

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİNİN TEST**  
**PROSEDÜRLERİNİN VE TEST SONUÇLARININ**  
**İNCELENMESİ**

**YEŞİM DEMİRCİ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**GEBZE**  
**2023**

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT SİSMİK İZOLASYON**  
**SİSTEMLERİNİN TEST PROSEDÜRLERİNİN**  
**VE TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ**

**YEŞİM DEMİRCİ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMANI**  
**DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR**

**GEBZE**  
**2023**

**T.R.**  
**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**INVESTIGATION OF TEST  
PROCEDURES AND TEST RESULTS OF  
EXISTING SEISMIC ISOLATOR SYSTEMS**

**YEŞİM DEMİRCİ**

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL  
ENGINEERING DEPARTMENT**

**THESIS SUPERVISOR  
ASSIST. PROF. DR. AHMET ANIL DİNDAR**

**GEBZE**

**2023**



## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26/01/2023 tarih ve 2023/06 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 04/05/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yeşim Demirci'nin tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR

ÜYE : DR. ÖĞR. ÜYESİ ÜLGEN MERT TUĞSAL

ÜYE : DOÇ. DR. ALİ BOZER

### ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

## ÖZET

Türkiye’de ve dünyada hastane, müze, okul, köprü, güçlendirme, konut projeleri dâhil olmak üzere birçok sismik izolasyonlu yapı bulunmaktadır. Sismik izolasyonlu yapılarda eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri, kurşun çekirdekli sismik izolatör, yüksek sönümlü kauçuk izolatör gibi sismik yalıtım cihazları kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında Türkiye de ve dünyada mevcut sismik izolasyon cihazları incelenmiştir.

Yalıtım sistemleri TBDY2018-14, EN15129-8 ve ASCE7-22 kapsamında tasarlandığı görülmüştür. Yalıtım cihazlarının kontrolleri dünya üzerinde bulunan 3 farklı test merkezinde gerçekleştirilmiştir. Sismik yalıtım cihazlarının kontrollerinde her üretici firmanın kendi teknik bilgileri ve Ar-Ge çalışmaları sonucunda (know-how), yönetmeliklere ek formüller ve katsayılar kullanıldığı görülmüştür.

Testler sonucunda, yalıtım cihazı rijitliğinin, sönüm değerinin ve kapasitelerinin yine katsayılar içerisinde kaldığı, başarısız geçen testlerin de yönetmeliklere göre tasarlandığının fakat üretim sorunları yaşadığının, yalıtım cihazı üretici katsayısının belirtilen aralıkta kalmadığı görülmüştür. Testler doğrultusunda numunenin taşıma, yer değiştirme ve sönüm kapasitelerinin, bu kapasitelerin hız, frekans ve sıcaklıkla değişimlerinin kontrolleri yapılmıştır. Kontrollerde yönetmelikler zorunlu kılınan testlere ve yalıtım sistemlerinin bu testlere uygunluğu ve yeterliliği ile ilgili yorumlar yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler: Sismik Yalıtım Cihazı, Yüksek Sönümlü İzolatör, Kurşun Çekirdekli Sismik İzolatör, Sürtünmeli Sarkaç Tip İzolatör.**

## SUMMARY

There are many seismic isolated structures in Turkey and in the world, including hospitals, museums, schools, bridges, reinforcement and housing projects. Seismic isolation devices such as curved surface friction isolation, lead core seismic isolators and high damping isolators are used in seismic isolated structures. Within the scope of the study, seismic isolation devices available in Turkey and in the world were examined.

It has been seen that the isolation systems are designed within the scope of TBCE2018-14, EN15129-8 and ASCE7-22. The controls of the isolation devices were carried out in 3 different test centers around the world. It has been observed that formulas and coefficients in addition to the regulations are used in the controls of seismic isolation devices, as a result of each manufacturer's own technical information and R&D studies (know-how).

As a result of the tests, it was seen that the stiffness, damping value and capacities of the isolation device remained within the coefficients, the unsuccessful tests were also designed according to the regulations, but there were production problems, and the isolation device manufacturer's coefficient did not remain within the specified range. In line with the tests, the bearing, displacement and damping capacities of the sample and the changes of these capacities with speed, frequency and temperature were checked. During the controls, comments were made regarding the tests required by the regulations and the suitability and adequacy of the isolation systems for these tests.

**Key Words: Seismic Isolation System, High Dumping Rubber, Lead Rubber Bearing, Friction Pendulum Isolator.**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin ilk gününden bu sürece kadar, kendisinden aldığım eğitim ve tez yazma sürecinde desteğini hep hissettiğim sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR'a; bilgilerinden faydalanmış olmaktan onur duyduğum, eğitim hayatımda etkisinin büyük olduğuna inandığım hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Cüneyt TÜZÜN ve Dr. Öğr. Üyesi Oğuz Bahadır ŞADAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımda, meslek serüvenimde desteklerini hep hissettiğim sevgili aileme, aile bildiğim dostlarıma hep yanımda oldukları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



# İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tanıtım	1
1.2. Kapsam	1
1.3. Tez Düzeni	2
2. DEPREM RİSKİNİN AZALTILMASI	3
2.1. Yapılarda Deprem Etkisi	3
2.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	3
2.3. Deprem Yalıtımlı Yapı Tasarımı	4
3. DEPREM YALITIMI	5
3.1. Tarihsel Gelişim	5
3.2. Sismik Yalıtım Birimleri	8
3.2.1. Elastomer Yalıtım Birimleri	8
3.2.1.1. Kurşun Çekirdekli Elastomer Yalıtım Birimleri (LRB)	9
3.2.1.2. Yüksek Sönümlü Elastomer Yalıtım Birimleri (HDRB)	10
3.2.1.3. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Tasarımı	10
3.2.2. Sürtünmeli Yalıtım Birimleri	11
3.2.2.1. Eğri Yüzeyle Sürtünmeli Yalıtım Birimleri (EYSYB)	11
3.2.2.2. Eğri Yüzeyle Sürtünmeli Yalıtım Birimlerinin Tasarımı	12
3.3. Yalıtım Birimleri Testleri	12
3.3.1. Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 için Sismik Yalıtım	12
3.3.2. Avrupa Standartı EN15129:2017 için Sismik Yalıtım	17

3.3.3. Amerikan İnşaat Mühendisleri Kodu ASCE7-22 için Sismik Yalıtım Yaklaşımı	20
3.4. Yalıtım Birimleri İçin Test Merkezleri	21
3.4.1. Esquake Eskişehir Sismik İzolatör Test Merkezi	22
3.4.2. EUCentre Test Merkezi	23
3.4.3. Sismalab Test Merkezi	23
3.4.4. EPS Deprem Koruma Sistemleri	24
3.4.5. Jsil Japonya Sismik İzolasyon Laboratuvarı	25
3.4.6. NCREE Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi	26
4. SİSMİK YALITIM CİHAZLARININ TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ	27
4.1. Araştırma Konusu	27
4.2. Veri Setinin Özellikleri	27
4.3. Veri Setinin Çıktıları	27
4.3.1. Test Merkezi A için Test Sonuçları	28
4.3.1.1. Test Merkezi A Test Sonuçları İnceleme Prosedürü	28
4.3.1.2. Test Merkezi A için Geliştirilmiş Yöntem	31
4.3.1.3. Test Sonuçlarının İncelenmesi	31
4.3.2. Test Merkezi B için Test Sonuçları	38
4.3.2.1. Test Merkezi B Test Sonuçları İnceleme Prosedürü	38
4.3.2.2. Test Merkezi B için Geliştirilmiş Yöntem	39
4.3.2.3. Test Sonuçlarının İncelenmesi	42
4.3.3. Test Merkezi C için Test Sonuçları	68
4.3.3.1. Test Merkezi C Test Sonuçları İnceleme Prosedürü	68
4.3.3.2. Test Merkezi C için Geliştirilmiş Yöntem	69
4.3.3.3. Test Sonuçlarının İncelenmesi	70
5. SONUÇ	87
5.1. Özet	87
5.2. Çalışma Çıktıları	87
5.3. Gelecek Çalışmalar	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	90

# SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
$\mu$	: Etkin sürtünme katsayısı
D	: Yalıtım birimi için yer değiştirme değeri
DD	: Deprem Düzeyi
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
$D_M$	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme
$D_{TD}$	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yer değiştirme
$D_{TM}$	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yer değiştirme
$D_y$	: Yalıtım biriminin etkin akma yer değiştirmesi
$k_1$	: Elastomer yalıtım biriminin başlangıç rijitliği (elastik rijitlik)
$k_2$	: Elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği
$k_e$	: D yer değiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik
$k_v$	: Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği
$T_D$	: Deprem yalıtımlı binanın tasarım yer değiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu
$T_M$	: En büyük yer değiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu
$T_p$	: Yalıtım uygulanmamış binanın brüt kesit rijitliği kullanılarak hesaplanmış hâkim mod titreşim periyodu
$\beta_e$	: Etkin sönüm oranı

ξ	:	DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki yalıtım birimi için hesaplanan etkin sönüm yüzdesi
ASCE7-22	:	Amerikan İnşaat Mühendisleri Kodu
DDYT	:	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı
DYYT	:	Deprem Yalıtımlı Yapı Tasarımı
EN15129	:	Avrupa Standartı-Anti Sismik Cihazlar
EYSYB	:	Eğri Yüzeyle Sürtünmeli Yalıtım Birimi
HDRB	:	Yüksek Sönümlü Elastomer Tipi Yalıtım Birimi
KK	:	Kesintisiz Kullanım Performans Seviyesi
LRB	:	Kurşun Çekirdekli Elastomer Tipi Yalıtım Birimi
SYB	:	Sismik Yalıtım Birimi
TBDY-2018	:	Türk Dina Deprem Yönetmeliği-2018

# ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: 1969 yılında yapılan dünyanın ilk kauçuk sismik yalıtımlı binası. a) genel görünüm, b)izolatör görünüşü.	6
3.2: Kocaeli Eğitim ve Araştırma Hastanesi izolatör uygulaması.	7
3.3: Kurşun çekirdekli sismik yalıtım birimi görünüş.	8
3.4: LRB sismik yalıtım birimi.	10
3.5: EYSYB görünüş. a) genel görünüm., b) iç tasarım görünüşü.	11
3.6: ESQUAKE test makinası.	22
3.7: EUCentre test makinası.	23
3.8: Sismalab test makinası.	24
3.9: EPS test makinası.	24
3.10: Jsil Test makinası bilgileri.	25
3.11: Bats test makinası	26
4.1: Kuvvet-yer değiştirme eğrisi.	29
4.2: Kuvvet yer değiştirme eğrisi-2.	29
4.3: Kuvvet yer değiştirme eğrisi-3.	30
4.4: Kuvvet yer değiştirme eğrisi-4.	30
4.5: LRB/970 Test sonuçları a) $K_{eff}(+) / K_{eff,test}$ merkezi, b) $K_{eff}(+) / K_{eff}(-)$ , c) $K_{eff}(-) / K_{eff,test}$ merkezi.	33
4.6: LRB/970 Test Sonuçları a) $K_2(+) / K_2(-)$ , b) $K_2 / K_2(+)$ , c) $K_2 / K_2(-)$ .	34
4.7: LRB/970 $K_{eff}$ , ve Q sonuçları a) $K_{eff}(döngü 1) / K_{eff}(döngü son)$ ,b) $Q_{son} / Q_{ilk}$ .	34
4.8: LRB/970 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	35
4.9: LRB/970 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129	36
4.10: LRB/820 prototip 1 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	36
4.11: LRB/820 prototip 21 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	37

4.12: LRB/870 prototip 1 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	37
4.13: LRB/870 prototip 2 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	38
4.14: Test merkezi kuvvet-yer değiştirme grafiği ve sonuçları.	40
4.15: EYSYB için sürtünme katsayısı eğriliği.	42
4.16: LRB/1020 Test sonuçları a) $K_{eff}(+)$ / $K_{eff}$ ,test merkezi, b) $K_{eff}(+)$ / $K_{eff}(-)$ , c) $K_{eff}(-)$ / $K_{eff}$ ,test merkezi.	44
4.17: LRB/1020 Test Sonuçları a) $K_2(+)$ / $K_2(-)$ , b) $K_2$ / $K_2(+)$ , c) $K_2$ / $K_2(-)$	44
4.18: LRB/1020 $K_{eff}$ , ve Q sonuçları a) $K_{eff}$ ,( $\lambda$ döngü 1) / $K_{eff}$ ,( $\lambda$ döngü son) ,b) $Q_{son}$ / $Q_{ilk}$ .	45
4.19: LRB/1020 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	46
4.20: LRB/1020 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	46
4.21: LRB/1120 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE , b) EN15129.	48
4.22: LRB/1120 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	49
4.23: LRB/1220 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	50
4.24: LRB/1220 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	50
4.25: LRB/820 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	51
4.26: LRB/820 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	52
4.27: LRB/970 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	53
4.28: LRB/970 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	53
4.29: LRB/1020 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	54

4.30: LRB/1020 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	55
4.31: LRB/1120 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	55
4.32: LRB/1120 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	56
4.33: Test N=1800 kN.	57
4.34: Test N=1500 kN & Test N=1200 kN.	57
4.35: Test N=1800 kN Test N=1200 kN.	58
4.36: Alan tayini.	59
4.37: LRB/850 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	60
4.38: LRB/850 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	60
4.39: LRB/1000 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	61
4.40: LRB/1000 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	62
4.41: LRB/650 $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	62
4.42: $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.	63
4.43: Keff sonuçları a) Keff,rapor / Keff,hesap(+) ,b) Keff,rapor / Keff,hesap(-).	64
4.44: Sürtünme Katsayısı Sonuçları a) $f_{test}$ merkezi / $f_{hesap}$ ,b) $f_l$ / $f_{son}$ .	64
4.45: Enerji ve Sönüm Sonuçları a)EDC1 / EDCson ,b) $\zeta_1$ / $\zeta_{son}$ .	65
4.46: Yönetmelikler için $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst sonuçları a) TBDY-2018 b) EN15129 c) ASCE.	66
4.47: Yönetmelikler için $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst sonuçları a) TBDY-2018 b) EN15129, c) ASCE.	66
4.48: Yönetmelikler için $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst sonuçları a) TBDY-2018, b) EN15129, c) ASCE.	67
4.49: Yönetmelikler için $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst sonuçları a) TBDY-2018, b) EN15129, c) ASCE.	67
4.50: Yönetmelikler için $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst sonuçları a) TBDY-2018, b) EN15129, c) ASCE.	68

4.51: Yönetmelikler için $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst sonuçları a) TBDY-2018, b) EN15129, c) ASCE.	68
4.52: Kuvvet yer değiştirme sonuçları örnek.	69
4.53: Sürtünme katsayısı sonuçları a) $\mu_{1t} / \mu_1$ ,b) $\mu_{2t} / \mu_2$ ,c) $\mu_{3t} / \mu_3$ .	71
4.54: Sürtünme katsayısı sonuçları a) $\mu_1 / \mu_{1h}$ ,b) $\mu_2 / \mu_{2h}$ ,c) $\mu_3 / \mu_{3h}$ .	72
4.55: $K_{eff}$ ve $\beta_{eff}$ sonuçları a) $K_{eff} / K_{eff,t}$ , b) $\beta_{eff} / \beta_{eff,t}$ .	72
4.56: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	73
4.57: EN15129 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	73
4.58: ASCE sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	73
4.59: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	75
4.60: EN15129 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	75
4.61: ASCE sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	76
4.62: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	76
4.63: EN15129 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	77
4.64: ASCE sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	77
4.65: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	78
4.66: EN15129 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	78
4.67: ASCE sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	78
4.68: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	79
4.69: EN15129 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	79

4.70: ASCE sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	80
4.71: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	80
4.72: EN15129 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	81
4.73: ASCE sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	81
4.74: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	82
4.75: EN15129 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	82
4.76: ASCE sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	83
4.77: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	83
4.78: EN15129 sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	84
4.79: ASCE sürtünme katsayılarının $\lambda$ alt ve $\lambda$ üst için sonuçları a) $\mu_1$ ,b) $\mu_2$ ve $\mu_3$ .	84

# TABLolar DİZİNİ

<b><u>Tablo No:</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1: TBDY-2018 üretim kontrol testleri.	13
3.2: TBDY-2018 prototip kontrol testleri.	14
3.3: TBDY için elastomer yalıtım birimleri alt ve üst katsayıları.	16
3.4: TBDY, EYSYB için alt ve üst katsayılar.	17
3.5: EN15129 için prototip ve üretim kontrol testleri prosedürü.	19
3.6: ASCE-7 için prototip testler için alt ve üst katsayılar.	21
4.1: LRB tipler için alt ve üst rijitlik değerleri.	32
4.2: LRB/970 Test protokolü.	32
4.3: LRB tipleri için test değerlendirme.	35
4.4: LRB tipler için rijitlik değerleri.	42
4.5: LRB/1020 Test protokolü.	43
4.6: LRB tip test değerlendirme sonuçları.	47
4.7: EYSYB tip test değerlendirme sonuçları.	65
4.8: EYSYB/15636 test protokolü.	71
4.9: EYSYB için test sonuçları.	74
4.10: Düşey yüke bağlı değişen sürtünme katsayıları.	85
4.11: Farklı düşey yüklerdeki sürtünme katsayılarının oranı.	86

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Tanıtım

Başta Türkiye olmak üzere Dünya üzerinde birçok ülke fay hatlarının üzerinde yer almaktadır. Fay hatlarında konumlanmanın azaltılmaya çalışılmasıyla birlikte, bunun mümkün olmadığı, yapılaşmanın olduğu bölgelerde deprem etkisinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Tarihten bugüne kadar bu alandaki çalışmalar tüm dünyada yapılmaktadır.

Oturduğumuz binalar, iş yerlerimiz, hastaneler, fabrikalar, alışveriş merkezleri, sanayi tesisleri gibi birçok yapı kolon, kiriş, perde elemanlarla; betonarme, çelik, prekast, ahşap gibi malzemelerin birlikte kullanılmasıyla inşa edilmektedir. Deprem anında yapıya etki eden kuvvet tüm elemanlara iletilerek belli bir düzende hareket gerçekleştirmektedir. Deprem kuvveti yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasara yol açmaktadır. Hem yapısal elemanlarda hem yapısal olmayan elemanlarda hasarı en aza indirmek için özel sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özel sistemler daha çok taban yalıtımı olarak kullanılan sismik yalıtım cihazları, yapı katlarında hareketi azaltmak için kullanılan sönümleyici sistemler olmaktadır.

Bu tez kapsamında sismik yalıtım cihazları üzerinde yapılan testler incelenmiştir. Bu testler yönetmeliklerle birlikte zorunlu hale getirilmiştir. Test sonuçları, hesap sonuçlarıyla ve her test kendi içerisinde belli oranlarda uyumlu olması gerekmektedir. Bu tez kapsamında testlerin birbirleri içerisinde uyumu, yönetmelikle göre uyumu, test merkezlerinin inceleme prosedürleri ve tüm bunlar arasındaki oranlar incelenmiştir.

## 1.2. Kapsam

Tez kapsamında Türkiye’de kullanılan sismik yalıtım cihazlarının test prosedürleri, yönetmeliklere göre test prosedürleri arasındaki uyum, hesap ve test sonucu arasındaki fark, test merkezlerinin test sonuçlarını inceleme prosedürleri ve test merkezlerinin uyumu katsayılar belirlenerek incelenmiştir.

### 1.3. Tez Düzeni

Bu tezin birinci bölümünde tez kapsamından bahsedilmiştir. Tezin ikinci bölümünde deprem riskinin azaltılması, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve deprem yalıtımlı yapı tasarımına ilişkin açıklamalardan bahsedilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde deprem yalıtımının tarihsel gelişimiyle birlikte dünyada ve Türkiye de taban yalıtımına ilişkin örnekleri, sismik yalıtım cihazlarından kurşun çekirdekli sismik yalıtım birimini (LRB), eğri yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimi (EYSYB), Yüksek Sönümlü Elastomer Yalıtım Birimini (HDRB), yönetmeliklere göre test prosedürlerini, Dünyada bulunan test merkezlerini ve bunların kapasitelerinden bahsedilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde tez kapsamında yapılmış olan çalışmaları, test prosedürleri inceleme çalışmalarını, yönetmeliklere göre test prosedürlerini, kapsamlarını ve bunların sonuçlarına dair incelemeleri, test sonuçlarının hangi aralıklarda kaldığından bahsedilmiştir. Tezin beşinci bölümünde sonuç, özet ve gelecek çalışmalara dair önerilere yer verilmiştir.

## **2. DEPREM RİSKİNİN AZALTILMASI**

### **2.1. Yapılarda Deprem Etkisi**

Geleneksel yöntemle tasarlanan ve inşa edilen yapılar deprem anında hasara uğrayacaktır. Yönetmeliklerdeki yapı modelleme anlayışı yapının hasar almasına dayanmaktadır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018'i (TBDY-2018) incelediğimizde, Türkiye için 4 farklı deprem düzeyinden bahsedilmiştir. Bunlar DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak isimlendirilmiştir. Yapı hasarının belli düzeyde tutulması veya performans seviyesinin belirlenmesiyle ilgili de yönetmeliklere göre belirlenmiş kurallar vardır. Tasarım seviyesini belirleyerek, bina hasar seviyesini belli düzeyde tutmakta mümkündür. Bu yaklaşıma Performansa Dayalı Tasarım ile erişmek mümkündür. Hastaneler, veri merkezleri gibi acil kullanım ihtiyacı olan birçok yapı günümüzde sismik yalıtım cihazları (SYC) kullanılarak tasarlanmaktadır. Güçlendirme çalışmalarında yenilikçi yöntemler başlığı ile bu cihazların kullanımına önem verilmektedir. SYC kullanılarak yeni yapılarda veya güçlendirilecek yapılarda Kesintisiz Kullanım (KK) performans seviyesine ulaşmak mümkündür. Türkiye de yaklaşık son 20 yılda, Dünyada son 50 yılda sismik yalıtıma olan ihtiyaçla birlikte kullanım da artmıştır.

### **2.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı**

Türkiye, Amerika, Avrupa ülkeleri gibi başta deprem bölgeleri olmak üzere birçok ülke yönetmelikleri depreme dayanıklı yapı tasarımı ve deprem yalıtımlı yapı tasarımı anlayışı ile ilgili bölümler içermektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında yönetmelikler donatı oranlarını, bağlantı detaylarını, malzeme özelliklerini, eleman davranışlarını, minimum yapı elemanı boyutlarını belirli düzeylerde tutmuşlardır. Rijitlik merkezinin, yapı davranışının, deprem kuvvetlerinin dağıtılmasının önemi büyüktür. Bunlarla birlikte deprem riskini en aza indirmek ve performans seviyesini belli sınırlarda tutmak için yalıtım cihazlarına ihtiyaç duyulabilmektedir.

## 2.3. Deprem Yalıtımlı Yapı Tasarımı

Deprem yalıtımlı yapı tasarımı (DYIT), Türkiye de daha çok taban yalıtımı olarak, TBDY Bölüm 14 ile incelenmektedir. DYIT'nda yapıda yalıtım cihazları kullanılmaktadır ve yapı buna göre tasarlanmaktadır. Bu cihazlar yenilikçi yöntemler olarak da bilinir, taban yalıtımı, yer değiştirmeye bağlı cihazlar, hıza bağlı cihazlar, kayar elemanlar gibi sıralanabilir. Bu cihazlar Türkiye, Amerika, Japonya gibi depremin etkili olduğu bölgelerde hem yeni yapılarda hem güçlendirilecek yapılarda kullanılmaktadır. SYC Kurşun Çekirdekli Elastomer Tipi Yalıtım Birimi (LRB), Yüksek Sönümlü Elastomer Tipi Yalıtım Birimi (HDRB), Eğri Yüzeyleli Sürtümlü Yalıtım Birimi (EYSYB) olarak bilinmektedir. Deplasmana veya hıza bağlı cihazlar, damperler, Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BRB), Viskoz Damperler, Sürtümlü Damperler olarak bilinmektedir. Tüm bu cihazlarının her birinin birçok üretici tarafından farklı tasarımları ve çalışma prensipleri mevcuttur. Yönetmeliklerin zorunlu kıldığı testler ile bunlar kontrol edilmektedir. Taban yalıtımı anlayışında, deprem etkisi, tabanda bir yalıtım arayüzü ile yalıtım cihazları kullanılarak sönümlenmektedir ve yapıya taban kesme kuvvetinin yaklaşık %15 i aktarılmaktadır. Sismik yalıtım cihazları hem DD-1 DD ne göre hem DD-2 DD ne göre tasarlanmakta ve testleri yapılmaktadır. Bu anlayışta, yapı DD-2 DD ne göre, sismik yalıtım birimi (SYB), DD-1 DD ne göre tasarlanmaktadır. SYB düşeyde rijit, yatayda esnek elemanlardır. Düşeyde rijit olması özelliği ile tüm yapı ağırlığını taşıyabilmektedir. Yatayda esnek olması ile yapıda gerçekleşecek yer değiştirmeyi cihaz hareket ederek yalıtım sisteminde gerçekleştirmektedir. Böylece yer değiştirme hareketi sismik yalıtım arayüzünde yani yalıtım cihazında gerçekleşmektedir ve üst yapı hareketsiz kalmaktadır.

## 3. DEPREM YALITIMI

### 3.1. Tarihsel Gelişim

İnsan dünyada var olduğu sürecin en başından bugüne kadar karşılaştığı tüm tehlikelere karşı önlemler almaya çalışmıştır. Bu önlemler, tarih boyunca her alanda olmuştur ve gelişen teknolojiyle birlikte sürekli yenilenmiştir. Deprem de canlıların bu alandaki sürekli yaşamına tehlike oluşturan bir olgu olmuştur.

Bir doktor olan J.A. Calantarients 1907 yılında yazdığı bir mektupta, depremin şiddet derecesinin anlamını kaybettiğini, yapılarda deprem güvencesine “serbest birleşim” anlayışıyla, yapıların kum, mika, talk katmanı üzerine oturması ile başarabileceğini belirtmiştir ve patenti için başvurmuştur. Doktorun bu çalışması, taban yalıtımı ve deprem yalıtımı anlayışının Dünya da ki ilk örneğidir. Bununla birlikte tarihsel süreçte, topraklar, kablolar, yataklar, kumlarla birlikte birçok yöntem geliştirilmiştir.

Deprem yalıtım sistemleri ile ilgili araştırmalar 1876-1895 yılları arasında Tokyo da maden mühendisi Prof. Dr. John Milne'nin birçok sismograf ve sismoskop geliştirdiğini, Milne depremiyle çok yakından ilgilendiğini ve deprem araştırmalarının önünü açtığını göstermiştir. Bu sebeple John Milne modern sismolojinin babası olarak kabul edilmiştir ve hala geliştirdiği DDY kuralları geçerliliğini korumaktadır [1]. ABD’de tasarım yönetmeliği gelişerek bugün Uniform Bina Yönetmeliği 1991 (UBC) halini almıştır [2].

1929 yılında Martel tarafından birinci katın esnek yapılması fikri ortaya atılmıştır. 1935 yılında Gren ve 1938 yılında Jakobsen tarafından çalışılan bu konu sismik yalıtım fikrinin gelişmesine ve yaygınlaşmasına sebep olmuştur. 1969 yılında dünyada ilk kauçuk sismik yalıtımlı yapı, İsviçreli mühendisler tarafından Makedonya'nın Skopje şehrinde bir ilkokul binasında uygulanmıştır. İlk uygulama istenilen kadar başarılı olmasa da Berkeley tarafından araştırmalar geliştirilmiştir. 1981 yılında Yeni Zelanda’da inşası tamamlanan William Clayton binası, kurşun çekirdekli izolatörlerin kullanıldığı ilk yapıdır. Bu tarihten sonra Yeni Zelanda’da yalıtımlı yapıların sayısı hızla artmıştır (Skinner, Robinson ve McVerry. 1993). Japonya’da ilk sismik yalıtım uygulaması 1983 yılında inşa edilen 2 katlı betonarme bir konutun 6 tekil temelının altına yerleştirilen 6 elastomer mesnet şeklinde olmuştur.

17 Ocak 1995 Kobe depremi Japonya'daki sismik yalıtım uygulamalarında adeta bir patlama yaratmış, deprem öncesi 3 yılda toplam 15 onay verilmişken, deprem sonrasındaki 3 yılda bu sayı 450'ye yükselmiştir. 1985 yılında ABD'de ilk kez bir adliye binası (Foothill) 96 adet kauçuk yalıtım birimi kullanılarak sismik yalıtım tekniğine uygun olarak yapılmıştır. Bu tarihten itibaren ABD'de sismik yalıtım teknolojisiyle yapılan binalar hızla artmıştır [3]. Dünyada taban yalıtımı kumlarla başlayan süreçte, topraklar, halatlar, kablolar ile geliştirilmiştir. Topraklarla yapılan ilk taban yalıtımı örnekleri Mexico'daki ve Ukrayna da ki 5 katlı okul binaları, kumla yapılan ilk yalıtım örnekleri Pekin de ki Eyalet Gözlem İstasyonu dur.

Prof. Dr. John Milye Tokyo Üniversitesi'ndeki yıllarında örnek bir yalıtılmış bir bina inşa etmiştir. Bu yapı topraklar üzerine, konkav dökme demir tablalarla ve kazıklarla yapılmıştır.

Son 20 yıldır gelişen teknolojiyle birlikte kauçuk yalıtım cihazları ve çelik yalıtım cihazları daha pratik ve verimli olması sebebiyle üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Dünyada başta ABD ve Japonya olmak üzere, Yeni Zelanda ve İtalya da birçok yapıda yalıtım cihazları kullanılmıştır. Endonezya, Ermenistan sosyal konut projelerinde, Türkiye hastane projelerinde kullanılmaktadır. Dünya üzerinde ilk yalıtım uygulamaları, Foothill Community Hukuk ve Adalet Merkezi, Güney Kaliforniya Üniversitesi Eğitim Hastanesi, San Francisco Belediye Binası, Oakland Belediye Binası, The Salt Lake City and Country Yapısı, C-1 Binası olarak kayıtlara geçmiştir [4].



Şekil 3.1: 1969 yılında yapılan dünyanın ilk kauçuk sismik yalıtımlı binası. a) genel görünüm, b) izolatör görünüşü.

Türkiye coğrafi konumu sebebiyle Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay Hattı olmak üzere üç ayrı birbirinden büyük deprem hattı üzerinde oturmaktadır. Türkiye topraklarının %66'sı 1. ve 2. derecede, %34'ü de diğer derecedeki bölgeler üzerinde bulunmaktadır. Nüfusun %70'i 1. ve 2. derecede, %30'u da diğer derecedeki bölgeler üzerinde yaşamaktadır. Deprem mühendisliği 1961 yılında Türkiye de yönetmelik olarak girmiştir ve 1968 de bu yönetmelik güncellenmiştir. Beraberinde 1975 yılında çıkarılan yönetmelik 1997 yılına kadar kullanılmıştır ve arada yönetmelik bazında güncelleme yapılmamıştır. 2007 de 1997 yönetmeliği yetersiz kalması sebebiyle değiştirilmiştir ve aynı sebeple 2018 yılında TBDY-2018 son haliyle güncellenmiştir ve hala kullanılmaktadır [5].

1993-1998 yılları arasında Tarsus-Adana- Gaziantep (TAG) otoyolu üzerindeki viyadükler, Türkiye'de sismik yalıtım sisteminin kullanıldığı ilk yapılardır. Bu viyadüklerin bir kısmı enerji sönümleyici cihazlarla bir kısmı da yalıtım sistemiyle inşa edilmiştir. 2000 yılında faaliyete giren İstanbul Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Binası FPS ile inşa edilmiştir. 1999 yılında İzmir'in Aliğa ilçesinde yapımına bağlanan ve 2001 yılında tamamlanan Sıvılaştırılmış Gaz Depolama Terminalinde deprem yalıtım sistemleri kullanılmıştır. Dünyada 2. büyük LNG deposu olan bu tesiste 112 LRB kullanılmıştır. 2003 yılında inşaatına bağlanan ve 2005 yılında faaliyete açılan Kocaeli Üniversite Eğitim ve Araştırma Hastanesinde 256 adet SYC kullanılmıştır. Bu yapı, Türkiye'de yalıtım sistemiyle yapılan ilk hastanedir.

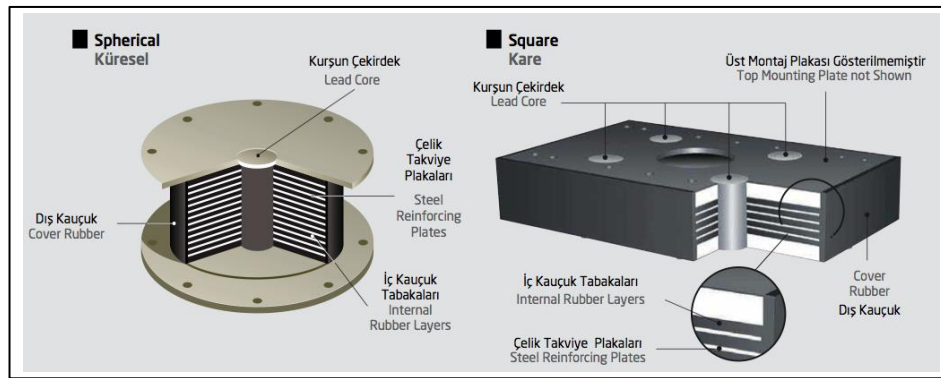


Şekil 3.2: Kocaeli Eğitim ve Araştırma Hastanesi izolatör uygulaması.

## 3.2. Sismik Yalıtım Birimleri

### 3.2.1. Elastomer Yalıtım Birimleri

Dünya üzerinde en çok kullanılan yalıtım birimleri kauçuk esaslı elastomer yalıtım birimleridir. Bu SYB deprem enerjisinin yapıda meydana getireceği hasarları en aza indirmek için kullanılmaktadır. SYB kendi içerisinde, kurşun çekirdekli, yüksek sönümlü ve düşük sönümlü olmak üzere 3'e ayrılır. Elastomer yalıtım birimleri kauçuk ve çeliğin vulkanizasyon yöntemiyle birleştirilmesiyle oluşmaktadır. SYB nde çeliğin rijitliğinden, kauçuğun esnekliğinden faydalanılmaktadır. Çelik sayesinde düşeyde gelen yapı yükleri emniyetli olarak taşınmaktadır. Kauçuk sayesinde deprem esnasında yalıtım cihazı kapasitesi doğrultusunda hareket ederek gerekli yer değiştirmeler ve dönmeler tamamlanır. Hareket tamamlandıktan sonra yalıtım cihazı ilk haline geri döner. Kurşun sayesinde yalıtım cihazında ilk rijitlik belirlenir ve %30 seviyesinde sönüm kazandırılır [6]. Deprem yalıtımının doğrusal kuramıyla ilgili Kelly tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu kuram binalar için m-serbestlik dereceli sistemlerin hareket denkleminde ve modal analizine de çevrilmiştir. Kuramda kütle, rijitlik ve sönüm değerlerinin önemli olduğu ve denklemini oluşturan temel parçalar olduğu görülmüştür. Bu kuramda bina için ve modal analiz için seçilecek olan yalıtım biriminde rijitlik, sönüm, kütle değerlerinin önemli olduğu, yalıtım biriminde aranacak özelliklerin bunlarla ilişkili olarak seçileceği belirlenmiştir.



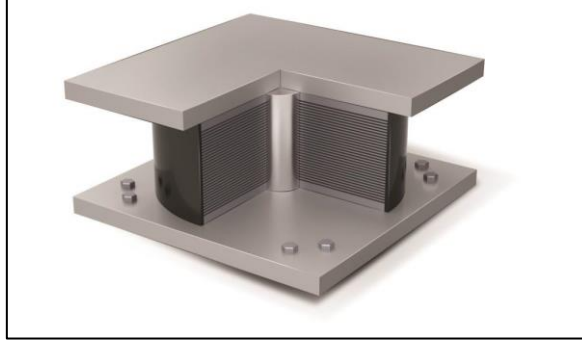
Şekil 3.3: Kurşun çekirdekli sismik yalıtım birimi görünüşü.

Yalıtım birimi ile ilgili matematiksel model incelendiğinde her yalıtım birimi için önemli olan temel maddeler, düşeyde rijitlik yatayda esnek davranış ve sönüm olsa da yalıtım biriminin malzemesine göre, yer değiştirmelerin, sıcaklığın ve frekansın

değişmesiyle yalıtım cihazının davranışında değişimler olduğu görülmüştür. Tüm bu değişimlerin birbiriyle uyumu ve düzeni kontrol edilmek ve bir oranda tutulmak üzere testler zorunlu hale getirilmiştir. Sürtünme ile sönüm yapan yalıtım birimlerinde rijitliği etkileyen ve önemli olan sürtünme katsayısı, düşey yük ve yer değiştirme ile ilişkiliyken, kauçuk yalıtım birimlerinde önemli olan rijitliği etkileyen  $k_2$  değeri tamamen kauçuk malzeme ve yer değiştirme ile ilişkilidir [7].

