

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİSMİK İZOLATÖRLÜ YAPILARIN TASARIMINA  
ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ :  
SAKARYA ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Esra ALASAF**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**  
**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZTÜRK**

**Mayıs 2022**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİSMİK İZOLATÖRLÜ YAPILARIN TASARIMINA  
ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ :  
SAKARYA ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Esra ALASAF**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

**Bu tez 30.05.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Jüri Başkanı**

**Üye**

**Üye**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Esra ALASAF

30.05.2022

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresince karşılaştığım tüm zorluklar için manevi desteğini benden esirgemeyen, sevgili annem Manar JAZMATİ ve babam Ahmad JAZMATİ'e teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca geçirdiğim zorlu süreçte beni hiç yalnız bırakmayan ve bana olan güven ve inancını hiç kaybetmeyen sevgili kocam Suheyl ALASAF'a sonsuz teşekkür ederim.

Bana her zaman umut ve güç veren güzel kızım Juli ALASAF'a özel teşekkürler.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
TABLolar LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

### BÖLÜM 2.

KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. Sismik İzolasyon Sistemi .....	4
2.2. Sismik İzolasyon Tabakasının Farklı Lokasyonları.....	5
2.3. Sismik İzolasyon Sisteminin Ana İlkesi.....	7
2.4. Sismik İzolasyon Sisteminin Kullanma Nedenleri.....	11
2.5. Sismik İzolatör Türleri .....	13
2.5.1. Düşük sönümlü kauçuk izolatörler (LDRB).....	13
2.5.2. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler (HDNR).....	14
2.5.3. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (LRB).....	15
2.5.4. Sürtünme yüzeyli izolatör.....	16

### BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
-------------------------	----

3.1. Yöntem.....	18
3.2. Üst Yapı Modellemesi .....	19
3.3. Analizler.....	21
3.3.1. Kurşun çekirdekli kauçuk sismik izolatör tasarımı .....	21
3.3.2. Yatay elastik tasarım spektrumu .....	21
3.3.3. Yalıtım sistemini belirleyen parametrelerin hesaplanması.....	25
3.3.4. Sismik izolatör tasarımının iteratif akış şeması.....	31
3.3.5. Sismik izolatör tasarımında kullanılacak alt ve üst sınır değerleri .....	32
3.3.6. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin özelliklerinin hesaplanması.....	34
3.3.7. Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitlik değeri (Ev).....	35
3.3.8. Sismik izolasyon sistemlerinin birim şekil değiştirme sınırları ve düşey kararlılığı .....	36

#### BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	41
4.1. İzolatörün Yatay Yerdeğiştirmesi (D) İle Periyot (T) Arasındaki İlişki	41
4.2. İzolatörün Yatay Yerdeğiştirmesi (D) İle Karakteristik Dayanım Oranı (Q/W) Arasındaki İlişki.....	43
4.3. İzolatörün Periyodu (T) İle Taban Kesme Oranı ( $V_D/W$ ) Arasındaki İlişki.....	44
4.4. Taban Kesme Oranı ( $V_D/W$ ) İle Karakteristik Dayanım Oranı (Q/W) Arasındaki İlişki.....	45
4.5. Taban Kesme Oranı ( $V_D/W$ ) İle İzolatörün Desplasmanı (D) Arasındaki İlişki.....	47
4.6. Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmeleri $S_{ae}(T)$ İle Karakteristik Dayanım Oranı (Q/W) Arasındaki İlişki.....	48
4.7. Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmeleri $S_{ae}(T)$ İle İzolatörün Periyodu (T) Arasındaki İlişki.....	50

4.8. Yatay Elastik Tasarım Spektral Yerdeşiştirmeleri $S_{de}(T)$ İle Karakteristik Dayanım Oranı (Q/W) Arasındaki İlişki.....	51
4.9. Yatay Elastik Tasarım Spektral Yerdeşiştirmeleri $S_{de}(T)$ İle İzolatörün Periyodu (T) Arasındaki İlişki.....	53

## BÖLÜM 5.

SONUÇ VE ÖNERİLER .....	55
5.1. Öneriler .....	58
KAYNAKLAR .....	59
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ .....	98

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Elastomer yalıtım birimin brüt kesit alanı
$A_P$	: Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinde kurşun çekirdeğin alanı
$A_r$	: Tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı
b	: Yapının en uzun plan boyu $d'$ ye dik doğrultudaki en kısa plan boyu
B	: Çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı
$B_L$	: Kurşun çekirdek çapı
d	: Yapının en uzun plan boyu
D	: Yalıtım birimi için yerdeğiştirme değeri
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 yerdeğiştirme
$D_{max}$	: Maksimum izolatör deplasmanı
$D_{TM}$	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
$D_y$	: Yalıtım biriminin etkin akma yerdeğiştirmesi
e	: Bileşke dış merkezlik
$E_d$	: Tasarıma esas toplam deprem etkisi
$E_c$	: Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü



ELF	: Equivalent lateral force (Etkin Deprem Yüğü)
$E_o$	: Esneklik modülü
$E_v$	: Düşey rijitlik modülü
F	: Yalıtım biriminde (D) yerdeğıştirmesine karşı gelen dayanım
$F_{max}$	: Maksimum izolatör kuvveti
$F_y$	: Etkin akma dayanımı
$F_Q$	: Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı (kuvvet-yerdeğıştirme çevriminde sıfır yerdeğıştirmeye karşılık gelen kuvvet )
g	: Yer çekimi ivmesi
G	: Sabit yük
$G_v$	: Elastomer malzemenin kayma modülü
H	: Yalıtım birimi toplam yüksekliğı
HDRB	: Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler
K	: Kauçuk malzemenin hacim modülü
KK	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
$k_1$	: Elastomer yalıtım biriminin başlangıç rijitliğı (elastik rijitlik)
$k_2$	: Elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliğı
$k_e$	: D yerdeğıştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik
$k_v$	: Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliğı
LDRB	: Düşük sönümlü kauçuk izolatörler
LRB	: Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör
MİD	: Maksimum izolatör deplasmanı
MİF	: Maksimum izolatör kuvveti
$P_{cr}$	: Yatay yerdeğıştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
$P'_{cr}$	: Yatay yerdeğıştirme olduğu durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
$P_{GA}$	: Peak ground acceleration (En büyük yer ivmesi)
$P_{GV}$	: Peak ground velocity (En büyük yer hızı)
$P_{str}$	: Elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekilde değıştirmeye bağı aksenel yük kapasitesi
R	: Deprem yükü azaltma katsayısı

S	: Şekil katsayısı
S <sub>a</sub>	: Spektral ivme
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
S <sub>ae</sub> (T)	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
S <sub>ae</sub> <sup>(DD-2)</sup> (T <sub>D</sub> )	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde T <sub>D</sub> periyodundaki spektral ivme [g]
S <sub>ae</sub> <sup>(DD-1)</sup> (T <sub>M</sub> )	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde T <sub>M</sub> periyodundaki spektral ivme [g]
S <sub>de</sub> (T)	: Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi [m]
S <sub>DS</sub>	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S <sub>D1</sub>	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S <sub>S</sub>	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S <sub>1</sub>	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
t	: Elastomer katman kalınlığı
t <sub>s</sub>	: Çelik plaka kalınlığı
T	: Doğal titreşim periyodu [s]
T <sub>A</sub>	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T <sub>B</sub>	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T <sub>D</sub>	: Deprem yalıtımlı binanın tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu
T <sub>L</sub>	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T <sub>M</sub>	: En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu
T <sub>r</sub>	: Toplam elastomer kalınlığı
V <sub>D</sub>	: Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için hesaplanan üstyapıya etkileyen kuvvet
V <sub>M</sub>	: En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için hesaplanan üstyapıya etkileyen kuvvet
y	: Yalıtım sistemi rijitlik merkezi ile ilgili eleman arasındaki deprem yüklemesine dik doğrultudaki uzaklık
ZTADO	: Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz

$Q$	: TS 498'e göre azaltılmış hareketli yük
$W$	: Binanın deprem sırasındaki toplam kütleye karşı gelen ağırlığı
$W_d$	: Tüketilen enerji
$\beta_e$	: Etkin sönüm oranı
$\tau_{yp}$	: Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi
$\epsilon_b$	: Elastomer malzemenin kopma birim şekildeğiştirme değeri
$\gamma_{c,E}$	: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirme
$\gamma_{c,st}$	: Basınçtan meydana gelen açısals şekildeğiştirme
$\gamma_{r,st}$	: Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelidönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme
$\gamma_{s,E}$	: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme
$\gamma_{s,st}$	: Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı (genleşme, rüzgar vb.) oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısals şekildeğiştirme
$\eta$	: Sönüm ölçeklendirme katsayısı
$\Delta_s$	: Yatay yüklemeyden meydana gelen yatay yerdeğiştirme miktarı
$\theta_s$	: Tasarım dönme açısı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. 17 Ağustos 1999 depremi [7].....	2
Şekil 1.2. En aktif ülkelerde sismik yalıtımlı toplam yapı sayısı [11].....	3
Şekil 2.1. Bodrumlu izolasyon [14] .....	5
Şekil 2.2. Kattaki izolasyon [14].....	6
Şekil 2.3. Üst izolasyon [14].....	6
Şekil 2.4. Birbirine bağlayan köprü üstü izolasyon [14].....	7
Şekil 2.5. Yanal sismik yükleme nedeniyle ankastre mesnetli bir yapının göçme modeli [6].....	7
Şekil 2.6. Bir deprem sırasında esnek ve rijit yapının davranışı ve özellikleri [16,17].....	8
Şekil 2.7. Esnek bir yapı ile rijit yapı için ivme ve yer değiştirme değerleri arasındaki farktır [16, 17].....	9
Şekil 2.8. Sismik izolasyon sayesinde elde edilen periyot uzamasının ivme üzerindeki etkisi [6].....	9
Şekil 2.9. Sismik izolasyon sayesinde elde edilen periyot uzamasının yer değiştirmeye etkisi [6]. .....	10
Şekil 2.10. (a) EC-8 tasarım spektrumuna göre spektral ivme değişimi (b) Spektral yer değiştirme değişimi [9, 18] .....	11
Şekil 2.11. Deprem sırasında ankastre mesnetli yapı ve sismik izolasyonlu yapının davranışı [1]. .....	11
Şekil 2.12. Soldaki resim müzeler ve sağdaki resim ise ofis binaları [1].....	12
Şekil 2.13. Soldaki resim nükleer tesisler ve sağdaki resim ise gaz tankları [1]....	12
Şekil 2.14. Soldaki resim havaalanları ve sağdaki resim ise endüstriyel tesisler [1].....	13
Şekil 2.15. Yüksek sönümlü kauçuk izolatlara ait kesit görünüşü [23] .....	14

Şekil 2.16. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör [23].....	16
Şekil 2.17. Sürtünme yüzeyli izolatör için genel görünüşü [23].....	17
Şekil 3.1. Üç boyutlu bina modeli b) Kat planı c) A-A akslarına ait düşey kesit görüntüsü d) 1-1 akslarına ait düşey kesit görüntüsü [35] .....	20
Şekil 3.2. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün ideal bilineer kuvvet- yer değiştirme ilişkisi [38].....	25
Şekil 3.3. İzolatör tasarımı için kullanılan iteratif çözüme ait akış şeması [42].....	32
Şekil 3.4. Üst ve alt sınır izolatör kuvvet-yer değiştirme özellikleri [43] .....	33
Şekil 3.5. $A_{re}$ değeri hesaplama yöntemi [38].....	37
Şekil 3.6. Basınçtanın neden olduğu açısız şekilde değiştirme [38] .....	38
Şekil 3.7. Yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısız şekilde değiştirme [38] .....	38
Şekil 3.8. Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki göreceli dönmeden meydana gelen birim şekilde değiştirme [38].....	39
Şekil 4.1. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak izolatörün maksimum yer değiştirme (D) ile izolatörün periyodu (T) arasındaki ilişki.....	41
Şekil 4.2. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak tasarlanan izolatörün maksimum yer değiştirme (D) ile karakteristik dayanım oranı (Q/W) arasındaki ilişki.....	43
Şekil 4.3. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile izolatörün periyodu (T) arasındaki ilişki.....	44
Şekil 4.4. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile karakteristik dayanım oranı (Q/W) arasındaki ilişki.....	46
Şekil 4.5. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile izolatörün desplasmanı (D) arasındaki ilişki. ....	47
Şekil 4.6. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$ ile karakteristik dayanımın oranı (Q/W) arasındaki ilişki.....	49

- Şekil 4.7. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  ile izolatörün periyodu (T) arasındaki ilişki. .... 50
- Şekil 4.8. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri  $S_{de}(T)$  ile karakteristik dayanım oranı arasındaki ilişki... 51
- Şekil 4.9. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri  $S_{de}(T)$  ile izolatörün periyodu (T) arasındaki ilişki... 53

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan lokasyonlar özellikleri [37].....	22
Tablo 3.2. Deprem Yüğü Azaltma ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları [38].....	30
Tablo 3.3. (KÇE) Kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimleri dayanım ve rijitlik parametreleri alt ve üst sınır öneri değerleri [38].....	33
Tablo 3.4. Dayanım ve rijitlik parametreleri için hesaplanan alt ve üst sınır değerler.....	33
Tablo 4.1. İki farklı zemin sınıfı [ZD-ZC] için her lokasyonda maksimum ve minimum tasarlanan izolatörün yer değiştirme değerleri .....	42
Tablo 4.2. İki farklı zemin sınıfı [ZD-ZC] için her lokasyonda maksimum ve minimum $V_D/W$ oranının değerleri.....	45
Tablo 4.3. İki farklı zemin sınıfı [ZD-ZC] için her lokasyonda maksimum ve minimum yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin değerleri.....	49
Tablo 4.4. İki farklı zemin sınıfı [ZD-ZC] için her lokasyonda maksimum ve minimum tasarım spektral yer değiştirmeleri [mm] değerleri .....	52

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Sismik izolasyon, Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, Taban kesme oranı-deplasman grafikleri

Bu çalışmada, yalıtım sisteminin tasarımı TBDY(2018)'de tanımlanan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. TBDY(2018) kriterleri dikkate alınarak, 4 katlı betonarme bir yapı altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün tasarımı yapılmış olup karakteristik dayanım oranı (Q/W) ile periyot (T) değışiminin sismik izolatör davranışa etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bir sismik izolatörün tasarımı farklı zemin sınıfı, periyot ve karakteristik dayanım oranı parametreleri göz önüne alınarak incelenmiştir. Ayrıca, depremsel olarak izole edilmiş yapılarda fay hattından uzaklığın sismik izolasyonlu yapı tepkisi üzerindeki etkisi incelenmiş, bu amaçla Sakarya'da bazıları fay hattına yakın diğerleri fay hattından uzak olmak üzere on altı lokasyon seçilmiştir.

Sismik izolasyon seviyesinde oluşan yerdeğıştirme, kesme kuvveti ve ivme-yerdeğıştirme tepki spektrumları belirlenmiş ve sismik izolatörlerin davranışına etki eden parametreler incelenmiştir.

Tasarımcıların izolasyon sisteminin tasarım parametrelerini hızlı bir şekilde belirlemelerini sağlamak için değerli bir görsel araç olan taban kesme oranı-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca, taban kesme oranı-deplasman metodolojisinin genel kullanımının, yalıtım sistemlerinin hızlı ve doğru ön tasarımını büyük ölçüde kolaylaştırdığı gösterilmiştir.

Araştırmada elde edilen bulgulara göre, fay hattından uzaklığın, zemin sınıfının, izolatör periyot değerin ve karakteristik dayanımının maksimum izolatör deplasmanı (M<sub>İD</sub>) ve maksimum izolatör kuvveti (M<sub>İF</sub>) değerin önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.



# **INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING THE DESIGN OF STRUCTURES WITH SEISMIC INSULATION : SAKARYA CASE**

## **SUMMARY**

Keywords: Seismic isolation, (LRB) the lead-rubber isolator, Base shear ratio-displacement graphics

In this study, the design of the insulation system was carried out using the ELF method defined in Turkish Building Earthquake Code-2018 (TBEC-2018). Taking into account the TBEC-2018 standards, a lead rubber core insulator was designed under a 4-storey reinforced concrete structure and was intended to determine the effect of characteristic strength ratio ( $Q/W$ ), period change ( $T$ ) and characteristic strength ratio parameters on the insulator behavior.

The design of a seismic isolator is investigated by considering different soil class, period and characteristic strength ratio parameters. In addition, the effect of distance from the fault line on seismically isolated structures on the response of the seismically isolated structures was investigated, and for this purpose, sixteen locations were selected in Sakarya, some close to the fault line and others far from the fault line.

Displacement, shear force and acceleration-displacement response spectra occurring at the seismic isolation level were determined and the parameters affecting the behavior of seismic isolators were investigated.

Base shear ratio-displacement graphs are obtained, which are a valuable visual tool to enable designers to quickly determine the design parameters of the isolation system. It has also been shown that the general use of the base shear rate-displacement methodology greatly facilitates the rapid and accurate preliminary design of insulation systems.

According to the findings obtained in the study, it was concluded that the distance from the fault line, soil class, insulator period value and characteristic strength significantly affect the maximum insulator displacement (MID) and maximum insulator force (MIF) values.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Genel olarak herhangi bir yapının tasarımında ölü, hareketli ve sismik yükler esastır. Sabit yüklerin hesaplanması, hareketli yüklerin tahmini ve üzerlerindeki yapı elemanlarının tasarımı doğru bir şekilde yapılmaktadır. Sismik yüklere gelince, bunların ne zaman meydana geldiklerini, merkez üssünü, şiddetlerini, frekanslarını ve yapılarda bunları etkileyen faktörleri belirlemenin yolları üzerinde hala tartışmalar vardır [1].

Depremler, insanların yaşamak zorunda olduğu en tehlikeli doğal afetlerden biridir. Dünya nüfusunun büyük bir kısmı deprem tehdidi altında yaşamaktadır. Geçen yüzyılda, dünya çapında yılda ortalama 20 binden fazla kişi depremlerde hayatını kaybetti ve kayıpların %90'ı gelişmekte olan ülkelerde meydana geldi. Depremlerin oluşmasını önlemek imkansızdır, ancak can ve mal kurtarmak için güçlü deprem sarsıntısının yıkıcı etkilerini azaltmak mümkündür [2]. Deprem, terimsel olarak iki şekilde ifade edilir. Bunlardan biri depremin büyüklüğü öteki ise şiddetidir. Depremin büyüklüğü, deprem sırasında açığa çıkan enerjinin ölçüsüdür. Depremin şiddeti ise depremin meydana geldiği bölgede yarattığı hasarın ölçüsüdür. Bütün depremlerin bir tane büyüklüğü vardır, ancak şiddeti ise bölgenin merkez üssüne olan uzaklığı ile değişir [3]. Bu bağlamda, deprem, mevcut yapının tüm zayıflıklarını ve yetersiz yönlerini ortaya çıkarmasından dolayı, depreme karşı yapının performansı büyük önem kazanmaktadır [4].

Temel sismik yalıtım sistemleri, yapıları yıkıcı deprem kuvvetlerinin etkilerinden korumak için kullanılan en gelişmiş ve yenilikçi çözümlerden biridir. Buna rağmen konsepti yeni değildir. Aksine, sismik izolasyon kavramı ve ilkesi, özellikle deprem bölgelerinde çok uzun süre ayakta kalan tarihi yapılar bunun kanıtı olduğu için antik çağa kadar uzanmaktadır. Hem üst yapı hem de altyapı için kapsamlı bir mühendislik

sistemine göre tasarlanmıştır. Ancak yirminci yüzyılın başında, modern bina yapılarına çelik ve beton dahil edilmiştir. Eski bina sistemlerinin mühendislik kavramının çoğu ülkede tamamen unutulmasının nedeni budur. Yirmi birinci yüzyılda olduğu gibi yirminci yüzyılda da depremler büyük can kayıplarına neden olmuştur. Bir örnek, Türkiye'de 20 bin binanın yıkılmasına ve ağır hasara neden olan 1999 İzmit depremidir (Şekil 1.1.) [5]. Eskiden depremden korunmanın temel ilkesi, sismik titreşimlerin üst yapıya iletilmesini engellemektir. O zamanlar çok katmanlı kesme taşlar üzerine inşa etmek, tahta parçaları yerleştirmek veya zemin ile duvar arasına kum dökmek gibi çeşitli teknikler ve yöntemler kullanılmıştır. Temellerinde sismik yalıtım uygulaması, çoğu tarihi yapının uzun ömürlü olmasının en önemli nedenlerinden biridir [5]. Bu tarihi yapılara İstanbul'daki Ormetash Dikilitaş, İran'daki Cyrus, Yunanistan'daki Erechtheion Tapınağı ve daha birçok önemli tarihi yapı örnek olarak verilebilir [5, 6].

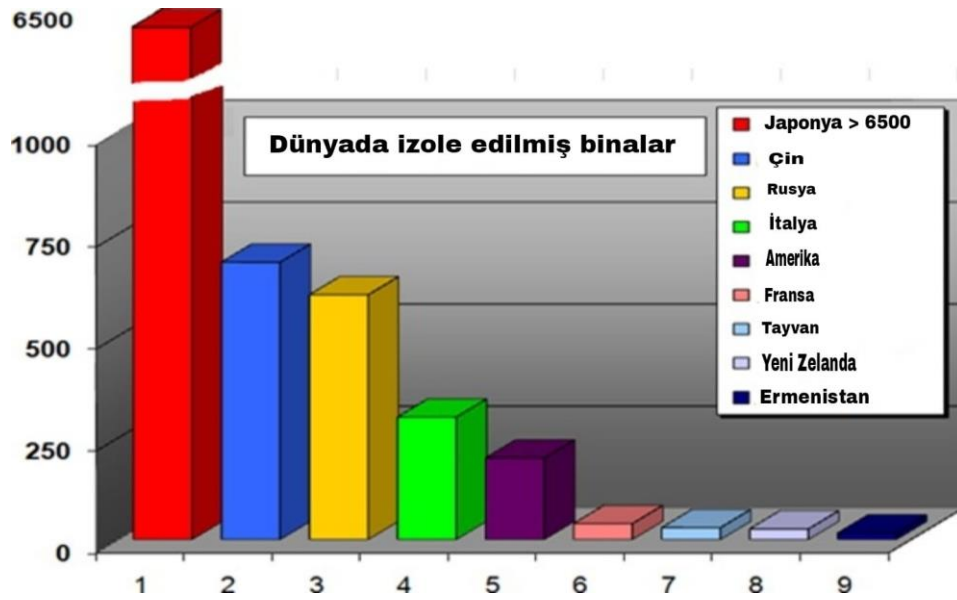


Şekil 1.1. 17 Ağustos 1999 depremi [7].

1970'lerden 2000'lere kadar sismik izolasyon teknolojisi yenilikçi bir performans geliştirme stratejisi olarak önerilmiş olmasına rağmen, günümüzde olgunlaşmış ve tartışmasız en iyi deprem koruma yöntemine dönüştürülmüştür [8-9]. Sağlık yapıları, hastaneler, ulaşım, iletişim, enerji ve havaalanları gibi deprem sonrası hizmete veren stratejik binalarda sismik yalıtım sistemlerinin kullanımı daha yaygın olmasına

rağmen, depremsel olarak aktif ülkelerde konut binaları olarak kullanımları yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu çalışma kapsamında dikkate alınan pasif kontrol sistemlerinden olan sismik taban izolasyon sistemi dünya üzerinde 30'dan fazla ülkede yaklaşık 20.000 yapıda kullanılmaktadır. Çoğunlukla Japonya ve Çin'de olmak üzere Rusya, İtalya, Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, Ermenistan, Tayvan ve Yeni Zelanda gibi birçok ülkede taban izolatörleri yapılarda uygulanmaktadır (Şekil 1.2.) [10]. Ayrıca sismik taban yalıtım sistemi sadece yeni binalarda değil, montajı ve bakımı kolay olduğu için mevcut binaları güçlendirmek için de kullanılmaktadır [11].



Şekil 1.2. En aktif ülkelerde sismik yalıtımlı toplam yapı sayısı [11].

## **BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Sismik İzolasyon Sistemi**

Sismik yalıtım, bir deprem sırasında meydana gelen enerjiyi sönümleyen ve yapının üst kısımlarına zarar gelmesini önleyen pasif kontrol sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Bu teknik, yıkıcı sismik kuvvetlere maruz kalan önemli yapıların davranışını iyileştirmeyi, böylece hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanları korumayı amaçlamaktadır. Sismik yalıtım kullanmanın amacı, binanın depreme dayanma kabiliyetini arttırmaktan ziyade depremin bina üzerindeki talebini azaltmaktadır.

Öte yandan, sismik yalıtım ise temel olarak üst yapı ile alt yapı arasına yerleştirilen sistemlerdir. Yalıtım düzlemi, zemin ile üst yapı arasında ayırıcı bir yüzey oluşturarak, depremlerin veya herhangi bir dış dinamik yükün neden olduğu titreşimlerin taşıyıcı sisteme ulaşmasını engellemektedir. Böylece yapının davranışı elastik bölgede kalmakta ve deformasyonların çoğu sismik izolasyon seviyesinde meydana gelmektedir. Ayrıca, sismik izolatör yatay yönde yeterli esnekliğe ve yer değiştirme kapasitesine ve dikey yönde yeterli rijitliğe sahiptir. Böylece hem düşey yüklere hem de yatay yüklere dayanabilmektedir. Üstelik, sismik izolatörler yapıya göre daha esnek olduğu için yatay hareketlerin çoğu izolatörlerde meydana gelmekte, bunun sonucunda yalıtımlı yapı daha az hareket ve kuvvete maruz kalmaktadır. Bu da üst yapıda oluşan küçük hareketler ve daha az kuvvet sayesinde canlar ve içerikler korunup yapıların tasarımında deprem yer hareketi altında istenen performans düzeylerine varmaktadır.

Kauçuk gibi yatay rijitliği düşük bir malzeme üzerine oturtulan bir bina, deprem sırasında esnek bir tabana sahiptir, bu esnek taban, depremlerin oluşturduğu yüksek frekansları sönümleyerek binanın hasar görmesini veya çökmesini önleyebilmektedir.

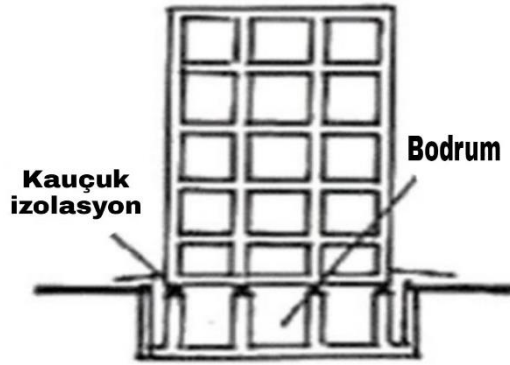
Çoğu uygulamada sismik izolasyon sistemi yapının altına yerleştirildiğinden bu sisteme “taban izolasyonu” denmektedir [12].

Sismik taban yalıtım sistemleri ile ilgili ilk çalışmalar on dokuzuncu yüzyıla uzanmaktadır. Temel sismik izolasyon sistemleri ilk olarak köprülerde, daha sonra yapılarda kullanılmaya başlanmıştır [13].

## 2.2. Sismik İzolasyon Tabakasının Farklı Lokasyonları

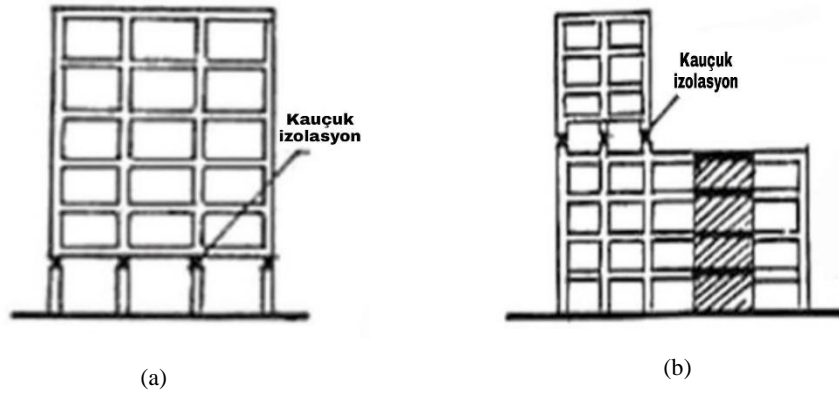
Sismik izolasyon: İzolasyon tabakası binanın tabanında yer almaktadır. Başka bir deyişle, izolatörler bodrum katı olmayan binalarda taban ayağı üzerine monte edilmekte ve bu tip diğer tipler arasında en yaygın olanıdır [14, 15].

Bodrumlu izolasyon: İzolasyon tabakası bodrum kolonlarının üst, alt veya orta kısımlarında yer almaktadır (Şekil 2.1.) [14, 15].



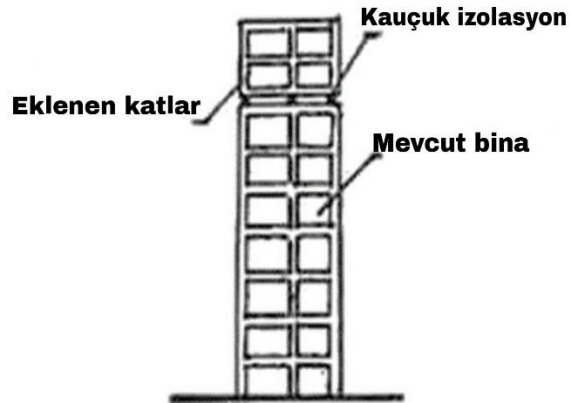
Şekil 2.1. Bodrumlu izolasyon [14].

Kattaki izolasyon: İzolasyon tabakası ilk katın üst kısmında (Şekil 2.2.a) veya belirli bir üstyapı katında yer almaktadır (Şekil 2.2.b) [14].



Şekil 2.2. Kattaki izolasyon [14].

Üst izolasyon: İzolasyon tabakası binanın tepesinde bulunmakta (Şekil 2.3.), sismik güçlendirme için her zaman mevcut binanın üstüne 1-2 kat eklemek için kullanılmaktadır [14].



Şekil 2.3. Üst izolasyon [14].

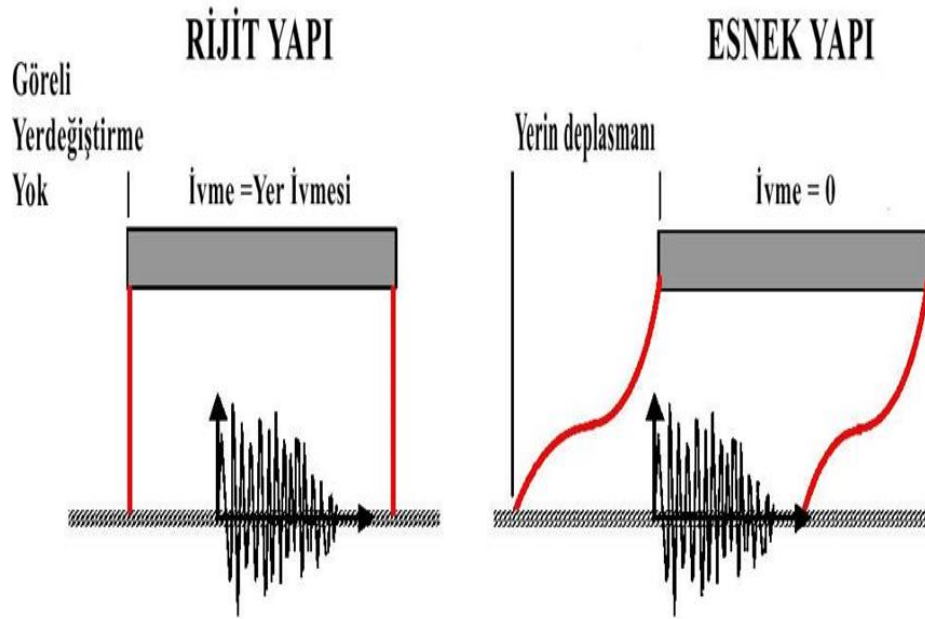
İzolasyonu birbirine bağlayan köprü üstü: İzolasyon tabakası, üst köprü ile birbirine bağlanan binaların farklı model şekillerini ayırmak için üst köprü ve binalar arasındaki bağlantı derzlerinde bulunmaktadır (Şekil 2.4.) [14].



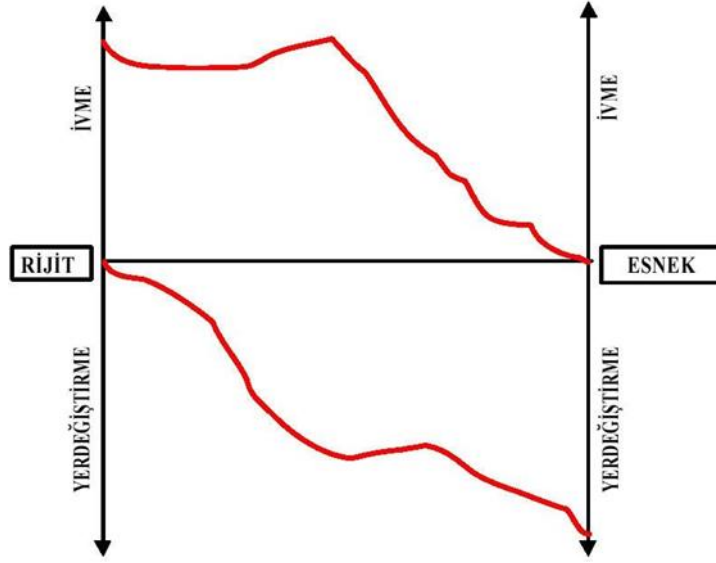


herhangi bir göreceli yer değiştirme olmayacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda yapı deprem ivmesine eşit bir ivme ile harekete zorlanacaktır (şekil 2.6.). Ayrıca, yalıtımsız (rijit) bir yapının doğal periyodu sıfırdır.

Buna ek olarak, yalıtımlı (ideal esnek) bir yapının ivmesi sıfır olacaktır. Bu, yapı ile zemin arasında zeminin yaptığı yer değiştirme kadar bir göreceli yer değiştirmenin olacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda yalıtımlı (esnek) yapının doğal periyodu sonsuzdur. Ek olarak katlar arası oluşan yer değiştirmeler önemli bir miktarla azalır, bu nedenle izolasyon seviyesinin üzerinde bulunan yapı rijit bir kütle gibi davranmaktadır. Başka bir deyişle, üstyapı ve altyapı aynı miktarda hareket etmektedir. Rijit ve esnek yapının deprem sırasındaki davranışı şekil 2.6.'da gösterilmektedir. Ayrıca rijit ve esnek bina için yer değiştirme ve ivme değerleri arasındaki fark şekil 2.7.'de gösterilmektedir.

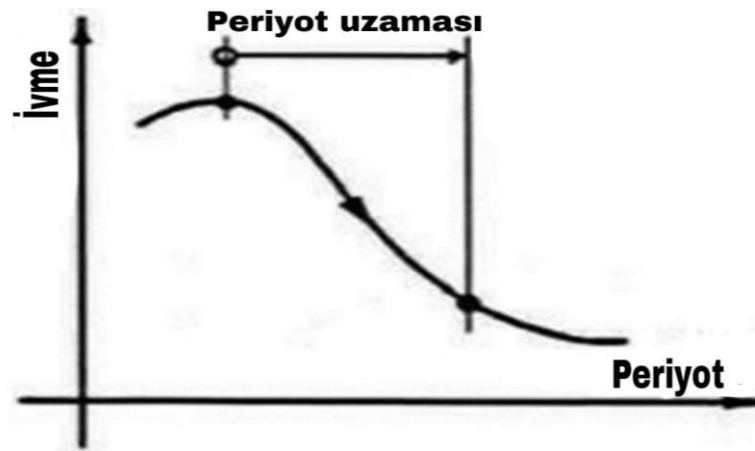


şekil 2.6. Bir deprem sırasında esnek ve rijit yapının davranışı ve özellikleri [16, 17].



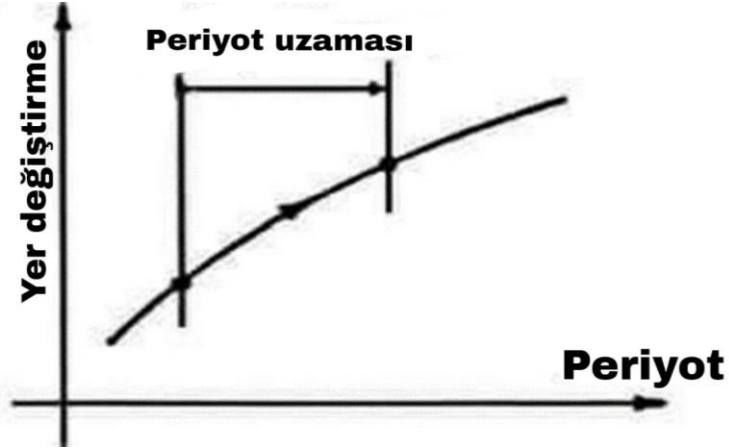
Şekil 2.7. Esnek bir yapı ile rijit yapı için ivme ve yer değiştirme değerleri arasındaki farktır [16, 17].

Sismik taban yalıtımı çalışmasında temel prensip, doğal titreşim periyodunu artırarak yapının sismik tepkisini azaltmaktır. Sismik izolatörler doğal olarak esnek sistemlerdir. İzolatörler sayesinde elde edilen bu esneklik, yapıdaki doğal titreşim periyodunun artmasının temel nedenidir. Dolayısıyla, doğal titreşim periyodundaki bu artış, Şekil 2.8.'de gösterildiği gibi yapıyı etkileyecek ivme değerlerinde önemli bir azalmaya ve yapıda yatay hareket kabiliyetinde bir artışa yol açmaktadır. Buna ek olarak, aynı zamanda taban kesme kuvvetlerinin değerlerinde de bir azalmaya yol açan nedendir. Bu kuvvetlerin azalma miktarı, esas olarak depremin yer hareketinin doğasına ve yalıtımsız yapının periyoduna bağlıdır [16, 6].



Şekil 2.8. Sismik izolasyon sayesinde elde edilen periyot uzamasının ivme üzerindeki etkisi [6].

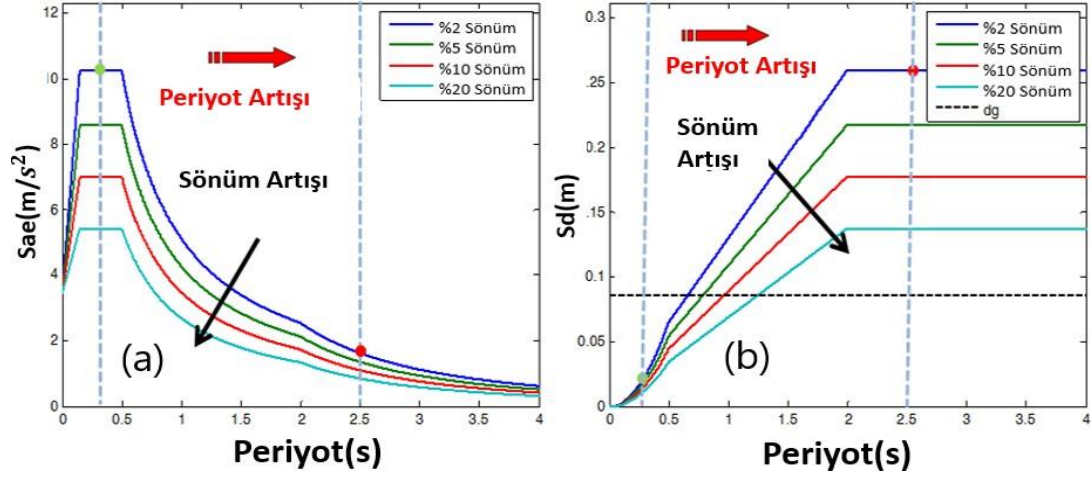
Öte yandan, doğal titreşim periyodu ile ivme arasındaki ilişki, doğal titreşim periyodu ile yer değiştirme arasındaki ilişkinin tam tersidir. Bir başka deyişle, doğal titreşim periyodu ile yer değiştirme arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Yani doğal titreşim periyodundaki artış, Şekil 2.9.'da gösterildiği gibi yatay deplasman değerinde önemli bir artışa yol açacaktır [16, 6].



Şekil 2.9. Sismik izolasyon sayesinde elde edilen periyot uzamasının yer değiştirmeye etkisi [6].

Sönüm, yapısal bir sistemin hareketine karşı çıkan sistemi tekrar hareketsiz hale getirme eğiliminde olan bir özelliğidir. Yalıtım sistemleri için, sönüm genellikle viskoz (hıza bağlı) veya histerik (yer değiştirmeye bağlı) olarak sınıflandırılmaktadır [16]. Yalıtım seviyesinde yapıya büyük ilave sönümleyici elemanlar (damperler, hidrolik piston gibi) eklenirse, büyük şekilde görelî öteleme kontrol edilmektedir. Ayrıca, sönümlenme büyük bir histerik enerji kaybı sağlamanın en etkili yollarından biridir [6]. Periyot uzaması etkisi genellikle ivmeyi azaltmakta ve yer değiştirmeleri artırmakta iken, sönümlenme her zaman hem ivmeyi hem de yer değiştirmeyi azaltmaktadır. Hem periyodu hem de sönümlenmeyi artırmak, istenen performansı elde etmenin en etkili yoludur [16].

