



T.C.  
ULAŖTIRMA VE ALTYAPI BAKANLIğI  
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜğÜ  
SANAT YAPILARI DAİRESİ BAŖKANLIđI



ULAŖIM VE DAđITIM TESİSLERİ İÇİN  
DEPREM YÖNETMELİKLERİ HAZIRLANMASI  
VE MÜŖAVİRLİK HİZMETLERİ DANIŖMANLIK  
HİZMET ALIMI İŖİ

**YÜKSEL  
PROJE**

**NİHAİ RAPORA ESAS TASLAK RAPOR  
(ARA RAPOR-3)**

**Yalıtımlı ve Sönümleyicili Köprüler ve Viyadükler  
(Sektör: UlaŖım Tesisleri – A1a)**

MAYIS 2019

## İÇİNDEKİLER

1. TANIM, KAPSAM VE PERFORMANS HEDEFLERİ.....	5
1.1. Simgeler.....	5
1.2. Tanımlar .....	8
1.3. Kapsam.....	8
1.4. Performans Hedefleri.....	8
1.5. Köprü Sınıfları.....	9
1.6. Köprü Önem Sınıfları .....	9
1.7. Deprem Yalıtım Kavramı .....	9
1.8. Esneklik .....	10
1.9. Enerji Sönümleme .....	11
1.10. Servis Yüğü Altında Yatay Rijitlik .....	13
1.11. Düşey Yönde Rijitlik.....	13
1.12. Dönme Kabiliyeti .....	13
2. DEPREM TEHLİKE TANIMI.....	13
2.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu .....	13
2.2. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu .....	16
2.3. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu .....	17
2.4. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması .....	17
2.5. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketlerinin Ölçeklendirilmesi.....	18
3. ANALİZ VE MODELLEME YÖNTEMLERİ.....	18
3.1. Deprem Yalıtımlı Köprülerin Eşdeğer Doğrusal Analizi .....	18
3.1.1. Basit Analiz Metodu.....	19
3.1.1.1. Deprem yalıtım mesnedi ile viskoz enerji sönümleyicilerin birlikte kullanıldığı durumda eşdeğer deprem kuvvetinin hesabı.....	21
3.1.2. Basit Analiz Metodunun Tek Açıklıklı Düz Köprülere Uygulanması .....	23
3.1.3. Mod Birleştirme Yöntemi İle Eşdeğer Doğrusal Analiz .....	23
3.2. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz .....	24
3.3. Yapısal Analiz Yöntemine Göre Köprü Sınıfları Ve Analiz Yöntemi Seçimi .....	25
3.4. Deprem Yalıtımlı Köprülerde Deprem Etkisinin Uygulama Yönleri.....	25
3.5. Deprem Yalıtımlı Köprülerin Üst ve Alt Sınır Analizi .....	26
4. DEPREM YALITIM SİSTEMİNİN TASARIM YER DEĞİŞTİRME KAPASİTESİ .....	28
4.1. Deprem Yalıtım Biriminin Servis Yer Değişirmesi .....	28
4.2. Deprem Yalıtım Biriminin Tasarım Yer Değişirme Kapasitesi .....	28
5. DEPREM YALITIM MESNETLERİ .....	29
5.1. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetleri.....	29
5.1.1. Düşük Sönümlü Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetleri .....	29
5.1.2. Yüksek Sönümlü Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetleri .....	31

5.1.3. Kurşun Çekirdekli Deprem Yalıtım Mesnetleri .....	33
5.1.4. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetlerinde Servis ve Deprem Yükleri Altında Kesme Birim Şekil-Değiştirmeleri.....	35
5.1.4.1. Eksenel yükler altında elastomer deprem yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil-değiştirmesi.....	35
5.1.4.2. Düşey düzlemdeki dönmelerden dolayı elastomer deprem yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi .....	37
5.1.4.3. Yatay yöndeki yer-değiştirmelerden dolayı elastomer deprem yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi .....	37
5.1.5. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetlerinin Kesme Birim Şekil Değiştirme Sınırları .....	37
5.1.6. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetlerinin Düşey Yükler Altında Kararlılığı.....	38
5.1.7. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetleri İçin Özel Gereksinimler .....	39
5.2. Kayma Esaslı Deprem Yalıtım Mesnetleri .....	40
5.2.1. Düz Yüzeyle Küresel Kayıcı Deprem Yalıtım Mesnetleri.....	40
5.2.2. Eğri Yüzeyle Kayıcı Deprem Yalıtım Mesnetleri.....	41
5.2.3. Anma Statik ve Dinamik Sürtünme Katsayıları .....	43
5.2.4. Kayma Esaslı Deprem Yalıtım Mesnetleri için Özel Gereksinimler.....	43
6. ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLER.....	44
6.1. Metal Esaslı Enerji Sönümleyiciler .....	44
6.1.1. Metal Esaslı Enerji Sönümleyiciler İçin Özel Gereksinimler.....	44
6.2. Viskoz Enerji Sönümleyiciler.....	45
6.2.1. Viskoz Enerji Sönümleyiciler İçin Özel Gereksinimler .....	45
7. DEPREM YALITIM VE ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ SİSTEMLERE AİT ÖZELLİKLERİN ALT VE ÜST SINIR DEĞERLERİ.....	46
7.1. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetleri İçin $\lambda_{üst}$ , $\lambda_{alt}$ ve $\beta$ Katsayıları .....	46
7.2. Kayma Esaslı Deprem Yalıtım Mesnetleri İçin $\lambda_{üst}$ , $\lambda_{alt}$ ve $\beta$ Katsayıları .....	46
7.3. Metal Esaslı Enerji Sönümleyiciler İçin $\lambda_{üst}$ , $\lambda_{alt}$ ve $\beta$ Katsayıları .....	46
7.4. Viskoz Enerji Sönümleyiciler İçin $\lambda_{üst}$ , $\lambda_{alt}$ ve $\beta$ Katsayıları.....	46
8. DEPREM YALITIM SİSTEMLERİ İÇİN GEREKSİNİMLER.....	50
8.1. Deprem Yalıtım Sisteminin Merkezlenme Özelliği .....	50
8.2. Deprem Yalıtım Mesnedinin Dönme Kapasitesi.....	50
8.3. Deprem Yalıtım Sisteminin Servis Yükleri Altında Yatay Rijitliği .....	51
8.4. Deprem Yalıtım Biriminin Çok Sıcak ve Çok Soğuk İklim Koşullarında Uygulanması .....	51
9. YAPISAL TASARIM KURALLARI .....	51
9.1. Deprem Yalıtım Sisteminin İşlev Görmesi İçin Gereken Boşluklar .....	51
9.2. Üst Yapıda Yalıtım Sisteminin Değişimi İçin Enleme Kirişi.....	51
9.3. Köprü Ayaklarının ve Temellerin Tasarım Kuralları .....	51
9.4. Demiryolu Köprülerine Ait Özel Tasarım Kuralları .....	52
10. DENEYLER .....	52
10.1. Model Deneyleri.....	52
10.1.1. Deprem Yalıtım Mesnetlerine Uygulanan Model Deneyleri.....	52



10.1.2. Metal Esaslı Enerji Sönümleyicilere Uygulanan Model Deneyleri.....	54
10.1.3. Viskoz Enerji Sönümleyicilere Uygulanan Model Deneyleri .....	54
10.2. Üretim Kontrol Deneyleri .....	55
10.2.1. Deprem Yalıtım Mesnetlerine Uygulanan Üretim Kontrol Deneyleri .....	55
10.2.2. Metal Esaslı Enerji Sönümleyicilere Uygulanan Üretim Kontrol Deneyleri.....	55
10.2.3. Viskoz Enerji Sönümleyicilere Uygulanan Üretim Kontrol Deneyleri .....	55
11. İZLEME VE BAKIM.....	56

TASLAK

## 1. TANIM, KAPSAM VE PERFORMANS HEDEFLERİ

### 1.1. Simgeler

$A$	Deprem yalıtım mesnedinin kesit alanı
$A_b$	Elastomer malzemenin ara çelik plakalarla sınırlandırılmış olan kısmının plandaki alanı
$A_{h,i}$	Deney sonucunda elde edilmiş olan $i$ numaralı döngüye ait döngüsel kuvvet–yer-değiştirme eğrisinin altında kalan alan
$A_K$	Kurşun çekirdeğin kesit alanı
$A_{\bar{O}}$	Yanal yer-değiştirmeye maruz kalan elastomer deprem yalıtım mesnedinin üst ve alt yüzeylerinin düzlem içi örtüşme alanı
$B_s$	Deprem yalıtım sisteminin etkin sönüm oranı için hesaplanan spektrum azaltma katsayısı.
$C$	Viskoz enerji sönümleyiciye ait sönümleme sabiti
$C_k$	Köprü ayağında bulunan, $k$ numaralı enerji sönümleyiciye ait sönümleme sabiti
$D_K$	Kurşun çekirdeğin çapı
$D_{\bar{C}}$	Elastomer katmanın ara çelik plakalarla sınırlandırılmış kısmının çapı
$D_s$	Servis ömrü boyunca toplam ardışık mesnet kayma mesafesi
$d$	Yer-değiştirme
$\dot{d}$	Yer-değiştirme hızı
$d_{Aj}$	Köprü ayağının yer-değiştirmesi
$d_H$	Deprem yalıtım biriminin hareketli yükler altındaki yanal yer-değiştirmesi
$d_R$	Deprem yalıtım biriminin rötre etkisinden kaynaklanan yanal yer-değiştirmesi
$d_S$	Deprem yalıtım biriminin depremsiz durumdaki servis yer-değiştirmesi
$d_{SC}$	Deprem yalıtım biriminin sıcaklık değişimine bağlı yanal yer-değiştirmesi
$d_{SD}$	Deprem yalıtım biriminde depremsel yer-değiştirme ile birlikte kullanılacak olan servis yer-değiştirmesi
$d_{S\bar{U}}$	Deprem yalıtım biriminin sünme etkisinden kaynaklanan yanal yer-değiştirmesi
$d_o$	Deprem yalıtım biriminde analiz sonucunda elde edilen depremsel yer-değiştirme
$d_{oi}$	Köprü ayağındaki, $i$ numaralı deprem yalıtım mesnedinin yer-değiştirmesi
$d_{or}$	Köprü ayağındaki deprem yalıtım mesnetlerinin köprü ayağının rijitlik merkezindeki yer-değiştirmesi
$d_y$	Metal esaslı enerji sönümleyicinin etkin akma yer-değiştirmesi
$d_{yi}$	Köprü ayağındaki, $i$ numaralı deprem yalıtım mesnedinin akma yer-değiştirmesi
$\bar{d}_y$	Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) akma yer-değiştirmesi
$E_B$	Elastomer mesnedin basınç elastisite modülü
$E_s$	Köprü ayağındaki enerji sönümleyiciler tarafından sönümlenen toplam enerji
$F_{max}$	Harmonik yer-değiştirme altında ( $d=d_o \sin(\omega t)$ ) viskoz enerji sönümleyicinin sıfır yer-değiştirmedeki kuvveti.
$F_o$	Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) depremsel yer-değiştirmesine karşılık gelen kuvvet
$F_S$	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
$F_1$	1.0 saniyelik periyot için yerel zemin etki katsayısı
$F_{S,alt}$	Enerji sönümleyiciye ait anma dayanım kuvvetinin alt sınırı
$F_{S,üst}$	Enerji sönümleyiciye ait anma dayanım kuvvetinin üst sınırı
$F_y$	Metal esaslı enerji sönümleyicinin etkin akma kuvveti
$F_y$	Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin)akma kuvveti
$G$	Elastomer yalıtım mesnedinde kullanılan elastomer malzemeye ait kesme elastisite modülü
$g$	Yer çekimi ivmesi
$h_A$	Köprü ayağının temel üstünden yüksekliği
$h_T$	Temel yüksekliği
$I$	Deprem yalıtım mesnedine ait kesitin atalet momenti
$J_b$	Elastomer malzemenin çelik plakalarla sınırlandırılmış olan kısmının burulma atalet momenti
$j$	Köprü ayağını tarif eden indeks
$K$	Elastomer yalıtım mesnedinde kullanılan elastomer malzemeye ait hacim modülü

$K_{Aj}$	$j$ numaralı köprü ayağının, deprem yalıtım sistemi ve zemin etkileşimi dikkate alınarak hesaplanan rijitliği
$K_d$	MES-2 metal esaslı enerji sönümleyicinin ikincil rijitliği (elastik-ötesi rijitliği)
$K_{d,alt}$	Deprem yalıtım mesnedine ait anma ikincil rijitliğinin alt sınırı
$K_{d,üst}$	Deprem yalıtım mesnedine ait anma ikincil rijitliğinin üst sınırı
$K_i$	Metal esaslı enerji sönümleyicinin elastik rijitliği
$k'$	Elastomer yalıtım mesnedinde kullanılan elastomer malzemeye ait bir katsayıdır
$k_{Aj}$	$j$ numaralı köprü ayağının zemin etkileşimi dikkate alınarak hesaplanan rijitliği
$k_{Ao}$	Temel bağlantısı ankastre varsayılarak hesaplanan ayak rijitliği
$k_d$	Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) ikincil rijitliği
$k_e$	Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) etkin rijitliği
$k_{ei}$	$i$ numaralı deprem yalıtım biriminin (mesnet ya da enerji sönümleyici) etkin rijitliği
$(\sum_i k_{ei})_j$	$j$ numaralı köprü ayağındaki tüm yalıtım birimlerinin etkin rijitliklerinin toplamı
$k_i$	Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) başlangıç rijitliği
$k_K$	Kurşun çekirdeğin elastik kesme rijitliği
$k_{öz}$	Zeminin öteleme rijitliğini temsil eden etkin yay sabiti
$k_{θz}$	Zeminin dönme rijitliğini temsil eden etkin yay sabiti
$n$	Elastomer deprem yalıtım mesnedindeki ara elastomer katmanların sayısı
$n_s$	Köprü ayağında bulunan benzer metal esaslı enerji sönümleyicilerin sayısı
$N$	Deprem yalıtım mesnedine etki eden eksenel yük
$N_A$	Deprem yalıtımlı köprüdeki orta ayak sayısı
$N_b$	Deprem yalıtım mesnedinin yatay yer-değiştirme olmadan hesaplanan burkulma eksenel kuvveti
$N'_b$	Deprem yalıtım mesnedinin yatay yer-değiştirme durumunda hesaplanan burkulma eksenel kuvveti
$N_D$	Deprem durumunda deprem yalıtım mesnedine etki eden tüm eksenel yükler
$N_H$	Deprem yalıtım mesnedine etki eden eksenel hareketli yük
$N_m$	Mod birleştirme analizlerinde kullanılacak olan asgari mod sayısı
$N_{\bar{O}}$	Deprem yalıtım mesnedine etki eden eksenel ölü yük
$Q_d$	Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) sıfır yer-değiştirmedeki dayanım kuvveti
$Q_{d,alt}$	Deprem yalıtım mesnedine ait anma dayanım kuvvetinin alt sınırı
$Q_{di}$	Köprü ayağındaki, $i$ numaralı deprem yalıtım mesnedinin sıfır yer-değiştirmedeki anma dayanım kuvveti
$Q_{d,üst}$	Deprem yalıtım mesnedine ait anma dayanım kuvvetinin üst sınırı
$R_e$	Eğri yüzeyli kayıcı deprem yalıtım mesnedinin etkin yarıçapı
$S$	Elastomer yalıtım mesnedindeki tipik bir elastomer katmanına ait şekil katsayısı
$S_{ad}(T_e, \xi_e)$	Deprem yalıtımlı köprünün etkin periyoduna ve etkin sönüm oranına ( $\xi_e$ ) tekabül eden spektral ivme
$S_{ae}(T_e)$	Deprem yalıtımlı köprünün etkin periyodunda %5 sönüm oranlı en büyük yön spektrumundan elde edilen spektral ivme
$S_{DS}$	Kısa periyot bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı
$S_{D1}$	1.0 saniyelik periyottaki tasarım spektral ivme katsayısı
$S_S$	Deprem tehlikesi haritası kısa periyot spektral ivme değeri
$S_I$	Deprem tehlikesi haritası $T=1.0$ s. spektral ivme değeri
$S'_S$	Doğrultu değiştirme katsayısı ile çarpılarak büyütülmüş deprem tehlikesi haritası kısa periyot spektral ivme değeri
$S'_I$	Doğrultu değiştirme ya da faya yakınlık katsayısı ile çarpılarak büyütülmüş Deprem tehlikesi haritası $T=1.0$ s. spektral ivme değeri
$\text{sign}()$	İşaret işlevi
$T$	Etkin periyot
$T_A$	Standart yatay elastik tasarım spektrumuna ait birinci köşe periyodu
$T_B$	Standart yatay elastik tasarım spektrumuna ait ikinci köşe periyodu
$T_e$	Etkin periyot
$T_L$	Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6.0$ s

$T_d$	Deprem yalıtım sisteminin ikincil rijitliğine göre hesaplanan periyodu
$T_E$	Ara elastomer katmanların kalınlıklarının toplamı
$t_E$	Ara elastomer katmanın kalınlığı
$W$	Köprü üst yapısının zati ağırlığı ile üst yapıya etki eden tüm ölü yüklerin toplamına tekabül eden ağırlık.
$\alpha$	Viskoz enerji sönümleyiciye ait sönümleme üstü
$\alpha_k$	$j$ numaralı köprü ayağında bulunan, $k$ numaralı enerji sönümleyiciye ait sönümleme üstü
$\beta_{aş}$	Servis durumundaki mesnet hareketlerinden kaynaklanan aşınmaların etkisi nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\beta_k$	Kirlenme nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\beta_s$	Sıcaklık etkisi nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\beta_{test}$	Döngüsel yer-değiştirmeler altında, ısınma, yükleme hızı gibi etkiler nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\beta_{ürt}$	Üretim kalite ve toleransları nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\beta_y$	Yaşlanma etkisi nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\Gamma()$	Matematikte kullanılan Gama fonksiyonu
$\gamma_D$	Arttırılmış depremsel yer-değiştirmeden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi.
$\gamma_F$	Faya yakınlık katsayısı
$\gamma_{ND}$	Deprem durumundaki tüm eksenel yükler altında elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi.
$\gamma_{N,dö}$	Döngüsel eksenel yüklerden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi.
$\gamma_{N,sb}$	Sabit eksenel yüklerden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi
$\gamma_{S,dö}$	Elastomer yalıtım mesnedinin döngüsel yanal yer-değiştirmesinden dolayı oluşan kesme birim şekil değiştirmesi.
$\gamma_{S,sb}$	Elastomer yalıtım mesnedinin sabit yanal yer-değiştirmesinden dolayı oluşan kesme birim şekil değiştirmesi
$\gamma_T$	Toplam yer-değiştirme ( $d_T$ ) kullanılarak hesaplanan elastomer yalıtım mesnedinin kesme birim şekil değiştirmesi
$\gamma_\theta$	Servis yükleri altında üst yapıda meydana gelen düşey düzlemdeki dönmelerden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi
$\gamma_{\theta,dö}$	Döngüsel yükler altında üst yapıda meydana gelen düşey düzlemdeki dönmelerden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi
$\gamma_{\theta,sb}$	Sabit yükler altında üst yapıda meydana gelen düşey düzlemdeki dönmelerden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi.
$\delta_S$	Kısa periyot bölgesinde en büyük yön spektrumunu elde etmek için doğrultu değiştirme katsayısı
$\delta_I$	Uzun periyot bölgesinde en büyük yön spektrumunu elde etmek için doğrultu değiştirme katsayısı
$\eta_s$	Metal esaslı enerji sönümleyiciye ait enerji sönüm katsayısı
$\theta_S$	Servis yükleri altında üst yapıda meydana gelen düşey düzlemdeki dönme (radyan)
$\kappa$	kurşun çekirdeğin akma sonrası kesme rijitliğinin elastik kesme rijitliğine oranı
$\lambda_{s,üst}$ $\lambda_{s,alt}$	Sıcaklık etkisi nedeni ile kullanılacak olan üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları

$\lambda_{y,üst}, \lambda_{y,alt}$	Yaşlanma etkisi nedeni ile kullanılacak olan üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları
$\lambda_{aş,üst}, \lambda_{aş,alt}$	Servis durumundaki mesnet hareketlerinden kaynaklanan aşınmaların etkisi nedeni ile kullanılacak olan üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları
$\lambda_k, üst, \lambda_k, alt$	Kirlenme nedeni ile kullanılacak olan üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları
$\lambda_{ürt,üst}, \lambda_{ürt,alt}$	Üretim kalite ve toleransları nedeni ile kullanılacak olan üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları
$\lambda_{rest,üst}$	Deprem yalıtım birimi testlerinden elde edilen kuvvet-yer-değiştirme histeretik eğrisinin sıfır yer-değiştirme noktasında gözlemlenen birinci döngüdeki kuvvet değerinin üç döngüden elde edilen ortalama kuvvet değerine oranını veren üst sınır özellik değiştirme katsayısı. Bu oranı, yükleme geçmişi, yükleme hızı ve ısınma gibi faktörler etkiler.
$\lambda_{rest,alt}$	Deprem yalıtım birimi testlerinden elde edilen kuvvet-yer-değiştirme histeretik eğrisinin sıfır yer-değiştirme noktasında üç döngüden elde edilen ortalama kuvvet değerinin tasarımda öngörülen nominal kuvvet değerine oranı
$\mu$	Kayma yüzeyindeki sürtünme katsayısı
$\mu$	Kayıcı yüzeye ait sürtünme katsayısı
$\nu$	Viskoz enerji sönümleyicinin bağlantı noktaları arasındaki yer-değiştirme hızı
$\zeta_d$	Viskoz enerji sönümleyicilerin toplam etkin sönüm oranı
$\tau_{YK}$	Kurşun malzemenin kesme akma dayanımı

## 1.2. Tanımlar

*Altyapı:* Köprüdeki deprem yalıtım sisteminin altında kalan yapısal kısımlar

*Artırılmış depremsel yer-değiştirme:* Yalıtım sistemi güvenilirlik çarpanları ( $\gamma_{g1}$  ve  $\gamma_{g2}$ ) ile büyütülmüş tasarım yer-değiştirmesi.

*DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi:* 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem (Çok seyrek deprem – Göz önüne alınan en büyük deprem)

*Deprem yalıtım sistemi:* Köprüye deprem yalıtım özelliklerini sağlayan bileşenlerin tamamı

*Deprem yalıtım birimi:* Deprem yalıtım sistemini oluşturan her bir bağımsız birim (deprem yalıtım mesnedi, enerji sönümleyici vs.)

*Deprem yalıtım mesnedi:* Köprüde deprem yalıtım işlevi gören ve düşey yükler altında köprüyü desteklerken köprü üstyapısının mesnet noktalarında serbest bir şekilde dönmesini sağlayan cihaz.

*Depremsel yer-değiştirme:* Göz önünde bulundurulmuş doğrultudaki en büyük deprem yer hareketi etkisi altında analiz sonuçlarından elde edilen, deprem yalıtım sistemine ait birimlerin her birindeki maksimum göreceli yer-değiştirme (deprem yalıtım biriminin üstyapıya ve altyapıya bağlandığı noktaların arasındaki göreceli yer-değiştirme).

*Etkin sönümlenme oranı:* Belirli bir yer-değiştirmede, deprem yalıtım sisteminin döngüsel enerji sönümleme miktarına karşılık gelen eşdeğer viskoz sönümleme oranı

*Etkin rijitlik:* Deprem yalıtım sistemi/birimine ait yatay kuvvetin yer-değiştirmesine oranı

*Etkin yalıtım periyodu:* Kütlesi üstyapı kütlesine ve rijitliği deprem yalıtım sisteminin etkin yatay rijitliğine eşit olan tek serbestlik dereceli bir sistemin doğal titreşim periyodu

*Servis yer-değiştirmesi (Depremlili durumda):* Deprem yalıtım biriminde ölü yük + hareketli yük + art germe + rötre + sünme + 0.5 x sıcaklık etkileri altında oluşacak yer-değiştirmelerin toplamı

*Servis yer-değiştirmesi (Depremsiz durumda):* Deprem yalıtım biriminde ölü yük + hareketli yük + art germe + rötre + sünme + sıcaklık etkileri altında oluşacak yer-değiştirmelerin toplamı

*Üstyapı:* Köprünün yalıtım sisteminin üstünde kalan yapısal kısımlar

## 1.3. Kapsam

Bu bölüm, deprem yalıtım uygulanacak olan yeni köprülerin ve deprem yalıtımı uygulanarak güçlendirilecek olan mevcut köprülerin tasarım esaslarını kapsamaktadır.

## 1.4. Performans Hedefleri

Bu bölüm, deprem yalıtım sistemi uygulanan köprülerde hedeflenen performans düzeyini tarif etmektedir.



Deprem yalıtımlı köprülerin tasarımında öngörülen performans düzeyi 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde kesintisiz olarak işlevine devam edecek bir köprüyü hedeflemektedir.

