkin rijitlikleri.	68
Çizelge 3.7	:ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı etkin rijitlikleri.	68
Çizelge 3.8	:ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı etkin rijitlikleri.	68
Çizelge 3.9	:ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm oranları.	69
Çizelge 3.10	:ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm oranları.	69
Çizelge 3.11	:ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm oranları.	69
Çizelge 3.12	:ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm oranları.	70
Çizelge 3.13	:ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı $K_{r,av}$ rijitlikleri.	71
Çizelge 3.14	:ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı $K_{r,av}$ rijitlikleri.	71
Çizelge 3.15	:ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı $K_{r,av}$ rijitlikleri.	71
Çizelge 3.16	:ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı $K_{r,av}$ rijitlikleri.	71
Çizelge 3.17	:ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı karakteristik mukavemetleri.	72
Çizelge 3.18	:ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı karakteristik mukavemetleri.	72
Çizelge 3.19	:ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı karakteristik mukavemetleri.	73

Çizelge 3.20 :ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı karakteristik mukavemetleri.	73
Çizelge 3.21 :ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı etkin rijitlikleri.	74
Çizelge 3.22 :ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı etkin rijitlikleri.	74
Çizelge 3.23 :ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı etkin rijitlikleri.	74
Çizelge 3.24 :ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı etkin rijitlikleri.	75
Çizelge 3.25 :ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı sönüm oranları.	75
Çizelge 3.26 :ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı sönüm oranları.	76
Çizelge 3.27 :ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı sönüm oranları.	76
Çizelge 3.28 :ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı sönüm oranları.	76
Çizelge 3.29 :Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki etkin rijitlikleri.	77
Çizelge 3.30 :Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki sönüm oranları.....	78
Çizelge 3.31 :Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki K_r rijitlikleri.	79
Çizelge 3.32 :Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki karakteristik mukavemetleri.....	80
Çizelge 3.33 :Tasarımda belirlenen parametreler..	91
Çizelge 3.34 :Test sonucunda ortaya çıkan değerler.....	91
Çizelge 3.35 :Test sonucunda ortaya çıkan değerler (K_b ve ξ_b 'ye bağlı).....	94
Çizelge 3.36 :Test sonucunda ortaya çıkan değerler (K_2 ve Q_d 'ye bağlı).....	95
Çizelge 3.37 :Test sonucunda ortaya çıkan değerler (K_b ve ξ_b 'ye bağlı).....	99
Çizelge 3.38 :Test sonucunda ortaya çıkan değerler (K_2 ve Q_d 'ye bağlı).....	99
Çizelge 3.39 :Test sonucunda 2. ve 10. çevrimlerdeki ortaya çıkan değerler (K_b ve K_2 'ye bağlı).	102
Çizelge 3.40 :Test sonucunda 2. ve 10. çevrimlerdeki ortaya çıkan değerler (ξ_b ve Q_d 'ye bağlı).	102
Çizelge 3.41 :Test sonucunda 1. ve 10. çevrimlerdeki ortaya çıkan değerler (K_b ve K_2 'ye bağlı).	102

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	:Klasik konvansiyonel ve deprem yalıtımına sahip yapılar.....	3
Şekil 1.2	:Klasik ve deprem yalıtımına sahip yapıların kat ivmeleri.....	3
Şekil 1.3	:Taban yalıtımlı ve yalıtımsız sistemlerin davranışı.....	3
Şekil 1.4	:Periyodun artışına bağlı ivme ve yer değiştirme.	5
Şekil 1.5	:Sönümün artışına bağlı ivme ve yer değiştirme.	5
Şekil 1.6	:Büyük Keyhüsrev'in mezarı.....	6
Şekil 1.7	:Dikilitaş ve deprem yalıtımını sağlayan takozları.	6
Şekil 1.8	:Pestalozzi İlkokulu, Üsküp, Makedonya.	7
Şekil 1.9	:Pestalozzi İlkokulu'nda kullanılmış olan kauçuk yalıtım birimi.....	7
Şekil 1.10	:a. William Clayton binası, b. Kullanılan bir kauçuk yalıtım birimi ve c. Montajı.....	8
Şekil 1.11	:The Foothill Communities Law and Justice Center.	8
Şekil 1.12	:The Foothill Communities Law and Justice Center'a ait kesit.....	9
Şekil 1.13	:Kobe Depremi öncesi onaylı deprem yalıtımlı bina sayısı.....	10
Şekil 1.14	:Kobe Depremi sonrası onaylı deprem yalıtımlı bina sayısı.....	10
Şekil 1.15	:Computer Center of the Ministry of Post and Telecommunications binası.....	11
Şekil 1.16	:C-1 Binası.....	11
Şekil 1.17	:Somplago Viyadüğü.....	12
Şekil 1.18	:Bolu Viyadükleri genel görünüşü.....	12
Şekil 1.19	:Atatürk Viyadüğü genel görünüşü.....	13
Şekil 1.20	:Atatürk Havaalanı Güçlendirme Projesi için kullanılan bir sürtünme esaslı yalıtım birimleri.	14
Şekil 1.21	:Tarabya Oteli ve kullanılan sürtünme esaslı deprem yalıtım birimleri	14
Şekil 1.22	:Düşey ve yatay etkilere karşı kauçuk taşıyıcıların davranışlarının karşılaştırılması.....	19
Şekil 1.23	:Deprem yalıtım birimlerinin farklı yerleşim yerleri.....	18
Şekil 1.24	:Kauçuk esaslı bir yalıtım biriminin yük altında davranışını gösteren histeretik eğri.	20
Şekil 1.25	:Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti (LRB).....	21
Şekil 1.26	:Kurşun çekirdekli bir kauçuk yalıtım birimine ait histeretik eğri.	22
Şekil 1.27	:a. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti, b. Şematik gösterimi, c. Davranışa ait eğrisi.....	23
Şekil 1.28	:Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimi (HDRB).....	23
Şekil 1.29	:a. Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimi kesiti, b. Şematik gösterimi, c. Davranışa ait eğrisi.	24
Şekil 1.30	:Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimlerinin, a. Kayma modülü- kayma şekil değiştirmesi, b. Sönüm- kayma şekil değiştirmesi grafikleri.....	25
Şekil 1.31	:Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimlerine ait kuvvet- yer değiştirme grafiği.....	26

Şekil 1.32	:Düşük sönümlü elastomer yalıtım birimlerine ait kesit, şematik gösterim ve kuvvet- yer değiştirme grafiği.	27
Şekil 2.1	:Kauçuk karışımın tasarım süreci.	30
Şekil 2.2	:Kauçuk esaslı yalıtım birimlerinde kayma modülünün düşük sıcaklık değerlerindeki değişimi.....	33
Şekil 2.3	:Doğrusal olmayan sistemlerin doğrusallaştırılması.....	37
Şekil 2.4	:a. Standart bir deprem yalıtım birimi birleşimi, b. Yuvarlanma kontrolünün gerekli olduğu bir deprem yalıtım birimi bağlantısı.....	43
Şekil 2.5	:Hazırlanan bileşenlerin karıştırıcıya iletilmesi.	45
Şekil 2.6	:Karışımın açık silindirlerde homojenize edilmesi.	45
Şekil 2.7	:Deprem yalıtım birimi kalıplarının hazırlandığı bir CNC makinesi....	47
Şekil 2.8	:İç çelik plakalara yapıştırıcı boya uygulanması.....	48
Şekil 2.9	:Deprem yalıtım biriminin kalıbının ısıtılması.	48
Şekil 2.10	:Deprem yalıtım biriminin kalıptan alınması.....	49
Şekil 2.11	:Deprem yalıtım birimine çakılmış bir kurşun çekirdek.....	49
Şekil 2.12	:Kumlanmış bir çelik plaka.....	50
Şekil 2.13	:Korozyon koruması tamamlanmış kurumaya bırakılan deprem yalıtım birimleri.....	50
Şekil 2.14	:Montajı tamamlanmış bir kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi. ...	51
Şekil 3.1	:Dinamik yükleme cihazı.	53
Şekil 3.2	:Dinamik kayma modülü tayini testi.....	54
Şekil 3.3	:Dinamik kayma modülü tayini testi sonucu.	55
Şekil 3.4	:Dinamik deprem yalıtım birimi test makinesi.	56
Şekil 3.5	:Bir kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi dinamik test makinesinde deneme testinde.....	56
Şekil 3.6	:Deprem yalıtım birimi test makinesi tasarım analiz yapısı.	58
Şekil 3.7	:Dinamik deprem yalıtım birimi test makinesi kayıcı sistemi.....	59
Şekil 3.8	:Yapışma direnci kontrolü için üretilen elastomer yalıtım birimine ait teknik resim.....	59
Şekil 3.9	:Yapışma direnci kontrolü için üretilen elastomer yalıtım birimi testleri.....	60
Şekil 3.10	:Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi numunesinde büyük yanal şekil değiştirmeler altında yaşanan kauçuk ile iç çelik plakalar arası yapışma problemi.....	60
Şekil 3.11	:Problemin olduğu katmanın kesilmesi sonucu ortaya çıkan durum. ...	61
Şekil 3.12	:Eucentre test merkezinde bulunan deprem yalıtım birimi test cihazı..	62
Şekil 3.13	:Eucentre test merkezinde test edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri.....	63
Şekil 3.14	:Eucentre test merkezinde test edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti.	63
Şekil 3.15	:Sırasıyla ARS001E18-1, ARS001E18-2, ARS001E18-3 ve ARS001E18-4 deprem yalıtım birimlerine ait test planları.	64
Şekil 3.16	:Testlerde uygulanacak yatay kuvvet yönleri (Main Direction 2 yalnızca ARS001E18-2 deprem yalıtım birimine uygulanmıştır).....	65
Şekil 3.17	:Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı etkin rijitlikleri.	69
Şekil 3.18	:Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm oranları.	70
Şekil 3.19	:Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı $K_{r,av}$ rijitlikleri.	72

Şekil 3.20	:Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı karakteristik mukavemetleri... 73
Şekil 3.21	:Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı frekanslara bağlı etkin rijitlikleri. 75
Şekil 3.22	:Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı frekanslara bağlı sönüm oranları..... 77
Şekil 3.23	:Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki etkin rijitlikleri tablosu..... 78
Şekil 3.24	:Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki sönüm oranları tablosu..... 79
Şekil 3.25	:Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki K_r rijitlikleri tablosu..... 80
Şekil 3.26	:Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki karakteristik mukavemetleri tablosu..... 81
Şekil 3.27	:ARS001E18-1 deprem yalıtım birimi yatay kapasite testinde. 81
Şekil 3.28	:Testleri tamamlanmış olan ARS001E18-2 deprem yalıtım birimi..... 82
Şekil 3.29	:Sismalab deprem yalıtım birimi test cihazı. 83
Şekil 3.30	:Sismalab test merkezinde test edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti. 84
Şekil 3.31	:Belgelendirme için test planı. 84
Şekil 3.32	:Deprem yalıtım birimleri düşey rijitlik testi sırasında..... 86
Şekil 3.33	:3271 numaralı deprem yalıtım biriminin düşey rijitlik testi sonucu. .. 87
Şekil 3.34	:3270 numaralı deprem yalıtım biriminin düşey rijitlik testi sonucu. .. 87
Şekil 3.35	:%5 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak yatay karakteristik test sonucu..... 88
Şekil 3.36	:%10 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak yatay karakteristik test sonucu..... 89
Şekil 3.37	:%20 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak yatay karakteristik test sonucu..... 89
Şekil 3.38	:%50 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak yatay karakteristik test sonucu..... 90
Şekil 3.39	:%100 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak yatay karakteristik test sonucu..... 90
Şekil 3.40	:Tek yönde yatay rijitlik testi sonucu. 92
Şekil 3.41	:0,05 Hz frekans altında karakteristik test sonucu..... 93
Şekil 3.42	:0,25 Hz frekans altında karakteristik test sonucu..... 93
Şekil 3.43	:1 Hz frekans altında karakteristik test sonucu..... 94
Şekil 3.44	:40 °C sıcaklığa maruz bırakılmış deprem yalıtım birimlerinin yatay karakteristik test sonucu..... 95
Şekil 3.45	:23 °C sıcaklığa maruz bırakılmış deprem yalıtım birimlerinin yatay karakteristik test sonucu..... 96
Şekil 3.46	:0 °C sıcaklığa maruz bırakılmış deprem yalıtım birimlerinin yatay karakteristik test sonucu..... 96
Şekil 3.47	:-10 °C sıcaklığa maruz bırakılmış deprem yalıtım birimlerinin yatay karakteristik test sonucu..... 97
Şekil 3.48	:-20 °C sıcaklığa maruz bırakılmış deprem yalıtım birimlerinin yatay karakteristik test sonucu..... 97
Şekil 3.49	:Testler öncesi deprem yalıtım birimlerinin sıcaklıkları ölçülmektedir 98
Şekil 3.50	:Testler sırasında %100 kayma birim şekil değiştirmesi yapan deprem yalıtım birimleri. 100

Şekil 3.51	:Tekrarlı çevrimsel yükler altındaki yatay karakteristik test sonucu. .	101
Şekil 3.52	:Düşey taşıma kapasitesi test sonucu.	103
Şekil 3.53	:Maksimum düşey yük altında maksimum yatay taşıma kapasitesi test sonucu.	104
Şekil 3.54	:Minimum düşey yük altında maksimum yatay taşıma kapasitesi test sonucu.	104
Şekil 3.55	:Maksimum düşey yükte maksimum yatay kapasite testi sırasında deprem yalıtım biriminin durumu.	105
Şekil 4.1	:Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi için alınan CE belgesi.	108
Şekil A.1	:ARS001E18-1 düşey rijitlik testi sonucu grafiği.	114
Şekil A.2	:ARS001E18-2 düşey rijitlik testi sonucu grafiği.	114
Şekil A.3	:ARS001E18-3 düşey rijitlik testi sonucu grafiği.	115
Şekil A.4	:ARS001E18-4 düşey rijitlik testi sonucu grafiği.	115
Şekil A.5	:ARS001E18-1 %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.	116
Şekil A.6	:ARS001E18-2 %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.	116
Şekil A.7	:ARS001E18-3 %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.	117
Şekil A.8	:ARS001E18-4 %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.	117
Şekil A.9	:ARS001E18-1 tek yönde yatay etkin rijitlik sonucu grafiği.	118
Şekil A.10	:ARS001E18-2 tek yönde yatay etkin rijitlik sonucu grafiği.	118
Şekil A.11	:ARS001E18-3 tek yönde yatay etkin rijitlik sonucu grafiği.	119
Şekil A.12	:ARS001E18-4 tek yönde yatay etkin rijitlik sonucu grafiği.	119
Şekil A.13	:ARS001E18-1 2 Hz frekansa bağlı %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.	120
Şekil A.14	:ARS001E18-2 2 Hz frekansa bağlı %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.	120
Şekil A.15	:ARS001E18-3 2 Hz frekansa bağlı %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.	121
Şekil A.16	:ARS001E18-4 2 Hz frekansa bağlı %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.	121
Şekil A.17	:ARS001E18-1 tekrar eden çevrimlere bağlı histeretik eğrisi.	122
Şekil A.18	:ARS001E18-2 tekrar eden çevrimlere bağlı histeretik eğrisi.	122
Şekil A.19	:ARS001E18-3 tekrar eden çevrimlere bağlı histeretik eğrisi.	123
Şekil A.20	:ARS001E18-4 tekrar eden çevrimlere bağlı histeretik eğrisi.	123
Şekil A.21	:ARS001E18-1 düşey kapasite testi grafiği.	124
Şekil A.22	:ARS001E18-2 düşey kapasite testi grafiği.	124
Şekil A.23	:ARS001E18-3 düşey kapasite testi grafiği.	125
Şekil A.24	:ARS001E18-4 düşey kapasite testi grafiği.	125
Şekil A.25	:ARS001E18-1 maksimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.	126
Şekil A.26	:ARS001E18-2 maksimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.	126
Şekil A.27	:ARS001E18-3 maksimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.	127
Şekil A.28	:ARS001E18-4 maksimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.	127

Şekil A.29	:ARS001E18-1 minimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.....	128
Şekil A.30	:ARS001E18-2 minimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.....	128
Şekil A.31	:ARS001E18-3 minimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.....	129
Şekil A.32	:ARS001E18-4 minimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.....	129
Şekil A.33	:ARS001E18-1 maksimum düşey yük altında maksimum yatay kapasite testi grafiği.....	130
Şekil A.34	:ARS001E18-2 maksimum düşey yük altında maksimum yatay kapasite testi grafiği.....	130
Şekil A.35	:ARS001E18-3 maksimum düşey yük altında maksimum yatay kapasite testi grafiği.....	131
Şekil A.36	:ARS001E18-4 maksimum düşey yük altında maksimum yatay kapasite testi grafiği.....	131
Şekil B.1	:Yapışma direnci kontrolü için üretilen elastomer yalıtım birimi kesiti.....	132
Şekil B.2	:Eucentre test merkezinde test edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti.....	132
Şekil B.3	:Sismalab test merkezinde test edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti.....	133
Şekil C.1	:Avrupa Uygunluk Belgesi.....	134



KURŞUN ÇEKİRDEKLİ DEPREM DEPREM YALITIM BİRİMİNİN TAMAMEN YERLİ TASARIMININ YAPILARAK ÜRETİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada 0936.STZ.2015 kodlu SANTEZ Projesi kapsamında kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin tasarımı ve üretimi yapılmış, ardından da bu yalıtım birimlerinin farklı testlerdeki davranışları ve performansları incelenmiştir. Proje İstanbul Teknik Üniversitesi ile Arsan arasında üniversite-sanayi işbirliği çerçevesinde gerçekleştirilmiş, aynı zamanda Arsan çalışanı olan bu tezin yazarı da deprem yalıtım birimlerinin tasarım, üretim ve testlerinde aktif olarak görev almıştır. Proje adımları ve tez yazarının aldığı görevler sonucu elde edilen çıktılar bu tezde verilmiştir.

Bunun için öncelikle üretilecek yalıtım birimlerinin performans hedefleri belirlenmiş, ardından bu hedefleri karşılayabilecek hamurları üretebilmek adına, standartlarda belirlenen kauçuk özelliklerinin sağlamak şartıyla, yapısal mesnetteki tecrübelerin yanında yeni tecrübeler edinilerek denemeler yapılmıştır. Bu denemeler ışığında deprem yalıtım birimlerinden beklenen performansların farklı testlerdeki değişimi de incelenmiştir. Buna göre proje ortağı firma ilk etapta kendi imkanlarını kullanarak elastomer yalıtım birimlerinin üzerinde ilk hamur geliştirme testlerini gerçekleştirmiş ve özellikle kauçuk- iç çelik plakaların yapışma direncinin artırılması ve kauçuğun yatay birim şekil değiştirme kapasitesinin artırılması konuları başta olmak üzere bir deprem yalıtım birimi üretmek adına ön hazırlıkları yapmıştır. Arkasından geliştirilen hamur kullanılarak ortalama bir deprem yalıtım birimi boyutu seçilip ilk prototip ürünler üretilmiş ve Türkiye'deki imkanların henüz elvermemesi sebebiyle bu deprem yalıtım birimleri yurtdışında teste tabi tutularak ilk performans incelemesi yapılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre eksikler belirlenerek iyileştirilmeler yapılmış ve tekrar deprem yalıtım birimleri yurtdışında başka bir laboratuvara teste gönderilmiştir. Santez proje amaçlarından bir tanesi olan fabrika içine dinamik deprem yalıtım birimi test makinesinin kurulmasının gecikmesi proje ortağı firmaya ekonomik olarak dezavantajlar sağlamış olsa da yine de projenin tamamlanması adına çalışmalar devam etmiştir. Bu tezin yazım tarihi itibarıyla tam olarak devreye girmemiş olsa da bu dinamik deprem yalıtım birimi test makinesi sayesinde yeni projelerin fabrika içi testlerinin yapılması ve yeni hamurlar geliştirilerek, bu hamurlar ile üretilecek deprem yalıtım birimlerinin testlerinin yapılması mümkün hale gelecektir. Proje başında kararlaştırılan bu cihazda yapılacak olan test sonuçlarının yurtdışı test merkezlerindeki sonuçlar ile karşılaştırılıp gerekli ise cihazın da iyileştirilmesi çalışmaları maalesef gerçekleşmemiştir. Ancak gerekli kalibrasyonlar yaptırılıp yakın gelecekte bu hedef de gerçekleştirilecektir.

Bu bağlamda; proje sonunda belirlenen hedefleri sağlayan kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi üretilmiş, bu ürün için Almanya MPA Karlsruhe Enstitüsü'nden EN 15129 standardına uygunluk belgesi yani CE belgesi alınmış ve proje ortağı firma Türkiye'de Kuzey Marmara Otoyolu Projesi'nde kullanılmak üzere 500'ün üzerinde

kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi üretmiştir. Böylelikle deprem yalıtımı konusunda yerli ikame ile dışa bağılılığın önüne geçilmiş olunmuştur. Gelecekte yerli üretimin önü iyice açılacak, yerli pazarda rekabet artacak ve ithal deprem yalıtım birimlerinin kullanımı azalacaktır. Sonuç olarak bu projenin de katkısıyla ülke ekonomisine destek sağlanmış olacaktır.



DESIGN AND PRODUCTION OF LEAD RUBBER BEARINGS AS COMPLETELY DOMESTIC

SUMMARY

Earthquakes are one of the most destructive natural disasters in the world. Therefore, many people died because of the non-suitable structures affected by the earthquakes. However, humanity started to find a solution from destructive effects of the earthquakes after 1950's. After that seismic isolation systems were used some of the buildings, and it was seen that buildings with seismic isolation systems have no important damages during earthquakes. After all, the importance of seismic isolation systems began to be understood well. For instance, seismic isolation systems usage is increased in Turkey, after 1999 Kocaeli Earthquake. However, as there are no manufacturers of seismic isolation systems in Turkey, these systems must be provided by external sources. It means, Turkey spends millions of dollars to foreign companies in a year. Therefore, by supports of the government, university and industrial company started to work together to design and produce lead rubber bearings which are one of the seismic isolation systems. Within the scope of Santez Project coded as 0936.STZ.2015, lead rubber bearings were designed, produced and then the behaviour of performances of the isolators in different tests were observed. The project was carried out by the help of Istanbul Technical University and Arsan. Meanwhile, the author of this thesis, who is an employee of Arsan, has taken an active role in the design, production and testing processes. Project steps in detailed and the outcomes of the assignments taken by the author of the thesis were given in this study. By the results of this, dependence of the foreign sources would be decreased in Turkey.

To begin with, performance targets of the lead rubber bearing that will produce are determined. Then, lead rubber bearing was preliminary designed according to EN 15129 because the seismic isolators must be marked with CE in order to use the projects in Turkey. After that different rubber compounds were prepared and tested in house. These compounds were used in elastomeric bearings to see the performance of the bonding of the elastomeric layers and inner steel plates under high shear strain values, firstly. The most important part of the first step was to develop suitable compound and to get the required performance according to EN 15129 standard. To provide this, there were many elastomeric bearings which was damaged during static tests.

Secondly, the first lead rubber bearing was produced according to preliminary design. The isolator dimension was selected as 500 mm diameter which is a general type in the projects. Then four different lead rubber bearings were sent to the test centre in Italy to check their performances. As a result, no defect was found on the bearing at horizontal characteristic tests, it means that there were a success in the first round. On the other hand, some of the parameters which depends on especially lead core were not suitable according to design. To solve it, existing rubber compound

was developed again and lead core with high purity was preferred to get the target value at the test.

Thirdly, new lead rubber bearings were produced and sent to a different laboratory because of the test queues in the previous laboratory. Certification body (MPA Karlsruhe) was also attend to the tests to get CE certificate according to EN 15129 for lead rubber bearings. Horizontal characteristic tests under different shear strains, frequencies, elevated temperature and other tests were performed according to the standard. Performances of the seismic isolators were suitable according to design parameters such as rigidity of the isolators, characteristic strength, damping ratio, yielding forces, shear modulus of the rubber etc.

New dynamic isolator test machine must be supplied for the project; however, this came true the last part of the project. Therefore, although it was determined in the beginning of the project that new dynamic test machine would be developed according to comparison of the test results in the test centres, unfortunately it was not happened during this project. As new compounds would be developed in the future, this would be seen if the results of dynamic isolator test machine is correct or not.

Consequently, Turkey's first CE certificate for lead rubber bearing was received from a certification body with this project. On the other hand, Turkish made dynamic test machine was set in the factory for this project, new lead rubber bearings will be produced by developing of new compounds and especially factory production tests will be performed in house.

1 GİRİŞ

Depremler, yüzyıllardır insanoğlunun karşılaştığı büyük doğal afetlerin başında gelmektedir. Özellikle son yüzyılda dünya nüfusunun hızla artması, insanların köylerden, kasabalardan büyük şehirlere göç etmesiyle konutların yetersiz kalması çok katlı binaların inşa edilmesine sebep olmuş ve depremin yıkıcı etkisinin gerek bilinmemesi, gerekse önemsenmemesi neticesinde milyonlarca insan özellikle bu inşa edilen çok katlı binaların yıkılması sonucu hayatını kaybetmiştir. İnsanoğlunun hatalardan ders çıkarmaması yadsınamaz bir gerçektir, nitekim hala tasarımın standartlara uygun olarak yapılmaması, tasarımı uygun yapılmış kimi yapıların sahada doğru uygulanmaması ve kontrol edilmemesi karşılaştığımız durumların başında gelmektedir ve bu yapılar gelecek depremlerde yüzlerce insanın daha hayatını kaybetmesine yol açacaktır. Ancak son yıllarda ülkemizde ve dünyada yaşanan büyük depremler, deprem bilincinin artmasına sebep olmuş ve yapı tasarımında depremin yıkıcı etkisine daha fazla önem verilmiştir. Özellikle depremlerin çok kısa süre içerisinde çok fazla can alması, depremin yapılar üzerindeki etkileri nasıl azaltılabilir sorusunu sordurmaya başlamış ve çeşitli çözümlerin doğmasına vesile olmuştur. Bunun sonucunda deprem yalıtımı teknolojisi geliştirilmiş ve yapılarda uygulanmaya başlanmıştır. Deprem yalıtımlı yapıların büyük depremlerden sağlam olarak çıkması sonucu güvenilirliği artmış ve kanıtlanmıştır.

Bu sistemler ülkemizde özellikle son 20 yıldır kullanılmakta olup, bu teknolojiye sahip yerli üretici olmadığından ötürü dışa bağımlılık söz konusu olmuştur. Ancak bu tezde bahsedileceği üzere İstanbul Teknik Üniversitesi ve Arsan ortaklığında üniversite-sanayi işbirliği ile ilk %100 yerli deprem yalıtım birimi tasarımı ve üretimi gerçekleştirilip deprem yalıtım birimi sistemleri konusunda dışa bağımlılık sona ermiştir. Bu yerli deprem yalıtım biriminin tasarımı, üretime ve testlere kadar bütün aşamalarına tezde yer verilmiştir.

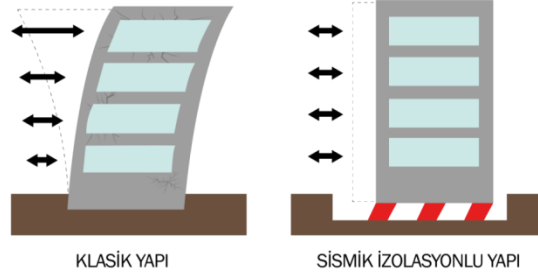
1.1 Deprem Yalıtımı Nedir?

Deprem yalıtımı; genellikle yapı ile yapının oturduğu zemin arasına, yatay rijitliği düşük ve enerji sönümlenme yeteneğine sahip olan elemanların yerleştirilip yapının doğal periyodunu artırarak, yapıya gelecek deprem etkilerinin azaltılması temeline dayanır. Yani, geleneksel hesap yöntemlerinde olduğu gibi yapıyı etkilemesi öngörülen yatay kuvvetlerin, yüksek süneklik veya yüksek dayanım ve rijitlikle taşıyıcı kapasitesini artırmak yerine, yapıya gelen deprem enerjisini periyodun uzatılması prensibine bağlı kalarak azaltma esasına dayalı bir yöntemdir. Bunun sonucunda istenen performans seviyesine göre stratejik önem taşıyan yapılarda hizmetin durmadan devamlılığı sağlanmış olur. Deprem sonucunda yapıya etkileyen enerji ya ısı enerjisine dönüşür ya da kinetik veya potansiyel enerji olarak sönümlenmiş olur. Sönümlenmiş enerji nedeniyle yapıya etkileyecek olan yükleri azaltmak ile kalmayıp, taşıyıcı elemanların kesitleri küçültülmüş olacak sonuç olarak maliyet açısından da bir azalma meydana gelmiş olacaktır.

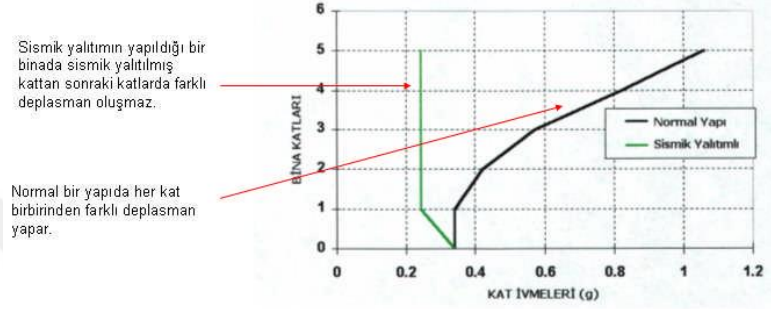
Deprem yalıtımı yöntemi, zemin ile yapı arasındaki etkileşimi azaltmakta ve yapının tabanında, düşeyde rijit fakat yatayda esnek, belirli ölçülerde deplasman yapabilen donanımlar yerleştirmek suretiyle üst yapıyı yer hareketinden ayırma işlemidir (Priestly, 2007).

Yapı tasarımında görelî kat ötelemeleri kontrolleri büyük önem arz etmektedir ve görelî kat ötelemeleri dışında kat ivmelerinin aynı anda azaltılabilmesi için çözüm yollarından birisi de deprem yalıtımı sistemleridir. Deprem yalıtımlı yapılarda Şekil 1.1'de de görülebileceği üzere görelî kat ötelemeleri konvansiyonel yapılara nazaran azalmaktadır. Bunun nedeni yapının düşeyde yeterli rijitliğe sahip olmasının yanında yatayda deprem yalıtımı elemanlarının sayesinde yeterli esnekliğe de sahip olması kaynaklıdır. Bunun neticesinde kat ivmeleri de klasik ankastre temelli yapılara kıyasla Şekil 1.2'deki gibi daha düşük olmaktadır.

Deprem yalıtımlı bir yapının periyodu, hem klasik konvansiyonel yapının ve hem de üzerinde buldukları zeminin periyodundan da çok büyük olması halinde yapının tasarımında belirleyici mod; yapının birinci modu, yani üst yapının neredeyse tamamen rijit olarak hareket ettiği ve deprem yalıtımı elemanlarının yatayda yaptığı deplasmanlar vesilesi ile deprem etkisini sönümlendiği durumdaki modudur.

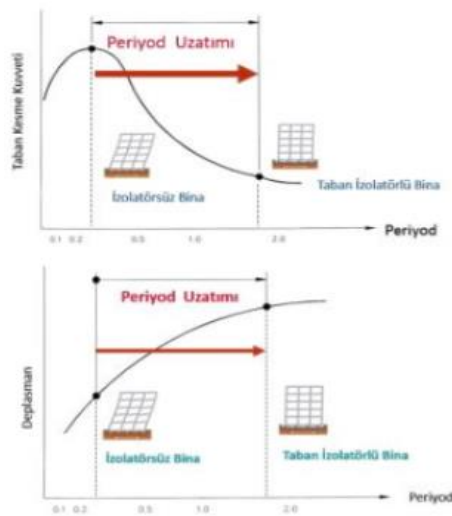


Şekil 1.1: Klasik konvansiyonel ve deprem yalıtımına sahip yapılar (did.org.tr).



Şekil 1.2: Klasik ve deprem yalıtımına sahip yapıların kat ivmeleri (Meb, 2011).

Deprem etkileri altında yapının periyodunun artırılması, deprem yalıtımı elemanlarının da büyük miktarlarda yatay deplasman yapmalarının neticesinde gerçekleştirilebilir. Eğer deprem yalıtımı elemanları gerekli deplasman taleplerini karşılayamayacak olursa, bu sefer yapı o talebi karşılamaya çalışır ki sistem doğru çalışmamış olur ki bu taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlara öngörülmeyen etkilerin gelmesi demektir. Şekil 1.3'te periyodun uzatılmasına bağlı olarak yapının ivmesinin ve deplasmanlarının değişimi görülebilmektedir.



Şekil 1.3: Taban yalıtımlı ve yalıtımsız sistemlerin davranışı (Şadan, 2015).

1.2 Deprem Yalıtımının Temel Prensipleri

Herhangi bir yapıda bulunan deprem yalıtımı sistemleri, yalnızca deprem durumunda değil, yapının servis durumunda da çalışıyor olması gerekmektedir. Yapının kendi öz yükü olsun, üzerindeki hareketli yükler olsun toplam düşey yüke; servis durumunda sıcaklık, rötre, sünme gibi etkilerden kaynaklı veya hareketli yüklerin etkisi ile ortaya çıkabilecek deplasmanlara; yapının özelliklerine bağlı olarak yine servis durumunda meydana gelebilecek dönme miktarlarına karşı da istenen talepleri karşılayabilmelidir. Yapının servis durumunda maruz kalabileceği bazı etkiler deprem durumundan fazla olabilir, bunun sonucunda deprem yalıtımı elemanlarının yetersiz olması sonucunda yapıda çeşitli problemler meydana gelebilir.

Servis durumundaki taleplere karşılık verebilmesinin dışında esas olarak deprem yalıtımı elemanlarından beklenen dört temel özellik bulunmaktadır;

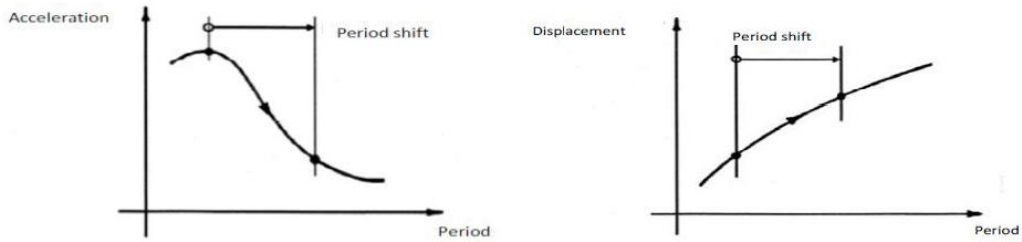
- Düşeyde yüksek rijitliğe sahip olmak,
- Yatayda düşük rijitliğe sahip olmak,
- Yeterli sönüm kapasitesine sahip olmak
- Yeteri kadar esnek olmak ve deprem sonrası merkezlenebilmek

Deprem yalıtımı elemanları, düşeyde yüksek rijitliğe sahip olmaları neticesinde, üst yapıdan gelen düşeydeki yükleri güvenli bir şekilde alt yapıya aktarır ve herhangi bir yanal etki sonucunda, üst yapının rijit bir şekilde deplasman yapabilmesine olanak sağlar. Yatayda düşük rijitliğe sahip olup yeteri kadar esnek olması neticesinde ise, yapının herhangi bir yanal etki sonucunda, büyük deplasmanlar yaparak yapının periyodunu yükselterek yapıya etkiyecek kuvvetlerin azalmasına sebebiyet verir. Ayrıca bu elemanların deprem etkisi sonrası merkezlenebiliyor olması gerekmektedir. Eğer merkezlenme olmaz ise, yapıya ön görülmeyen yeni yüklerin gelmesi söz konusu olabilecektir. Bu özellikleri dışında, diğer yapısal mesnetleme elemanlarından farklı olarak bu sistemlerin yüksek sönüm kabiliyetleri bulunmaktadır.

Deprem yalıtımı elemanları yapıda enerji sönümleyici görevini üstlenerek, deprem sonucu meydana gelen enerjiyi sönümlemeye yaramaktadır. Bu sistemler için sönüm, viskoz yani hıza bağlı sönüm ve histeretik yani deplasmana bağlı sönüm olmak üzere ikiye ayrılabilir.

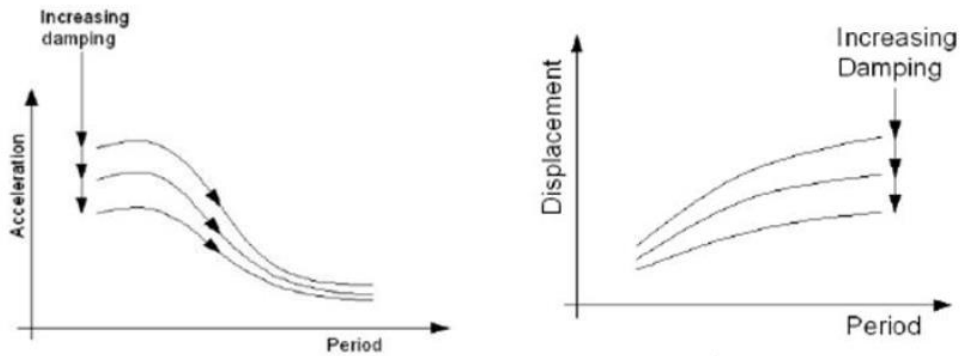
Genellikle deprem yalıtımlı sistemlerde sönüm açısından hem viskoz hem de histeretik sönümlerin beraber olması beklenir, böylelikle daimi bir enerji dağıtım sisteminde gerçekleşmiş olur. Bu iki sönüm tipine ayrı ayrı değinmek gerekirse, viskoz sönümde şiddetli olsun olmasın tüm titreşim türlerinde sürekli bir sönüm mekanizması oluşturmaktadır, ancak viskoz sönüm oranı %20- %30 mertebelerindeki optimum eşiği aşacak olursa, kat ivmelerinde artışa yol açmaktadır.

Histeretik sönüm ise malzemelerin plastik şekil değiştirmesine bağlı olarak sağlanmaktadır. Bu sönüm tipinin sağladığı en önemli özellik, göreceli yer değiştirmelerin azaltılmasına bağlı olarak büyük ve güçlü titreşimlerde etkili olmasıdır. Bunun yanında histeretik sönüm viskoz sönümde olduğu gibi sürekli bir enerji dağıtım mekanizması sağlayamamaktadır. Deprem yalıtımlı sistemlerin tasarımında bu iki sönüm tipinin arasında optimum seviyede yaklaşımlar dikkate alınmalıdır, zira yukarıda belirtildiği gibi kat ivmelerinin artışı yapıda beklenen deprem performansını olumsuz etkileyecektir. Şekil 1.4'te görüleceği üzere yapının periyodunun artması ivmenin azalmasına yol açıyorken, deplasmanın da artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 1.4: Periyodun artışına bağlı ivme ve yer değiştirme (Islam ve diğ., 2011).

Öte yandan, sönümün artması Şekil 1.5'teki gibi hem ivmenin hem de yer değiştirmenin azalmasına sebep olur.



Şekil 1.5: Sönümün artışına bağlı ivme ve yer değiştirme (Islam ve diğ., 2011).

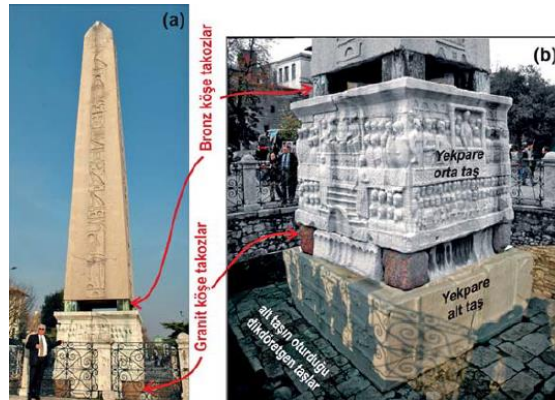
1.3 Deprem Yalıtımının Geçmişi

Deprem yalıtımı aslında insanların çok eskiden beri uyguladığı bir sistemdir. İlk deprem yalıtımlı yapılardan biri olarak Pers İmparatorluğu zamanında (M.Ö. 530) yapılmış olan Büyük Keyhüsrev'in mezarı sayılabilir. Bu yapıda temel ve mezar arasında konulan taş bloklar deprem sırasında kayabilsinler diye harçsız olarak inşa edilmiştir (Şekil 1.6). Klasik bir diğer örnek olarak İstanbul'da bulunan milattan sonra 379 yılında inşa edilmiş Dikilitaş tarih boyunca bir çok deprem görmüş olmasına rağmen yıkılmamış ve günümüzde de varlığını sürdürmektedir (Şekil 1.7). Dikilitaş, dört adet bronz takoz üzerine oturtulmuş ve yapının ağırlığı her bir köşede bulunan takozlar sayesinde altta bulunan yekpare orta taşa aktarılmaktadır. Bu yekpare orta taşın altında ise granit takozlar bulunmakta ve yükü yekpare alt taşa aktarmaktadır. Bu takozlar deprem esnasında salınım hareketleri yaparak yapının devrilmesini önlemiş olur ki bu da bir nevi deprem yalıtımı örneğidir.



Şekil 1.6: Büyük Keyhüsrev'in mezarı (Şadan ve Tüzün, 2017).

Bu ve buna benzer bir çok tarihi yapıda deprem yalıtımı örneklerine rastlamak mümkündür, zira insanoğlu depremin yıkıcı etkisinin farkına vardığından beri yapıların depremleri nasıl güvenle atlatacağı sorusuna cevaplar aramıştır.



Şekil 1.7: Dikilitaş ve deprem yalıtımını sağlayan takozları (Kaplan, 2009).

Ancak günümüzdeki modern deprem yalıtımı teknolojisinin geçmişi çok eskilere dayanmaz. Buna göre ilk kez bir kauçuk deprem yalıtım birimi Makedonya'nın Üsküp şehrinde The Pestolazzi School adındaki üç katlı bir ilkokul binasında İsviçreli mühendisler tarafından "Swiss Full Base Isolation" yöntemiyle 1969 yılında kullanılmıştır (Şekil 1.8). Ancak şimdiki modern kauçuk deprem yalıtım birimlerinin aksine, kullanılan yalıtım birimlerinde düşeyde rijitliğe katkı sağlayan iç çelik plakalar bulunmamasından ötürü, yalıtım birimlerinde büyük çökmeler meydana gelmiş ve dış yüzeylerinde bombeler görülmüştür (Şekil 1.9).



Şekil 1.8: Pestalozzi İlkokulu, Üsküp, Makedonya (Naeim & Kelly, 1999, s.2).



Şekil 1.9: Pestalozzi İlkokulu'nda kullanılmış olan kauçuk yalıtım birimi (Robinson, 2000, s.329).

Ayrıca 1968 yılında Yeni Zelanda'da deprem yalıtımı konusunda teorik ve deneysel çalışmalar başlamış ve birçok pasif titreşim kontrol cihazı üretilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda 1981 yılında ilk kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi (LRB) Wellington şehrinde aktif Wellington fayına sadece birkaç yüz metre

uzaklıkta bulunan William Clayton binasında kullanılmıştır (Şekil 1.10.a). Toplamda 80 adet 600x600 mm boyutlarına, 207 mm yüksekliğe ve 105 mm kurşun çapına sahip kurşun çekirdekli deprem yalıtım biriminin kullanıldığı bu dört katlı betonarme binanın doğal periyodu 2,5 saniye ve yalıtım birimi deplasmanı 150 mm olduğu hesaplanmıştır. (Şekil 1.10.b ve Şekil 1.10.c) (Robinson, 2000, s.329).

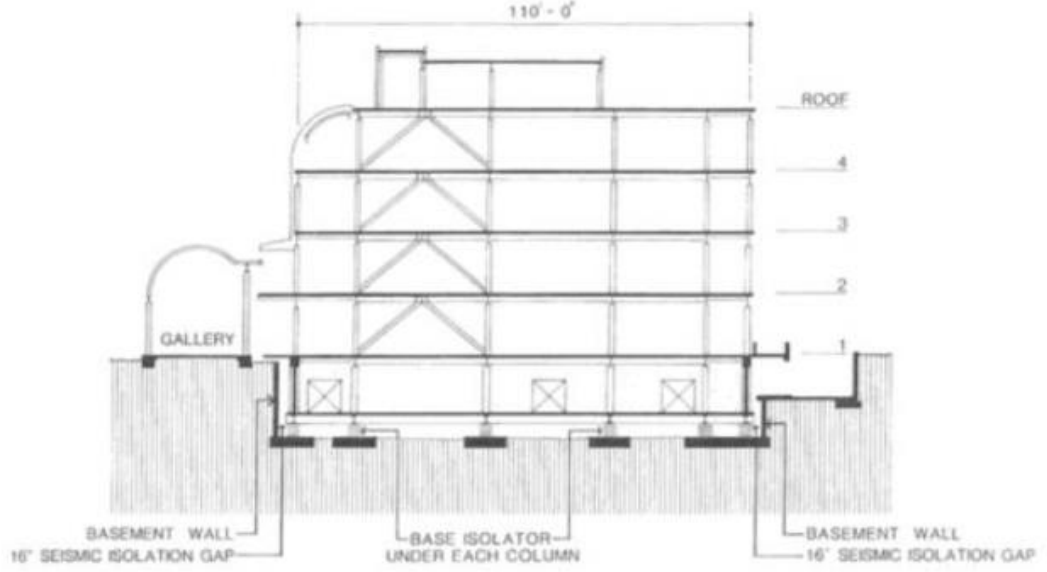


Şekil 1.10: a. William Clayton binası, b. Kullanılan bir kauçuk yalıtım birimi ve c. Montajı (Naeim & Kelly, 1999, s.15).