(Şekil 2.10.a) ve (Şekil 2.10.b)'de geleneksel bir yapının sadece deprem yalıtım sistemi kullanılarak dinamik davranışının değişimi ile elde edilebilecek kazanımlar deprem davranış spektrumlarında gösterilmiştir [18].

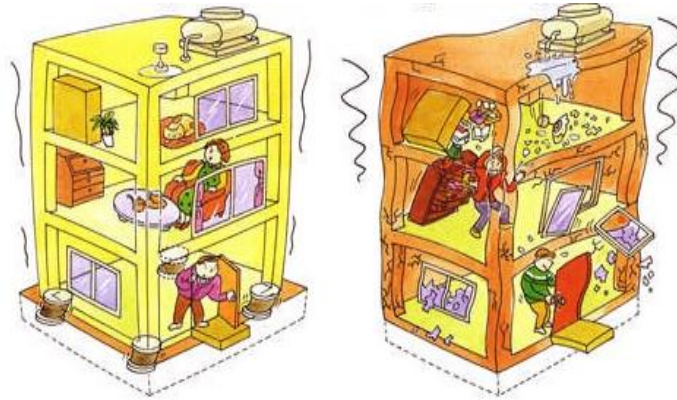


Şekil 2.10. (a) EC-8 tasarım spektrumuna göre spektral ivme değişimi (b) Spektral yer değiştirme değişimi [9, 18].

#### 2.4. Sismik İzolasyon Sisteminin Kullanma Nedenleri

Temel deprem yalıtımı, hastaneler, sivil savunma merkezleri, ulaşımı sağlayan köprüler, havaalanları gibi depreme dayanıklı yapı elemanlarındaki gerilmeleri ve deformasyonları azaltarak deprem sırasında ve sonrasında önemli tesislerin kullanımının devam etmesini sağlamaktadır [19].

Sismik izolasyon, bir depremden sonra bir binanın onarım maliyetini azaltmaktadır (Şekil 2.11.) [19].



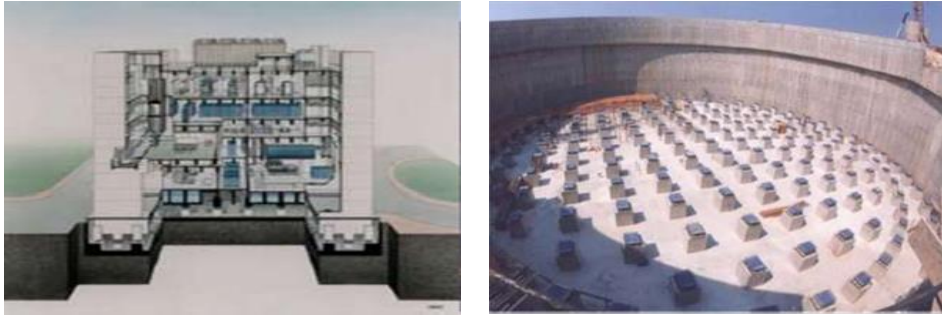
Şekil 2.11. Deprem sırasında ankastre mesnetli yapı ve sismik izolasyonlu yapının davranışı [1].

Sismik izolasyon, bina içeriğini hasardan koruduğu için müzeler, hastaneler ve ağır makine fabrikaları gibi değerli eşyaların bulunduğu tesislerde kullanılmaktadır (Şekil 2.12.) [19].



Şekil 2.12. Soldaki resim müzeler ve sağdaki resim ise ofis binaları [1].

Temel sismik izolasyon, deprem titreşimlerinin nükleer santrallere, akaryakıt (gaz) tanklarına ve diğer önemli tesislere ulaşmasını önlemek için kullanılır (Şekil 2.13.) [19].



Şekil 2.13. Soldaki resim nükleer tesisler ve sağdaki resim ise gaz tankları [1].

Sismik izolasyon, üst yapıda depreme dayanıklı yanal destek elemanlarının kullanımını azaltır. Bu özellik, (alışveriş merkezleri, konser salonları, tiyatrolar, kapalı stadyumlar, havaalanları ve endüstriyel tesisler) gibi alanlardan en iyi şekilde yararlanarak yapının mimari ve estetik yönlerine doğrudan yansımaktadır (Şekil 2.14.) [19].



Şekil 2.14. Soldaki resim havaalanları ve sağdaki resim ise endüstriyel tesisler [1].

Eski ve mevcut yapıların (tarihi bina ve kültürel mirası gibi) deprem performansının iyileştirilmesi idealdir, çünkü içine yeni malzeme veya yapı elemanı eklemeye gerek kalmadan mimari formasyonları ile yapıyı koruyabilmektedir [19].

## 2.5. Sismik İzolatör Türleri

Sismik yalıtım sistemleri genellikle iki ana türden biri olarak sınıflandırılmakta: elastomerik izolatör ve sürtünme yüzeyli izolatör [20]. Elastomerik izolatörün ana özelliklerine ve bileşimlerine göre iki tür elastomerik izolatör vardır: Doğal ve sentetik kauçuk izolatör ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatör. Elastik izolatörler genellikle kauçuk ve çelik plakalardan oluşurken, sürtünme yüzeyli izolatörler montaj ünitesinin özel olarak işlenmiş yüzeyleri arasındaki sürtünmeye dayanmaktadır.

### 2.5.1. Düşük sönümlü kauçuk izolatörler (LDRB)

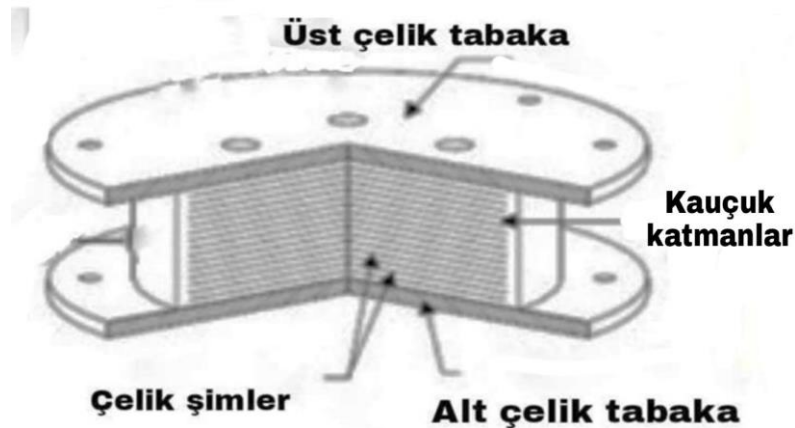
Elastomerik izolatörler orijinal olarak doğal kauçuktan yapılmıştır; daha sonra çelik plakalar eklenerek özellikleri iyileştirilmiştir. Saf kauçuk izolatör ile karşılaştırıldığında, çelik plakaların kullanılması, kauçuk tabakaları aksel yük seviyesine bağlı olarak oluşabilecek yanal şişmelerden korur ve izolatörün dikey rijitliğini ve aksel yük kapasitesini arttırmaktadır. Ayrıca çelik plakalar kauçuk tabakaların yanal hareketini engellemektedir. Öte yandan, yatay rijitlik kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır. Bu izolatörler esnek doğal kauçuk katmanlarından ve çelik plakalardan oluşmakta ve bu iki farklı malzeme vulkanizasyon işlemi ile birleştirilmektedir.

Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin tipik kesme modülü 0,65 ila 0,9 MPa arasında değişirken, eşdeğer sönüm oranı %100 kesme gerilmesinde %2-3 arasında değerler almaktadır. Bu nedenle onlara düşük sönümlü elastik izolatörler denir, bu tip izolatörlerin sönüm oranının düşük olması nedeniyle kullanıldıkları yapılarda ek sönümleme elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır [21, 22].

### 2.5.2. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler (HDNR)

Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin tek dezavantajı ek sönümleyici elemanlarını ekleme ihtiyacıdır. Yüksek sönümlü elastik kauçuk izolatörler elde etmek için karbon veya yağ gibi kimyasal maddelerini eklenerek izolatör imalatında kullanılan kauçuğun özelliklerinde değişiklik yapılabilmektedir. Kauçuğun özelliklerindeki bu değişiklik, sönüm oranını %10-20'ye arttırarak bu tip izolatör ile ilave sönümleyici elemanları kullanımını ortadan kaldırmaktadır [8, 22].

Ek olarak, yüksek sönümlü kauçuk izolatör, yalnızca kauçuk ve çelik plaka katmanlardan oluşur, ancak gerekli esneklik ve enerji tüketimi özelliklerine sahiptir. Bu bağlamda, doğal kauçuk için, etkili sönüm, düşük kesme gerilmesinde yaklaşık %15'ten yüksek kesme gerilmesinde %10'a kadar değişmektedir. Yüksek sönümlü elastik kauçuk izolatörünün mekanik özellikleri, bir dereceye kadar yaşlanma ve sıcaklığın etkilerinden etkilenmektedir [22]. Şekil 2.15.'te yüksek sönümlü kauçuk izolatörünün bir kesit görünümü gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlere ait kesit görünüşü [23].

### 2.5.3. Kurşun çekirdekli kauçuk izolator (LRB)

Kurşun çekirdekli kauçuk izolator (LRB), üst yapıyı yer hareketlerinin olumsuz etkilerinden ayırmak ve korumak için en yaygın olarak kullanılan sismik izolatorlardan biridir. Bu izolatorlar, ardışık kauçuk ve çelik plaka katmanlarından oluşmuştur. Ayrıca, bu tip izolator, merkezinde bir veya daha fazla kurşun çekirdek yerleştirilmesiyle düşük sönümlü kauçuk izolatorlardan ayırt edilmektedir [24].

Kurşun çekirdekli kauçuk izolator, düşey yük taşıma yeteneği, yatay esneklik, geri yükleme kuvveti ve enerji sönümlenme kapasitesi gibi tüm özellikleri tek bir elemanda birleştirmektedir [24]. Bu temel özellikler, LRB'leri yapıların sismik izolasyonu için kullanılacak en iyi sistemlerden biri haline getirmektedir. Bu nedenle, LRB'ler dünya çapında çeşitli sismik izole yapılarda kullanılmış ve üstün performanslar sergilediği tespit edilmiştir [25, 26].

Bu bağlamda kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlar kullanılarak 1981 yılında Yeni Zelanda'daki William Clayton binası inşa edilmiştir [27].

Kurşun, plastik davranış gösterdiği için döngüsel davranış nedeniyle yüksek sönüm oluşmaktadır. Bu tip izolatorde %15-%35 arasında sönüm oranı gerçekleşebilmektedir [21, 13]. Ayrıca LRB'nin kurşun çekirdeği, küçük depremlere ve rüzgarlara karşı dayanabilmek için yeterince iyi bir başlangıç rijitliği ile kesme deformasyonu suretiyle çift doğrusal bir tepki sağlamaktadır [28]. Deneysel çalışmalar, bir LRB'nin döngüsel hareketlere maruz kaldığında, artan döngü sayısı ile karakteristik dayanımın ve buna bağlı olarak döngü başına tüketilen enerjinin ( $W_d$ ) azaldığını göstermiştir [29, 30]. Başlangıç döngülerinde önemli bir azalmadan sonra, karakteristik dayanım ve ( $W_d$ )'nin stabilize olma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Döngüsel hareketler kısa bir süre için kesilir ve yeniden başlatılırsa, karakteristik dayanım ve ( $W_d$ ) neredeyse tamamen düzelmektedir. Bu gözlemler, bu azalmanın kurşun çekirdeğin ısınmasının sonucu olduğunu kanıtlamaktadır [29, 31]. Kalpakidis ve Constantinou [31], LRB'lerin sıcaklığa bağlı davranışını dikkate alan bir teori geliştirmiştir.



Son çalışmalar, kurşun çekirdeğin ısınmasının, LRB'lerden oluşan sismik olarak izole edilmiş yapıların davranışını etkileyebileceğini ve bu etkinin hesaba katılmasının önemli olduğunu göstermiştir [32, 33, 34].

Ancak, kurşun çekirdek ısınmasını dikkate alarak LRB'lerin modellenmesindeki zorluk nedeniyle, şu anda, yaygın yapısal analiz programlarının çoğu ısıtma etkilerini hesaba katmamaktadır.

Bu çalışmada söz konusu izolatör kurşun çekirdekli kauçuk izolatör olup, ısıtma etkisi dikkate alınmamakta olup diğer çalışmalarda buna dikkat edilmesi önerilmektedir. Şekil 2.16.'da kurşun çekirdekli kauçuk izolatörünün bir kesit görünümü gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör [23].

#### 2.5.4. Sürtünme yüzeyli izolatör

Kayar izolatörlerin ilk kullanımı eski İran'a kadar uzanmaktadır. İran'daki bazı tarihi binaların zeminleri ve taşıyıcı duvarları arasında kum dökümü olduğuna dair kanıtlar vardır [22]. Bu izolatör kavramı geliştirilerek "Sürtünme sarkaç sistemi" en önemli yalıtım sistemi türlerinden biri haline gelmektedir. Bu sistemler paslanmaz çelikten veya teflon'dan oluşan konkav bir yüzeye ve merkezde düşük sürtünme bir yüzeye sahiptir. Ek olarak, kayıcı küresel yüzey genellikle yaklaşık %3 sürtünme katsayısına sahip teflon ile kaplanmaktadır [22].

Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler, sürtünme katsayısını ve sarkaç yarıçapını değiştirerek gerekli dikey ve yatay yükleri sönmleyebilmektedir. Genel olarak, bu tür izolatörler diğer izolatörlerle aynı prensipte çalışır, sismik enerjiyi izolatör seviyesinde tüketir ve etkileri üst yapıdan ayırarak üst yapının bir sarkaç gibi çalışmasını sağlamaktadır. Şekil 2.17.'de sürtünme yüzeyli izolatörünün bir kesit görünümü gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Sürtünme yüzeyli izolatör için genel görünüşü [23].

## **BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM**

### **3.1. Yöntem**

Sismik izolasyon sisteminin temel prensibi, yapının ve deprem ivmesinin özellikleri dikkate alınarak yapı rijitliğinin azaltılması, periyot ve sönümünü artırarak yapıda daha küçük deprem kuvvetlerinin oluşmasının sağlanması ve yapıda depremde oluşabilecek hasarının önlenmesi veya en aza indirgenmesidir. Bu amaçla taşıyıcı sistemin doğal titreşim periyodu uzatılmakta ve/veya enerji tüketme kapasitesi artırılmaktadır.

Yalıtım sisteminin tasarımı TBDY(2018)'de tanımlanan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, TBDY(2018) kriterleri dikkate alınarak, 4 katlı betonarme bir yapı altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün tasarımı yapılmıştır. Sismik izolatörün tasarımı farklı zemin sınıfı, periyot (T) ve karakteristik dayanım oranı (Q/W) parametreleri göz önüne alınmıştır. Çalışmada, 2 farklı zemin sınıfı (ZC, ZD), 5 farklı periyot (T= 2s- 2,5s- 3s- 3,5s ve 4s) ve 5 farklı karakteristik dayanım oranları (Q/W=0,05- 0,075- 0,100- 0,125 ve 0,150) dikkate alınmıştır.

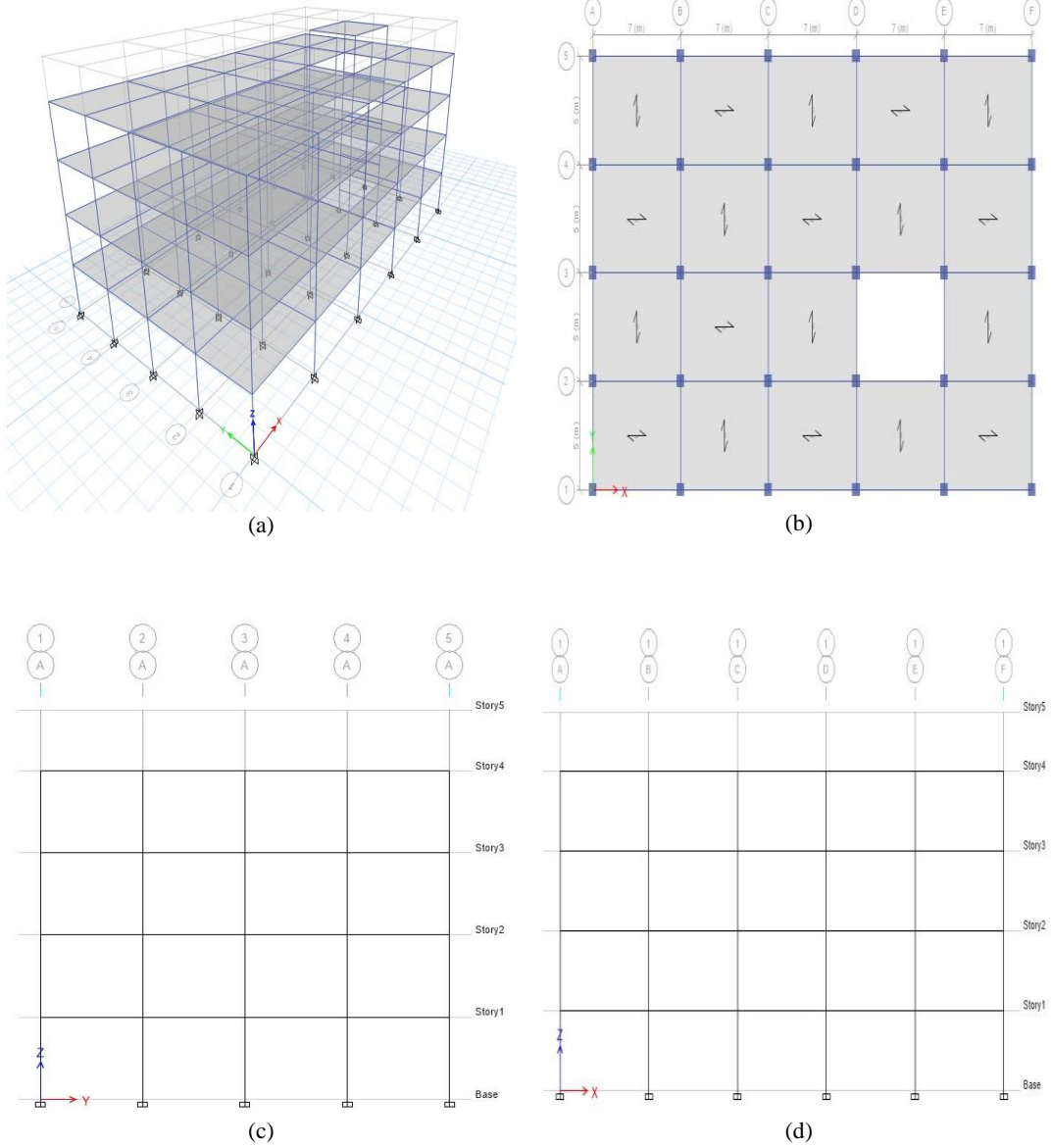
Yukarıda belirtilen parametrelere ek olarak, sismik izolasyonlu yapılarda fay hattından olan uzaklığın izolatörün yatay yer değiştirmesine ve üst yapıya etki eden yatay kuvvete etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, Sakarya'da bazıları fay hattına yakın, diğerleri fay hattından uzak olmak üzere 16 lokasyon seçilmiş ve bu lokasyonların fay hattına olan uzaklığının sismik tepki üzerindeki etkisi karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Seçilen lokasyonlar: (Adapazarı - Karasu - Ferizli - Arifiye - Akyazı - Geyve - Erenler- karapürçek - Hendek - Kocaali - Kaynarca - Sapanca - Pamukova - Taraklı - Söğütlü- Serdivan).

Çalışmada, izolatörlerin yapıldığı malzemelerin özelliklerindeki farklılıkları ve izolatörlerin ömrü boyunca mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri dikkate almak için iki farklı durumda hesaplamalar yapılmıştır. Birinci durum, üst sınır ( $\lambda_{üst}$ ) için yüksek rijitliğe sahip ve ikinci durum, alt sınır ( $\lambda_{alt}$ ) için düşük rijitliğe sahip bir izolatör özellikleri dikkate alınmıştır. Daha sonra bu sınır değerlerin izolatörün yatay yer değiştirmesi ve üst yapıya etki eden yatay kuvvet üzerindeki etkisi üzerine bir karşılaştırma yapılmıştır.

Çalışmada, sismik izolasyon seviyesinde oluşan yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları belirlenmesi ve sismik izolatörlerin davranışına etki eden parametreler incelenmesi amaçlanmıştır.

### 3.2. Üst Yapı Modellemesi

Bu çalışmada bir bina okul olarak modellenmiş ve bu okulun Sakarya'da 16 farklı bölgede yer aldığı varsayılmıştır. Yapının taşıyıcı sistemi düzenli betonarme çerçeve sistemidir. Taşıyıcı sistemi dört katlı ve kat yüksekliği 3,8m'dir. Elastik davranış kabulü ile tasarlanan üst yapının plandaki boyutları 35mx20m olup yapı düşeyde ya da yatayda herhangi bir düzensizlik içermemektedir. Bina kısa doğrultuda dört, uzun doğrultuda toplam beş açıklık bulundurmakta ve bina kısa doğrultuda her bir açıklık 5m, uzun doğrultuda her bir açıklık 7m uzunluğundadır. Yapı bir okul binası olduğundan hareketli yük katılım katsayısı 0,6 olarak hesaplarda kullanılmıştır. Üst yapı modellemesinde beton sınıfı C35 ve boyuna donatılar S420 kullanılmıştır. Tasarlanan üst yapının üç boyutlu modeli, kat planı ve düşey kesit görüntüleri (Şekil 3.1.)'de verilmektedir.



Şekil 3.1. a) Üç boyutlu bina modeli b) Kat planı c) A-A akslarına ait düşey kesit görüntüsü d) 1-1 akslarına ait düşey kesit görüntüsü [35].

Yalıtımsız bina tasarımından farklı olarak, daha fazla kolon açıklıkları, kullanılacak yalıtım birimlerinin sayısını azaltmakta ve her bir yalıtım birimlerine etkiyecek eksenel yük seviyesini artırmaktadır. Böylece hem ekonomik tasarım gözetilmiş hem de yüksek düşey kuvvetlerin etkisi altında yalıtım birimlerin performansı incelenmiştir. Binanın her katında otuz adet kolon bulunmakta olup, zemin seviyesinde her kolonun altına kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler yerleştirilmiştir.

### 3.3. Analizler

#### 3.3.1. Kurşun çekirdekli kauçuk sismik izolatör tasarımı

İzolatör tasarımı izolatörün maksimum yer değiştirmesinin ve izolatörlerin dayandığı kesme kuvvetinin belirlenmesine dayanan yinelemeli bir yöntemdir.

Sismik yalıtım sistemi tasarlanırken kullanılan analiz yöntemi ne olursa olsun statik bir analiz yapılması gerekmektedir, çünkü bu analiz yerdeğiştirmelerin ve tasarım kuvvetlerinin minimum seviyesini belirler. Ayrıca statik analiz gerektiğinde izolasyon sistemi ve yapısının ön tasarımı için kullanışlıdır, üstelik özel durumlarda kullanılan tek yöntemdir [8]. Etkin Deprem Yüğü Yöntemi, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan (ZTADO) dinamik analiz yöntemin minimum sonuçlarını kontrol eden yöntemdir [36]. Bu çalışmada, sismik izolatör tasarımı TBDY(2018)'de belirtilen Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Üst yapı ve alt yapının deprem hesaplanmasında Etkin deprem yüğü yönteminin kullanılabilmesi için TBDY(2018)'de 14.14.1.1'de belirtilen tüm koşulların sağlanması gerekmektedir.

Bu tasarımda öncelikle karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) ve izolasyon periyoduna ( $T$ ) ihtiyaç duyulmaktadır.

#### 3.3.2. Yatay elastik tasarım spektrumu

Tasarım spektrumları, her bir tasarım seviyesinde, iki deprem yer hareketi düzeyi [en büyük deprem yer hareketi düzeyi (DD-1) ve standart tasarım deprem yer hareketi düzeyi (DD-2)] ve iki zemin sınıfı [ZC-ZD] kullanılarak oluşturulmuştur. Tez çalışması kapsamında kullanılan lokasyonların özellikleri AFAD web sitesinden (Türkiye Deprem Tehlike Haritalar TDTH)'den alınmıştır ve tablolar halinde sıralanmış gösterimleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan lokasyonlar özellikleri [37].

Lokasyon	Zemin sınıfı	Deprem yer hareketi düzeyi	$S_s$	$S_1$	$S_{DS}$	$S_{D1}$	$P_{GA}$	$P_{GV}$
Adapazarı	ZD	DD-1	2,6	0,746	2,6	1,268	1,024	79,526
Adapazarı	ZD	DD-2	2,6	0,746	3,12	1,044	1,024	79,526
Adapazarı	ZC	DD-1	1,518	0,417	1,518	0,785	0,617	47,457
Adapazarı	ZC	DD-2	1,518	0,417	1,822	0,625	0,617	47,457
Akyazı	ZD	DD-1	3,056	0,856	3,056	1,455	1,205	94,188
Akyazı	ZD	DD-2	3,056	0,856	3,667	1,198	1,205	94,188
Akyazı	ZC	DD-1	1,751	0,474	1,751	0,866	0,713	56,783
Akyazı	ZC	DD-2	1,751	0,474	2,101	0,711	0,713	56,783
Arifiye	ZD	DD-1	3,002	0,857	3,002	1,457	1,18	100,321
Arifiye	ZD	DD-2	3,002	0,857	3,602	1,2	1,18	100,321
Arifiye	ZC	DD-1	1,738	0,475	1,738	0,867	0,707	60,048
Arifiye	ZC	DD-2	1,738	0,475	2,086	0,712	0,707	60,048
Erenler	ZD	DD-1	2,839	0,81	2,839	1,377	1,118	91,191
Erenler	ZD	DD-2	2,839	0,81	3,407	1,134	1,118	91,191
Erenler	ZC	DD-1	1,652	0,451	1,652	0,834	0,671	54,621
Erenler	ZC	DD-2	1,652	0,451	1,982	0,677	0,671	54,621
Ferizli	ZD	DD-1	1,47	0,427	1,47	0,8	0,594	37,294
Ferizli	ZD	DD-2	1,47	0,427	1,764	0,64	0,594	37,294
Ferizli	ZC	DD-1	0,85	0,245	0,986	0,517	0,35	21,953
Ferizli	ZC	DD-2	0,85	0,245	1,02	0,368	0,35	21,953
Geyve	ZD	DD-1	1,87	0,55	1,87	0,963	0,749	49,525
Geyve	ZD	DD-2	1,87	0,55	2,244	0,798	0,749	49,525
Geyve	ZC	DD-1	1,047	0,303	1,132	0,605	0,431	27,79
Geyve	ZC	DD-2	1,047	0,303	1,256	0,455	0,431	27,79
Hendek	ZD	DD-1	2,47	0,706	2,47	1,2	0,977	70,634
Hendek	ZD	DD-2	2,47	0,706	2,964	0,988	0,977	70,634
Hendek	ZC	DD-1	1,41	0,39	1,41	0,745	0,576	40,481
Hendek	ZC	DD-2	1,41	0,39	1,692	0,585	0,576	40,481

<sup>SS</sup> Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, <sup>S1</sup> 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, <sup>SDS</sup> Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, <sup>SD1</sup> 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı, <sup>PGA</sup> En büyük yer ivmesi, <sup>PGV</sup> En büyük yer hızı

Tablo 3.1. (Devamı)

Lokasyon	Zemin sınıfı	Deprem yer hareketi düzeyi	S <sub>S</sub>	S <sub>I</sub>	S <sub>DS</sub>	S <sub>DI</sub>	P <sub>GA</sub>	P <sub>GV</sub>
Karapürçek	ZD	DD-1	3,035	0,854	3,035	1,452	1,198	95,853
Karapürçek	ZD	DD-2	3,035	0,854	3,642	1,196	1,198	95,853
Karapürçek	ZC	DD-1	1,749	0,475	1,749	0,867	0,713	58,066
Karapürçek	ZC	DD-2	1,749	0,475	2,099	0,712	0,713	58,066
Karasu	ZD	DD-1	1,331	0,348	1,331	0,679	0,542	31,049
Karasu	ZD	DD-2	1,331	0,348	1,597	0,522	0,542	31,049
Karasu	ZC	DD-1	0,707	0,199	0,873	0,438	0,296	17,703
Karasu	ZC	DD-2	0,707	0,199	0,861	0,299	0,296	17,703
Kaynarca	ZD	DD-1	1,318	0,363	1,318	0,703	0,541	32,423
Kaynarca	ZD	DD-2	1,318	0,363	1,582	0,544	0,541	32,423
Kaynarca	ZC	DD-1	0,731	0,21	0,888	0,458	0,305	18,755
Kaynarca	ZC	DD-2	0,731	0,21	0,883	0,315	0,305	18,755
Kocaali	ZD	DD-1	1,74	0,431	1,74	0,806	0,699	40,031
Kocaali	ZD	DD-2	1,74	0,431	2,088	0,646	0,699	40,031
Kocaali	ZC	DD-1	0,863	0,234	0,997	0,499	0,359	21,569
Kocaali	ZC	DD-2	0,863	0,234	1,036	0,351	0,359	21,569
Pamukova	ZD	DD-1	1,765	0,531	1,765	0,939	0,712	48,06
Pamukova	ZD	DD-2	1,765	0,531	2,118	0,78	0,712	48,06
Pamukova	ZC	DD-1	0,986	0,289	1,09	0,584	0,406	26,643
Pamukova	ZC	DD-2	0,986	0,289	1,183	0,433	0,406	26,643
Sapanca	ZD	DD-1	2,904	0,833	2,904	1,416	1,141	95,542
Sapanca	ZD	DD-2	2,904	0,833	3,485	1,166	1,141	95,542
Sapanca	ZC	DD-1	1,676	0,461	1,676	0,848	0,684	56,591
Sapanca	ZC	DD-2	1,676	0,461	2,011	0,692	0,684	56,591
Serdivan	ZD	DD-1	2,789	0,801	2,789	1,362	1,1	91,486
Serdivan	ZD	DD-2	2,789	0,801	3,358	1,121	1,1	91,486
Serdivan	ZC	DD-1	1,626	0,445	1,626	0,825	0,661	54,583
Serdivan	ZC	DD-2	1,626	0,445	1,951	0,668	0,661	54,583

<sup>SS</sup> Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, <sup>S<sub>I</sub></sup> 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, <sup>S<sub>DS</sub></sup> Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, <sup>S<sub>DI</sub></sup> 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı, <sup>P<sub>GA</sub></sup> En büyük yer ivmesi, <sup>P<sub>GV</sub></sup> En büyük yer hızı.



Tablo 3.1. (Devamı)

Lokasyon	Zemin sınıfı	Deprem yer hareketi düzeyi	S <sub>S</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>DS</sub>	S <sub>D1</sub>	P <sub>GA</sub>	P <sub>GV</sub>
Söğütlü	ZD	DD-1	1,617	0,474	1,617	0,866	0,648	40,585
Söğütlü	ZD	DD-2	1,617	0,474	1,94	0,711	0,648	40,585
Söğütlü	ZC	DD-1	0,946	0,27	1,061	0,556	0,387	23,936
Söğütlü	ZC	DD-2	0,946	0,27	1,135	0,405	0,387	23,936
Taraklı	ZD	DD-1	1,384	0,421	1,384	0,791	0,562	37,892
Taraklı	ZD	DD-2	1,384	0,421	1,661	0,632	0,562	37,892
Taraklı	ZC	DD-1	0,769	0,238	0,917	0,506	0,322	21,515
Taraklı	ZC	DD-2	0,769	0,238	0,923	0,357	0,322	21,515

<sup>SS</sup> Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, <sup>S1</sup> 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, <sup>SDS</sup> Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, <sup>SD1</sup> 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı, <sup>PGA</sup> En büyük yer ivmesi, <sup>PGV</sup> En büyük yer hızı.

$S_{ae}(T)$  yatay elastik tasarım spektral ivmeleri [g], Türkiye Deprem Tehlike Haritaları TDTH'den elde edilen ve yukarıdaki tablolarda verilen yatay elastik tasarım ivme spektrumu'nun ordinatları kullanılarak aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 3.1) ifade edilmiştir [38].

$$\begin{aligned}
S_{ae}(T) &= \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS}, (0 \leq T \leq T_A) \\
S_{ae}(T) &= S_{DS}, (T_A \leq T \leq T_B) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T}, (T_B \leq T \leq T_L) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} * T_L}{T^2}, (T_L \leq T)
\end{aligned} \tag{3.1}$$

Kullanan  $T_A$  ve  $T_B$  (Denklem 3.2) ile hesaplanmaktadır.

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.2}$$

$S_{D1}$  1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı,  $S_{DS}$  kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı,  $T$  doğal titreşim periyodu,  $T_L$  yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu,  $T_L$  6s alınacaktır,  $T_A$

yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu ve  $T_B$  yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodunu ifade etmektedir.

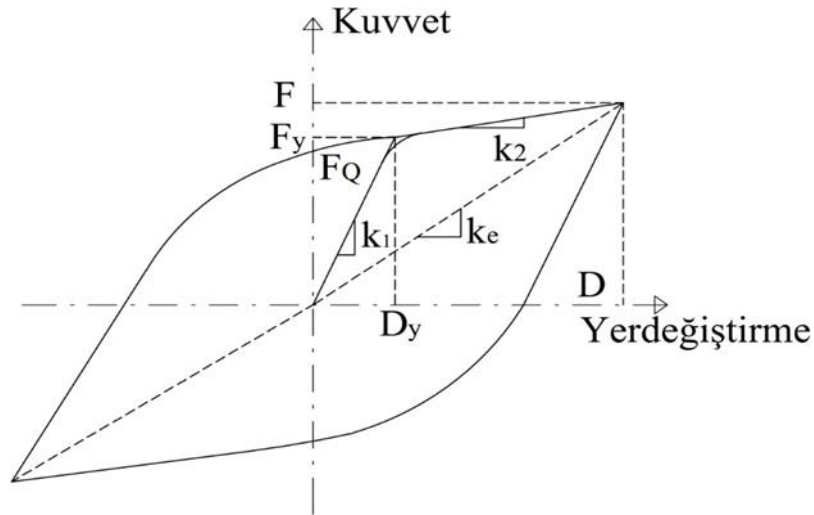
Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  elde edildikten sonra  $S_{de}(T)$  yatay elastik tasarım spektral yer değıştirmeleri [m] ( Denklem 3.3) ile hesaplanır.

$$S_{de}(T) = \left( \frac{T^2}{4\pi^2} \right) g S_{ae}(T) \quad (3.3)$$

$S_{ae}(T)$  yatay elastik tasarım spektral ivmeleri ve (g) yerçekimi ivmesini [ $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ] ifade etmektedir.

### 3.3.3. Yalıtım sistemini belirleyen parametrelerin hesaplanması

Analiz yöntemlerinde sismik izolatörlerin modellenmesi için idealize edilmiş kuvvet-deplasman ilişkisi (Şekil 3.2.)'de gösterilen bilineer histeretik eğri ile temsil edilmektedir. Grafikte gösterilen ( $F_y$ ) etkin akma kuvveti, ( $D_y$ ) etkin akma yerdeğıştirmesi, ( $D_{max}$ ) en büyük izolatör yerdeğıştirmesi, ( $F_{max}$ ) en büyük izolatör kuvveti, ( $k_e$ ) izolatöre ait etkin rijitlik, ( $k_1$ ) ve ( $k_2$ ) ise sırasıyla izolatöre ait akma öncesi (elastik) ve akma sonrası yatay rijitlik (elastik ötesi) göstermektedir.



Şekil 3.2. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün ideal bilineer kuvvet-yerdeğıştirme ilişkisi [38].

Akma deplasmanının değeri ( $D_y$ ), izolatör akma dayanımının ( $F_y$ ) elastik rijitliğe bölünmesidir (Denklem 3.4) ve birçok çalışmada 10 ile 25 mm arasında değişen bir değer olarak tanımlanmıştır [39, 40, 41]. Bu çalışmada, bahsi geçen yöntem için akma deplasmanı  $D_y$  25mm olarak seçilmiştir.

$$D_y = \frac{F_y}{K_1} \quad (3.4)$$

$F_y$  izolatör akma dayanımını ve  $k_1$  elastik rijitliği ifade etmektedir.

Aşağıdaki denkleme göre de hesaplanabilir (Denklem 3.5).

$$D_y = \frac{F_Q}{k_1 - k_2} \quad (3.5)$$

$F_Q$  karakteristik dayanımını,  $k_2$  akma sonrası yatay rijitliği ve  $k_1$  elastik rijitliği ifade etmektedir.

Yukarıdaki şekilde gösterilen akma sonrası yatay rijitlik  $k_2$  (elastik ötesi) değeri, (Denklem 3.6) kullanılarak hesaplanır [38].

$$k_2 = \frac{G_v \times A_r}{T_r} \quad (3.6)$$

$A_r$  tek bir elastomer katmanının alanını,  $T_r$  toplam elastomer kalınlığını ve  $G_v$  elastomer malzemenin kayma modülünü ifade etmektedir. Birçok çalışmada 0,3 ile 1,5Mpa arasında değişen bir değer olarak tanımlanmıştır [13]. Bu çalışmada  $G_v$  değeri 0,5Mpa alınmıştır. Ayrıca, izolatörün periyodu ( $T$ ) değeri ve binanın deprem sırasındaki toplam kütleye karşı gelen ağırlığı ( $W$ ) bilinerek, aşağıdaki (Denklem 3.7) ile ikinci rijitliğinin değerini hesaplamak da mümkündür.

$$K_2 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 * \frac{W}{g} \quad (3.7)$$

W binanın deprem sırasındaki toplam kütleye karşı gelen ağırlığı, (g) yer çekimi ivmesi ve T doğal titreşim periyodunu ifade etmektedir.

Bir yükleme döngüsünde tüketilen enerji değerinin ( $W_d$ ) hesaplaması için şartnameler [38] tarafından belirlenen (Denklem 3.8) kullanılmıştır.

$$W_d = 4 \times F_Q \times (D - D_y) \quad (3.8)$$

$F_Q$  karakteristik dayanım, D yalıtım birimi için yerdeğiştirme değeri ve  $D_y$  izolatör akma yer değiştirmesini ifade etmektedir.

Bir yükleme döngüsünde tüketilen enerji değeri  $W_d$  (Denklem 3.9)'da kullanarak hesaplanabilir.

$$W_d = 2\pi \times k_e \times \beta_e \times D^2 \quad (3.9)$$

$k_e$  (D) yer değiştirmesine karşılık gelen etkin rijitliği, D yalıtım birimi için yerdeğiştirme değerini ve  $\beta_e$  etkin sönüm oranını ifade etmektedir.

Aşağıdaki (Denklem 3.10) ile etkin rijitlik değerini hesaplamaya devam edilir.

$$k_e = k_2 + \frac{F_Q}{D} \quad (3.10)$$

$k_2$  elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliğini, D yalıtım birimi için yerdeğiştirme değerini ve  $F_Q$  yalıtım biriminin karakteristik dayanımını ifade etmektedir.

Etkin sönüm oranı değerinin  $\beta_e$  hesaplaması için [38] tarafından belirlenen (Denklem 3.11) kullanılmıştır.

$$\beta_e = \frac{W_d}{2\pi \times k_e \times D^2} \quad (3.11)$$

$W_d$  bir yükleme döngüsünde tüketilen enerji değerini,  $D$  yalıtım birimi için yer değiştirme değerini ve  $k_e (D)$  yer değiştirmesine karşılık gelen etkin rijitliği ifade etmektedir.

Daha sonra izolasyon etkin periyodunun değeri ( $T_e$ ) hesaplanmıştır (Denklem 3.12).

$$T_e = 2\pi \times \sqrt{\frac{W}{g \times k_e}} \quad (3.12)$$

$W$  binanın deprem sırasındaki toplam kütleye karşı gelen ağırlığını,  $(g)$  yer çekimi ivmesini ve  $k_e (D)$  yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitliği ifade etmektedir.

TBDY(2018)'e göre, sönüm ölçeklendirme katsayılarının hesaplanabilmesi için (Denklem 3.13) kullanılmıştır.

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\beta_e}} \quad (3.13)$$

$\beta_e$  etkin sönüm oranını ifade etmektedir.

Sönüm ölçeklendirme katsayısı ( $\eta$ ) ve etkin periyot değeri ( $T_e$ ) hesaplandıktan sonra tasarlanan izolatörün maksimum yer değiştirme değeri ( $D_{max}$ ) hesaplanır (Denklem 3.14).

$$D_{max} = 1.3 \times \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \times T_e^2 \times \eta \times S_a \quad (3.14)$$

$\eta$  sönüm ölçeklendirme katsayısını,  $T_e$  izolasyonun etkin periyodunun değerini,  $(g)$  yer çekimi ivmesi ve  $S_a$  spektral ivmesi  $[g]$  ifade etmektedir.

