

**EK**

**DEPREM ETKİSİ ALTINDA BORU HATTI SİSTEMLERİ  
TASARIMI İÇİN ESASLAR**

## **KISIM-1**

**BORU HATTI SİSTEMLERİ (PETROL, DOĞALGAZ, SU, ATIK SU)**

# İÇİNDEKİLER

## SİMGELER

### BÖLÜM 1 – GENEL HÜKÜMLER

- 1.1. KAPSAM
- 1.2. GENEL İLKELER
- 1.3. ÖZEL KONULARDA TASARIM GÖZETİMİ VE KONTROLÜ
- 1.4. İLGİLİ STANDART, YÖNETMELİK VE/VEYA DOKÜMANLAR

### BÖLÜM 2 – DEPREM YER HAREKETİ

- 2.1. DEPREM TEHLİKE HARİTALARI
- 2.2. DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYLERİ
- 2.3. STANDART DEPREM YER HAREKETİ EN BÜYÜK YER İVMESİ, EN BÜYÜK YER HIZI VE SPEKTRUMLAR
- 2.4. YÜZEYE SİRASET EDEN FAY YIRTILMALARI SONUCU KALICI FAY DEPLASMANLARI
- 2.5 SAHAYA ÖZEL DEPREM TEHLİKESİ HESABI
- 2.6 ZAMAN TANIM ALANINDA DEPREM TEHLİKESİ HESABI
- 2.7. YAPI DAVRANIŞ KAYITÇILARININ YERLEŞTİRİLMESİ

### BÖLÜM 3 – DEPREM ETKİSİ ALTINDA PERFORMANSA GÖRE ANALİZ VE TASARIM ESASLARI

- 3.1. PERFORMANSA GÖRE ANALİZ VE TASARIMIN TEMEL PARAMETRELERİ
- 3.2. TASARIM SINIFLARI
- 3.3. DEĞERLENDİRME VE TASARIM YÖNTEMLERİ (DEĞİŞİK DEPREM YER HAREKETİ SEVİYELERİ VE TASARIM SINIFLARINA UYGUN OLARAK KULLANILACAK ANALİZ/TASARIM YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ)
- 3.4. BORU HATTI BAĞLANTI NOKTALARI İÇİN SÜNEK DAVRANIŞ İLKELERİ

### BÖLÜM 4 – BORU HATLARININ DEPREM DAVRANIŞI

- 4.1. DEFORMASYON TİPLERİ – EKSENEL, KESME VE EĞİLME YERDEĞİŞTİRMELERİ, ENİNE OVALLEŞME YERDEĞİŞTİRMELERİ
- 4.2. ANALİZ/TASARIM FELSEFESİ VE SÜRECİ

### BÖLÜM 5 – YER SARSINTISI İÇİN ANALİZ VE TASARIM: EŞDEĞER STATİK YÖNTEM

- 5.1. ZEMİN SERBEST SAHA YERDEĞİŞTİRMELERİ İÇİN KAPALI FORM ÇÖZÜMLER
- 5.2. EKSENEL BİRİM YERDEĞİŞTİRMELER İÇİN BASITLEŞTİRİLMİŞ DENKLEMLER

### BÖLÜM 6 – KALICI ZEMİN HAREKETLERİ İÇİN ANALİZ VE TASARIM: EŞDEĞER STATİK YÖNTEM

- 6.1. KALICI FAY ZEMİN HAREKETLERİ İÇİN ANALİZ VE TASARIM
- 6.2. HEYELAN VE SIVILAŞMA SONUCU YANAL YAYILMA HAREKETLERİ İÇİN ANALİZ VE TASARIM

### BÖLÜM 7 – KALICI ZEMİN HAREKETLERİ VE YER SARSINTISI İÇİN ANALİZ VE TASARIMA YÖNELİK SAYISAL YÖNTEMLER

- 7.1. GÖMÜLÜ SÜREKLİ BORU HATLARININ ANALİZİ VE TASARIMINA YÖNELİK SAYISAL YÖNTEMLER
- 7.2. GÖMÜLÜ PARÇALI BORU HATLARININ ANALİZİ VE TASARIMINA YÖNELİK SAYISAL YÖNTEMLER
- 7.3. GÖMÜLÜ OLMAYAN BORU HATLARININ ANALİZİ VE TASARIMINA YÖNELİK SAYISAL YÖNTEMLER

### BÖLÜM 8 – EŞDEĞER STATİK VE SAYISAL YÖNTEMLER ÇERÇEVESİNDE ELDE EDİLEN BİRİM YERDEĞİŞTİRMELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

- 8.1. PARÇALI BORU HATLARI
- 8.2. SÜREKLİ BORU HATLARI

### BÖLÜM 9 – SU ARITMA TESİSLERİ İÇİN ANALİZ VE TASARIM

- 9.1 GENEL HÜKÜMLER

### BÖLÜM 10 – POMPA İSTASYONLARI İÇİN ANALİZ VE TASARIM

- 10.1 GENEL HÜKÜMLER

**BÖLÜM 11 – DEPREM ETKİSİ ALTINDA BORU HATTI SİSTEMLERİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE GÜÇLENDİRME TASARIMI İÇİN GENEL KURALLAR**

11.1. TANIM, KAPSAM VE GENEL İLKELER

11.2. MEVCUT BORU HATTI SİSTEMLERİNDEN BİLGİ TOPLANMASI VE ANALİZİ

11.3- MEVCUT VE/VEYA GÜÇLENDİRİLECEK BORU HATTI SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ VE DEPREM HESABI

11.4. BORU HATLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ

11.5. SU ARITMA TESİSLERİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ

11.6. POMPA İSTASYONLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ

**BÖLÜM 12 – ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN VE DEPREM ETKİSİ ALTINDA ZEMİN DAVRANIŞININ BELİRLENMESİNE İLİŞKİN KURALLAR**

## SİMGELER

$A$	=	Boru kesit alanı
$AD$	=	Beklenen ortalama kalıcı fay hareketi [m]
$C_R$	=	R (Rayleigh) deprem dalgası yayılma hızı
$C_S$	=	S deprem dalgası görünür yayılma hızı
$D$	=	Boru dış çapı
$D_{min}$	=	Boru iç çapı
DD-1	=	Spektral büyüklüklerin 50 yılda (100 yılda) aşılma olasılığının %2 (%4) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu deprem yer hareketi
DD-1a	=	Spektral büyüklüklerin 50 yılda (100 yılda) aşılma olasılığının %5 (%10) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 975 yıl olduğu deprem yer hareketi
DD-2	=	Spektral büyüklüklerin 50 yılda (100 yılda) aşılma olasılığının %10 (%20) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu deprem yer hareketi
DD-3	=	Spektral büyüklüklerin 50 yılda (100 yılda) aşılma olasılığının %50 (%75) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu deprem yer hareketi
$E$	=	Boru elastisite modülü
$F_p$	=	Serbest uç - pim mesnet koşulunu temsil eden sistemde meydana gelen eksenel kuvvet
$F_{PGA}, F_{PGV}$	=	Sırasıyla PGA' ve PGV' değerleri için yerel zemin katsayıları
$F_S, F_1$	=	Sırasıyla $S'_S$ ve $S'_1$ için yerel zemin katsayıları
$g$	=	Yerçekimi ivmesi [ $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ]
$H$	=	Serbest zemin yüzeyinden boru merkezine olan derinlik
$imp$	=	Et kalınlığının belli bir yüzdesi olarak ifade edilen kabarma kusuru boyutu
$K_g$	=	Serbest saha eğrilik çapı
$K_o$	=	Sükunetteki yanal zemin basıncı katsayısı
$K_p$	=	Sürekli borularda heyelan ve sıvılaşmaya bağlı boru boyuna dik kalıcı zemin hareketi kaynaklı en büyük eğilme
$L_a$	=	Borunun fayı kestiği nokta ile borunun zemine mesnetlendiği nokta arasındaki mesafe
$L_d$	=	Borunun gömülü yapı içinde kalan ve boru-zemin arayüzeyinde sürtünme kuvvetlerinin var kabul edildiği uzunluk
$L_F$	=	Fay düzlemine olan mesafe [km]
$L_R$	=	Yedek boru hattı sayısı
$L_s$	=	Borunun gömülü yapı içinde kalan kısmının uzunluğu

$L'$	= Etkin kayma uzunluğu
$M$	= Eğilme momenti
$MD$	= Beklenen en büyük kalıcı fay hareketi [m]
$N_c$	= Taşıma kapasitesi katsayısı
$N_{ch}$	= Kil ve benzeri sürtünmesiz ( $\phi = 0$ ) zeminler için yatay taşıma kapasitesi katsayısı
$N_{cv}$	= Kil ve benzeri sürtünmesiz zeminler için düşey kaldırma katsayısı
$N_q$	= Taşıma kapasitesi katsayısı
$N_{qh}$	= Kum ve benzeri zeminler için yatay taşıma kapasitesi katsayısı
$N_{qv}$	= Kum ve benzeri kohezyonsuz zeminler için düşey kaldırma katsayısı
$N_y$	= Taşıma kapasitesi katsayısı
$PGA$	= Deprem Tehlikesi Haritası en büyük yer ivmesi [g]
$PGA'$	= En büyük doğrultu etkisi dikkate alınmış zemin etkilerinden bağımsız en büyük yer ivmesi [g]
$PGA_D$	= Tasarım için kullanılacak en büyük yer ivmesi [g]
$PGD$	= Kalıcı yanıl zemin hareketi büyüklüğü
$PGV$	= Deprem Tehlikesi Haritası en büyük yer hızı [cm/s]
$PGV'$	= En büyük doğrultu ve yakın fay etkisi dikkate alınmış zemin etkilerinden bağımsız en büyük yer hızı [cm/s]
$PGV_D$	= Tasarım için kullanılacak en büyük yer hızı [cm/s]
$P_{cr}$	= Öngörülen göçme basıncı
$P_e$	= Elastik burkulma basıncı
$P_{ext}$	= Net dış basınç
$P_u$	= Eşit yayılı enine yük büyüklüğü
$P_y$	= Kesit akma basıncı
$p$	= İç basınç
$p_y$	= Akma gerilmesi seviyesinde çevresel gerilme yaratan iç basınç
$Q_d$	= Borunun birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük düşey taşıma kuvveti
$Q_u$	= Borunun birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük düşey kaldırma kuvveti
$SRL$	= Fay segmentinin uzunluğu [km]
$S_{ae}(T)$	= Yatay elastik tasarım ivme spektrumu [g]
$S_{aeD}(T)$	= Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{de}(T)$	= Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi [m]
$S_{Ds}$	= Yatay ve düşey elastik tasarım spektrum hesabında kullanılacak kısa periyot spektral ivme değeri [g]

$S_{D1}$	= Yatay ve dişey elastik tasarım spektrum hesabında kullanılacak $T = 1.0$ s spektral ivme değeri [g]
$S_S$	= Deprem tehlikesi haritası kısa periyot spektral ivme değeri [g]
$S'_S$	= En büyük doğrultu ve yakın fay etkisi dikkate alınmış zemin etkilerinden bağımsız kısa periyot spektral ivme değeri [g]
$S_u$	= Drenajsız kayma dayanımı
$S_1$	= Deprem tehlikesi haritası $T = 1.0$ s spektral ivme değeri [g]
$S'_1$	= En büyük doğrultu ve yakın fay etkisi dikkate alınmış zemin etkilerinden bağımsız $T = 1.0$ s spektral ivme değeri [g]
$T$	= Doğal titreşim periyodu [s]
$T_A, T_B$	= Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları [s]
$T_L$	= Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
$T_u$	= Boru-zemin arayüzeyindeki en büyük eksenel kuvvet
$t$	= Boru et kalınlığı
$(V_s)_{30}$	= Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]
$W$	= Heyelan ve sıvılaşmadan dolayı kalıcı zemin hareketi bölgesi eni
$w_s$	= Birim boru uzunluğu için batık boru ağırlığı
$\alpha$	= Aderans katsayısı
$\beta$	= Boru hattının yanal atımlı fayı kesme açısı [derece]
$\delta$	= Boru-zemin arayüzeyi için sürtünme açısı
$\delta_o$	= İlk ovallık
$\delta_f$	= Toplam kalıcı fay hareketi (toplam fay atımı)
$\Delta t$	= En büyük eksenel kuvvete karşılık gelen dolgu malzemesi yerdeğiştirmesi [mm]
$\Delta$	= Alın kaynak noktasında boru ucu çıkıntısı boyutu
$\Delta_{kapasite}$	= Parçalı boru birleşim noktası yerdeğiştirme kapasitesidir
$\Delta p$	= En büyük enine kuvvete ( $P_u$ ) karşılık gelen yerdeğiştirme
$\Delta_{qd}$	= En büyük dişey taşıma kuvvetine ( $Q_u$ ) karşılık gelen yerdeğiştirme
$\Delta_{qu}$	= En büyük dişey kaldırma kuvvetine ( $Q_u$ ) karşılık gelen yerdeğiştirme
$\Delta_t$	= Eğilmeye bağlı yerdeğiştirme
$\Delta_{deprem}$	= Parçalı borular için ortalama bağlantı noktası eksenel yerdeğiştirme [cm]
$\Delta_{deprem,maks}$	= Parçalı borular için bağlantı noktasında en büyük eksenel yerdeğiştirme [cm]
$\Delta_{kapasite}$	= Parçalı boru birleşim noktası yerdeğiştirme kapasitesi
$\Delta_{operasyonel}$	= Deprem etkileri dışında parçalı boru hattına etki eden diğer yüklerin yarattığı birleşim noktası yerdeğiştirmelerinin toplamı
$C_{akma}$	= Boru malzemesi akma birim yerdeğiştirme değeri

- $\varepsilon_c$  = Gömülü boru hattı, kalıcı zemin deformasyonuna bağlı en büyük aksel basınç birim yerdeğiştirme
- $\varepsilon_c^*$  = Kıyı ötesi gömülü veya deniz tabanı üstünden giden boru hattı, kalıcı zemin deformasyonuna bağlı en büyük aksel basınç birim yerdeğiştirme
- $\varepsilon_g$  = En büyük zemin aksel birim yerdeğiştirmesi
- $\varepsilon_p$  = En büyük boru aksel birim yerdeğiştirmesi
- $\varepsilon_t$  = Karasal gömülü boru hattı, kalıcı zemin deformasyonuna bağlı en büyük aksel çekme birim yerdeğiştirme
- $\phi$  = Zemin kayma direnci açısı
- $\lambda$  = Deprem dalga boyu uzunluğu
- $\gamma_{deprem}$  = Parçalı borular için birleşme noktasında meydana gelen aksel açısal yerdeğiştirme
- $\gamma_{PGA}, \gamma_{PGV}$  = Sırasıyla PGA ve PGV için en büyük doğrultu etkisini dikkate alan katsayılar
- $\gamma_s, \gamma_1$  = Sırasıyla S<sub>s</sub> ve S<sub>1</sub>'de kullanılması için en büyük doğrultu etkisini dikkate alan katsayılar
- $\bar{\gamma}$  = Etkin zemin birim ağırlığı
- $\varphi_{PGV, YF}$  = PGV'de kullanılması için faya yakınlık katsayısı
- $\varphi_{1, YF}$  = S<sub>1</sub>'de kullanılması için faya yakınlık katsayısı
- $\kappa$  = Kalıcı fay hareketlerini boru tasarım sınıflarına göre değiştiren katsayı
- $\sigma_y$  = Akma gerilmesi



## BÖLÜM 1 – GENEL HÜKÜMLER

### 1.1. KAPSAM

**1.1.1 -** Bu Yönetmelik hükümleri, yeni yapılacak veya mevcut zemin üstüne veya altına döşenen, karada veya deniz altında (kıyı ötesi) imal edilen doğalgaz, sıvı hidrokarbon, su, atık su taşıyan boru hatlarının [TS 821 EN 1916, TS EN 639, TS EN 805, TS EN 14161, TS EN 1295 standartları kapsamına giren], su arıtma ve pompa istasyonu tesislerinin deprem etkisi altında tasarımı, performans değerlendirilmesi ve güçlendirmesi için uygulanacaktır.

**1.1.2 -** Bu Yönetmelik hükümlerinin kapsamı içine giren ve **1.1.1**'de anılan boru hatları **sürekli** ve **parçalı** boru hatları olarak iki temel grupta sınıflandırılacaktır.

**1.1.2.1 - Sürekli boru hatları**, boru hattı bağlantı noktalarındaki eksenel ve dönme rijitliklerinin, bu noktalardan uzak boru kesitlerindeki eksenel ve dönme rijitlikleri ile karşılaştırılabilir olduğu boru hatlarıdır. Alın kaynak, köşe dikişli ve geçmeli, civatalı flanş bağlantısı ile birleştirilmiş çelik boru hatları, yüksek yoğunluklu polietilen hammadde ile üretilmiş ve füzyon kaynakla bağlanmış boru hatları **sürekli boru hattı** grubuna örnek teşkil eder.

**1.1.2.2 - Parçalı boru hatları**, boru hattı bağlantı noktalarındaki eksenel ve dönme rijitliklerinin, bu noktalardan uzak boru kesitlerindeki eksenel ve dönme rijitliklerine göre çok daha az olduğu sistemlerdir. Kurşun muflu dökme demir borular, kauçuk jontalı birbiriyle esnek olarak birleştirilen demir veya donatılı, donatısız, çelik lifli betonarme borular **parçalı boru hattı** grubuna örnek teşkil eder.

### 1.2. GENEL İLKELER

**1.2.1 -** Bu Yönetmelik hükümlerine göre deprem etkisi altında yeni boru hatlarının tasarımında ve mevcut boru hatlarının değerlendirilmesinde esas alınacak deprem yer hareketi düzeyleri **Bölüm 2**'de tanımlanmıştır. Bu deprem yer hareketi düzeylerine karşı gelen deprem etkileri, 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile tanımlanmıştır.

**1.2.2 -** Bu Yönetmelik hükümlerinin **Bölüm 2.5**'te belirttiği koşullar söz konusu olduğunda sahaya özel deprem tehlikesi hesapları Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarının yerine deprem seviyelerinin belirlenmesinde kullanılacaktır.

**1.2.3 -** Bu Yönetmelik hükümlerinde belirtilen tasarım ve hesap kuralları yeni yapılacak ve mevcut doğalgaz, sıvı hidrokarbon, su, atık su taşıyan boru hatlarının, su arıtma ve pompa istasyonu tesislerinin deprem etkisi altında tasarımı, performans değerlendirilmesi ve güçlendirmesi için asgari koşulları içermekte olup, Yönetmeliğin belirlediği esaslar dâhilinde farklı yöntem ve hesaplar bu Yönetmelik kapsamına giren boru hattı sistemleri için uygulanabilir.

**1.2.4 -** Bu Yönetmelik hükümlerine göre deprem etkisi altında tasarımı yapılan boru hatları, malzeme ve işçilik koşulları bakımından Türk Standartları ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Genel Teknik Şartnamesi'ne, 10/7/2013 tarihli ve 28703 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Yapı Malzemeleri Yönetmeliği'ne, 26/6/2009 tarihli ve 27270 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Yapı Malzemelerinin Tabi Olacağı Kriterler Hakkında Yönetmelik kurallarına, 4/7/2014 tarihli ve 29050 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. Genel Müdürlüğü (BOTAŞ) Ham Petrol ve Doğalgaz Boru Hattı Tesislerinin Yapımı ve İşletilmesine Dair Teknik Emniyet ve Çerçeve Yönetmeliği'ne, BOTAŞ'ın doğalgaz ve sıvı hidrokarbon taşıyan borular için düzenlediği teknik şartnamelerin hükümlerine, İller Bankası Fersiyat Fenni Şartnamesi ve İller Bankası'nın Boru ve Bağlantı Parçaları için düzenlediği teknik şartnamelerin hükümlerine uygun olacaktır.

### 1.3. ÖZEL KONULARDA TASARIM GÖZETİMİ VE KONTROLÜ

**1.3.1 -** Bu Yönetmeliğin uygulanmasına ilişkin değerlendirme ve tasarım süreçlerinde, 1.3.3. maddesinde tanımlanan kapsamdaki özel uzmanlık gerektiren, konularda projenin başlangıcından tamamlanmasına kadar tüm tasarım aşamalarında görev yapacak şekilde, ilgili alanda teorik ve mesleki bilgi ve deneyim sahibi mühendislerden kurulu bir heyet vastası ile "tasarım gözetimi ve kontrolü" hizmeti alınması esastır.

İşbu heyetin başkanlığı, tüm tasarım aşamalarına hâkim, deprem mühendisliği ve yapı dinamiği konusunda uzman bir inşaat mühendisi tarafından yürütülecektir.

Teşkilatlanma yapısında, 1.3.3. maddesinde tanımlanan konularda uzman ekip/birim bulunduran kamu kurum ve kuruluşları için bu hizmetin alınıp alınmaması kararı kurum ve kuruluş bünyesinde verilecektir.

Teşkilatlanma yapısında, 1.3.3. maddesinde tanımlanan konularda uzman ekip/birim bulundurmeyen kamu kurum ve kuruluşları için bu hizmetin satın alınması zorunludur.

**1.3.2 -** Bu tür hizmetleri yerine getireceklerin eğitim koşulları, mesleki yeterlilik ve deneyim konuları ve bunların belgelendirilmesi ile hizmetin yürütülmesine ilişkin usul ve esaslar ile uygulamanın başlangıç tarihi kurumun en üst yetkili makamı tarafından belirlenir.

**1.3.3 -** Bu Yönetmeliğin uygulanmasında aşağıda belirtilen konular "tasarım gözetimi ve kontrolü" hizmetine tabidir:

- Bölüm 2.5** kapsamında belirtilmiş Sahaya Özel Deprem Tehlikesi Hesapları,
- Bölüm 2.6** kapsamında belirtilmiş Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması,
- Bölüm 3.4.1** kapsamında belirtilmiş sonlu elemanlar hesap yöntemlerinin kullandığı durumlar,
- Boru hattının geçtiği güzergâh boyunca deprem etkisi altında heyelan tetiklenmesi, sıvılaşma veya diğer özel durumlarda "İdare"nin bu Yönetmelik temel tasarım prensiplerinin bütünlüğünü bozmadan şart koştuğu özel teknik hükümler.

**1.3.4 -** Yeterli hesap modellerinin bulunmadığı, çok sayıda benzer bileşenin kullanıldığı durumlarda veya tasarımda kullanılan varsayımların doğrulanması amacıyla yapılacak deneysel çalışmalarda TS EN 1990 tarafından verilen esaslar veya eşdeğer uluslararası kurallar dikkate alınmalıdır.

### 1.4. İLGİLİ STANDART, YÖNETMELİK VE/VEYA DOKÜMANLAR

Bu Yönetmelik kapsamına giren boru hatları, su arıtma ve pompa istasyonlarının tasarımlarında kullanılacak diğer standart, yönetmelik ve dokümanlar Tablo 1.1'de verilmiştir.

**Tablo 1.1. İlgili Standard ve Yönetmelikler**

STANDARD ADI	STANDARD NO
Doğalgaz Taşıma ve Dağıtım Boru Hatlarında Kullanılan Genel Malzeme ve Ekipmanlar	TS 8040
Doğal Gaz Boru Hatları - Akma Sınırı ve Et Kalınlığı Farklı Olan Parça Uçlarının Alın Kaynak İçin Hazırlanması	TS 8093
Doğal Gaz Boru Hattı - Çelik Boru Donanımı Tesis Kuralları	TS 10038
Hat Borusu, Çelik - Yüksek Mukavemetli, Isıl İşlem Uygulanmış, Petrol ve Doğal Gaz Endüstrisi Boru Hatları İçin	TS 10485
Petrol ve Doğal Gaz Sanayileri - Boru hatları İçin Çelik Borular - Teknik Teslim Şartları - Bölüm 3: Sınıf C Özellikli Borular	TS 6047-3 ISO 3183-3
Petrol ve Doğal Gaz Sanayii - Korozyona Dayanıklı Alaşımli Dikişsiz Borular -	TS EN ISO 13680

STANDARD ADI	STANDARD NO
Muhafaza Borusu, Üretim Borusu ve Bağlantı Elemanı Malzemesi Olarak Kullanılan – Teknik Teslim Şartları	
Petrol ve Doğal Gaz Sanayileri – Boru hattı ile Taşıma Sistemleri – Boru Hatlarının Kaynak Yapılması	TS 8414 EN 14163
Petrol ve Doğalgaz Sanayi-Muhafaza Borusu, Üretim Borusu, Sondaj Borusu ve Hat Borularının Özellikleri İçin Bağlıntılar ve Hesaplamalar	TS ISO 10400
Kısmi korozyona uğramış Hat Borusu Mukavemetinin tayini	TS 7836
Petrol ve Doğal Gaz Sanayii - Ham Petrol ve Doğal Gaz Üretiminde H2S - İhtiva Eden Ortamlarda Kullanılacak Malzemeler - Bölüm 1: Çatlama Dayanıklı Malzemelerin Seçimi İçin Genel Kurallar	TS EN ISO 15156-1
Sıvı ve gaz taşımak için boru hatları	DIN 17172
Gas Transmission and Distribution Piping Systems	ANSI/ASME B31.8
Code of practice for pipelines. Pipelines on land: design, construction and installation. Glass reinforced thermosetting plastics	BS 8010
Yanıcı Akışkanlar İçin Boru Hatları - Çelik borular - Teknik Teslim Şartları - Bölüm 1: Sınıf A Özellikli Borular	TS 6047-1 EN 10208-1
Yanıcı Akışkanlar İçin Boru Hatları - Çelik Borular - Teknik teslim şartları - Bölüm 2: Sınıf B özellikli borular	TS 6047-2 EN 10208-2
Alın Eritmeli Bağlantı Elemanları - Petrol ve Tabii Gaz Endüstrisi İçin Polietilen (PE) Hat Borusunda Kullanılan	TS 7445
Polietilen (PE) Hat Borusu Boyut ve Toleransları - Petrol ve Tabii Gaz Endüstrisi İçin	TS 7712
Plastik Yerleştirmeli Bağlantı Elemanları - Petrol ve Tabii Gaz Endüstrisi İçin Polietilen (PE) Hat Borusunda Kullanılan	TS 7837
Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids	ANSI/ASME B31.4
Welded and Seamless Wrought Steel Pipes	ANSI/ASME B36.10
Sıvılaştırılmış Doğalgaz İçin Tesisat ve Ekipman - Karadaki (Kıyadaki) Tesisatın Tasarımı	TS EN 1473
LNG için tesis ve donanım - LNG boru sistemlerindeki flanşlı bağlantılarda kullanılmak üzere tasarlanmış contaların uygunluk deneyi	TS EN 12308
Beton Borular ve Bağlantı Parçaları – Donatısız, Çelik Lifli ve Donatılı	TS 821 EN 1916
Plastikleştirilmemiş polivinilklorür (pvc) basınç boruları ve bağlantı elemanları, metrik seri - Flanş boyutları	TS7910
Doğalgaz boru hattı donanımı- Bakım kuralları	TS 8091
Contalar-Sızdırmazlık için-Boru rakorları ve vidalı tapalarda kullanılan	TS 8990
Rakorlar (çelik borular için)	TS 2218
Rakorlar (kurşun borular için)	TS2231
Flanşlar (borular için, çıkıntılı, boruya makinatolanan)	TS 818
Plastik boru ekleme parçaları- Polipropilenden (pp)- Alın kaynağı ile birleştirilen- Boyutlar	TS 11755-1
Plastik boru sistemleri-Cam elyaf takviyeli plastik boru ve ekleme parçaları- Bileşenlerin miktarının tayini-Gravimetrik metot	TS EN 637
Plastik boru sistemleri-Bağlantıları çözücülü yapıştırıcılarla yapılan, enjeksiyon kalıplamayla imal edilen ve basınçlı boru sistemlerinde kullanılan soketli ekleme parçaları-Kısa süreli hidrostatik iç basınca mukavemetin tayini	TS EN 804
Basınçlı beton borular, birleştirme ve ekleme elemanları genel kurallar	TS EN 639
Elyafılı çimento borular-Kanalizasyon ve drenaj için bölüm 1:Basıncsız borular, birleşim parçaları, birleşim özel parçaları	TS 1902 EN 588-1

STANDARD ADI	STANDARD NO
Borular ve bağlantı parçaları - Dikişli, paslanmaz çelik - Atık su sistemlerinde kullanılan - Soketli ve spigotlu borular-Bölüm 1:Özellikler, deneyler ve kalite kontrol	TS EN 1124-1
Flanşlar ve bağlantıları - Borular, vanalar, bağlantı parçaları ve aksesuarları için dairesel flanşlar- Pn kısa gösterişli - Bölüm 4: Alüminyum alaşımlı flanşlar	TS EN 1092-4
Çelik borular-Kaynaklı-Basınç amaçları için-Teknik teslim şartları- Bölüm 1: Belirtilen oda sıcaklık özellikleri olan alaşımsız çelik borular	TS EN 10217-1
Borular ve bağlantı parçaları - Dikişli, paslanmaz çelik - Atık su sistemlerinde kullanılan - Soketli ve spigotlu borular-Bölüm 2: Sistem s; Boyutlar.	TS EN 1124-2
Borular ve bağlantı parçaları - Dikişli, paslanmaz çelik - Atık su sistemlerinde kullanılan - Soketli ve spigotlu borular-Bölüm 3:Sistem x- Boyutlar	TS EN 1124-3
Borular ve bağlantı parçaları - Dikişli, paslanmaz çelik - Atık su sistemlerinde kullanılan - Soketli ve spigotlu borular-Bölüm 4: Vakum drenaj sistemleri için ve gemilerdeki drenaj sistemleri için bileşenler	TS EN 1124-4
Flanşlar ve bağlantıları - Borular, vanalar, bağlantı parçaları ve aksesuarları için dairesel flanşlar - PN kısa gösterişli - Bölüm 1: Çelik flanşlar	TS EN 1092-1:2007+A1:2013/AC
Flanşlar ve bağlantıları - Borular, vanalar, bağlantı parçaları ve aksesuarları için dairesel flanşlar- Pn kısa gösterişli - Bölüm 2: Dökme demir flanşlar	TS EN 1092-2
Flanşlar ve bağlantıları - Borular, vanalar, bağlantı parçaları ve aksesuarları için dairesel flanşlar- Pn kısa gösterişli -Bölüm 3: Bakır alaşımlı flanşlar	TS EN 1092-3
Çelik borular-Kaynaklı-Basınç amaçları için-Teknik teslim şartları- Bölüm 2: Belirtilen yüksek sıcaklık özellikleri olan elektrik kaynaklı alaşımsız ve alaşımlı çelik borular	TS EN 10217-2
Çelik borular-Kaynaklı-Basınç amaçları için-Teknik teslim şartları- Bölüm 3: Alaşımlı ince taneli çelik borular	TS EN 10217-3
Çelik borular-Kaynaklı-Basınç amaçları için-Teknik teslim şartları- Bölüm 4: Belirtilen düşük sıcaklık özellikleri olan elektrik kaynaklı alaşımsız çelik borular	TS EN 10217-4
Çelik borular-Kaynaklı-Basınç amaçları için-Teknik teslim şartları- Bölüm 5: Belirtilen yüksek sıcaklık özellikleri olan toz altı kaynaklı alaşımsız ve alaşımlı çelik borular	TS EN 10217-5
Çelik borular-Kaynaklı-Basınç amaçları için-Teknik teslim şartları- Bölüm 6: Belirtilen düşük sıcaklık özellikleri olan toz altı kaynaklı alaşımsız çelik borular	TS EN 10217-6
Specification for Line Pipe, API Specification 5L	API5L
Design, Construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines	API1111
API Recommended Practice 1104	API1104
Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines	ASME B31G-1991
Su Temini – Bina Dışı Bileşenler ve Sistemler için Özellikler	TS EN 805
Kaynak-Metalik malzemelerin kaynaklanması için tavsiyeler	TS EN 1011-1-8
Gaz Sistemleri-En yüksek işletme basıncı 16 barın üstünde olan boru hatları için	TS EN 1594
Gaz Besleme Sistemleri Boru Tesisatları	TS EN 12007
Gaz Altyapısı – Kaynaklı Çelik Boru Hattı	TS EN 12732
Atesle Temas Etmeyen Basınçlı Kaplar	TS EN 13445

STANDARD ADI	STANDARD NO
Endüstriyel Metalik Borular	TS EN 13480
Petrol ve Doğal Gaz Endüstrisi Boru Hattı ile Taşıma Sistemleri	TS EN 14161
Değişik Yükleme Şartlarında Gömülü Boru Hatlarının Yapısal Tasarımı	TS EN 1295
BOTAŞ Ham Petrol ve Doğal Gaz Boru Hattı Tesislerinin Yapımı ve İşletmesine Dair Teknik Emniyet ve Çevre Yönetmeliği	29050 sayılı Resmî Gazete
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği	30364 sayılı Resmî Gazete
Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe	ALA 2001

## BÖLÜM 2 – DEPREM YER HAREKETİ

### 2.1. DEPREM TEHLİKE HARİTALARI

**2.1.1** - Doğalgaz, sıvı hidrokarbon, su, atık su taşıyan boru hatlarının, su arıtma ve pompa istasyonu tesislerinin deprem etkisi altında tasarımlarında esas alınacak deprem yer hareketlerine ilişkin veriler bu bölümde tanımlanmıştır.

**2.1.2** – Bölüm 2.2’de tanımlanan dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri, 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile tanımlanmıştır. Bu haritalara <https://tdth.afad.gov.tr/> adresli internet sitesinden erişilebilir.

### 2.2. DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYLERİ

Bu Yönetmelik kapsamında aşağıda belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

#### 2.2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

*DD-1 Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda (100 yılda) aşılma olasılığının %2 (%4) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir.

#### 2.2.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1a (DD-1a)

*DD-1a Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda (100 yılda) aşılma olasılığının %5 (%10) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 975 yıl olduğu deprem yer hareketini nitelemektedir.

#### 2.2.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

*DD-2 Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda (100 yılda) aşılma olasılığının %10 (%20) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu deprem yer hareketini nitelemektedir.

#### 2.2.4. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

*DD-3 Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda (100 yılda) aşılma olasılığının %50 (%75) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu deprem yer hareketini nitelemektedir.

### 2.3. STANDART DEPREM YER HAREKETİ EN BÜYÜK YER İVMESİ, EN BÜYÜK YER HIZI VE SPEKTRUMLAR

#### 2.3.1. Tanım

Deprem yer hareketi en büyük yer ivmesi (*PGA*) ve en büyük yer hızı (*PGV*), belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak **2.3.2**, **2.3.3** ve **2.3.4**'de açıklandığı üzere Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarında verilen *PGA* ve *PGV* değerleri, en büyük yön, yakın fay ve yerel zemin etkileri dikkate alınarak standart biçimde veya **2.5.1**'e göre sahaya özel deprem tehlikesi analizleri sonucu hesaplanır.

Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için, **2.3.5**, **2.3.6** ve **2.3.7**'de açıklandığı üzere Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarında verilen spektral ivme değerleri, en büyük yön, yakın fay ve yerel zemin etkileri dikkate alınarak standart biçimde veya **2.5.1**'e göre sahaya özel deprem tehlikesi analizleri sonucu hesaplanır.

### 2.3.2. Harita En Büyük Yer İvmesi (PGA) ve En Büyük Yer Hızı (PGV) Değerleri ve Tasarım En Büyük Yer İvmesi (PGA<sub>D</sub>) ve En Büyük Yer Hızı (PGV<sub>D</sub>) Değerleri

2.3.2.1 – Harita en büyük yer ivmesi (PGA) ve en büyük yer hızı (PGV) değerleri, 2.2'de belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları kapsamında tanımlanmıştır. DD-1a deprem yer hareketi düzeyi için PGA ve PGV değerleri (PGA<sub>DD-1a</sub> ve PGV<sub>DD-1a</sub>) **Denklem (2.1)**'de verilen ifadeler kullanılarak veya diğer deprem yer hareketi düzeyleri ile beraber **sahaya özel deprem tehlikesi** hesabı ile bulunur.

$$\log_{10}(PGA_{DD-1a}) = 0.367(\log_{10}(PGA_{DD-1})) + 0.633(\log_{10}(PGA_{DD-2})) \quad (2.1.a)$$

$$\log_{10}(PGV_{DD-1a}) = 0.367(\log_{10}(PGV_{DD-1})) + 0.633(\log_{10}(PGV_{DD-2})) \quad (2.1.b)$$

**Denklem (2.1)**'de PGA<sub>DD-1</sub> ve PGV<sub>DD-1</sub> DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarından okunan sırasıyla en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleridir. Aynı şekilde PGA<sub>DD-2</sub> ve PGV<sub>DD-2</sub> sırasıyla DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarından okunan en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleridir.

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleri, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [(V<sub>s</sub>)<sub>30</sub> =760 m/s] esas alınarak sırasıyla yerçekimi ivmesi ve m/s cinsinden tanımlanmıştır.

2.3.3.2 – 2.3.2.1'de tanımlanan harita en büyük yer ivmesi (PGA) ve en büyük yer hızı (PGV) değerleri aşağıdaki şekilde en büyük doğrultu etkisi ve yakın fay etkisi dikkate alınarak **zemin etkilerinden bağımsız** en büyük yer ivmesi (PGA') ve en büyük yer hızı (PGV') değerlerine dönüştürülür.

$$PGA' = \gamma_{PGA} PGA \quad (2.2)$$

$$PGV' = \gamma_{PGV} \varphi_{PGV,YF} PGV$$

**Denklem (2.2)**'de  $\gamma_{PGA}$  ve  $\gamma_{PGV}$  sırasıyla PGA ve PGV için *en büyük doğrultu* etkisini dikkate alan katsayılardır.  $\gamma_{PGA}$  ve  $\gamma_{PGV}$  katsayıları sırasıyla 1.1 ve 1.25 değerlerini alırlar. **Denklem (2.2)**'de verilen  $\varphi_{PGV,YF}$  PGV için *faya yakınlık* katsayısıdır ve 2.3.3.3'te tanımlanmaktadır.

#### 2.3.3.3 - PGV için Faya Yakınlık Katsayısı

Sadece DD-1, DD-1a ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde boru hatlarının Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Türkiye Diri Fay Haritası'nda tanımlanan veya sahaya özel deprem tehlikesi hesabı sonucu belirlenmiş aktif fay düzlemlerine 25 km veya daha az mesafedeki konumları için yakın fay etkisi dikkate alınır. Yakın fay katsayısı aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$\varphi_{PGV,YF} = 1.2 \quad L_F \leq 15 \text{ km} \quad (2.3)$$

$$\varphi_{PGV,YF} = 1.2 - 0.02(L_F - 15) \quad 15 \text{ km} < L_F \leq 25 \text{ km}$$

DD-3 deprem yer hareketi düzeyleri için  $\varphi_{PGV,YF} = 1.0$  alınacaktır. **Denklem (2.3)**'te  $L_F$  fay düzlemine olan mesafeyi [km] göstermektedir.