Amerika'daki deprem yalıtımının tarihine değinmek gerekirse, 1985 yılında dünyanın en büyük ve etkili fay hatlarından biri olan San Andreas Fayı'na sadece 21 km uzaklıkta bulunan San Bernardino'daki "Foothill Communities Law and Justice Center" adlı Adalet Bakanlığı binasıdır (Şekil 1.11). Toplamda 98 adet yüksek sönümlü kauçuk üzerine mesnetlenmiş olan bu yapı, aynı zamanda dünyadaki ilk yüksek sönümlü deprem yalıtım birimi uygulamasının yapıldığı bina özelliğini taşımaktadır. Yaklaşık 15.964 m²'lik bir alana oturmuş, 4 katlı ve Richter ölçeğine göre 8.3 büyüklüğündeki depreme göre tasarlanmıştır (Kelly, 1997). Deprem durumundaki burulma ve büyük yer değiştirmelerin etkileri düşünülerek bina kenarlarında 40'ar cm deprem derz boşluğu bırakılmıştır. Ayrıca 4 normal katın dışında 1 adet bodrum ve yalıtım birimlerinin bulunduğu bir alt bodruma sahiptir. Şekil 1.12'de yalıtım birimlerinin bulunduğu bodruma ait kesit görülmektedir.



Şekil 1.11: The Foothill Communities Law and Justice Center (I.D. Aiken).

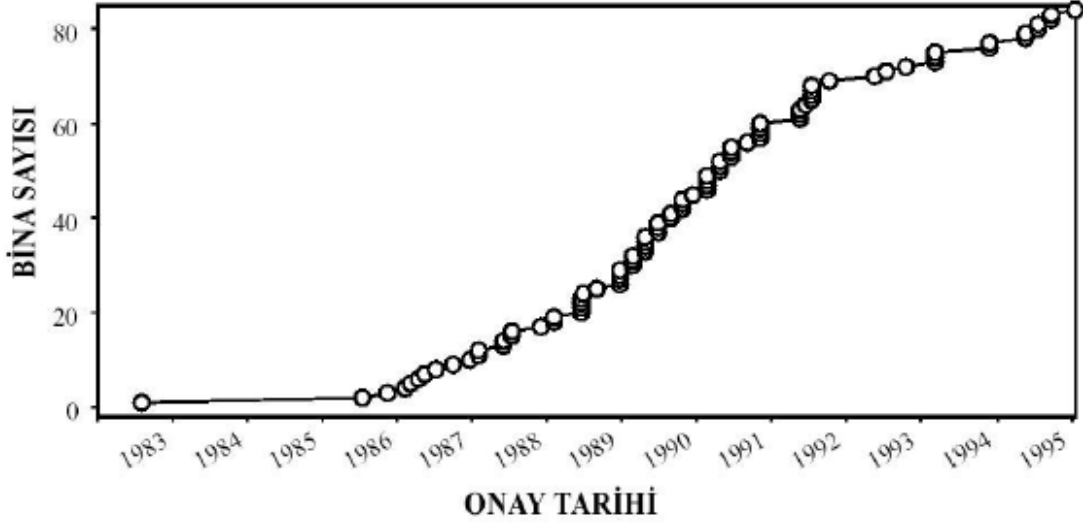


Şekil 1.12: The Foothill Communities Law and Justice Center'a ait kesit (Kelly, 1997).

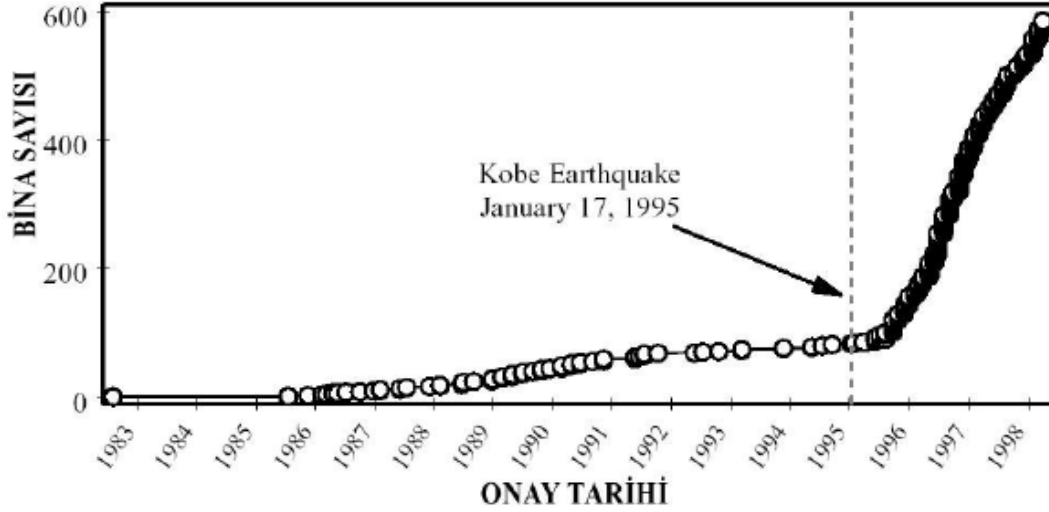
Bir diğer deprem ülkesi olan Japonya da depremin yıkıcı etkisinden nasibini çokça almıştır. Bu nedenle bu yönde birçok çalışma yürütülmüş ve deprem yalıtımı teknolojisini günümüzde geliştirerek, büyük depremleri bile az hasarla atlarmayı başarmıştır.

Buna istinaden Japonya'da deprem yalıtımı teknolojisi ile ilgili araştırmalar 1980'li yılların başında üniversitelerde başlamış ve 1983 yılında ilk kez 6 adet kauçuk yalıtım birimi iki katlı bir binanın altında kullanılmıştır. 1986 yılında ise deprem yalıtımlı 4 katlı bir bina inşa edilmiştir ki büyük bir yapı olarak varsayılabilir. Deprem yalıtımının yaygın olmamasına bağlı olarak ilk yıllarda ortalama yılda 10 deprem yalıtımlı yapı inşa edilmiş daha sonraları ise bu rakam ekonomik şartların neticesinde yıl başına 4-5'e kadar inmiştir. 17 Ocak 1995 Kobe depremi olduğunda ise Japonya'da yaklaşık 80 adet taban izolasyonlu yapı bulunmaktaydı (Naeim, F. & Kelly, 1999; Kelly & Konstantinidis, 2011).

Japonya için Kobe depremi deprem yalıtımı teknolojisi kullanımını bakımından kırılma noktası olmuştur. Buna göre bu deprem öncesi yalnızca 3 yılda toplam 15 adet yapıya deprem yalıtımı onayı verilmişken (Şekil 1.13), depremden sonraki 3 yılda bu sayı 450'yi aşmıştır (Şekil 1.14).



Şekil 1.13: Kobe Depremi öncesi onaylı deprem yalıtımlı bina sayısı (Clark ve diğ., 1999).



Şekil 1.14: Kobe Depremi sonrası onaylı deprem yalıtımlı bina sayısı (Clark ve diğ., 1999).

Kobe şehrinde 1995 depremine maruz kalan yalnızca iki adet deprem yalıtımlı bina bulunmakta idi. Bunlar, “Computer Center of the Ministry of Post and Telecommunications” binası (Şekil 1.15) ve bir inşaat şirketine ait olan binadan ibaret idi. Bu iki binanın deprem yalıtım birimleri gerekli deprem performansını göstermiş ve binalar depremi hasarsız olarak atlattı. Bu büyük deprem öncesi genellikle özel şirketlere ait yüksek önem niteliği taşıyan binalarda kullanılan deprem yalıtımı sistemi, deprem sonrası konutlarda dahi yaygınlaşmış ve deprem yalıtımı teknolojisi Japonya’da giderek yaygınlaşmış ve gelişmiştir.



Şekil 1.15: Computer Center of the Ministry of Post and Telecommunications binası (Asena, 2010).

Japonya’da 1992 yılında inşa edilen C-1 Building tamamlandığında dünyanın en büyük deprem yalıtımlı binası olarak tarihe geçmişti, ayrıca kullanılan kauçuk yalıtım birimleri 1500 mm’lik çaplarıyla dünyanın en büyük deprem yalıtım birimleri olarak kayıtlara geçmişti. Bu bina da yüksek öneme sahip malzemelerin bulunduğu bir bina olduğundan ötürü deprem sonrası içindeki malzemelerin zarar görmesini önlemek amacıyla tasarımı deprem yalıtımı teknolojisi ile yapılmıştı (Şekil 1.16).



Şekil 1.16: C-1 Binası (Komodromos, 2000).

İtalya deprem yalıtımı teknolojileri konusunda Avrupa’da öncülük etmiş bir ülkedir. Depremlerin aktif olarak hissedildiği bu ülkede ilk deprem yalıtımı uygulaması, 1970 yılında Udine-Tarvisio otoyolu üzerindeki Somplago Viyadüğü’nde yapılmıştır. Bu uygulama, aynı zamanda, deprem yalıtımının Avrupa’da bir köprüde kullanılmasına dair ilk örnektir. Oldukça basit ancak etkili bir izolasyon sistemi kullanılan uygulamada köprü kenar ayaklarında elastomer takozlar kullanılırken tüm orta ayaklarda kayıcı mesnet elemanları kullanılmıştır (Şekil 1.17) (Castellano, 2007).



Şekil 1.17: Somplago Viyadüğü (Castellano, 2007).

Somplago Viyadüğü inşaat halindeyken 1976 Friuli depremine maruz kalmış ancak faya çok yakın olmasına rağmen depremi hasarsız atlattır. Bunun sonucunda deprem yalıtımı sistemlerinin güvenilirliği artmış ve İtalya’da deprem yalıtımı teknolojileri giderek yaygınlaşmış, Avrupa’da bu konuda en çok ilerleyen ülkelerden biri olmuştur.

Ülkemiz ise deprem yalıtımı konusunda yukarıda belirtilen ülkelerin oldukça gerisinde kalmış ancak özellikle 1999 Kocaeli depreminden sonra deprem bilincinin oturmasına mütevellit deprem yalıtımı teknolojilerini yapılarında sıklıkla kullanmaya başlamıştır.

Türkiye’deki ilk deprem yalıtımlı yapı, 1991 yılında eğilmeli çelik damperlerin kullanılması ile Bolu Viyadükleri olmuştur (Şekil 1.18). Ardından Türkiye’de ilk kez kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi uygulaması Tarsus- Adana- Gaziantep (TAG) Otoyolu üzerindeki Atatürk Viyadüğü’nde kullanılmıştır (Şekil 1.19).



Şekil 1.18: Bolu Viyadükleri genel görünüşü (Yılmaz ve Türer, 2002).

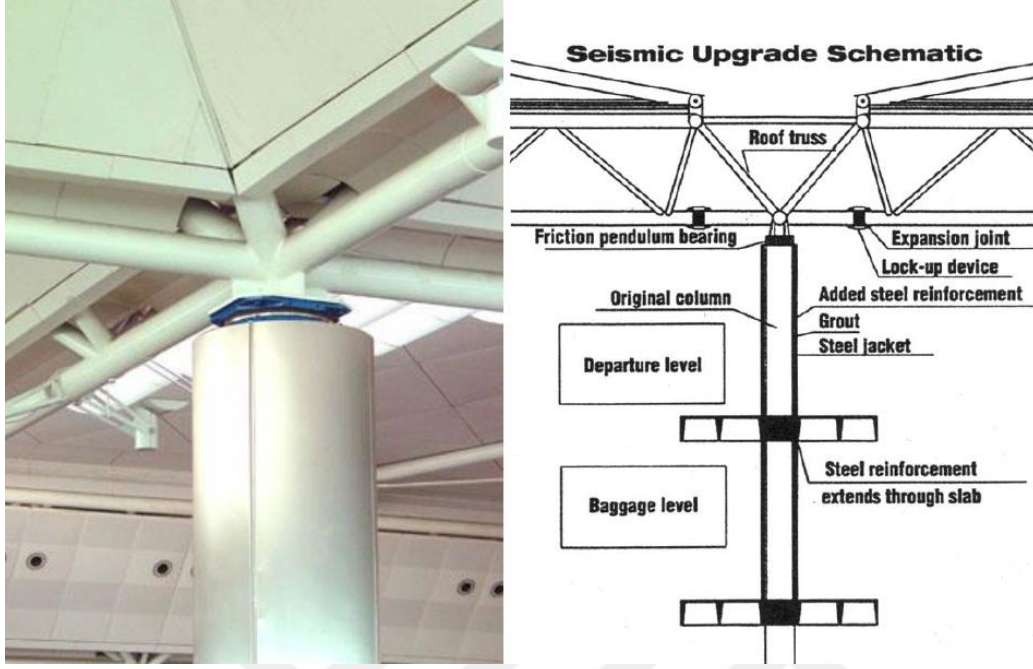


Şekil 1.19: Atatürk Viyadüğü genel görünüşü (www.imo.org).

1999 Kocaeli Depremi'ne kadar yalnızca birkaç projede uygulanan deprem yalıtımı teknolojisinin kullanımı, bu depremin ardından hızlı bir ivme artışı gerçekleşmiştir. Buna istinaden, aynı yılın Kasım ayında gerçekleşen Düzce Depremi sonrası fay hattının çok yakınından geçen viyadüklerin zarar görmesi neticesinde 500 adet yeni deprem yalıtım birimi Bolu Viyadüklerine monte edilmiştir. 17 Ağustos 1999 depreminde fay kırığına 11 km yakın olan viyadüklerde deprem yalıtım birimleri 4,5 ila 8 cm kadar elastik şekil değiştirmeler yaparak zarar görmemiş olmasına karşın 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'nde merkez üssünün yalnızca 6 km uzaklığında bulunan viyadüklerde fay, viyadüğün eksenine ile 20-30 derece yaparak geçmiş ve 2-2,5 metrelik fay atımları oluşmuştur. Böylelikle deprem temeller ve ayaklar arasında önemli kaymalara sebep olmuştur. Ayrıca fayın yakınındaki bazı ayaklarda yanal deplasmanların dışında 10-15 dereceye varan dönmeler de gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda hemen hemen tüm kirişler doğrusal ve yanal yönlerinde yerlerinden oynamışlardır. Deprem yalıtım birimlerinin hasar görmesi neticesinde birçok kiriş mesnetleri üzerinden kaymış ve bazıları ayak kirişi dışına çıkmıştır, ancak sürekli döşemenin bulunması kirişlerin yere düşmesini önlemiştir. Gerçekleşen deplasmanlar tasarım deplasmanından daha fazla olduğundan dolayı neredeyse tüm izolasyon elemanları işlevini yitirmiştir.

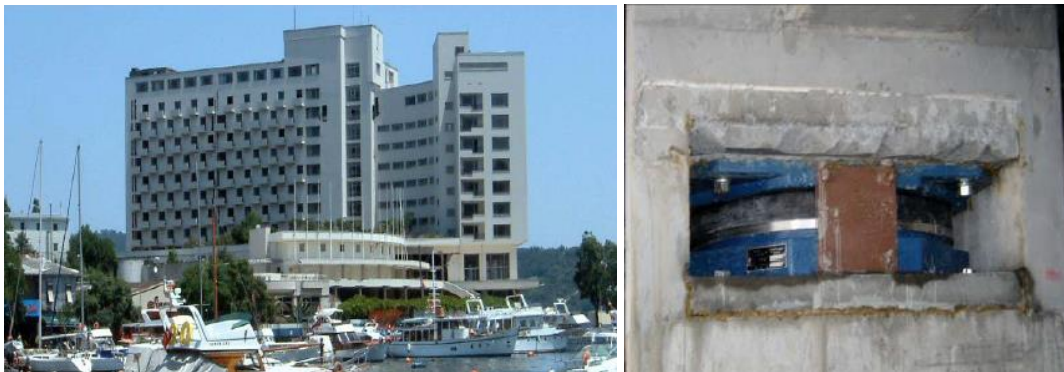
2000 yılına gelindiğinde Atatürk Havaalanı Dış Hatlar Terminali'nin Sismik Modernizasyonu Projesi kapsamında kullanılmak üzere periyodu 3 saniye ve deplasman kapasitesi 300 mm olan 130 adet sürtünme esaslı deprem yalıtım birimleri kolon üstlerinde kullanılmıştır. Proje aynı zamanda Amerika Mühendislik Şirketleri

Konseyi (ACEC) tarafından verilen ödüle yaklaşık 700 aday arasından seçilerek layık görülmüştür (Şekil 1.20) (Constantinou, 2000).



Şekil 1.20: Atatürk Havaalanı Güçlendirme Projesi için kullanılan bir sürtünme esaslı deprem yalıtım birimleri (Constantinou, 2000).

2003 yılında Grand Tarabya Otelinde Türkiye'deki ikinci deprem yalıtım birimleriyle güçlendirme projesi gerçekleştirilmiş ve zemin kat kolonlarının üst kotuna, döşeme altına toplam 139 adet sürtünme esaslı deprem yalıtım birimi konulmuştur ve bina depreme karşı güçlendirilmiştir. Güçlendirme öncesi 14 katlı olan yapının hesap edilen en büyük doğal titreşim periyodu $T1 = 1,5$ sn iken güçlendirme sonrasında bu değer $T1 = 3$ sn mertebelerine ötelenmiştir (Şekil 1.21) (Murat, 2007).



Şekil 1.21: Tarabya Otelini ve kullanılan sürtünme esaslı deprem yalıtım birimleri (Murat, 2007).

Türkiye çapında deprem yalıtımı teknolojileri kullanılarak inşa edilen veya güçlendirilen ilk yapılar yukarıdaki gibi gösterilmiştir, 2004 yılından itibaren ise deprem yalıtımı teknolojilerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaya başlamıştır.

- 2004 yılında Kocaeli Üniversitesi Hastanesi'nde 265 adet 790 mm çapında sürtünme esaslı deprem yalıtım birimleri bodrum kat kolonlarının üst kotunda döşeme altında kullanılmış ve yapının periyodu 3 saniye olarak hesaplanmıştır. Bu proje Türkiye'de deprem yalıtımı teknolojisi ile inşa edilmiş ilk hastane olma özelliğini taşımaktadır.
- Yine 2004 yılında Antalya Havaalanı Terminal Binası'nın konumunun 4. Deprem bölgesinden 2. Deprem bölgesine alındığından ötürü 500 adet kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi ile güçlendirilmesi yapılmıştır.
- 2006 yılında Erzurum Eğitim ve Araştırma Hastanesi için ihale yöntemiyle deprem yalıtım birimleri tedarik edilmiş ve Türkiye'deki ilk açık ihale yöntemi kullanılarak deprem yalıtım birimleri tedarik edilen yapı olarak tarihe geçmiştir. Bu hastane binası faya yaklaşık 4 km uzakta olduğundan ve sağlık binası olarak yüksek önem kategorisine girdiğinden dolayı deprem yalıtımı sistemleri kullanılarak tasarımı yapılmıştır. Toplamda 386 adet kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kullanılmıştır.
- 2008 yılında Sabiha Gökçen Havaalanı Terminali'nde toplam 252 adet sürtünme esaslı deprem yalıtım birimi kullanılmıştır.

Sağlık Bakanlığı, 2010 yılında hastanelerde deprem yalıtım birimi kullanımı konusu fikri pekişmiş daha sonra da emsal bir karara imza atarak; "Bakanlığımız İnşaat ve Onarım Dairesi Bakanlığınca yayınlanan 2012/6 sayılı genelge ile 'Sağlıkta Dönüşüm Programı Kapsamında Yapılacak Sağlık Tesisleri için Uyulması Gereken Hususlar' a ait kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlerin Deprem Bölgeleri ile ilgili bölümünün 1. Maddesinde '1. Ve 2. Deprem bölgelerinde 100 yatak ve üzeri hastanelerin taşıyıcı sistemleri deprem yalıtım birimli olarak projelendirilecektir. İzolatör modeli seçimi, teknik çalışma ve projelendirme sonrası Bakanlık tarafından onaylanacaktır. Deprem yalıtımlı olarak inşa edilecek yapılara ait proje ve yapım asgari standartları Bakanlığımızca düzenlenmiştir" ifadeleri ile belirtilen 2013/3 genelgesi itibariyle uygulamaya geçilmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2013). Bu karar, Türkiye'de deprem yalıtımı teknolojisinin iyice yaygınlaşmasına vesile olmuş ve

Kocaeli Depremi'nden sonraki deprem yalıtımı teknolojileri kullanımı adına ikinci dönüm noktası olmuştur. Bundan sonra da 2018 yılında yeni bir genelge ile deprem yalıtımı sistemi tasarımı, testleri ve gereklilikler için yeni bir genelge yayımlanarak yukarıda bahsedilen genelgenin kapsamı genişletilmiştir. Nitekim genelgenin akabinde yeni hastane projelerinde bu sistemin kullanımı hız kazanmıştır. Bu kapsamda;

- 2012 yılında 750 yataklı Erzurum Sağlık Kompleksi'nde 1248 adet sürtünme esaslı deprem yalıtım birimi kullanılmış, yine aynı yıl İstanbul Marmara Üniversitesi Başbüyük Hastanesi'nde 832 adet kauçuk esaslı deprem yalıtım birimi kullanılarak güçlendirme yapılmaya başlanmıştır. Yine aynı yıl inşaatı başlamış olan 500 yataklı Van Merkez Kampüsü'nde 542 adet deprem yalıtım birimi kullanılmıştır.
- 2013 yılında İstanbul Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde 506 adet, Kartal Lütfi Kırdar Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde ise 855 adet sürtünme esaslı deprem yalıtım birimleri kullanılmıştır.
- 2015 yılında ise Adana Şehir Hastanesi Projesi'ne başlanılmış ve her bir bodrum kat kolonu üst kotuna yerleştirilmek üzere 1512 adet üç sürtünme yüzeyli deprem yalıtım birimi kullanılarak dünyanın en büyük deprem yalıtım birimli yapısı unvanını almıştır.

Yukarıda bahsi geçen hastane projeleri dışında ülkemizin hemen hemen her yerinde daha birçok hastane projesi ihaleye çıkmış, tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Sağlık Bakanlığı'nın öncülük ettiği hastanelerin deprem yalıtımı kullanılarak inşa edilmesi kararından sonra özellikle Milli Eğitim Bakanlığı'ndan okullarda da deprem yalıtımı sistemlerinin kullanılması kararı beklenmekte ve kamuoyunda sık sık dile getirilmektedir. Alınacak kararlar birlikte yine büyük öneme sahip okullarda da bu sistemlerin yaygınlaşması can güvenliği ve hemen kullanım performansları açısından yerinde olacaktır.

1.4 Deprem Yalıtım Birimi Çeşitleri

Günümüzde modern deprem yalıtımı teknolojisinin gelişimine bağlı olarak çok farklı çeşitlerde yapıların deprem yalıtımı sağlanabilmektedir. Ancak en çok yaygın olan sistemler aşağıdaki gibidir;

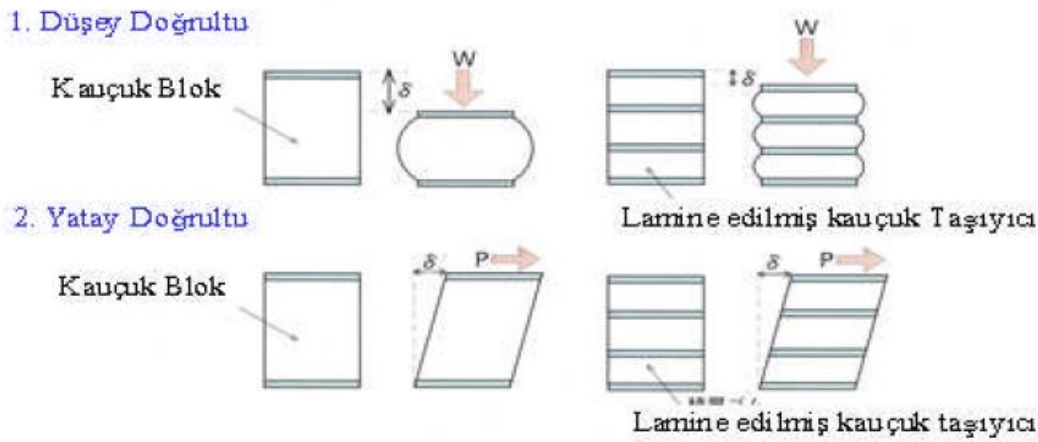
- Kauçuk Esaslı Deprem Yalıtım Sistemleri
 - o Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri (LRB)
 - o Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimleri (HDRB)
 - o Düşük sönümlü elastomer yalıtım birimi (LDRB)
- Sürtünme Esaslı Kayıcı Deprem Yalıtım Sistemleri
 - o Sürtünmeli sarkaç tipi deprem yalıtım birimleri (FPS)
 - Tek sürtünme yüzeyli sarkaç tipi deprem yalıtım birimleri
 - Çift sürtünme yüzeyli sarkaç tipi deprem yalıtım birimleri
 - Üç sürtünme yüzeyli sarkaç tipi deprem yalıtım birimleri
 - o Elastik sürtünmeli taban yalıtım birimleri
- Kauçuk- Kayıcı Sistemler
 - o Fransız elektrik kurumu sistemi (EDF)
 - o TASS sistemi
 - o EERC birleşik sistemi
- Yay Tipi Sistemler
- Sönümlendirici Cihazlar
 - o Şok emici elemanlar
 - o Viskoz damperler
 - o Öngerilmeli yay damperleri

1.4.1 Kauçuk esaslı deprem yalıtımı sistemleri

Kauçuk esaslı deprem yalıtım birimleri; tasarımına bağlı olarak alt ve üst kalın çelik plakalara sahip, içinde de 2 ila 5 mm kalınlıkları arası iç çelik plaka olan, bu ince çelik plakaların arasında da kalınlığı tasarıma bağlı olarak değişmek üzere 8 ila 25 mm arasında kauçuk katmanın da birbirlerine vulkanizasyon işlemi ile birleştirilmesi ile üretilen kare, dikdörtgen veya dairesel olarak kullanılabilen yapısal elemanlara denmektedir. Bu elastomer yalıtım birimlerinin hamuruna mukavemet, esneklik, çekme, yapışma direnci vs. özelliklerini kazandırmak amacıyla karbon siyahı, çeşitli

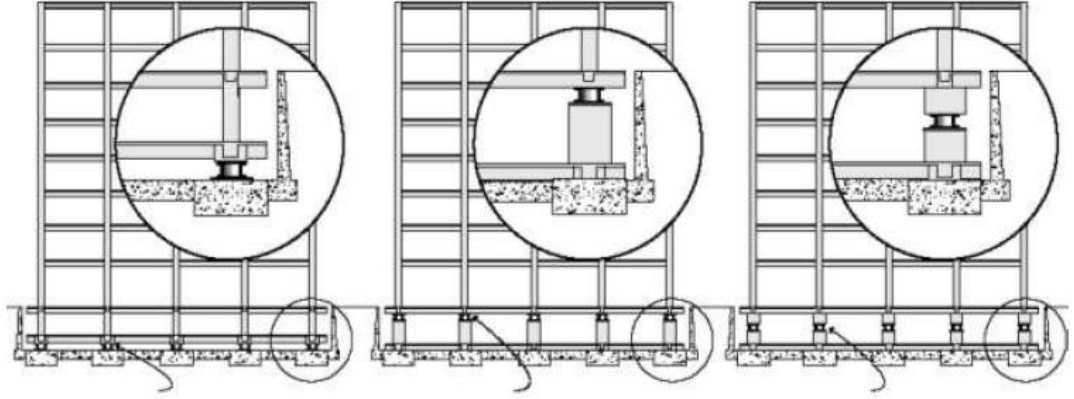
yağlar ve kimyasallar da katılmaktadır. Bu tip deprem yalıtım birimleri günümüzde en yaygın olarak kullanılan yalıtım birimi tipidir.

Doğal kauçuktan imal edilmiş elastomer yalıtım birimleri ilk kez 1969 yılında Makedonya’da kullanılmıştır. Ancak daha önceden de bahsedildiği üzere bu yalıtım birimlerinin içerisinde çelik plakalar kullanılmadığından ötürü düşeydeki gerekli rijitlik sağlanamamış ve elastomerin de düşeydeki rijitliği çelik plakalara nazaran çok az olduğundan ötürü büyük bombeler meydana gelmiştir. Bu tip deprem yalıtım birimleri düşeyde çok rijit yatayda ise çok esnek olmalıdır ki yanal deprem etkilerine karşı gerekli cevabı büyük deplasman kabiliyetleri ile verebilmelidirler (Şekil 1.22).



Şekil 1.22: Düşey ve yatay etkilere karşı kauçuk taşıyıcıların davranışlarının karşılaştırılması (MEB, 2011).

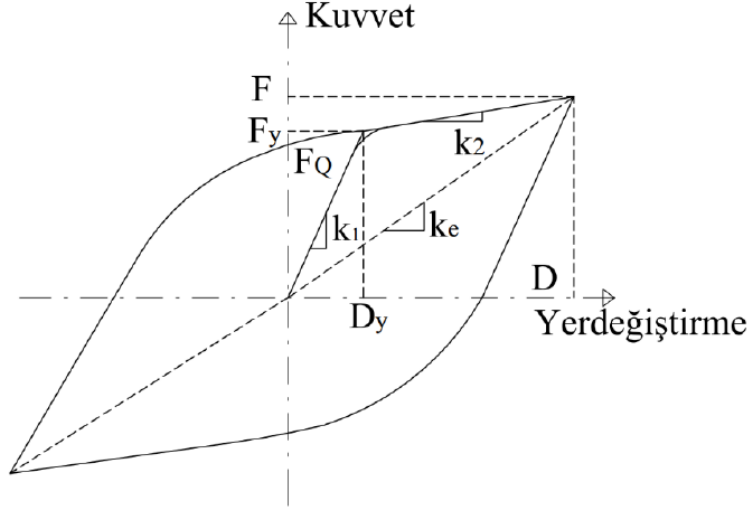
Ayrıca kauçuk esaslı deprem yalıtım birimleri yapının herhangi bir yerinde de kullanılabilir. Buna göre tasarım sonucunda; kolonların tabanında temel üstünde, kolonların üst kotunda döşeme altında veya kolonların arasında da kullanılabilir (Şekil 1.23). Köprülerde de ister prekast kiriş isterse yerinde dökme döşemeler olsun bütün yapılara montajı çok kolaydır. Üretilmiş deprem yalıtım birimleri şantiye sahasında monte halde geldiklerinden ötürü yüklenici müteahhit firmaların yalnızca yalıtım birimlerini yerine yerleştirmesi gerekli olmaktadır.



Şekil 1.23: Deprem yalıtım birimlerinin farklı yerleşim yerleri (MEB, 2011).

Kauçuk esaslı deprem yalıtım birimlerinin temelinde deplasmana bağlı olarak yapının periyodunu artırma prensibi yatmaktadır. Buna göre yapının periyodu ne kadar artırılır ve uzatılırsa, yapıya gelecek olan deprem ivmesi o kadar azalacak ve sonuç olarak yapıya etkiyen deprem kuvveti azalmış olacaktır. Yalnız burada belirtildiği gibi periyodu uzatmak her zaman çözüm olmamaktadır. Yani deprem yalıtım birimlerinin kullanılmasının uygun olmayacağı bazı durumlar da mevcuttur. Buna göre bir yapının altında zayıf bir zemin bulunuyorsa, bu zeminin periyodu zaten uzun olmaktadır. Buna bağlı olarak yapıda deprem yalıtımı sistemi kullanıp yapının periyodunu artırmak tasarım açısından fazla bir fayda sağlamamaktadır, çünkü zemin periyodu ile yapının periyodu rezonans durumuna gelirse yapıda ciddi hasarlar meydana gelir. Bunun yanında çok katlı binalarda da deprem yalıtımı sistemlerinin tek başına kullanılması büyük faydalar sağlamaz, bunun nedeni de yine yüksek katlı binanın periyodunun zaten yüksek olmasıdır. Böyle durumlarda genellikle taban izolasyonunun yanında yapıda deprem damperleri kullanılarak deprem yalıtımı sağlanmış olacaktır. Ayrıca bitişik binalara da deprem yalıtımı sistemleri uygulanamaz, zira deprem sırasında yalıtım birimleri büyük yer değiştirmeler yapacağı için, binalar arasında belli boşluklar olmalıdır.

Kauçuk esaslı deprem yalıtım birimlerinin deplasman yapma yeteneklerine ve deprem yüküne bağlı olarak kuvvet- deplasman eğrileri çizilir ve sönüm kapasitesi bu eğriden hesaplanır. Bu eğriler kauçuğun özel davranışı nedeniyle histeretik bir şekil şeklinde ortaya çıkar ki buna histeretik eğri denmektedir (Şekil 1.24).



Şekil 1.24: Kauçuk esaslı bir yalıtım biriminin yük altında davranışını gösteren histeretik eğri (TBDY 2019).

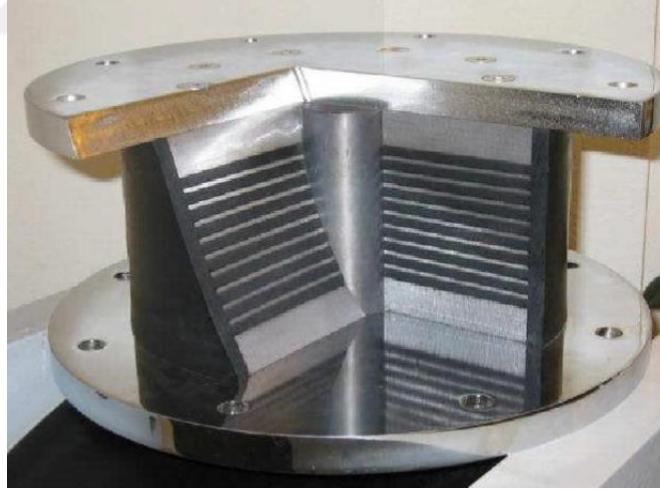
Kauçuk esaslı deprem yalıtım birimlerinin diğer genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kauçuk özelliği ve alanı değiştirilmediği müddetçe her bir kauçuk katmanın kalınlığının azaltılması halinde, yalıtım biriminin düşeyde yük taşıma kapasitesi artmaktadır.
- Düşeyde rijitliği sağlayan iç çelik plakalar, yatayda kauçuğun davranışını hemen hemen hiç etkilememektedir.
- Kauçuk iç katman sayısı arttıkça yatayda ötelenme ve dönme hareketlerine karşı dayanım azalmaktadır.
- Tasarımının esas alındığı standarda göre değişmekle birlikte genellikle çapları 1200 mm'yi geçmemektedir.
- Bir kauçuk deprem yalıtım biriminin yataydaki hareket kapasitesi kauçuk kalınlığına bağlı olduğu için, yalıtım biriminden talep edilen deplasman miktarı arttıkça yalıtım biriminin kalınlığının artırılması gerekmektedir. Bu da yalıtım biriminde burkulma problemlerine yol açabilir, bunu önlemek için yalıtım birimi ebatlarının artırılması gerekmektedir.
- Çok düşük veya çok yüksek sıcaklıklarda da istenen performansı sağlayabilmektedirler, bunun için sıcaklık testleri ve yaşlandırma testleri yapılmaktadır.

- Bakım gerektirmemektedir, genellikle yalnızca büyük depremlerden sonra bu tip yalıtım birimleri incelenip gerekirse yenisi ile değiştirilmektedir. Tasarımları, yalıtım birimi değişimi öngörülerek yapıldığı için bu işlem çok zor olmamaktadır.

1.4.1.1 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri (LRB)

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi Yeni Zelanda'da William Robinson tarafından 1975 yılında icat edilmiştir. Ardından Yeni Zelanda, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Çin gibi ülkelerde de yaygın olarak kullanılmıştır. Bu tip yalıtım birimleri, düşük sönüm kapasitesine sahip elastomer katmanların ortasına ekstra rijitlik, uniform şekil değiştirme ve sönüm özelliği kazandırmak adına bir veya birden fazla kurşun çekirdek saplanan mesnet tipidir (Şekil 1.25). Kurşun çekirdeğin boyutları özellikle başlangıç rijitliğine ve yalıtım birimine gelen yükün büyüklüğüne göre sistemin ihtiyaç duyduğu şekilde belirlenir. Kurşun, enerji sönümleme özelliği sayesinde yalıtım biriminin yatay hareket miktarını azaltır ve sistem prensip olarak histeretik sönümleyici elemanlar gibi davranır. Bu nedenle yalıtım biriminin kuvvet-yer değiştirme davranışının doğrusal olmamasına sebep olmaktadır.

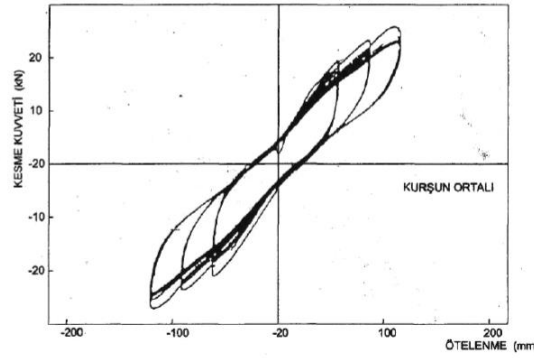


Şekil 1.25: Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti (LRB) (Özpalanlar, 2004).

Daha açık şekilde, kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin içindeki çelik levhalar herhangi bir yatay yükün etkisiyle kurşun çekirdeği kayma sırasında şekil değiştirmeye zorlamaktadırlar. Dikkat edilmesi gereken yalıtım biriminin içindeki kurşunun en az %99 saflıkta olmasıdır. Kurşun çekirdek zorlamanın etkisiyle 10 MPa civarında akmaya başlar ve doğrusal olmayan davranış da gerçekleştirebilir (Şekil 1.26).

Sistem servis durumunda düşeyde ve yatayda rijit bir davranış gösterir. Gelen yanal kuvvetler genellikle kurşunun akmasına neden olacak kadar fazla değildir. Diğer yandan deprem durumunda ise gelen yanal kuvvet neticesinde kurşun akar ve yatay rijitlik önemli derecede azalır. Deprem yalıtım birimi büyük depremler neticesinde yüksek yer değiştirmeler yaptıkça kurşun çekirdeğin yapmış olduğu plastik deformasyonlar ile enerjiyi sönmü. Genellikle bu tip deprem yalıtım birimlerinin yapmış olduğu viskoz sönmüm %15-30 arası değişmektedir.

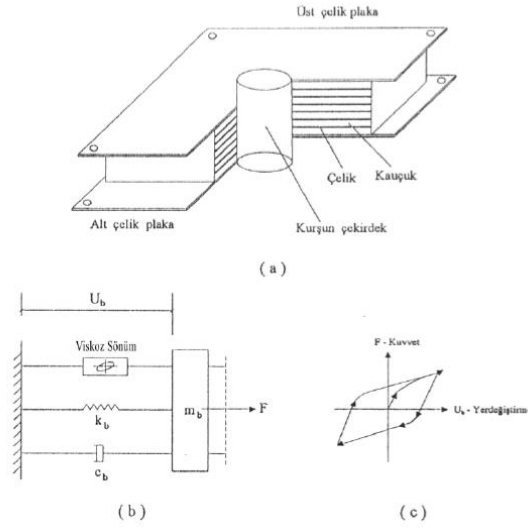
Elastomer yalıtım birimlerinin sönmümlendirdiği enerji miktarı, yükleme esnasındaki ve yüklemenin kaldırılması ile oluşan elips biçimli döngüsel alana eşittir. Her bir çevrimde, kinetik enerji ısı enerjisine çevrilir ve sönmümlendirilir. % 100-250 arasında bir birim uzamaya kadar doğrusal bir davranış sergileyen kauçuğun çok düşük kayma modülü sayesinde yatay esnekliğe kolayca ulaşabilmektedir (Ryan ve diğ., 2005, s.131).



Şekil 1.26: Kurşun çekirdekli bir kauçuk yalıtım birimine ait histeritik eğri (Bayülke, 2002).

Bu tip deprem yalıtım birimlerinin avantajları; düşey yükler altında rijit, yatayda ise esnet davranış göstermeleri ve gerekli sönmüm için ekstra bir sisteme gerek duyulmaması, tasarım verilerine göre ve şartlara bağlı kalmak kaydıyla istenildiği gibi tasarlanabilmesi, 10 MPa gibi düşük gerilmeler altında akmanın sağlanabilmesi ve tekrarlı yüklerde metal yorgunluğuna dirençli olabilmesi sayılabilir. Dezavantaj olarak ise, büyük deprem sonrası kurşun çekirdekte herhangi bir problemin olup olmadığını yalnızca yalıtım biriminin yerinden alınıp kontrol edilmesi vasıtasıyla sağlanabilmesi sayılabilir. Bu işlem de yapının kaldırılması ile mümkün olacağından dolayı ek bir maliyet ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca kurşun, insan sağlığını olumsuz etkilediği için kimi üreticiler kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin kullanımını eleştirmektedir.

Bu deprem yalıtım birimi tipinin kesiti, şematik modeli ve doğrusal olmayan davranışına ait histeretik eğri Şekil 1.27’deki gibidir.



Şekil 1.27: a. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti, b. Şematik gösterimi, c. Davranışa ait eğrisi (Özpalanlar, 2004).

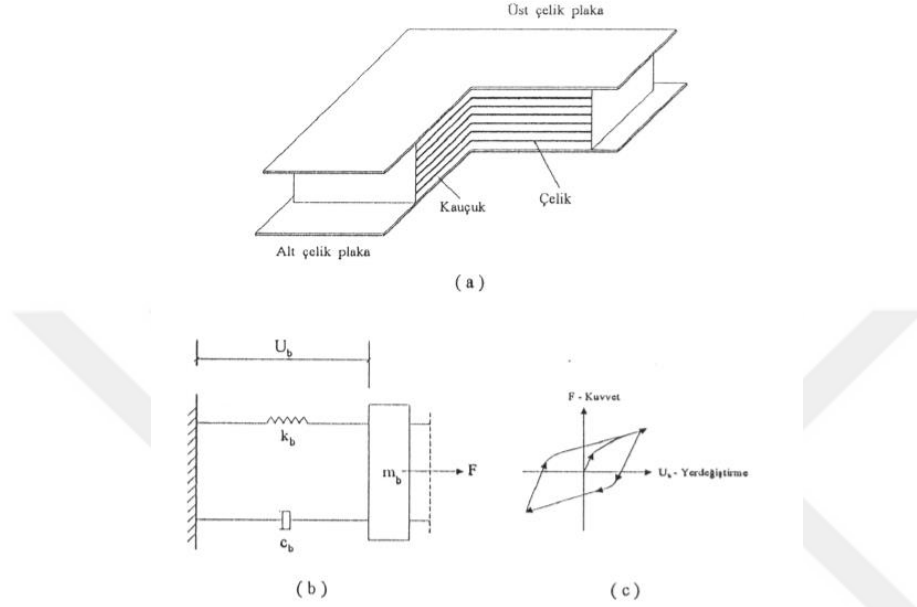
1.4.1.2 Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimleri (HDRB)

İngiliz kurumu olan “Malaysian Rubber Producers’ Research Association (MRPRA)” tarafından 1982 yılında deprem yalıtımının temelinde var olan sönüm ihtiyacını ek elemanlar kullanmadan sağlamak amacıyla geliştirilen bir deprem yalıtım birimi türüdür. Doğal kauçuktan üretilen bu yalıtım birimi türüne ekstra saf karbon bloklar, yağ veya reçineler ve diğer özel kimyasal dolgu malzemeleri eklenerek sönümün artırılması sağlanmıştır. %100 kayma şekil değiştirmesi durumunda sönümü %10-20 mertebelerine çıkararak büyük bir başarı sağlanmış ve bu tip deprem yalıtım birimlerinin kullanımının yaygınlaşmasına neden olmuştur (Şekil 1.28).



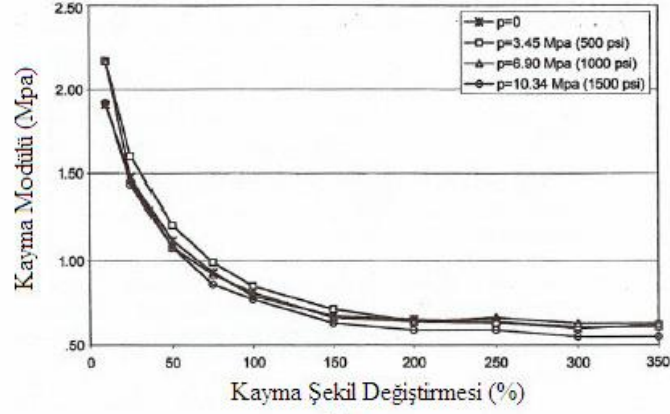
Şekil 1.28: Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimi (HDRB) (Mageba, İsviçre).