Tasarlanan izolatör için maksimum yer değiştirme değeri ( $D_{max}$ ) hesaplandıktan sonra, üst yapı ile izolatör sistemi arasındaki burulma sonucu oluşan yer değiştirme değeri toplanarak toplam yer değiştirme değeri ( $D_{TM}$ ) hesaplanacaktır (Denklem 3.15).

$$D_{TM} = D_M \times \left[ 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (3.15)$$

$D_M = D_{\max}$  en büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme, (y) izolasyon sisteminin rijitlik merkezi ile deprem yükünün dik yönünde ilişkili eleman arasındaki mesafe, (d) yapının en uzun plan boyu, (b) yapının en kısa plan boyu ve (e) bileşke dış merkezliği ifade etmektedir.

Ardından, TBDY(2018)'e göre, en büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için, üstyapıya etkileyen kuvveti hesaplanabilmesi için (Denklem 3.16) kullanılacaktır.

$$V_M = \frac{S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) \times W \times \eta}{R} \quad (3.16)$$

$\eta$  sönüm ölçeklendirme katsayısını, W binanın deprem sırasındaki toplam kütleyle karşı gelen ağırlığını, R deprem yükü azaltma katsayısını ve  $S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)$  en büyük deprem yer hareketi seviyesinde  $T_M$  periyodundaki spektral ivmesi [g] ifade etmektedir.

Ayrıca, TBDY(2018)'e göre, tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için, üstyapıya etkileyen kuvveti hesaplanabilmesi için (Denklem 3.17) kullanılacaktır.

$$V_D = \frac{S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) \times W \times \eta}{R} \quad (3.17)$$

$S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)$  tasarım deprem yer hareketi seviyesinde  $T_D$  periyodundaki spektral ivmesi [g] ifade etmektedir.

$V_M$  ve  $V_D$  kuvvetlerin değeri hesaplanırken R değeri dikkate alınmalıdır. Üst yapıya etki eden kuvvetin değerini hesaplamak isteniyorsa Tablo 3.2.'den R değeri alınır. Ancak altyapıya etki eden kuvvetin değerini hesaplamak isteniyorsa, R değeri 1 olarak alınır.

Tablo 3.2. Deprem Yüğü Azaltma ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları [38].

Performans Hedefi	R	D
KK	1,2	1,2
SH	1,5	1,5

Üst yapıya etki eden kuvvetini hesaplanırken kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi seçilerek R değeri 1,2 alınmıştır.

Öte yandan, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için karakteristik dayanımı  $F_Q$ , TBDY(2018)'e göre yaklaşık olarak etkin akma dayanımı  $F_y$  değerine eşit olarak tanımlanmıştır (Denklem 3.18).

$$F_y \cong F_Q = A_P \times \tau_{yp} \quad (3.18)$$

$A_P$  kurşun çekirdeğin alanı ve  $\tau_{yp}$  kurşun malzemenin kayma akma gerilmesini ifade etmektedir.  $\tau_{yp}$  değeri 10MPa alınmıştır.

Ayrıca,  $F_y$  bu şekilde de hesaplanabilir (Denklem 3.19).

$$F_y = k_2 \times D_y + F_Q \quad (3.19)$$

$k_2$  elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği,  $D_y$  yalıtım biriminin etkin akma yerdeğiştirmesi ve  $F_Q$  yalıtım biriminin karakteristik dayanımını ifade etmektedir.

Tasarımı yapılan izolatöre ait maksimum deplasman değeri ( $D_{max}$ ) ve etkin akma dayanımının ( $F_y$ ) belirlenmesinin ardından tasarımı yapılan izolatöre ait maksimum kuvvet değeri ( $F_{max}$ ) belirlenmektedir (Denklem 3.20).

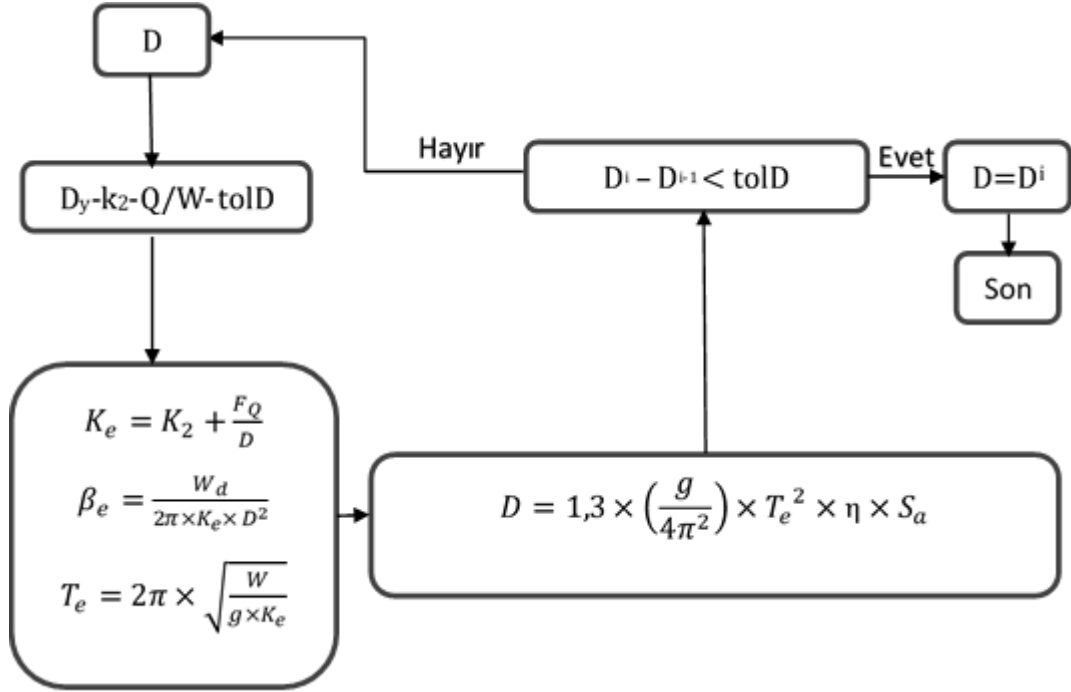
$$F_{max} = k_2 \times (D_{max} - D_y) + F_y \quad (3.20)$$

$k_2$  elastomer yalıtım biriminin ikincil rijitliği,  $D_y$  yalıtım biriminin etkin akma yerdeğiştirmesi,  $D_{max}$  izolatörün maksimum yer değiştirmesi ve  $F_y$  etkin akma dayanımını ifade etmektedir.

### 3.3.4. Sismik izolatör tasarımının iteratif akış şeması

Gerekli hesaplamaların yapılmasında kullanılan denklemlerin eksiksiz sunumu tamamlandıktan sonra, hesaplamalarda kullanılan iteratif yöntemin bir özeti sunulmaktadır. Genel olarak, bu iteratif yöntem, sismik yalıtımın maksimum yer değiştirme değerini ve yalıtımın dayanabileceği en büyük kesme kuvvetini göstermeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda yalıtımın periyodunun değeri ( $T$ ), yalıtımın üzerindeki eksenel yükün oranı ( $Q/W$ ) ve yalıtımın maruz kaldığı en büyük yer değiştirme ( $D$ ) gibi bir takım varsayımlar üzerinden hesaplamalara başlanmaktadır. Ayrıca,  $D_y$  kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlere ait akma deplasmanı 25mm olarak seçilmiştir. Başka bir deyişle, sismik izolasyon periyodu, ikincil (Elastik ötesi) rijitlik ( $k_2$ ) değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır, akma yerdeğiştirmesinin değeri ( $D_y$ ) ise bir yükleme döngüsünde tüketilen enerjinin değerinin ( $W_d$ ) hesaplanmasında kullanılmaktadır. İlk hesaplamayı yaptıktan sonra, elde edilen en büyük izolatör yerdeğiştirmesinin değeri ( $D$ ), hesaplamanın başında verilen değer ile karşılaştırılır. Değerler önceden tanımlanmış bir aralığa yakınsa değer kabul edilir ve çözüm durmaktadır, tersi durumda ise ortaya çıkan değer farz edilen değere yaklaşana kadar hesaplamalar yeniden hesaplanmaktadır. Aşağıda, izolatör tasarımının adımlarını gösteren bir iteratif akış şeması bulunmaktadır (Şekil 3.3.).





Şekil 3.3. İzolatör tasarımı için kullanılan iteratif çözüme ait akış şeması [42].

### 3.3.5. Sismik izolatör tasarımında kullanılacak alt ve üst sınır değerleri

İzolasyon birimi parametrelerinin nominal değerleri ( $F_Q$  ve  $k_2$ ) elde edildikten sonra bu değerler sırasıyla üst ve alt sınırlar ( $\lambda_{üst}$  ve  $\lambda_{alt}$ ) ile çarpılarak hesaplamalarda kullanılacak olan izolasyon birimi parametrelerinin üst ve alt sınır değerleri elde edilir. Üst ve alt limitlerin değerlerini hesaplamak için sırasıyla aşağıdaki denklemler (Denklem 3.21), (Denklem 3.22) kullanılır. Fakat deneysel veya prototip bilgisi olmaması durumunda aşağıdaki Tablo 3.3.'teki değerler kullanılır.

$$\lambda_{üst} = \left(1 + 0,75(\lambda_{ae,üst} - 1)\right) * \lambda_{deney,üst} * \lambda_{spek,üst} \quad (3.21)$$

$$\lambda_{alt} = \left(1 - 0,75(1 - \lambda_{ae,alt})\right) * \lambda_{deney,alt} * \lambda_{spek,alt} \quad (3.22)$$

$\lambda_{ae}$  yaşlanma ve çevresel etkiler,  $\lambda_{deney}$  yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler,  $\lambda_{spek}$  ise üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir.

Tablo 3.3. (KÇE) Kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimleri dayanım ve rijitlik parametreleri alt ve üst sınır öneri değerleri [38].

	Tip	$F_Q$		$K_2$	
		alt	üst	alt	üst
$\lambda_{ac}$	KÇE	1,00	1,10	1,00	1,30
$\lambda_{deney}$	KÇE	0,70	1,30	0,90	1,30
$\lambda_{spek}$	KÇE	0,85	1,15	0,85	1,15

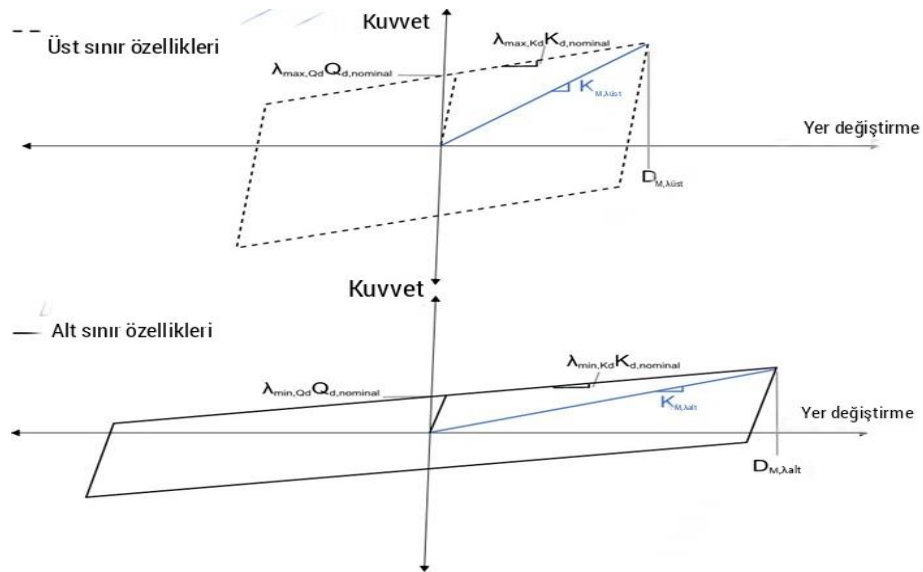
Burada  $F_Q$  kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi karakteristik dayanımını,  $k_2$  kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi ikincil rijitliğini belirtmektedir [38].

Bu çalışmada Tablo 3.3.'te önerilen değerlerden yararlanılarak yukarıda belirtilen iki denklem (Denklem 3.21), (Denklem 3.22) kullanılarak alt ve üst sınır değerleri hesaplanmıştır (Table 3.4.).

Tablo 3.4. Dayanım ve rijitlik parametreleri için hesaplanan alt ve üst sınır değerler.

	$F_Q$		$K_2$
$\lambda_{üst}$	1,607	$\lambda_{üst}$	1,831
$\lambda_{alt}$	0,595	$\lambda_{alt}$	0,765

Aşağıdaki Şekil 3.4., bir sismik izolatörün kuvvet-yer değiştirme eğrisi üzerindeki alt ve üst sınırların etkisini göstermektedir.



Şekil 3.4. Üst ve alt sınır izolatör kuvvet-yer değiştirme özellikleri [43].

### 3.3.6. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerin özelliklerinin hesaplanması

Bu aşamada kurşun çekirdekli elastomer yalıtım biriminin boyutları, alanı ve bu elastomer yalıtım biriminin düşey rijitlik değeri hesaplanmasına yönelik bilgiler verilmiştir.

Elastomerik izolatorler iki farklı yapısal bileşenden oluşur: kauçuk tabakalar ve çelik plakalardır. Elastomer levha çapı (B) ve kurşun çekirdek çapı değerinin ( $B_L$ ) hesaplaması için TBDY(2018) tarafından belirlenen denklemler (Denklem 3.23), (Denklem 3.24) sırasıyla kullanılmıştır.

$$B = \sqrt{\frac{4 \times A_{toplam}}{\pi}} \quad (3.23)$$

$$A_{toplam} = A_p + A_r$$

$$B_L = \sqrt{\frac{4 \times A_p}{\pi}} \quad (3.24)$$

Dairesel kesitli ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için,  $A_p$  kurşun çekirdeğin alanını temsil eder ve denklem (Denklem 3.25) ile hesaplanır,  $A_r$  kauçuk tabakanın alanını temsil eder ve (Denklem 3.26) ile hesaplanır.

$$A_r = \frac{k_2 \times T_r}{G_v} \quad \text{yada} \quad A_r = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (B^2 - B_L^2) \quad (3.25)$$

$$A_p = \frac{F_Q}{\tau_{yp}} \quad \text{yada} \quad A_p = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times B_L^2 \quad (3.26)$$

$G_v$  elastomer kayma modülü, B elastomer levha çapı,  $B_L$  kurşun çekirdek çapı değeri,  $T_r$  toplam elastomer kalınlığı ve  $\tau_{yp}$  kurşun malzemenin kayma akma gerilmesini ifade etmektedir.

Yürütülen çalışmada her bir çelik plaka kalınlığı  $t_s = 3\text{mm}$ , kauçuk tabaka kalınlığı ise  $t = 10\text{mm}$  olarak seçilmiştir [42].

Daha sonra kauçuk katman sayısı ( $n_{kauçuk}$ ), çelik plaka sayısı ( $n_s$ ) ve yalıtkanın toplam yüksekliği (H) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$n_{kauçuk} = \frac{T_r}{t_{kauçuk}}$$

$$n_s = n_{kauçuk} - 1$$

$$H = n_{kauçuk} \times t_{kauçuk} + n_s \times t_s$$

### 3.3.7. Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitlik değeri $E_v$

İzolatörün yatay rijitliği daha önce hesaplanmıştır ve bu aşamada, TBDY(2018)'de gösterilen (Denklem 3.27)'de temsil edilen düşey rijitliği hesaplanacaktır.

$$k_v = \frac{E_v \times A_r}{T_r} \quad (3.27)$$

$A_r$  kauçuk tabakanın alanı,  $T_r$  toplam elastomer kalınlığı,  $E_v$  düşey rijitlik faktörünü temsil eder ve aşağıdaki (Denklem 3.28)'e göre hesaplanır.

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} \quad (3.28)$$

$K$  kauçuk malzemenin hacim modülü olup, 2000MPa alınacaktır.  $E_c$  elastomer yalıtım biriminin basınç modülüdür ve (Denklem 3.29) 'a ile hesaplanacaktır [38] .

$$E_c = E_0(1 + 2kS^2) \quad (3.29)$$

$E_0$  kauçuk malzemenin esneklik modülü temsil edip,  $E_0=4G_v$  bağıntısı ile hesaplanacaktır. ( $k$ ) katsayısı, kauçuk malzemenin sertlik değerinin 50-60 ve 70 olduğu durumlarda, sırası ile 0,75-0,60 ve 0,55 olarak alınacaktır [38]. Bu çalışmada  $k=0,75$  alınmıştır.

$S$  dairesel kesitli ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinin şekil katsayısı olup, değeri (Denklem 3.30) ile hesaplanacaktır.

$$S = \frac{(B^2 - B_L^2)}{4Bt} \quad (3.30)$$

B elastomer levha çapı,  $B_L$  kurşun çekirdek çapı ve (t) kauçuk tabaka kalınlığını ifade etmektedir.

### 3.3.8. Sismik izolasyon sistemlerinin birim şekil değiştirme sınırları ve düşey kararlılığı

Kurşun çekirdekli izolatörün tasarımı için gerekli hesaplar gerçekleştirildikten sonra, tasarlanan bu izolatörün deprem sırasında veya depremsiz durumda büyük eksenel yükleri taşıyıp taşımadığının kontrol edilmesi ihmal edilmemelidir. Bu nedenle izolatör tasarımı sırasında izolasyon sistemi için hem stabilite kontrolleri hem de birim şekildeğiştirme sınırları kontrol yapılmalı [44].

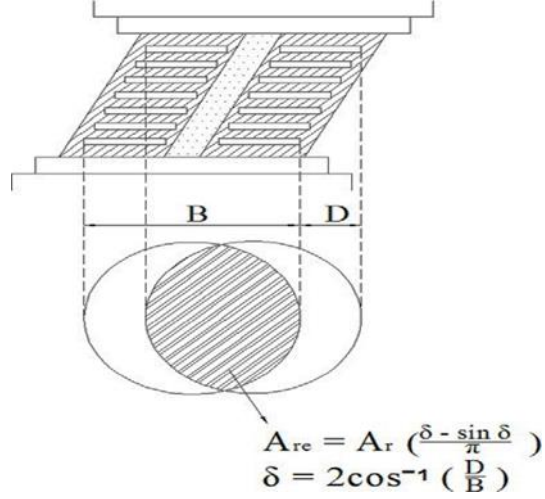
İlk olarak, kurşun çekirdekli sismik yalıtkan için burulma yükünün değeri, TBDY(2018)'de (Denklem 3.31)'e göre yatay bir yer değiştirme yokluğunda hesaplanacaktır.

$$P_{cr} = 0,218 \frac{G_v \times B^4 (1 - B_L/B)(1 - B_L^2/B^2)}{T_r \times t (1 + B_L^2/B^2)} \quad (3.31)$$

B,  $B_L$ ,  $G_v$ ,  $T_r$  ve t değerleri daha önce açıklanmıştı. Ancak yatay bir yer değiştirme varsa, burulma yükü aşağıdaki (Denklem 3.32) ile hesaplanır.

$$P'_{cr} = P_{cr} \times \frac{A_{re}}{A} \quad (3.32)$$

Aşağıdaki verilen (Şekil 3.5.),  $A_{re}$  değeri hesaplama yöntemini göstermektedir. Burada,  $D=D_{TM}$  olarak kullanılacaktır.



Şekil 3.5. Are değeri hesaplama yöntmi [38].

Daha sonra birim şekilde değiştirmele ilgili aksenal yük kapasitesinin değeri (Denklem 3.33)'e göre hesaplanır.

$$P_{str} = \frac{3,5 \times A_{re} \times E_c}{6S} \quad (3.33)$$

Yukarıdaki denklemde geçen ( $E_c$ ) ve ( $S$ ) sırasıyla elastomer yalıtım biriminin basınç modülü ve şekil katsayısını temsil etmektedir.

Son olarak, burulma yükü değeri için aşağıdaki iki denklemde belirtilen limitler, yatay yer değiştirme varsa (Denklem 3.34)'te, yoksa (Denklem 3.35)'te kontrol edilmelidir.

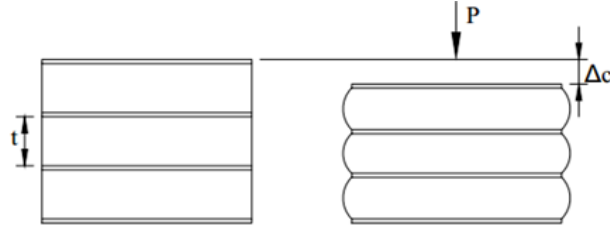
$$\frac{\min(P'_{cr}, P_{str})}{P_{k2}} \geq 1,1 \quad (3.34)$$

$$\frac{\min(P_{cr}, P_{str})}{P_{k1}} \geq 2 \quad (3.35)$$

( $P_{k1}$ ) bu yük birleşimi altında ( $1,4G + 1,6Q$ ) elde edilen düşey kuvvet, ( $P_{k2}$ ) ise bu yük birleşimi altında ( $1,2G + Qd \pm Ed$ ) elde edilen düşey kuvvettir.

Bir depresiz durumda birim şekil değiştirmenin üç bileşeni vardır. Birincisi, (Denklem 3.36)'ya göre hesaplanan, basınçtanın neden olduğu açısal şekildeğiştirme (Şekil 3.6.)'da gösterilmiştir.

$$\gamma_{c,st} = \frac{6 \times S \times P_{k1}}{A_r \times E_c} \quad (3.36)$$

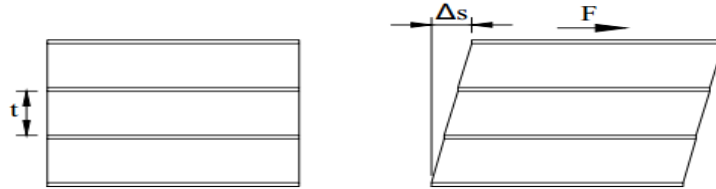


Şekil 3.6. Basınçtanın neden olduğu açısız şekil değiştirme [38].

İkincisi, deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı (genleşme, rüzgar vb.) oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısız şekil değiştirme (Denklem 3.37) Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.

$$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta_s}{T_r} \quad (3.37)$$

Burada,  $\Delta_s$  yatay yüklemenden meydana gelen yatay yerdeğiştirme miktarıdır.

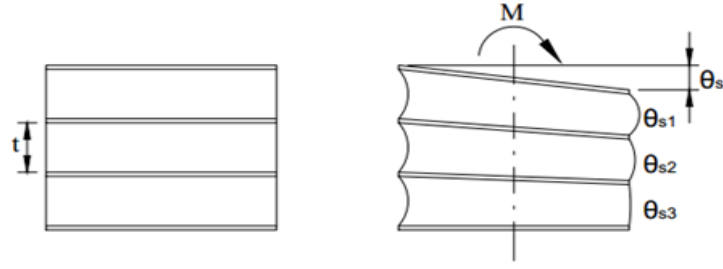


Şekil 3.7. Yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısız şekil değiştirme [38].

Üçüncüsü, yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görece dönmeden meydana gelen birim şekil değiştirme (Denklem 3.38) Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.

$$\gamma_{r,st} = \frac{B^2 \times \theta_s}{2 \times t \times T_r} \quad (3.38)$$

Burada, tasarım dönme açısı ( $\theta_s$ ) sabit yük, hareketli yük ve imalat sırasındaki oluşan dönme etkilerini de içerecektir. Bu değer en az 0,005 radyan olarak alınacaktır. Bu çalışmada,  $\theta_s=0,005$  radyan olarak seçilmiştir.



Şekil 3.8. Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelî dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme [38].

Deprem etkisi ve düşey yük etkileri altında elastomer malzemede oluşacak birim şekildeğiştirmenin iki bileşeni vardır. Birincisi, yer hareketi seviyesi DD-1 ve DD-2'nin etkisi altında basınçtan kaynaklanan birim şekildeğiştirme (Denklem 3.39)' göre hesaplanır.

$$\gamma_{c,E} = \frac{6 \times S \times P_{k2}}{A_{re} \times E_c} \quad (3.39)$$

İkincisi, yer hareketi seviyesi DD-1 ve DD-2'nin etkisi altında yatay yerdeğiştirmeden kaynaklanan birim şekildeğiştirme (Denklem 3.40)'e göre hesaplanır.

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r} \quad (3.40)$$

İzolatörün tasarımında kauçuk izolatörlerde oluşan birim şekildeğiştirmeler için aşağıdaki dört koşulun sağlanması gerekmektedir.

Elastomer malzemede deprem yükü hariç düşey yüklerden meydana gelen birim şekildeğiştirmeler (Denklem 3.41) ve (Denklem 3.42)'deki sınırlardan en küçük olanını sağlayacaktır. Bu denklemlerde  $\epsilon_b$  elastomer malzemenin kopma birim şekildeğiştirme değeridir [38].

$$\gamma_{c,st} \leq 3,5 \text{ veya } \gamma_{c,st} < \epsilon_b/3 \quad (3.41)$$

$$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5 \text{ veya } \gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 0,75 \epsilon_b \quad (3.42)$$



Elastomer malzeme ara yüzünde yatay yerdeğiştirmeden ve dönmeden meydana gelen toplam birim Őekildeğiřme (Denklem 3.43) ve (Denklem 3.44)'daki sınırları sağlayacaktır [38].

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0,5\gamma_{r,st} \leq 6 \quad (3.43)$$

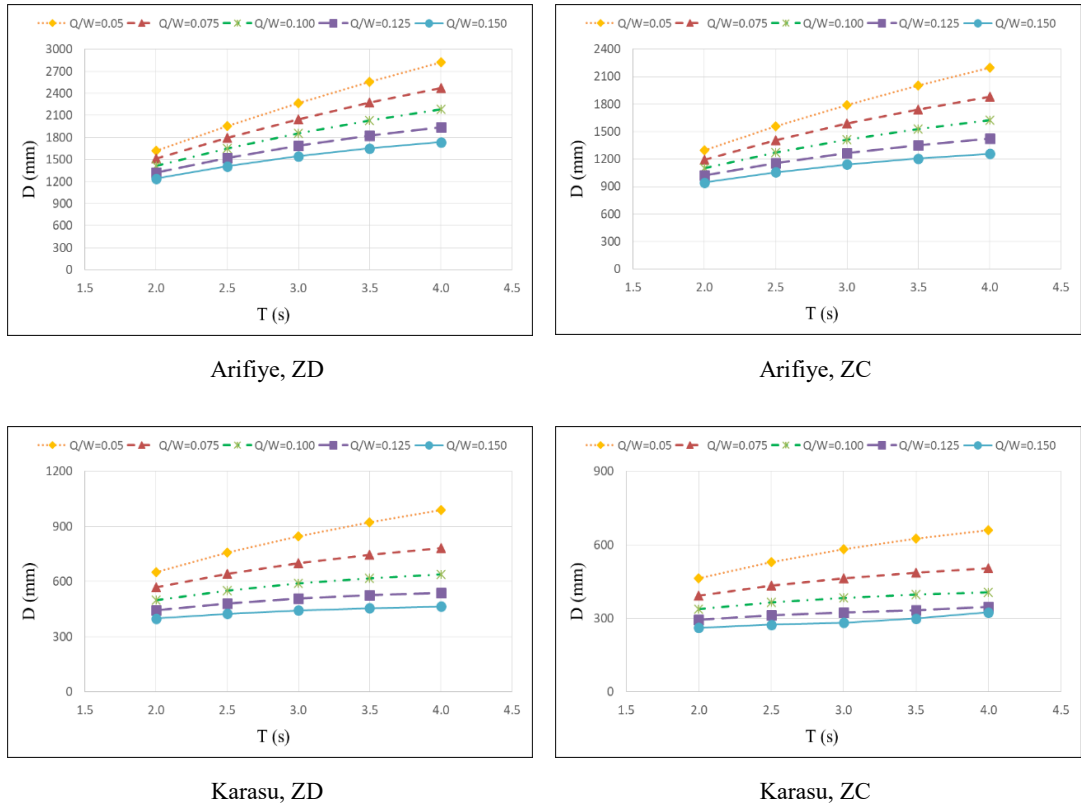
$$\gamma_{s,E} \leq 2 \quad (3.44)$$

## BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak, biri fay hattına uzak (Karasu) diğeri fay hattına yakın (Arifiye) olan iki lokasyon için bulgular sunulmuştur, diğeri lokasyonlar için ise bulguları ekte verilmiştir.

### 4.1. İzolatörün Yatay Yerdeğiştirmesi (D) İle Periyot (T) Arasındaki İlişki

(Şekil 4.1.), tasarlanan izolatorün maksimum yer değiştirmesi (D) ile periyot (T) arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 4.1. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak izolatorün maksimum yer değiştirmesi (D) ile izolatorün periyodu (T) arasındaki ilişki.

Şekil 4.1.'deki görüldüğü ki, izolasyonun yer değiştirilmesi (D) ile periyodu (T) arasındaki ilişki doğrudan bir ilişki olup, izolasyonun yatay yer değiştirme değeri, periyot değerindeki artışla birlikte artmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 4.1.'deki her bir lokasyonda maksimum ve minimum izolasyon yer değiştirmesinin değerine göre azalan sırada düzenlenir.

Tablo 4.1. İki farklı zemin sınıfı [ZD-ZC] için her lokasyonda maksimum ve minimum tasarlanan izolasyonun yer değiştirme değerleri .

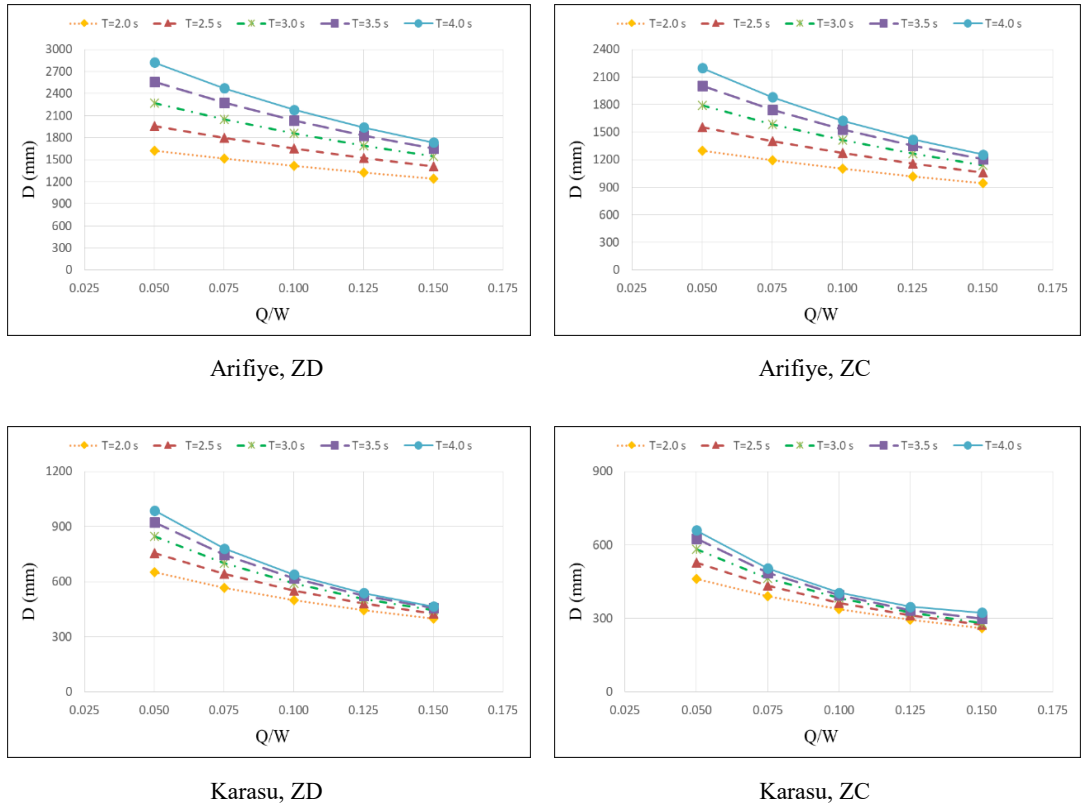
	ZD		ZC	
	Dmax(mm)	Dmin(mm)	Dmax(mm)	Dmin(mm)
Arifiye	2824	1241	2197	945
Akyazı	2819	1239	2193	943
Karapürçek	2812	1236	2188	941
Sapanca	2724	1193	2115	907
Erenler	2628	1148	2039	871
Serdivan	2591	1131	2007	857
Adapazarı	2362	1022	1824	772
Hendek	2197	945	1691	711
Geyve	1633	648	1252	513
Pamukova	1577	659	1212	496
Söğütü	1407	582	1058	428
Kocaeli	1270	521	917	368
Frezili	1257	515	904	362
Taraklı	1236	506	887	355
Kaynarca	1040	421	704	279
Karasu	988	398	660	261

Bu çalışmada seçilen lokasyonlar arasında tasarlanan izolasyonun maksimum yer değiştirme değerleri karşılaştırıldığında, fay hattına yaklaştıkça izolasyonun maksimum yer değiştirmesinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. En büyük izolasyon yer değiştirme değeri (ZD) zemin sınıfı için 2824 mm ve (ZC) zemin sınıfı için 2197 mm olarak hesap edilen Arifiye (fay hattına en yakın bölge olan) bölgesinde gözlemlenmiştir. Ayrıca, izolasyon yer değiştirmesinin en küçük değeri, (ZD) zemin sınıfı için 398 mm ve (ZC) zemin sınıfı için 261 mm olarak hesap edilen Karasu (fay hattına en uzak olan) bölgesinde de gözlemlenmiştir.

Tablo 4.1.'de elde edilen sonuçları inceledikten sonra, seçilen lokasyonların çoğu için maksimum izolatör yer değiştirme değerlerinin çok büyük ve kabul edilemez olduğu bulunmuştur. Bu büyük değerler, Sakarya şehrinin fay hattına çok yakın bir bölgede yer almasından kaynaklanmaktadır.

#### 4.2. İzolatörün Yatay Yerdeğiştirmesi (D) İle Karakteristik Dayanım Oranı (Q/W) Arasındaki İlişki

(Şekil 4.2.), tasarlanan izolatörün maksimum yer değiştirmesi (D) ile karakteristik dayanım oranı (Q/W) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



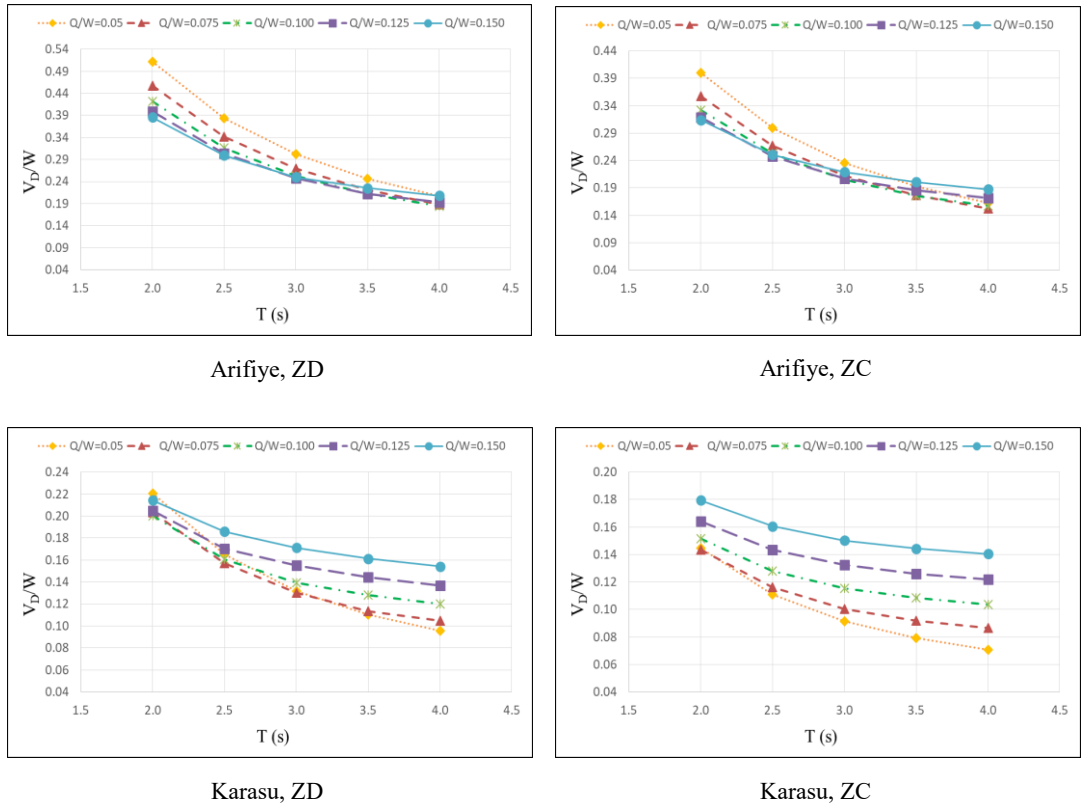
Şekil 4.2. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak tasarlanan izolatörün maksimum yer değiştirmesi (D) ile karakteristik dayanım oranı (Q/W) arasındaki ilişki.

Şekil 4.2.'deki görüldüğü gibi, izolatörün yer değiştirmesi (D) ile karakteristik dayanım oranı (Q/W) arasındaki ilişki, ters bir ilişkidir. Artan (Q/W) oranları ile izolatörün yer değiştirmesi (D) azalmaktadır. MİD'deki azalma, (Q/W) oranındaki bir

artışla izolator sisteminin nispeten rijit hale gelmesinden kaynaklanmaktadır, bunun sonucunda izolatorlerin yer değiştirmesi azaltılmaktadır.

### 4.3. İzolatorün Periyodu (T) İle Taban Kesme Oranı ( $V_D/W$ ) Arasındaki İlişki

(şekil 4.3.), tasarlanan izolatorün periyodu (T) ile taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



şekil 4.3. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile izolatorün periyodu (T) arasındaki ilişki.

şekil 4.3.'teki görüldüğü gibi, izolatorün periyodu (T) ile taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) arasındaki ilişki, ters bir ilişki olup, ( $V_D/W$ ) oranının değeri, izolatorün periyodundaki artışla azalmaktadır. Ama taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile izolatorün periyodu arasındaki ilişki tamamen düzenli bir ilişki değildir, bu nedenle sonuçlar fay hattı mesafesine, karakteristik dayanım oranına ( $Q/W$ ) ve hatta zemin sınıfına göre büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Genel olarak, taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) değeri, ( $Q/W$ ) değerine bağlı olarak farklı bir oranda periyot arttıkça azaltılmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 4.2.'deki her bir lokasyonda maksimum ve minimum  $V_D/W$  oranının değerine göre azalan sırada düzenlenmiştir.

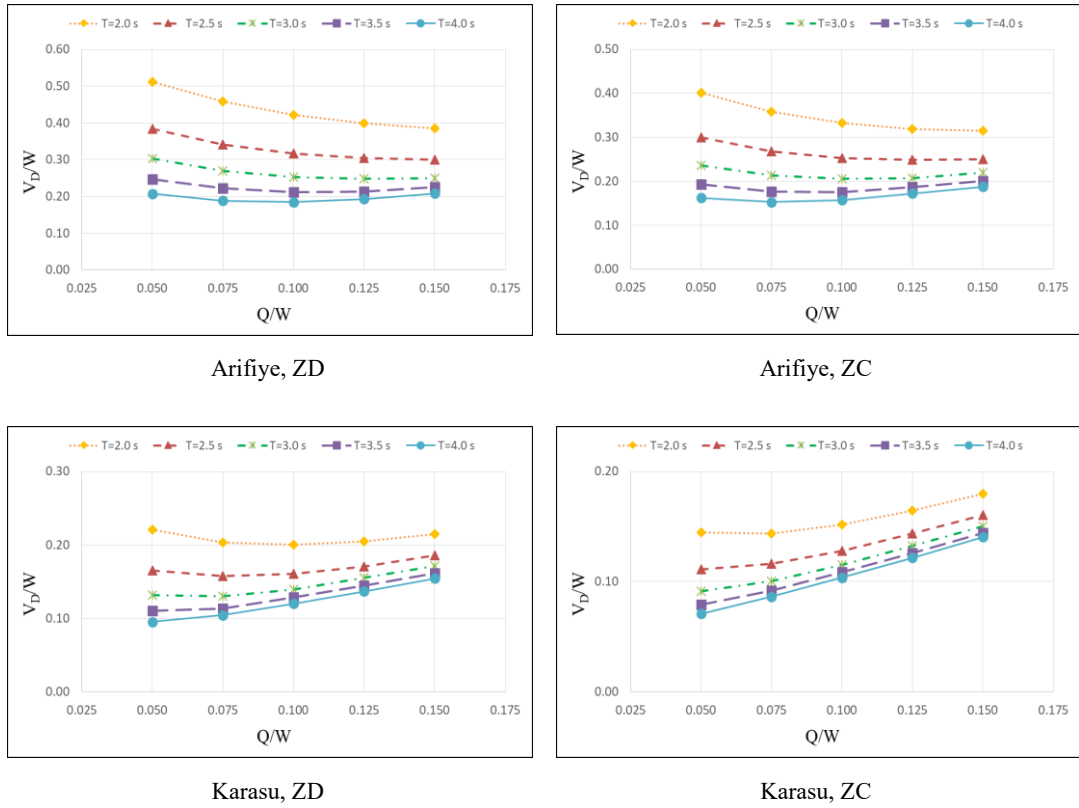
Tablo 4.2. İki farklı zemin sınıfı [ZD-ZC] için her lokasyonda maksimum ve minimum  $V_D/W$  oranının değerleri.