### **3.2.1.1. Kurşun Çekirdekli Elastomer Yalıtım Birimleri (LRB)**

LRB'ler, elastomer, çelik ve kurşunun birleşmesiyle oluşan yalıtım birimleridir. Bu yalıtım birimlerinde kauçuğun esnekliğinden, çeliğin rijitliğinden, kurşunun yapıya katacağı ilk rijitliğinden ve sönümünden faydalanılmaktadır. İlk olarak 1975 yılında Yeni Zelanda da icat edilmiştir. LRB'lerin tasarımında, binadan gelen düşey yükler deprem anında ve depremsiz durumda da önemlidir. LRB depremsiz durumda kalıcı olan yükleri yapı ömrü boyunca verimli şekilde taşımaktadır. Deprem anında kontrolleri yapılarak deprem yükünü emniyetle taşıyabileceği kontrol edilmektedir. LRB cihazlar her yönetmelik için yapıya gelecek en büyük deprem yer değiştirmelerini yapabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Maksimum yer değiştirmeyi gerçekleştirmektedir ve deprem sonrasında kauçuğun elastikiyeti sayesinde SYB eski haline geri gelmektedir. Kurşun %99.99 saf kurşundur ve bu sayede yapı hem rüzgâr gibi küçük kuvvetler etkisinde hareket etmemektedir hem de yapıya %30 seviyelerinde sönüm katmaktadır. LRB içerisinde bir veya birden fazla kurşun kullanılabilir. Buradaki önemli detay kurşun, kauçuk ve çeliğin birlikte kullanımı ve üretim zorluğudur. Kurşun, çelik ve kauçuk içerisindeki alanda sıkıca oturmalıdır ve deprem esnasında hareketini verimli şekilde yapmalıdır. Yönetmelikler, LRB nin, düşey yükler altında durağanlığını, rüzgâr hareketi esnasında davranışını, yatay hareketlerdeki rijitlik değerlerini, hem düşey hem yatay kuvvetlerin beraber olduğu durumlardaki yalıtım cihazını çalışmasını kontrol etmek için testlere tabii tutmaktadır. Bu testler her yönetmeliği göre değişse de, prensip olarak aynı testlerdir. Testler yalıtım cihazının farklı frekanslarda, farklı hızlarda, farklı yüklerde, farklı yer değiştirmelerde ve farklı sıcaklıklardaki hareketinin birbiri içerisindeki uyumunu incelemektedir. Bu uyumu maksimum kuvvet ve yer değiştirmelerde de, minimum kuvvet ve yer değiştirmelerde de incelemektedir.



Şekil 3.4: LRB sismik yalıtım birimi.

### 3.2.1.2. Yüksek Sönümlü Elastomer Yalıtım Birimleri (HDRB)

HDRB, yüksek sönüm kapasitesini kauçuk sayesinde gerçekleştiren, ek sönüm cihazına gerek duymayan yalıtım birimidir. Kauçuk ve çeliğin birleşiminden oluşmaktadır. %30 seviyesinde ek sönüm sağlamaktadır. İlk rijitlik ve rüzgâr kuvvetine karşı dayanıklılığını kontrol edecek şekilde tasarlanmaktadır ve testleri yapılmaktadır. LRB ye ve diğer yalıtım cihazlarına benzer şekilde tüm yükler ve deformasyonlar altında kontrolleri testler ile yapılmaktadır.

### 3.2.1.3. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Tasarımı

Tüm yalıtım birimleri düşeyde rijit yatayda esnek eleman olacak şekilde tasarımılandırılmaktadır ve bu tasarım kullanılan malzeme detayına göre değişiklik göstermektedir. Türkiye de kullanılan yalıtım birimlerini incelediğimizde elastomer yalıtım birimlerinin hesaplarının TBDY-2018, EN15129, ASCE7-22 yönetmeliklerine göre hesaplandığı görülmektedir.

Her yönetmelik bazı katsayıları ve oranları değiştirirse de temel formülleri aynı kullanmıştır. TBDY elastomer yalıtım birimleri için Bölüm 14.12 de tasarım detaylarına yer vermiştir. Tasarım ve hesabı tamamlanan elastomer yalıtım birimi testlere tabii tutulmaktadır. Projede kullanılacak olan her yalıtım birimi tipi için 2 adet prototip test yapılmaktadır. Tet sonuçları hem birbiriyle uyumlu olmak zorunda hem de hesapla uyumlu olmak zorundadır. Yine projede kullanılacak olan toplam yalıtım birimi sayısının belli bir oranı (örneğin TBDY için %30u) üretim kontrol testlerine tabii tutulmaktadır. Her yönetmelik için yapılan testlerde elastomer yalıtım birimleri için genel kontrolleri şu şekilde sıralayabiliriz; düşeyde rijitlik kontrolü, düşey yük

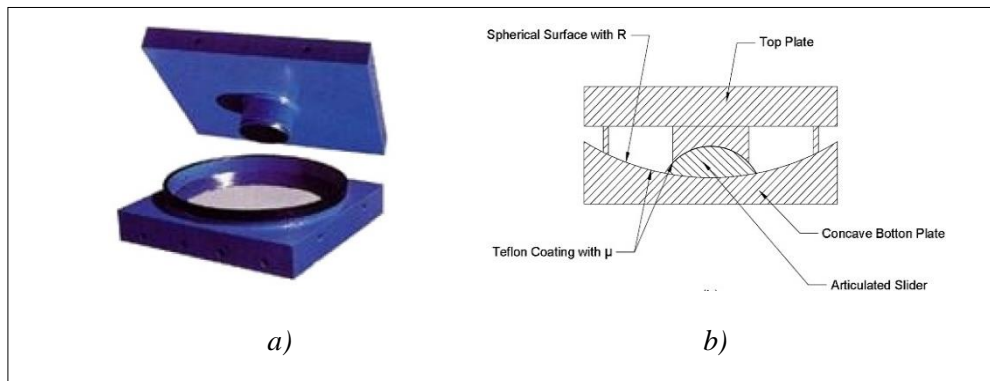
altında, yatayda rüzgâra karşı dayanım kontrolü, düşey yük altında, yatayda yer değiştirmenin %5, %10, %20, %50, %100, %150, %200 değerleri ve talebe göre daha büyük değerleri için rijitlik kontrolü ve sonuçların birbirleri arasındaki uyumu, düşey yük altında, yatayda 3 farklı frekans için (0.25Hz, 0.5Hz, 1Hz) rijitlik kontrolü ve sonuçların birbirleri ile uyumu, düşey yük altında (+), (-) ve oda sıcaklığı olmak üzere 3 farklı sıcaklık için yatayda rijitlik kontrolü ve sonuçların birbirleri ile uyumu, maksimum yük ve maksimum yer değiştirme için yatayda rijitlik kontrolü, minimum yük ve maksimum yer değiştirme için yatayda rijitlik kontrolü.

### 3.2.2. Sürtüneli Yalıtım Birimleri

#### 3.2.2.1. Eğri Yüzeyle Sürtüneli Yalıtım Birimleri (EYSYB)

Sürtünme esaslı yalıtım birimleri, çelik plakadan ve sürtünmenin istenilen düzeyi indirilmesiyle elde edilmiş özel kayar tabakadan oluşan yalıtım birimidir. Özel geometriye sahip elemanlardır. Arada kayıcı ve yer değiştirmeleri gerçekleştiren tabaka, testlerle kontrol edilmektedir. Bu tabakanın yapı ömrü boyunca kayar eleman özelliğini kaybetmemesi, zarar görmemesi ve deprem anında verimli çalışması gerekmektedir. Burada sönüm, sürtünme ile sağlanmaktadır. Yönetmeliklerin izin verdiği sönüm değeri maksimum %30 seviyesindedir fakat yapılan araştırmalar %50 seviyelerinde sönümün mümkün olduğunu göstermektedir. Yalıtım cihazı için önemli olan hususlar, eğrilik yarıçapı, sürtünme yüzeyi ve ilk hareket-geri gelme kuvvetidir.

Dünyada ve Türkiye’de üreticisi bulunan EYSYB, yalıtım cihazı boyutunun küçültülmesi hedefiyle 2-3 yüzeyle de olabilmektedir. Dünya üzerinden 3 yüzeyle ve 2 yüzeyle üretimi ve kullanımı bulunmaktadır [8].



Şekil 3.5: EYSYB görünüşü. a) genel görünüm., b) iç tasarım görünüşü.

### **3.2.2.2. Eğri Yüzeyle Sürtünmeli Yalıtım Birimlerinin Tasarımı**

EYSYB, yalıtım birimlerinin genel tasarım prensibi olan düşeyde rijitlik yatayda esneklik temeline dayanarak tasarımılandırılmaktadır. Her projede kullanılan her EYSYB tipi için zorunlu 2 adet prototip test yapılmaktadır. Her projede kullanılan EYSYB için üretimin belli bir oranı üretim kontrol testleri zorunlu olarak yapılmaktadır. EYSYB için önemli olan parametreler; eğrilik yarıçapı, sürtünme ve ilk rijitliktir. Genel olarak EYSYB için yapılan kontroller; düşeyde rijitlik kontrolü, düşey yük altında, yatayda rüzgâra karşı dayanım kontrolü, düşey yük altında, yatayda yer değıştirmenin %5, %10, %20, %50, %100, %150, %200 değerleri ve talebe göre daha büyük değerleri için rijitlik kontrolü, sürtünme katsayısı kontrolü ve sonuçların birbirleri arasındaki uyumu, düşey yük altında, yatayda 3 farklı frekans için (0.25 Hz, 0.5 Hz, 1 Hz) rijitlik kontrolü, sürtünme katsayısı kontrolü ve sonuçların birbirleri ile uyumu, düşey yük altında (+), (-) ve oda sıcaklığı olmak üzere 3 farklı sıcaklık için yatayda rijitlik kontrolü, sürtünme katsayısı kontrolü ve sonuçların birbirleri ile uyumu, maksimum yük ve maksimum yer değıştirme için yatayda rijitlik ve sürtünme katsayısı kontrolü, minimum yük ve maksimum yer değıştirme için yatayda rijitlik ve sürtünme katsayısı kontrolü.

## **3.3. Yalıtım Birimleri Testleri**

### **3.3.1. Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 için Sismik Yalıtım**

TBDY, EYB ve EYSYB için farklı tasarımları, aynı test prosedürlerini önermiştir. TBDY-2018 Bölüm 14e göre, yapıda kullanılacak her tip SYB'nden 2 adet prototip teste, üretilen toplam SYB adetinin %30unu da zorunlu üretim kontrol testlerine tabii tutmuştur [7].

Prototip kontrol testlerin amacı, üretilen SYB ni farklı koşul, yük ve yer değıştirmelerde kontrol etmek, iki yalıtım biriminin birbiri ile uyumunu kontrol etmektir. Üretim kontrol testlerinin amacı, her üretimin aynı koşullarda, doğru ve uyumlu olduğunu göstermektir. TBDY-2018 için Tablo 1 de üretim kontrol testleri Tablo 3.1' de prototip kontrol testleri verilmiştir. TBDY-2018 prototip ve üretim kontrol testlerinde kullandığı denklemler aşağıdaki gibidir;

$$1.4G + 1.6Q \quad (3.1)$$

$$G + 0.5Q \quad (3.2)$$

$$1.2G + 0.5Q + Ed \quad (3.3)$$

$$1.2G + Q + Ed \quad (3.4)$$

$$0.9G + Ed \quad (3.5)$$

Tablo 3.1: TBDY-2018 üretim kontrol testleri.

Deney No	Düşey Yük veya Yerdeğiştirme	Yatay Yerdeğiştirme / Yatay Kuvvet	Çevrim Sayısı	Deney süresi (s)/ Deney hızı (m/s)/ Çevrim Periyodu (s)	Kabul Koşulu
1	Denk.(14.4) ile hesaplanan düşey yükün en büyük değeri	-	-	Statik (180s)	a
2	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$D_D$	3	$T_D$ veya $\geq 0.05m/s$	h, i

Burada;

- $D_D$  = Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme
- $D_{TD}$  = Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yer değiştirme
- $D_M$  = En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme
- $D_{TM}$  = En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yer değiştirme
- $D_y$  = Yalıtım biriminin etkin akma yer değiştirmesi
- $T_D$  = Deprem yalıtımlı binanın tasarım yer değiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu
- $T_p$  = Yalıtım uygulanmamış binanın brüt kesit rijitliği kullanılarak hesaplanmış hakim mod titreşim periyodu

- $T_M$  = En büyük yer değiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodudur.

Tablo 3.2: TBDY-2018 prototip kontrol testleri.

Deney No	Düşey Yük veya Yerdeğiştirme	Yatay Yerdeğiştirme / Yatay Kuvvet	Çevrim Sayısı	Deney Süresi/ Çevrim Periyodu (s)	Kabul Koşulu
1	Denk.(14.4) ile hesaplanan düşey yükün en büyük değeri	0	-	Statik (180 saniye)	a
2	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	Yalıtım birimi başına düşen yatay rüzgâr kuvveti veya 25 mm	20	$T_D$	b
3	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$0.25D_D$	3	$T_D$	c, d
		$0.50D_D$	3	$T_D$	
		$1.00D_D$	3	$T_D$	
		$1.00D_M$	3	$T_M$	
4	Denk.(14.6) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$0.25D_D$	3	$T_D$	c, d
		$0.50D_D$	3	$T_D$	
		$1.00D_D$	3	$T_D$	
		$1.00D_M$	3	$T_M$	
5	Denk.(14.8) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$0.25D_D$	3	$T_D$	c, d
		$0.50D_D$	3	$T_D$	
		$1.00D_D$	3	$T_D$	
		$1.00D_M$	3	$T_M$	
6	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$1.00D_{TM}$	3	$T_M$	c, d, e
7	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$1.00D_{TD}$	10	$T_D$	f
8	Denk.(14.7) ile hesaplanan düşey yükün en büyük değeri	$1.00D_{TM}$	Tek Yönlü İtme	-	g
9	Denk.(14.8) ile hesaplanan düşey yükün en küçük değeri	$1.00D_{TM}$	Tek Yönlü İtme	-	g
10*	Üst ve alt plakalar arasındaki en büyük düşey açılma	$1.00D_{TM}$	Tek Yönlü İtme	-	g

TBDY için yalıtım birimleri kabul koşulları aşağıdaki maddelerde belirtilmiştir. Tüm deneyler sırasında yalıtım birimleri kararlı kalacak ve kuvvet-yer değiştirme eğrisi daima pozitif eğime sahip olacaktır.

- Elastomer yalıtım birimlerinin düşey rijitliği deney elemanı üzerinde belirlenecektir. Belirlenen düşey rijitlik ile hesapta göz önüne alınan düşey rijitlik arasındaki farkın deneyden elde edilen değere oranı %15'den fazla

olmayacaktır. Elastomer yalıtım biriminde veya eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin kayma yüzeylerinde kalıcı şekil değiştirme olmayacaktır.

- Deney sonucunda elde edilen değerler, 14.6.1’de verilen koşulları sağlayacaktır.
- Tüm yükleme ve değiştirme adımlarında, her bir çevrim için hesaplanan ikincil rijitlik değeri; tasarımda kullanılmış  $\lambda_{\text{deney,alt}}$  ve  $\lambda_{\text{deney,üst}}$  değerleri ile nominal ikincil rijitliğin çarpılması ile elde edilmiş alt ve üst sınırların arasında kalacaktır.
- Deneye tabi tutulan aynı tipten iki yalıtım birimi için her bir çevrimde hesaplanmış etkin rijitlik değerlerinin farkı ile ortalama etkin rijitlik değeri arasındaki değişim %15’in altında kalacaktır.
- Ortalama ikincil rijitlik ve ortalama tüketilen enerji; tasarımda kullanılmış  $\lambda_{\text{spek,alt}}$  ve  $\lambda_{\text{spek,üst}}$  değerleri ile nominal değerlerin çarpılması ile elde edilmiş alt ve üst sınırların, +/- %5 toleransla, arasında kalacaktır.
- Deneye tabi tutulan her iki yalıtım birimi için ikinci çevrimde hesaplanan etkin rijitlik ve etkin sönüm oranı: diğer tüm çevrimlerde %30’dan daha fazla değişim göstermeyecektir.
- (g)Yalıtım biriminde kalıcı olarak basınç, çekme veya yatay rijitlik kaybı meydana gelmeyecek ve yalıtım birimi kararlılığını koruyacaktır.
- Her bir çevrim için hesaplanan ikincil rijitlik tasarımda kullanılmış  $\lambda_{\text{deney,min}}$  ve  $\lambda_{\text{deney,maks}}$  değerleri ile nominal değerlerin çarpılması ile elde edilmiş alt ve üst sınırların arasında kalacaktır.
- Herbir üretim deneyinden elde edilen ortalama ikincil rijitlik değerlerinin en büyüğü ve en küçüğü, tasarımda kullanılmış  $\lambda_{\text{spek,min}}$  ve  $\lambda_{\text{spek,maks}}$  ile nominal değerlerin çarpılması ile elde edilmiş alt ve üst sınırların arasında kalacaktır.

Elastomer yalıtım birimleri test sonuçları TBDY’ne göre verilen  $\lambda_{\text{alt}}$  ve  $\lambda_{\text{üst}}$  katsayılarının arasında olmak zorundadır. EYB için TBDY’nin verdiği katsayılarla ilişkili formül denklem 3 de verilmiştir;

$$\lambda_{\text{üst}} = [1 + 0.75(\lambda_{\text{ae,üst}} - 1)] \lambda_{\text{deney,üst}} \lambda_{\text{spek,üst}} \quad (3.6)$$

$$\lambda_{\text{alt}} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{\text{ae,alt}})] \lambda_{\text{deney,alt}} \lambda_{\text{spek,alt}} \quad (3.7)$$

Elastomer yalıtım birimleri dayanım ve rijitlik parametreleri  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  sınır öneri değerleri aşağıdaki tablodaki gibidir;

Tablo 3.3: TBDY için elastomer yalıtım birimleri alt ve üst katsayıları.

	Tip	$F_Q$		$k_2$	
		alt	üst	alt	üst
$\lambda_{ie}$	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.40
$\lambda_{deney}$	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.30
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30
$\lambda_{spek}$	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15

Burada KÇE kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimini, YSE ise yüksek sönümlü elastomer tipi yalıtım birimini göstermektedir. Burada  $F_Q$  kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi karakteristik dayanımını,  $k_2$  kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi ikincil (elastik ötesi) rijitliğini belirtmektedir.  $\lambda_{ae}$  yaşlanma ve çevresel etkiler,  $\lambda_{deney}$  yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler,  $\lambda_{spek}$  ise üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir [7].

Sürtünmeli yalıtım birimleri test sonuçları TBDY'ne göre verilen  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  katsayılarının arasında olmak zorundadır. EYSYB için TBDY'nin verdiği katsayılarla ilişkili formül denklem 3 de verilmiştir;

$$\lambda_{üst} = [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)] \lambda_{deney,üst} \lambda_{spek,üst} \quad (3.8)$$

$$\lambda_{alt} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})] \lambda_{deney,alt} \lambda_{spek,alt} \quad (3.9)$$

EYSYB için  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  sınır değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Test sonuçları bu sınır değerleri aralığında olmalıdır.

Tablo 3.4: TBDY, EYSYB için alt ve üst katsayılar.

	$\mu$	
	<i>alt</i>	<i>üst</i>
$\lambda_{ae}$	1.00	1.20
$\lambda_{deney}$	0.70	1.30
$\lambda_{spek}$	0.85	1.15

Burada  $\mu$  eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi etkin sürtünme katsayısını belirtmektedir.  $\lambda_{ae}$  yaşlanma ve çevresel etkiler,  $\lambda_{deney}$  yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler ve  $\lambda_{spek}$  üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir. Elastomer Yalıtım Birimleri için;  $\lambda_{max} = 1.83$ ,  $\lambda_{min} = 0.77$ ; Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için;  $\lambda_{max} = 2.84$ ,  $\lambda_{min} = 0.59$

### 3.3.2. Avrupa Standartı EN15129:2017 için Sismik Yalıtım

EN15129, EYB ve EYSYB için farklı tasarımları, aynı test prosedürlerini önermiştir. EN15129- Bölüm 8 göre, yapıda kullanılacak her tip SYB'nden 2 adet prototip teste ve üretim kontrol testlerine tabii tutulmuştur. Prototip kontrol testlerin amacı, üretilen SYB'ni farklı koşul, yük ve yer değiştirmelerde kontrol etmek, iki yalıtım biriminin birbirini ile uyumunu kontrol etmektir [9]. Üretim kontrol testlerinin amacı, her üretimin aynı koşullarda, doğru ve uyumlu olduğunu göstermektir. EN15129 prototip ve üretim kontrol testleri Tablo 5 de verilmiştir.

Tabloya göre prototip test gereksinimleri ve üretim kontrol testi gereksinimleri farklılık göstermektedir. Tablo N/A ile gösterilen bölgelerde üretim kontrol testinde yapılmasına gerek duyulmayan testlerden bahsedilmiştir. Yönetmeliğe göre üretim kontrol testlerinde, tasarım yer değiştirmesinde yatay rijitlik ve sönüm değerlerinin kontrol edilmesi, kalıcı yük altında düşey rijitlik değerinin kontrol edilmesi yeterlidir. Prototip deneylerde düşey yük altında rijitlik ve çökme kontrolleri, yatay rijitliğin ve sönümün; frekansa, farklı deplasman değerlerine, sıcaklığa, göre değişimi, maksimum ve minimum yükler altında kontrolleri yapılmıştır. Yapılan tüm kontrolleri prototip deneyler için alt ve üst limitlerinin %20 aralıkta değişimi, üretim kontrol deneylerinde düşey rijitlik için %30, yatay değerler için %20 aralığında olması gerekmektedir.

EN15129 test prosedürlerinde yer değiştirmelerin 0.5Hz'de, %5, %10, %20, %50, %100, ve  $d_{bd} > \%100$  kauçuk kayma gerilmesinden ise; 150 % ve %200 değerleri de ihtiyaca göre kontrol edilir [9]. Frekans kontrolleri 3 farklı frekansta yapılmalıdır. Yönetmeliğin önerdiği frekanslar 0.1Hz, 0.5Hz ve 1Hz dir. Eğer test merkezi kapasitesi bunun için elverişli değilse aralıkları koruyacak şekilde farklı frekanslarda da test yapılmasına izin verilmiştir. Sıcaklık testleri 5 farklı sıcaklık için istenmiştir. Bu sıcaklıklar; 40 °C, 23 °C, 0 °C, – 10 °C, – 20 °C dir. Bu sıcaklıklarda yalıtım birimi kararlılığını korumalı ve bu sıcaklıklarda tasarım yer değiştirmesinde prototip test sonuçları %20 uyumlu olmalıdır.

Yaşlanma kontrollerinde malzeme 70°C de 14gün bekletilerek, 14 günün sonunda tasarım yer değiştirmesinde kontrol edilerek yapılmaktadır. Test hem yaşlandırma işlemi öncesinde hem de sonrasında yapılacaktır. İki arasındaki değişimin %20de kalması istenmektedir. Yatay karakteristik özelliklerin 10 döngüde kontrol edildiği test, %100dbd yer değiştirmesinde yapılmaktadır. Bu test ile yapılan kontroller; 2. ve 10.döngülerdeki G modülü oranının ve sönüm oranının 0.7den az olmaması, 1. Ve 10. döngülerde ölçülen G modülünün 0.6 dan az olmamasıdır. Elastomer Yalıtım Birimleri için  $\lambda_{max} = 1.2$ ,  $\lambda_{min} = 0.8$ ; Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için  $\lambda_{max} = 1.2$ ,  $\lambda_{min} = 0.8$  olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.5: EN15129 için prototip ve üretim kontrol testleri prosedürü.

Test	Type test requirements	Factory production control test requirements
Capacity in compression under zero lateral displacement	Support $N_{sd}$ . No defects visible. See 8.2.1.2.6.	N/A
Compression stiffness	Report value. See 8.2.1.2.8.	Within $\pm 30\%$ of type test value. No defects visible. See 8.2.1.2.8
*Horizontal characteristics $K_b$ and $\xi_b$ (or $K_2$ and $Q_d$ ) under cyclic deformation	Report strain dependence. At design displacement, $d_{bd}$ , values within $\pm 20\%$ of design value. See 8.2.1.2.2	Values within $\pm 20\%$ of required values. See 8.2.1.2.2
*Horizontal stiffness under a one-sided ramp loading (Required if cyclic horizontal stiffness and damping from production control test not measured at shear strain amplitude close to value corresponding to, $d_{bd}$ )	Report value at design displacement, $d_{bd}$ . See 8.2.1.2.2	Within $\pm 20\%$ of adjusted type test value. See 8.2.1.2.2
Variation of horizontal characteristics $K_b$ and $\xi_b$ (or $K_2$ and $Q_d$ ) with frequency	Report variation. Maximum variation $\pm 20\%$ . See 8.2.1.2.3	N/A
*Variation of horizontal characteristics $K_b$ and $\xi_b$ (or $K_2$ and $Q_d$ ) with temperature	Report variation. Maximum variation within limits set in 8.2.1.2.4	N/A
Dependence of horizontal characteristics $K_b$ and $\xi_b$ (or $K_2$ and $Q_d$ ) on repeated cycling	Dependence within limits specified in 8.2.1.2.5	N/A
*Lateral capacity under maximum and minimum vertical loads	Force-displacement curve increasing up to $\gamma_6 d_{Es}$ . No defects. See 8.2.1.2.7.	N/A
Change of horizontal characteristics $K_b$ and $\xi_b$ of the isolator (or $K_2$ only for LRB manufactured using low damping elastomer) due to ageing	Change $\leq 20\%$	N/A
Creep test under vertical load <sup>a</sup>	Total Creep rate $< 20\%$ per decade. See 8.2.1.2.10.	N/A
<sup>a</sup> Optional test N/A = Not Applicable	*For low damping bridge isolators subjected to small seismic actions, only the tests marked with * shall apply. See 8.2.1.2.11 for requirements.	

### 3.3.3. Amerikan İnşaat Mühendisleri Kodu ASCE7-22 için Sismik Yalıtım Yaklaşımı

ASCE7-22, EYB ve EYSYB için farklı tasarımları, aynı test prosedürlerini önermiştir. ASCE7-22'e göre, yapıda kullanılacak her tip SYB'nden 2 adet prototip teste ve üretim kontrol testlerine tabii tutulmuştur. Prototip kontrol testlerin amacı, üretilen SYB ni farklı koşul, yük ve yer değiştirmelerde kontrol etmek, iki yalıtım biriminin birbiri ile uyumunu kontrol etmektir. Üretim kontrol testlerinin amacı, her üretimin aynı koşullarda, doğru ve uyumlu olduğunu göstermektir [10]. ASCE7-22 için prototip ve üretim kontrol testleri şu şekildedir; Rüzgar tasarım kuvvetine denk gelen bir yanal kuvvette 20 tam döngü,  $D_M$  nin 0.25, 0.5, 0.67, 1 değerleri için yatay karakteristiklerin belirlenmesi, maksimum yer değiştirmede 3 döngü, maksimum ve minimum düşey yükte bir tam tur, 10 döngüden az olmamak şartıyla maksimum yer değiştirmenin 0.75 katında döngü.

Yalıtım birimleri için test sonuçları için ASCE 7-10 kriterlerine göre, değişen efektif rijitliğin, her düşey kuvvet durumunda, ortalama rijitlik ile %15 den fazla değişimi olmamalıdır. İki prototip arasında da bu oran %15 den büyük olmamalıdır.  $K_{eff}$ 'in ilk döngüsü ile son döngüsü arasındaki farkında %20 den büyük olmaması istenmektedir. İlk döngü ile son döngü arasındaki  $B_{eff}$  farkları %20 den büyük olmamalıdır. Yalıtım birimlerinde kullanmak üzere ASCE  $\lambda_{üst}$  ve  $\lambda_{alt}$  katsayıları için aşağıdaki formülleri belirlemiştir;

$$\lambda_{max} = [1 + 0.75(\lambda_{ae,max} - 1)] \lambda_{deney,max} \lambda_{spek,max} \geq 1.8 \quad (3.10)$$

$$\lambda_{min} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,min})] \lambda_{deney,min} \lambda_{spek,min} \leq 0.6 \quad (3.11)$$

Tablo 3.6: ASCE-7 için prototip testler için alt ve üst katsayılar.

Variable	Unlubricated Interfaces, $\mu$ or $Q_d$	Lubricated (Liquid) Interfaces, $\mu$ or $Q_d$	Plain Low-Damping Elastomeric, $K$	Lead-Rubber Bearing (LRB), $K_d$	Lead-Rubber Bearing (LRB), $Q_d$	High-Damping Rubber (HDR), $K_d$	High-Damping Rubber (HDR), $Q_d$
<b>Example: Aging and Environmental Factors</b>							
Aging, $\lambda_a$	1.3	1.8	1.3	1.3	1	1.4	1.3
Contamination, $\lambda_c$	1.2	1.4	1	1	1	1	1
Example Upper Bound, $\lambda_{(ac,max)}$	1.56	2.52	1.3	1.3	1	1.4	1.3
Example Lower Bound, $\lambda_{(ac,min)}$	1	1	1	1	1	1	1
<b>Example: Testing Factors</b>							
All Cyclic Effects, Upper	1.3	1.3	1.3	1.3	1.6	1.5	1.3
All Cyclic Effects, Lower	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Example Upper Bound, $\lambda_{(test,max)}$	1.3	1.3	1.3	1.3	1.6	1.5	1.3
Example Lower Bound, $\lambda_{(test,min)}$	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$\lambda_{(PM,max)} = (1 + (0.75 * (\lambda_{(ac,max)} - 1))) * \lambda_{(test,max)}$	1.85	2.78	1.59	1.59	1.6	1.95	1.59
$\lambda_{(PM,min)} = (1 - (0.75 * (1 - \lambda_{(ac,min)}))) * \lambda_{(test,min)}$	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Lambda Factor for Spec. Tolerance, $\lambda_{(spec,max)}$	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Lambda Factor for Spec. Tolerance, $\lambda_{(spec,min)}$	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Upper Bound Design Property Multiplier	2.12	3.2	1.83	1.83	1.84	2.24	1.83
Lower Bound Design Property Multiplier	0.6	0.6	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
Default Upper Bound Design Property Multiplier	2.1	3.2	1.8	1.8	1.8	2.2	1.8
Default Lower Bound Design Property Multiplier	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Notes:  $\lambda_{PM}$  is the lambda value for testing and environmental effects.

Burada;  $\lambda_{ac}$  yaşlanma ve çevresel etkiler,  $\lambda_{deney}$  yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler,  $\lambda_{spek}$  ise üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir.  $\lambda_{max}$  ve  $\lambda_{min}$  değerleri ile ilgili ASCE Ek C-17 de verilen değerler Tablo 6 daki gibidir. Bu tabloya göre EYB ve EYSYB için farklı  $\lambda_{max}$  ve  $\lambda_{min}$  değerleri söylemek mümkündür. Elastomer Yalıtım Birimleri için;  $\lambda_{max} = 1.83$ ,  $\lambda_{min} = 0.77$ ; Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için;  $\lambda_{max} = 3.2$ ,  $\lambda_{min} = 0.6$ .

### 3.4. Yalıtım Birimleri İçin Test Merkezleri

Dünya üzerinde Türkiye de, Amerika da, İtalya da, Tayvan da ve Japonya SYB'ni test etmek için test merkezleri bulunmaktadır. Konumları itibariyle hitap ettikleri bölgeler bulunmasıyla birlikte, kapasiteleri ile de SYC'nın test etme kapasitelerini sınırlandırmalar koymaktadır. Her birinin düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve hız kapasitesi farklılık göstermektedir.

### 3.4.1. Esquake Eskişehir Sismik İzolatör Test Merkezi

Türkiye konumu sebebiyle geçmişten beri depremler yaşamış ve etkilerini önemli ölçüde hissetmiştir. Gelişen teknolojiyle birlikte Türkiye de son 10 yılda sismik yalıtım cihazlarının kullanımı 100 adetten fazla olarak kaydedilmiştir.

Dünyanın en büyük sismik yalıtımlı yapısı olan Çam Sakura Hastanesi de toplamda 2040 adet sismik yalıtım cihazını içerisinde barındırıyor. Tüm bu sebepler ve olanaklarla merkezi Türkiye, Eskişehir de bulunan Esquake, sismik izolatörlerin 1:1 ölçekte test edilmesi için kurulmuştur. Esquake Test Merkezi, sahip olduğu yükleme kapasitesi sayesinde hem statik hem de dinamik yükler altında SYB'nin test edilmesine imkan sağlamaktadır. Büyük boyutlu SYB'nin 1:1 ölçekte testlerini yapabilmesi nedeniyle test edilen numunenin senaryo yükleme altında neredeyse gerçek performansını belirlemektedir.

Esquake'te yer alan deney düzeneği uluslararası standartlarca tanımlanan yğkleme protokollerini uygulayabilecek kapasiteye sahiptir. Bu sayede hem üretim hem de prototip testleri yürütebilmektedir. Deney düzeneğinin düşey yük kapasitesi 20000 kN, yatay yük kapasitesi 2000 kN, yatay yer değiştirme kapasitesi +/-600 mm, maksimum yatay hız 1000 mm/s, maksimum düşey hız 65 mm/s dir. Bugüne kadar birçok proje SYB testleri tamamlanmıştır [16].



Şekil 3.6: ESQUAKE test makinası.

### 3.4.2. EUCentre Test Merkezi

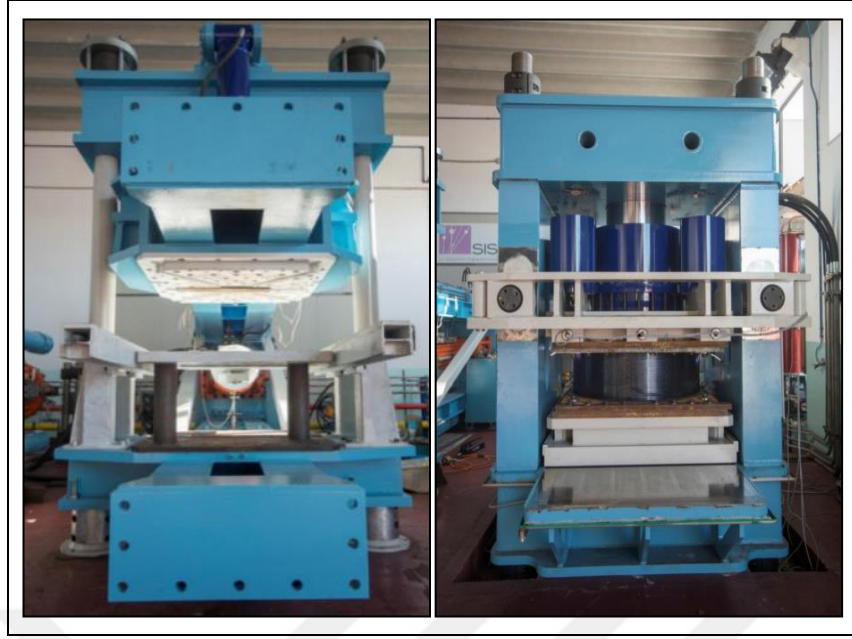
EUCentre deprem mühendisliği alanında test yapmak için 2005 yılında İtalya da kurulmuş, kar amacı gütmeyen bir kurumdur. Bünyesinde 4 farklı laboratuvar bulundurulur. Düşey olarak 10000kN, yatay kuvvet 350 kN, yer değiştirme olarak 450 mm hareket yapabilmektedir ve tüm sertifikasyonları bulundurulur. 0.5 Hz ile 50 Hz arasında ayarlanabilen ekipmanları bulunmaktadır. Sadece SYB’ni değil, kayıcı mesnetleri, damper sistemlerini, büyük boyutlu prototipleri veya tam ölçekli binaları test etmek mümkündür [11].



Şekil 3.7: EUCentre test makinası.

### 3.4.3. Sismalab Test Merkezi

Sismalab, İtalya merkezli anti-sismik deneysel mühendislik çözümleri ve testlerinde uzmanlaşmış bir hizmet şirkettir. Tüm sertifikasyonları bulunmaktadır. Dünya üzerinde sadece izolatörlerin değil, damperlerin, yer değiştirmeye bağlı çalışan cihazların da birçok proje için kontroller burada yapılmıştır. SYC için düşey yük kapasitesi 22000 kN, yatay yük kapasitesi 3000 kN, +/- 750 mm yer değiştirme, 1.2m/s hızla çalışabilmektedir. SYC için diğer kontrol cihazı 3500 kN düşey yük, 1350 kN yatay yük, +/-500 mm yer değiştirme, 0.6 m/s hızla çalışabilmektedir [12].



Şekil 3.8: Sismalab test makinası.

#### 3.4.4. EPS Deprem Koruma Sistemleri

EPS Deprem Koruma Sistemleri Test Merkezi Kalifornia da olan, tüm sertifikaları bulunan EPS şirketinin test merkezidir. Test merkezinin düşey yük kapasitesi 66600 kN, yatay yük kapasitesi 22000 kN, yatay yer değiştirmesi kapasitesi 4260 mm, düşey yer değiştirme kapasitesi 1219mm ve hız kapasitesi 100ıch/sn olan en büyük test merkezlerinden biridir [13].

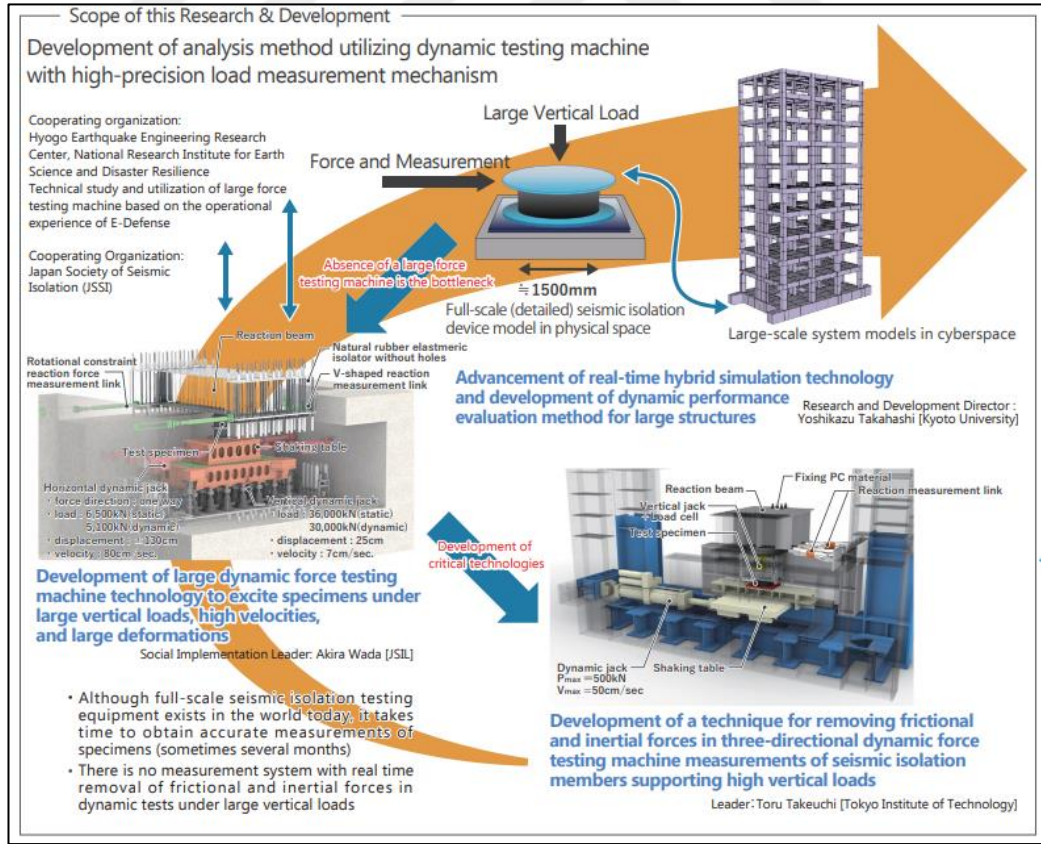


Şekil 3.9: EPS test makinası.