Üretim yöntemi kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri (LRB) ile aynıdır. Kauçuk katmanların ince çelik plakalara vulkanizasyonu işlemiyle üretilirler. Fark olarak LRB'lerde bulunan kurşun çekirdek yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimlerinde bulunmadığından ötürü, yalıtım biriminin ortasında kurşun için bırakılan bir boşluk yoktur (Şekil 1.29)

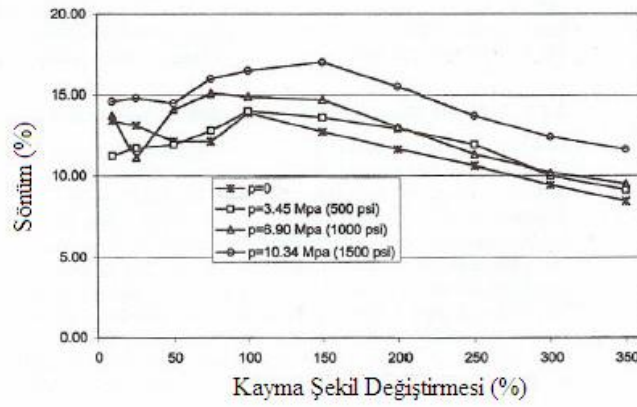


Şekil 1.29: a. Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimi kesiti, b. Şematik gösterimi, c. Davranışa ait eğrisi (Özpalanlar, 2004).

Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimleri %20'ye kadar kayma şekil değiştirmelerinde doğrusal olmayan bir davranış göstermektedirler. Bunun sonucunda rüzgar, hafif büyüklükte bir deprem vb. etkenlerden ötürü meydana gelen yanal yüklerin etkilerini en aza indirecek şekilde yüksek rijitlik ve sönüme sahiptir. %20 ila %120 arasındaki kayma şekil değiştirme oranlarında kayma modülü düşük ve yaklaşık olarak sabit, daha büyük kayma şekil değiştirmelerinde ise, birim şekil değiştirme kristalizasyonu işlemine bağlı olarak kayma modülünde artış görülmektedir (Şekil 1.30). Bunun yanında sönümde de artış meydana gelmektedir. Sonuç olarak düşük düzeydeki depremlerde rijit tasarım, tasarım düzeyindeki depremlerde doğrusal elastik tasarım ve tasarım depreminden daha büyük beklenmedik deprem etkilerinde ise yer değiştirmeleri sınırlandırabilecek tasarım sistemleri uygulanmalıdır.



(a)

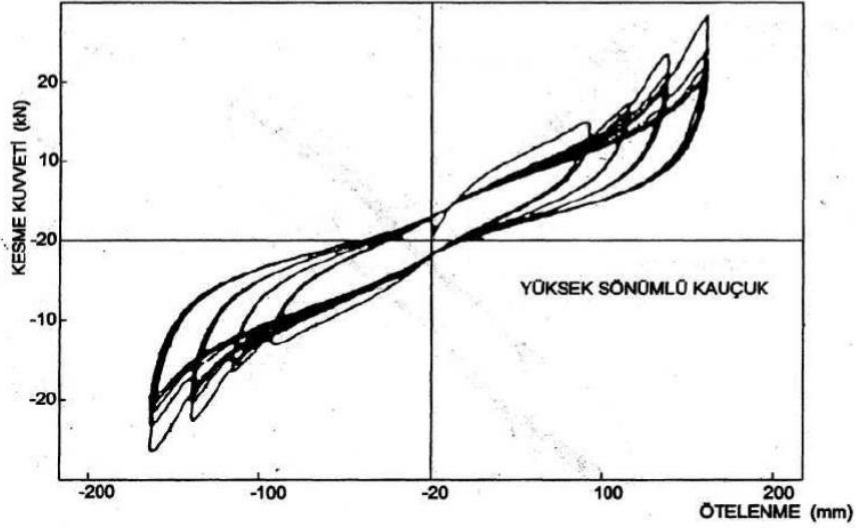


(b)

Şekil 1.30: Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimlerinin, a. Kayma modülü-kayma şekil değışirnesi, b. Sönüm- kayma şekil değışirnesi grafikleri (Naeim ve Kelly, 1999).

Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimlerindeki sönüm, ne viskoz ne de histeretik karakterli olmayıp, ikisinin arasında değır almaktadır. Doğrusal viskoz bir elemandaki sönüm, yer değışirme durumunda kuadrattır. Öte yandan histeretik bir sistemdeki sönüm ise yer değışirme durumunda doğrusal olma eğiliminde bir davranış göstermektedir.

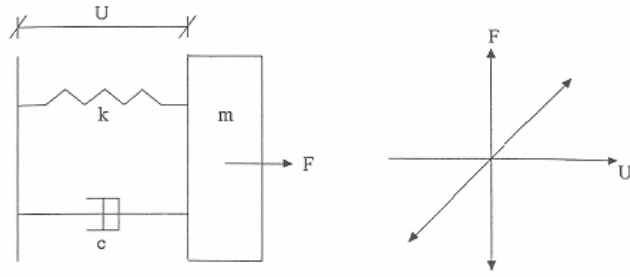
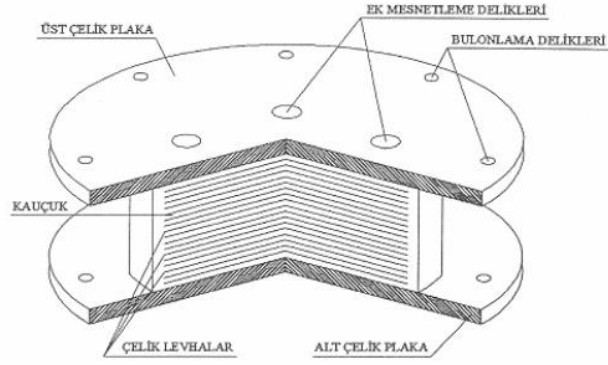
Yüksek sönümlü bir kauçuk deprem yalıtım biriminin enerji sönümleme mekanizması, hem küçük hem de büyük şekil değışirmeler için eldesi mümkündür, ayrıca değışken değildir ve düzgün bir elips eğrisi şeklinde karakterize edilir (Yoshida ve diğ., 2004, s.130). Şekil 1.31'de yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimine ait histeretik döngü verilmiştir.



Şekil 1.31: Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimlerine ait kuvvet- yer değiştirme grafiği (Bayülke, 2002).

1.4.1.3 Düşük sönümlü elastomer yalıtım birimleri (LDRB)

Düşük sönümlü elastomer yalıtım birimleri yine kauçuk katmanlar ve iç çelik plakaların birbirlerine basınç altında sıcaklığın etkisi ile belli bir sürede vulkanize olmasıyla üretilen, yapı ile birleşim bağlantısı biçimine bağlı olarak üstünde ve altında kalın vulkanize plakalar bulunabilen yapı elemanlarıdır. Genellikle doğal kauçuk veya sentetik neopren kauçuktan üretilirler. Düşey yükü çelik plakalar sayesinde alt yapıya üniform olacak şekilde düzgün olarak aktarırlar, ayrıca çelik plakalar yalıtım biriminin burkulmasını da önlemeye yardımcı olur. Öte yandan bu çelik plakaların yanal ötelenme hareketinde bir etkisi bulunmadığından dolayı kauçuğun elastiklik yeteneği sayesinde gerekli şekil değiştirme yapılmış olur. Düşey rijitlikleri, yatay rijitliklerine oranla çok büyüktür. Yatay rijitlik kauçuk tabakaların toplam kalınlığına bağlı olduğundan dolayı, fazla yer değiştirme talebi bulunan durumlarda yalıtım birimleri çok kalın olmaktadır, bu da burkulmaya neden olabileceğinden ötürü, toplam kalınlığı genellikle çapının yarısından az olmalıdır. Kayma durumunda malzeme davranışı %100'ün üzerindeki kayma birim şekil değiştirmelerine kadar oldukça doğrusaldır. Ancak bu tip yalıtım birimlerinin sönüm kabiliyetleri çok azdır, yaklaşık olarak %3-4 sönüm miktarına sahip olmaktadır. Bu yüzden bu tip mesnetleri kullanıp bunun yanında sistemde deprem yalıtımı da sağlanmak isteniyorsa, ek sönüm elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 1.32'de düşük sönümlü elastomer yalıtım birimlerine ait kesiti, şematik gösterimi ve kuvvet- yer değiştirme davranışı verilmiştir.



Şekil 1.32: Düşük sönümlü elastomer yalıtım birimlerine ait kesit, şematik gösterim ve kuvvet- yer değiştirme grafiği (Ayhan, 2006).

Düşük sönümlü elastomer yalıtım birimlerinin avantajları; kolay imal edilebiliyor olmaları, modellenmesi ve tasarımının kolay olması, ayrıca mekanik davranışının hız, sıcaklık ve zamanla eskime gibi faktörlerden etkilenmemesi olarak sayılabilir. En büyük dezavantajı ise daha önce de belirtildiği gibi viskoz sönümleyiciler, çelik çubuklar, sürtünmeli aletler vb. ek sönüm elemanlarına ihtiyaç duyulmasıdır. Bu ek sönümleyici sistemler de çok karmaşık bağlantılar gerektirmekte, metalik sönümleyiciler durumunda ise kısa sürede yıpranıp genellikle yorulma tipi hasar görmektedirler.

Bu tip yalıtım birimleri, kauçuk esaslı yalıtım birimlerinin genel özelliği ile ilgili olarak yatay yük ortadan kalktıktan sonra merkezlenebilme kapasitesine sahiptir ki bu da yüklerde eksantrikliğın oluşmaması adına önemli bir faktördür.

Düşük sönümlü elastomer yalıtım birimleri özellikle Japonya'da çok sık kullanılmakta iken, daha sonra teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak yerlerini ek sönüm elemanlarına ihtiyaç duyulmayan kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri ve yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimlerine bırakmıştır, yani deprem bölgelerinde genellikle tercih edilmezler.



2 KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK YALITIM BİRİMLERİNİN TASARIMI VE ÜRETİMİ

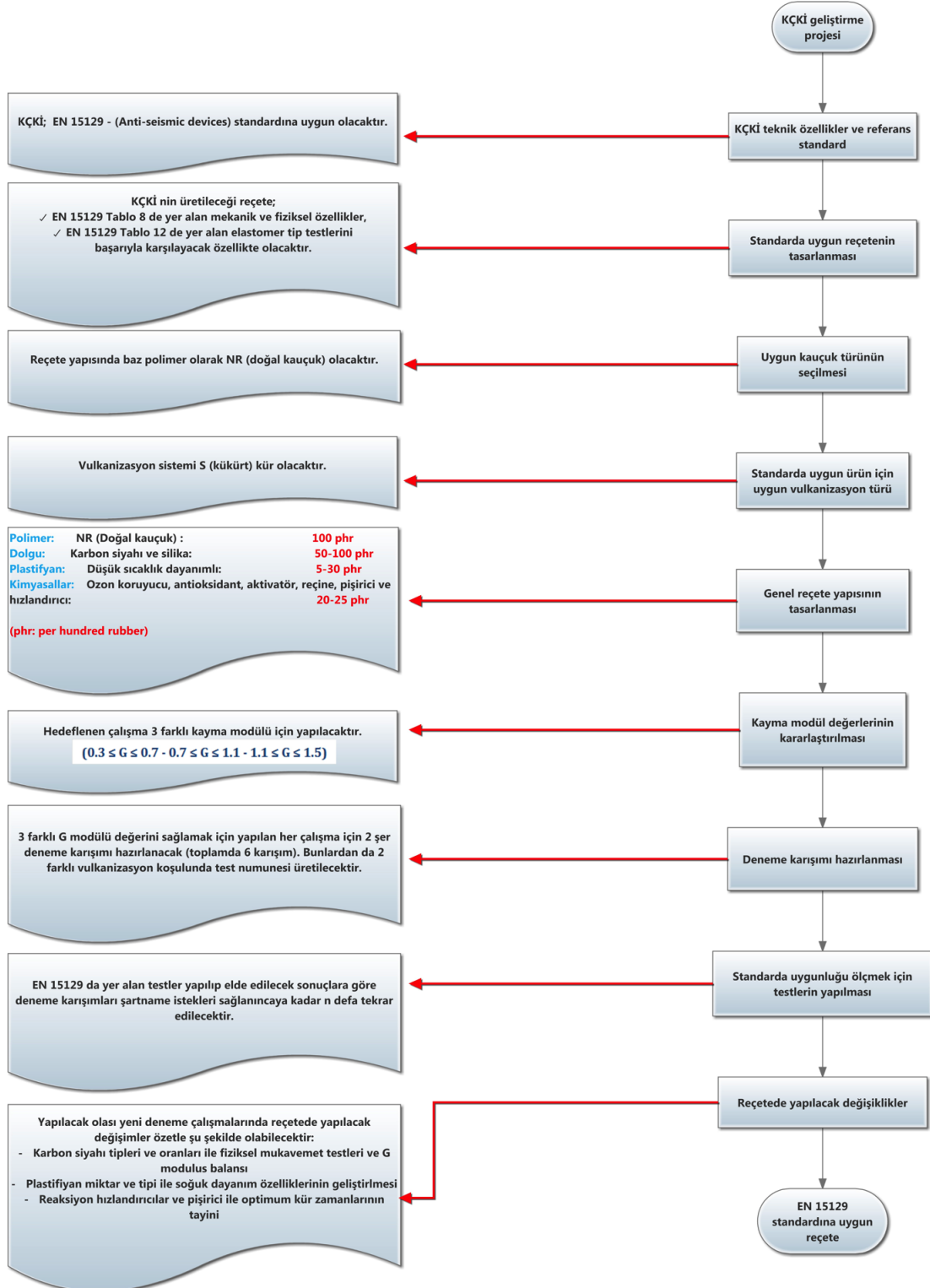
Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin proje yüklerine göre modellenip tasarlanmasının yanında üretimi için belli bir tecrübe ve AR-GE gereklidir. Kauçuk malzemesi genellikle doğrusal olmayan davranışa sahip bir malzeme olduğundan dolayı, karışım reçetesinde yapılacak olan en ufak bir değişiklik, hamurdan istenen performansın sağlanamamasına yol açabilmektedir. Tecrübeler gösteriyor ki; kauçuk hamurunda kullanılan en temel bileşenlerden biri olan karbon siyahının farklı bir tedarikçiden farklı marka olarak alınması, hamurun performansını değiştirmekte ve son ürünün davranışlarını etkilemektedir. Bunun için modellenen bir kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım biriminin istenen performansları sağlayabilmesi, uygun kauçuk karışımının da tasarlanması ile başlamaktadır. Bu nedenle San-Tez Projesi kapsamında Avrupa uygunluk onayı (CE) belgesi alabilmek adına EN 15129 (Anti-seismic devices) standardındaki Tablo- 8’de bulunan kauçuğun gereksinimlerinin sağlanması gerekmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: EN 15129 Tablo 8’de istenen ve sağlanması gerekli deprem yalıtım birimi kauçuk malzemesine ait mekanik özellikler.

Özellik	Gereksinim			Test metodu
	0,3 < G < 0,7	0,7 < G < 1,1	1,1 < G < 1,5	
Shear Modulus (MPa)				
Kopma mukavemeti (MPa) min.		16		ISO 37 Type 2
Plaka		14		
Ürün				
Kopma anında uzama (%) min.				-
Plaka	450	425	350	
Ürün	400	375	300	
Yırtılma direnci (kN/m) min.	5	8	10	ISO 34 Method A
Kalıcı deformasyon (%) 70°C - 24 h max.	30	30	30	ISO 815 Type A %25 sıkıştırma
Ozon direnci Uzama 30%; 96 h; 40 ± 2 °C; 25 pphm	Çatlak olmamalı	Çatlak olmamalı	Çatlak olmamalı	ISO 1431-1
Isı dayanımı (70 °C - 7 gün) Başlangıç değerine göre max. değ.				ISO 188 Metod A
Sertlik (IRHD)	-5; +8	-5; +8	-5; +8	ISO 48
Kopma mukavemeti (%)	± 15	± 15	± 15	ISO 37 Type 2
Kopma anında uzama (%)	± 25	± 26	± 27	-

Bunun dışında San-Tez Projesi için kauçuk karışımın tasarımı ile ilgili izlenen yöntem Şekil 2.1'deki gibidir.

KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK İZOLATÖR (KÇKİ) REÇETE TASARIM



Şekil 2.1: Kauçuk karışımın tasarım süreci.

Kauçuk karışımının standarda uygun olarak hazırlanması, kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin istenen performansı sağlayacağı manasına gelmemektedir. Bunun için proje kapsamında birçok farklı karışım hazırlanmış ve hazırlanan karışımlar ile deprem yalıtım birimleri üretilmiştir. Deprem yalıtım birimlerinin testleri neticesinde elde edilen değerler kauçuk karışımında yapılması gereken değişikliklere ışık tutmuş olup, gerekli sonuçlar alınana kadar testler tekrarlanmıştır. Test sonuçları ile ilgili değerlendirmelere ilerleyen bölümlerde değinilecektir.

2.1 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtım Birimlerinin Tasarımı

2.1.1 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin fiziksel özellikleri

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri düşey yük altında yeterince rijit, yanal yükler altında ise yeterince esnek olmalıdır. Deprem yalıtım birimi özellikleri, elemanın geometrisine ve kullanılan elastomer malzemenin uygun seçimi ile kontrol edilebilir. Deprem yalıtım birimleri, standartlarda uygun görülen güvenlik faktörleri ile maksimum yatay yer değiştirmeler göz önünde tutularak talep edilen yükleri taşıyabilecek nitelikte tasarlanmalıdır. Deprem yalıtım biriminin yer değiştirmesine bağlı olarak maksimum durumda dahi düşey yükü üniform şekilde alt yapıya düzgünce aktarabilmelidir. Düşeyde rijitliği sağlayan elemanlar iç çelik plakalardır ve bu iç çelik plakaların kalınlığına ve adedine bağlı olarak deprem yalıtım biriminin düşeydeki rijitliği değişir. Ara kauçuk katmanların kalınlığı azaldıkça düşeydeki rijitlik artar, böylelikle düşeyde yük taşıma kapasitesi de artar.

Deprem yalıtım biriminin yüksekliğini belirleyen parametre, büyük oranda yatayda talep edilen yer değiştirme değeridir. Zira deprem yalıtım biriminin yataydaki yer değiştirme kapasitesi de kauçuk katman kalınlığına bağlı olarak değişir. Yalıtım biriminin ortasında bulunan kurşun gövde çapı küçük yükler için gereken başlangıç rijitliğine göre belirlenir. Kurşun çekirdeğin alanı küçük yatay yükler için gövdenin akma sınır gerilmesine ulaşmadan yatay kuvvetleri güvenle aktarabilecek düzeyde olmalıdır. Bahsedilen akma seviyesi genellikle yapının ağırlığının %5'i olarak tanımlanabilir. Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimlerinin çapı, akma dayanımı olmaksızın küçük yatay yükleri aktarabilecek şekilde aynı yöntemle seçilebilir (Yoshida ve diğ., 2004). Ayrıca yalıtım birimlerinin boyutları ve yeri yapının burulmasını önleyecek şekilde olmalıdır. Bu, deprem yalıtım birimi

sisteminin rijitlik merkezi ile üst yapının kütle merkezini çakıştırmak suretiyle gerçekleştirilebilir.

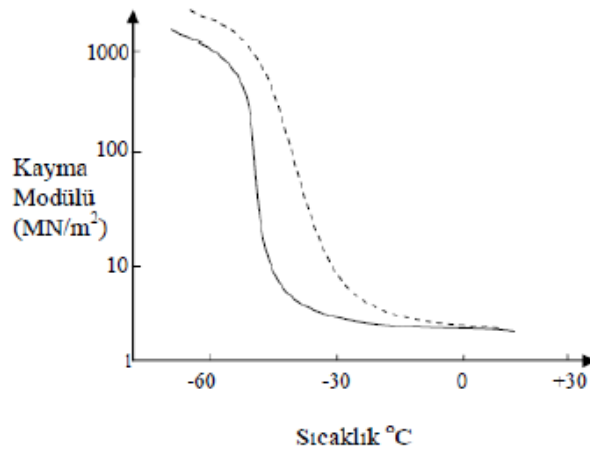
Deprem yalıtım biriminin mekanik ve sönüm özellikleri, yapının servis ömrü boyunca sabit olmalı ve değişmemelidir. Bu nedenle herhangi bir deprem sonrası yalıtım birimlerinin aynı özellikleri sağlayabilmesi adına gerekli ise yalıtım birimleri değiştirilmelidir böylelikle sistem projedeki tasarımı gibi çalışmaya devam eder. Deprem yalıtım birimleri yıllar boyunca aynı özelliklerde çalışabilmesi için dış etkenlerden iyi korunması gereklidir. Bu nedenle yalıtım birimi dış yüzeyden örten dış kauçuk katman, dış çevresel etkilerden korumaya yardımcı olmalıdır.

Kauçuk deprem yalıtım birimlerinin uzun yıllar düzgün şekilde çalışabilmesinin önüne engel olarak yaşlanma problemi önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan testlerde yaşlanmadan kaynaklı yalıtım birimlerinde sertleşme yani rijitlik artışı gözlemlenmiştir. Bu nedenle standartlarda yaşlandırma testlerinin önemi daha çok anlaşılmıştır. Yine de yaşlanmadan kaynaklı sertleşmelerin üst yapıya aktarılan yükleri önemli ölçüde artırmadığı görülmüştür. Ancak buradan “yaşlandırma testlerinin yapılmasına gerek yok” manası çıkarılmamalıdır, zira zamanın etkisi ile yaşlanmadan kaynaklı ek yükler tehlikeli düzeylere gelebilir ve yapıda hasarlara sebep olabilir.

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri genellikle doğal kauçuktan üretilirler. Doğal kauçuk (NR) ve sentetik neopren kauçuk (CR) çok iyi bilinen malzemelerdir ve köprü mesnetlerinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bir elastomerin fiziksel ve mekanik özelliklerini, elastomerin kimyasal bileşimi ve üretim işlevi belirler. Bahsi geçen kimyasal bileşim, vulkanizasyon sırasında ortaya çıkan rastgele dizilmiş uzun moleküler zincirler ve bu zincirlerin arasında oluşan çapraz bağlardan oluşmaktadır. Uzun moleküler zincirler kuvvetli kovalent çapraz bağlar ve zayıf Van der Waals bağları ile bir arada tutulurlar. Van der Waals bağları elektronların rastgele dağılımından, kovalent çapraz bağlar ise atomlar arası elektronların paylaşımından oluşmaktadır. Elastomer deforme oldukça moleküller sıralanma eğilimi göstererek malzemenin entropisini değiştirir ki entropideki bu değişim elastomerin yüksek süneklik özelliği kazanmasını sağlar. Deprem yalıtım birimlerindeki geri döndürücü kuvvet, kayma ve elastisite modülleri temelde zincirlerin yeniden düzenlenmesi ve rastgele dizilime dönme eğiliminden kaynaklanır. Eğer yalıtım birimine üç eksenli bir yük uygulanırsa, zincirler arasında yeniden dizilim gerçekleşemez ve rijitlik

oldukça yüksek değerlere ulaşır. Bu nedenle kauçuğun hacim modülü kayma ve elastisite modüllerine göre çok büyüktür. Doğrusal olmamasına rağmen elastomerin davranışı, uygulanan yük kaldırıldığında başlangıç değerlerine ulaştığı ve özelliklerini yitirmediği için doğrusal olarak kabul edilebilir. Çok küçük yükler altında elastomer elastik sınırlar içinde kalırken, büyük yer değiştirmelere neden olacak olan yükler etkiğinde moleküler zincirler dizilimlerini değiştirir ve yüklenme yönünde hizaya girer.

Kauçuk esaslı yalıtım birimlerinin mekanik özellikleri sıcaklığa ve zamana bağlıdır ancak problem yaratacak seviyelere ulaşmaz. Genellikle rijitlik ve sönüm sıcaklık artışına paralel olarak düşüş eğilimi gösterirler. Düşük sıcaklıkta ise moleküller arası dizilimlerde meydana gelen kristalleşme tehlikesinden ötürü kauçukta sertleşmeler meydana gelir. Bu da rijitliğin artmasına vesile olur. Bu nedenle düşük sıcaklıkta meydana gelecek olan sertleşmeler kauçuk esaslı deprem yalıtım birimlerinin esneklik kabiliyetini ciddi anlamda sınırlandıracağından dolayı böyle bölgelerde çok fazla tercih edilmezler. Özellikle neopren kauçuk (CR) $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarda sertleşmekte, kimyasal yapısı neredeyse bir camın kırılabilirlik durumuna eşdeğer bir hal almaktadır. Buna karşılık doğal kauçuk (NR) bu duruma $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ulaşmaktadır (Komodromos, 2000). Şekil 2.2'de kauçuk esaslı yalıtım birimlerinin kayma modülünün sıcaklıkla değişimi grafiği verilmiştir. Düşük sıcaklıkta bu yalıtım birimleri, izole edilmiş yapılardan beklenen ve tahmin edilen deprem kuvvetlerini büyütme kaydıyla, ankrastrer mesnetli bir yapı davranışı göstererek üst yapıya bu yükleri aktarırlar.



Şekil 2.2: Kauçuk esaslı yalıtım birimlerinde kayma modülünün düşük sıcaklık değerlerindeki değişimi (Pınarbaşı, 2005).

Yukarıda bahsi geçen koşullara maruz kalan yalıtım birimlerindeki rijitlik artış miktarı aşağıdaki koşullara bağlıdır (Pınarbaşı, 2005).

- yükleme hızına,
- maruz kalma süresine,
- uygulanan gerilmeye,
- elastomer bileşimine,
- rijitlikteki artış miktarına.

Sıcaklık dışında kauçuk esaslı deprem yalıtım birimleri etkileyen bir diğer faktör de ozondur. Yalıtım birimlerinin dış katmanının ozona karşı dayanımı iyi olmalıdır. Zira hamurda ozona karşı direnç sağlayacak gerekli önlemler alınmaz ise, istenmeyen ozon çatlakları meydana gelebilir. Bu çatlaklar genellikle yalıtım biriminin mekanik davranışı esnasında arzu edilmeyen çekme gerilmelerinin meydana gelmesi sonucu oluşur. Ozon dışında yalıtım birimlerinin uygun çalışmasını etkileyebilecek diğer etkenler su, nem, yağ ve diğer çevresel tehlikeli etkiler olarak sayılabilir. Bu etkilere karşı yalıtım birimini koruyacak kalın dış bir katman kullanılması gereklidir. Bu dış katman ayrıca çelik iç plakaların da paslanmasını önlemeye yardımcı olur. Son olarak yapılan deneysel çalışmalar deprem yalıtım birimini çevreleyen dış kauçuk katmanının yalıtım birimlerinin yangına karşı dayanımını da artırdığını göstermiştir.

2.1.2 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin mekanik özellikleri

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri, özellikleri K_1 , K_2 ve Q parametrelerine dayanan doğrusal olmayan elemanlar olarak tasarlanıp modellenirler. K_1 elastik rijitliğinin ölçülmesi pek kolay değildir, bu nedenle K_2 rijitliğine bağlı olarak hesaplanmaktadır. K_2 rijitliği kurşunun akmasından sonraki elemanın rijitliği olup, kauçuğun kayma modülü ve deprem yalıtım birimi tasarımından kesin olarak hesaplanabilir. Q değeri ise karakteristik mukavemet olup, histeretik eğrinin kuvvet eksenini kestiği nokta olup, kurşunun akma gerilmesi ve kurşun çekirdek alanından hesaplanabilir.

Yalıtım sisteminde oluşan toplam kesme kuvvetinin, sistemin rijitlik merkezindeki görelî yer değiştirme değerine bölünmesiyle de yalıtım sisteminin etkin rijitliği bulunur. Etkin (efektif) rijitlik, yer değiştirmeye düzenli olarak azalır ve temel parametrelere bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$K_{\text{eff}} = K_2 + Q/D \quad D \geq D_y \quad (2.1)$$

Buradaki D_y akma yer değiştirmesidir. Sistemin doğal frekansı ω da aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\omega = \sqrt{(K_{\text{eff}}/W)} \quad (2.2)$$

$$= \sqrt{(\omega_0^2 + \mu * g/D)} \quad (2.3)$$

Burada verilen μ değeri Q / W değerine; ω_0^2 de $K_2 \times g / W$ değerine eşittir. Buna bağlı olarak yalıtım sisteminin etkin periyodu T ise;

$$T = 2 * \pi / \omega \quad (2.4)$$

$$= 2 * \pi / \sqrt{(\omega_0^2 + \mu * g/D)} \quad (2.5)$$

olmuş olur.

$D \geq D_y$ için etkin sönüm β_{eff} aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\beta_{\text{eff}} = \text{Histerezis eğrisinin alanı} / (2 * \pi * K_{\text{eff}} * D^2) \quad (2.6)$$

$$\beta_{\text{eff}} = 4 * F_y * D / (2 * \pi * K_{\text{eff}} * D^2) \quad (2.7)$$

Burada verilen sönüm ifadesinin paydada bulunan kısmı Jacobsen'in yaklaşımı ile aslında üçgen alanına tekabül eder, bu alan sayesinde elastik kısımdaki sönüm de yaklaşık olarak dikkate alınmış olunur.

2.1.3 Kurşun ekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin doğrusal olmayan davranışı ve bu davranışın doğrusallaştırılması

Kurşun ekirdekli kauçuk yalıtım birimleri doğrusal olmayan davranış gosteren deprem yalıtım birimlerinin en yaygın olan türlerindedir. Bu yalıtım birimleri doğrusal olmayan davranış yaparak çok etkin bir enerji dağıtım mekanizması olarak sistemde görev alırlar. Ancak bu doğrusal olmayan davranışı gerçekleştirebilmek için yalıtım birimlerine belli bir kuvvet etkimeli ve kurşunun akması sağlanmalıdır. Bu nedenle genellikle servis yükleri altında yatayda rijit bir davranış gosterirler. Bunun sonucunda da kütleli ivmelerin artmasına yol açabilecek yüksek mod etkilerinin ortaya çıkmasına da neden olabilirler. Böylece yapı tasarımında yapının taşıyıcı elemanlarına daha fazla yükün etkimesi gözlemlenebilir, bu nedenle tasarımcının sisteme etkiyebilecek beklenmedik yüklere karşı da önlem alması gerekmektedir.

Diğer taraftan kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin doğrusal olmayan davranışları başlangıç aşamasındaki tasarım amaçları doğrultusunda doğrusal davranışa dönüştürülebilir. Histeretik enerji sönmeye bağlı olan doğrusal olmayan davranışlar, sönmün bazı varsayımlarla doğrusallaştırılması sayesinde doğrusal davranışa dönüştürülür. Bu ancak, histeretik sönmeye karşılık denk bir viskoz sönmün tanımlanması ile sağlanır.

2.1.3.1 Doğrusal davranışın tanımlanmasında etkin rijitliğin rolü

Başlangıçtaki elastik rijitlik, kurşun çekirdeğin akma seviyesine kadar olan küçük yüklemeler için gerekli olan basınç rijitliğini sağlamaktadır.

$$K_{eff} = G_L * A_L / h_L + G_r * A_r / h_r, \quad K_r = G_r * A_r / h_r \quad (2.8)$$

Bu formülde bulunan;

G_L : Kurşunun kayma modülü

G_R : Kauçuğun kayma modülü

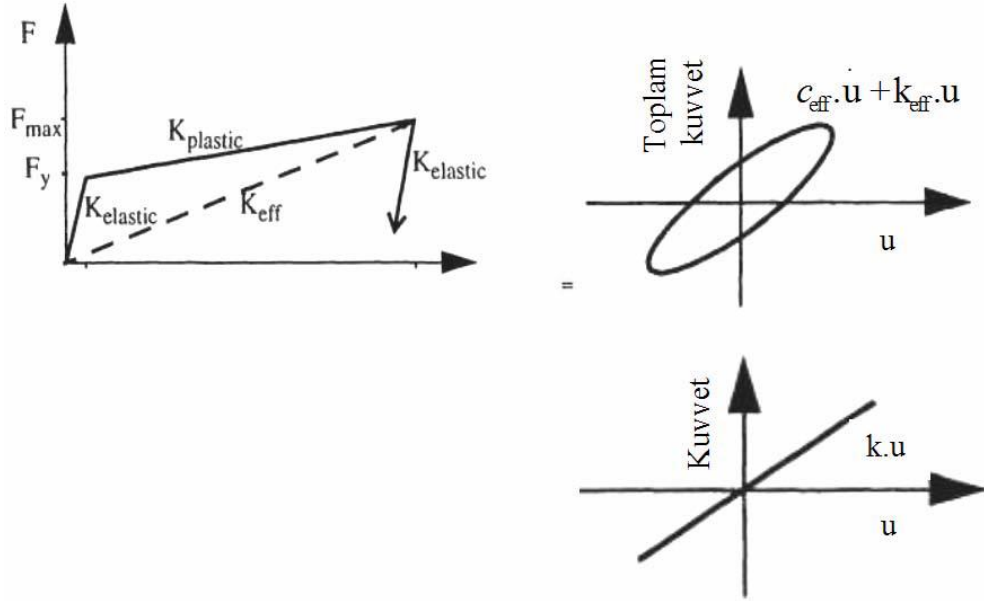
A_L : Kurşun çekirdeğin en kesit alanı

A_r : Kauçuk en kesit alanı

h_L : Kurşun çekirdeğin yüksekliği

h_r : Kauçuk katmanların toplam yüksekliği

Etkin rijitlik ve etkin sönm değerleri, doğrusal yaklaşımlı doğrusal elastik bir ön tasarım yapılmasına olanak tanır. Ancak bu iki parametre depremin büyüklüğüne, yapının deprem merkezinden uzaklığına vb. bağlı olarak sürekli değişebileceği için tasarımda yine de dikkat edilmesi gerekmektedir. Etkin rijitlik (K_{eff}) deprem yalıtım biriminin kuvvet deplasman eğrisinde, deplasmanın pozitif ve negatiflerinin maksimumlarının birleştirilmesi ile bulunabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Doğrusal olmayan sistemlerin doğrusallaştırılması (Komodromos, 2000).

Doğrusallaştırılma sonucunda etkin rijitlik aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$K_{eff} = [F_y + K_r \cdot (u_{max} - u_y)] / u_{max}, [F_y \cdot (1 - K_r / K_L) + K_r \cdot u_{max}] / u_{max} \quad (2.9)$$

Periyot da etkin rijitliğe bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmış olur;

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(M / K_{eff})} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{[(M \cdot u_{max}) / (F_y \cdot (1 - K_r / K_L) + K_r \cdot u_{max})]} \quad (2.10)$$

2.1.3.2 Doğrusal davranışın tanımlanmasında etkin sönümün rolü

Etkin viskoz sönüm, sistemin gerçekte var olan histeretik sönümüne eşit olan enerji olarak tanımlanabilir. Bu eşitleme sonucunda da denk sönüm katsayısı (β_{eff}) elde edilebilir. Ancak viskoz sönüm hızla, histeretik sönüm ise tersinir çevrimdeki yer değiştirmelere ve ısı enerjisine dönüştürülüp sönümlenen kinetik enerjiye bağlı olduğundan dolayı sönümlenen enerjileri eşleştirmek varsayımlara dayanmaktadır, bu durum pratikte yanlış sonuçlar verebilir.

Denk bir viskoz sönümün histeretik sönüm ile eşleştirilmesi birçok belirsizliği içinde barındırır. Birincil olarak, histeretik sönüm çevrimsel alana eşit olduğu için yer değiştirmenin büyüklüğüne bağımlıyken (sisteme giren deprem enerjisi ile doğru orantılı), viskoz sönüm hız ile doğru orantılıdır. Bununla birlikte, doğrusallaştırılma prosedürü periyodik olarak tam bir çevrimsel döngü üzerine kurulmuşken, bir depremde beklenen düzensiz ve karmaşık dalga hareketinden kaynaklanan minimum seviyede histeretik sönümüne sahip birçok küçük tersinir sönüm değeri, bu tür

durumlarda gerçekteki sönüm değeri üzerinde değerler verebilmektedir (Kelly, 2001).

Sonuç olarak sönümlerin eşleştirilmesi tam olarak %100 doğru bir yaklaşım olmamakla birlikte, yapıların başlangıç tasarımında kaba bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır.

2.1.4 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin tasarımında EN 15129 standardı yaklaşımı

Proje kapsamında temel amaçlardan bir tanesi Avrupa uygunluk belgesi (CE) almak olduğu için tasarımların EN 15129 “anti seismic devices” standardına uygun olarak yapılması gerekmekte idi. Bu nedenle kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin temel tasarım kurallarının yapılabilmesi amacıyla bir tasarım dosyası oluşturulmuştur, tasarım arayüzü Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’teki gibidir. Bu örnekte sönüm formülü standardı için tasarımın hazırlandığı tarihte henüz taslak aşamasında olduğu için yeni deprem yönetmeliğimiz TBDY 2017 olarak gösterilmiştir. Bu örnek Aykent Loft konut projesi kapsamında inşa edilmiş binanın konum olarak Bursa’da yapılması durumundaki deprem yüklerinin etkisine göre deprem yalıtım birimlerinin yeniden tasarlanmasına aittir. Bu projede 12 adet kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım birimi kullanılmıştır.

Çizelge 2.2: Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi tasarımı arayüzü (Veri Girdileri).

Veriler			Birim
Sismik ağırlık	W	8474	kN
Sönüm Formülü		TBDY2017	
Miktar		12	12
İzolatörün çapı		670	kN
Çelik plakaya yapışmış izolatörün çapı	B	650	mm
Kurşun çapı	B _L	75	mm
Elastomer katman kalınlığı	t	10	mm
Elastomer katman sayısı	n	40	
İç çelik plaka kalınlığı		2	mm
Alt başlık plakası		20	mm
Ankraj plakası		20	mm
Kauçuk kayma modülü	G	0,60	MPa
Kurşun akma dayanımı	τ_{yp}	9	MPa
Kurşun kayma modülü	G _p	150	MPa
İzolatör Özellikleri			
Toplam kauçuk yüksekliği	T _r	400	mm
Toplam yükseklik	H	498	mm
Taban plakaları dahil toplam yükseklik		538	mm
Çelik plakaya yapışmış net alan	A _r	327413	mm ²
Kurşun alanı	A _p	4418	mm ²
Çelik plakaya yapışan çevre		2042	mm
Şekil katsayısı	S	16,03	
Karakteristik dayanım	Q	40	kN
Akma kuvveti	F _y	52	kN
Elastik ötesi rijitlik	k ₂	491	kN/m
Elastik rijitlik	k ₁	4911	kN/m
Akma deplasmanı	D _y	10,50	mm
Kauçuk elastisite modülü	E ₀	2,4	MPa
Kauçuk sıkışma modülü	E _c	928	MPa
Düşey rijitlik modülü	E _v	634	MPa
Düşey rijitlik	k _v	518806	kN/m
Sistem düşey rijitliği		6225666	kN/m
Düşey periyot		0,074	s
Yükler			
En büyük statik eksenel yük (1.4G+1.6Q)	P _{K1}	1447	kN
Depremlilikte en büyük eksenel yük (1.2G+Q+E)	P _{K2}	2546	kN

Görüldüğü üzere örnekte verilen tasarım arayüzünde kayma modülü 0,60 MPa olan bir kauçuk hamuru kullanılmış olup 670 mm çapında bir deprem yalıtım birimi ve 75 mm çapında bir kurşun çekirdek seçilmiş ve buna istinaden de belirlenen yüklere göre hesap kontrolleri yapılmıştır.

Çizelge 2.3: Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi tasarımı arayüzü (Hesap Kontrolleri).

Statik Yükleme Altında Elastomer Malzemedeki Kayma Birim Şekil Değişirmesi			
Düşey yüklemekten meydana gelen birim şekil değiştirme	$\gamma_{c,st}$	0,46	<3.5
Yanal yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekil değiştirme	$\gamma_{s,st}$	0,06	
Görelî dönmeden meydana gelen birim şekil değiştirme	$\gamma_{r,st}$	0,26	
Sınır kontrolü ($\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st}$)		0,78	<5
Tasarım Depreminde Kayma Birim Şekil Değişirme Kontrolü			
Tasarım depreminde meydana gelen deplasman	Δ_{DBE}	80	
Azaltılmış alan hesabında kullanılan parametre	δ	2,89	
Azaltılmış alan	A_{re}	276235	mm ²
Tasarım depreminde düşey yüklemekten meydana gelen birim şekil değiştirme	$\gamma_{c,E}$	0,96	
Tasarım depreminde yanal yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekil değiştirme	$\gamma_{s,E}$	0,20	<2
Sınır kontrolü ($\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st}$)		1,29	<6
Oluşabilecek En Büyük Depremde Kayma Birim Şekil Değişirme Kontrolü			
En büyük depremde meydana gelen deplasman	Δ_{MCE}	230	
Azaltılmış alan hesabında kullanılan parametre	δ	2,42	
Azaltılmış alan	A_{re}	183042	mm ²
Oluşabilecek en büyük depremde düşey yüklemekten meydana gelen birim şekil değiştirme	$\gamma_{c,E}$	1,44	
Oluşabilecek en büyük depremde yanal yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekil değiştirme	$\gamma_{s,E}$	0,58	<2
Sınır kontrolü ($\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st}$)		2,15	<6
Burkulma Kontrolü			
Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda burulma yükü	P_{cr}	5028	kN
Burkulma yük sınır kontrolü (P_{K1} için)	P_{cr} / P_{K1}	3,47	>2
Yatay yerdeğiştirme olduğu durumda burulma yükü	P_{cr}'	2811	kN
Burkulma yük sınır kontrolü (P_{K2} için)	P_{cr}' / P_{K2}	1,10	>1.1
Tasarım Depreminde Sismik Özellikler			
Kuvvet	F	86	kN
Etkin rijitlik	K_e	1071	kN/m
Sistem rijitliği		12852	kN/m
Sönüm oranı	β	0,26	kN
Sistem sönümü		0,257	
Etkin periyot	T	1,63	s
Kütle merkezindeki deplasman		80	mm
Taban kesme kuvvetinin sismik ağırlığa oranı	V/W	0,121	
Oluşabilecek En Büyük Depremdeki Sismik Özellikler			
Kuvvet	F	159	kN
Etkin rijitlik	K_e	693	kN/m
Sistem rijitliği		8314	kN/m
Sönüm oranı	β	0,15	kN
Sistem sönümü		0,152	
Etkin periyot	T	2,03	s
Kütle merkezindeki deplasman		230	mm
Taban kesme kuvvetinin sismik ağırlığa oranı	V/W	0,225	

EN 15129 standardı bölüm 8'de kauçuk deprem yalıtım birimlerinin tasarımına ait kurallar verilmiştir. EN 15129 genel olarak deprem durumlarını ele aldığından ötürü, EN 1337-3 (Structural Bearings- Elastomeric Bearings) yapısal mesnet standardına

da atıflarda bulunmaktadır. Deprem yalıtım birimleri servis yükleri altında EN 1337-3 standardındaki gereklilikleri sağlamak zorundadır. Deprem durumlarında ise aşağıdaki kontrollerin yapılması ve standardın gerekliliğine uygunluğunun sağlanması gerekmektedir.

2.1.4.1 Kayma birim şekil değiştirmesi kontrolü

EN 15129 standardında ilk olarak düşey yüklerden ötürü basınca bağlı tasarım kayma birim şekil değiştirmesine ait aşağıdaki formül verilmiştir;

$$\varepsilon_{c,E} = (6 \cdot S \cdot N_{Ed,max}) / (A_r \cdot E'_c) \quad (2.11)$$

Bu formülde verilen $N_{Ed,max}$ maksimum düşey yük; A_r depremsel olmayan yükleme etkilerinden dolayı azaltılmış etkin plan alanı; S şekil faktörü; ve E'_c de basınç modülüdür. Kauçuk katmanların şekil faktörü (D' dairesel bir deprem yalıtım birimi için iç çelik plakaların çapı ve t_r kauçuk katman kalınlığı olmak üzere);

$$S = D' / (4 \cdot t_r) \quad (2.12)$$

Basınç modülünün hesaplanabilmesi için de kayma modülü ve şekil faktörüne bağlı aşağıdaki formül kullanılır;

$$E'_c = 3 \cdot G \cdot (1 + 2 \cdot S^2) \quad (2.13)$$

Basınca bağlı kayma birim şekil değiştirmesi dışında deprem yüklerinden ötürü yatay birim şekil değiştirme de hesaplanmalıdır ki kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin tasarımında en önemli bölümlerden biri burasıdır;

$$\varepsilon_{q,E} = d_{bd} / T_q \quad (2.14)$$

Formülde verilen d_{bd} deprem etkisine bağlı olarak gerçekleşecek maksimum yatay hareket miktarı, T_q kauçuk katmanların toplam kalınlığıdır. Burada dikkat edilmesi gereken maksimum kayma birim şekil değiştirmesinin 2,5'tan büyük olamayacağı kuralıdır. Sismik olmayan durumlarda da maksimum servis hareket miktarının toplam kauçuk katman kalınlığına oranının 1'i geçmemesi gereklidir.