#### 2.3.4. En Büyük Yer İvmesi ve En Büyük Yer Hızı için Yerel Zemin Etkilerinin Dikkate Alınması – Yerel Zemin Katsayıları

2.3.4.1 - 18/3/2018 tarihli ve 30364 mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*'nde tanımlanan *yerel zemin sınıfları*'na bağlı olarak *yerel zemin etki katsayıları*  $F_{PGA}$  ve  $F_{PGV}$  **Tablo 2.1** ve **Tablo 2.2**'de verilmiştir.

2.3.4.2 - Referans zemin koşulu [(V<sub>s</sub>)<sub>30</sub> =760 m/s] için hesaplanan PGA' ve PGV' değerleri sırasıyla  $F_{PGA}$  (**Tablo 2.1**) ve  $F_{PGV}$  (**Tablo 2.2**) katsayıları kullanılarak tasarım en büyük yer ivmesi (PGA<sub>D</sub>) ve en büyük yer hızı (PGV<sub>D</sub>) değerlerine **Denklem (2.4)** ifadesi yardımıyla dönüştürülür.

$$PGA_D = F_{PGA}PGA' \quad .(2.4)$$

$$PGV_D = F_{PGV}PGV'$$

**2.3.4.3 – Denklem (2.2)**'den hesaplanan  $PGA'$  ve  $PGV'$  değerleri **Tablo 2.1** ve **Tablo 2.2**'de kullanılarak  $F_{PGA}$  ve  $F_{PGV}$  değerleri okunur. Tablolarda doğrudan verilmeyen ara değerler için doğrusal interpolasyon yapılabilir.

**Tablo 2.1.  $PGA'$  değerleri için Yerel Zemin Etki Katsayısı,  $F_{PGA}$**

Yerel Zemin Sınıfı	$PGA' \leq 0.1g$	$PGA' = 0.2g$	$PGA' = 0.3g$	$PGA' = 0.4g$	$PGA' = 0.5g$	$PGA' \geq 0.6g$
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	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1
ZE	2.4	1.9	1.6	1.4	1.2	1.1
ZF	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtildiği şekilde sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

**Tablo 2.2.  $PGV'$  değerleri için Yerel Zemin Etki Katsayısı,  $F_{PGV}$**

Yerel Zemin Sınıfı	$PGV' \leq 0.1$ cm/s	$PGV' = 10$ cm/s	$PGV' = 30$ cm/s	$PGV' = 50$ cm/s	$PGV' = 100$ cm/s	$2 PGV' \geq 100$ cm/s
ZA	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
ZD	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4
ZE	3.1	2.3	1.8	1.6	1.4	1.2
ZF	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtildiği şekilde sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

### 2.3.5. Harita Spektral İvme Değerleri ve Tasarım Spektral İvme Değerleri

**2.3.5.1 –** Harita spektral ivme değerleri, 2.2'de belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında tanımlanmıştır.



(a) Kısa periyot harita spektral ivme değeri  $S_s$

(b) 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme değeri  $S_1$

DD1-a deprem yer hareketi düzeyi için  $S_s$  ve  $S_1$  değerleri **Denklem (2.5)**'te verilen ifadeler kullanılarak veya diğer deprem yer hareketi düzeyleri ile beraber sahaya özel deprem tehlikesi hesabı sonucu bulunur.

$$\log_{10}(S_{s,DD-1a}) = 0.367 (\log_{10}(S_{s,DD-1})) + 0.633 (\log_{10}(S_{s,DD-2})) \quad (2.5.a)$$

$$\log_{10}(S_{1,DD-1a}) = 0.367 (\log_{10}(S_{1,DD-1})) + 0.633 (\log_{10}(S_{1,DD-2})) \quad (2.5.b)$$

**Denklem (2.5)**'te  $S_{s,DD-1}$  ve  $S_{1,DD-1}$  sırasıyla DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarından okunan kısa periyot ve 1.0 s periyot için spektral ivme değerleridir. Aynı şekilde  $S_{s,DD-2}$  ve  $S_{1,DD-2}$  sırasıyla DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarından okunan kısa periyot ve 1.0 s periyot için spektral ivme değerleridir.

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme değerleri, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [ $(V_s)_{30} = 760$  m/s] esas alınarak %5 sönüm oranı için yerçekimi ivmesi cinsinden tanımlanmıştır.

**2.3.5.2 – 2.3.5.1**'de tanımlanan harita spektral ivme değerleri  $S_s$  ve  $S_1$ , en büyük doğrultu etkisi ve yakın fay etkisi dikkate alınarak **zemin etkilerinden bağımsız** spektral ivme değerleri  $S'_s$  ve  $S'_1$ 'e dönüştürülür.

$$S'_s = \gamma_s S_s \quad (2.6)$$

$$S'_1 = \gamma_1 \varphi_{1,YF} S_1$$

Denklem (2.6)'da  $\gamma_s$  ve  $\gamma_1$  sırasıyla  $S_s$  ve  $S_1$  için en büyük doğrultu etkisini dikkate alan katsayılardır.  $\gamma_s$  ve  $\gamma_1$  katsayıları sırasıyla 1.1 ve 1.3 değerlerini alırlar. **Denklem (2.6)**'da verilen  $\varphi_{1,YF}$   $S_1$  için faya yakınlık katsayısıdır ve **2.3.5**'te tanımlanmaktadır.

### 2.3.5.3 $S_1$ için Faya Yakınlık Katsayısı

Sadece DD-1, DD-1a ve DD-2 deprem yer hareketi seviyelerinde boru hatlarının ve pompa istasyonlarının Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Türkiye Diri Fay Haritası'nda tanımlanan veya sahaya özel deprem tehlikesi hesabı sonucu belirlenmiş aktif fay düzlemlerine 25 km veya daha az mesafedeki konumları için yakın fay etkisi dikkate alınır. Yakın fay katsayısı aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$\varphi_{1,YF} = 1.2 \quad L_F \leq 15 \text{ km} \quad (2.7)$$

$$\varphi_{1,YF} = 1.2 - 0.02(L_F - 15) \quad 15 \text{ km} < L_F \leq 25 \text{ km}$$

DD-3 deprem yer hareketi düzeyi için  $\varphi_{1,YF} = 1.0$  alınacaktır. **Denklem (2.7)**'de  $L_F$  fay düzlemine olan mesafeyi [km] göstermektedir.

### 2.3.5. $S'_s$ ve $S'_1$ Spektral Değerleri için Yerel Zemin Etkilerinin Dikkate Alınması – Yerel Zemin Etki Katsayıları

**2.3.5.1 - Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği**'nde tanımlanan yerel zemin sınıfları'na bağlı olarak yerel zemin etki katsayıları  $F_s$  ve  $F_1$  **Tablo 2.3** ve **Tablo 2.4**'de verilmiştir.

**2.3.5.2 – Referans zemin koşulu** [ $(V_s)_{30} = 760$  m/s] için hesaplanan  $S'_s$  ve  $S'_1$  değerleri sırasıyla  $F_s$  (**Tablo 2.3**) ve  $F_1$  (**Tablo 2.4**) katsayıları kullanılarak yatay elastik tasarım spektrum hesabında kullanılmak üzere  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  değerlerine **Denklem (2.8)** ifadesi yardımıyla dönüştürülür.

$$S_{Ds} = F_s S'_S$$

$$S_{D1} = F_1 S'_1$$

**2.3.5.3 - Denklem (2.6)** ile hesaplanan  $S'_S$  ve  $S'_1$  değerleri **Tablo 2.3** ve **Tablo 2.4**'de kullanılarak  $F_s$  ve  $F_1$  değerleri okunur. Tablolarda doğrudan verilmeyen ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

**Tablo 2.3. Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı,  $F_s$**

Yerel Zemin Sınıfı	$S'_S \leq 0.25g$	$S'_S = 0.50g$	$S'_S = 0.75g$	$S'_S = 1.0g$	$S'_S = 1.25g$	$S'_S \geq 1.50g$
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	1.2	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtildiği şekilde sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

**Tablo 2.4. 1 saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı,  $F_1$**

Yerel Zemin Sınıfı	$S'_1 \leq 0.10g$	$S'_1 = 0.20g$	$S'_1 = 0.30g$	$S'_1 = 0.4g$	$S'_1 = 0.50g$	$S'_1 \geq 0.60g$
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	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtildiği şekilde sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

**2.3.6 – Yatay elastik tasarım spektrumları, Denklem (2.8)** ile elde edilen tasarım spektral ivme değerlerinden yararlanılarak 2.3.7'de tanımlanmıştır.

### 2.3.7. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

**2.3.7.1 –** Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu'nun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , doğal

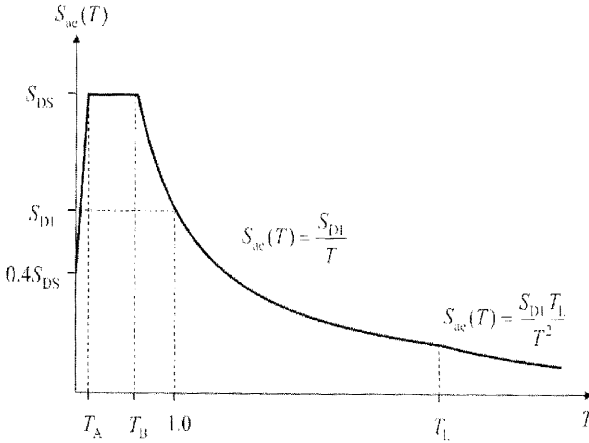
titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden **Denklem (2.9)**'da tanımlanmıştır (**Şekil 2.1**).

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T \geq T_L)
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

Burada  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  **2.3.6.2**'de tanımlanan *tasarım spektral ivme değerleri*'ni,  $T$  ise *doğal titreşim periyodu*'nu göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu *köşe periyotları*  $T_A$  ve  $T_B$  **Denklem (2.10)** ile  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ 'e bağlı olarak tanımlanır:

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{2.10}$$

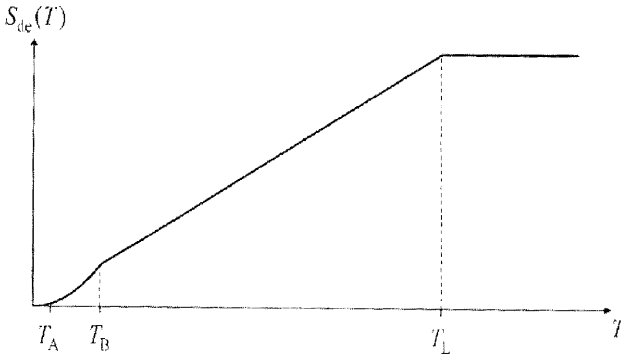
Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu  $T_L = 6$  s alınacaktır.



**Şekil 2.1. Temsili yatay ivme tasarım spektrumu**

**2.3.7.2** – Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için 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 (2.11)** ile tanımlanır (**Şekil 2.2**).

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \tag{2.11}$$



**Şekil 2.2. Temsili yatay yerdeğiştirme tasarım spektrumu**

### 2.3.8. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için 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.

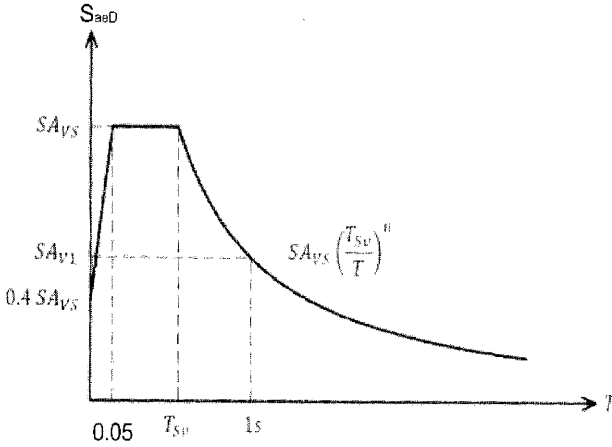
$$\begin{aligned}
 S_{aeD}(T) &= 0.6SA_{VS} \frac{T}{0.05} + 0.4SA_{VS} & (T < 0.05 \text{ s}) \\
 S_{aeD}(T) &= SA_{VS} & (0.05 \text{ s} \leq T \leq T_{SV}) \\
 S_{aeD}(T) &= SA_{VS} \left(\frac{T_{SV}}{T}\right)^n & (T > T_{SV})
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

**Denklem (2.12)** kullanılarak hesaplanan düşey ivme tasarım spektrumu **Şekil 2.3**'te temsili olarak gösterilmektedir. **Denklem (2.12)**'de  $SA_{VS}$  kısa periyot düşey spektrum değerini temsil eder.  $T_{SV}$  ve düşey spektral ivmenin periyota bağlı azalmasını kontrol eden üssel  $n$  katsayısı **Denklem (2.13)**'te verilen ifadelerle hesaplanır.

$$T_{SV} = \max\{0.13, (0.7 - 0.67C_L)\}; \quad n = \frac{\ln(1 - C_L)}{\ln(T_{SV})}; \quad C_L = 1 - \frac{SA_{V1}}{SA_{VS}} \tag{2.13}$$

**Denklem (2.13)**'te 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 (2.14)**'te verilen ifadelerle hesaplanır. Yukarıdaki denklemlerde  $\ln$  ifadesi doğal logaritmayı temsil eder.

$$\begin{aligned}
 SA_{VS} &= a_{VS} (S'_S)^{b_{VS}}; \quad a_{VS} = 5.07((V_S)_{30})^{-0.306}; \quad b_{VS} = 1.03 + 0.066 \left(\frac{\min\{(V_S)_{30}, 760\}}{1000}\right) \\
 SA_{V1} &= a_{V1} (S'_1)^{b_{V1}}; \quad a_{V1} = 9.90((V_S)_{30})^{-0.467}; \quad b_{V1} = 0.91
 \end{aligned} \tag{2.14}$$



Şekil 2.3. Temsili düşey ivme tasarım spektrumu

## 2.4. YÜZEYE SİRAYET EDEN FAY YIRTILMALARI SONUCU KALICI FAY DEPLASMANLARI

### 2.4.1. Tanım

Daha önce meydana gelmiş depremlerden gözleme ve ölçüme bağlı derlenmiş deprem verisi kullanılarak elde edilmiş ampirik denklemlerden yararlanılarak *beklenen en büyük (MD)* ve *beklenen ortalama (AD)* kalıcı fay hareketi hesaplanabilir. Beklenen en büyük veya ortalama kalıcı fay yerdeğiştirmesi, fay segmentinin uzunluğu veya bu segmentte meydana gelebilecek en büyük depreme ait moment magnitud ( $M_w$ ) cinsinden aletsel deprem büyüklüğü ile belirlenebilir.

**2.4.2.** - Boru hattının kestiği fay segmentinin uzunluğu ( $SRL$ , [km]) kullanılarak elde edilecek  $MD$  [m] ve  $AD$  [m] kalıcı fay yerdeğiştirmeleri aşağıdaki ifadeler vasıtasıyla hesaplanabilir

$$\log_{10}(MD) = -1.38 + 1.02 \cdot \log_{10}(SRL) \quad (2.15)$$

$$\log_{10}(AD) = -1.43 + 0.88 \cdot \log_{10}(SRL)$$

**Denklem (2.15)** tüm faylanma tipleri için geçerlidir.  $\log_{10}$  ifadesi 10 tabanında logaritmayı belirtir.

## 2.5 SAHAYA ÖZEL DEPREM TEHLİKESİ HESABI

**2.5.1** – Aşağıda belirtilen durumlar için *Sahaya Özel Deprem Tehlikesi* hesabı yapılır:

- Boru hattının geçtiği güzergâhın derin basen etkisine maruz kalması,
- Zemin koşullarının bu Yönetmelikte tanımlananlar dışında olması,
- Boru hattının geçtiği güzergâhtaki topoğrafik koşulların özel çalışmalar gerektirmesi,
- Yakın fay etkilerinin aktif fay mekanizması gereği oldukça karmaşık bir hâl alması,
- Boru hattının aktif fayı (veya fayları) kesmesi halinde tasarımda kullanılacak kalıcı fay hareketleri için bu Yönetmelikte verilen denklemlerin özellikle *tasarım sınıfı* III ve IV'e giren (3.2.2.1 ve 3.2.3.1) boru hatları için güvenilir sonuçlar vermesinin şüpheli olması,
- Sivileşme ve heyelan sonucu oluşan kalıcı yanal zemin hareketlerinin hesapları için bu Yönetmeliğin ekinde verilen yöntemlerin özellikle *tasarım sınıfı* III ve IV'e giren (3.2.2.1 ve 3.2.3.1) boru hatları için güvenilir sonuçlar vermesinin şüpheli olması,
- Projenin önemine bağlı olarak idarenin veya proje mühendisinin deprem tehlikesi ile ilgili ek taleplerde bulunması.

**2.5.2** – Sahaya özel deprem tehlike hesabı sonucu elde edilen en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, elastik yatay ve düşey spektrumlar ile kalıcı fay deplasmanları sırasıyla **2.3**, **2.4** (**3.2.2.5** ve **3.2.3.4** tanımlarıyla beraber) ve **2.5**'te hesaplanan muadillerinin %90'ından daha küçük değerler alamaz.

## **2.6 ZAMAN TANIM ALANINDA DEPREM TEHLİKESİ HESABI**

Bu Yönetmeliğe göre boru hatlarının, pompa istasyonlarının veya arıtma tesislerinin zaman tanım alanında bir, iki veya üç boyutlu deprem hesabında gerekli deprem yer hareketlerinin tanımlanması için kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmeleri veya spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmeleri için uygulanması gerekli kurallar **2.6.1**, **2.6.2** ve **2.6.3**'te tanımlanmıştır.

### **2.6.1 – Deprem Kayıtlarının Seçimi**

**2.6.1.1** – Zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, performans esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır. Boru hattı, pompa istasyonu veya arıtma tesisinin yakın fay etkisine maruz kalma durumu deprem kayıtları seçiminde dikkate alınmalıdır. Boru hattının, pompa istasyonunun veya arıtma tesisinin bulunduğu bölgede performans hedefine esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılacaktır. Sahaya özel deprem tehlikesi hesabının yapılması durumunda performans esas deprem yer hareketi düzeyine en fazla katkıda bulunan depremlere ait büyüklük, fay uzaklığı yakın fay etkisi bilgilerinin belirlenmesi için deprem tehlikesi ayırıştırma işleminden yararlanılmalıdır.

**2.6.1.2** – Yeterli sayı veya nitelikte deprem ivme kaydı seçiminin yapılamadığı durumlarda, zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılabilir. Bu tür kayıtların kullanılması durumunda, yapının bulunduğu sahanın deprem kaynağı, dalga yayılım ve yerel zemin özellikleri göz önüne alınacaktır. Benzeştirme için kullanılacak model parametrelerinin, söz konusu bölgede meydana gelmiş depremlerde kaydedilmiş gerçek deprem kayıtları ile uyumlu olduğu gösterilecektir.

**2.6.1.3** – *Deprem kaydı takımları*'nın sayısı en az yedi olacaktır. Aynı depremden seçilecek kayıt takımı sayısı ikiyi geçmeyecektir. Yakın fay etkisinin sahada etkili olması durumunda seçilen deprem kaydı takımlarından en az 3 tanesi yakın fay *yönelim* etkisine sahip olmalıdır. 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.

**2.6.1.4** - Boru hattı boyunun 600 m'yi aştığı durumlarda deprem hareketinin mekânsal değişkenliği için eş-zamansız (senkronize olmayan) deprem yer hareketi kullanılacaktır. Bu amaçla, gerçek veya görünür dalga yayılma hızına bağlı "varış zamanı gecikmeleri" ve farklı zemin ortamlarında yer alacak deprem yer hareketi modifikasyonları göz önüne alınacaktır.

### **2.6.2 - Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi**

**2.6.2.1** –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 aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

(a) Bu Yönetmelik kapsamında tasarıma esas yer hareketi parametreleri en büyük yön doğrultusunda tanımlanmıştır. Kayıt takımlarının ölçeklendirilmesi en büyük yön doğrultusunu dikkate alınmalıdır.

(b) Tasarımları  $PGA_D$  ve  $PGV_D$  tarafından kontrol edilen gömülü boru hatları için zaman tanım alanında kullanılacak kayıtların ölçeklendirilmelerinde hedef performans esas  $PGV_D/PGA_D$  oranı dikkate alınacaktır. Ölçeklendirilen kayıt takımlarında yatay bileşenlerin en büyük

doğrultu yönündeki  $PGV/PGA$  oranlarının ortalaması hedef performansa esas  $PGV_D/PGA_D$  oranından daha düşük olamaz.

(c) Tasarımları deprem hareketinin yarattığı atalet kuvvetleri tarafından kontrol edilen gömülü olmayan boru hatları, pompa istasyonu ve arıtma tesislerinin zaman tanım alanı hesabında ölçeklendirilen deprem kayıt takımlarının yatay bileşenlerinin en büyük doğrultu yönündeki spektral genliklerinin ortalaması  $0,2T_p$  ve  $1,5T_p$  periyotları arasındaki hedef performansa esas yatay tasarım spektrum ( $S_{ae}$ ) genliklerinden daha düşük olamaz.  $T_p$ , yapının *hâkim doğal titreşim periyodu*'dur [s].

(d) Ölçeklendirilen her bir kayıt takımında yatay bileşenler arasında ölçek katsayıları aynı olmalıdır. Bu katsayı düşey bileşen için de kullanılmalıdır.

**2.6.2.2 – Sahaya özel deprem tehlikesi hesabının yapılması durumunda ölçeklendirmeler en büyük doğrultu yönünde hedef performans deprem seviyelerini temsil eden sahaya özel elastik ivme spektrumlarını veya bu spektrumlar kullanılarak elde edilen koşullandırılmış ortalama spektrumları dikkate alınarak yapılabilir.**

### **2.6.3. Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi**

Zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda kullanılmak üzere seçilen deprem yer hareketleri, hedef performans seviyesini temsil eden tasarım spektrumuna ( $S_{ae}$ ) spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülebilir. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyotlar için hedef tasarım spektrumu ordinalarından daha küçük olacaktır.

## **2.7. YAPI DAVRANIŞ KAYITÇILARININ YERLEŞTİRİLMESİ**

**2.7.1-** İdare tarafından uygun görülmesi durumunda boru hatları, pompa istasyonları ve arıtma tesislerinin deprem davranışlarının ölçülmesi amacı ile ivme kayıtçıları yerleştirilecektir. İlgili yapının işletmecileri bu cihazların bakımından sorumlu olacaktır.

## **BÖLÜM 3 – DEPREM ETKİSİ ALTINDA PERFORMANSA GÖRE ANALİZ VE TASARIM ESASLARI**

### **3.1. PERFORMANSA GÖRE ANALİZ VE TASARIMIN TEMEL PARAMETRELERİ**

#### **3.1.1. Deprem dalgasının zeminde yayılması sonucu oluşan serbest-saha birim yerdeğiştirmeleri**

Yeni yapılacak veya mevcut doğalgaz, sıvı hidrokarbon, su, atık su taşıyan boru hatlarının deprem etkisi altında tasarımlarında, performans değerlendirilmelerinde ve güçlendirilmelerinde deprem dalgasının zeminde yayılması sonucu oluşan serbest-saha birim yerdeğiştirmeleri boru hattı boyunca eksene ve eğilme deformasyonlarına yol açar. Deprem dalgaları, gömülü boru hattının çevresinde kesme deformasyonlarına da neden olur. Deprem dalgasının yayılımından dolayı zeminde oluşan bu tip birim yerdeğiştirmeleri *en büyük yer ivmesi* ve *en büyük yer hızı* ile deprem dalgasının yayılma hızı veya görünür yayılma hızı yardımı ile ifade edilir. Deprem dalgasının yol açtığı zemin deformasyonları için boru hatlarının tasarım kuralları **Bölüm 5**'te verilmiştir.

Yeni yapılacak veya mevcut su arıtma ve pompa istasyonu tesislerinin deprem etkisi altında tasarımlarında, performans değerlendirilmelerinde ve güçlendirilmelerinde deprem dalgasının zeminde yayılması sonucu bu tip yapılarda meydana gelen yerdeğiştirme ve gerilmeler için analiz ve tasarım *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*'nde verilen hükümler dâhilinde gerçekleştirilecektir.

### 3.1.2. Deprem kaynaklı kalıcı zemin hareketleri

Yeni yapılacak veya mevcut doğalgaz, sıvı hidrokarbon, su, atık su taşıyan boru hatlarının deprem etkisi altında tasarımlarında, performans değerlendirilmelerinde ve güçlendirilmelerinde deprem hareketi sonucu zemin yüzeyine sirayet eden fay yırtılmaları sonucu oluşan *kalıcı fay yerdeğiştirmeleri* boru hattının yırtılan fay segmentini kesmesi sonucu fayı keştiği konum, fayı keştiği açısı, fay zonunun zemin yüzeyindeki genişliği ile bağıntılı olarak boru hattında boyuna (eksenel) yerdeğiştirmelere yol açar.

Boru hattının geçtiği güzergâh boyunca topografya ve zemin özellikleri sonucu sıvılaşma ve heyelana bağlı yanıl zemin yayılma hareketleri de kalıcı zemin yerdeğiştirmelerine neden olur. Bu tip kalıcı zemin yerdeğiştirmeleri sonucu boru hattında boyuna (eksenel) ve eğilme yerdeğiştirmeleri oluşur. **Sıvılaşma ve heyelana bağlı kalıcı zemin hareketlerin oluşma potansiyelleri ve hesapları bu Yönetmeliğin ekinde verilen hesap yöntemleri ile belirlenir.** Kalıcı zemin hareketleri için boru hatlarının tasarım kurallarına ilişkin esaslar Bölüm 6'da verilmiştir.

## 3.2. TASARIM SINIFLARI

### 3.2.1. Tanım

Bu Yönetmelik kapsamına giren boru hatları ve sistemleri üç ana kategori içerisinde tanımlanmış ve her bir kategorinin *tasarım sınıfları* işlevselliklerine göre ayrı ayrı yapılmıştır:

### 3.2.2. Parçalı boru hatları tasarım sınıfları

**3.2.2.1 – 1.1.2.2** ile tanımlanan parçalı boru hatları genellikle atık su ve içme suyu dağıtım ve tedarik şebekelerinde kullanılır. **Tablo 3.1**, parçalı boru hatları için tasarım sınıflarını deprem tehlike seviyelerini ve hedef performansları vermektedir.

**Tablo 3.1 Parçalı Boru Hatları Tasarım Sınıfları ve Hedef Performans Düzeyleri**

Tasarım sınıfı	Tanım	Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Hedef Performans Seviyesi
I	Deprem etkisi altında hasar gördüklerinde insanlar için çok az tehlike arz eden boru hattı sistemleridir. Bu tip boru hatlarında deprem sonrası acil işlevsellik (hizmet görürlük) gerekli değildir. Deprem sonrası bu tip boru hatlarının onarım süreleri hizmet verdikleri topluluk için sağlık veya ekonomik kayıp tehdidi oluşturmazlar.	DD-3	Kontrollü Hasar
II	I, III ve IV sınıflarına girmeyen diğer boru hattı sistemleridir.	DD-2	Kontrollü Hasar
III	Önemli sayıda insana hizmet veren ve hasar görmeleri halinde büyük ekonomik kayıp ve sağlık açısından hizmet verdikleri toplum için göz ardı edilemeyecek seviyede tehdit oluşturan boru hattı sistemleridir.	DD-1a	Kontrollü Hasar
IV	Deprem sırasında ve deprem sonrasında mutlaka hizmet vermesi gereken temel öneme sahip boru hattı sistemleridir.	DD-1	Kontrollü Hasar



**3.2.2.2 – Tablo 3.1**'de belirtilen parçalı boru hatları için performans hedefleri aşağıda açıklanmıştır.

#### **3.2.2.2.1 - Kontrollü Hasar Performans Düzeyi**

*Kontrollü Hasar* performans düzeyi hedef yinleme süresini temsil eden yer hareketi ardından kullanıcıların %90'nına 3 ila 7 gün içerisinde %100 servis sunabilme hedefine karşılık gelir. *Tasarım sınıfı* II, III ve IV'e karşılık gelen boru hatları için can güvenliği sağlanmalıdır. Yangın söndürmek için kullanılacak rezervuarlardan su taşıyan boru hatlarında hasar olması durumunda vanaların kapatılmasıyla izole edilmeleri ve rezervuar kapasitesinin %70 seviyesinde korunması sağlanmalıdır. *Tasarım sınıfı* I'e karşılık gelen boru hatları için 6 ay içerisinde %100 servis sunabilme hedefi sağlanmalıdır.

**3.2.2.3** - Parçalı boru hatlarının tedarik ve dağıtım şebekelerinde kullanıldığı durumlarda sistemdeki yedek boru hatları dikkate alınmalı ve işlevselliklerine göre *tasarım sınıfları* **Tablo 3.2**'ye göre değiştirilmelidir. Bu tabloda  $L_R$  yedek boru hattı sistemini gösterir;  $L_R = 0$  sistemde yedek boru hattının bulunmadığını,  $L_R = 1$  sistemde bir yedek boru hattı bulunduğunu ve  $L_R = 2$  sistemde iki veya daha fazla yedek boru hattı bulunduğunu belirtir.

**Tablo 3.2 Ana Boru Şebekesinde Yedek Boru Hatları Olması Durumunda Boru Tasarım Sınıfları**

Parçalı Boru Tasarım Sınıfı	$L_R = 0$	$L_R = 1$	$L_R = 2$
I	I	I	I
II	II	II	II
III	III	II	II
IV	IV	III	II

**3.2.2.4** – Ana tedarik ve dağıtım boru şebekeleri, içlerinde daha sınırlı kapasiteye sahip ikincil tedarik ve dağıtım hatları ile bu hatların bağlantılarını bulundurabilir. Bu tip ikincil sistemlerin yalnızca işlevsellikleri dikkate alınarak daha düşük bir *tasarım sınıfına* göre tasarlanması tüm dağıtım şebekesinin deprem sonrası rehabilitasyonu söz konusu olduğunda uygun olmayabilir. Tüm şebekede deprem sonrası rehabilitasyon çalışmalarının güvenilir ve etkin bir şekilde sürdürülebilmesi için boru hattı tasarım koşulları aşağıda belirtilen hiyerarşiye uygun şekilde değerlendirilmelidir. Bu hiyerarşi işlevsellik sınıfına göre daha yüksek bir *tasarım sınıfı* olan ana boru şebekesinin bir parçası olarak hizmet veren ve nispeten daha düşük bir *tasarım sınıfı* ile tanımlanan ikincil boru hattı sistemleri için geçerlidir.

1. Ana ve ikincil boru hatlarının tasarım sınıfları **Tablo 3.1**'e göre belirlenir.
2. İkincil boru hattının tasarımı aşağıdaki durumlar dikkate alınarak gerçekleştirilir:
  - a. Ana şebekeye göre daha düşük risk sınıfına karar verilmesi aşağıdaki koşulların sağlanması sonucu mümkün olur:
    - i. Tecrit vanaları mevcutsa ve bu vanaları deprem sonrası devreye alma süresi tüm şebekenin güvenliği için kabul edilebilir bir seviyedeyse
    - ii. İkincil boru hattının deprem sonrası ana şebekenin işlevselliğini tehlikeye atmayacağını gösteren analizler yapılmışsa
  - b. Yukarıda belirtilen (i) ve (ii) durumları sağlamıyorsa ikincil boru hattı ana boru şebekesi ile aynı tasarım sınıfı dikkate alınarak tasarlanır.

**3.2.2.5** – Tasarım sınıfı I olarak tanımlanan boru hatlarının aktif bir fayı kesmesi durumunda tasarım sınıfı **asgari II** olarak dikkate alınacaktır.

**3.2.2.6** - Parçalı boru hatlarının aktif fayları kesmeleri durumunda kalıcı fay yerdeğıştirmeleri tasarım sınıflarına göre **Tablo 3.3** dikkate alınarak hesaplanacak ve bu değerler tasarımlarında kullanılacaktır. Kalıcı fay yerdeğıştirmeleri, **Denklemler (2.15)**'te verilen AD (*beklenen ortalama kalıcı fay hareketi*) ifadesi ile **Tablo 3.3**'te verilen  $\kappa$  katsayıları çarpıldıktan sonra tasarımlarda kullanılmalıdır.

**Tablo 3.3. Kalıcı Fay Hareketlerinin Parçalı Boru Hatlarının Tasarımlarında Kullanılmaları için Gerekli Kalıcı Fay Haraketi Parametresi ve Katsayıları**

Parçalı Boru Hattı Tasarım Sınıfı	Kalıcı Fay Deplasman Parametresi	Katsayı, $\kappa$
II	AD	1.0
III	AD	1.5
IV	AD	2.3

### 3.2.3. Sürekli boru hatları tasarım sınıfları

**3.2.3.1** – 1.1.2.1 ile tanımlanan sürekli boru hatları genellikle doğalgaz, sıvı hidrokarbon ve içme suyu gibi sıvı malzemeyi uzun mesafeler boyunca taşırlar. **Tablo 3.4** sürekli boru hatları için tasarım sınıflarını, deprem tehlike seviyelerini ve hedef performansları vermektedir.

**Tablo 3.4. Sürekli Boru Hatları Tasarım Sınıfları ve Hedef Performans Düzeyleri**

Tasarım sınıfı	Tanım	Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Hedef Performans
I	II, III ve IV sınıflarına girmeyen doğalgaz, sıvı hidrokarbon veya su sevkiyatı yapan sürekli boru hatları	DD-3	Kesintisiz Kullanım
		DD-1a	Kontrollü Hasar*
II	Yaklaşık 1.5 km mesafe içinde bir yerleşim merkezinin olduğu ve/veya alışveriş merkezlerinin ve endüstri alanlarının bulunduğu yerleşim merkezlerinden geçen doğalgaz, sıvı hidrokarbon sevkiyatı yapan gömülü ve gömülü olmayan sürekli boru hatları	DD-2	Kesintisiz Kullanım
		DD-1	Kontrollü Hasar*
III	Trafığın yoğun olduğu ve farklı altyapıların geçtiği nüfus yoğun yerleşim merkezlerine hizmet veren, hasar gördüğünde çevre ve halk sağlığını ciddi anlamda etkileyecek ve ekonomik kayba yol açacak doğalgaz, sıvı hidrokarbon veya su sevkiyatı yapan gömülü ve gömülü olmayan sürekli boru hatları	DD-1a	Kesintisiz Kullanım
		DD-1	Kontrollü Hasar*

IV	Kıyı ötesi sıvı hidrokarbon ve doğalgaz sevkiyatı yapan sürekli boru hatları	DD-1a	Kesintisiz Kullanım
		DD-1	Kontrollü Hasar*

\* Boru hattındaki basınç bütünlüğünün korunması

**3.2.3.2 – Tablo 3.4**'de belirtilen sürekli boru hatları için performans hedefleri aşağıda açıklanmıştır.

#### **3.2.3.2.1 - Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi**

Kesintisiz kullanım performans düzeyi boru hasarının ihmal edilebilir düzeyde kaldığı durumlara karşılık gelmektedir.

#### **3.2.3.2.2 - Kontrollü Hasar Performans Düzeyi**

Kontrollü Hasar performans düzeyi önemli ölçüde ovalleşmeyi ve boruda buruşmanın başlamasını kabul eder. Bu performans hedefinde kalıcı zemin ve boru hattı yerdeğıştirmelerinin belirlenmesine yönelik olarak deprem sonrası incelemeler sırasında sistem basıncının azaltılması yoluna gidileceği kabulü yapılır. Normal çalışma seviyesine geri dönebilmek için hasarlı boru hattının değıştirilmesi gerekebilir.

**3.2.3.3 –** Sürekli boru hatlarının aktif fayları kesmesi durumunda *Kontrollü Hasar* performans hedefi için tasarım sınıflarına göre belirlenmiş yer hareketi düzeyleri dikkate alınarak hesaplanan kalıcı fay yerdeğıştirmeleri tasarımlarında kullanılacaktır. Kalıcı fay yerdeğıştirmeleri, **Denklem (2.15)**'te verilen  $AD$  (*beklenen kalıcı fay yerdeğıştirmesi*) veya  $MD$  (*en büyük kalıcı fay yerdeğıştirmesi*) ifadeleri ile **Tablo 3.5**'te verilen  $\kappa$  katsayıları çarpıldıktan sonra tasarımlarda kullanılmalıdır.

**3.2.3.4 -** Sürekli boru hatlarının aktif fayları kesmesi durumunda *Kesintisiz Kullanım* performans hedefi için hesaplanacak kalıcı fay yerdeğıştirmeleri tasarım sınıfına göre belirlenmiş yer hareketi düzeyi dikkate alınarak **2.4**'e göre  $AD$  (*beklenen kalıcı fay deplasmanı*) için hesaplanacaktır.

**Tablo 3.5. Kontrollü Hasar Performans Hedefinde Kalıcı Fay Hareketlerinin Sürekli Boru Hatlarının Tasarımlarında Kullanılmaları için Gerekli Olan Kalıcı Fay Hareketi Parametresi ve Katsayıları**

Sürekli Boru Hattı Tasarım Sınıfı	Kalıcı Fay Yerdeğıştirme Parametresi	Katsayı, $\kappa$
I	$AD$	1.0
II	$MD$	0.67
III	$MD$	1.0
IV	$MD$	1.0

#### **3.2.4. Su arıtma ve pompa istasyonları tasarım sınıfları**

**3.2.4.1. -** Su arıtma ve pompa istasyonları tasarım sınıfları ve performans hedefleri bağlı buldukları boru hattı şebekesi için bu Yönetmelik tarafından belirtilen tasarım sınıfı ve performans hedefleri ile aynı olacaktır.

**3.2.4.2.** – Su arıtma ve pompa istasyonlarının tasarımlarında, ait oldukları tasarım sınıfları için belirlenen Deprem Yer Hareketi Düzeyleri dikkate alınacak ve tasarımları *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*’nde verilen hükümler dâhilinde gerçekleştirilecektir.