### 3.4.5. Jsil Japonya Sismik İzolasyon Laboratuvarı

Japonya'daki sismik izolasyon yapılarının geçmişi 1983 yılına dayanmaktadır. İlk sismik izolasyon yapısı, Chiba Eyaleti, Yachiyodai'de inşa edilen iki katlı bir evde kullanılmıştır. Sismik izolasyon yapılarının mükemmel performansı 1995 Hyogo-ken Nanbu Depreminde doğrulandı ve sismik izolasyon yapıları hızla popüler oldu. Japonya'da sismik izolasyon yapıları yaklaşık 40 yıldır, 1995'lerden itibaren artarak kullanılmaya başladı. Japonya'da tam ölçekli elemanların dinamik özelliklerini doğrulayabilen bir "büyük dinamik test makinesi" olmadığından, gerçek hız ve deformasyon altında tam ölçekli sismik izolasyon ve tepki kontrol elemanları üzerinde testler yapmak mümkün değildi. Uzun zamandır beklenen "tam ölçekli sismik izolasyon test tesisi" 2023 Mart ayı sonunda faaliyete geçecektir [14].

Jsil test cihazı kapasiteleri düşeyde 36000 kN statik, 30000 kN dinamik, 25cm yer değiştirme, 7cm/sn hızla; yatayda 6500 kN statik, 5100 kN dinamik, 130cm yer değiştirme, 80cm/sn hızla 1500mm çapındaki SYB ni test edebilmektedir.



Şekil 3.10: Jsil Test makinası bilgileri.

### 3.4.6. NCREE Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi

Tayvan da deprem afet teknolojisinin araştırma ve geliştirmesini etkin bir şekilde teşvik etmek için, Yönetici Yuan Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi, Ulusal Tayvan Üniversitesi kampüsünde Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'ni kurmayı seçti. Uzun yıllar süren inşaatın ardından merkez, araştırma binasını Kasım 1987'nin sonunda resmen açtı. Faya yakın anti-sismik teknoloji geliştirmek amacıyla, Ulusal Deneysel Araştırma Enstitüsü tarafından Aralık 2012'de Yürütücü Yuan tarafından "Ulusal Deneysel Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi İkinci Deneysel Tesis İnşaat Planı" için onaylanmıştır. Merkezin Tainan laboratuvarında bulunan "Bi-Axial Testing System" (BATS), rijit bir test platformu, sabit bir çelik yapı reaksiyon çerçevesi, yüksek mukavemetli bir betonarme temel ve birkaç tip hidrolik basınç aktüatörü içerir [15].

Sistemin, statik düşey kuvveti 30 MN, dinamik düşey kuvveti 30MN, toplam düşey sıkıştırma kuvveti 60MN dur. Düşey sıkıştırma hızı 0.15m/s, düşey yer değiştirme 125 mm, yatay boyuna kuvvet +/- 4 MN, yatay hız 1 m/s, yatay yer değiştirme +/- 1200 mm, x,y,z eksenini dönüşü +/-2 derecedir.

BATS test sisteminin yapısı, merkezin Taipei laboratuvarındaki mevcut çok eksenli test sistemini devralır ve performansı, daha geniş bir yelpazedeki test hedeflerini karşılamak için büyük ölçüde iyileştirilmiştir.



Şekil 3.11: Bats test makinası

## **4. SİSMİK YALITIM CİHAZLARININ TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ**

### **4.1. Araştırma Konusu**

Tez kapsamında, Türkiye de kullanılan sismik yalıtım birimlerinin prototip test sonuçları incelenmiştir. Bu test sonuçlarının kendi içerisindeki tutarlılığı, test merkezlerine ve yalıtım birimi şartnamelerine göre incelenme yöntemi, yönetmeliklerin birbirine göre test prosedürü farklılıkları, yönetmeliklerin alt ve üst katsayıları için veri seti çıktıları farklı zamanlarda yapılan testler ile incelenmiştir.

### **4.2. Veri Setinin Özellikleri**

Tez kapsamında veri seti 51 test sonucundan oluşmaktadır. Sonuçlar 3 farklı test merkezine aittir. 30 adet test sonucu LRB tip yalıtım birimine, 21 adet test sonucu EYSYB'ne aittir. LRB tip yalıtım birimine ait sonuçlardan 6 tanesi bir test merkezinde, 24 tanesi diğer test merkezinde test edilmiştir. EYSYB'ne ait sonuçların 6 tanesi bir test merkezinde, 15 tanesi diğer test merkezinde test edilmiştir. Her test sonucu kendi içinde 15ten fazla, 3er döngü halinde veri içermektedir. Toplam her test için veri adedi 45ten fazladır. Her test merkezi kendi bünyesinde yapılan testleri onaylamıştır. Hiçbir veri belli bir yöntemle elde edilmemiştir. Veri seti sonuçları, testlerde bulunan bire bir aynı sonuçlardır ve ölçeklenmemiştir. Her test merkezi test sonuçlarını kendi belirlediği yöntemle incelemiştir. Tez kapsamında test sonuçlarına göre birbir verilen değerler ile yeniden değerlendirme yapılmıştır. Yapılan değerlendirme formülleri ve inceleme yöntemi her test merkezi için kendi bölümlerinde verilmiştir. Bu bölümler A test merkezi için 4.3.1 de, B test merkezi için 4.3.2 de, C test merkezi için 4.3.3 de verilmiştir.

### **4.3. Veri Setinin Çıktıları**

Tez kapsamında veri setindeki her test sonucu birebir ve ölçeklenmemiştir. Her test merkezi sonucu, kendi inceleme yöntemine ve kullanıldığı yönetmeliğe göre

incelemeye tabii tutulmuştur. Test sonuçları test merkezlerine göre 3 farklı incelemeye tabii tutulmuştur. Her test merkezi için test protokolünün yönetmeliği bazında, diğer yönetmelikler bazında, test sonuçlarının birbiriyle tutarlılığı bazında incelemeler yapılmıştır.

### 4.3.1. Test Merkezi A için Test Sonuçları

#### 4.3.1.1. Test Merkezi A Test Sonuçları İnceleme Prosedürü

A test merkezinde her tipten 2 adet olmak üzere 3 farklı tip, toplamda 6 adet LRB yalıtım cihazı prototip testleri gerçekleştirilmiştir. Test merkezi, testleri TBDY-2018 yönetmeliğine göre gerçekleştirmiştir. Yönetmeliğe göre test merkezinin kontrol ettiği rijitlik ve sönüm değerleri, bunlar arasındaki uyum test sonuçlarında birebir ölçekte bulunmaktadır.

Test merkezi sonuçları 2 farklı yaklaşımla incelemiştir. Bunlara Metod A ve Metod B olarak isimlendirmiştir. Metod A yaklaşımı ile  $K_b$  efektif rijitlik,  $\zeta$  eşdeğer sönüm oranını, ve  $K_2$  ikincil rijitlik değerlerini “maksimum yer değiştirmede maksimum yüke ulaşılan ideal bir çevrime” çevirerek bulmuştur. Bu yaklaşım EN15129 yönetmeliği ile örtüşmektedir. Bu yaklaşım ile  $K_b$  efektif rijitlik formülü;

$$K_b = (F^+ - F^-) / (d^+ - d^-) \quad (4.1)$$

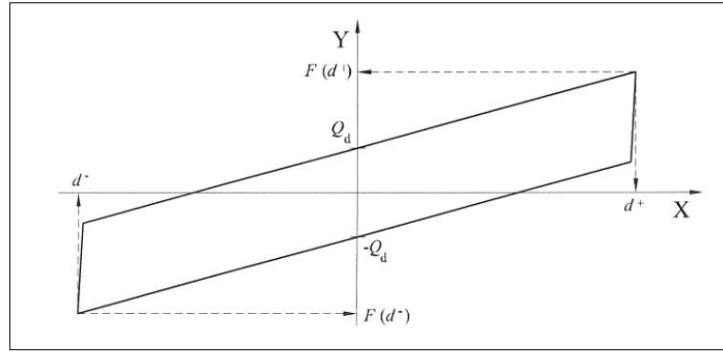
- $F^+ : F = f_{(d_{max})}$
- $F^- : F = f_{(d_{min})}$
- $d^+ : \text{Maksimum yer değiştirme}$
- $d^- : \text{Minimum yer değiştirme}$
- Eşdeğer sönüm oranı;

$$\zeta = 2 H / [\pi K_b (d^+ - d^-) 2] \quad (4.2)$$

H: Histerezistik döngü alanı

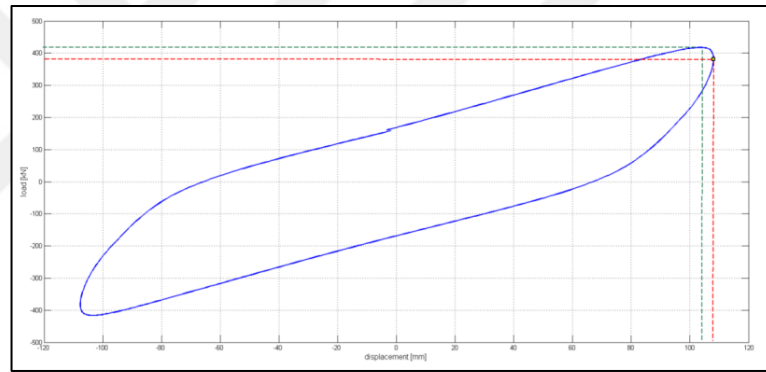
$K_2$  ikincil rijitlik değeri aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir.

$$K_2 = \{[(F(d^+) - F(d^+ / 2)) / d^+] - [(F(d^- / 2) - (F(d^-))) / d^-] \} \quad (4.3)$$



Şekil 4.1: Kuvvet-yer değiştirme eğrisi.

Metod B yaklaşımına göre hesaplamalar, “maksimum yer değiştirmede maksimum yüke ulaşılmayan gerçek bir histerezis döngüsüne” dayalıdır. Bu yöntemde maksimum yer değiştirme için maksimum kuvvet olmayabilir ve bu iki değer birbiriyile örtüşmeyebilir.



Şekil 4.2: Kuvvet yer değiştirme eğrisi-2.

Bu yöntemde göre  $K_b$  efektif rijitlik değeri;

$$K_b = (F^+ - F^-) / (d^+ - d^-) \quad (4.4)$$

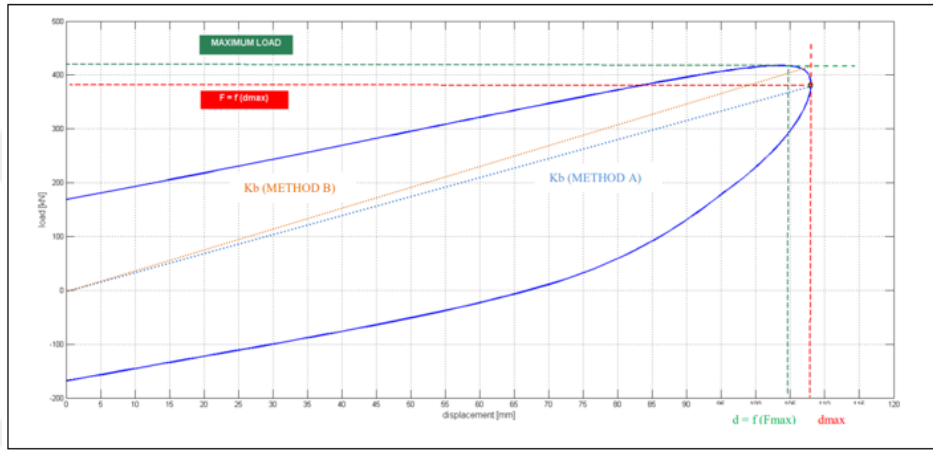
- $F^+$  : Maksimum kuvvet
- $F^-$  : Minimum kuvvet
- $d^+$  : Maksimum yer değiştirme
- $d^-$  : Minimum yer değiştirme
- Eş değer sönüm oranı  $\zeta$  ;

$$\zeta = 2 H / [\pi K_b (d^+ - d^-)^2] \quad (4.5)$$

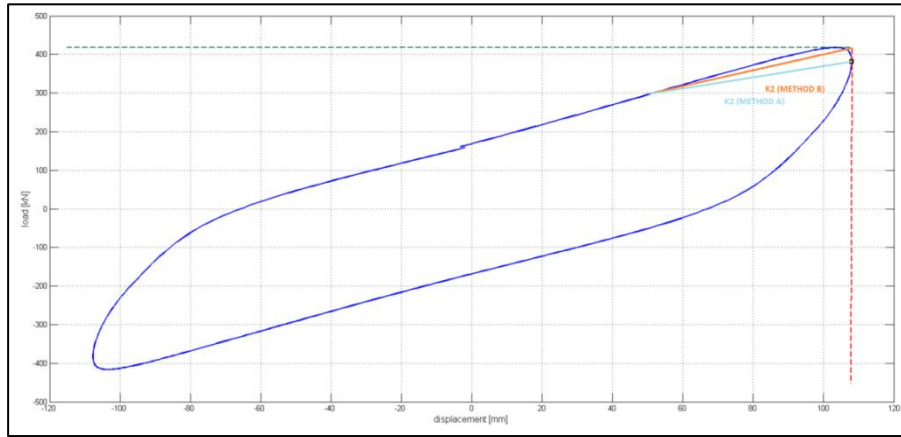
- H: Histerezistik döngü alanı
- $K_2$  ikincil rijitlik değeri aşağıdaki denkleme göre bulunmaktadır.

$$K_2 = \{ [(F(d^+) - F(d^+ / 2)) / d^+] - \{ [ F(d^- / 2) - (F(d^-)) / d^- ] \} \quad (4.6)$$

Efektif rijitlik hesaplarında iki metodun farklı net olarak aşağıdaki grafikte özetlenebilir. Grafiği incelediğimizde Metod A ya göre ve Metod B ye göre maksimum kuvvetin yer değiştirme değeri ile maksimum yer değiştirmenin kuvvet değeri farklı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3: Kuvvet yer değiştirme eğrisi-3.



Şekil 4.4: Kuvvet yer değiştirme eğrisi-4.

A test merkezinde gerçekleştirilen testlere ait yalıtım cihazı boyutları LRB970, LRB/820 ve LRB/870 olarak isimlendirilmiştir. Test sonuçları 4.3.1 de verilen yöntemlere göre incelenmiştir ve test sonuçları net olarak belirtilmiştir.

#### 4.3.1.2. Test Merkezi A için Geliştirilmiş Yöntem

A Test Merkezi test sonuçlarını EN15129'de belirtilen rijitlik, sönüm, enerji formüllerini dikkate alarak hesaplamıştır. Test sonuçlarını incelerken her test sonucunun hem döngüler arasında hem yönetmelikler arasında farklı sonuçları gözlemlenmiştir. Bu gözlem tasarım için oldukça önemlidir. Yapılan kontroller her yönetmeliğin farklı olarak belirlediği alt üst sınır değerlerini, yalıtım birimlerinin döngüler arasındaki değişimini, farklı testler arası değişimleri içerir. Her yalıtım birimi bu kontrolleri içermektedir; test sonucu  $K_{eff}$  değeri ile, + döngüden hesaplanan  $K_{eff}$  değeri arasındaki farklar, test sonucu  $K_{eff}$  değeri ile, - döngüden hesaplanan  $K_{eff}$  değeri arasındaki farklar,  $K_{eff}$  değerinin + ve - döngülerinin karşılaştırılması,  $K_{eff}$  in 1. döngü ile son döngü arasındaki değişimi, test sonucu  $K_2$  değeri ile, + döngüden hesaplanan  $K_2$  değeri arasındaki farklar, test sonucu  $K_2$  değeri ile, - döngüden hesaplanan  $K_2$  değeri arasındaki farklar,  $K_2$  değerinin + ve - döngülerinin karşılaştırılması, her test için hesaplanan  $K_2$  değeri ile + ve - döngüler arasındaki farklar, her test için toplam sönümlenen enerji miktarının ilk döngü ve son döngü arasındaki değişimi, her yönetmelik için  $K_2$  ikincil rijitlik formülü değişmeyeceği için elle hesaplanan  $K_2$ , her yönetmelik için farklı verilen alt ve üst sınır değerleri ile çarpılmıştır. Test sonuçlarının bu sınır değerleri arasında kalıp kalmadığı, sonuçların hangi mertebede olduğu değerlendirilmiştir.

LRB tip yalıtım birimlerine TBDY-2018 ve ASCE7-22 aynı alt ve üst katsayıları önermiştir. Bu katsayılar;  $\lambda_{max}=1.83$ ,  $\lambda_{min}=0.77$ 'dir. EN15129 için alt ve üst sınır değerleri  $\lambda_{max}=1.20$ ,  $\lambda_{min}=0.80$ 'dir.

#### 4.3.1.3. Test Sonuçlarının İncelenmesi

A test merkezinde 3 tipte, her tipten 2 prototip LRB test edilmiştir. Bunlar LRB/970, LRB/820 ve LRB/870 dir. Her tip için 2 farklı numunede prototip testler gerçekleştirilmiş ve test protokolleri TBDY-2018 için hazırlanmıştır. LRB/970 için her bir numune üzerinde 12 başlık altında toplam 24 test gerçekleştirilmiştir. İncelenen toplam 59 test sonucu bulunmaktadır. İlk 4 döngü test 2, 4-8 arası döngüler test 3, sonraki her 3 döngü 1 test sonucuna aittir. LRB/820 için her bir numune üzerinde 11 başlık altında toplam 23 test; LRB/870 için her bir numune üzerinde 11 başlık altında toplam 11 test gerçekleştirilmiştir. LRB/820 için incelenen toplam 58 test sonucu

bulunmaktadır. İlk 3 döngü test 1b, 3-7 arası döngüler test 2a, sonraki her 3 döngü 1 test sonucuna aittir. LRB/870 e ait prototip test sonuçlarında 34 test sonucu bulunmaktadır. İlk 3 döngü test 1, 3-7 arası döngüler test 2, sonraki her 3 döngü 1 test sonucuna aittir. LRB tipleri, yönetmeliklerin alt ve üst katsayıları için ikincil rijitlikleri Tablo 7 de, tüm yalıtım birimlerine ait test değerlendirme sonuçları Tablo 4.1 de verilmiştir. LRB/970 prototip 1 için incelenen sonuçlar ve grafiklerin yorumları bu bölümde anlatılmıştır.

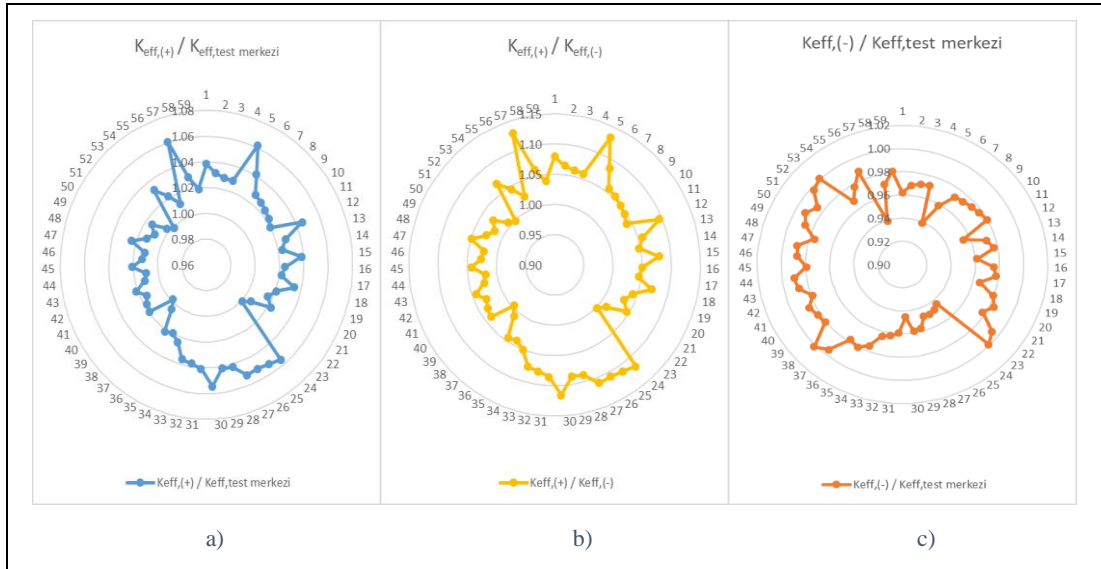
Tablo 4.1: LRB tipleri için alt ve üst rijitlik değerleri.

LRB TİP & RİJİTLİK / YÖNETMELİK	LRB 970			LRB 870			LRB 820		
	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)
TBDY-2018	1297	998.69	2373.51	1697	1306.69	3105.51	1899	1462.23	3475.17
ASCE7-10		998.69	2373.51		1306.69	3105.51		1462.23	3475.17
EN15129		1037.6	1556.4		1357.6	2036.4		1519.2	2278.8

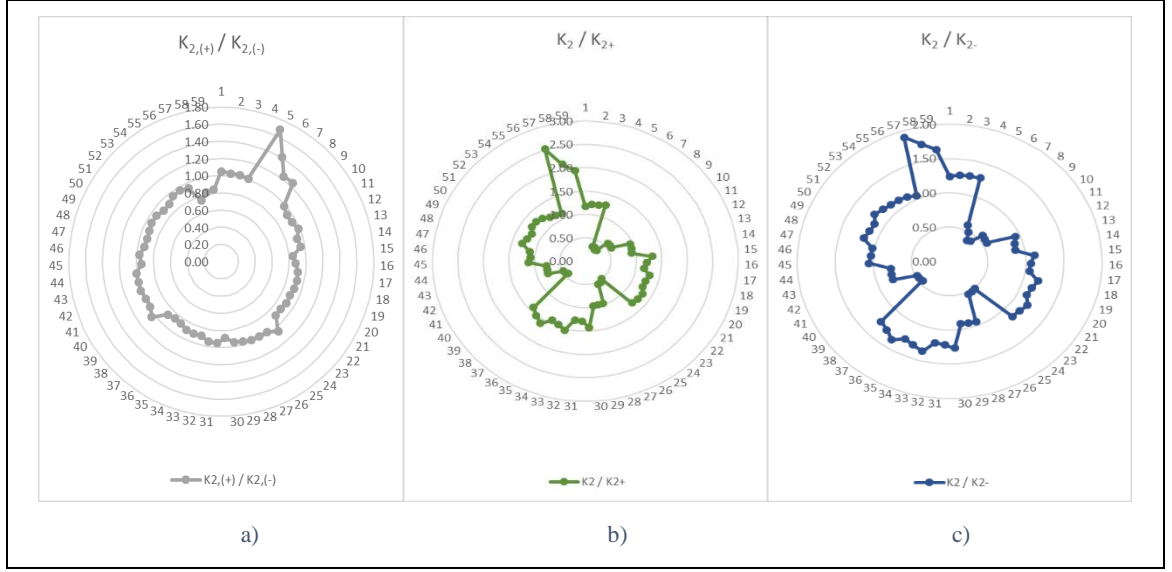
Tablo 4.2: LRB/970 Test protokolü.

N°	TYPE OF TEST	DISPLACEMENT	LOAD	VELOCITY	SHAPE OF FUNCTION	CYCLES	T
		[mm]	[kN]	[mm/s]			[°C]
1	MAX AXIAL	-	13100	-	TRAPEZOIDAL	1/2	-
2	CORRELATION	365	4950	12.5	SINUSOIDAL	4	-
3	WIND CYCLIC	25	4950	283	SINUSOIDAL	20	-
4a	AVERAGE SW	67.25	4950	71	SINUSOIDAL	3	-
4b	AVERAGE SW	134.5	4950	141	SINUSOIDAL	3	-
4c	AVERAGE SW	269	4950	283	SINUSOIDAL	3	-
4d	AVERAGE SW	365	4950	384	SINUSOIDAL	3	-
4e	AVERAGE SW	474	4950	460	SINUSOIDAL	3	-
5a	AVERAGE ED MAX	67.25	6910	71	SINUSOIDAL	3	-
5b	AVERAGE ED MAX	134.5	6910	141	SINUSOIDAL	3	-
5c	AVERAGE ED MAX	269	6910	283	SINUSOIDAL	3	-
5d	AVERAGE ED MAX	365	6910	384	SINUSOIDAL	3	-
5e	AVERAGE ED MAX	474	6910	460	SINUSOIDAL	3	-
6a	AVERAGE EQ MIN	67.25	3790	71	SINUSOIDAL	3	-
6b	AVERAGE EQ MIN	134.5	3790	141	SINUSOIDAL	3	-
6c	AVERAGE EQ MIN	269	3790	283	SINUSOIDAL	3	-
6d	AVERAGE EQ MIN	365	3790	384	SINUSOIDAL	3	-
6e	AVERAGE EQ MIN	474	3790	460	SINUSOIDAL	3	-
8	AVERAGE SW	269	4950	283	SINUSOIDAL	10	-
9	MAX EQ	474	9500	12.5	ONE SIDE RAMP	1/2	-
10	MIN EQ	474	805	12.5	ONE SIDE RAMP	1/2	-
12	ADDITIONAL	474	9500	460	SINUSOIDAL	3	-

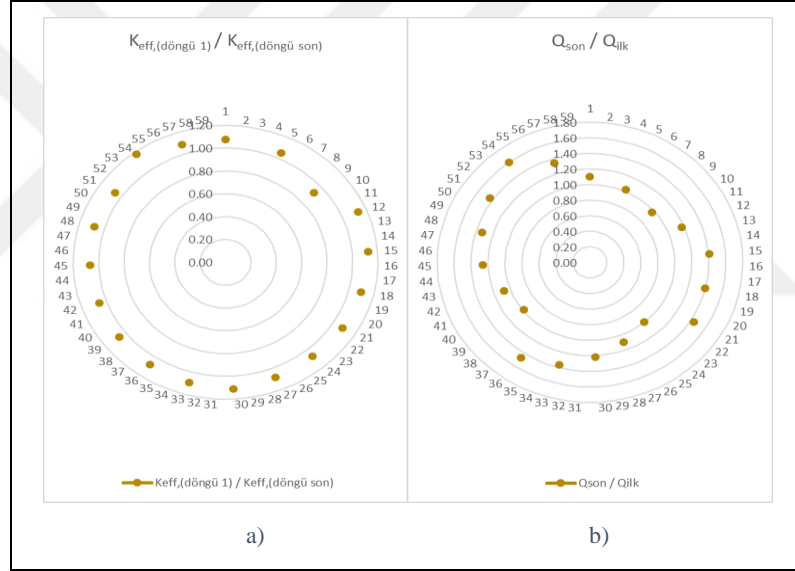
$K_{(+)}$  döngünün pozitif yer değiştirmesine göre elde edilmiş  $K$  değeri sonuçlarını,  $K_{(-)}$  döngünün negatif yer değiştirmesine göre elde edilmiş  $K$  değeri sonuçlarını,  $K_{\text{test}}$  merkezi test merkezinin o döngü için belirlemiş olduğu sonucu belirtmektedir. Prototip 1 için  $K_{\text{eff}}$  test sonuçlarında  $K_{\text{eff},(+)}/K_{\text{eff,test merkezi}}$  sonuçlarının maksimum %6 değiştiği,  $K_{\text{eff},(+)}/K_{\text{eff},(-)}$  sonuçlarının maksimum %15 değiştiği,  $K_{\text{eff},(-)}/K_{\text{eff,test merkezi}}$  sonuçlarının maksimum %6 değiştiği verilerle elde edilmiştir. İkincil rijitliklerin her döngü içindeki değişimleri incelendiğinde  $K_{2,(+)}/K_{2,(-)}$  test sonuçlarının genel olarak %20 değişmiştir fakat 2.testin ilk döngüsünde %60 değişim gözlenmiştir.  $K_2 / K_{2,(+)}$  sonuçlarında istenilenden büyük değişimler gözlemlenmiştir. Bu değişimler %250 mertebesine kadar çıkmıştır. Bu da hesap rijitliği ile pozitif test rijitliği arasında büyük farklılık olduğunu göstermiştir. Bu farklılık test sonuçlarının ilk döngülerinde daha fazladır.  $K_2 / K_{2,(-)}$  sonuçlarında ortalama olarak %50 ye kadar değişimler gözlemlenmiştir. Maksimum değişim %190 mertebesindedir.  $K_{\text{eff},(\text{döngü } 1)}$  ve  $K_{\text{eff},(\text{döngü son})}$  sonuçları maksimum %20 mertebesinde değişim göstermiştir. Bu değişim yönetmelik bazında sınır değerleri içerisinde yer almaktadır.  $Q_{\text{son}} / Q_{\text{ilk}}$  sonuçları %60 değişimlere kadar çıkmıştır. Bu sönüm enerji sönümleme miktarıyla ilgili olan sonuçtaki değişim, kurşunun ilk döngüye verdiği tepki ile son döngüye verdiği tepkinin farklı olmasıyla ilişkilidir.



Şekil 4.5: LRB/970 Test sonuçları a)  $K_{\text{eff},(+)}/K_{\text{eff,test merkezi}}$ , b)  $K_{\text{eff},(+)}/K_{\text{eff},(-)}$ , c)  $K_{\text{eff},(-)}/K_{\text{eff,test merkezi}}$ .



Şekil 4.6: LRB/970 Test Sonuçları a)  $K_{2,(+)}/K_{2,-}$ , b)  $K_2 / K_{2(+)}$ , c)  $K_2 / K_{2(-)}$ .



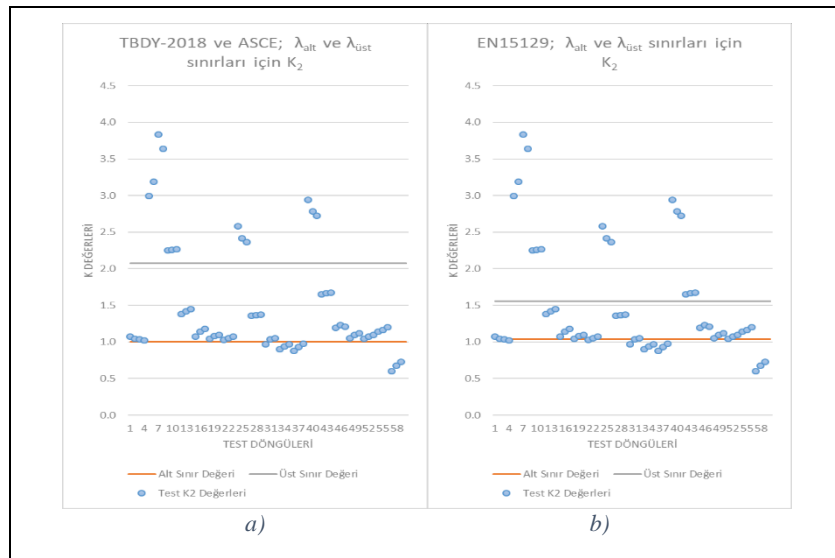
Şekil 4.7: LRB/970  $K_{eff}$ , ve Q sonuçları a)  $K_{eff,(döngü 1)} / K_{eff,(döngü son)}$ , b)  $Q_{son} / Q_{ilk}$ .

A test merkezinde gerçekleştirilen tüm testlere ait sonuçlar aynı yöntemle incelenerek sonuçlar Tablo 4.3' te verilmiştir.

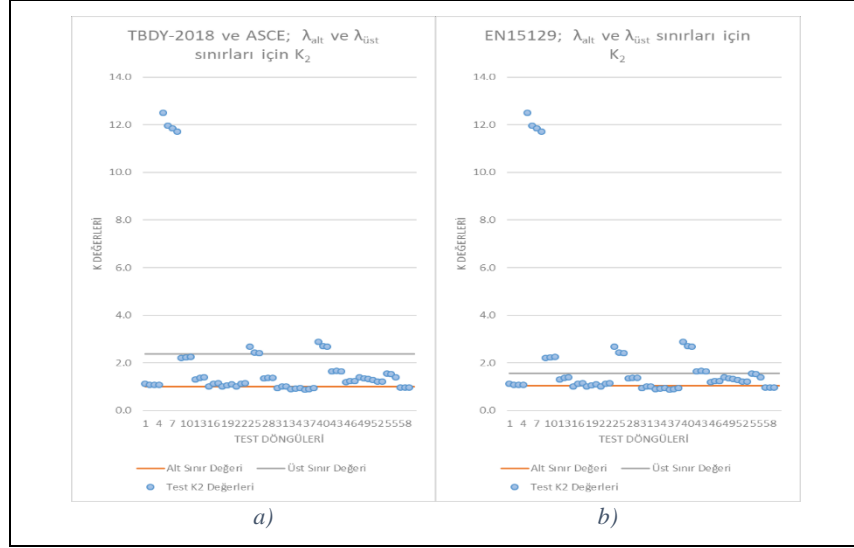
Tablo 4.3: LRB tipleri için test değerlendirme.

TEST DEĞERLENDİRME / LRB TİP	LRB 970- PROTOTİP 1	LRB 970- PROTOTİP 2	LRB 820- PROTOTİP 1	LRB 820- PROTOTİP 2	LRB 870- PROTOTİP 1	LRB 870- PROTOTİP 2
$K_{eff(+)} / K_{eff, \text{test merkezi}}$	6	60	5	5	8	6
$K_{eff(+)} / K_{eff(-)}$	15	60	20	10	20	20
$K_{eff(-)} / K_{eff, \text{test merkezi}}$	6	10	10	10	20	15
$K_{2(+)} / K_{2(-)}$	60	20	20	50	60	30
$K_2 / K_{2(+)}$	250	270	300	300	200	200
$K_2 / K_{2(-)}$	190	190	300	250	200	200
$K_{eff(\text{dönüğü 1})} / K_{eff(\text{dönüğü son})}$	20	20	40	50	80	80
$Q_{\text{son}} / Q_{\text{ilk}}$	60	60	80	60	200	200

LRB/970 için  $K_2$  değerlerinin alt ve üst sınır değerler ile ilgili grafik sonuçlarına göre TBDY-2018 ve ASCE tek bir grafikte, EN15129 bir grafikte gösterilmiştir. Test sonuçlarının ASCE ve TBDY-2018 için sınır değerde kalmadığı, bazı test verilerine göre yaklaşık 2 beklenen üst sınır değerinin 3.7 olarak çıktığı, 1 beklenen alt sınır değerinin 0.5 çıktığı görülmüştür. EN15129 sınır değerleri ile test sonuçları arasında büyük farklar vardır. EN15129 a göre 1.5 beklenen üst sınır değerinin 3.7 çıktığı, 1 beklenen alt sınır değerinin 0.5 çıktığı görülmüştür. Test sonuçlarının yarısı EN15129 sınırları içerisinde değildir. Sınır değerlerinin dışında kalan testlerin maksimum yer değiştirmelerde, minimum yer değiştirmelerde ve frekansa bağlı testlerde olduğu görülmüştür.  $K_2$ 'ler arasındaki büyük değişimlerin, küçük yer değiştirmeler için beklenen  $K_2$  değerlerinde olduğu görülmüştür. Bu sonuç  $K_1$  ile yani kurşunla ilgilidir. Küçük yer değiştirmelerde  $K_2$  değerlendirmesinin farklı olması gerektiği test sonuçlarında açık olarak görülmüştür.

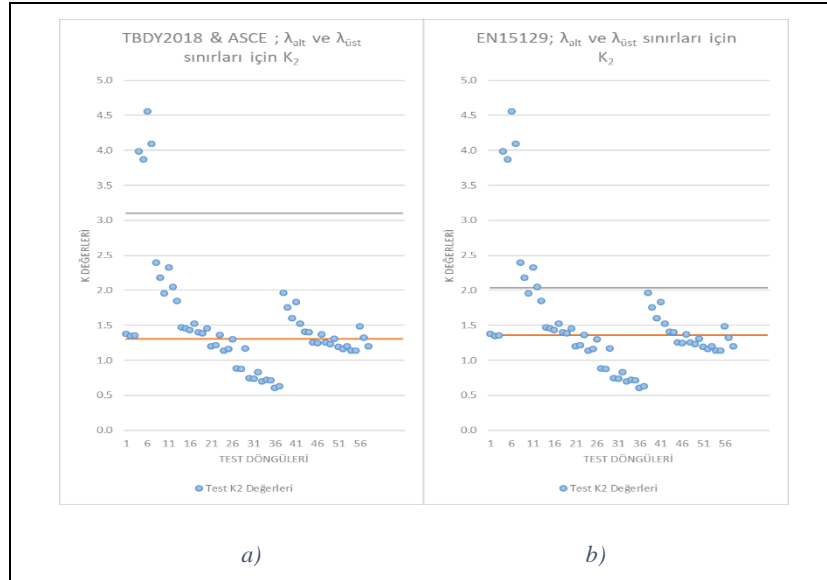


Şekil 4.8: LRB/970  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

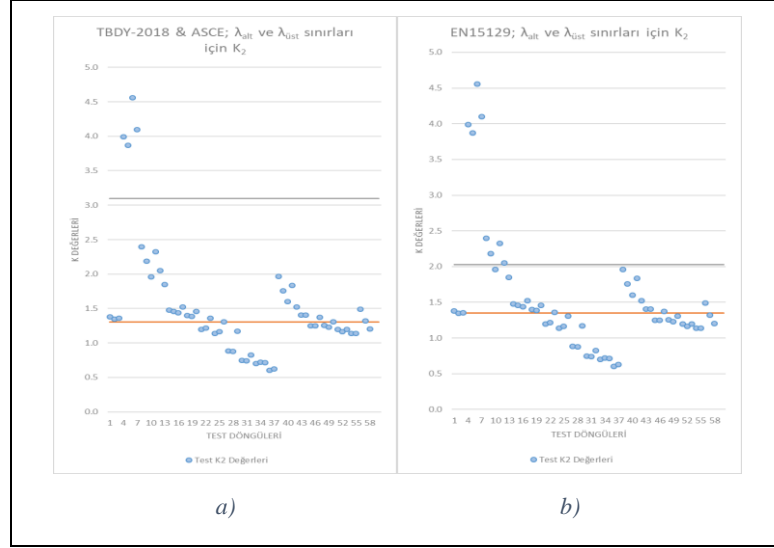


Şekil 4.9: LRB/970  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129 .