Açısal dönmeye bağlı olarak da yatayda birim şekil değiştirme meydana gelecektir bunun hesaplanabilmesi için de aşağıdaki formül kullanılmalıdır;

$$\varepsilon_{a,d} = [(a^2 \cdot \alpha_{a,d} + b^2 \cdot \alpha_{b,d}) \cdot t_i] / [2 \cdot \Sigma(t_i^3)] \quad (2.15)$$

Bu formüldeki α değerleri yalıtım biriminin o yönünde yaptığı maksimum açısız dönme ifade etmektedir, t_i ise kauçuk katman kalınlığıdır.

Sonuç olarak tüm bu birim şekil değiştirmeler toplanmalı ve toplam yatay birim şekil değiştirmesi hesaplanmalıdır. Hesaplanacak değer $7/\gamma_m$ değerinden küçük veya eşit olması gerekecektir. Burada bahsedilen γ_m elastomer malzeme için bir faktördür ve 1 olarak alınması önerilir.

$$\varepsilon_{t,d} = K_L * (\varepsilon_{c,E} + \varepsilon_{q,max} + \varepsilon_{a,d}) \quad (2.16)$$

K_L yükleme faktörüdür ve tasarımcının isteğine bağlı olarak canlı yükler ve rüzgar yükleri için ayrı ayrı kullanılabilmenin yanında, 1 olarak da alınabilir.

2.1.4.2 Stabilite kontrolü

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin tasarımında çok büyük önem arz eden bir diğer parametre yalıtım biriminin stabilitesidir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$P_{cr} = (\lambda * G * A_r * a' * S) / T_q \quad (2.17)$$

Bu formül şekil faktörü 5'ten büyük olan deprem yalıtım birimlerinde kullanılır. λ değeri dikdörtgen yalıtım birimleri için 1,3; dairesel olanlar için 1,1 olarak kullanılmalıdır. a' değeri ise yalıtım birimi dikdörtgen ise dikdörtgenin kısa kenarının etkin değeri, dairesel ise dairenin etkin çapıdır.

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri için stabilite kontrolü, kurşun çekirdek çapının en küçük plan genişliğinin %15'inden büyük olması durumunda göz ardı edilir. Deprem yalıtım biriminde birden fazla kurşun bulunuyorsa bu kurşunların alanına eşdeğer tek kurşunun çapı hesapta dikkate alınır. Eğer böyle bir durum bulunmuyorsa da denklem 2.17'de hesaplanan P_{cr} değeri aşağıdaki koşulları sağlamalıdır;

$P_{cr}/2 > N_{Ed,max} \geq P_{cr}/4$ durumu için;

$$1 - (2 * N_{Ed,max} / P_{cr}) \geq 0,7 * \delta \quad (2.18)$$

$N_{Ed,max} < P_{cr}/4$ durumu için;

$$\delta \leq 0,7 \quad (2.19)$$

Bu iki formülde de verilen δ değeri d_{Ed}/a' olarak tanımlanabilir.

2.1.4.3 Takviye plakalarının kontrolü

Deprem yalıtım birimlerinin içinde kauçuk katmanların arasında düşey yükü aktaracak olan takviye plakalarının kalınlıkları standarda göre eşit olmalı ve aşağıdaki şartları sağlamalıdır;

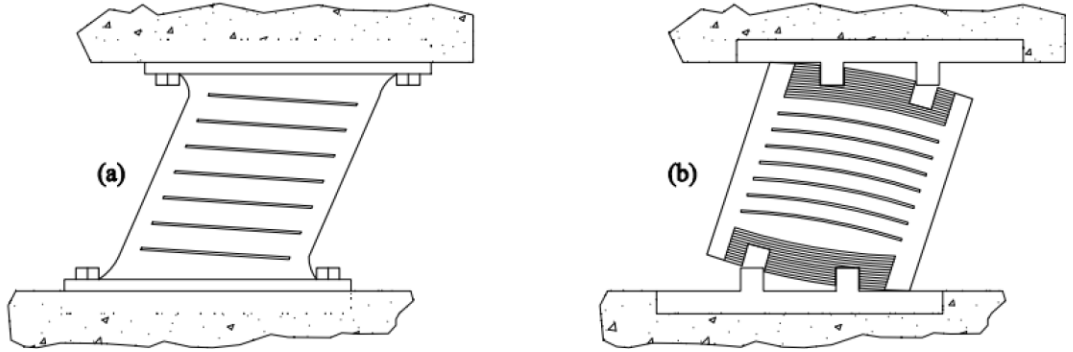
$$t_s = [K_p * F_{z,d} * (t_1 + t_2) * K_h * \gamma_m] / (A_r * f_y) \text{ ve } t_s \geq 2 \text{ mm} \quad (2.20)$$

Burada dikkat edilmesi gereken hususlardan birincisi A_r azaltılmış etkin alanın sismik olmayan durumdaki maksimum deplasmanlara göre hesaplanmasıdır.

K_h takviye plakalarında oluşacak olan çekme gerilmeleri dikkate almak için kullanılan bir katsayıdır ve kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri için yalnızca merkezde bir kurşun boşluğu olması durumunda 1, birden fazla boşluğun olması durumunda ise 2 olarak dikkate alınmalıdır. K_p ise gerilme düzeltme katsayısıdır ve 1,3 olarak hesaplarda kullanılmalıdır.

2.1.4.4 Yuvarlanma stabilitesi kontrolü

Şekil 2.4a'dakine benzer deprem yalıtım birimlerinin yapıya standart bağlantıları dışında, Şekil 2.4b'deki gibi farklı bağlantıların kullanılması halinde yuvarlanma kontrolü yapılmalıdır. Yuvarlanma stabilitesi kontrolü denklem 2.21'de verilmiştir.



Şekil 2.4: a. Standart bir deprem yalıtım birimi birleşimi, b. Yuvarlanma kontrolünün gerekli olduğu bir deprem yalıtım birimi bağlantısı (TBDY 2019).

$$d_{Ed} \leq (1/\gamma_R) * [(N_{Ed,min} * a') / (K_b * T_b + N_{Ed,min})] \quad (2.21)$$

$N_{Ed,min}$ deprem durumundaki minimum düşey yük, K_b maksimum test yer değiştirmesi için ölçülen yatay rijitlik değeri, T_b deprem yalıtım biriminin toplam yüksekliği, γ_R de 1,5 olarak alınması tavsiye edilen bir katsayıdır.

Bazı durumlarda $N_{Ed,min}$ çekme kuvveti olarak da görülebilir. Kauçuk deprem yalıtım birimlerinde $2G$ 'nin üzerine çıkılmadığı müddetçe çekme kuvvetinden kaynaklı büyük gerilmelere bağlı sorunlar meydana gelmez. Bu durum yalnızca yapı ile birleşimi çekme kuvvetini karşılamaya uygun olan yalıtım birimleri için geçerlidir.

2.2 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtım Birimlerinin Üretimi

2.2.1 Kauçuk karışımın (hamurun) hazırlanması

Kauçuk hamuru üretimi için kullanılan hammaddeler temel olarak; kauçuk, karbon siyahı, çeşitli yağlar ve katkı maddelerinden oluşur.

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin üretiminde mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle doğal kauçuk kullanılmaktadır. Doğal kauçuk hammaddesi Hevea Brasiliensis denen ağaçtan elde edilmektedir ve kauçuk özü ağaçtan toplanılarak kurutulur.

Karbon siyahı kauçuğun mukavemetini artıran hamurun temel bileşenlerindedir. Ayrıca ürünün siyah renk olmasının nedeni de bu maddedir. Kauçuğun dayanımını artırmak dışında malzemenin genel performansını da artırmak için kullanılmaktadır. Yağların kauçuk hamurunda kullanım amacı hamurun içinde malzemelerin iyi çözünmesini sağlamasıdır. Bunun yanında karışımın yumuşatıcısıdır ve karbon siyahının kırınımını sağlayarak hamurun sertliğinin de ayarlanmasında yardımcı olurlar.

Katkı maddeleri de pişirici, yumuşatıcı, proses kolaylaştırıcı, yaşlanmayı önleyici, aktivatörler, hızlandırıcılar ve daha birçokları olarak sayılabilir. Bunlar tamamen üretimin kolaylaşması ve de maliyetin azaltılmasına da katkı sağlayan kimyasallardır.

Kauçuk karışımı üretiminde ilk olarak üretilecek ürünün özelliklerini sağlaması ön görülen reçete hazırlanmaktadır. Bu reçeteye göre bazıları otomasyon yoluyla otomatik olmak üzere belirlenen miktarlarda bileşenler alınarak hazırlanır ve karıştırıcıya gönderilir (Şekil 2.5). Banbury denen bu özel kauçuk karıştırıcı kapalı tip karıştırıcılardan olup içinde iki adet rotor bulunan bir hazneden oluşmaktadır. Rotorlar farklı hızlarda dönerek üstte bulunan doldurma kapaklarından gelen bileşenleri haznenin kenarlarında sıkıştırmak kaydıyla karıştırır. Sıkıştırma işlemi, piston sayesinde hareket eden ağırlığın bileşenleri hazneye bastırması ile sağlanır.



Şekil 2.5: Hazırlanan bileşenlerin karıştırıcıya iletilmesi.

Belli bir sıcaklıkta karışan kauçuk karışımı banburyden boşaltma kapağı vasıtasıyla bu kez açık silindirlere iletilir (Şekil 2.6). Burada, karışımın içeriğinde bulunan bileşenlerin tamamen homojenize olması sağlanır, ayrıca karışımın soğumasına da yardımcı olur. Bu silindirler belli sürelerde döndürüldükten sonra kauçuk karışımı istenen kalınlıklara göre ayarlanıp üretimde kullanılmak üzere soğuk depolarda dinlendirilmeye bırakılırlar. Zira sıcığa maruz kalmaları durumunda ürün pişmeye başlar ve istenen özellikleri sağlayamaz. Çünkü kauçuk malzeme vulkanizasyondan sonra geri kullanılamamaktadır.



Şekil 2.6: Karışımın açık silindirlerde homojenize edilmesi.

Hazırlanan hamurlardan alınan numuneler reometre denilen karışımın vulkanizasyon özelliklerinin kontrolü testine tabi tutulur. Bunun dışında karışımın viskozitesi, sertliği ve yoğunluğunun da kontrol edildiği ön kauçuk testleri yapılır. Eğer uygun olmayan karışımlar bulunuyorsa hızlı bir şekilde aksiyon alınarak karışıma gerekli eklemeler yapılmak kaydıyla karışım yeniden hazırlanır ve üretime verilmeden önce tekrar aynı testlere tabi tutulur.

2.2.2 Deprem yalıtım birimi üretimi için kullanılacak kalıpların hazırlanması

Tasarımı yapılan deprem yalıtım birimlerinin üretimi preslerde yapılacağından ötürü, bu preslerde kullanılmak üzere yalıtım birimi kalıplarının da hazırlanması gerekmektedir. Bu aşamada kalıp tasarımı da önemli bir yer tutar, çünkü üretilecek olan son ürünün belli tolerans değerlerini sağlaması gerekmektedir. Kauçuk malzemesi de karmaşık bir malzeme olduğundan dolayı her zaman aynı şekilde davranışlar göstermez. Örneğin, sıcaklığa bağlı büzülür veya genleşebilir. Üretimden sonra toleranslar içinde olan bir ürün şantiyede kullanılmak üzere götürüldüğünde çok soğuk bir ortamda büzülebilir ve tolerans dışına çıkabilir. Bunun dışında, yüksek sıcaklık ve basınç altında preste üretim yapılırken kauçuk sıvıya yakın bir davranış göstermektedir ve kalıp içindeki fazla kauçuğun dışarı atılması gerekmektedir. Bu atılma işlemi sırasında da iç kauçuk katman kalınlıklarının tasarımda istenen değerlerde olması gerekmektedir. Bunun için de kalıplarda özel önlemler alınmaktadır. Ayrıca basınçtan ötürü kauçuk kalıba hidrostatik basınç uygulayacaktır ve kalıp bu basınca dayanacak şekilde dizayn edilmelidir, aksi takdirde kalıbın patlaması söz konusu olacaktır. Sonuç olarak, son üründe bu tip durumlar ile karşılaşmamak adına kalıbın tasarımı çok önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tasarımı yapılan kalıplar CNC makinelerinde hazırlanmakta ve kurşun çapına bağlı olarak kalıba maça adı verilen çelik malzemeler de kalıba eklenir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Deprem yalıtım birimi kalıplarının hazırlandığı bir CNC makinesi.

2.2.3 Deprem yalıtım birimlerinin preste üretilmesi

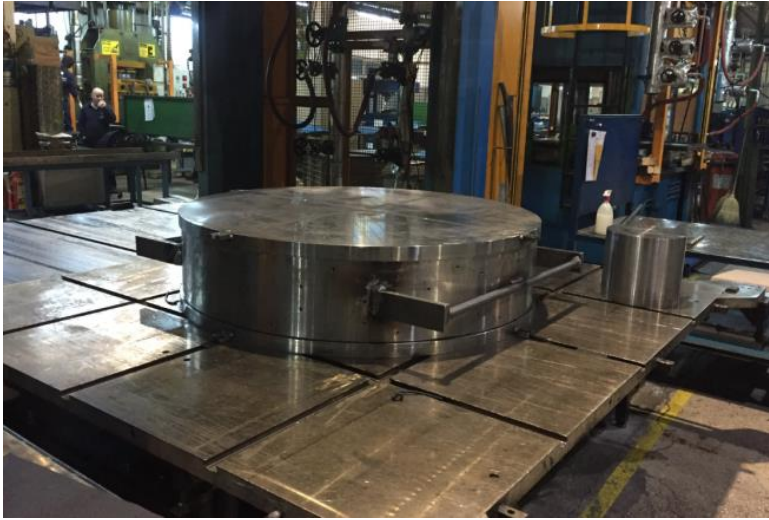
Kauçuk hamur ve tasarımın neticesinde kalınlıkları ve boyutları belirlenen iç çelik plakalar hazırlanan kalıbın içerisinde belirli bir sıcaklık ve basınç altında vulkanize edilerek üretim tamamlanmış olur.

Kauçuk hamur ve kalıbın hazırlanması sırasında, kullanılacak iç çelik plakaların da bazı özel işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Bunun nedeni yüksek yatay yer değiştirmelere maruz kalacak olan deprem yalıtım birimlerinde kauçuk ile iç çelik plakaların yapışma dirençlerinin artırılması ile birbirlerinden ayrılmalarının önlenmesidir. Bunun için uygun ölçülerde kesilen iç çelik plakaların yüzeyleri öncelikle fosfatlama denilen işlem ile temizlenip, boyanmaya uygun hale getirilmelidir. Temizlenen plakalara özel yapıştırıcı boyalar sürülerek kauçuk ile yapışma direncinin artırılması sağlanır (Şekil 2.8). Özel boyama makinesi sayesinde boyalar püskürtüldükten sonra hemen ısıtma işlemine geçerek boyanın kuruması sağlanmış ve üretimde kullanılmak üzere hazır olmuş olur.



Şekil 2.8: İç çelik plakalara yapıştırıcı boya uygulanması.

Prete üretim için öncelikle, özel kauçuk üretim preslerine hazırlanan kalıp bağlanır ve kalıbın ısınması sağlanır. Bu ısıtma işlemi preslerin özelliğine bağlı olarak kızgın yağ veya elektrikle sağlanabilir (Şekil 2.8). Isınan kalıba deprem yalıtım biriminin üretimden sonra rahatça çıkarılabilmesini sağlamak amacıyla özel bir solüsyon sıkılır. Ardından tasarımdaki iç dizilişlere uygun olacak şekilde sırasıyla çelik plakalar ve uygun kalınlıkta hazırlanan kauçuk katmanlar yerleştirilir. Daha sonra da yalıtım birimi ebatlarına bağlı olarak belirlenen sürede basınç ve sıcaklık uygulanır ve vulkanizasyon işlemi başlamış olur. Deprem yalıtım birimi, üretimi tamamlandıktan sonra Şekil 2.9'daki gibi kalıptan alınır, fazla hamurun atılması nedeniyle ortaya çıkan çapaklar temizlenir ve ürün 24 saatlik soğumaya bırakılır.



Şekil 2.9: Deprem yalıtım biriminin kalıbının ısıtılması.



Şekil 2.10: Deprem yalıtım biriminin kalıptan alınması.

2.2.4 Deprem yalıtım birimlerinin montajının yapılması ve korozyon koruma işlemlerinin gerçekleştirilmesi

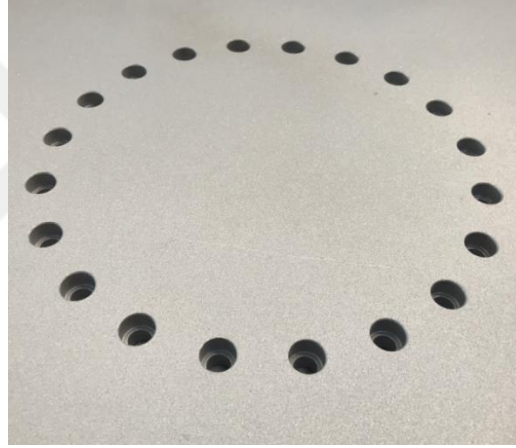
Bir sonraki aşamada soğuması tamamlanan deprem yalıtım birimlerinin içine kurşunun çakılması gerekmektedir. Özellikle kurşunun işlevini uygun olarak gerçekleştirebilmesi için kurşunun çapının delik çapından büyük olması ve sıkı sıkıya yalıtım biriminin ortasına çakılması gerekmektedir. Tasarıma bağlı olarak birden fazla kurşun kullanılması durumunda da belirlenen yerlere kurşunlar çakılacaktır. Bunun için de en az %99 saflık derecesine sahip tedarik edilen kurşunların yüzeyleri işlenerek kullanılmaya uygun hale getirilir. Daha sonra da preslerin yardımıyla kurşun silindirik çekirdek yalıtım birimine çakılır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Deprem yalıtım birimine çakılmış bir kurşun çekirdek.

Montaj başlamadan önce dış çelik plakaların korozyona karşı korunması gerekmektedir. Bunun için de özel boyalar kullanılmak kaydıyla plakalar öncelikle kumlanıp daha sonra da boyanır ve korozyona karşı korunmuş olur. Kumlama işlemi yapılmaz ise boya plaka yüzeyine tutunamaz ve kayıp akar (Şekil 2.12). Korozyon koruma işlemi yapının kullanılacağı bölgenin iklimine bağlı olarak değişmekle beraber genellikle C4 sınıfı olarak uygulanır. Bu işlem için standartlara göre 3 kat ve toplam en az 240 mikron boya kalınlığının sağlanması gerekmektedir (Şekil 2.13).

İlk kat boya çinko bazlı epoksi, ikinci kat epoksi boya astarı ve son kat boya da poliüretan bazlı bitirme boyasıdır. Burada dikkat edilmesi gereken boyanın iyi kurduğundan emin olunması, kauçuk kısma boyanın bulaştırılmaması ve boyanın kalkmasının önlenmesidir. Gerekli takdirlerde boyanın zarar gördüğü bölgelere rötuş boyası yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.12: Kumlanmış bir çelik plaka.



Şekil 2.13: Korozyon koruması tamamlanmış kurumaya bırakılan deprem yalıtım birimleri.

Korozyon koruma işlemi de tamamlandıktan sonra montaj için ilk olarak tasarıma uygun belirlenen özellikteki deprem yalıtım birimlerinin dış bağlantı çelik elemanları iç vulkanize kalın çelik plakalara imbus veya havşa başlı cıvatalar yardımıyla bağlanır. Son olarak yapı ile bağlantı nasıl yapılacak ise dış çelik plakaya ait cıvatalar ve varsa dübelller de monte edilir. Böylelikle deprem yalıtım birimi şantiye sahasına gönderildiğinde hiçbir ekstra işlem yapılmaksızın yapıya monte edilebilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Montajı tamamlanmış bir kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi.



3 KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK YALITIM BİRİMLERİNİN TESTLERİ

3.1 Ürün Geliştirme İçin Fabrikada Yapılan Testler

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin üretimi başlamadan önce daha önceden de bahsedildiği üzere üretimde kullanılacak olan kauçuğun özelliklerinin test edilmesi gerekmektedir. EN 15129 standartında tablo 8’de verilen şartları sağlayan kauçuk hamurunun sönümünü ve kayma modülünü kauçuk üzerinden belirlemeye yarayan dinamik yükleme cihazı proje kapsamında tedarik edilmiştir (Şekil 3.1). Bu makine ile dinamik durumda hedeflenen kayma modülünde sönümün ne olacağı bilgisi konusunda fikir verilmiş oldu ve bu kapsamda farklı hamurlar üretilerek farklı dinamik kayma modülleri ile üretilen yalıtım birimi üzerinde karşılaşılan kayma modülleri karşılaştırıldı. Dinamik yükleme cihazına ait genel bilgiler çizelge 3.1’deki gibidir.



Şekil 3.1: Dinamik yükleme cihazı.

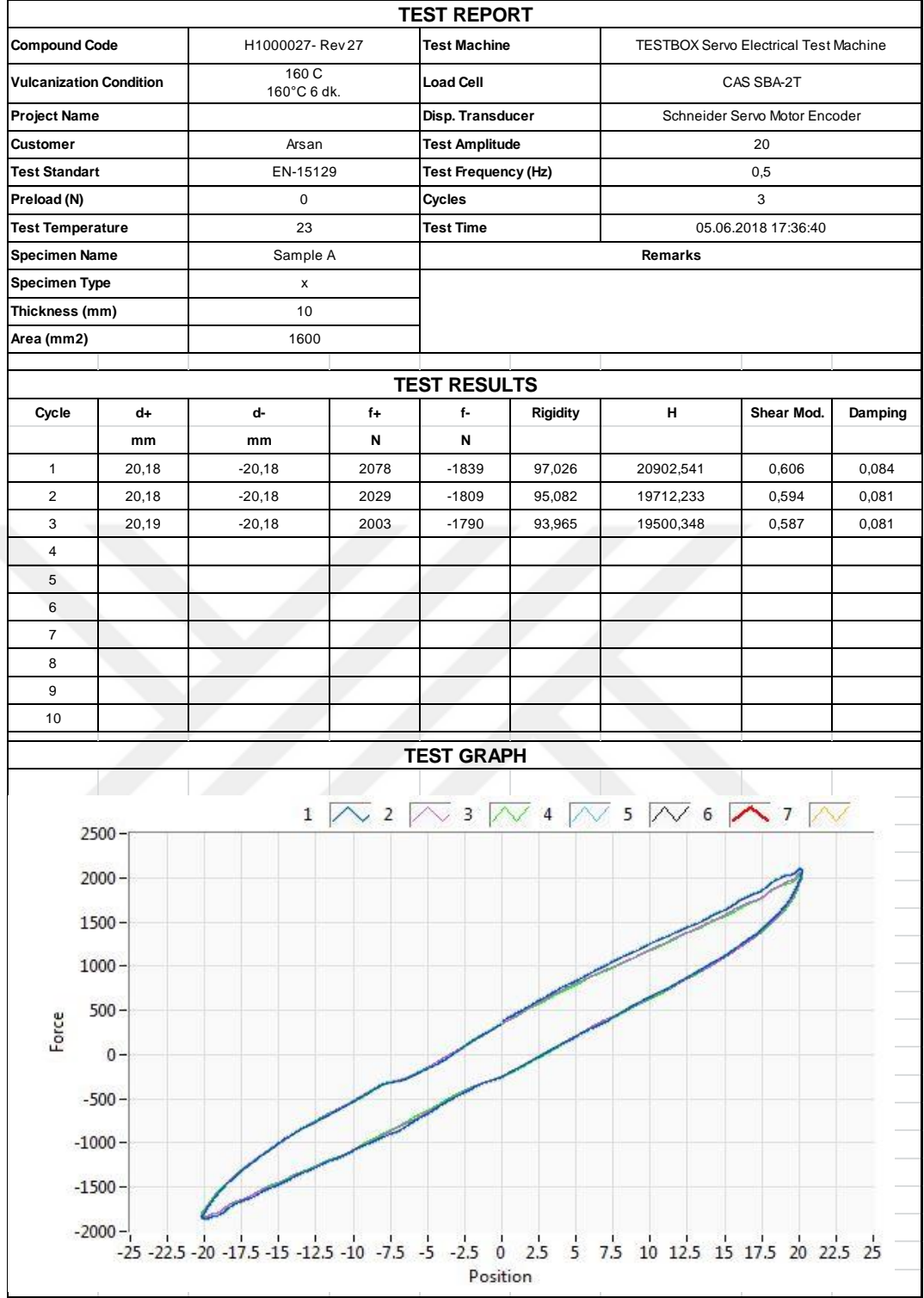
Çizelge 3.1: Dinamik yükleme cihazına ait genel bilgiler.

Toplam Hareket Boyu	Maksimum Kuvvet	Çalışma Frekansı	Deplasman/Frekans (Teorik)	Pozisyon Hassasiyeti	Analog Giriş Hassasiyeti	Güç Gereksinimi
± 100 mm	160 mm/s'de 1.6 ton; 500 mm/s'de 1.2 ton	0-10 Hz	± 40 mm @ 2 Hz; ± 20 mm @ 4 Hz; ± 2 mm @ 10 Hz	410 counts/mm	16 bit	7 kW (380 V trifaze)

Dinamik kayma modülünün tayini için yapılan testlerde kullanılan test numunesi ASTM D4014 standardına göre seçilmiş olup karışımlar bu numuneler üzerinde yapılan test sonuçlarına göre geliştirilmiştir (Şekil 3.2). Bu kapsamda onlarca farklı hamurdan testler yapılmış ve farklı hamurlar elde edilmiştir. Şekil 3.3'te hamur geliştirme amaçlı yapılan testlerden bir tanesi için sonuçlar verilmiştir.



Şekil 3.2: Dinamik kayma modülü tayini testi.



Şekil 3.3: Dinamik kayma modülü tayini testi sonucu.

Santez projesi kapsamında dinamik yükleme cihazı dışında dinamik deprem yalıtım birimi test makinesi de tedarigi sağlanmıştır (Şekil 3.4). Bu test makinesi ile proje ortağı firma ilerleyen projeler için fabrika üretim testlerini gerçekleştirebilecektir. Cihaz tez aşamasında yazılımsal problemler nedeniyle tam olarak devreye

giremediğinden ötürü bu tezde test sonuçları paylaşılammıştır. Ancak deprem yalıtım birimleri üzerinde farklı frekanslarda davranışları histeretik eğriyi görmek kaydıyla incelenebilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4: Dinamik deprem yalıtım birimi test makinesi.

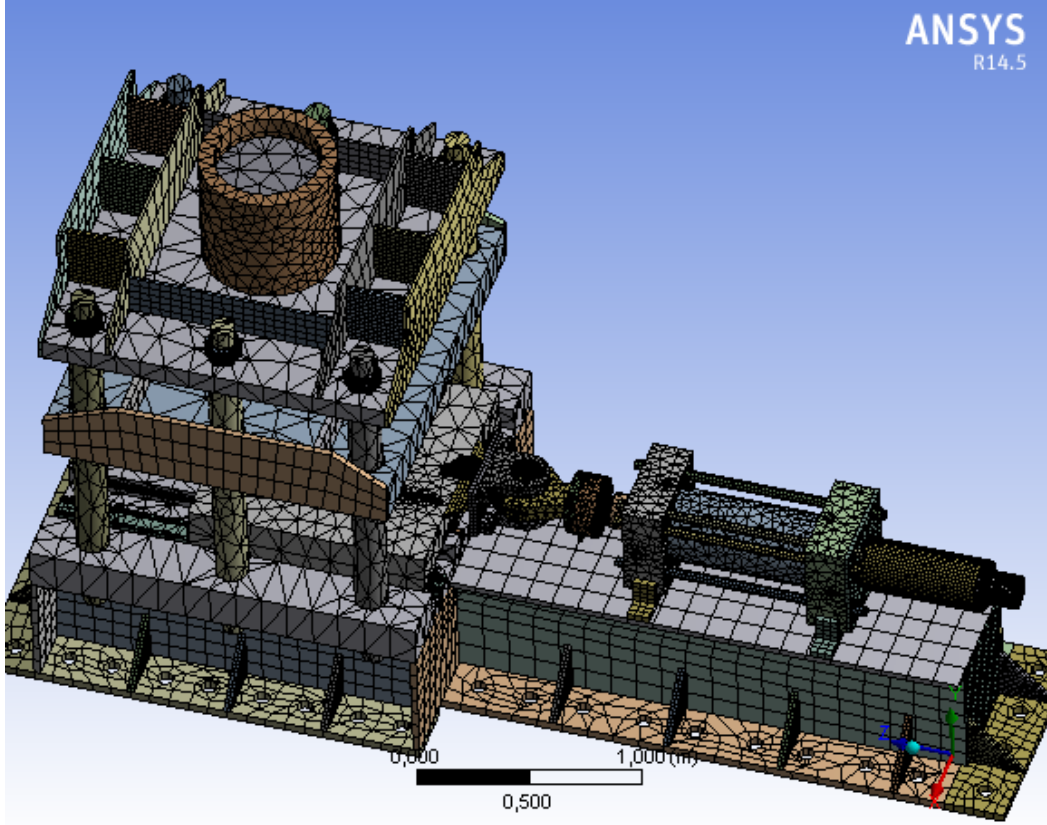


Şekil 3.5: Bir kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi dinamik test makinesinde deneme testinde.

Proje kapsamında yaptırılan dinamik deprem yalıtım birimi test makinesinin özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Hidrolik güç ünitesi;
 - Maksimum debi: 65 lpm
 - Nominal çalışma basıncı: 280 bar
 - Maksimum çalışma basıncı: 310 bar
 - Motor gücü: 37 kW
 - Tank hacmi: 500 lt
 - Pompa tipi: Değişken deplasman pompa
- Akümülatör dağıtım ünitesi;
 - Basınç hattı akü tankı hacmi: 100 lt
 - Tank hattı akü kapasitesi: 10 lt
 - Çalışma basıncı: 280 bar
- Yatay piston;
 - Statik yük kapasitesi: 1300 kN @ 280 bar
 - Dinamik yük kapasitesi: 1000 kN @ 210 bar
 - Kontrol valfi: Moog D682 Servo Valf 70 Bar basınç düşüşü @ 250 lpm
 - Maksimum hız kapasitesi: 50 mm/s
 - Hareket boyu: ± 300 mm
- Düşey piston;
 - Maksimum baskı yük kapasitesi: 5000 kN
 - Maksimum çekme yük kapasitesi: 3400 kN
 - Kontrol valfi: Eaton Servo Performance Valve 70 Bar basınç düşüşü @ 40 lpm
 - Hareket boyu: ± 200 mm

Bu test makinesine ait yukarıdaki özellikler proje bütçesine uygun olacak şekilde hazırlanmıştır. 1 metreye kadar çapı olan deprem yalıtım birimlerinin testleri yapılabilir, tip testler için uygun olmasa da fabrika üretim testlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Tasarımı TDG firması tarafından yerli olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6).



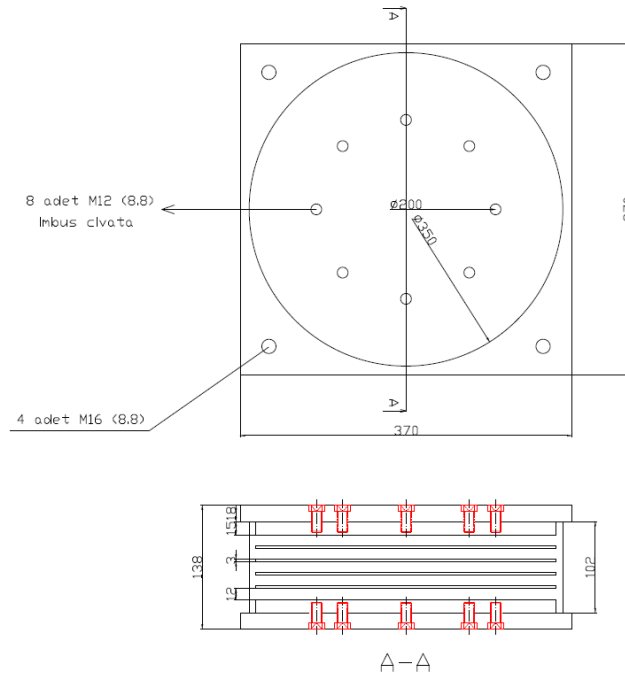
Şekil 3.6: Deprem yalıtım birimi test makinesi tasarım analiz yapısı.

Cihaz, düşeyde belirlenen yükü deprem yalıtım birimine aktardıktan sonra istenen frekansa ve genliğe bağlı olarak yataydaki piston vasıtasıyla yatay hareketi gerçekleştirir. Deprem yalıtım biriminin bağlı olduğu alt plakanın altında sürtünme katsayısı 0,02 olan özel bir kayıcı malzeme kullanılmıştır (Şekil 3.7). Kayıcı malzemeler gres yağı ile yağlanarak sürtünme katsayısı biraz daha azaltılmıştır. Deprem yalıtım birimi istenen çevrim sayısını yaptıktan sonra sistemden gelen veriler kontrol sistemine aktarılarak deprem yalıtım biriminin davranışı incelenebilmektedir. Sistemde veri toplamak için 16 kanallı veri toplama sistemi kullanılmıştır.



Şekil 3.7: Dinamik deprem yalıtım birimi test makinesi kayıcı sistemi.

Dinamik deprem yalıtım birimi test cihazı proje kapsamında testlere yetişemediği için ilk kontrol testleri proje ortağı firmanın elastomer mesnetler için kullandığı statik test cihazından gerçekleştirilmiştir. Bu cihazda ilk aşamada özellikle kauçuk ve iç çelik plakaların yapışma direncinin kontrolü amacıyla test edilmek üzere teknik resmi Şekil 3.8’de verilen 350 mm çapında elastomer yalıtım birimi geliştirilen hamurlar ile üretilerek, %100, %150 ve %200 yanal kayma şekil değiştirmeleri altında yapışma direnci kontrol edilmiştir (Şekil 3.9). Bu teknik resmin daha büyük detayına EK B’den ulaşılabilir.



Şekil 3.8: Yapışma direnci kontrolü için üretilen elastomer yalıtım birimine ait teknik resim.



Şekil 3.9: Yapışma direnci kontrolü için üretilen elastomer yalıtım birimi testleri.

Bu aşamada elastomer yalıtım birimlerinin üzerinde yüksek kayma birim şekil değiştirmesi altında kauçuk ile iç çelik plakalar arası yapışma direnci problemleri gözlemlenmemiştir. Ancak kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin testleri sırasında içinde kurşun çakılı olan deprem yalıtım birimlerinde kauçuk ile çelik arasında büyük yanal şekil değiştirmeler sırasında yapışma direnci problemleri ile karşılaşmıştır (Şekil 3.10). Bunun sebebi, statik test cihazın yatayda çok yavaş hareket etmesi sonucu kurşunun akmasını sağlayamıyor olmasıdır, böylelikle yalıtım birimlerine beklenenden daha fazla yatay yük etkimesi sonucu ayrılmalar gözlemlenmiş ve ayrılmaların olduğu katmanların kesilmesi sonucu bazı bölgelerde yapıştırıcının tamamen durduğu ve kauçuk parçasının dahi yapıştırıcı yüzeyinde kalmadığı görülmüştür (Şekil 3.11).



Şekil 3.10: Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi numunesinde büyük yanal şekil değiştirmeler altında yaşanan kauçuk ile iç çelik plakalar arası yapışma problemi.



Şekil 3.11: Problemin olduğu katmanın kesilmesi sonucu ortaya çıkan durum.

Ancak bu durumla dinamik durumda da karşılaşma ihtimaline karşılık, statik test cihazında dahi bu yapışma problemlerinin olmaması için çalışmalar yapılmış, yeni yapıştırıcılar kullanılıp, yeni plaka temizleme yöntemleri denenmiş ve neticesinde başarılı sonuca ulaşılmıştır. Akabinde başarılı farklı hamurlardan üretilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri yurtdışındaki test merkezlerine gönderilip performansları dinamik durumlar için de incelenmiştir.

3.2 Yurtdışı Test Merkezlerinde Yapılan Testler

3.2.1 Eucentre Pavia- İtalya

Fabrikada EN 15129'a göre uygun kauçuk hamurlarından üretilen 4 adet kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi, en önemli deprem yalıtım birimi test merkezlerinden biri olan İtalya'daki Eucentre test merkezine gönderilmiştir (Şekil 3.12). Dinamik deprem yalıtım birimi test makinesinin özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.12: Eucentre test merkezinde bulunan deprem yalıtım birimi test cihazı.

Çizelge 3.2: Eucentre dinamik deprem yalıtım birimi test cihazı özellikleri.

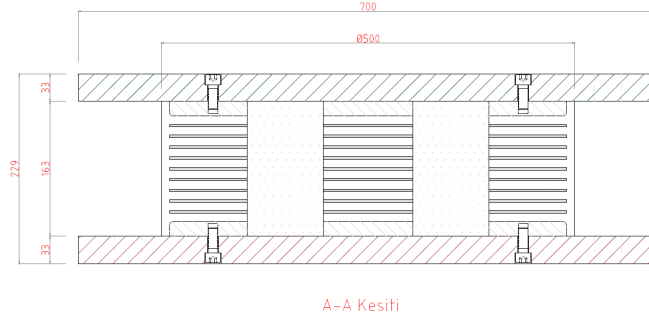
Base Table	DOF	Peak Displacement	Peak Velocity	Peak Force	Peak Overturning Moment	Working Frequency Range	Maximum Flow Rate
1,7 m x 4,3 m	Longitudinal, Vertical, Roll, Pitch, Yaw	Horiz.: ± 500 mm; Vert. : ± 70 mm	Horiz.: ± 2200 mm/s; Vert. : ± 250 mm/s (stroke dependent)	Horiz.: 2000 kN; Vert. : 40000 ± 10000 kN	20000 kNm	0 - 20 Hz	27000 lpm

Bu test merkezinde EN 15129'a göre tip test gereklilikleri için testler yapılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Eucentre test merkezinde test edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri.

Test edilen deprem yalıtım birimlerinin tasarımı çift kurşunlu olacak şekilde yapılmıştır. Böylelikle çift kurşun kullanıldığında yatay deprem yüküne karşılık kurşunların doğrultusuna bağlı olarak yalıtım birimlerinin davranışlarında herhangi bir değişikliğin olup olmayacağı gözlemlenmiş olacaktır (Şekil 3.14). Bu deprem yalıtım biriminin kesiti EK B’de daha net olarak incelenebilir.



Şekil 3.14: Eucentre test merkezinde test edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti.

3.2.1.1 Test planları

Daha önceden de belirtildiği üzere testler CE belgesi almaya yönelik olarak yapıldığı için izlenen standart hep EN 15129 olmuştur. Buna istinaden de test planı da bu standarda yönelik olarak hazırlanmıştır. Dört farklı test numunesine isim olarak ARS001E18-1, ARS001E18-2, ARS001E18-3 ve ARS001E18-4 verilmiştir. Bu deprem yalıtım birimlerinin testleri için temel alınan test planları Şekil 3.15’teki gibidir.

devices		Q500-163, S/N: ARS001E18-1									
test #	test name	label	main dir	Ampl. [m - kN - deg]	max vel [m/s - kN/s]	freq [Hz]	load shape	vert load [kN]	cycles [#]	notes	
1	Compression Stiffness	CS	vert	-	-	-	loading ramp	2095	2	1 cycle preload (EN1337, H.6.2.2) + 1 cycle load applied at a constant loading rate. For static information, Nsd reached in 10 mins. USARE TRASD EXT.	
2	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,005	0,016	0,500	sine	1180	3		
3	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,010	0,031	0,500	sine	1180	3		
4	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,020	0,063	0,500	sine	1180	3		
5	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,050	0,157	0,500	sine	1180	3		
6	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	3		
7	One-side Horizontal stiffness	HS	long	±0,090	-	-	loading ramp	1180	-		
8	Frequency Dependence	FD	long	±0,100	0,063	0,100	sine	1180	3		
9	Frequency Dependence	FD	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	3		
10	Frequency Dependence	FD	long	±0,100	1,257	2,000	sine	1180	3		
11	Repeated cycling dependence	RC	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	10		
12	Compression Capacity	CC	vert	-	-	-	loading ramp	2095	2	1 cycle preload (EN1337, H.6.2.2) + 1 cycle load applied at a constant loading rate. For static information, Nsd reached in 10 mins. At the 2nd cycle, Nsd kept for 3 mins during which inspection for signs of failure is required.	
13	Lateral Capacity	LC	long	0,175	-	-	loading ramp	3025	-	Maximum shear displacement held for 2 mins during which checks for visual signs of failure shall be carried out. Check also after removing the shear displacement, but maintaining the compressive load.	
14	Lateral Capacity	LC	long	0,175	-	-	loading ramp	Minimum possible	-		
15	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,150	0,471	0,500	sine	1180	3		
16	Lateral Capacity	LC	long	0,200	-	-	loading ramp	3025	-	Maximum shear displacement held for 2 mins during which checks for visual signs of failure shall be carried out. Check also after removing the shear displacement, but maintaining the compressive load.	
17	Lateral Capacity	LC	long	0,225	-	-	loading ramp	3025	-		

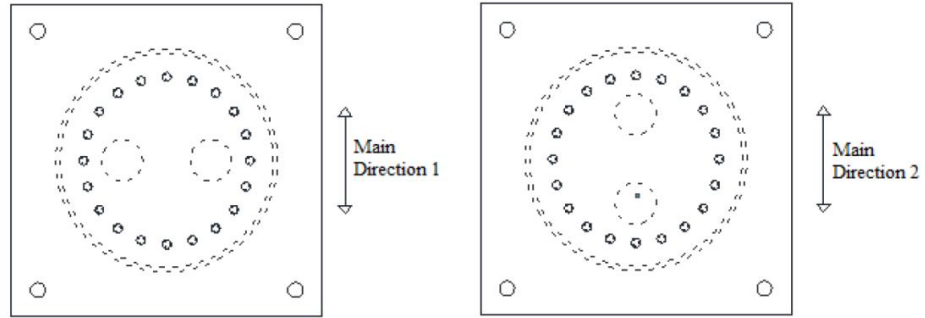
devices		Q500-163, S/N: ARS001E18-2									
test #	test name	label	main dir	Ampl. [m - kN - deg]	max vel [m/s - kN/s]	freq [Hz]	load shape	vert load [kN]	cycles [#]	notes	
1	Compression Stiffness	CS	vert	-	-	-	loading ramp	2095	2	1 cycle preload (EN1337, H.6.2.2) + 1 cycle load applied at a constant loading rate. For static information, Nsd reached in 10 mins. USARE TRASD EXT.	
2	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,005	0,016	0,500	sine	1180	3		
3	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,010	0,031	0,500	sine	1180	3		
4	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,020	0,063	0,500	sine	1180	3		
5	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,050	0,157	0,500	sine	1180	3		
6	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	3		
7	One-side Horizontal stiffness	HS	long	±0,090	-	-	loading ramp	1180	-		
8	Frequency Dependence	FD	long	±0,100	0,063	0,100	sine	1180	3		
9	Frequency Dependence	FD	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	3		
10	Frequency Dependence	FD	long	±0,100	1,257	2,000	sine	1180	3		
11	Repeated cycling dependence	RC	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	10		
12	Compression Capacity	CC	vert	-	-	-	loading ramp	2095	2	1 cycle preload (EN1337, H.6.2.2) + 1 cycle load applied at a constant loading rate. For static information, Nsd reached in 10 mins. At the 2nd cycle, Nsd kept for 3 mins during which inspection for signs of failure is required.	
13	Lateral Capacity	LC	long	0,175	-	-	loading ramp	3025	-	Maximum shear displacement held for 2 mins during which checks for visual signs of failure shall be carried out. Check also after removing the shear displacement, but maintaining the compressive load.	
14	Lateral Capacity	LC	long	0,175	-	-	loading ramp	Minimum possible	-		
15	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,150	0,471	0,500	sine	1180	3	Rotate 90 ° device	
16	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	3	Rotate 90 ° device	
17	Lateral Capacity	LC	long	±0,200	-	-	loading ramp	3025	-	Maximum shear displacement held for 2 mins during which checks for visual signs of failure shall be carried out. Check also after removing the shear displacement, but maintaining the compressive load.	

devices		Q500-163, S/N: ARS001E18-3									
		Q500-163, S/N: ARS001E18-4									
test #	test name	label	main dir	Ampl. [m - kN - deg]	max vel [m/s - kN/s]	freq [Hz]	load shape	vert load [kN]	cycles [#]	notes	
1	Compression Stiffness	CS	vert	-	-	-	loading ramp	2095	2	1 cycle preload (EN1337, H.6.2.2) + 1 cycle load applied at a constant loading rate. For static information, Nsd reached in 10 mins. USARE TRASD EXT.	
2	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,005	0,016	0,500	sine	1180	3		
3	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,010	0,031	0,500	sine	1180	3		
4	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,020	0,063	0,500	sine	1180	3		
5	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,050	0,157	0,500	sine	1180	3		
6	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	3		
7	One-side Horizontal stiffness	HS	long	±0,090	-	-	loading ramp	1180	-		
8	Frequency Dependence	FD	long	±0,100	0,063	0,100	sine	1180	3		
9	Frequency Dependence	FD	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	3		
10	Frequency Dependence	FD	long	±0,100	1,257	2,000	sine	1180	3		
11	Repeated cycling dependence	RC	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	10		
12	Compression Capacity	CC	vert	-	-	-	loading ramp	2095	2	1 cycle preload (EN1337, H.6.2.2) + 1 cycle load applied at a constant loading rate. For static information, Nsd reached in 10 mins. At the 2nd cycle, Nsd kept for 3 mins during which inspection for signs of failure is required.	
13	Lateral Capacity	LC	long	0,175	-	-	loading ramp	3025	-	Maximum shear displacement held for 2 mins during which checks for visual signs of failure shall be carried out. Check also after removing the shear displacement, but maintaining the compressive load.	
14	Lateral Capacity	LC	long	0,175	-	-	loading ramp	Minimum possible	-		
15	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,150	0,471	0,500	sine	1180	3		
16	Lateral Capacity	LC	long	±0,220	-	-	loading ramp	3025	-	Maximum shear displacement held for 2 mins during which checks for visual signs of failure shall be carried out. Check also after removing the shear displacement, but maintaining the compressive load.	
17	Horizontal Cyclo Characteristics	HC	long	±0,100	0,314	0,500	sine	1180	3		

Şekil 3.15: Sırasıyla ARS001E18-1, ARS001E18-2, ARS001E18-3 ve ARS001E18-4 deprem yalıtım birimlerine ait test planları.