	ZD		ZC	
	$V_D/W(\max)$	$V_D/W(\min)$	$V_D/W(\max)$	$V_D/W(\min)$
Arifiye	0,51	0,18	0,4	0,15
Akyazı	0,51	0,18	0,4	0,15
Karapürçek	0,51	0,18	0,4	0,15
Sapanca	0,5	0,18	0,39	0,15
Erenler	0,49	0,18	0,38	0,15
Serdivan	0,48	0,18	0,37	0,14
Adapazarı	0,45	0,17	0,34	0,13
Hendek	0,42	0,16	0,31	0,13
Geyve	0,33	0,13	0,23	0,1
Pamukova	0,31	0,13	0,22	0,09
Söğütlü	0,29	0,12	0,21	0,09
Frezili	0,27	0,11	0,2	0,08
Kocaali	0,26	0,11	0,19	0,08
Taraklı	0,26	0,11	0,19	0,08
Kaynarca	0,23	0,1	0,18	0,07
Karasu	0,22	0,1	0,18	0,07

Bu çalışmada seçilen lokasyonlar arasında taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) değerleri karşılaştırıldığında, ( $V_D/W$ ) değerinin fay hattına olan mesafeden etkilendiğini tespit edilmiştir. En büyük ( $V_D/W$ ) değeri (ZD) zemin sınıfı için 0,51 ve (ZC) zemin sınıfı için 0,4 olarak hesap edilen Arifiye, Akyazı ve Karapürçek (fay hattına en yakın bölge olan) bölgesinde gözlemlenmiştir. Ayrıca, ( $V_D/W$ ) oranının en küçük değeri, (ZD) zemin sınıfı için 0,1 ve (ZC) zemin sınıfı için 0,07 olarak hesap edilen Karasu (fay hattına en uzak olan) bölgesinde de gözlemlenmiştir.

#### 4.4. Taban Kesme Oranı ( $V_D/W$ ) İle Karakteristik Dayanım Oranı ( $Q/W$ ) Arasındaki İlişki

(Şekil 4.4.), taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.

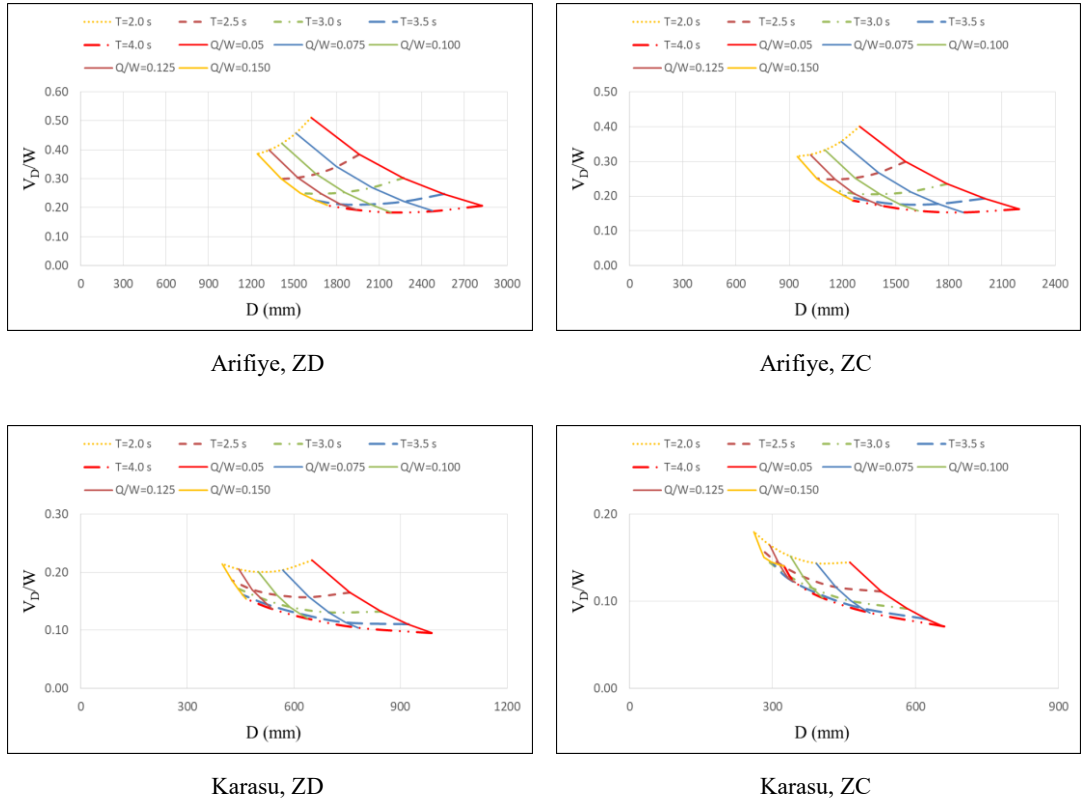


Şekil 4.4. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişki.

Şekil 4.4.'teki görüldüğü gibi, taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ve karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişki, fay hattından uzaklığa göre iki tipe ayrılmaktadır. Fay hattına yakın lokasyonlarda ters bir ilişki varken, fay hattından uzak lokasyonlarda doğrudan bir ilişki vardır. Örneğin, fay hattından uzak lokasyonlarda (Karasu) bazı anomaliler olsa da ( $T=2s$  ve ZD zemin sınıfı için), ilişki doğrudan ilişkiye daha yakındır, yani genel olarak ( $V_D/W$ )'nun değeri ( $Q/W$ )'nun değeri arttıkça artar. Değer taraftan, fay hattına yakın lokasyonlarda ilişki ters ilişkiye daha yakındır. Örneğin, Arifiye'de ve (ZD) zemin sınıfı için [ $T=2-3s$ ] aralığında için karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) değeri arttıkça taban kesme oranının ( $V_D/W$ ) değeri azalır, ancak [ $T=3,5-4s$ ] aralığında taban kesme oranı eğrisi ( $V_D/W$ ) en küçük değerine ulaşıncaya kadar azalmaya başlar ve daha sonra artmaya geri dönmektedir. Ama (ZC) zemin sınıfı için [ $T=2-2,5s$ ] aralığında için ( $Q/W$ ) değeri arttıkça ( $V_D/W$ ) değeri azalır, ancak [ $T=3-4s$ ] aralığında taban kesme oranı eğrisi ( $V_D/W$ ) en küçük değerine ulaşıncaya kadar azalmaya başlar ve daha sonra artmaya devam etmektedir.

#### 4.5. Taban Kesme Oranı ( $V_D/W$ ) İle İzolatörün Desplasmanı (D) Arasındaki İlişki

(Şekil 4.5.), taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile izolatörün desplasmanı (D) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



Şekil 4.5. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile izolatörün desplasmanı (D) arasındaki ilişki.

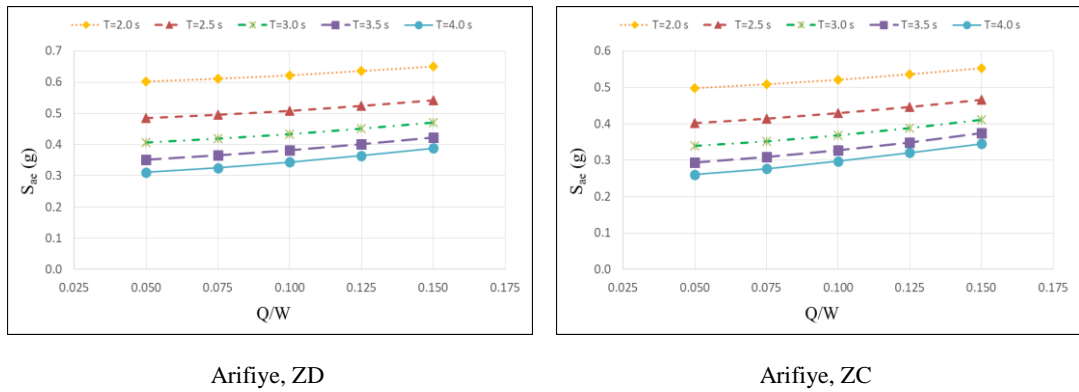
Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biri taban kesme oranı-deplasman grafiklerini elde etmektir, çünkü bu grafikler sismik izolasyonun ön tasarımında etkili ve önemli bir araçtır. Daha önceki çalışmalarda da bu grafiklerin önemi vurgulanmıştır. Taban kesme oranı-yerdeğiştirme grafikleriyle, sistemin talepleri ve genel davranış gözlemlenebilir ve hızlı bir değerlendirme sağlayabilir. Taban kesme oranı-yerdeğiştirme grafikleri tüm tipik sismik yalıtım sistemleri için kullanılabilir çünkü hesaplamalar elastik ötesi periyot ve akma seviyelerine dayanır. Farklı sistemlerin karşılaştırılması aynı grafikte yapılabilir ve bu özellik karar verme sürecinde tüm alternatifleri değerlendirmeyi daha uygun hale getirir [45].



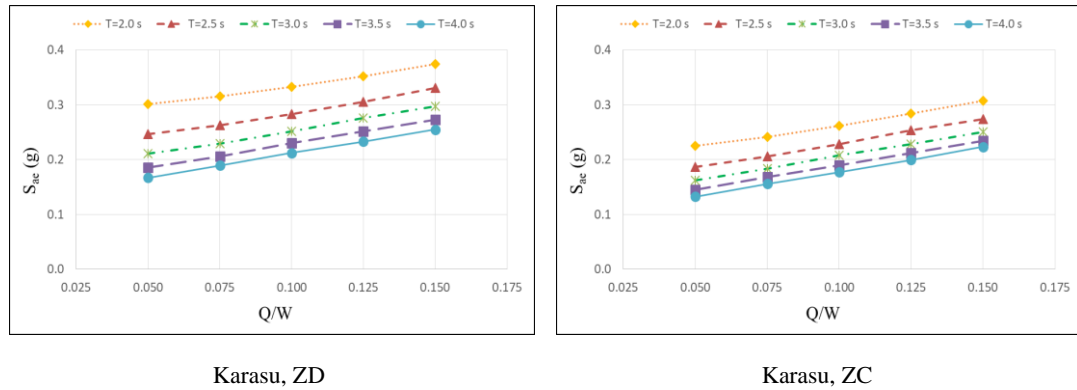
Şekil 4.5.'te görülüyor ki, taban kesme oranı-deplasman grafiklerinin fay hattından uzaklığa göre iki bölüme ayrıldığını görülmüştür. Fay hattına yakın lokasyonlar için ve özellikle Arifiye bölgesinde ZD için en kısa periyot ( $T=2s$ ) ve bu oranı ( $Q/W=0,05$ ) çifti için taban kesme oranı  $V_D/W$  en büyük, en uzun periyot ( $T=4s$ ) ve bu oranı ( $Q/W=0,1$ ) için taban kesme oranı  $V_D/W$  en küçük değerindedir. ZC için en kısa periyot ( $T=2s$ ) ve bu oranı ( $Q/W=0,05$ ) çifti için taban kesme oranı  $V_D/W$  en büyük, en uzun periyot ( $T=4s$ ) ve bu oranı ( $Q/W=0,075$ ) için taban kesme oranı  $V_D/W$  en küçük değerindedir. Fay hattından uzak lokasyonlarda ise ve özellikle Karasu bölgesinde, ZD için en kısa periyot ( $T=2s$ ) ve en küçük oranı ( $Q/W=0,05$ ) çifti için  $V_D/W$  oranı en büyük, en uzun periyot ( $T=4s$ ) ve bu oranları ( $Q/W=0,075-0,05$ ) için  $V_D/W$  oranı en küçük değerindedir. ZC için en kısa periyot ( $T=2s$ ) ve en büyük oranı ( $Q/W=0,15$ ) çifti için  $V_D/W$  oranı en büyük, en uzun periyot ( $T=4s$ ) ve en küçük oranı ( $Q/W=0,05$ ) için  $V_D/W$  oranı en küçük değerindedir. Tüm durumlarda sistem yer değiştirmesinin; en kısa periyot ( $T=2s$ ) ve en büyük akma oranında ( $Q/W=0,15$ ) en küçük, en uzun periyot ( $T=4s$ ) ve en küçük akma oranında ( $Q/W=0,05$ ) en büyük değerinde olduğu gözlenmiştir.

#### 4.6. Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmeleri $S_{ac}(T)$ İle Karakteristik Dayanım Oranı ( $Q/W$ ) Arasındaki İlişki

(Şekil 4.6.), yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ac}(T)$  ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



Şekil 4.6. (Devamı)



Şekil 4.6. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  ile karakteristik dayanımın oranı (Q/W) arasındaki ilişki.

Şekil 4.6.'daki görüldüğü gibi, yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  ile karakteristik dayanım oranı arasındaki ilişki, doğrudan bir ilişki olup,  $S_{ae}(T)$  değeri, karakteristik dayanım oranındaki artışla artmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 4.3.'teki her bir lokasyon maksimum ve minimum yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin değerine göre azalan sırada düzenlenmiştir.

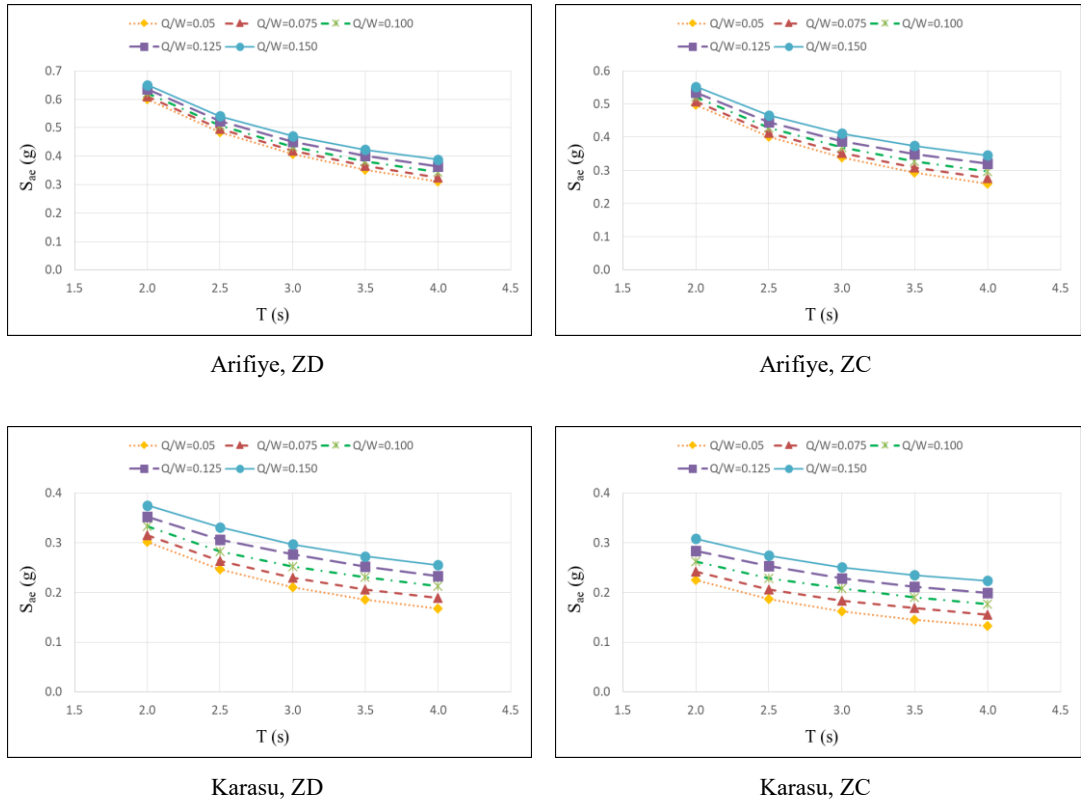
Tablo 4.3. İki farklı zemin sınıfı [ZD-ZC] için her lokasyonda maksimum ve minimum yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin değerleri.

	ZD		ZC	
	$S_{ae}(T)$ max	$S_{ae}(T)$ min	$S_{ae}(T)$ max	$S_{ae}(T)$ min
Arifiye	0,65	0,311	0,552	0,261
Akyazı	0,65	0,311	0,552	0,26
Karapürçek	0,649	0,31	0,551	0,26
Sapanca	0,636	0,304	0,54	0,254
Erenler	0,624	0,298	0,529	0,248
Serdivan	0,619	0,295	0,524	0,246
Adapazarı	0,588	0,279	0,496	0,231
Hendek	0,563	0,266	0,474	0,22
Geyve	0,476	0,221	0,401	0,181
Pamukova	0,466	0,215	0,392	0,176
Söğütlü	0,442	0,203	0,37	0,165
Frezili	0,419	0,19	0,347	0,153
Kocaaali	0,417	0,189	0,345	0,151
Taraklı	0,415	0,188	0,343	0,151
Kaynarca	0,384	0,172	0,316	0,136
Karasu	0,375	0,167	0,308	0,132

Bu çalışmada seçilen lokasyonlar arasında yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin  $S_{ac}(T)$  değerleri karşılaştırıldığında,  $S_{ac}(T)$  değerlerinin fay hattı yakınında arttığı da tespit edilmiştir. En büyük  $S_{ac}(T)$  değeri ZD zemin sınıfı için 0,65 ve (ZC) zemin sınıfı için 0,552 olarak hesap edilen Arifiye (fay hattına en yakın bölge olan) bölgesinde gözlemlenmiştir. Ayrıca,  $S_{ac}(T)$  en küçük değeri, (ZD) zemin sınıfı için 0,167 ve (ZC) zemin sınıfı için 0,132 olarak hesap edilen Karasu (fay hattına en uzak olan) bölgesinde de gözlemlenmiştir.

#### 4.7. Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmeleri $S_{ac}(T)$ İle İzolatörün Periyodu (T) Arasındaki İlişki

(Şekil 4.7.), yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ac}(T)$  ile izolatörün periyodu (T) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



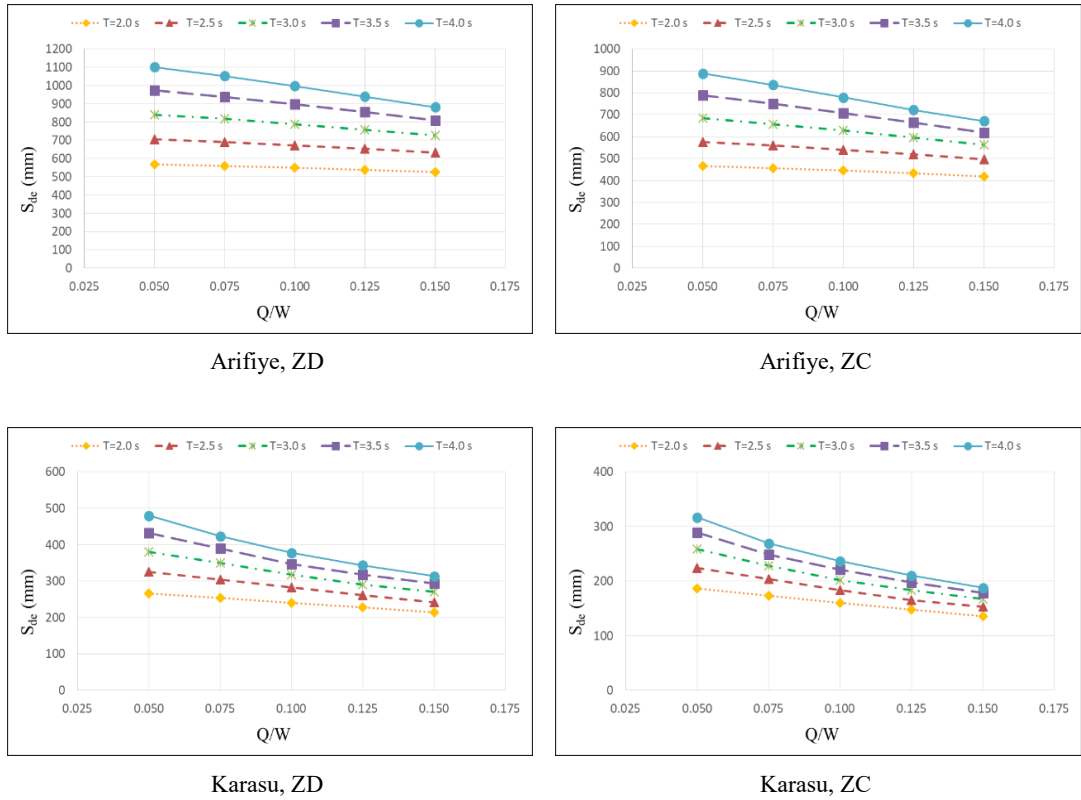
Şekil 4.7. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ac}(T)$  ile izolatörün periyodu (T) arasındaki ilişki.

Bu çalışmada (Denklem 3.1)'e göre yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  ile izolatörün periyodu arasındaki ilişki, ters bir ilişki olup,  $S_{ae}(T)$  değeri, izolatörün periyodundaki artışla azalmaktadır ve periyot değeri  $T=2s$  olduğunda yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin en yüksek değerleri beklendiği gibi gözlenmiştir (Şekil4.7.).

En uzun periyot ( $T=5s$ ) ve en küçük ( $Q/W=0,05$ ) oranı çifti için yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  en küçük, en kısa periyot ( $T=2s$ ) ve en büyük ( $Q/W=0,15$ ) oranı çifti için yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  en büyük değerindedir.

#### 4.8. Yatay Elastik Tasarım Spektral Yerdeğiştirmeleri $S_{de}(T)$ İle Karakteristik Dayanım Oranı ( $Q/W$ ) Arasındaki İlişki

(Şekil 4.8.), yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri  $S_{de}(T)$  ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



Şekil 4.8. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri  $S_{de}(T)$  ile karakteristik dayanım oranı arasındaki ilişki.

Şekil 4.8.'deki görüldüğü gibi, yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri  $S_{de}(T)$  ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişki, ters bir ilişki olup,  $S_{de}(T)$  değeri, karakteristik dayanım oranındaki artışla azalmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 4.4.'teki her bir lokasyonda maksimum ve minimum yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri değerine göre azalan sırada düzenlenmiştir.

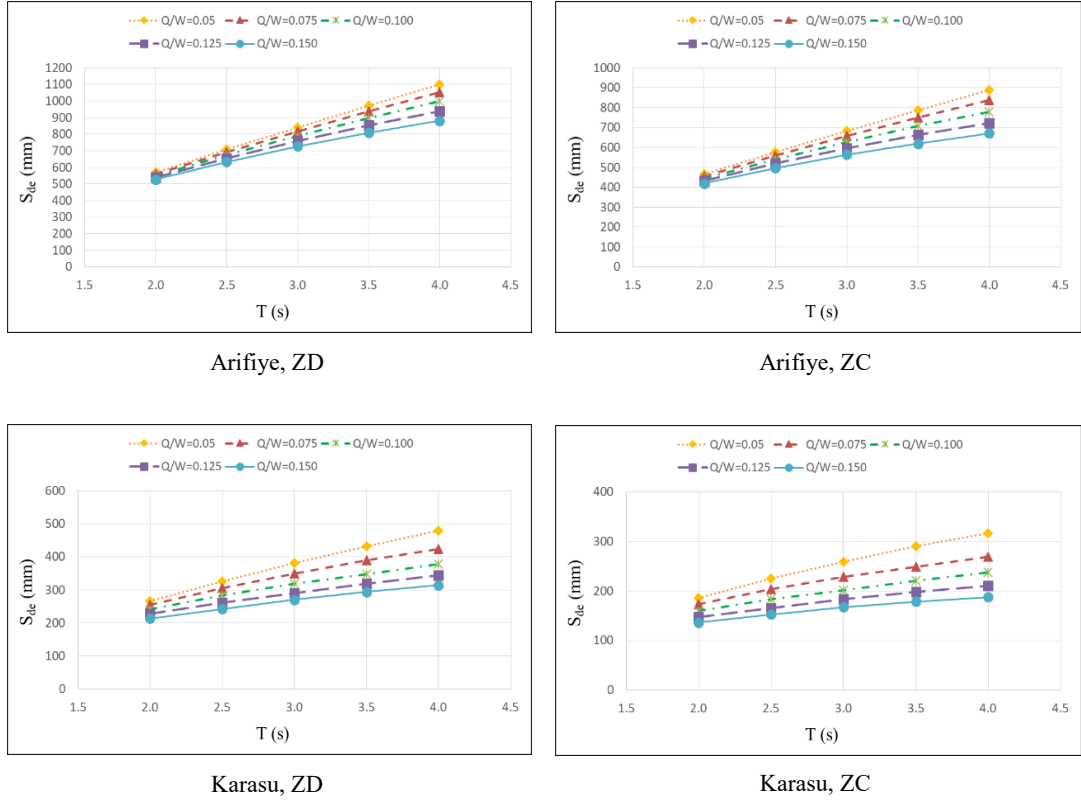
Tablo 4.4. İki farklı zemin sınıfı [ZD-ZC] için her lokasyonda maksimum ve minimum tasarım spektral yer değiştirmeleri [mm] değerleri .

	ZD		ZC	
	$S_{de}(T)_{max}(mm)$	$S_{de}(T)_{min}(mm)$	$S_{de}(T)_{max}(mm)$	$S_{de}(T)_{min}(mm)$
Arifiye	1100,841	526,727	889,067	419,244
Akyazı	1099,524	526,059	887,711	418,556
Karaprcek	1098,205	525,389	886,928	418,159
Sapanca	1071,502	511,838	861,523	405,273
Erenler	1045,066	498,421	837,173	392,927
Serdivan	1033,174	492,385	825,903	387,215
Adapazarı	966,535	458,559	763,593	355,667
Hendek	913,221	431,5	714,094	330,66
Geyve	718,955	333,112	543,951	245,449
Pamukova	695,922	321,496	521,792	234,49
Söğütlü	640,367	293,554	469,564	208,857
Frezili	585,008	265,86	413,552	181,753
Kocaali	581,028	263,876	407,74	178,968
Taraklı	575,217	260,981	403,466	176,923
Kaynarca	502,657	225,065	336,13	145,174
Karasu	479,757	213,836	316,551	136,126

Bu çalışmada seçilen lokasyonlar arasında yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmelerinin  $S_{de}(T)$  değerleri karşılaştırıldığında,  $S_{de}(T)$  değerlerinin fay hattı yakınında arttığı da tespit edilmiştir. En büyük  $S_{de}(T)$  değeri (ZD) zemin sınıfı için 1100,84 mm ve (ZC) zemin sınıfı için 889,067 mm olarak hesap edilen Arifiye (fay hattına en yakın bölge olan) bölgesinde gözlemlenmiştir. Ayrıca,  $S_{de}(T)$  en küçük değeri, (ZD) zemin sınıfı için 213,836 mm ve (ZC) zemin sınıfı için 136,126 mm olarak hesap edilen Karasu (fay hattına en uzak olan) bölgesinde de gözlemlenmiştir.

#### 4.9. Yatay Elastik Tasarım Spektral Yerdeğiştirmeleri $S_{de}(T)$ İle İzolatörün Periyodu (T) Arasındaki İlişki

(şekil 4.9.), yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri  $S_{de}(T)$  ile izolatörün periyodu (T) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



şekil 4.9. Fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri  $S_{de}(T)$  ile izolatörün periyodu (T) arasındaki ilişki.

şekil 4.9.'daki görüldüğü gibi, yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri  $S_{de}(T)$  ile izolatörün periyodu arasındaki ilişki, doğrudan bir ilişki olup,  $S_{de}(T)$  değeri, izolatörün periyodundaki artışla artmaktadır.

Yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmenin  $S_{de}(T)$  değeri (Denklem 3.3)'e göre izolatörün periyodu karesi ile ilgilidir ve periyot değeri ( $T=4s$ ) olduğunda yatay elastik tasarım spektral değiştirmenin en yüksek değerleri gözlenmiştir.

Beş farklı (Q/W) değerlerini temsil eden eğriler için (T=2s) periyodunun değeri olduğunda yatay elastik tasarım spektral değıştirmenin  $S_{de}(T)$  değeri yaklaşık olarak eşittir.

En uzun periyot (T=4s) ve en küçük (Q/W=0,05) oranı çifti için yatay elastik tasarım spektral yerdeğıştirmeleri  $S_{de}(T)$  en büyük, en kısa periyot (T=2s) ve en büyük (Q/W=0,15) oranı çifti için yatay elastik tasarım spektral yerdeğıştirmeleri  $S_{de}(T)$  en küçük değerindedir.

Yatay elastik tasarım spektral yer değıştirmenin  $S_{de}(T)$  ve yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin  $S_{ae}(T)$ , nominal değerler kullanılarak hesaplanmıştır.

Üst yapıya etkiyen en büyük yatay Kuvvet ( $V_D$ ) değerleri, DD-2 tasarım deprem yer hareketi seviyesinde ikincil rijitlik ve karakteristik dayanım üst sınırları kullanılarak hesaplanmıştır [ $k_2 \times \lambda_{üst}$  ve  $F_Q \times \lambda_{üst}$ ].

İzolatörün yatay yer değıştirme (D) değerleri, DD-1 en büyük deprem yer hareketi seviyesinde ikincil rijitlik ve karakteristik dayanım alt sınırları kullanılarak hesaplanmıştır [ $k_2 \times \lambda_{alt}$  ve  $F_Q \times \lambda_{alt}$ ].

## BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sismik izolatörlerin davranışına etki eden parametreler incelenmiştir. Bu amaçla 4 katlı betonarme bir yapı altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün tasarımı yapılmıştır. Yürütülen bu tez çalışmasında, Etkin Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak TBDY (2018)'de belirtilen deprem şartnamesine göre sismik izolatör tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın amacı, sismik izolasyon seviyesinde oluşan yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları belirlenmek ve sismik izolatörlerin davranışına etki eden parametreler incelenmektedir.

Bu çalışma kapsamında yürütülen analizlerde dikkate alınan temel parametreler şu şekildedir: i) Fay hattından uzaklığın sismik izolatörlerin davranışı üzerindeki etkisini incelemesi, ii) İzolatörün periyodundaki (T) ve karakteristik dayanımındaki (Q/W) değişimin sismik izolatörlerin davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesi, iii) Zemin sınıfındaki değişimin sismik izolatörlerin davranışı üzerindeki etkisini incelemesi. Fay hattından uzaklığın izolatörün davranışına etkisini incelemek amacıyla Sakarya'da bir kısmı fay hattına uzak, bir kısmı da fay hattına yakın olan 16 farklı lokasyon seçilmiştir.

Çalışmada, izolatörlerin yapıldığı malzemelerin özelliklerindeki farklılıkları ve izolatörlerin ömrü boyunca mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri dikkate almak için iki farklı durumda hesaplamalar yapılmıştır. Birinci durum, üst sınır ( $\lambda_{üst}$ ) için yüksek rijitliğe sahip ve ikinci durum, alt sınır ( $\lambda_{alt}$ ) için düşük rijitliğe sahip bir izolatör özellikleri dikkate alınmıştır. Daha sonra bu sınır değerlerin izolatörün yatay yer değıştirmesi ve üst yapıya etki eden yatay kuvvet üzerindeki etkisi üzerine bir karşılaştırma yapılmıştır.



Gerçekleştirilen parametrik çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Değişen zemin sınıfının sismik izolasyon sistemi üzerindeki etkisini göstermek için, ZC zemin sınıfını temsil eden grafikler, ZD zemin sınıfını temsil eden grafiklerle karşılaştırılmıştır. Zemin daha sert olduğunda, Arifiye bölgesinde (fay hattına en yakın bölge) maksimum yer değiştirme 627 mm azalır ve bu değer fay hattından uzaklaştıkça (fay hattından en uzak bölgede) 328 mm'ye düşmektedir. Fay hattına yakın bölgelerde zemin sertliğinin etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca zemin daha sert olduğunda maksimum taban kesme %21,5 oranında fay hattına en yakın bölgelerde (Arifiye) azalmaktadır ve bu değer fay hattından uzaklaştıkça (Karasu bölgesinde) %18,18'e düşmektedir. Ayrıca zemin daha sert olduğunda, maksimum yatay elastik tasarım spektral ivmelerin  $S_{ae}(T)$ , Arifiye bölgesinde (fay hattına en yakın bölge) %15,07, Karasu bölgesinde (fay hattına en uzak bölge) ise %17,87 oranında azalmaktadır. Maksimum yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmenin  $S_{de}(T)$  değerleri de Arifiye bölgesinde (fay hattına en yakın bölge) 211,77 mm, Karasu bölgesinde (fay hattından en uzak bölge) ise 163,2 mm azalmaktadır. Diğer bir deyişle, zemin daha sert olduğunda, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin (MİD), taban kesme oranının ( $V_D/W$ ), tasarım spektral ivmesinin  $S_{ae}(T)$  ve tasarım spektral yer değiştirmesinin  $S_{de}(T)$  azaldığını bulunmuştur.

Fay hattından uzaklığın sismik izolasyon sistemine etkisini göstermek için fay hattından uzak lokasyonu temsil eden grafik, fay hattına yakın lokasyonu temsil eden grafiklerle karşılaştırılmıştır. Taban kesme oranı-deplasman grafikleri karşılaştırılarak (ZD) zemin sınıfı için (MİD) değerlerinin fay hattına en yakın ve en uzak bölge arasındaki farkın yaklaşık %65, ( $V_D/W$ ) değerlerinin farkın yaklaşık %56,9, yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin  $S_{ae}(T)$  farkın %42,3 ve yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme  $S_{de}(T)$  değerlerinin farkın %56,4 olduğu görülmüştür. (ZC) zemin sınıfı için (MİD) değerlerinin fay hattına en yakın ve en uzak bölge arasındaki farkın yaklaşık %70, ( $V_D/W$ ) değerlerinin farkın yaklaşık %55, yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin  $S_{ae}(T)$  farkın %44,2 ve yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmenin  $S_{de}(T)$  farkın yaklaşık %64,4 olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle, fay hattına yaklaştıkça, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin (MİD), taban kesme oranının ( $V_D/W$ ),

tasarım spektral ivmesinin  $S_{ac}(T)$  ve tasarım spektral yer değiştirmesinin  $S_{de}(T)$  arttığı bulunmuştur.

Taban kesme oranı-deplasman grafikleri, sismik izolasyonun ön tasarımında etkili ve görsel bir araçtır. Tasarımcı mühendise izolatörün özelliklerinin kapsamlı bir görünümünü sunar ve en iyi tasarıma ulaşmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, Sakarya ilinde seçilen lokasyonların çoğunda fay hattı yakınında bulunmalarından dolayı çok büyük ve kabul edilemez maksimum yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle, kurşun çekirdekli sismik izolatörler kullanıldığında zeminin iyileştirilmesi gerekir.

Yönetmelikte sınır analizlerde kullandığımız değerlerin çok güvenli tarafta olduğunu bu nedenle daha büyük yer değiştirme ve daha büyük kesme kuvveti ortaya çıktı.

Periyot daha büyük olduğunda, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin ( $MID$ ) ve tasarım spektral yer değiştirmesinin  $S_{de}(T)$  arttığı, taban kesme oranının ( $V_D/W$ ) ve tasarım spektral ivmesinin  $S_{ac}(T)$  azaldığı bulunmuştur.

Fay hattına yaklaşıkça, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin ( $MID$ ), taban kesme oranının ( $V_D/W$ ), tasarım spektral ivmesinin  $S_{ac}(T)$  ve tasarım spektral yer değiştirmesinin  $S_{de}(T)$  arttığı bulunmuştur.

Zemin daha sert olduğunda, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin ( $MID$ ), taban kesme oranının ( $V_D/W$ ), tasarım spektral ivmesinin  $S_{ac}(T)$  ve tasarım spektral yer değiştirmesinin  $S_{de}(T)$  azaldığını bulunmuştur.

Araştırmada elde edilen bulgulara göre, fay hattından uzaklığın, zemin sınıfının, izolatör periyot değerinin ve karakteristik dayanımının maksimum izolatör deplasmanı ( $MID$ ) ve maksimum izolatör kuvveti ( $MIF$ ) değerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

### 5.1. Öneriler

Bu çalışmada, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmıştır. Geleceğe yönelik çalışmalarda sürtünme yüzeyli izolatörler kullanılabilir ve aralarındaki fark araştırılabilir.

Bu çalışmada, sismik izolatörün ön tasarımını gerçekleştirmek için doğrusal yöntem kullanılarak hesaplamalar yapılmış olup, kesin sonuçlar elde etmek için doğrusal olmayan bir analiz yapılmasını öneririz.

Bu çalışmada, fay hattına yakın bölgelerde çok büyük yer değiştirme değerlerinin oluştuğunu göstermektedir. Bu nedenle bu bölgelerde izolatör deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak daha detaylı analizler yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Alomar, W., Analysis of seismic base-isolated reinforced concrete frame structures using time history method. Aleppo University, Faculty of Civil Engineering, Department of Structural Engineering, M.S. thesis, 2015.
- [2] Tsang, H.H., Geotechnical seismic isolation. Earthquake engineering: New research, 55-87, 2009.
- [3] Kan, Ö., Kaymaz, K., Zengin, B., Özcan, M., Türkiye'deki depreme dayanıklı yapıların sismik izolasyon tiplerinin incelenmesi. Munzur Üniversitesi Bilim ve Gençlik Dergisi, 5(2), 82-100, 2017.
- [4] Özdemir, N.B., Akçaer, G., Soyluk, A., Günümüz mimarisinde sismik izolasyon teknolojisi. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, 14-16, 2015.
- [5] Bayraktar, A., Keypour, H., Naderzadeh, A., Application of Ancient Earthquake Resistant Method in Modern Construction Technology. XVth WCEE proceedings, Lisboa, 2012.
- [6] Saiful Islam, A.B.M., Jameel, M., Jumaat, Z., Seismic isolation in buildings to be a practical reality: Behavior of structure and installation technique. Journal of Engineering and Technology Research, 3(4), 99-117, 2011.
- [7] www.ensonhaber.com., Erişim Tarihi: 2.11.2021.
- [8] Naeim, F., Kelly, J.M, Design of seismic isolated structures: From theory to practice, Wiley, New York, 1999.
- [9] Yenidogan, C., Earthquake-Resilient Design of Seismically Isolated Buildings: A Review of Technology. Vibration, 4(3), 602-647, 2021.
- [10] İlerisoy, Z., Takva, Y., Çolak, B., Bakbak, D., Sismik Taban İzolasyonu Sistemlerinin Konutlarda Kullanımının İncelenmesi. VI. International Earthquake Symposium Kocaeli, Kocaeli, 25-27, 2019.

- [11] Martelli, A., Forni, M., Panza, G., Features, recent application and conditions for the correct use of seismic isolation systems. Seismic control systems: design and performance assessment. Wit Press, Southampton, 1-16, 2013.
- [12] Erşeker, B., Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde deprem etkime açısının maksimum izolatör deplasmanlarına etkisi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekanik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [13] Celep, Z., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 5. baskı, Beta, İstanbul, 2017.
- [14] Zhou, F.L., Yang, Z., Liu, W.G., Tan, P., New seismic isolation system for irregular structure with the largest isolation building area in the world. 13th World Conference On Earthquake Engineering, Canada, 1-11, 2004
- [15] Pekgökgöz, R. K., Gürel, M. A., Kömür, M., Çili, F., Sismik Taban Yalıtım Sistemi Uygulanmış Bir Binada Maliyet Analizi. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 25(3), 236-246, 2007.
- [16] Kelly, T.E., Base Isolations Of Structures, Design Guidelines, Holmes Consulting Group Ltd., New Zeland, 2001.
- [17] Özpalanlar, C.G., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyici Sistemler. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2004.
- [18] Yenidoğan, C., Karma Deprem Yalıtım Sistemlerinin Deneysel Performans Değerlendirmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 23(69), 767-779, 2021.
- [19] Kaadan, A., Advanced Dynamic of Structures, Graduate Program Course Structural Department, Faculty of Civil Engineering, Aleppo University, 2013.
- [20] Elma, M., Sismik taban izolasyonlu yapılarda üst yapı rijitliğinin yapının sismik davranışına etkileri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [21] Gökhan, E., Betonarme yapılarda izolatör kullanımının taşıyıcı sistem davranışına etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Bölümü, Yüksek lisans tezi, 2009.
- [22] Olaby, A., Dynamic analysis of structures seismic isolation. Aleppo University, Faculty of Civil Engineering, Department of Structural Engineering, M.S. thesis, 2010.