Deprem yalıtımlı köprülerde, alt yapıya iletilen kuvvetler oldukça düşük olduğundan ve deprem yalıtım mesnedinin yer-değiştirme kapasitesi aşıldığında köprü üst yapısının mesnetten düşme riski olduğundan, köprü tasarımında 2475 tekrar periyotlu DD-1 düzeyindeki deprem esas alınmıştır.

### 1.5. Köprü Sınıfları

Türkiye Köprü Deprem Yönetmeliği (TKDY) kapsamında, Türkiye’de mevcut veya ileride inşa edilebilecek tüm karayolu ve demiryolu köprü tiplerine yer verilecektir. Bu bağlamda köprüler iki ana sınıfa ayrılmıştır.

#### 1.1. Standart köprüler

#### 1.2. Özel köprüler

Standart köprüler; kullanıma göre yol köprüleri ile üstgeçit/altgeçit köprülerini, malzemeye göre betonarme – öngerilmeli köprüler ile çelik köprüleri, tabliye tipine göre kirişli (prekast) köprüler ile sürekli (kutu kesitli veya plak) köprüleri, ayak tipine göre tek ayaklı/çok ayaklı köprüler ile perde ayaklı köprüleri, ayak-tabliye birleşimine göre mesnetli/mafsallı birleşimli köprüler, deprem yalıtımlı/ sönümleyici köprüler ile monolitik birleşimli köprüleri, temel sistemine göre ise yüzeysel/derin temelli köprüler (keson vb) ile kazık temelli köprüleri kapsamaktadır.

Özel köprülerin kapsamında ise asma köprüler, eğik askılı köprüler, kemer köprüler, çelik makaslı köprüler vb standart köprülerin dışında kalan köprüler yer almaktadır.

### 1.6. Köprü Önem Sınıfları

Standart Köprüler (Özel Köprüler dışındaki köprüler), kullanım, performans ve önem dereceleri bakımından üç ana sınıfa ayrılmıştır.

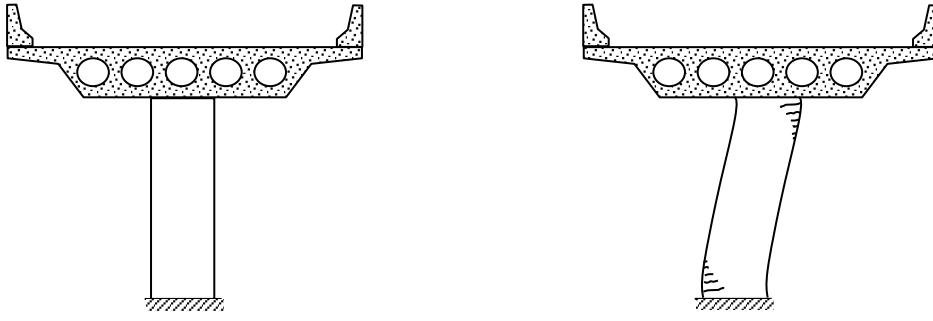
KÖS-1: Önemli köprüler; (a) Güvenlik/savunma bakımından stratejik öneme sahip standart köprüler, (b) Deprem sonrası acil müdahale bakımından kritik köprüler: Yerleşim bölgelerinde 10 km yarıçaplı daire içindeki hastane, acil müdahale merkezleri, liman ve hava meydanlarına doğrudan erişim sağlayan ve alternatifi olmayan standart köprüler, (c) Ana ulaşım arterlerinde yer alan ve deprem sonrasında yenilenmesi zor, pahalı ve zaman alacak standart köprüler

KÖS-2: Normal köprüler (KÖS-1 ve KÖS-3 dışındaki köprüler)

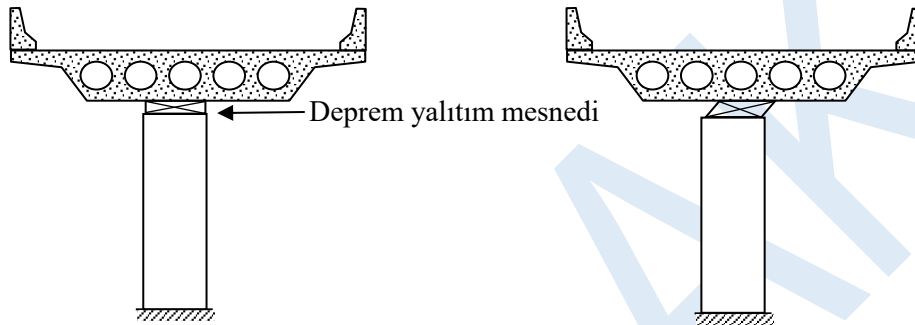
KÖS-3: (a) Deprem sonrası acil ulaşım bakımından önemli olmayan, tali, en çok üç açıklıklı, kurbta olmayan, verevsiz ya da verev açısı 20°’den az, toplam uzunluğu 100 m’den ve ayak yüksekliği 10 m’den az olan standart köprüler (b) Tek açıklıklı köprüler.

### 1.7. Deprem Yalıtım Kavramı

Deprem yalıtımı yapılar üzerinde deprem yer hareketinin etkisini azaltma amaçlı bir yapısal tepki değiştirme yöntemidir. Köprülerde deprem yalıtımı, çok düşük yatay rijitliğe sahip olan deprem yalıtım mesnetlerinin altyapı ve üstü yapı ara yüzüne monte edilerek, üst yapının deprem yer hareketinin yatay bileşenlerinden ayrılması olarak tarif edilebilir (Bkz. Şekil 1.1). Dolayısıyla, köprü deprem yüküne maruz kaldığında şekil değiştirme altyapı elemanları yerine deprem yalıtım mesnetlerinde meydana gelir. Bu davranış altyapıya etki eden deprem kuvvetlerini ve alt yapı elemanlarındaki şekil değiştirmeleri azaltır.



Deprem yalıtımsız bir köprünün, deprem esnasındaki şekil-değiştirilmesi



Deprem yalıtımlı köprüde, alt yapı yerine deprem yalıtım mesnetlerinde oluşan yer-değiştirme

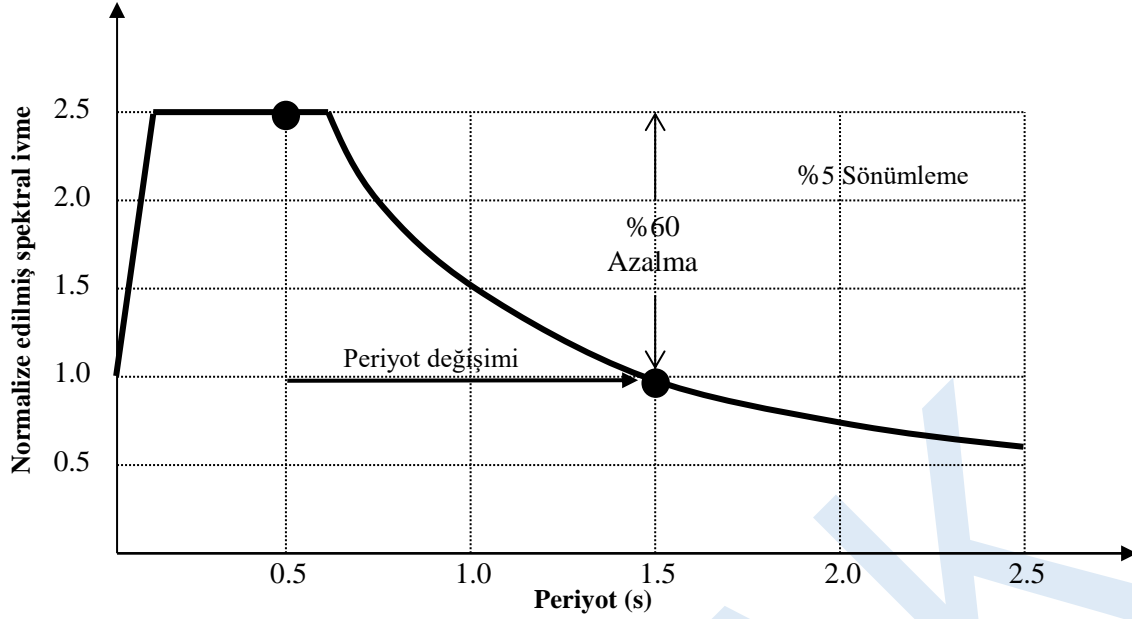
Şekil 1.1 Normal ve deprem yalıtımlı köprülerin deprem esnasındaki davranışı

Her bir deprem yalıtım mesnedi alttaki özelliklere sahip olmalıdır:

1. Köprünün titreşim periyodunu yeterli miktarda uzatmak ve bu sayede deprem kuvvetini azaltmak için yeterli esneklik
2. Deprem yalıtım mesnedinde oluşan göreceli yer-değiştirmeleri azaltmak için yerleşik bir enerji sönümlenme mekanizması
3. Servis yükleri altında yeterli düşey rijitlik
4. Servis yükleri altında yeterli yatay rijitlik
5. Yeterli dönme kapasitesi

### 1.8. Esneklik

Köprünün hâkim titreşim periyodu deprem yalıtım mesnedinin yatay yöndeki esnekliği sayesinde uzayarak zemin hareketinin hâkim titreşim periyoduna göre daha büyük seviyelere ulaşmaktadır. Bu sayede yapıya aktarılan deprem enerjisi esnek deprem yalıtım sistemi vasıtasıyla azaltılarak yapıya etki eden deprem kuvveti ve yapı elemanlarının şekil-değiştirilmesi de asgari seviyelere indirilmektedir. Deprem yalıtım sistemi esnekliğinin köprü davranışına etkisi Şekil 1.2'deki tipik bir ivme spektrumunda gösterilmiştir. Deprem yalıtım sisteminin esnekliği neticesinde köprü hâkim titreşim periyodunun 0.5 saniyeden 1.5 saniye seviyelerine ulaştığı bir köprüde, deprem kuvvetleri yaklaşık %60 oranında azalmaktadır.



Şekil 1.2 Mesnet esnekliğinin köprü davranışına etkisi

### 1.9. Enerji Sönümleme

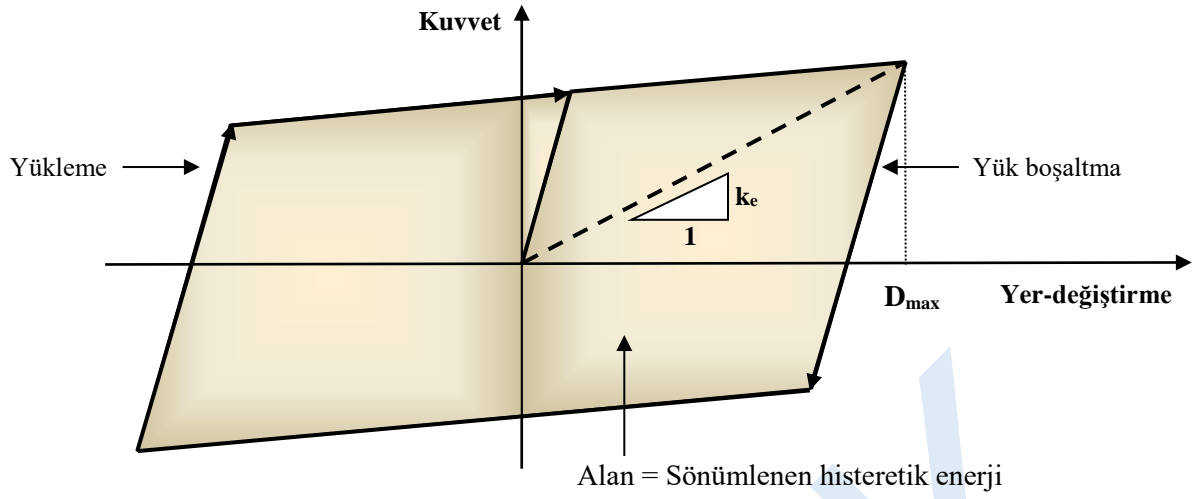
Deprem yalıtım mesnetlerinin yatay yöndeki esnekliği üst yapıda büyük yer-değiştirmelere yol açabilir. Ancak, deprem yalıtım mesnetlerinin birçoğunda bir histeretik enerji sönümleme mekanizması mevcuttur. Bu enerji sönümleme mekanizması sayesinde yatay yöndeki yer-değiştirmeler sınırlandırılır.

Histeretik terimi döngüsel yükleme altında oluşturulan bir yük - yer-değiştirme eğrisindeki yükleme ve yük boşaltma çizgilerinin birbirine göre farklı konumda olduğunu ifade etmektedir. Döngüsel kuvvet-yer-değiştirme eğrisinin altında kalan alan ise sönümlenen enerjiye eşittir. Deprem esnasında deprem yalıtım mesnedi tarafından sönümlenen enerji ısı olarak açığa çıkar. Örneğin, deprem yalıtım mesnedinin yatay hareketi ile sürtünme yaratan bir mekanizma enerji sönümlemeyi gerçekleştirebilir. Şekil 1.3'te tipik bir deprem yalıtım mesnedinin döngüsel yükler altında elde edilen çift-doğrusal kuvvet-yer-değiştirme eğrisi gösterilmektedir. Şekil 1.4'te ise viskoz bir enerji sönümleyicinin döngüsel kuvvet-yer-değiştirme eğrisi gösterilmektedir. Her iki egride de çizgi içindeki boyalı alan sönümlenen enerjiye eşittir. Deprem yalıtım mesnedi tarafından sönümlenen enerjiyi temsil eden ve eşdeğer doğrusal hesaplarda kullanılan etkin sönüm oranı,  $\zeta_e$ , Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te gösterilen alanların eşitlenmesinden elde edilir. Başka bir deyişle, etkin sönüm oranı, izafi bir viskoz dampere ait döngüsel kuvvet - yer-değiştirme eğrisinin altında kalan alanın deprem yalıtım mesnedine ait döngüsel kuvvet - yer-değiştirme eğrisinin altında kalan alana eşitlenmesiyle elde edilir;

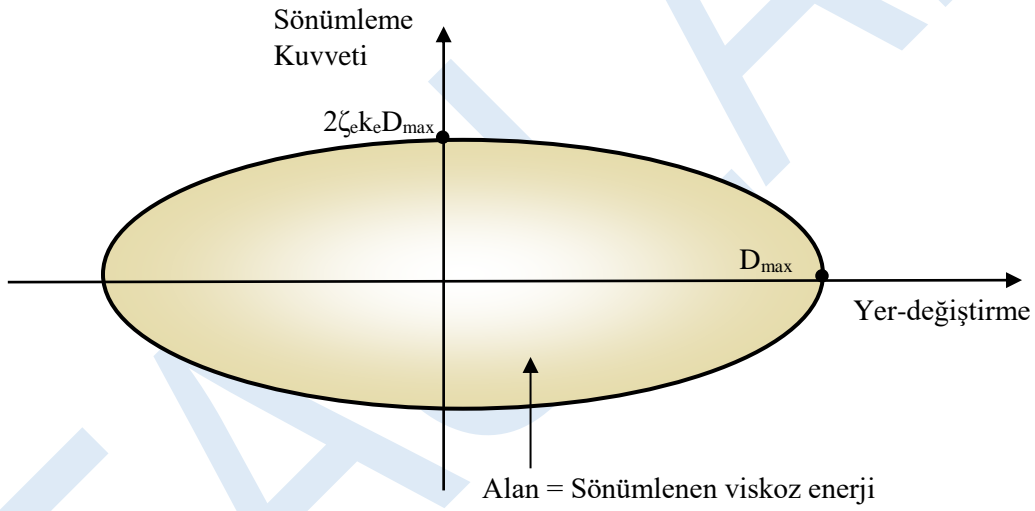
$$\zeta_e = \frac{\text{Sönümlenen histeretik enerji}}{2\pi k_e D_{max}^2} \quad (1.1)$$

Yukarıdaki denklemde,  $k_e$  ve  $D_{max}$  deprem yalıtım mesnedinin sırasıyla etkin rijitliği ve maksimum yer-değiştirmesini temsil etmektedir.

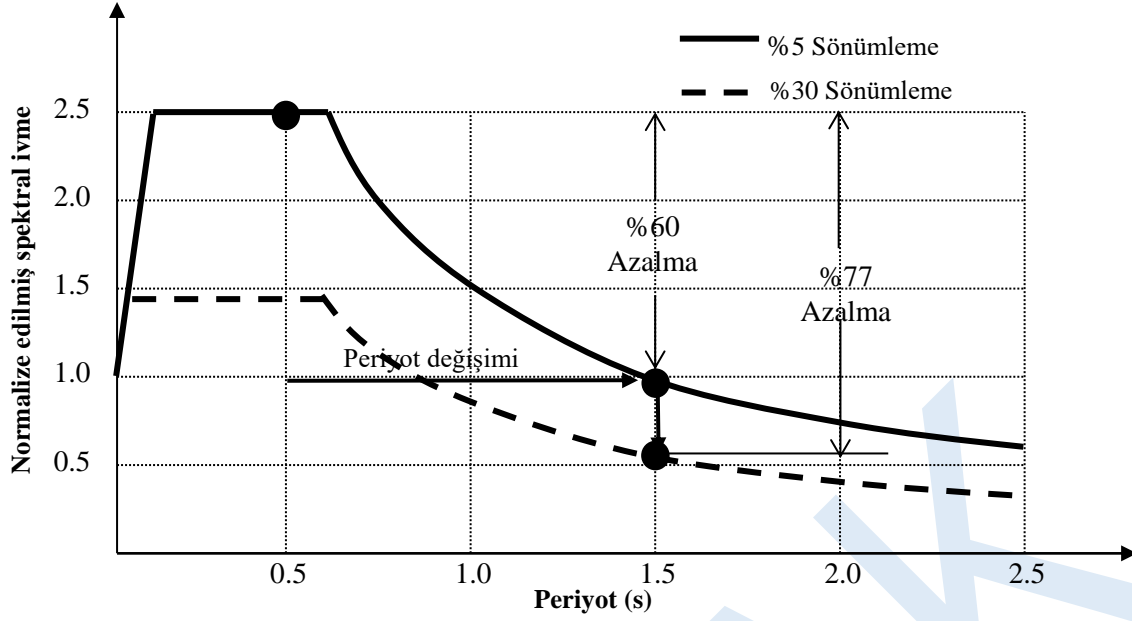
Deprem yalıtım mesnedi vasıtasıyla sönümlenen enerjinin köprü davranışına etkisi Şekil 1.5'te gösterilmektedir. Sürekli ve kesik çizgilerle gösterilen eğriler, sırasıyla %5 ve %30 etkin sönüm oranına göre kaya tipi bir zemin için elde edilerek maksimum yatay deprem ivmesine göre normalize edilmiş spektrumları yansıtmaktadırlar. Deprem yalıtım sistemi tarafından sönümlenen enerji sebebiyle %30 oranında artırılmış olan etkin sönümlenme oranı, deprem kuvvetinin daha da azalmasına ve bu bağlamda mesnetteki yer-değiştirmelerin de küçülmesine yol açmaktadır (1.5 saniyede normalize edilmiş spektral ivme 1.0'dan 0.59'a düşmüştür). Enerji sönümlenmeyle birlikte mesnedin esneklik etkisi de hesaba katıldığında, deprem kuvvetindeki toplam azalma %77 seviyelerine ulaşmaktadır.



Şekil 1.3 Tipik bir deprem yalıtım mesnedine ait çift doğrusal histeretik döngü.



Şekil 1.4 Visköz sönmüleyicinin histeretik döngüsü.



Şekil 1.5 Histeretik sönümlenmenin köprü davranışına etkisi.

### 1.10. Servis Yükü Altında Yatay Rijitlik

Deprem yalıtım mesnedi, rüzgâr, demaraj, araç fren yükü ve benzeri yatay yükler altında, üst yapının yatay hareketini sınırlayacak rijitliğe sahip olmalıdır. Bu koşul sağlanamadığı takdirde, özel kilitleyici aparatlar vasıtasıyla, üst yapının servis yükleri altındaki yatay hareketleri sınırlanmalıdır.

### 1.11. Düşey Yönde Rijitlik

Servis yükleri altında deprem yalıtım mesnedinde oluşacak düşey yer-değiştirmeler, köprünün işlevselliğini engellemeyecek sınırlar dâhilinde olmalıdır. Bu nedenle, deprem yalıtım mesnedi yeterli düşey rijitliğe sahip olmalıdır.

### 1.12. Dönme Kabiliyeti

Deprem yalıtım mesnedi, çeşitli yükler altında köprü üst yapısında meydana gelen düşey düzlemdeki dönmelere, üst yapıda herhangi bir hasar oluşmayacak şekilde izin vermelidir.

## 2. DEPREM TEHLİKE TANIMI

Bu şartname kapsamında deprem yalıtımlı köprülerin analiz ve tasarımı DD-1 (Deprem Düzeyi-1) yer hareketi kullanılarak yapılacaktır. DD-1 deprem yer hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Deprem yer hareketi spektrumu, %5 sönüm oranı için, Bölüm 2.1'de tanımlanan standart biçimde veya Bölüm 2.3'te belirtildiği gibi sahaya özel deprem tehlikesi analizleri yapılarak tanımlanır.

### 2.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Analizlerde kullanılacak olan DD-1 deprem yer hareketine ait standart yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları *sahaya özel deprem tehlikesi hesapları* yapılmadığı sürece Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarında (<https://tdth.afad.gov.tr>) %5 sönüm oranı esas alınarak referans zemin koşulu [ $(V_{S})_{30} = 760$  m/s] için tanımlanmış kısa periyot ( $S_S$ ) ve  $T = 1$  s ( $S_I$ ) spektral ivme değerleri kullanılarak yer çekimi ivmesi (g) cinsinden hesaplanır.

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen *Harita* spektral değerleri, öncelikle deprem yalıtımlı köprülerin analiz ve tasarımında kullanılmak üzere Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) ifadelerinde belirtilen şekilde *en büyük yön* ve *yakın fay* etkileri dikkate alınarak *zemin etkilerinden bağımsız* spektral ivme değerlerine dönüştürülür.

Aktif fay hattına 25 km ve daha uzak mesafeler için *Harita*'da tanımlanan  $S_S$  ve  $S_I$  spektral ivmeleri **yalnızca** *en büyük yön* etkisi için Denklem (2.1)'de verilen katsayılarla çarpılarak büyütülür.

$$S'_S = \delta_S S_S \quad (2.1.a)$$

$$S'_I = \delta_I S_I \quad (2.1.b)$$

Burada;

$\delta_S$  Kısa periyot spektral bölgesinde en büyük yön spektrumunu elde etmek için doğrultu değiştirme katsayısı

$\delta_I$  Uzun periyot spektral bölgesinde en büyük yön spektrumunu elde etmek için doğrultu değiştirme katsayısı

Fay hattına 20 km ve daha uzak mesafeler için  $\delta_S = 1.2$  ve  $\delta_I = 1.3$  olarak alınır.

Deprem tehlikesini kontrol eden ve aktif fay düzlemine 25 km'den daha yakın sahalar için ise *Harita*'da tanımlanan  $S_S$  ve  $S_I$  spektral ivmeleri en büyük yön ve yakın fay etkileri için Denklem (2.2)'de verilen katsayılarla çarpılarak büyütülür.

$$S'_S = \delta_S S_S \quad (2.2.a)$$

$$S'_I = \gamma_F S_I \quad (2.2.b)$$

Burada;

$\gamma_F$  Faya yakınlık katsayısı

Denklem (2.2)'den anlaşılacağı gibi aktif faya düzlemine 25 km'den daha yakın sahalar için kısa spektral periyot bölgesini kontrol eden  $S_S$  yalnızca en büyük yön etkisi için ( $\delta_S$  katsayısıyla), uzun spektral periyot bölgesini kontrol eden  $S_I$  ise yalnızca yakın fay etkisi için ( $\gamma_F$  katsayısıyla) değiştirilir. Aktif fay, bu yönetmelikte, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Türkiye Diri Fay Haritası'nda belirtilen veya sahaya özel deprem tehlikesi hesabı sonucu belirlenmiş fay olarak tanımlanmıştır.