Bu test planlarına göre ilk olarak düşey rijitlik testi yapılacak, ardından frekans sabit tutulup genlik artırılarak deprem yalıtım birimi davranışları izlenecek, arkasından bu kez genlik sabit tutulup frekansa bağlı davranış gözlemlenecek, daha sonra da deprem yalıtım biriminin kapasite sınırları kontrol edilecektir.

Test planlarında da görülebileceği üzere ARS001E18-2 deprem yalıtım birimi belirtilen testler dışında kurşunun etkisinin yalıtım birimi performansına etkisinin gözlemlenebilmesi açısından 90 derece çevrilerek yatay testlere maruz bırakılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: Testlerde uygulanacak yatay kuvvet yönleri (Main Direction 2 yalnızca ARS001E18-2 deprem yalıtım birimine uygulanmıştır).

3.2.1.2 Hesap yöntemleri

Eucentre test merkezinin hesaplarda kullandıkları yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- K_r rijitliği aşağıda verilen 3 farklı yöntemle hesaplanmaktadır; bunlardan hangisinin kullanıldığı grafikler ile birlikte verilmiştir.
 - o En küçük kare metodu kullanılmak kaydıyla, eğrinin üst sınır veya alt sınırında çizilen en düzgün çizginin arasında kalan ortalama değer,
 - o Bir çevrimdeki zıt yüklemelerin maksimum yer değiştirmelerinin % a ve % b değerleri arasında kalan rijitliklerin ortalaması,

$$K_{lat+/-} = (F_{a\%D_{max/min}} - F_{b\%D_{max/min}}) / [(a-b) * D_{max/min}] \quad (3.1)$$

- o Maksimum düşey yük altında düşey rijitliklerin % a ve % b arasında kalan rijitliklerin ortalaması,

$$K_{vert} = [(a-b) * V_{lmax}] / (D_{a\%V_{lmax}} - D_{b\%V_{lmax}}) \quad (3.2)$$

- Etkin rijitlik (K_{eff}) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$K_{eff} = (F_{max} - F_{min}) / (D_{max} - D_{min}) \quad (3.3)$$

- Sönümlenen enerji miktarı (EDC) kuvvet-deplasman eğrisinin integrali olarak hesaplanmaktadır;

$$EDC = \int_{loop} F dD \quad (3.4)$$

- Ortalama eşdeğer viskoz sönüm oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$\xi_{eq-av} = EDC / [\pi * (F_{max} * D_{max} + F_{min} * D_{min})] \quad (3.5)$$

- Bu test merkezinde testler tek yalıtım birimi ile kayıcı malzeme kullanılarak yapıldığı için sürtünme kuvvetinin de küçük de olsa bir etkisi hesaplarda olacaktır. Bu sürtünme kuvveti aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$\mu = F_{h-c} / V_{l-c} = F_{h-nc} / V_{l-nc} \quad (3.6)$$

Burada verilen “c” ve “nc” indisleri yatay ve düşey yüklerin sabit veya sabit olmaması durumunu ifade etmektedir.

- Çevrimdeki ortalama sürtünme katsayısı da aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$\mu_{EDC} = EDC / [2 * (D_{max} - D_{min}) * V_1] \quad (3.7)$$

Burada verilen V_1 çevrimdeki ortalama düşey yüküdür.

3.2.1.3 Test sonuçları

Bu hesap yöntemleri kullanılarak 4 farklı deprem yalıtım birimi için ortaya çıkan test sonuçları aşağıdaki gibidir. Numune isminden sonra verilen kodlar test planlarında gösterilen testlere atıfta bulunmaktadır.

- Düşey rijitlik sonuçları 4 deprem yalıtım birimi numunesi için iki çevrimde Çizelge 3.3'teki gibi bulunmuştur;

Çizelge 3.3: Düşey rijitlik testi sonuçları.

Test	Cycle	Compression Vertical Stiffness (MN/m)
ARS001E18-1-CS-1	1	726
	2	1042
ARS001E18-2-CS-1	1	595
	2	774
ARS001E18-3-CS-1	1	878
	2	1194
ARS001E18-4-CS-1	1	932
	2	1272

Düşey rijitlikler EN 1337-3 Ek H'ye göre aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır;

$$c_c = (F_{z2} - F_{z1}) / (v_{z2} - v_{z1}) \quad (3.8)$$

Burada verilen F_z yüklerinden 2 numaralı indis maksimum yükü, 1 numaralı indis ise maksimum yükün %33'ü olarak tanımlanmıştır. Düşeydeki çökme miktarları da v_z ile gösterilmiştir.

- Tek yönde yatay rijitlik testi sonuçları Çizelge 3.4'teki gibidir;

Çizelge 3.4: Tek yönde yatay etkin rijitlik testi sonuçları.

Test	Cycle	Effective Stiffness (kN/m)
ARS001E18-1-HS-7	1	5440
ARS001E18-2-HS-7	1	5132
ARS001E18-3-HS-7	1	5387
ARS001E18-4-HS-7	1	5468

Bu test EN 1337-3 Ek F'de verilen metoda göre uygulanmaktadır. Buna göre, 6 MPa düşey yük ve % 90 kayma birim şekil değiştirmesi altında deprem yalıtım birimleri teste tabi tutulmuştur.

- Çevrimsel yatay karakteristik testlerinde sonuçlar; etkin rijitlik, sönüm, K_r rijitliği ve karakteristik mukavemetler ayrı ayrı verilmek üzere listelenmiştir.
 - o Etkin rijitlikler dört farklı numune için Çizelge 3.5, Çizelge 3.6, Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8'deki gibidir;

Çizelge 3.5: ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı etkin rijitlikleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15
1	18533	12694	8302	5335	4324	3751
2	17477	12015	8058	5407	4165	3124
3	17020	11679	7815	5443	3906	2867

Çizelge 3.6: ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı etkin rijitlikleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-16
1	15976	10853	7864	5295	4412	3858	4271
2	15012	10329	7502	5316	4234	3153	4049
3	14569	10066	7335	5354	3947	2869	3749

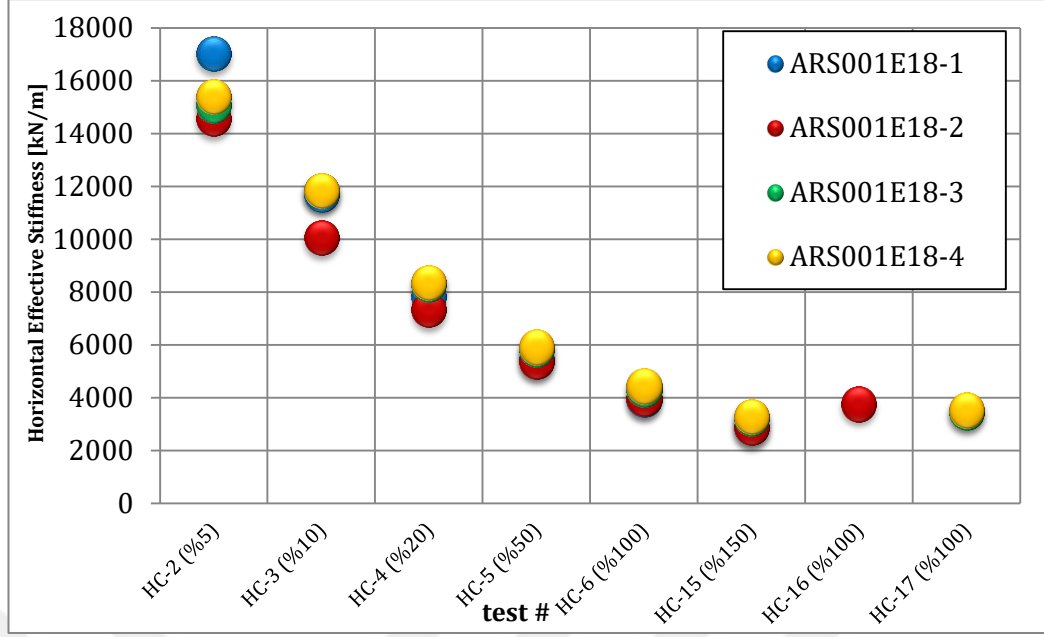
Çizelge 3.7: ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı etkin rijitlikleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-17
1	16535	13085	8980	5848	4781	4259	4048
2	15422	12249	8583	5864	4555	3518	3669
3	15062	11847	8288	5811	4305	3212	3429

Çizelge 3.8: ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı etkin rijitlikleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-17
1	17178	12955	9017	5859	4873	4339	4175
2	15901	12160	8599	5877	4683	3626	3748
3	15397	11840	8341	5909	4430	3276	3518

Tüm deprem yalıtım birimlerine ait birleştirilmiş etkin rijitlikleri gösteren tablo Şekil 3.17'deki gibidir;



Şekil 3.17: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı etkin rijitlikleri.

- Testlere göre hesaplanan sönüm oranları dört farklı numune için Çizelge 3.9, Çizelge 3.10, Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12'deki gibidir;

Çizelge 3.9: ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm oranları.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15
1	30,8	26,6	25,5	28,8	30,0	28,8
2	27,7	23,3	22,9	27,6	30,9	30,1
3	26,7	22,3	21,9	26,5	31,2	29,7

Çizelge 3.10: ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm oranları.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-16
1	32,1	26,9	24,1	26,3	29,1	28,8	31,8
2	29,4	24,2	22,0	26,2	30,1	30,0	32,3
3	28,8	23,5	21,1	25,5	30,7	29,4	32,2

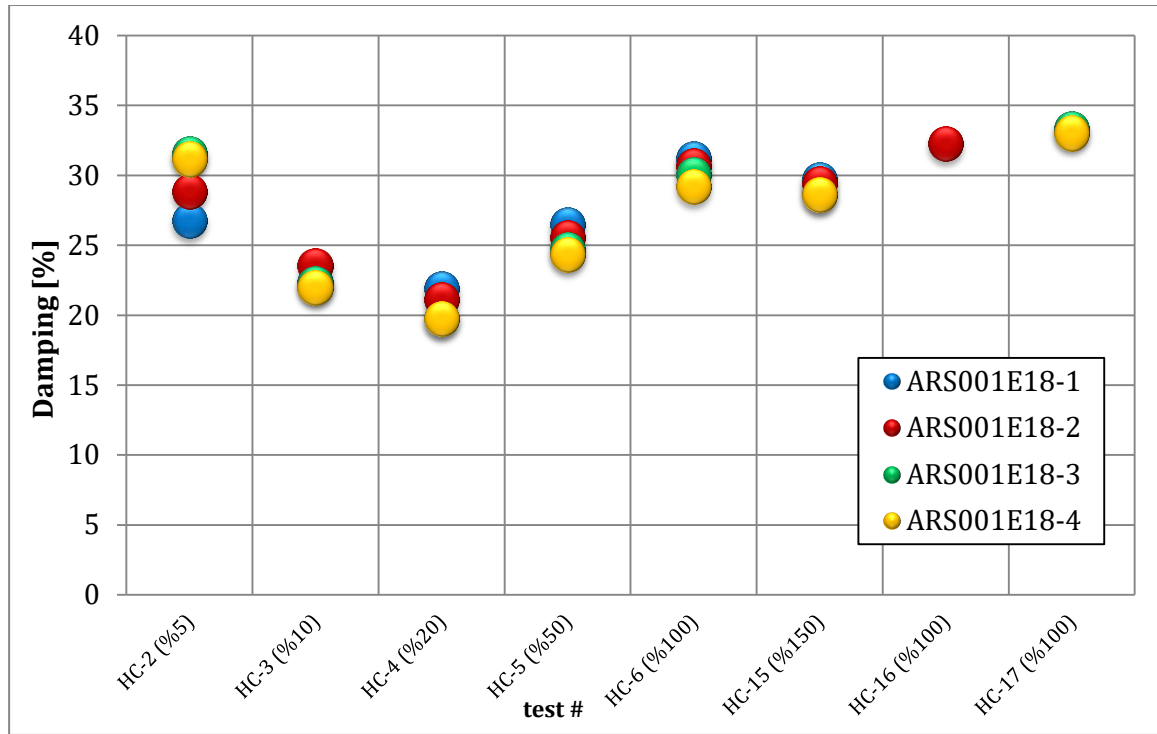
Çizelge 3.11: ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm oranları.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-17
1	34,0	25,2	23,1	26,1	28,3	27,4	32,9
2	32,8	22,9	20,3	25,8	29,7	28,7	33,3
3	31,5	22,2	19,8	24,7	30,0	28,6	33,4

Çizelge 3.12: ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm oranları.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-17
1	33,3	25,3	22,9	25,5	28,1	27,3	32,3
2	32,1	22,7	20,2	24,8	29,2	28,3	33,0
3	31,2	21,9	19,7	24,3	29,2	28,6	33,0

Tüm deprem yalıtım birimlerine ait birleştirilmiş sönüm oranlarını gösteren tablo Şekil 3.18'deki gibidir;



Şekil 3.18: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm oranları.

Burada HC-2 durumunda sönümün %25-30 aralığında olması gerçekte mümkün olamayacak bir durumdur, zira deprem yalıtım birimi bu durumda henüz elastik durumdan çıkmamış olacaktır. Bu sebeple burada bu miktarlarda sönümün görülmesinin sebebi makine ve civatadaki sürtünmelerden kaynaklı olabilir. Diğer durumlar için ise sonuçlar akla yatkın olarak gözlemlenmiştir.

- K_r rijitlikleri dört farklı numune için Çizelge 3.13, Çizelge 3.14, Çizelge 3.15 ve Çizelge 3.16'deki gibidir;

Çizelge 3.13: ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı $K_{r,av}$ rijitlikleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15
1	8520	5158	2343	1678	2023	2111
2	12998	10064	5503	2057	1675	1605
3	12801	10094	6190	2362	1501	1543

Çizelge 3.14: ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı $K_{r,av}$ rijitlikleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-16
1	5808	4775	3415	2145	2393	2278	1907
2	9015	7805	5681	2453	2023	1553	1628
3	9006	7598	5876	2560	1686	1449	1316

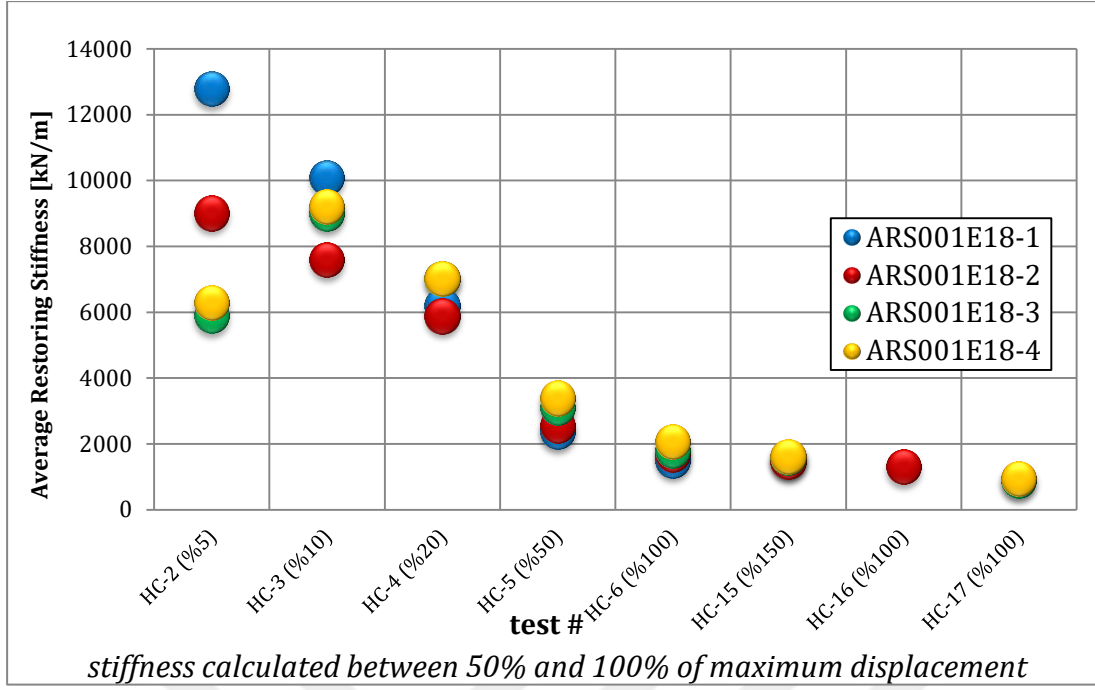
Çizelge 3.15: ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı $K_{r,av}$ rijitlikleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-17
1	3647	8298	3583	2483	2425	2797	1316
2	5363	9144	7082	2935	1990	1745	963
3	5887	8998	7012	3108	1783	1578	886

Çizelge 3.16: ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı $K_{r,av}$ rijitlikleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-17
1	4137	7568	3699	2540	2510	2729	1387
2	6041	9271	6997	3201	2202	1842	965
3	6277	9195	7018	3382	2053	1605	943

Tüm deprem yalıtım birimlerine ait birleştirilmiş $K_{r,av}$ rijitliklerini gösteren tablo Şekil 3.19'daki gibidir;



Şekil 3.19: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı $K_{r,av}$ rijitlikleri.

- Karakteristik mukavemetler dört farklı numune için Çizelge 3.17, Çizelge 3.18, Çizelge 3.19 ve Çizelge 3.20'deki gibidir;

Çizelge 3.17: ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı karakteristik mukavemetleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15
1-pos	49	52	62	123	196	232
1-neg	-39	-45	-59	-139	-205	-233
2-pos	45	48	60	138	209	223
2-neg	-37	-42	-56	-128	-202	-207
3-pos	42	46	58	132	201	205
3-neg	-35	-40	-54	-125	-190	-197

Çizelge 3.18: ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı karakteristik mukavemetleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-16
1-pos	48	49	59	107	191	228	205
1-neg	-35	-40	-49	-117	-199	-234	-216
2-pos	43	46	57	127	206	217	206
2-neg	-32	-38	-48	-120	-198	-208	-206
3-pos	41	44	56	123	198	200	193
3-neg	-30	-36	-47	-121	-191	-188	-192

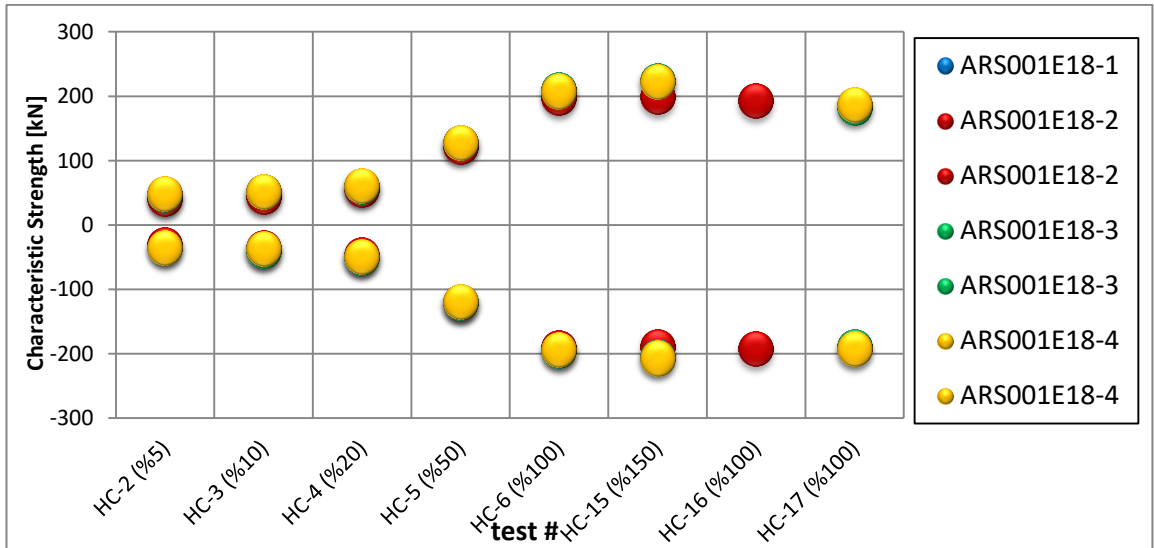
Çizelge 3.19: ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı karakteristik mukavemetleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-17
1-pos	55	58	65	118	200	243	192
1-neg	-42	-46	-55	-129	-204	-243	-225
2-pos	49	54	62	136	220	241	191
2-neg	-38	-42	-52	-125	-206	-220	-201
3-pos	47	51	60	128	211	225	183
3-neg	-35	-40	-50	-120	-195	-205	-189

Çizelge 3.20: ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı karakteristik mukavemetleri.

Cycle	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	HC-6	HC-15	HC-17
1-pos	58	59	66	112	198	243	197
1-neg	-40	-43	-52	-123	-202	-246	-229
2-pos	52	55	62	130	219	241	195
2-neg	-37	-39	-52	-119	-202	-216	-206
3-pos	49	52	61	128	208	223	188
3-neg	-34	-37	-50	-119	-193	-207	-192

Tüm deprem yalıtım birimlerine ait birleştirilmiş karakteristik mukavemetleri (Q_d) gösteren tablo Şekil 3.20'deki gibidir;



Şekil 3.20: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı yatay birim kayma şekil değiştirmesine bağlı karakteristik mukavemetleri.

- Frekansa bağı testlerde sonuçlar etkin rijitlik ve sönümler ayrı ayrı verilmek üzere listelenmiştir.
 - o Farklı frekanslardaki etkin rijitlikler dört farklı numune için Çizelge 3.21, Çizelge 3.22, Çizelge 3.23 ve Çizelge 3.24'deki gibidir;

Çizelge 3.21: ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağı etkin rijitlikleri.

Cycle	FD-8	FD-9	FD-10
1	3769	4120	5586
2	3380	3802	5184
3	3080	3500	4823

Çizelge 3.22: ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağı etkin rijitlikleri.

Cycle	FD-8	FD-9	FD-10
1	3668	4099	5511
2	3300	3743	5126
3	3116	3419	4770

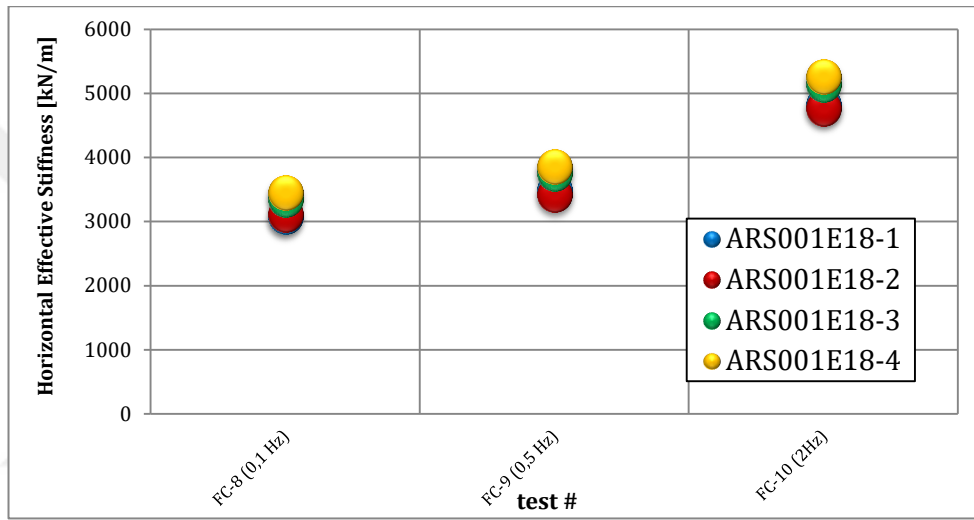
Çizelge 3.23: ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağı etkin rijitlikleri.

Cycle	FD-8	FD-9	FD-10
1	3914	4422	5969
2	3536	4064	5582
3	3351	3755	5145

Çizelge 3.24: ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı etkin rijitlikleri.

Cycle	FD-8	FD-9	FD-10
1	4114	4489	6246
2	3690	4150	5713
3	3456	3852	5259

Tüm deprem yalıtım birimlerine ait frekansa bağlı etkin rijitlikleri gösteren tablo Şekil 3.21'deki gibidir;



Şekil 3.21: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı frekanslara bağlı etkin rijitlikleri.

- Farklı frekanslardaki sönüm oranları dört farklı numune için Çizelge 3.25, Çizelge 3.26, Çizelge 3.27 ve Çizelge 3.28'deki gibidir;

Çizelge 3.25: ARS001E18-1 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı sönüm oranları.

Cycle	FD-8	FD-9	FD-10
1	31,5	33,1	27,3
2	33,0	33,8	26,0
3	34,1	34,3	25,0

Çizelge 3.26: ARS001E18-2 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı sönüm oranları.

Cycle	FD-8	FD-9	FD-10
1	31,9	33,3	26,8
2	33,7	34,1	25,4
3	34,4	34,6	24,4

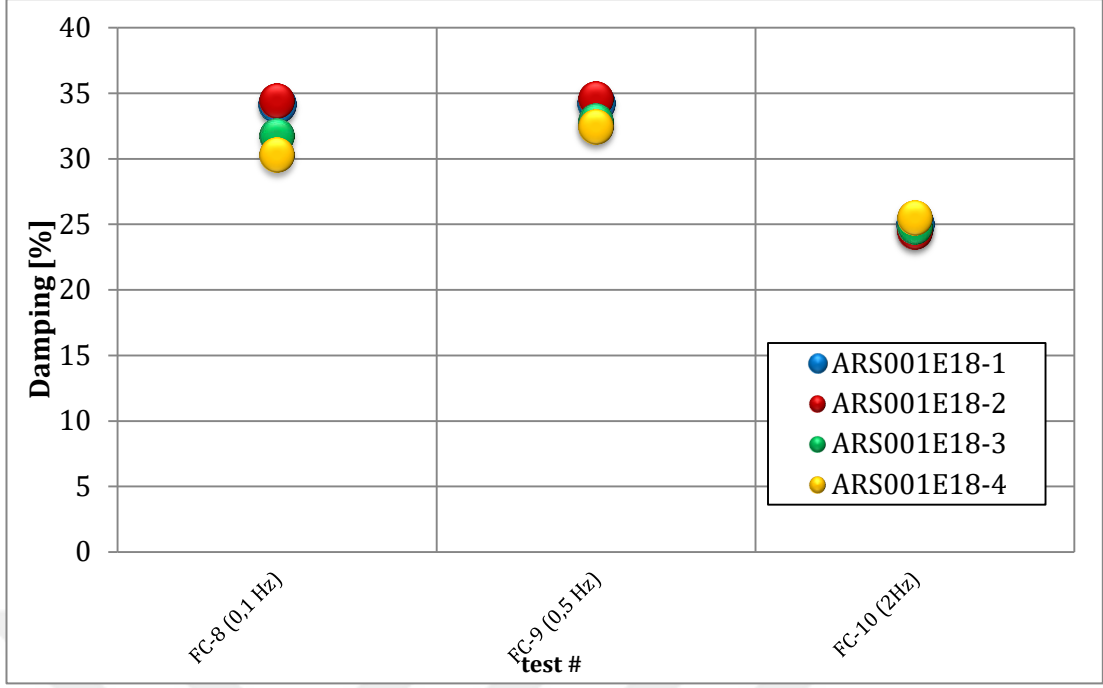
Çizelge 3.27: ARS001E18-3 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı sönüm oranları.

Cycle	FD-8	FD-9	FD-10
1	30,3	31,6	26,3
2	31,8	32,7	25,6
3	31,8	32,9	24,8

Çizelge 3.28: ARS001E18-4 deprem yalıtım biriminin farklı frekanslara bağlı sönüm oranları.

Cycle	FD-8	FD-9	FD-10
1	29,2	31,2	26,3
2	30,2	32,2	26,4
3	30,3	32,5	25,5

Tüm deprem yalıtım birimlerine ait frekansa bağlı birleştirilmiş sönüm oranlarını gösteren tablo Şekil 3.22'deki gibidir;



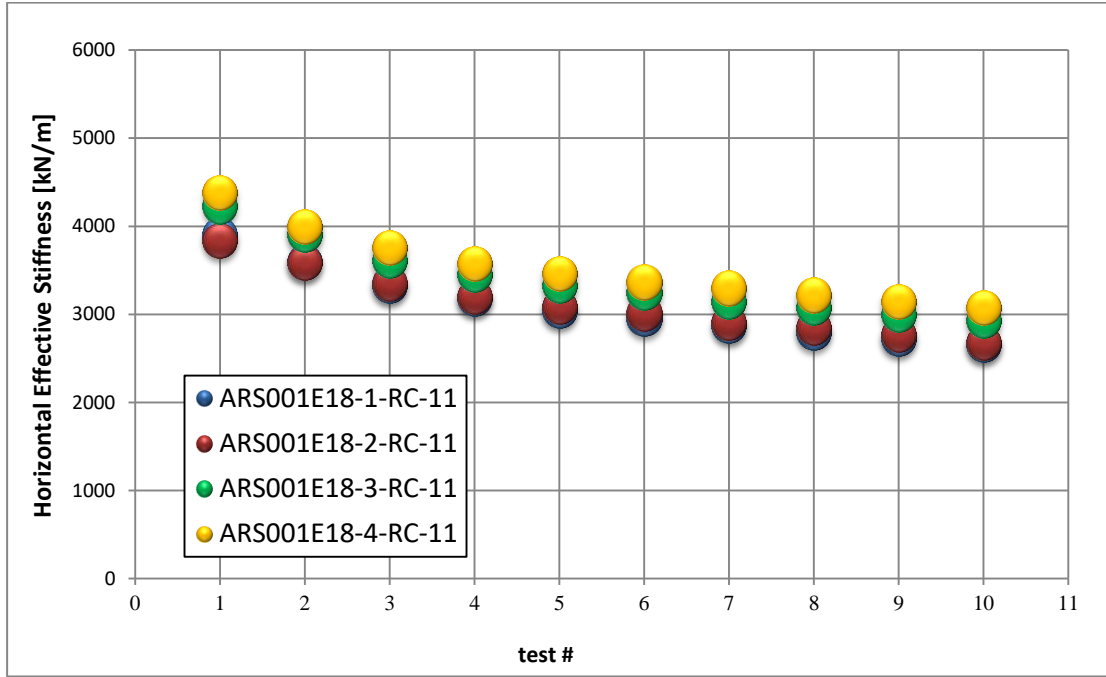
Şekil 3.22: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin 3 çevrimde farklı frekanslara bağlı sönüm oranları.

- Tekrar eden çevrimlere bağlı testlerde sonuçlar etkin rijitlik, sönüm, K_r rijitliği ve karakteristik mukavemetler ayrı ayrı verilmek üzere listelenmiştir.
 - o Etkin rijitlikler tekrar eden 10 çevrimde dört farklı numune için Çizelge 3.29'daki gibidir;

Çizelge 3.29: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki etkin rijitlikleri.

Cycle	ARS001E18-1	ARS001E18-2	ARS001E18-3	ARS001E18-4
1	3904	3835	4227	4383
2	3596	3583	3900	3999
3	3322	3354	3607	3753
4	3184	3200	3445	3574
5	3047	3087	3325	3461
6	2946	3013	3240	3366
7	2866	2908	3147	3295
8	2795	2852	3069	3216
9	2726	2765	2996	3143
10	2655	2682	2930	3077

Deprem yalıtım birimlerine ait tekrarlı 10 çevrim için birleştirilmiş etkin rijitliklerini gösteren tablo Şekil 3.23'teki gibidir;



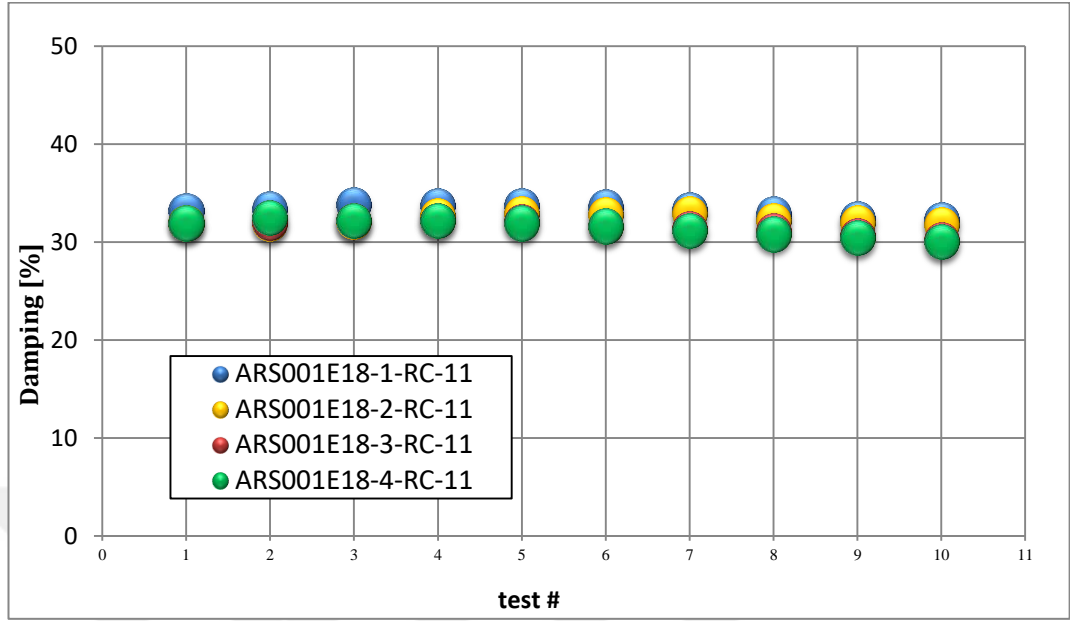
Şekil 3.23: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki etkin rijitlikleri tablosu.

- Sönüm oranları tekrar eden 10 çevrimde dört farklı numune için Çizelge 3.30'daki gibidir;

Çizelge 3.30: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki sönüm oranları.

Cycle	ARS001E18-1	ARS001E18-2	ARS001E18-3	ARS001E18-4
1	33	32	32	32
2	33	32	32	32
3	34	32	32	32
4	34	33	32	32
5	34	33	32	32
6	34	33	32	32
7	33	33	31	31
8	33	32	31	31
9	32	32	31	30
10	32	32	30	30

Deprem yalıtım birimlerine ait tekrarlı 10 çevrim için birleştirilmiş sönüm oranlarını gösteren tablo Şekil 3.24'teki gibidir;



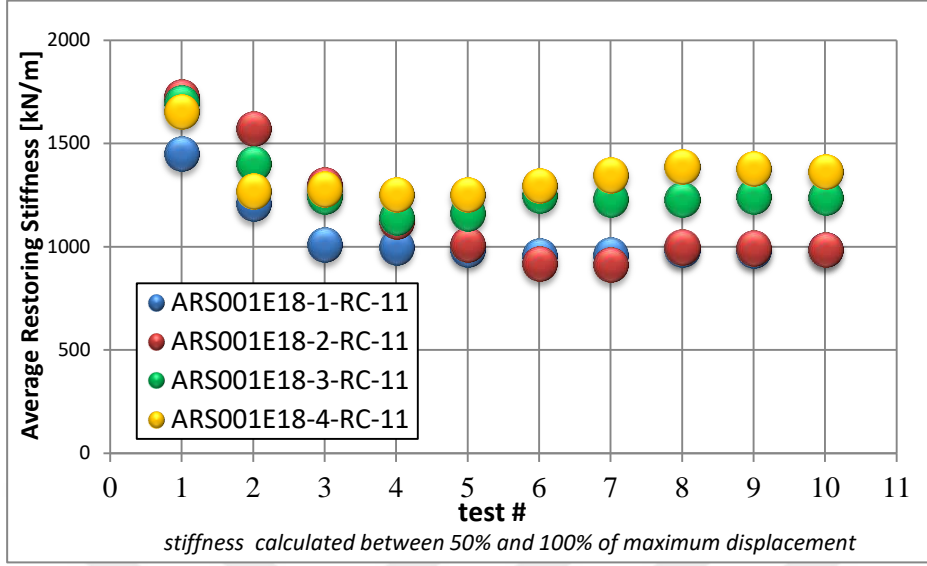
Şekil 3.24: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki sönüm oranları tablosu.

- K_r rijitlikleri tekrar eden 10 çevrimde dört farklı numune için Çizelge 3.31'deki gibidir;

Çizelge 3.31: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki K_r rijitlikleri.

Cycle	ARS001E18-1	ARS001E18-2	ARS001E18-3	ARS001E18-4
1	1450	1726	1696	1652
2	1206	1573	1403	1268
3	1009	1298	1242	1278
4	997	1121	1138	1253
5	985	1010	1161	1251
6	956	917	1245	1295
7	958	912	1230	1346
8	983	997	1226	1385
9	981	992	1242	1378
10	986	984	1236	1363

Deprem yalıtım birimlerine ait tekrarlı 10 çevrim için birleştirilmiş K_r rijitliklerini gösteren tablo Şekil 3.25'teki gibidir;



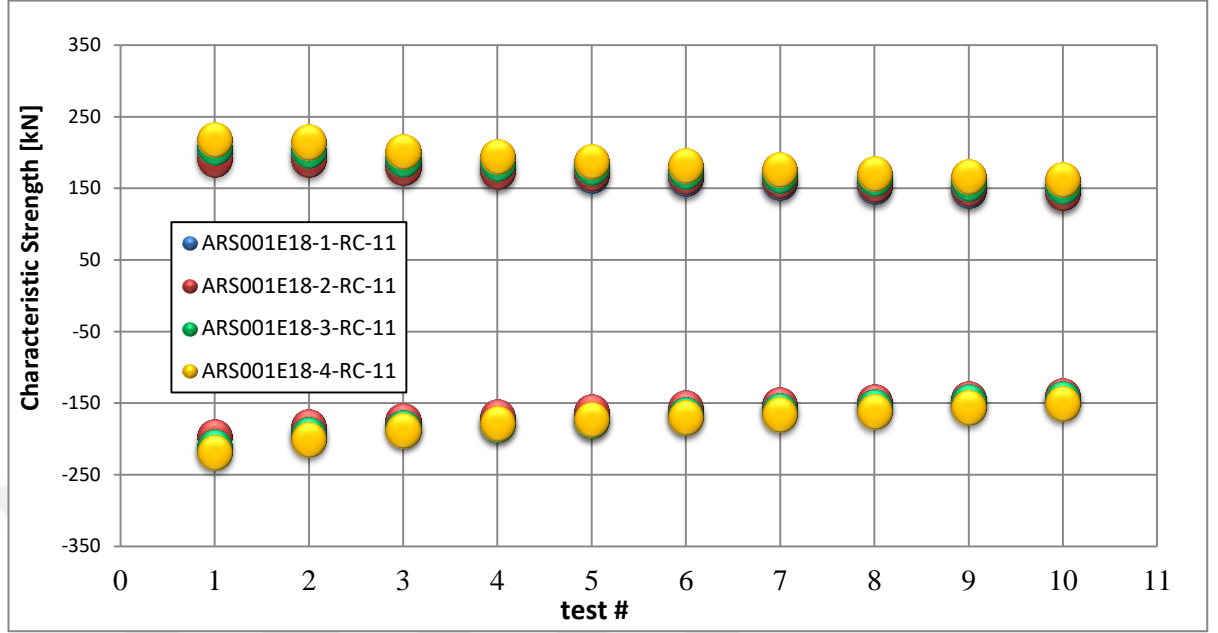
Şekil 3.25: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki K_r rijitlikleri tablosu.

- Karakteristik mukavemetleri tekrar eden 10 çevrimde dört farklı numune için Çizelge 3.32'deki gibidir;

Çizelge 3.32: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki karakteristik mukavemetleri.

Cycle	ARS001E18-1	ARS001E18-2	ARS001E18-3	ARS001E18-4
1	200	191	207	217
1	-211	-197	-212	-219
2	196	189	203	214
2	-191	-183	-195	-202
3	184	178	191	200
3	-181	-174	-185	-188
4	175	174	185	194
4	-173	-170	-179	-179
5	168	171	178	187
5	-168	-162	-174	-173
6	163	166	173	181
6	-162	-157	-167	-171
7	158	161	168	176
7	-155	-152	-160	-166
8	152	155	163	170
8	-151	-148	-155	-162
9	147	150	157	165
9	-146	-144	-148	-156
10	143	145	152	161
10	-141	-139	-144	-151

Deprem yalıtım birimlerine ait tekrarlı 10 çevrim için birleştirilmiş karakteristik mukavemetlerini gösteren tablo Şekil 3.26'daki gibidir;



Şekil 3.26: Dört farklı deprem yalıtım birimi numunesinin tekrar eden 10 çevrimdeki karakteristik mukavemetleri tablosu.

- Son olarak dört numuneye de düşey yük kapasite testi ve yatayda %175 kayma birim şekil değiştirmesine göre yatay yük kapasitesi testleri uygulanmış ve yalıtım birimlerinde herhangi bir göçme, yırtılma, stabilite problemi vs. gözlemlenmemiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27: ARS001E18-1 deprem yalıtım birimi yatay kapasite testinde.

Eucentre test merkezinde dört farklı numune üzerinde EN 15129 standardına uygun olarak yapılan bütün testlere ait sonuç tabloları Ek A'da verilmiştir.

Testler sonucunda dört farklı numunenin de yaklaşık olarak birbirlerine yakın performanslar yaptığı gözlemlenmiştir ve yüksek kayma birim şekil değiştirmeleri kontrollerinde bile tasarımdaki varsayılan birim şekil değiştirmenin çok üzerine çıkmış ancak deprem yalıtım birimlerinde herhangi bir sorun ile karşılaşılmamıştır (Şekil 3.28). Ancak, tasarımda hedeflenen değerlerin incelenmesi sonucu etkin rijitlik, sönüm, kayma modülü, karakteristik mukavemetlerden özellikle karakteristik mukavemetin yüksek çıkmasına istinaden kayma modülünün de buna bağlı olarak yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun sonucunda kauçuk hamurunda çok küçük değişiklikler haricinde tedarik edilen kurşunun saflığının %99,0'dan daha yüksek olacak şekilde temin edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu aşamada yeni tedarik edilen kurşunların saflığı %99,5'in de üzerine çıkmış, böylelikle yeni üretilecek numuneler ile CE belgelendirme prosedürlerine başlama karar alınmıştır.



Şekil 3.28: Testleri tamamlanmış olan ARS001E18-2 deprem yalıtım birimi.

3.2.2 Sismalab Taranto-İtalya, CE belgelendirme testleri

Deprem yalıtım birimi test merkezlerinin test programlarındaki yoğunluklar nedeniyle EN 15129 standardına göre CE belgelendirme testleri Eucentre'da yapılamamıştır. Bu nedenle yine deprem yalıtım birimi üreticilerinin sıklıkla test yaptırdığı İtalya'daki bir diğer test merkezi olan Sismalab'da testler yapılmıştır (Şekil 3.29). Testlere CE belgelendirme yetkin kuruluşlarından Almanya MPA

Karlsruhe'den de yetkili birisi katılmış olup, sonuçları değerlendirip raporunu hazırlamıştır.

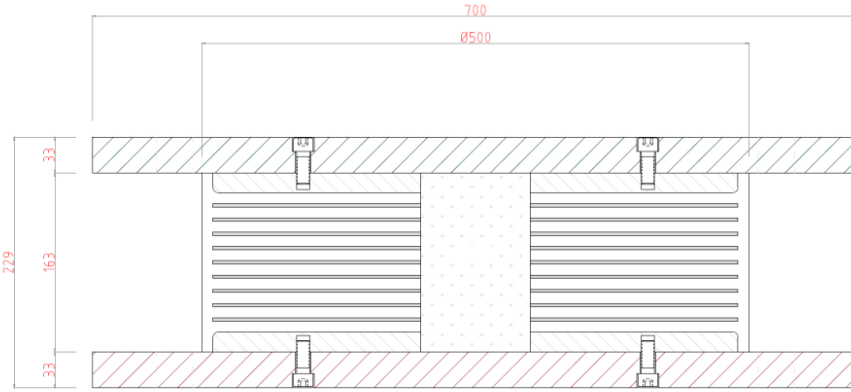


Şekil 3.29: Sismalab deprem yalıtım birimi test cihazı.