### **3.3. DEĞERLENDİRME VE TASARIM YÖNTEMLERİ (DEĞİŞİK DEPREM YER HAREKETİ SEVİYELERİ VE TASARIM SINIFLARINA UYGUN OLARAK KULLANILACAK ANALİZ/TASARIM YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ)**

**3.3.1** - *Tasarım Sınıfı* I ve II olan parçalı ve sürekli boru hatlarında **asgari** eşdeğer statik hesap yöntemi, *Tasarım Sınıfı* III ve IV olan parçalı ve sürekli boru hatlarında sonlu elemanlar hesap yöntemi kullanılacaktır. Eşdeğer statik hesap yöntemine ilişkin esaslar **Bölüm 5 ve 6**’da, sonlu elemanlar hesap yöntemi ile ilgili hesap esasları **Bölüm 7**’de verilmektedir.

**3.3.2** - Eşdeğer statik hesap yöntemi, deprem tehlikesi, zemin davranımı ve boru arasındaki etkileşimi dikkate alan idealize modeller kullanarak boru tasarımda kullanılan birim yerdeğiştirme, kuvvet ve yerdeğiştirme değerlerini hesaplar.

**3.3.3** - Eşdeğer statik yöntem ve sonlu elemanlar yöntemlerinin uygulanması sırasında modelleme sırasında kullanılan boru kesitlerinin mekanik özellikleri ve kapasiteleri malzemeyi tedarik eden üretici tarafından sağlanacaktır.

### **3.4. BORU HATTI BAĞLANTI NOKTALARI İÇİN SÜNEK DAVRANIŞ İLKELERİ**

**3.4.1** - Sıvılaşma ve heyelan ihtimallerinin de olabileceği yüksek deprem tehlikesinin bulunduğu bölgelerde veya DD-2 seviyesinde  $PGA_D$  değerinin 0.15 g ve üstünde olduğu bölgelerde sürekli çelik boru hatlarının alın dikişli kaynaklama yöntemi ile birleştirilmesi zorunludur.

**3.4.2** - Sürekli ve parçalı boru hatlarının aktif fayları kestiği bölgelerde aşağıda sıralanan kurallara uyulmalıdır.

**3.4.2.1** - Boru hattının yanal doğrultu atımlı aktif bir fayı kestiği bölgede boru hattı kalıcı zemin deformasyonları altında çekme gerilmelerine maruz kalacak şekilde yerleştirilmelidir. Boru hattının yerleştirilmesi ile ilgili konfigürasyon yanal atımlı fayın geometrik özelliklerine ve atım yönüne bağlı olarak proje mühendisinin önerisi doğrultusunda yapılmalıdır.

**3.4.2.2** - Boru hattının ters bir aktif fayı kestiği bölgede boru hattı kalıcı zemin deformasyonları altında en düşük basınç gerilmesine maruz kalacak şekilde yerleştirilmelidir. Boru hattının yerleştirilmesi ile ilgili konfigürasyon ters atımlı fayın geometrik özelliklerine ve atım yönüne bağlı olarak proje mühendisinin önerisi doğrultusunda yapılmalıdır.

**3.4.2.3** - Boru hattının aktif bir fayı kestiği bölgede boru hattının geçtiği derinlik en düşük seviyede tutulmalıdır.

**3.4.2.4** - Boru hattının aktif bir fayı kestiği bölgede (fay hattının geçtiği güzergâhın her iki tarafında  $\pm 300$  [m]’lik bant içinde) boru et kalınlıkları Bölüm 6 veya 7’de yapılacak hesaplamalara göre artırılmalıdır.

**3.4.2.5** - Boru hattının aktif bir fayı kestiği bölgede boru ve zemin arasındaki sürtünme kuvvetlerinin azaltılması kalıcı zemin hareketleri altındaki boru aksenal birim yerdeğiştirme kapasitesini artırır. Bu nedenle yüzeyi sert ve pürüzsüz boru malzemeleri kullanılmalıdır.

**3.4.2.6** - Boru hattının aktif bir fayı kestiği bölgede (fay hattının geçtiği güzergâhın her iki tarafında  $\pm 300$  [m]’lik bant içinde) boru hattını çevreleyen dolgu malzemesinin ağırlığı

olabildiğince sınırlandırılmalıdır. Bu amaçla gevşek ve orta daneli, çakıl ve iri taş parçası içermeyen dolgu malzemesi kullanılmalıdır.

**3.4.2.7 -** Boru hattının aktif bir fayı kestiği bölgede düşey ve yatay düzlemlerde boru hattı güzergâhındaki ani değişikliklerden kaçınılmalıdır. Bu amaçla bu tip bölgelerde dirsek, dönemeç ve flanaj kullanılması engellenmelidir.

**3.4.3 -** Boru hattının aktif fay hattını kestiği noktada dere veya nehir gibi su yollarının olması durumunda sivilaşma ve heyelan potansiyelleri ile birlikte kalıcı fay yer değiştirmesi birlikte değerlendirilerek boru hattı bağlantı noktalarının sünek davranımı sağlayacak geçiş yöntemi belirlenmelidir. Tasarlanacak boru hattı sisteminin Tasarım Sınıfı ve jeolojik özellikler dikkate alınarak bu yöntemle ilgili özel bir teknik şartname İdare tarafından öngörüldüğü takdirde hazırlanabilir.

**3.4.4 -** Demir boru hatlarında sünek davranışı sağlayacak bağlantı türleri ve bu bağlantı türleri için eksenel yerdeğiştirme ve açısal dönme kapasiteleri **Tablo 3.6**'da verilmiştir. Bu kapasite değerleri boru hatlarının **Bölüm 8.1**'de verilen *kontrollü hasar* durumu performans hedefine göre tasarımlarında kullanılmak üzere verilmektedir.

**Tablo 3.6. Sünek Demir Boru Hatları için Bağlantı Türleri, Eksenel Yerdeğiştirme ve Açısal Dönme Kapasiteleri**

Bağlantı Türü	Eksenel Yerdeğiştirme Kapasitesi [cm]	Açısal Dönme Kapasitesi
Mekanik Bağlantı	3	5°
Kenetlenmiş Mekanik Bağlantı	< 1	5°
Sınırlandırılmış Mekanik Bağlantı	5	5°
Tyton Bağlantı	3	3° - 5°
Flanjlı-kenetlenmiş Bağlantı	3	5°
TR FLEX İçice Geçen Manşon Bağlantı		
Sınırlandırılmış Genleşme Bağlantısı	25	5°
XTRA FLEX Koplın	-	20°
Bilyalı Mafsalsal	-	15°
Ek Genleşme Kapasitesine Sahip Sınırlandırılmış Mekanik Bağlantı	60	20°
Bilya Başlı Mafsala Sahip Genleşme Derzi	60	20°

**3.4.5** - Yüksek deprem tehlikesinin (DD-2 seviyesinde  $PGA_0 \geq 0.15$  g) olduğu bölgelerde betonarme ve öngerilmeli silindirik boru hatlarında kaynaklama, kelepçeleme, bulonlama, segmanlama veya kauçuk contalı bağlantılar ile sünük davranış sağlanacaktır.

**3.4.6** - Kötü zemin koşullarıyla beraber yüksek deprem tehlikesinin (DD-2 seviyesinde  $PGA_0 \geq 0.15$  g) olduğu bölgelerde, çapı 41 [cm]'yi aşmayan ve dağıtım boru hatları olarak nitelendirilebilecek parçalı boru hatlarında sünük davranış geliştirilmiş atım kapasiteli, kenetlenmiş mekanik, sınırlandırılmış mekanik veya zincirlenmiş mekanik bağlantı tiplerinin kullanılması ile sağlanacaktır.

## **BÖLÜM 4 – BORU HATLARININ DEPREM DAVRANIŞI**

### **4.1. DEFORMASYON TIPLERİ - EKSENEL, KESME VE EĞİLME YERDEĞİŞTİRMELERİ, ENİNE OVALLEŞME YERDEĞİŞTİRMELERİ**

#### **4.1.1. - Boyuna (Eksenel) Yerdeğıştirmeler**

Boru hatları için en belirgin deformasyon tipidir. Heyelan, sıvılaşma, fay kırılması sonucu yüzeye sirayet eden kalıcı fay yerdeğıştirmeleri ve deprem dalgasının yayılımı sonucu yer titreşimleri eksenel yerdeğıştirmelere sebebiyet verir. Eşdeğer statik hesap yönteminde kullanılmak üzere eksenel yerdeğıştirmelerin hesabında kullanılacak denklemler **Bölüm 5'te** verilmiştir.

#### **4.1.2 - Kesme ve Eğilme Yerdeğıştirmeleri**

Deprem dalgasının zeminde yayılması sonucu gömülü boru hatlarında eğilme yerdeğıştirmeleri ile daha düşük seviyelerde kesme yerdeğıştirmeleri de gözlenir. Kaynaklı çelik borular için eğilme ve kesme yerdeğıştirmeleri göz ardı edilecek kadar küçük değerlerdir ve tasarımda dikkate alınmayabilir.

Yüzeye sirayet eden fay kırılması ile sıvılaşma ve heyelanın sebebiyet verdiği kalıcı zemin hareketleri sonucunda boru hatları kesme ve eğilme yerdeğıştirmelerine maruz kalırlar. Eşdeğer statik yöntem çerçevesinde kullanılmak üzere bu kesme ve eğilme yerdeğıştirmelerini hesap eden basitleştirilmiş denklemler **Bölüm 6'da** verilmiştir.

#### **4.1.3 - Enine Ovalleşme Yerdeğıştirmeleri**

Yüzeye sirayet eden fay kırılması, sıvılaşma ve heyelanın sebep olduğu enine kalıcı zemin hareketleri sonucunda boru hatları enine ovalleşme yerdeğıştirmelerine maruz kalabilir. **Ancak hareketsiz yük kaynaklı enine ovalleşme yerdeğıştirmelerine kıyasla deprem etkilerden dolayı oluşan enine ovalleşme göz ardı edilebilir.** Bu nedenle deprem etkileri altında tasarıma yönelik önerilen sınır durumları arasında enine ovalleşme sınır durumu bu Yönetmelikte yer almayacaktır. Boru hattının tasarımı esnasında farklı koşullardan ötürü ovalleşme deprem etkileri altında da önemli bir hal alırsa diğer yük etkileri ile beraber hesaplarda dikkate alınmak zorundadır.

## **4.2. ANALİZ/TASARIM FELSEFESİ VE SÜRECİ**

**4.2.1** - Boru hatlarının deprem etkileri altında analizi ve tasarımı aşağıdaki temel adımlardan oluşacaktır (**Şekil 4.1**):

- Boru hattı güzergâhı ile ilgili çalışmalar; aktif fayların konumları, güzergâhın aktif fayları kesip kesmeme durumu, güzergâh boyunca zemin koşulları, sıvılaşma ve heyelan potansiyelleri ile ilgili etütler yapılır.
- Boru hattının taşıyacağı sıvı, geçtiği güzergâh, sürekli veya parçalı olması ve işlevselliği dikkate alınarak *tasarım sınıfı* belirlenir.
- Tasarım sınıfı* ve **(a) maddesinde** yapılan çalışmalar ışığı altında tasarım depremi ve tasarımda kullanılacak deprem istemini ortaya koyan parametrelerinin (*PGA, PGV,*

kalcı fay yerdeğiştirmesi, vd.) mertebeleri belirlenir. *Tasarım sınıfına* göre 3.3.1'de belirtilen kurallar dikkate alınarak hesap yöntemi belirlenir.

- d. **Bölüm 5** ve **Bölüm 6**'da açıklanan eşdeğer statik hesap yöntemi ve **Bölüm 8**'de verilen yerdeğiştirme sınır koşulları kullanılarak **sürekli boru hatlarında kesintisiz kullanım** ve **parçalı boru hatlarında kontrollü hasar** performans hedefleri için boru kesit ve boru bağlantı **ön tasarım** hesapları yapılır.
- e. Ön tasarımı yapılan boru hattına ait boru kesit ve boru bağlantı kapasiteleri deprem etkisi dışında boru tasarımında dikkate alınması gereken iç basınç, zemin yükü, trafik yükleri, boru ovalleşmesi, yorulma ve akışkan geçişleri gibi statik etkiler için ayrı ayrı ve ilgili diğer tasarım yönetmelikleri tarafından belirtilen statik etki yük kombinasyonları için kontrol edilir. Deprem haricinde dikkate alınan yük etkileri için hesapları **(d) maddesinde** yapılan boru kesiti ve boru bağlantı kapasiteleri yeterli olmalıdır. Söz konusu kesit ve bağlantı kapasitelerinin yeterli olmaması halinde ilgili hesaplar kesit ve bağlantı kapasitelerini kontrol eden yük için tekrar edilir.
- f. Proje koşullarının farklı hesaplar gerektirmediği durumlar için **(e) maddesi** ile hesaplanan boru kesit ve bağlantıları *tasarım sınıfı* I ve II olan **parçalı boru hatlarının** nihai kesit ve bağlantı hesapları olarak kabul edilir.
- g. *Tasarım sınıfı* I ve II olan **sürekli boru hatları** için **(e) maddesi** sonucunda elde edilen boru kesit ve bağlantı kapasiteleri *kontrollü hasar* performans hedefi için eşdeğer statik hesap yöntemi ve **Bölüm 8**'de verilen yerdeğiştirme sınır koşulları kullanılarak değerlendirilir. Boru kesit ve bağlantı kapasiteleri bu değerlendirme sonucu yeterli çıkarsa tasarım sonuçlandırılır. Değerlendirme sonuçlarında boru kesit ve bağlantı kapasitelerinin yeterli çıkmaması durumunda söz konusu performans hedefini sağlayacak şekilde yeni boru kesit ve bağlantı hesapları yapılarak tasarım sonuçlandırılır.
- h. *Tasarım sınıfı* III ve IV olan **sürekli ve parçalı boru hatları** için **(e) maddesi** sonucunda hesaplanan boru kesit ve bağlantı kapasiteleri **Bölüm 7**'de açıklanan sonlu elemanlar hesap yöntemi kullanılarak **Bölüm 8**'de verilen performans hedeflerini sağlamak için nihai tasarım hesapları yapılır. Parçalı boru hatları için 3.2.2'de ve sürekli boru hatları için 3.2.3'te verilen performans hedefleri aşağıda tekrar verilmiştir:

- Parçalı boru hatları için kontrollü hasar,
- Sürekli boru hatları için kesintisiz kullanım ve kontrollü hasar

Yukarıda belirtilen performans hedefleri için hesaplamalar **(e) maddesi** sonucu bulunan boru kesit ve bağlantı kapasitelerini doğrularsa tasarım sonuçlandırılır. Boru kesit ve bağlantı kapasiteleri bu değerlendirmeler sonucu yeterli çıkmazsa, ilgili hedef performanslar sağlanacak şekilde yeni boru kesit ve bağlantı kapasiteleri için hesaplar tekrarlanır.

**4.2.2 - Sonlu hesap yöntemi ile yapılan analiz ve tasarım sonucu çıkan kesit ve bağlantı noktası hesap sonuçları deprem ve diğer statik etkiler için eşdeğer statik hesap sonucunda bulunan kesit ve bağlantı kapasitelerinden daha küçük/az sonuçlar verebilir. Bu durum, tasarımı ve analizi gerçekleştiren mühendis(ler) tarafından tasarım esasları çerçevesinde gerçekçi olarak açıklanabilirse ve Bölüm 1.3 ile belirtilen koşulların söz konusu olduğu durumlarda Gözetim Uzmanı(ları) tarafından kabul edilirse nihai tasarım sonuçları olarak kabul edilir.**

## HESAP KOŞULLARI

### SAHA

Güzergâh ile ilgili jeoteknik, jeolojik ve jeofizik çalışmalar (Zemin koşulları, sıvılaşma ve heyelan potansiyeli, aktif fay konumları, boru hattının aktif fayları kesme durumu), vs.

### SIVI

Kullanılabilir su, doğalgaz, sıvı hidrokarbon, vs.

### TASARIM SINIFI ve PERFORMANS HEDEFİ

İşlevsellik, güzergâhın yerleşim bölgelerine yakınlığı, vs.

## DEPREM TEHLİKESİ

### DİNAMİK YER HAREKETİ PARAMETRELERİ

PGA, PGV, yatay ve düşey tasarım spektrumu

### KALICI ZEMİN YER HAREKETİ PARAMETRELERİ

Fay kırılması, heyelan ve sıvılaşmaya bağlı kalıcı zemin yer hareketleri

## ÖN TASARIM

### PARÇALI BORU HATLARI

Eşdeğer statik hesap yöntemi ile Kontrollü Hasar için öngörülen yerdeğiştirme sınırlarına göre boru kesiti seçimi ve boru bağlantı hesabı

### SÜREKLİ BORU HATLARI

Eşdeğer statik hesap yöntemi ile Kesintisiz Kullanım için öngörülen birim yerdeğiştirme sınırlarına göre boru kesiti seçimi ve boru bağlantı hesabı

### KONTROL ve DEĞERLENDİRME

Deprem etkisi hariç diğer statik etkiler için seçilen boru kesiti ve bağlantı noktası hesabını değerlendirir

Kapasite yeterli mi?

Hayır

Evet

Kapasiteyi kontrol eden statik etki için yeni kesit seçimi ve bağlantı

Nihai Tasarım

## NIHAİ TASARIM

### PARÇALI BORU HATLARI (TASARIM SINIFI I ve II)

Proje koşulları ek hesaplar istemiyorsa Ön Tasarım sonucu bulunan kesit ve bağlantı kapasiteleri nihai olarak geçerli

### SÜREKLİ BORU HATLARI (TASARIM SINIFI I ve II)

Ön Tasarım sonucu bulunan kesit ve bağlantı kapasitelerini eş değer hesap yöntemi ile Kontrollü Hasar performans hedefi için öngörülen birim yerdeğiştirme sınırlarına göre değerlendirir

### PARÇALI ve SÜREKLİ BORU HATLARI (TASARIM SINIFI III ve IV)

Ön Tasarım sonucu bulunan kesit ve bağlantı kapasitelerini sonlu elemanlar hesap yöntemi ile parçalı boru hatları için Kontrollü Hasar, sürekli boru hatları için kesintisiz ve kontrollü hasar performans hedefleri için öngörülen birim yerdeğiştirme sınırlarına göre değerlendirir

Kapasite yeterli mi?

Hayır

Evet

Kapasiteyi sağlayacak şekilde yeni kesit seçimi ve bağlantı hesabı

Kesit ve bağlantılar nihai olarak geçerli

Şekil 4.1. Performans Esaslı Boru Hatları Analiz ve Tasarım Felsefesi



## BÖLÜM 5 – YER SARSINTISI İÇİN ANALİZ VE TASARIM: EŞDEĞER STATİK YÖNTEM

### 5.1. ZEMİN SERBEST SAHA YERDEĞİŞTİRMELERİ İÇİN KAPALI FORM ÇÖZÜMLER

5.1.1 - Deprem dalgası kaynaklı en büyük zemin eksenel birim yerdeğiştirmesi,  $\varepsilon_g$ , (5.1) ifadeleri ile hesaplanır.

$$\varepsilon_g = \frac{PGV_D}{2C_S} \quad (5.1.a)$$

$$\varepsilon_g = \frac{PGV_D}{C_R} \quad (5.1.b)$$

(5.1) ifadesinde  $PGV_D$  **Denklem (2.4)** ile hesaplanan ve boru hattı güzergâhın zemin koşullarını da dikkate alan en büyük yer hızı değeridir. **Denklem (5.1)** ile ifade edilen hesaplarda [m/s] birimi ile dikkate alınmalıdır. Boru hattı güzergâhının baskın şekilde S deprem dalgalarına maruz kalması durumunda  $\varepsilon_g$  hesabı için **Denklem (5.1.a)** kullanılacaktır. Boru hattı güzergâhının baskın şekilde yüzey deprem dalgalarına maruz kalmaları durumunda  $\varepsilon_g$  hesabı için **Denklem (5.1.b)** kullanılacaktır.

(5.1) ifadelerinde  $C_S$  S deprem dalgası görünür yayılma hızına,  $C_R$  ise R (Rayleigh) deprem dalgası yayılma hızına karşılık gelir. Bu parametrelerin saha ölçümleri ve hesaplamalarla elde edilememeleri durumunda  $C_S$  ve  $C_R$  1000 [m/s] olarak kabul edilebilir. Boru hattı güzergâhının geçtiği bölgede zemin yüzeyinden itibaren ilk 50 metrede ortalama kayma dalgası hızının ( $V_s$ ) bilinmesi halinde etkin Rayleigh deprem dalgası yayılma hızı  $2V_s$  olarak da kabul edilebilir.

5.1.2. - (5.2) ifadesi zemin ortamı serbest saha eğilme (1/eğrilik yarıçapı ( $\rho$ )) hesabını gösterir.

$$K_g = \frac{1}{\rho} = g \frac{PGA_D}{C_S^2} \quad (5.2)$$

(5.2) ifadesinde  $PGA_D$  **Denklem (2.4)** ile hesaplanan ve boru hattı güzergâhın zemin koşullarını da dikkate alan en büyük yer ivme değeridir.  $g$  yerçekimi ivmesi olup hesaplarda  $g = 9.81$  [m/s<sup>2</sup>] olarak alınır. Eğilmeye bağlı eksenel birim yerdeğiştirme boru hatlarında kullanılan boru çapının dalga boyu ile doğru orantılı olmasından dolayı ihmal edilebilecek mertebede küçük değerler alırlar ve deprem davranışı analizinde **ihmal edilebilir**.

5.1.3 - Deprem odak merkezinden olan mesafenin 20 km'yi aştığı durumlarda yüzey deprem dalgasının dalga yayılımında baskın olduğu varsayımıyla gömülü boru hatlarının tasarımında eksenel birim yerdeğiştirme hesabında Rayleigh yüzey dalgasını dikkate alan (5.1.b) denklemi kullanılır.

### 5.2. EKSENEL BİRİM YERDEĞİŞTİRMELERİ İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ DENKLEMLER

#### 5.2.1 - Sürekli Borular

##### 5.2.1.1 – Sürekli Düz Borular

Sürekli borularda deprem dalgasının yayılması sonucu en büyük eksenel birim yerdeğiştirme,  $\varepsilon_p$ , elastik zemin üzerine oturan kiriş yaklaşımı kullanarak (5.3) ifadesiyle ile hesaplanır. **Denklem (5.3)**, zemin birim yerdeğiştirme değerinin küçük olduğu durumlarda boru eksenel birim yerdeğiştirme değerlerinin zemin birim yerdeğiştirmesi ile aynı değeri aldığını, büyük zemin birim yerdeğiştirmelerinin söz konusu olduğu durumlarda ise boru-zemin arayüzünde kaymadan dolayı boru eksenel birim yerdeğiştirmesinin zemin gerilmesine nazaran daha düşük değerler aldığı kabulünü yapar.

$$\varepsilon_p = \text{küçük olan değer} \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_g \\ T_u \lambda \\ 4AE \end{array} \right\} \quad (5.3)$$

(5.3)'de  $\varepsilon_g$  (5.1) ifadeleri ve 5.1.1 esasları çerçevesinde hesaplanır.  $T_u$  boru-zemin arayüzündeki en büyük eksenel kuvveti temsil eder ve **Denklem (7.1)** ile hesaplanır.  $\lambda$  dalga

boyu uzunluğudur ve gerçek değeri bilinmediği durumda 2000 [m] olarak kabul edilebilir. A boru kesit alanını, E boru için elastisite modülünü temsil etmektedir.

### 5.2.1.2 – Sürekli Boruların Gömülü Yapılarla Bağlantılarında Oluşan Gerilme ve Yerdeğiştirmeler

Bu kısımda belirtilen esaslar Şekil 5.1'de idealize edilerek gösterilen koşullar için geçerlidir.

- Borunun bağlandığı gömülü yapının (ör. tank) duvarı ile boru arasında yumuşak dolgu malzemesi varsa bu durum *serbest uç* sınır koşulunu temsil eder. **Bu sınır koşulu geçerli olduğunda boruda gerilme oluşmaz.**
- Boru, gömülü yapının içinde sabit mesnetlenmiş ekipmana (ör. pompa) bükülme yapmadan bağlanmışsa bu durum *pim bağlantılı uç* sınır koşulunu temsil eder. Bu sınır koşulunda borunun gömülü yapıya bağlandığı uç düşey veya yatay ekseninde dönebilir. Gömülü yapının zemin ile beraber hareket etmesi ve bu yapıya bağlanan borunun da yapıyla beraber hareket etmesi söz konusu olduğu için boru ve zemin arasında göreceli yer hareketi yoktur.
- Boru, gömülü yapı içinde sabit mesnetlenmiş ekipmana bir veya birden fazla 90° açıyla bükülerek bağlanmışsa, bu durum boru-zemin arasında gömülü yapının bağlantı noktasında aksenal bir yay vasıtasıyla modellenir. Bu sınır koşuluyla ilgili hesaplarda boru boyunca  $L_d$  uzunluğundaki bir kısımda boru-zemin arasındaki sürtünmeden dolayı sürtünme kuvveti meydana gelir.  $L_d$  uzunluğu **Denklem (5.4)** ile hesaplanır.

$$L_d = \frac{AE\varepsilon_g}{T_u} \quad (5.4)$$

**Denklem (5.4)**'te verilen  $T_u$  (7.1) ifadesiyle,  $\varepsilon_g$  ise **Denklem (5.1)** ile hesaplanır. Eğer hesaplanan  $L_d$  uzunluğu borunun gömülü yapı içinde kalan kısmından ( $L_s$ ) daha fazlaysa ( $L_d > L_s$ ) sürtünme kuvvetleri **Şekil 5.2**'de gösterildiği gibi boru davranımı kontrol eder. **Şekil 5.2**'de serbest uç - pim mesnet koşulunu temsil eden sistemde meydana gelen aksenal kuvvet ( $F_p$ ) ve en büyük birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_p$ ) aşağıdaki ifadelerde verilmiştir:

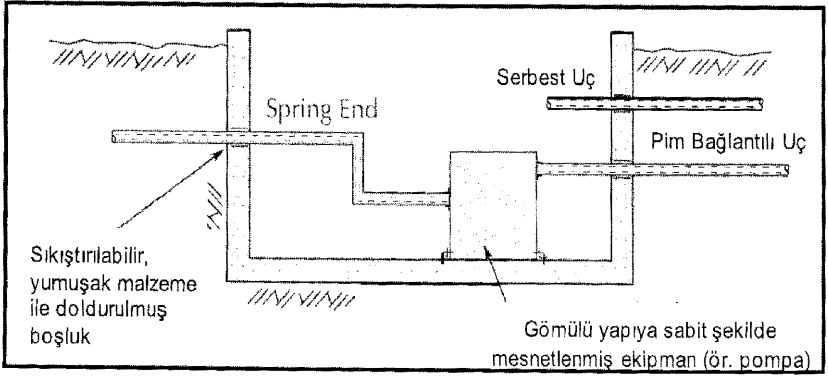
$$F_p = T_u L_s; \varepsilon_p = \frac{T_u L_s}{AE} \quad (5.5)$$

**Denklem (5.5)**'de  $T_u$  (7.1) ifadesiyle hesaplanır.

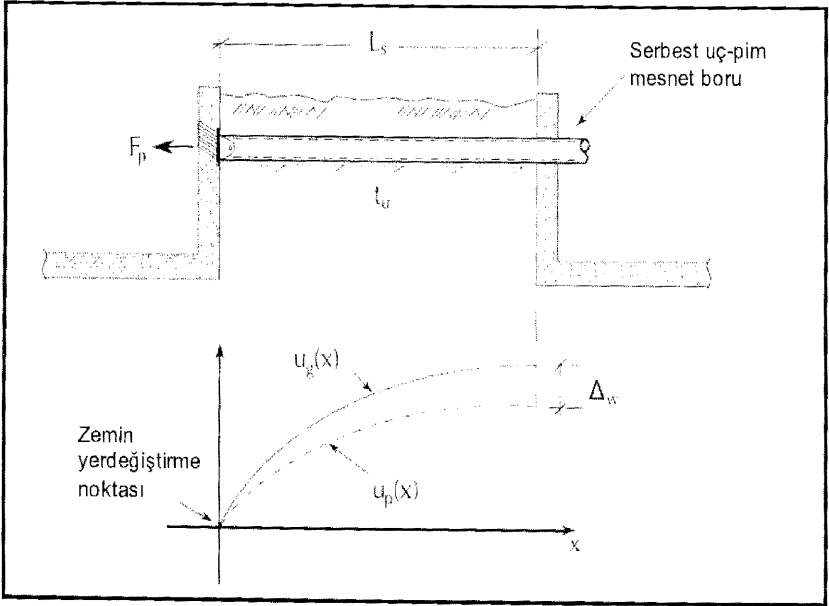
Boru uzunluğunun yeterli olduğu ( $L_s > L_d$ ; **Şekil 5.3**) durumda ise pim bağlantıda meydana gelen aksenal kuvvet ( $F_p$ ) ve borudaki en büyük birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_p$ ) (5.6) ifadesi ile hesaplanır:

$$F_p = \varepsilon_g EA; \varepsilon_p = \varepsilon_g \quad (5.6)$$

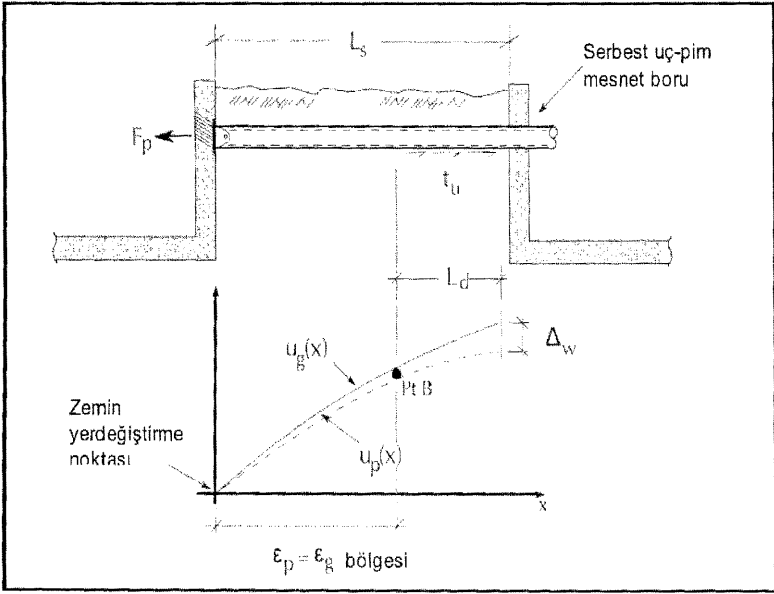
**Denklem (5.6)**'da  $\varepsilon_g$  (5.1) ifadesi ile hesaplanır.



Şekil 5.1. Sürekli boruların gömülü yapılarla bağlantılarında farklı sınır koşulları. O'Rourke ve Liu (2012)'den alıntıdır.



Şekil 5.2  $L_d > L_s$  durumu. O'Rourke ve Liu (2012)'den değiştirilerek alınmıştır.



Şekil 5.3  $L_s > L_d$  durumu. O'Rourke ve Liu (2012)'den değiştirilerek alınmıştır.

### 5.2.1.3 – Sürekli Borularda Dirsek ve T tipi birleşimler:

Dirsek noktasında (Şekil 5.4) Ayak 1'de oluşan en büyük eksenel kuvvet Denklem (5.7) ifadesiyle hesaplanır. Ayak 1'de oluşan eksenel kuvvet Ayak 2'ye kesme kuvveti olarak etkir.

$$S = \varepsilon_{max}EA - T_u L' \quad (5.7)$$

(5.7) ifadesinde  $L'$  etkin kayma uzunluğu'dur ve dirsekteki yerdeğiştirme uyumu dikkate alınarak (5.8) ifadesiyle hesaplanır.

$$L' = \frac{4AE\zeta}{3K_g} \left( \sqrt{1 + \frac{3\varepsilon_{max}K_g}{2T_u\zeta}} - 1 \right) \quad (5.8)$$

Etkin kayma uzunluğu boyunca toplam zemin yerdeğiştirmesi ( $\varepsilon_{maks}L'$ ), Ayak 2 tarafından yapılan yanar yerdeğiştirme ile Ayak 1 tarafından yapılan eksenel yerdeğiştirmenin toplamı olmalıdır ( $\frac{SL'}{AE} + \frac{T_u L'^2}{2AE}$ ). Bu yaklaşımda deprem dalgasının ve yer hareketinin Ayak 1'e paralel ilerlediği varsayımı yapılır. Aynı zamanda  $\varepsilon_{max} = \varepsilon_g$  olarak kabul edilir. Dirsek noktasında eğilme momenti ( $M$ ) ve eğilmeye bağlı yerdeğiştirme ( $\Delta_1$ ) aşağıda verilen ifadelerle bulunur.

$$M = \frac{S}{3\zeta} \quad (5.9)$$

$$\Delta_1 = \frac{4\zeta S}{3K_g} \quad (5.10)$$

$$\zeta = \sqrt[4]{K_g/(4EI)} \quad (5.11)$$

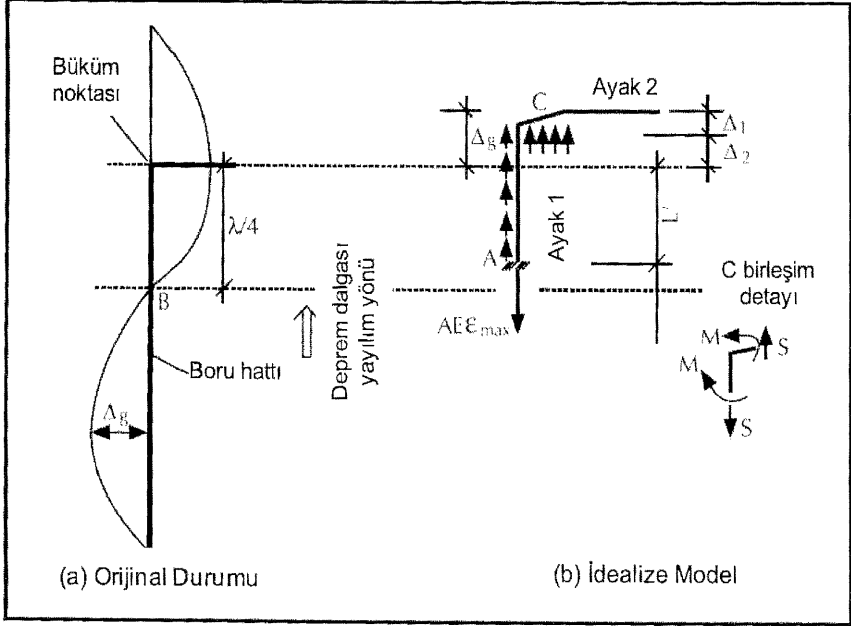
T tipi birleşim için (Şekil 5.5) eksenel kuvvet, moment ve yerdeğiştirme hesaplarında kullanılacak denklemler aşağıda verilmiştir.

$$S = \varepsilon_{max}EA - T_u L' \quad (5.12)$$

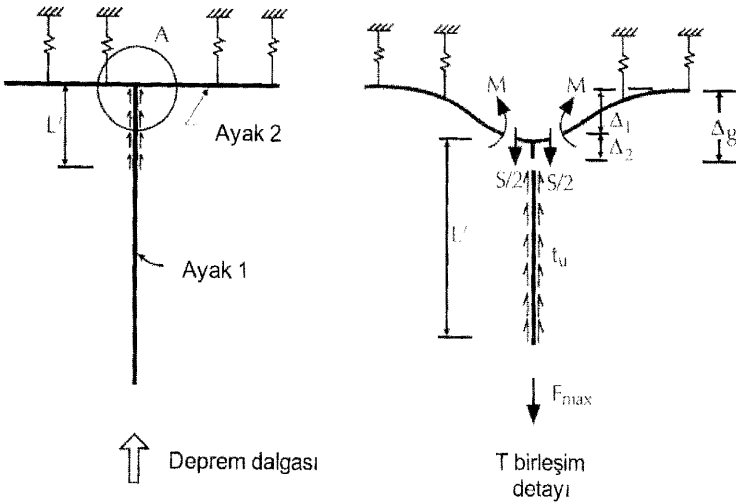
$$M = \frac{S}{2\zeta} \quad (5.13)$$

$$\Delta_1 = \frac{\zeta S}{4K_g} \quad (5.14)$$

$$L' = \frac{AE\zeta}{2R_g} \left( \sqrt{1 + \frac{4\epsilon_{max}K_g}{T_u\zeta}} - 1 \right) \quad (5.15)$$



Şekil 5.4 Dirsekli bir boruda yerdeğiştirmeler ve kuvvetler



Şekil 5.5. T tipi birleşim noktasında kuvvet ve yerdeğiştirmeler

## 5.2.2 - Parçalı Borular

Zemin serbest saha yerdeğiştirmesinin parçalı boru bağlantı noktasındaki eksenel yerdeğiştirme tarafından karşılığı varsayımı yapılır. Hesaplar sırasında parçalı boru hatlarını meydana getiren boruların rijit davranım yaptığı kabul edilir. (5.16) ifadesi parçalı borular için ortalama bağlantı noktası eksenel yerdeğiştirme,  $\Delta_{deprem}$  [cm] değerini verir. **Denklem (5.16)**'te  $L_p$  boru uzunluğudur. Bağlantı noktasında en büyük eksenel yerdeğiştirme,  $\Delta_{deprem,maks}$  [cm] hesabı için (5.17) ifadesi kullanılır.

$$\Delta_{deprem} = L_p \varepsilon_g \quad (5.16)$$

$$\Delta_{deprem,maks} = \Delta_{deprem} + 0.64 \quad (5.17)$$

## BÖLÜM 6 – KALICI ZEMİN HAREKETLERİ İÇİN ANALİZ VE TASARIM: EŞDEğER STATİK YÖNTEM

### 6.1. KALICI FAY ZEMİN HAREKETLERİ İÇİN ANALİZ VE TASARIM

#### 6.1.1 - Sürekli Borular için Boyuna (Eksenel) Çekme Birim Yerdeğiştirme

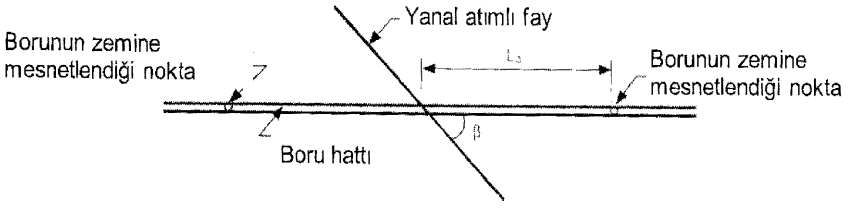
Ortalama eksenel çekme birim yerdeğiştirme hesabı için zemin-boru ara yüzeyindeki enine etkileşimleri ve zemin-boru ara yüzeyindeki uzunlamasına doğrusal olmayan davranışı göz önüne alan (6.1) ifadesi kullanılacaktır.

$$\varepsilon = \frac{\delta_f}{2L_a} \cos\beta + \frac{1}{2} \left( \frac{\delta_f \sin\beta}{2L_a} \right)^2 \quad (6.1)$$

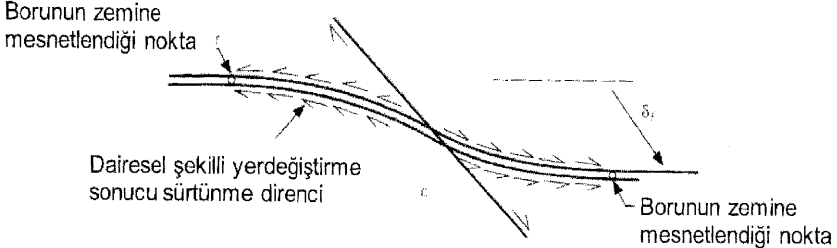
(6.1) denklemini **yanal atımlı faylar** için geçerlidir.  $L_a$ , borunun fayı keştiği nokta ile zemine mesnetlendiği nokta arasındaki mesafedir (**Şekil 6.1**). **Denklem (6.1)**'de boru hattının yanal atımlı fayı kesme açısı derece cinsinden  $\beta$  ve toplam kalıcı fay hareketi (toplam fay atımı)  $\delta_f$  olarak tanımlanmıştır.  $\delta_f$ , **Bölüm 2.4**, **3.2.3.3** ve **3.2.3.4** dikkate alınarak hesaplanır. (6.1) ifadesi borunun eğilme rijitliğini ve boru-zemin arayüzünde yanal etkileşimi ihmal eder. Bu durum sığ hendeklerin içinden geçen boru hatları için geçerlidir. **Şekil 6.1**'de gösterilen modellemelerde borunun zemine mesnetlendiği noktalar borunun fay kalıcı yerdeğiştirmesine göre göreceli olarak hareketsiz kaldığı konumları belirtir. Sonlu eleman modellemesinde fayın keştiği kritik hasar bölgesi dışında kalan bölgedeki eksenel gerilmelerin gerektiğinde hesaplarda dikkate alınabilmesi için basitleştirilmiş esnek elemanların faylanma tipi dikkate alınarak kullanımı önerilir.