LRB/820 sonuçlarında ASCE ve TBDY için sınır değerde kalmadığı, bazı test verilerine göre üst sınır değerini 1.5 katına kadar, alt sınır değerlerinin de yarısına kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. EN15129 için çoğu test sonucu sınır değerleri arasında kalmamaktadır. 3.testten itibaren özellikle 5. ve 6. Test sonuçları sınır değerlerinin dışındadır. Bu testler, maksimum düşey yük altında ve değişen yer değiştirmeler altında yatay karakteristiklerin belirlendiği testlerdir.

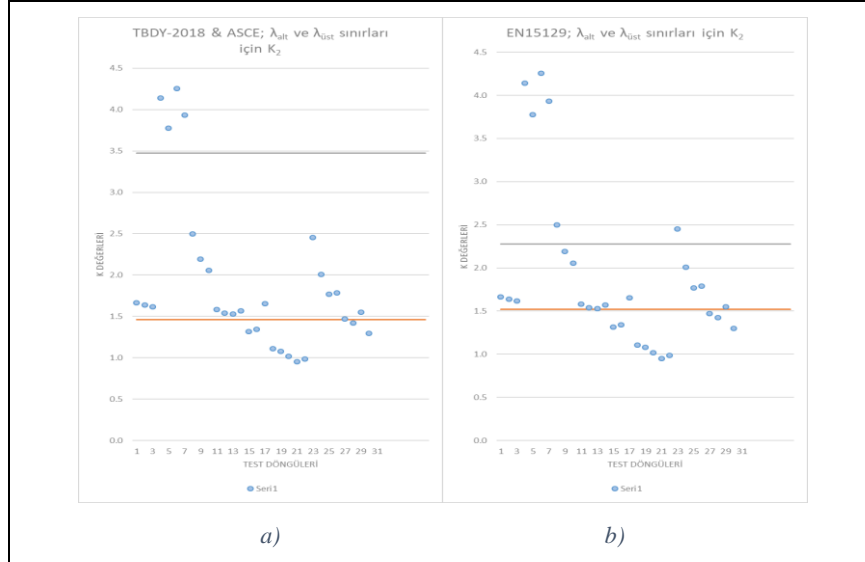


Şekil 4.10: LRB/820 prototip 1  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

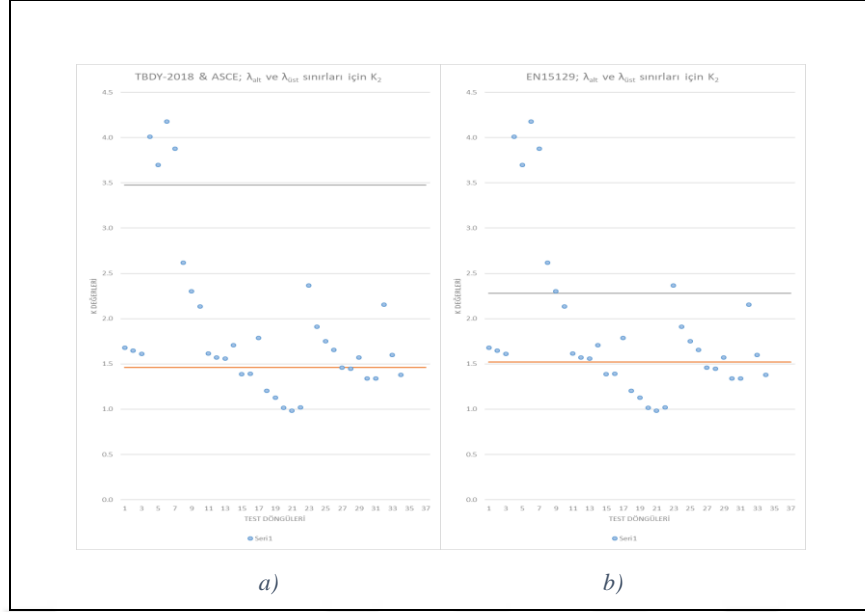


Şekil 4.11: LRB/820 prototip 21  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

LRB/870 için  $K_2$  test sonuçlarının ASCE ve TBDY için sınır değerinde kalmadığı, bazı test verilerine göre üst sınır değerini %20 ye kadar, alt sınır değerlerinin de %50 ye ulaştığı gözlemlenmiştir. EN15129 sınır değerleri ile test sonuçları arasında daha büyük farklar vardır. 3.testten itibaren özellikle 5. ve 6. test sonuçları sınır değerlerinin dışındadır.



Şekil 4.12: LRB/870 prototip 1  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.



Şekil 4.13: LRB/870 prototip 2  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

### 4.3.2. Test Merkezi B için Test Sonuçları

#### 4.3.2.1. Test Merkezi B Test Sonuçları İnceleme Prosedürü

B test merkezinde her tipten 2 adet olmak üzere 12 farklı tip toplamda 24 adet LRB yalıtım cihazı prototip testleri, her tipten 2 adet olmak üzere 3 farklı tip toplamda 6 EYSYB testleri gerçekleştirilmiştir. Test merkezi testleri EN15129, TBDY-2018 ve ASCE7-22 yönetmeliğine göre gerçekleştirmiştir. Yönetmeliğe göre test merkezinin kontrol ettiği rijitlik, sönüm, sürtünme katsayısı; bunlar arasındaki uyum değerleri test sonuçlarında bulunmaktadır. Test merkezi yönetmeliklerin prosedürleri ve geliştirdiği yöntemle test sonuçlarını incelemiştir.

İnceleme yaparken kritik noktalardaki değerleri, döngü dışında oluşturduğu alan için değerleri, efektif rijitlik için oluşturduğu tek doğrudan oluşan çizginin değerlerini not etmiştir. B test merkezi ortalama efektif rijitlik  $K_{eff}$  değerini aşağıdaki iki farklı yöntemle belirlemiştir;

- Maksimum yer değiştirmenin belirli bir yüzdesinde en küçük kareler yöntemi kullanılarak en uygun düz çizgiler arasındaki ortalama.
- Maksimum ve minimum yer değiştirmelerin belirli %' delerinde sekant rijitliği kullanarak.

Her iki yöntem içinde  $K_{eff}$  efektif rijitlik formülü aşağıdaki gibidir;

$$K_{eff} = \frac{F_{max} - F_{min}}{D_{max} - D_{min}} \quad (4.7)$$

Her döngüdeki toplam enerji formülü;

$$EDC = \int F dD \quad (4.8)$$

Her döngü için sönüm oranı;

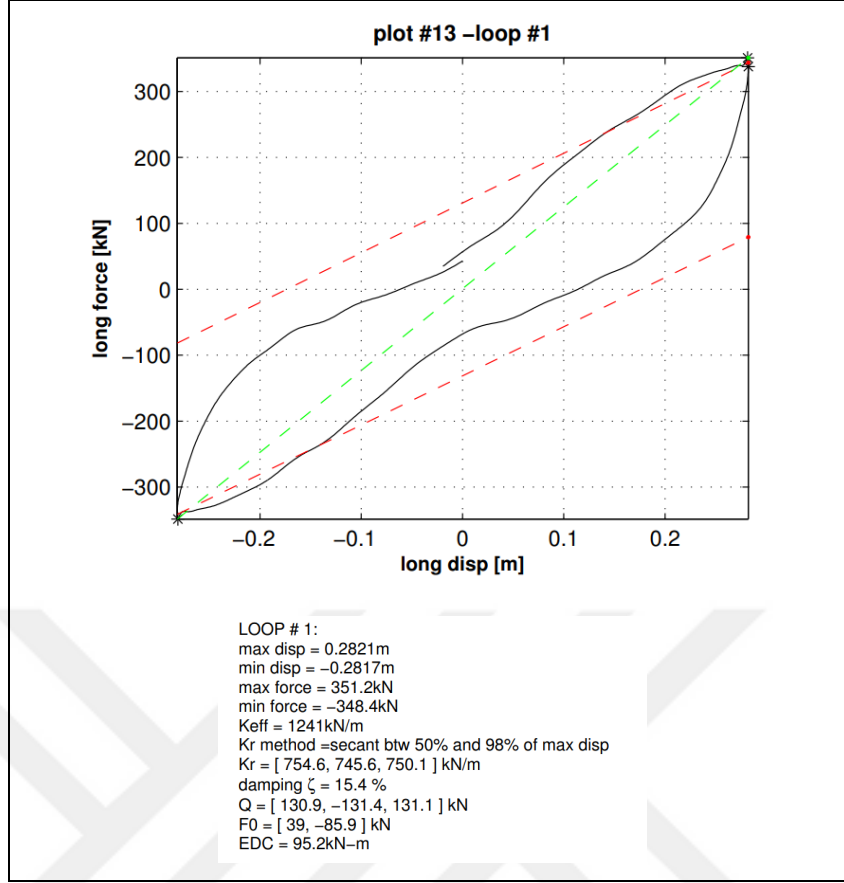
$$\xi = \frac{EDC}{\pi(F_{max}D_{max} - F_{min}D_{min})} \quad (4.9)$$

Sürtünme katsayısı formülü;

$$\mu_{EDC} = \frac{EDC}{2(D_{max} - D_{min})V_t} \quad (4.10)$$

#### 4.3.2.2. Test Merkezi B için Geliştirilmiş Yöntem

Her test döngüsü için rijitlik, sönüm değerleri B test merkezinin belirlediği yöntem ve yönetmelik prosedürüne göre bulunmuş olup aynı zamanda her döngü için  $F_{max}$ ,  $F_{min}$ ,  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $x=0$  için F değerleri,  $y=0$  için D değerleri verilmiştir.  $K_{eff}$  değerinin  $K_2$  değeriyle arasındaki uyumu, test sonuçlarını ve  $\lambda_{alt}$   $\lambda_{üst}$  oranları etkileyeceğinden ikincil rijitlik değeri  $x=0$  noktasında F'i kesen ve  $F_{max}$  arasındaki eğri ile bulunmuştur. Bu iki nokta arasındaki eğrinin  $d_{max}$  ve  $d_{min}$  döngüleri için farklı olduğu, bu farkın  $K_{eff}$  i etkilediği görülmüştür. Bu değerlendirme biçimi aşağı örnek bir döngü üzerinden gösterilmiştir. B test merkezinde LRB üzerinde yapılan örnek bir test döngüsünü ve test sonuçları verilmiştir. Bu döngü değerleri üzerinden kırmızı çizgiler ile belirlenmiş alanda döngü için  $K_{eff}$  değeri ve belirlenen alan için sönüm ve toplam enerji değeri belirlenmiştir. Yeşil çizgiler ile  $x=0$  eğrisi çizilmiştir.



Şekil 4.14: Test merkezi kuvvet-yer değiştirme grafiği ve sonuçları.

Her iki çizginin kesim noktasında belirlenen  $F_{max}$  ve  $F_{min}$  değerleri kullanılarak  $K_{eff}$  değerleri belirlenmiştir ve bu döngü için  $K_{eff}$  değeri = 1241 kN/m olarak verilmiştir. Gerçek test döngüsününün  $x = 0$  noktasını kesen  $F_0$  değeri ve  $F_{max}$  değeri verilmiştir. Bu değerler kullanılarak ikincil rijitlik  $K_2$  değeri  $x > 0$  için aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir;

$$K_2 = \frac{F_{max} - F_0}{D_{max} - D_0} = \frac{351.2 - 39}{0.2821 - 0} = 1106.69 \text{ kN/m} \quad (4.11)$$

Bu değerler kullanılarak ikincil rijitlik  $K_2$  değeri  $x < 0$  için aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir;

$$K_2 = \frac{F_{max} - F_0}{D_{max} - D_0} = \frac{348.4 - 85.9}{0.2817 - 0} = 931.84 \text{ kN/m} \quad (4.12)$$

B test merkezinde verilen  $K_{eff}$  değeri ile,  $x=0$  noktası yaklaşımı ile bulunan  $x > 0$  için  $K_2$  değeri oranı ve  $x < 0$  için  $K_2$  değeri oranı aşağıdaki şekildedir;

$$K_{\text{eff,B Test Merkezi}} / K_{2,x>0} = 1241 / 1106.69 = 1.21 \quad (4.13)$$

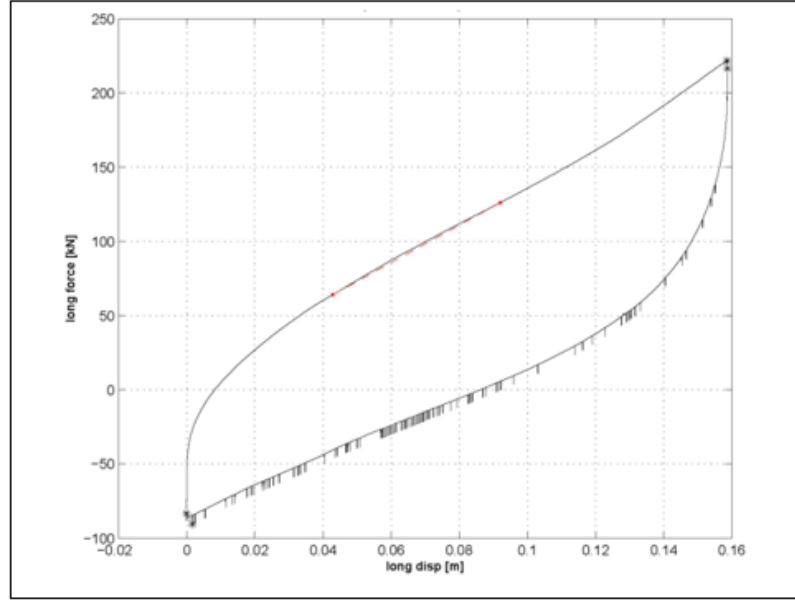
$$K_{\text{eff,B Test Merkezi}} / K_{2,x<0} = 1241 / 931.84 = 1.33 \quad (4.14)$$

B test merkezinde verilen,  $x=0$  noktası yaklaşımı ile bulunan  $x>0$  için  $K_2$  değeri ile  $x<0$  için  $K_2$  değeri oranı aşağıdaki şekildedir.

$$K_{2,x>0} / K_{2,x<0} = 1106.69 / 931.8 = 1.18 \quad (4.15)$$

İki  $K_2$  değeri arasındaki oranın %18 mertebelerinde çıkması; LRB tip yalıtım cihazının + ve - döngülerde aynı rijitliklerde çalışmadığını, test merkezinin  $K_{\text{eff}}$  belirleme yönteminde + ve - döngüleri içine alan  $k_{\text{eff}}$  değerlendirme yönteminde farklılıklara gidilebileceğini, + ve - döngüler arasındaki farkın  $K_2$  rijitlik değerini belirlerken mertebe farkı oluşabileceğini, + ve - döngüler arasındaki farkın  $K_{\text{eff}}$  rijitlik değerini belirlerken mertebe farkı oluşturabileceğini, bu değişimin yalıtım biriminden kaynaklı olabileceğini, bu değişimin test merkezi inceleme biçiminden kaynaklı olabileceğini, bu değişimin yönetmelik inceleme biçiminden kaynaklı olabileceğini göstermektedir.

Örnek bir test döngüsü  $K_{\text{eff}}$  bulunmasında yöntemin farklılığıyla değişimin hangi aralıkta olabileceğini göstermiştir. Yönetmeliklere göre, test sonuçları rijitlik değerlerinin alt ve üst limitlerinin %20 mertebelerinde olması gerekmektedir. Test merkezlerine göre değişen inceleme yöntemi, yalıtım biriminin +, - döngülerde farklı davranış sergilemesi, yalıtım biriminin doğru çalışmaması bu limitlerin farklı çıkmasına sebep olmaktadır. B test merkezinin incelemiş olduğu LRB tip yalıtım birimi sonuçları her döngü için bulunan  $K_{\text{eff}}$  değerleri ile  $K_2$  değerleri arasındaki oran, maksimum ve minimum farklar (+) ve (-) döngüler ile elde edilen  $K_2$  ler arasındaki oran, her test için birinci döngü ile son döngü arasındaki oran bölüm 4.3.2.3 de verilmiştir. Test merkezinin EYSYB için inceleme yönteminde sadece sürtünme katsayılarının yönetmelik değerlendirmesi doğrultusunda alt ve üst katsayılarının aralığında kalması kontrol edilmiştir. Bu değerlendirme yine  $x=0$  için  $F$  değeri ile,  $d_{\text{max}}$  için  $F_{\text{max}}$  değeri arasında kalan eğrilik ile bulunmuştur. Sürtünme katsayısı hesap formüllerinde düşey yük ve yer değiştirme ile ilişkilirken, test protokolü kontrollerinde sadece yer değiştirme yani rijitlik ile ilişkilendirilmiştir. Bu bağlamda sürtünme katsayısı için test sonuçları incelemesi yapılmıştır.



Şekil 4.15: EYSYB için sürtünme katsayısı eğriliği.

#### 4.3.2.3. Test Sonuçlarının İncelenmesi

LRB/1020 sismik yalıtım birimi, Türkiye de bir hastane projesinde kullanılmıştır. TBDY-2018 test prosedürüne göre testleri tamamlanmıştır. İki prototip örneği ve testleri birbirinin aynısıdır. 22 başlık altında 24 test yapılmıştır. TBDY ve ASCE için LRB/1020 e ait prototip test sonuçlarında incelenen toplam 59 test sonucu bulunmaktadır. İlk 4 döngü test 2 ye, ikinci 4 döngü test 3e, sonraki her 3 döngü 1 test sonucuna aittir. Tablo 4.4FR LRB tiplerine ait rijitlik değerleri Tablo 4.5 de LRB/1020 için test prosedürü verilmiştir.

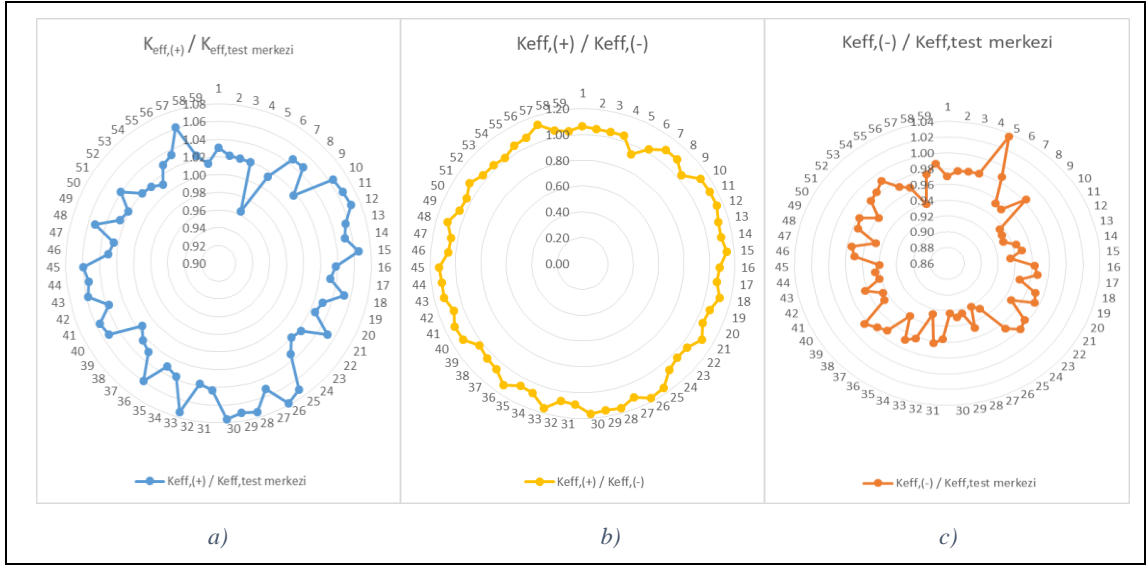
Tablo 4.4: LRB tipler için rijitlik değerleri.

LRB TİP & RİJİTLİK / YÖNETMELİK	LRB 1020			LRB 1120			LRB 1220			LRB 650		
	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)
TBDY-2018	1426	1098.02	2609.58	1744	1342.88	3191.52	2073	1596.21	3793.59	800	616	1464
ASCE7-10		1098.02	2609.58		1342.88	3191.52		1596.21	3793.59		616	1464
EN15129		1140.8	1711.2		1395.2	2092.8		1658.4	2487.6		640	960
LRB TİP & RİJİTLİK / YÖNETMELİK	LRB 820			LRB 970			LRB 850			LRB 1000		
	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)	hesap (kN/mm)	$\lambda_{alt}$ (kN/mm)	$\lambda_{üst}$ (kN/mm)
TBDY-2018	923	710.71	1689.09	1297	998.69	2373.51	1410	1085.7	2580.3	1930	1486.1	3531.9
ASCE7-10		710.71	1689.09		998.69	2373.51		1085.7	2580.3		1486.1	3531.9
EN15129		738.4	1107.6		1037.6	1556.4		1128	1692		1544	2316

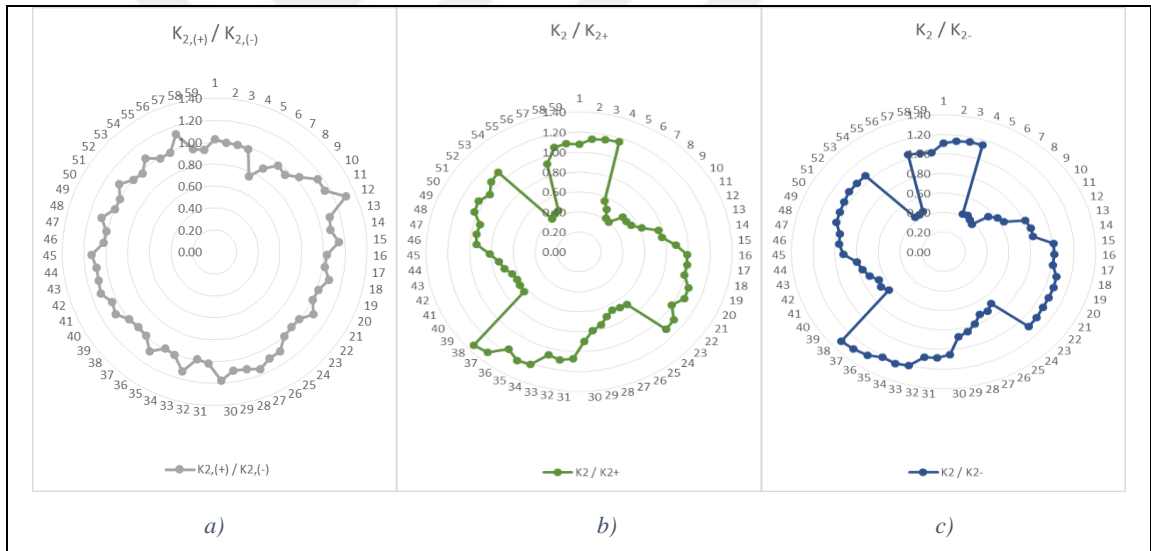
Tablo 4.5: LRB/1020 Test protokolü.

test #	test name	label	main dof	Ampl. [m]	max vel [m/s]	freq [Hz]	load shape	vert load [kN]	cycles [#]
1	Compression Stiffness	CS	vert	-	26.7 kN/s	-	loading ramp	16000	2
2	Slow Speed Correlation Test	SS	long	±0.365	0.013	0.005	sine	7264	4
3	Wind Cyclic Characteristics	WC	long	±0.025	0.052	0.330	sine	7264	20
4	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.067	0.139	0.330	sine	7264	3
5	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.135	0.280	0.330	sine	7264	3
6	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.269	0.558	0.330	sine	7264	3
7	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.365	0.757	0.330	sine	7264	3
8	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.445	0.933	0.330	sine	7264	3
9	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.067	0.139	0.330	sine	10760	3
10	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.135	0.280	0.330	sine	10760	3
11	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.269	0.558	0.330	sine	10760	3
12	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.365	0.757	0.330	sine	10760	3
13	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.445	0.933	0.330	sine	10760	3
14	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.067	0.139	0.330	sine	5530	3
15	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.135	0.280	0.330	sine	5530	3
16	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.269	0.558	0.330	sine	5530	3
17	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.365	0.757	0.330	sine	5530	3
18	Horizontal Cyclic Characteristics	HC	long	±0.445	0.933	0.330	sine	5530	3
19	Frequency Dependence	FD	long	±0.135	4.587	2.000	sine	7264	3
20	Repeated Cyclic Dependence	RC	long	±0.365	0.757	0.330	sine	7264	5+5
21	Lateral Capacity	LC	long	±0.445	0.003	-	loading ramp	13000	-

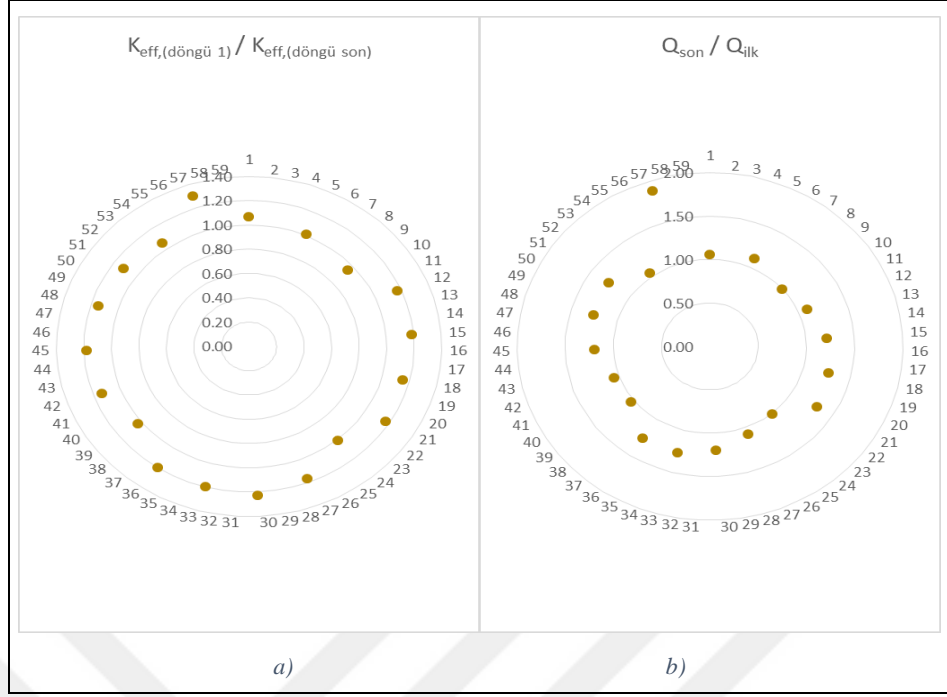
Prototip 1 için  $K_{eff}$  test sonuçlarında  $K_{eff,(+)}/K_{eff,test}$  merkezi sonuçlarının maksimum %8 mertebesinde,  $K_{eff,(+)}/K_{eff,-}$  sonuçlarının maksimum %20 mertebesinde,  $K_{eff,-}/K_{eff,test}$  merkezi sonuçlarının maksimum %6 mertebesinde değiştiği verilerle elde edilmiştir.  $K_{2,(+)}/K_{2,-}$  test sonuçlarının genel olarak %20-%30 mertebelerinde değiştiğini,  $K_2/K_{2,+}$  sonuçlarında %80 mertebede değişim gözlemlenmiştir. Minimum yer değiştirmelerde büyük rijitlikler, artan yer değiştirmelerde düşük rijitlikler görülmüştür.  $K_2/K_{2,-}$  sonuçları da pozitif döngü ile benzerdir.  $K_{eff,(döngü 1)}$  ve  $K_{eff,(döngü son)}$  sonuçları maksimum %40 mertebesinde değişim göstermiştir. Bu değişim yönetmelik bazında sınır değerleri içerisinde yer almaktadır.  $Q_{son}/Q_{ilk}$  sonuçlarında değişimler 2 katına kadar çıkmıştır. Bu sönüm enerji sönümleme miktarıyla ilgili olan sonuçtaki değişim, kurşunun ilk döngüye verdiği tepki ile son döngüye verdiği tepkinin farklı olmasıyla ilişkilidir.



Şekil 4.16: LRB/1020 Test sonuçları a)  $K_{eff,(+)} / K_{eff,test\ merkezi}$ , b)  $K_{eff,(+)} / K_{eff,(-)}$ , c)  $K_{eff,(-)} / K_{eff,test\ merkezi}$ .



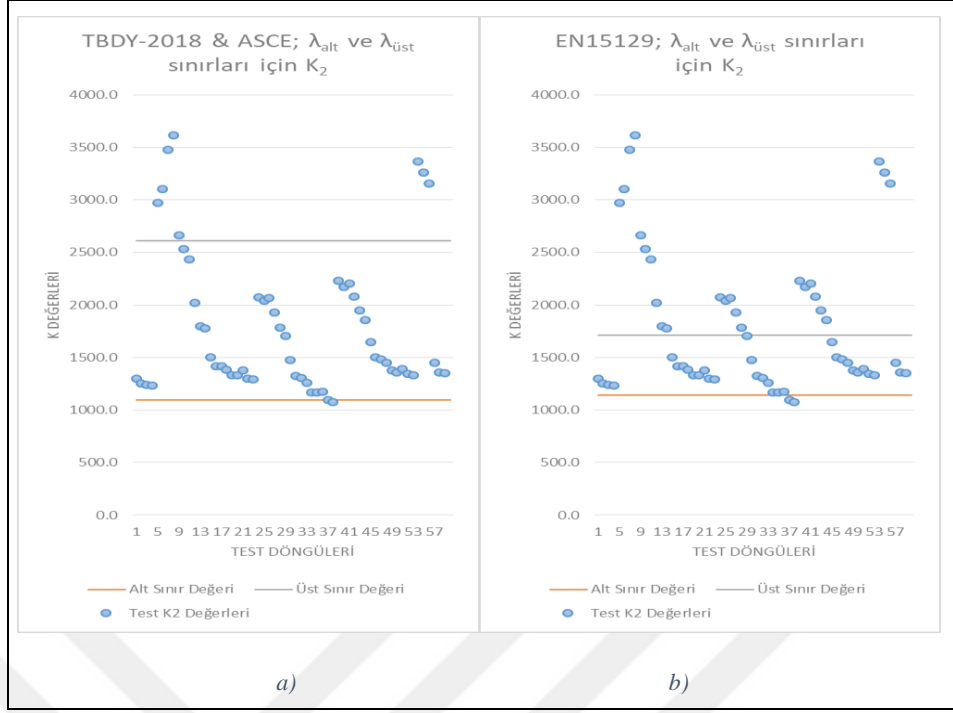
Şekil 4.17: LRB/1020 Test Sonuçları a)  $K_{2,(+)} / K_{2,(-)}$ , b)  $K_2 / K_{2(+)}$ , c)  $K_2 / K_{2(-)}$ .



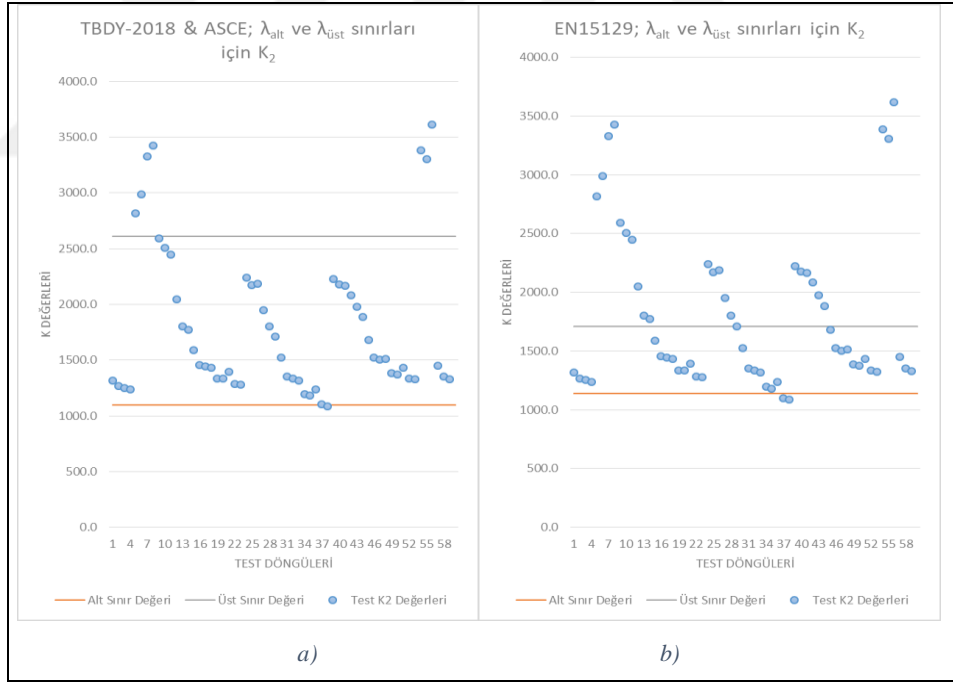
Şekil 4.18: LRB/1020  $K_{eff}$ , ve Q sonuçları a)  $K_{eff,(döngü 1)} / K_{eff,(döngü son)}$ , b)  $Q_{son} / Q_{ilk}$ .

Test sonuçlarının ASCE ve TBDY-2018 için sınır değerde kalmadığı, düşük yer değiştirmelerde kontrol edilen rijitlik testlerinin üst sınırların üzerinde kaldığı görülmüştür. EN15129 yönetmeliğine göre kontrollerde sınır değerlerinin üzerinde kaldığı testler daha çoktur. Bu testler frekansın 2 Hz olduğu, maksimum düşey yük ve yer değiştirmelerin minimum olduğu testlerdir.

B test merkezinde testleri gerçekleşen diğer LRB tip yalıtım birimleri LRB/1120, LRB/1220, LRB/650, LRB/820, LRB/970, LRB/850, LRB/1000 dir. Bu yalıtım birimlerine ait test sonuçları tabloda verilmiştir.



Şekil 4.19: LRB/1020  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

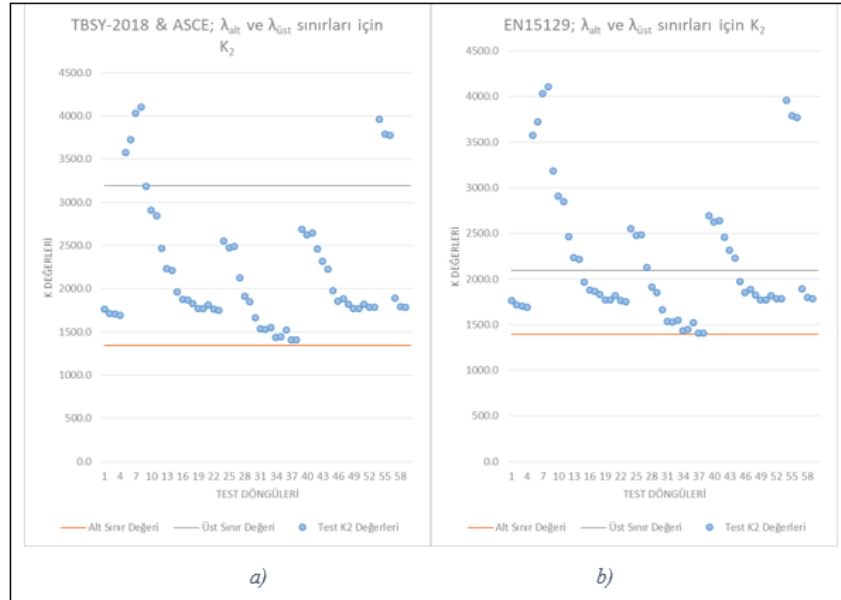


Şekil 4.20: LRB/1020  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

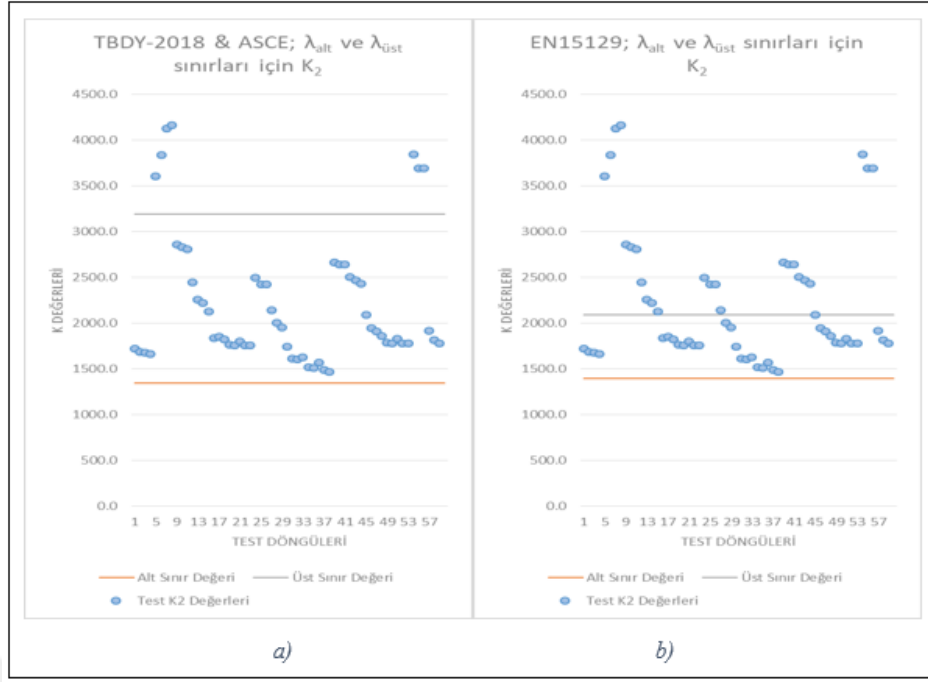
Tablo 4.6: LRB tip test değerlendirme sonuçları.