Denklem (2.2.a) ifadesinde  $\delta_S = 1.2$  olarak alınır,  $\gamma_F$  katsayısı Denklem (2.3) ile ifade edilmiştir.

$$\gamma_F = 1.2 \quad L_F \leq 15 \text{ km} \quad (2.3.a)$$

$$\gamma_F = 1.2 - 0.02(L_F - 15) \quad 15 \text{ km} \leq L_F < 25 \text{ km} \quad (2.3.b)$$

Referans zemin koşulu [ $(V_S)_{30} = 760$  m/s] için yukarıda belirtilen şekilde hesaplanan  $S'_S$  ve  $S'_I$  değerleri yerel zemin koşullarını dikkate almak için sırasıyla  $F_S$  (Tablo 2.1) ve  $F_I$  (Tablo 2.4) katsayıları ile değiştirilerek yatay elastik tasarım spektrum hesabında kullanılmak üzere  $S_{DS}$  ve  $S_{DI}$  değerleri elde edilir. Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de doğrudan verilmeyen ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. Denklem (2.4), bu hesaplar için kullanılacak ifadeleri göstermektedir.

$$S_{DS} = F_S S'_S \quad (2.4.a)$$

$$S_{1S} = F_I S'_I \quad (2.4.b)$$

Tablo 2.1 Kısa periyot spektral bölgesi için yerel zemin etki katsayıları,  $F_S$

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_S$					
	$S'_S \leq 0.25$	$S'_S = 0.50$	$S'_S = 0.75$	$S'_S = 1.00$	$S'_S = 1.25$	$S'_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2

ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	18/3/2018 tarihli ve 30364 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde belirtildiği şekilde sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Tablo 2.2 Uzun periyot spektral bölgesi için yerel zemin etki katsayıları,  $F_1$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_1$					
	$S'_1 \leq 0.10$	$S'_1 = 0.20$	$S'_1 = 0.30$	$S'_1 = 0.40$	$S'_1 = 0.50$	$S'_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	18/3/2018 tarihli ve 30364 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde belirtildiği şekilde sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Yatay elastik tasarım ivme spektrumu’nun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem (2.5)’de tanımlanmıştır (Şekil 2.1).

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & 0 \leq T \leq T_A \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & T_A \leq T \leq T_B \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & T_B \leq T \leq T_L \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & T_L \leq T
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

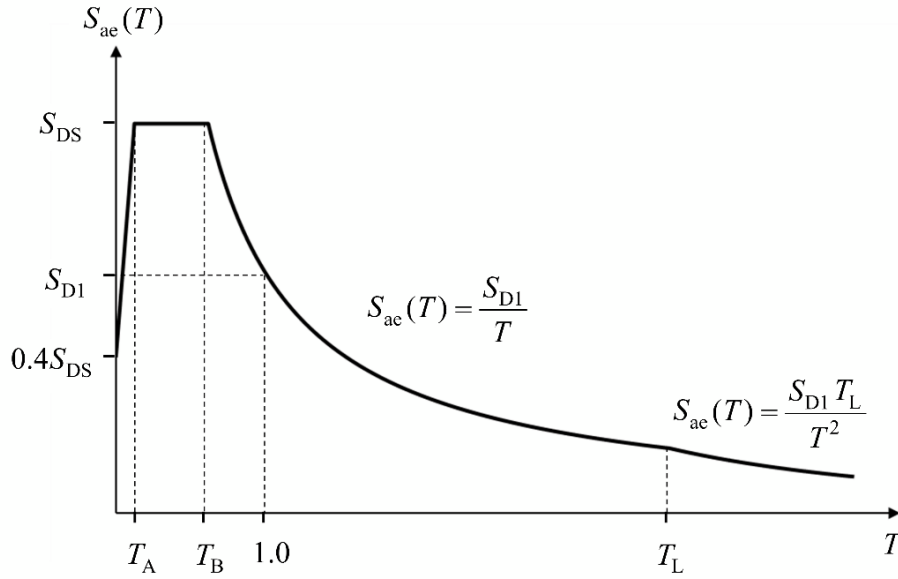
Burada;

- $S_{DS}$  Kısa periyot bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı
- $S_{D1}$  1.0 saniyelik periyottaki tasarım spektral ivme katsayısı
- $T$  Etkin periyot
- $T_A$  Yatay elastik tasarım spektrumuna ait birinci köşe periyodu
- $T_B$  Yatay elastik tasarım spektrumuna ait ikinci köşe periyodu
- $T_L$  Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu  $T_L = 6.0$  s.

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları  $T_A$  ve  $T_B$  Denklem (2.6) ve (2.7)’ten elde edilir.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{2.6}$$

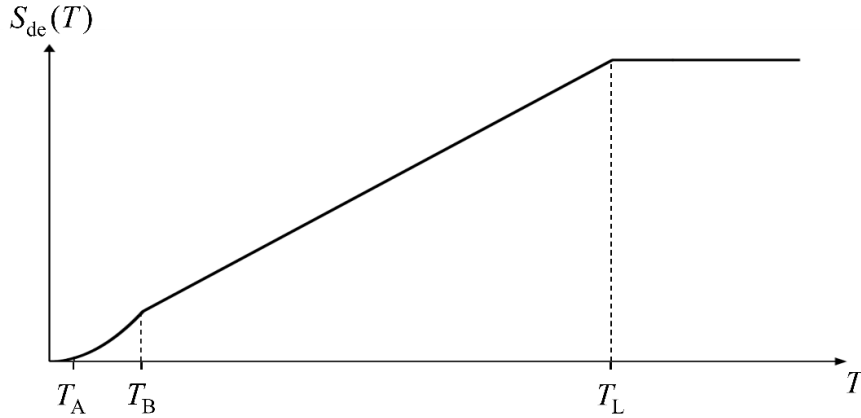
$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{2.7}$$



Şekil 2.1 Yatay elastik tasarım spektrumu

Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu'nun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri  $S_{de}(T)$ , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre [m] cinsinden Denklem (2.8) ile tanımlanır (Şekil 2.2).

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (2.8)$$



Şekil 2.2. Temsili yatay yerdeğiştirme tasarım spektrumu

## 2.2. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Düşey elastik tasarım ivme spektrumu'nun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{aeD}(T)$ , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden aşağıda verilen ifadeler ile hesaplanır (Şekil 2.3).

$$\begin{aligned} S_{aeD}(T) &= 0.6SA_{VS} \frac{T}{0.05} + 0.4SA_{VS} & 0 \leq T \leq T_{AD} \\ S_{aeD}(T) &= SA_{VS} & 0.05 \leq T \leq T_{SV} \\ S_{aeD}(T) &= SA_{VS} \left( \frac{T_{SV}}{T} \right)^n & T > T_{SV} \end{aligned} \quad (2.9)$$



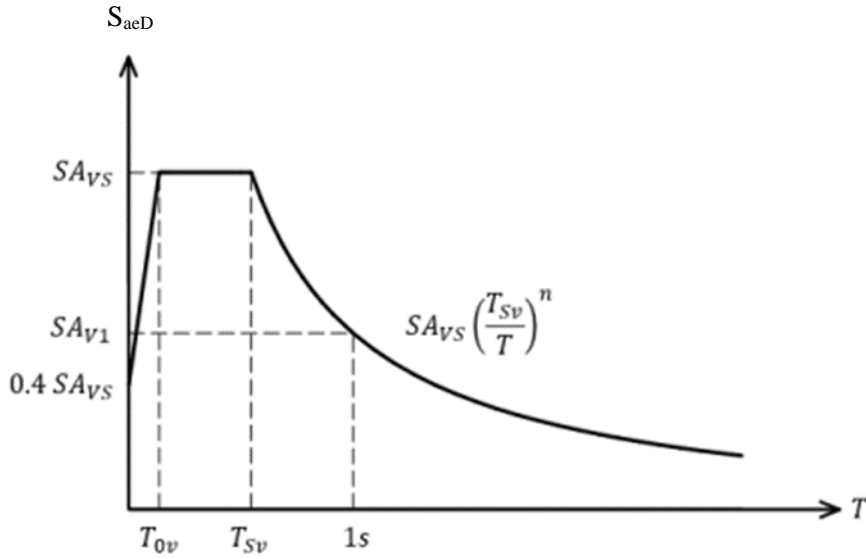
Denklem (2.9) kullanılarak hesaplanan düşey ivme tasarım spektrumu Şekil 2.3'te temsili olarak gösterilmektedir. Denklem (2.9)'da  $SA_{VS}$  kısa periyot düşey spektrum değerini temsil eder.  $T_{SV}$  ve düşey spektral ivmenin periyota bağlı azalmasını kontrol eden üssel n katsayısı Denklem (2.10)'da verilen ifadelerle hesaplanır.

$$T_{SV} = \max\{0.13, (0.7 - C_L)\}; \quad n = \frac{\ln(1 - C_L)}{\ln(T_{SV})}; \quad C_L = 1 - \frac{SA_{V1}}{SA_{VS}} \quad (2.1)$$

Denklem (2.10)'da hesaplarda kullanılan  $SA_{V1}$ ,  $T = 1.0$  s'deki düşey ivme spektrumu ordinatıdır ve  $SA_{VS}$  ile beraber zemin etkilerinden bağımsız yatay spektral ivme değerleri  $S'_S$  ve  $S'_1$  kullanılarak Denklem (2.11)'de verilen ifadelerle hesaplanır. Yukarıdaki denklemlerde  $\ln$  ifadesi doğal logaritmayı temsil eder.

$$SA_{VS} = a_{VS} (S'_S)^{b_{VS}}; \quad a_{VS} = 5.07((V_S)_{30})^{-0.306}; \quad b_{VS} = 1.03 + 0.066 \left( \frac{\min\{(V_S)_{30}, 760\}}{1000} \right) \quad (2.21. a)$$

$$SA_{V1} = a_{V1} (S'_1)^{b_{V1}}; \quad a_{V1} = 9.90((V_S)_{30})^{-0.467}; \quad b_{V1} = 0.91 \quad (2.1. b)$$



Şekil 2.3 Standart düşey elastik tasarım spektrumu

### 2.3. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu

KÖS-1 sınıfında yer alan köprülerde, deprem tehlikesini kontrol eden aktif fay düzlemlerine uzaklığın 25 km'nin altında olduğu durumlarda, zemin koşullarının bu yönetmelikte tanımlananlar dışında olması durumunda, köprü güzergâhındaki topografik koşulların özel çalışmalar gerektirmesi veya güzergâhı aktif bir fayın kesmesi halinde ve proje mühendisinin ve/veya onay makamının gerekli gördüğü diğer özel durumlarda, deprem yer hareketi spektrumu sahaya özel deprem tehlikesi hesapları sonucunda elde edilir. Bu tür spektrumlar proje mühendisinin tercihinin bağlı olarak her durumda da kullanılabilir. Sahaya özel deprem yer hareketi spektrumunun ordinatları, Bölüm 2.1'de tanımlanan tasarım spektrumu ordinatlarının %90'ından daha küçük olamaz.

### 2.4. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması

Deprem yalıtımlı köprülerin zaman tanım alanındaki analizleri için seçilen ivme kayıtları, deprem büyüklüğü, fay uzaklığı, kaynak mekanizması, yerel zemin koşulları ve sahadaki deprem tehlikesine hâkim olan yer hareketi düzeyi ile uyumlu olmalıdır. Sahaya özel deprem tehlikesine en fazla katkıda bulunan depremlere ait büyüklük ve fay uzaklığı bilgilerinin belirlenmesi için deprem tehlikesi ayrıştırma işleminden yararlanılabilir.

Analizlerde kullanılan ivme kayıtları öncelikle sahadaki deprem tehlikesine hâkim olan yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş depremlerden seçilmelidir. Aynı depremden en fazla iki adet olacak şekilde ve bir ivme kaydının birbirine dik iki yatay bileşeninin ikisinin de analizlerde kullanılmamsı şartıyla en az yedi adet ivme kaydı seçilmelidir. Seçilen deprem kayıtları mutlaka bir kayıt işleme (filtreleme) yöntemine tabii tutulmuş olmalıdır. Bu filtreleme yöntemi sonucu zaman tanım alanı hesaplarında işlenmiş kaydın kullanılabilir frekans aralığı dikkate alınmalıdır. Yeterli sayı veya nitelikte ivme kaydı seçiminin yapılamadığı durumlarda, zaman tanım alanında benzeştirilmiş ivme kayıtları kullanılabilir. Bu tür kayıtların kullanılması durumunda, köprünün bulunduğu sahanın deprem kaynağı, dalga yayılımı ve yerel zemin özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, benzeştirme için kullanılacak model parametrelerinin, söz konusu bölgede meydana gelmiş depremlerde kaydedilmiş gerçek ivme kayıtları ile uyumlu olduğu gösterilmelidir.

Deprem yalıtımlı köprü, deprem tehlikesine en fazla katkıda bulunan fay hattına 25 km ve daha yakın mesafede ise, sahaya özel deprem tehlikesi analizi yapılmalıdır. Analizlerde kullanılacak olan ivme kayıtları, bu çalışma sonucunda elde edilecek olan verilerin ışığında yakın fay yönelim etkisinin baskın olduğu faya dik bileşenlerden seçilmelidir. Yakın fay yönelim etkisi analizler için seçilecek yedi deprem ivme kaydının en az 5 tanesinde baskın olmalıdır.

### 2.5. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketlerinin Ölçeklendirilmesi

Deprem yalıtımlı köprülerin zaman tanım alanındaki analizlerinde kullanılacak olan yatay ivme kayıtlarının tek yöndeki bileşenleri aşağıda belirlenen kuralları sağlayacak şekilde ölçeklendirilmelidir:

- 18/3/2018 tarihli ve 30364 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde 16.5.2 veya 16.10’da belirtilen zemin davranış analizleri dikkate alınarak yapılan deprem kaydı ölçeklendirmesi dışında, zaman tanım alanı hesabında kullanılacak deprem yer hareketlerinin ölçeklendirme yöntemi 2. ve 3. maddelerde belirtilen kurullarla elde edilecektir.
- Ölçeklendirilmiş tüm deprem kayıtlarına ait ortalama spektrum,  $0.75T_e$  ve  $1.25T_e$  periyot aralığında, hiçbir noktada Bölüm 2.1 veya Bölüm 2.3’te anlatılan yöntemlerle hesaplanmış tasarım spektrumundan daha düşük olamaz. Burada  $T_e$ , Bölüm 3.1.1’deki kurallara göre hesaplanan deprem yalıtımlı köprüye ait etkin periyodu temsil etmektedir.  $0.75T_e$  ve  $1.25T_e$  değerlerinin hesaplanmasında alt sınır analizleri için deprem yalıtım sistemi özelliklerinin alt sınır değerlerine, üst sınır analizleri için ise deprem yalıtım sistemi özelliklerinin üst sınır değerlerine bağlı olarak hesaplanan etkin periyot kullanılır.
- Analizlerde kullanılan ivme kayıtlarının ölçek çarpanı değerleri 0.2 ve 5 arasında olmalıdır;

## 3. ANALİZ VE MODELLEME YÖNTEMLERİ

Bu bölümde deprem yalıtımlı köprülerin dinamik analiz yöntemleri sunulmuştur. Tüm analiz yöntemlerinde %5 sönüm oranı için elde edilmiş olan en büyük yön spektrumu esas alınacaktır.

### 3.1. Deprem Yalıtımlı Köprülerin Eşdeğer Doğrusal Analizi

Eşdeğer doğrusal analiz yönteminde, deprem yalıtım mesnedinin Şekil 3.1’de gösterilen çift doğrusal kuvvet – yer-değiştirme eğrisine sahip olduğu varsayılmıştır Şekil 3.1 deki değişkenlerin tanımı aşağıdaki gibidir;

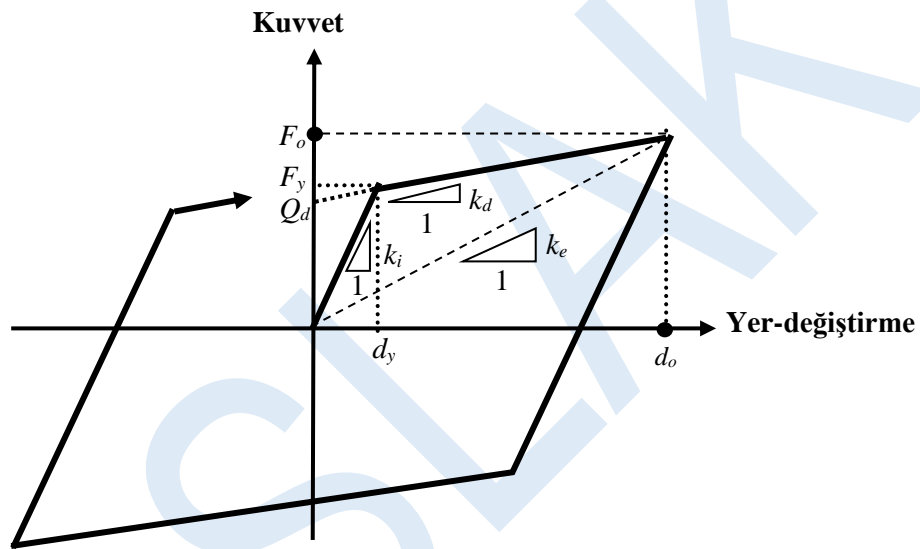
- $d_o$  Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) depremsel yer-değiştirmesi  
 $d_y$  Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) akma yer-değiştirmesi  
 $F_y$  Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin)akma kuvveti  
 $F_o$  Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) depremsel yer-değiştirmesine karşılık gelen kuvvet  
 $k_d$  Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) ikincil rijitliği  
 $k_e$  Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) etkin rijitliği  
 $k_i$  Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) başlangıç rijitliği

$Q_d$  Deprem yalıtım mesnedinin (biriminin) sıfır yer-değiştirmedeki dayanım kuvveti

Eşdeğer doğrusal analiz yönteminde, doğrusal olmayan deprem yalıtımlı yapı sistemi, eşdeğer parametreler kullanmak suretiyle doğrusal eşdeğer bir sistem ile muadil varsayılır. Bu parametreler aşağıdaki gibidir:

- Sistemin ağırlığı veya kütlesi,
- Sistemin etkin rijitliği,
- Sistemin etkin periyodu,
- Sistemin etkin sönüm oranı.

Bu parametrelerden etkin rijitlik, etkin periyot ve etkin sönüm oranı, doğrusal olmayan gerçek sistemin özelliklerine ve döngüsel yer-değiştirmeye bağlıdır. Bu parametrelerin hesabı yer-değiştirmeye bağlı olan ardışık bir analiz yöntemi gerektirir.



Şekil 3.1 Tipik bir deprem yalıtım mesnedinin çift doğrusal histeretik döngüsü

### 3.1.1. Basit Analiz Metodu

Basit Analiz metodunda köprü tek serbestlik dereceli bir sistem olarak varsayılır. Bu varsayımınla birlikte, köprü üst yapısının her ayak noktasındaki yer-değiştirmeleri eşit alınır. Bu metotta yapıya etki eden statik eşdeğer deprem kuvveti,  $V$ , Denklem (3.1)'den hesaplanacaktır.

$$V = \frac{W}{g} S_{ad}(T_e, \xi_e) \quad (3.1)$$

Burada;

$g$  Yer çekimi ivmesi

$S_{ad}(T_e, \xi_e)$  Deprem yalıtımlı köprünün etkin periyoduna ve etkin sönüm oranına ( $\xi_e$ ) tekabül eden spektral ivme

$T_e$  Etkin periyot

$W$  Köprü üst yapısının zati ağırlığı ile üst yapıya etki eden tüm ölü yüklerin toplamına tekabül eden ağırlık

$S_{ad}(T_e, \xi_e)$ , Denklem (3.2)'i kullanılarak, elde edilecektir.

$$S_{ad}(T_e, \xi_e) = \frac{S_{ae}(T_e)}{B_s} \quad (3.2)$$

Burada;

$B_s$  Deprem yalıtım sisteminin etkin sönüm oranı için hesaplanan spektrum azaltma katsayısı.

$S_{ae}(T_e)$  Deprem yalıtımlı köprünün etkin periyodunda %5 sönüm oranlı en büyük yön spektrumundan elde edilen spektral ivme

$B_s$ , fay hattına 20 kilometre ve daha az mesafede olan köprülerde Denklem (3.3) kullanılarak, diğer köprülerde ise Denklem (3.4) kullanılarak hesaplanacaktır.

$$B_s = 1 + 3 \left[ (\xi_e - 0.05)^{0.85} \right] \left[ \left( \frac{\sum Q_d g}{0.4 S_{DS} W} \right)^{0.25} \right] \left[ \left( \frac{T_B}{T_d} \right)^{0.40} \right] \quad (3.3)$$

$$B_s = (\xi_e / 0.05)^{0.30} \quad (3.4)$$

Burada;

$T_d$  Deprem yalıtım sisteminin ikincil rijitliğine göre hesaplanan periyodu

$\sum Q_d$  Deprem yalıtım birimlerinin sıfır yer-değiştirmedeki dayanım kuvvetlerinin toplamı

Köprü üstyapısının depremsel yer-değiştirmesi,  $d$  (Şekil 3.2), Denklem (3.5)'ten elde edilecektir.

$$d = \frac{T_e^2}{4\pi^2} S_{ad} \quad (3.5)$$

$T_e$  Denklem (3.6)'dan hesaplanacaktır.

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_e g}} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)'da kullanılan etkin rijitlik,  $K_e$  ise Denklem (3.7)'den hesaplanacaktır.

$$K_e = \sum_j K_{Aj} \quad (3.7)$$

Burada;

$j$  Köprü ayağını tarif eden indeks

$K_{Aj}$   $j$  numaralı köprü ayağının, deprem yalıtım sistemi ve zemin etkileşimi dikkate alınarak hesaplanan rijitliği

$j$ 'inci ayağın rijitliği, Denklem (3.8)'den hesaplanacaktır.

$$K_{Aj} = \frac{k_{Aj} \times (\sum_i k_{ei})_j}{k_{Aj} + (\sum_i k_{ei})_j} \quad (3.8)$$

Burada;

$k_{Aj}$   $j$  numaralı köprü ayağının zemin etkileşimi dikkate alınarak hesaplanan rijitliği

$k_{ei}$   $i$  numaralı deprem yalıtım biriminin (mesnet ya da enerji sönümleyici) etkin rijitliği

$(\sum_i k_{ei})_j$   $j$  numaralı köprü ayağındaki tüm yalıtım birimlerinin etkin rijitliklerinin toplamı.

$k_{Aj}$ , Denklem (3.9) kullanılarak hesaplanacaktır.

$$k_{Aj} = \frac{1}{\left[ \frac{1}{k_{Ao}} + \frac{(h_A + h_T)^2}{k_{\theta z}} + \frac{1}{k_{\phi z}} \right]_j} \quad (3.9)$$

Burada;

- $h_A$  Köprü ayağının temel üstünden yüksekliği (Şekil 3.2)
- $k_{Ao}$  Temel bağlantısı ankastre varsayılarak hesaplanan ayak rijitliği.
- $h_T$  Temel yüksekliği
- $k_{\phi z}$  Zeminin öteleme rijitliğini temsil eden etkin yay sabiti (Şekil 3.3)
- $k_{\theta z}$  Zeminin dönme rijitliğini temsil eden etkin yay sabiti (Şekil 3.3)

Zeminin doğrusal olmayan davranışını modellemek gerektiğinde,  $k_{\theta z}$  ve  $k_{\phi z}$ , Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, zeminin moment-dönme ya da kuvvet-yer-değiştirme eğrisinin sekant rijitliğinden elde edilecektir.

Denklem (3.3) ve Denklem (3.4)'te kullanılan köprünün etkin sönümleme oranı,  $\xi_e$ , Denklem (3.10)'dan hesaplanacaktır.

$$\xi_e = \frac{\sum_j [4 \sum_i Q_{di} (d_o - d_{yi}) + E_s]_j}{2\pi \sum_j [K_{Aj} (d_o + d_A)^2]_j} \quad (3.10)$$

Burada;

- $d_A$   $j$  numaralı köprü ayağının yer-değiştirmesi
- $d_o$  Deprem yalıtım mesnedinde analiz sonucunda elde edilen depremsel yer-değiştirme
- $d_{yi}$   $j$  numaralı köprü ayağındaki,  $i$  numaralı deprem yalıtım mesnedinin akma yer-değiştirmesi
- $E_s$  Varsa,  $j$  numaralı köprü ayağında bulunan enerji sönümleyiciler tarafından sönümlenen toplam enerji
- $Q_{di}$   $j$  numaralı köprü ayağındaki,  $i$  numaralı deprem yalıtım mesnedinin sıfır yer-değiştirmedeki anma dayanım kuvveti

$E_s$  metal esaslı enerji sönümleyiciler için, Bölüm 6.1'de Denklem (6.1)'den, viskoz enerji sönümleyiciler için ise Bölüm 6.2'de Denklem (6.3)'ten hesaplanır.

### 3.1.1.1. Deprem yalıtım mesnedi ile viskoz enerji sönümleyicilerin birlikte kullanıldığı durumda eşdeğer deprem kuvvetinin hesabı

Deprem yalıtım sisteminin viskoz enerji sönümleyici içerdiği durumunda, yapıya etki eden depremsel statik eşdeğer kuvvet, Denklem (3.1)'e ek olarak, aşağıda belirtilen durumlar da göz önüne alınarak Denklem (3.11) ve (3.12)'den de hesaplanacaktır. Bu denklemlerden elde edilen değerlerden en büyüğü tasarımda kullanılmalıdır.