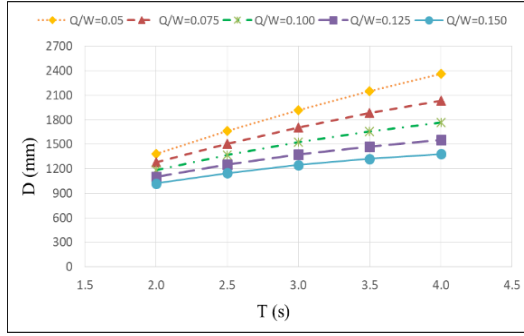
- [23] Kamrava, A., Seismic isolators and their types. *Current World Environment*, 10, 27-32, 2015.
- [24] Robinson, W.H., Lead-rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10(4), 593-604, 1982.
- [25] Nagarajaiah, S., Xiaohong, S., Response of base isolated USC hospital building in Northridge earthquake. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 126(10), 1177-1186, 2000.
- [26] Nagarajaiah, S., Sun, X., Base isolated FCC building: Impact response in Northridge earthquake. *Journal of Structural Engineering-asce.*, 127(9), 1063-1075, 2001.
- [27] Jangid, R.S., Optimum lead-rubber bearings for near-fault motions. *Engineering Structures.*, 29(10), 2503-2513, 2007.
- [28] Tyler, R.G., Robinson, W.H., High-strain tests on lead-rubber bearings for earthquake loadings. *Bulletin of New Zealand National Society Earthquake Engineering.*, 17(2), 90-105, 1984.
- [29] Constantinou, MC., Whittaker, AS., Kalpakidis, Y., Fenz, DM., Warn, GP., Performance of seismic isolation hardware under service and seismic loading. Technical Rep. No. MCEER-07, 12, 2007.
- [30] Kalpakidis I.V., Constantinou MC., Effects of heating and load history on the behavior of lead-rubber bearings. Technical Rep. No. MCEER, 08-0027, 2008.
- [31] Kalpakidis I.V., Constantinou, M.C., Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearing. I: Theory. *Journal of Structural Engineering-asce.*, 135(12), 1440-1449, 2009.
- [32] Kalpakidis, V. Constantinou, M., Whittaker, A., Modeling strength degradation in lead-rubber bearings under earthquake shaking. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 39(13), 1533-1549, 2010.
- [33] Kanbir, Z., Özdemir, G., Alhan C., Modeling of lead rubber bearings via 3D-BASIS, SAP2000, and OpenSees considering lead core heating modeling capabilities. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 7(4), 294-301, 2018.
- [34] Wang, H., Zheng, W., Li, J., Gao, Y.Q., Effects of temperature and lead core heating on response of seismically isolated bridges under near-fault excitations. *Adv Struct Eng.*, 22(14), 2966-2981, 2019.

- [35] ETABS 2016, V16.2.1. Integrated Building Design Software. Computer & Structures Inc.
- [36] Pant, D.R., Influence of scaling of different types of ground motions on analysis of code-compliant four-story reinforced concrete buildings isolated with elastomeric bearings. *Engineering Structures*, 135, 53-67, 2017.
- [37] AFAD (2018), Türkiye Deprem Tehlike Haritaları Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH>
- [38] TBDY (2018), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, <https://www.afad.gov.tr/tr/24210/Turkiye-Bina-Deprem-Yonetmeligi>
- [39] Makris, N., Chang, S.P., Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29(1), 85-107, 2000.
- [40] Taylor, A.W., Igusa, T., Primer on seismic isolation. Reston: ASCE publications, 2004.
- [41] Ryan, K.L., Chopra, A.K., Estimation of seismic demands on isolators based on nonlinear analysis. *Journal of Structural Engineering*, 130(3), 392-402, 2004.
- [42] Cavdar, E., Ozdemir, G., Change in maximum isolator displacements due to change in orientation of scaled near field ground motion records. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University.*, 33(2), 567-579, 2018.
- [43] McVitty, W. J., Constantinou, M. C., Property Modification Factors or Seismic Isolators: Design Guidance for Buildings. Technical Report MCEER, 15-0005, 2015.
- [44] Weisman, J., Warn, G.P., Stability of Elastomeric and Lead-Rubber Seismic Isolation Bearings. *Journal of Structural Engineering-asce.*, 138(2), 215-223, 2012.
- [45] Yolcu, A., Tanırcan, G., Tüzün, C., Türkiye'deki deprem yalıtım sistemlerinin tasarımında doğrusal olmayan tepki spektrumlarına dayalı bir yöntem. 5. In International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES), Metu Ankara, 11, 2019.

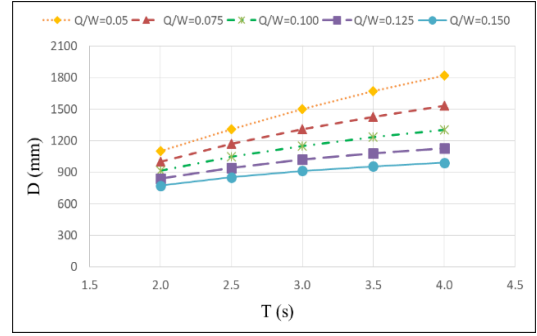
## EKLER

### EK-4.1. İzolatörün Yatay Yerdeğiştirmesi (D) İle Periyot (T) Arasındaki İlişki

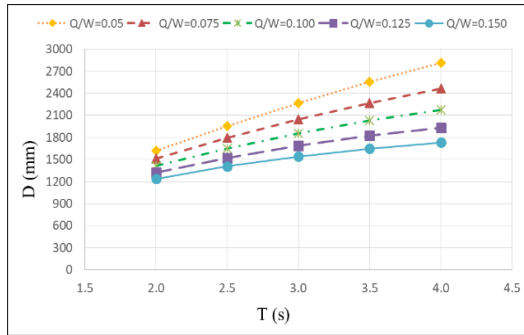
(şekil 4.1.), tasarlanan izolatörün maksimum yer değiştirmesi (D) ile periyot (T) arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



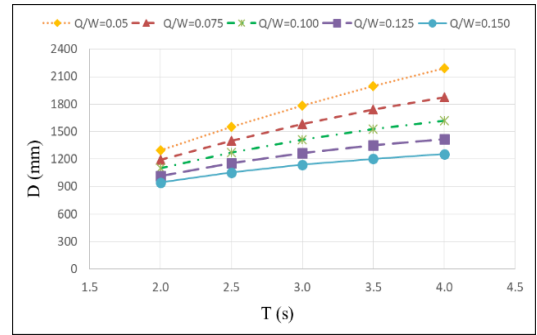
Adapazarı, ZD



Adapazarı, ZC



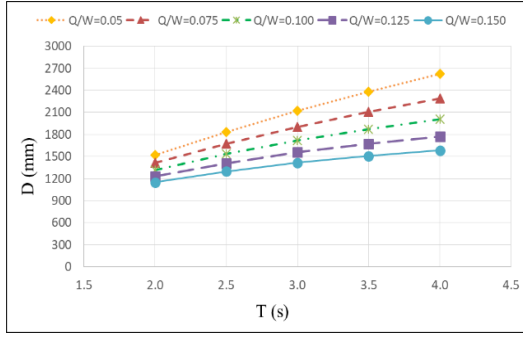
Akyazı, ZD



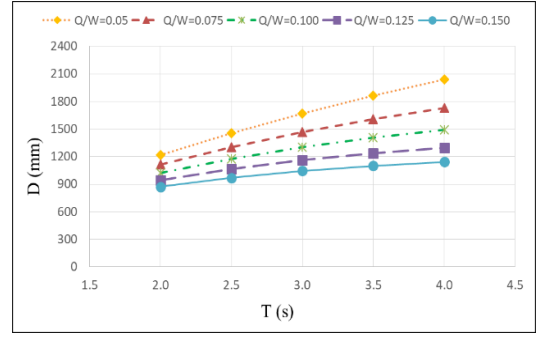
Akyazı, ZC

şekil 4.1. (Devamı)

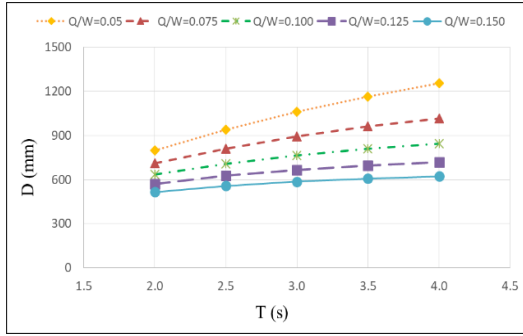




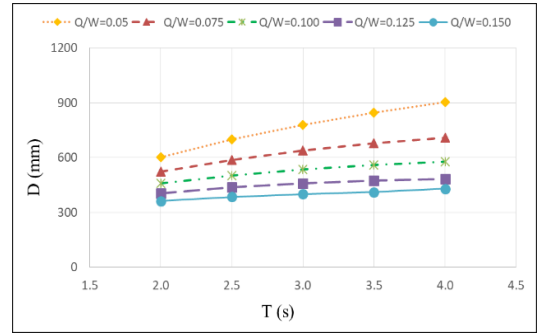
Erenler, ZD



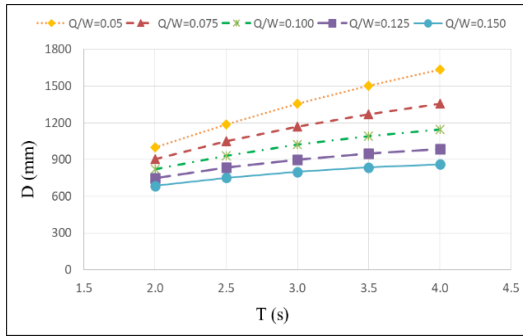
Erenler, ZC



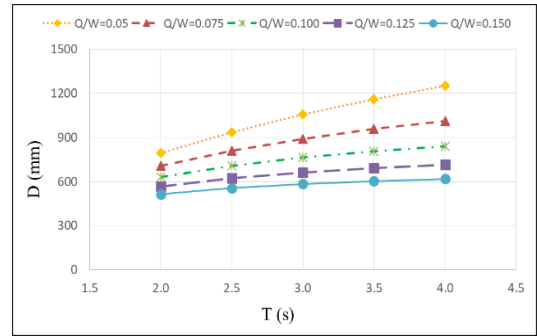
Ferizli, ZD



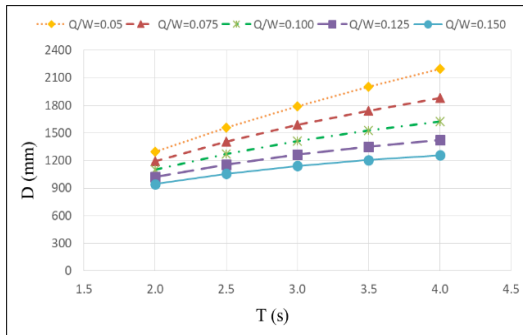
Ferizli, ZC



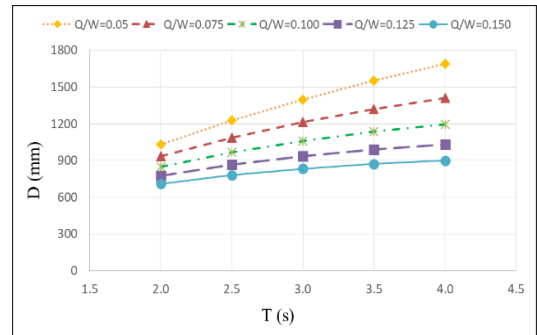
Geyve, ZD



Geyve, ZC

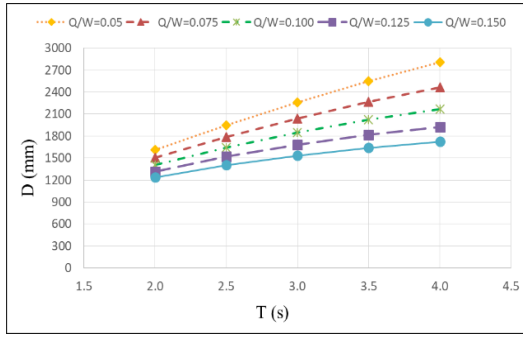


Hendek, ZD

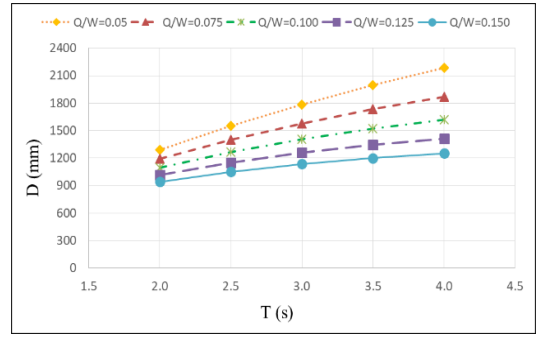


Hendek, ZC

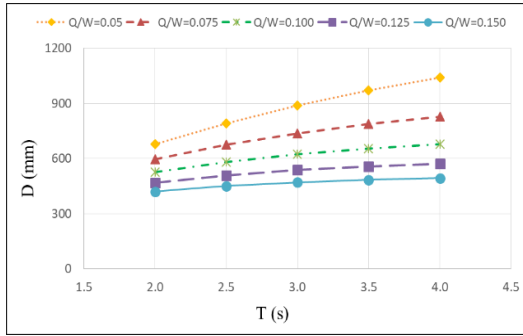
Şekil 4.1. (Devamı)



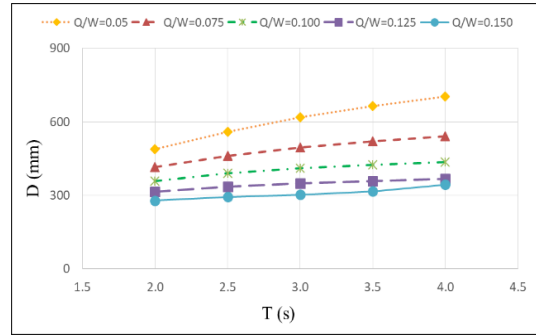
Karapürçek, ZD



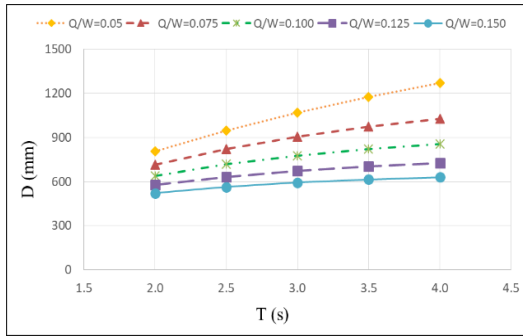
Karapürçek, ZC



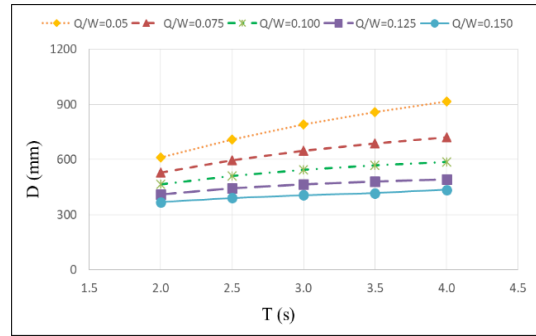
Kaynarca, ZD



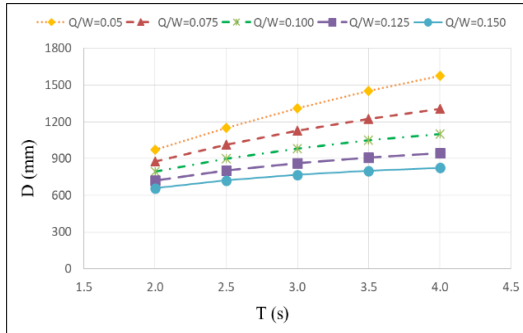
Kaynarca, ZC



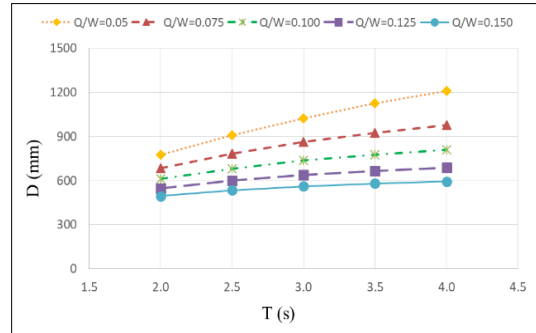
Kocaali, ZD



Kocaali, ZC

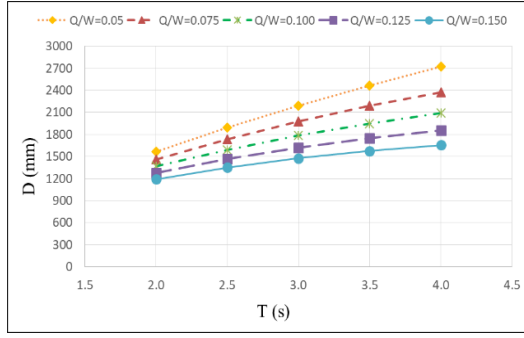


Pamukova, ZD

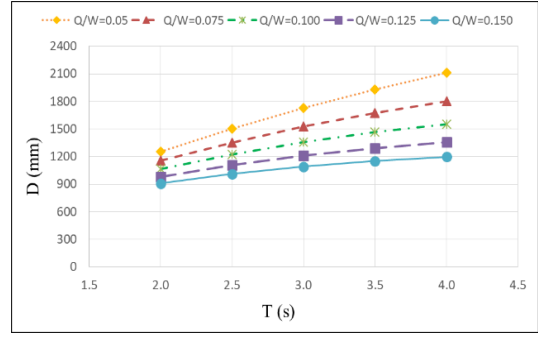


Pamukova, ZC

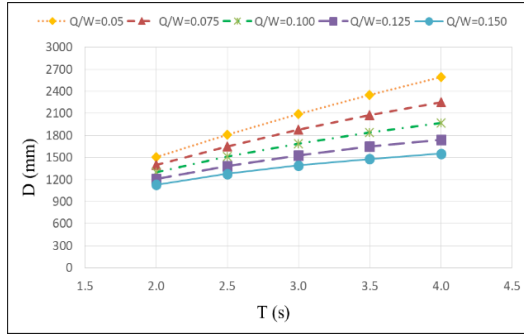
Şekil 4.1. (Devamı)



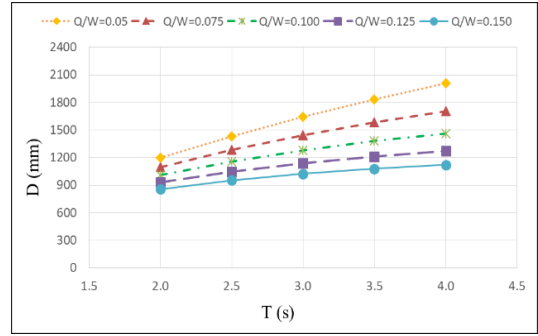
Sapanca, ZD



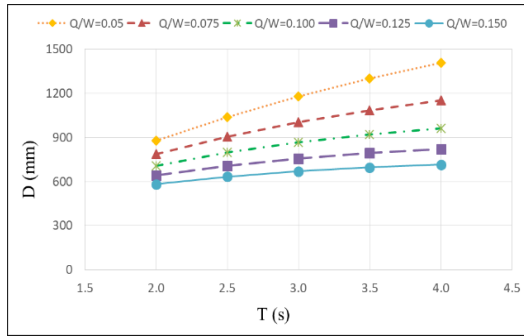
Sapanca, ZC



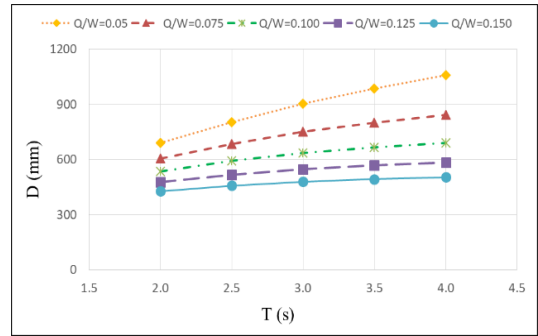
Serdivan, ZD



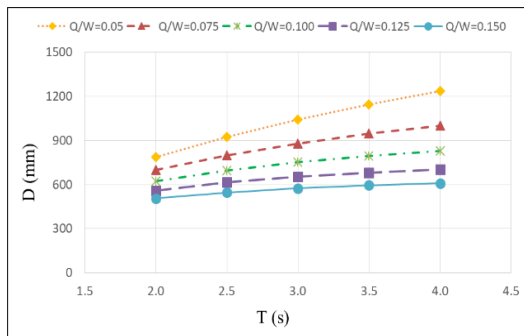
Serdivan, ZC



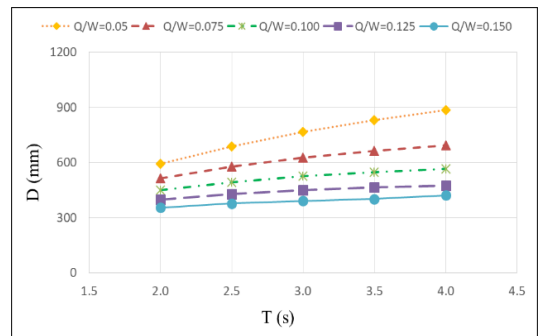
Söğütlü, ZD



Söğütlü, ZC



Taraklı, ZD

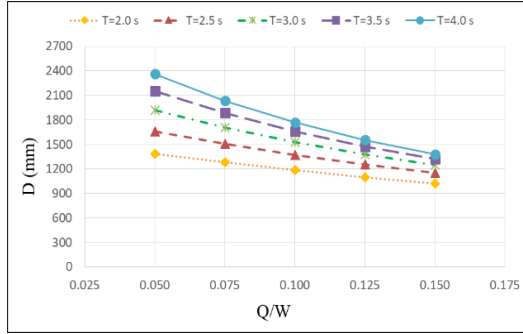


Taraklı, ZC

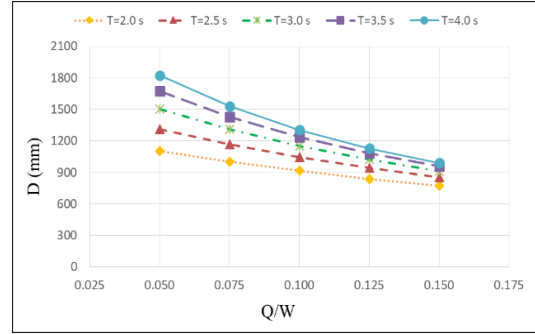
Şekil 4.1. Bu çalışmada bazıları fay hattından uzak diğerleri yakın seçilen on dört lokasyon ve iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak tasarlanan izolötörün maksimum yer değıştirmesi (D) ile izolötörün periyodu (T) arasındaki ilişki.

## EK-4.2. İzolatörün Yatay Yerdeğiştirmesi (D) İle Karakteristik Dayanım Oranı (Q/W) Arasındaki İlişki

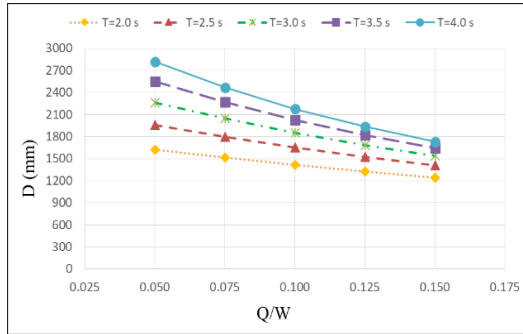
(şekil 4.2), tasarlanan izolatorün maksimum yer değiştirmesi (D) ile karakteristik dayanım oranı (Q/W) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



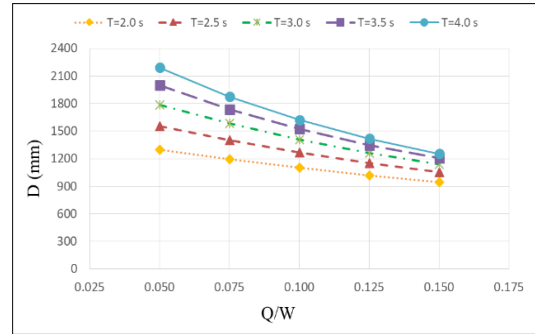
Adapazarı, ZD



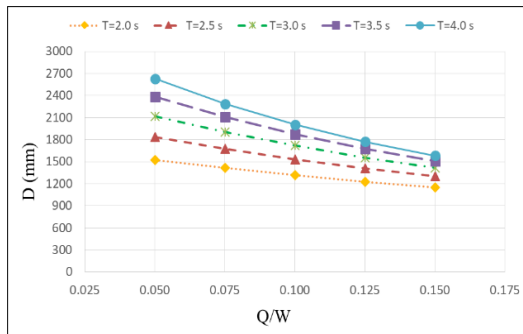
Adapazarı, ZC



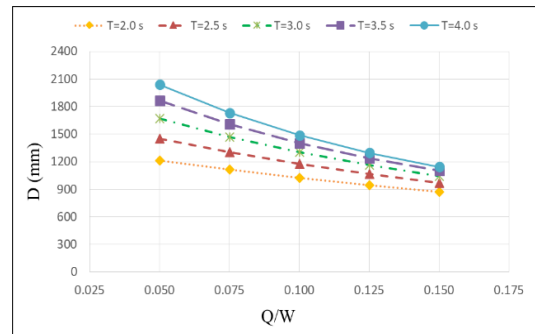
Akyazi, ZD



Akyazi, ZC

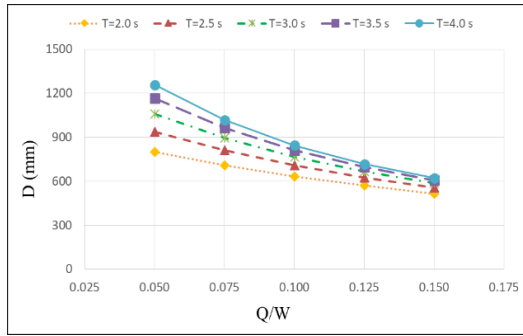


Erenler, ZD

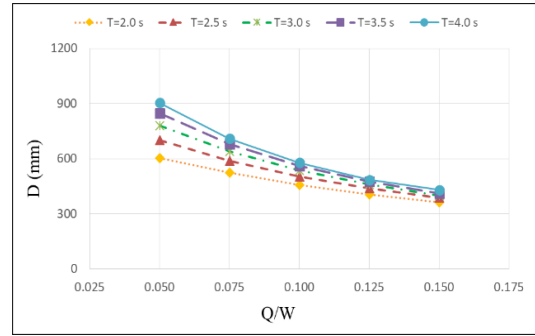


Erenler, ZC

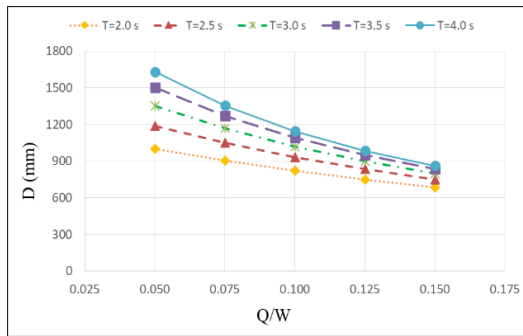
şekil 4.2. (Devamı)



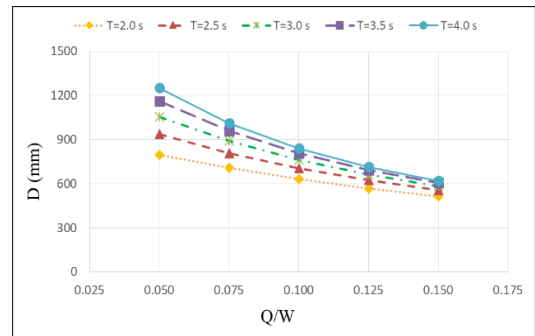
Ferizli, ZD



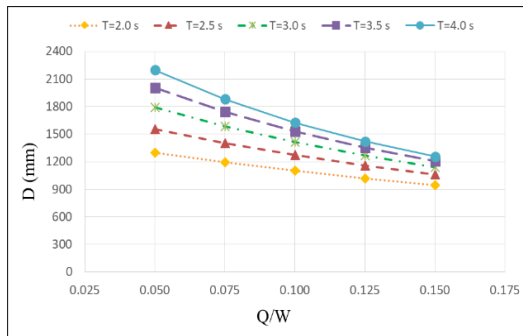
Ferizli, ZC



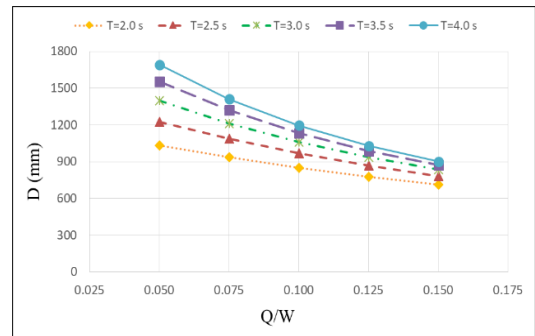
Geyve, ZD



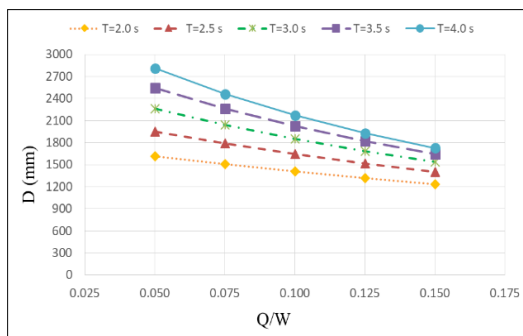
Geyve, ZC



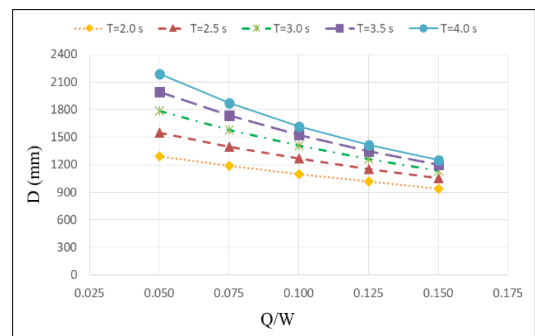
Hendek, ZD



Hendek, ZC

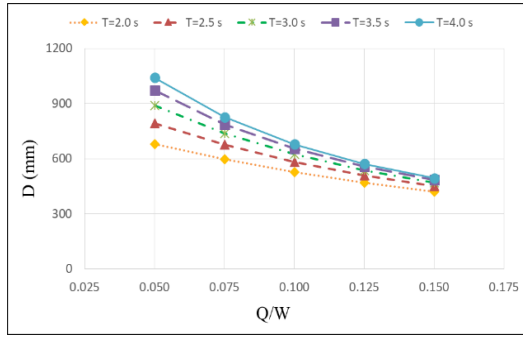


Karapürçek, ZD

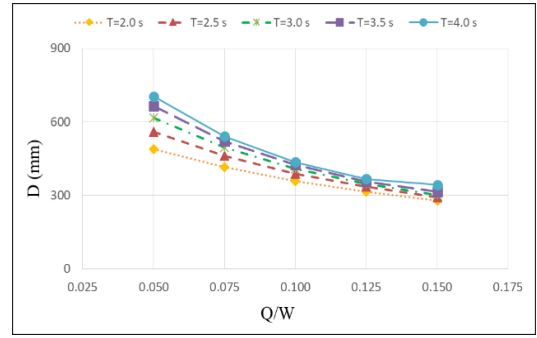


Karapürçek, ZC

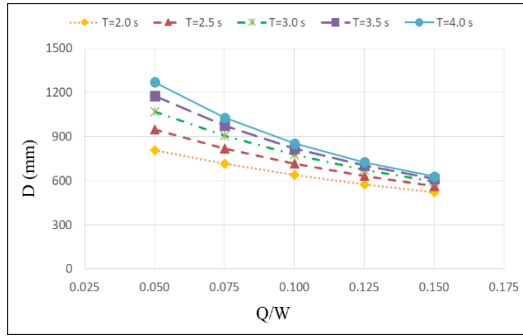
Şekil 4.2. (Devamı)



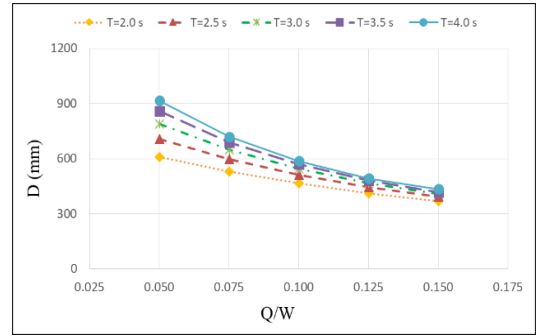
Kaynarca, ZD



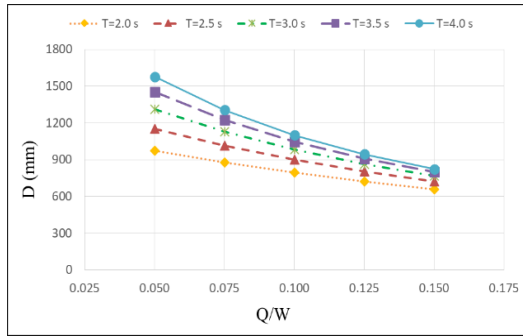
Kaynarca, ZC



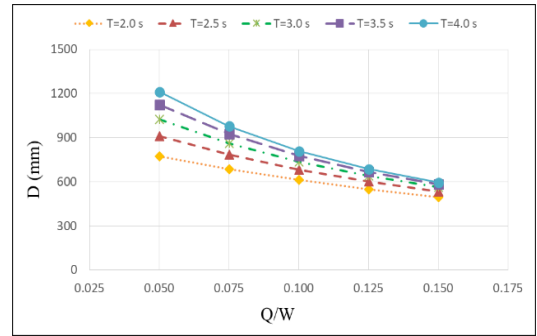
Kocaali, ZD



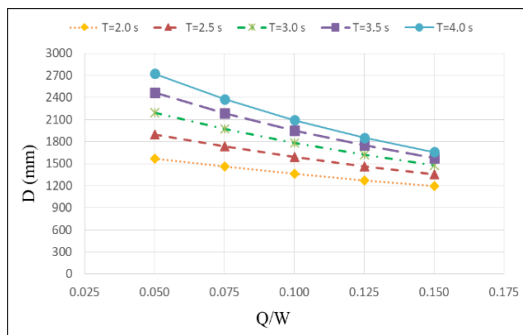
Kocaali, ZC



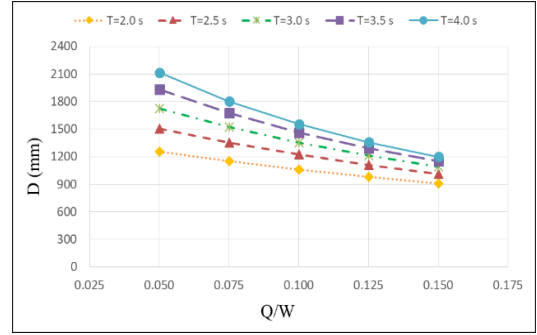
Pamukova, ZD



Pamukova, ZC

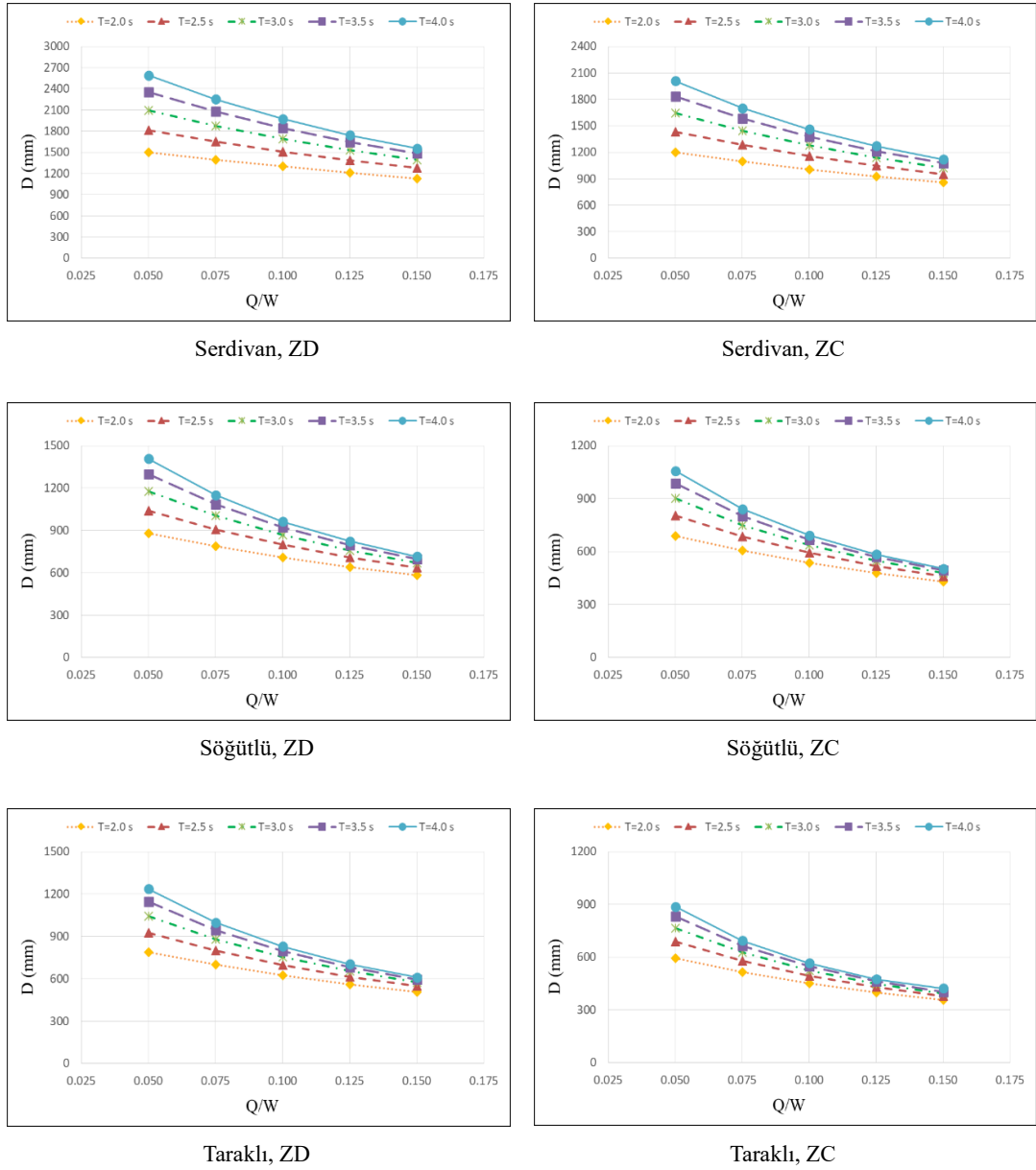


Sapanca, zemin sınıfı ZD



Sapanca, zemin sınıfı ZC

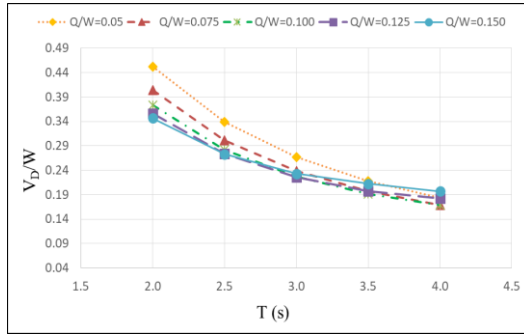
Şekil 4.2. (Devamı)



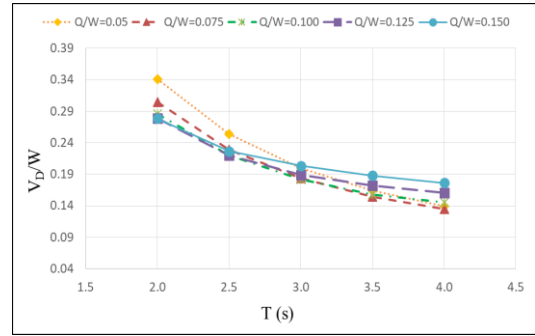
Şekil 4.2. Bu çalışmada bazıları fay hattından uzak diğerleri yakın seçilen on dört lokasyon ve iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak tasarlanan izolatörün maksimum yer değiştirmesi ( $D$ ) ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişki

### EK-4.3. İzolatörün Periyodu ( $T$ ) İle Taban Kesme Oranı ( $V_D/W$ ) Arasındaki İlişki

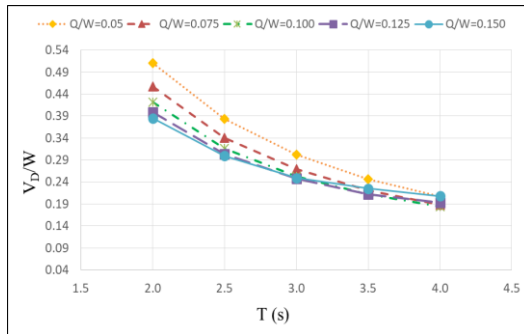
(Şekil 4.3.), tasarlanan izolatörün periyodu ( $T$ ) ile taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