Sismalab test merkezindeki test makinesinin kapasitesi Eucentre'daki cihazın kapasitesinden oldukça düşük olmasına rağmen, CE belgelendirme test numunesi için uygun bir cihazdır. Cihazın düşey yük kapasitesi 10000 kN, yataydaki yük kapasitesi 1350 kN ($V=0,9$ mm/s), maksimum piston açılma mesafesi ± 500 mm ve tabla ölçüleri 1000x1000 mm'dir. Bu cihazda kayıcı malzeme kullanılmadığından ötürü 2 adet deprem yalıtım birimi test edilmektedir.

CE belgelendirme süreci için üretilen numunede çift kurşun çekirdek yerine, eşdeğeri olan aynı kesit alanına sahip tek kurşun kullanılması kararlaştırılmıştır. Zira çift kurşunlu deprem yalıtım birimlerinde yük doğrultusuna bağlı herhangi bir farklı

davranış gözlemlenmemiştir. Test numunesine ait deprem yalıtım birimi kesiti Şekil 3.30'da ve Ek B'de verilmiştir.



Şekil 3.30: Sismalab test merkezinde test edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti.

3.2.2.1 CE belgelendirme test planı

EN 15129 standardına uygun olarak CE belgelendirme testleri için Sismalab tarafından hazırlanan test planı Şekil 3.31'deki gibidir;

N	TEST	DISPLACEMENT - mm	V.LOAD - kN	F - Hz	S. FUNCTION	CYCLE
1	C.S	-	2095	-	RAMP	1/2
2a	H.C.C 5%	5	1180	0.5	SINUSOIDAL	3
2b	H.C.C 10%	10	1180	0.5	SINUSOIDAL	3
2c	H.C.C 20%	20	1180	0.5	SINUSOIDAL	3
2d	H.C.C 50%	50	1180	0.5	SINUSOIDAL	3
2e	H.C.C 100%	100	1180	0.5	SINUSOIDAL	3
3	O.S.R.	90	1180	-	RAMP	1/2
4a	H.C.F	100	1180	0,05	SINUSOIDAL	3
4b	H.C.F	100	1180	0,25	SINUSOIDAL	3
4c	H.C.F	100	1180	1	SINUSOIDAL	3
5a	H.C.T. 40°C	100	1180	0.5	SINUSOIDAL	3
5b	H.C.T. 23°C	100	1180	0.5	SINUSOIDAL	3
5c	H.C.T. 0°C	100	1180	0.5	SINUSOIDAL	3
5d	H.C.T. -10°C	100	1180	0.5	SINUSOIDAL	3
5e	H.C.T. -20°C	100	1180	0.5	SINUSOIDAL	3
6	H.C.R.	100	1180	0.5	SINUSOIDAL	10
7	C.C.	-	2095	-	RAMP	1/2
8a	L.C	175	3025	-	RAMP	1/2
8b	L.C.	175	400	-	RAMP	1/2
8c	L.C.	225	3025	-	RAMP	1/2

Şekil 3.31: Belgelendirme için test planı.

Test planında belirtilen kısaltmaların açıklamaları aşağıdaki gibidir;

- C.S : Düşey rijitlik testi
- H.C.C : Çevrimsel yükler altında yatay karakteristik test
- O.S.R : Tek yönde yatay test
- H.C.F : Frekansa bağlı yatay karakteristik test
- H.C.T : Sıcaklığa bağlı yatay karakteristik test
- H.C.R : Tekrarlı çevrimsel yükler altında yatay karakteristik test
- C.C : Düşey yük kapasite testi
- L.C : Yatay yük kapasite testi

Eucentre'da yaptırılan testlerden farklı olarak CE belgelendirme sürecinde gereklilik şartlarından olan sıcaklık değişimine bağlı yatay karakteristik testleri de plana eklenmiştir.

3.2.2.2 Hesap yöntemleri

Sismalab test merkezinin hesaplarda kullandıkları yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Etkin rijitlik aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$K_b = (F^+ - F^-) / (d^+ - d^-) \quad (3.9)$$

Burada verilen F^+ maksimum, F^- değeri minimum yüküdür. Aynı şekilde d^+ maksimum, d^- minimum deplasmandır.

- Ortalama eşdeğer viskoz sönüm oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$\xi = 2 * H / [\pi * K_b * (d^+ - d^-)^2] \quad (3.10)$$

Burada verilen H değeri histeritik eğri altında kalan alanı ifade etmektedir.

- K_2 rijitliği aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$K_2^+ = (K_2^+ + K_2^-) / 2 = 1/2 \{ [(F_1 - F_2) / (d_1 - d_2)] + [(F_3 - F_4) / (d_3 - d_4)] \} \quad (3.11)$$

Burada verilen d_1 ve d_4 maksimum ve minimum deplasmanın %90'ını, d_2 ve d_3 ise maksimum ve minimum deplasmanların %50'sini ifade eder. Bunlara karşılık F^+ 'lerin indisleri de o deplasmanlara tekabül eden yük miktarlarıdır.

- Düşey rijitlik aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$K_v = (F^+ - F^-) / (d^+ - d^-) \quad (3.12)$$

Burada verilen F^- değeri maksimum yükün %30'udur. d^+ değeri maksimum deplasmanı tanımlarken, d^- değeri ise maksimum yükün %33'ünde meydana gelen deplasmanı tanımlar.

3.2.2.3 Test sonuçları

Bir önceki bölümde verilen hesap yöntemleri kullanılarak deprem yalıtım birimlerinin davranışları grafiklerden sayısal verilere dönüştürülmüştür. Buna göre;

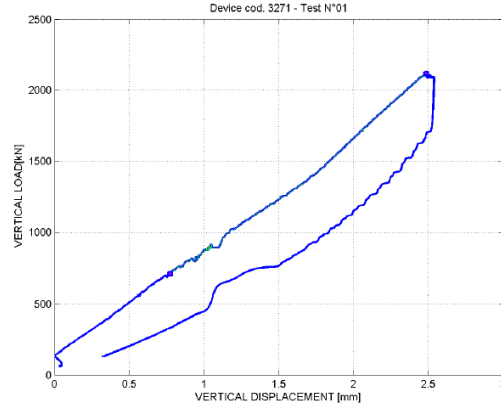
- Düşey rijitlik testi metodu için aşağıdaki yöntem uygulanır (Şekil 3.32) ve test sonuçları Şekil 3.33 ve Şekil 3.34'te verilmiştir;



Şekil 3.32: Deprem yalıtım birimleri düşey rijitlik testi sırasında.

Düşey rijitlik testinde, maksimum yüke kadar deprem yalıtım birimine düşey yük uygulanır ve en az 3 dakika bu yük altında yalıtım birimi bekletilir. Maksimum yük altında bekleyen yalıtım biriminde hasar kontrolü yapılır. Oluşabilecek hasarlar;

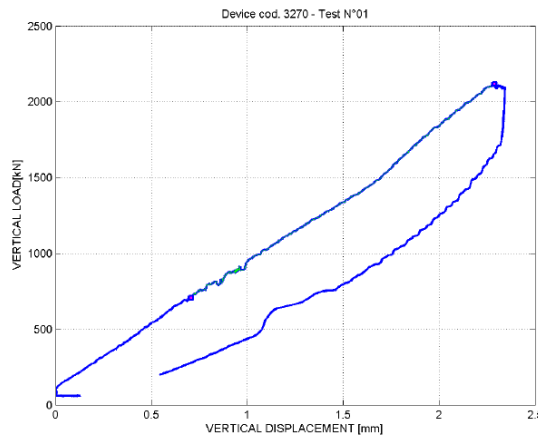
yapışma problemi, iç çelik plakaların kaymış olması veya yalıtım birimi yüzeyinde 2 mm'den daha büyük çatlakların gözlenmesi sayılabilir. Düşey rijitlik, maksimum yük ve maksimum yükün %33'ü olan yükteki değerlere bağlı olarak hesaplanır. Yük deplasman eğrisinde hızlı artış veya azalışlar gözlemlenmediyse ve eğri düzgünce artıyor ve azalıyorsa deprem yalıtım biriminde düşey yük altında bir problemin görülmediği kanaatine varılır.



Results Estimated

Displacement corresponding to the Maximum Load reached	2.49	mm
Displacement corresponding to the 33% of the Maximum Load	0.77	mm
Maximum load reached	2115.49	kN
33% of the Maximum load reached	705.99	kN
Vertical stiffness kv	823.47	kN/mm

Şekil 3.33: 3271 numaralı deprem yalıtım biriminin düşey rijitlik testi sonucu.



Results Estimated

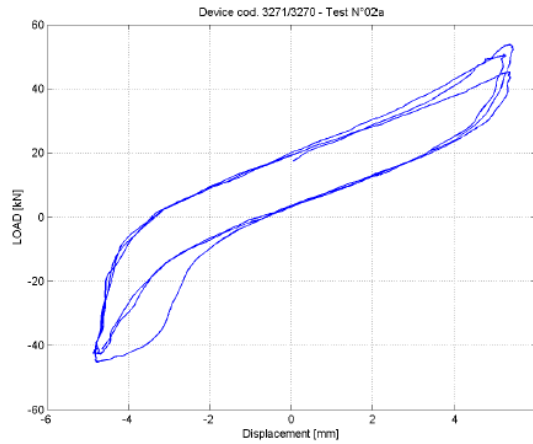
Displacement corresponding to the Maximum Load reached	2.29	mm
Displacement corresponding to the 33% of the Maximum Load	0.71	mm
Maximum load reached	2115.49	kN
33% of the Maximum load reached	705.99	kN
Vertical stiffness kv	891.46	kN/mm

Şekil 3.34: 3270 numaralı deprem yalıtım biriminin düşey rijitlik testi sonucu.

EN 15129 standardına göre tasarımda hesaplanan düşey rijitliğin tip testlerde bulunan rijitliklerden ± 30 % sapma olabileceği bildirilmiştir. Tasarımda hesaplanan düşey rijitlik 747,03 kN/mm; testlerde bulunan 823,47 kN/mm ve 891,46 kN/mm olduğundan ötürü toleransın içindedir.

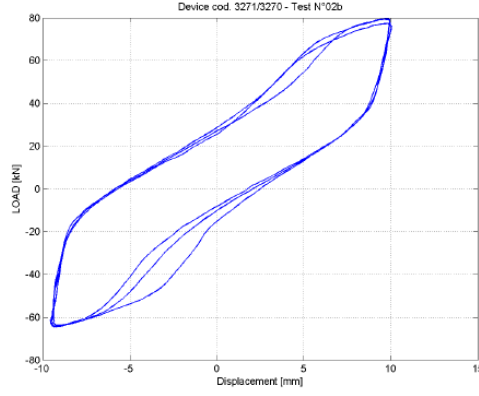
- Yatay karakteristik testlerinden %5, %10, %20, %50, %100 kayma birim şekil değiştirmesi için test metodu aşağıdaki şekildedir ve test sonuçları Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37, Şekil 3.38 ve Şekil 3.39'da verilmiştir;

Yataydaki karakteristik testlerde 0,5 Hz sabit frekans ve 6 MPa düşey yük altında 3 çevrim için genlikler artırılarak deprem yalıtım biriminin davranışları incelenmektedir. % olarak verilen değerler talep edilen deplasmanın, deprem yalıtım biriminin kayma kapasitesinin yani toplam kauçuk katman kalınlığına oranını ifade eder. Testler sonucunda elde edilen histeritik eğrilerden önceki bölümde verilen hesap yöntemleri kullanılarak deprem yalıtım biriminin etkin rijitliği ve sönüm oranı hesaplanmaktadır.



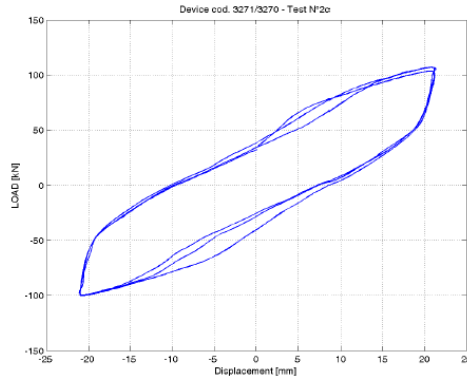
Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	5.35	5.24	5.42	mm
Minimum displacement	-4.84	-4.8	-4.88	mm
Maximum load	45.22	50.62	53.76	kN
Minimum load	-45.04	-42.62	-42.44	kN
Effective stiffness keffb	8.86	9.29	9.34	kN/mm
Dissipated energy	188.27	165.16	162.9	J
Damping	13.03	11.23	10.47	%
Secoond branch stiffness k2	8.01	7.81	8.67	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	17.43	20.13	19.42	kN
Load Qd (negative branch)	3.5	3.48	3.77	kN
Load Qd (mean value)	6.97	8.32	7.83	kN
Vertical load	1179.13	1179.13	1179.13	kN

Şekil 3.35: %5 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak yatay karakteristik test sonucu.



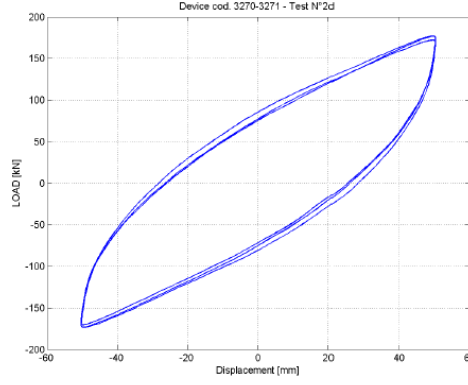
Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	10.04	9.95	9.97	mm
Minimum displacement	-9.56	-9.58	-9.43	mm
Maximum load	77.42	79.36	79.59	kN
Minimum load	-64.14	-64.42	-63.69	kN
Effective stiffness keffb	7.22	7.36	7.39	kN/mm
Dissipated energy	900.5	845.19	747.55	J
Damping	20.67	19.17	17.12	%
Secoond branch stiffness k2	2.43	3.23	4.92	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	25.76	28.73	27.64	kN
Load Qd (negative branch)	-14.5	-9.81	-7.32	kN
Load Qd (mean value)	20.13	19.27	17.48	kN
Vertical load	1185.56	1185.56	1185.56	kN

Şekil 3.36: %10 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak yatay karakteristik test sonucu.



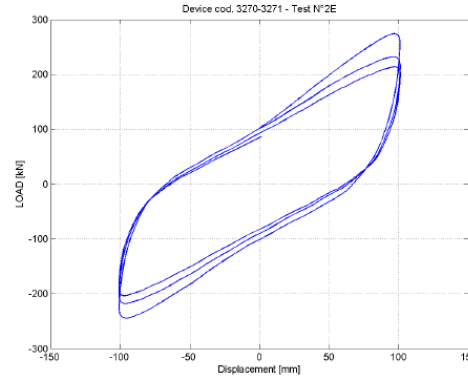
Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	21.17	21.15	21.35	mm
Minimum displacement	-21.05	-21.08	-21.03	mm
Maximum load	103.39	107.1	106.96	kN
Minimum load	-99.34	-99.66	-100.06	kN
Effective stiffness keffb	4.8	4.9	4.89	kN/mm
Dissipated energy	2956.51	2662.34	2467.15	J
Damping	21.99	19.41	17.9	%
Secoond branch stiffness k2	1.69	1.99	2.63	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	35.53	39.03	34.26	kN
Load Qd (negative branch)	-38.62	-27.17	-25.32	kN
Load Qd (mean value)	37.07	33.1	29.79	kN
Vertical load	1229.59	1229.59	1229.59	kN

Şekil 3.37: %20 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak yatay karakteristik test sonucu.



Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	50.33	50.28	50.28	mm
Minimum displacement	-50.44	-50.32	-50.38	mm
Maximum load	171.95	177.07	176.75	kN
Minimum load	-173.04	-173.08	-170.14	kN
Effective stiffness keffb	3.42	3.48	3.45	kN/mm
Dissipated energy	13035.68	12580.78	12004.91	J
Damping	23.87	22.74	21.89	%
Second branch stiffness k2	1.46	1.46	1.55	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	76.43	86.41	78.23	kN
Load Qd (negative branch)	-79.86	-74.12	-70.97	kN
Load Qd (mean value)	78.14	80.27	74.6	kN
Vertical load	1168.14	1168.14	1168.14	kN

Şekil 3.38: %50 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak yatay karakteristik test sonucu.



Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	100.82	101.07	101.12	mm
Minimum displacement	-100.78	-100.87	-100.94	mm
Maximum load	273.87	231.99	213.78	kN
Minimum load	-244.33	-217.42	-203.01	kN
Effective stiffness keffb	2.57	2.23	2.06	kN/mm
Dissipated energy	40491.06	35688.85	32495.03	J
Damping	24.67	25.03	24.56	%
Second branch stiffness k2	1.24	0.96	0.91	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	102.12	103.13	94.58	kN
Load Qd (negative branch)	-100.16	-89.27	-81.52	kN
Load Qd (mean value)	101.14	96.2	88.05	kN
Vertical load	1174.04	1174.04	1174.04	kN

Şekil 3.39: %100 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak yatay karakteristik test sonucu.

EN 15129 standardı kabul kriteri için 3. çevrimdeki K_b ve ξ_b (veya K_2 ve Q_d) değerleri tasarımda hesaplanan değerlerden ± 20 % farklılık gösterebilmektedir. Eğer tasarımda, testlerdeki birim şekil değiştirme değerlerinden daha farklı bir hareket miktarı tanımlandıysa interpolasyon yöntemi ile K_b ve ξ_b (veya K_2 ve Q_d) hesaplanır ve kontrolü yapılır. Tasarımda hesaplanan değerler Çizelge 3.33'teki gibidir;

Çizelge 3.33: Tasarımda belirlenen parametreler.

	K_b (kN/mm)	ξ_b (%)	K_2 (kN/mm)	$Q_{d,pos}$ (kN)	$Q_{d,neg}$ (kN)
$D_{dbe}=100$	2,00	24,70	1,13	86,40	-86,40

Testlerde ortaya çıkan değerler ise Çizelge 3.34'teki gibidir;

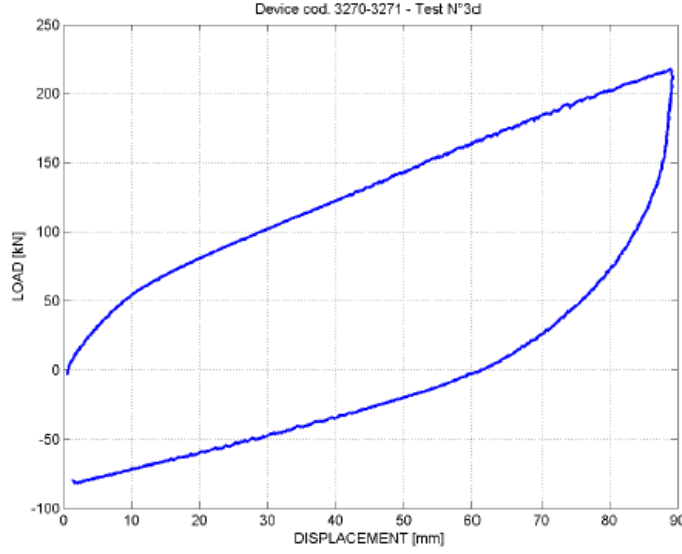
Çizelge 3.34: Test sonucunda ortaya çıkan değerler.

Rubber Shear Strain (%)	K_b (kN/mm)	ξ_b (%)	K_2 (kN/mm)	$Q_{d,pos}$ (kN)	$Q_{d,neg}$ (kN)
5	9,34	10,47	8,67	19,42	3,77
10	7,39	17,12	4,92	27,64	-7,32
20	4,89	17,90	2,63	34,26	-25,32
50	3,45	21,89	1,55	78,23	-70,97
100	2,06	24,56	0,91	94,58	-81,52

Sonuç olarak %100 yatay birim şekil değiştirme durumunda ölçülen değerlerin hesaplanan değerlere oranı ± 20 % toleransı içinde olduğundan ötürü deprem yalıtım birimleri bu testlerin kabul kriterini sağlamıştır.

- Tek yönde yatay rijitlik testi için test metodu aşağıdaki şekildedir ve test sonuçları Şekil 3.40'ta verilmiştir;

Bu testte yine 6 MPa düşey yük altında yatayda d_{bd} yani dizayn deplasmanı etkilenerek bir süre beklenmektedir ve yataydaki rijitlik hesaplanmaktadır.



Results Estimated

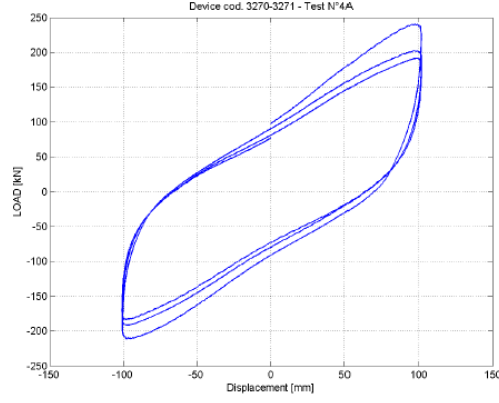
Maximum Load reached - F_{max}	217.75	kN
Maximum Displacement - d_{max}	89.28	mm
Effective stiffness - $k = F_{max} / d_{max}$	2.44	kN/mm
Vertical Load	1185.68	kN

Şekil 3.40: Tek yönde yatay rijitlik testi sonucu.

Test sonucunda deprem yalıtım birimlerinde herhangi bir problem gözlemlenmemiştir. Rijitlik %90 yatay birim şekil değiştirme için 2,44 kN/mm olarak bulunmuştur.

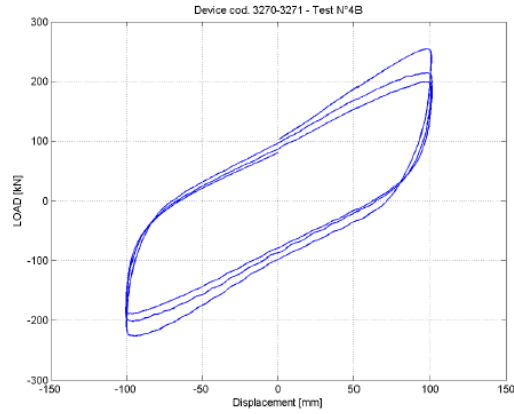
- Frekansa bağlı yatay karakteristik test metodu aşağıdaki şekildedir ve test sonuçları Şekil 3.41, Şekil 3.42 ve Şekil 3.43'te verilmiştir;

Frekansa bağlı yatay karakteristik testlerde, genlik %100 kayma birim şekil değiştirmesi olarak belirlenip sabit tutulacaktır. Bu testlerde 6 MPa sabit düşey yük altında 3 çevrim için frekans artırılarak yalıtım biriminin davranışları incelenmektedir. Aynı şekilde histeritik eğrilerden etkin rijitlik ve sönüm oranı hesaplanabilmektedir. EN 15129 standardına göre 0,05 Hz, 0,25 Hz, 1 Hz ve 2 Hz frekanslarında test yapılması gerekmektedir, ancak Sismalab test cihazının kapasitesi 2 Hz frekansına uygun olmadığından dolayı bu test yapılamamıştır. Öte yandan EN komisyonu 2 Hz testlerinin standarttan kaldırılması konusunda anlaşmaya varmıştır ve yeni revizyonda bu test artık yapılmayacaktır.



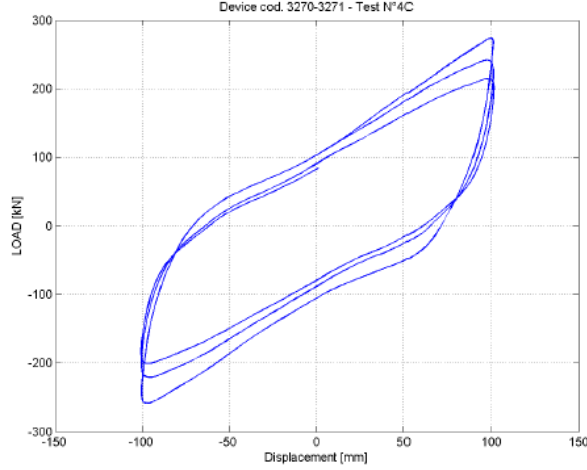
Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	101.45	101.62	101.59	mm
Minimum displacement	-100.94	-100.98	-101.11	mm
Maximum load	241.07	202	191.26	kN
Minimum load	-210.93	-191.18	-183.27	kN
Effective stiffness keffb	2.23	1.94	1.85	kN/mm
Dissipated energy	36785.13	32111.64	29921.53	J
Damping	25.6	25.66	25.09	%
Secoond branch stiffness k2	1.01	0.83	0.82	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	97.49	90.35	81.13	kN
Load Qd (negative branch)	-90.67	-79.37	-72.61	kN
Load Qd (mean value)	94.08	84.86	76.87	kN
Vertical load	1189.63	1189.63	1189.63	kN

Şekil 3.41: 0,05 Hz frekans altında karakteristik test sonucu.



Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	100.55	100.74	101.01	mm
Minimum displacement	-100.19	-100.58	-100.39	mm
Maximum load	254.01	214.51	199.29	kN
Minimum load	-225.32	-201.12	-188.69	kN
Effective stiffness keffb	2.39	2.06	1.93	kN/mm
Dissipated energy	39138.89	34162.02	31108.82	J
Damping	25.9	25.99	25.34	%
Secoond branch stiffness k2	1.1	0.83	0.82	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	103.04	96.97	86.52	kN
Load Qd (negative branch)	-97.65	-86.04	-78.44	kN
Load Qd (mean value)	100.35	91.51	82.48	kN
Vertical load	1174.22	1174.22	1174.22	kN

Şekil 3.42: 0,25 Hz frekans altında karakteristik test sonucu.



Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	100.72	100.77	101.08	mm
Minimum displacement	-100.57	-100.62	-100.79	mm
Maximum load	273.48	241.56	214.42	kN
Minimum load	-258.15	-220.2	-200.17	kN
Effective stiffness keffb	2.64	2.29	2.05	kN/mm
Dissipated energy	41245.1	35795.02	31697.12	J
Damping	24.54	24.5	24.11	%
Secoond branch stiffness k2	1.35	1.04	0.91	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	105.02	104.73	91.75	kN
Load Qd (negative branch)	-101.55	-83.7	-75.01	kN
Load Qd (mean value)	103.28	94.22	83.38	kN
Vertical load	1181.02	1181.02	1181.02	kN

Şekil 3.43: 1 Hz frekans altında karakteristik test sonucu.

EN 15129 standardı kabul kriteri için farklı frekanslarda 3. çevrimdeki K_b ve ξ_b (veya K_2 ve Q_d) değerleri belirlenir. Uygulanan en büyük ve en küçük frekans değerlerinin orta frekans değerlerinden ± 20 % toleransla sağlanması gerekmektedir. Buna göre test sonuçları Çizelge 3.35 ve Çizelge 3.36’da frekansa bağlı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.35: Test sonucunda ortaya çıkan değerler (K_b ve ξ_b ’ye bağlı).

Test with f_i	$K_b (f_i)$ (kN/mm)	$K_b (f_i)/ K_b (f_2)$	$\xi_b (f_i)$ (%)	$\xi_b (f_i)/ \xi_b (f_2)$
$f_1= 0,05$ Hz	1,85	0,96	25,09	0,99
$f_2= 0,25$ Hz	1,93	1,00	25,34	1,00
$f_3= 1,00$ Hz	2,05	1,06	24,11	0,95

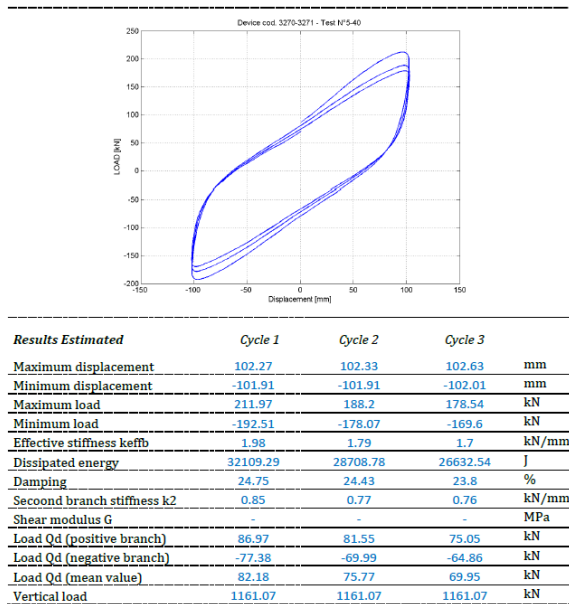
Çizelge 3.36: Test sonucunda ortaya çıkan değerler (K_2 ve Q_d 'ye bağlı).

Test with f_i	$K_2 (f_i)$ (kN/mm)	$K_2 (f_i)/ K_2 (f_2)$	$Q_{d,pos} (f_i)$ (kN) $Q_{d,neg} (f_i)$ (kN)	$Q_d (f_i)/ Q_d (f_2)$
$f_1= 0,05$ Hz	0,82	1,00	81,13 -72,61	0,94 0,93
$f_2= 0,25$ Hz	0,82	1,00	86,52 -78,44	1,00 1,00
$f_3= 1,00$ Hz	0,91	1,11	91,75 -75,01	1,06 0,96

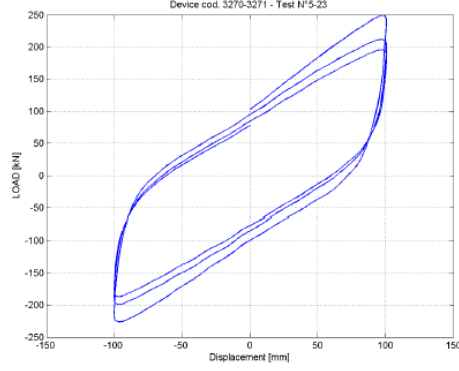
Test sonucundaki bütün değerler EN 15129 standardındaki kabul kriterlerine uygundur.

- Sıcaklığa bağlı yatay karakteristik test metodu aşağıdaki şekildedir ve test sonuçları Şekil 3.44, Şekil 3.45, Şekil 3.46, Şekil 3.47 ve Şekil 3.48'de verilmiştir;

Özel sıcaklık odalarında ısıtılan veya soğutulan deprem yalıtım birimleri üzerinde testler yapılmaktadır. Bu testler, 6 MPa düşey yük altında, %100 kayma birim şekil değiştirmesi ve 0,5 Hz frekans ile uygulanmaktadır. Düşey yük uygulandıktan sonra 0,5 Hz frekans ile %100 kayma birim şekil değiştirmesi yalıtım birimlerine uygulanır ve farklı sıcaklıktaki davranışları kaydedilir. Histeritik eğrilerden etkin rijitlik ve sönüm oranları hesaplanabilir.

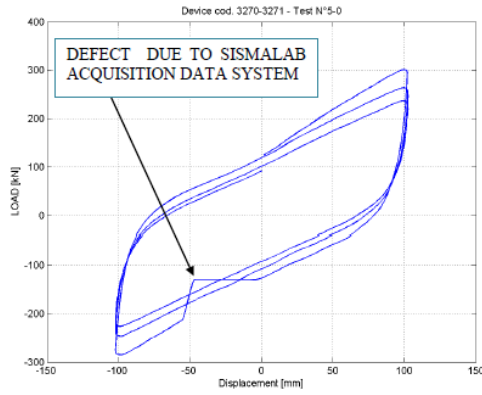


Şekil 3.44: 40 °C sıcaklığa maruz bırakılmış deprem yalıtım birimlerinin yatay karakteristik test sonucu.



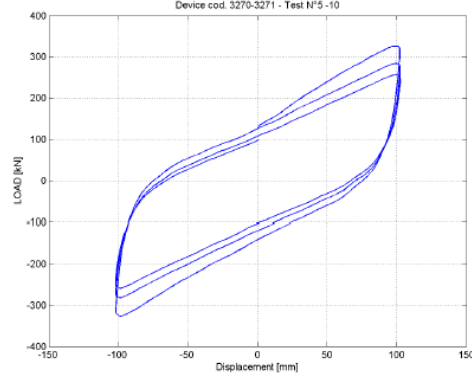
Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	100,6	100,61	100,67	mm
Minimum displacement	-100,09	-100,08	-100,06	mm
Maximum load	249,05	211,72	195,42	kN
Minimum load	-225,56	-198,66	-186,49	kN
Effective stiffness keffb	2,36	2,04	1,9	kN/mm
Dissipated energy	38856,29	32787,39	29391,61	J
Damping	25,97	25,34	24,41	%
Second branch stiffness k2	1,08	0,88	0,86	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	103,13	94,82	84,35	kN
Load Qd (negative branch)	-98,1	-83,53	-75,47	kN
Load Qd (mean value)	100,61	89,17	79,91	kN
Vertical load	1199,36	1199,36	1199,36	kN

Şekil 3.45: 23 °C sıcaklığa maruz bırakılmış deprem yalıtım birimlerinin yatay karakteristik test sonucu.



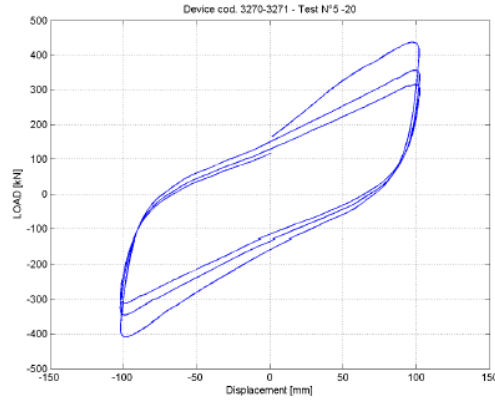
Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	102	102,33	102,32	mm
Minimum displacement	-102,01	-101,89	-101,89	mm
Maximum load	300,9	263,74	236,66	kN
Minimum load	-284,33	-246,34	-225,79	kN
Effective stiffness keffb	2,87	2,5	2,26	kN/mm
Dissipated energy	48136,46	42439,47	36512,38	J
Damping	25,67	25,94	24,61	%
Second branch stiffness k2	1,74	1,13	1,07	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	124,78	119,73	102,01	kN
Load Qd (negative branch)	-125,34	-106,49	-91,16	kN
Load Qd (mean value)	125,06	113,11	96,59	kN
Vertical load	1178,89	1178,89	1178,89	kN

Şekil 3.46: 0 °C sıcaklığa maruz bırakılmış deprem yalıtım birimlerinin yatay karakteristik test sonucu.



Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	102.22	102.3	102.41	mm
Minimum displacement	-101.75	-101.84	-101.97	mm
Maximum load	325.29	283.95	256.1	kN
Minimum load	-326.02	-281.69	-258.58	kN
Effective stiffness keffb	3.19	2.77	2.52	kN/mm
Dissipated energy	54674.71	45804.19	39812.84	J
Damping	26.2	25.25	24.09	%
Secoond branch stiffness k2	1.55	1.33	1.26	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	130.92	126.35	108.38	kN
Load Qd (negative branch)	-139.99	-119.2	-102.68	kN
Load Qd (mean value)	135.46	122.77	105.53	kN
Vertical load	1175.25	1175.25	1175.25	kN

Şekil 3.47: -10 °C sıcaklığa maruz bırakılmış deprem yalıtım birimlerinin yatay karakteristik test sonucu.



Results Estimated	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Maximum displacement	101.88	102.11	102.22	mm
Minimum displacement	-101.92	-102.05	-101.95	mm
Maximum load	436.8	356.29	314.95	kN
Minimum load	-408.38	-344.93	-311.81	kN
Effective stiffness keffb	4.15	3.43	3.07	kN/mm
Dissipated energy	66831.32	54006.71	46864.21	J
Damping	24.7	24.02	23.31	%
Secoond branch stiffness k2	2.11	1.77	1.64	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	165.36	153	129.78	kN
Load Qd (negative branch)	-153.94	-131.5	-113.82	kN
Load Qd (mean value)	159.65	142.25	121.8	kN
Vertical load	1187.46	1187.46	1187.46	kN

Şekil 3.48: -20 °C sıcaklığa maruz bırakılmış deprem yalıtım birimlerinin yatay karakteristik test sonucu.

Bu arada test sırasında deprem yalıtım birimlerinin sıcaklıkları da ölçülmektedir (Şekil 3.49).



Şekil 3.49: Testler öncesi deprem yalıtım birimlerinin sıcaklıkları ölçülmektedir.

EN 15129 standardı kabul kriteri için farklı sıcaklık değerlerinde 3. çevrimdeki K_b ve ξ_b (veya K_2 ve Q_d) değerleri belirlenir. En düşük sıcaklıktaki değerler, 23 °C'deki değerlerden +80% veya -20 %'yi aşmamalıdır. Buna ek olarak en yüksek sıcaklıktaki belirlenen değerler 23 °C'deki değerleri ± 20 % toleransla sağlanması gerekmektedir. Buna göre test sonuçları Çizelge 3.37 ve Çizelge 3.38'de sıcaklık değişimine bağlı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.37: Test sonucunda ortaya çıkan değerler (K_b ve ξ_b 'ye bağlı).

Test at T_i	$K_b (T_i)$ (kN/mm)	$K_b (T_i)/ K_b (T_2)$	$\xi_b (T_i)$ (%)	$\xi_b (T_i)/ \xi_b (T_2)$
$T_1= 40$ °C	1,70	0,89	23,80	0,98
$T_2= 23$ °C	1,90	1,00	24,41	1,00
$T_3= 0$ °C	2,26	0,84	24,61	1,01
$T_4= -10$ °C	2,52	1,33	24,09	0,99

Çizelge 3.38: Test sonucunda ortaya çıkan değerler (K_2 ve Q_d 'ye bağlı).

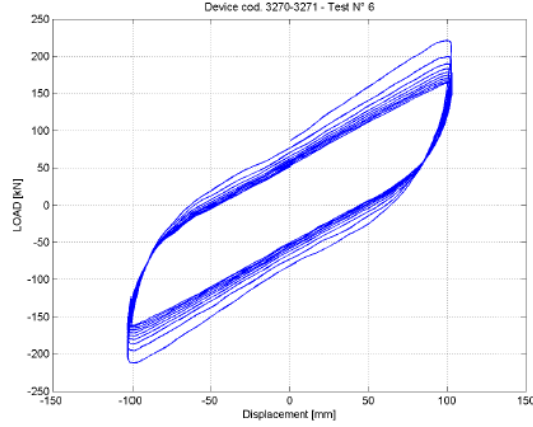
Test at T_i	$K_2 (T_i)$ (kN/mm)	$K_2 (T_i)/ K_2 (T_2)$	$Q_{d,pos} (T_i)$ (kN) $Q_{d,neg} (T_i)$ (kN)	$Q_d (T_i)/ Q_d (T_2)$
$T_1= 40$ °C	0,76	0,88	75,05 -64,86	0,89 0,86
$T_2= 23$ °C	0,86	1,00	84,35 -75,47	1,00 1,00
$T_3= 0$ °C	1,07	1,24	102,01 -91,16	1,21 1,21
$T_4= -10$ °C	1,26	1,47	108,38 -102,68	1,28 1,36

- Tekrarlı çevrimsel yükler altında yatay karakteristik test için test metodu aşağıdaki şekildedir (Şekil 3.50) ve test sonuçları Şekil 3.51'de verilmiştir;

Ardı ardına devam eden 10 çevrimsel döngü, 6 MPa düşey yük altında, %100 kayma birim şekil değiştirmesi ve 0,5 Hz frekans ile uygulanmaktadır. Düşey yük uygulandıktan sonra 0,5 Hz frekans ile %100 kayma birim şekil değiştirmesi deprem yalıtım birimlerine uygulanır ve davranışı kaydedilir. Histeritik eğrilerden etkin rijitlik ve sönüm oranları hesaplanabilir.



Şekil 3.50: Testler sırasında %100 kayma birim şekil değıştirmesi yapan değişim yalıtım birimleri.



<i>Results Estimated</i>	<i>Cycle 1</i>	<i>Cycle 2</i>	<i>Cycle 3</i>	
Maximum displacement	102.41	102.46	102.6	mm
Minimum displacement	-102.2	-102.15	-102.1	mm
Maximum load	220.87	199.37	189.52	kN
Minimum load	-211.64	-195.33	-185.99	kN
Effective stiffness keffb	2.11	1.93	1.83	kN/mm
Dissipated energy	32389.3	28124.09	25676.83	J
Damping	23.3	22.17	21.27	%
Secoond branch stiffness k2	1.08	1	0.96	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	86.52	77.3	70.84	kN
Load Qd (negative branch)	-80.57	-72.03	-65.23	kN
Load Qd (mean value)	83.55	74.67	68.04	kN
Vertical load	1174.1	1174.1	1174.1	kN

<i>Results Estimated</i>	<i>Cycle 4</i>	<i>Cycle 5</i>	<i>Cycle 6</i>	
Maximum displacement	102.68	102.73	102.8	mm
Minimum displacement	-102.01	-102.03	-102.01	mm
Maximum load	183.15	178.29	174.26	kN
Minimum load	-180.3	-175.75	-171.58	kN
Effective stiffness keffb	1.78	1.73	1.69	kN/mm
Dissipated energy	24063.51	22902.51	22058.52	J
Damping	20.59	20.11	19.83	%
Secoond branch stiffness k2	0.94	0.93	0.9	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	66.17	62.5	60.18	kN
Load Qd (negative branch)	-60.73	-57.54	-55.57	kN
Load Qd (mean value)	63.45	60.02	57.87	kN
Vertical load	1174.1	1174.1	1174.1	kN

<i>Results Estimated</i>	<i>Cycle 7</i>	<i>Cycle 8</i>	<i>Cycle 9</i>	<i>Cycle 10</i>	
Maximum displacement	102.91	102.69	102.71	102.94	mm
Minimum displacement	-102.08	-101.96	-101.77	-101.95	mm
Maximum load	170.71	168.2	165.25	163.63	kN
Minimum load	-167.71	-164.87	-162.82	-161.36	kN
Effective stiffness keffb	1.65	1.63	1.6	1.59	kN/mm
Dissipated energy	21439.41	20702.34	20081.91	19672.78	J
Damping	19.67	19.34	19.06	18.81	%
Secoond branch stiffness k2	0.9	0.88	0.87	0.86	kN/mm
Shear modulus G	-	-	-	-	MPa
Load Qd (positive branch)	58.35	58.65	56.68	52.95	kN
Load Qd (negative branch)	-53.45	-52.68	-51.38	-49.66	kN
Load Qd (mean value)	55.9	55.66	54.03	51.31	kN
Vertical load	1174.1	1174.1	1174.1	1174.1	kN

Şekil 3.51: Tekrarlı çevrimsel yükler altındaki yatay karakteristik test sonucu.

EN 15129 standardı kabul kriteri olarak tekrarlı çevrimsel yükler altındaki testler için 2. ve 10. çevrimdeki minimum ve maksimum K_b veya K_2 rijitlikleri ve ξ_b veya Q_d oranı 0,7'den daha az olmamalıdır. Bununla birlikte 1. ve 10. çevrimdeki K_b veya K_2 rijitliklerinin minimum ve maksimum değerleri oranı 0,6'dan daha az olmamalıdır. Testlerin sonucunda ortaya çıkan değerler Çizelge 3.39, Çizelge 3.40 ve Çizelge 3.41'deki gibidir.

Çizelge 3.39: Test sonucunda 2. ve 10. çevrimlerdeki ortaya çıkan değerler (K_b ve K_2 'ye bağlı).

Characteristic Value	2nd Cycle	10th Cycle	$\min[V(2nd\ Cycle)]/\max[V(10th\ Cycle)]$
K_b (kN/mm)	1,93	1,59	0,82
K_2 (kN/mm)	1,00	0,86	0,86

Çizelge 3.40: Test sonucunda 2. ve 10. çevrimlerdeki ortaya çıkan değerler (ξ_b ve Q_d 'ye bağlı).