<b>TEST DEĞERLENDİRME / LRB TİP</b>	<b>LRB 1020-PROTOTİP 1</b>	<b>LRB 1020-PROTOTİP 2</b>	<b>LRB 1120-PROTOTİP 1</b>	<b>LRB 1120-PROTOTİP 2</b>	<b>LRB 1220-PROTOTİP 1</b>
$K_{eff(+)} / K_{eff, \text{test merkezi}}$	8	8	15	20	15
$K_{eff(+)} / K_{eff(-)}$	20	20	15	25	15
$K_{eff(-)} / K_{eff, \text{test merkezi}}$	6	6	16	20	15
$K_{2(+)} / K_{2(-)}$	30	30	20	20	20
$K_2 / K_{2(+)}$	80	80	80	80	30
$K_2 / K_{2(-)}$	80	80	80	80	60
$K_{eff(\text{döngü 1})} / K_{eff(\text{döngü son})}$	40	40	20	20	20
$Q_{son} / Q_{ilk}$	200	200	200	200	200
<b>TEST DEĞERLENDİRME / LRB TİP</b>	<b>LRB 1220-PROTOTİP 2</b>	<b>LRB 820-PROTOTİP 1</b>	<b>LRB 820-PROTOTİP 2</b>	<b>LRB 970-PROTOTİP 1</b>	<b>LRB 970-PROTOTİP 2</b>
$K_{eff(+)} / K_{eff, \text{test merkezi}}$	10	15	10	20	25
$K_{eff(+)} / K_{eff(-)}$	20	40	30	40	15
$K_{eff(-)} / K_{eff, \text{test merkezi}}$	10	20	20	25	25
$K_{2(+)} / K_{2(-)}$	30	30	30	25	40
$K_2 / K_{2(+)}$	70	80	80	80	80
$K_2 / K_{2(-)}$	70	80	80	80	80
$K_{eff(\text{döngü 1})} / K_{eff(\text{döngü son})}$	30	20	20	30	30
$Q_{son} / Q_{ilk}$	200	80	60	80	80
<b>TEST DEĞERLENDİRME / LRB TİP</b>	<b>LRB 1020-PROTOTİP 1</b>	<b>LRB 1020-PROTOTİP 2</b>	<b>LRB 1120-PROTOTİP 1</b>	<b>LRB 1120-PROTOTİP 2</b>	<b>LRB 850-PROTOTİP 1</b>
$K_{eff(+)} / K_{eff, \text{test merkezi}}$	6	6	5	4	11
$K_{eff(+)} / K_{eff(-)}$	10	15	10	4	25
$K_{eff(-)} / K_{eff, \text{test merkezi}}$	6	25	4	9	15
$K_{2(+)} / K_{2(-)}$	30	50	40	55	60
$K_2 / K_{2(+)}$	80	80	80	80	250
$K_2 / K_{2(-)}$	80	80	80	80	250
$K_{eff(\text{döngü 1})} / K_{eff(\text{döngü son})}$	25	25	20	20	60
$Q_{son} / Q_{ilk}$	80	90	80	80	200
<b>TEST DEĞERLENDİRME / LRB TİP</b>	<b>LRB 850-PROTOTİP 2</b>	<b>LRB 1000-PROTOTİP 1</b>	<b>LRB 1000-PROTOTİP 2</b>	<b>LRB 650-PROTOTİP 1</b>	<b>LRB 650-PROTOTİP 2</b>
$K_{eff(+)} / K_{eff, \text{test merkezi}}$	75	10	12	5	20
$K_{eff(+)} / K_{eff(-)}$	60	20	30	15	40
$K_{eff(-)} / K_{eff, \text{test merkezi}}$	40	10	14	6	15
$K_{2(+)} / K_{2(-)}$	60	80	72	55	200
$K_2 / K_{2(+)}$	180	200	200	90	200
$K_2 / K_{2(-)}$	200	200	200	90	200
$K_{eff(\text{döngü 1})} / K_{eff(\text{döngü son})}$	60	60	60	20	80
$Q_{son} / Q_{ilk}$	20	20	20	80	40

LRB/1120 için test sonuçlarının ASCE ve TBDY-2018 için sınır değerde kaldığı, sadece frekansa bağlı testin ve minimum yer değiştirmedeki test sonuçlarının üst sınır durumunu aştığı görülmüştür. EN15129 için üst sınırı testlerden yarısının aştığını, aşan testlerin küçük yer değiştirmelerde, frekansa bağlı testlerde olduğu görülmüştür. Prototip 1 ve prototip 2 için sonuçlar verilmiştir.

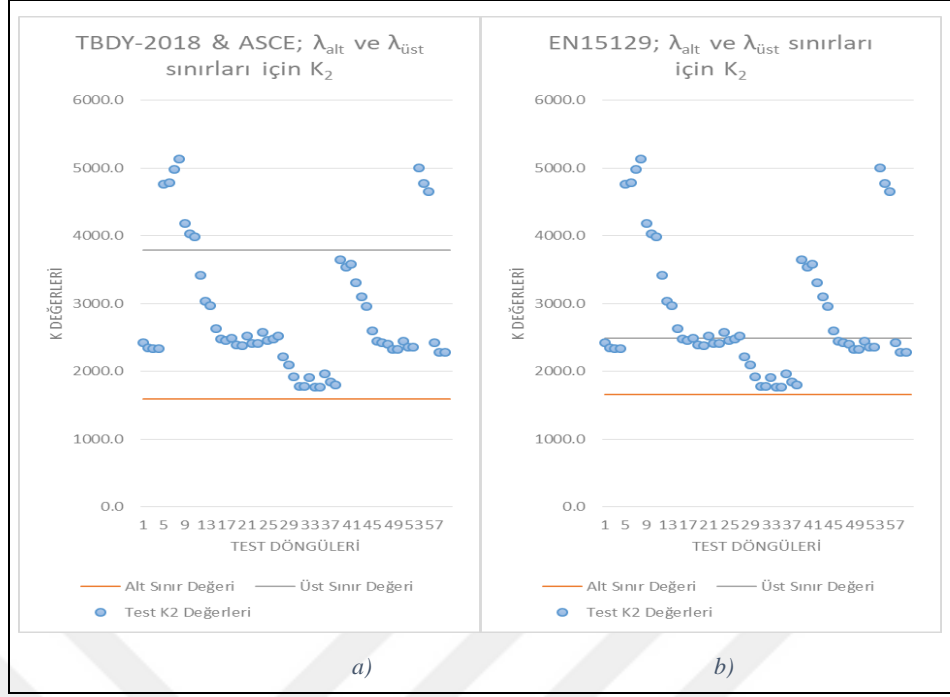


Şekil 4.21: LRB/1120  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE , b) EN15129.

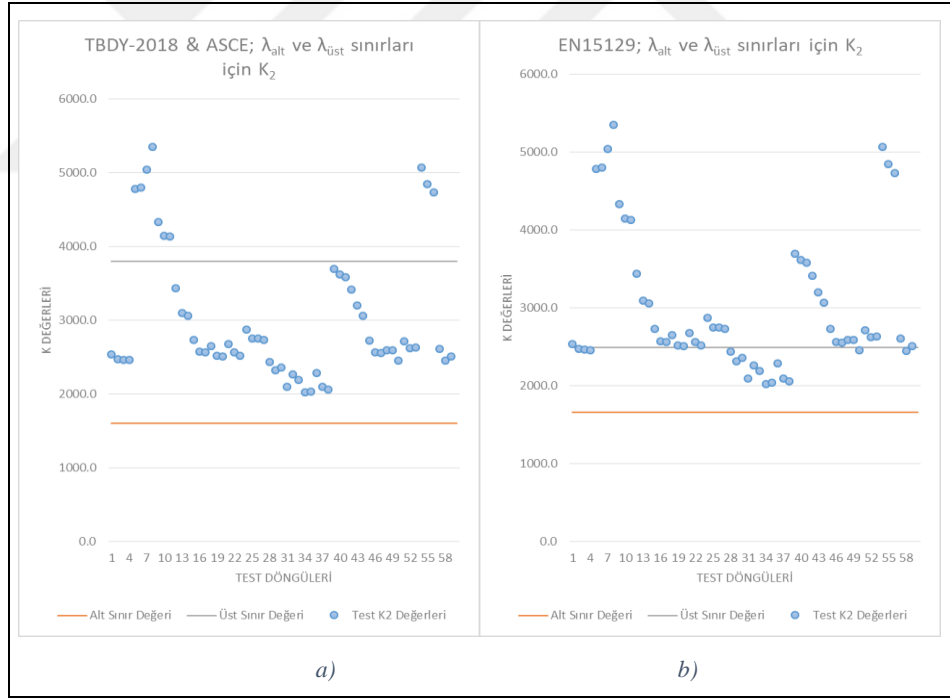


Şekil 4.22: LRB/1120  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

LRB/1220 e ait prototip test sonuçlarında incelenen toplam 59 test sonucu bulunmaktadır. İlk 4 döngü test 2, ikinci 4 döngü test 3, sonraki her 3 döngü 1 test sonucuna aittir. Test sonuçlarının ASCE ve TBDY-2018 için sınır değerde kaldığı, yüksek frekansta ve minimum yer değiştirmedeki testlerin üst sınır durumunu aştığı görülmüştür. EN15129 için testlerden yarısının üst sınırı aştığı, aşan testlerin küçük yer değiştirmelerde, frekansa bağlı testlerde olduğu görülmüştür.



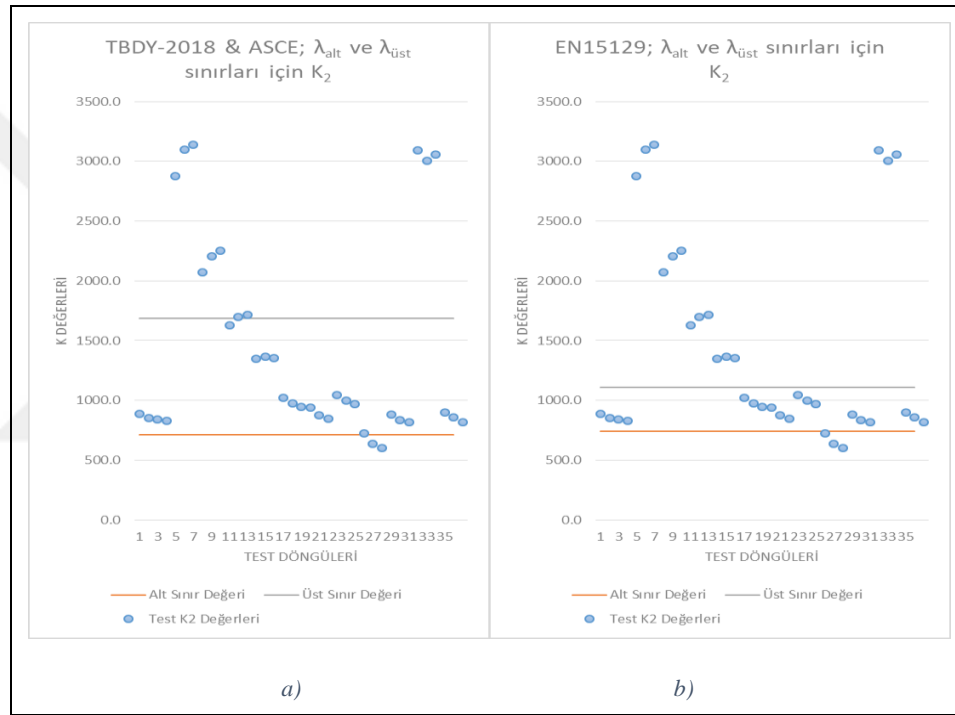
Şekil 4.23: LRB/1220  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.



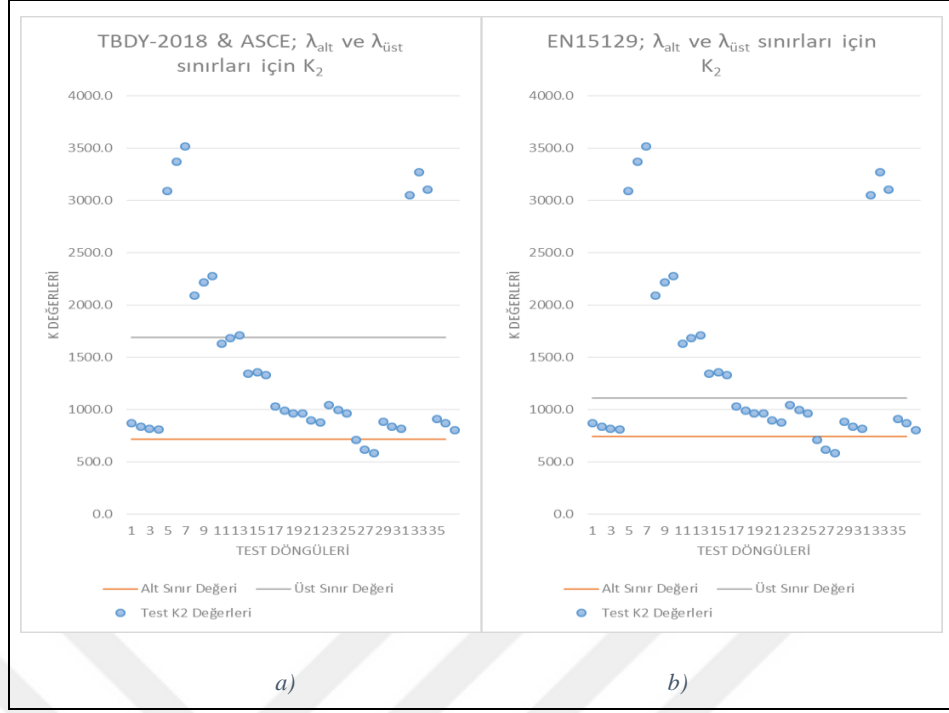
Şekil 4.24: LRB/1220  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

TBDY ve ASCE için LRB/820 e ait prototip test sonuçlarında incelenen toplam 35 test sonucu bulunmaktadır. İlk 4 döngü test 2, sonraki her 3 döngü 1 test sonucuna aittir.  $K_2$  değerlerinin alt ve üst sınır değerler ile ilgili kontroller aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Grafik sonuçlarına göre TBDY-2018 ve ASCE tek bir grafikte, EN15129

bir grafikte gösterilmiştir. Test sonuçlarının ASCE ve TBDY-2018 için sınır değerde kalmadığı, bazı test verilerine göre yaklaşık 1689 beklenen üst sınır değerinin 3000 olarak çıktığı, 710 beklenen alt sınır değerinin 600 çıktığı görülmüştür. EN15129 sınır değerleri ile test sonuçları arasında büyük farklar vardır. EN15129 a göre 1107 beklenen üst sınır değerinin 3000 çıktığı, 738 beklenen alt sınır değerinin 600 çıktığı görülmüştür. Test sonuçlarının yarısından fazlası EN15129 sınırları içerisinde değildir. Sınır değerlerinin dışında kalan testlerin minimum yer değiştirmelerde, artan hızlarda, maksimum frekansta ve maksimum düşey yükte gerçekleşen testlerde olduğu görülmüştür.

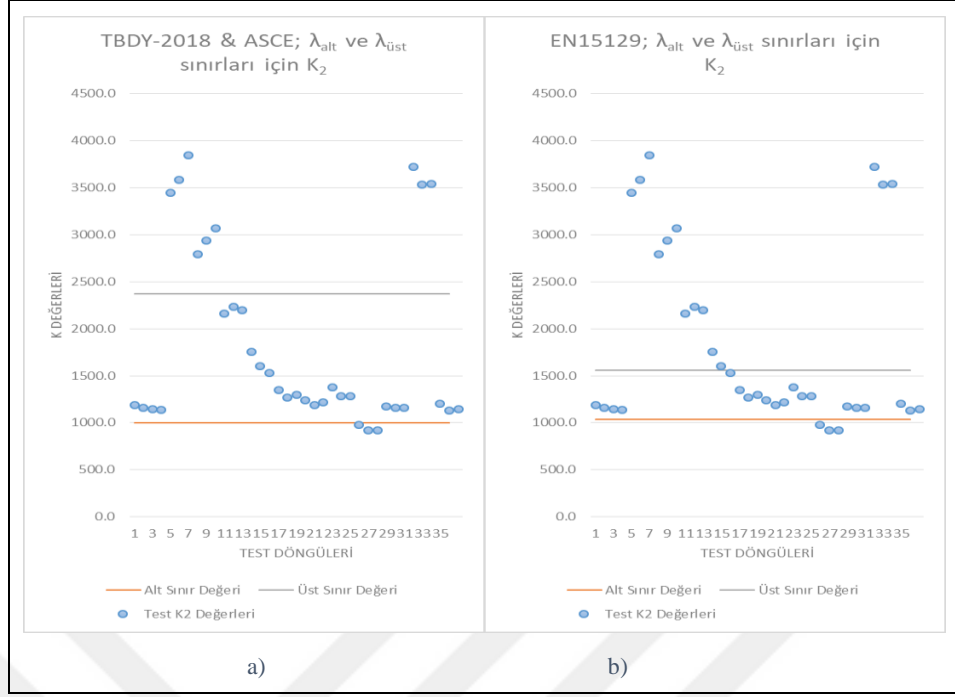


Şekil 4.25: LRB/820  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

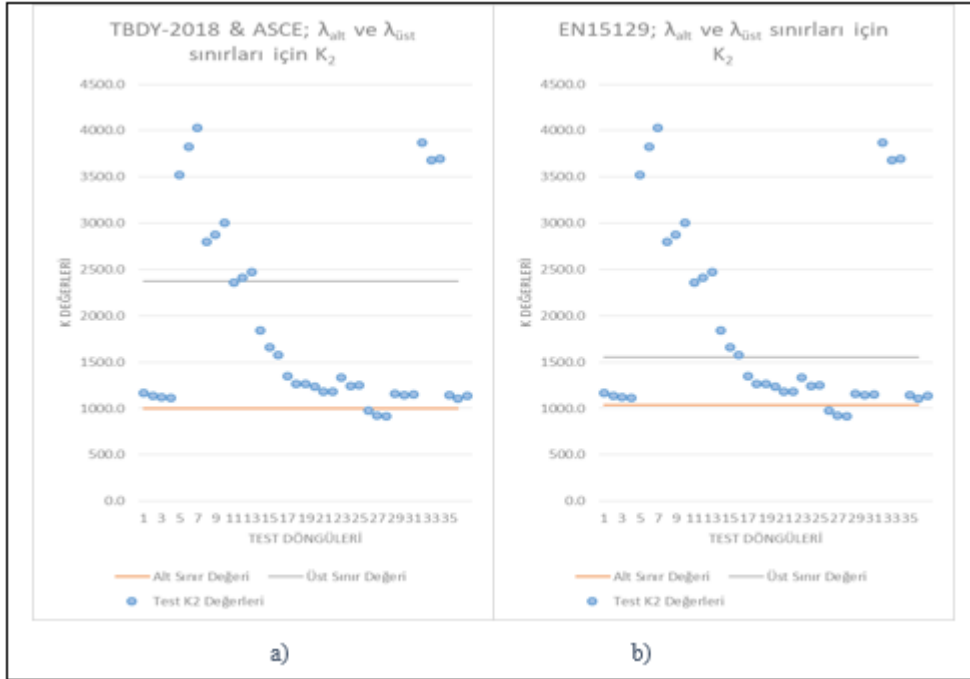


Şekil 4.26: LRB/820  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

LRB/970 yalıtım birimi için incelenen toplam 35 test sonucu bulunmaktadır. Bu sonuçlarda ilk 4 döngü test 2, sonraki her 3 döngü 1 test sonucuna aittir. LRB/970 için test sonuçları istenilen değerlerde kalmamıştır. Özellikle yalıtım biriminin testlerin ilk döngülerine verdiği tepkinin daha büyük çıkması sebebiyle ASCE, TBDY-2018 ve EN15129 için de test sonuçları beklenilenin üstünde çıkmıştır. Bu fark alt ve üst katsayılarının da üstündedir. Özellikle EN15129 için testlerin yarısı bu aralıkta kalmamıştır.



Şekil 4.27: LRB/970  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

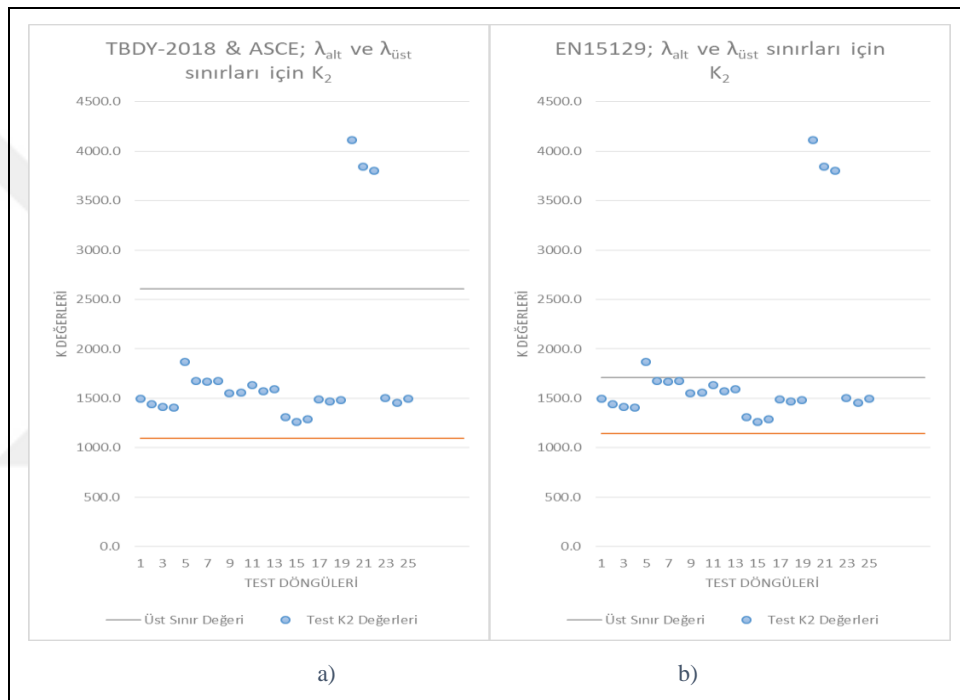


Şekil 4.28: LRB/970  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

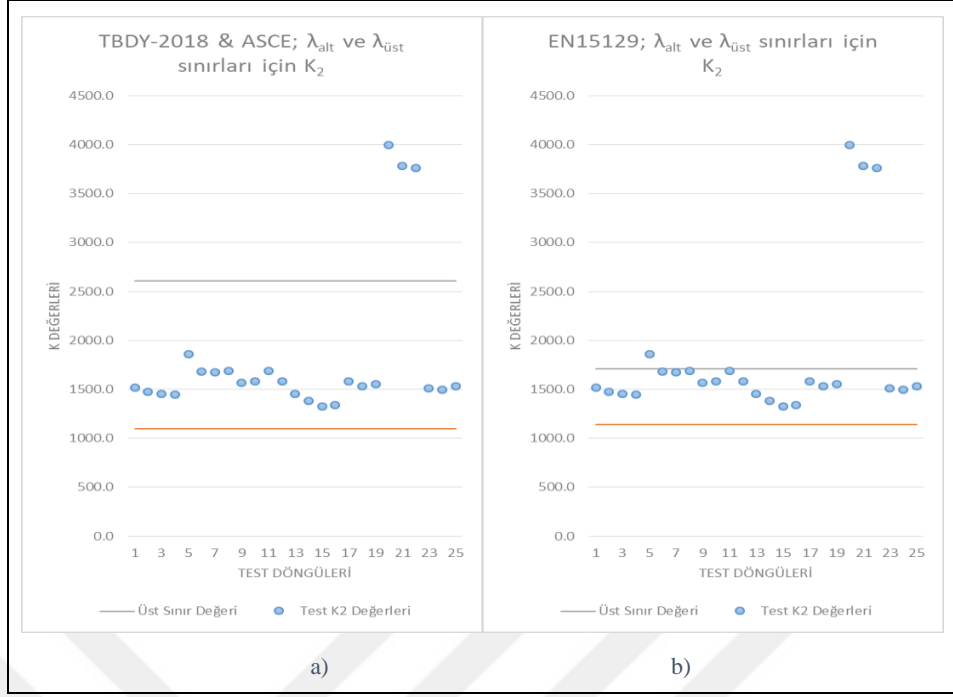
LRB/1020 e ait prototip test sonuçlarında incelenen toplam 25 test sonucu bulunmaktadır. İlk 4 döngü test 2, sonraki her 3 döngü 1 test sonucuna aittir. Test sonuçlarının ASCE ve TBDY-2018 için sınır değerde kaldığı, sadece bir test için sonuçların üst sınır durumunu aştığı görülmüştür. EN15129 sınır durumları için de alt

üst limitleri aşmadığı, yine yalnızca 3 test için sınırdan kalmadığı görülmüştür. Bu döngüler 13. teste aittir ve bu test frekansa bağlı maksimum hızdaki testtir.

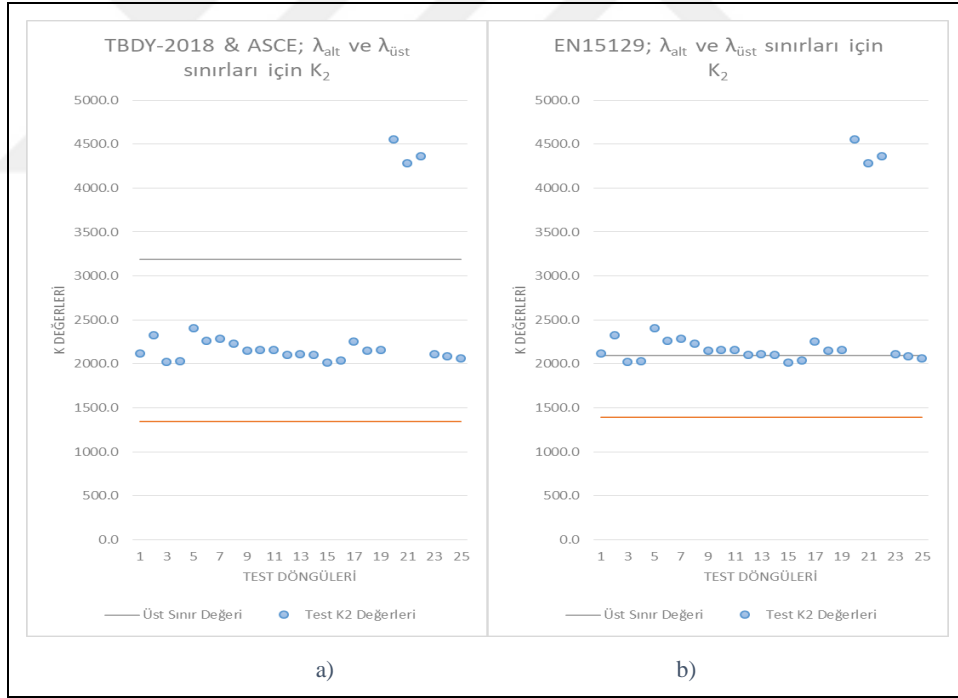
LRB/1120 e ait prototip test sonuçlarında incelenen toplam 25 test sonucu bulunmaktadır. İlk 4 döngü test 2, sonraki her 3 döngü 1 test sonucuna aittir. Test sonuçlarının ASCE ve TBDY-2018 için sınır değerinde kaldığı, sadece 13. frekansa bağlı test için sonuçların üst sınır durumunu aştığı görülmüştür. EN15129 üst sınır katsayısı 1.2 alınarak kontrol edildiğinde, üst sınırı testlerden bazı döngüler için aştığı, en büyük farkında yine 13. test için olduğu görülmüştür.



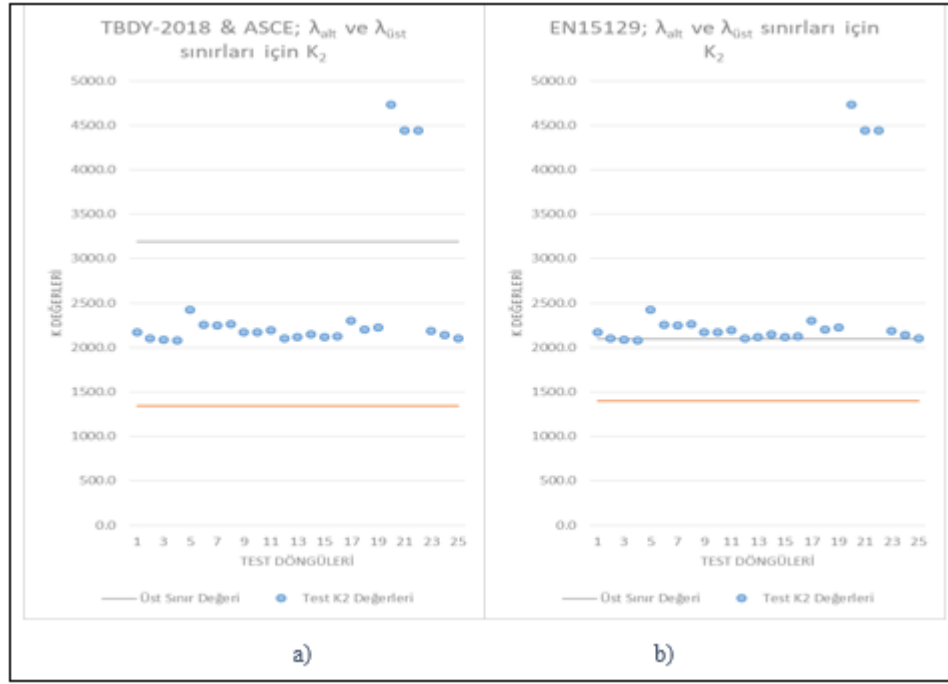
Şekil 4.29: LRB/1020  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.



Şekil 4.30: LRB/1020  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.



Şekil 4.31: LRB/1120  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

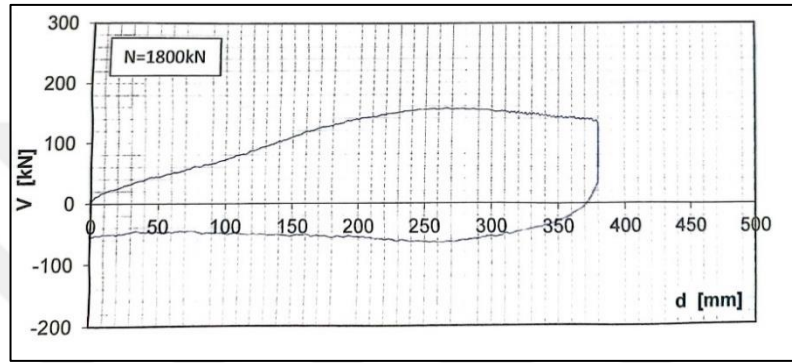


Şekil 4.32: LRB/1120  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

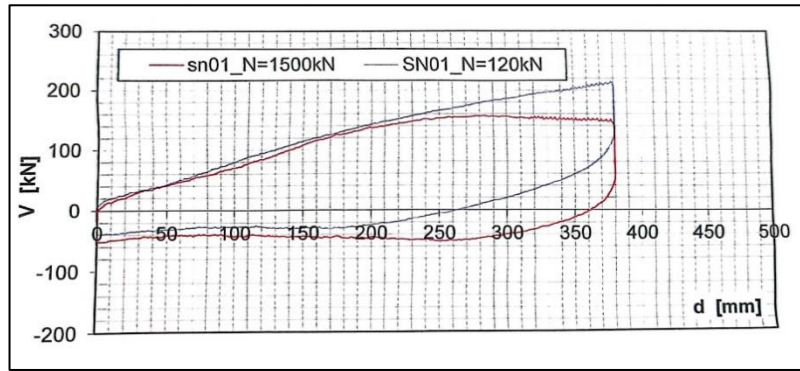
LRB/500 ve LRB/550 sismik yalıtım birimleri, Türkiye de bir hastane projesinde kullanılmak üzere tasarlanmış ve üretilmiştir. EN15129 yönetmeliği test prosedürüne göre testleri B Test merkezinde gerçekleştirilmiştir. Bu yalıtım birimlerinin test esnasında gözle görünür hatalar olduğu gözlemlenmiştir.

LRB500 VE LRB550 tip yalıtım birimleri Türkiye de güçlendirme çalışması yapılacak hastane için önerilen tiplerdir. Bu hastane projesi için 500/331, 550/396, 550/399 LRB tip yalıtım birimleri önerilmiştir. Bu yalıtım birimlerinden her bir tip için 2 adet olmak üzere toplam 6 adet prototip üzerinde testler yapılmıştır. Yapılan ilk test 500/331 yalıtım birimi tipine aittir. 2 adet prototip üzerinde görsel olarak herhangi bir uygunsuzluk tespit edilmemiştir. 550/396 yalıtım birimine ait ilk prototipte yapılan testlerde 12. test olan maksimum sismik kuvvet altında ve maksimum deplasmanda izolatörün burkulma kontrolü için yapılan yatay kapasite testinin sonucunda çıkan grafiğe göre yalıtım biriminde, maksimum deplasmana ulaştığında 33 mm oturma olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre prototipin testten geçemediği belirlenmiştir. 550/396 yalıtım birimine ait 2 prototip testte de aynı sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlara istinaden 500/331 yalıtım birimine ait test sonuçları kontrol edilmiştir ve grafiğe göre bu yalıtım biriminde de maksimum yer değiştirmede oturma olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla bu prototiplerin de burkulma testinden geçemediği belirtilmiştir. Elde edilen test sonuçları kontrol edilip değerlendirme yapıldıktan sonra

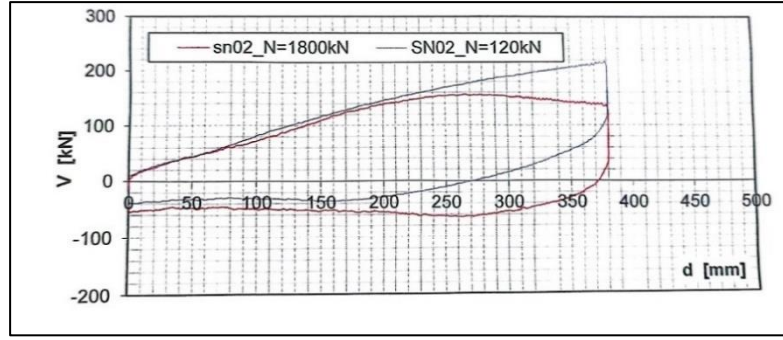
550/399 yalıtım birimine ait ilk prototipin de aynı şekilde 4.500kN sismik düşey kuvvet altında burkulma testinde başarısız olacağı düşünülmüştür. Buna istinaden 4.500kN düşey kuvvet yerine 1800kN kuvvet uygulanmasına karar verilmiştir. Eğer bu yalıtım birimi bu kuvvette testi geçerse 1800 kN'a kadar yük gelen kolonlarda bu yalıtım biriminin kullanılabilceği düşünülmüştür. Fakat test protokolüne göre yapılan testlerde burkulma testinden bu yalıtım birimi de geçememiştir. Bunun üzerine kuvvet 1500 kN'a düşürülerek 550/399 yalıtım biriminin 2 prototip testi buna göre yapılmıştır fakat yine de burkulma testinden geçememiştir.



Şekil 4.33: Test N=1800 kN.



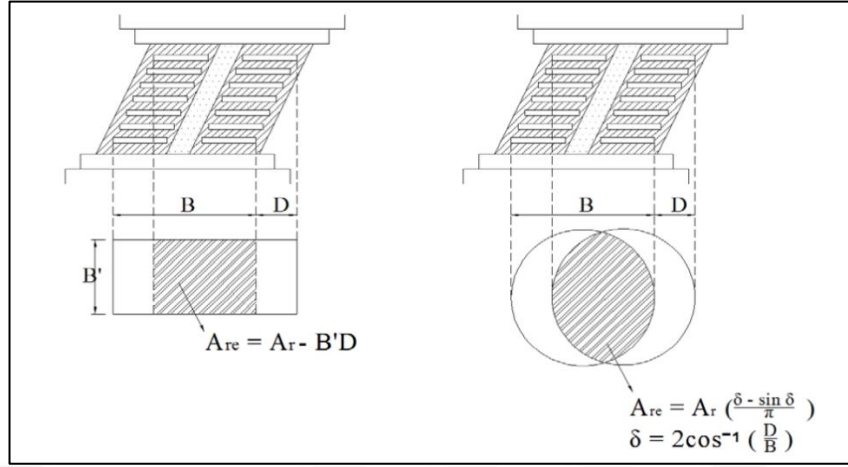
Şekil 4.34: Test N=1500 kN & Test N=1200 kN.



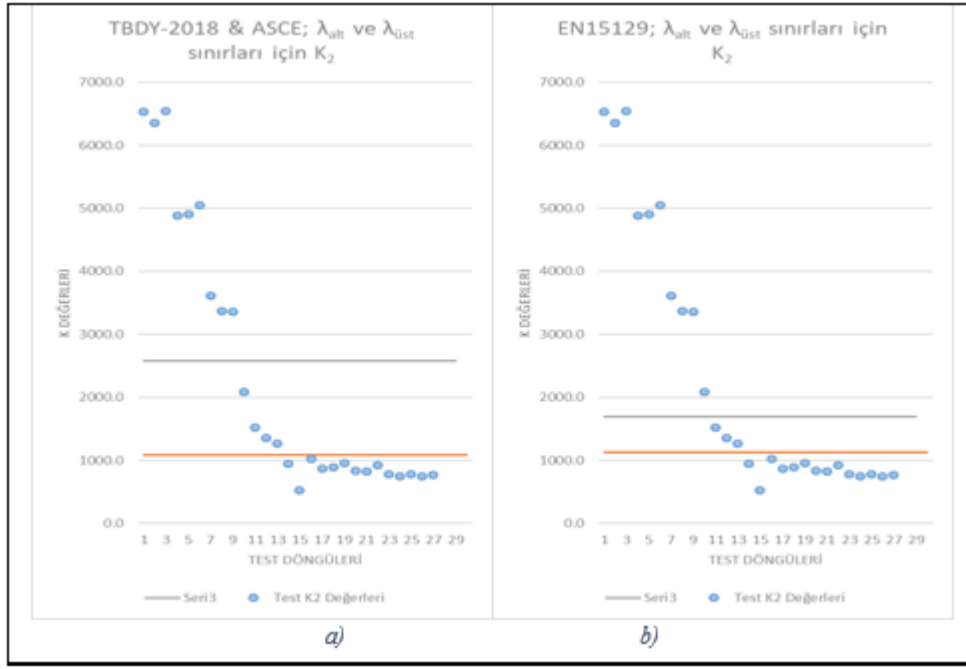
Şekil 4.35: Test N=1800 kN Test N=1200 kN.