- Hızın maksimum olduğu ve yalıtım mesnedindeki yer-değiştirmenin sıfır olduğu durum:

Bu durumda depremden dolayı oluşacak statik eşdeğer kuvvet, yalıtım mesnetlerinin toplam anma dayanım kuvveti ve viskoz enerji sönümleyicilere ait maksimum kuvvetin birleşimidir. Viskoz enerji sönümleyicilerde oluşun maksimum kuvvet,  $2\pi d_d/T_e$  hızında hesaplanacaktır. Bu durumda depremden dolayı oluşacak statik eşdeğer kuvvet, Denklem (3.11)'den hesaplanacaktır.

$$V = \sum_j \left[ \sum_i Q_{di} + \sum_k C_k \left( \frac{2\pi d_o}{T_e} \right)^{\alpha_k} \right] \quad (3.11)$$

Burada;

$C_k$  j numaralı köprü ayağında bulunan, k numaralı enerji sönümleyiciye ait sönümlenme sabiti  
 $\alpha_k$  j numaralı köprü ayağında bulunan, k numaralı enerji sönümleyiciye ait sönümlenme üstü

- Üst yapıya ekti eden atalet kuvvetinin maksimum olduğu durum:  
Bu durumda depremsel statik eşdeğer kuvvet, Denklem (3.12)'den hesaplanacaktır.

$$F = (f_1 + 2\xi_d f_2) S_{ad} W \quad (3.12)$$

Burada;

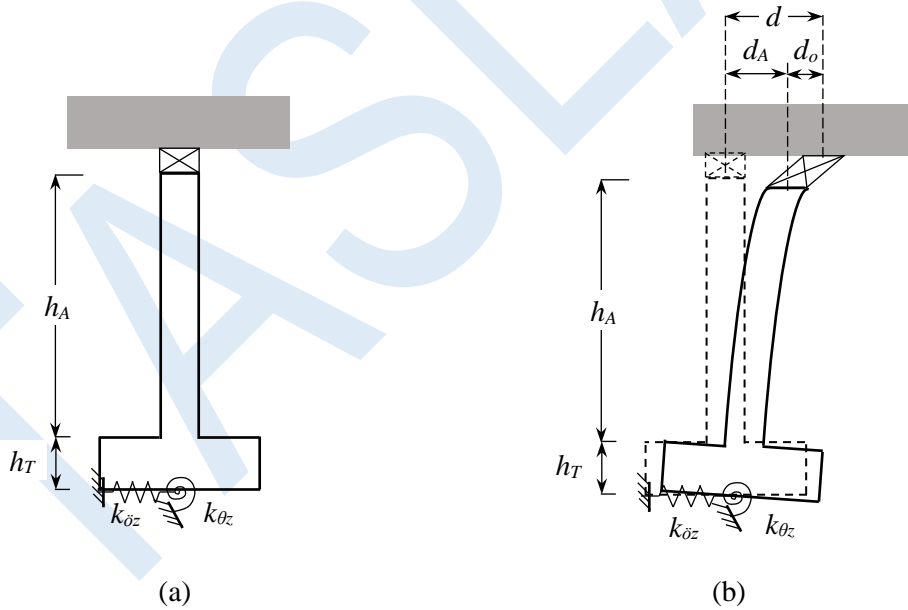
$\xi_d$  Viskoz enerji sönümleyicilerin toplam etkin sönüm oranı

Denklem (3.12)'de,  $f_1$  ve  $f_2$  Denklem (3.13) ve (3.14)'ten hesaplanacaktır.

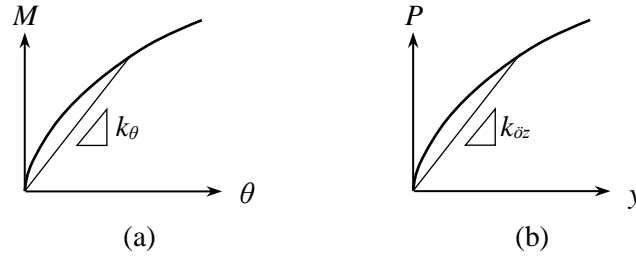
$$f_1 = \cos[\tan^{-1}(2\xi_d)] \quad (3.13)$$

$$f_2 = \sin[\tan^{-1}(2\xi_d)] \quad (3.14)$$

Köprüde doğrusal viskoz enerji sönümleyiciler kullanılıyorsa, bu tür enerji sönümleyicilerin köprünün etkin rijitliğine ve dolayısıyla etkin periyoduna katkısı yoktur ve hesaplara katılmaz.



Şekil 3.2 (a) Ayak modeli; (b) Şekil değiştirmiş ayak ve deprem yalıtım sistemi modeli.



Şekil 3.3 Temel zeminine ait temsili (a) moment-dönme ilişkisi (b) yanal kuvvet-yer-değiştirme ilişkisi

### 3.1.2. Basit Analiz Metodunun Tek Açıklıklı Düz Köprülere Uygulanması

Tek açıklıklı düz köprülerde, köprü üst yapısı, her iki uçta kenar ayaklara oturmaktadır. Kenar ayaklar rijit yapılar olduğundan, deprem yalıtım sistemi hesabında bu tür ayakların yer-değiştirmeleri ihmal edilebilir. Bu bağlamda, köprü üst yapısının depremsel yer-değiştirmesinin ( $d$ ) deprem yalıtım sisteminin yer-değiştirmesine ( $d_o$ ) eşit olduğu varsayılır. Bu yöntemde yapıya etki eden statik eşdeğer deprem kuvveti,  $V$ , Denklem (3.1)'den hesaplanacaktır.  $S_{ad}(T_e, \xi_e)$ , Denklem (3.2) kullanılarak, elde edilecektir.  $B_s$ , fay hattına 20 kilometre ve daha az mesafede olan köprülerde Denklem (3.3) kullanılarak, diğer köprülerde ise Denklem (3.4) kullanılarak hesaplanacaktır. Köprü üst yapısı ve deprem yalıtım sisteminin depremsel yer-değiştirmesi Denklem (3.5)'ten elde edilecektir.  $T_e$  Denklem (3.6)'dan hesaplanacaktır. Denklem (3.6)'da kullanılan etkin rijitlik,  $K_e$  ise Denklem (3.15)'ten hesaplanacaktır.

$$K_e = \sum_j \left( \sum_i k_{ei} \right)_j \quad (3.15)$$

Denklem (3.3) ve Denklem (3.4)'te kullanılan köprünün etkin sönümlenme oranı,  $\xi_e$ , Denklem (3.10)'dan hesaplanacaktır.

$$\xi_e = \frac{\sum_j [4 \sum_i Q_{di} (d_o - d_{yi}) + E_s]_j}{2\pi K_e d_o^2} \quad (3.16)$$

$E_s$  metal esaslı enerji sönümleyiciler için, Bölüm 6.1'de Denklem (6.1)'den, vizkoz enerji sönümleyiciler için ise Bölüm 6.2'de Denklem (6.3)'ten hesaplanır.

Deprem yalıtım sisteminin viskoz enerji sönümleyici içerdiği durumunda, yapıya etki eden depremsel statik eşdeğer kuvveti Bölüm 3.1.1.1'e göre hesaplanır.

### 3.1.3. Mod Birleştirme Yöntemi İle Eşdeğer Doğrusal Analiz

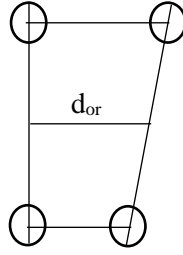
Analizlerde mod birleştirme yöntemi kullanıldığında, etkin sönümlenme oranı,  $\xi_e$ , Denklem (3.17) kullanılarak hesaplanır.

$$\xi_e = \frac{\sum_j [4 \sum_i Q_{di} (d_{oi} - d_{yi}) + \sum_k E_{sk}]_j}{2\pi \sum_j [K_{Aj} (d_{or} + d_A)^2]_j} \quad (3.17)$$

Burada;

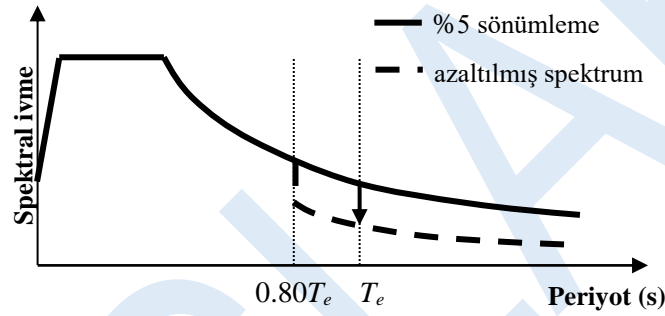
$d_{oi}$   $j$  numaralı köprü ayağındaki,  $i$  numaralı deprem yalıtım mesnedinin yer-değiştirmesi

$d_{or}$   $j$  numaralı köprü ayağındaki deprem yalıtım mesnetlerinin köprü ayağının rijitlik merkezindeki yer-değiştirmesi (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Köprü ayağının rijitlik merkezindeki yer-değiştirme

Denklem (3.17)'de verilen etkin sönümlenme oranı sadece  $0.80T_e$ 'den büyük etkin periyotlara sahip titreşim modlarında kullanılabilir. Diğer modlar için %5 sönüm oranı esas alınır. Bu durumda, tasarımda kullanılan en büyük yön spektrumu  $0.80T_e$ 'den büyük periyotlar için Denklem (3.3) veya (3.4) kullanılarak hesaplanan spektrum azaltma katsayısına bölünür (Şekil 3.5)



Şekil 3.5

Mod birleştirme analizlerinde kullanılacak olan asgari mod sayısı, toplam kütle katılım payı %95'in altında olmamak kaydıyla, Denklem (3.18)'den elde edilecektir.

$$N_m = 3 + 2 \times N_A \quad (3.18)$$

Burada;

$N_A$  Deprem yalıtımlı köprüdeki orta ayak sayısı

$N_m$  Mod birleştirme analizlerinde kullanılacak olan asgari mod sayısı

### 3.2. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz

Doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizlerde kullanılacak olan deprem ivmesi kayıtları Bölüm 2.4 ve 2.5'de verilen kurallara göre seçilmeli ve ölçeklendirilmelidir.

Analizler, Bölüm 2.5'de belirlenen titreşim periyodu aralığında tasarım spektrumuna uyumlu en az yedi adet ölçeklendirilmiş ivme kaydı kullanılarak yapılmalı ve analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet ve yer-değiştirmelerin ortalaması tasarımda kullanılmalıdır. Ayrıca analizler mod birleştirme yöntemi kullanılarak da yapılmalı ve doğrusal olmayan zaman tanım analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmalıdır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizlerden elde edilen ortalama kuvvet ve yer-değiştirmeler, mod birleştirme yöntemi kullanılarak elde edilen kuvvet ve yer-değiştirmelerin %90'ından daha az olamaz.

Doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizlerde kullanılan zaman adımı, ivme kaydının zaman adımını aşmamak kaydıyla, sonuçların hassasiyetini etkilemeyecek mertebede seçilmelidir.



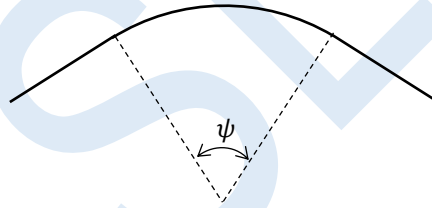
### 3.3. Yapısal Analiz Yöntemine Göre Köprü Sınıfları Ve Analiz Yöntemi Seçimi

Köprü Analiz Sınıfı (KAS) - Deprem yalıtımlı köprülerin yapısal analiz yöntemine göre sınıflandırmasıdır:

K sınıfı: Kompleks köprüler  
T sınıfı: Tek açıklıklı düz köprüler  
D sınıfı: Diğer köprüler

K sınıfında olan köprüler aşağıdaki özelliklerden bir veya daha fazlasına sahip olan köprülerdir:

1. Fay hattına 20 kilometre ve daha az mesafede olan köprüler
2. D ve E Zemin sınıfında inşa edilecek olan köprüler
3. Etkin sönüm oranı %30 ve üstünde olan köprüler
4. Köprü uzunluğunun köprü tabliyesi genişliğine oranı 15 ve daha fazla olan köprüler
5. Üst yapıdan gelen kütle payı esas alınarak hesaplanan titreşim periyodu en az bir ayakta 1.0 saniye ve üstünde olan köprüler. Periyot hesaplaması ayakların temel üst kotunda ankastre olduğu varsayılarak ve deprem yalıtım sistemi dikkate alınmadan yapılacaktır.
6. Üst yapıdan gelen kütle payı esas alınarak köprü ayaklarında hesaplanan titreşim periyodları arasındaki fark, %50'den fazla olan köprüler.
7. Kurplu köprülerde kurp sınırlarını belirleyen iki yarıçap doğrusu arasındaki açı 8 dereceden büyük olan köprüler (Şekil 3.6'da  $\psi$  ile gösterilen açı)
8. Verev açısı  $20^\circ$  den büyük olan verevli köprüler
9. Özel köprüler



Şekil 3.6

Tablo 3.1 Köprü analiz ve köprü önem sınıflarına göre hesap metotları

Köprü Önem Sınıfı (KÖS)	Köprü Analiz Sınıfı (KAS)		
	K	D	T
1	DOZTA	DOZTA	BA
2	DOZTA	MBYA	BA
3	MBYA	MBYA	BA

BA : Basit Analiz  
MBYA : Mod Birleştirme Yöntemi ile Analiz  
DOZTA : Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz

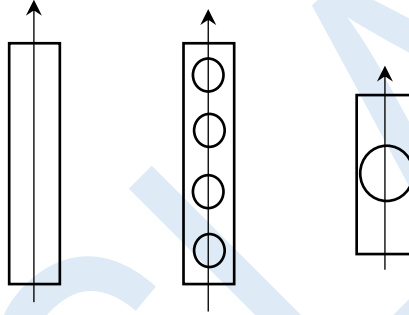
### 3.4. Deprem Yalıtımlı Köprülerde Deprem Etkisinin Uygulama Yönleri

Verev açısı  $20^\circ$  den büyük olan köprülerde analizler hem verev yönüne dik ve paralel yönde hem de köprü boyuna dik ve paralel yönde yapılmalıdır. Bu analizlerden elde edilen en büyük kuvvet ve yer-değiştirmeler tasarımda esas alınır.

Kurp sınırlarını belirleyen iki yarıçap doğrusu arasındaki açı 8°'den büyük olan kurplu köprülerde analizler her bir ayağın yerleşim doğrultusuna dik ve paralel yönde yapılmalıdır (Şekil 3.7). Ayak yerleşim doğrultusuna göre belirlenen iki analiz yönü arasındaki açı 5°'den daha küçükse, bu analiz yönlerinden birisi iptal edilebilir. Tüm analizlerden elde edilen en büyük kuvvet ve yer-değiştirmeler tasarımda esas alınır.

Üst yapıdan gelen kütle payı esas alınarak köprü ayaklarında hesaplanan titreşim periyodları arasındaki fark, %50'den daha fazla olan ve ayak yerleşimi simetrik olmayan köprülerde analizler, ikiden az olmamak kaydıyla, farklı açılarda da yapılmalıdır. Bu analizlerden elde edilen en büyük kuvvet ve yer-değiştirmeler tasarımda esas alınır.

Yukarıda tanımlanan köprülerin dışında kalan köprülerde ise analizler köprü boyuna dik ve paralel doğrultuda yapılmalıdır.



Şekil 3.7 Ayak yerleşim doğrultusu.

### 3.5. Deprem Yalıtımlı Köprülerin Üst ve Alt Sınır Analizi

Deprem yalıtım birimlerinin anma özellikleri, dış etkenler, yaşlanma, döngüsel ısınma, yükleme hızı, yükleme geçmişi, kirlenme ve servis durumundaki mesnet hareketlerinden kaynaklanan aşınmalardan dolayı bir alt ve üst sınır aralığında değişebilmektedir. Deprem yalıtım birimlerinin özelliklerindeki bu olası değişim nedeniyle, bu özelliklerin anma, alt ve üst sınır değerleri göz önünde bulundurularak üç adet analizin yapılması ve bu analizlerden elde edilen en büyük kuvvet ve yer-değiştirmelerin tasarımda kullanılması gerekmektedir. Deprem yalıtım birimlerine ait anma özelliklerinin üst ve alt sınır değerlerini hesaplamak için, bu özellikler, sırasıyla  $\lambda_{üst}$  ve  $\lambda_{alt}$  özellik değiştirme katsayıları ile çarpılırlar. Bu amaçla, Deprem yalıtım mesnetleri için Denklem (3.19) - (3.22), enerji sönmüleyiciler için ise Denklem (3.23) ve (3.24) kullanılır.

$$Q_{d,üst} = \lambda_{üst} \times Q_d \quad (3.19)$$

$$K_{d,üst} = \lambda_{üst} \times K_d \quad (3.20)$$

$$Q_{d,alt} = \lambda_{alt} \times Q_d \quad (3.21)$$

$$K_{d,alt} = \lambda_{alt} \times K_d \quad (3.22)$$

$$F_{S,üst} = \lambda_{üst} \times F_d \quad (3.23)$$

$$F_{S,alt} = \lambda_{alt} \times F_d \quad (3.24)$$

Burada,

$K_{d,üst}$  Deprem yalıtım mesnedine ait anma ikincil rijitliğinin üst sınırı

$K_{d,alt}$  Deprem yalıtım mesnedine ait anma ikincil rijitliğinin alt sınırı

$Q_{d,üst}$  Deprem yalıtım mesnedine ait anma dayanım kuvvetinin üst sınırı

$Q_{d,alt}$  Deprem yalıtım mesnedine ait anma dayanım kuvvetinin alt sınırı

$F_{S,üst}$  Enerji sönümleyiciye ait anma dayanım kuvvetinin üst sınırı

$F_{S,alt}$  Enerji sönümleyiciye ait anma dayanım kuvvetinin alt sınırı

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan katsayılardan  $\lambda_{üst}$  Denklem (3.25)'ten,  $\lambda_{alt}$  ise Denklem (3.26)'dan elde edilir.

$$\lambda_{üst} = [1 + \beta_{test}(\lambda_{test,üst} - 1)] \times [1 + \beta_{ürt}(\lambda_{ürt,üst} - 1)] \times [1 + \beta_s(\lambda_{s,üst} - 1)] \times [1 + \beta_y(\lambda_{y,üst} - 1)] \times [1 + \beta_{aş}(\lambda_{aş,üst} - 1)] \times [1 + \beta_k(\lambda_{k,üst} - 1)] \quad (3.25)$$

$$\lambda_{alt} = \lambda_{test,alt} \times \lambda_{ürt,alt} \times \lambda_{s,alt} \times \lambda_{y,alt} \times \lambda_{aş,alt} \times \lambda_{k,alt} \quad (3.26)$$

Burada,  $\lambda$  özellik değiştirme katsayılarını,  $\beta$  ise bu katsayıların birleştirilmesinde kullanılan birleştirme çarpanlarını temsil etmekte olup detayları aşağıda verilmiştir:

$\beta_{aş}$	Servis durumundaki hareketlerden kaynaklanan aşınmaların etkisi nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\beta_k$	Kirlenme nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\beta_s$	Sıcaklık etkisi nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\beta_{test}$	Test esnasında, ısınma, yükleme hızı gibi etkiler nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\beta_{ürt}$	Üretim kalitesi ve toleransları nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\beta_y$	Yaşlanma etkisi nedeni ile deprem yalıtım birimi özelliklerinin diğer etkilerle birlikte eş zamanlı olarak azami oranda değişme ihtimalinin düşük olduğunu göz önünde bulunduran katsayı
$\lambda_{s,üst}, \lambda_{s,alt}$	Sıcaklık etkisi nedeni ile kullanılacak olan üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları
$\lambda_{y,üst}, \lambda_{y,alt}$	Yaşlanma etkisi nedeni ile kullanılacak olan üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları
$\lambda_{aş,üst}, \lambda_{aş,alt}$	Servis durumundaki mesnet hareketlerinden kaynaklanan aşınmaların etkisi nedeni ile kullanılacak olan üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları
$\lambda_{k,üst}, \lambda_{k,alt}$	Kirlenme nedeni ile kullanılacak olan üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları
$\lambda_{ürt,üst}, \lambda_{ürt,alt}$	Üretim kalite ve toleransları nedeni ile kullanılacak olan üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları
$\lambda_{test,üst}$	Deprem yalıtım birimi testlerinden elde edilen kuvvet-yer-değiştirme histeretik eğrisinin sıfır yer-değiştirme noktasında gözlemlenen birinci döngüdeki kuvvet değerinin üç döngüden elde edilen ortalama kuvvet değerine oranını veren üst sınır özellik değiştirme katsayısı. Bu oranı, yükleme geçmişi, yükleme hızı ve ısınma gibi faktörler etkiler.

$\lambda_{test,alt}$ 

Deprem yalıtım birimi testlerinden elde edilen kuvvet-yer-değiştirme histeretik eğrisinin sıfır yer-değiştirme noktasında üç döngüden elde edilen ortalama kuvvet değerinin tasarımda öngörülen nominal kuvvet değerine oranı.

Üst ve alt sınır özellik değiştirme katsayıları ile bu katsayıları birleştirme çarpanları Bölüm 7’de verilmiştir.

## 4. DEPREM YALITIM SİSTEMİNİN TASARIM YER DEĞİŞTİRME KAPASİTESİ

### 4.1. Deprem Yalıtım Biriminin Servis Yer Değiştirmesi

Deprem yalıtım biriminin depremsiz durumdaki servis yer-değiştirmesi ölü ( $d_{\bar{o}}$ ) ve hareketli ( $d_H$ ) yükler, art germe ( $d_{AG}$ ), rötne ( $d_R$ ), sünme ( $d_{S\bar{U}}$ ) ve sıcaklık değişimine bağlı ( $d_{SC}$ ) yer-değiştirmelerin toplamından elde edilir.

$$d_S = d_{\bar{o}} + d_H + d_{AG} + d_R + d_{S\bar{U}} + d_{SC} \quad (4.1)$$

Sıcaklık değişimine bağlı yer-değiştirme, köprü üst yapısı derinliği boyunca ortalama sıcaklık göz önünde bulundurularak hesaplanan boyuna yer-değiştirme ile köprü üst yapısının en üst yüzeyi ile en alt yüzeyi arasındaki sıcaklık değişimi göz önünde bulundurularak köprü üst yapısının deprem yalıtım birimi noktasındaki dönmesine bağlı olarak hesaplanan yer-değiştirmenin toplamına eşittir. Art germe ve sünme etkileri altındaki yer-değiştirmelerde üst yapının boyuna yönde yer-değiştirmesi ile yalıtım birimi noktasındaki dönmesine bağlı olarak hesaplanan yer-değiştirmenin toplamına eşittir. Rötne etkisi altındaki yer-değiştirme üst yapının boyuna yönde yer-değiştirmesi hesaplanarak elde edilir. Ölü ve hareketli yükler altındaki yer-değiştirmeler ise üst yapının yalıtım birimi noktasındaki dönmesine bağlı olarak hesaplanan yer-değiştirmesine eşittir.