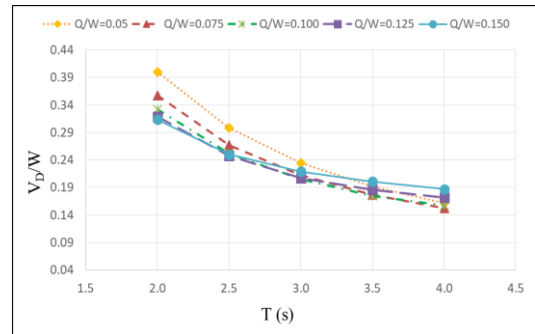
Adapazarı, ZD



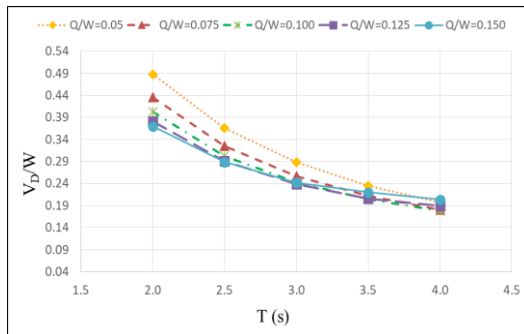
Adapazarı, ZC



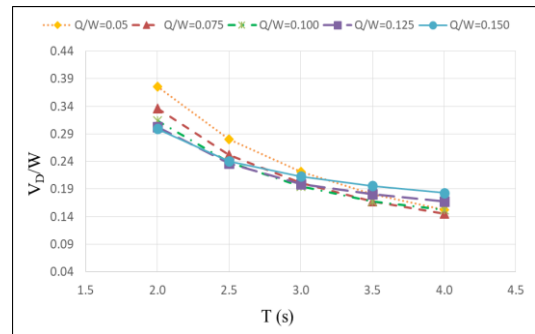
Akyazı, ZD



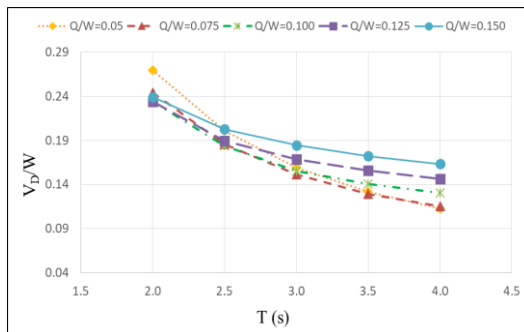
Akyazı, ZC



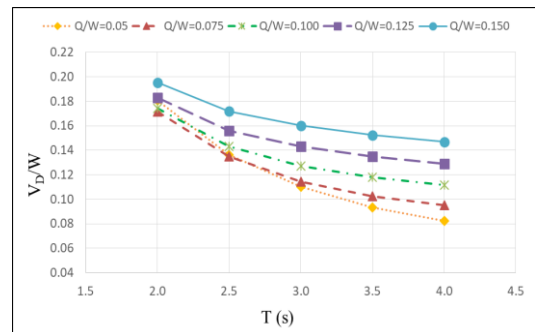
Erenler, ZD



Erenler, ZC



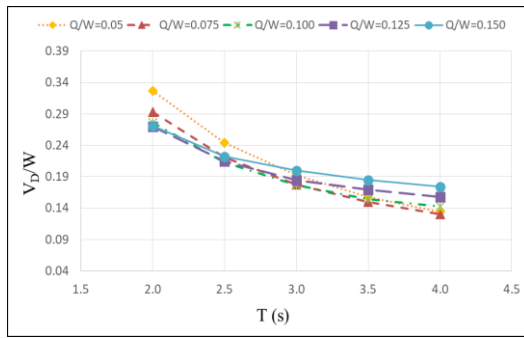
Ferizli, ZD



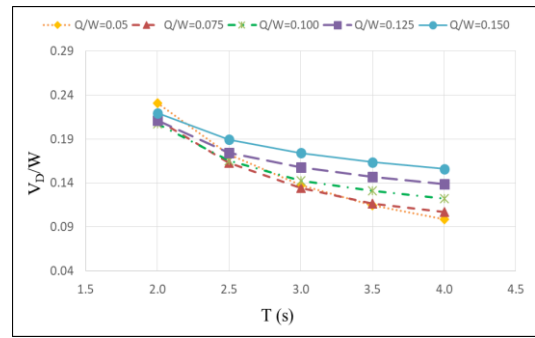
Ferizli, ZC

Şekil 4.3. (Devamı)

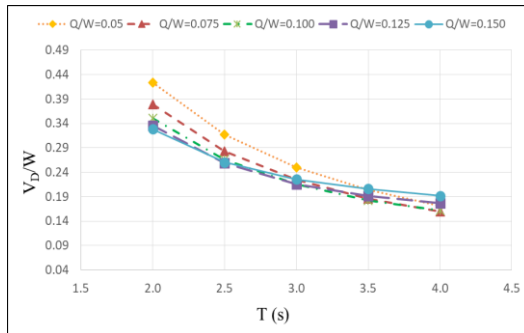




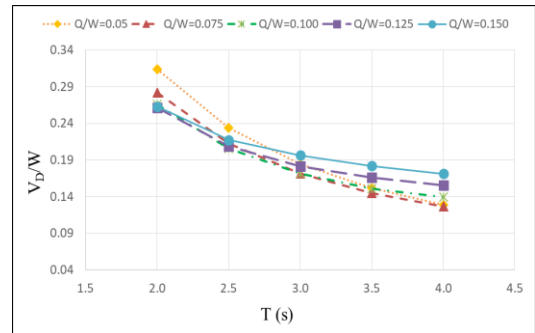
Geyve, ZD



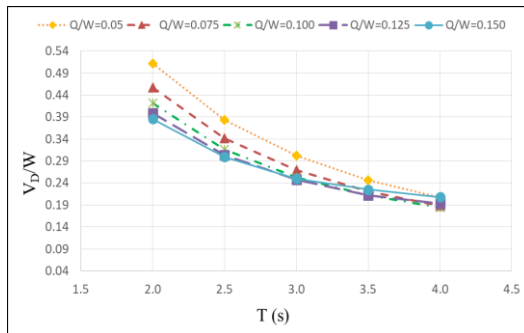
Geyve, ZC



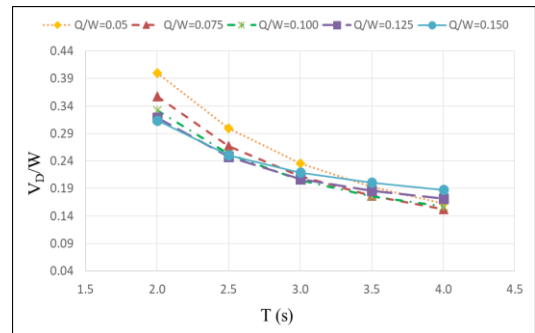
Hendek, ZD



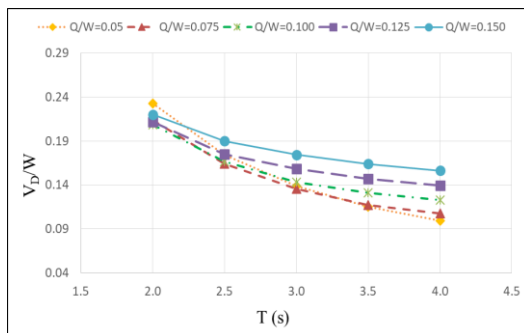
Hendek, ZC



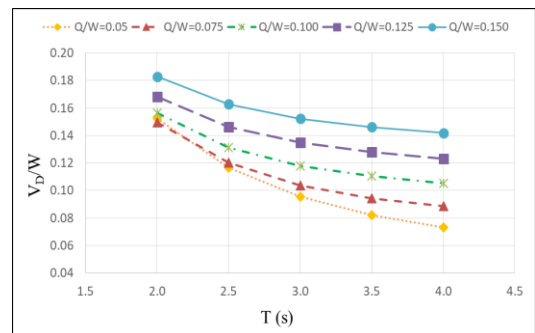
Karapürçek, ZD



Karapürçek, ZC

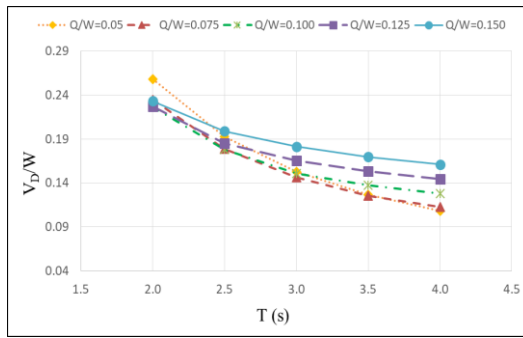


Kaynarca, ZD

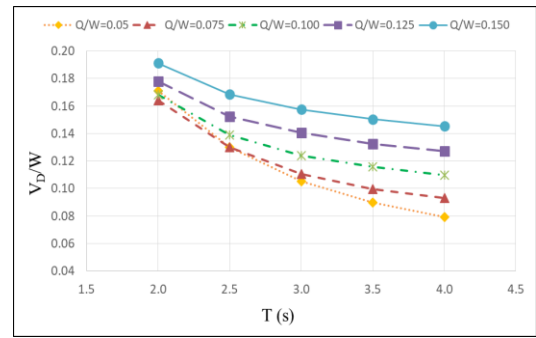


Kaynarca, ZC

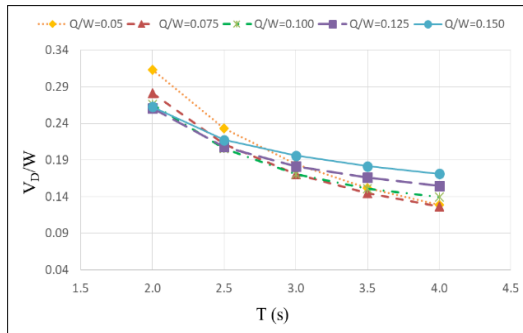
Şekil 4.3. (Devamı)



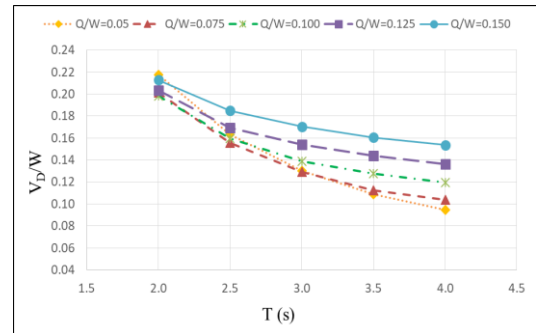
Kocaali, ZD



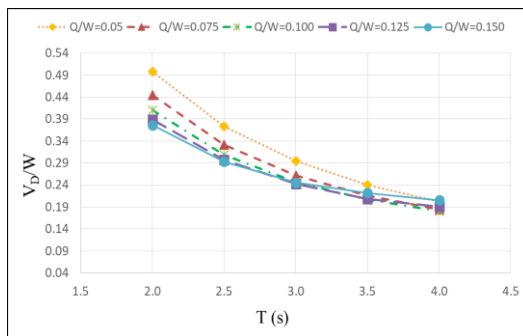
Kocaali, ZC



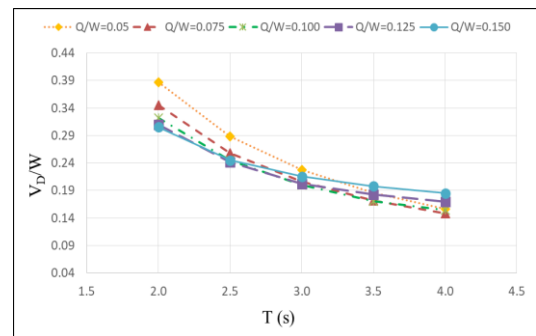
Pamukova, ZD



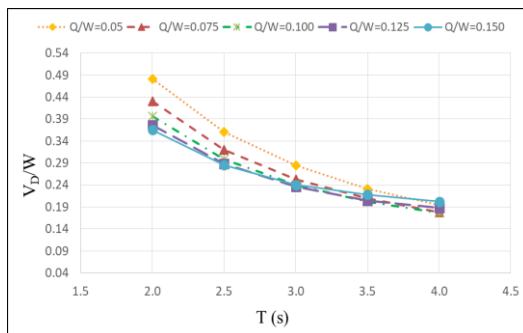
Pamukova, ZC



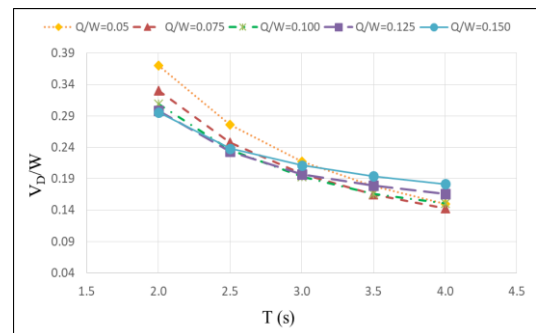
Sapanca, ZD



Sapanca, ZC

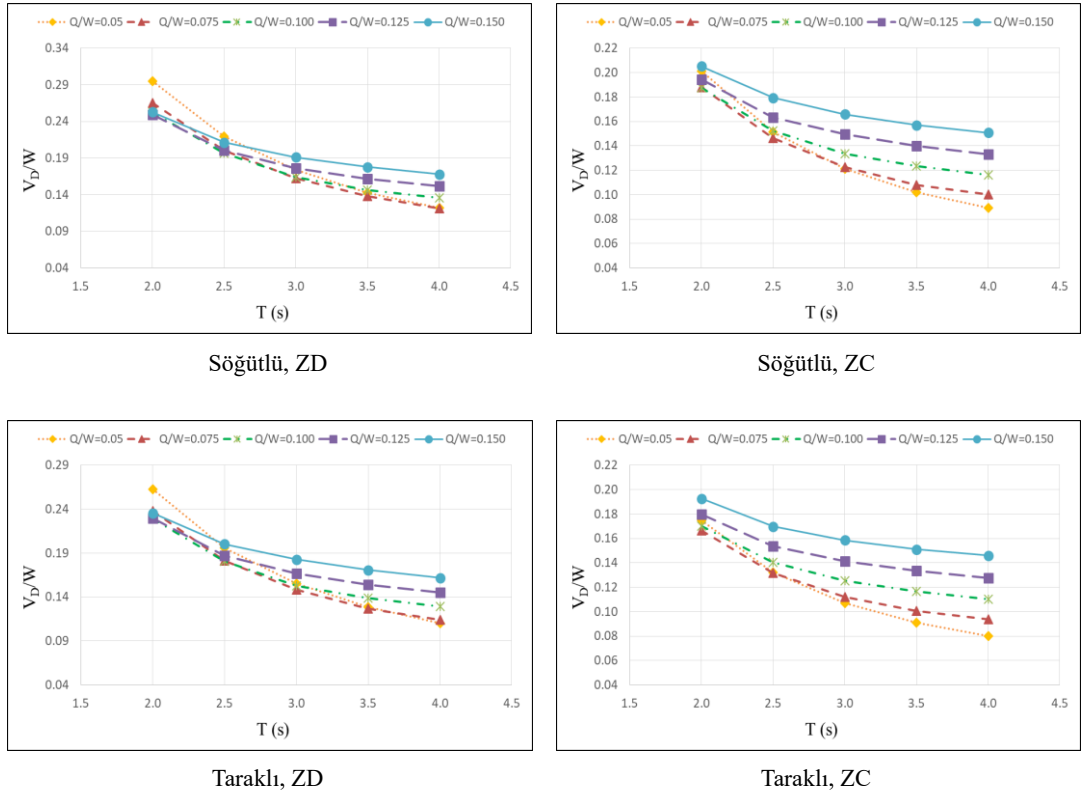


Serdivan, ZD



Serdivan, ZC

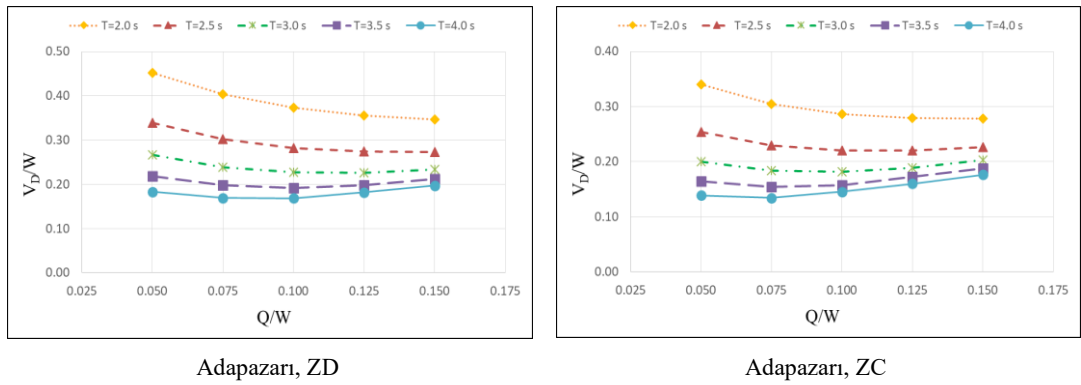
Şekil 4.3. (Devamı)



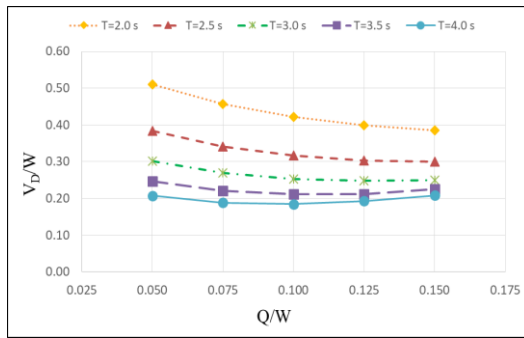
Şekil 4.3. Bu çalışmada bazıları fay hattından uzak diğerleri yakın seçilen on dört lokasyon ve iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile izolatörün periyodu ( $T$ ) arasındaki ilişki.

#### EK-4.4. Taban Kesme Oranı ( $V_D/W$ ) İle Karakteristik Dayanım Oranı ( $Q/W$ ) Arasındaki İlişki

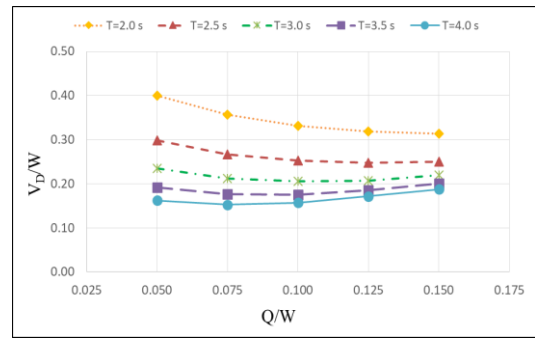
(Şekil 4.4.), taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



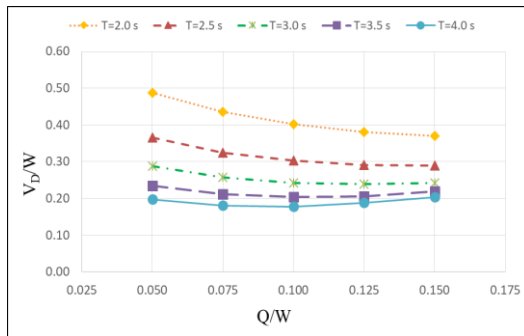
Şekil 4.4. (Devamı)



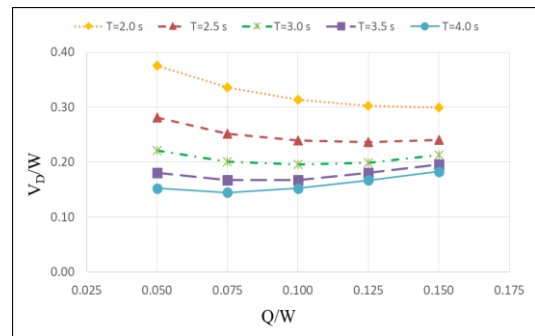
Akyazi, ZD



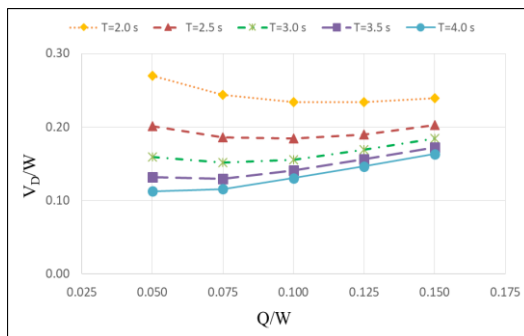
Akyazi, ZC



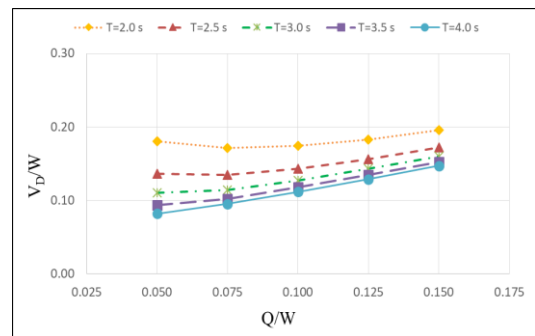
Erenler, ZD



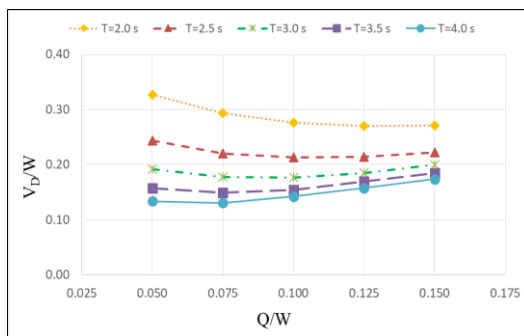
Erenler, ZC



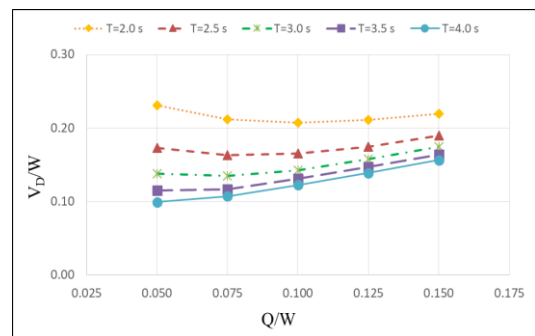
Ferizli, ZD



Ferizli, ZC

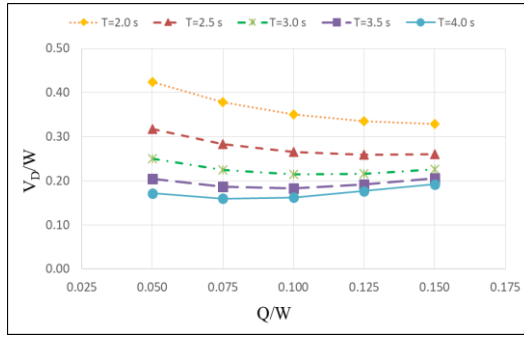


Geyve, ZD

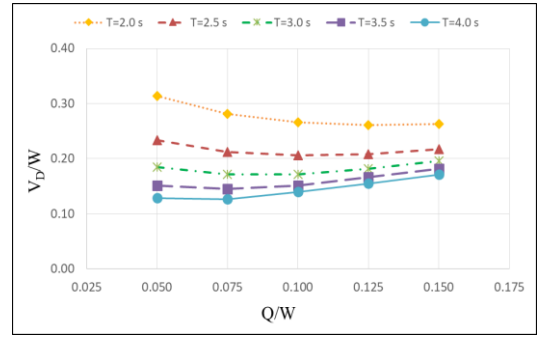


Geyve, ZC

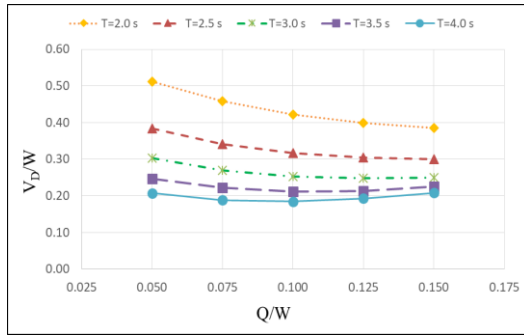
Şekil 4.4. (Devamı)



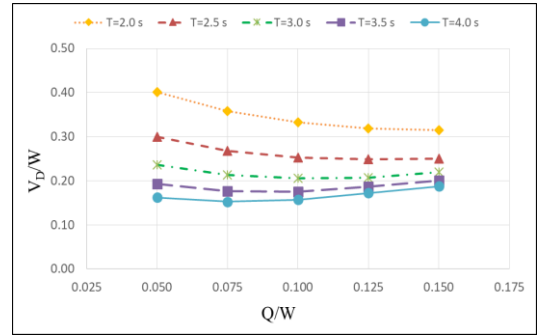
Hendek, ZD



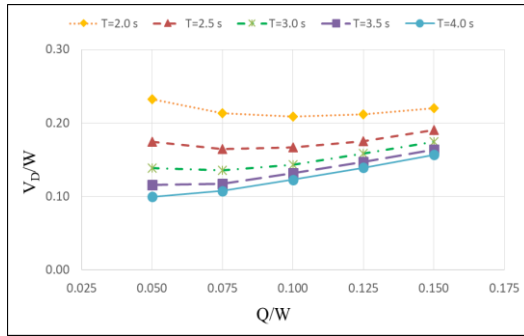
Hendek, ZC



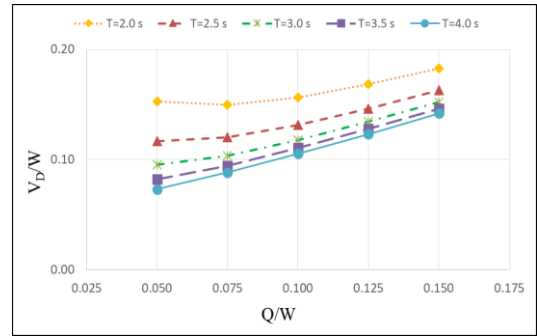
Karapürçek, ZD



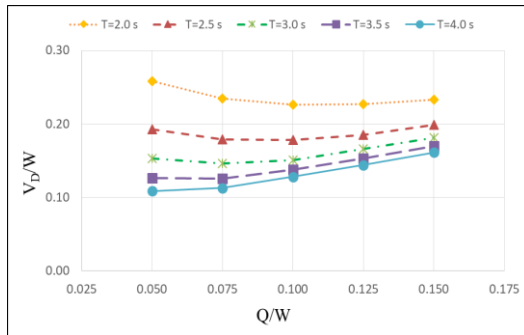
Karapürçek, ZC



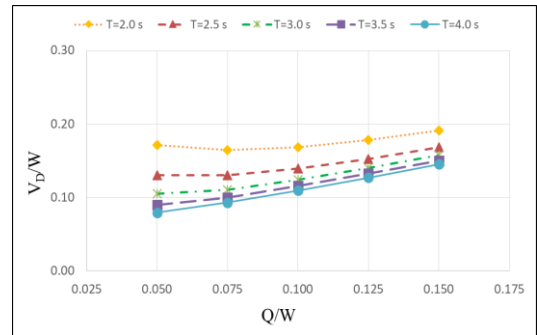
Kaynarca, ZD



Kaynarca, ZC

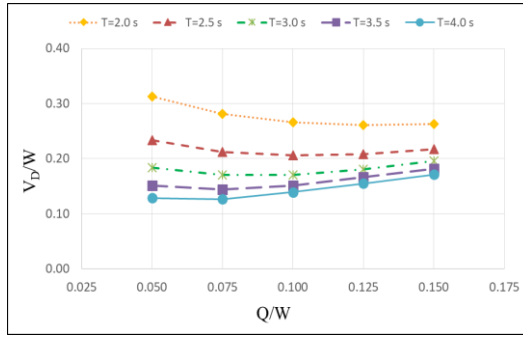


Kocaali, ZD

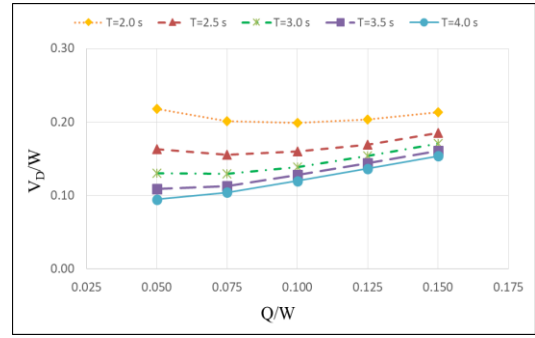


Kocaali, ZC

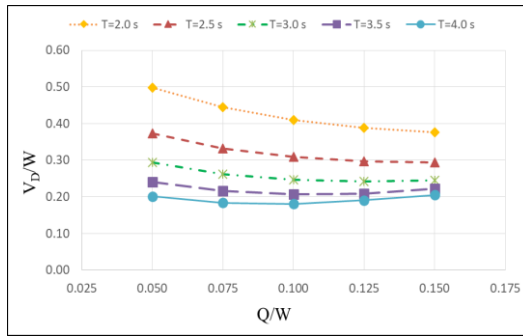
Şekil 4.4. (Devamı)



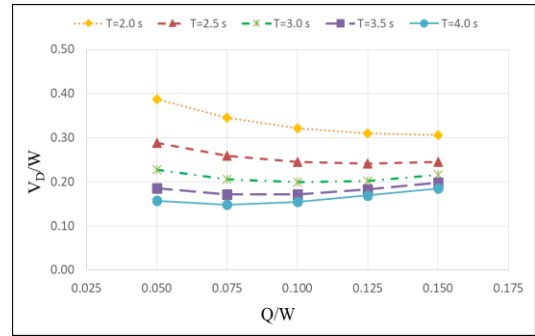
Pamukova, ZD



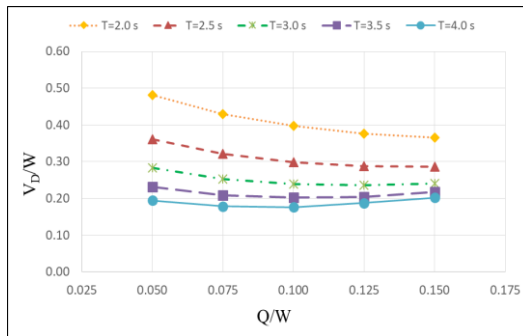
Pamukova, ZC



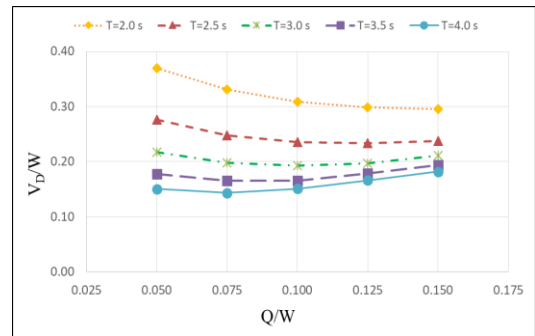
Sapanca, ZD



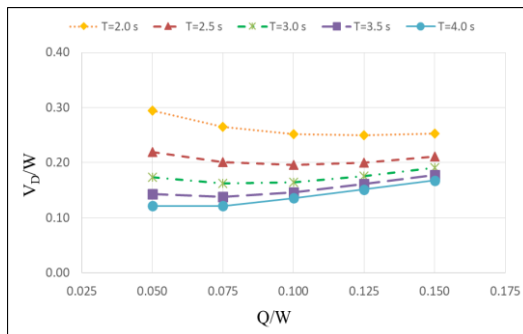
Sapanca, ZC



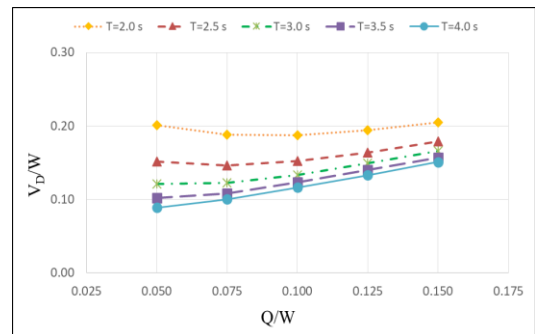
Serdivan, ZD



Serdivan, ZC

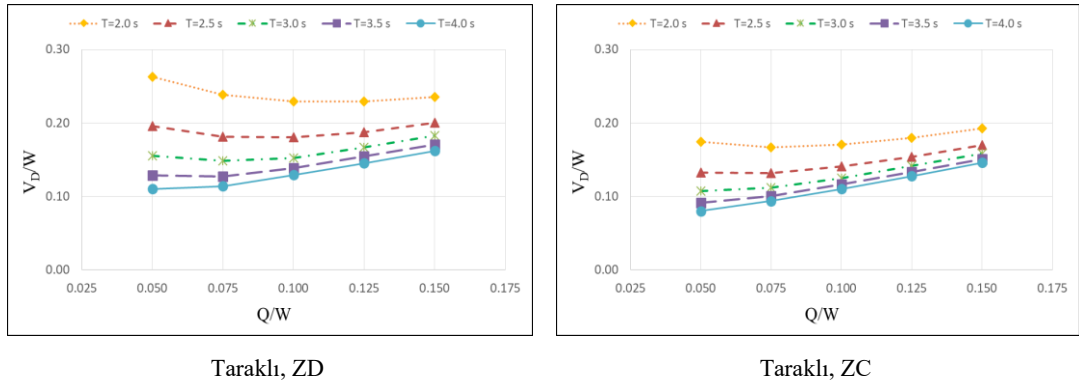


Söğütü, ZD



Söğütü, ZC

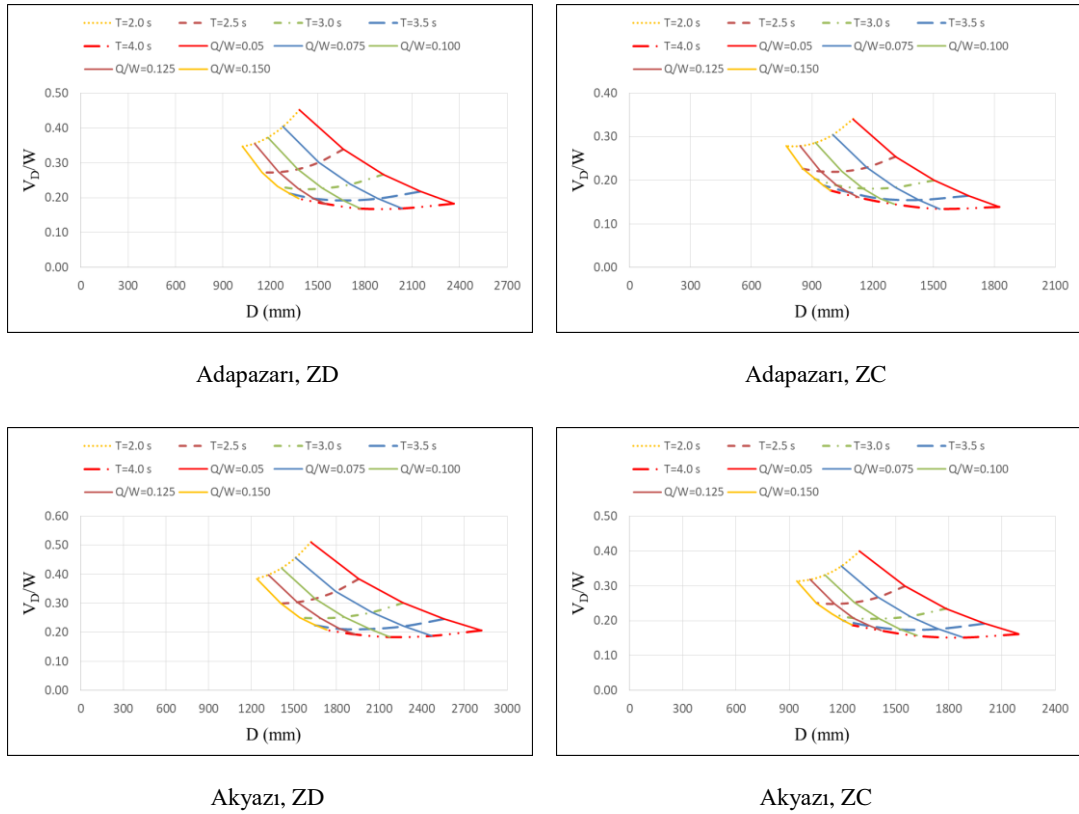
Şekil 4.4. (Devamı)



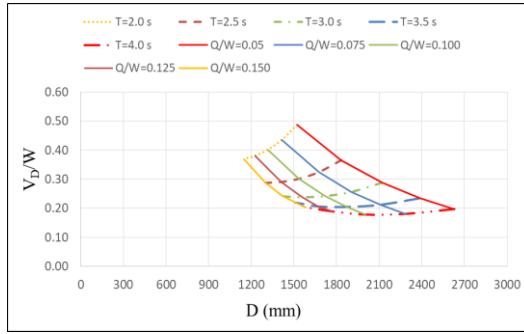
Şekil 4.4. Bu çalışmada bazıları fay hattından uzak diğerleri yakın seçilen on dört lokasyon ve iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişki.