**Boru hattı güzergâhının yanal atımlı fayı kesmesi halinde 3.4.3.1 maddesinde de belirtildiği gibi boru hattı boru kesitlerinde eksenel basınç gerilmeleri oluşmayacak şekilde konumlandırılacaktır.**

Normal ve ters aktif fayları kesen boru hatlarının tasarımında eksenel birim yerdeğiştirme hesabı için sahaya özel deprem tehlikesi hesapları ve literatürde bu konuyla ilgili yapılmış araştırmalar dikkate alınarak özel çalışmalar yapılmalıdır.



(a) Fay hareketi öncesi



(b) Fay hareketi sonrası

Şekil 6.1 Sürekli boru hattının sağ atımlı bir fayı kesmesi durumu (Newmark-Hall 1975 modeli)

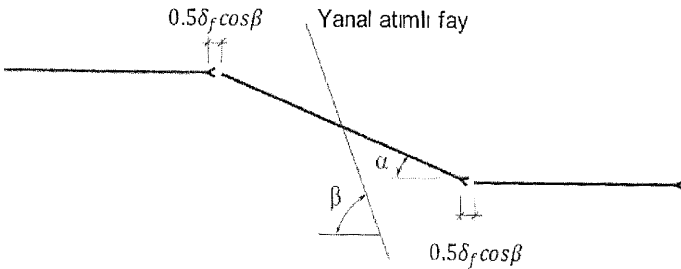
### 6.1.2. Parçalı Boru Hatları için Boyuna (Eksenel) Çekme Birim Yerdeğiştirme

Parçalı borular için birleşme noktasında meydana gelecek eksenel ( $\Delta_{deprem}$ ) ve açısal ( $\gamma_{deprem}$ ) yerdeğiştirme değerleri aşağıda verilen denklemler ile hesaplanır:

$$\Delta_{deprem} = \frac{\delta_f}{2} \cos \beta \quad (6.2)$$

$$\gamma_{deprem} = \arcsin \left( \frac{\delta_f}{L_p} \sin \beta \right) \quad (6.3)$$

(6.2) ve (6.3) denklemleri **yanal atımlı faylar** için geçerlidir. (6.3) denkleminde  $L_p$  boru parçasının boyu,  $\delta_f$  toplam kalıcı fay yerdeğiştirmesi (toplam fay atımı) ve  $\beta$  derece cinsinden boru parçasının yanal atımlı fayı kesme açısıdır (Şekil 6.2).  $\delta_f$  Bölüm 2.4 ve 3.2.2.6 dikkate alınarak hesaplanır. (6.2) ifadesi bağlantı noktası ortalama eksenel yerdeğiştirmeyi verir Bağlantı noktasında en büyük eksenel yerdeğiştirme,  $\Delta_{deprem, maks}$  [cm] hesabı için (5.17) ifadesi kullanılır.



Şekil 6.2 Parçalı boru hattının sağ atımlı bir fayı kesmesi durumu

## 6.2. HEYELAN VE SIVILAŞMA SONUCU YANAL YAYILMA HAREKETLERİ İÇİN ANALZ VE TASARIM

### 6.2.1. Boru Boyuna Paralel Kalıcı Zemin Hareketleri Kaynaklı Eksenel Birim Yerdeğiştirmeler veya Toplam Yerdeğiştirmeler için Basitleştirilmiş Denklemler

#### 6.2.1.1. Sürekli Borular

Eşit yayılımlı kalıcı zemin hareketi modeli varsayımı ile eksenel boru birim yerdeğiştirmeleri,  $\varepsilon_p$ , **Denklem (6.4)** ifadesi ile hesaplanır.

$$\varepsilon_p = \text{küçük olan değer} \left\{ \begin{array}{l} \frac{T_u L}{2AE} \\ \sqrt{\frac{T_u PGD}{AE}} \end{array} \right\} \quad (6.4)$$

6.4'de kalıcı zemin hareketi içinde kalan boru boyu ( $L$ ) ve kalıcı yanal zemin hareketi büyüklüğü ( $PGD$ ) ile gösterilmiştir.

#### 6.2.1.2. Parçalı Borular

$$\Delta_{deprem} = PGD \quad (6.5)$$

**Denklem 6.5** ortalama bağlantı noktası eksenel yerdeğiştirmeyi verir. Bağlantı noktasında en büyük eksenel yerdeğiştirme,  $\Delta_{deprem, maks}$  [cm] hesabı için (5.17) ifadesi kullanılır. Eğer parçalı boru hattında yanal yayılımının meydana geldiği bölge boyunca çekmeye karşı  $n$  adet mekanik durdurucu kullanılmışsa, bu bağlantı noktalarındaki eksenel yerdeğiştirme  $\Delta_{deprem}/n$  olarak hesaplanacaktır.

### 6.2.2. Boru Boyuna Dik Kalıcı Zemin Hareketleri Kaynaklı Eğilmeler için Basitleştirilmiş Denklemler

#### 6.2.2.1. Sürekli Borular

Kalıcı zemin hareketi bölgesi eninin ( $W$ ) geniş olduğu durumda boru hattında gözlenen eksenel birim yerdeğiştirmenin zeminde gözlenen değerlere eşit olduğu varsayımı yapılarak en büyük eğilme,  $k_p$ , **Denklem (6.6)** ile hesaplanacaktır.

$$k_p = \frac{2\pi^2(PGD)}{W^2} \quad (6.6)$$

Kalıcı zemin hareketi bölgesi eninin ( $W$ ) sınırlı olduğu durumda boru hattının rijit davranacağı varsayımıyla en büyük eğilme,  $k_p$ , **Denklem (6.7)** ifadesi ile hesaplanacaktır.

$$k_p = \frac{2W^2 P_u}{3\pi E t D^3} \quad (6.7)$$

(6.6) ve (6.7) ifadelerinde  $E$  sürekli borunun elastisite modülünü,  $t$  boru et kalınlığını,  $D$  boru çapını,  $PGD$  toplam kalıcı zemin hareketini ve  $P_u$  **Denklem (7.4)** ile hesaplanan eşit yayılı enine yük büyüklüğünü belirtir. Kalıcı zemin bölgesi eninin ( $W$ ) değeri kesin hesaplarla gösterilmelidir.  $W$  için hesabın olmadığı durumlar için Tasarım Sınıfı II olan boru hatlarında  $W$  275 [m], Tasarım Sınıfı III ve IV olan borularda  $W$  sırasıyla 210 [m] ve 150 [m] olarak kabul edilebilir.

#### 6.2.2.2. Parçalı Borular

Bağlantı noktası ortalama eksenel yerdeğiştirme ( $\Delta_{deprem}$ ) aşağıdaki ifadeler ile bulunur:

$0.3 < D/IPGD < 4$ :

$$\Delta_{deprem} = \frac{PGD^2}{W^2} \frac{2D}{PGD} \pi^2 L_p \quad (6.8)$$

Diğer durumlar için



$$\Delta_{deprem} = \frac{PGD^2}{W^2} \frac{D^2}{PGD^2} \frac{\pi^2 L_p}{2} \quad (6.9)$$

**Denklem (6.8)** ve **(6.9)**'da  $L_p$  boru parçasının boyunu temsil eder.  $W$  ile ilgili hesaplamalarda **Bölüm 6.2.2.1**'deki açıklamalar geçerlidir. Bağlantı noktasında en büyük eksenel yerdeğiştirme,  $\Delta_{deprem,max}$  [cm] hesabı için **(5.17)** ifadesi kullanılır.

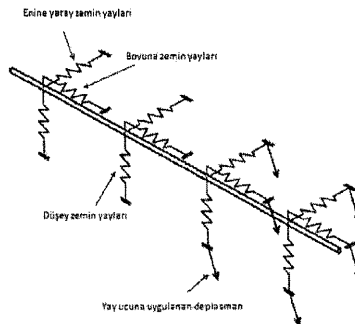
## BÖLÜM 7 – KALICI ZEMİN HAREKETLERİ VE YER SARSINTISI İÇİN ANALİZ VE TASARIMA YÖNELİK SAYISAL YÖNTEMLER

### 7.1. GÖMÜLÜ SÜREKLİ BORU HATLARININ ANALİZİ VE TASARIMINA YÖNELİK SAYISAL YÖNTEMLER

**7.1.1** - Bölüm 5 ve 6'da verilen basitleştirilmiş analitik yaklaşıma karşın doğrusal olmayan boru-zemin etkileşim davranışını göz önüne alan analiz ve tasarım yaklaşımı **3.3.1**'de belirtilen *tasarım sınıfı* III ve IV kapsamına giren parçalı ve sürekli boru hatlarında uygulanacaktır. Bu çerçevede boru malzemesi için doğrusal olmayan gerilme-birim yerdeğiştirme ilişkisi kullanılacaktır. Kullanılan model, boru eksenel ve eğilme dayanımını, zemin sürtünme ve yapışma etkileri ile zeminin boyuna ve enine direncini göz önüne almalıdır. Zemin direnci elasto-plastik yayların boru hattı boyunca kullanılması ile modellenebilir. **Şekil 7.1** ile gösterilen bu modelleme yöntemi Winkler temelli modelleme olarak adlandırılır.

**7.1.2.** - Boru, 1 boyutlu kiriş elemanlarının veya 3 boyutlu kabuk elemanlarının kullanılması ile modellenir. Bu elemanların boyları boru eksenel boyunca değişim gösterir. Boru veya zemin deformasyonlarının yüksek olmasının beklendiği bölgelerde kısa elemanlar, boru veya zemin deformasyonlarının düşük olmasının beklendiği bölgelerde ise uzun elemanlar modellemede kullanılacaktır. Sonlu eleman modelinde, kritik hasar bölgesi dışında kalan bölgedeki eksenel gerilmelerin dikkate alınabilmesi için basitleştirilmiş esnek elemanların kullanımı, farklı fay türlerine göre yatak boyutlarının seçimi, basitleştirilmiş modellerde geometrik doğrusal olmayan etkilerin dikkate alınması gerekir.

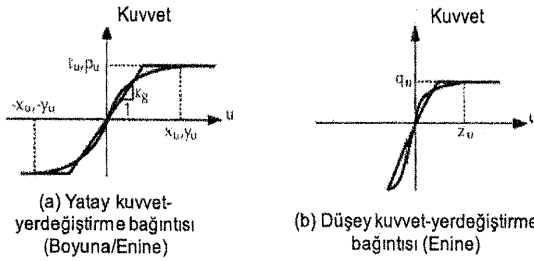
**7.1.3.** - Model boyu, model uçlarında belirtilen sınır koşullarının analiz sonuçlarını herhangi bir şekilde etkilememesi için ve eksenel gerilmelerin model uçlarında göz ardı edilebilecek değerlere indirgenebilmesi için, yeterince uzun tutulmalıdır. Zemin deformasyonları boru-zemin yaylarına tedrici şekilde artan değerler olarak uygulanır. Bu sürecin her adımında boru malzemesi için tanımlanmış basınç ve çekme birim yerdeğiştirme sınırlarının aşılmaması kontrol edilmelidir. Bu sınır durumlarına ilk aşamada erişilebileceği gibi boru-zemin yayları öncelikli olarak akma noktasına da erişebilir. Bunun sonucunda zemin-boru ara yüzeyinde kayma meydana gelecektir.



**Şekil 7.1.** Boru hattı deprem davranışının belirlenmesinde kullanılacak boru-zemin modeli (Karamitros vd. 2011 çalışmasından değiştirilerek alınmıştır).

7.1.4. - 7.1.1, 7.1.2 ve 7.1.3'te özetlenen hesap yöntemi statik olarak tatbik edilen artımlı deformasyon analizi olarak da adlandırılabilir. Boru boyuna paralel kalıcı zemin hareketlerinin sebep olacağı boru birim yerdeğiştirmelerinin analizinin yanı sıra genel olarak tüm kalıcı zemin hareketlerinin sebep olacağı boru birim yerdeğiştirmelerinin analizinde de kullanılabilir.

7.1.5. – Deprem etkisi sonucu **karasal** gömülü boruların maruz kaldığı eksenel kuvvetler, eğilme momentleri ve bu etkileri meydana getiren birim yerdeğiştirmeler boru-zemin arayüzünde meydana gelen etkileşim sonucu ortaya çıkar. Boru-zemin etkileşiminin modellenmesinde kullanılacak doğrusal olmayan eksenel, düşey, yatay tipik kuvvet-yerdeğiştirme bağıntıları **Şekil 7.2**'de verilmiştir. **Bu bağıntılar sivilaşmanın olmadığı zeminler için geçerlidir** ve aşağıda verilen denklemlerle hesaplanabilir. Sivilaşmanın olduğu zeminler için söz konusu kuvvet-yerdeğiştirme bağıntıları sahaya özel geoteknik çalışmalar ve konuyla ilgili yayımlanmış literatürün incelenmesi sonucu belirlenmelidir. Eksenel boru kuvvetleri hesabında zemin dolgu malzemesinin özellikleri dikkate alınmalıdır. Düşey ve enine boru kuvvetlerinin hesabında boru hendeğini çevreleyen tabii zeminin özellikleri dikkate alınmalıdır.



**Şekil 7.2 Boru-zemin arayüzü için geçerli olan idealize elastoplastik kuvvet-yerdeğiştirme bağıntıları (O'Rourke, 2012 çalışmasından değiştirilerek alınmıştır)**

### 7.1.5.1. - Eksenel Kuvvet-Yerdeğiştirme Bağıntısı

Boru eksenine boyunca oluşan göreceli yerdeğiştirme zemin-boru arayüzünde oluşan sürtünme direnci sonucu boruya etkileyen eksenel kuvveti meydana getirir. Aşağıda verilen (7.1) ifadesi boru birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük eksenel kuvvetin ( $T_u$ ) hesabında kullanılacaktır.

$$T_u = c_s \pi D \alpha S_u + c_k \pi D H \bar{\gamma} \left( \frac{K_0 - 1}{2} \right) \tan \delta \quad (7.1)$$

$D$ : boru çapı

$H$ : serbest zemin yüzeyinden boru merkezine olan derinlik

$\bar{\gamma}$ : etkin zemin birim ağırlığı

$K_0$ : sükûnneteki yanal zemin basınç katsayısı

$\alpha$ : **Denklem (7.2)** ile hesaplanan aderans katsayısı

$\delta$ : **Denklem (7.3)** ile hesaplanan boru-zemin arayüzeyi için sürtünme açısı

$S_u$ : Drenajsız kayma dayanımı

**Denklem (7.1)**'de kil ve benzer sürtünmesiz dolgu malzemeleri için  $T_u$  hesabında  $c_s = 1$ ,  $c_k = 0$  değerleri kullanılacaktır. Kum ve benzer kohezyonsuz dolgu malzemeleri için ise **Denklem (7.1)**'de  $c_s = 0$ ,  $c_k = 1$  değerleri kullanılacaktır. Eğer dolgu malzemesi sürtünlü ve kohezyonlu bir yapıya sahipse, **Denklem (7.1)**'de  $c_s = 1$  ve  $c_k = 1$  değerleri kullanılacaktır.

$$\alpha = 0.608 - 0.123c - \frac{0.274}{c^2 + 1} + \frac{0.695}{c^3 + 1} \quad (7.2)$$

(7.2) ifadesinde  $c$  katsayısı dolgu malzemesini temsil eden kohezyon değeri olup KPa/100 cinsinden ifade edilecektir.

$$\delta = f\phi \quad (7.3)$$

(7.3) ifadesinde  $f$  boru dış yüzeyi kaplamasına bağlı katsayı ve  $\phi$  zemin kayma direnci açısıdır.  $f$  katsayısı farklı kaplama malzemelerine göre **Tablo (7.1)**'de verilmiştir.

**Tablo 7.1 Boru kaplama türleri için  $f$  katsayısı değerleri**

Kaplama malzemesi	$f$
Beton, beton kaplamalı çelik, beton kaplamalı dökme demir	1.0
Katran	0.9
Pürüzlü çelik, dökme demir	0.8
Yumuşak çelik	0.7
Füzyon ile uygulanmış epoksi	0.6
Polietilen	0.6

**Denklem (7.1)** ifadesiyle hesaplanan en büyük aksenal kuvvete karşılık gelen yerdeğiştirme ( $\Delta f$ ) farklı dolgu malzemeleri için **Tablo 7.2**'de verilen değerleri alır:

**Tablo 7.2 Boru en büyük aksenal kuvvete karşılık gelen yerdeğiştirme değerleri**

Dolgu malzemesi	$\Delta f$ (mm)
Yoğun kum	3
Gevşek kum	5
Sert kil	8
Yumuşak kil	10

#### 7.1.5.2. - Enine Kuvvet-Yerdeğiştirme Bağıntısı

Boru eksenine dik oluşan göreceli yatay yerdeğiştirme zemin-boru arayüzeyinde enine kuvvetler meydana getirirler. **Denklem (7.4)** borunun birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük enine kuvvetin ( $P_u$ ) hesabında kullanılacaktır.

$$P_u = N_{ch}S_uD + N_{qh}\bar{\gamma}HD \quad (7.4)$$

$N_{ch}$ : **Denklem (7.5)** ile hesaplanan kil ve benzeri sürtünmesiz ( $\phi = 0$ ) zeminler için yatay taşıma kapasitesi katsayısı.

$N_{qh}$ : **Denklem (7.6)** ile hesaplanan kum ve benzeri zeminler için yatay taşıma kapasitesi katsayısı.

$$N_{ch} = a_1 + b_1x + \frac{c_1}{(x+1)^2} + \frac{d_1}{(x+1)^3} \leq 9 \quad (7.5)$$

$$N_{qh} = a_1 + b_1x + c_1x^2 + d_1x^3 + e_1x^4 \quad (7.6)$$

(7.5) ve (7.6) ifadelerinde kullanılan katsayılar **Tablo 7.3**'te verilmiştir.  $20^\circ < \phi < 45^\circ$  arasında kalan ve **Tablo 7.3**'te bulunmayan zemin kayma direnci ara açıları için enterpolasyon yapılabilir.

**Tablo 7.3. Enine zemin etkisini modellemede kullanılan yay kapasitesinin belirlenmesinde kullanılacak katsayılar**

Taşıma Kapasitesi Katsayısı	$\phi$	$x$	$a_1$	$b_1$	$c_1$	$d_1$	$e$
$N_{ch}$	0°	H/D	6.752	0.065	-11.063	7.119	-
$N_{qh}$	20°	H/D	2.399	0.439	-0.03	1.059*10 <sup>-3</sup>	-1.754*10 <sup>-5</sup>
$N_{qh}$	25°	H/D	3.332	0.839	-0.09	5.606*10 <sup>-3</sup>	-1.319*10 <sup>-4</sup>
$N_{qh}$	30°	H/D	4.565	1.234	-0.089	4.275*10 <sup>-3</sup>	-9.159*10 <sup>-5</sup>
$N_{qh}$	35°	H/D	6.816	2.019	-0.146	7.651*10 <sup>-3</sup>	-1.683*10 <sup>-4</sup>
$N_{qh}$	40°	H/D	10.959	1.783	0.045	-5.425*10 <sup>-3</sup>	-1.153*10 <sup>-4</sup>
$N_{qh}$	45°	H/D	17.658	3.309	0.048	-6.443*10 <sup>-3</sup>	-1.299*10 <sup>-4</sup>

**Denklem (7.4)** ifadesiyle hesaplanan en büyük enine kuvvete ( $P_u$ ) karşılık gelen yerdeğiştirme ( $\Delta p$ ) **Denklem (7.7)** kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta p = 0.04(H + \frac{D}{2}) \leq 0.15D \quad (7.7)$$

#### 7.1.5.3. - Düşey Kaldırma Kuvveti-Yerdeğiştirme Bağlantısı

Boru eksenine dik göreceli yukarı yönlü yerdeğiştirme boru-zemin arayüzeyinde düşey kaldırma kuvvetine neden olur. Borunun birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük düşey kaldırma kuvveti ( $Q_u$ ) Denklem (7.8) ile hesaplanır. (7.8) ifadesi boru derinliğinin ( $H$ ) sıg olduğu durumlar dışında kullanılmamalıdır.  $H/D$  oranının aşağıdaki ifadelerde verilen sınır değerlerini aştığı durumlarda detaylı geoteknik çalışmalar yapılarak düşey kaldırma kuvveti ( $Q_u$ ) belirlenmelidir.

$$Q_u = c_s N_{cv} S_u D + c_k N_{qv} \gamma H D \quad (7.8)$$

$N_{cv}$ : **Denklem (7.9)** ile hesaplanan kil ve benzeri sürtünmesiz zeminler için düşey kaldırma katsayısı

$N_{qv}$ : **Denklem (7.10)** ile hesaplanan kum ve benzeri kohezyonsuz zeminler için düşey kaldırma katsayısı

**Denklem (7.8)**'de kil ve benzer sürtünmesiz dolgu malzemeleri için  $Q_u$  hesabında  $c_s = 1$ ,  $c_k = 0$  değerleri kullanılacaktır. Kum ve benzer kohezyonsuz dolgu malzemeleri için ise **Denklem (7.8)**'de  $c_s = 0$ ,  $c_k = 1$  değerleri kullanılacaktır. Eğer dolgu malzemesi sürtümlü ve kohezyonlu bir yapıya sahipse, **Denklem (7.8)**'de  $c_s = 1$  ve  $c_k = 1$  değerleri kullanılacaktır.

$$N_{cv} = 2\left(\frac{H}{D}\right) \leq 10 \quad (7.9)$$

$$N_{qv} = \left(\frac{\phi H}{44D}\right) \leq N_q \quad (7.10)$$

(7.9) ifadesi ( $H/D$ ) > 5 durumu için geçerli değildir. (7.10) ifadesinde verilen  $N_q$  **Denklem (7.13)** ile hesaplanacaktır.

**Denklem (7.8)** ifadesiyle hesaplanan en büyük düşey kaldırma kuvvetine ( $Q_u$ ) karşılık gelen yerdeğiştirme ( $\Delta q_u$ ) **Tablo 7.4**'te verilen değerleri alır.

**Tablo 7.4 Boru en büyük düşey kaldırma kuvvetine karşılık gelen yerdeğiştirme değerleri**

Zemin tipi	$\Delta_{qu}$
Yoğun ve gevşek kumlar	0.01H - 0.02H (0.1D değerini aşamaz)
Katı ve yumuşak killer	0.1H - 0.2H (0.2D değerini aşamaz)

#### 7.1.5.4 - Düşey Taşıma Kuvveti-Yerdeğiştirme Bağıntısı

Boru eksenine dik göreceli aşağı yönlü yerdeğiştirme boru-zemin arayüzeyinde düşey aşağı yönlü taşıma kuvvetine neden olur. (7.11) ifadesi borunun birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük düşey taşıma kuvveti ( $Q_d$ ) hesabında kullanılacaktır.

$$Q_d = N_c S_u D + N_q \bar{\gamma} H D + N_\gamma \gamma \frac{D^2}{2} \quad (7.11)$$

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ : taşıma kapasitesi katsayıları olup (7.12), (7.13) ve (7.14) ifadeleri ile hesaplanır.

$\gamma$ : toplam zemin birim ağırlığı

$$N_c = \cot(\phi + 0.001) \left\{ \exp[\pi \tan(\phi + 0.001)] \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi + 0.001}{2} \right) - 1 \right\} \quad (7.12)$$

$$N_q = \exp(\pi \tan \phi) \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (7.13)$$

$$N_\gamma = \exp(0.18\phi - 2.5) \quad (7.14)$$

Denklem (7.11) ifadesiyle hesaplanan en büyük düşey taşıma kuvvetine ( $Q_d$ ) karşılık gelen yerdeğiştirme ( $\Delta_{qd}$ ) Tablo 7.5'te verilen değerleri alır.

**Tablo 7.5 Boru en büyük taşıma kuvvetine karşılık gelen yerdeğiştirme değerleri**

Zemin tipi	$\Delta_{qd}$
Daneli zeminler	0.1D
Kil gibi kohezif zeminler	0.2D

**7.1.6. – Kıyı ötesi boru hatlarında** boru hattının deniz tabanına kazılan bir hendek içine gömülü olması durumunda deprem etkileri için boru-zemin etkileşiminin modellenmesinde kullanılacak doğrusal olmayan eksenel, düşey ve yatay kuvvet-yerdeğiştirme bağıntıları 7.1.5'de verilen ifadeler ile hesaplanabilir. Bu ifadeler kullanılırken kum ve benzeri dolgu malzemesi ile çevrilmiş boru hatlarında efektif birim zemin hacim ağırlığı (ıslak kum toplam birim hacim ağırlık – suyun birim hacim ağırlığı) kullanılmalıdır. Boru hattının kil ve benzeri dolgu malzemesi ile çevrili olması durumunda drenajsız veya tabii kesme dayanımı kullanılmalıdır.

**7.1.7. – Kıyı ötesi boru hatlarında** boru hattının deniz tabanının üzerinde olması durumunda deprem etkileri için boru-zemin etkileşiminin modellenmesinde kullanılacak doğrusal olmayan eksenel, düşey ve yatay kuvvet-yerdeğiştirme bağıntıları aşağıda verilen ifadelerle hesaplanır.

#### 7.1.7.1. - Eksenel Kuvvet-Yerdeğiştirme Bağıntısı

Kumlu zemin veya daha sert zemine sahip deniz tabanı üzerinde bulunan boru hatlarında eksenel kuvvet ve yerdeğiştirme (7.15) ve (7.16) bağıntıları ile hesaplanacaktır.

$$T_{uz} = w_s \tan \delta \quad (7.15)$$

$$\Delta t = \begin{cases} 0.002 \text{ m, sert deniz tabanı} \\ 0.005 \text{ m, kumlu deniz tabanı} \end{cases} \quad (7.16)$$

$w_s$ : birim boru uzunluğu için batık boru ağırlığı

(7.15) ifadesinde  $\delta$  deniz tabanı ve boru arasındaki sürtünme açısını temsil eder ve (7.3) ile tanımlanır. (7.3) ifadesinde  $\phi$ , sert zemine sahip deniz tabanı için genellikle  $40^\circ$  ile  $45^\circ$  arasında değişir.

#### 7.1.7.2. - Enine Kuvvet-Yerdeğiştirme Bağıntısı

**Denklem (7.17) kumlu deniz tabanı** üzerinde bulunan borunun birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük enine kuvvetin ( $P_u$ ) hesabında kullanılacaktır.

$$P_u = w_s \tan \delta + \left( 4.5 - 0.11 \frac{\bar{\gamma} D^2}{w_s} \right) (\gamma D^2) \left( \frac{z}{D} \right)^{1.25} \quad (7.17)$$

(7.17) ifadesinde  $z/D$  gömülü boru hattının altında deniz tabanındaki akıntı hareketleri sonucu meydana gelen oyuk (yalancı hendek) derinliğinin ( $z$ ) boru çapına olan oranıdır. **Denklem (7.17)** ifadesiyle hesaplanan en büyük enine kuvvete ( $P_u$ ) karşılık gelen yerdeğiştirme ( $\Delta p$ ) **Denklem (7.18)** kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta p = 0.3D \quad (7.18)$$

**Killi deniz tabanı** üzerinde bulunan borunun birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük enine kuvvetin ( $P_u$ ) ve bu kuvvete karşılık gelen yerdeğiştirme ( $\Delta p$ ) hesabında ise sırasıyla (7.19) ve (7.20) denklemleri kullanılacaktır.

$$P_u = 0.2w_s + 3z\sqrt{(D S_u \bar{\gamma})} \quad (7.19)$$

$$\Delta p = 0.1D \quad (7.20)$$

(7.19) ifadesinde  $\bar{\gamma}$  zeminin efektif birim hacim ağırlığıdır (zeminin suya doygun birim hacim ağırlığı - deniz suyunun birim hacim ağırlığı).  $S_u$  değeri deniz tabanından bir boru çapı kadar derinlikteki kesme dayanım değerini temsil eder.

#### 7.1.7.3. - Düşey Kaldırma Kuvveti-Yerdeğiştirme Bağıntısı

**Kumlu veya sert deniz tabanlarında** borunun üstünde bir zemin tabakası olmaması nedeniyle düşey kaldırma kuvveti hesabı gerekli değildir. Bununla beraber, zemin-boru etkileşimi ile ilgili modelin bütünlüğü açısından düşey yukarı yönde  $0.001$  [m] mertebesinde bir yerdeğiştirme modelde dikkate alınabilir.

**Killi deniz tabanı** üzerinde bulunan borunun birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük düşey kaldırma kuvveti ( $Q_u$ ) **Denklem (7.21)** ile hesaplanır.

$$Q_u = w_s + \alpha S_u D \sin \theta; \theta = \cos^{-1} \left( 1 - \frac{2z}{D} \right) \leq 90^\circ \quad (7.21)$$

#### 7.1.7.4 - Düşey Taşıma Kuvveti-Yerdeğiştirme Bağıntısı

**Sert deniz tabanlarında** düşey yönde zemin direnci oldukça yüksektir. Zemin-boru etkileşim modelinde bütünlük için düşey yönde yay rijitliği  $10^7$  [N/m<sup>2</sup>] gibi oldukça yüksek bir değer alınabilir.

**Kumlu zemin tabanı** üzerinde bulunan borunun birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük düşey taşıma kuvveti ( $Q_d$ ) **Denklem (7.22)** vasıtasıyla hesaplanır.

$$Q_d = 0.5\gamma N_y B^2 \quad (7.22)$$

(7.22) ifadesinde  $B$  boru kontak yüzeyini temsil eder ve (7.21) ifadesinde verilen  $D \sin \theta$  olarak hesaplanabilir.

Yumuşak killi zemin üzerinde bulunan borunun birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük düşey taşıma kuvveti ( $Q_d$ ) **Denklem (7.23)** vasıtasıyla hesaplanabilir.

$$Q_d = N_c S_u D \quad (7.23)$$

**7.1.8. - Bölüm 8'de** verilen birim yerdeğiştirme sınır durumları sadece boyuna (eksenel) deformasyona karşılık geldiği için 3 boyutlu kabuk elemanları ile sürekli boru hatlarının modellenmesi durumunda ek laboratuvar testlerinin gerçekleştirilmesi ve diğer birim yerdeğiştirmelere karşılık gelen sınır durumlarının elde edilmesi gerekir.

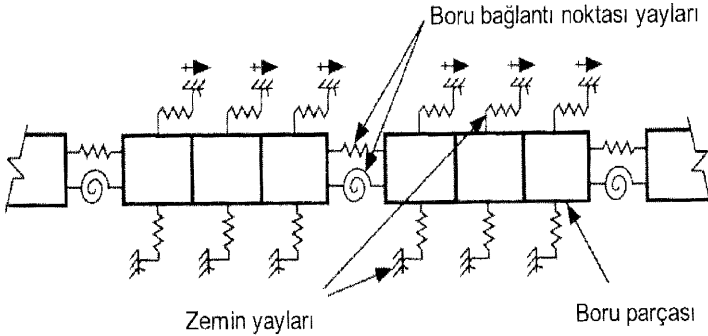
## **7.2. GÖMÜLÜ PARÇALI BORU HATLARININ ANALİZİ VE TASARIMINA YÖNELİK SAYISAL YÖNTEMLER**

**7.2.1. -** Gömülü parçalı boru hatlarının modellenmesinde 3 boyutlu kabuk elemanları kullanılabileceği gibi eksenel rijitliği dikkate alan 1 boyutlu giriş elemanları da kullanılabilir.

**7.2.2. -** Boru elemanlarının bağlantı noktalarını temsilen birbirlerine doğrusal veya iki parçalı doğrusal yaylarla bağlandığı varsayılır (**Şekil 7.3**). 3 boyutlu kabuk elemanlarının boru parçalarını temsil ettiği durumlarda eksenel yayların yanı sıra açılal yaylarda kullanılır.

**7.2.3. -** Birleşme noktalarını temsil eden yaylar için boru malzemesi ve birleşme noktası tipi ile uyumlu kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri ilgili literatür araştırmaları ve/veya laboratuvar testleri yapılarak elde edilir.

**7.2.4. - Bölüm 8'de** verilen birim yerdeğiştirme sınır durumları sadece eksenel yerdeğiştirmeye karşılık geldiği için 3 boyutlu kabuk elemanları ile parçalı boru hatlarının modellenmesi durumunda ek laboratuvar testlerinin gerçekleştirilmesi ve diğer birim yerdeğiştirmelere karşılık gelen sınır durumlarının elde edilmesi gerekir.



**Şekil 7.3. Parçalı boru hattı deprem davranışının belirlenmesinde kullanılabilecek boru-zemin modeli (Wang 1979 çalışmasından değiştirilerek alınmıştır).**

## **7.3. GÖMÜLÜ OLMAYAN BORU HATLARININ ANALİZİ VE TASARIMINA YÖNELİK SAYISAL YÖNTEMLER**

**7.3.1. -** Gömülü olmayan boru hatlarının deprem etkisi altındaki tasarımları, mesnet özelliklerinin ve konumlarının boru hattı ve boru hattıyla ilgili diğer ekipmanların birim yerdeğiştirmelerini sınırlayacak şekilde belirlenmesi esasına dayanır.

**7.3.2. -** Gömülü olmayan boru hatlarının tasarımında mesnetlere uygulanan deprem hareketinin yarattığı atalet kuvvetlerinin ve mesnetlerin göreceli yerdeğiştirmelerinin yarattığı doğrudan ve dolaylı deprem talepleri göz önüne alınır.

**7.3.3. -** Boru hattı mesnetlerinin göreceli yerdeğiştirmesi mesnetlerin doğrudan zemin üzerine oturduğu durumlarda kalıcı zemin hareketleri sonucu meydana gelirler. Boru hattı mesnetlerinin başka yapılar üzerine oturduğu durumlarda ise bu yapıların deprem davranışı göreceli yerdeğiştirmeleri meydana getirir.

**7.3.4.** - Gömülü olmayan boru hatlarının maruz kalacağı atalet kuvvetleri **Bölüm 2.3.7** ve **2.3.8** de verilen tasarım spektrumları dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Gerekli durumlarda tasarım spektrumlarına uyumlu seçilmiş ve ölçeklendirilmiş (**Bölüm 2.6**) deprem yer hareketleri ile **Bölüm 8**'de verilen sınır koşullarına göre performans hedeflerinin sağlandığı kontrol edilmelidir.

**7.3.5.** - Gömülü olmayan boru hatları mesnetlerinin maruz kalacağı kalıcı zemin hareketi kaynaklı göreceli yerdeğiştirmelerin hesabında **Bölüm 2.4** ile **bu Yönetmeliğin ekinde verilen sınılaşma ve heyelana bağlı yanal zemin hareketi hesaplarından** yararlanılmalıdır.

**7.3.6** - Gömülü olmayan boru hatlarının modellenmesi **Bölüm 7.1** ve **7.2**'de verilen hükümlerin yerine getirilmesi ile beraber mesnet sisteminin dinamik özelliklerinin modele doğru bir şekilde yansıtılmasına ve mesnet-boru hattı birleşim noktalarındaki sınır koşullarının gerçekçi olarak dikkate alınmasına bağlıdır.

**7.3.7.** - Gömülü olmayan boru hatlarının analizi *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği* **Bölüm 4.8 Modal Hesap Yöntemi** ve **Bölüm 5.7 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemine** dayandırılmalıdır.

**7.3.8.** - Gömülü olmayan boru hattı boyunun 600 m'yi aştığı durumlarda deprem hareketinin mekânsal değişkenliği için eş-zamansız (senkronize olmayan) deprem yer hareketi kullanılacaktır. Bu amaçla, gerçek veya görünür dalga yayılma hızına bağlı "varış zamanı gecikmeleri" ve farklı zemin ortamlarında yer alacak deprem yer hareketi modifikasyonları göz önüne alınacaktır.