Testlerin değerlendirilmesinde prototiplerde 1 ve 10 düşey basınç testleri 11 ve 12 yatay kapasite testlerinden sonra EN15129'a göre görsellik kontroller yapılmış ve herhangi bir kopma ve yırtılma izine rastlanmamıştır. Sönümlenme oranları dizayn değerlerini yakaladığı görülmüştür fakat yapılan testler sonucunda her üç izolator tipine ait prototiplerde burkulma testinden geçemediği için testler başarısız sayılmıştır. Yapılan olası değerlendirmelerde yalıtım biriminin burkulma testinden geçememesinin nedenleri üzerinde yalıtım birimi tasarımı, prototiplerin imalatı veya laboratuvar tarafından belirlenen ve uygulanan test prosesi sebep olabileceği düşünülmüştür. Üretici bir firma yalıtım birimleri üzerinde 5 adet revizyon önermiştir. Yalıtım birimlerinin tamamı LRB tiptir. Her yalıtım birimi EN15129'a göre tasarımılandırılmıştır ve test kriterleri buna uygundur. Yapılan araştırmalar sonucunda izolatorların dizayn şartnamesi olan EN115129'a uygun olarak dizayn edildiği tespit edilmiştir yalıtım birimi şartnamesinde 8.2.3.4.4 burkulma kontrolünde izolator kurşun çekirdeğinin çapının izolator çapını oranı %15'i geçtiği takdirde burkulma kontrolü yapılmamalı maddesine göre tasarımılandırıldığı belirlenmiştir. Fakat bu izolatorların maksimum deplasmanda prototip testlerinde yetersiz kaldığı testlerle görülmüştür. Yapılan araştırmalarda üretim tesisinde tutulan kayıtlara göre herhangi bir imalatta hata olmadığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde test yapılan laboratuvar incelendiğinde test projesinde herhangi bir hata olmadığı tespit edilmiştir. Ve üretici teknik departmanına göre izolator burkulması ile ilgili yeni varsayımlar öngörülmüş, hesap yöntemi geliştirilmiştir. Bu hesap yöntemine göre burkulma boyu yeniden tayin edilmiştir. Buna göre  $P_{kritik}/P > 0.9$  olmak şartıyla izolatorlar yeniden tasarımılandırılmıştır.  $P_{kritik}/P > 0.9$  şartı burkulma kriterini yetersiz olması nedeniyle maksimum yer değiştirmede bindirme yüzey alanı dikkate alınarak bulunmuştur. Bu yöntem şuan kullanılan hesap yöntemiyle aynıdır. Tüm bir çalışmalardan sonra yeni

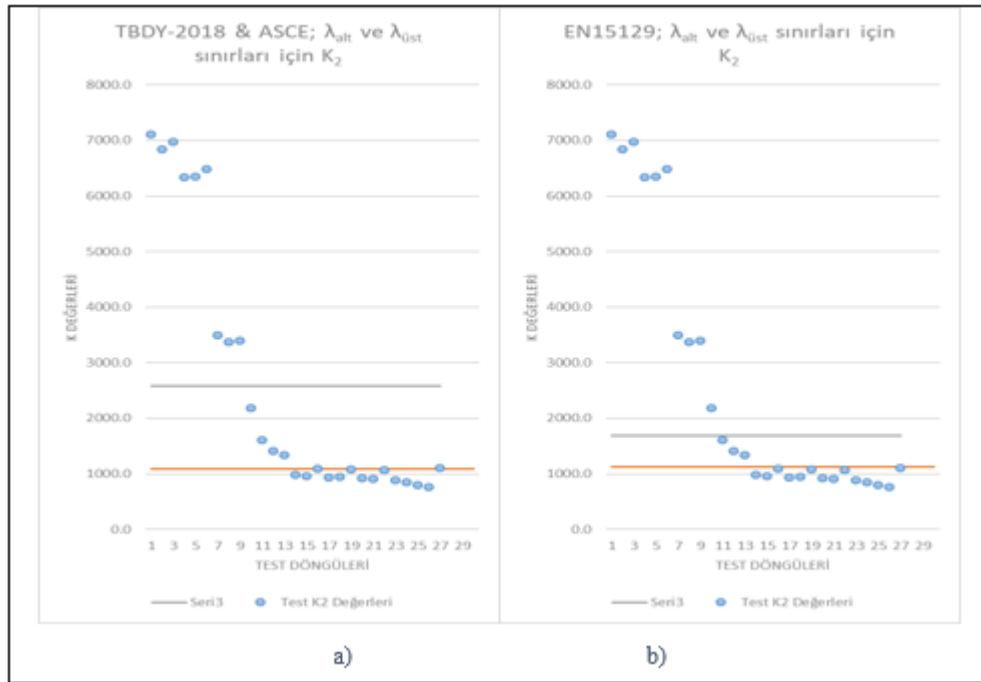
burkulma kriterine göre yeni yalıtım birimleri önerilmiştir. Önerilen yeni yalıtım birimleri 700/648, 750/660, 800/542, 850/532, 1000/477 olmak üzere 5 tiptir.



LRB/850 sismik yalıtım birimi, Türkiye de bir hastane projesinde kullanılmış, EN15129 yönetmeliği test prosedürüne göre testleri B Test merkezinde gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarının ASCE ve TBDY-2018 minimum yer değiştirme testleri için üst sınır değerinin üstünde kaldığı, maksimum yer değiştirme testleri için de alt sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. EN15129 sınırları için de sonuçlar benzerdir. Dolayısıyla yalıtım birimi sonuçlarında, yer değiştirmelere bağlı olarak büyük değişimler görüldüğü ve sınır değerlerinde kalmadığı net olarak söylenebilir.



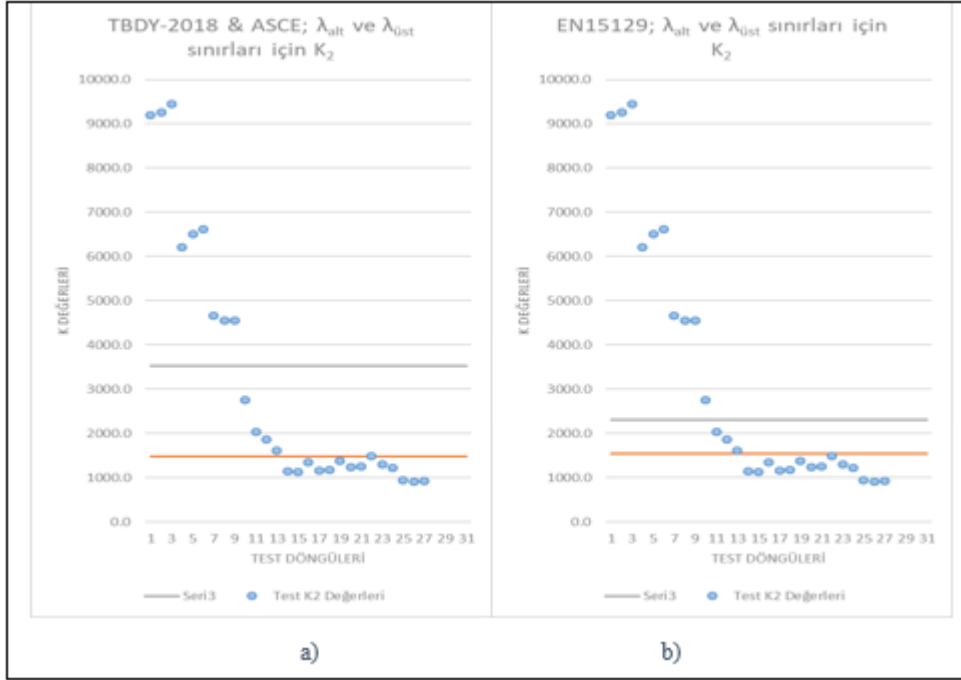
Şekil 4.37: LRB/850  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.



Şekil 4.38: LRB/850  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

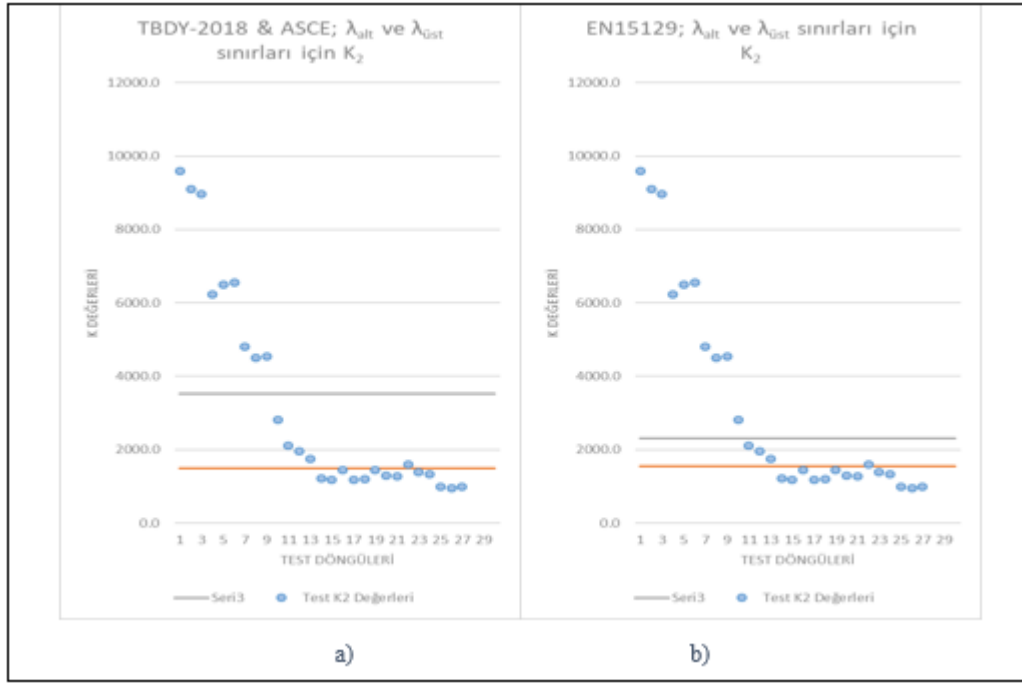
LRB/1000 sismik yalıtım birimi, EN15129 yönetmeliği test prosedürüne göre testleri B Test merkezinde gerçekleştirilmiştir. LRB/1000 e ait prototip test sonuçlarında incelenen toplam 27 test sonucu bulunmaktadır. Her 3 döngü 1 test sonucuna aittir. Test sonuçlarının ASCE ve TBDY-2018 minimum yer değiştirme testleri için üst sınır değerinin üstünde kaldığı, maksimum yer değiştirme testleri için

de alt sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. EN15129 sınırları için de sonuçlar benzerdir. Dolayısıyla yalıtım birimi sonuçlarında, yer değiştirmelere bağlı olarak büyük değişimler görüldüğü ve sınır değerlerinin dışında kaldığı net olarak görülmektedir.

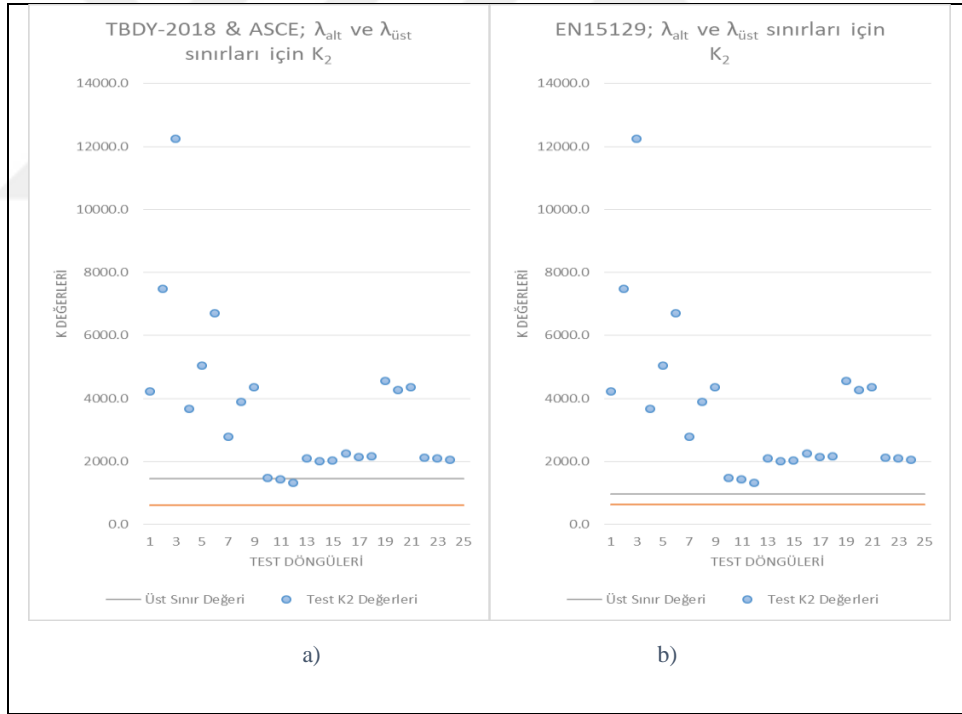


Şekil 4.39: LRB/1000  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

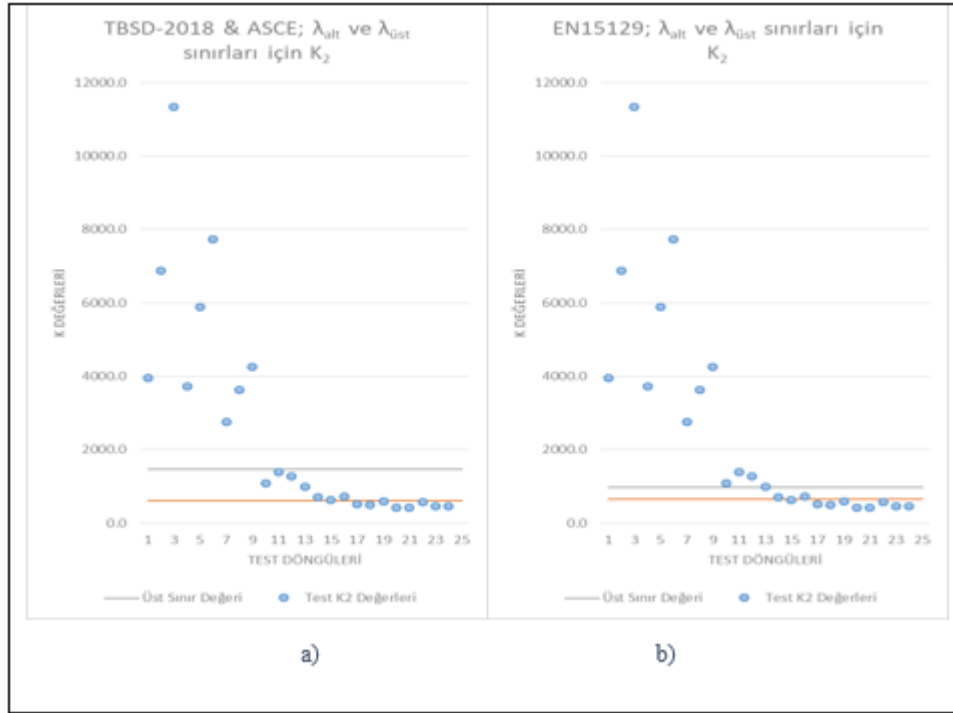
LRB/650 e ait prototip test sonuçlarında incelenen toplam 24 test sonucu bulunmaktadır. Her 3 döngü 1 test sonucuna aittir.  $K_2$  değerlerinin alt ve üst sınır değerleri ile ilgili kontroller aşığıdaki grafiklerde verilmiştir. Test sonuçları, her yönetmelik için rijitlik değerlerinin üst sınır değerlerinin de üzerinde olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.40: LRB/1000  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.



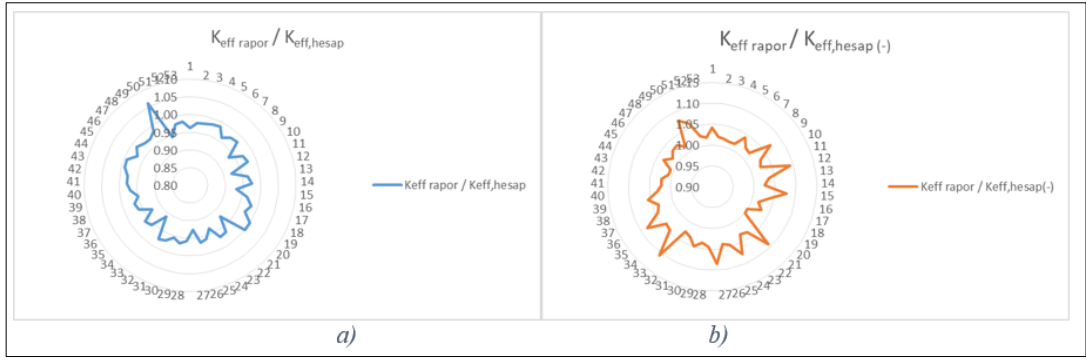
Şekil 4.41: LRB/650  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.



Şekil 4.42:  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçlar a) TBDY-2018 & ASCE, b) EN15129.

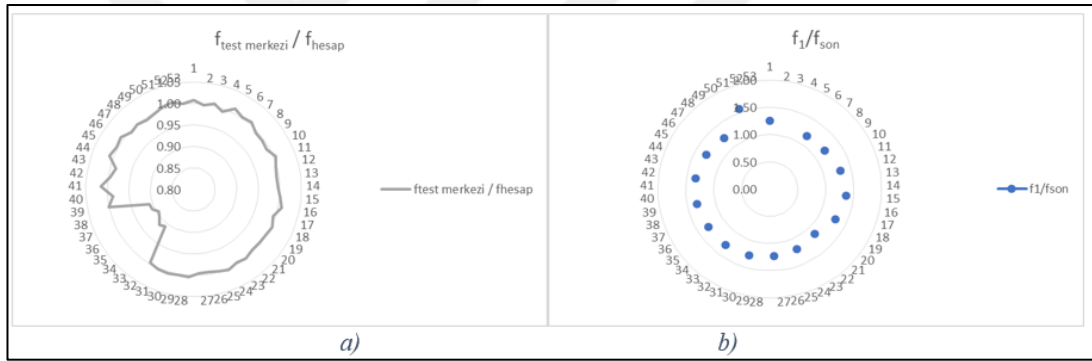
B test merkezinde testleri tamamlanan 3 tip EYSYB bulunmaktadır. Bunlar boyutları 6300, 9500 ve 1600 olan tiplerdir. Bu tiplere ait test sonuçlarının değişimi aşağıdaki Tablo 14 de verilmiştir. Bu tabloyu incelemeye örnek olması açısından EYSYB/6300 prototip 1 sonuçları değerlendirilmeleriyle verilmiştir. EYSYB/6300, B test merkezinde testleri yapılmış olan eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimidir. 23 başlık altında testleri tamamlanmıştır. Maksimum düşey yük 6355 kN altında stabilite kontrolleri yapılmıştır. Maksimum düşey deprem yükü 4729 kN dur. Yer değiştirme kapasitesi 465 mm dir.

EYSYB için test sonuçlarına göre 6 farklı yaklaşım ile inceleme yapılmıştır. Hesap raporunda not edilen  $K_{eff}$  değeri ile rapordaki verilerden alınarak hesaplanmış  $K_{eff}$  değeri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma hem + hem de - döngüler için yapılmıştır. Buna göre  $K_{eff,rapor} / K_{eff,hesap(+)}$  değeri prototip için tüm döngülerde %8 mertebede,  $K_{eff,rapor} / K_{eff,hesap(-)}$  değeri maksimum %10 mertebede değişim göstermiştir. Bu değişim yer değiştirme ve gelen düşey kuvvet arttıkça değişim göstermiştir



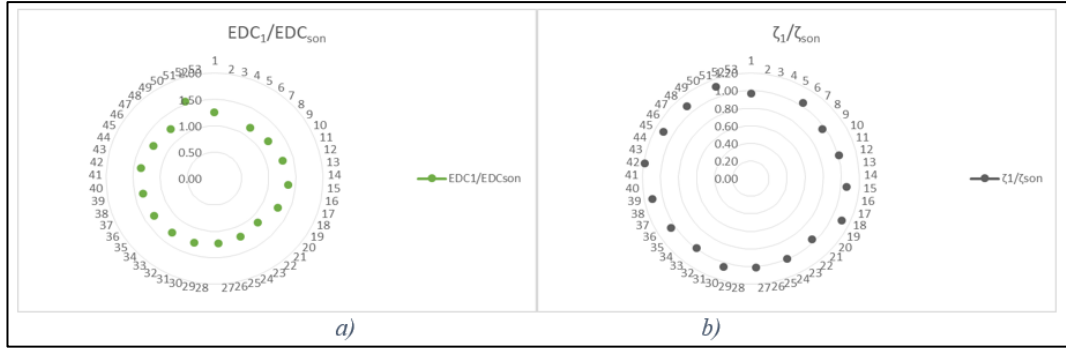
Şekil 4.43:  $K_{eff}$  sonuçları a)  $K_{eff,rapor} / K_{eff,hesap(+)}$ , b)  $K_{eff,rapor} / K_{eff,hesap(-)}$ .

Test merkezinin belirlediği sürtünme değeri  $f_{test}$  merkezi ve test sonuçlarından hesaplanan  $f_{hesap}$  karşılaştırılmıştır. Buna göre sürtünme katsayıları arasında %20 mertebede değişim bulunmaktadır. Her test için deneyin ilk döngüsü ile son döngüsü arasındaki fark karşılaştırılmıştır ve en büyük fark %50 olarak çıkmıştır.



Şekil 4.44: Sürtünme Katsayısı Sonuçları a)  $f_{test}$  merkezi /  $f_{hesap}$ , b)  $f_1 / f_{son}$ .

Tüm döngüler için hesaplanan EDC enerji ve bununla bulunan sönüm miktarı karşılaştırılmıştır. Burada EDC nin ilk döngüsü ile son döngüsü arasındaki fark %50, sönüm değerinin ilk döngüsü ile son döngüsü arasındaki fark %20 olarak çıkmıştır.

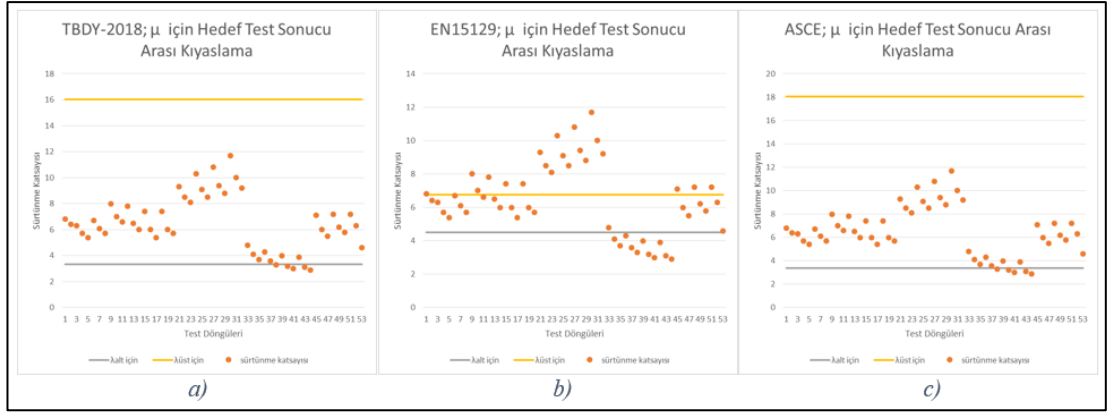


Şekil 4.45: Enerji ve Sönüm Sonuçları a)  $EDC_1 / EDC_{son}$  , b)  $\zeta_1 / \zeta_{son}$ .

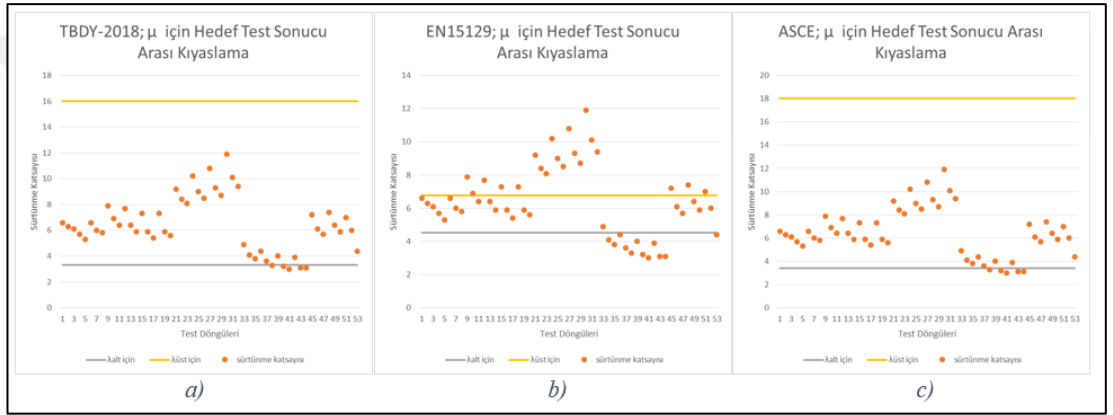
Tablo 4.7: EYSYB tip test değerlendirme sonuçları.

TEST DEĞERLENDİRME / EYSYB TİP	EYSYB 6300-PROTOTİP 1	EYSYB 6300-PROTOTİP 2	EYSYB 9500-PROTOTİP 1	EYSYB 9500-PROTOTİP 2	EYSYB 1600-PROTOTİP 1	EYSYB 1600-PROTOTİP 2
$K_{eff,rapor} / K_{eff,hesap(+)}$	8	14	8	8	6	50
$K_{eff,rapor} / K_{eff,hesap(-)}$	10	11	8	9	18	50
$f_{test\ merkezi} / f_{hesap}$	20	20	2	3	2	20
$f_1 / f_{son}$	50	50	50	52	50	50
$EDC_1 / EDC_{son}$	50	50	53	52	50	50
$\zeta_1 / \zeta_{son}$	20	15	20	18	17	18

EYSYB/6300 için üretici firma hedef sürtünme katsayısı  $\mu=5.64$  olarak belirlemiştir. Prototip 1 değerlendirildiğinde, TBDY-2018 ve ASCE  $\mu_1$  değerlendirmesi için limit değerlendirmelerin içinde, sadece 2 test için dışında olduğu görülmüştür. Bu testler 13. 14. Testler olan maksimum yer değiştirme minimum yük, minimum yer değiştirme maksimum yük testleridir. EN15129 alt üst katsayılarına göre değerlendirme yapıldığında birçok testin hem üst katsayıyı hem de alt katsayıyı aştığı görülmüştür.

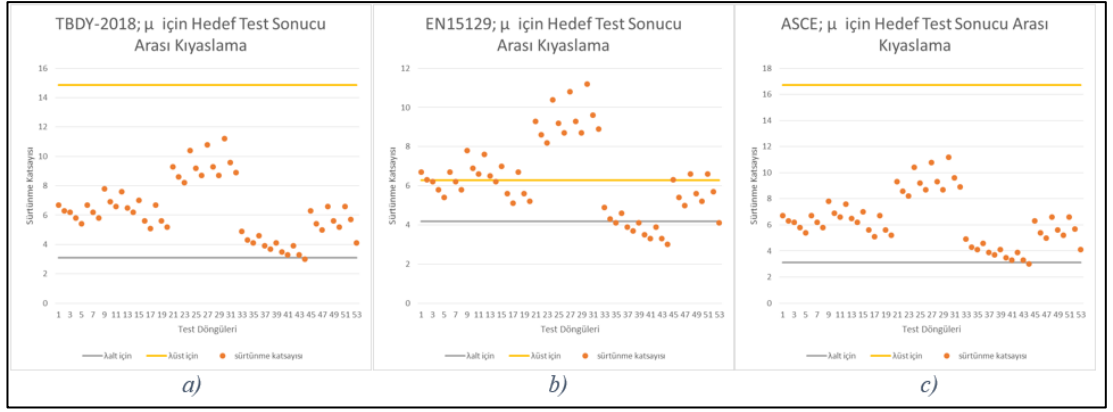


Şekil 4.46: Yönetmelikler için  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  sonuçları a) TBDY-2018 b) EN15129 c) ASCE.

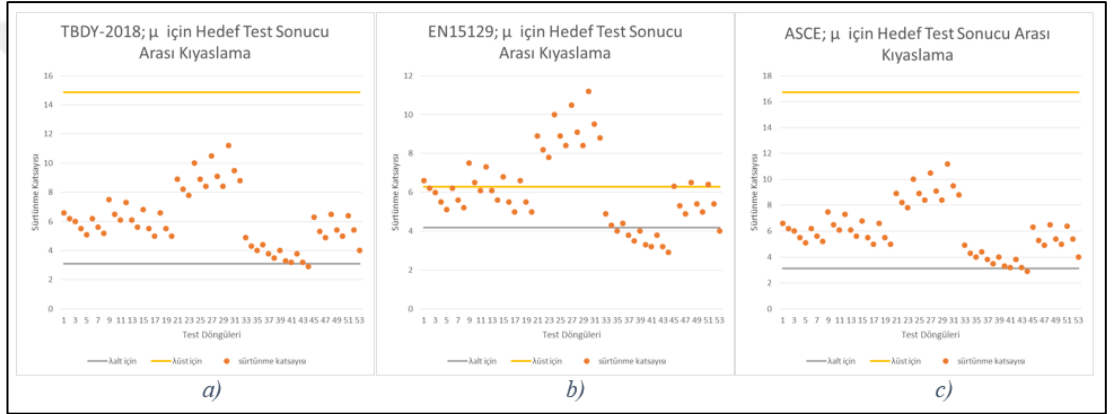


Şekil 4.47: Yönetmelikler için  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  sonuçları a) TBDY-2018 b) EN15129, c) ASCE.

EYSYB/9500, B test merkezinde testleri yapılmış olan eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimidir. 23 başlık altında testleri tamamlanmıştır. Maksimum düşey yük 9542 kN altında stabilite kontrolleri yapılmıştır. Maksimum düşey deprem yükü 7264 kN dur. Yer değiştirme kapasitesi 470 mm dir. EYSYB/9500 için üretici firma hedef sürtünme katsayısı  $\mu=5.23$  olarak belirlemiştir. Prototip 1 ve 2 değerlendirildiğinde, TBDY-2018 ve ASCE  $\mu_1$  değerlendirmesi için limit değerlendirmelerin içinde olduğu görülmüştür. EN15129 alt üst katsayılara göre değerlendirme yapıldığında birçok testin hem üst katsayıyı hem de alt katsayıyı aştığı görülmüştür.

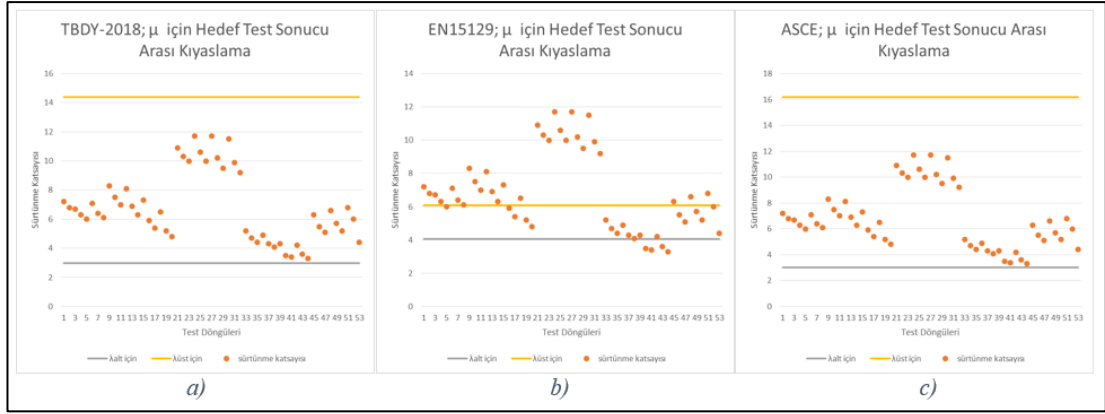


Şekil 4.48: Yönetmelikler için  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  sonuçları a) TBDY-2018, b) EN15129, c) ASCE.

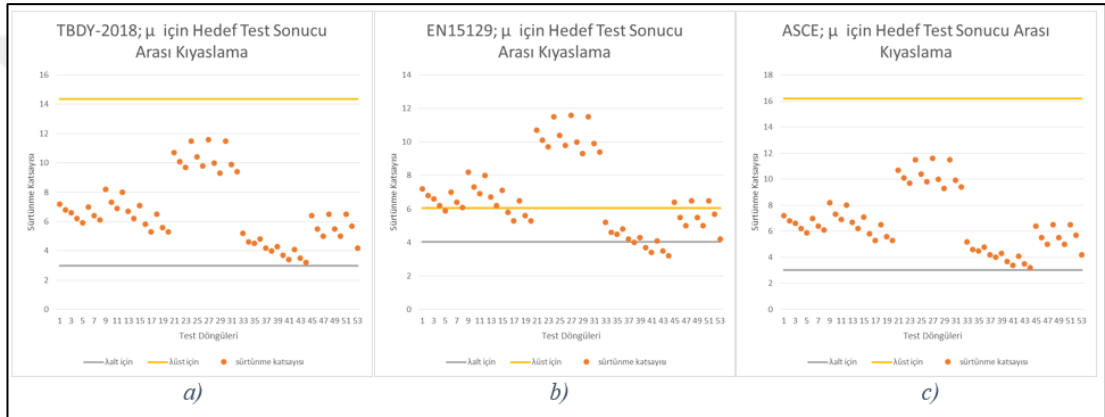


Şekil 4.49: Yönetmelikler için  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  sonuçları a) TBDY-2018, b) EN15129, c) ASCE.

EYSYB/1600, 23 başlık altında testleri tamamlanmıştır. Maksimum düşey yük 6355 kN altında stabilite kontrolleri yapılmıştır. Maksimum düşey deprem yükü 4729 kN dur. Yer değiştirme kapasitesi 465 mm dir. Test protokolü ASCE-7 için hazırlanmıştır. EYSYB/1600 için üretici firma hedef sürtünme katsayısı  $\mu=5.06$  olarak belirlemiştir. Prototip 1 ve 2 değerlendirildiğinde EN15129 için alt ve üst sınır değerlerini aştığı, TBDY-2018 ve ASCE için limit değerlendirmelerin içinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.50: Yönetmelikler için  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  sonuçları a) TBDY-2018, b) EN15129, c) ASCE.

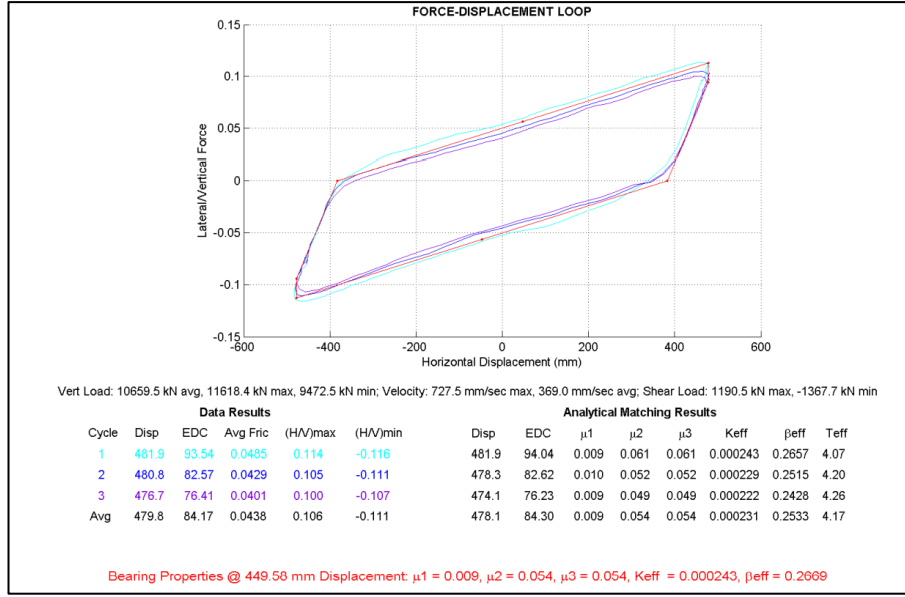


Şekil 4.51: Yönetmelikler için  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  sonuçları a) TBDY-2018, b) EN15129, c) ASCE.

### 4.3.3. Test Merkezi C için Test Sonuçları

#### 4.3.3.1. Test Merkezi C Test Sonuçları İnceleme Prosedürü

C test merkezinde toplamda her tipten 2 adet olmak üzere 8 tip toplamda 15 adet EYSYB prototip testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu testlerde sürtünme katsayıları, rijitlik değerleri ve sönüm değerleri kontrol edilmiştir. Yönetmelikler ve üretici firmanın verdiği katsayılara göre de bu test sonuçları incelenmiştir. Testler değişen düşey yükler ve yer değiştirmede yalıtım birimi kontrolleridir. Test merkezi, test sonuçları için ortalama eğri hesaplayarak 3 döngü için tek bir sonuç vermiştir. Her YB nin her testi ve her döngüsü için tüm veriler bulunmaktadır.