### EK-4.5. Taban Kesme Oranı ( $V_D/W$ ) İle İzolatörün Desplasmanı (D) Arasındaki İlişki

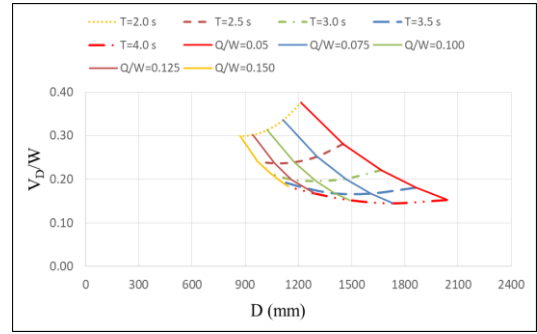
(Şekil 4.5.), taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile izolatörün desplasmanı (D) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



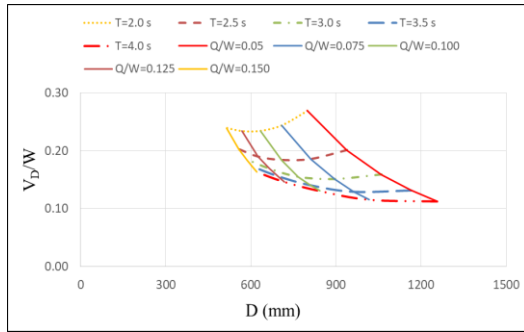
Şekil 4.5. (Devamı)



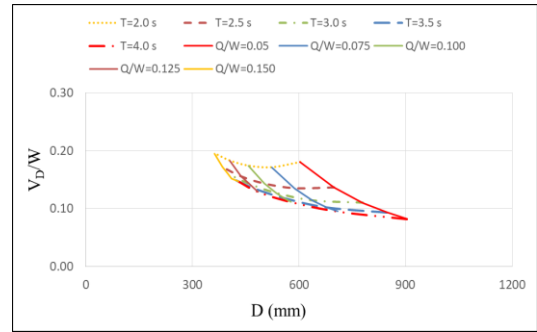
Erenler, ZD



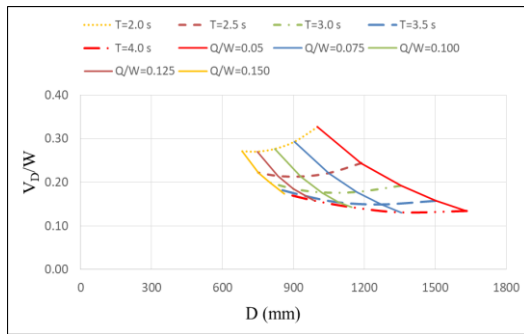
Erenler, ZC



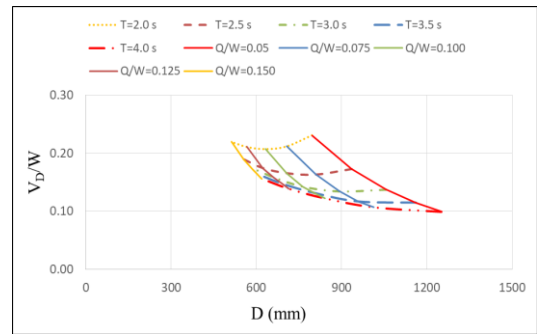
Ferizli, ZD



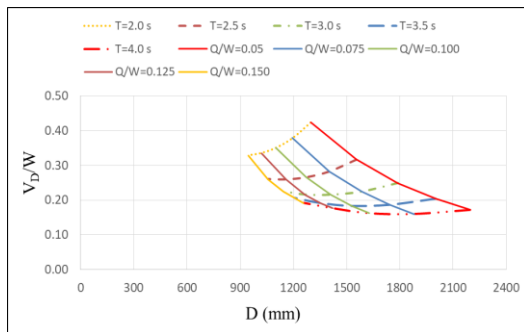
Ferizli, ZC



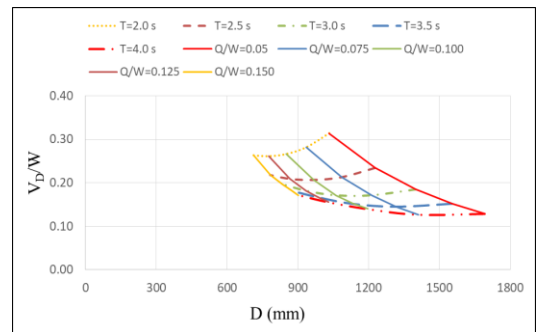
Geyve, ZD



Geyve, ZC



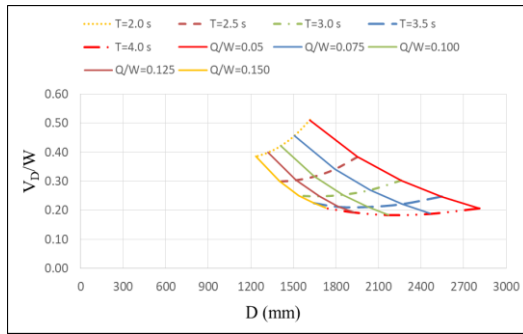
Hendek, ZD



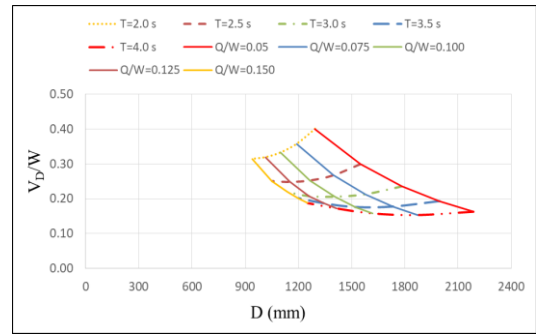
Hendek, ZC

Şekil 4.5. (Devamı)

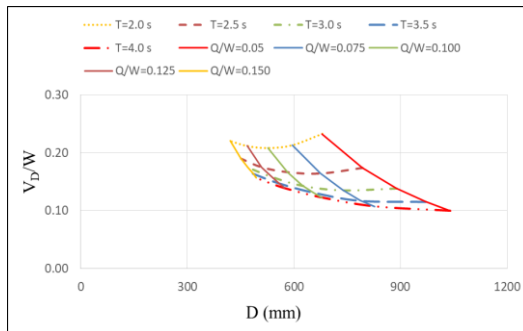




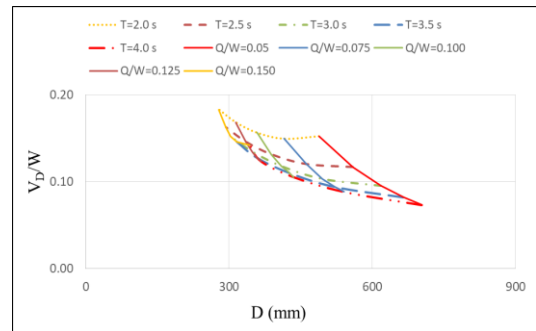
Karapürçek, ZD



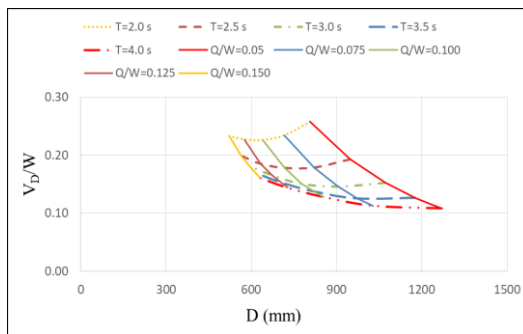
Karapürçek, ZC



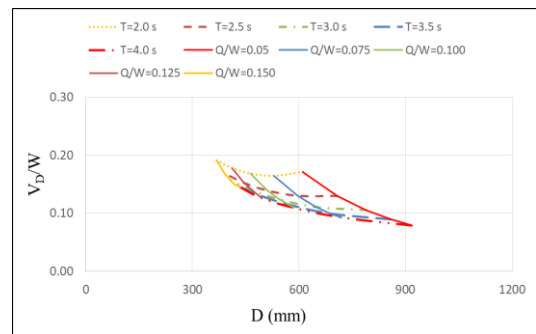
Kaynarca, ZD



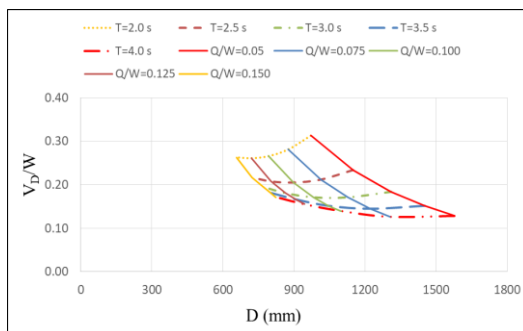
Kaynarca, ZC



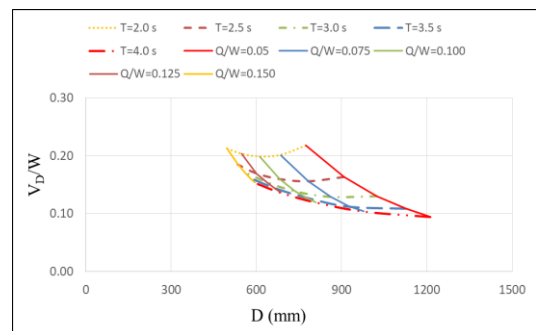
Kocaali, ZD



Kocaali, ZC

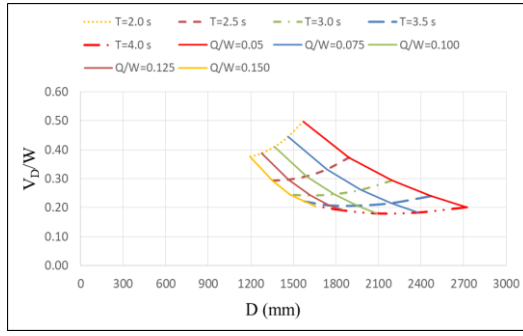


Pamukova, ZD

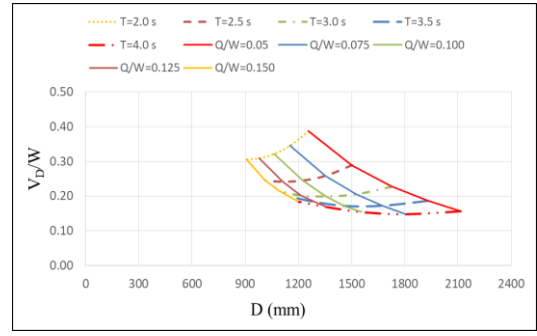


Pamukova, ZC

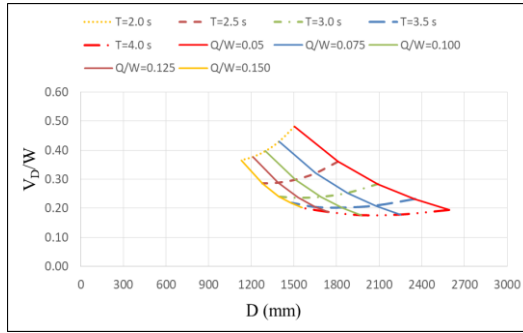
Şekil 4.5. (Devamı)



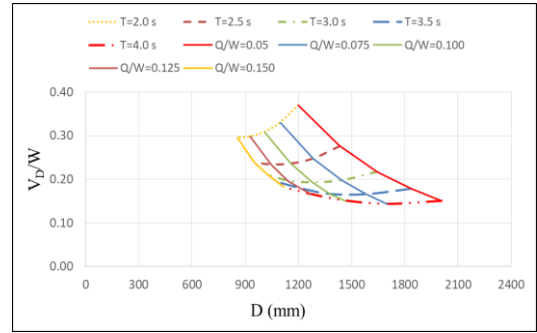
Sapanca, ZD



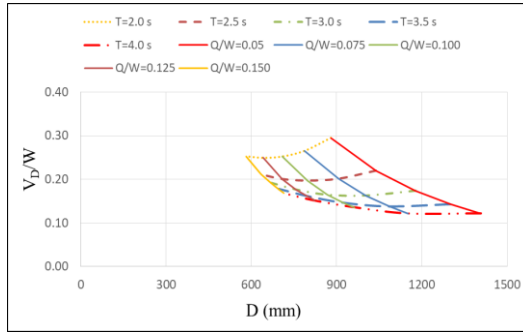
Sapanca, ZC



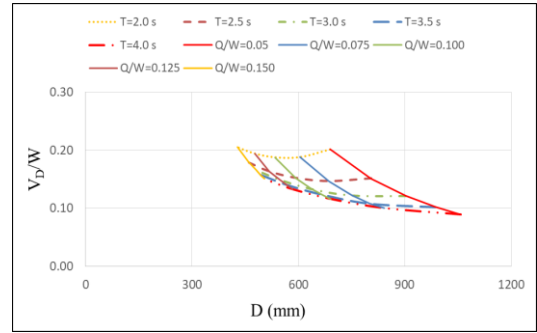
Serdivan, ZD



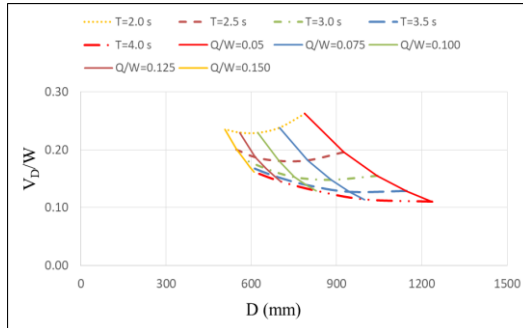
Serdivan, ZC



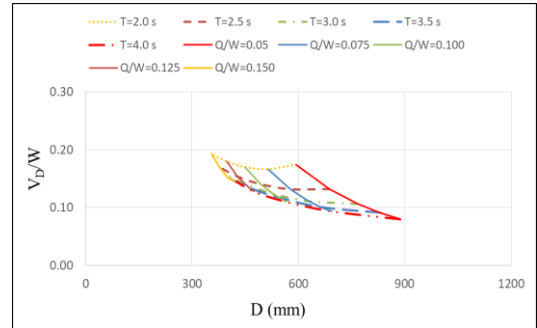
Söğütlü, ZD



Söğütlü, ZC



Taraklı, ZD

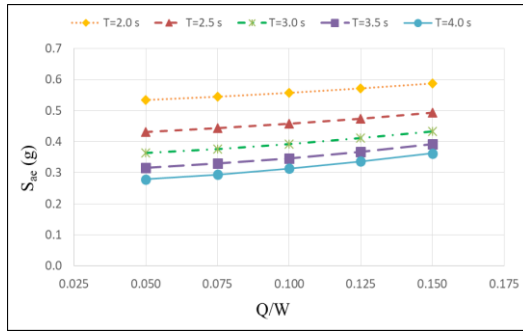


Taraklı, ZC

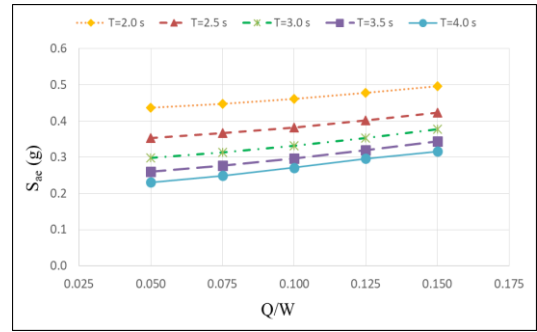
Şekil 4.5. Bu çalışmada bazıları fay hattından uzak diğerleri yakın seçilen on dört lokasyon ve iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak taban kesme oranı ( $V_D/W$ ) ile izolatörün desplasmanı ( $D$ ) arasındaki ilişki.

### EK-4.6. Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmeleri $S_{ae}(T)$ İle Karakteristik Dayanım Oranı ( $Q/W$ ) Arasındaki İlişki

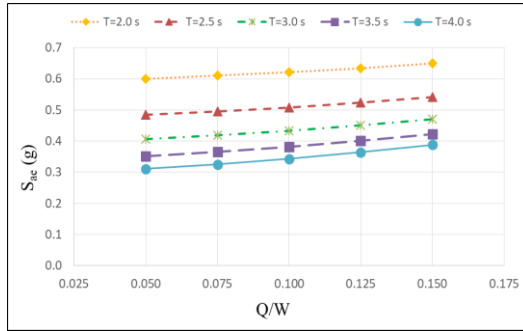
(Şekil 4.6.), yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



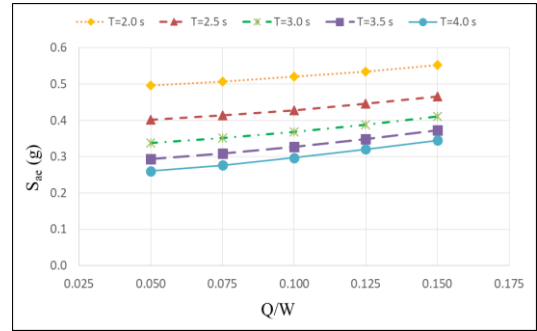
Adapazari, ZD



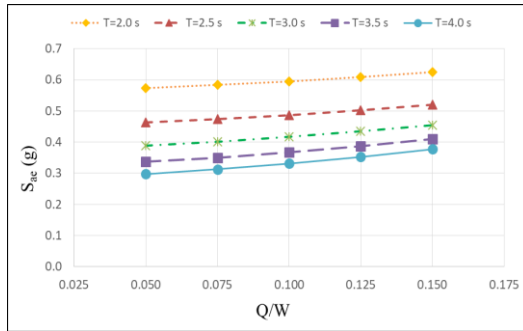
Adapazari, ZC



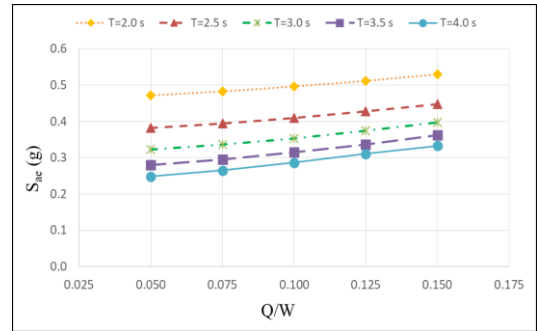
Akyazi, ZD



Akyazi, ZC

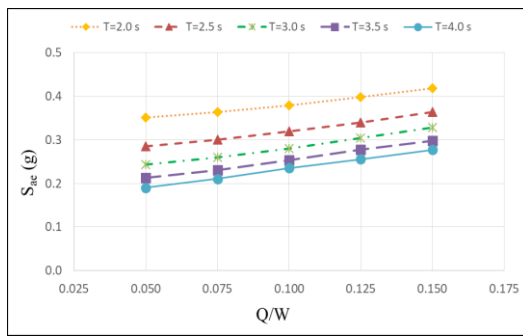


Erenler, ZD

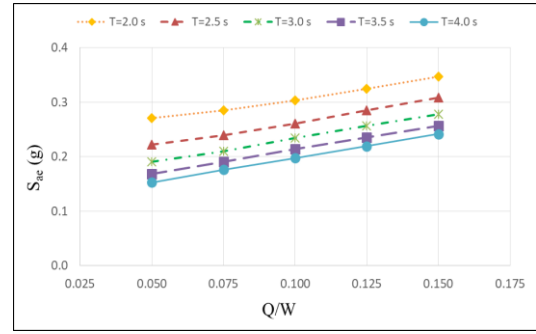


Erenler, ZC

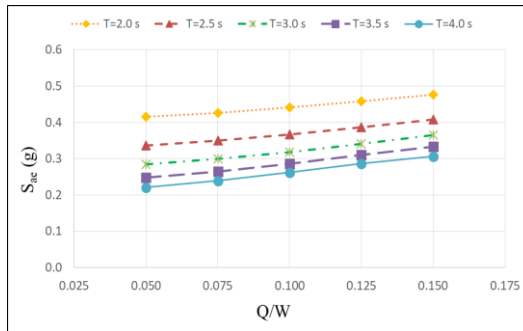
Şekil 4.6. (Devamı)



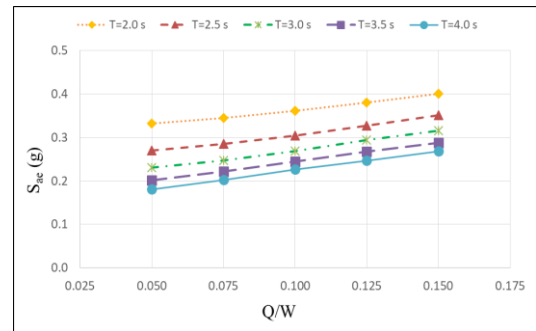
Ferizli, ZD



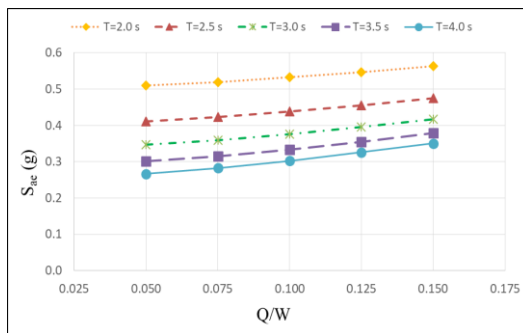
Ferizli, ZC



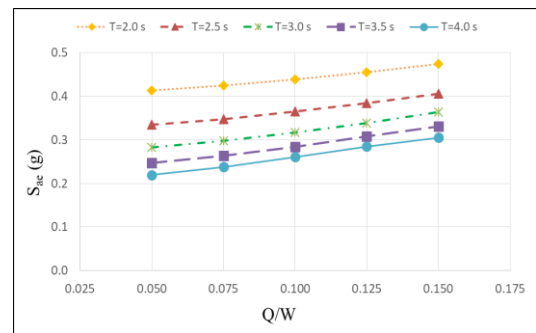
Geyve, ZD



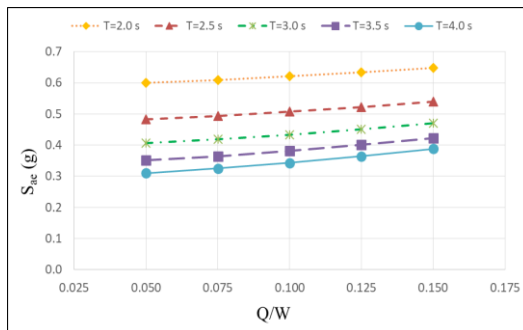
Geyve, ZC



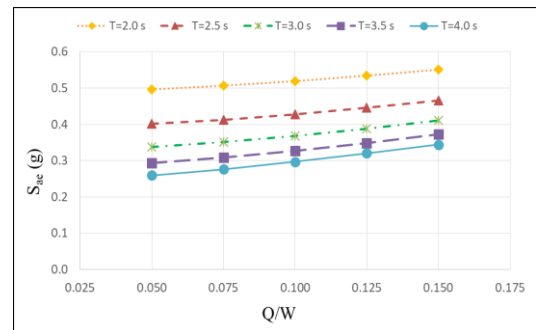
Hendek, ZD



Hendek, ZC

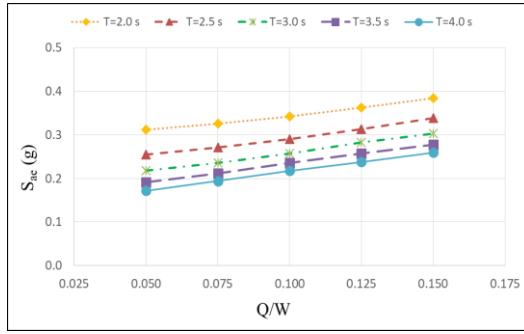


Karapürçek, ZD

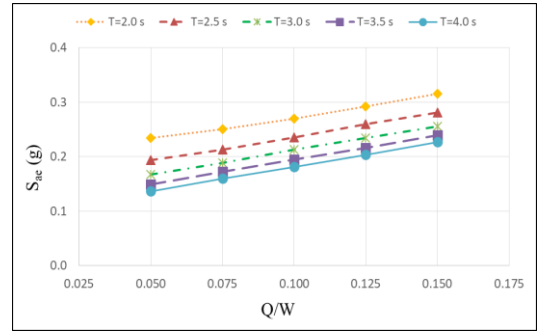


Karapürçek, ZC

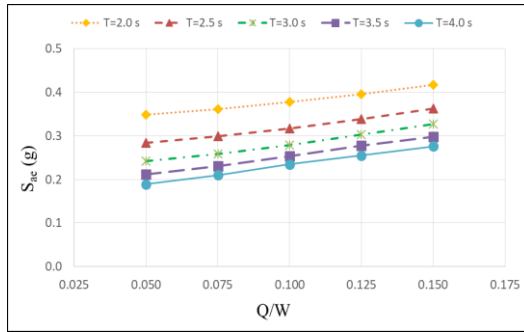
Şekil 4.6. (Devamı)



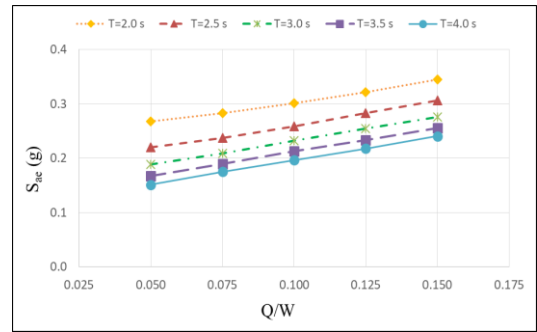
Kaynarca, ZD



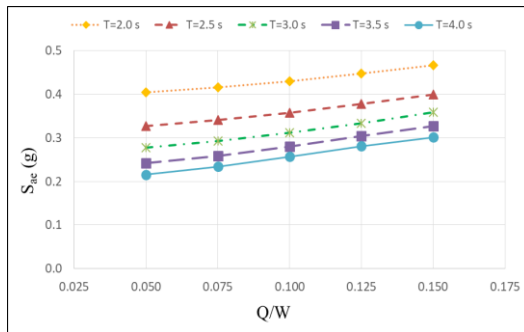
Kaynarca, ZC



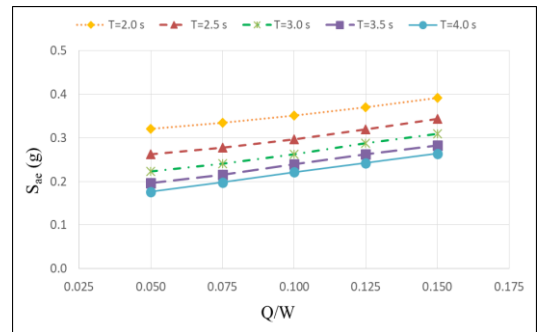
Kocaali, ZD



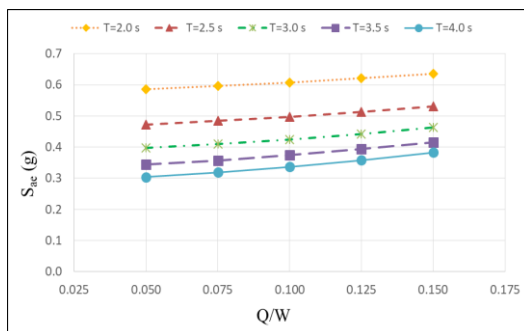
Kocaali, ZC



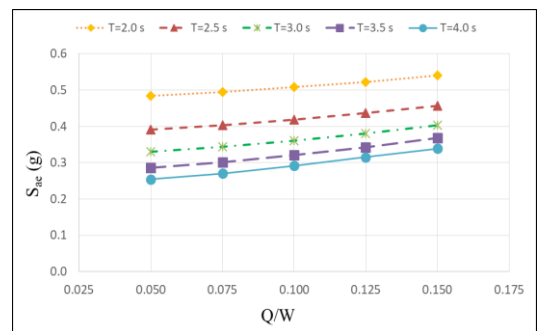
Pamukova, ZD



Pamukova, ZC

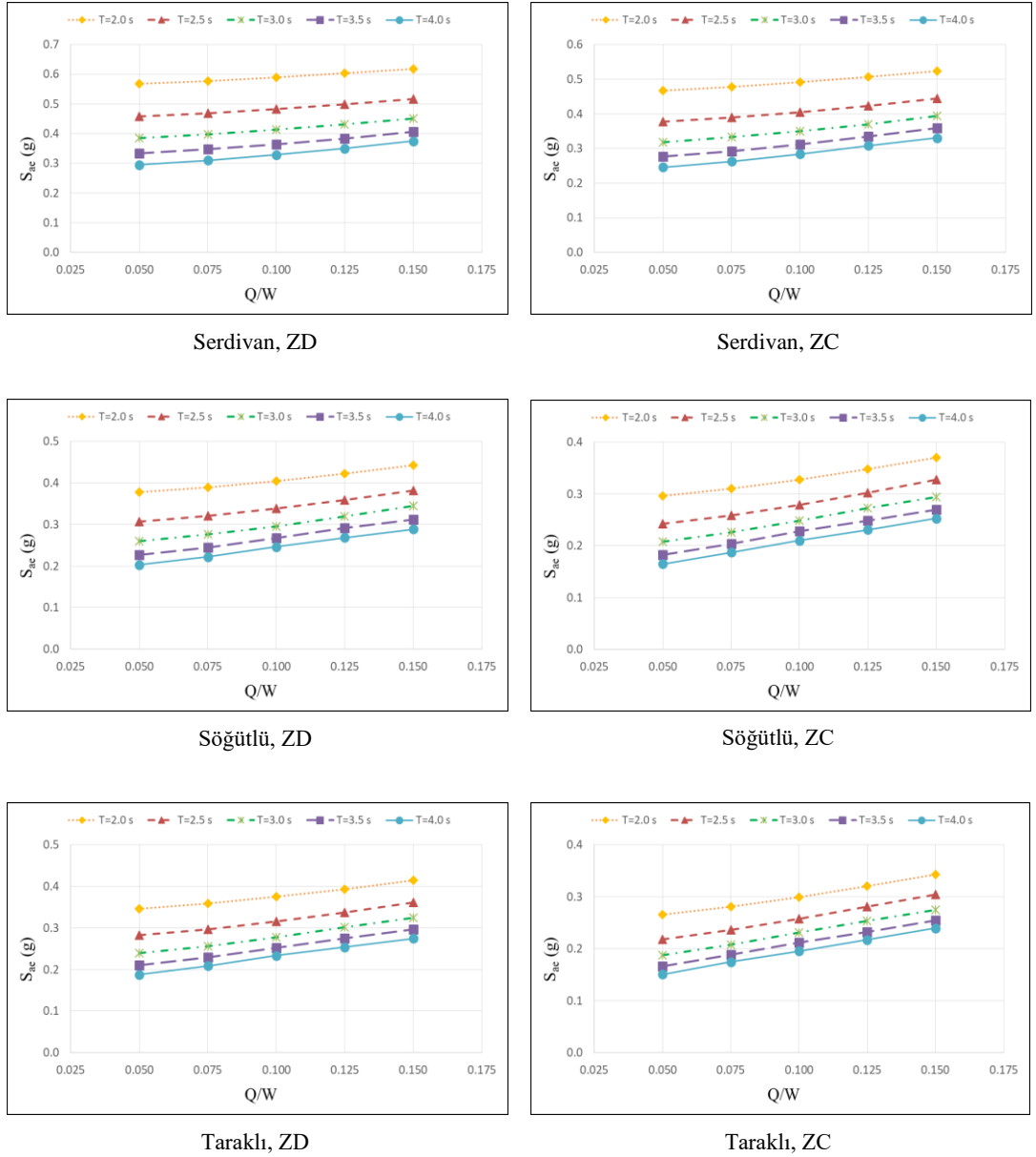


Sapanca, ZD



Sapanca, ZC

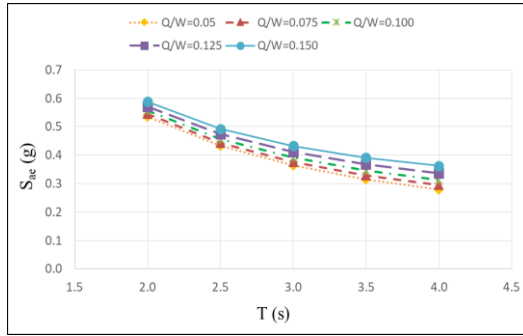
Şekil 4.6. (Devamı)



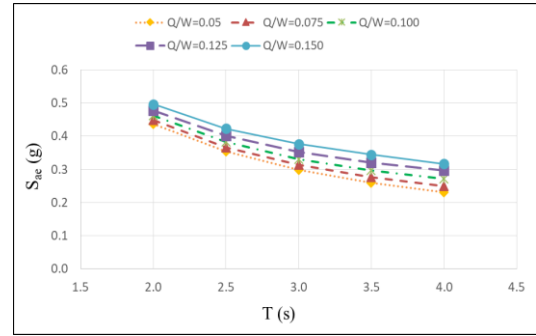
Şekil 4.6. Bu çalışmada seçilen bazıları fay hattından uzak diğerleri yakın seçilen on dört ve iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  ile karakteristik dayanımın oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişki.

#### EK-4.7. Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmeleri $S_{ae}(T)$ İle İzolatörün Periyodu (T) Arasındaki İlişki

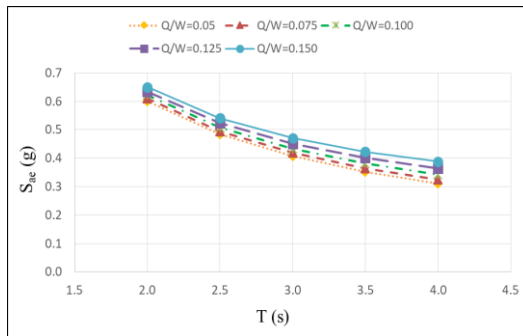
(Şekil 4.7.), yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  ile izolatörün periyodu (T) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



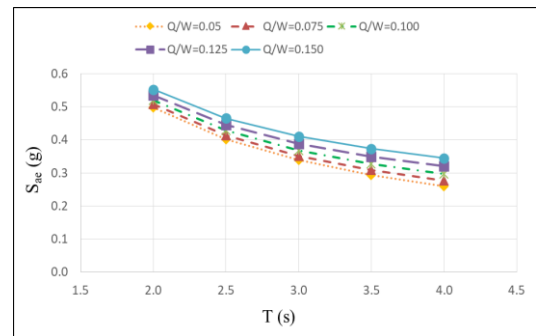
Adapazarı, ZD



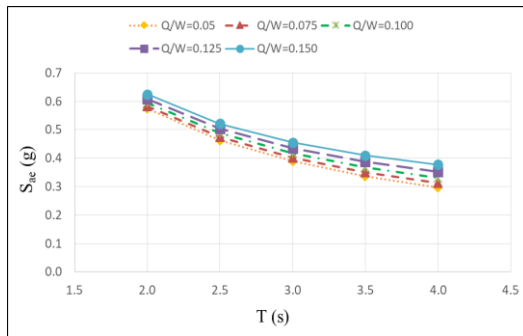
Adapazarı, ZC



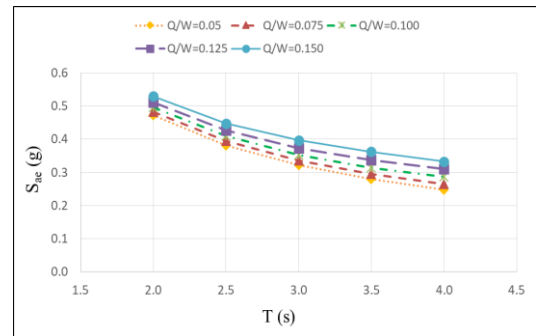
Akyazı, ZD



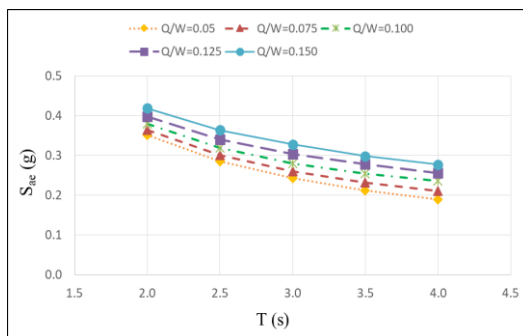
Akyazı, ZC



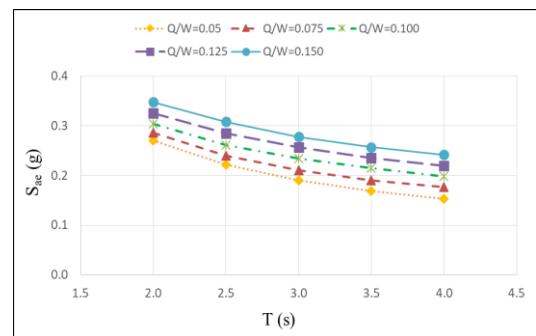
Erenler, ZD



Erenler, ZC

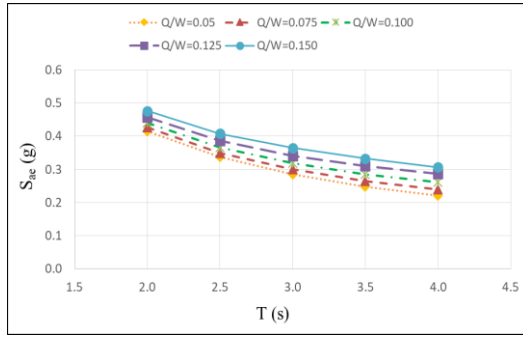


Ferizli, ZD

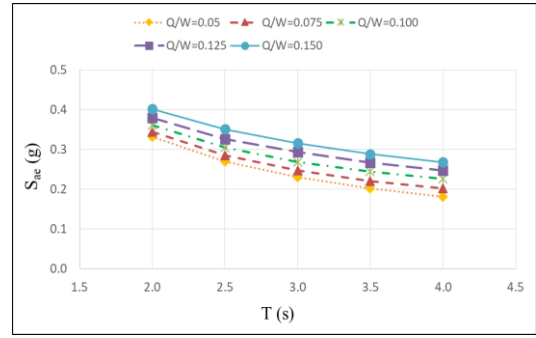


Ferizli, ZC

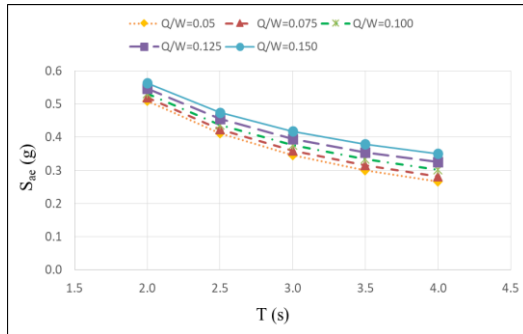
Şekil 4.7. (Devamı)



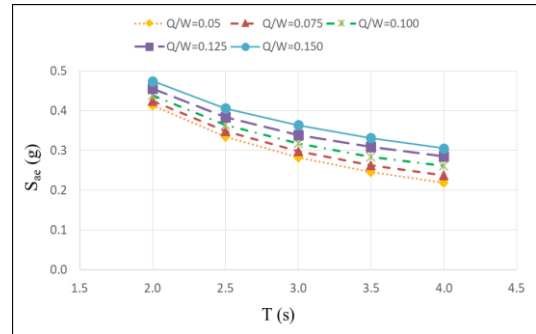
Geyve, ZD



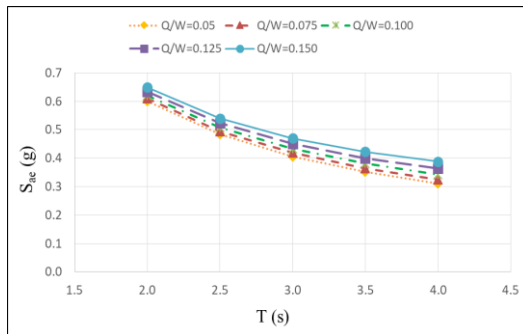
Geyve, ZC



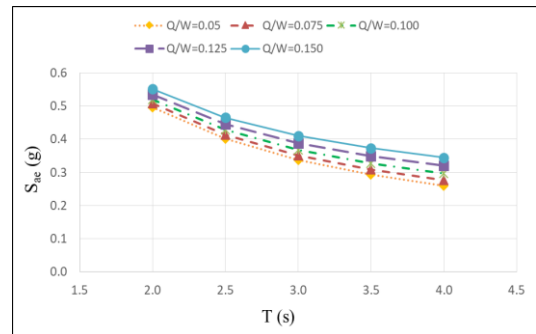
Hendek, ZD



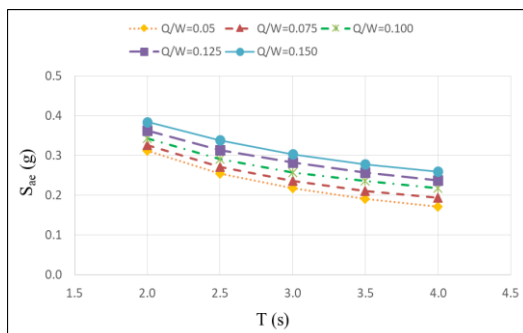
Hendek, ZC



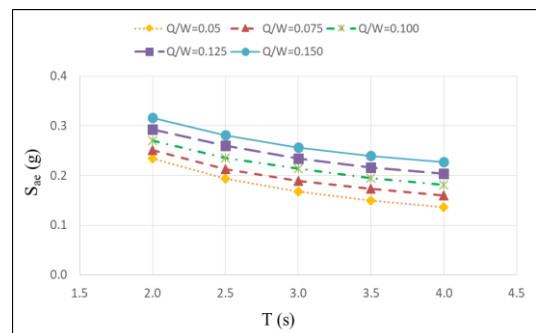
Karapürçek, ZD



Karapürçek, ZC



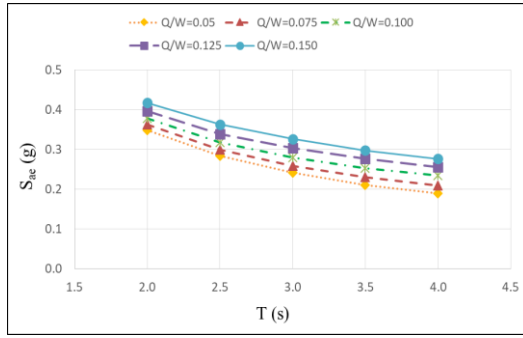
Kaynarca, ZD



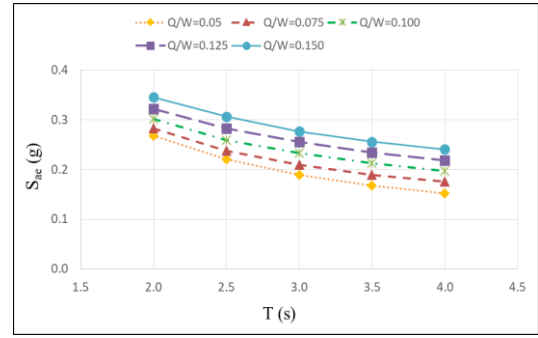
Kaynarca, ZC

Şekil 4.7. (Devamı)

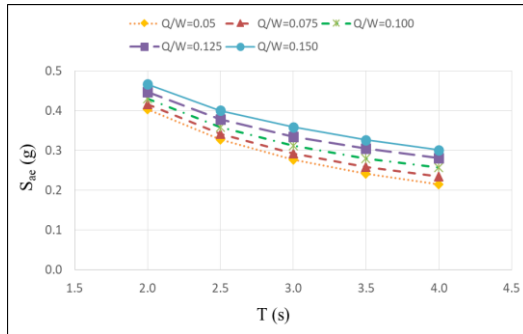




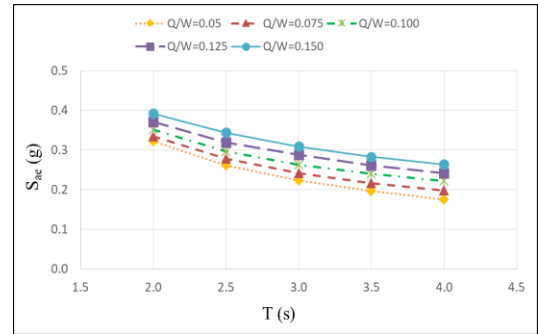
Kocaali, ZD



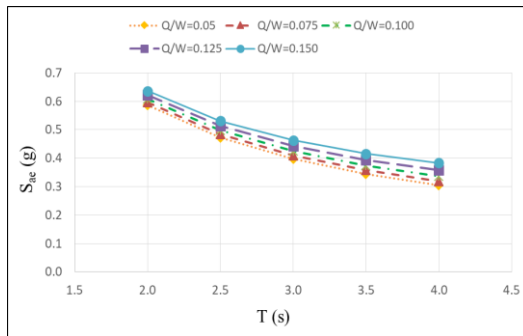
Kocaali, ZC



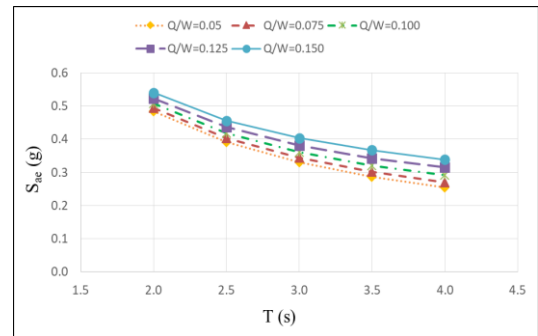
Pamukova, ZD



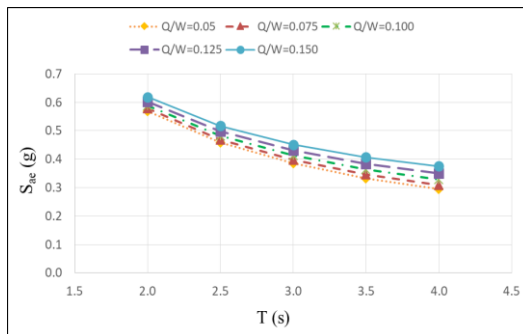
Pamukova, ZC



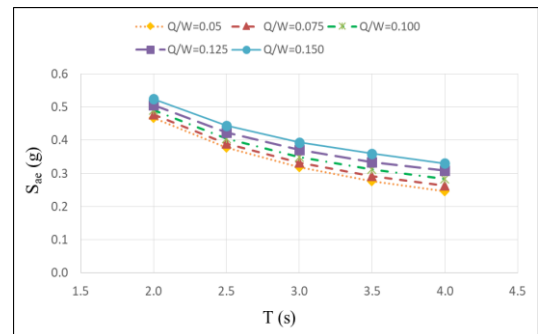
Sapanca, ZD



Sapanca, ZC

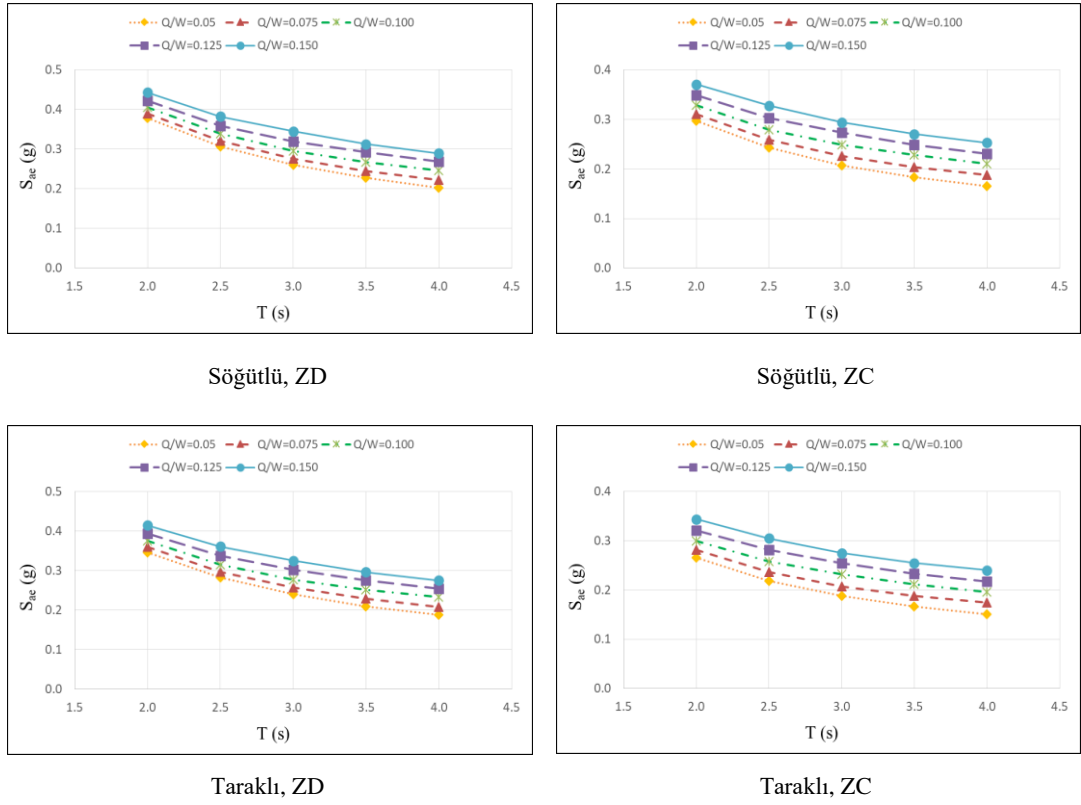


Serdivan, zemin sınıfı ZD



Serdivan, zemin sınıfı ZC

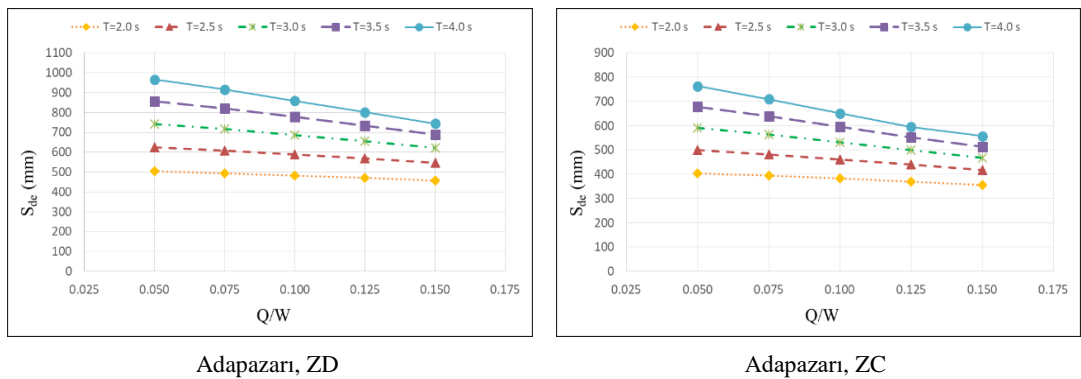
Şekil 4.7. (Devamı)



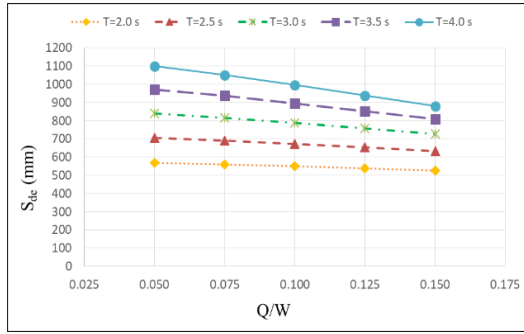
Şekil 4.7. Bu çalışmada bazıları fay hattından uzak diğerleri yakın seçilen on dörtlokasyon ve iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  ile izolatörün periyodu ( $T$ ) arasındaki ilişki.