Deprem yalıtım biriminde depremsel yer-değiştirme ile birlikte kullanılacak olan servis yer-değiştirmesi, ölü yük ( $d_{\bar{o}}$ ), art germe ( $d_{AG}$ ), rötne ( $d_R$ ), sünme ( $d_{S\bar{U}}$ ) ve  $0.5 \times$  sıcaklık değişimine bağlı ( $d_{SC}$ ) yer-değiştirmelerin toplamından elde edilir.

$$d_{SD} = d_{\bar{o}} + d_{AG} + d_R + d_{S\bar{U}} + 0.5d_{SC} \quad (4.2)$$

### 4.2. Deprem Yalıtım Biriminin Tasarım Yer Değiştirme Kapasitesi

Yalıtım biriminin tasarım yer-değiştirme kapasitesi, yalıtım biriminin arttırılmış depremsel yer-değiştirmesine, deprem durumundaki servis yer-değiştirmesi eklenerek elde edilir. Hesaplanan yer-değiştirme kapasitesi depremsiz durumdaki servis yer-değiştirmesinden daha küçük olamaz.

$$d_T = d_1 + d_{SD} \geq d_S \quad (4.3)$$

Yukarıdaki denklemde  $d_1$  arttırılmış depremsel yer-değiştirme olup, analiz sonucunda elde edilen depremsel yer-değiştirmenin ( $d_o$ ), yapısal güvenilirlik çarpanları  $\gamma_{g1}$  ve  $\gamma_{g2}$  ile çarpımından elde edilir.

$$d_1 = d_o \gamma_{g1} \gamma_{g2} \quad (4.4)$$

$\gamma_{g1}$  ve  $\gamma_{g2}$  çarpanları KAS ve KÖS’a göre sırasıyla Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Köprü analiz sınıfına göre arttırılmış depremsel yer-değiştirme hesabında kullanılacak olan yapısal güvenilirlik çarpanı ( $\gamma_{g1}$ )

Köprü Analiz Sınıfı (KAS)		
K	D	T
1.10	1.05	1.00

Tablo 4.2 Köprü önem sınıfına göre arttırılmış depremsel yer-değiştirme hesabında kullanılacak olan yapısal güvenilirlik çarpanı ( $\gamma_{g2}$ )

Köprü Önem Sınıfı (KÖS)		
KÖS-1	KÖS-2	KÖS-3
1.10	1.05	1.00

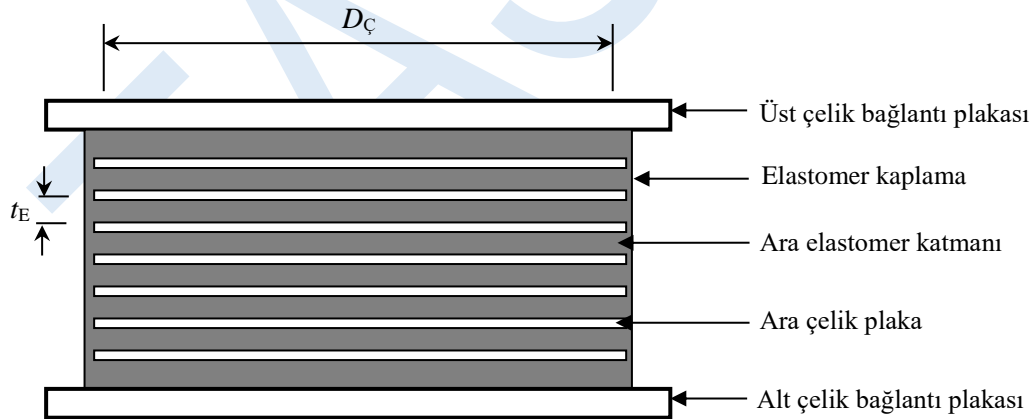
## 5. DEPREM YALITIM MESNETLERİ

### 5.1. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetleri

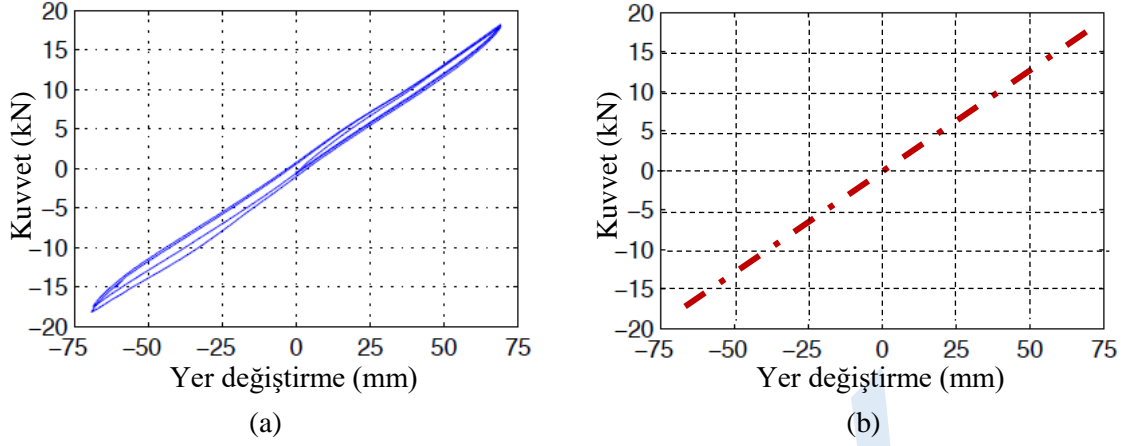
Elastomer deprem yalıtım mesnetleri kükürtleme ve basınç altında fırınlama yöntemi ile birbirine yapıştırılmış olan elastomer ve çelik plaka katmanlarından oluşmaktadır. Bu şartname, düşük sönümlü, yüksek sönümlü ve kurşun çekirdekli elastomer deprem yalıtım mesnetlerini kapsamaktadır. Bu şartname sadece dairesel kesite sahip elastomer deprem yalıtım mesnetlerini kapsamaktadır. Dairesel kesite sahip olmayan elastomer mesnetler, deprem yalıtım mesnetleri olarak kullanılamaz.

#### 5.1.1. Düşük Sönümlü Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetleri

Sönüm oranı %6'nın altında olan elastomer deprem yalıtım mesnetleri, 'düşük sönümlü' olarak sınıflandırılırlar. Tipik bir düşük sönümlü elastomer deprem yalıtım mesnedi Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Düşük sönümlü elastomer deprem yalıtım mesnetlerinin döngüsel kuvvet-yer-değiştirme eğrisi oldukça ince bir histeretik döngüye sahiptir. Dolayısıyla, bu tür mesnetlerin yatay yöndeki kuvvet-yer-değiştirme eğrilerinin doğrusal elastik olduğu varsayılır. Düşük sönümlü bir elastomer mesnede ait örnek histeretik kuvvet-yer-değiştirme eğrisi ile aynı mesnede ait idealleştirilmiş doğrusal elastik kuvvet-yer-değiştirme eğrisi Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Düşük sönümlü elastomer mesnetlerin yanal ( $k_y$ ), eksenel ( $k_E$ ) ve burulma ( $k_B$ ) rijitliği sırasıyla Denklem (5.1), (5.2) ve (5.3)'te verilmektedir.



Şekil 5.1 Düşük sönümlü elastomer deprem yalıtım mesnedinin bileşenleri.



Şekil 5.2 (a) Düşük sönümlü elastomer mesnede ait örnek histeretik kuvvet-yer-değiştirme eğrisi, (b) idealleştirilmiş doğrusal elastik kuvvet-yer-değiştirme eğrisi

$$k_Y = \frac{GA_b}{T_E} \quad (5.1)$$

$$k_E = \frac{E_B A_b}{T_E} \quad (5.2)$$

$$k_B = \frac{GJ_b}{T_E} \quad (5.3)$$

Burada;

- $A_b$  Elastomer malzemenin ara çelik plakalarla sınırlandırılmış olan kısmının plandaki alanı
- $E_B$  Elastomer mesnedin basınç elastisite modülü
- $G$  Elastomer yalıtım mesnedinde kullanılan elastomer malzemeye ait kesme elastisite modülü
- $J_b$  Elastomer malzemenin çelik plakalarla sınırlandırılmış olan kısmının burulma atalet momenti
- $T_E$  Ara elastomer katmanların kalınlıklarının toplamı

Elastomer mesnedin basınç elastisite modülü Denklem (5.4)'ten hesaplanır.

$$E_B = \frac{1}{\left(\frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K}\right)} \quad (5.4)$$

Burada;

- $K$  Elastomer yalıtım mesnedinde kullanılan elastomer malzemeye ait hacim modülü olup hesaplarda değeri 2000 MPa olarak alınabilir. Daha hassas  $K$  değerleri mesnet üreticisinden elde edilebilir.
- $S$  Elastomer yalıtım mesnedindeki tipik bir elastomer katmanına ait şekil katsayısı

Şekil katsayısı,  $S$ , dairesel kesitli elastomer mesnetler için Denklem (5.5)'ten hesaplanacaktır.

$$S = \frac{D_C}{4t_E} \quad (5.5)$$

Burada;

- $D_C$  Elastomer katmanın ara çelik plakalarla sınırlandırılmış kısmının çapı
- $t_E$  Ara elastomer katmanın kalınlığı

### 5.1.2. Yüksek Sönümlü Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetleri

Sönüm oranı %6'nın üstünde olan elastomer deprem yalıtım mesnetleri, 'yüksek sönümlü' olarak sınıflandırılırlar. Yüksek sönümlü bir elastomer mesnede ait örnek histeretik kuvvet-yer-değiştirme eğrisi Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Bu tür mesnetler için hesaplanan etkin rijitlik ve etkin sönüm oranı, kesme birim şekil-değiştirmesinin ve yükleme hızının bir fonksiyonu olarak değişirler. Bu nedenle, deprem yalıtımlı köprülerin eşdeğer doğrusal analizlerinde kullanılacak olan etkin rijitlik ve etkin sönüm oranına ait bağıntılar, kesme birim şekil-değiştirmesinin bir fonksiyonu olarak tasarıma uygun yükleme hızı için mesnet üreticisi tarafından verilmelidir. Bu bağıntılar tasarıma uygun testlerle kanıtlanmalıdır. Yüksek sönümlü elastomer mesnetlerle yalıtılmış köprülerin eşdeğer analizlerinde kullanılması muhtemel olan ve tasarıma uygun yükleme hızında elde edilen etkin rijitlik ve etkin sönüm oranına ait örnek bağıntılar aşağıda parametrik olarak verilmiştir;

$$k_e(\gamma) = \frac{(a_0 + a_1\gamma + a_2\gamma^2 + a_3\gamma^3 + a_4\gamma^4)A_b}{T_E} \quad (5.6)$$

$$\xi_e(\gamma) = b_0 + b_1\gamma + b_2\gamma^2 + b_3\gamma^3 + b_4\gamma^4 \quad (5.7)$$

Burada,  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  sabit katsayılar olup belirli bir yükleme hızında gerçekleştirilen dinamik döngüsel mesnet testlerinden elde edilirler. Yukarıdaki bağıntılar farklı eğri uydurma şekilleriyle de elde edilebilir. Bunlara örnek olarak Türkiye'de bir karayolu köprüsünde kullanılan yüksek sönümlü elastomer yalıtım mesnetlerinin belirli bir yükleme hızındaki deney sonuçları kullanılarak elde edilen etkin rijitlik ve etkin sönümlenme oranı bağıntıları deney sonuçlarından elde edilen veriler ile birlikte Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilmiştir.

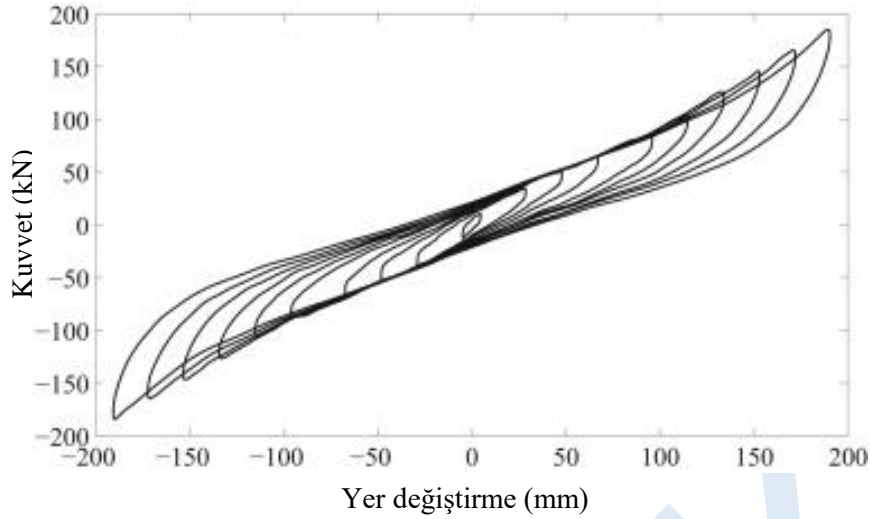
Ayrıca yükleme hızı, yüksek sönümlü elastomer mesnedin kuvvet-şekil-değiştirme ya da kesme gerilmesi-kesme birim şekil-değiştirmesi davranışını etkilediğinden (Şekil 5.6), bu tür eğriler doğrusal olmayan zaman tanım analizlerinde kullanılmak üzere mesnet üreticisi tarafından verilmeli ve tasarıma uygun testlerle kanıtlanmalıdır. Deprem yalıtımlı köprülerin doğrusal olmayan zaman tanım analizlerinde kullanılması muhtemel olan ve tasarıma uygun yükleme hızında elde edilen çift doğrusal kuvvet-yer-değiştirme eğrisini (Şekil 3.1) tanımlayan özellikler ( $Q_d, k_i, k_d$ ) aşağıda parametrik olarak verilmiştir;

$$Q_d(\gamma) = F_o(c_0 + c_1\gamma + c_2\gamma^2 + c_3\gamma^3 + c_4\gamma^4) \quad (5.8)$$

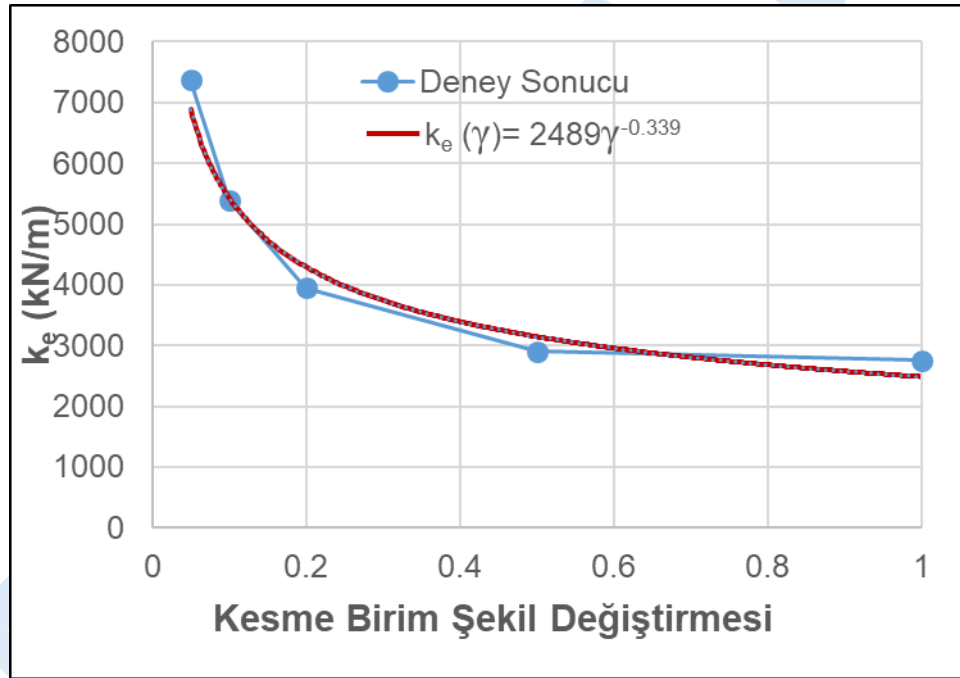
$$k_d(\gamma) = k_e(\gamma) - \frac{Q_d(\gamma)}{d_o} \quad (5.9)$$

$$k_i(\gamma) = \frac{2(k_e(\gamma) - k_d(\gamma))^2}{\pi\xi_e(\gamma)k_e(\gamma)} + k_d(\gamma) \quad (5.10)$$

Burada,  $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4$  sabit katsayılar olup belirli bir yükleme hızında gerçekleştirilen dinamik döngüsel mesnet testlerinden elde edilirler

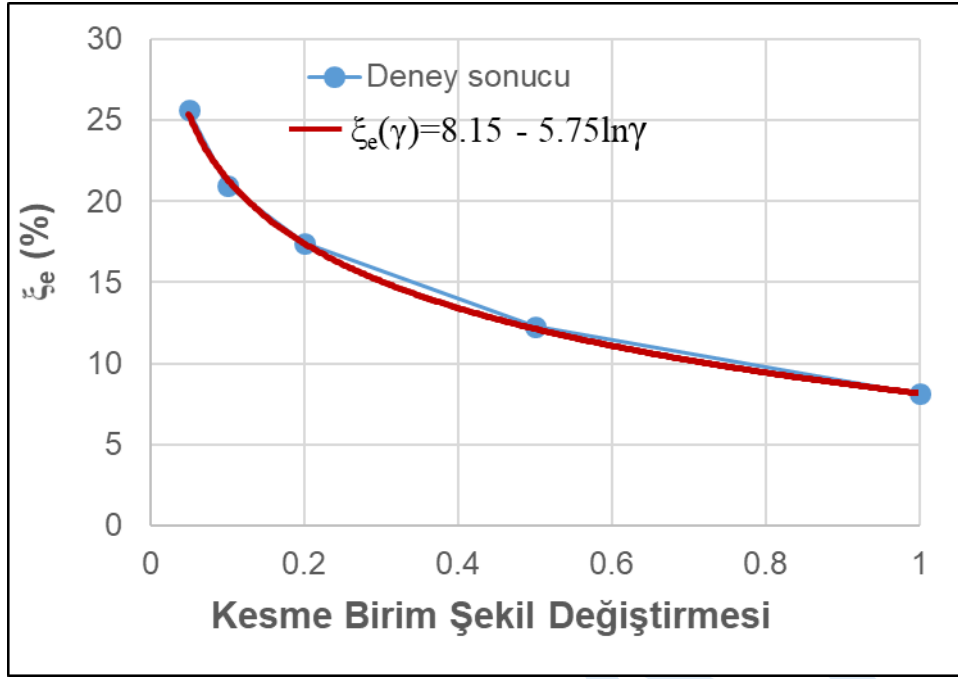


Şekil 5.3 Yüksek sönümlü elastomer deprem yalıtım mesnetlerine ait örnek döngüsel kuvvet-yer-değiştirme eğrisi.

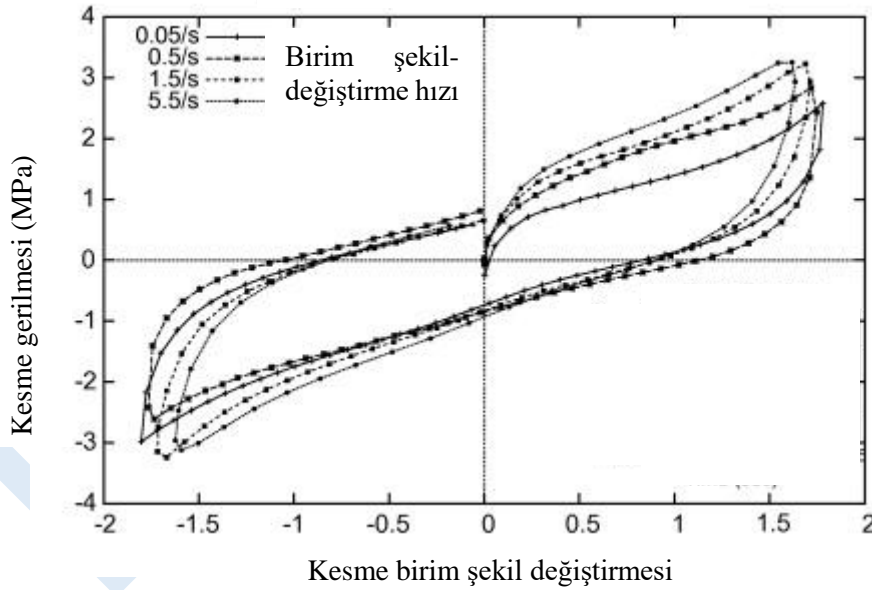


Şekil 5.4 Yüksek sönümlü elastomer deprem yalıtım mesnetlerine ait deney sonuçları kullanılarak eğri uydurma yöntemiyle elde edilmiş olan etkin rijitlik ve kesme birim şekil-değiştirme bağıntısı.





Şekil 5.5 Yüksek sönümlü elastomer deprem yalıtım mesnetlerine ait deney sonuçları kullanılarak eğri uydurma yöntemiyle elde edilmiş olan etkin sönümlenme ve kesme birim şekil-değiştirme bağıntısı.



Şekil 5.6 Yükleme hızının yüksek sönümlü elastomer deprem yalıtım mesnedinin davranışına etkisi

### 5.1.3. Kurşun Çekirdekli Deprem Yalıtım Mesnetleri

Elastomer deprem yalıtım mesnetlerinin enerji sönümlenme kapasitesini artırmak amacıyla bu mesnetlerin içindeki bir yuvaya silindirik şekilde ve kurşun cinsinden elemanlar, elastomer katmanlar arasındaki çelik plakalar tarafından sargılanmış vaziyette yerleştirilirler. Bu tür mesnetler kurşun çekirdekli deprem yalıtım mesnetleri olarak adlandırılır (Şekil 5.7). Bu mesnetlerin kuvvet-yer-değiştirme eğrisi çift doğrusal bir histeretik döngü ile temsil edilebilir (Şekil 3.1). Bu eğriye ait parametreler olan,  $Q_d$ ,  $k_i$ ,  $k_d$ ,  $d_y$ ,  $F_Y$ ,  $F_0$  sırasıyla Denklem (5.11), (5.12), (5.13), (5.14), (5.15) ve (5.16)'dan elde edilir.

$$Q_d = \tau_{YK} A_K \quad (5.11)$$

$$k_i = k_Y + k_K \quad (5.12)$$

$$k_d = k_Y + \kappa k_K \quad (5.13)$$

$$d_y = \frac{Q_d}{k_i - k_d} \quad (5.14)$$

$$F_Y = Q_d \left( \frac{k_i}{k_i - k_d} \right) \quad (5.15)$$

$$F_0 = Q_d + k_d d_o \quad (5.16)$$

Burada;

$A_K$  Kurşun çekirdeğin kesit alanı

$k_K$  Kurşun çekirdeğin elastik kesme rijitliği

$\kappa$  kurşun çekirdeğin akma sonrası kesme rijitliğinin elastik kesme rijitliğine oranı

$\tau_{YK}$  Kurşun malzemenin kesme akma dayanımı

Farklı yükleme hızlarına sahip deprem, rüzgâr ve sıcaklık değişimi etkisi altındaki yatay yüklemelerde kurşun malzemenin kesme akma dayanımı,  $\tau_{YK}$ , değişiklik gösterir. Ayrıca, kurşun malzemenin kesme akma dayanımı döngüsel yükler altında oluşan ısınmadan dolayı her döngüde belirli oranda azalır. Deprem durumunda kurşun malzemenin üç döngüden elde edilen ortalama akma dayanımı 10.3 MPa olarak alınabilir. Bu değer rüzgâr ve sıcaklık değişimine bağlı yüklemeler için farklılık gösterir. Daha hassas değerler mesnet üreticisinden temin edilebilir.

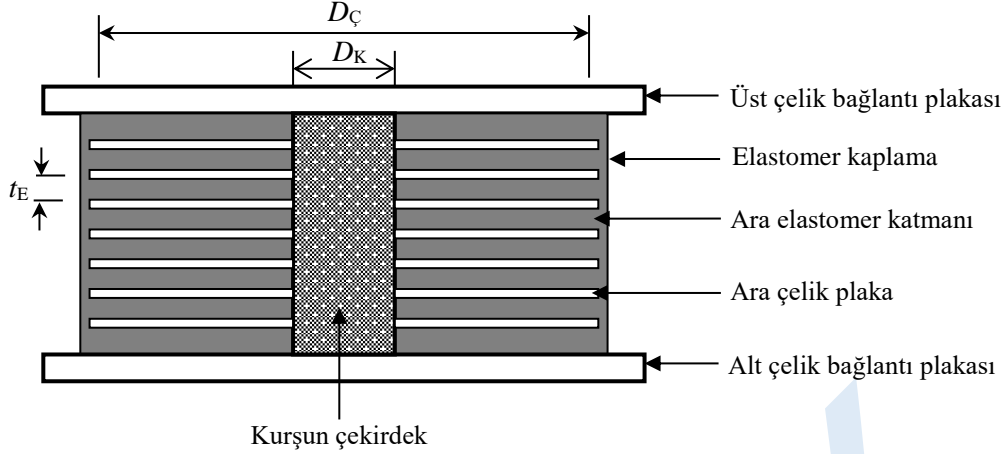
Denklem (5.12)'de verilen ve mesnedin elastomer kısmına ait yanal kesme rijitliğini temsil eden  $k_Y$ , Denklem (5.1)'den hesaplanır. Daha hassas verilerin mesnet üreticisinden elde edilemediği durumlarda, Denklem (5.12)'de verilen  $k_i$  değeri  $10k_Y$ , Denklem (5.13)'teki  $\kappa k_K$  değeri ise  $0.1k_Y$  olarak alınabilir.

Kurşun çekirdekli deprem yalıtım mesnetlerinin eksenel ( $k_E$ ) ve burulma ( $k_B$ ) rijitliği sırasıyla Denklem (5.2) ve (5.3) kullanılarak hesaplanır. Ancak, Denklem (5.2)'deki basınç modülü değerinin hesabında (Denklem (5.4)) kullanılan şekil katsayısı,  $S$ , Denklem (5.17)'den elde edilir. Ancak, kurşun çekirdek mesnede sıkı bir şekilde yerleştirilmişse, elastomer malzeme düşey yük altında çelik plakalar arasında bombe yapamayacağından şekil katsayısı Denklem (5.5)'ten hesaplanabilir.

$$S = \frac{D_{\zeta}^2 - D_K^2}{4D_{\zeta} t_E} \quad (5.17)$$

Burada,

$D_K$  Kurşun çekirdeğin çapı



Şekil 5.7 Kurşun çekirdekli deprem yalıtım mesnedinin bileşenleri.

#### 5.1.4. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetlerinde Servis ve Deprem Yükleri Altında Kesme Birim Şekil-Değiştirmeleri

Bu bölümde çeşitli yükler altında elastomer deprem yalıtım mesnetlerinde meydana gelen kesme birim şekil değiştirmelerinin hesabı tarif edilmiştir.