Şekil 4.52: Kuvvet yer değiştirme sonuçları örnek.

Kuvvet yer değiştirme eğrisi içerisinde, düşey kuvvet altında 3 döngü itme testi yapılmıştır. Döngünün uç anları için tüm değerler tabloda verilmiştir. Grafikte açık mavi ilk döngüyü, mavi ikinci döngüyü, lila üçüncü döngüyü ve kırmızı eğri test merkezinin belirlediği döngüyü temsil etmektedir.

#### 4.3.3.2. Test Merkezi C için Geliştirilmiş Yöntem

C Test Merkezinde gerçekleşen tüm testler EYSYB içindir. Test merkezi her YB nin her testi ve her döngüsü için önemli noktalara ait tüm değerleri vermiştir. Bu noktalar ile sürtünme katsayıları, rijitlik, sönüm parametreleri incelenebilmektedir. Tez kapsamında her nokta ve döngü için verilen bu değerlerin birbiriyle uyumu, sonuçların yönetmelik bazında değerlendirilmesi, sonuçların iki prototip arasında değerlendirilmesi yapılmıştır.

Eşdeğer eğrilik yarıçapı (radius) izolatorlerin geometrik özelliğidir. Sürtünme yüzeylerinin eğrilik yarıçaplarına bağlıdır. Sürtünme katsayısı (friction coefficient) her YB tipine gelen ortalama  $G+0.3Q$  aksenal yükü altında hesaplanan nominal sürtünme katsayıları olarak tanımlanmaktadır.

Test sonuçlarında; test merkezinin verdiği sürtünme sonuçları ile her testin her döngüsü için sürtünme sonucunun oranı, hedef sürtünme değeri ile her döngüdeki sürtünmenin oranı,  $K_{eff}$  ve  $\beta_{eff}$  sonuçları, ASCE-7, TBDY-2018, EN15129 alt ve üst katsayıları için her döngünün oranı incelenmiştir. İncelenen bu durumlar ile döngüler

arasındaki sürtünme katsayının hangi mertebede değiştiği, test merkezinin verdiği sonuç ile arasındaki ortalama oran, bu sonuçların yönetmeliklere göre hangi mertebede kaldığı, iki prototipin birbiriyle uyumu incelenmiştir.

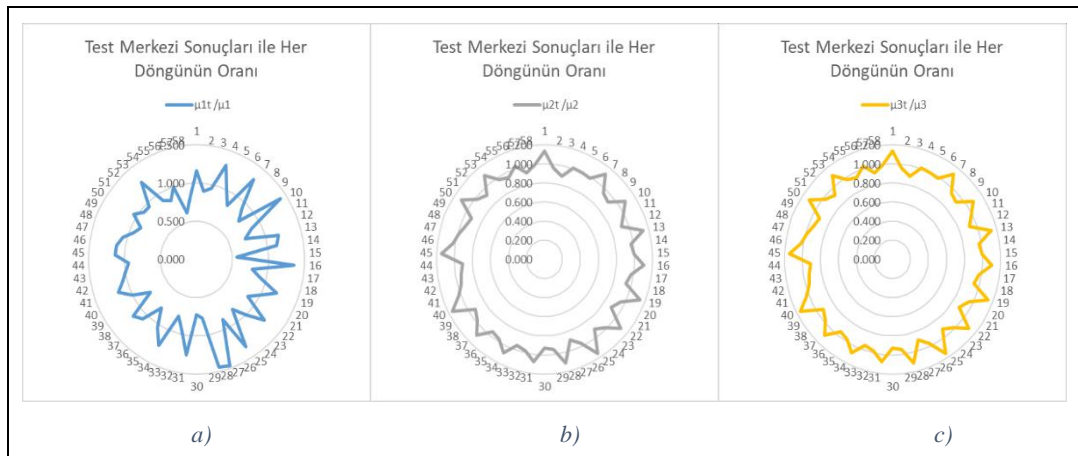
#### 4.3.3.3. Test Sonuçlarının İncelenmesi

C test merkezinde 8 farklı tip testi tamamlanmıştır. Her tipten 2 prototip test edilmiştir. Tipler EYSYB/15636, EYSYB/15651, EYSYB/15656, EYSYB/15646 dır. Bu tiplerin farklı zamanlarda farklı testleri de yapılmıştır. EYSYB/15636, hastane projesi için üretilmiş, iki adet prototipi deneylerle test edilmiştir. ASCE-7 ye göre tasarımılandırılmış. Yalıtım birimi 3 yüzeilidir. Paslanmaz çelik konkav yüzeyi  $R=3962$  mm, yalıtım birimi çapı 1019 mm dir. Yalıtım birimi maksimum yer değiştirmesi 660 mm dir. Yalıtım birimi bu yer değiştirmesi için 3 farklı rijitlik değeri verilmiştir. Yalıtım birimi üst limit değerlerinde  $f_1 = 0.03W$ ,  $f_2 = f_3 = 0.09W$ ; alt limit değerlerinde  $f_1 = 0.005W$ ,  $f_2 = f_3 = 0.07W$  olarak verilmiştir. Gelen maksimum düşey yük deprem anında 6000 kN, statik yük 4000 kN olarak verilmiştir.

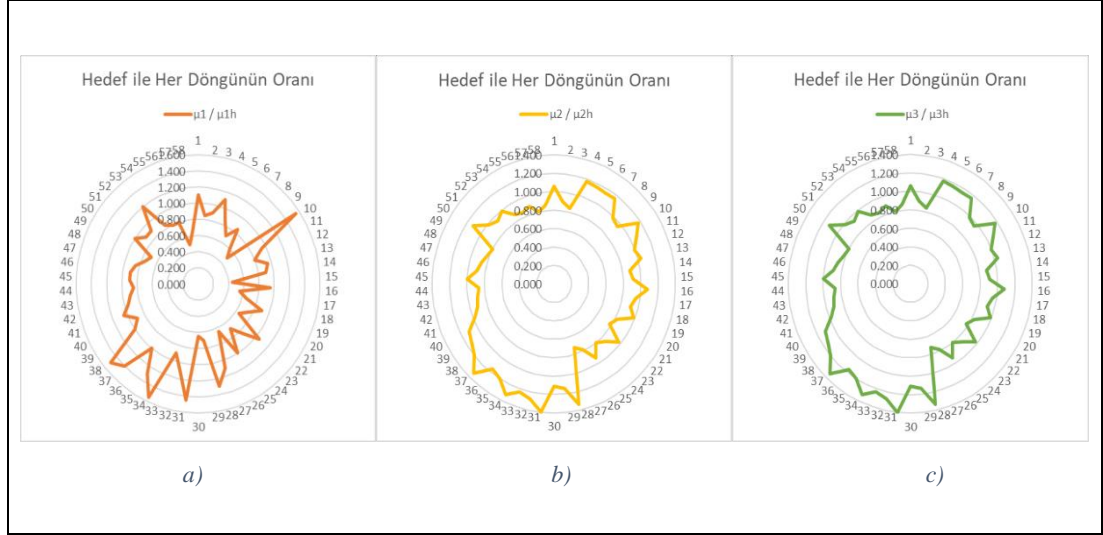
EYSYB/15636 tip yalıtım birimi için 1792 kN, 1454 kN, 1997 kN ve 813 kN düşey yüklerinde; 300 mm, 76.2 mm, 152.4 mm, 449.58 mm için prototip testler yapılmıştır. Buna göre  $\mu_1$  sonuçlarında maksimum %50 değişim,  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  sonuçlarında %15 değişim gözlenmiştir. Test merkezi sürtünme katsayısı sonuçlarının hedef sürtünme ile oranı aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Sonuçlara göre  $\mu_1 / \mu_{1h}$  sonuçlarında maksimum değişim %50 mertebesinde,  $\mu_2 / \mu_{2h}$  ve  $\mu_3 / \mu_{3h}$  sonuçları birbiriyle aynı ve maksimum %40 a kadar değişim göstermektedir. Test sonuçlarında her döngü için  $K_{eff}$  sonuçları ile test merkezinin sonuçlar için hesapladığı  $K_{eff}$  sonucu incelenmiştir. Buradaki değişim % 20 seviyesindedir. Aynı şekilde  $\beta_{eff}$  sonuçları, test merkezi hesabına oranla %20 değişim göstermektedir.

Tablo 4.8: EYSYB/15636 test protokolü.

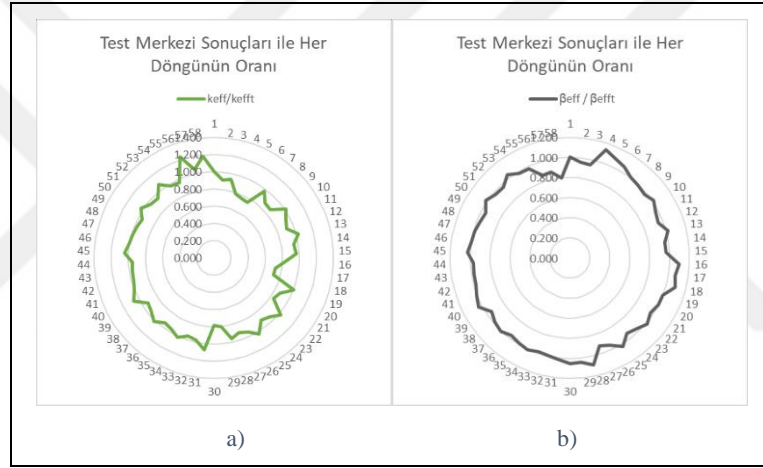
Test Designation	ASCE 7-10 Reference #	# of Cycles	Avg. Vertical Load P (kN)	Min. Displ. $\pm$ D (mm)	Seconds. per Cycle	Test Procedure
QC-300	-----	3	1800 (403 kips)	300 (11.8")	5 s	Dynamic Quality Control Acceptance Criteria
QC-44	-----	3	1800 (403 kips)	44 (1.73")	2 s	Dynamic Quality Control Acceptance Criteria
PT-0	Static Comp. Test	0	2912 (655 kips)	0	-----	Compression Test 2(D+0.5RL) Avg. Isolator. Maintain Load for 1 Min.
PT-1	17.8.2.2.1	20	1456 (327 kips)	50 (1.96")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 4, 5.
PT-2	17.8.2.2.2	3	1456 (327 kips)	75 (3")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-3	17.8.2.2.2	3	1456 (327 kips)	150 (6")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-4	17.8.2.2.2	3	1456 (327 kips)	300 (11.8")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-5	17.8.2.2.2	3	1456 (327 kips)	450 (17.7")	4.69 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-6	17.8.2.2.2	3	1999 (449 kips)	75 (3")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-7	17.8.2.2.2	3	1999 (449 kips)	150 (6")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-8	17.8.2.2.2	3	1999 (449 kips)	300 (11.8")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-9	17.8.2.2.2	3	1999 (449 kips)	450 (17.7")	4.69 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-10	17.8.2.2.2	3	816 (183 kips)	75 (3")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-11	17.8.2.2.2	3	816 (183 kips)	150 (6")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-12	17.8.2.2.2	3	816 (183 kips)	300 (11.8")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-13	17.8.2.2.2	3	816 (183 kips)	450 (17.7")	4.69 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 2, 3, 4.
PT-14	17.8.2.2.3	3	1456 (327 kips)	500 (19.7")	4.69 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 4.
PT-15A	17.8.2.2.4	5	1456 (327 kips)	450 (17.7")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 4, 5, 6.
PT-15B	17.8.2.2.4	5	1456 (327 kips)	450 (17.7")	3.52 s	Compression-Shear Test Acceptance criteria: 1, 4, 5, 6.
QC-300	-----	3	1800 (403 kips)	300 (11.8")	5 s	Dynamic Quality Control Acceptance Criteria
QC-44	-----	3	1800 (403 kips)	44 (1.73")	2 s	Dynamic Quality Control Acceptance Criteria Apply
Capacity Test	17.8.2.5	1	2147 (483 kips)	500 (19.7")	-----	static 2147 kN min. comp. load at min. 500 mm disp. for 60 sec.



Şekil 4.53: Sürtünme katsayısı sonuçları a)  $\mu_{1t} / \mu_1$ , b)  $\mu_{2t} / \mu_2$ , c)  $\mu_{3t} / \mu_3$ .

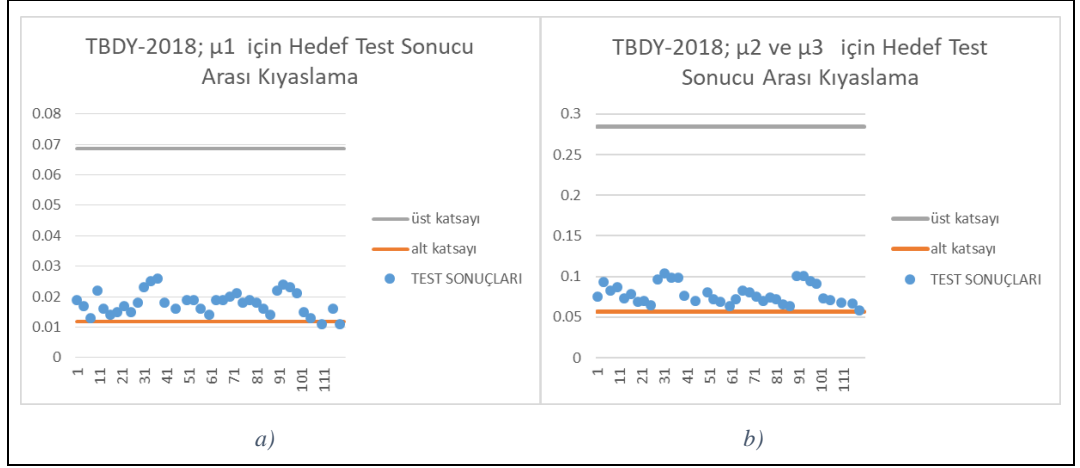


Şekil 4.54: Sürtünme katsayısı sonuçları a)  $\mu_1 / \mu_{1h}$ , b)  $\mu_2 / \mu_{2h}$ , c)  $\mu_3 / \mu_{3h}$ .

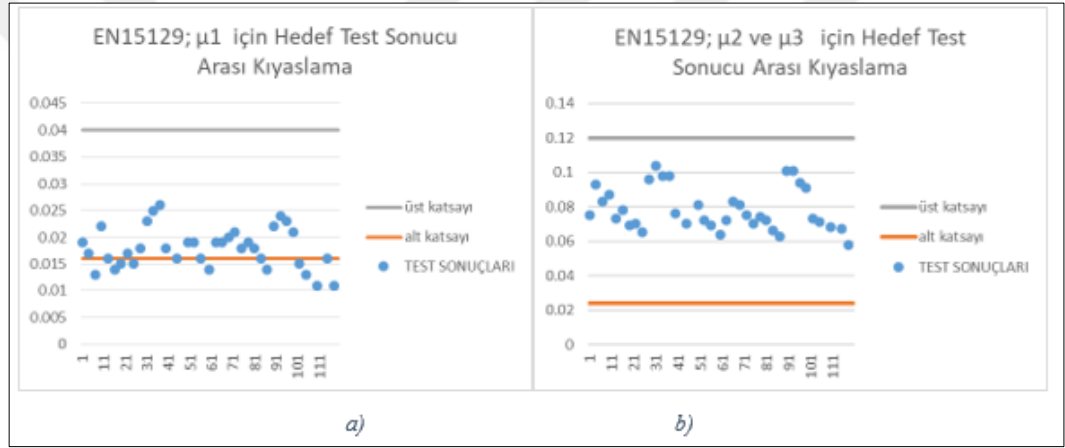


Şekil 4.55:  $K_{eff}$  ve  $\beta_{eff}$  sonuçları a)  $K_{eff} / K_{eff,t}$ , b)  $\beta_{eff} / \beta_{eff,t}$ .

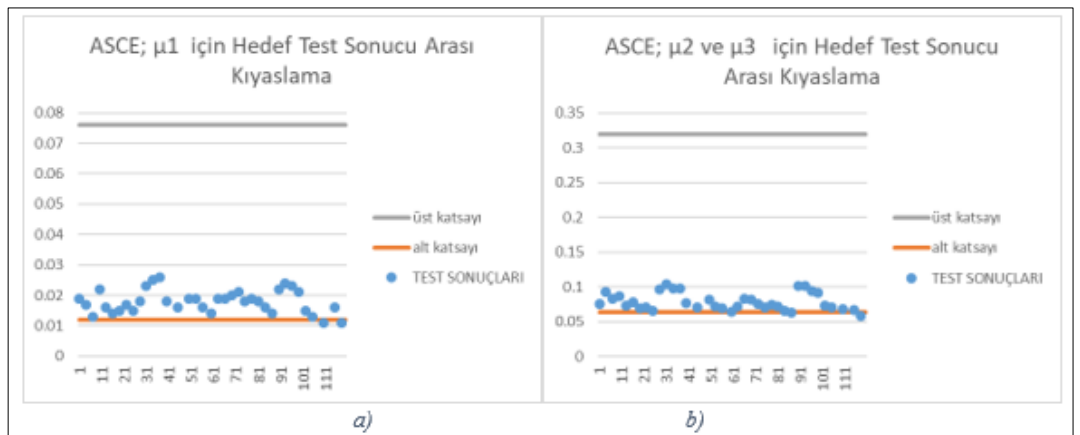
$\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  değerlendirmesinde her yönetmelik için aynı yöntem, farklı katsayılar göz önüne alınmıştır. Bu katsayılar her yönetmelik için şu şekildedir; TBDY-2018:  $\lambda_{alt} = 0.59$  &  $\lambda_{üst} = 2.84$ , EN15129:  $\lambda_{alt} = 0.8$  &  $\lambda_{üst} = 1.2$ , ASCE:  $\lambda_{alt} = 0.6$  &  $\lambda_{üst} = 3.2$ . Değerlendirmelerde prototipler birlikte değerlendirilmiştir ve ilk değerlendirme TBDY-2018 için, ikinci değerlendirme EN15129 için, üçüncü değerlendirme ASCE içindir. TBDY-2018  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar limit değerlerin içindedir. EN15129  $\mu_1$  değerlendirmesi için alt limit değerlerinin altında çıkan sonuçlar bulunmaktadır. Bu testler düşey yükün maksimum olduğu testlerdir.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar limit değerlerin içindedir. ASCE  $\mu_1$  değerlendirmesi için alt limit değerlerinin altında çıkan sonuçlar neredeyse bulunmaktadır.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar limit değerlerin içindedir.



Şekil 4.56: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .



Şekil 4.57: EN15129 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .



Şekil 4.58: ASCE sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

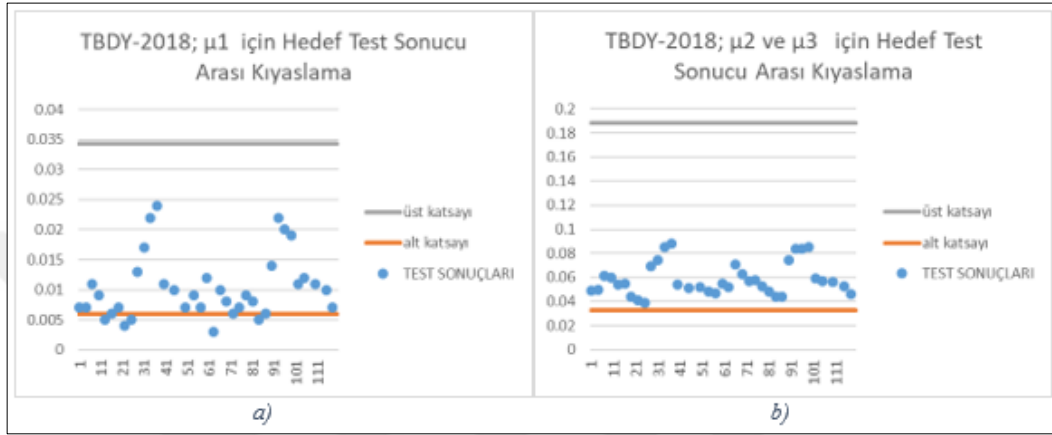
Tüm yalıtım birimleri için değerlendirmeler yapılmıştır ve tablo haliyle özetlenmiştir.

Tablo 4.9: EYSYB için test sonuçları.

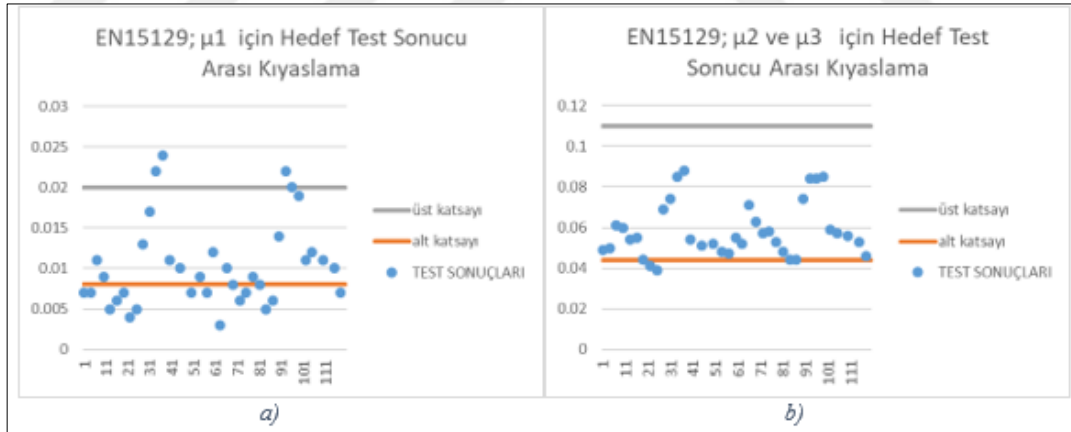
<i>TEST DEĞERLENDİRME / EYSYB TİP</i>	<i>EYSYB/15636 - PROTOTİP 1</i>	<i>EYSYB/15636 - PROTOTİP 2</i>	<i>EYSYB/15656 - PROTOTİP 1</i>	<i>EYSYB/15656 - PROTOTİP 2</i>	<i>EYSYB/15651 - PROTOTİP 1</i>
$\mu_{1t}/\mu_1$	50	35	70	50	75
$\mu_{2t}/\mu_2$	15	15	15	15	22
$\mu_{3t}/\mu_3$	15	15	15	15	22
$\mu_1/\mu_{1h}$	50	50	80	50	250
$\mu_2/\mu_{2h}$	40	40	80	60	70
$\mu_3/\mu_{3h}$	40	40	80	60	70
$K_{eff} / K_{eff,t}$	20	20	20	20	25
$\beta_{eff} / \beta_{eff,t}$	20	20	60	200	38
<i>TEST DEĞERLENDİRME / EYSYB TİP</i>	<i>EYSYB/15651 - PROTOTİP 2</i>	<i>EYSYB/15646 - PROTOTİP 1</i>	<i>EYSYB/15646 - PROTOTİP 2</i>	<i>EYSYB/15651-2 - PROTOTİP 1</i>	<i>EYSYB/15651-2-PROTOTİP 2</i>
$\mu_{1t}/\mu_1$	80	170	150	220	200
$\mu_{2t}/\mu_2$	18	20	20	30	25
$\mu_{3t}/\mu_3$	18	20	20	30	25
$\mu_1/\mu_{1h}$	250	170	160	90	80
$\mu_2/\mu_{2h}$	75	260	210	240	225
$\mu_3/\mu_{3h}$	75	260	210	240	225
$K_{eff} / K_{eff,t}$	25	22	42	21	21
$\beta_{eff} / \beta_{eff,t}$	65	20	20	20	20
<i>TEST DEĞERLENDİRME / EYSYB TİP</i>	<i>EYSYB/15636-2- PROTOTİP 1</i>	<i>EYSYB/15636-2- PROTOTİP 2</i>	<i>EYSYB/15656 - PROTOTİP 1</i>	<i>EYSYB/15656 - PROTOTİP 2</i>	<i>EYSYB/15656 - PROTOTİP 1</i>
$\mu_{1t}/\mu_1$	170	170	220	220	160
$\mu_{2t}/\mu_2$	22	25	22	22	30
$\mu_{3t}/\mu_3$	22	25	22	22	30
$\mu_1/\mu_{1h}$	150	90	70	80	150
$\mu_2/\mu_{2h}$	60	80	220	180	140
$\mu_3/\mu_{3h}$	60	80	220	180	140
$K_{eff} / K_{eff,t}$	60	65	15	20	35
$\beta_{eff} / \beta_{eff,t}$	20	45	15	30	25

EYSYB/15651, ASCE-7 ye göre tasarımılandırılmış ve hedef sürtünme katsayıları net olarak belirtilmiştir. Yalıtım birimi 3 yüzeilidir. Paslanmaz çelik konkav yüzeyi R=3962 mm, yalıtım birimi çapı 1397 mm dir. Yalıtım birimi maksimum yer değiştirmesi 909 mm dir. Yalıtım birimi bu yer değiştirmesi için 3 farklı K değeri verilmiştir. Yalıtım birimi üst limit değerlerinde  $f_1 = 0.02W$ ,  $f_2 = f_3 = 0.065W$ ; alt limit değerlerinde  $f_1 = 0.005W$ ,  $f_2 = f_3 = 0.045W$  olarak verilmiştir. Gelen maksimum düşey yük deprem anında 20000 kN, statik yük 10000 kN olarak verilmiştir. TBDY-2018  $\mu_1$  değerlendirmesi için limit değerlendirmelerin içinde sadece iki test için alt limit değerlerinin dışındadır,  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar limit değerlerin içindedir. EN15129  $\mu_1$  değerlendirmesi için alt ve üst limit değerlerinin altında çıkan sonuçlar bulunmaktadır. Bu testler maksimum düşey yük

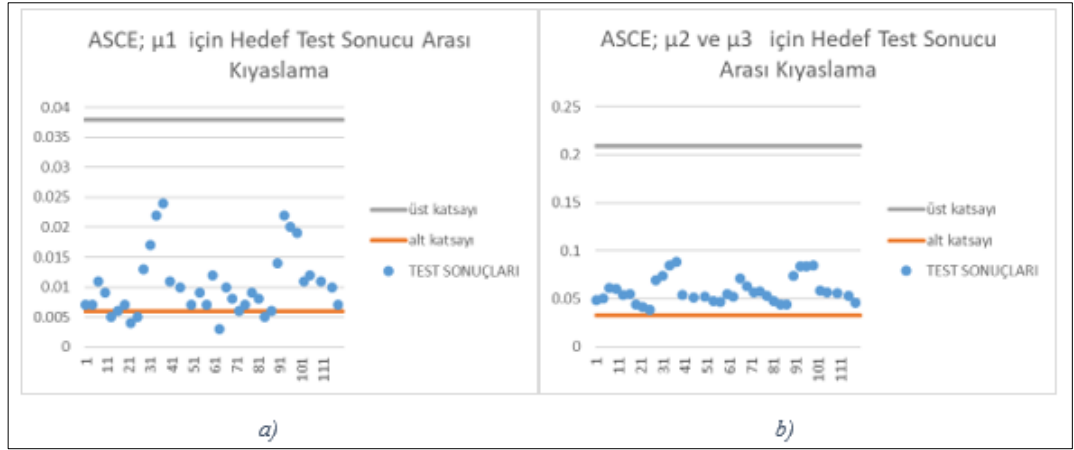
olduğu testlerdir.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar limitlerin içinde, sadece bir test için alt limitin dışındadır. Bu testler yine maksimum yük, minimum yer değiştirmenin olduğu testlerdir. ASCE  $\mu_1$  değerlendirmesi için sonuçlar limit değerlerin içinde, sadece iki test için dışındadır. Bu test düşük yükün fazla, yer değiştirmenin en düşük olduğu itme testidir.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçların tamamı limit değerlerin içindedir.



Şekil 4.59: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

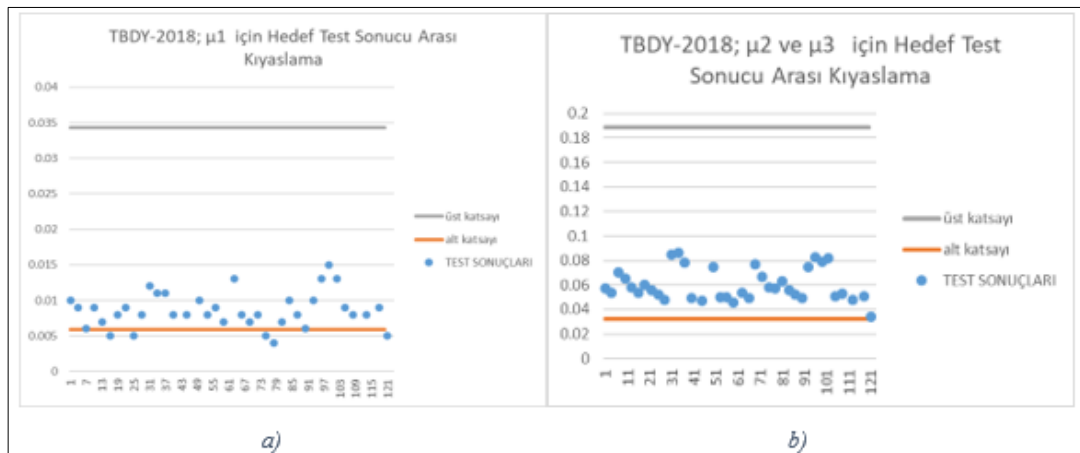


Şekil 4.60: EN15129 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

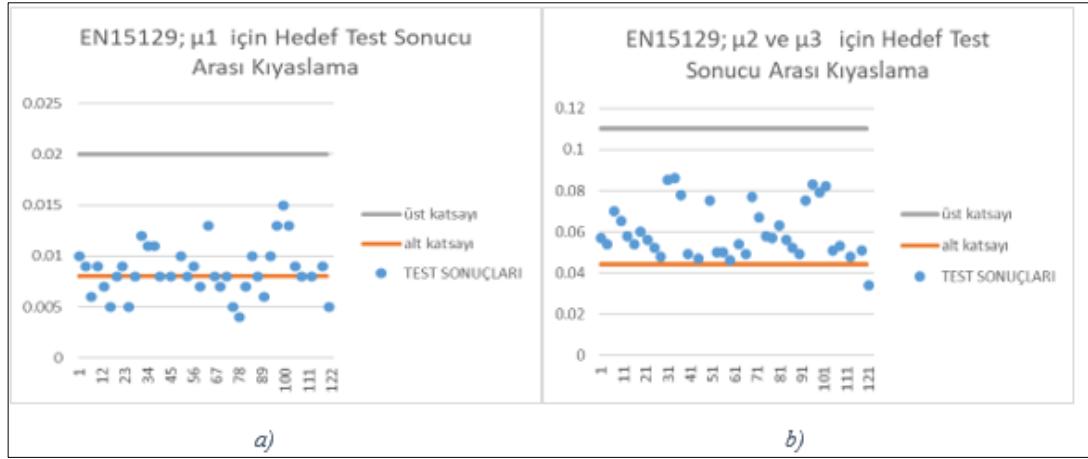


Şekil 4.61: ASCE sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

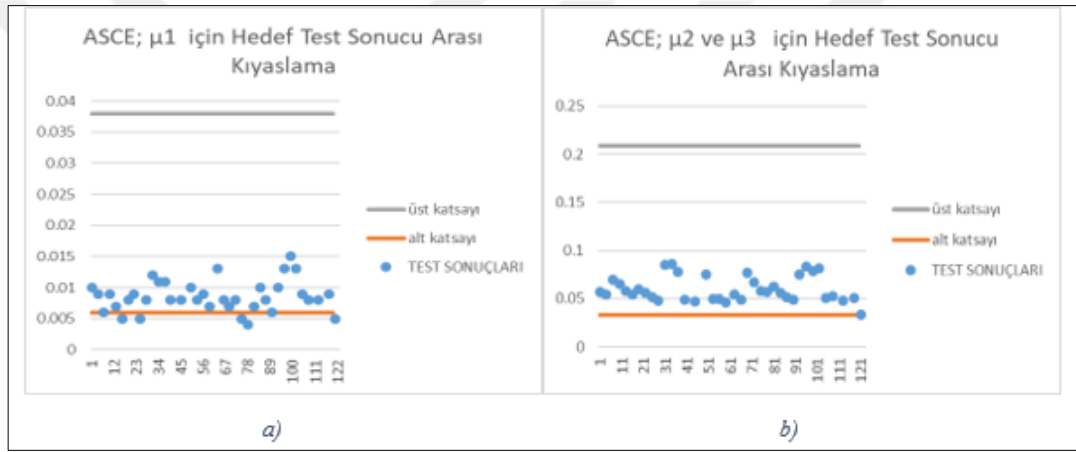
EYSYB/15656, hastane projesi için üretilmiş, iki adet prototipi deneylerle test edilmiştir. ASCE-7 ye göre tasarımılandırılmış ve hedef sürtünme katsayıları net olarak belirtilmiştir. Yalıtım birimi 3 yüzevidir. Paslanmaz çelik konkav yüzeyi  $R= 3962$  mm, yalıtım birimi çapı 1524 mm dir. Yalıtım birimi maksimum yer değiştirmesi 876 mm dir. Yalıtım birimi üst limit değerlerinde  $f_1 = 0.02W$ ,  $f_2 = f_3 = 0.065W$ ; alt limit değerlerinde  $f_1 = 0.005W$ ,  $f_2 = f_3 = 0.045W$  olarak verilmiştir. Gelen maksimum düşey yük deprem anında 32000 kN, statik yük 18000 kN olarak verilmiştir. TBDY-2018  $\mu_1$  değerlendirmesi için alt limit değerlerinin de altında sonuçlar,  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçların çoğu limit değerlerinin arasındadır. EN15129  $\mu_1$  değerlendirmesi için alt limit değerlerinin altında çıkan sonuçlar bulunmaktadır.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar genel olarak limit değerlerin arasındadır. ASCE  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçların tamamı limit değerlerinin içindedir.



Şekil 4.62: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

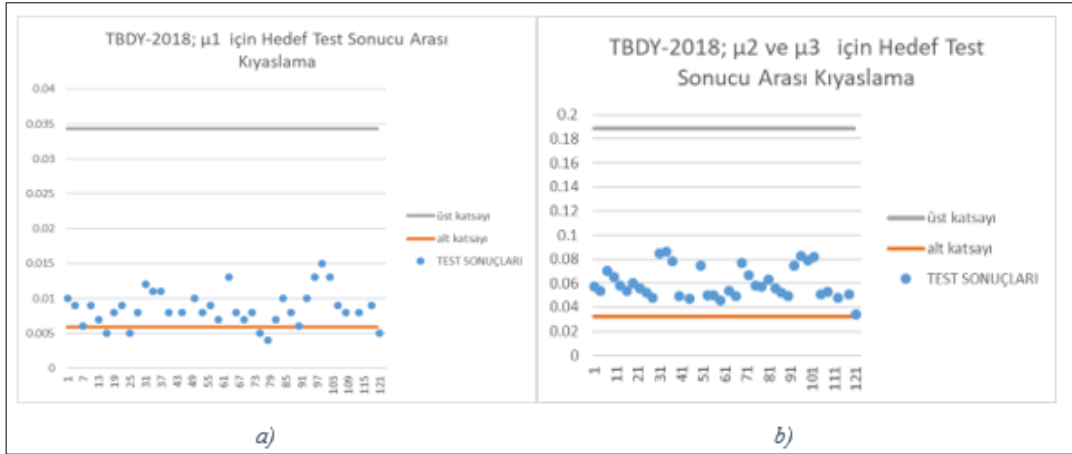


Şekil 4.63: EN15129 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

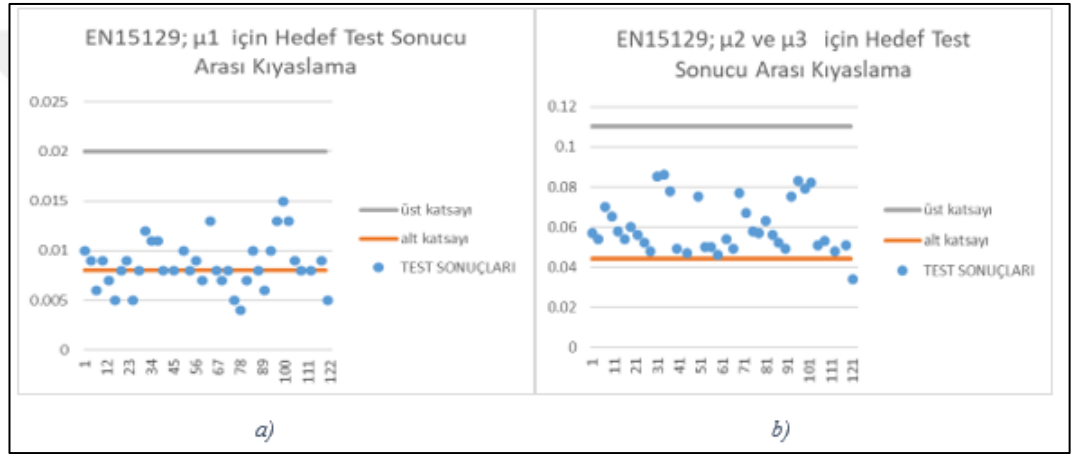


Şekil 4.64: ASCE sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

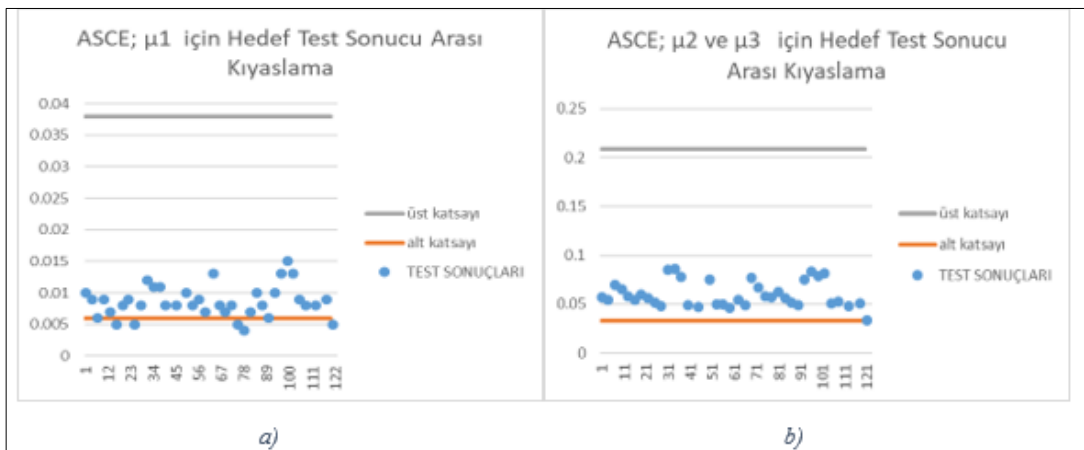
EYSYB/15656 yalıtım birimi tasarımında statik yük 16956 kN, dinamik düşey yük 35000 kN dur. YB yer değiştirme kapasitesi 850 mm dir. YB konkav yüzey eğrilik çapı  $R=3962$  mm, YB çağı 1524 mm dir. YB için 3 farklı rijitlik değeri tanımlanmıştır. Sürtünme katsayıları  $f_1=0.01$ ,  $f_2=0.025$ ,  $f_3=0.06$  olarak verilmiştir. Tablo 28 test protokolü verilmiştir. TBDY-2018  $\mu_1$  değerlendirmesi için limit değerlendirmelerin içinde sadece 3 test için alt limit değerlerinin dışındadır,  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar limit değerlerin içindedir. EN15129  $\mu_1$  değerlendirmesi için alt limit değerinin dışında çıkan sonuçlar bulunmaktadır.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlardan bazıları limitlerin dışındadır. ASCE  $\mu_1$  değerlendirmesi için sonuçlar limit değerlerin içinde, sadece iki test için dışındadır. Bu test düşey yükün fazla, yer değiştirmenin en düşük olduğu itme testidir.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçların tamamı limit değerlerin içindedir.