**7.3.9.** - *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği* çerçevesinde uygulanacak hesap yöntemleri için önem katsayısı, 1, 1.5; deprem yükü azaltma katsayısı deprem yalıtımı uygulanmamış kaynaklı çelik yarıçap – et kalınlığı oranı 50'yi aşmayan boru hatları için 3; deprem yalıtımı uygulanmamış kaynaklı çelik yarıçap – et kalınlığı oranı 100'ü aşmayan boru hatları için 2 ve diğer durumlarda 1.5 olarak alınabilir. Deprem yükü azaltma katsayısı kaynaklı birleşme noktalarının bulunmadığı durumlarda ve deprem yalıtımı uygulanmamış sistemlerde 1.0 olarak kabul edilmelidir.

## **BÖLÜM 8 – EŞDEĞER STATİK VE SAYISAL YÖNTEMLER ÇERÇEVESİNDE ELDE EDİLEN BİRİM YERDEĞİŞTİRMELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **8.1. PARÇALI BORU HATLARI**

**8.1.1 - Kontrollü Hasar** performans seviyesi için yerdeğiştirme sınırları aşağıda verilmiştir.

**8.1.1.1** - Birleşim noktalarında eksenel çekmeye bağlı yerdeğiştirme **kontrollü hasar** performans hedefi için **(8.1)** ifadesi ile kontrol edilir.

$$\Delta_{\text{kapasite}} \geq \Delta_{\text{deprem,maks}} + \Delta_{\text{operasyonel}} \quad (8.1)$$

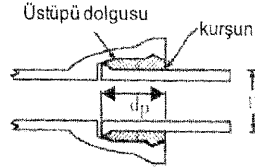
**Denklem (8.1)**'de  $\Delta_{\text{kapasite}}$  parçalı boru birleşim noktası yerdeğiştirme kapasitesidir. **Tablo 8.1**'de verilen birleşim derinliklerinin %50'si  $\Delta_{\text{kapasite}}$ 'nin alt sınırını temsil eder. **Tablo 8.1**'de gösterilmeyen parçalı boru tipleri için  $\Delta_{\text{kapasite}}$  ilgili borunun teknik şartnamesinde belirtilen değer olarak dikkate alınmalıdır. **Kontrollü hasar** için **Denklem (5.17)** ile hesaplanan en büyük birleşim noktası yerdeğiştirme ( $\Delta_{\text{deprem,maks}}$ ) ve deprem etkileri dışında parçalı boru hattına etki eden diğer yüklerin yarattığı birleşim noktası yerdeğiştirmelerinin ( $\Delta_{\text{operasyonel}}$ ) toplamı **(8.1)** ifadesini sağlayacak şekilde  $\Delta_{\text{kapasite}}$  ile karşılaştırılmalıdır.



**Tablo 8.1. Sünek demir boru, dökme demir boru ve betonarme silindir boru için minimum birleşim derinlikleri**

Boru nominal çapı [inç]	Birleşim noktası derinliği, $d_p$ [inç]		
	Sünek demir boru	Dökme demir boru	Betonarme Silindir Boru
6	3.5	3.5	-
12	4.25	4.0	-
16	4.88	4.0	-
24	5.12	4.0	-
30	6.12	4.5	3.25
48	-	5.0	3.87
60	-	5.5	4.5
72	-	5.5	4.5

\* inç birimi 2.54 ile çarpılarak cm birimine çevrilir



**Şekil 8.1. Parçalı boru hattı birleşim noktası birleşim derinliği ( $d_p$ ) temsili resmi**

**8.1.1.2 -** Kalıcı zemin hareketi veya yer sarsıntısına bağlı açılmalarda zemin deformasyonu parçalı boru hattının birleşim noktalarında dönmelere ve boru boyunca eğilmelere neden olur. Eğilme kaynaklı boru çeperinde meydana gelen çatlamların ve birleşim noktasındaki dönmelerin boru hattı boyunca sızmalara neden olmaması ve dolayısıyla **kontrollü hasar performans** hedefinin sağlanması için boru birleşim noktasındaki açılmalarda dönme (ofset) kapasiteleri **Tablo 8.2**'de verilen değerlerden en az %25 daha fazlası olmalıdır. **Tablo 8.2**'de gösterilmeyen parçalı boru tipleri için açılmalarda dönme ilgili borunun teknik şartnamesinde belirtilen değer olarak dikkate alınmalıdır.

**Tablo 8.2. Farklı boru tipleri için açılmalarda dönme değerleri**

Çap [inç]	Dökme demir boru	Sünek demir boru		Ön gerilmeli beton	Betonarme
		Push-on	Mekanik		
4	4.00°	5.00°	8.30°	-	-
6	3.50°	5.00°	7.10°	-	-

8	3.25°	4.00°	5.35°	-	-
10	-	4.00°	5.35°	-	-
12	3.00°	4.00°	5.35°	-	-
14	-	3.00°	3.60°	-	-
16	2.70°	3.00°	3.60°	-	2.30°
18	-	3.00°	3.00°	-	2.10°
20	2.15°	3.00°	3.00°	-	1.90°
24	1.80°	2.00°	2.40°	-	1.60°
27	-	2.00°	2.40°	-	1.40°
30	1.45°	2.00°	2.40°	1.70°	1.25°
33	-	1.50°		1.60°	1.15°
36	-	1.50°	2.10°	1.50°	1.05°
42	-	1.5°	2	1.30°	1.05°
48	-	1.5°	2	1.10°	1.05°
60	-	1.5°	-	0.90°	-
72	-	1.5°	-	0.90°	-

**8.1.1.3** - Dirsekli boru birleşimlerinde **Denklem (8.1)** ile ifade edilen  $\Delta_{\text{kapasite}}$ , düz parçalı boru hatlarına nazaran üç kat daha fazla olarak kabul edilebilir.

## 8.2. SÜREKLİ BORU HATLARI

Sığ (borunun gömüldüğü derinliğin boru çapının üç katından daha az olması veya, boru çapından bağımsız, borunun gömüldüğü derinliğin bir metreye kadar olma durumu) ve derin gömülü, karasal veya kıyı ötesi (deniz altından geçen) sürekli boru hatları için kesintisiz ve sürekli kullanım performans hedeflerini sağlamaya yönelik sınır birim yerdeğiştirme koşulları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

**8.2.1 - Kesintisiz Kullanım** performans seviyesi için birim yerdeğiştirme sınırları farklı deprem etkileri için aşağıda verilmiştir.

**8.2.1.1** – Bir metre veya daha derine gömülmüş **alın kaynaklı** birleşme noktalarına sahip çelik boru hatları için temel hasar durumu daha çok çekmeden dolayı kopma ve lokal burkulma etkisinden kaynaklanır. Bir metreden daha az derinliğe gömülü karasal veya kıyı ötesi boru hatları ile deniz tabanının üstünden geçen kıyı ötesi boru hatlarında ise temel hasar daha çok lokal burulma etkisinden kaynaklanır. Alın kaynaklı birleşme noktalarına sahip boru hatları için iyi kaynaklanmış birleşme noktasında kaynak dayanımının borunun ana malzemesinin sahip olduğu dayanıma nazaran daha fazla olduğu varsayımı yapılır. **Tablo 8.3 Kesintisiz Kullanım**

için alın kaynaklı birleşme noktalarına sahip çelik borularda çekme ve basınç birim yerdeğiştirme sınır değerlerini vermektedir.

**Tablo 8.3 Kesintisiz Kullanım için alın kaynaklı gömülü karasal ve kıyı ötesi sürekli boru hatlarında sınır aksenal birim yerdeğiştirme değerleri**

	Birim yerdeğiştirme sınırı
<b>Karasal gömülü boru hattı, kalıcı zemin deformasyonuna bağlı en büyük aksenal çekme birim yerdeğiştirme (<math>\epsilon</math>)</b>	$\epsilon_t = 0.02$ <span style="float: right;">(8.2)</span>
<b>Karasal gömülü boru hattı, kalıcı zemin deformasyonuna bağlı en büyük aksenal basınç birim yerdeğiştirme (<math>\epsilon_c</math>)</b>	<p>Gerilme-birim yerdeğiştirme ilişkisi kademeli akma davranışı gösteren düz boru elamanlar için</p> $\epsilon_c = 0.437 \left(\frac{t}{D}\right)^{1.72} \left[1 - 0.892 \left(\frac{p}{p_y}\right)\right]^{-1} \left(\frac{E}{\sigma_y}\right)^{0.70} \left(1.09 - \left(\frac{\Delta}{t}\right)^{0.086}\right) \leq 0.02$ <span style="float: right;">(8.3)</span> <p>Gerilme-birim yerdeğiştirme ilişkisi kademeli akma davranışı gösteren ve alın kaynak noktasında boru ucu çıkıntısı bulunan elamanlar için</p> $\epsilon_c = 0.056 \left(\frac{t}{D}\right)^{1.59} \left[1 - 0.868 \left(\frac{p}{p_y}\right)\right]^{-1} \left(\frac{E}{\sigma_y}\right)^{0.85} \left(1.27 - \left(\frac{imp}{t}\right)^{0.15}\right) \leq 0.02$ <span style="float: right;">(8.4)</span> <p>Gerilme-birim yerdeğiştirme ilişkisi belirgin akma platosu içeren düz boru elamanlar için</p> $\epsilon_c = 1.06 \left(\frac{t}{D}\right)^2 \left[1 - 0.50 \left(\frac{p}{p_y}\right)\right]^{-1} \left(\frac{E}{\sigma_y}\right)^{0.70} \left(1.10 - \left(\frac{\Delta}{t}\right)^{0.09}\right) \leq 0.02$ <span style="float: right;">(8.5)</span> <p>Gerilme-birim yerdeğiştirme ilişkisi belirgin akma düzlüğü içeren ve alın kaynak noktasında boru ucu çıkıntısı bulunan elamanlar için</p> $\epsilon_c = 0.404 \left(\frac{t}{D}\right)^2 \left[1 - 0.906 \left(\frac{p}{p_y}\right)\right]^{-1} \left(\frac{E}{\sigma_y}\right)^{0.80} \left(1.12 - \left(\frac{imp}{t}\right)^{0.15}\right) \leq 0.02$ <span style="float: right;">(8.6)</span> <p><b>(8.3) - (8.6)</b>'da verilen ifadelerde</p> <p><math>t</math>: boru et kalınlığı,  <math>D</math>: boru dış çapı,  <math>p</math>: iç basınç,  <math>p_y</math>: akma gerilmesi seviyesinde çevresel gerilme yaratan iç basınç,  <math>\sigma_y</math>: akma gerilmesi,</p>

	<p>E: boru malzemesi için elastisite modülü,</p> <p><i>imp</i>: kabarma kusuru boyutu (et kalınlığının belli bir yüzdesi olarak ifade edilir),</p> <p>Δ: alın kaynak noktasında boru ucu çıkıntısı boyutu.</p>
<p><b>Kıyı ötesi</b> gömülü boru hattı, <b>kalıcı zemin deformasyonuna bağlı</b> en büyük aksenal çekme birim yerdeğiştirme (<math>\varepsilon_1</math>)</p>	$\varepsilon_1 = 0.01 \quad (8.7)$
<p><b>Kıyı ötesi</b> gömülü veya deniz tabanı üstünden giden boru hattı, <b>kalıcı zemin deformasyonuna bağlı</b> en büyük aksenal basınç birim yerdeğiştirme (<math>\varepsilon_c^*</math>)</p>	$\varepsilon_c^* = \varepsilon_c \left( g - \frac{P_{ext}}{P_{cr}} \right) \quad (8.8.a)$ <p><math>\varepsilon_c</math>: farklı gerilme-birim yerdeğiştirme modelleri dikkate alınarak <b>Denklem (8.3) – (8.5)</b> arasındaki ifadelerle hesaplanır.</p> <p><math>P_{ext}</math>: net dış basınç; Toplam dış basınç - iç basınç</p> $P_{cr} = \frac{P_e P_y}{\sqrt{P_e^2 + P_y^2}} \quad (8.8.b)$ $P_e = \text{elastik burkulma basıncı}; P_e = 2.2 E \left( \frac{t}{D} \right)^3 \quad (8.8.c)$ $P_y = \text{kesit akma basıncı}; P_y = \frac{2\sigma_y t}{D} \quad (8.8.d)$ $\delta_0: \text{ilk ovallık } g = \frac{\sqrt{1 + \frac{P_y}{P_e}}}{\sqrt{\left( \frac{1}{1 + \frac{\delta_0^2 D^2}{t^2}} \right)^2 + \left( \frac{P_y}{P_e} \right)^2}} \leq 1 \quad (8.8.e)$
<p><b>Karasal</b> gömülü boru hattı, <b>yer sarsıntısına bağlı</b> en büyük aksenal çekme birim yerdeğiştirme (<math>\varepsilon_1</math>)</p>	$\varepsilon_1 = 0.01 \quad (8.9)$
<p><b>Karasal</b> gömülü boru hattı, <b>yer sarsıntısına bağlı</b> en büyük aksenal basınç birim yerdeğiştirme (<math>\varepsilon_c</math>)</p>	<p><b>Denklem (8.3), (8.4) ve (8.5)</b> ile bulunan aksenal basınç birim yerdeğiştirme değerlerinin %75'i dikkate alınacaktır. Hesaplanan değer <math>2.42 \left( \frac{t}{D} \right)^{1.59}</math> ifadesi ile bulunan değerden küçük olamaz. Gene hesaplanan değer <math>\varepsilon_c = 0.015</math> değeri ile sınırlandırılacaktır.</p>
<p><b>Kıyı ötesi</b> gömülü veya deniz tabanı üstünden giden boru hattı, <b>yer sarsıntısına bağlı</b> en büyük aksenal çekme birim yerdeğiştirme (<math>\varepsilon_1</math>)</p>	$\varepsilon_1 = 0.005 \quad (8.10)$
<p><b>Kıyı ötesi</b> gömülü veya deniz tabanı üstünden giden boru hattı, <b>yer sarsıntısına bağlı</b></p>	$\varepsilon_c = 0.005 \quad (8.11)$

en büyük eksenle basınç birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_c$ )	
---	--

**8.2.1.2 – Gömülü olmayan alın kaynaklı** birleşme noktalarına sahip çelik boru hatları için **Kesintisiz Kullanım** çekme ve basınç birim yerdeğiştirme sınır değerleri **Tablo 8.4**'de verilmektedir. Verilen sınır değerler **yer sarsıntısına bağlı deprem etkilerini** dikkate alır ve **kalcı zemin deformasyonu etkileri** için geçerli değildir.

**Tablo 8.4 Kesintisiz Kullanım için alın kaynaklı gömülü olmayan sürekli boru hatlarında sınır eksenel birim yerdeğiştirme değerleri**

	Birim yerdeğiştirme sınırı
En büyük eksenel çekme birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_t$ )	$\varepsilon_t = 0.005$ <span style="float: right;">(8.12)</span>
En büyük eksenel basınç birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_c$ )	<b>Denklem (8.3), (8.4) ve (8.5)</b> ile bulunan eksenel basınç birim yerdeğiştirme değerlerinin %75'i dikkate alınacaktır. Hesaplanan değer $2.42(\frac{L}{D})^{1.59}$ ifadesi ile bulunan değerden küçük olamaz. Gene hesaplanan değer $\varepsilon_c = 0.015$ değeri ile sınırlanılacaktır.

**8.2.1.3. – Bindirme kaynaklı** birleşim noktaları alın kaynaklı birleşim noktalarına göre daha düşük yerdeğiştirme kapasitesine sahiptir. Bu nedenle bindirme kaynak birleşim noktalarına sahip gömülü boru hatlarında sınır çekme ve basınç birim yerdeğiştirmeleri alın kaynaklı borulara nazaran daha düşüktür. Kaynaklama için kullanılan malzeme özelliklerine ve birleşme noktası geometrik özelliklerine bağlı olarak birleşme noktası kapasitesinin hesaplanması öncelikli olarak yapılmalıdır. Genellikle bindirme kaynaklı sürekli borularda boru ana malzemesinin çekme ve basınç dayanımı bindirme kaynaklı noktanın çekme ve basınç dayanımlarına göre daha yüksektir. Bindirme kaynaklı borularda bindirme kaynak noktasının kapasite hesabının yapılamadığı durumlarda boru malzemesi akma birim yerdeğiştirme değerlerine ( $\varepsilon_{akma}$ ) bağlı sınır durumları önerilir. **Tablo 8.5**'te **Kesintisiz Kullanım** için verilen çekme ve basınç yerdeğiştirme sınır değerleri birleşme kapasitesi hesabının yapılamadığı durumları dikkate alır. Bindirme kaynak birleşme noktasının kapasite hesabının yapıldığı durumlarda **Tablo 8.5**'te verilen sınır değerler yerine kullanılabilir.

**Tablo 8.5 Kesintisiz Kullanım için bindirme kaynaklı gömülü karasal ve kıyı ötesi sürekli boru hatlarında sınır birim yerdeğiştirme değerleri**

	Birim yerdeğiştirme sınırı
<b>Karasal gömülü boru hattı, kalcı zemin deformasyonuna bağlı</b> en büyük çekme ( $\varepsilon_t$ ) ve basınç ( $\varepsilon_c$ ) birim yerdeğiştirme	Çift bindirme kaynaklı $\varepsilon_t = \varepsilon_c = 0.6 \varepsilon_{akma}$ <span style="float: right;">(8.13.a)</span>
	Basit bindirme kaynaklı $\varepsilon_t = \varepsilon_c = 0.4 \varepsilon_{akma}$ <span style="float: right;">(8.13.b)</span>

<b>Karasal</b> gömülü boru hattı, <b>yer sarsıntısına bağlı</b> en büyük çekme ( $\varepsilon_t$ ) ve basınç ( $\varepsilon_c$ ) birim yerdeğiştirme	Çift bindirme kaynaklı $\varepsilon_t = \varepsilon_c = 0.45 \varepsilon_{akma}$	(8.14.a)
	Basit bindirme kaynaklı $\varepsilon_t = \varepsilon_c = 0.3 \varepsilon_{akma}$	(8.14.b)

**8.2.2. - Kontrollü hasar** performans seviyesi için birim yerdeğiştirme sınırları farklı deprem etkileri için **aşağıda** verilmiştir.

**8.2.2.1 - Alın kaynak** bağlantılı gömülü karasal ve kıyı ötesi sürekli boru hatları için **Kontrollü Hasar** eksenel çekme ve basınç birim yerdeğiştirme sınırları **Tablo 8.6'**da verilmiştir.

**Tablo 8.6. Kontrollü Hasar için alın kaynaklı gömülü karasal ve kıyı ötesi sürekli boru hatlarında sınır eksenel birim yerdeğiştirme değerleri**

	Birim yerdeğiştirme sınırı	
<b>Karasal</b> gömülü boru hattı, <b>kalıcı zemin deformasyonuna bağlı</b> en büyük eksenel çekme birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_t$ )	$\varepsilon_t = 0.04$	(8.15)
<b>Karasal</b> gömülü boru hattı, <b>kalıcı zemin deformasyonuna bağlı</b> en büyük eksenel basınç birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_c$ )	Gerilme-birim yerdeğiştirme ilişkisi kademeli akma davranışı gösteren düz boru elamanlar için $\varepsilon_c = 1.76 \frac{t}{D} \leq 0.04$	(8.16)
<b>Kıyı ötesi</b> gömülü boru hattı, <b>kalıcı zemin deformasyonuna bağlı</b> en büyük eksenel çekme birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_t$ )	$\varepsilon_t = 0.02 - 0.04$	(8.17)
<b>Kıyı ötesi</b> gömülü veya deniz tabanı üstünden giden boru hattı, <b>kalıcı zemin deformasyonuna bağlı</b> en büyük eksenel basınç birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_c^*$ )	$\varepsilon_c^* = \varepsilon_c \left( g - \frac{P_{ext} t}{P_{cr}} \right)$ $\varepsilon_c$ : <b>Denklem (8.16)</b> ifadesi ile hesaplanır. $P_{ext}$ : net dış basınç; Toplam dış basınç - iç basınç $P_{cr}$ : öngörülen göçme basıncı; $P_{cr} = \frac{P_e P_y}{\sqrt{P_e^2 + P_y^2}}$ $P_e$ : elastik burkulma basıncı; $P_e = 2.2 E \left( \frac{t}{D} \right)^3$ $P_y$ : kesit akma basıncı; $P_y = \frac{2\sigma_y t}{D}$ $\delta_o$ : ilk ovallık; $g = \frac{\sqrt{1 + \frac{P_y}{P_e}}}{\sqrt{\left( \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\delta_o^2 D^2}{t^2}} \right)^2 + \left( \frac{P_y}{P_e} \right)^2}} \leq 1$	(8.18.a)
		(8.18.b)
		(8.18.c)
		(8.18.d)
		(8.18.e)

<b>Karasal gömülü boru hattı, yer sarsıntısına bağlı en büyük aksel çekme birim yerdeğiştirme (<math>\varepsilon_t</math>)</b>	$\varepsilon_t = 0.02$	<b>(8.19)</b>
<b>Karasal gömülü boru hattı, yer sarsıntısına bağlı en büyük aksel basınç birim yerdeğiştirme (<math>\varepsilon_c</math>)</b>	<b>Denklem (8.16)</b> ile hesaplanan basınç birim yerdeğiştirme değerlerinin %75'i dikkate alınacaktır. Hesaplanan değerler $\varepsilon_c = 0.03$ değeri ile sınırlandırılacaktır.	
<b>Kıyı ötesi gömülü veya deniz tabanı üstünden giden boru hattı, yer sarsıntısına bağlı en büyük çekme birim yerdeğiştirme (<math>\varepsilon_t</math>)</b>	$\varepsilon_t \leq 0.01$	<b>(8.20)</b>
<b>Kıyı ötesi gömülü veya deniz tabanı üstünden giden boru hattı, yer sarsıntısına bağlı en büyük basınç birim yerdeğiştirme (<math>\varepsilon_c</math>)</b>	$\varepsilon_c \leq 0.01$	<b>(8.21)</b>

**8.2.2.2 – Gömülü olmayan alın kaynaklı birleşme noktalarına sahip çelik boru hatları için Kontrollü Hasar** çekme ve basınç birim yerdeğiştirme sınır değerleri **Tablo 8.7**'de verilmektedir. Verilen sınır değerler **yer sarsıntısına bağlı deprem etkilerini** dikkate alır ve **kalıcı zemin deformasyonu etkileri** için geçerli değildir.

**Tablo 8.7 Kontrollü Hasar için alın kaynaklı gömülü olmayan sürekli boru hatlarında sınır birim yerdeğiştirme değerleri**

	Birim yerdeğiştirme sınırı	
En büyük çekme birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_t$ )	$\varepsilon_t = 0.02$	<b>(8.22)</b>
En büyük basınç birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_c$ )	<b>Denklem (8.16)</b> ile hesaplanan basınç birim yerdeğiştirme değerlerinin %75'i dikkate alınacaktır. Hesaplanan değerler $\varepsilon_c = 0.03$ değeri ile sınırlandırılacaktır.	

**8.2.2.3. – Bindirme kaynaklı birleşim noktalarına sahip gömülü boru hatlarında** boru malzemesi akma birim yerdeğiştirme değerlerine ( $\varepsilon_{akma}$ ) bağlı **Kontrollü Hasar** yerdeğiştirme sınır durumları **Tablo 8.8**'de verilmektedir. Bu tabloda verilen çekme ve basınç yerdeğiştirme sınır değerleri kaynak noktasında birleşme kapasitesi hesabının yapılmadığı durumları dikkate alır. Bindirme kaynak birleşme noktasının kapasite hesabının yapıldığı durumlarda **Tablo 8.8**'de verilen sınır değerler yerine kullanılabilir.

**Tablo 8.8 Kontrollü Hasar için bindirme kaynaklı gömülü karasal ve kıyı öyesi sürekli boru hatlarında sınır birim yerdeğiştirme değerleri**

	Birim yerdeğiştirme sınırı
<b>Karasal gömülü boru hattı, kalıcı zemin deformasyonuna bağlı en büyük aksenal çekme (<math>\varepsilon_t</math>) ve basınç (<math>\varepsilon_c</math>) birim yerdeğiştirme</b>	Çift bindirme kaynaklı $\varepsilon_t = \varepsilon_c = 0.9 \varepsilon_{akma}$ <b>(8.23.a)</b>
	Basit bindirme kaynaklı $\varepsilon_t = \varepsilon_c = 0.6 \varepsilon_{akma}$ <b>(8.23.b)</b>
<b>Karasal gömülü boru hattı, yer sarsıntısına bağlı en büyük aksenal çekme (<math>\varepsilon_t</math>) ve basınç (<math>\varepsilon_c</math>) birim yerdeğiştirme</b>	Çift bindirme kaynaklı $\varepsilon_t = \varepsilon_c = 0.675 \varepsilon_{akma}$ <b>(8.24.a)</b>
	Basit bindirme kaynaklı $\varepsilon_t = \varepsilon_c = 0.45 \varepsilon_{akma}$ <b>(8.24.b)</b>

## BÖLÜM 9 – SU ARITMA TESİSLERİ İÇİN ANALİZ VE TASARIM

### 9.1 GENEL HÜKÜMLER

**9.1.1 -** Su arıtma tesislerinin deprem etkileri altında analiz ve tasarımlarında bina tipi yapılar için *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, bina tipi olmayan yapılar için ise *Deprem Etkisi Altındaki Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliğinin* ilgili hüküm ve esasları geçerli olacaktır.

**9.1.2 -** Su arıtma tesislerinin deprem etkileri altında hedef performansları bağlı oldukları şebekeye göre bu Yönetmeliğin kapsamında parçalı (3.2.1) ve sürekli (3.2.2) boru hatları için tanımlanan performans hedefleri ile uyumlu olacaktır.

## BÖLÜM 10 – POMPA İSTASYONLARI İÇİN ANALİZ VE TASARIM

### 10.1 GENEL HÜKÜMLER

**10.1.1 –** Pompa istasyonlarının deprem etkileri altında analiz ve tasarımlarında bina tipi yapılar için *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, bina tipi olmayan gömülü yapılar için ise 6/10/2020 tarihli ve 31266 mükerrer sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan *Türkiye Karayolları ve Demiryolları Tünelleri ile Diğer Zemin Yapıları Deprem Yönetmeliğinin* ilgili hüküm ve esasları geçerli olacaktır.

**10.1.2 -** Pompa istasyonlarının deprem etkileri altında hedef performansları bağlı oldukları şebekeye göre bu Yönetmeliğin kapsamında parçalı (3.2.1) ve sürekli (3.2.2) boru hatları için tanımlanan performans hedefleri ile uyumlu olacaktır.

## BÖLÜM 11 – DEPREM ETKİSİ ALTINDA BORU HATTI SİSTEMLERİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE GÜÇLENDİRME TASARIMI İÇİN GENEL KURALLAR

### 11.1. TANIM, KAPSAM VE GENEL İLKELER

Mevcut ve güçlendirilecek tüm boru hatlarının deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen boru hatlarının güçlendirme tasarım ilkeleri bu bölümde tanımlanmıştır.



Mevcut boru hatlarının deprem etkisi altında davranışı, **Bölüm 7**'de tanımlanan esaslar çerçevesinde belirlenecektir. Ancak mevcut boru hatları için malzeme ve bağlantı noktası özellikleri bu bölüme göre derlenecektir.

Hasara neden olan bir deprem sonrasında hasarlı boru hattının deprem güvenliği bu bölümde verilen yöntemlerle belirlenemez.

## **11.2. MEVCUT BORU HATTI SİSTEMLERİNDEN BİLGİ TOPLANMASI VE ANALİZİ**

### **11.2.1 - Sınırlı Bilgi Düzeyi**

Boru hattının güzergâhını gösterir proje, boru hattına ait imalat çizimleri mevcut değildir. Bu kapsamda

- Boru hattının güzergâhı yapılacak saha çalışmaları ile belirlenecektir.
- Boru hattında kullanılan boruların çapları ve et kalınlıkları ölçülecektir. Varsa kaynak özellikleri ve birleşim noktası boyut detayları ayrıntılı olarak belirlenecektir.
- Boru elemanından kesilerek alınacak bir örnek üzerinde laboratuvar deneyleri yapılacak ve kullanılan malzemenin dayanım, şekil değiştirme özellikleri belirlenecektir.
- Ayrıca, varsa, kaynak bir birleşim noktasından örnek kesilecek ve çıkarılacak parça üzerinde dayanım ve şekil değiştirme özelliklerine yönelik laboratuvar deneyleri yapılacaktır. Kesilerek çıkartılan örneklerin yerleri sonradan doldurulacaktır.
- Bulonlu birleşimler için ise bir civata örneği alınarak üzerinde laboratuvar deneyleri yapılacaktır.
- Boru hattının geçtiği güzergâha ilişkin zemin koşullarının tanımlanmasına yönelik saha ve deneysel çalışmalar bu Yönetmeliğin ekinde verilen ve zemin koşullarının tanımlanması ile zemin parametrelerinin belirlenmesine yönelik geoteknik saha ve laboratuvar çalışmalarını tanımlayan hükümlere göre yapılacaktır.
- Boru hattı için deprem tehlikesi ve deprem riski oluşturacak aktif faylar belirlenmelidir.

### **11.2.2 - Kapsamlı Bilgi Düzeyi**

Boru hattının güzergâhını gösterir proje, boru hattına ait imalat çizimleri mevcuttur. Bu kapsamda

- Boru hattının güzergâhı yapılacak saha çalışmaları ile kontrol edilecektir.
- Boru hattında kullanılan boruların çapları ve et kalınlıkları ölçülecektir. Varsa kaynak özellikleri ve birleşim boyut detayları ayrıntılı olarak ölçülmeli ve imalat çizimleri ile karşılaştırılacaktır.
- Boru elemanından kesilerek alınacak bir örnek üzerinde laboratuvar deneyleri yapılacak ve kullanılan malzemenin dayanım ve şekil değiştirme özellikleri belirlenecektir.
- Ayrıca, varsa, kaynaklı bir birleşim noktasından örnek kesilecek ve çıkarılacak parça üzerinde dayanım ve şekil değiştirme özelliklerine yönelik laboratuvar deneyleri yapılacaktır.
- Bulonlu birleşimler için ise bir civata örneği alınarak üzerinde laboratuvar deneyleri yapılacaktır.
- Eğer imalat çizimleri ile uygunluk doğrulanır ise boru ve birleşim noktaları kapasitelerinin hesaplanmasında projede öngörülen karakteristik dayanımlar ve birim şekil değiştirme sınırları mevcut malzeme için doğru kabul edilecektir.
- Eğer proje ile uygunluk sağlanamaz ise en az üçer adet boru örneği ve kaynak örneği alınarak laboratuvar deneyleri yapılacak ve elde edilen en düşük değerler eleman dayanım ve şekil değiştirme sınır değerleri olarak hesaplamalarda kullanılacaktır. Kesilerek çıkartılan örneklerin yerleri sonradan doldurulacaktır.
- Korozyona bağlı dayanımda gözlenebilecek azalma miktarı ASME B31G-1991 takip edilerek hesaplanacaktır.

- Boru hatının geçtiği güzergâha ilişkin zemin koşullarının tanımlanmasına yönelik saha ve deneysel çalışmalar bu Yönetmeliğin ekinde verilen ve zemin koşullarının tanımlanması ile zemin parametrelerinin belirlenmesine yönelik geoteknik saha ve laboratuvar çalışmalarını tanımlayan hükümlere göre yapılacaktır.
- Boru hattı için deprem tehlikesi ve deprem riski oluşturacak aktif faylar belirlenmelidir.

### **11.3 - MEVCUT VE/VEYA GÜÇLENDİRİLECEK BORU HATTI SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ VE DEPREM HESABI**

**Bölüm 7'**de tanımlanan modelleme yöntemi kullanılmalı ve gerektiği takdirde modelleme sırasında kırılma mekaniği yöntemlerine başvurulmalıdır.

**Bölüm 2, Bölüm 5** ve bu Yönetmeliğin ekinde heyelan ve sıvılaşma kalıcı yer hareketleri için verilen yöntemler uyarınca boru hattına etki edecek yer sarsıntısı; fay hareketi, heyelan ve sıvılaşma kaynaklı birim yerdeğiştirmeler hesaplanmalıdır.

### **11.4. BORU HATLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ**

**11.4.1 - Güzergâh değiştirme:** Bu yöntem genellikle sıvılaşma veya şev kayması yaşanabilecek alanlar için dikkate alınmalıdır. Boru hatının her iki uç noktasının aktif fayın farklı taraflarından bulunması durumunda fay geçişleri için de kullanılabilir. Güzergâh değiştirme yönteminin deprem dalgası yayılımının sebep olacağı hasarlara karşın daha az etkili olması beklenir. Bu yöntemin ayrıca geniş çaplı iletim boruları için daha kolay uygulanabilmesine rağmen küçük çaplı dağıtım boruları için aynı etkinlikte olmayabileceği tasarımcı tarafından dikkate alınmalıdır.

Mevcut bir hattın güzergâh değişikliği boru hatının işlevselliğini geçici bir süre kaybetmesi anlamına gelir. Potansiyel kalıcı zemin hareketlerine maruz kalması beklenen boru hatları, düşey yönde yeniden konumlandırılarak zemin hareketlerinin etkilerinden korunabilir. Yanal yönde kalıcı zemin hareketleri zemin serbest yüzeyine yakın bir seviyede beklenmesinden dolayı, boru hattı güzergâhının tehlikeli alanın aşağısına nakledilmesi sonucu olası hasardan korunması mümkündür.

**11.4.2 - Zemin iyileştirme:** Genellikle enine yönde kalıcı zemin hareketlerini azaltmaya yönelik kullanılan bir yöntemdir. Uygulanabilecek yaklaşımlar arasında kum yoğunluğunun artırılması, yer altı su seviyesinin düşürülmesi, boru hattı güzergâhında sıvılaşma potansiyeli olan bölgelerdeki sıvılaşabilecek malzemenin sıvılaşmaya karşı dirençli malzemeler (ör. çakıl) ile değiştirilmesi gibi yaklaşımlar bu başlık altında sıralanabilir.

**11.4.3 - Geliştirilmiş boyuna (eksenel) ve/veya açısız deformasyon kapasitelerine sahip derzlerin kullanılması:** Fay geçişlerinde, değişken zemin koşullarının bulunduğu alanların sınır bölgelerinde ve rijit yapılarla giriş/çıkış noktalarında yüksek ekstenel yerdeğiştirme ve dönme kapasitesine sahip derzlerin kullanılması sonucu boru hatının maruz kalabileceği hasar seviyesi azaltılabilir. Bu güçlendirme yöntemi, ani zemin deformasyonlarının tam olarak hangi bölgede oluşacağına dair bilginin mevcut olması durumunda etkin olarak uygulanabilir. Fay geçişlerinde jeolojik yapının ve zemin özelliklerinin büyük değişkenlik gösterebileceği ihtimali göz önüne alınarak tüm boru hattı boyunca derzlerin yerleştirilmesi bir çözüm olarak dikkate alınmalıdır.

**11.4.4. Yüksek dayanımlı ve sünek boru hattı malzemesinin kullanılması:** Boru hattı için ekstenel birim yerdeğiştirme değerlerinin baskın olduğu durumlarda dayanımı yüksek malzemelerin kullanılması ve boru duvar kalınlığının artırılması ile boru deprem davranışı iyileştirilebilir. Boru hattı için enine birim yerdeğiştirme değerlerinin baskın olduğu durumlarda ise esnek malzeme kullanımı boru deprem davranışını iyileştirir. Fiber takviyeli kompozitler ve kazırsız teknoloji kullanımı ile boru hatları astarlanabilir. Bu şekilde güçlendirilmiş boru hatlarında ve birleşme noktalarında ekstenel mukavemet ve rijitlik önemli ölçüde artar.

**11.4.5 - Fay geçişlerinde zemin-boru arayüz kuvvetlerinin azaltılmasına yönelik yaklaşımlar:** Sürtünmenin azaltılmasına yönelik olarak hendek tabanına ve şevlerine jeotekstil malzemenin serilmesi, boru hatlarının dayanımı arttıran fiber takviyeli polimer malzeme ile sargılanması ve beton menfez içine yerleştirilmesi fay geçişlerinde boru hatlarını daha güçlü kılacak yöntemlerdir.

#### **11.5. SU ARITMA TESİSLERİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ**

Su arıtma tesislerinin deprem etkileri altında güçlendirilmelerinde bina tipi yapılar için *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, bina tipi olmayan yapılar için ise *Deprem Etkisi Altındaki Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği* ilgili hüküm ve esasları geçerli olacaktır.

#### **11.6. POMPA İSTASYONLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ**

Pompa istasyonlarının deprem etkileri altında güçlendirilmelerinde bina tipi yapılar için *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, bina tipi olmayan gömülü yapılar için ise 6/10/2020 tarihli ve 31266 mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan *Türkiye Karayolları ve Demiryolları Tünelleri ile Diğer Zemin Yapıları Deprem Yönetmeliği* ilgili hüküm ve esasları geçerli olacaktır.

### **BÖLÜM 12 – ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN VE DEPREM ETKİSİ ALTINDA ZEMİN DAVRANIŞININ BELİRLENMESİNE İLİŞKİN KURALLAR**

Boru hatları güzergâhı boyunca yerel jeolojik ve zemin ortamı özelliklerinin ve deprem etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesine ilişkin kurallar, Ulaşım ve Dağıtım Tesisleri için hazırlanan “Geoteknik Konular Raporu” kapsamında belirlenmiş özel hususlar haricinde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY,2018, Bölüm 16 – Deprem Etkisi Altında Temel Zemini ve Temellerin Tasarımı İçin Özel Kurallar) Maddesi gereğince belirlenecektir.