Characteristic Value	2nd Cycle	10th Cycle	$\min[V(2nd\ Cycle)]/\max[V(10th\ Cycle)]$
ξ_b (%)	22,17	18,81	0,82
Q_d (kN)	77,30 -72,03	52,95 -49,66	0,68 0,69

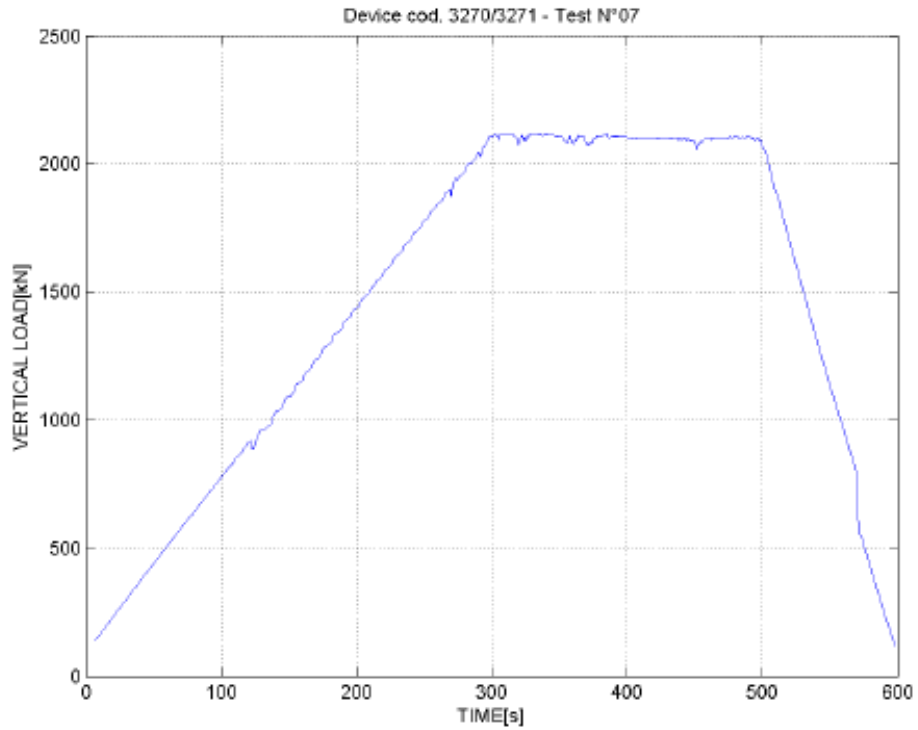
Çizelge 3.41: Test sonucunda 1. ve 10. çevrimlerdeki ortaya çıkan değerler (K_b ve K_2 'ye bağlı).

Characteristic Value	1st Cycle	10th Cycle	$\min[V(1st\ Cycle)]/\max[V(10th\ Cycle)]$
K_b (kN/mm)	2,11	1,59	0,75
K_2 (kN/mm)	1,08	0,86	0,80

Sonuç olarak deprem yalıtım birimlerinin test sonucu değerleri EN 15129 standardı kriterlerine uygun olarak çıkmıştır.

- Düşey taşıma kapasitesi testi için test metodu aşağıdaki şekildedir ve test sonuçları Şekil 3.52’de verilmiştir;

Düşey taşıma kapasitesi testinde, maksimum yüke kadar deprem yalıtım birimine düşey yük uygulanır ve en az 3 dakika bu yük altında yalıtım birimi bekletilir. Maksimum yük altında bekleyen yalıtım birimlerinde hasar kontrolü yapılır. Oluşabilecek hasarlar; yapışma problemi, iç çelik plakaların kaymış olması veya yalıtım birimi yüzeyinde 2 mm’den daha büyük çatlakların gözlenmesi sayılabilir.

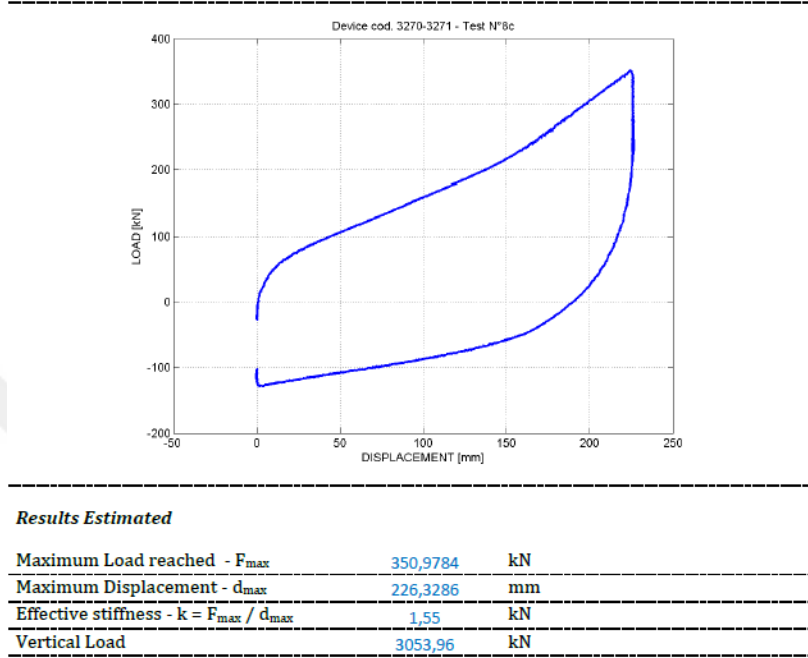


Şekil 3.52: Düşey taşıma kapasitesi test sonucu.

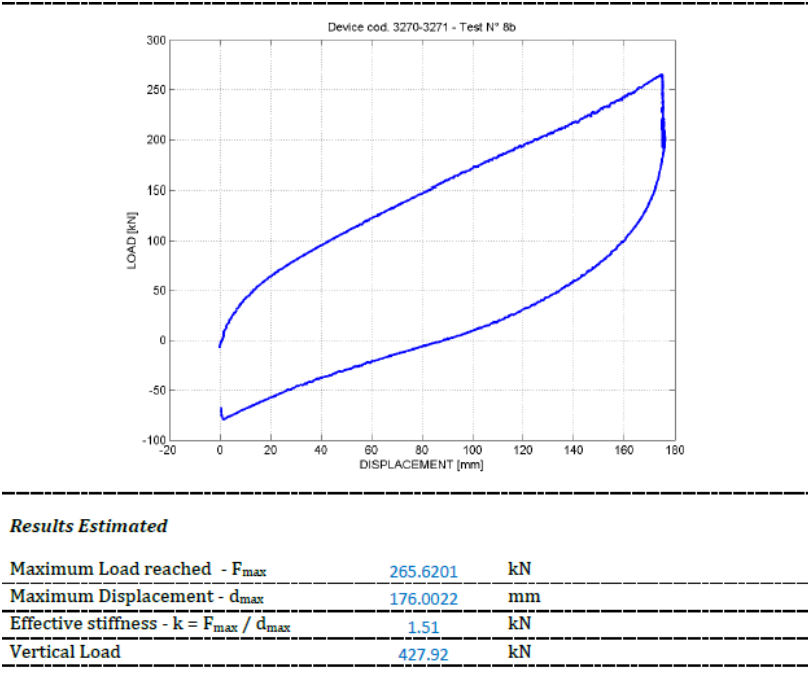
Deprem yalıtım birimlerinin düşey yük kapasite testi sonucu EN 15129 standardı kriterlerine uygun olarak gözlemlenmiştir. Deprem yalıtım birimlerinde herhangi bir görsel hasar mevcut değildir.

- Maksimum ve minimum düşey deprem yükleri altında yatay deplasman kapasitesi testi için test metodu aşağıdaki şekildedir ve test sonuçları Şekil 3.53 ve Şekil 3.54’te verilmiştir;

Deprem yalıtım birimine maksimum ve minimum düşey deprem yük uygulanır ve sisteme maksimum yatay deplasman kapasitesi boyunca hareket verilir. Akabinde yalıtım biriminde herhangi bir hasar veya 2 mm'den daha büyük ve geniş çatlaklar var mı diye incelenir.



Şekil 3.53: Maksimum düşey yük altında maksimum yatay taşıma kapasitesi test sonucu.



Şekil 3.54: Minimum düşey yük altında maksimum yatay taşıma kapasitesi test sonucu.

Deprem yalıtım birimlerinin maksimum ve minimum düşey yükleri altında maksimum yatay deplasman kapasite testleri sonuçları EN 15129 standardı kriterlerine uygundur. Yalıtım birimlerinde testler sonucunda herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir (Şekil 3.55).



Şekil 3.55: Maksimum düşey yükte maksimum yatay kapasite testi sırasında deprem yalıtım biriminin durumu.



4 DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Santez projesi kapsamında %100 yerli ilk kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım biriminin tasarımı ve üretimi başarı ile tamamlanmıştır. Proje sürecinde yaşanan 15 Temmuz Darbe Girişimi nedeniyle sürecin aksaması projenin en önemli kalemlerinden biri olan dinamik deprem yalıtım birimi test cihazının tedarikini geciktirmiş olmasına rağmen, proje ortağı üretici firma gerekli testleri kendi bünyesinde ve yurtdışı test merkezlerinde kendi olanakları ile yaptırmış ve sonucunda da Kuzey Marmara Otoyolu Projesi'nde kullanılmak üzere 500'ün üzerinde kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimini üretilip montajını yapmıştır.

Deprem yalıtım birimi tasarımı EN 15129 standardı kullanılmış ve 2019 yılı başında yürürlüğe girecek olan TBDY 2019 standardı da tasarıma entegre edilecektir.

Proje ortağı üretici firma 1989 yılından beri elastomerik köprü mesnetleri ürettiğinden ötürü kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi hamur tasarımı yeterli seviyede tecrübeye sahiptir. Ancak yine de istenen performansı sağlayacak olan özelliklerdeki hamurun tasarımı aylar sürmüştür. Genel itibarıyla proje başında deprem yalıtım birimlerinin kayma modülünün 0,9 MPa olarak üretilmesi kararlaştırılmış olmasına rağmen, üretilen hamurların testleri sonucunda 0,9 MPa hamurunun dışında 0,6 MPa kayma modülüne sahip hamur da geliştirilmiş ve sertifikalandırılmıştır. Yine kayma birim şekil değiştirmesi testleri için proje başında %150'lerde kauçuk ve iç çelik plaka yapışma problemleri görülüyorken, projenin sonunda üretilen yalıtım birimlerinin statik durumda %300'e kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. Dinamik durumda da belgelendirme testlerinde %225'e kadar çıkmıştır.

Proje ortağı firma 2000 ton düşey kapasiteye ve 2000x2000 mm tabla genişliğine sahip üretim presine sahip olduğundan ötürü EN 15129 standardında belirlenen maksimum ebatlardaki deprem yalıtım birimleri üretmesi açısından bir sorunu bulunmamaktadır. Yalıtım birimi test numuneleri sık kullanılan bir ebat olduğundan ötürü Ø 500 mm olarak seçilmiş ve yine projede kullanılmak üzere bu çaptaki deprem yalıtım birimleri tasarımı esas alınmıştır.

KAYNAKLAR

- Aiken Ian D., Nakashima M., Miyazaki M. ve Midorikawa M.** (1999). The 1995 Kobe (Hyogo-ken Nanbu) *Earthquake as a Trigger for Implementing New Seismic Design Technologies in Japan*, Peter W. Clark, Lessons Learned Over Time. Learning from Earthquakes. Volume III Earthquake Engineering Research Institute.
- Ayhan, O.** (2006). *Binaların depreme karşı güçlendirilmesinde klasik yöntem ile sürtünmeli sarkaç sistemlerin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayülke, N.** (2002). *Yapıların Deprem Titreşiminden Yalıtımı*, İstanbul: Sistem Ofset Yayınları.
- Castellano, M. G., Baldo, P., Kaya, M., and Infanti, S.,** (2007). Köprülerin Sismik İzolasyonunda İtalyan Tecrübesi, *1.Köprü ve Viyadükler Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, 29-30 Kasım.
- Clark, P.W., Aiken I.A.,** (1999). New Design Technologies, The 1995 Kobe (Hyogo-ken Nanbu) Earthquake as a Trigger For Implementing New Seismic Design Technologies in Japan to appear in: Lessons Learned Over Time, Learning From Earthquakes, Volume III Earthquake Engineering Research Institute.
- Constantinou, M.C.,** (2000). Seismic Evaluation and Retrofit of the Atatürk International Airport Terminal Building, MCEER.
- Deprem İzolasyon Derneği.** Erişim adresi: <http://did.org.tr/hakkimizda/>
- EN 15129, Anti seismic devices.** (2009). Brussels, Belgium.
- EN 1337-3, Structural bearings - Part 3: Elastomeric bearings.** (2005). Brussels, Belgium.
- Eucentre.** (2018). *Characterization Tests on Q500-163 Devices* (EUC001/2018E_TR_1). Pavia, Italy.
- Islam A. , Jameel M. Ve Jumaat M.**(2011). Seismic isolation in buildings to be a practical reality: Behavior of structure and installation technique, *Journal of Engineering and Technology Research* Vol. 3(4), pp. 99-117, Department of Civil Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia.
- İMO.** *Ulaştırma Yapıları/ Köprüler-Viyadükler TAG Otoyolu Atatürk (Nur Dağı) Viyadüğü*,
Erişim adresi:http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/447ea6ff0710aa3_ek.pdf?tipi=67&turu=X&sube=0

- Kaplan, S.A.** (2009). Depremi Yıkamadığı Yapılar, *TMH - 453 - 2009/1*, (s. 58-64).
- Kelly, J. M.** (1997). *Earthquake-Resistant Design with Rubber*. London: Springer London.
- Kelly, J. M., ve Konstantinidis, D. A.** (2011). *Mechanics of rubber bearings for seismic and vibration isolation*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Komodromos, P.** (2000). Seismic Isolation for Earthquake- Resistant Structures, *Witpress*, s. 10-30, 62-85, 98-109, Boston.
- Mageba.** *Yapılarda güvenilir koruma için – mageba sismik koruma cihazları* (s.3), Erişim adresi: https://www.mageba.com.tr/data/docs/tr_TR/2573/PROSPECT-LASTO-HDRB-tr-tr.pdf?v=1.0
- Murat, E.** (2007). *Binaların tabanlarına elastomer mesnetler yerleştirerek sismik yalıtım uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Naeim, F., ve Kelly, J. M.** (1999). Design of seismic isolated structures: From theory to practice. *John Wiley & Sons* (s. 2-3). New York.
- Naeim, F. ve Kelly, J.M.** (1999). Design of Seismic Isolated Structures, *John Wiley and Sons*, (s. 12-23,63-80, 93-100). New York.
- Özpalanlar, C.G.** (2004). *Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolasyon ve enerji sönmüleyici sistemler*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pınarbaşı, S. ve Akyüz, U.,** (2005). Sismik İzolasyon ve Elastomerik Yastık Deneyleri, *İMO Teknik Dergi*, 237, 3581-3598.
- Priestley M.J.N., Calvi G.M. ve Kowalsky M.J.** (2007). Displacement-Based Seismic Design of Concrete Structures, *Proc. 3rd Congreso Nacional de Engeneria Sismica*, Girona, Spain.
- Robinson, W. H.** (2000). Seismic isolation of civil buildings in New Zealand, *Progress in Structural Engineering and Materials*, (2: s.328-324).
- Ryan, K.L., Kelly, J.M. ve Chopra, A.K.** (2005). Nonlinear Model for Lead–Rubber Bearings Including Axial-Load Effects, *Journal of Engineering Mechanics*, 131, 1270-1278.
- Sismalab.** (2018). Test Report (00069/2018). Taranto, Italy.
- Şadan B.** (2015). *Sismik İzolasyon & Enerji Sönümlenme (Sismik İzolatörler & Damperler) Enerji Sönümleyici Çelik Kafes Kuleler*, İMO, İstanbul, 2015.

Şadan, B., ve Tüzün, C. (2017). *Deprem Yalıtımlı Binaların Tasarımına Giriş*, İMO, İstanbul, 2017.

T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. (2011). *Deprem İzolatör Sistemleri, İnşaat Teknolojisi*, Ankara.

T.C. Sağlık Bakanlığı-Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü, (2013). *Deprem Yalıtımlı Olarak İnşa Edilecek Yapılara Ait Proje ve Yapım İşlerinde Uyulması Gereken Asgari Standartlar (Genelge 2013/3)*, Ankara.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2019) Ankara, Türkiye.

Yılmaz, Ç., ve Türer, A. (2002). 2300 Metre Uzunluğundaki Bolu Viyadüğünün Dizayn Felsefesi ve Deprem Davranışı, *ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, (s.50-65). Ankara, ODTÜ.

Yoshida, J., Abe, M., Fujino, Y. and Watanabe, H. (2004). Three-Dimensional Finite-Element Analysis of High Damping Rubber Bearings, *Journal of Engineering Mechanics*, 130, 607-620.



EKLER

EK A: Eucentre Test Merkezi- Test Sonuçları

EK B: Deprem Yalıtım Birimi Kesitleri

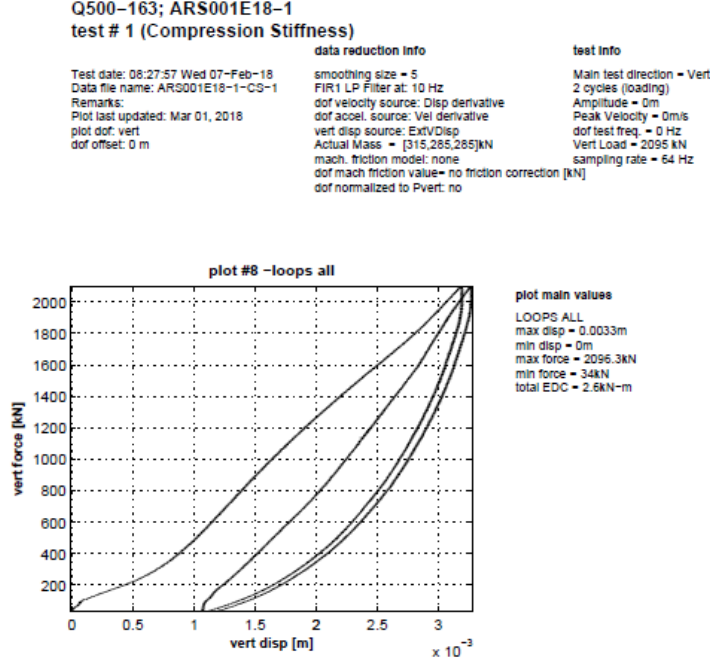
EK C: Avrupa Uygunluk Belgesi



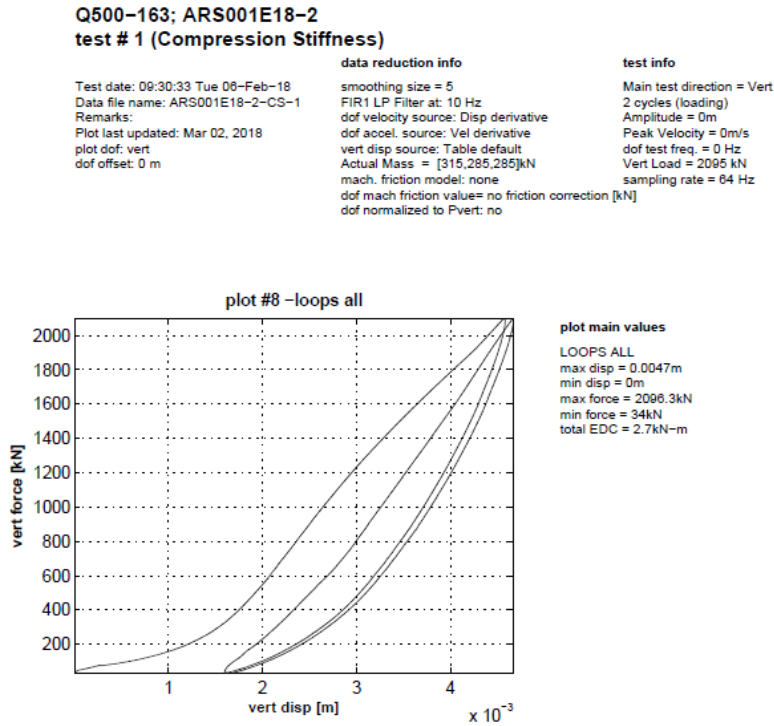
EK A

Eucentre test merkezinde yapılan bazı testlerin eğrileri bu ekte verilecektir.

- Düşey rijitlik testi sonuçları aşağıdaki şekillerdeki gibidir.



Şekil A.1 : ARS001E18-1 düşey rijitlik testi sonucu grafiği.



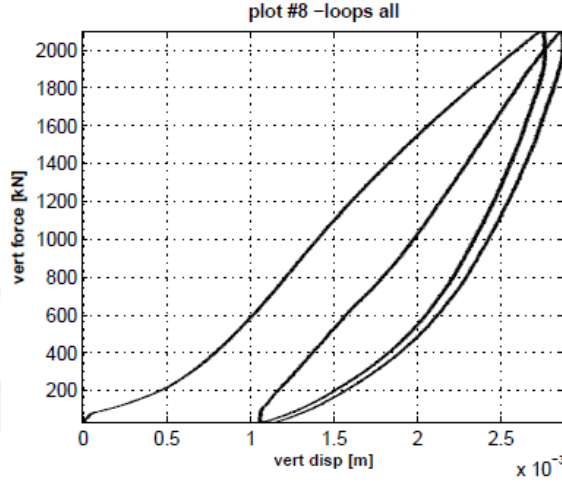
Şekil A.2 : ARS001E18-2 düşey rijitlik testi sonucu grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-3
test # 1 (Compression Stiffness)**

Test date: 08:44:03 Thu 08-Feb-18
Data file name: ARS001E18-3-CS-1
Remarks:
Plot last updated: Mar 06, 2018
plot dof: vert
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: ExtVDispl
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: none
dof mach friction value= no friction correction [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Vert
2 cycles (loading)
Amplitude = 0m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 2095 kN
sampling rate = 64 Hz



plot main values
LOOPS ALL
max disp = 0.0029m
min disp = 0m
max force = 2096.5kN
min force = 34.4kN
total EDC = 2.4kN-m

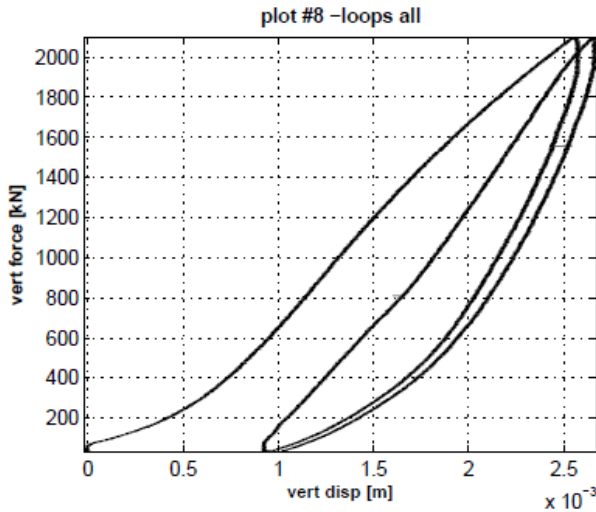
Şekil A.3 : ARS001E18-3 düşey rijitlik testi sonucu grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-4
test # 1 (Compression Stiffness)**

Test date: 15:15:23 Thu 08-Feb-18
Data file name: ARS001E18-4-CS-1
Remarks:
Plot last updated: Mar 06, 2018
plot dof: vert
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: ExtVDispl
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: none
dof mach friction value= no friction correction [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Vert
2 cycles (loading)
Amplitude = 0m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 2095 kN
sampling rate = 64 Hz



plot main values
LOOPS ALL
max disp = 0.0027m
min disp = 0m
max force = 2096.7kN
min force = 34.3kN
total EDC = 2.2kN-m

Şekil A.4 : ARS001E18-4 düşey rijitlik testi sonucu grafiği.

- %100 kayma birim şekil değiştirmesine bağlı yatay karakteristik testi için elde edilen histeretik eğriler aşağıdaki şekillerdeki gibidir.

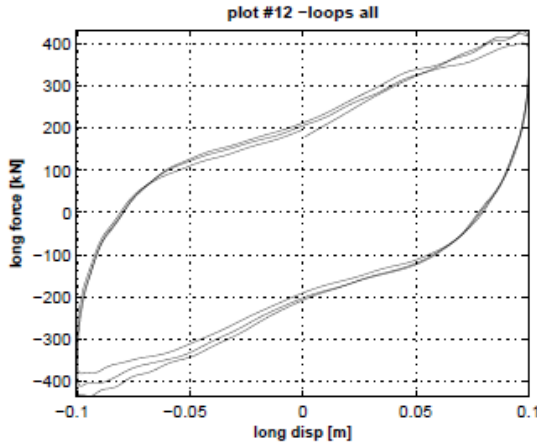
Q500-163; ARS001E18-1

test # 6 (Horizontal Cyclic Characteristics)

Test date: 11:56:05 Wed 07-Feb-18
Data file name: ARS001E18-1-HC-6
Remarks:
Plot last updated: Mar 01, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 15 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 52 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
3 cycles (sine)
Amplitude = 0.1m
Peak Velocity = 0.314m/s
dof test freq. = 0.5 Hz
Vert Load = 1180 kN
sampling rate = 256 Hz



plot main values

LOOPS ALL
max disp = 0.1002m
min disp = -0.1002m
max force = 430.4kN
min force = -435.6kN
total EDC = 239.4kN-m

LOOP # 1:
max disp = 0.1002m
min disp = -0.1001m
max force = 430.4kN
min force = -435.6kN
Keff = 4324.3kN/m
Kr method =secant btw 50% and 98% of max disp
Kr = [2178, 1868.1, 2023.1] kN/m
damping ζ = 30 %
Q = [214.4, -249.4, 231.9] kN
FD = [195.9, -205.2] kN
EDC = 81.6kN-m

Şekil A.5 : ARS001E18-1 %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.

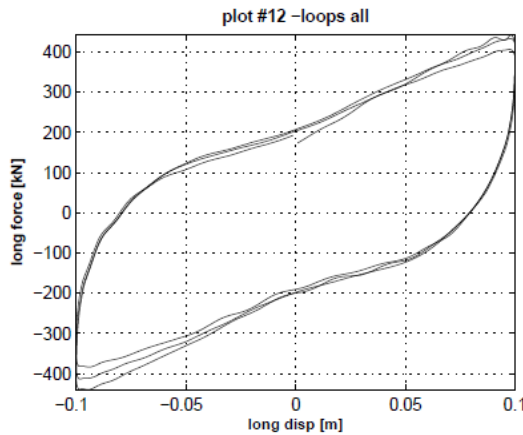
Q500-163; ARS001E18-2

test # 6 (Horizontal Cyclic Characteristics)

Test date: 11:01:49 Tue 06-Feb-18
Data file name: ARS001E18-2-HC-6
Remarks:
Plot last updated: Mar 02, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 15 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 52 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
3 cycles (sine)
Amplitude = 0.1m
Peak Velocity = 0.314m/s
dof test freq. = 0.5 Hz
Vert Load = 1180 kN
sampling rate = 256 Hz



plot main values

LOOPS ALL
max disp = 0.1001m
min disp = -0.1001m
max force = 442.4kN
min force = -439.8kN
total EDC = 236.9kN-m

LOOP # 1:
max disp = 0.1001m
min disp = -0.0999m
max force = 442.4kN
min force = -439.8kN
Keff = 4411.8kN/m
Kr method =secant btw 50% and 98% of max disp
Kr = [2544.1, 2241.4, 2392.7] kN/m
damping ζ = 29.1 %
Q = [192.8, -218.9, 205.9] kN
FD = [190.8, -199.3] kN
EDC = 80.6kN-m

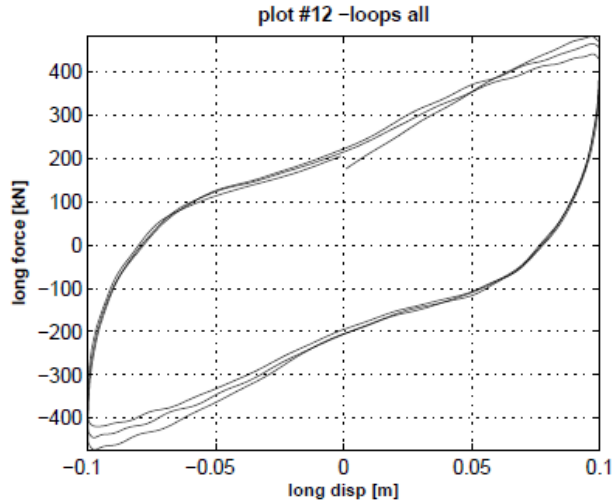
Şekil A.6 : ARS001E18-2 %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.

Q500-163; ARS001E18-3
test # 6 (Horizontal Cyclic Characteristics)

Test date: 10:11:19 Thu 08-Feb-18
 Data file name: ARS001E18-3-HC-6
 Remarks:
 Plot last updated: Mar 08, 2018
 plot dof: long
 dof offset: 0 m

data reduction info
 smoothing size = 5
 FIR1 LP Filter at: 15 Hz
 dof velocity source: Disp derivative
 dof accel. source: Vel derivative
 vert disp source: Table default
 Actual Mass = [315,285,285]kN
 mach. friction model: Fexp
 dof mach friction value= 52 +0 [kN]
 dof normalized to Pvert: no

test info
 Main test direction = Long
 3 cycles (sine)
 Amplitude = 0.1m
 Peak Velocity = 0.314m/s
 dof test freq. = 0.5 Hz
 Vert Load = 1180 kN
 sampling rate = 256 Hz



plot main values
LOOPS ALL
 max disp = 0.1m
 min disp = -0.1m
 max force = 482.6kN
 min force = -473.3kN
 total EDC = 251.1kN-m
LOOP # 1:
 max disp = 0.1m
 min disp = -0.0999m
 max force = 482.6kN
 min force = -473.3kN
 Keff = 4781.5kN/m
 Kr method =secant btw 50% and 98% of max disp
 Kr = [2590.9, 2259.3, 2425.1] kN/m
 damping ζ = 28.3 %
 Q = [224.4, -251.1, 237.8] kN
 F0 = [200.1, -204.3] kN
 EDC = 85kN-m

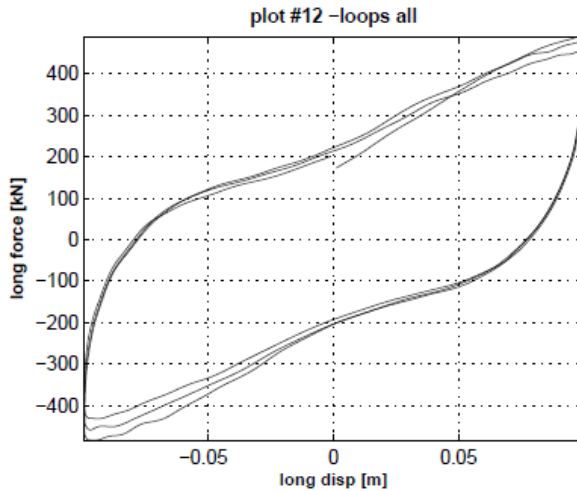
Şekil A.7 : ARS001E18-3 %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.

Q500-163; ARS001E18-4
test # 6 (Horizontal Cyclic Characteristics)

Test date: 18:38:00 Thu 08-Feb-18
 Data file name: ARS001E18-4-HC-6
 Remarks:
 Plot last updated: Mar 08, 2018
 plot dof: long
 dof offset: 0 m

data reduction info
 smoothing size = 5
 FIR1 LP Filter at: 15 Hz
 dof velocity source: Disp derivative
 dof accel. source: Vel derivative
 vert disp source: Table default
 Actual Mass = [315,285,285]kN
 mach. friction model: Fexp
 dof mach friction value= 52 +0 [kN]
 dof normalized to Pvert: no

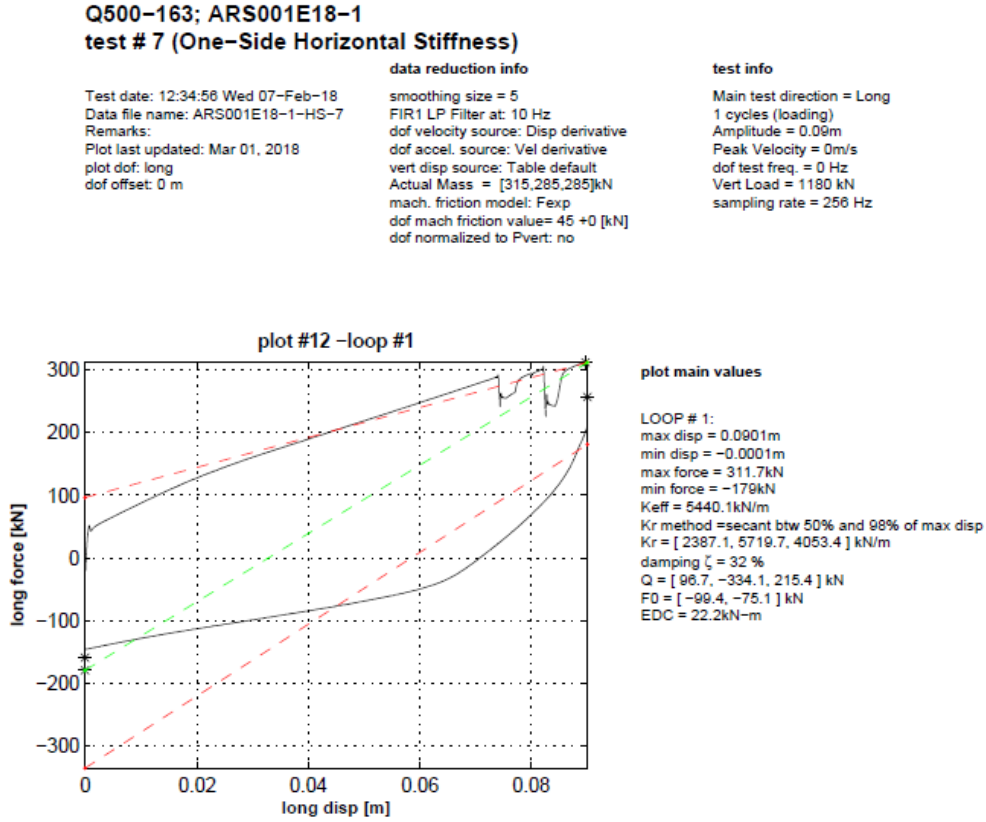
test info
 Main test direction = Long
 3 cycles (sine)
 Amplitude = 0.1m
 Peak Velocity = 0.314m/s
 dof test freq. = 0.5 Hz
 Vert Load = 1180 kN
 sampling rate = 256 Hz



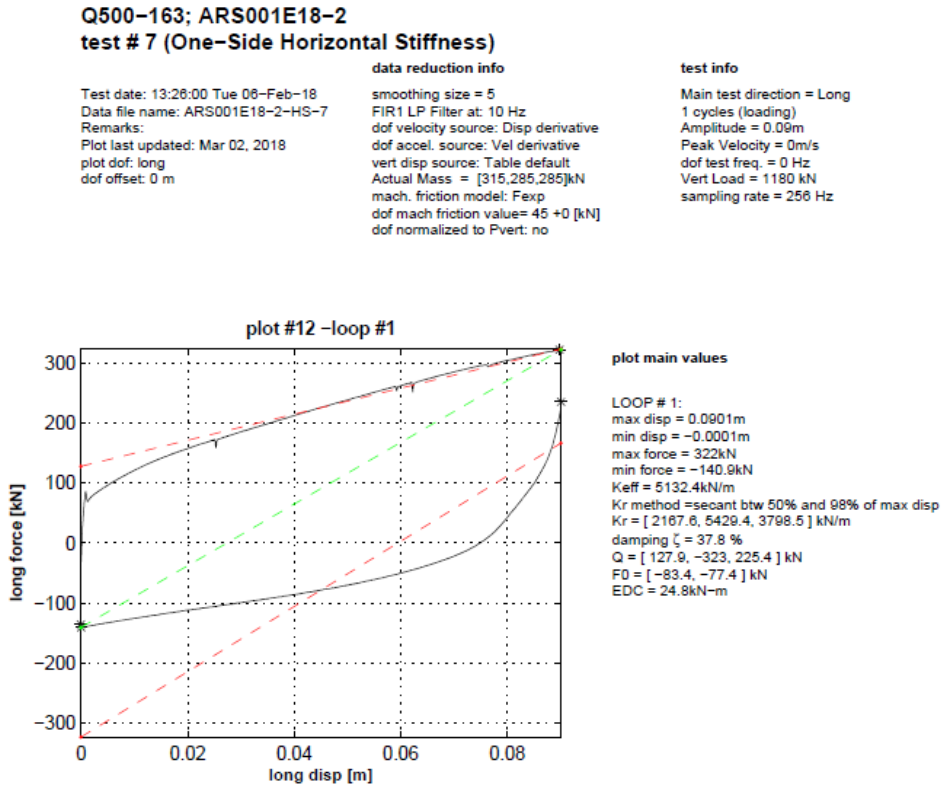
plot main values
LOOPS ALL
 max disp = 0.0999m
 min disp = -0.0999m
 max force = 488.3kN
 min force = -484.4kN
 total EDC = 252.5kN-m
LOOP # 1:
 max disp = 0.0999m
 min disp = -0.0997m
 max force = 488.3kN
 min force = -484.4kN
 Keff = 4872.5kN/m
 Kr method =secant btw 50% and 98% of max disp
 Kr = [2710.1, 2309.8, 2510] kN/m
 damping ζ = 28.1 %
 Q = [221.7, -257.3, 239.5] kN
 F0 = [198.2, -202.5] kN
 EDC = 85.7kN-m

Şekil A.8 : ARS001E18-4 %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.

- Tek yönde yatay etkin rijitlik eğrileri aşağıdaki şekillerdeki gibidir.



Şekil A.9 : ARS001E18-1 tek yönde yatay etkin rijitlik sonucu grafiği.



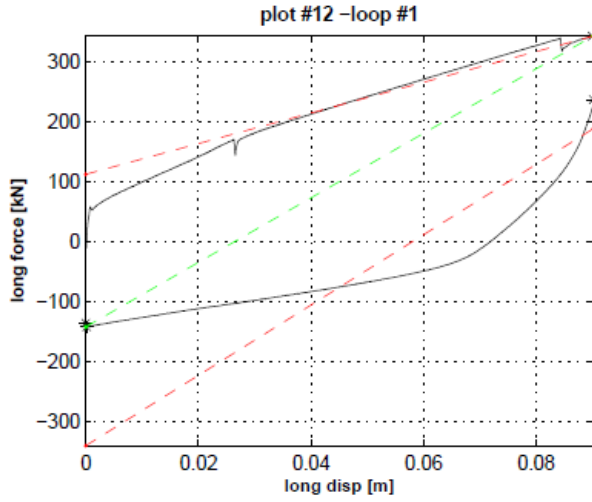
Şekil A.10 : ARS001E18-2 tek yönde yatay etkin rijitlik sonucu grafiği.

Q500-163; ARS001E18-3
test # 7 (One-side Horizontal Stiffness)

Test date: 11:10:02 Thu 08-Feb-18
 Data file name: ARS001E18-3-HS-7
 Remarks:
 Plot last updated: Mar 06, 2018
 Plot dof: long
 dof offset: 0 m

data reduction info
 smoothing size = 5
 FIR1 LP Filter at: 10 Hz
 dof velocity source: Disp derivative
 dof accel. source: Vel derivative
 vert disp source: Table default
 Actual Mass = [315,285,285]kN
 mach. friction model: Fexp
 dof mach friction value= 45 +0 [kN]
 dof normalized to Pvert: no

test info
 Main test direction = Long
 1 cycles (loading)
 Amplitude = 0.09m
 Peak Velocity = 0m/s
 dof test freq. = 0 Hz
 Vert Load = 1180 kN
 sampling rate = 256 Hz



plot main values

LOOP # 1:
 max disp = 0.0901m
 min disp = -0.0001m
 max force = 343.7kN
 min force = -142.1kN
 Keff = 5386.7kN/m
 Kr method =secant btw 50% and 98% of max disp
 Kr = [2563.3, 5889.7, 4216.5] kN/m
 damping ζ = 35.4 %
 Q = [112.7, -340.2, 226.5] kN
 F0 = [-73.1, -74] kN
 EDC = 24.4kN-m

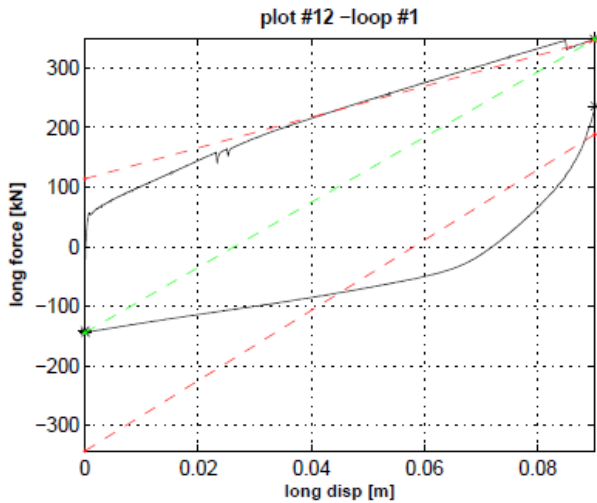
Şekil A.11 : ARS001E18-3 tek yönde yatay etkin rijitlik sonucu grafiği.

Q500-163; ARS001E18-4
test # 7 (One-side Horizontal Stiffness)

Test date: 17:35:22 Thu 08-Feb-18
 Data file name: ARS001E18-4-HS-7
 Remarks:
 Plot last updated: Mar 08, 2018
 Plot dof: long
 dof offset: 0 m

data reduction info
 smoothing size = 5
 FIR1 LP Filter at: 10 Hz
 dof velocity source: Disp derivative
 dof accel. source: Vel derivative
 vert disp source: Table default
 Actual Mass = [315,285,285]kN
 mach. friction model: Fexp
 dof mach friction value= 45 +0 [kN]
 dof normalized to Pvert: no

test info
 Main test direction = Long
 1 cycles (loading)
 Amplitude = 0.09m
 Peak Velocity = 0m/s
 dof test freq. = 0 Hz
 Vert Load = 1180 kN
 sampling rate = 256 Hz



plot main values

LOOP # 1:
 max disp = 0.0901m
 min disp = 0m
 max force = 348.6kN
 min force = -144.3kN
 Keff = 5467.6kN/m
 Kr method =secant btw 50% and 98% of max disp
 Kr = [2585.6, 5895, 4240.3] kN/m
 damping ζ = 35.5 %
 Q = [114.2, -342.7, 228.4] kN
 F0 = [-81.1, -75.8] kN
 EDC = 24.8kN-m

Şekil A.12 : ARS001E18-4 tek yönde yatay etkin rijitlik sonucu grafiği.

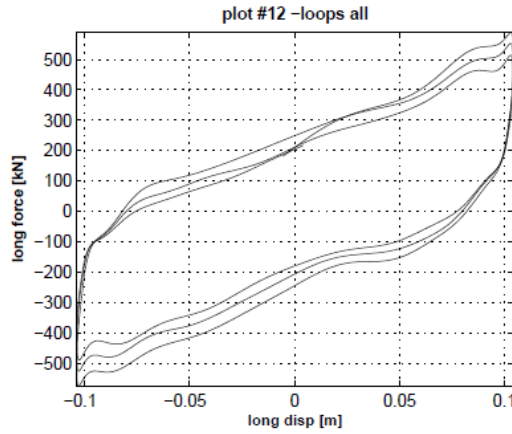
- 2 Hz frekansa bağlı %100 kayma birim şekil değiştirmesi için elde edilen histeretik eğriler aşağıdaki şekillerdeki gibidir.

**Q500-163; ARS001E18-1
test # 10 (Frequency Dependence)**

Test date: 13:27:17 Wed 07-Feb-18
Data file name: ARS001E18-1-FD-10
Remarks:
Plot last updated: Mar 01, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 30 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 64 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
3 cycles (loading)
Amplitude = 0.1m
Peak Velocity = 1.257m/s
dof test freq. = 2 Hz
Vert Load = 1180 kN
sampling rate = 1024 Hz



plot main values
LOOPS ALL
max disp = 0.1046m
min disp = -0.1039m
max force = 589.3kN
min force = -574.8kN
total EDC = 277.9kN-m

LOOP # 1:
max disp = 0.1046m
min disp = -0.1038m
max force = 589.3kN
min force = -574.8kN
Keff = 5585.7kN/m
Kr method =secant btw 50% and 98% of max disp
Kr = [4273.3, 2948.3, 3610.8] kN/m
damping ζ = 27.3 %
Q = [148.9, -266.9, 207.9] kN
F0 = [216.1, -265.2] kN
EDC = 104.1kN-m

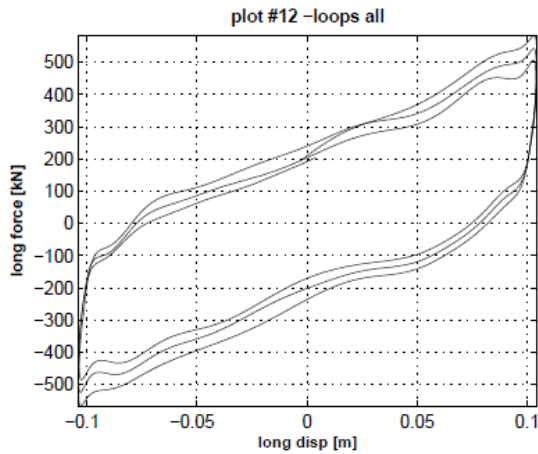
Şekil A.13 : ARS001E18-1 2 Hz frekansa bağlı %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.