##### 5.1.4.1. Eksenel yükler altında elastomer deprem yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil-değiştirmesi

Elastomer deprem yalıtım mesnetlerinin düşey yükler altındaki kesme birim şekil değiştirmesi,  $\gamma_N$ , şekil katsayısı,  $S \leq 15$  olan elastomer deprem yalıtım mesnetleri için Denklem (5.18)'den, şekil katsayısı  $S > 15$  olan elastomer deprem yalıtım mesnetleri için ise Denklem (5.19)'dan hesaplanır.

$$\gamma_N = \frac{3SN}{2A_0G(1 + 2k'S^2)} \quad (5.18)$$

$$\gamma_N = \frac{3N(1 + 8Gk'S^2/K)}{4Gk'SA_0} \quad (5.19)$$

Burada;

$A_0$  Yanal yer-değiştirmeye maruz kalan elastomer deprem yalıtım mesnedinin üst ve alt yüzeylerinin düzlem içi örtüşme alanı (Şekil 5.8)

$k'$  Elastomer yalıtım mesnedinde kullanılan elastomer malzemeye ait bir katsayıdır. Farklı sertlikteki elastomer malzemeler için  $k'$  değerleri Tablo 5.1'de verilmektedir. Daha hassas  $k'$  değerleri mesnet üreticisinden elde edilebilir.

$N$  Deprem yalıtım mesnedine etki eden eksenel yük

$A_0$ , dairesel kesitli mesnetler için Denklem (5.20)'den hesaplanır.

$$A_0 = \frac{D_C^2}{4} (\delta - \sin \delta) \quad (5.20)$$

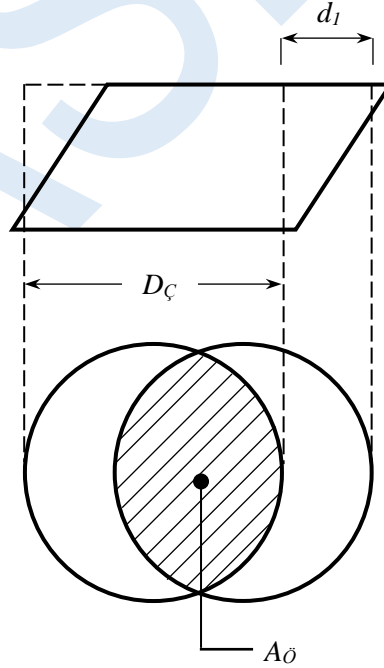
Denklem (5.20)'de kullanılan  $\delta$ , deprem durumunda Denklem (5.21)'den, servis durumunda ise Denklem (5.22)'den hesaplanır.

$$\delta = 2 \cos^{-1} \left( \frac{d_1}{D_{\zeta}} \right) \quad (5.21)$$

$$\delta = 2 \cos^{-1} \left( \frac{d_s}{D_{\zeta}} \right) \quad (5.22)$$

Tablo 5.1 Elastomer malzemeye ait mekanik özellikleri.

TS ISO 7619-1 Standartına göre sertlik ölçeri (A Ölçeği)	Elastisite modülü, E (MPa)	Kesme modülü, G (MPa)	k'
30	0.92	0.30	0.93
35	1.18	0.37	0.89
40	1.50	0.45	0.85
45	1.80	0.54	0.80
50	2.20	0.64	0.73
55	3.25	0.81	0.64
60	4.45	1.06	0.57
65	5.85	1.37	0.54
70	7.35	1.73	0.53
75	9.40	2.22	0.52



Şekil 5.8 Yanal yer-değiştirmeye maruz kalan elastomer deprem yalıtım mesnedinde en üst ve en alt elastomer katmanların düzlem içi örtüşme alanı.

#### 5.1.4.2. Düşey düzlemdeki dönmelerden dolayı elastomer deprem yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi

Düşey düzlemdeki dönmelerden dolayı elastomer deprem yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi,  $\gamma_\theta$  Denklem (5.23)'den hesaplanır.

$$\gamma_\theta = \frac{3}{8} \cdot \frac{\theta_s \times D_\zeta^2}{n \times t_E^2} \quad (5.23)$$

Burada,

$n$  Elastomer deprem yalıtım mesnedindeki ara elastomer katmanların sayısı  
 $\theta_s$  Servis yükleri altında üst yapıda meydana gelen düşey düzlemdeki dönme (radyan)

$\theta_s$  değerinin hesabındaki belirsizlikleri göz önünde bulundurmak için servis yüklerinin birleşimlerinden elde edilen dönme değerine 0.005 radyan ilave edilecektir.

#### 5.1.4.3. Yatay yöndeki yer-değiştirmelerden dolayı elastomer deprem yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi

Servis durumundaki yer-değiştirmelerden ( $d_s$ ), artırılmış depremsel yer-değiştirmeden ( $d_1$ ), ve Denklem (4.3)'te verilen toplam yer-değiştirmeden ( $d_T$ ) dolayı elastomer deprem yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmeleri sırasıyla Denklem (5.24), (5.25) ve (5.26)'dan hesaplanır.

$$\gamma_S = \frac{d_s}{n \times t_E} \quad (5.24)$$

$$\gamma_D = \frac{d_1}{n \times t_E} \quad (5.25)$$

$$\gamma_T = \frac{d_T}{n \times t_E} \quad (5.26)$$

#### 5.1.5. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetlerinin Kesme Birim Şekil Değiştirme Sınırları

Elastomer deprem yalıtım mesnetleri aşağıda verilen kesme birim şekil değiştirme sınırlarını sağlamalıdır.

$$\gamma_{N, sb} \leq 3.0 \quad (5.27)$$

$$\gamma_{\theta, dö} \geq 0 \text{ ise } (\gamma_{N, sb} + \gamma_{S, sb} + \gamma_{\theta, st}) + 1.75 \times (\gamma_{N, dö} + \gamma_{S, dö} + \gamma_{\theta, dö}) \leq 5.0 \quad (5.28)$$

$$\gamma_{\theta, dö} < 0 \text{ ise } (\gamma_{N, sb} + \gamma_{S, sb} + \gamma_{\theta, st}) + 1.75 \times (\gamma_{N, dö} + \gamma_{S, dö}) + \gamma_{\theta, dö} \leq 5.0 \quad (5.29)$$

$$\gamma_{ND} + \gamma_T + 0.50 \times \gamma_\theta \leq 5.50 \quad (5.30)$$

$$\gamma_D \leq \gamma_{KKS} \quad (5.31)$$

$$\gamma_S \leq 1.0 \quad (5.32)$$

Denklem (5.31)'de kullanılan  $\gamma_{KÖS}$ , KÖS-1, KÖS-2 ve KÖS-3 sınıfındaki köprüler için sırasıyla 2.0, 2.25 ve 2.5 olarak alınır.

Yukarıdaki denklemlerde;

$\gamma_D$  Artırılmış depremsel yer-değiştirmeden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi.  $\gamma_{ND}$  Denklem (5.25)'ten hesaplanır.

$\gamma_{ND}$	Deprem durumundaki tüm eksenel yükler altında elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi. $\gamma_{ND}$ , şekil katsayısı, $S \leq 15$ olan elastomer deprem yalıtım mesnetleri için Denklem (5.18)'den, $S > 15$ olan elastomer deprem yalıtım mesnetleri için ise Denklem (5.19)'dan hesaplanır.
$\gamma_{N,dö}$	Döngüsel eksenel yüklerden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi. Hesaplarda kullanılan döngüsel eksenel yük, kamyon yükü altında oluşan maksimum mesnet reaksiyonunun %80'inden elde edilir (düzgün yayılı hareketli yük hariç). $\gamma_{N,dö}$ şekil katsayısı, $S \leq 15$ olan elastomer deprem yalıtım mesnetleri için Denklem (5.18)'den, $S > 15$ olan elastomer deprem yalıtım mesnetleri için ise Denklem (5.19)'dan hesaplanır.
$\gamma_{N,sb}$	Sabit eksenel yüklerden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi. Hesaplarda kullanılan sabit eksenel yük, kamyon dışındaki düzgün yayılı hareketli yük ile diğer servis yüklerinin toplamından elde edilir. $\gamma_{N,sb}$ şekil katsayısı, $S \leq 15$ olan elastomer deprem yalıtım mesnetleri için Denklem (5.18)'den, $S > 15$ olan elastomer deprem yalıtım mesnetleri için ise Denklem (5.19)'dan hesaplanır.
$\gamma_{S,dö}$	Elastomer yalıtım mesnedinin döngüsel yanal yer-değiştirmesinden dolayı oluşan kesme birim şekil değiştirmesi. Hesaplarda, elastomer yalıtım mesnedinin döngüsel yanal yer-değiştirmesi, tasarım kamyon yükü altında oluşan maksimum mesnet reaksiyonunun %80'inden elde edilir (düzgün yayılı hareketli yük hariç). $\gamma_{S,dö}$ Denklem (5.24)'ten hesaplanır.
$\gamma_{S,sb}$	Elastomer yalıtım mesnedinin sabit yanal yer-değiştirmesinden dolayı oluşan kesme birim şekil değiştirmesi. Hesaplarda, elastomer yalıtım mesnedinin sabit yanal yer-değiştirmesi, kamyon dışındaki düzgün yayılı hareketli yük ile diğer servis yüklerinin etkisi altında hesaplanan toplam yanal yer-değiştirmeden elde edilir. $\gamma_{S,sb}$ Denklem (5.24)'ten hesaplanır.
$\gamma_T$	Denklem (4.4)'te verilen toplam yer-değiştirme ( $d_T$ ) kullanılarak hesaplanan elastomer yalıtım mesnedinin kesme birim şekil değiştirmesi. $\gamma_T$ , Denklem (5.26)'dan hesaplanır.
$\gamma_\theta$	Servis yükleri altında üst yapıda meydana gelen düşey düzlemdeki dönmelerden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi. $\gamma_\theta$ Denklem (5.23)'ten hesaplanır.
$\gamma_{\theta,dö}$	Döngüsel yükler altında üst yapıda meydana gelen düşey düzlemdeki dönmelerden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi. Hesaplarda, elastomer yalıtım mesnedinin döngüsel yükler altında düşey düzlemdeki dönmesi, kamyon yükü altında oluşan maksimum dönmenin %80'inden elde edilir (düzgün yayılı hareketli yük hariç). $\gamma_{\theta,dö}$ Denklem (5.23)'ten hesaplanır.
$\gamma_{\theta,sb}$	Sabit yükler altında üst yapıda meydana gelen düşey düzlemdeki dönmelerden dolayı elastomer yalıtım mesnedinde oluşan kesme birim şekil değiştirmesi. Hesaplarda, elastomer yalıtım mesnedinin sabit yükler altında düşey düzlemdeki dönmesi, kamyon dışındaki düzgün yayılı hareketli yük ile diğer servis yüklerinin etkisi altında oluşan dönmelerin toplamından elde edilir. $\gamma_{\theta,sb}$ Denklem (5.23)'ten hesaplanır.

### 5.1.6. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetlerinin Düşey Yükler Altında Kararlılığı

Elastomer deprem yalıtım mesnedinin düşey yükler altında yeterli kararlılığa sahip olması için, Denklem (5.33) ve (5.34)'te verilen eşitsizliği sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{N_b}{N_{\bar{o}} + N_H} \geq 3.0 \quad (5.33)$$

$$\frac{N'_b}{N_D} \geq 1.5 \quad (5.34)$$

Burada,

$N_b$	Deprem yalıtım mesnedinin yatay yer-değiştirme olmadan hesaplanan burkulma eksenel kuvveti
$N'_b$	Deprem yalıtım mesnedinin yatay yer-değiştirme durumunda hesaplanan burkulma eksenel kuvveti
$N_D$	Deprem durumunda deprem yalıtım mesnedine etki eden tüm eksenel yükler
$N_H$	Deprem yalıtım mesnedine etki eden eksenel hareketli yük

$N_0$  Deprem yalıtım mesnedine etki eden eksenel ölü yük

$N_b$  Denklem (5.35)'te verilmiştir.

$$N_b = \sqrt{\frac{\pi^2 E_B I G A}{3 T_E^2}} \quad (5.35)$$

Burada,

$A$  Deprem yalıtım mesnedinin kesit alanı

$I$  Deprem yalıtım mesnedine ait kesitin atalet momenti

$I$ , kurşun çekirdekli deprem yalıtım mesnetleri için Denklem (5.36)'dan, diğerleri için ise Denklem (5.37)'den hesaplanacaktır.

$$I = \frac{\pi(D_C^4 - D_K^4)}{64} \quad (5.36)$$

$$I = \frac{\pi D_C^4}{64} \quad (5.37)$$

$N'_b$  Denklem (5.38)'de verilmiştir.

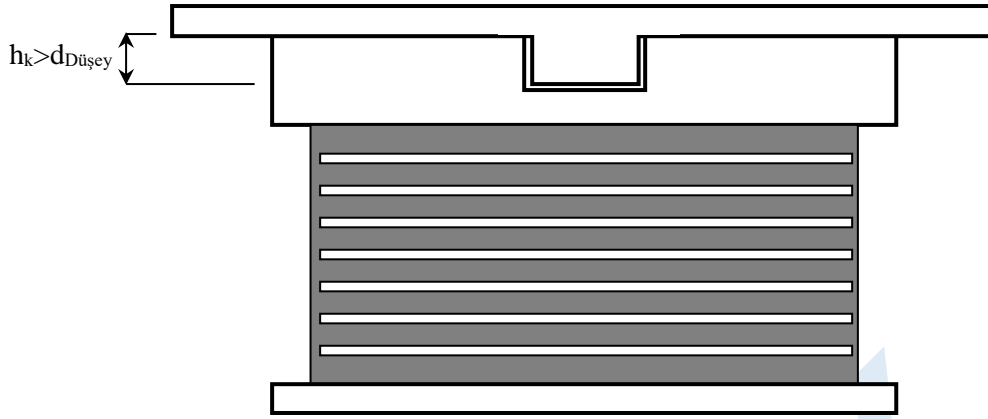
$$N'_b = N_b \frac{A_0}{A_b} \quad (5.38)$$

Elastomer deprem yalıtım mesnetlerinin köprü alt ve üst yapısına cıvatalı bağlantı ile bağlanması gerekmektedir. Bundan dolayı bu mesnetlerde yuvarlanma kararsızlığı beklenmemektedir.

### 5.1.7. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetleri İçin Özel Gereksinimler

Bu şartname sadece dairesel kesite sahip elastomer deprem yalıtım mesnetlerini kapsamaktadır. Dairesel kesite sahip olmayan elastomer mesnetler deprem yalıtımlı köprülerde kullanılamaz. Elastomer deprem yalıtım mesnetlerinin alt ya da üst yapıya bağlantısında her bir bağlantı için cıvata sayısı 8 den az olmamak kaydıyla  $15d'$ ye eşit olmalıdır. Burada,  $d$  mesnedin bağlantı plakasının metre biriminde çapıdır.

Bu şartname kapsamında tasarlanacak olan elastomer mesnetlerde çekme eksenel kuvvetlerine izin verilmemektedir. Elastomer mesnetlerde çekme eksenel kuvvetlerinin beklendiği durumlarda, ya kalkmayı engelleyici cihazlar kullanılmalı ya da köprü üst yapısı ile mesnet arasına kesme kamalı bir montaj plakası yerleştirilmelidir (Şekil 5.10). Bu sayede deprem esnasında belirli limitler içerisinde ( $d_{Düşey} \leq 25$  mm) havalanan köprü, elastomer mesnede eksenel çekme kuvvetleri iletmeyecektir

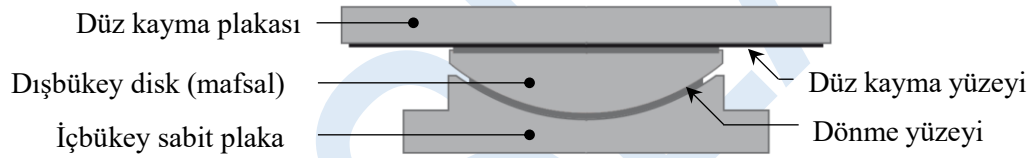


Şekil 5.9 Elastomer deprem yalıtım mesnetlerinde kesme kamalı montaj plakası.

## 5.2. Kayma Esaslı Deprem Yalıtım Mesnetleri

### 5.2.1. Düz Yüzeyle Küresel Kayıcı Deprem Yalıtım Mesnetleri

Düz yüzeyle küresel kayıcı deprem yalıtım mesnetlerinin köprü üst yapısındaki dönmelere izin verebilmesi için, bu tür mesnetlerde mafsal işlevi gören bir mekanizmaya ihtiyaç vardır. Bu mekanizma üst ve alt plakalar arasında kayarak dönmeye izin veren, bir yüzü düz diğer yüzü ise dışbükey olan bir diskten oluşmaktadır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 Düz yüzeyle küresel kayıcı deprem yalıtım mesnedi.

Düz yüzeyle küresel kayıcı deprem yalıtım mesnetlerinin kuvvet yer-değiştirme bağıntısı Denklem (5.39)'da verilmiştir.

$$F = \mu N \text{sign}(\dot{d}) \quad (5.39)$$

Burada,

- $\dot{d}$  Mesnedin üst ve alt bağlantı noktaları arasındaki yer-değiştirme hızı
- $\text{sign}()$  İşaret işlevi
- $\mu$  Kayma yüzeyindeki sürtünme katsayısı

Düz yüzeyle kayıcı deprem yalıtım mesnedi tarafından döngü başına sönmelenen enerji Denklem (5.40)'tan elde edilir.

$$E_S = 4\mu N d_0 \quad (5.40)$$

Burada,

- $d_0$  Mesnedin üst ve alt bağlantı noktaları arasındaki depremsel yatay yer-değiştirme



### 5.2.2. Eğri Yüzeyle Kayıcı Deprem Yalıtım Mesnetleri

Eğri yüzeyle kayıcı deprem yalıtım mesnetleri bu şartname kapsamında üç tipten oluşmaktadır:

- EKM-1. Tekli eğri yüzeyle (Tek kayma yüzeyle) kayıcı deprem yalıtım mesnetleri (Şekil 5.11)
- EKM-2. Çift eğri yüzeyle ve her iki yüzeye ait sürtünme katsayısı ve yarıçapı eşit olan kayıcı deprem yalıtım mesnetleri ( $\mu_1 = \mu_2$ ,  $R_1 = R_2$ ) (Şekil 5.12(a))
- EKM-3. Çift eğri yüzeyle ve her iki yüzeye ait sürtünme katsayıları veya yarıçapları eşit olmayan kayıcı deprem yalıtım mesnetleri ( $\mu_1 \neq \mu_2$  veya  $R_1 \neq R_2$ ). Bu tür mesnetlerin tasarım yer-değiştirme kapasitesine ulaşabilmesi için, sürtünme katsayısı daha az olan yüzeyde sınırlayıcı halka olması gerekmektedir (Şekil 5.12(b,c))

EKM-1 ve EKM-2 eğri yüzeyle kayıcı deprem yalıtım mesnetleri için kuvvet-yer-değiştirme bağıntısı Denklem (5.41)'de verilmiştir.

$$F(d) = \frac{N}{R_e} d + \mu N \text{sign}(\dot{d}) \quad (5.41)$$

Burada,

$d$  Mesnedin üst ve alt bağlantı noktaları arasındaki yatay depremsel yer-değiştirme

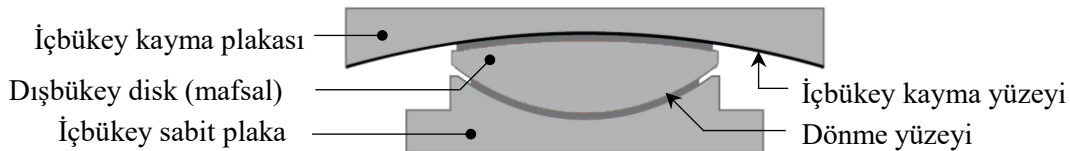
$R_e$  Eğri yüzeyle kayıcı deprem yalıtım mesnedinin etkin yarıçapı; EKM-1 deprem yalıtım mesnetleri için Şekil 5.13'te, EKM-2 deprem yalıtım mesnetleri için ise Şekil 5.14'te gösterildiği gibi hesaplanır. EKM-3 deprem yalıtım mesnetleri için etkin yarıçap ise kayma evrelerine bağlı olarak değişim göstermekte olup Şekil 5.13 ya da Şekil 5.14'te gösterildiği gibi hesaplanır. Her iki şekilde de dönmeye izin veren mafsaldaki sürtünme katsayısının ihmal edilebilir seviyede küçük olduğu varsayılmıştır.

$\mu$  Kayıcı yüzeye ait sürtünme katsayısı

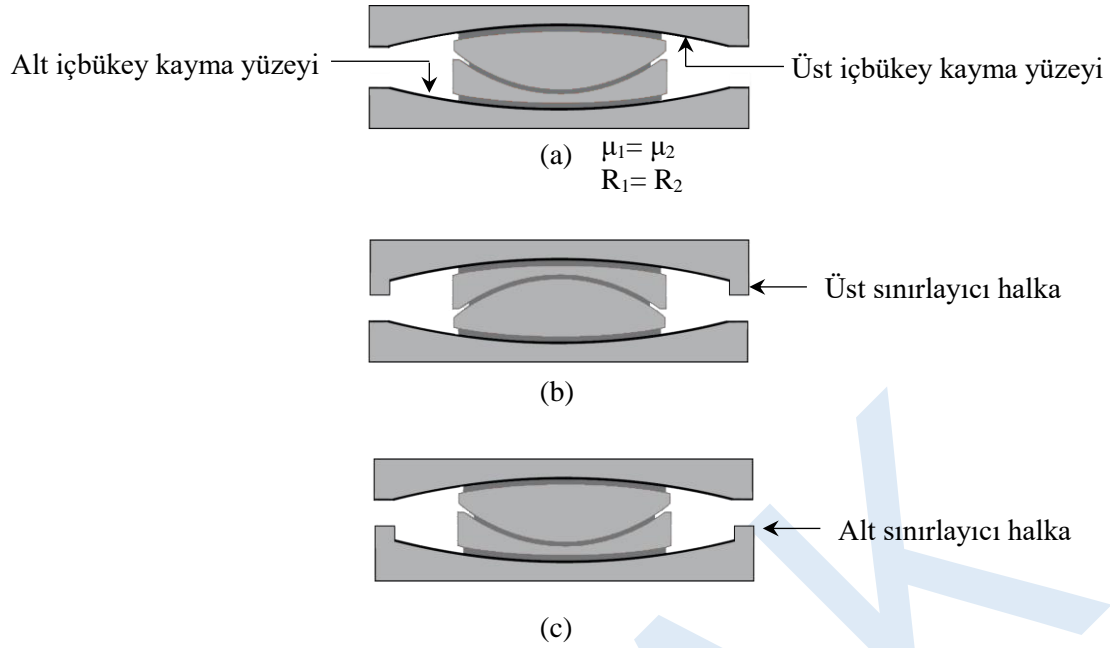
EKM-1 ve EKM-2 eğri yüzeyle kayıcı deprem yalıtım mesnetleri için etkin sönümlenme oranı ve etkin rijitlik, sırasıyla, Denklem(5.42) ve Denklem (5.43)'ten hesaplanacaktır.

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \left( \frac{\mu}{\mu + \frac{d}{R_e}} \right) \quad (5.42)$$

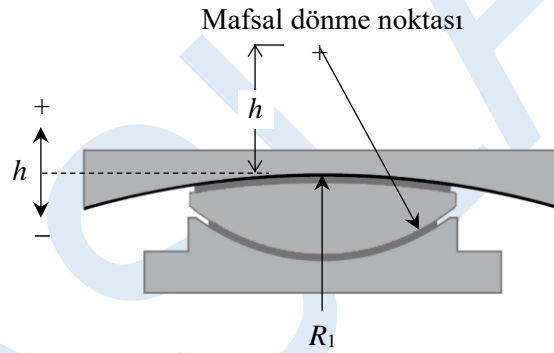
$$k_e = \frac{\mu N}{d} + \frac{N}{R_e} \quad (5.43)$$



Şekil 5.11 Tekli eğri yüzeyle kayıcı deprem yalıtım mesnedi.



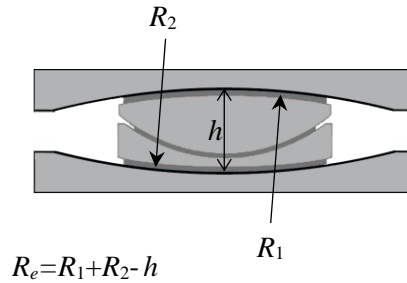
Şekil 5.12 Çift eğri yüzeyli kayıcı deprem yalıtım mesnedi.



$$R_e = R_1 + h$$

$h$ , EKM-1 deprem yalıtım mesnetlerinde kayma yüzeyinden mafsalın dönme noktasına ölçülür ve işaretli bir değerdir.

Şekil 5.13 EKM-1 deprem yalıtım mesnetleri için etkin yarıçapın hesaplaması.



Şekil 5.14 EKM-2 deprem yalıtım mesnetleri için etkin yarıçapın hesaplaması.