## **KISIM-2**

**BORU HATTI SİSTEMLERİ (SIVI DEPOLAMA TANKLARI)**

# İÇİNDEKİLER

## SİMGELER

### BÖLÜM 1 – GENEL HÜKÜMLER

- 1.1. KAPSAM
- 1.2. GENEL İLKELER
- 1.3. TASARIM GÖZETİMİ VE KONTROLÜ
- 1.4. ATIF YAPILAN STANDARD VE YÖNETMELİKLER

### BÖLÜM 2 – DEPREM YER HAREKETİ

- 2.1 DEPREM TEHLİKE HARİTALARI
- 2.2 DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYLERİ
  - 2.2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)
  - 2.2.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)
  - 2.2.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)
- 2.3 DEPREM YER HAREKETİ SPEKTRUMLARI
  - 2.3.1 Harita Spektral İvme ve Tasarım Spektral İvme Değerleri
  - 2.3.2  $S_1$  için Faya Yakınlık Katsayısı
  - 2.3.3. Tasarım Spektral İvmeleri ve Yerel Zemin Etki Katsayıları
  - 2.3.4. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu
  - 2.3.5. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu
  - 2.3.6. Spektrum Uyumlu En Büyük Yer Hızı ve Yer Değiştirme
- 2.4 SAHAYA ÖZEL DEPREM YER HAREKETİ SPEKTRUMLARI
- 2.5 ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP İÇİN DEPREM YER HAREKETİ – SPEKTRUM UYUMLU YER HAREKETİ TAKIMLARI
  - 2.5.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi
  - 2.5.2. Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi

### BÖLÜM 3 – DEPREM ETKİSİ ALTINDA PERFORMANSA GÖRE ANALİZ VE TASARIM ESASLARI

- 3.1 PERFORMANSA GÖRE ANALİZ VE TASARIMIN TEMEL PARAMETRELERİ
- 3.2 DEPREM TASARIM SINIFI
- 3.3 PERFORMANS DÜZEYLERİ
  - 3.3.1 Kontrollü Hasar Sınır Durumu
  - 3.3.2 Kesintisiz Kullanım Sınır Durumu
- 3.4 PERFORMANS HEDEFLERİ
- 3.5 DEĞERLENDİRME VE TASARIM YÖNTEMLERİ

### BÖLÜM 4 DEPREM YÜKLERİNİN BELİRLENMESİNE İLİŞKİN KURALLAR

- 4.1 TANIM, KAPSAM VE GENEL İLKELER
- 4.2 DEPREM ETKİSİ
- 4.3 TİTREŞİM PERİYODLARI
- 4.4 SÖNÜM
- 4.5 HİDRODİNAMİK BASINÇ VE KUUVETLER
  - 4.5.1 Düşey Silindirik Tanklar
  - 4.5.2 Dikdörtgen Kesitli Tanklar
  - 4.5.3 Diğer Tank Geometrileri
- 4.6 TANK DUVARI EYLEMSİZLİK KUUVETLERİ
- 4.7 KESME KUUVETİ
  - 4.7.1 Çatıdan Duvara Aktarılan Kesme Kuvveti
  - 4.7.2 Duvardan Tabana Aktarılan Kesme Kuvveti
- 4.8 DEVRİLME MOMENTİ
  - 4.8.1 Zemine Sabitlenen Tanklar
  - 4.8.2 Zemine Sabitlenmeyen Tanklar
- 4.9 ÇALKALANMA DALGASI
- 4.10 GÖMÜLÜ TANKLAR

### BÖLÜM 5 – SIVI TANKLARININ DEPREM ANALİZİ VE TASARIMI

- 5.1 KAPSAM, TANIM VE GENEL İLKELER
- 5.2 DEPREM ETKİSİNİ İÇEREN YÜK BİRLEŞİMLERİ
- 5.3 KESİNTİSİZ KULLANIM SINIR DURUMU KONTROLÜ
  - 5.3.1 Sıvı Geçirmezlik ve Dayanım Kontrolü
  - 5.3.2 Çalkalanma Payı
  - 5.3.3 Zemine Sabitleme Elemanlarının Bağlantı Noktaları
  - 5.3.4 Hidrolik Sistemlerin Bağlantı Noktaları
  - 5.3.5 Tank Tavanını Destekleyen Kolonlar
- 5.4 KONTROLLÜ HASAR SINIR DURUMU KONTROLÜ
  - 5.4.1 Stabilité
  - 5.4.2 Zeminden Kalkma
  - 5.4.3 Rijitleştirici Kirişin Radyal Deformasyonu
  - 5.4.4 Tankın Temel Üzerinde Kayması
  - 5.4.5 Hidrolik Sistemlerin Bağlantı Bölgeleri
  - 5.4.6 Gevrek Hasar Mekanizmaları
  - 5.4.7 Güç Tükенmesi Sınırının Aşılmaması
- 5.5 TANKLARIN GÜVENLİĞİYLE İLGİLİ DİĞER KURALLAR

## **BÖLÜM 6 – DEPREM YALITIMLI SIVI DEPOLAMA TANKLARININ ANALİZİ VE HESABI**

- 6.1 TANIM, KAPSAM VE GENEL İLKELER
- 6.2 HESAP YÖNTEMİ
- 6.3 DİĞER ÖNEMLİ HUSUSLAR

## **BÖLÜM 7 – ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN VE DEPREM ETKİSİ ALTINDA ZEMİN DAVRANIŞININ BELİRLENMESİNE İLİŞKİN KURALLAR**

## **BÖLÜM 8 – DEPREM ETKİSİ ALTINDA SIVI DEPOLAMA TANKLARININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE GÜÇLENDİRME TASARIMI İÇİN GENEL KURALLAR**

- 8.1. TANIM, KAPSAM VE GENEL İLKELER
- 8.2. MEVCUT TANKLARDAN BİLGİ TOPLANMASI VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

## **EK A – ZEMİN-TEMEL-TANK ETKİLEŞİMİNİN MODELLENMESİ VE HESABINA İLİŞKİN KURALLAR**

- A.1. TANIM, KAPSAM VE GENEL İLKELER
- A.2. ZEMİN ESNEKLİĞİNİN DEPREM HESABINDA GÖZ ÖNÜNE ALINMASI İÇİN YÖNTEMLER
- A.3. BASİTLEŞTİRİLMİŞ ANALİZ YÖNTEMİ
- A.4 DETAYLI ANALİZ YÖNTEMİ

## SİMGELER

- $a$  = Tank duvarı geometrik kusurlarının burkulma basıncına etkisini hesaplama katsayısı
- $a_{\eta}$   $b_{\eta}$  = Sönüm oranı katsayısı denklemleri parametreleri  
 $c_{\eta}$   $d_{\eta}$   
 $e_{\eta}$
- $A_c$  = Toplam deprem etkisinin devinimsel titreşim modu bileşeni
- $A_{Ed}$  = Toplam deprem etkisi
- $A_i$  = Toplam deprem etkisinin solunum titreşim modu bileşeni
- $A_v$  = Toplam deprem etkisinin darbesel titreşim modu bileşeni
- $B$  = Dikdörtgen tankın kısa eksenine doğrultusundaki uzunluğunun yarısı
- $C$  = Temel rijitliğine bağlı katsayı
- $C_c$  = Devinimsel titreşim modu periyod hesaplama katsayısı
- $C_i$  = Darbesel titreşim modu periyod hesaplama katsayısı
- $C_v$  = Tank solunum titreşim modu periyod hesaplama katsayısı
- $C_i$  = Darbesel titreşim modu hidrodinamik basınç katsayısı
- $C_c$  = Devinimsel titreşim modu hidrodinamik basınç katsayısı
- $d_{max}$  = Sıvı çalkalanma yüksekliği
- DD-1 = Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen ortalama tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu deprem yer hareketi
- DD-2 = Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen ortalama tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu deprem yer hareketi
- DD-3 = Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen ortalama tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu deprem yer hareketi
- $D_{HD}$  = Tankı zemine sabitleyen elemanların merkezlerinden geçen çemberin çapı
- $E$  = Tank duvar malzemesi elastisite modülü
- $E_c$  = Beton elastisite modülü
- $f_{ck}$  = Beton karakteristik (28 günlük) silindirik basınç dayanımı
- $f_{el}$  = İdeal silindirik tank geometrisi için teorik burkulma basıncı
- $f_d$  = En büyük yer değiştirme denklemleri katsayısı

- $f_p$  = Duvar iç yüzey basıncının burkulma dayanımına ekti gerilmesi
- $f_{rb}$  = Tabanda meydana gelen radyal membran gerilmesi
- $f_{yb}$  = Taban plakası akma gerilmesi
- $f_{xb}$  = Tabanın zeminden kalkması nedeniyle tabana etkiyen ek gerilme
- $f_z$  = Tabanın zeminden kalkması nedeniyle duvarlara etkiyen ek eksenel membran gerilmesi
- $f_{\varphi}$  = Devrilme momenti etkisi altında tank duvarlarında meydana gelen gerilme
- $H$  = Tank içerisindeki suyun durgun durumdaki yüzeyinin tank tabanından yüksekliği
- $h_c$  = Tank tabanının hemen üzerindeki seviyedeki devrilme momenti hesabına katılan devinimsel titreşim modu eşdeğer eylemsizlik kuvvetinin tank tabanından yüksekliği
- $h_c'$  = Tank tabanının hemen altındaki devrilme momenti hesabına katılan devinimsel titreşim modu eşdeğer eylemsizlik kuvvetinin tank tabanından yüksekliği
- $h_i$  = Tank tabanının hemen üzerindeki seviyedeki devrilme momenti hesabına katılan darbesel titreşim modu eşdeğer eylemsizlik kuvvetinin tank tabanından yüksekliği
- $h_i'$  = Tank tabanının altındaki devrilme momenti hesabına katılan darbesel titreşim modu eşdeğer eylemsizlik kuvvetinin tank tabanından yüksekliği
- $h_w$  = Tank duvarlarının ağırlık merkezinin tabandan yüksekliği
- $h_r$  = Tank çatısının ağırlık merkezinin tabandan yüksekliği
- $h_r'$  = Sıvı basıncı eşdeğer yüksekliği
- $l$  = Tabanın zemine temas eden bölümünün uzunluğunun yarısı
- $l_p$  = Plastik dönmenin gerçekleştiği varsayılan mafsal boyu
- $L$  = Dikdörtgen tankın uzun eksenini doğrultusundaki uzunluğunun yarısı
- $L_F$  = En yakın aktif fay düzlemine olan mesafe [km]
- $m_c$  = Devinimsel titreşim modu etkili kütlesi
- $m_i$  = Darbesel titreşim modu etkili kütlesi
- $m_r$  = Tavanının kütlesi
- $m_w$  = Duvarların kütlesi
- $M_{OT}$  = Tank tabanının hemen üzerindeki seviye için devrilme momenti



- $M_{OT}'$  = Tank tabanının altındaki seviye için devrilme momenti
- $M_R$  = Zemine sabitlenmeyen tank için etkili dengeleyici moment
- $p$  = Duvara etkiyen toplam hidrodinamik basınç
- $p_b$  = Çatıya etkiyen sıvı kaldırma kuvveti basıncı
- $p_c$  = Duvara etkiyen hidrodinamik basıncın devinimsel mod bileşeni
- $p_c'$  = Tabana etkiyen hidrodinamik basıncın devinimsel mod bileşeni
- $p_d$  = Duvara etkiyen hidrodinamik basıncın darbesel mod bileşeni
- $p_d'$  = Tabana etkiyen hidrodinamik basıncın darbesel mod bileşeni
- $p_r$  = Tank çatısına sıvının dalgalanması nedeniyle etkiyen hidrodinamik basınç
- $p_v$  = Duvara etkiyen hidrodinamik basıncın düşey titreşim modu bileşeni
- $p_v'$  = Tabana etkiyen hidrodinamik basıncın düşey titreşim modu bileşeni
- $p_0$  = Tabana etkiyen hidrostatik basınç
- $P$  = Birim çevresel uzunluk için bağlantı elemanına etkiyen deprem yükü
- $PGD$  = En büyük zemin yer değiştirmesi
- $PGV$  = En büyük zemin hızı
- $q_{v,max}$  = Tank duvarına etkiyen kesme tesiri en büyük değeri
- $R$  = Tank yarıçapı
- $R'$  = Küresel tankın içerisindeki sıvı yüzeyinin yarıçapı
- $r$  = Tank tabanında hidrodinamik basıncın hesaplandığı noktanın taban orta noktasından uzaklığı
- $r'$  = Devrilme momenti etkisi altında tabanın zeminden kısmen ayrıldığı durumda zeminle temas eden alanının yarıçapı
- $S_{ae}(T)$  = Yatay elastik tasarım ivme spektrumu [g]
- $S_{aeD}(T)$  = Düşey elastik tasarım ivme spektrumu [g]
- $SA_{vs}$  = Düşey ivme spektrumunun kısa periyoduna karşılık gelen değeri
- $SA_{v1}$  = Düşey ivme spektrumunun  $T = 1.0$  s periyoduna karşılık gelen değeri
- $S_s$  = Deprem tehlikesi haritası kısa periyod spektral ivme değeri [g]
- $S_s'$  = En büyük doğrultu ve yakın fay etkisi dikkate alınmış zemin etkilerinden bağımsız kısa periyod spektral ivme değeri [g]

- $S_{Ds}$  = Yatay ve düşey elastik tasarım spektrum hesabında kullanılacak kısa periyod spektral ivme değeri [g]
- $S_{D1}$  = Yatay ve düşey elastik tasarım spektrum hesabında kullanılacak  $T = 1.0$  s spektral ivme değeri [g]
- $S_1$  = Deprem tehlikesi haritası  $T = 1.0$  s spektral ivme değeri [g]
- $S_1'$  = En büyük doğrultu ve yakın fay etkisi dikkate alınmış zemin etkilerinden bağımsız  $T = 1.0$  s spektral ivme değeri [g]
- $t$  = Taban plakası kalınlığı
- $t, t_w$  = Tank duvarı kalınlığı
- $T$  = Doğal titreşim periyodu [s]
- $T_A, T_B$  = Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodları [s]
- $T_c$  = Devinimsel titreşim modu periyodu
- $T_c'$  = Zemin-temel tank etkileşimli durum için devinimsel titreşim modu periyodu
- $T_i$  = Darbesel titreşim modu periyodu
- $T_i'$  = Zemin-temel-tank etkileşimli durum için darbesel titreşim modu periyodu
- $T_L$  = Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
- $T_{sv}$  = Düşey ivme spektrumu köşe periyodu
- $V$  = Tabanın zeminden kalkma yüksekliği
- $V$  = Tavandan duvarlara aktarılan toplam kesme kuvveti
- $V_d$  = Duvarların alt seviyesine etkiyen toplam kesme kuvveti
- $V_{s30}$  = Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]
- $Z_T$  = Kesit modülü
- $w_t$  = Birim çevresel uzunluk için tank duvarı ağırlığı
- $\alpha_i$  = Darbesel titreşim modu kütle hesap katsayısı
- $\alpha_s$  = Sabitletme elemanı sünekliğine bağlı katsayı
- $\delta$  = Duvar geometrik kusuru ölçüm parametresi
- $\Delta$  = Mesnet yer değiştirmesi
- $\varepsilon_c$  = Beton asal eksen basınç birim şekil değiştirmesi

- $\epsilon_{ct}$  = Beton asal eksen çekme birim şekil değıştirmesi
- $\epsilon_y$  = Çelik akma gerilmesi
- $\epsilon_s$  = Çelik tank asal eksen birim şekil değıştirmesi
- $\phi_1, \gamma_F$  = Yakın fay katsayısı
- $\gamma$  = Sıvı yoğunluğu
- $\eta_\xi$  = Sönüm oranı katsayısı
- $\nu_w$  = Duvar malzemesi Poisson oranı
- $\theta$  = Tank duvarındaki ve tabanındaki hidrodinamik basınç hesap noktasının deprem sarsıntısı doğrultusuyla yaptığı açı
- $\theta_p$  = Taban duvar bölgesindeki plastik dönme
- $\rho$  = Depolanan sıvının kütle yoğunluğu
- $\rho_w$  = Duvar malzemesi kütle yoğunluğu
- $\tau$  = Taban-zemin temas oranı
- $\xi$  = Sönüm oranı
- $\xi$  = Darbesel titreşim modu sönüm oranı
- $( )_c$  = Darbesel titreşim modunu belirten alt indis
- $( )_i$  = Devinimsel titreşim modunu belirten alt indis
- $( )_r$  = Referans durumu belirten alt indis

# BÖLÜM 1 – GENEL HÜKÜMLER

## 1.1. KAPSAM

Bu Yönetmelik hükümleri, yeni yapılacak ve mevcut sıvı depolama tanklarının deprem etkisi altında tasarımı, performans değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için uygulanır.

Yönetmelik kapsamında çelik ve betonarme sıvı tanklarının deprem hesabıyla ilgili kurallar sunulmaktadır (Şekil 1.1). Zemine sabitlenmiş ve zemin üzerine serbest oturan tanklarla ilgili tasarım kuralları Bölüm 5'te sunulmaktadır. Deprem yalıtımlı tankların tasarımında göz önüne alınacak özel kurallar Bölüm 6'da sunulmaktadır. Zemine gömülü tankların tasarımıyla ilgili özel kurallar Bölüm 4'te yer almaktadır.

Bu Yönetmelikte yer alan hükümler atmosferik (basıncsız) sıvı tankları için geçerlidir.

Yüksek çevresel ve kamusal risk oluşturan radyoaktif maddelerin ve sıvılaştırılmış gazların depolandığı tankların tasarımı bu Yönetmeliğin kapsamı dışındadır. Bu Yönetmelik kapsamında depolanan sıvı maddelerin sınıflandırması için 11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik, Ek - 1: Zararlı Madde ve Karışımların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesine İlişkin Gereklilikler'de yapılan tanımları dikkate alır.

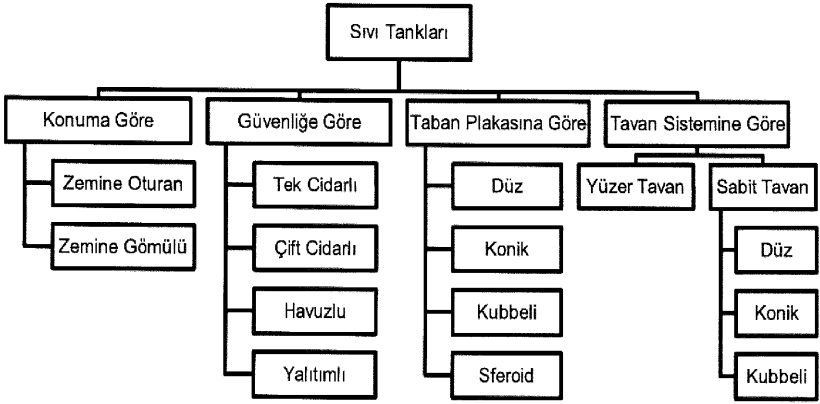
Bu Yönetmelik kapsamındaki hükümler, sıcaklığı  $-40^{\circ}\text{C}$  ila  $200^{\circ}\text{C}$  arasında bulunan sıvı depolama tankları için geçerlidir. Sıcaklık etkisi altında değişen malzeme özellikleri için ilgili sıcaklık etkisi hesaplarında göz önüne alınacaktır.

Benzer şekilde, hasarlı sıvı tanklarının deprem güvenliğinin değerlendirilmesi bu yönetmeliğin kapsamı dışındadır.

Tank taşıyıcı sistemine sabitlenmiş, yapısal olmayan ekipmanın, tank ve zemin sistemi ile dinamik etkileşimi sonucu oluşabilecek hasar verici etkiler bu Yönetmelik kapsamı dışındadır. Bu tür sistemler için gerekli olması durumunda bu Yönetmelikte sunulan esaslara uygun şekilde özel bir inceleme yapılarak ilgili ekipmanın tank taşıyıcı sistemine uygulayacağı zorlamalar değerlendirilmelidir.

Tank duvarlarının iç yüzeyi ve dış yüzeyi arasında oluşabilecek sıcaklık farkları nedeniyle meydana gelebilecek gerilme ve şekil değiştirmelerden kaynaklanan zorlamaların değerlendirilmesi de bu Yönetmeliğin kapsamı dışındadır.

Tank içerisinde depolanan sıvının deprem sarsıntısı sırasında tutuşması nedeniyle taşıyıcı sistemde meydana gelebilecek zorlamaların değerlendirilmesi bu Yönetmelik kapsamı dışındadır. Özellikle yüzer çatıya sahip sıvı depolama tanklarında deprem sırasında kıvılcım oluşmasına karşı gerekli önemlerin alınması önem taşımaktadır.



Şekil 1.1 Kapsam dâhilinde bulunan tank türleri

## 1.2. GENEL İLKELER

Bu Yönetmeliğe göre deprem etkisi altında yeni yapılacak ve mevcut sıvı depolama tanklarının değerlendirilmesinde esas alınacak deprem yer hareketi düzeyleri Bölüm 2’de tanımlanmıştır. Bu deprem yer hareketi düzeylerine karşı gelen deprem etkileri, 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları ile tanımlanmıştır. Bu Yönetmeliğin belirttiği bazı koşullarda sahaya özel deprem tehlikesi hesapları Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarının yerine deprem seviyelerinin belirlenmesinde kullanılacaktır.

Bu Yönetmeliğe göre deprem etkisi altında yeni tankların tasarımında ve mevcut tankların değerlendirilmesinde esas alınacak Performans Hedefleri Bölüm 3’te tanımlanmıştır.

Bu Yönetmelik hükümlerinde belirtilen tasarım ve hesap kuralları yeni yapılacak ve mevcut sıvı depolama tanklarının deprem etkisi altında tasarımı, performans değerlendirilmesi ve güçlendirmesi için asgari koşulları içermekte olup, Yönetmeliğin belirlediği esaslar dâhilinde farklı yöntem ve hesaplar bu Yönetmelik kapsamına giren sıvı depolama tankları için uygulanabilir.

Bu Yönetmeliğe göre deprem etkisi altında tasarımı yapılan binalar, malzeme ve işçilik koşulları bakımından Türk Standartları ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Genel Teknik Şartnamesi’ne, 10/7/2013 tarihli ve 28703 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Yapı Malzemeleri Yönetmeliği’ne, 26/6/2009 tarihli ve 27270 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Yapı Malzemelerinin Tabi Olacağı Kriterler Hakkında Yönetmelik kurallarına uygun olacaktır.

## 1.3. TASARIM GÖZETİMİ VE KONTROLÜ

**1.3.1** Bu Yönetmeliğin uygulanmasına ilişkin değerlendirme ve tasarım süreçlerinde, 1.3.3. maddesinde tanımlanan kapsamdaki özel uzmanlık gerektiren, konularda projenin başlangıcından tamamlanmasına kadar tüm tasarım aşamalarında görev yapacak şekilde, ilgili alanda teorik ve mesleki bilgi ve deneyim sahibi mühendislerden kurulu bir heyet vastası ile “tasarım gözetimi ve kontrolü” hizmeti alınması esastır.

İşbu heyetin başkanlığı, tüm tasarım aşamalarına hâkim, deprem mühendisliği ve yapı dinamiği konusunda uzman bir inşaat mühendisi tarafından yürütülecektir.

Teşkilatlanma yapısında, 1.3.3. maddesinde tanımlanan konularda uzman ekip/birim bulunduran kamu kurum ve kuruluşları için bu hizmetin alınıp alınmaması kararı kurum ve kuruluş bünyesinde verilecektir.

Teşkilatlanma yapısında, 1.3.3. maddesinde tanımlanan konularda uzman ekip/birim bulundurmeyen kamu kurum ve kuruluşları için bu hizmetin satın alınması zorunludur.

**1.3.2** Bu tür hizmetleri yerine getireceklerin eğitim koşulları, mesleki yeterlilik ve deneyim konuları ve bunların belgelendirilmesi ile hizmetin yürütülmesine ilişkin usul ve esaslar ile uygulamanın başlangıç tarihi kurumun en üst yetkili makamı tarafından belirlenir.

**1.3.3** Bu Yönetmeliğin uygulanmasında aşağıda belirtilen konular "tasarım gözetimi ve kontrolü" hizmetine tabidir:

- Madde 2.4 kapsamında belirtilmiş Sahaya Özel Deprem Tehlikesi Hesapları,
- Madde 2.5 kapsamında belirtilmiş Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketinin Tanımlanması,
- Madde 4.5.3 kapsamında belirtilmiş Diğer Tank Geometrileri için sunulan yaklaşık yöntemlerin geçerli olmadığı durum için yapılan sıvı-tank dinamik etkileşiminin göz önüne alındığı analizlerin yürütüldüğü durumlar ve
- Madde 6.2 kapsamında belirtilmiş olan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminin, "İdare"nin de öngördüğü ve çerçevesinin projeye özel teknik şartname ile belirlenerek kullanıldığı durumlar.

**1.3.4** Yeterli hesap modellerinin bulunmadığı, çok sayıda benzer bileşenin kullanıldığı durumlarda veya tasarımda kullanılan varsayımların doğrulanması amacıyla yapılacak deneysel çalışmalarda TS EN 1990'da verilen esaslar veya eşdeğer uluslararası kurallar dikkate alınmalıdır.

#### 1.4. ATIF YAPILAN STANDARD VE YÖNETMELİKLER

Bu Yönetmelikte, tarih belirtilerek veya belirtilmeksizin diğer standart ve/veya dokümanlara atf yapılmaktadır. Bu atıflar metin içerisinde uygun yerlerde belirtilmiş ve Tablo 1.1'de verilmiştir. Tarih belirtilen atıflarda daha sonra yapılan tadilat veya revizyonlar, atf yapan bu Yönetmelikte de tadilat veya revizyon yapılması şartı ile uygulanır. Atf yapılan standart ve/veya dokümanın tarihinin Tablo 1.1'de belirtilmemesi halinde en son baskısı kullanılır.

Tablo 1.1 Atıf Yapılan Standart, Yönetmelik ve Dokümanlar

STANDART ADI	STANDART NO
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)	TBDY 2018
Yapı Tasarım Esasları (Eurocode)	TS EN 1990
Yapılar üzerindeki etkiler - Bölüm 4: Silolar ve tanklar (Eurocode 1)	TS EN 1991-4
Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapıların tasarımı - Bölüm 4: Silolar, tanklar ve boru hatları	TS EN 1998-4
Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri	TS 498
Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları	TS 500
Çelik - Betonarme için Donatı Çeliği	TS 708:2016
Tanklar-Ortam sıcaklığı ve üzerindeki sıcaklıklardaki sıvıların depolanması için dik, silindirik, düz tabanlı yerüstü için kaynaklı çelik tesisi için tasarım ve imalat özellikleri	TS EN 14015
Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik	11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan yönetmelik

STANDART ADI	STANDART NO
Ham Petrol ve Petrol Ürünlerini Depolamaya Mahsus Tank Çiftliklerinde Emniyet Kuralları	TS 4943
Seismic Design of Storage Tanks	NZS 2009
Design of Concrete Structures for the Storage of Liquids	NZS 3106: 2009
Welded Tanks for Oil Storage	API 650
Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures	ASCE 7

## BÖLÜM 2 – DEPREM YER HAREKETİ

### 2.1 DEPREM TEHLİKE HARİTALARI

Sıvı depolama tanklarının deprem etkisi altında tasarımında esas alınacak deprem yer hareketlerine ilişkin veriler bu bölümde tanımlanmaktadır.

Bölüm 2.2'de tanımlanan üç farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri, 22/1/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile tanımlanmıştır. Bu haritalara <https://tdth.afad.gov.tr/> adresli internet sitesinden erişilebilir.

### 2.2 DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYLERİ

Bu Yönetmelik kapsamında, aşağıda belirtilen üç farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

#### 2.2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

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 nitelendirmektedir.

#### 2.2.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu deprem yer hareketini nitelendirmektedir.

#### 2.2.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu deprem yer hareketini nitelendirmektedir.

### 2.3 DEPREM YER HAREKETİ SPEKTRUMLARI

#### 2.3.1 Harita Spektral İvme ve Tasarım Spektral İvme Değerleri

Harita spektral ivme değerleri, Bölüm 2.2'de belirtilen üç farklı deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları kapsamında tanımlanmıştır:

(a) Kısa periyod harita spektral ivme değeri,  $S_s$

(b) 1.0 saniye periyod için harita spektral ivme değeri,  $S_1$

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme değerleri, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [ $V_{530} = 760$  m/s] esas alınarak %5 sönüm oranı için yerçekimi ivmesi cinsinden tanımlanmıştır.

Harita spektral ivme değerleri  $S_s$  ve  $S_1$ , yerel zemin etkisi, en büyük doğrultu etkisi ve yakın fay etkisi dikkate alınarak aşağıdaki şekilde zemin etkilerinden bağımsız  $S'_s$  ve  $S'_1$  spektral ivmelerine dönüştürülür:

$$S'_s = \gamma_s S_s \quad (2.1)$$

$$S'_1 = \gamma_1 \varphi_{1,YF} S_1 \quad (2.2)$$

Yukarıdaki denklemlerde,  $\gamma_s$  ve  $\gamma_1$  sırasıyla  $S_s$  ve  $S_1$  için en büyük doğrultu etkisini dikkate alan katsayılardır.  $\gamma_s$  ve  $\gamma_1$  katsayıları sırasıyla 1.1 ve 1.3 değerlerini alırlar. Denklem (2.2)'de verilen  $\varphi_{1,YF}$  çarpanı,  $S_1$  için faya yakınlık katsayısıdır ve 2.3.2'de tanımlanmaktadır.

### 2.3.2 $S_1$ için Faya Yakınlık Katsayısı

DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde sıvı tanklarının aktif fay düzlemlerine 25 km veya daha az mesafedeki konumları için yakın fay katsayısı aşağıdaki ifade ile dikkate alınır. 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. Yakın fay etkisi çarpanı,  $\varphi_{1,YF}$  aşağıdaki ifadeler kullanılarak belirlenir:

$$\varphi_{1,YF} = \begin{cases} 1.2 & L_F \leq 15 \text{ km} \\ 1.2 - 0.02(L_F - 15) & 15 \text{ km} < L_F \leq 25 \text{ km} \\ 1.0 & 25 \text{ km} < L_F \end{cases} \quad (2.3)$$

Denklem (2.3)'te  $L_F$  fay düzlemine olan mesafedir ve [km] cinsinden ifade edilir.

### 2.3.3. Tasarım Spektral İvmeleri ve Yerel Zemin Etki Katsayıları

18/3/2018 tarihli ve 30364 mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*'nde tanımlanan yerel zemin sınıfları'na bağlı olarak yerel zemin etki katsayıları  $F_s$  ve  $F_1$  Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'de verilmiştir.

Referans zemin koşulu ( $V_{S30} = 760$  m/s) için hesaplanan  $S_s$ ' ve  $S_1$  değerleri sırasıyla  $F_s$  ve  $F_1$  katsayılarını **Tablo 2.1** ve **Tablo 2.2**'den okumak için kullanılacaktır. Bu tablolarda sunulan katsayılar *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*'nde verilen değerlerle aynıdır. Tablolarda doğrudan verilmeyen ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

Tasarım spektral ivmeleri  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$S_{DS} = F_s S'_s \quad (2.4)$$

$$S_{D1} = F_1 S'_1 \quad (2.5)$$

**Tablo 2.1. Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı,  $F_s$**

Yerel Zemin Sınıfı	$S'_s \leq 0.25g$	$S'_s = 0.50g$	$S'_s = 0.75g$	$S'_s = 1.0g$	$S'_s = 1.25g$	$S'_s \geq 1.50g$
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	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtildiği şekilde sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

**Tablo 2.2. 1 saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı,  $F_i$**

Yerel Zemin Sınıfı	$S'_1 \leq 0.10g$	$S'_1 = 0.20g$	$S'_1 = 0.30g$	$S'_1 = 0.4g$	$S'_1 = 0.50g$	$S'_1 \geq 0.60g$
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	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtildiği şekilde sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

### 2.3.4. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik spektral ivmeleri,  $S_{ae}(T, \xi)$ , herhangi bir titreşim periyodu,  $T$  ve sönüm oranı,  $\xi$  için aşağıdaki denklemler kullanılarak belirlenir:

$$S_{ae}(T, \xi) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) \eta_\xi S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (2.6)$$

$$S_{ae}(T, \xi) = \eta_\xi S_{DS} \quad T_A < T \leq T_B \quad (2.7)$$

$$S_{ae}(T, \xi) = \eta_\xi \frac{S_{D1}}{T} \quad T_B < T \leq T_L \quad (2.8)$$

$$S_{ae}(T, \xi) = \eta_\xi \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad T_L < T \quad (2.9)$$

Yukarıda,  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  tasarım spektral ivmekatsayıları,  $T$  titreşim periyodu ve  $\xi$  sönüm oranıdır. Sönüm oranı,  $\xi$  değerinin %5'ten farklı olması durumu için spektral ivme seviyesi, sönüm oranı katsayısı,  $\eta_\xi$  kullanılarak aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır.

Yukarıdaki denklemlerde,  $T_A$ ,  $T_B$  ve  $T_L$  periyodları, yatay tasarım spektrumunun köşe periyodlarına karşılık gelmektedir ve şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$T_A = 0.2 \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_L = 6 s \quad (2.10)$$

Sönüm oranının %0.5 olduğu durumda spektral ivmelerin hesaplanmasında kullanılan sönüm oranı katsayısı,  $\eta_\xi$  aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\eta_\xi \begin{cases} = 0.925 + 7.5 \cdot T & T \leq 0.11 s \\ = 1.76 - 0.06 \cdot T & 0.11 s < T \leq 28 s \\ = 1 & T > 28 s \end{cases} \quad (2.11)$$

Sönüm oranının %1 ila %50 arasında olduğu durumlarda spektral ivmelerin hesabında kullanılan sönüm oranı katsayısı,  $\eta_\xi$  aşağıdaki denklemler kullanılarak belirlenir:

$$\eta_\xi \begin{cases} = 1 + \frac{(a_\eta - 1) \cdot T}{0.15} & T < 0.15 s \\ = \frac{b_\eta \cdot T}{(c_\eta + T)} & 0.15 s \leq T < 0.5 s \\ = d_\eta + e_\eta(T - 0.5) & 0.5 s \leq T \leq 10 s \end{cases} \quad (2.12)$$

Yukarıdaki denklemlerde,  $a_\eta$ ,  $b_\eta$ ,  $c_\eta$ ,  $d_\eta$  ve  $e_\eta$  sönüm oranı katsayısı denklemi parametreleridir ve Tablo 2.3'te sunulmaktadır. Sönüm oranının ara değerleri için  $\eta_\xi$  katsayısı sunulan değerler için elde edilen sonuçlar arasında enterpolasyon yapılarak hesaplanacaktır.

**Tablo 2.3 Sönüm oranı katsayısı,  $\eta_\xi$  denklemi parametreleri**

Sönüm oranı, $\xi$	$a_\eta$	$b_\eta$	$c_\eta$	$d_\eta$	$e_\eta$
%1	1.49	1.538	0.005	1.52	-0.0392
%3	1.15	1.185	0.005	1.17	-0.0119
%7	0.91	0.883	-0.005	0.89	0.0051
%10	0.82	0.761	-0.011	0.78	0.0107
%20	0.66	0.549	-0.025	0.58	0.0171
%30	0.58	0.445	-0.034	0.48	0.0192
%50	0.48	0.334	-0.046	0.37	0.0202

### 2.3.5. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan düşey elastik spektral ivmeleri,  $S_{aeD}(T, \xi)$ , herhangi bir titreşim periyodu,  $T$  ve sönüm oranı,  $\xi$  için aşağıdaki denklemler ile hesaplanır:

$$S_{aeD}(T, \xi) = \left( 0.6 SA_{VS} \frac{T}{0.05} + 0.4 SA_{VS} \right) \eta_\xi \quad 0 \leq T \leq 0.05 \quad (2.13)$$

$$S_{aed}(T, \xi) = SA_{VS} \eta_{\xi} \quad 0.05 < T \leq T_{SV} \quad (2.14)$$

$$S_{aed}(T, \xi) = SA_{VS} \left( \frac{T_{SV}}{T} \right)^n \eta_{\xi} \quad T_{SV} < T \quad (2.15)$$

Burada  $SA_{VS}$  kısa periyod düşey spektrum değerini temsil etmektedir. Sönüm oranı,  $\xi$  değerinin %5'ten farklı olması durumu için spektral ivme seviyesi, sönüm oranı katsayısı,  $\eta_{\xi}$  kullanılarak yukarıda belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır.  $T_{SV}$  ve üssel  $n$  katsayısı şu şekilde hesaplanırlar:

$$T_{SV} = maks \{0.13; (0.7 - 0.67C_L)\} \quad (2.16)$$

$$n = \frac{\ln(1 - C_L)}{\ln(T_{SV})} \quad (2.17)$$

$$C_L = 1 - \frac{SA_{V1}}{SA_{VS}} \quad (2.18)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan  $\ln(.)$  ifadesi doğal logaritmayı temsil eder. Denklem (2.18)'de yer alan  $SA_{V1}$ ,  $T = 1.0$  s periyodu için düşey ivme spektrumu ordinatıdır ve  $SA_{VS}$  ile beraber zemin etkilerinden bağımsız yatay spektral ivme değerleri  $S'_S$  ve  $S'_1$  kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$SA_{VS} = a_{VS} (S'_S)^{b_{VS}}; a_{VS} = 5.07 (V_{S30})^{-0.306}; b_{VS} = 1.03 + 0.066 \left( \frac{\min(V_{S30}, 760)}{1000} \right) \quad (2.19)$$

$$SA_{V1} = a_{V1} (S'_1)^{0.91}; a_{V1} = 9.90 (V_{S30})^{-0.467} \quad (2.20)$$

### 2.3.6. Spektrum Uyumlu En Büyük Yer Hızı ve Yer Değiştirme

Tankin devrilme stabilitesinin kontrolünde en büyük yer hızı,  $PGV$  göz önüne alınacaktır. Bu parametre, daha ayrıntılı sahaya özel deprem tehlikesi çalışması yapılmadığı takdirde yukarıda tanımlanan deprem yer hareketi spektral ivmelerine ( $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ ) bağlı olarak aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanacaktır:

$$PGV [m/s] = 0.75 (S_{DS} S_{D1})^{0.55} \quad (2.21)$$

Tanka bağlanacak boru ve pompa sistemlerinin bağlantı detaylarının kontrolünde en büyük zemin yer değiştirmesi,  $PGD$  parametresi göz önüne alınacaktır. Sahaya özel bir deprem tehlikesi çalışması yapılmadığı takdirde hesap  $PGD$  değeri aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilecektir:

$$PGD [m] = 0.25 f_d S'_1 \left( \frac{V_{S30}}{760} \right)^{-0.4} \quad (2.22)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan  $f_d$  parametresi şu şekilde hesaplanacaktır:

$$f_d \begin{cases} = 2 & \text{eğer } S'_1 < 0.1 \\ = 1 + 10 \cdot S'_1 & \text{eğer } S'_1 \geq 0.1 \end{cases} \quad (2.23)$$

## 2.4 SAHAYA ÖZEL DEPREM YER HAREKETİ SPEKTRUMLARI

Aşağıdaki kritik özelliklere sahip sahalar için sahaya özel deprem tehlikesi çalışması yapılarak ilgili deprem yer hareketi spektrumlarının oluşturulması gerekmektedir:

- Bilinen bir aktif faya 25 km veya daha yakın mesafede yer alan sahalara
- Özel deprem yalıtımı veya enerji sönümlenme sistemleriyle donatılmış tankların yer alacağı sahalara
- Tankın güvenliğinden sorumlu kurum ve kuruluşların veya proje mühendisinin bu Yönetmelikte esas alınan güvenlik seviyesinin üzerinde bir seviye göz önüne alınarak veya diğer özel koşulları dikkate alarak tasarlanmasını istediği tanklar.