Şekil 4.65: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .



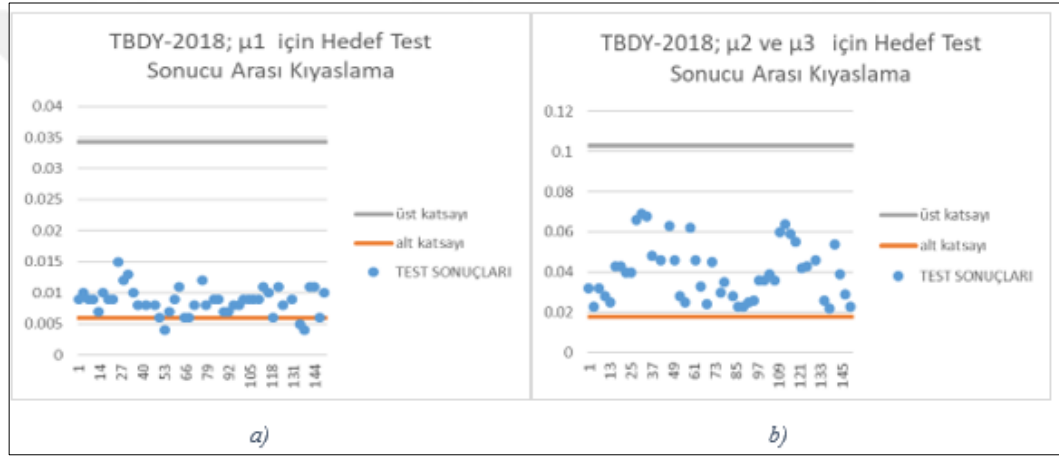
Şekil 4.66: EN15129 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .



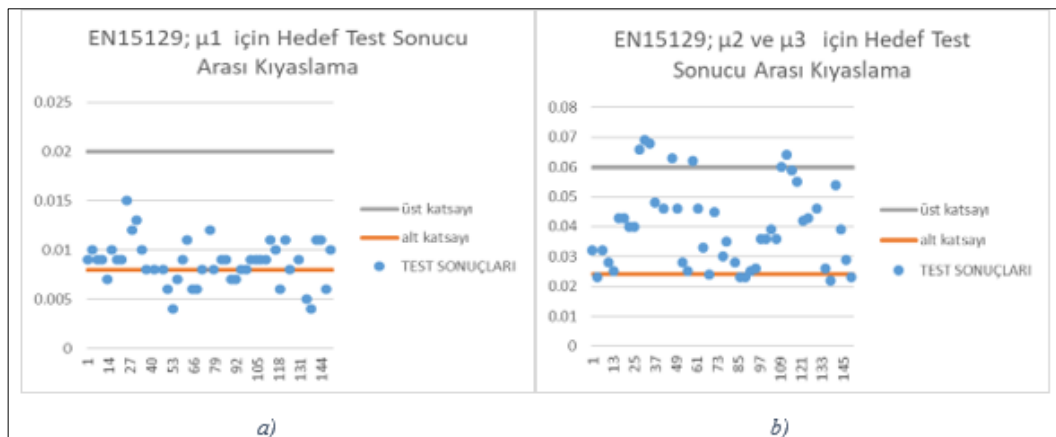
Şekil 4.67: ASCE sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

EYSYB/15646 tipi 820 mm yer değiştirme kapasitesi olan, statik düşey kuvveti 7446 kN, dinamik düşey kuvveti 16700 kN olan prototip EYYB dir. YB konkav çapı

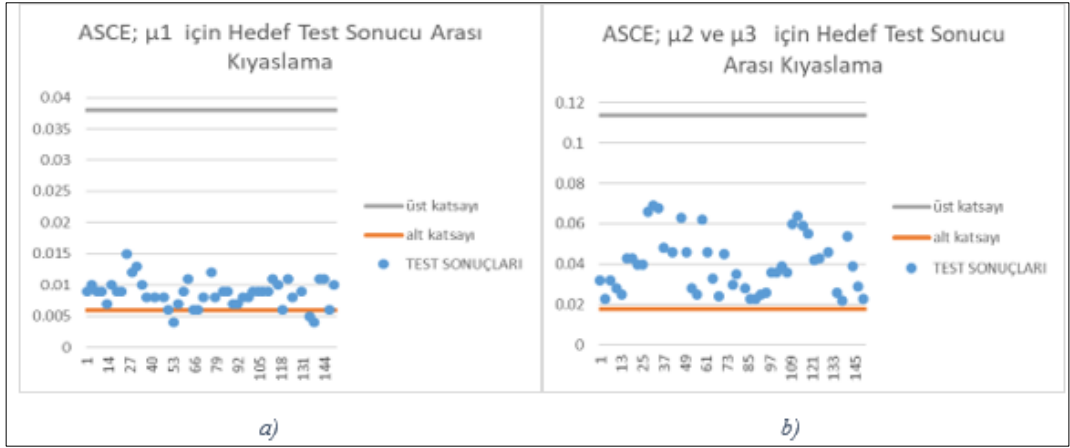
R=3962 mm, YB çapı 1270 mm dir. YB için beklenen sürtünme katsayısı değerleri  $f_1=0.01$ ,  $f_2=0.025$ ,  $f_3=0.06$  dir. Yalıtım birimi test kriterleri ASCE-7 için hazırlanmıştır ve Tablo 29 da verilmiştir. TBDY-2018  $\mu_1$  değerlendirmesi için limit değerlendirmelerin içinde sadece 2 test için alt limit değerlerinin dışındadır,  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar limit değerlerin içindedir. EN15129  $\mu_1$  değerlendirmesi için alt limit değerinin dışında çıkan sonuçlar bulunmaktadır.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlardan bazıları limitlerin dışındadır. Bu testler yine maksimum yük, minimum yer değiştirmenin olduğu testlerdir. ASCE  $\mu_1$  değerlendirmesi için sonuçlar limit değerlerin içinde, sadece iki test için dışındadır.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçların tamamı limit değerlerin içindedir.



Şekil 4.68: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

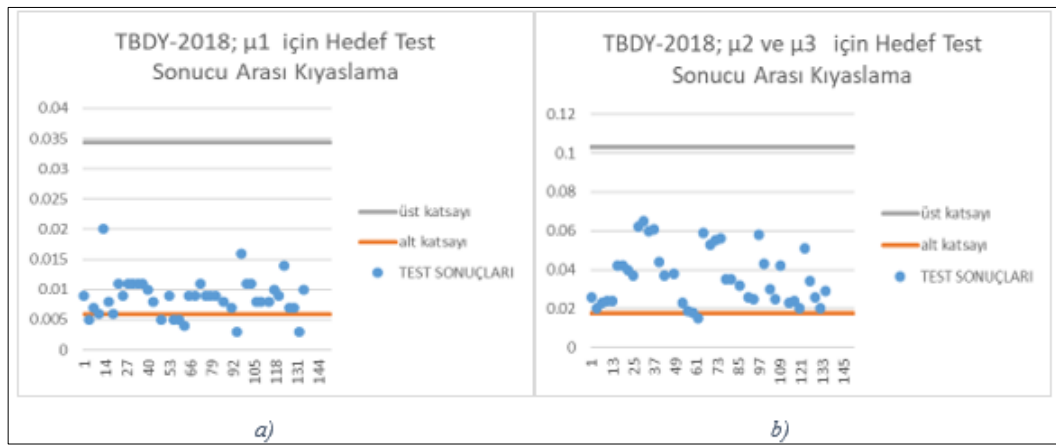


Şekil 4.69: EN15129 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

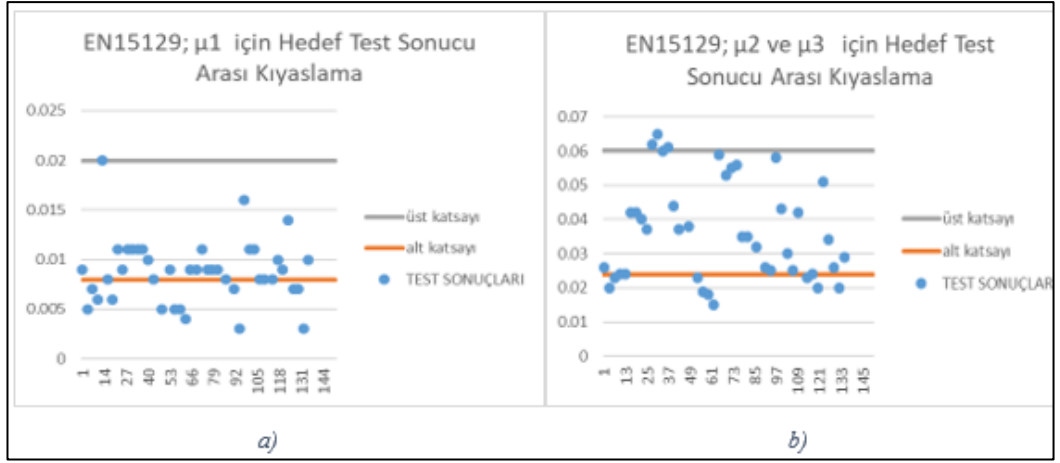


Şekil 4.70: ASCE sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

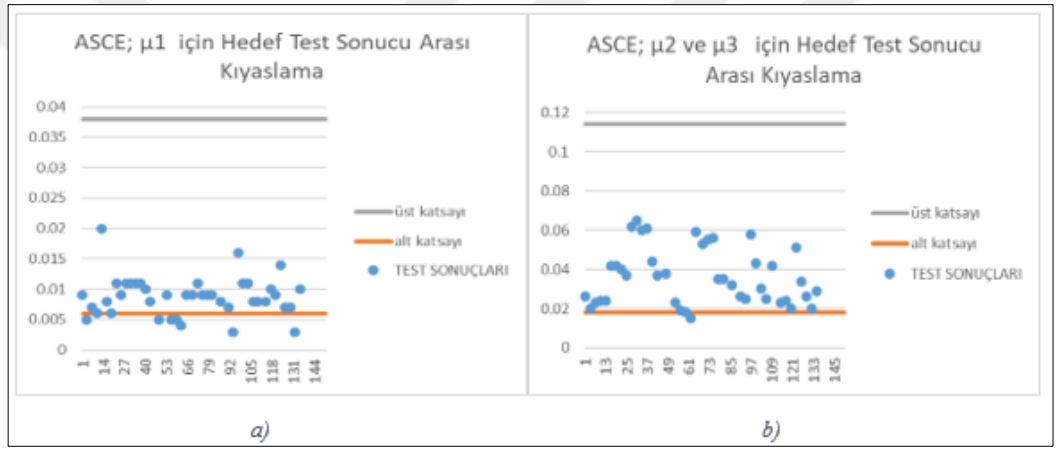
EYSYB/15651 hastane projesinde kullanılmış, 2 adet prototipi üretilmiş ve test edilmiştir. Test kriterleri ASCE-7 baz alınarak uygulanmıştır. Düşey yük kapasitesi statik durum için 10800 kN, deprem durumu için 24800 kN dur. Yer değiştirme kapasitesi 850 mm dir. EYSYB konkav yüzey çapı  $R=3962$  mm, YB çapı= 1397mm, sürtünme katsayıları  $f_1=0.01$ ,  $f_2=0.025$ ,  $f_3=0.06$  dır. TBDY-2018  $\mu_1$  değerlendirmesi için limit değerlendirmelerin içinde sadece 2 test için alt limit değerlerinin dışındadır,  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar bir döngü dışında limit değerlerin içindedir. EN15129  $\mu_1$  değerlendirmesi için alt limit değerinin dışında çıkan sonuçlar bulunmaktadır.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlardan bazıları limitlerin dışındadır. Bu testler yine maksimum yük, minimum yer değiştirmenin olduğu testlerdir. ASCE  $\mu_1$  değerlendirmesi için sonuçlar limit değerlerin içinde, sadece 3 test için dışındadır.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde limit değerlerin içindedir.



Şekil 4.71: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .



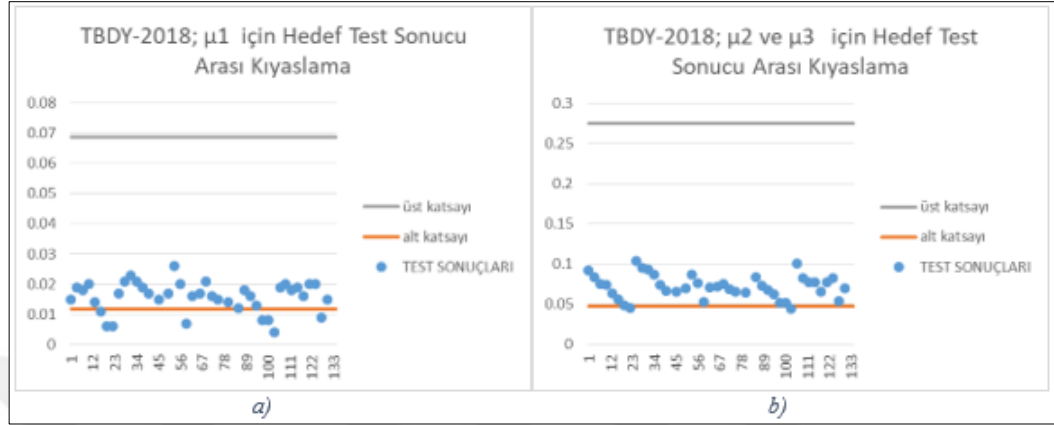
Şekil 4.72: EN15129 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .



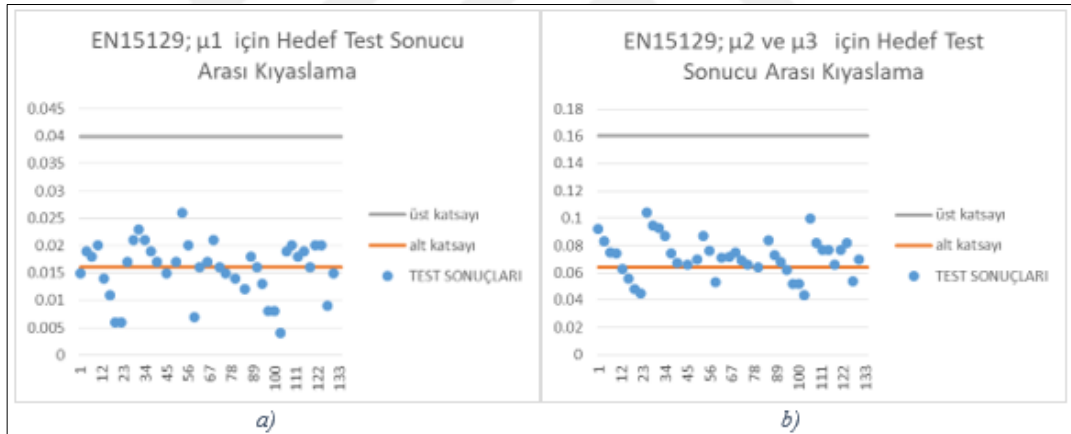
Şekil 4.73: ASCE sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

EYSYB/15636 iki adet prototipi deneylerle test edilmiştir. ASCE-7 ye göre tasarımılandırılmış ve hedef sürtünme katsayıları net olarak belirtilmiştir. Yalıtım birimi 3 yüzevidir. Konkav yüzeyi  $R= 3962$  mm, yalıtım birimi çapı 1019 mm dir. Yalıtım birimi maksimum yer değiştirmesi 660 mm dir. Yalıtım birimi bu yer değiştirmesi için 3 farklı rijitlik değeri verilmiştir. Yalıtım birimi üst limit değerlerinde  $f_1 = 0.03W$ ,  $f_2 = f_3 = 0.09W$ ; alt limit değerlerinde  $f_1 = 0.005W$ ,  $f_2 = f_3 = 0.07W$  olarak verilmiştir. Gelen maksimum düşey yük deprem anında 6000 kN, statik yük 4000 kN olarak verilmiştir. Prototip test Tablo 32 de verilmiştir. TBDY-2018  $\mu_1$  değerlendirmesi için 3 test dışında limit değerlendirmelerin içindedir,  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar limit değerlerin içindedir. Değişen test sonuçları düşey yükün değişmesi veya yer değiştirmenin değişmesiyle fark etmektedir. EN15129  $\mu_1$  değerlendirmesi için alt limit değerinin dışında çıkan sonuçlar bulunmaktadır.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$

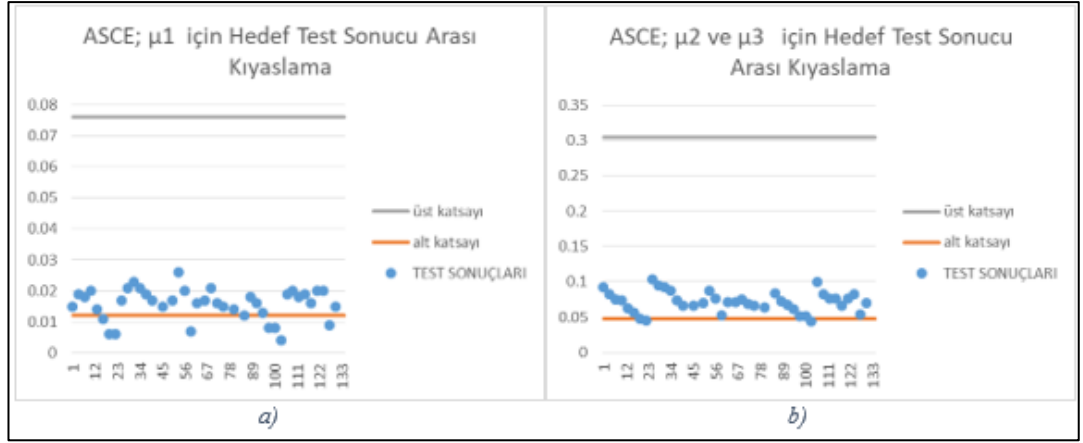
her iki durum içinde sonuçlardan minimum yer değiştirme testleri bu sonuçların dışındadır. ASCE  $\mu_1$  değerlendirmesi için sonuçlar limit değerlerin içinde, sadece üç döngü için dışındadır.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçların tamamı limit değerlerin içindedir.



şekil 4.74: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

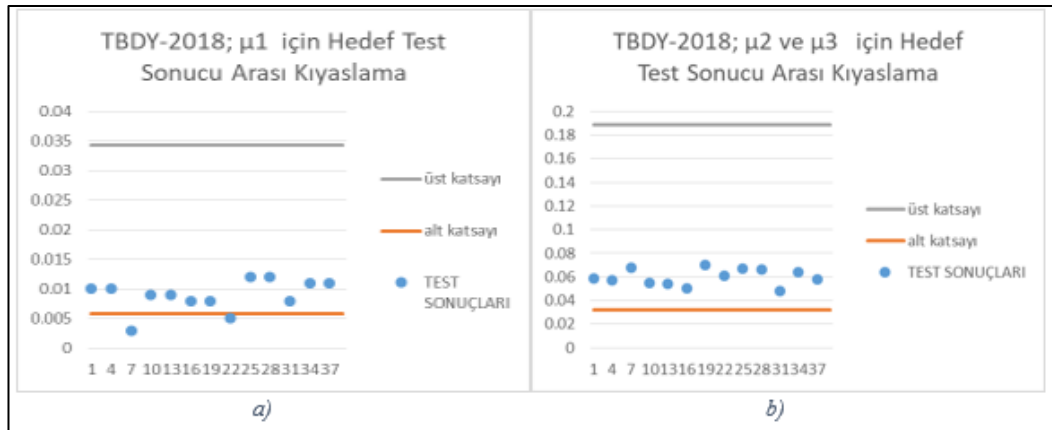


şekil 4.75: EN15129 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

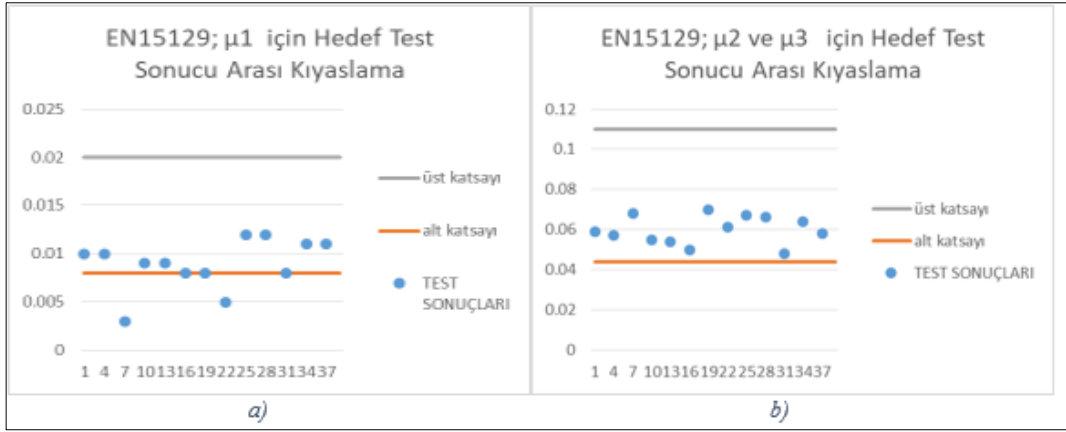


Şekil 4.76: ASCE sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

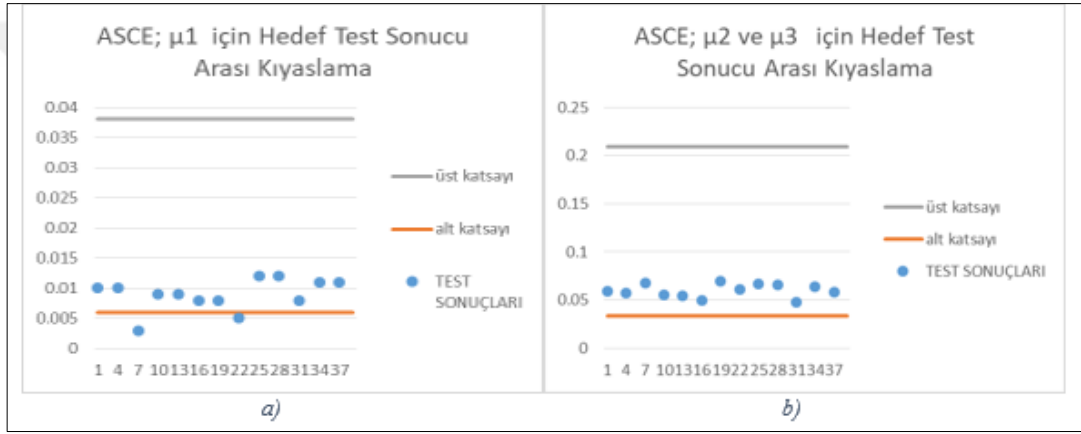
EYSYB/15656 ASCE-7 ye göre tasarımılandırılmış ve hedef sürtünme katsayıları net olarak belirtilmiştir. Yalıtım birimi 3 yüzeylidir. Paslanmaz çelik konkav yüzeyi  $R= 3962$  mm, yalıtım birimi çapı 1524 mm dir. Yalıtım birimi maksimum yer değiştirmesi 876 mm dir. Yalıtım birimi bu yer değiştirmesi için 3 farklı K değeri verilmiştir. Yalıtım birimi üst limit değerlerinde  $f_1 = 0.02W$ ,  $f_2 = f_3 = 0.065W$ ; alt limit değerlerinde  $f_1 = 0.005W$ ,  $f_2 = f_3 = 0.045W$  olarak verilmiştir. Gelen maksimum düşey yük deprem anında 32000 kN, statik yük 18000 kN olarak verilmiştir. TBDY-2018  $\mu_1$  değerlendirmesi için bir döngü dışında limit değerlendirmelerin içindedir.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçlar limit değerlerin içindedir. EN15129  $\mu_1$  değerlendirmesi için alt limit değerinin dışında çıkan sonuçlar bulunmaktadır. ASCE  $\mu_1$  değerlendirmesi için sonuçlar limit değerlerin içinde, sadece iki döngü için dışındadır.  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  her iki durum içinde sonuçların tamamı limit değerlerin içindedir.



Şekil 4.77: TBDY-2018 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .



Şekil 4.78: EN15129 sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .



Şekil 4.79: ASCE sürtünme katsayılarının  $\lambda_{alt}$  ve  $\lambda_{üst}$  için sonuçları a)  $\mu_1$ , b)  $\mu_2$  ve  $\mu_3$ .

İncelenen yalıtım birimi test prosedürlerine göre yalıtım birimlerinde düşey yükün maksimum olduğu testlerde rijitlikler arasında büyük değişimler gözlenmiştir. Düşey yüke bağlı değişimler hem EYSYB test sonuçlarında hem de LRB test sonuçlarında görülmüştür. Düşey yükün maksimum olduğu, özellikle minimum yer değiştirme olan testlerde ikincil rijitlikler arasındaki fark büyüktür.

Test sonuçlarında küçük yer değiştirmelerde yapılan testlerde, bu testler rüzgâra karşı dayanım kontrolleri de olsa, hesap rijitliği ile %100Tq altındaki ikincil rijitliği arasında büyük farklar gözlenmiştir. Yer değiştirmenin minimum olduğu sadece 1.rijitliğin kontrol edildiği rüzgâra karşı kontrol testlerinde, %25D, %50D, %100D gibi artan yer değiştirmeler için yapılan testlerde yer değiştirme arttıkça ve Tq seviyesine geldikçe ikincil rijitlikle arasındaki farkın azaldığı görülmüştür. Çünkü bu testlerde esas olarak incelenen birincil rijitliktir. Birincil rijitlik LRB de kurşunla, EYSYB de de ilk sürtünmeyle alakalıdır. Bu testlere örnek olarak LRB/970 test 4a,

5a,5d,5e,6a, LRB/1220 test 4 gibi testler örnek gösterilebilir. Bu testlerde net olarak çıkarılan  $T_q$  nun %100ü için hesaplanan ikincil rijitlik değeri, %100 yer değiştirmede uyumludur. Azalan yer değiştirmelerde beklenilenden büyük rijitlikler, artan yer değiştirmelerde beklenilenden küçük rijitlikler görülmüştür.

Frekansa bağlı testlerde yalıtım biriminin 3 farklı frekansta testleri yapılmaktadır ve bunların birbiriyle uyumu kontrol edilmektedir. Tez kapsamında yüksek frekansta yapılan testlerde beklenen aralıkta sonuç alınmadığı net olarak görülmüştür. Yalıtım birimleri için frekans testlerinde EN15129, 0.5Hz, 1Hz ve 2Hz de kontrol edilmesini önermiştir ve bunların arasındaki uyumu kontrol etmektedir. Özellikle yüksek frekansta yapılan testlerde beklenilenden çok daha büyük rijitlikler çıktığı net olarak görülmüştür. Bunlara örnek olarak LRB/1020, LRB/1120, LRB/1220 verilebilir.

$K_{2(+)}$  ve  $K_{2(-)}$  arasında yapılan değerlendirilmelerde LRB' lerde kurşunun ilk döngüye verdiği tepkinin daha fazla olması sebebiyle, EYSYB' nde ilk kuvvetin aşılmasıyla hesaplanan sürtünmeden ve (+), (-) döngülerde  $K_2$ ' lerin değişmesi sebebiyle test döngülerinde hesaplanan rijitliklerde değişimler görülmüştür. Bu değişimler bazı testlerde 2 katına kadar olsa da bazı testlerde %20 mertebededir.

Test prosedürlerinde sürtünme katsayısı için alt ve üst limitler ile kontrol yapılmaktadır. Yapılan kontroller sürtünme katsayısının değişen yer değiştirmeleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Tek, çift veya üç yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinde kayma yüzeylerinin farklı olabileceği ve yer değiştirmeye bağlı olarak farklı yüzeylerin etkin olabileceği algısı doğrudur. Fakat bununla birlikte sürtünme, üzerine gelen düşey kuvvete göre de farklılık göstermektedir. Bu farklılığı aşağıdaki tablo ile özetlemek mümkündür. Örnek bir EYSYB/15651 in aynı yer değiştirme, değişen düşey kuvvetler için kontrolleri yapılmıştır. Bu kontrollerde her testin her döngüsünde çıkan sürtünme katsayıları verilmiştir. Değişen düşey yükler doğrultusunda değişen sürtünme katsayıları birbiriyle kıyaslanmıştır.

Tablo 4.10: Düşey yüke bağlı değişen sürtünme katsayıları.

döngü no	dikey yük	yer değiştirme	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$k_{eff}$	$\beta_{eff}$	$\mu_{1t}$	$\mu_{1r}$	$\mu_{1l}$	$k_{efft}$	$\beta_{efft}$	$\mu_{1h}$	$\mu_{2h}$	$\mu_{3h}$
1	247	4.4	0.015	0.07	0.07	0.000591	0.4019	0.013	0.069	0.069	0.000711	0.3911	0.01	0.055	0.055
2			0.013	0.069	0.069	0.000635	0.3931								
3			0.01	0.068	0.068	0.000576	0.3866								
1	1005	4.4	0.014	0.064	0.064	0.00062	0.4003	0.011	0.061	0.061	0.000649	0.3962	0.01	0.055	0.055
2			0.012	0.06	0.06	0.000516	0.3952								
3			0.008	0.059	0.059	0.000549	0.3828								
1	1770	4.4	0.009	0.06	0.06	0.00059	0.3827	0.009	0.053	0.053	0.000595	0.3876	0.01	0.055	0.055
2			0.009	0.052	0.052	0.000513	0.3932								
3			0.007	0.046	0.046	0.000457	0.3844								

Tablo 4.11 Farklı düşey yüklerdeki sürtünme katsayılarının oranı.

247 - 1005 karşılaştırma												
$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$k_{eff}$	$\beta_{eff}$	$\mu_{1r}$	$\mu_{1r}$	$\mu_{1r}$	$k_{effr}$	$\beta_{effr}$	$\mu_{1h}$	$\mu_{2h}$	$\mu_{3h}$
1.071	1.094	1.094	0.953	1.004	1.182	1.131	1.131	1.096	0.987	0.0100	0.0550	0.0550
1.083	1.150	1.150	1.231	0.995								
1.250	1.153	1.153	1.049	1.010								
1005 - 1770 karşılaştırma												
1.556	1.067	1.067	1.051	1.046	1.222	1.151	1.151	1.091	1.022	0.0100	0.0550	0.0550
1.333	1.154	1.154	1.006	1.005								
1.143	1.283	1.283	1.201	0.996								
247 - 1770 karşılaştırma												
1.667	1.167	1.167	1.002	1.050	1.444	1.302	1.302	1.195	1.009	0.0100	0.0550	0.0550
1.444	1.327	1.327	1.238	1.000								
1.429	1.478	1.478	1.260	1.006								

247 inc düşey yük durumu ile 1005 inch düşey yük durumu karşılaştırıldığında %25 e kadar test sonuçlarında fark çıkmıştır. 1005 inch-1770 inch karşılaştırılmasında bu fark %55; 247-1770 inch karşılaştırılmasında %67 seviyesindedir. Bu da sürtünme katsayısının aynı yer değiştirme farklı düşey yükler için ne kadar değiştiğini göstermektedir. Bu durum EYSYB nin prototip kontrollerinin, sürtünme katsayısının düşey yüke bağlı olarak da yapılması gerektiğini göstermektedir.

## 5. SONUÇ

### 5.1. Özet

Tez kapsamında deprem yalıtımlı yapı çalışmaları ve bu çalışmalarda kullanılan yalıtım birimleri incelenmiştir. Yalıtım birimleri türlerine, çeşitlerine, yönetmeliğine, test prosedürüne göre ayrılmıştır. Her yalıtım birimi ve test prosedürüne göre farklı veriler incelenmiş, çıktılar alınmıştır. Yalıtım birimlerinin incelenmesi ve test edilmesiyle ilgili yeni yaklaşım ve önerilerde bulunulmuştur.

### 5.2. Çalışma Çıktıları

Farklı yönetmeliklere, farklı test merkezlerine göre yapılan incelemelerde yalıtım birimlerinin aynı test prosedürleri altında aynı kontrollerin yapıldığı görülmüştür. Yalıtım birimleri aynı amaç için kullanılmasına rağmen hem üretim malzemeleri hem sönümlenme biçimi farklılık göstermektedir. Bu da yönetmeliklerde farklı yalıtım birimleri için farklı test prosedürleri olması gerektiğini göstermektedir. Elastomer yalıtım birimleri test sonuçları arasındaki uyum frekansa, küçük yer değiştirmelere ve sıcaklığa göre büyük değişim göstermektedir. Bu bağlamda ilk ve son döngülerde hem rijitlik değerlerinde hem de sönüm değerlerinde 2 kata kadar değişimler gözlemlenmiştir. Elastomer yalıtım birimlerinde bu değişkenlerin büyük önem arz ettiği ve test prosedürlerinde kesinlikle incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri test sonuçlarının frekansa, düşey yüke, artan yer değiştirmeye göre beklenilenden büyük değişimler gösterdiği görülmüştür. EYSYB de yatay rijitlik kontrolü yer değiştirmenin yanında düşey kuvvete göre de önemli ölçüde değişmektedir ve test prosedürlerinde bu kontrolünde olması gerekmektedir.

### 5.3. Gelecek Çalışmalar

Tez kapsamında EYSYB ve LRB için test prosedürleri ve daha önce yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda yalıtım birimleri için gerek üretim kontrol testlerinde gerek prototip kontrol testlerinde yeni test prosedürleri

oluşturulmasına, kauçuk esaslı ve sũrtũnme esaslı yalıtım birimleri için farklı test prosedũrleri oluşturulmasına zemin hazırlamıştır. Kauçuk esaslı yalıtım birimlerinin hesabında, ¼retici verilerinde ve y¼netmeliklerde artan yer değiştirmeler için 3 rijitlik ile incelenmesi ¼nerilmiřtir. Bu yeni hesap y¼ntemlerine olanak sağlayacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] Kelly T.E., (2001), “Base Isolations of Structures, Design Guidelines”, Holmes Consulting Group Ltd.
- [2] International Conferences of Building Officials, (1991), “Earthquake regulations for seismic-isolated structures”, Uniform Building Code, Chapter 23, Whittier.
- [3] Naeim F., Kelly J.M., (1999), “Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice”, Wiley.
- [4] Taylor A.W., Lin A.N., Martin J.W., (1992), “Performance of Elastomers in Isolation Bearings: A literature Review”.
- [5] Web 1, (2022), <https://www.artyapiproje.com/tabanielasyonu>, (Erişim Tarihi: 10/05/2022).
- [6] Web 2, (2022), <https://arfen.com.tr/sismik-izolatorler>, (Erişim Tarihi: 11/09/2022).
- [7] Türkiye bina deprem Yönetmeliği, (2018), 18 Mart 2018 tarihli 30364 sayılı T.C. Resmi Gazete.
- [8] Web 3, (2022), <https://www.tis.com.tr/>, (Erişim Tarihi: 06/03/2022).
- [9] EN15129, (2017), “Anti seismic devices”, Technical Committee CEN/TC 340, FprEN 15129.
- [10] Alexander Bell, Drive Reston, (2022), “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures”, ASCE7-22.
- [11] Web 5, (2022), <https://www.eucentre.it/shakelab-laboratory/?lang=en>, (Erişim Tarihi: 24/11/2022).
- [12] Web 6, (2022), <https://sismalab.it/>, (Erişim Tarihi: 12/12/2022).
- [13] Web 7, (2022), <https://www.earthquakeprotection.com/>, (Erişim Tarihi: 24/24/2022).
- [14] Web 8, (2022), <https://www.tectonus.com/>, (Erişim Tarihi: 12/12/2022).
- [15] Web 9, (2022), <https://www.ncree.org/conference/About.aspx?n=I20%20170809A0>, (Erişim Tarihi: 25/12/2022).
- [16] Web 4, (2022), <https://eskisehir.edu.tr/tr/>, (Erişim Tarihi: 03/01/2022).

## ÖZGEÇMİŞ

Yeşim Demirci, 2014 yılında Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Lisans programına, 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Deprem ve Yapı Yüksek Lisans programına başlamıştır. 2020 yılında Ar-Ge ve Tasarım Mühendisi olarak özel bir firmada sismik izolatörler ve elastomerik mesnetler üzerinde çalışmaya başlamıştır. 2023 yılında yapı tasarım mühendisi olarak özel bir şirkette çalışmaya başlamıştır.