### 5.2.3. Anma Statik ve Dinamik Sürtünme Katsayıları

Sürtünme katsayısının kayma hızına göre değişimi Şekil 5.15'te verilmektedir. Anma statik sürtünme katsayısı,  $\mu_{sta}$ , düşük hızlarda ve sıfır yer-değiştirmede kayıcı deprem yalıtım mesnedinin kaymaya başladığı andaki yatay kuvvetin mesnede uygulanan düşey kuvvete oranına eşittir. Anma statik sürtünme katsayısı TS EN 15129'da belirtilen deneysel yöntemlere göre belirlenecektir.

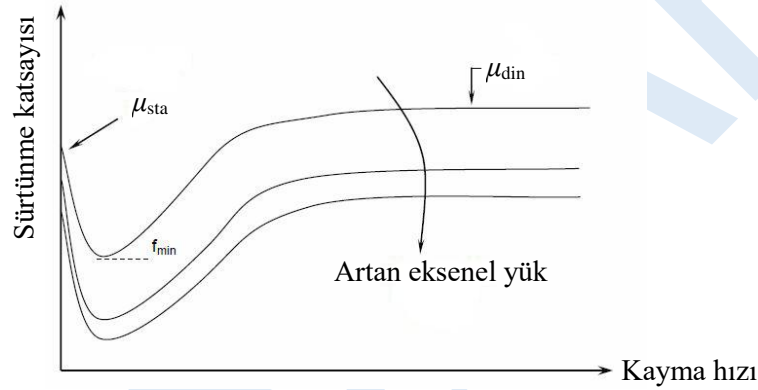
Anma dinamik sürtünme katsayısı,  $\mu_{din}$ , Denklem (5.44) kullanılarak, tasarım yer-değiştirmesinde ve tasarım hızında yapılan döngüsel deneylerden elde edilir.

$$\mu_{din} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{A_{h,i}}{4Nd} \quad (5.44)$$

Burada,

$A_{h,i}$  Deney sonucunda elde edilmiş olan  $i$  numaralı döngüye ait döngüsel kuvvet-yer-değiştirme eğrisinin altında kalan alan

$d$  Mesnedin üst ve alt bağlantı noktalarının arasındaki yer-değiştirme



Şekil 5.15 Sürtünme katsayısının kayma hızına göre değişimi.

### 5.2.4. Kayma Esaslı Deprem Yalıtım Mesnetleri için Özel Gereksinimler

Kayma esaslı deprem yalıtım mesnetlerinin tasarımında kayıcı malzemenin ezilme gerilmesi aşağıda verilen emniyet katsayıları kullanılarak hesaplanmalıdır:

1. Taşıma gücü yük birleşiminde 1.40
2. Servis yükleri altındaki yük birleşiminde 2.0
3. Ölü yük altında 3.0

Kayma esaslı deprem yalıtım mesnetlerinde kullanılan yağlanmış çukurlu yüzeyli kayıcı malzeme ve paslanmaz çelik yüzey ikilisi TS EN1337-2:2004 şartnamesinin D.6.2.2 bölümünde tarif edildiği şekilde 10242 metre aşınma deneyine tabi tutulmalıdır. Kuru kayıcı yüzeye sahip deprem yalıtım mesnetleri ise TS EN1337-2:2004 şartnamesinin D.6.2.3 bölümünde tarif edildiği şekilde 2066 metre aşınma deneyine tabi tutulmalıdır. Köprü ömrü boyunca mesnette oluşacak olan toplam servis yer-değiştirmesi 2066 metreden daha büyükse, bu durumda kuru yüzeyli deprem yalıtım mesnetleri için EN1337-2:2004 şartnamesinin D.6.2.3 bölümünde tarif edilen aşamalı yer-değiştirme değerleri hesaplanan servis yer-değiştirmesine göre oranlanarak deney yapılmalıdır. Bu deneyler sonucunda gözlemlenen kayıcı malzeme kalınlığı kaybı, malzeme kalınlığının %20'sinden daha fazla olmamalıdır. Buna ilaveten, kayıcı malzemenin, konuşlandığı çelik disk yuvasının dışına taşan kalınlığı, aşınma deneyi sonunda yüksüz durumda 1 mm'nin altında olmamalıdır. Ayrıca paslanmaz çelik plaka yüzeyinde oluşan çiziklerin derinliği 0.05 mm'den daha fazla olmamalıdır.

Kayma esaslı deprem yalıtımlı mesnetlerinde kullanılan işlenmemiş beyaz PTFE dışındaki kayıcı malzemeler ETA (Avrupa Teknik Onay) belgesine sahip olmalıdır.

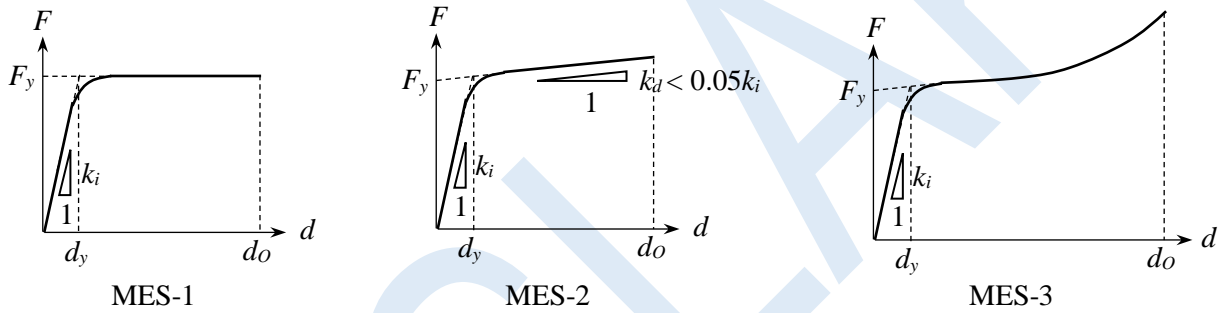
Kayma esaslı deprem yalıtım mesnetlerinde çekme eksenel kuvvetlerinin beklendiği durumlarda, mesnet üst plakasının kayıcı diskten düşey yönde ayrılma mesafesi 25 mm ile sınırlandırılmalıdır. Bu koşul sağlanamadığı takdirde, kalkmayı engelleyici cihazlar kullanılmalıdır.

Kayma esaslı deprem yalıtım mesnetlerinin kayma arayüzleri, kirlenme ve çevre etkilerinden dolayı oluşacak zararları önlemek amacıyla servis hareketlerine izin verebilen elastik bir körüklü membran ile korunmalıdır

## 6. ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLER

### 6.1. Metal Esaslı Enerji Sönümleyiciler

Bu şartname kapsamında metal esaslı enerji sönümleyiciler, kuvvet-yer-değiştirme eğrisinin şekline göre MES-1, MES-2 ve MES-3 olmak üzere üç tip altında sınıflandırılmıştır. Bu üç tip enerji sönümleyicilerin kuvvet-yer-değiştirme eğrisi Şekil 6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 6.1 Metal esaslı enerji sönümleyicilerin kuvvet-yer-değiştirme eğrisine göre sınıfları.

Metal esaslı enerji sönümleyiciler tarafından döngü başına sönmölenen enerji Denklem (6.1)’den elde edilir.

$$E_S = 4n_s \eta_s F_y \left(1 - \frac{K_d}{K_i}\right) (d_o - d_y) \quad (6.1)$$

Burada,

$F_y$  Metal esaslı enerji sönümleyicinin etkin akma kuvveti

$K_i$  Metal esaslı enerji sönümleyicinin elastik rijitliği

$K_d$  MES-2 metal esaslı enerji sönümleyicinin ikincil rijitliği (elastik-ötesi rijitliği)

$d_o$  Metal esaslı enerji sönümleyicide oluşan maksimum depremsel yer-değiştirme

$d_y$  Metal esaslı enerji sönümleyicinin etkin akma yer-değiştirme

$n_s$  Köprü ayağında bulunan benzer metal esaslı enerji sönümleyicilerin sayısı

$\eta_s$  Metal esaslı enerji sönümleyiciye ait enerji sönmö katsayısı.  $\eta_s$  katsayısı kinematik pekleşme (Baushinger etkisi) gösteren sönümleyicilerde 1.0’a eşittir; diğer sönümleyicilerde ise üretici tarafından belirlenir.

#### 6.1.1. Metal Esaslı Enerji Sönümleyiciler İçin Özel Gereksinimler

Deprem yalıtımlı köprülerde kullanılan metal esaslı enerji sönümleyiciler, paslanmaya karşı koruma sağlanması için çinko esaslı epoksi boya ile boyanmalıdır.

## 6.2. Viskoz Enerji Sönümleyiciler

Viskoz enerji sönümleyicilere ait kuvvet-yer-değiştirme hızı ilişkisi Denklem (6.2)'de verilmiştir.

$$F_S = C v^\alpha \quad (6.2)$$

Burada;

- $C$  Viskoz enerji sönümleyiciye ait sönümleme sabiti  
 $v$  Viskoz enerji sönümleyicinin bağlantı noktaları arasındaki yer-değiştirme hızı  
 $\alpha$  Viskoz enerji sönümleyiciye ait sönümleme üstü

Viskoz enerji sönümleyiciler tarafından döngü başına sönümlenen enerji Denklem (6.3)'ten elde edilir.

$$E_S = \lambda(\alpha) F_{max} d_o \quad (6.3)$$

Burada;

- $d_o$  Viskoz enerji sönümleyicide oluşan maksimum depremsel yer-değiştirme  
 $F_{max}$  Harmonik yer-değiştirme altında ( $d=d_o \sin(\omega t)$ ) viskoz enerji sönümleyicinin sıfır yer-değiştirmedeki kuvveti.  
 $\lambda(\alpha)$   $\alpha$ 'ya bağlı bir fonksiyon olup Denklem (6.4)'ten hesaplanır.

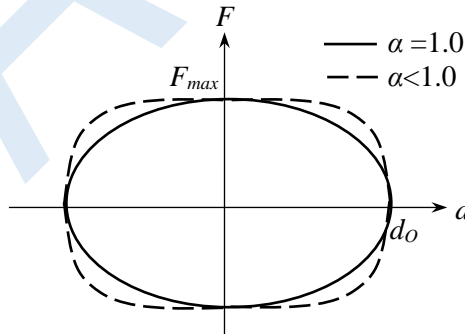
$$\lambda(\alpha) = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2(1 + 0.5\alpha)}{\Gamma(2 + \alpha)} \quad (6.4)$$

$F_{max}$  Denklem (6.5)'ten hesaplanır.

$$F_{max} = C (d_o \omega)^\alpha \quad (6.5)$$

Burada;

- $\Gamma()$  Matematikte kullanılan Gama fonksiyonu



Şekil 6.2 Viskoz enerji sönümleyicilerin kuvvet-yer-değiştirme eğrisi.

### 6.2.1. Viskoz Enerji Sönümleyiciler İçin Özel Gereksinimler

Piston mekanizmasındaki aşınmayı asgariye indirmek amacıyla, viskoz enerji sönümleyici, rüzgâr, fren gibi servis yükleri altında yeterli rijitliği sahip olmalıdır. Bu şartname kapsamında, deprem yalıtımlı

köprülerde kullanılacak olan viskoz enerji sönümleyicilerin 0.01 m/s yükleme hızı altındaki tepki kuvveti, 1.0 m/s yükleme hızı altındaki tepki kuvvetinin %65'inden daha az olmamalıdır.

Viskoz enerji sönümleyici ya da kilitleme cihazlarının içerisindeki sıvının sızmasını önlemek, ve servis yükleri altında yeterli rijitlik elde etmek amacıyla cihaz içerisinde oluşan iç basınç servis yükleri altında 25 MPa ile sınırlandırılmalıdır. Ayrıca, iç basıncın sıcaklık değişimi nedeniyle aşırı derecede artmasını önlemek amacıyla, viskoz enerji sönümleyici, silindir içerisindeki sıvının sıcaklık değişiminden dolayı genişlemesine izin veren bir mekanizmaya sahip olmalıdır.

Viskoz enerji sönümleyici ya da kilitleyicilerin çelik bileşenleri sünek çelikten imal edilmelidir. Viskoz enerji sönümleyiciye ait piston yüzeyinde gerekli pürüzsüzlüğü elde edebilmek için, yüzey nikel ya da krom ile kaplanmalıdır. Paslanmaz çelik pistonlar, yüksek süneklığe sahip olmamaları nedeniyle bu şartname kapsamındaki viskoz enerji sönümleyici ya da kilitleyicilerde kullanılamaz.

Hidrolik esaslı kilitleme cihazlarında yük sınırlayıcı özelliğın olması tercih edilmelidir. Bu özellik sayesinde paralel olarak kullanılan birkaç cihazın üst yapıdaki yer-değıştirmelere aynı kuvvet seviyesinde direnç göstermesi sağlanarak üst yapının planda dışmerkezli yüklemelere maruz kalması ve dönmesi engellenir. Yük sınırlayıcı özelliğe sahip hidrolik esaslı kilitleme cihazlarının tasarımında yük faktörü 1.10 olarak alınmalıdır. Yük sınırlayıcı özelliğe sahip olmayan hidrolik esaslı kilitleme cihazlarının tasarımında ise yük faktörü 1.50 olarak alınmalıdır.

## 7. DEPREM YALITIM VE ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ SİSTEMLERE AİT ÖZELLİKLERİN ALT VE ÜST SINIR DEĞERLERİ

Bu bölümde deprem yalıtım ve enerji sönümleyici sistemlerin alt ve üst sınır değerlerini hesaplamak için gereken özellik değıştirme katsayıları ve bu katsayıların birleştirme faktörleri verilmiştir. Denklem (3.25) ve (3.26)'da verilen  $\lambda_{üst}$  ve  $\lambda_{alt}$  katsayılarının hesaplanması için gereken değerler Bölüm 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4'te verilmiştir.

### 7.1. Elastomer Deprem Yalıtım Mesnetleri İçin $\lambda_{üst}$ , $\lambda_{alt}$ ve $\beta$ Katsayıları

Elastomer deprem yalıtım mesnetleri için  $\lambda_{üst}$ ,  $\lambda_{alt}$  ve  $\beta$  katsayıları sırasıyla Tablo 7.1, Tablo 7.2 ve Tablo 7.3'te verilmiştir.

### 7.2. Kayma Esaslı Deprem Yalıtım Mesnetleri İçin $\lambda_{üst}$ , $\lambda_{alt}$ ve $\beta$ Katsayıları

Kayma esaslı deprem yalıtım mesnetleri için  $\lambda_{üst}$ ,  $\lambda_{alt}$  ve  $\beta$  katsayıları sırasıyla Tablo 7.4, Tablo 7.5 ve Tablo 7.6'da verilmiştir.

### 7.3. Metal Esaslı Enerji Sönümleyiciler İçin $\lambda_{üst}$ , $\lambda_{alt}$ ve $\beta$ Katsayıları

Metal esaslı enerji sönümleyiciler için  $\lambda_{üst}$ ,  $\lambda_{alt}$  ve  $\beta$  katsayıları sırasıyla Tablo 7.7, Tablo 7.8 ve Tablo 7.9'da verilmiştir.  $\lambda_{üst}$ ,  $\lambda_{alt}$  ve  $\beta$  katsayılarının belirlenmesinde enerji sönümleyicinin imalatında kullanılan metal malzemeye ait mekanik özelliklerin imalattan önce uygun testlerle tespit edildiğı varsayılmıştır.

### 7.4. Viskoz Enerji Sönümleyiciler İçin $\lambda_{üst}$ , $\lambda_{alt}$ ve $\beta$ Katsayıları

Viskoz enerji sönümleyiciler için  $\lambda_{üst}$ ,  $\lambda_{alt}$  ve  $\beta$  katsayıları sırasıyla Tablo 7.10, Tablo 7.11 ve Tablo 7.12'de verilmiştir. Tablolardaki değerlerden bazılarının imalatçı test verilerinden elde edilmesi gerekmektedir. Test verilerinin olmadığı durumlarda  $\lambda_{üst}=1.25$  ve  $\lambda_{alt}=0.80$  alınabilir. Bu katsayılar viskoz enerji sönümleyicinin sönümleme sabitine (C) uygulanır. Viskoz enerji sönümleyicinin sönümleme üstünün ( $\alpha$ ) etkilenmediğı varsayılır.

Tablo 7.1 Elastomer deprem yalıtım mesnetleri için üst sınır özellik değiştirme katsayıları.

Özellik Değiştirme Katsayıları		Düşük Sönümlü Yalın Elastomer Mesnet	Yüksek Sönümlü Elastomer Mesnet		Kurşun Çekirdekli Mesnet <sup>1</sup>	
		K <sub>d</sub>	Q <sub>d</sub>	K <sub>d</sub>	Q <sub>d</sub>	K <sub>d</sub>
$\lambda_{y,üst}$		1.10	1.3	1.3	1.0	1.10
$\lambda_{aş,üst}$		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\lambda_{k,üst}$		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\lambda_{test,üst}$		1.0	1.5	1.3	1.3	1.0
$\lambda_{üirt,üst}$	Yüksek kalitede imalat	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	Standart kalitede imalat	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
$\lambda_{s,üst}^3$	$-30 \leq T_{min} < -10$	$1.0+0.01 \times  T_{min} $	$0.85+0.055 \times  T_{min} $	$1.1+0.03 \times  T_{min} $	1.0	$1.0+0.01 \times  T_{min} $
	$-10 \leq T_{min} < 0$	1.10	$1.3-0.01 \times  T_{min} $	$1.2-0.02 \times  T_{min} $	1.0	1.10
	$0 \leq T_{min} < 20$	$1.10-0.005 \times  T_{min} $	$1.3-0.015 \times  T_{min} $	$1.2-0.01 \times  T_{min} $	1.0	$1.10-0.005 \times  T_{min} $

<sup>1</sup> Kurşun çekirdekli mesnet imalatında düşük sönümlü yalın elastomer malzeme kullanıldığı varsayılmıştır.

<sup>2</sup>  $\lambda_{s,üst}$  denklemlerinde kullanılan  $T_{min}$  (°C), T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından köprünün bulunduğu konum için yayınlanan en soğuk aya ait ortalama en düşük hava sıcaklığıdır

Tablo 7.2 Elastomer deprem yalıtım mesnetleri için alt sınır özellik değiştirme katsayıları.

Özellik Değiştirme Katsayıları		Düşük Sönümlü Elastomer Mesnet	Yüksek Sönümlü Elastomer Mesnet		Kurşun Çekirdekli Mesnet <sup>1</sup>	
		K <sub>d</sub>	Q <sub>d</sub>	K <sub>d</sub>	Q <sub>d</sub>	K <sub>d</sub>
$\lambda_{y,alt}$		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\lambda_{aş,alt}$		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\lambda_{k,alt}$		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\lambda_{test,alt}$		1.0	0.95	0.95	0.95	1.0
$\lambda_{üirt,alt}$	Yüksek kalitede imalat	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	Standart kalitede imalat	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
$\lambda_{s,alt}$		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

<sup>1</sup> Kurşun çekirdekli mesnet imalatında düşük sönümlü yalın elastomer malzeme kullanıldığı varsayılmıştır.

Tablo 7.3 Elastomer esaslı mesnetler için  $\beta$  çarpanları

Köprü Önem Sınıfı (KÖS)	$\beta_{aş}$	$\beta_k$	$\beta_s$	$\beta_{test}$	$\beta_{ürt}$	$\beta_y$
KÖS-1	1.0	1.0	0.90	1.0	1.0	0.95
KÖS-2	1.0	1.0	0.75	1.0	1.0	0.85
KÖS-3	1.0	1.0	0.65	1.0	1.0	0.75

Tablo 7.4 Kayma esaslı deprem yalıtım mesnetleri için üst sınır özellik değiştirme katsayıları.

Özellik Değiştirme Katsayıları		Yüzeyi yağlanmamış PTFE	Yüzeyi yağlanmış PTFE
$\lambda_{test,üst}$		1.20	1.30
$\lambda_{ürt,üst}$	Yüksek kalitede imalat	1.05	1.05
	Standart kalitede imalat	1.10	1.10
$\lambda_{aş,üst}$	$D_s \leq 1.0\text{km}$	1.0	1.0
	$1.0\text{km} \leq D_s \leq 2.0\text{km}$	1.20	1.0
$\lambda_{k,üst}$	Aşağı bakan korunaklı sürtünme yüzeyi	1.0	1.0
	Yukarı bakan korunaklı sürtünme yüzeyi	1.10	1.10
	Aşağı bakan korunaksız sürtünme yüzeyi	1.20	3.0
	Yukarı bakan korunaksız sürtünme yüzeyi	Kullanılamaz	Kullanılamaz
$\lambda_{y,üst}$	Korunaklı sürtünme yüzeyi	Normal düzeyde çevre etkisi	1.10
		Şiddetli düzeyde çevre etkisi	1.20
	Korunaksız sürtünme yüzeyi	Normal düzeyde çevre etkisi	1.20
		Şiddetli düzeyde çevre etkisi	1.50
$\lambda_{s,üst}$	$0 \leq T_{min} < 20$	$1.10 - 0.005 T_{min} $	$1.3 - 0.015 T_{min} $
	$-10 \leq T_{min} < 0$	$1.10 - 0.01 T_{min} $	$1.3 - 0.020 T_{min} $
	$-30 \leq T_{min} < -10$	$1.05 + 0.015 T_{min} $	$0.75 + 0.075 T_{min} $

Şiddetli düzeyde çevre etkisi, denize ya da endüstriyel bölgelere yakın konumlarda kullanılan mesnetler için kullanılır

$D_s$ : Servis ömrü boyunca toplam ardışık mesnet kayma mesafesi

Tablo 7.5 Kayma esaslı deprem yalıtım mesnetleri için alt sınır özellik değiştirme katsayıları.

Özellik Değiştirme Katsayıları		Yüzeyi yağlanmamış PTFE	Yüzeyi yağlanmış PTFE
$\lambda_{test,alt}$		0.95	0.95
$\lambda_{ürt,alt}$	Yüksek kalitede imalat	0.95	0.95
	Standart kalitede imalat	0.90	0.90
$\lambda_{aş,alt}$		1.0	1.0
$\lambda_{k,alt}$		1.0	1.0
$\lambda_{y,alt}$		1.0	1.0
$\lambda_{s,alt}$		1.0	1.0



Tablo 7.6 Kayma esaslı mesnetler için  $\beta$  çarpanları

Köprü (KÖS)	Önem Sınıfı	$\beta_{aş}$	$\beta_k$	$\beta_s$	$\beta_{test}$	$\beta_{ürt}$	$\beta_y$
KÖS-1		0.95	0.97	0.95	1.0	1.0	0.97
KÖS-2		0.87	0.92	0.87	1.0	1.0	0.92
KÖS-3		0.80	0.87	0.80	1.0	1.0	0.87

Tablo 7.7 Metal esaslı sönümleyiciler için üst sınır özellik değiştirme katsayıları.

$\lambda_{ürt,üst}$	Yüksek kalitede imalat	1.02
	Standart kalitede imalat	1.05
$\lambda_{test,üst}$		1.0
$\lambda_{aş,üst}$		1.0
$\lambda_k,üst$		1.0
$\lambda_y,üst$		1.0
$\lambda_s,üst$		1.0

Tablo 7.8 Metal esaslı sönümleyiciler için alt sınır özellik değiştirme katsayıları.

$\lambda_{ürt,alt}$	Yüksek kalitede imalat	0.98
	Standart kalitede imalat	0.95
$\lambda_{test,alt}$		1.0
$\lambda_{aş,alt}$		1.0
$\lambda_k,alt$		1.0
$\lambda_y,alt$		0.95
$\lambda_s,alt$		1.0

Tablo 7.9 Metal esaslı sönümleyiciler için  $\beta$  çarpanları

Köprü (KÖS)	Önem Sınıfı	$\beta_{aş}$	$\beta_k$	$\beta_s$	$\beta_{test}$	$\beta_{ürt}$	$\beta_y$
KÖS-1		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
KÖS-2		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
KÖS-3		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tablo 7.10 Viskoz enerji sönümleyiciler için üst sınır özellik değiştirme katsayıları.

$\lambda_{ürt,üst}$	Yüksek kalitede imalat	1.05
	Standart kalitede imalat	1.10
$\lambda_{test,üst}$		İmalatçı test verilerinden belirlenecektir
$\lambda_{aş,üst}$		1.0
$\lambda_k,üst$		1.0
$\lambda_y,üst$		İmalatçı test verilerinden belirlenecektir
$\lambda_s,üst$		İmalatçı test verilerinden belirlenecektir

Tablo 7.11 Viskoz enerji sönümleyiciler için alt sınır özellik değıştirme katsayıları.