Sahaya özel oluşturulan deprem yer hareketi spektrumlarının bu Yönetmelikte ilgili saha ve deprem düzeyi için tanımlanan hesap spektral ivme seviyelerinin %90'ından daha küçük değerler alamazlar.

## **2.5 ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP İÇİN DEPREM YER HAREKETİ – SPEKTRUM UYUMLU YER HAREKETİ TAKIMLARI**

Bu Yönetmeliğe göre sıvı depolama tanklarının zaman tanım alanında deprem hesabında gerekli deprem yer hareketlerinin tanımlanması için kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi veya spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi için uygulanması gerekli kurallar 2.5.1, 2.5.2 ve 2.5.3'te tanımlanmıştır.

### **2.5.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi**

Sıvı tanklarının zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır. Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılacaktır. Sahaya özel deprem tehlikesine en fazla katkıda bulunan depremlere ait büyüklük ve fay uzaklığı bilgilerinin belirlenmesi için deprem tehlikesi ayrıştırma işleminden yararlanılabilir.

Yeterli sayı veya nitelikte deprem kaydı seçiminin yapılamadığı durumlarda, zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılabilir. Bu tür kayıtların kullanılması durumunda, tankın bulunduğu sahanın sismik kaynak, dalga yayılım ve yerel zemin özellikleri göz önüne alınacaktır. Benzeştirme için kullanılacak model parametrelerinin, söz konusu bölgede meydana gelmiş depremlerde kaydedilmiş gerçek deprem kayıtları ile uyumlu olduğu gösterilecektir.

Zaman tanım alanında hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az yedi olacaktır. Aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı ikiye geçmeyecektir. Yakın fay etkisinin sahada etkili olması durumunda seçilen deprem kaydı takımlarından en az 3 tanesi yakın fay yönelim etkisine sahip olmalıdır. 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.

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 aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

(a) Bu Yönetmelik kapsamında tasarıma esas yer hareketi parametreleri en büyük yön doğrultusunda tanımlanmıştır. Kayıt takımlarının ölçeklendirilmesi en büyük yön doğrultusunu dikkate alınmalıdır.

(b) Ölçeklendirilen deprem kayıt takımlarının yatay bileşenlerinin en büyük doğrultu yönündeki spektral genliklerinin ortalaması  $0.8T_i$  ve  $1.2T_c$  periyodları arasındaki periyodlar için hedef performansa esas yatay tasarım spektrum ( $S_{ae}$ ) genliklerinden daha düşük olamaz. Burada  $T_i$  ve  $T_c$  sırasıyla tankın darbesel ve devinimsel mod titreşim periyodlarıdır [s].

(c) Ölçeklendirilen her bir kayıt takımında yatay bileşenler arasında ölçek katsayıları aynı olmalıdır. Bu katsayı düşey bileşen için de kullanılmalıdır.

(d) Sahaya özel deprem tehlikesi hesabının yapılması durumunda ölçeklendirmeler en büyük doğrultu yönünde hedef performans deprem seviyelerini temsil eden sahaya özel elastik ivme spektrumlarını veya bu spektrumlar kullanılarak elde edilen koşullandırılmış ortalama spektrumları dikkate alınarak yapılabilir.

### 2.5.2. Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi

Zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda kullanılmak üzere deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi ile de elde edilebilir. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, ilgili periyod aralığı için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmayacaktır.

## BÖLÜM 3 – DEPREM ETKİSİ ALTINDA PERFORMANSA GÖRE ANALİZ VE TASARIM ESASLARI

### 3.1 PERFORMANSA GÖRE ANALİZ VE TASARIMIN TEMEL PARAMETRELERİ

Bu Yönetmelikte, sıvı tanklarının deprem tasarımında performansa dayalı tasarım yaklaşımı esas alınmıştır. Bu kapsamda, deprem tasarımında farklı sıklıkla meydana gelmesi beklenen sarsıntı şiddetleri etkisinde tank-temel sisteminin göstereceği performansın belirlenmesi ve ilgili sistemin bu performansa göre detaylandırılması tasarımın temelini oluşturur.

Sıvı tanklarının deprem tasarımında ve performans değerlendirmesinde deprem yer hareketi şiddeti spektral ivme cinsinden tanımlanır. Deprem sırasında tank duvarlarında, tabanında, çatı-duvar ve duvar-taban birleşim bölgelerinde meydana gelen zorlamaların seviyesi ve tank taşıyıcı sisteminin kapasitesi tankın deprem performansını belirler. Ayrıca, deprem sırasında tank içerisinde meydana gelen çalkalanma hareketiyle depolanan sıvı taşabilmektedir. Bu durumun tankın performans analizi kapsamında göz önüne alınabilmesi için tank içerisindeki sıvıda meydana gelebilecek dalgaların yüksekliği hesaplanır.

Deprem hareketinin tank taşıyıcı sisteminde meydana getirdiği etkilerin hesabı için tanımlanması gereken yükler Bölüm 4'de sunulmaktadır.

### 3.2 DEPREM TASARIM SINIFI

Bu Yönetmelik, temel özellikleri açısından farklılık gösteren tankların tasarımında kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Bu temel özellikler şunlardır:

- Depolanan sıvının özellikleri, miktarı ve ilgili tehlikeler
- Depremden sonra işlevsellik
- Çevresel koşullar

İlgili temel özellikler açısından tanklar Tablo 3.1'de tanımlanan tasarım sınıflarına ayrılmaktadır. Sıvı tanklarının hedef performansları, bu tasarım sınıfları göz önüne alınarak belirlenmektedir.

**Tablo 3.1 Deprem Tasarım Sınıfları**

Tank Tasarım Sınıfı	Tanım
I	1000 m <sup>3</sup> ve daha küçük kapasiteli ve Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik - Ek 1: Zararlı Madde ve Karışımların Sınıflandırılması ve

	Etiketlenmesine ilişkin Gereklilikler'de belirtilen esaslara göre zararlı olarak sınıflandırılan maddelerin dışında kalan sıvıların depolandığı ve deprem sonrası işlevselliği kritik olmayan tanklar
II	1000 m <sup>3</sup> 'ten daha büyük kapasiteli ve Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik - Ek 1: Zararlı Madde ve Karışımların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesine ilişkin Gereklilikler'de belirtilen esaslara göre zararlı olarak sınıflandırılan maddelerin dışında kalan sıvıların depolandığı ve deprem sonrası işlevsellikleri kritik olmayan tanklar
III	Deprem sonrası işlevsellikleri kritik olan ve Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik - Ek 1: Zararlı Madde ve Karışımların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesine ilişkin Gereklilikler'de belirtilen esaslara göre zararlı olarak sınıflandırılan maddelerin depolandığı tanklar

### 3.3 PERFORMANS DÜZEYLERİ

Bu Yönetmelikte, sıvı tanklarının deprem performansının kontrolünde iki performans seviyesi göz önüne alınmaktadır. Bu seviyeler şunlardır:

1. Kontrollü Hasar sınır durumu
2. Kesintisiz Kullanım hasar sınır durumu

#### 3.3.1 Kontrollü Hasar Sınır Durumu

Kontrollü hasar sınır durumu tank taşıyıcı sisteminin yapısal göçme meydana gelmesinden hemen önce, gevrek hasara yol açacak davranış modu dışında kalan hasar durumuna karşılık gelmektedir. Bu hasar durumunda tankın depoladığı sıvı kontrollü bir şekilde tank dışına aktarılabilir. Bazı koşullarda, tankın bu hasar durumuna ulaşmasının ardından tekrar kısmi bir seviyede de olsa işlevsellik kazanması mümkündür.

Kontrollü hasar sınır durumuyla ilgili performans hedefinin sağlanmasının kontrolünde şu etkenler göz önüne alınır:

1. Yapısal stabilite (devrilme ve kayma) kontrolü
2. Tank duvarlarının burkulmaya karşı dayanımı
3. Taban ve boru bağlantı noktalarının dayanımı
4. Temel sisteminin dayanımı

#### 3.3.2 Kesintisiz Kullanım Sınır Durumu

Kesintisiz kullanım sınır durumu tankın deprem sonrası kullanılabilirliğinin göz önüne alındığı hasar sınır durumudur. Bu kapsamda, sistemin tümüyle kullanılabilir olduğu ve hiçbir sızıntının meydana gelmediği durum veya belirli bir kontrol/onarım sonrası önceden tanımlanan bir kullanılabilirlik seviyesine ulaşabildiği hasar durumu olarak tanımlanır.

Kesintisiz kullanım sınır durumuyla ilgili performansın sağlanması konusunda yapılan kontrollerde şunlar değerlendirilir:

1. Tankın sıvı geçirmezliği
2. Sıvı üst yüzeyi ile çatı arasındaki çalkalanma payı yüksekliğinin yeterliliği

3. Tanka bağılı hidrolik sistemlerin ve zemin bağlantısının deformasyon kapasitesi

### 3.4 PERFORMANS HEDEFLERİ

Bu Yönetmelik kapsamında performansa dayalı tasarımı yapılan sıvı tanklarının Tank Tasarım Sınıflarına göre Tablo 3.2'de sunulan performans gerekliliklerini sağlaması hedeflenir. Bu gerekliliklerin tanımlanmasında, ilgili tanklarda farklı deprem tehlikesi seviyelerindeki yer hareketleri nedeniyle meydana gelecek hasarın kabul edilebilir seviyede olması amaçlanır.

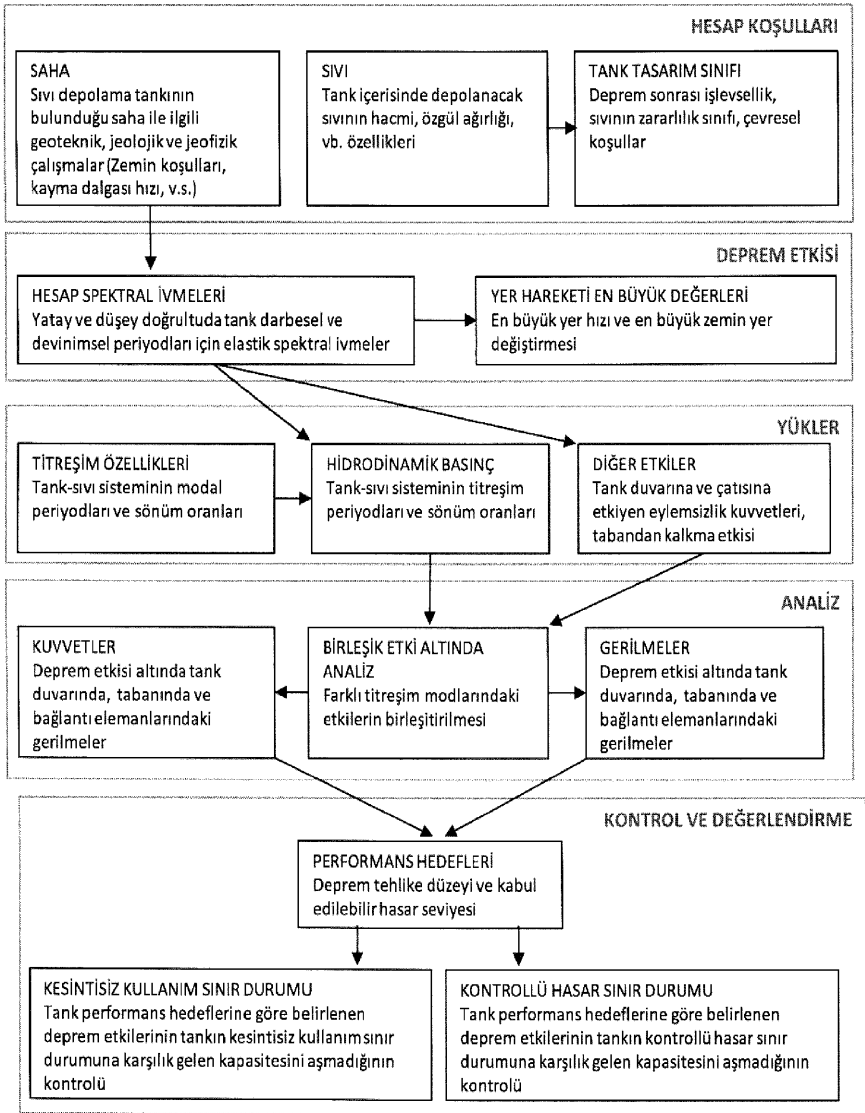
**Tablo 3.2 Performans Hedefleri**

Tank Tasarım Sınıfı	Deprem Yer Hareketi Düzeyi		
	DD-1	DD-2	DD-3
I	-	-	Kontrollü Hasar
II	-	Kontrollü Hasar	Kesintisiz Kullanım
III	Kontrollü Hasar	Kesintisiz Kullanım	-

### 3.5 DEĞERLENDİRME VE TASARIM YÖNTEMLERİ

Sıvı depolama tanklarının analiz ve değerlendirmesi performans esaslı deprem hesabı yaklaşımı temel alınarak yapılacaktır. Bu kapsamda izlenecek yöntemin temel bileşenleri Şekil 3.1'de sunulmaktadır.

Bu Yönetmelik kapsamında, sıvı depolama tanklarının deprem etkisi altında tasarımında mod birleştirme yönteminin kullanımı esas alınmıştır. Bununla birlikte, daha detaylı analizler yapılmasını gerektiren özel durumlarda zaman tanım alanında dinamik analiz yapılması da uygun olabilir. Bu durumda, ilgili zaman tanım alanı analizi modelinde sisteme etkileyen hidrodinamik basınçların gerçekçi şekilde temsil edilebildiğinin gerekli kontroller yapılarak ortaya konması gerekmektedir.



Şekil 3.1 Sıvı depolama tanklarının performansa dayalı analiz ve tasarımı

## BÖLÜM 4 DEPREM YÜKLERİNİN BELİRLENMESİNE İLİŞKİN KURALLAR

### 4.1 TANIM, KAPSAM VE GENEL İLKELER

Deprem sırasında sahada meydana gelen yer hareketlerinin sonucu olarak tank ve içerdiği sıvı kütlelerinde eylemsizlik kuvvetleri meydana gelir. Deprem hareketinin başlamasıyla birlikte tank, sıvı, temel ve zemin birbirleriyle etkileşim içinde hareket etmeye başlar. Bu hareket sırasında tank taşıyıcı sisteminde meydana gelen gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin hesap değerlerinin belirlenmesi için analiz modelinde göz önüne alınması gereken yükler bu bölümde açıklanmaktadır.



## 4.2 DEPREM ETKİSİ

Deprem etkisi altında sıvı tankına etkiyen kuvvetler, depolanan sıvıdan kaynaklanan hidrostatik basınç, tank duvarlarına ve çatısına etkiyen eylemsizlik kuvvetleri ve tank taşıyıcı sisteminin depolanan sıvı ile etkileşimiyle meydana gelen hidrodinamik kuvvetlerdir.

Sıvı depolama tanklarının deprem davranışının belirlenmesinde tank içerisinde depolanan sıvı için iki tür titreşim modu göz önüne alınmalıdır:

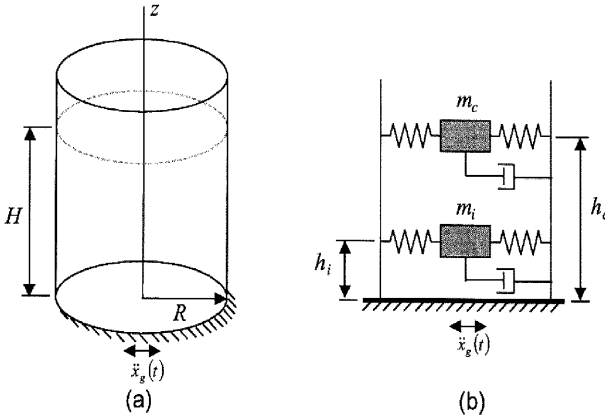
- a) Darbesel titreşim modu
- b) Devinimsel titreşim modu

Deprem etkisi altında tank taşıyıcı sisteminde meydana gelen zorlamaların hesabında bu titreşim modlarındaki hareketler sonucu oluşan hidrodinamik basınçların seviyeleri göz önüne alınır. Basınç seviyelerinin tanımlanmasında Şekil 4.1a'da sunulan silindirik koordinat sistemi esas alınır.

Bu Yönetmelik kapsamında, hidrodinamik basınç etkileri, eşdeğer yığılı kütle yaklaşımı kullanılarak hesaba katılmaktadır. Eşdeğer hidrodinamik yığılı kütle yaklaşımında, tank içerisindeki toplam sıvı kütlesi,  $m_i$  iki bileşene ayrılmaktadır (Şekil 4.1b):

1. Depolanan sıvının tank ile eşzamanlı şekilde ivmelenen bölümünü temsil eden darbesel sıvı kütlesi,  $m_c$  bileşeni
2. Depolanan sıvının tank içerisinde salınan bölümünü temsil eden devinimsel sıvı kütlesi,  $m_i$  bileşeni

Bütünüyle sıvıyla dolu ve herhangi bir açıklığa sahip olmayan tanklarda depolanan sıvının bütün kütlesi darbesel bileşeni oluşturur ve devinimsel sıvı kütlesi bulunmaz.



Şekil 4.1 Silindirik tanklar için hesap yüklerinin tanımlanmasında kullanılan: (a) geometri parametreleri ve (b) eşdeğer yığılı kütleli modelleme yaklaşımı.

Eşdeğer darbesel kütle bileşeni,  $m_c$  aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenecektir:

$$m_c = \alpha_c \pi R^2 H \rho \quad (4.1)$$

Yukarıda,  $\rho$  depolanan sıvının kütle yoğunluğudur,  $\alpha_c$  ise Tablo 4.1'de sunulmaktadır. Denklem (4.1)'de yer alan  $\pi R^2 H \rho$  ifadesi toplam sıvı kütlesi değerine eşittir. Aynı denklemde yer alan,  $\alpha_c$  çarpanı ise eşdeğer darbesel kütle bileşeninin toplam sıvı kütlelerine oranına eşittir.

Eşdeğer devinimsel kütle bileşeni,  $m_i$  aşağıdaki şekilde belirlenecektir:

$$m_c = (1 - \alpha_i) \pi R^2 H \rho \quad (4.2)$$

Eşdeğer darbesel ve devinimsel kütlelerin tank tabanından yükseklikleri Tablo 4.1'de sunulmaktadır. Bu tabloda sunulan  $h_i$  ve  $h_c$  yükseklikleri tank tabanının hemen üstündeki seviye için hidrodinamik etkiyle ilgili eşdeğer devrilme momenti bileşeninin hesaplanmasında kullanılacaktır. Tablo 4.1'deki  $h_i'$  ve  $h_c'$  yükseklikleri ise tank tabanının altındaki seviye için, tabana etkiyen hidrodinamik basıncı da kapsayacak şekilde tanımlanan, eşdeğer devrilme momenti bileşeninin hesaplanmasında kullanılacaktır.

### 4.3 TİTREŞİM PERİYODLARI

Düşey eksenli silindirik tanklar için darbesel hidrodinamik bileşenin titreşim periyodu,  $T_i$  aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenecektir:

$$T_i = C_i H \sqrt{\frac{\rho R}{t_w E}} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki denklemde,  $C_i$  Tablo 4.1'de sunulan darbesel periyod hesaplama katsayısıdır,  $t_w$  eşdeğer tank duvar kalınlığı ve  $E$  tank duvar malzemesinin elastisite modülüdür. Duvar kalınlığı yükseklik boyunca eşit olmayan tanklarda ilgili eşdeğer kalınlık tank tabanından  $H$  yüksekliğine kadar olan bölümdeki tank kalınlıklarının ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Bu ağırlıklı ortalama, birim şekil değiştirmelerin en büyük olduğu tank duvarının alt ucuna en yüksek ağırlık katsayısı atanır.

Tablo 4.1 Darbesel ve devinimsel titreşim modlarıyla ilgili kuvvetlerin hesabında kullanılacak parametre değerleri (TS EN 1998-4)

$H/R$ [-]	$\alpha_i$ [-]	$C_i$ [-]	$C_c$ [s/√m]	$h_i/H$ [-]	$h_c/H$ [-]	$h_i'/H$ [-]	$h_c'/H$ [-]
0.3	0.176	9.28	2.09	0.400	0.521	2.640	3.414
0.5	0.300	7.74	1.74	0.400	0.543	1.460	1.517
0.7	0.414	6.97	1.60	0.401	0.571	1.009	1.011
1.0	0.548	6.36	1.52	0.419	0.616	0.721	0.785
1.5	0.686	6.06	1.48	0.439	0.690	0.555	0.734
2.0	0.763	6.21	1.48	0.448	0.751	0.500	0.764
2.5	0.810	6.56	1.48	0.452	0.794	0.480	0.796
3.0	0.842	7.03	1.48	0.453	0.825	0.472	0.825

Tankın bulunduğu sahadaki zeminin rijitliği tankın dinamik etkiler altındaki davranışını etkiler. Tankların darbesel titreşim modu periyodu hesabında bu etkiler göz önüne alınacaktır. Zemin-yapı etkileşiminin göz önüne alındığı durum için etkili darbesel titreşim modu bu Yönetmeliğin ekinde yer alan "Ek A – Zemin-Temel-Tank Etkileşiminin Modellenmesi ve Hesabına İlişkin Kurallar" bölümünde sunulan esaslar göz önüne alınarak hesaplanacaktır.

Devinimsel hidrodinamik bileşenin titreşim periyodu,  $T_c$  aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanacaktır:

$$T_c = C_c \sqrt{R} \quad (4.4)$$

Bu denklemde,  $C_c$  Tablo 4.1 'de sunulan devinimsel periyod hesaplama katsayısıdır. Yukarıdaki denklemde, tank yarıçapı,  $R$ 'nin metre [m] cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir.

Deprem hareketinin düşey bileşeninin etkisi altında tank taşıyıcı sistemi solunum modunda hareket eder. Düşey ivmelerle ilgili bu titreşim modunun periyodu aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanır:

$$T_v = 2\pi \frac{H}{C_v} \sqrt{\frac{\rho_w}{E}} \quad (4.5)$$

Yukarıdaki denklemde,  $C_v$  katsayısı solunum modunun hesabında kullanılan katsayıdır ve  $\rho_w$  tank duvar malzemesinin kütle yoğunluğudur. Tablo 4.2'de  $C_v$  katsayısı değerleri, su ile dolu olan çelik tankların göz önüne alındığı ( $\rho / \rho_w = 0.127$  ve  $\nu_w = 0.3$ ) değerlerine karşılık gelen referans durum için sunulmaktadır. Burada,  $\nu_w$  tank duvar malzemesinin Poisson oranıdır. Bu referans durumdan farklı sistemler için ilgili  $C_v$  katsayısı şu şekilde belirlenir:

$$C_v = (C_v)_r \sqrt{\frac{t_w/R}{(t_w/R)_r} \frac{(\rho/\rho_w)_r}{\rho/\rho_w}} \quad (4.6)$$

Yukarıdaki denklemde,  $(\cdot)_r$  ile belirtilen terimler ilgili referans duruma karşılık gelmektedir.

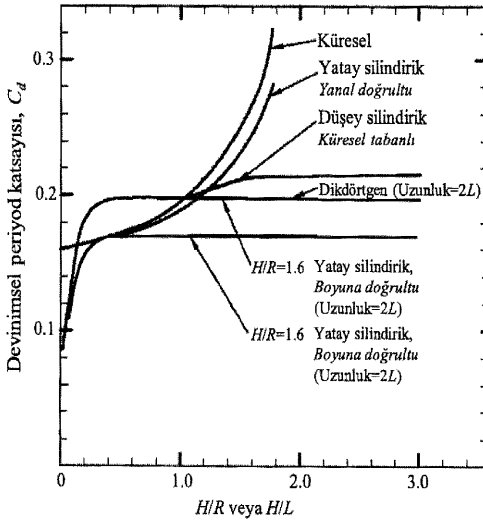
Tablo 4.2 Düşey deprem hareketi bileşeniyle ilgili olan (düşey yöndeki) solunum titreşim mod hesabında kullanılacak  $C_v$  değerleri

$t_w/R$	$\leq 0.0005$	0.001	0.002	0.003	$\geq 0.005$
$H/R$	$C_v$				
0.3	0.043	0.061	0.088	0.108	0.140
0.4	0.048	0.068	0.097	0.120	0.155
0.5	0.052	0.078	0.105	0.129	0.168
0.6	0.055	0.078	0.112	0.137	0.178
0.7	0.058	0.082	0.117	0.143	0.186
0.8	0.060	0.085	0.121	0.148	0.192
0.9	0.061	0.087	0.124	0.152	0.197
1.0	0.063	0.089	0.126	0.155	0.201
1.2	0.064	0.092	0.130	0.160	0.207
1.4	0.066	0.093	0.133	0.163	0.211
1.6	0.067	0.095	0.134	0.165	0.214
1.8	0.067	0.096	0.136	0.167	0.216
2.0	0.068	0.096	0.137	0.168	0.217
2.2	0.068	0.097	0.137	0.168	0.218
2.4	0.068	0.097	0.138	0.169	0.219
2.6	0.069	0.097	0.138	0.169	0.219
2.8	0.069	0.098	0.138	0.170	0.220
3.0	0.069	0.098	0.139	0.170	0.220

Yatay eksenli silindirik, küresel ve dikdörtgen tankların devinimsel titreşim modu periyodu,  $T_c$  aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$T_c = \frac{2\pi}{C_d} \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (4.7)$$

Yukarıdaki ifadede,  $C_d$  (düşey silindirik haricindeki tank geometrileri için) devinimsel titreşim modun titreşim periyodunu hesaplama katsayısıdır ve Şekil 4.2 kullanılarak belirlenecektir. Denklem (4.7)'de,  $L$  dikdörtgen tanklar ve yatay silindirik tanklar için hareket doğrultusundaki uzunluğunun yarısına eşittir.



Şekil 4.2 Devinimsel titreşim mode hesaplama katsayısı,  $C_d$  (düşey silindirik tanklar haricindeki tank geometrileri için)

#### 4.4 SÖNÜM

Yerel Zemin Sınıfı ZA veya ZB olan sahalarda bulunan tankların darbesel titreşim modu için çelik tanklar ve ön germeli betonarme tanklarda sönüm oranı %2 ve betonarme tanklarda %5 olarak alınacaktır. Sert olmayan zeminlerde yer alan tankların darbesel sönüm oranlarının belirlenmesinde zemin-temel-tank sisteminin etkileşimi sonucu gerçekleşen etkili sönüm oranı göz önüne alınacaktır. Zemin-yapı etkileşiminin göz önüne alınacağı bu durum için etkili darbesel titreşim modu sönüm oranı, bu Yönetmeliğin ekinde yer alan "EK A – Zemin-Temel-Tank Etkileşiminin Modellenmesi ve Hesabına İlişkin Kurallar" bölümünde sunulan esaslar göz önüne alınarak hesaplanacaktır.

Devinimsel titreşim modu için sönüm oranı % 0.5 olarak alınacaktır.

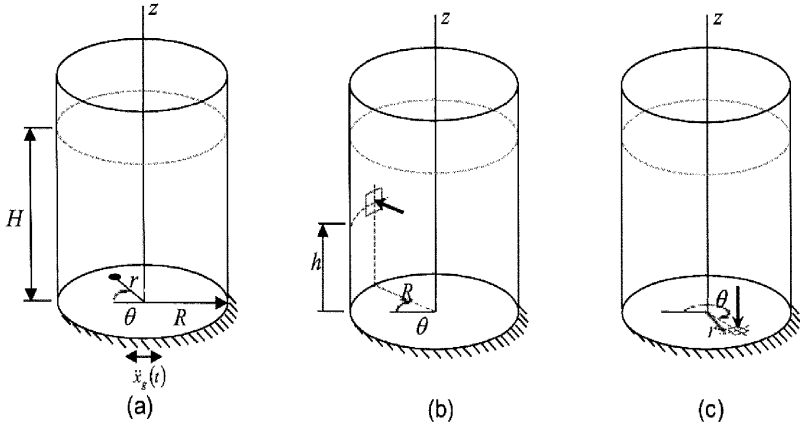
#### 4.5 HİDRODİNAMİK BASINÇ VE KUVVETLER

Depolanan sıvıya etkiyen eylemsizlik kuvvetleri ve sıvıda meydana gelen çalkalanma hareketi nedeniyle deprem sırasında tank duvarları ve tabanında hidrodinamik basınç oluşur. Hidrodinamik basıncın darbesel ve devinimsel bileşenlerinin hesaplanması için kullanılacak yaklaşım bu bölümde açıklanmaktadır.

#### 4.5.1 Düşey Silindirik Tanklar

Depolanan sıvının darbesel titreşim modundaki hareketi nedeniyle tank duvarı üzerinde  $\theta$  açısı ve  $h$  yüksekliği dik yönündeki noktaya etkileyen hidrodinamik basıncın en büyük değeri,  $p_i(\theta, h)$  aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenecektir (Şekil 4.3a,b):

$$p_i(\theta, h) = c_i(h) \rho R S_{ae}(T_i, \xi_i) \cos \theta \quad (4.8)$$



Şekil 4.3 Silindirik tankların analizi için tanımlanan: (a) koordinat sistemi, (b) duvar üzerindeki belirli bir noktaya etkileyen basınç ve (c) tabanda belirli bir noktaya etkileyen basınç.

Denklem (4.8)'de,  $T_i$  darbesel modun titreşim periyodu,  $\xi_i$  darbesel modun sönüm oranı ve  $c_i(h)$  darbesel basınç hesap katsayısıdır ve aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanacaktır:

$$c_i(h) = 1 - c_c(h) \quad (4.9)$$

$$c_c(h) = 0.837 \frac{\cosh[1.841 \cdot h/R]}{\cosh[1.841 \cdot H/R]} \quad (4.10)$$

Yukarıdaki denklemde,  $c_c(h)$  devinimsel basınç hesap katsayısıdır. Depolanan sıvının devinimsel titreşim modundaki hareketi nedeniyle tank duvarlarına dik yönde etkileyen hidrodinamik basıncın en büyük değeri,  $p_c(\theta, h)$  aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenecektir (Şekil 4.3c):

$$p_c(\theta, h) = c_c(h) S_{ae}(T_c, \xi_c) \rho R \cos \theta \quad (4.11)$$

Düşey yöndeki deprem hareketi tank duvarında hidrodinamik basınç etkileri oluşturur. Hesaplarda bu etkiler, yukarıda belirtilen yatay yöndeki deprem ivmesi nedeniyle tank duvarlarına etkileyen hidrodinamik basınca ek olarak göz önüne alınmalıdır. Düşey yöndeki deprem hareketi nedeniyle tank duvarları üzerinde tabandan  $h$  yükseklikteki çember hizasına etkileyen hidrodinamik basınç,  $p_v(h)$  aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanacaktır:

$$p_v(h) = \left(1 - \frac{h}{H}\right) S_{aeD}(T_v, \xi_v) \rho H \quad (4.12)$$

Yukarıdaki denklemde  $S_{aeD}(T_v)$  düşey elastik tasarım spektral ivmesidir ve  $T_v$  tankın düşey yöndeki çözüm modunun periyodudur.

Depolanan sıvının darbesel titreşim modundaki hareketi nedeniyle tank tabanı üzerinde  $\theta$  açısı yönünde ve merkezden  $r$  mesafede bulunan noktaya dik yönünde etkiyen hidrodinamik basıncın en büyük değeri,  $p'_i(\theta, r)$  aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenecektir (Şekil 4.3c):

$$p'_i(\theta, r) = c'_i(r) \rho R S_{ae}(T_i, \xi_i) \cos \theta \quad (4.13)$$

Yukarıdaki denklemde,  $c'_i(r)$  darbesel taban basınç hesap katsayısıdır ve aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanacaktır:

$$c'_i(r) = \frac{r}{R} - c'_c(r) \quad (4.14)$$

$$c'_c(r) = 1.146 \frac{J_1\left(1.841 \cdot \frac{r}{R}\right)}{\cosh\left(1.841 \cdot \frac{H}{R}\right)} \quad (4.15)$$

Yukarıdaki,  $J_1(\cdot)$  ifadesi 1. derece Bessel fonksiyonunu temsil etmektedir. Tank tabanında  $\theta$  açısı yönünde ve merkezden  $r$  mesafede bulunan noktaya etkiyen devinimsel hidrodinamik basınç aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$p'_c(\theta, r) = c'_c(r) S_{ae}(T_c, \xi_c) \rho R \cos \theta \quad (4.16)$$

Düşey yöndeki deprem hareketi nedeniyle tank tabanındaki herhangi bir noktaya etkiyen hidrodinamik darbesel basınç bileşeni,  $p'_v$  aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanacaktır:

$$p'_v = \rho H S_{aeD}(T_v, \xi_i) \quad (4.17)$$

Yukarıda tanımlanan  $p'_v$  basıncı tüm tabanda eş şiddette etkiyecek şekilde göz önüne alınacaktır.

#### 4.5.2 Dikdörtgen Kesitli Tanklar

Dikdörtgen tankların duvarlarına etkiyen hidrodinamik basıncın hesabı silindirik tanklar için yukarıda açıklanan yaklaşıma benzer şekilde yapılacaktır. Tankın her iki yönü için deprem etkisinin analizi ayrı ayrı yapılacaktır. İlgili hesaplarda esas alınacak tank geometrisi parametreleri Şekil 4.4'te sunulmaktadır. Tank duvarlarına etkiyen toplam hidrodinamik basınç,  $p$  darbesel,  $p_i$  ve devinimsel,  $p_c$  basınç bileşenlerinin toplamına eşittir:

$$p(h) = p_i(h) + p_c(h) \quad (4.18)$$

Göz önüne alınan deprem hareketi doğrultusuna dik düzlemdeki duvar üzerinde tabandan  $h$  yüksekliğinde bulunan noktaya etkiyen darbesel basınç,  $p_i$ :

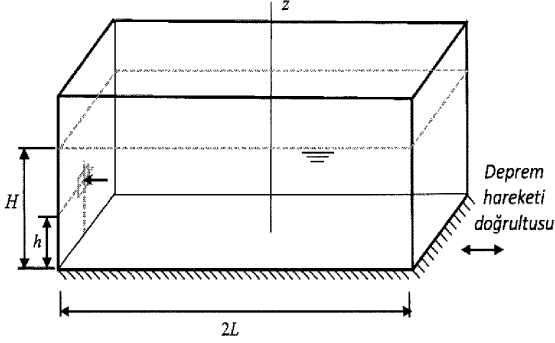
$$p_i(h) = q_0(h) S_{ae}(T_i, \xi_i) \rho L \quad (4.19)$$

Yukarıdaki denklemde,  $q_0(h)$  birimsiz darbesel basınç katsayısıdır ve tank  $H/L$  oranına bağlı olarak Şekil 4.5'e göre belirlenir.

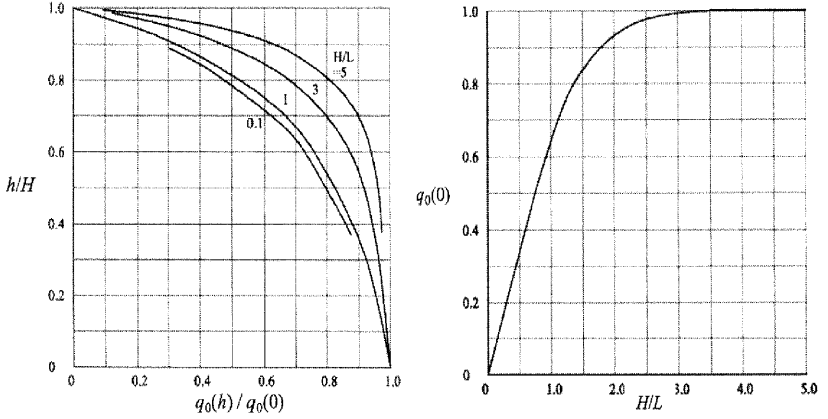
Tank duvarı üzerinde tabandan  $h$  yüksekliğindeki noktaya etkiyen devinimsel hidrodinamik basınç bileşeni,  $p_c$  aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanacaktır:

$$p_c(h) = q_c(h) S_{ae}(T_c, \xi_c) \rho L \quad (4.20)$$

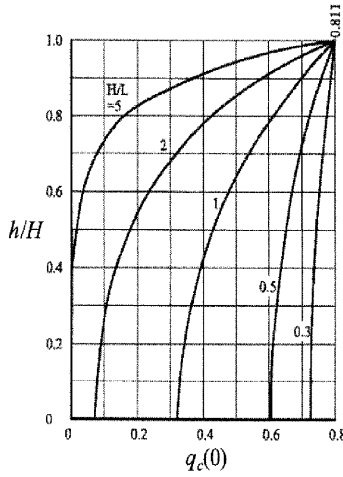
Yukarıdaki ifadedeki,  $q_c$  birimsiz devinimsel hidrodinamik basınç dağılımı katsayısıdır ve Şekil 4.6 kullanılarak belirlenecektir.



Şekil 4.4 Dikdörtgen sıvı depolama tankı geometrisi



Şekil 4.5 Dikdörtgen kesitli tanklar için darbesel hidrodinamik basınç katsayısının: (a) yükseklik boyunca değişimi ve (b) katsayının tabandaki değeri



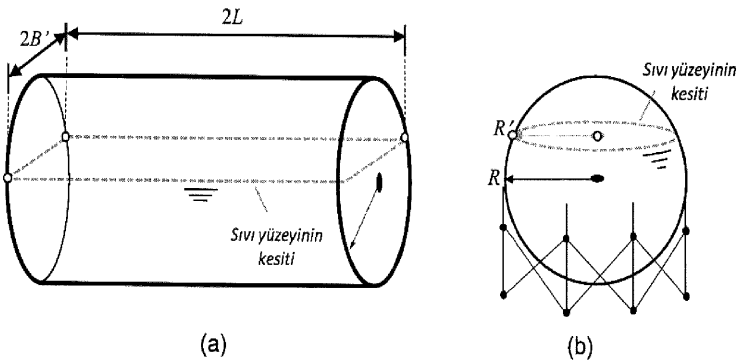
Şekil 4.6 Dikdörtgen kesitli tanklar için devimsel hidrodinamik basınç katsayısının: (a) yükseklik boyunca değişimi ve (b) katsayının tabandaki değeri

#### 4.5.3 Diğer Tank Geometrileri

Yukarıda sunulan tank geometrileri dışındaki tanklar için sıvı-tank dinamik etkileşimini göz önüne alan kapsamlı analizler yapılmadığı durumda hidrodinamik duvar basıncı bu bölümde açıklanan yaklaşık yöntem kullanılarak yapılacaktır.