#### EK-4.8. Yatay Elastik Tasarım Spektral Yerdeğiştirmeleri $S_{de}(T)$ İle Karakteristik Dayanım Oranı ( $Q/W$ ) Arasındaki İlişki

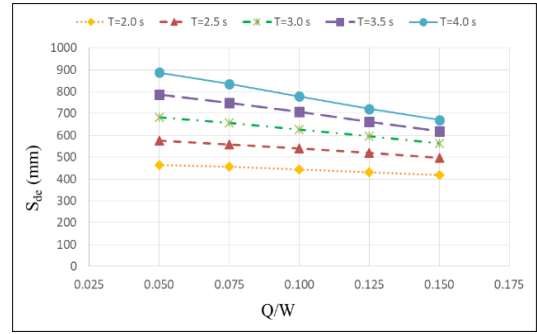
(Şekil 4.8.), yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri  $S_{de}(T)$  ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.



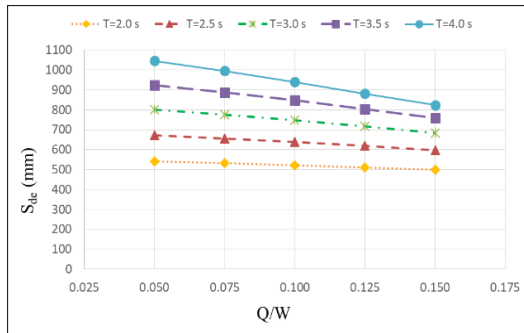
Şekil 4.8. (Devamı)



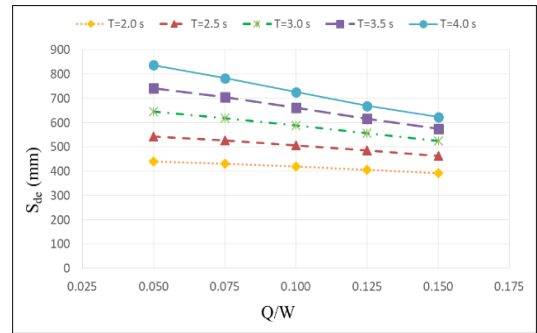
Akyazi, ZD



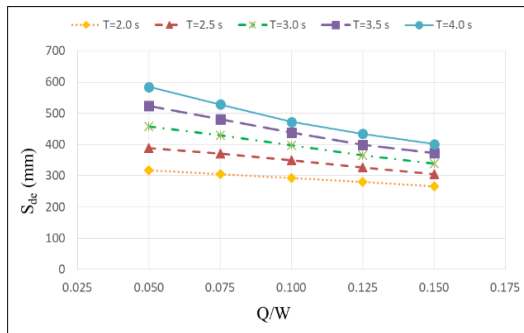
Akyazi, ZC



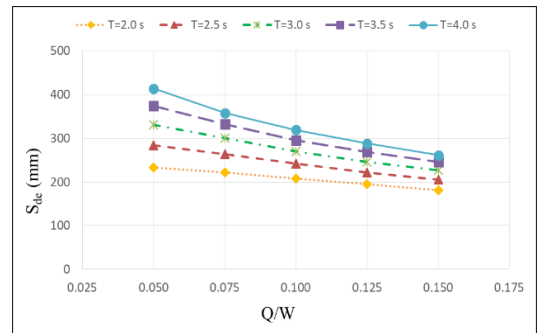
Erenler, ZD



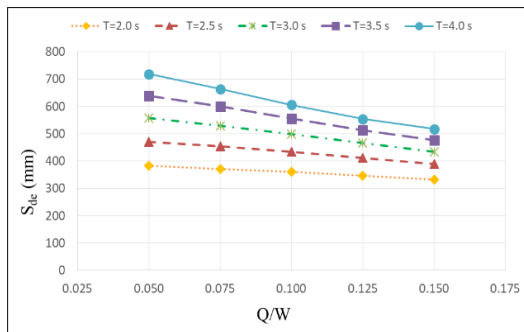
Erenler, ZC



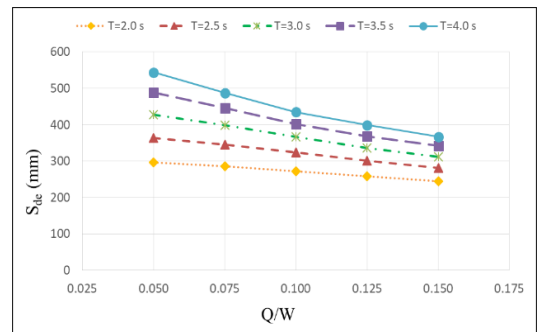
Ferizli, ZD



Ferizli, ZC

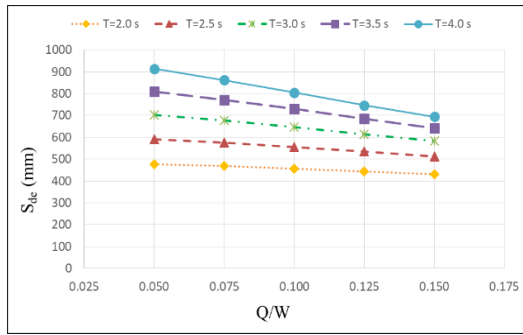


Geyve, ZD

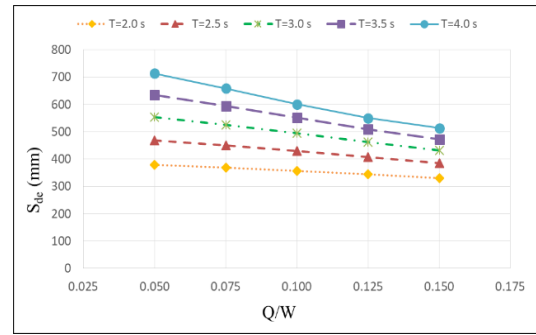


Geyve, ZC

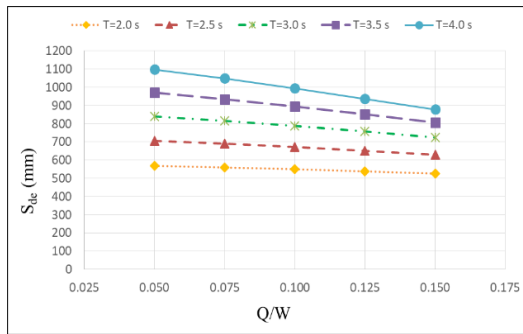
Şekil 4.8. (Devamı)



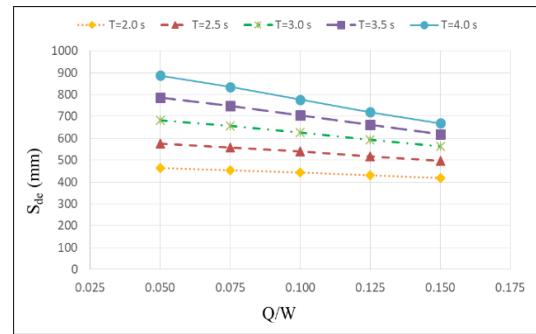
Hendek, ZD



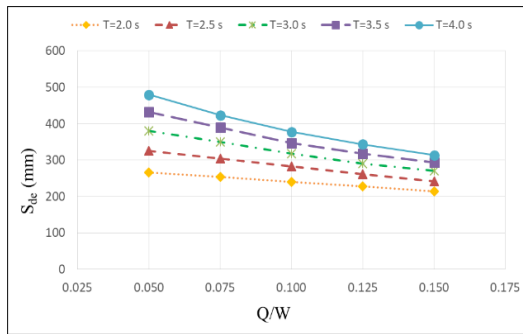
Hendek, ZC



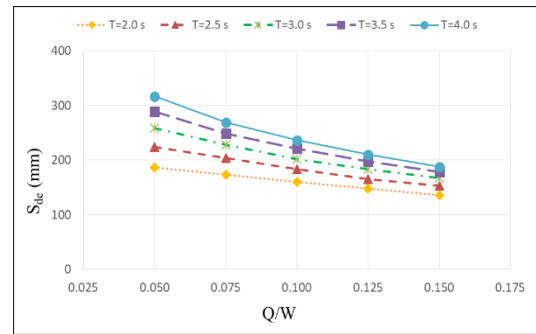
Karapürçek, ZD



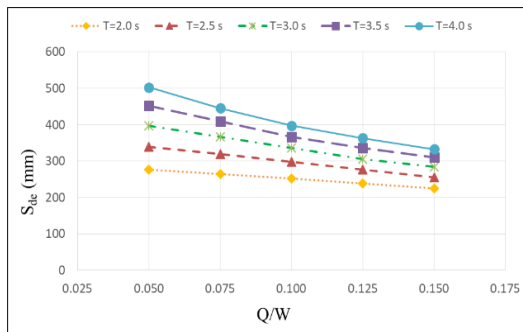
Karapürçek, ZC



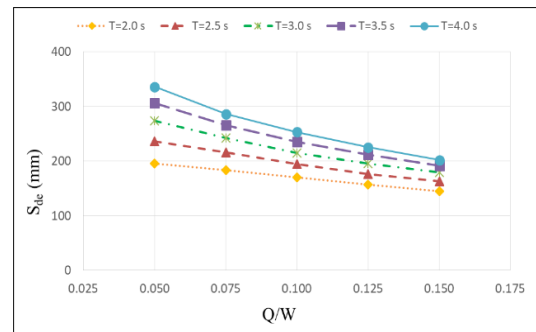
Karasu, ZD



Karasu, ZC

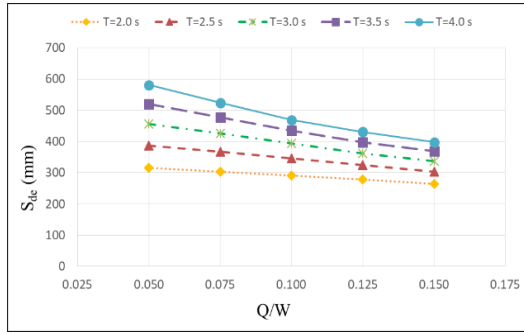


Kaynarca, ZD

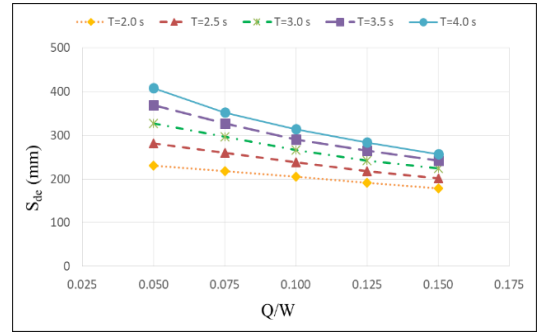


Kaynarca, ZC

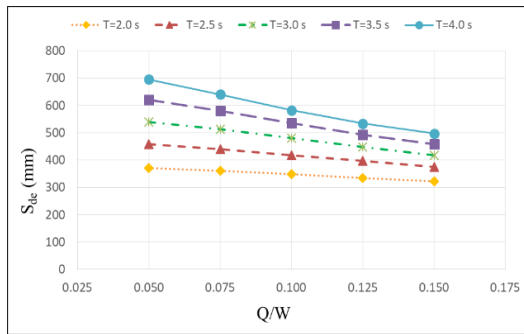
Şekil 4.8. (Devamı)



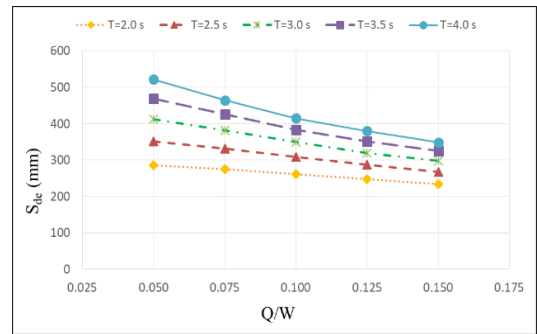
Kocaali, ZD



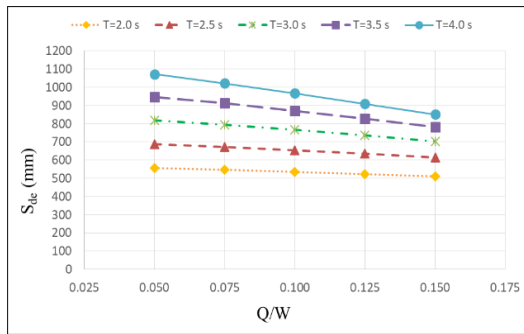
Kocaali, ZC



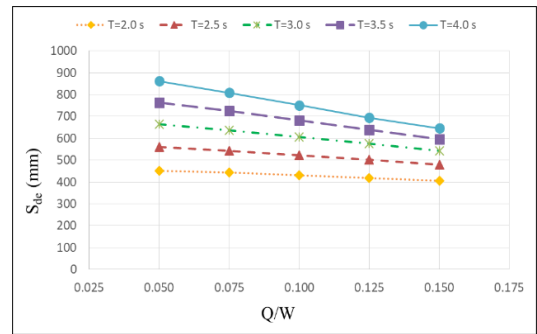
Pamukova, ZD



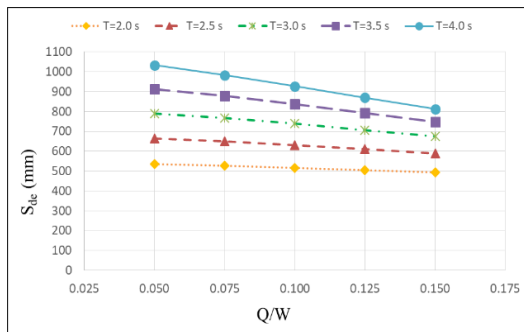
Pamukova, ZC



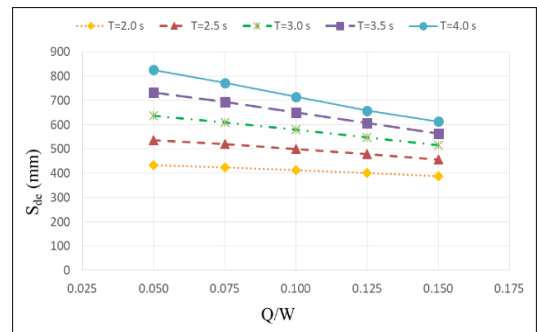
Sapanca, ZD



Sapanca, ZC

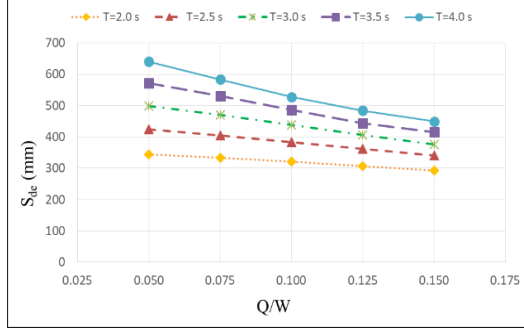


Serdivan, ZD

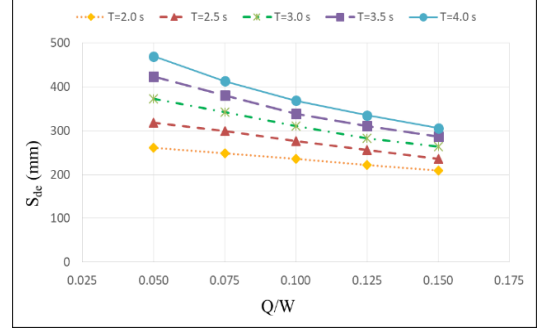


Serdivan, ZC

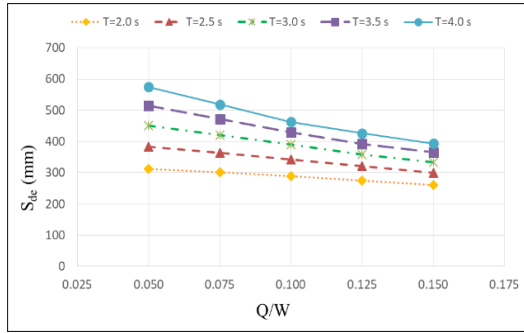
Şekil 4.8. (Devamı)



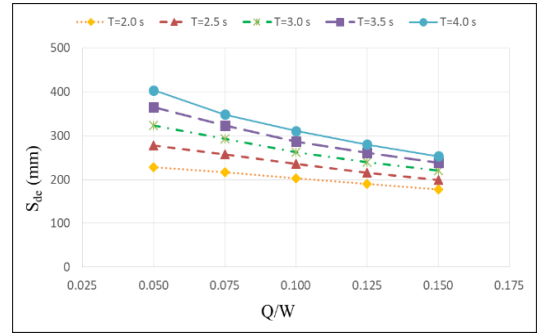
Söğütlü, ZD



Söğütlü, ZC



Taraklı, ZD

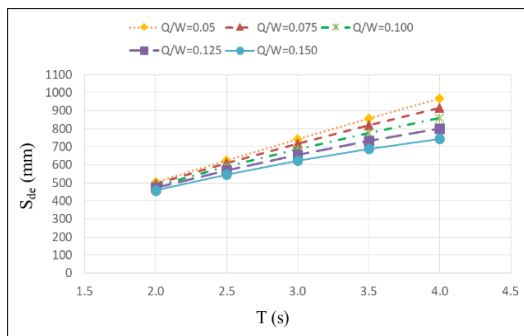


Taraklı, ZC

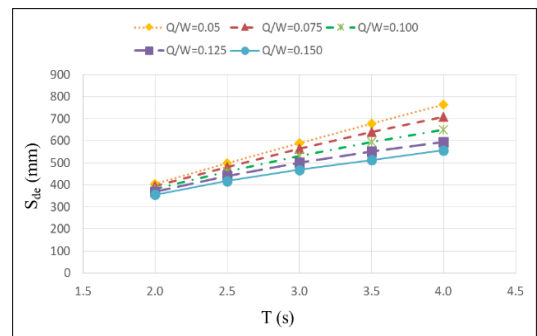
Şekil 4.8. Bu çalışmada bazıları fay hattından uzak diğerleri yakın seçilen on dört lokasyon ve iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral yerdeğişirmeleri  $S_{de}(T)$  ile karakteristik dayanım oranı ( $Q/W$ ) arasındaki ilişki

#### EK-4.9. Yatay Elastik Tasarım Spektral Yerdeğişirmeleri $S_{de}(T)$ İle İzolatörün Periyodu ( $T$ ) Arasındaki İlişki

(Şekil 4.9.), yatay elastik tasarım spektral yerdeğişirmeleri  $S_{de}(T)$  ile izolatörün periyodu ( $T$ ) arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.

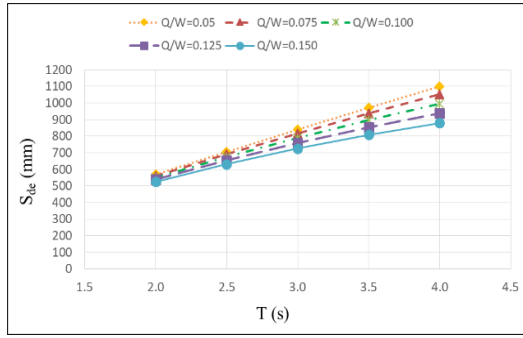


Adapazarı, ZD

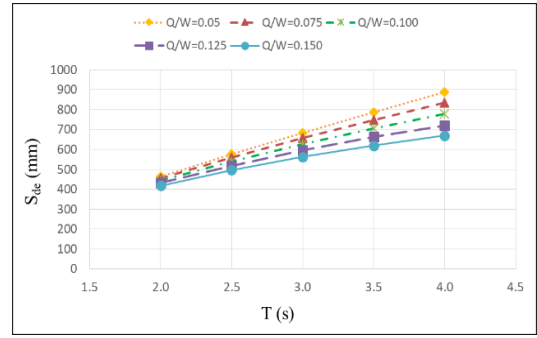


Adapazarı, ZC

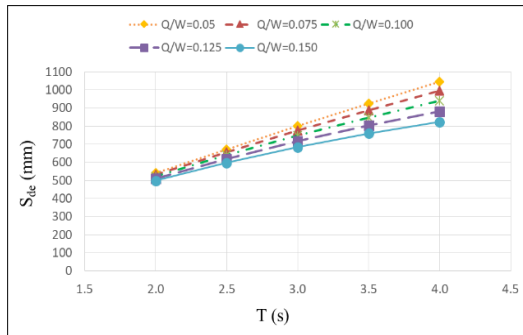
Şekil 4.9. (Devamı)



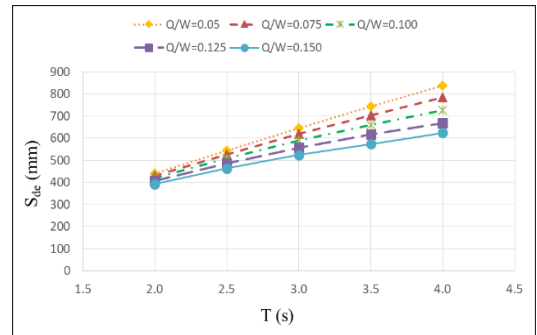
Akyazi, ZD



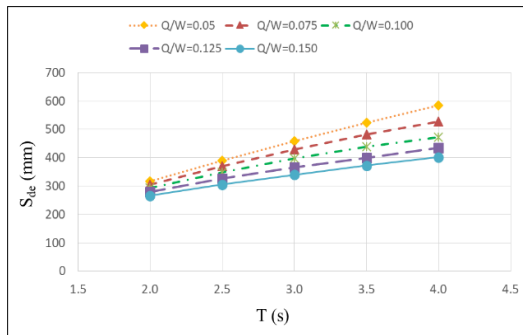
Akyazi, ZC



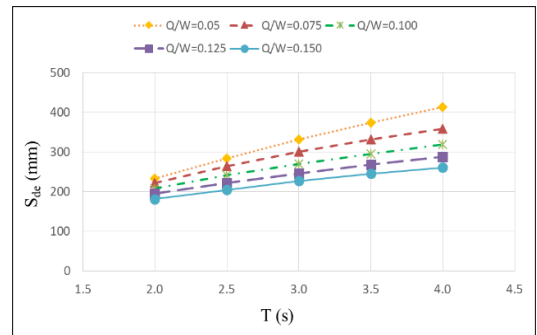
Erenler, ZD



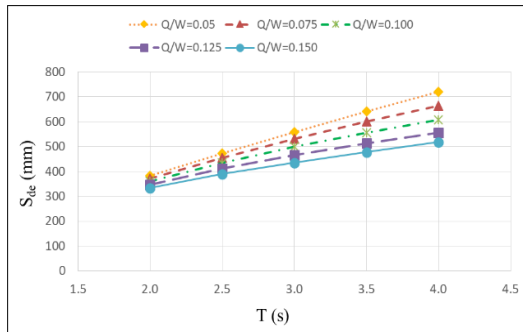
Erenler, ZC



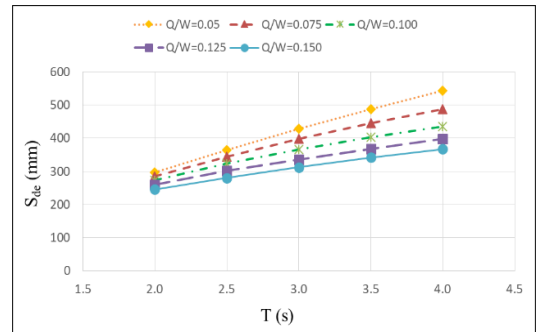
Ferizli, ZD



Ferizli, ZC

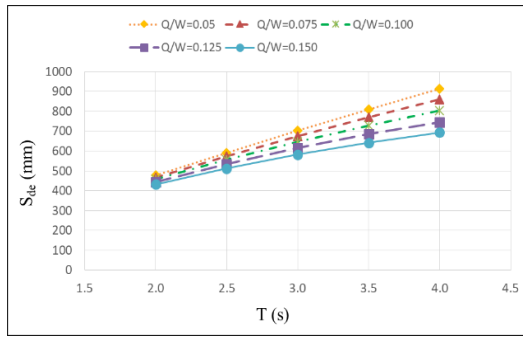


Geyve, ZD

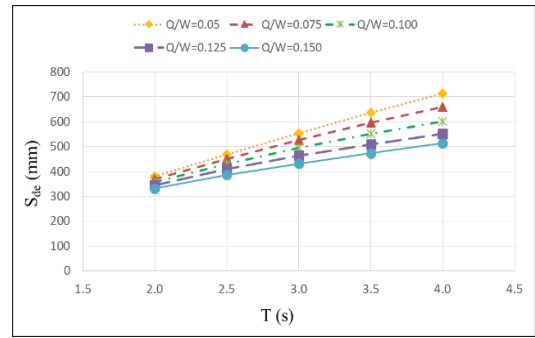


Geyve, ZC

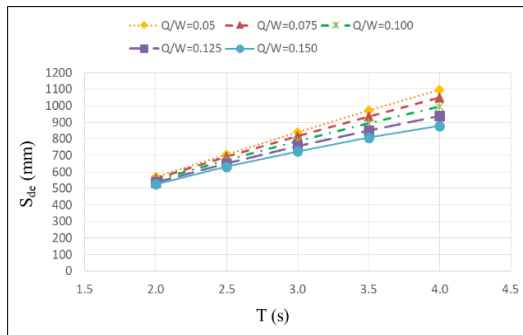
Şekil 4.9. (Devamı)



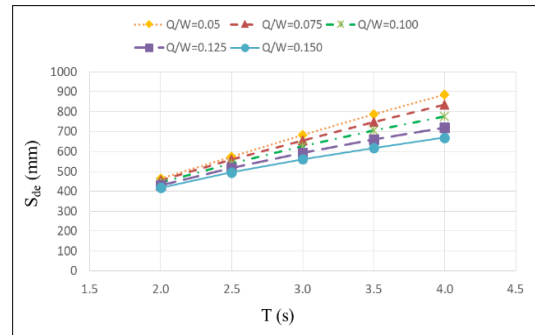
Hendek, ZD



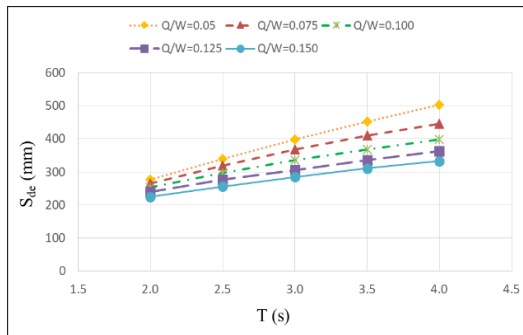
Hendek, ZC



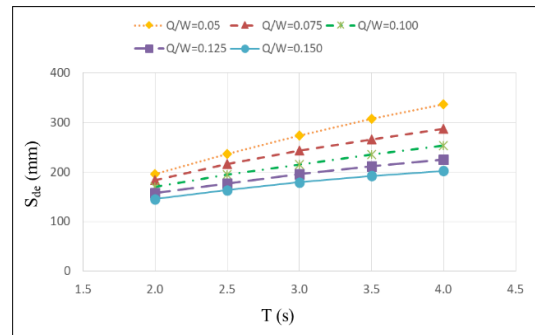
Karapürçek, ZD



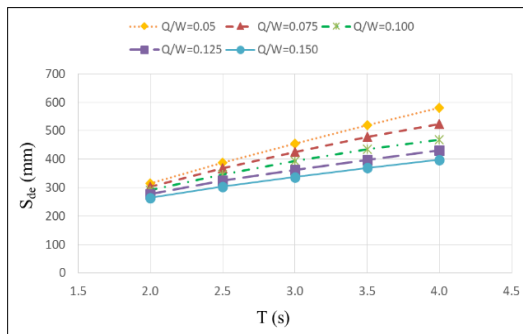
Karapürçek, ZC



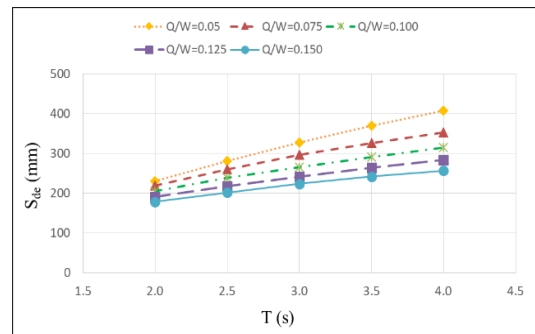
Kaynarca, ZD



Kaynarca, ZC



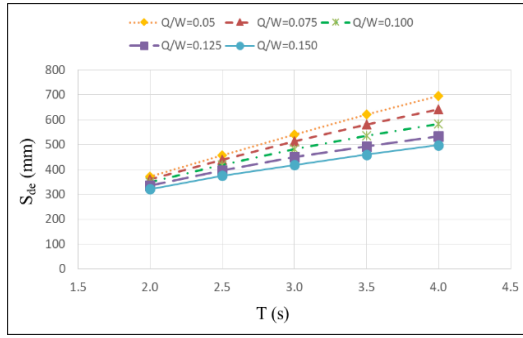
Kocaali, ZD



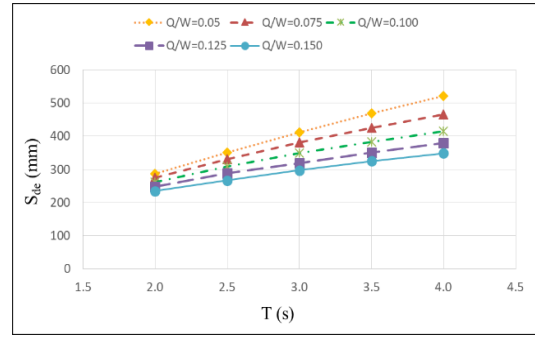
Kocaali, ZC

Şekil 4.9. (Devamı)

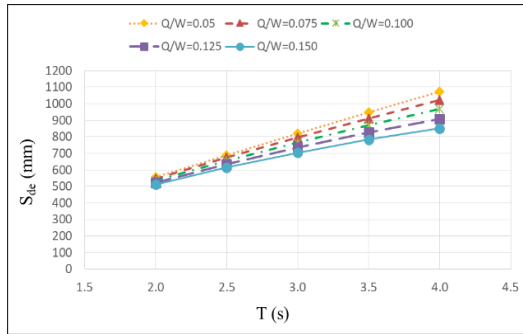




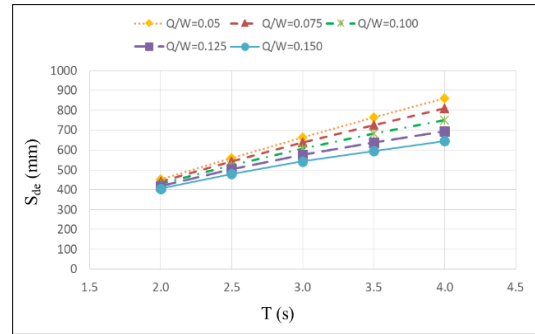
Pamukova, ZD



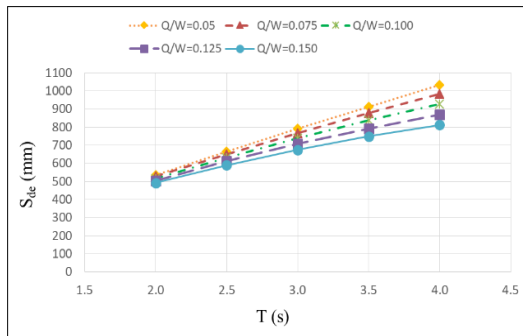
Pamukova, ZC



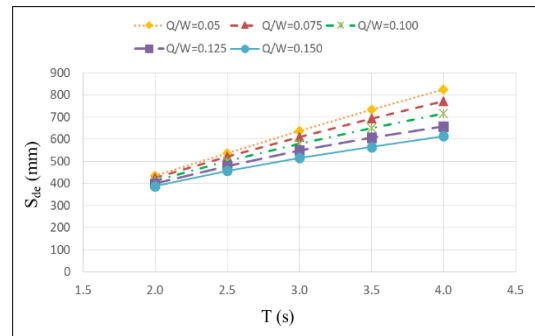
Sapanca, ZD



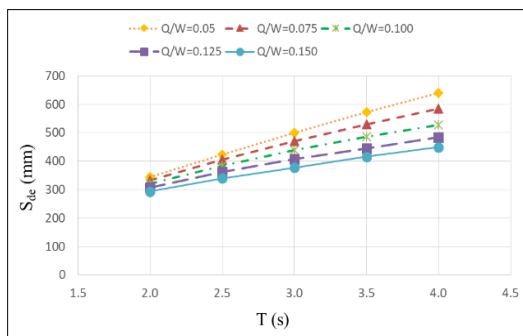
Sapanca, ZC



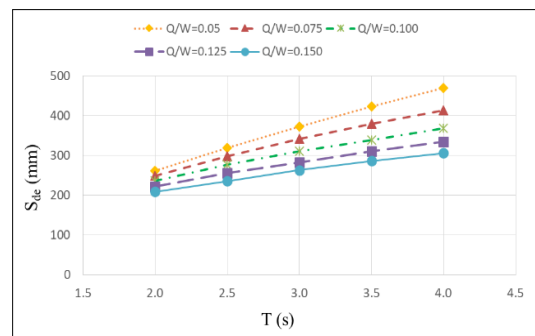
Serdivan, ZD



Serdivan, ZC

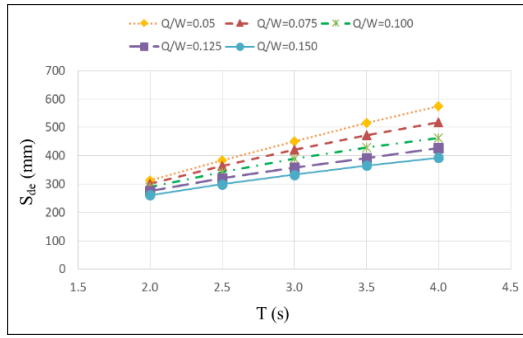


Sögütlü, ZD

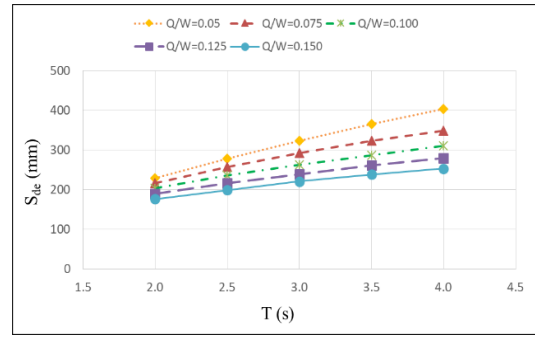


Sögütlü, ZC

Şekil 4.9. (Devamı)



Taraklı, ZD



Taraklı, ZC

Şekil 4.9. Bu çalışmada bazıları fay hattından uzak diğerleri yakın seçilen on dört lokasyon ve iki zemin sınıfı [ZD-ZC] dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri  $S_{de}(T)$  ile izolatörün periyodu ( $T$ ) arasındaki ilişki.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Esra ALASAF

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Aleppo Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği	2014
Lise	Halep Anadolu Lisesi	2009

### İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2015-2016	Aleppo Üniversitesi	İnşaat mühendis

### YABANCI DİL

İngilizce  
Türkçe

### ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

ALASAF, E., ÖZTÜRK, H., Sismik İzolatörlü Yapıların Tasarımına Etki Eden Faktörleri İncelenmesi. 4. Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu (UMAS'22), Düzce, Turkey, March 4-6, 2022.