$\lambda_{\text{ürt,alt}}$	Yüksek kalitede imalat	0.95
	Standart kalitede imalat	0.90
$\lambda_{\text{test,alt}}$	İmalatçı test verilerinden belirlenecektir	
$\lambda_{\text{aş,alt}}$	İmalatçı test verilerinden belirlenecektir	
$\lambda_{\text{k,alt}}$	1.0	
$\lambda_{\text{y,alt}}$	İmalatçı test verilerinden belirlenecektir	
$\lambda_{\text{s,alt}}$	İmalatçı test verilerinden belirlenecektir	

Tablo 7.12 Viskoz enerji sönümleyiciler için  $\beta$  çarpanları

Köprü (KÖS)	Önem Sınıfı	$\beta_{\text{aş}}$	$\beta_{\text{k}}$	$\beta_{\text{s}}$	$\beta_{\text{test}}$	$\beta_{\text{ürt}}$	$\beta_{\text{y}}$
KÖS-1		0.95	1.0	0.95	1.0	1.0	0.95
KÖS-2		0.87	1.0	0.87	1.0	1.0	0.85
KÖS-3		0.80	1.0	0.80	1.0	1.0	0.75

## 8. DEPREM YALITIM SİSTEMLERİ İÇİN GEREKSİNİMLER

### 8.1. Deprem Yalıtım Sisteminin Merkezlenme Özelliği

Merkezlenme özelliği, deprem etkisi altında deprem yalıtım sisteminde birikerek artan yer-değıştirmelerin oluşmasını önlemek için gerekmektedir. Köprü deprem yalıtım sisteminin bu şartnamede öngörülen asgari merkezlenme koşulunu yerine getirmek için, depremselliği kontrol eden aktif fay hattına 20 kilometre ve daha az mesafede olan köprüler için Denklem (8.1), 20 km'den daha fazla mesafede olan köprüler için Denklem (8.2) ve köprünün fay hattına olan mesafesine bakılmaksızın Denklem (8.3)'te verilen eşitsizliklerin sağlanması gerekmektedir.

$$T_d \leq 4.5 \text{ s.} \quad (8.1)$$

$$T_d \leq 6.0 \text{ s.} \quad (8.2)$$

$$F(d_o) - F(0.5d_o) \geq 0.0125W \quad (8.3)$$

Burada;

$F(d_o)$  Analiz sonucunda elde edilen depremsel yer-değıştirme seviyesinde ( $d_o$ ) deprem yalıtım sisteminde oluşan kuvvet

$F(0.5d_o)$  Analiz sonucunda elde edilen depremsel yer-değıştirmenin %50'sinde deprem yalıtım sisteminde oluşan kuvvet.

Deprem yalıtımlı köprü tasarımında düz kayıcı mesnetlerin kullanıldığı durumda, merkezlenme koşulu merkezleme özelliğine sahip ilave sistemler kullanılarak sağlanabilir.

### 8.2. Deprem Yalıtım Mesnedinin Dönme Kapasitesi

Elastomer deprem yalıtım mesnetlerinin tasarımında asgari dönme kapasitesi aşağıdakilerin toplamı olarak alınacaktır:

- Taşıma gücü yük birleşiminden elde edilen dönme.

- Belirsizlikleri karşılayan bir dönme payı. Bu değer, kalite kontrol verilerine bağlı olarak aksi ispatlanmadıkça 0.005 rad. olarak alınabilir.

Kayma esaslı deprem yalıtım mesnetlerinin tasarımında asgari dönme kapasitesi yukarıda belirtilen dönmelerin toplamı ile köprü inşası esnasında, imalat ve montaj toleransları nedeniyle oluşacak dönmelerin toplamından elde edilecektir. Bu değer, kalite kontrol verilerine bağlı olarak aksi ispatlanmadıkça 0.005 rad olarak alınabilir.

### **8.3. Deprem Yalıtım Sisteminin Servis Yükleri Altında Yatay Rijitliği**

Rüzgar, fren ve demaraj yükleri altında deprem yalıtım biriminin yatay yer değiştirmesi, deprem yalıtım biriminin maksimum yer değiştirme kapasitesinin %1.5'unun altında olmalıdır. Hiçbir koşulda bu yer değiştirme orta ayaklarda 3 mm'nin kenar ayaklarda ise 5 mm'nin üstünde olamaz. Bu koşul sağlanamadığı durumda, mekanik kilitleyiciler kullanılabilir.

Demiryolu köprüleri için ek koşullar Bölüm 9.4'te verilmiştir.

### **8.4. Deprem Yalıtım Biriminin Çok Sıcak ve Çok Soğuk İklim Koşullarında Uygulanması**

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından raporlanan hava sıcaklığı verilerine göre yıl boyunca en soğuk ayın ortalama en düşük hava sıcaklığı -10 derecenin altında olan bölgelerde, elastomer esaslı ve yüzeysel yağlanmamış kayma esaslı deprem yalıtım mesnetleri kullanılmaz. Proje gereksinimlerinden dolayı bu tür mesnetlerin kullanılması gerekiyorsa, köprü sahasının en düşük hava sıcaklığı koşullarında mesnetler servis yük ve yer değiştirmelerine maruz bırakılarak deneylere tabi tutulmalı ve bu deneyler sonucunda mesnedin yatay rijitliği, sürtünme katsayısı gibi özellikler belirlenmelidir. Köprü alt yapısının servis yükleri altındaki tasarımı düşük sıcaklık koşullarında yapılan deneylerden elde edilen özellikler kullanılarak gerçekleştirilmelidir. Yukarıda bahsedilen deneyler elastomer esaslı deprem yalıtım mesnetleri için TS EN 1337-3:2005 Bölüm F ile TS EN 15129:2009 Bölüm 8.2.2.1.3.4, kayma esaslı deprem yalıtım mesnetleri için ise TS EN 15129:2009 Bölüm D.6.1'de tarif edildiği şekilde yapılmalıdır.

## **9. YAPISAL TASARIM KURALLARI**

### **9.1. Deprem Yalıtım Sisteminin İşlev Görmesi İçin Gereken Boşluklar**

Deprem yalıtımlı köprülerde, üst yapının deprem esnasında her yöne tabliye düzlemi içerisinde serbest hareket edebilmesi için üst yapı etrafında gerekli boşluklar bırakılmalıdır. Bu boşluklar Bölüm 4.2'de verilen yer-değiştirme kapasitesinden daha ( $d_T$ ) az olamaz.

### **9.2. Üst Yapıda Yalıtım Sisteminin Değişimi İçin Enleme Kirişi**

Deprem yalıtım mesnetlerinin servis ömürleri sonunda değiştirilebilmesi için üst yapının mesnet bölgesindeki kısımlarında enleme kirişlerine ihtiyaç vardır. Bu kirişler, belirli noktalarda krika vasıtasıyla kaldırıldıklarında üst yapı yükünü taşıyacak şekilde tasarlanmalı ve krika uygulama noktaları, ilgili köprü paftasında gösterilmelidir.

### **9.3. Köprü Ayaklarının ve Temellerin Tasarım Kuralları**

Köprü ayaklarının ve temellerin tasarımında Bölüm 3'e göre hesaplanan taban kesme kuvveti, her hangi bir azaltma katsayısı uygulamadan, kullanılacaktır. Tasarımda kesit mukavemetleri beton ve çelik malzemenin beklenen dayanımı göz önünde bulundurularak hesaplanacaktır. Köprü tasarımında kullanılan beton ve çelik malzemelerin beklenen dayanımları, bu malzemelerin anma dayanımları kullanılarak Tablo 9.1'de belirlendiği gibi hesaplanır.

Tablo 9.1 Beklenen (Ortalama) Malzeme Dayanımları

Beton	$f_{ce} = 1.3 f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye} = 1.2 f_{yk}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{ye} = 1.5 f_{yk}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{ye} = 1.3 f_{yk}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$

Köprü alt yapısının ısı yükleri altındaki tasarımında mesnetteki statik sürtünme katsayısının üst sınırları göz önünde bulundurularak hesaplanan kuvvetler kullanılmalıdır.

#### 9.4. Demiryolu Köprülerine Ait Özel Tasarım Kuralları

Demiryolu köprülerinde hareketli yük etkisi altında deprem yalıtım mesnedinde oluşan düşey yöndeki yer-değiştirme 3mm'den büyük olmamalıdır.

Demiryolu köprülerinde kullanılan deprem yalıtım mesnetlerinin asgari dönme kapasitesi 0.04 rad. olmalıdır.

Demiryolu köprülerinde kullanılan kayma esaslı mesnetlerdeki sürtünme kuvveti, fren ve demaraj yüklerini karşılayan bir direnç kuvveti olarak kullanılamaz.

Sürekli raylara sahip yüksek hızlı tren hattını taşıyan demiryolu köprülerinde fren ve demaraj yükleri altında mesnedin yanal yer-değiştirmesi, orta ayaklarda 2 mm, kenar ayaklarda ise 5 mm ile sınırlandırılmalıdır. Bu koşul sağlanamadığı takdirde köprüde özel kilitleyici cihazlar kullanılabilir.

## 10. DENEYLER

Deprem yalıtımlı köprülerde kullanılacak olan deprem yalıtım birimleri hem model hem de üretim deneylerine tabi tutulacaktır. Model ve üretim deney numuneleri deney öncesi,  $20^{\circ} \pm 4^{\circ}\text{C}$ 'sıcaklıktaki bir ortamda 12 saat boyunca tutulmalıdır.

Deneylerden önce, deprem yalıtım biriminin üstüne metal bir etiket monte edilerek ürüne ait üretim seri numarası, imalat tarihi, imalat yeri, tasarım yükleri (mesnetler için tasarım ölü ve hareketli yükü) ile sözleşme numarası yazılmalıdır.

Model deneyleri, yetkili bir mühendis ve proje teknik danışmanın müşahadesinde TS ISO/IEC 17025'e göre akredite edilmiş olan bağımsız bir laboratuvarında yapılmalıdır.

### 10.1. Model Deneyleri

#### 10.1.1. Deprem Yalıtım Mesnetlerine Uygulanan Model Deneyleri

Model deneyleri her bir deprem yalıtım mesnedi tipi için en az iki gerçek boyutta numune üzerinde aşağıda belirtilen sırayla gerçekleştirilecektir. Deneyler esnasında her bir yer-değiştirme döngüsü için, numunenin yük yer-değiştirme histeretik eğrişi deney raporunda sunulmak üzere kaydedilmelidir. Model deneylerinde kullanılan deprem yalıtım mesnetleri, tüm model ve üretim kontrol deneylerini başarıyla tamamladıktan sonra, yetkili mühendis ve proje teknik danışmanın onayı alınmak kaydıyla deprem yalıtımlı köprüde kullanılabilir.

**Model deneyi 1:** Deprem yalıtım mesnedi, 5 mm/saniye yükleme hızını aşmamak kaydıyla, maksimum ısıll yer-değiştiriminin artı ve eksi sınırları arasında, 20 adet yer-değiştirme döngüsüne tabi tutulacaktır. Bu deneyde uygulanması gereken düşey yük, mesnede etki eden ölü yük ile hareketli yükün %20'sinin toplamına eşittir.

**Model deneyi 2:** Mesnet başına düşen maksimum rüzgâr yükünün artı ve eksi sınırları arasında, 20 kuvvet kontrollü döngü en az 40 saniyelik bir zaman dilimi içerisinde mesnede uygulanacaktır. Döngüsel kuvvet kontrollü deneyden sonra, maksimum rüzgâr yükü bir dakika süreyle mesnede uygulanacaktır. Bu deneyde uygulanan düşey yük, tüm mesnetlere etki eden ölü yükün ortalamasına eşittir. Test esnasında mesnette herhangi bir yatay hareket gözlenmemelidir.

**Model deneyi 3:** Mesnet başına düşen maksimum fren yükünün artı ve eksi sınırları arasında, 20 kuvvet kontrollü döngü en az 40 saniyelik bir zaman dilimi içerisinde mesnede uygulanacaktır. Döngüsel kuvvet kontrollü deneyden sonra, maksimum fren yükü bir dakika süreyle mesnede uygulanacaktır. Bu deneyde uygulanan düşey yük, tüm mesnetlere etki eden ölü yükün ortalamasına eşittir. Test esnasında mesnette herhangi bir yatay hareket gözlenmemelidir.

**Model deneyi 4:** Deprem yalıtım mesnedi, arttırılmış depremsel yer-değiştiriminin ( $d_1$ ) %25, %50, %75 ve %100'ü ( $0.25d_1$ ,  $0.5d_1$ ,  $0.75d_1$  ve  $1.0d_1$ ) büyüklüğünde üçer adet döngüsel yer değiştirmeye tabi tutulmalıdır. Bu deneyde uygulanması gereken düşey yük, mesnede etki eden ölü yüküdür. Deneyler tasarımıda öngörülen hıza eşit bir hızda yapılacaktır.

**Model deneyi 5:** Bu deney olası bir depremden sonra deprem yalıtım mesnedinin performansını doğrulamak için yapılır ve Deney 4'ün tekrarından ibarettir. Bu deneyi yapmadan önce, mesnet bekletilerek, kayma yüzeyindeki ısınnın oda sıcaklığı seviyesine ulaşması beklenir.

**Model deneyi 6:** Olası bir depremden sonra deprem yalıtım mesnedinin rüzgâr yüküne dayanabildiğini doğrulamak için Deney 2 tekrarlanır.

**Model deneyi 7:** Büyük bir depremden sonra deprem yalıtım mesnedinin fren yüküne dayanabildiğini doğrulamak için Deney 3 tekrarlanır.

**Model deneyi 8:** Bu deney deprem yalıtım mesnedinin kararlılığını kanıtlamak, için yapılır. Deneyde, deprem yalıtım mesnedi, arttırılmış depremsel yer-değiştirmeye ( $d_1$ ) eşit genliğe sahip bir döngüye tabi tutulacaktır. Deney, sırasıyla, mesnede etki eden  $0.9 \times$  ölü yük ile ölü ve hareketli yükün toplamı altında tekrarlanacaktır.

Model deneyleri aşağıda verilen koşulları sağlamalıdır:

- Model deneyleri 4 ve 5'te mesnede uygulanan her bir döngüsel yer-değiştirme seviyesinde ( $0.25d_1$ ,  $0.5d_1$ ,  $0.75d_1$  ve  $1.0d_1$ ), her bir döngü için etkin rijitlik ( $k_e$ ) hesaplanır. Hesaplanan etkin rijitlikler, üç döngüden elde edilen ortalama etkin rijitliğin %25'in den daha fazla farklılık gösteremez.
- Model deneyleri 4 ve 5'te, arttırılmış depremsel yer-değiştirme seviyesinde ( $1.0d_1$ ), mesnede uygulanan her bir döngü için sönmölenen enerji hesaplanarak ortalama değer bulunur. Hesaplanan bu ortalama enerji sönmöleme kapasitesi, tasarım değerinin %80'ninden daha az olamaz. .
- Model deneyleri 4 ve 5'te üç son döngü esas alınarak hesaplanan ortalama etkin rijitlik, tasarım değerinin %80 - %120'si sınırları arasında olacaktır.
- Model deneyleri 4 ve 5'te iki deney numunesinden elde edilen sonuçların ( $k_e$  ve DSE (Döngü başına sönmölenen enerji)) arasındaki fark %15'in altında olmalıdır.

• Tüm model deneylerinden sonra, kayıcı malzemenin yuvalandığı metal yüzeyden ayrılması, paslanmaz çelik levhaların yerinden çıkması veya çizilmesi, kalıcı şekil değiştirme, metal yüzeylerde çatlaklar, mesnet bileşenlerinin kırılması ve kayıcı malzemenin aşırı aşınması durumunda mesnetler ret edilmelidir.

### 10.1.2. Metal Esaslı Enerji Sönümleyicilere Uygulanan Model Deneyleri

Model deneyleri her bir metal esaslı enerji sönümleyici tipi için deney başına en az bir adet tam boyutlu bir numune kullanılarak aşağıda belirtilen sırayla yapılacaktır.

**Model Deneyi 1:** Kuvvet-yer-değiştirme döngüsünün değerlendirilmesi amacıyla metal esaslı enerji sönümleyici arttırılmış depresel yer-değiştirmenin ( $d_1$ ) %25 ve %50'si ( $0.25d_1$ ,  $0.5d_1$ ) büyüklüğünde beşer adet ve %100'ü ( $1.0d_1$ ) büyüklüğünde ise 10 adet döngüsel yer değiştirmeye tabi tutulmalıdır. Ölçeklenmiş numune kullanılması durumunda uygulanan yer-değiştirmeler ile döngü sayısı tutarlı bir şekilde ölçeklendirilmelidir. Deney sonucunda enerji sönümleyicide malzeme yorulmasına bağlı çatlaklar ya da metal aksamda kırılma olmamalı ve deney esnasında cihazın özelliklerinde ( $k_p$ ,  $k_e$  ve DSE) herhangi bir değişim gözlemlenmemelidir. Model deneylerinde, arttırılmış depresel yer değiştirme kullanılarak uygulanan 10 adet döngünün üçüncü döngüsünden elde edilen parametreler ( $k_p$ ,  $k_e$  ve DSE), tasarımda kullanılan değerlerin %15'den daha fazla bir farklılık göstermemelidir

**Model Deneyi 2:** Deprem yalıtımlı köprülerde kullanılan metal esaslı enerji sönümleyici elemanların döngüsel yorulma ömrü, tam tersinir arttırılmış depresel yer-değiştirme döngüleri altında ( $\pm d_1$ ), en az 40 olmalıdır. Yorulma ömrünü belirleyen döngü sayısı, sönümleyicinin tam tersinir döngüsel yükler altındaki tepki kuvvetinin %15 kadar düştüğü andaki döngü sayısı olarak belirlenir.

### 10.1.3. Viskoz Enerji Sönümleyicilere Uygulanan Model Deneyleri

Model deneyleri her bir viskoz enerji sönümleyici tipi için deney başına en az bir adet tam boyutlu bir numune kullanılarak aşağıdaki sırayla yapılacaktır. Deney esnasında numunenin sıcaklığı, üretici firma tarafından cihaz gövdesi üzerinde kritik olarak belirlenen iki noktada izlenmelidir. Sıcaklık ölçümü, deneyden beş dakika önce başlamalı ve deneyden sonra 15 dakika boyunca devam etmelidir.

**Model Deneyi 1:** Deprem yalıtımlı köprülerde kullanılan viskoz enerji sönümleyiciler için 10242 m. aşınma deneyleri yapılmalıdır. Deneyden önce, deney hızını arttırmak ve döngüsel yer-değiştirmeler altında aşırı ısınmayı önlemek amacıyla enerji sönümleyicideki sıvı ya boşaltılmalı ya da cihazın valf sistemi atlatılmalıdır. Bu deneyler, viskoz enerji sönümleyicinin servis yükleri altındaki performansını doğrulamak için gereklidir. Diğer model deneyleri yapılmadan önce viskoz enerji sönümleyici içerisine, boşaltıldıysa tekrar sıvı konmalı ya da valf sistemi atlatıldıysa tekrar devreye sokulmalıdır. Takip eden deneylerin sonucunda enerji sönümleyicide aşınma nedeniyle herhangi bir sızma meydana gelmemelidir

**Model Deneyi 2:** Viskoz enerji sönümleyiciye, cihaza ait maksimum yük kapasitesi kullanılarak hesaplanan iç basıncın %125'ine eşit bir iç basınç uygulanacaktır. Bu basınç 120 saniye boyunca sabit tutulmalıdır. Deney sonunda viskoz enerji sönümleyicide görünür bir sızıntı, fiziksel hasar veya performans düşüşü gözlenmemesi gerekmektedir.

**Model Deneyi 3:** Bu deneyin amacı, enerji sönümleyicinin kuvvet-hız eğrisini, yani  $C$  ve  $\alpha$  parametrelerini belirlemektir. Aşağıda belirtilen her bir hızda, enerji sönümleyiciye depresel yer-değiştirmeye ( $d_0$ ) eşit tam tersinir üç tam döngü uygulanmalıdır. Bu döngüler, tasarım hızının %1, %25, %50, %75 ve %100'üne tekabül eden hızlarda tekrarlanacaktır. Enerji sönümleyicinin tepki kuvveti, uygulanan her bir yükleme hızında, ikinci döngüden elde edilen kuvvet-yer değiştirme histeretik eğrisinin kuvvet eksenine sıfır yer değiştirme noktasında kesiştiği artı ve eksi değerlerin ortalaması olarak tanımlanır. Enerji sönümleyicinin kuvvet-hız eğrisi tüm noktalarda tasarımda kullanılan anma eğrisinin %85 - %115 sınırları arasında olmalıdır.

**Model Deneyi 4:** Bu deneyin amacı, cihazın enerji sönümlenme kabiliyetini ve tepki kuvvetinin kararlılığını değerlendirmektir. Deneylerde uygulanan yükleme aşağıdaki gibi olacaktır: Numune  $d=d_0\sin(\omega t)$  şeklinde uygulanan beş adet tam tersinir yer-değiştirme döngülerine tabi tutulacaktır. Yukarıdaki denklemde kullanılan  $d_0$  yer-değiştirme ve  $\omega$  frekansı, deney sonucunda sönümlenen toplam enerji, DD-1 düzeyindeki bir depremde sönümlenen enerji miktarını aşmayacak şekilde belirlenir. Deneylerde uygulanması gereken beş adet döngü, deney cihazının kapasitesinin üstünde ise, deney, döngü grupları şeklinde, en az üç sürekli döngü uygulamak kaydıyla, gerçekleştirilebilir. Her bir döngü grubu arasında soğutma uygulanmayacaktır. Her döngüde enerji sönümleyicinin tepki kuvveti tasarım değerinin %85 - %115 sınırları arasında olmalıdır. Ayrıca, döngü başına sönümlenen enerjinin ortalaması (DSE), tasarım değerinin en az %85'i kadar olmalıdır.

## 10.2. Üretim Kontrol Deneyleri

Üretim kontrol deneyleri deprem yalıtım birimi üreticisinin fabrikasında veya yetkili mühendisi / teknik danışman tarafından onaylanan bir laboratuvarında, aşağıda verilen deney planına uygun olarak yapılacaktır. Deneyler yetkili mühendis ve/veya teknik danışman nezaretinde yapılmalıdır.

### 10.2.1. Deprem Yalıtım Mesnetlerine Uygulanan Üretim Kontrol Deneyleri

Üretim kontrol deneyleri köprünün yapımında kullanılacak olan deprem yalıtım mesnetlerinin tümü için (model mesnetleri dâhil) aşağıdaki gibi gerçekleştirilecektir.

**Üretim Kontrol Deneyi 1:** Mesnet, taşıma gücü yük birleşenine eşit büyüklükte bir düşey yük altında beş dakikalık bir süreyle tutulacaktır. Kalıcı şekil değiştirme, paslanmaz çelik levhalarda çizik, paslanmaz çelik levhanın yuvasından çıkması ve kayıcının metal yuvasından ayrılması ya da yapışma eksikliği gözlenmemelidir.

**Üretim Kontrol Deneyi 2:** Deprem yalıtım mesnedi, arttırılmış depremsel yer-değiştirmeye eşit büyüklükte üç adet döngüsel yer değiştirmeye tabi tutulmalıdır. Bu deneyde uygulanması gereken düşey yük, mesnede etki eden ölü yük ile hareketli yükün toplamına eşittir. Deney cihazının yer değiştirme kapasitesi arttırılmış depremsel yer-değiştirmeden daha düşükse, deneyler, yetkili mühendis ve/veya teknik danışmanın onayı alınarak, daha düşük bir yer değiştirme seviyesinde gerçekleştirilebilir.

Üretim kontrol deneyleri aşağıdaki koşulları sağlamalıdır:

- Her bir döngüden elde edilen  $k_{eff}$  ve DSE değerleri üç döngüden hesaplanan ortalama değerlerin %80 - %120'si sınırları arasında olacaktır.
- Deneylerin sonunda mesnette kalıcı şekil değiştirme, metal yüzeylerde çatlak ve mesnet bileşenlerinde kırılma olmamalı, kayıcı malzeme yuvalandığı metal yüzeyden ayrılmamalı ve paslanmaz çelik levhalar yerinden çıkmamalıdır.

### 10.2.2. Metal Esaslı Enerji Sönümleyicilere Uygulanan Üretim Kontrol Deneyleri

Üretim kontrol deneyleri yapımda kullanılacak olan metal esaslı enerji sönümleyicilerin %2'sine, bir numuneden az olmamak kaydıyla Bölüm 10.1.2'de tanımlanan Model Deneyi 1'e göre yapılacaktır.

### 10.2.3. Viskoz Enerji Sönümleyicilere Uygulanan Üretim Kontrol Deneyleri

Üretim kontrol deneyi olarak, yapımda kullanılacak olan viskoz enerji sönümleyicilerin %100'üne Bölüm 10.1.3'te tanımlanan Model Deneyi 2 (basınç deneyi), %5'ine ise Model Deneyi 3 ve 4 uygulanacaktır.



## 11. İZLEME VE BAKIM

Tüm deprem yalıtım birimleri izleme ve bakım için erişilebilir olmalıdır. Deprem yalıtım birimlerinin izleme ve bakımı için bir program hazırlanmalıdır.

TASLAK