**Q500-163; ARS001E18-2
test # 10 (Frequency Dependence)**

Test date: 14:03:09 Tue 06-Feb-18
Data file name: ARS001E18-2-FD-10
Remarks:
Plot last updated: Mar 02, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 30 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 64 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
3 cycles (loading)
Amplitude = 0.1m
Peak Velocity = 1.257m/s
dof test freq. = 2 Hz
Vert Load = 1180 kN
sampling rate = 1024 Hz



plot main values
LOOPS ALL
max disp = 0.1046m
min disp = -0.1039m
max force = 582.5kN
min force = -566.3kN
total EDC = 268.4kN-m

LOOP # 1:
max disp = 0.1046m
min disp = -0.1036m
max force = 582.5kN
min force = -566.3kN
Keff = 5511kN/m
Kr method =secant btw 50% and 98% of max disp
Kr = [4060.7, 3245.9, 3653.3] kN/m
damping ζ = 26.8 %
Q = [164, -229.9, 197] kN
F0 = [220.6, -240.8] kN
EDC = 100.6kN-m

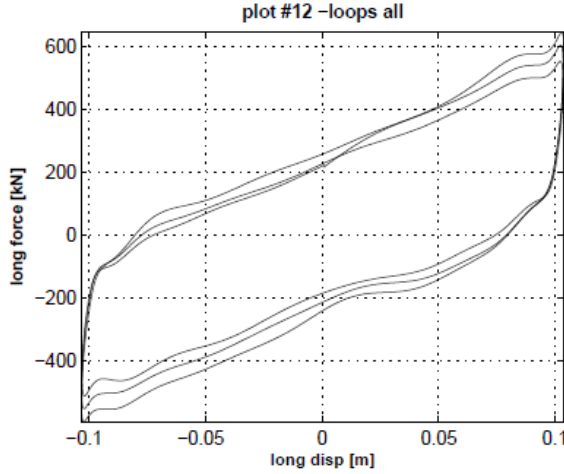
Şekil A.14 : ARS001E18-2 2 Hz frekansa bağlı %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.

Q500-163; ARS001E18-3
test # 10 (Frequency Dependence)

Test date: 11:44:04 Thu 08-Feb-18
 Data file name: ARS001E18-3-FD-10
 Remarks:
 Plot last updated: Mar 06, 2018
 plot dof: long
 dof offset: 0 m

data reduction info
 smoothing size = 5
 FIR1 LP Filter at: 30 Hz
 dof velocity source: Disp derivative
 dof accel. source: Vel derivative
 vert disp source: Table default
 Actual Mass = [315,285,285]kN
 mach. friction model: Fexp
 dof mach friction value= 64 +0 [kN]
 dof normalized to Pvert: no

test info
 Main test direction = Long
 3 cycles (sine)
 Amplitude = 0.1m
 Peak Velocity = 1.257m/s
 dof test freq. = 2 Hz
 Vert Load = 1180 kN
 sampling rate = 1024 Hz



plot main values
 LOOPS ALL
 max disp = 0.1038m
 min disp = -0.1034m
 max force = 644.4kN
 min force = -592.1kN
 total EDC = 287.2kN-m
 LOOP # 1:
 max disp = 0.1038m
 min disp = -0.1034m
 max force = 644.4kN
 min force = -592.1kN
 Keff = 5968.7kN/m
 Kr method =secant btw 50% and 98% of max disp
 Kr = [4390.5, 3103.1, 3746.8] kN/m
 damping ζ = 28.3 %
 Q = [188.2, -270.1, 229.2] kN
 F0 = [236.5, -235.8] kN
 EDC = 105.6kN-m

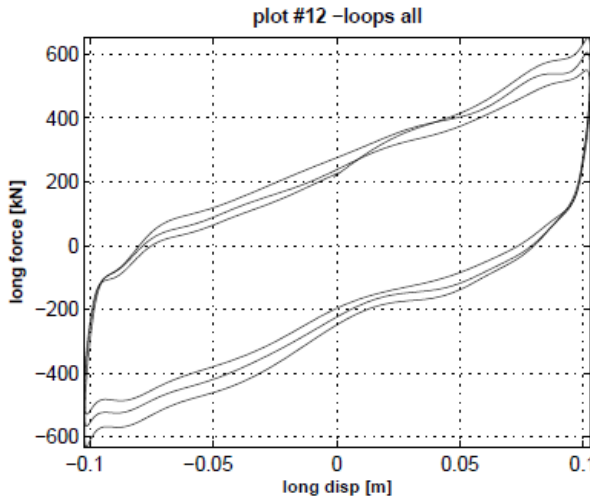
Şekil A.15 : ARS001E18-3 2 Hz frekansa bağlı %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.

Q500-163; ARS001E18-4
test # 10 (Frequency Dependence)

Test date: 09:45:06 Fri 09-Feb-18
 Data file name: ARS001E18-4-FD-10
 Remarks:
 Plot last updated: Mar 08, 2018
 plot dof: long
 dof offset: 0 m

data reduction info
 smoothing size = 5
 FIR1 LP Filter at: 30 Hz
 dof velocity source: Disp derivative
 dof accel. source: Vel derivative
 vert disp source: Table default
 Actual Mass = [315,285,285]kN
 mach. friction model: Fexp
 dof mach friction value= 64 +0 [kN]
 dof normalized to Pvert: no

test info
 Main test direction = Long
 3 cycles (sine)
 Amplitude = 0.1m
 Peak Velocity = 1.257m/s
 dof test freq. = 2 Hz
 Vert Load = 1180 kN
 sampling rate = 1024 Hz



plot main values
 LOOPS ALL
 max disp = 0.1031m
 min disp = -0.1024m
 max force = 651.8kN
 min force = -631.3kN
 total EDC = 297.7kN-m
 LOOP # 1:
 max disp = 0.1031m
 min disp = -0.1023m
 max force = 651.8kN
 min force = -631.3kN
 Keff = 6246kN/m
 Kr method =secant btw 50% and 98% of max disp
 Kr = [4569.8, 3130.1, 3849.9] kN/m
 damping ζ = 28.3 %
 Q = [183.8, -302.9, 243.4] kN
 F0 = [243.9, -257.1] kN
 EDC = 109.1kN-m

Şekil A.16 : ARS001E18-4 2 Hz frekansa bağlı %100 kayma birim şekil değiştirmesi histeretik eğrisi.

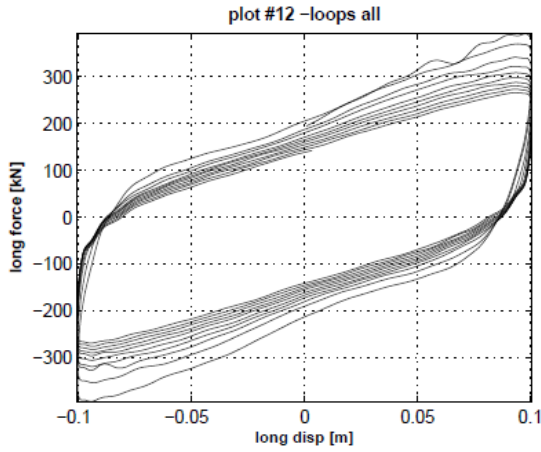
- Tekrar eden çevrimlere bağlı testler için elde edilen histeretik eğriler aşağıdaki şekillerdeki gibidir.

**Q500-163; ARS001E18-1
test # 11 (Repeated Cyclic Dependence)**

Test date: 13:46:41 Wed 07-Feb-18
Data file name: ARS001E18-1-RC-11
Remarks:
Plot last updated: Mar 01, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 15 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction values= 52 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
10 cycles (sine)
Amplitude = 0.1m
Peak Velocity = 0.314m/s
dof test freq. = 0.5 Hz
Vert Load = 1180 kN
sampling rate = 256 Hz



plot main values
LOOPS ALL
max disp = 0.1007m
min disp = -0.1007m
max force = 392.1kN
min force = -392.3kN
total EDC = 655.8kN-m

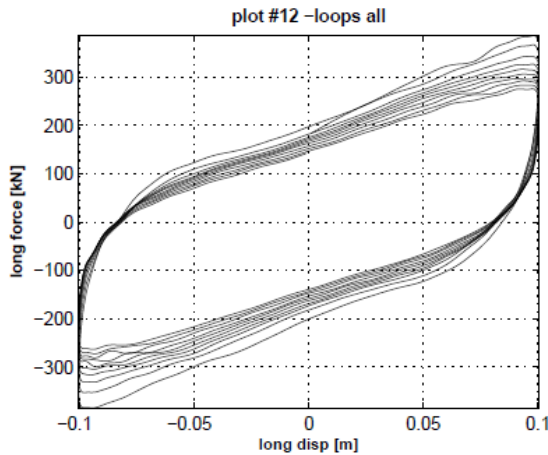
Şekil A.17 : ARS001E18-1 tekrar eden çevrimlere bağlı histeretik eğrisi.

**Q500-163; ARS001E18-2
test # 11 (Repeated Cyclic Dependence)**

Test date: 14:20:51 Tue 06-Feb-18
Data file name: ARS001E18-2-RC-11
Remarks:
Plot last updated: Mar 02, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 15 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 52 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
10 cycles (sine)
Amplitude = 0.1m
Peak Velocity = 0.314m/s
dof test freq. = 0.5 Hz
Vert Load = 1180 kN
sampling rate = 256 Hz



plot main values
LOOPS ALL
max disp = 0.1006m
min disp = -0.1006m
max force = 385.8kN
min force = -384.6kN
total EDC = 641.7kN-m

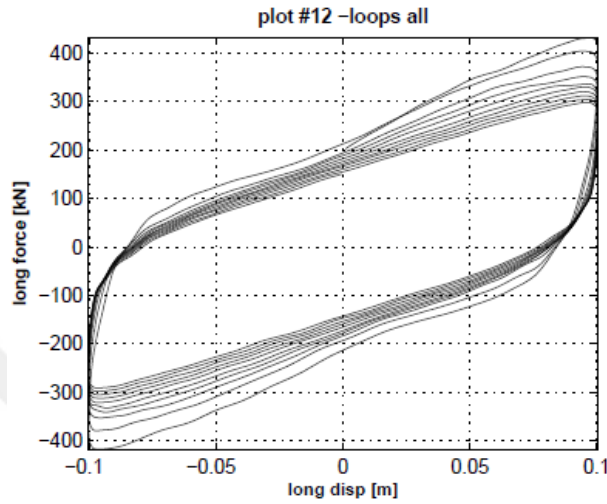
Şekil A.18 : ARS001E18-2 tekrar eden çevrimlere bağlı histeretik eğrisi.

**Q500-163; ARS001E18-3
test # 11 (Repeated Cycling Dependence)**

Test date: 12:01:32 Thu 08-Feb-18
Data file name: ARS001E18-3-RC-11
Remarks:
Plot last updated: Mar 06, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 15 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 52 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
10 cycles (sine)
Amplitude = 0.1m
Peak Velocity = 0.314m/s
dof test freq. = 0.5 Hz
Vert Load = 1180 kN
sampling rate = 256 Hz



plot main values
LOOPS ALL
max disp = 0.1006m
min disp = -0.1006m
max force = 431kN
min force = -417.7kN
total EDC = 678.9kN-m

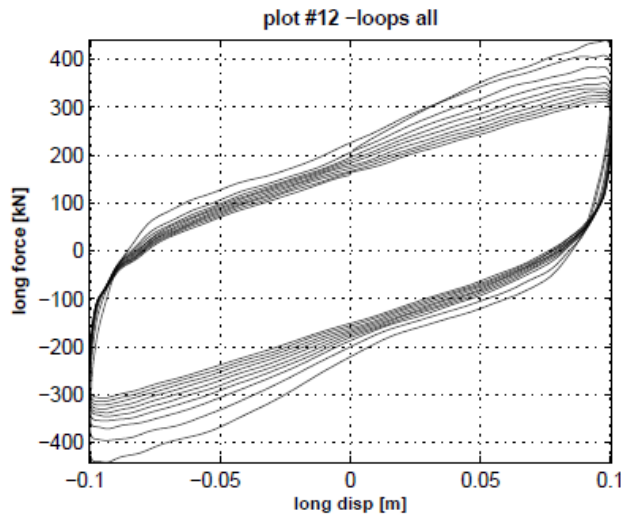
Şekil A.19 : ARS001E18-3 tekrar eden çevrimlere bağlı histeretik eğrisi.

**Q500-163; ARS001E18-4
test # 11 (Repeated Cycling Dependence)**

Test date: 10:10:27 Fri 09-Feb-18
Data file name: ARS001E18-4-RC-11
Remarks:
Plot last updated: Mar 08, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 15 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 52 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
10 cycles (sine)
Amplitude = 0.1m
Peak Velocity = 0.314m/s
dof test freq. = 0.5 Hz
Vert Load = 1180 kN
sampling rate = 256 Hz



plot main values
LOOPS ALL
max disp = 0.1006m
min disp = -0.1006m
max force = 439.5kN
min force = -441.1kN
total EDC = 708.1kN-m

Şekil A.20 : ARS001E18-4 tekrar eden çevrimlere bağlı histeretik eğrisi.

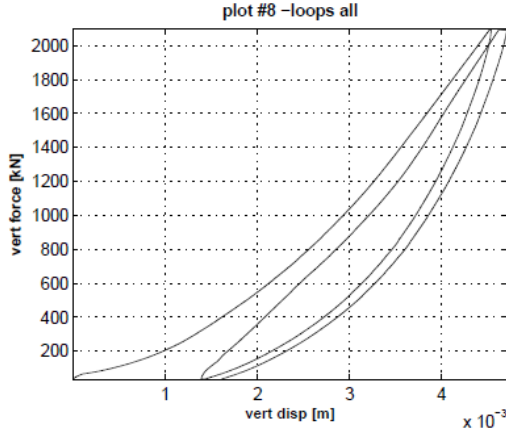
- Düşey kapasite testi sonuçları aşağıdaki şekillerdeki gibidir.

**Q500-163; ARS001E18-1
test # 12 (Compression Capacity)**

Test date: 14:15:31 Wed 07-Feb-18
Data file name: ARS001E18-1-CC-12
Remarks:
Plot last updated: Mar 01, 2018
plot dof: vert
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: none
dof mach friction value= no friction correction [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Vert
2 cycles (loading)
Amplitude = 0m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 2095 kN
sampling rate = 64 Hz



plot main values
LOOPS ALL
max disp = 0.0047m
min disp = 0m
max force = 2097.1kN
min force = 34.4kN
total EDC = 0kN-m

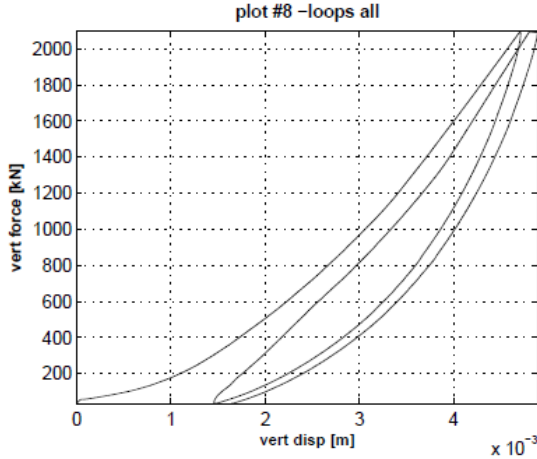
Şekil A.21 : ARS001E18-1 düşey kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-2
test # 12 (Compression Capacity)**

Test date: 14:49:23 Tue 06-Feb-18
Data file name: ARS001E18-2-CC-12
Remarks:
Plot last updated: Mar 02, 2018
plot dof: vert
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: none
dof mach friction value= no friction correction [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Vert
2 cycles (loading)
Amplitude = 0m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 2095 kN
sampling rate = 64 Hz



plot main values
LOOPS ALL
max disp = 0.0049m
min disp = 0m
max force = 2097kN
min force = 34.8kN
total EDC = 0kN-m

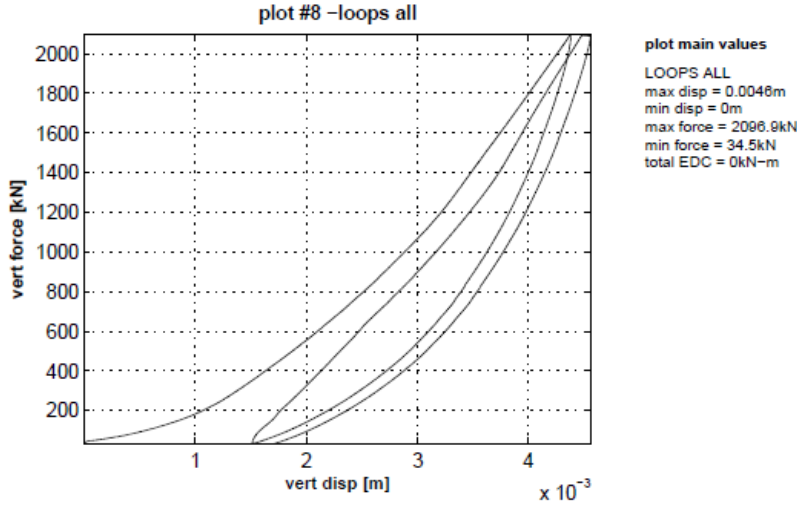
Şekil A.22 : ARS001E18-2 düşey kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-3
test # 12 (Compression Capacity)**

Test date: 12:29:53 Thu 08-Feb-18
Data file name: ARS001E18-3-CC-12
Remarks:
Plot last updated: Mar 06, 2018
plot dof: vert
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: none
dof mach friction value= no friction correction [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Vert
2 cycles (loading)
Amplitude = 0m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 2095 kN
sampling rate = 64 Hz



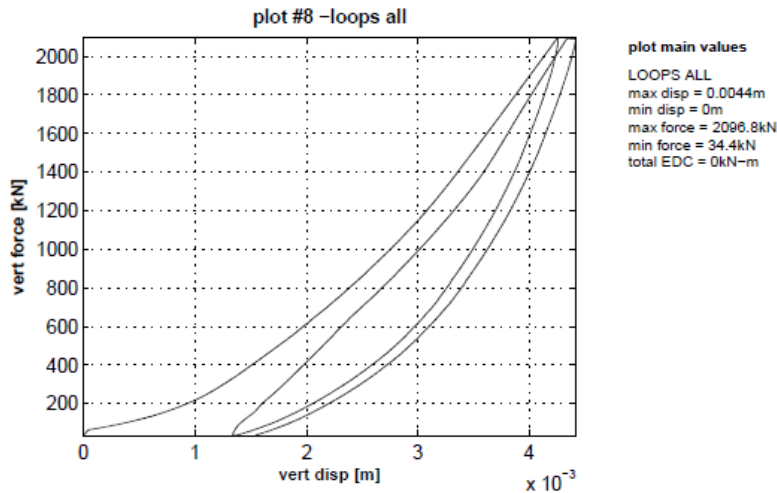
Şekil A.23 : ARS001E18-3 düşey kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-4
test # 12 (Compression Capacity)**

Test date: 10:27:36 Fri 09-Feb-18
Data file name: ARS001E18-4-CC-12
Remarks:
Plot last updated: Mar 06, 2018
plot dof: vert
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: none
dof mach friction value= no friction correction [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Vert
2 cycles (loading)
Amplitude = 0m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 2095 kN
sampling rate = 64 Hz



Şekil A.24 : ARS001E18-4 düşey kapasite testi grafiği.

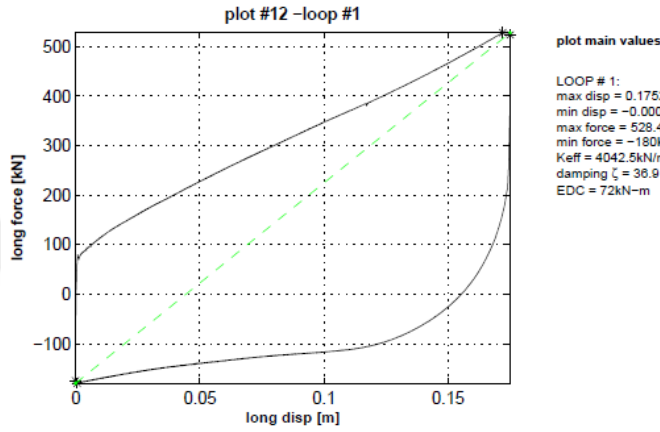
- Maksimum düşey yük altında yatay kapasite testi sonuçları aşağıdaki şekillerdeki gibidir.

**Q500-163; ARS001E18-1
test # 13 (Lateral Capacity)**

Test date: 15:11:21 Wed 07-Feb-18
Data file name: ARS001E18-1-LC-13
Remarks:
Plot last updated: Mar 01, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 54 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.175m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 3025 kN
sampling rate = 64 Hz



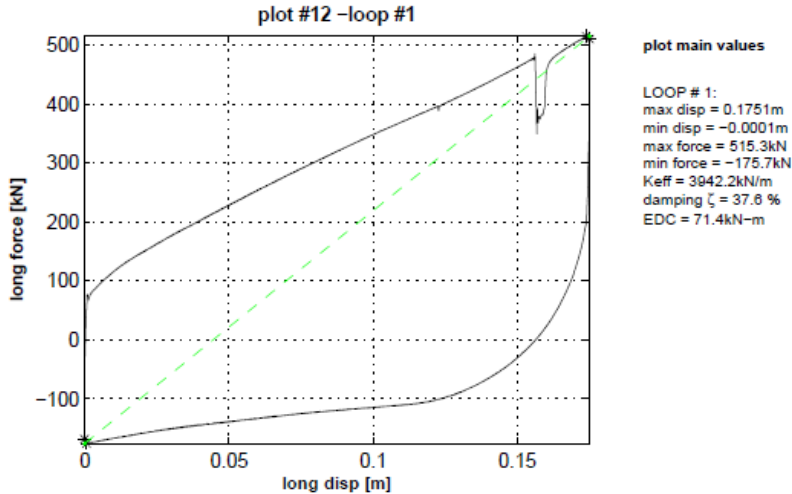
Şekil A.25 : ARS001E18-1 maksimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-2
test # 13 (Lateral Capacity)**

Test date: 15:39:35 Tue 06-Feb-18
Data file name: ARS001E18-2-LC-13
Remarks:
Plot last updated: Mar 02, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 54 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.175m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 3025 kN
sampling rate = 64 Hz



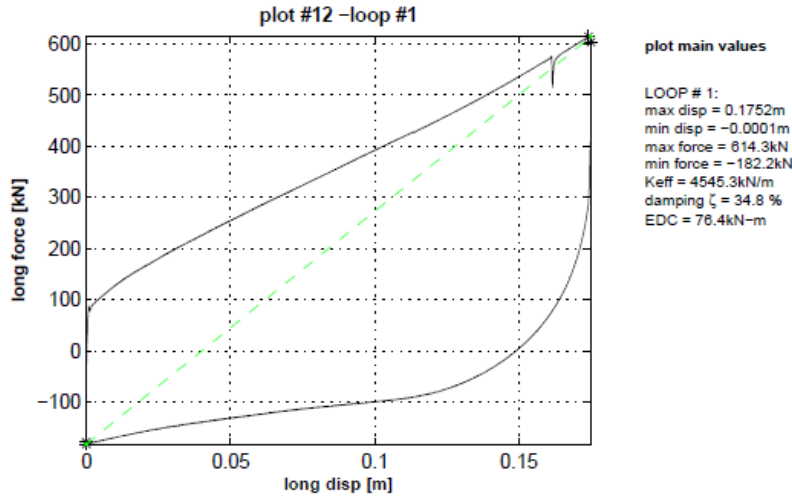
Şekil A.26 : ARS001E18-2 maksimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-3
test # 13 (Lateral Capacity)**

Test date: 13:19:47 Thu 08-Feb-18
Data file name: ARS001E18-3-LC-13
Remarks:
Plot last updated: Mar 06, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 54 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.175m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 3025 kN
sampling rate = 64 Hz



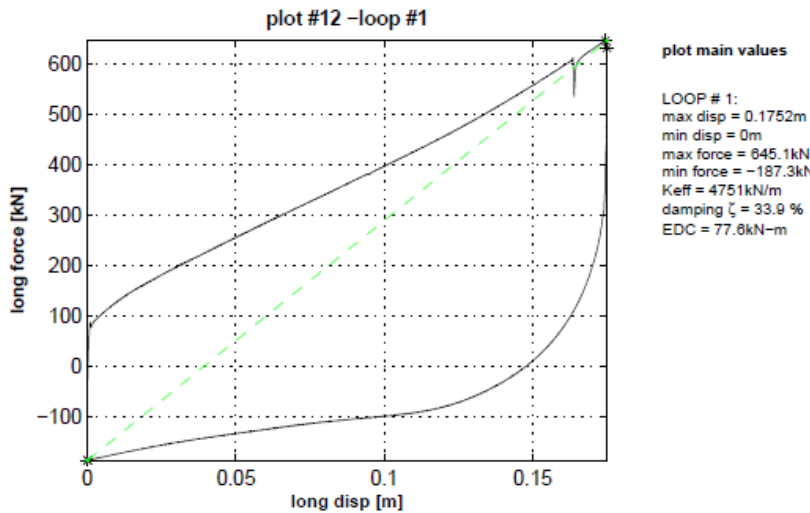
Şekil A.27 : ARS001E18-3 maksimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-4
test # 13 (Lateral Capacity)**

Test date: 11:19:49 Fri 09-Feb-18
Data file name: ARS001E18-4-LC-13
Remarks:
Plot last updated: Mar 08, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 54 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.175m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 3025 kN
sampling rate = 64 Hz



Şekil A.28 : ARS001E18-4 maksimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.

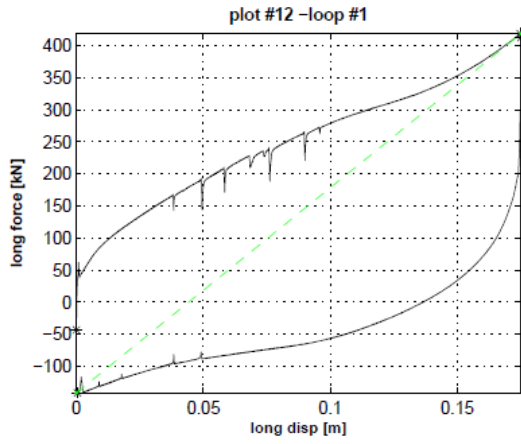
- Minimum düşey yük altında yatay kapasite testi sonuçları aşağıdaki şekillerdeki gibidir.

**Q500-163; ARS001E18-1
test # 14 (Lateral Capacity)**

Test date: 15:20:46 Wed 07-Feb-18
Data file name: ARS001E18-1-LC-14
Remarks:
Plot last updated: Mar 01, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 41 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.175m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 400 kN
sampling rate = 64 Hz



plot main values

LOOP # 1:
max disp = 0.1751m
min disp = 0m
max force = 418.7kN
min force = -141.5kN
Keff = 3198.1kN/m
damping ζ = 33.2 %
EDC = 51.1kN-m

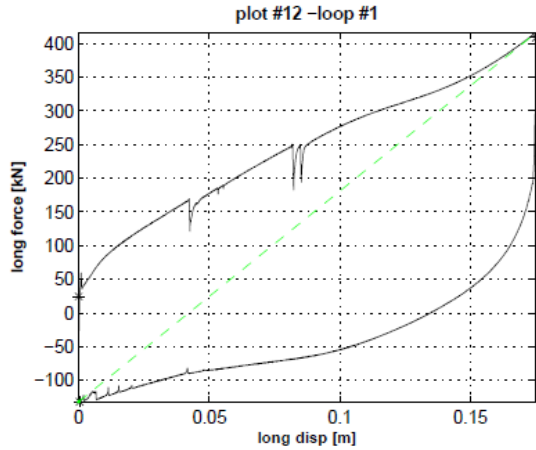
Şekil A.29 : ARS001E18-1 minimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-2
test # 14 (Lateral Capacity)**

Test date: 15:51:22 Tue 06-Feb-18
Data file name: ARS001E18-2-LC-14
Remarks:
Plot last updated: Mar 02, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 41 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.175m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 400 kN
sampling rate = 64 Hz



plot main values

LOOP # 1:
max disp = 0.1751m
min disp = 0m
max force = 415.6kN
min force = -131.6kN
Keff = 3123.7kN/m
damping ζ = 33.1 %
EDC = 49.8kN-m

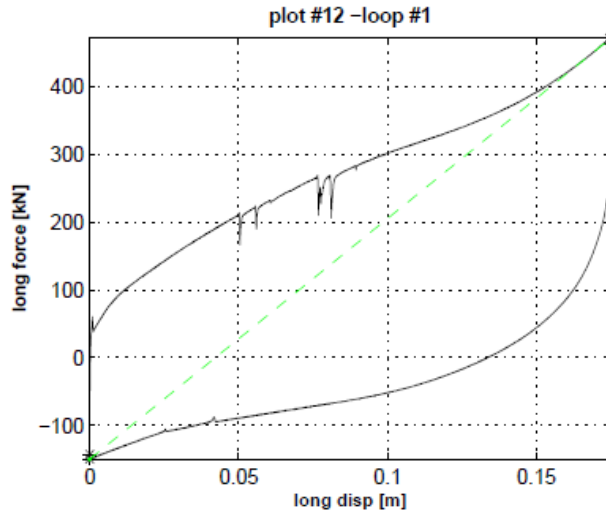
Şekil A.30 : ARS001E18-2 minimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-3
test # 14 (Lateral Capacity)**

Test date: 13:30:04 Thu 08-Feb-18
Data file name: ARS001E18-3-LC-14
Remarks:
Plot last updated: Mar 06, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 41 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.175m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 400 kN
sampling rate = 64 Hz



plot main values

LOOP # 1:
max disp = 0.1751m
min disp = -0.0001m
max force = 471.1kN
min force = -149.5kN
Keff = 3542kN/m
damping ζ = 31.9 %
EDC = 54.4kN-m

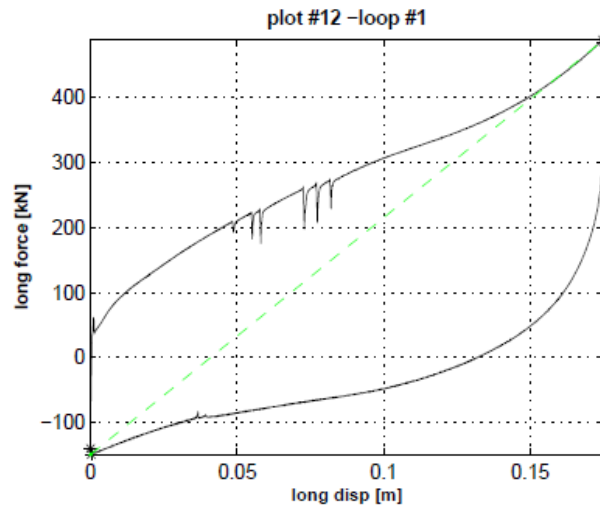
Şekil A.31 : ARS001E18-3 minimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-4
test # 14 (Lateral Capacity)**

Test date: 11:30:40 Fri 09-Feb-18
Data file name: ARS001E18-4-LC-14
Remarks:
Plot last updated: Mar 08, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 41 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.175m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 400 kN
sampling rate = 64 Hz



plot main values

LOOP # 1:
max disp = 0.1752m
min disp = 0m
max force = 488.4kN
min force = -149.1kN
Keff = 3637.9kN/m
damping ζ = 31.1 %
EDC = 54.5kN-m

Şekil A.32 : ARS001E18-4 minimum düşey yük altında yatay kapasite testi grafiği.

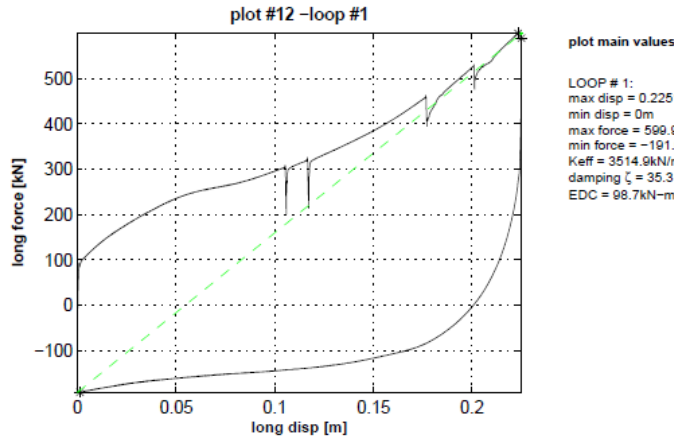
- Maksimum düşey yük altında maksimum yatay kapasite testi sonuçları aşağıdaki şekillerdeki gibidir.

**Q500-163; ARS001E18-1
test # 17 (Lateral Capacity)**

Test date: 15:51:53 Wed 07-Feb-18
Data file name: ARS001E18-1-LC-17
Remarks:
Plot last updated: Mar 01, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 54 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.225m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 3025 kN
sampling rate = 64 Hz



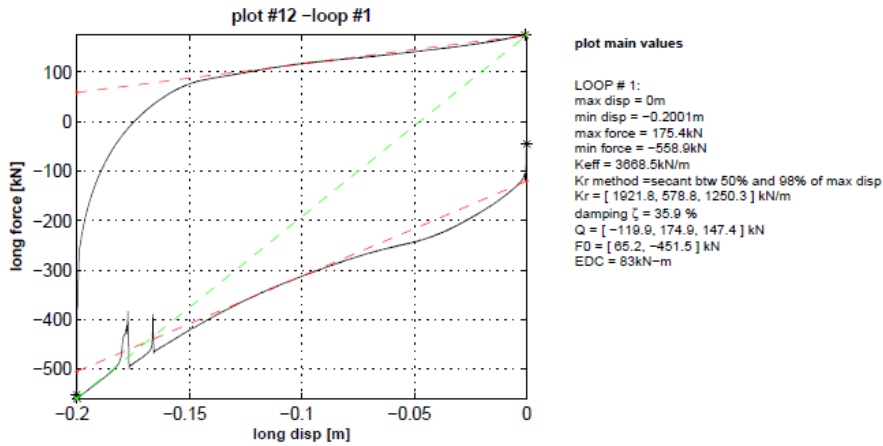
Şekil A.33 : ARS001E18-1 maksimum düşey yük altında maksimum yatay kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-2
test # 17 (Lateral Capacity)**

Test date: 18:03:44 Tue 06-Feb-18
Data file name: ARS001E18-2-LC-17
Remarks:
Plot last updated: Mar 02, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 54 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.2m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 3025 kN
sampling rate = 64 Hz



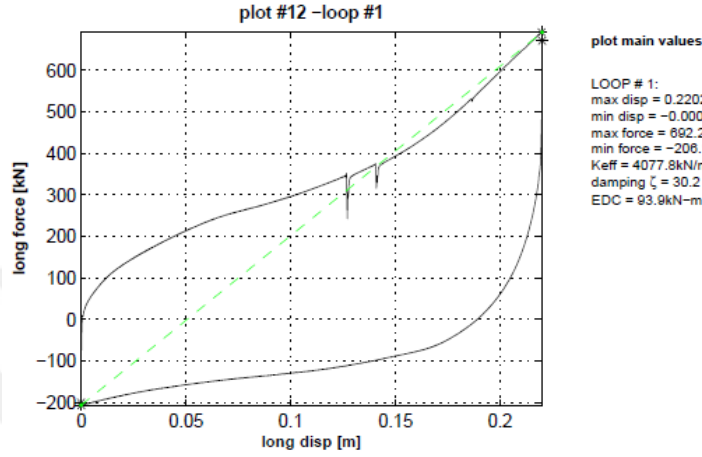
Şekil A.34 : ARS001E18-2 maksimum düşey yük altında maksimum yatay kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-3
test # 16 (Lateral Capacity)**

Test date: 13:40:57 Thu 08-Feb-18
Data file name: ARS001E18-3-LC-16
Remarks:
Plot last updated: Mar 06, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 54 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.22m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 3025 kN
sampling rate = 64 Hz



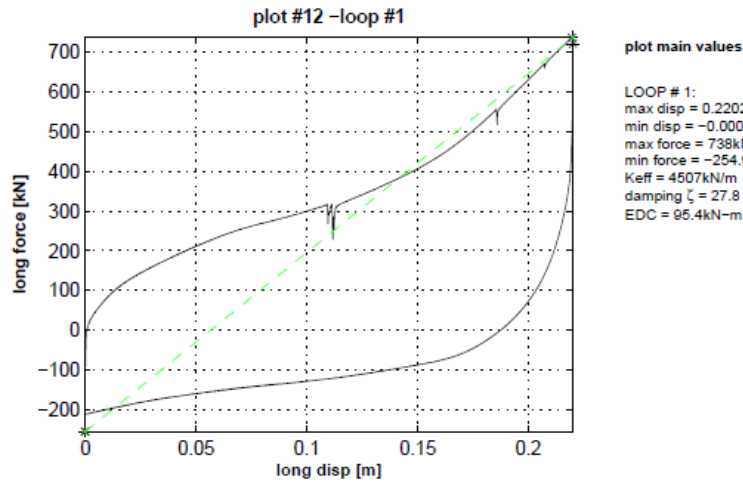
Şekil A.35 : ARS001E18-3 maksimum düşey yük altında maksimum yatay kapasite testi grafiği.

**Q500-163; ARS001E18-4
test # 16 (Lateral Capacity)**

Test date: 11:41:57 Fri 09-Feb-18
Data file name: ARS001E18-4-LC-16
Remarks:
Plot last updated: Mar 08, 2018
plot dof: long
dof offset: 0 m

data reduction info
smoothing size = 5
FIR1 LP Filter at: 10 Hz
dof velocity source: Disp derivative
dof accel. source: Vel derivative
vert disp source: Table default
Actual Mass = [315,285,285]kN
mach. friction model: Fexp
dof mach friction value= 54 +0 [kN]
dof normalized to Pvert: no

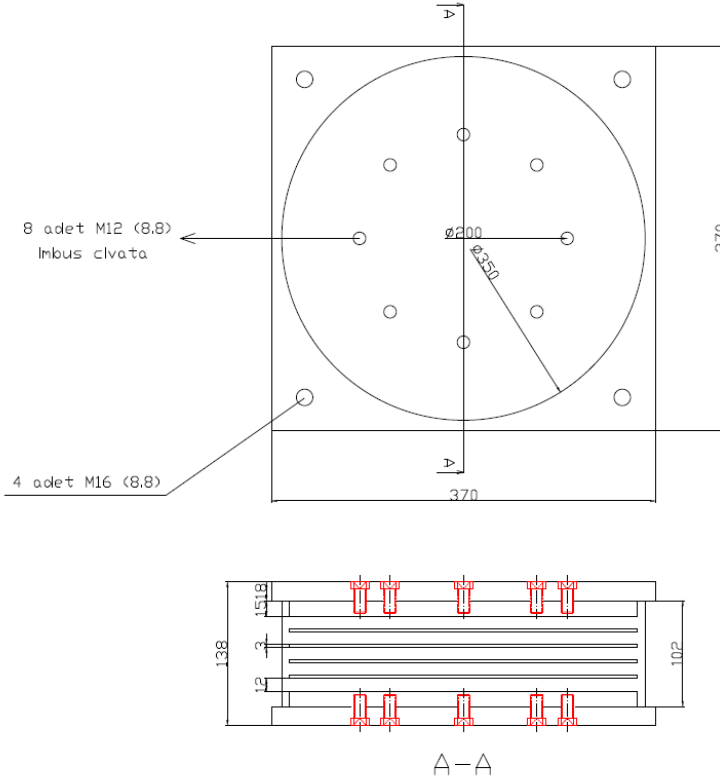
test info
Main test direction = Long
1 cycles (loading)
Amplitude = 0.22m
Peak Velocity = 0m/s
dof test freq. = 0 Hz
Vert Load = 3025 kN
sampling rate = 64 Hz



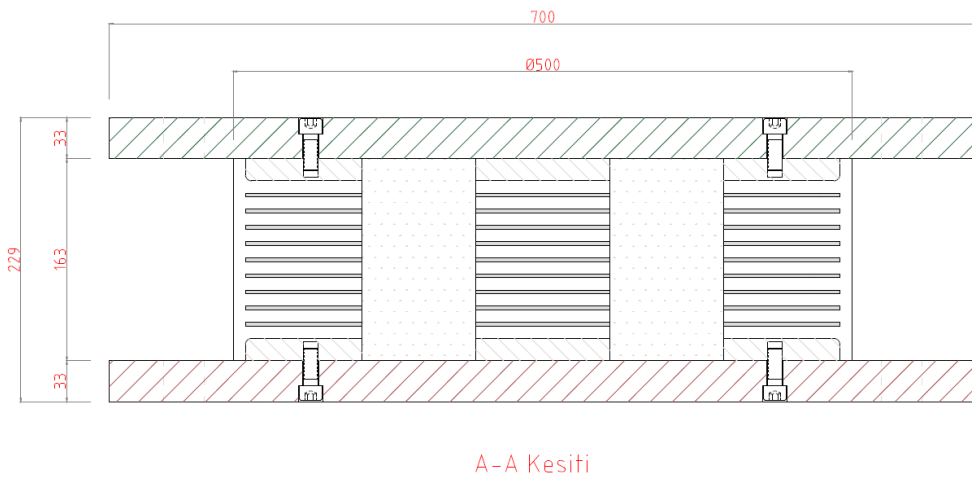
Şekil A.36 : ARS001E18-4 maksimum düşey yük altında maksimum yatay kapasite testi grafiği.

EK B

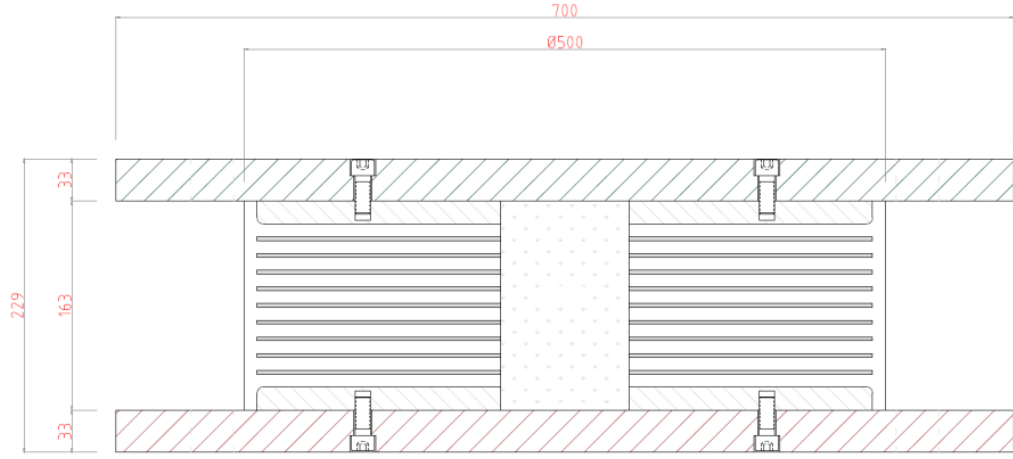
Tez içerisinde yer alan testlerde kullanılmış deprem yalıtım birimlerinin kesitleri aşağıdaki gibidir;



Şekil B.1: Yapışma direnci kontrolü için üretilen elastomer yalıtım birimi kesiti.






Şekil B.2: Eucentre test merkezinde test edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti.



Şekil B.3: Sismalab test merkezinde test edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti.



 <p>KIT Karlsruher Institut für Technologie</p>	 <p>MPA KARLSRUHE Materialprüfungs- und Forschungsanstalt</p>
<p>Certificate of constancy of performance</p> <p>0754 – CPR – 18-0362</p>	
<p>In compliance with Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 (the Construction Products Regulation or CPR), this certificate applies to the construction product</p>	
<p>Elastomeric Isolators - Lead Rubber Bearings</p>	
<p>placed on the market under the name or trade mark of</p>	
<p>ARSAN KAUCUK PLASTİK-MAKİNA SAN. VE TİC. A.Ş. Yukarı Dudullu Organize Sanayi Bölgesi Nato Yolu No:35 DES Sanayi Sitesi A Kapısı Karşısı 34775 Ümraniye – İstanbul, Turkey</p>	
<p>and produced in the manufacturing plant</p>	
<p>Yukarı Dudullu Organize Sanayi Bölgesi Nato Yolu No:35 DES Sanayi Sitesi A Kapısı Karşısı 34775 Ümraniye – İstanbul, Turkey</p>	
<p>This certificate attests that all provisions concerning the assessment and verification of constancy of performance described in Annex ZA of the standard</p>	
<p>EN 15129:2018</p>	
<p>under system 1 for the performances set out in this certificate are applied and that the factory production control conducted by the manufacturer is assessed to ensure the constancy of performance of the construction product.</p>	
<p>This certificate was first issued on 2018-07-02 and will remain valid as long as neither the harmonised standard, the construction product, the AVCP methods nor the manufacturing conditions in the plant are modified significantly, unless suspended or withdrawn by the notified product certification body.</p>	
<p>Karlsruhe, 2018-07-02</p>	 <p>..... Dipl.-Ing. O.Rösch The Head of the notified certification body</p>
<p>Postal address: Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe KIT-Campus Süd, 76128 Karlsruhe, Germany</p> <p>Delivery address: Gotthard-Franz-Straße 2 - 76131 Karlsruhe, Gebäude 50.32</p>	<p>Phone: +49 721 608-46504 Fax: +49 721 608-47796 Internet: www.mpa-karlsruhe.de</p>

Şekil C.1: Avrupa Uygunluk Belgesi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Kerem Erdem DEMİRHAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 13.11.1990 / İstanbul
E-posta : kerendemirhan@hotmail.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, Deprem Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2014-2015 yılları arasında Freysaş- Freyssinet Yapı Sistemleri firmasında saha mühendisi olarak görev yaptı.
- Askerlik görevini yerine getirdikten sonra 2015 yılı sonunda Arsan Kauçuk Plastik Makine firmasında ürün geliştirme mühendisi olarak işe başlamış ve halen aynı firmada çalışmaktadır.