Yatay silindirik tanklar için hidrodinamik basınç bileşeni hesaplanırken, eşdeğer dikdörtgen kesit geometrisine sahip tank göz önüne alınacaktır. İlgili eşdeğer dikdörtgen tankın iki doğrultudaki uzunlukları esas tankın içerisinde serbest durumdaki sıvı yüzeyinin geometriyle aynı olacaktır (Şekil 4.7a). Eşdeğer dikdörtgen tank içerisindeki sıvının derinliği, ilgili sıvı hacmi esas tankın içerisindeki suyun toplam hacmine eşit olacak şekilde tanımlanacaktır.

Küresel tankların duvarına etkiyen hidrodinamik basıncın hesaplanması için eşdeğer düşey silindirik tank modeli göz önüne alınacaktır. İlgili eşdeğer düşey silindirik tankın yarıçapı küresel tank içerisinde serbest durumda olan sıvı yüzeyinin yarıçapına eşit alınacaktır (Şekil 4.7b). Eşdeğer silindirik tank içerisindeki sıvı yüksekliği ise esas küresel tankın içerisinde bulunan toplam sıvı hacmine eşit olacak şekilde tanımlanacaktır.



Şekil 4.7 Tank geometrilerinin tanımı: (a) yatay silindirik ve (b) küresel



## 4.6 TANK DUVARI EYLEMSİZLİK KUVVETLERİ

Tank duvarlarına ve tavanına etkiyen eylemsizlik kuvvetleri tank duvarının gerilme analizlerinde ve tank temelinin hesabında göz önüne alınacaktır. Ayrıca tank temelinin hesabında tankın yere sabitlendiği bölgedeki bütün taşıyıcı elemanların ve pompa sistemlerine etkiyen bütün eylemsizlik kuvvetleri hesaba katılacaktır. Yapılacak analizlerde tüm eylemsizlik kuvvetleri ilgili kütle merkezlerine etkiyecektir.

Düşey yöndeki deprem hareketi için yapılan analizlerde tank tavanına etkiyecek eylemsizlik kuvvetleri ilgili kütlelerin tavadaki dağılımıyla uygun şekilde tanımlanacaktır.

## 4.7 KESME KUVVETİ

### 4.7.1 Çatıdan Duvara Aktarılan Kesme Kuvveti

Tank çatısından duvarına aktarılan toplam hesap kesme kuvveti,  $V$  aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$V = m_r S_{ae}(T_i, \xi_i) g \quad (4.21)$$

Yukarıdaki ifadede,  $m_r$  çatının kütesini,  $S_{ae}(\cdot)$  hesap spektral ivmesini,  $T_i$  ve  $\xi_i$  sırasıyla, darbesel titreşim modu için periyod ve sönüm oranını ifade etmektedir.

### 4.7.2 Duvardan Tabana Aktarılan Kesme Kuvveti

Tank duvarının en alt seviyesinde (tabanın hemen üzerinde yer alan hizada) duvara etkiyen toplam taban kesme kuvveti,  $V_d$  şu şekilde hesaplanacaktır:

$$V_d = (m_i + m_w + m_r) S_{ae}(T_i, \xi_i) g + m_c S_{ae}(T_c, \xi_c) g \quad (4.22)$$

Yukarıdaki denklemde,  $m_w$  tank duvarlarının kütesi,  $S_{ae}(\cdot)$  hesap spektral ivmesi,  $T_i$  ve  $T_c$  darbesel ve devinimsel hidrodinamik mod bileşenlerinin titreşim periyodlarını, ve  $\xi_i$ ,  $\xi_c$  ilgili modlar için sönüm oranlarını ifade etmektedir.

## 4.8 DEVRİLME MOMENTİ

Deprem etkisi altında tank tabanının hemen üstündeki seviye için hesap devrilme momenti,  $M_{OT}$  aşağıdaki ifade kullanılarak belirlenecektir:

$$M_{OT} = m_c h_c S_{ae}(T_c, \xi_c) g + (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_{ae}(T_i, \xi_i) g \quad (4.23)$$

Yukarıdaki denklemde,  $m_w$  tank duvarının kütesini,  $h_w$  tank duvarının ağırlık merkezinin tabandan yüksekliğini,  $m_r$  tank çatısının kütesini ve  $h_r$  tank çatısının ağırlık merkezinin tabandan yüksekliğini ifade etmektedir.

Taban plakasının hemen altındaki seviye için hesap devrilme momenti  $M_{OT}'$  ile hemen üstündeki devrilme momenti  $M_{OT}$ 'nden her zaman daha büyüktür. Bunun nedeni, taban plakasına etkiyen hidrodinamik basınç kuvvetlerinin toplam devrilme momentine katkısıdır. Tank taban seviyesinin hemen altındaki seviye için hesap devrilme momenti, aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanacaktır:

$$M_{OT}' = m_c h_c' S_{ae}(T_c, \xi_c) g + (m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r) S_{ae}(T_i, \xi_i) g \quad (4.24)$$

Yukarıdaki ifadede,  $h_c'$  ve  $h_i'$  yükseklikleri  $M_{OT}$  momentinin hesaplanması için devinimsel ve darbesel sıvı eşdeğer yığılı kütlelerinin yerleştirilmeleri gereken yüksekliklerdir.

#### 4.8.1 Zemine Sabitlenen Tanklar

Tankların zemine sabitlemesinde kullanılacak bağlantı elemanlarının hesabı deprem etkisi altındaki devrilme momenti,  $M_{OT}$  göz önüne alınarak belirlenecektir. Sabitleme elemanlarının gevrek veya sünek olmasına göre bu elemanlar için göz önüne alınan deprem etkilerinin büyüklükleri değişmektedir. Bunun nedeni, sünek elemanlarda akma sonrası yüklerin yeniden dağılımının gerçekleşmesi ve sünek elemanların çevrimsel enerji yutma kapasitelerinin kullanılmasıdır. Birim çevresel uzunluk için bağlantı elemanına etkileyen deprem yükü,  $P$  aşağıdaki ifade kullanılarak belirlenir:

$$P = (0.4 \cdot \alpha_s + 0.65) \frac{M_{OT}}{D_{HD}^2} - w_t \quad (4.25)$$

Yukarıdaki denklemde,  $\alpha_s$  sabitleme elemanı süneklik kapasitesine göre belirlenen katsayıdır (Sünek  $\alpha_s = 0$  ve gevrek  $\alpha_s = 1$ ),  $M_{OT}$  deprem hesap devrilme momenti,  $D_{HD}$  sabitleme elemanlarının alt uçlarının mesnet noktalarından geçen çemberin çapı ve  $w_t$  birim çevresel uzunluğa sahip tank duvarı ağırlığıdır. Belirli bir taban bağlantı elemanına etkileyen kuvvet, Denklem (4.25) ile birim çevresel mesafe için elde edilen yükün ilgili elemana karşılık gelen çevresel mesafe ile çarpılmasıyla elde edilecektir.

Tank tabanı hizasındaki taban halkasının kalınlığı her zaman taban plakasının kalınlığından az olmalıdır. Bu taban plakasının eğilme etkisi altında akma dayanımının tank tabanının ilgili dayanımından daha düşük olması ve bu sayede akmanın ilk olarak taban halkasında gerçekleşmesi sağlanmalıdır.

#### 4.8.2 Zemine Sabitlenmeyen Tanklar

Zemine sabitlenmeyen tanklarda deprem etkisiyle oluşan devrilme momenti,  $M_{OT}$  tank duvarlarında ek gerilmelere ve yer değiştirmelere yol açar. Bu gerilme ve yer değiştirmelerin hesaplanması için devrilme momenti  $M_{OT}$  etkisi altında tank tabanının herhangi bir kısmının zeminden kalkıp kalkmadığı kontrol edilecektir. Bu kapsamda, devrilme momenti etkisine karşılık dengeleyici moment,  $M_R$  aşağıdaki ifadeyle hesaplanacaktır:

$$M_R = (m_w + m_t) g R \quad (4.26)$$

Dengeleyici moment  $M_R$  deprem etkisi altında oluşan devrilme momentinden,  $M_{OT}$  büyükse, tank duvarında oluşan gerilmeler hesaplanırken tank tabanının zeminden ayrılmadığı durum göz önüne alınacaktır. Aksi takdirde, tank tabanının zeminden ayrıldığı durum göz önüne alınarak tank duvarı ve tabanında meydana gelen gerilmeler hesaplanacaktır.

*Tabanın Zeminden Ayrılmadığı Durum ( $M_{TO} < M_R$ )*

Deprem nedeniyle oluşan devrilme momentinin  $M_{OT}$  Denklem (4.26)'da tanımlanan  $M_R$  momentinden daha küçük olması durumunda, tank duvarları alt ucunda meydana gelen ek gerilmeler,  $f_{zp}$  ankastre giriş eğilimi modeli esas alınarak aşağıda şekilde hesaplanacaktır:

$$f_{zp} = \frac{M_{OT}}{Z_T} \quad (4.27)$$
$$Z_T \begin{cases} = \pi R_m^2 t & \text{Silindirik tank} \\ = 4 L t \left( B + \frac{L}{3} \right) & \text{Dikdörtgen tank} \end{cases}$$

Yukarıdaki ifadede,  $Z_T$  kesit modülü,  $R_m$  tank çapı ortalama değeri,  $t$  tank duvarının alt ucundaki kalınlığı,  $L$  dikdörtgen tankın deprem hareketi yönündeki uzunluğunun yarısı,  $B$  ise tank genişliğinin yarısıdır.

### Tabanın Zeminden Ayrıldığı Durum ( $M_{TO} \geq M_R$ )

Deprem etkisinin oluşturduğu devrilme momentinin,  $M_{OT}$  Denklem (4.26)'da tanımlanan  $M_R$  momentinden daha büyük olması tank tabanının belirli bir bölümünün deprem sırasında zeminden ayrılacağı anlamına gelir. Tabanın zeminden ayrılmasıyla tank geometrisinde yamulmalar meydana gelir. Bu yamulmalar, tank duvarında ek basınç gerilmelerine, tank tabanında ve taban-duvar birleşim bölgelerinde zorlamalara ve tank kesiti geometrisinin değişmesine (ör. dairenin ovalleşmesi), neden olur. Bu etkiler nedeniyle tank duvarlarında ve tabanında meydana gelen ek tesirler deprem hesabında göz önüne alınacaktır. Silindirik ve dikdörtgen tanklar için ilgili hesap adımları aşağıda sunulmaktadır. Bu tür tanklarda tank tabanının tank duvarları içerisinde kalan kısmı sabit kalınlıkta olmalıdır.

### Silindirik Tanklar

Devrilme momenti,  $M_{OT}$  etkisiyle zeminden kalkma nedeniyle oluşan ek gerilmelerin büyüklüğü aşağıda tanımlanan taban-zemin temas oranına,  $\tau$  bağlıdır:

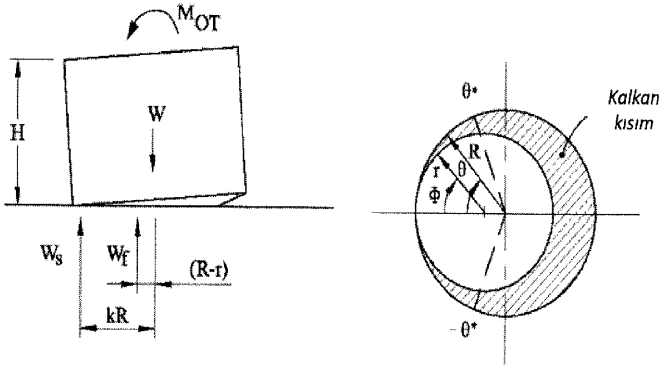
$$\tau = \frac{r'}{R} \quad (4.28)$$

Burada,  $r'$  tank tabanının zemine temas eden alanının yarıçapını ve  $R$  tank toplam taban alanı yarıçapını ifade eder (Şekil 4.8).

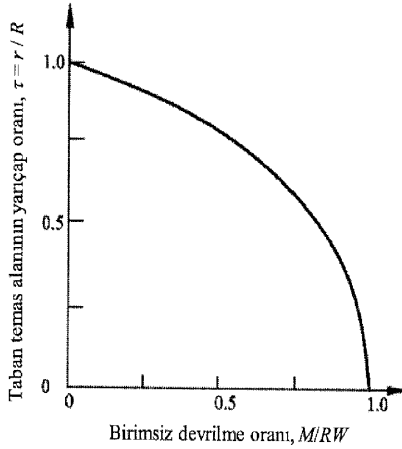
Belirli bir taban-zemin temas oranı,  $\tau$  için tank ve sıvı ağırlıklarının devrilme momentine karşı oluşturduğu dengeleyici moment,  $M_R$  aşağıdaki ifadeyle hesaplanır:

$$\begin{aligned} M_R &= R W \left( k \left( 1 + \frac{W_w}{W} \right) + (1 - k)\tau^2 - \tau^3 \right) \\ k &= \frac{2}{\theta^{*2}} (1 - \cos \theta^*) \\ \theta^* &= \arctan \left( \frac{\tau}{1 - \tau} \right) \end{aligned} \quad (4.29)$$

Burada,  $W$  toplam sıvı ağırlığına,  $W_w$  tank duvarları ve çatısının toplam ağırlığına karşılık gelmektedir.  $M_R$  momentinin  $M_{OT}$  ile dengeye ulaştığı  $\tau$  değeri ardışık hesap yaklaşımıyla belirlenecektir. Ardışık hesabın başlangıç  $\tau$  değerinin belirlenmesi için Şekil 4.9 kullanılabilir.  $M_R$  ve  $M_{OT}$  momentlerinin eşitlenmesi durumuna karşılık gelen taban-zemin temas oranı,  $\tau$  belirlendikten sonra ilgili ek gerilme ve şekil değiştirmeler bu oran esas alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.



Şekil 4.8 Devrilme momenti etkisi altında tabanın zeminden kalkması (NZS, 2009'dan değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 4.9 Taban temas alanı yarıçap oranı

Silindirik tanklar için tabanın en yukarıya kalkan noktasının kalkma yüksekliği, v aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenecektir:

$$v = \frac{1}{C} \left[ \frac{f_{yb} t_b^2}{6 N_x} + \frac{p_o L_b}{N_x} \left( \frac{L_b}{2} - \left[ \frac{\bar{E} t_b^3}{12 N_x} \right]^{1/2} \right) \right] \quad (4.30)$$

$$N_x = f_{rb} t_b$$

$$L_b = 2R (1 - \tau)$$

$$\bar{E} = \frac{E}{(1 - \nu^2)}$$

Yukarıdaki denklemde, C temel esnekliğine bağlı katsayıdır (Rijit temel C = 1.0 ve esnek temel C = 0.5),  $f_{yb}$  taban plakası akma gerilmesi,  $t_b$  taban plakası kalınlığı,  $f_{rb}$  tabanda meydana gelen radyal membran gerilmesi seviyesidir ve aşağıdaki Denklem (4.32) kullanılarak belirlenir.

Denklem (4.30)'daki,  $p_o$  tabandaki hidrostatik basınç seviyesine,  $L_b$  tabanın zemine temas eden bölümünün çapına,  $r$  ilgili alanın yarıçapına,  $\tau$  tabana temas etme oranına  $E$  ve  $\nu$  ise sırasıyla, tank malzemesi elastisite modülü ve Poisson oranına karşılık gelmektedir. Hesaplanan  $\nu$  yüksekliği Bölüm 5'te sunulan üst sınırı aşmamalıdır.

Belirlenen taban-zemin temas oranı,  $\tau$  için tank duvarına etkileyen eksenel membran gerilmesi,  $f_{max}$  aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenecektir:

$$f_{max} = 2.5 \frac{C W}{R \theta^* t} \left( 1 + \frac{W_w}{W} - \tau^2 \right) \quad (4.31)$$

Yukarıdaki denklemde,  $t$  tank duvarının alt uçtaki kalınlığıdır.

Tank tabanının  $M_{OT}$  devrilme momenti etkisiyle zeminden kalkması sonucunda tabanda meydana gelen radyal membran gerilmeleri,  $f_{rb}$  aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenecektir:

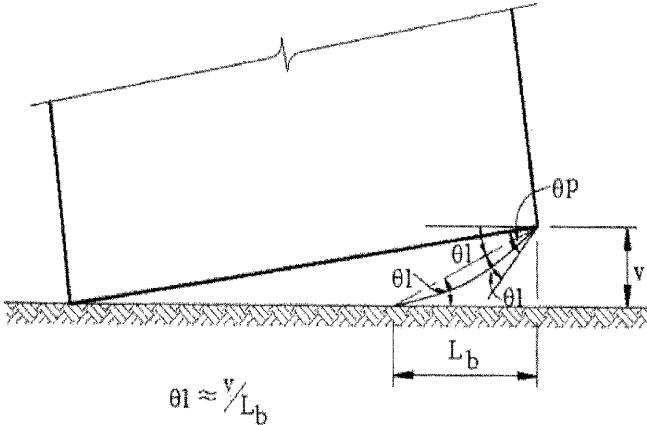
$$f_{rb} = \frac{1}{t_b} \left[ \frac{2 \bar{E} t_b p_o^2 R^2 (1 - \tau)^2}{3} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (4.32)$$

Yukarıdaki denklemde,  $t_b$  zeminden kalktığı bölgedeki taban plakası kalınlığını ve  $p_o$  tabandaki hidrostatik basıncı ifade etmektedir.

Tank tabanı zeminden kalkarken taban-duvar birleşim bölgesinde şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu şekil değiştirmeler akmaya ve birleşim bölgesinde plastik dönmeye yol açar. Belirli bir tabandan kalkma yüksekliği,  $\nu$  için taban-duvar birleşim bölgesindeki plastik dönme,  $\theta_p$  şu şekilde hesaplanacaktır:

$$\theta_p = \left( \frac{2\nu}{L_b} - \frac{\nu}{2R} \right) \quad (4.33)$$

Yukarıdaki ifade, Şekil 4.10'da sunulan geometrik bağıntıya dayanmaktadır.



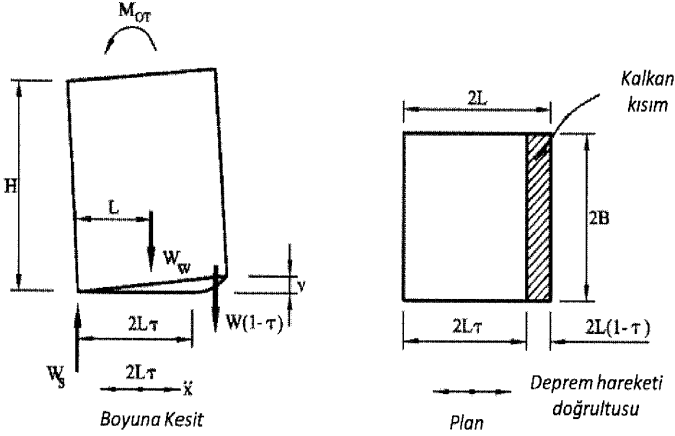
Şekil 4.10 Devrilme momenti altında tabandan kalkma geometrisi (NZS, 2009'dan değiştirilerek alınmıştır).

## Dikdörtgen Tanklar

Dikdörtgen tanklarda taban-zemin temas oranı,  $\tau$  aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\tau = \frac{l}{L} \quad (4.34)$$

Burada,  $l$  tank tabanının zemine temas eden alanının hesap deprem hareketi yönündeki uzunluğunun yarısına ve  $L$  tankın ilgili yöndeki toplam uzunluğuna eşittir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Dikdörtgen tankın tabandan kalkma geometrisi (NZS, 2009'dan değiştirilerek alınmıştır).

Dikdörtgen tanklarda,  $M_{OT}$  devrilme momentine karşılık gelen taban-zemin kalkma oranı,  $\tau$  aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanacaktır:

$$\tau = \sqrt{1 - \left( \frac{M_{OT}}{W \cdot L} - \frac{W_w}{W} \right)} \quad (4.35)$$

Devrilme momenti  $M_{OT}$  etkisi altında tabanın zeminden kalkması nedeniyle tank duvarlarına etkileyen ek aksel membran gerilmesi,  $f_z$  aşağıdaki ifade kullanılarak belirlenecektir:

$$f_z = 2.5 \left[ \frac{W_w + W(1-\tau)}{2Bt} \right] \quad (4.36)$$

Yukarıdaki denklemde,  $B$  tankın hesap deprem hareketi yönüne dik doğrultudaki uzunluğunun yarısıdır.

Tabanın devrilme momenti  $M_{OT}$  etkisiyle zeminden kalkması sonucu taban plakasına boyuna yönde etkileyen ek taban gerilmesi,  $f_{xb}$  aşağıdaki denklem ile belirlenecektir:

$$f_{xb} = \frac{1}{t_b} \left[ \frac{2\bar{E}t_b p_o L^2 (1-\tau)^2}{3} \right]^{1/3} \quad (4.37)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan parametreler Denklem (4.30)'da açıklanmıştır.

Dikdörtgen tanklar için tabanın en yukarıya kalkan noktasının kalkma yüksekliğinin,  $v$  hesabında yukarıda silindirik tanklar için sunulan Denklem (4.30) kullanılacaktır. Ancak, ilgili denklemdeki tabanın zeminden ayrılan bölümünün uzunluğu  $L_b$  parametresi aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$L_b = 2L(1 - \tau) \quad (4.38)$$

#### 4.9 ÇALKALANMA DALGASI

Deprem etkisine maruz kalan sıvı depolama tankları içerisindeki sıvı çalkalanır. Meydana gelen dalgalanma hareketi, büyük oranda tank içerisindeki sıvının temel devinimsel titreşim modundaki davranışıyla ilgilidir. Bu dalgalanma hareketinin tankın deprem davranışına olası etkilerinin değerlendirilmesi için hesap dalga yüksekliği esas alınır. Bu dalga yüksekliği, depolanan sıvıda meydana gelmesi beklenen dalgaların en yüksek noktasıyla hareketsiz durumda sıvı yüzeyinin yükseklik farklı olarak tanımlanır.

Silindirik tanklarda çalkalanma dalgası yüksekliği,  $d_{max}$  aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanacaktır:

$$d_{max} = 0.84 R S_{ae}(T_c, \xi_c) \quad (4.39)$$

Yukarıdaki denklemde,  $S_{ae}(T_c, \xi_c)$  devinimsel hidrodinamik titreşim mod periyodu,  $T_c$  ve sönüm oranına,  $\xi_c$  karşılık gelen hesap spektral ivmesidir ve  $g$  cinsinden tanımlanmaktadır.

Dikdörtgen tanklarda çalkalanma dalgası yüksekliği,  $d_{max}$  şu şekilde belirlenecektir:

$$d_{max} = L S_{ae}(T_c, \xi_c) \quad (4.40)$$

Yukarıda tanımlanan  $d_{max}$  yüksekliğinin sabit çatılı tankın serbest çalkalanma yüksekliğinden yüksek olduğu durumda dalgalar çatıya çarpıp ve hidrodinamik basınç oluşturur. Çalkalanma payı hesap dalga yüksekliğinden az olan tankların deprem hesabında bu hidrodinamik basınç göz önüne alınacaktır.

Dalgaların çatıda oluşturduğu hidrodinamik basıncın,  $p_r$  hesabında aşağıdaki tanım esas alınacaktır:

$$p_r = p_b + p_v \quad (4.41)$$

Burada,  $p_b$  ve  $p_v$  sırasıyla, kaldırma gücü ve akış hızıyla bağlantılı basınç bileşenleridir. Kaldırma gücüyle ilgili basınç bileşeni,  $p_b$  aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$p_b = \gamma_l h_r' \quad (4.42)$$

Burada,  $\gamma_l$  depolanan sıvının yoğunluğunu ve  $h_r'$  sıvı basıncı eşdeğer yüksekliğini ifade etmektedir. Sıvı basıncı eşdeğer yüksekliğini ifade eden  $h_r'$  değerinin belirlenmesi için şu adımlar takip edilecektir:

- 1) Dalganın tank çatısına çarpmadığı kuramsal durum için dalga yüksekliği,  $d_{max}$  hesaplanacak ve  $A$  noktası belirlenecektir.
- 2) Şekil 4.12'de gösterilen  $d_{max}$  yüksekliğine sahip kuramsal dalga profiliyle tankın çatısının profili arasında kalan  $A_1$  alanı üçgen olarak idealleştirilecektir.
- 3) Şekil 4.12'de gösterildiği gibi  $A_1$  üçgeni ile aynı alana sahip  $A_2$  üçgeni, tavanın altında ancak dalga profilinin üstünde kalan bölümde oluşturulacaktır. Bu üçgenin çatı üzerindeki üst noktası  $B$  noktası olarak tanımlanacaktır.
- 4)  $A$  ve  $B$  noktaları düz bir çizgi ile birleştirilecektir. Bu çizgi,  $h_r$  yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılacaktır.

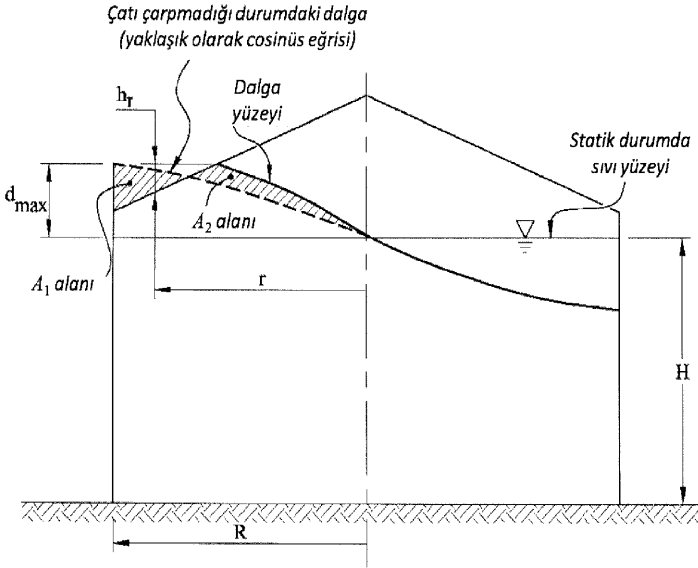
- 5) Tavanda dalganın etki ettiği bölgede bulunan tüm noktalar için, A-B çizgisinin yüksekliği ile tankın tavanındaki ilgili noktadaki yüksekliği arasındaki yükseklik farkı, eşdeğer sıvı yüksekliğine,  $h_r$  eşit olarak alınacaktır.
- 6) İlgili noktalara etkiyen sıvı kaldırma basıncı,  $p_b$  Denklem (4.42) ile hesaplanacaktır.

Şekil 4.12'de de görüldüğü gibi  $p_b$  basıncı en yüksek değerine tank tavanı ve duvarının birleştiği ( $r = R$ ) noktada ulaşmaktadır.

Tank tavanına çarpan dalganın akış hızıyla bağlantılı hidrodinamik basınç bileşeni,  $p_v$  aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenecektir:

$$p_v = 5.0 \left( \frac{2\pi}{T_c} d_{max} \right)^2 \frac{\gamma_l}{2g} \quad (4.43)$$

Yukarıdaki denklem, sıvı akış hızının hesaplanan dalga yüksekliği  $d_{max}$  ile devinimsel modal periyod kullanılarak belirlenen çalkalanma yüksekliğidir.



Şekil 4.12 Tank tavanına dalga çarpma etkisinin hesabı

#### 4.10 GÖMÜLÜ TANKLAR

Tankın tümünün veya belirli bir kısmının yer altına gömülü olması durumunda tank duvarlarına etkiyen dinamik zemin basıncı ve yer altı suyu basıncı yukarıda açıklanan hidrostatik ve hidrodinamik basınçlarla toplanarak tasarım basınç etkisi belirlenecektir. İlgili hesaplarda, "TBDY (2018) - Bölüm 16 – Deprem Etkisi Altında Temel Zemini ve Temellerin Tasarımı için Özel Kurallar" bölümünde yer alan esaslar göz önüne alınacaktır:



## BÖLÜM 5 – SIVI TANKLARININ DEPREM ANALİZİ VE TASARIMI

### 5.1 KAPSAM, TANIM VE GENEL İLKELER

Bu bölümde sıvı depolama tanklarının deprem etkileri altındaki davranışının analizi ve taşıyıcı sistemin tasarımında kullanılacak yaklaşım açıklanmaktadır.

Deprem etkisi altında sıvı depolama tanklarının analizi ve tasarımı kapsamında şu adımlar takip edilir:

- Tankın hizmet vereceği saha için, tank önem sınıfı ve taşıyıcı sistem özellikleri de dikkate alınarak hesap deprem yükleri belirlenir.
- Belirlenen yükler ilgili katsayılarla çarpılarak hesap yük bileşimleri oluşturulur.
- Tank geometrisi ve mesnet özellikleri göz önüne alınarak tankın deprem etkisi altında devrilme stabilitesi kontrol edilir.
- Belirlenen hesap deprem yükleri altında tank duvarları, tabanı ve duvar tavan birleşim bölgelerindeki gerilme dayanımı talepleri elde edilir.
- Elde edilen gerilmeler sistemi bileşenleri için hesaplanan dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır.
- Analizlerden elde edilen şekil değiştirmeler (tabandan kalkma), izin verilen şekil değiştirme üst sınırlarıyla karşılaştırılır.
- Tank içerisinde depolanan sıvının çalkalanma dalga yüksekliği belirlenir ve taşma tehlikesine karşı izin verilen sınırlarla karşılaştırılır.

### 5.2 DEPREM ETKİSİNİ İÇEREN YÜK BİRLEŞİMLERİ

Deprem etkisi altındaki hesap gerilmelerinin ve şekil değiştirilmelerinin belirlenmesi için aşağıdaki etki birleşimleri göz önüne alınacaktır:

$$E_d = \begin{cases} G + P + Q \pm A_{Ed} \\ G + P \pm A_{Ed} \end{cases} \quad (5.1)$$

Yukarıdaki eşitliklerde,  $G$  zati yük etkisi,  $P$  öngerme etkisi,  $Q$  hareketli yük etkisi ve  $A_{Ed}$  deprem etkisini ifade etmektedir. Deprem etkisi,  $A_{Ed}$  aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$A_{Ed} = \sqrt{A_t^2 + A_c^2 + A_v^2} \quad (5.2)$$

Yukarıdaki denklemde,  $A_t$  darbesel hidrodinamik etkiler altında ve tank taşıyıcı sistemine etkileyen eylemsizlik kuvvetleri altında elde edilen tesirleri,  $A_c$  devinimsel hidrodinamik etkiler altında elde edilen tesirleri ve  $A_v$  düşey deprem bileşeni altında elde edilen tesirleri ifade etmektedir.

### 5.3 KESİNTİSİZ KULLANIM SINIR DURUMU KONTROLÜ

Kesintisiz kullanım sınır durumu kontrolünde tankın deprem sonrasında kullanılabilir durumda olması için gerekli kritik unsurlar dikkate alınacaktır. Bu kapsamda yapılacak kontrollerde temel prensipler şunlardır: (1) sıvı geçirmezliğin sağlanması, (2) çalkalanma sonucu taşmanın önlenmesi ve (3) zemine sabitleme elemanlarında ve tanka bağlı hidrolik sistemlerin (boru, pompa, vb.) bağlantı noktalarında hasar meydana gelmemesi.

### 5.3.1 Sıvı Geçirmezlik ve Dayanım Kontrolü

#### Çelik Tanklar

Deprem etkisi altında tankın duvarları, tabanı ve tavanında meydana gelen asal birim şekil değiştirmelerin ilgili tankın sıvı geçirmezliğine zarar vermeyecek seviyede olduğu kontrol edilecektir. Bu şekil değiştirme sınırı tankın maruz kaldığı çevresel koşullara ve tankın inşaa kalitesine doğrudan bağlıdır. Detaylı başka bir bilgi mevcut olmadığı durumda asal eksen için hesaplanan en büyük birim şekil değiştirmenin,  $\varepsilon_s$  şu sınırı aşmadığı kontrol edilecektir:

$$\varepsilon_s \leq 0.9 \varepsilon_y \quad (5.3)$$

Yukarıdaki ifadede  $\varepsilon_y$  akma birim şekil değiştirmesine karşılık gelmektedir.

#### Betonarme Tanklar

Betonarme tankların sıvı geçirmezliğinin sağlanması için deprem etkisi altında meydana gelebilecek çatlakların ilgili tank için geçerli çatlak büyüklüğü sınırını aşmadığı kontrol edilecektir. Kısa süreli yüklemeler için tanımlanan çatlak kontrol kriterleriyle uzun süreli yüklemeler için tanımlanan kriterler farklılık gösterir. Sıvı tanklarının uzun süreli yüklemeler altında yeterli sızdırmazlık özelliklerine sahip olması büyük önem taşır. Ancak, uzun süreli yüklemeler altında sızdırmazlık kontrolü mevcut Yönetmeliğin kapsamı dışında kalmaktadır. Bu Yönetmelik kapsamında göz önüne alınan deprem etkisi kısa süreli bir yüklemedir. Kesintisiz kullanım sınır durumu kapsamında yapılacak analizlerde çatlama öncesi rijitlik göz önüne alınacaktır.

Deprem etkisi altında betonarme tanklarda meydana gelmesi muhtemel çatlakların genişliği donatının maruz kaldığı en büyük çekme gerilmesiyle doğrudan ilişlidir. *Deprem Tasarım Sınıfı "I" olan tanklarda sızdırmazlık kontrolü kapsamında donatıda meydana gelen en büyük çekme birim şekil değiştirmesinin,  $\varepsilon_s$  aşağıdaki sınırı aşmadığı kontrol edilecektir:*

$$\varepsilon_s \leq 0.9 \varepsilon_y \quad (5.4)$$

Yukarıdaki ifadede,  $\varepsilon_y$  donatı hesap akma dayanımı değeridir.

*Deprem Tasarım Sınıfı: "II" ve "III" olan tanklarda sızdırmazlık kontrolü için TS EN 1992-3, Bölüm 7.3'te sunulan kıstaslar esas alınacaktır.*

Ön germeli betonarme tanklarda, deprem etkisi altında hesaplanan beton asal eksen en büyük basınç birim şekil değiştirmesi,  $\varepsilon_c$  aşağıdaki sınırı geçmemelidir:

$$\varepsilon_c \leq 0.55 \frac{f_{ck}}{E_c} \quad (5.5)$$

Yukarıdaki denklemde,  $f_{ck}$  betonun karakteristik (28 günlük) silindirik basınç dayanımı ve  $E_c$  beton elastisite modülüdür. Benzer şekilde öngermeli tanklarda, deprem etkisi altında hesaplanan en büyük çekme birim şekil değiştirmesi,  $\varepsilon_{ct}$  şu sınırı geçmemelidir:

$$\varepsilon_{ct} \leq 0.5 \sqrt{f_{ck}} \quad (5.6)$$

### 5.3.2 Çalkalanma Payı

Deprem etkisi altında tank içerisinde depolanan sıvının çalkalanması sonucu oluşan dalgalar tank çatısına hasar verebilir ve/veya sıvının taşmasına yol açabilir. İlgili etkiler sıvı tankının deprem hesabında göz önüne alınacaktır.

### **Sabit Çatılı Olmayan Tanklar**

Yüzer çatılı veya üstü açık tanklarda, deprem etkisi altında depolanan sıvının taşmasının önlenmesi için serbest çalkalanma yüksekliğinin hesaplanan dalga yüksekliğinden,  $d_{max}$  daha büyük olduğunun kontrol edilmesi gereklidir. Ancak taşma sonucu depolanan sıvının tank dışarısına çıkmasının önemli bir kayba yol açmayacağı durumlarda deprem sırasında sınırlı miktarda sıvının tank duvarı üzerinden dışarda bulunan ikincil havzaya taşmasına izin verilebilir.

### **Sabit Çatılı Tanklar**

Sabit çatılı tanklarda, serbest çalkalanma yüksekliğinin hesaplanan dalga yüksekliğinden,  $d_{max}$  az olması durumunda tankın çatısında dalga darbesi nedeniyle oluşacak hidrodinamik basınç bileşeni diğer yüklerle birlikte analizde çatıya etkilenecektir. Toplam deprem yükü altında tank çatısı ve çatı duvar birleşim bölgelerinde ilgili deformasyonların akma seviyesinin altında olduğu kontrol edilecektir.

#### **5.3.3 Zemine Sabitleme Elemanlarının Bağlantı Noktaları**

Zemine sabitlenmiş tanklardaki sabitleme elemanlarının, tank duvarlarına mesnetlendikleri noktalarda duvarlarda zorlamalar meydana gelir. Bu tesirlerin, elastik dayanım sınırları içerisinde kaldığı ve herhangi bir hasara sebebiyet vermeyeceği kontrol edilecektir. Bu kapsamda yapılacak değerlendirmede, tanka aktarılacağı hesaplanan kuvvetler 1.25 çarpanıyla büyütülerek hesaba katılacaktır. Bu büyütmedeki amaç olası dayanım fazlalığı ihtimalini dikkate almaktır.

#### **5.3.4 Hidrolik Sistemlerin Bağlantı Noktaları**

Tank duvarlarına, tabanına ve çatısına bağlı olan hidrolik sistemler (boru, pompa, vs.) deprem etkisi altında tanka bağlandıkları noktalarda gerilme ve şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu gerilme ve şekil değiştirmelerin elastik sınırlar içerisinde kaldığı ve tank duvarlarında, tabanında ya da çatısında herhangi bir hasar oluşturmadığı kontrol edilecektir. Bu kontrol kapsamında, ilgili mesnet noktalarından tanka aktarılacağı hesaplanan yükler, 1.3 çarpanıyla büyütülerek uygulanacaktır. Bu büyütmedeki amaç, dayanım fazlalığı, dinamik büyütme, vb. etkileri dikkate almaktır.

Tankın içerisinde sıvıya batırılmış halde bulunan teçhizatın tank duvarlarına uyguladığı etkilerin belirlenmesinde ilgili teçhizat üzerine gelen hidrodinamik basınç bileşenleri de hesaba katılacaktır.

#### **5.3.5 Tank Tavanını Destekleyen Kolonlar**

Tank tavanını destekleyen kolonların deprem etkisi altındaki dayanımları kontrol edilirken sıvının hareketi nedeniyle kolonlara etkiyen hidrodinamik basınç ve kolonun mesnettendiği alt ve üst uçlardan kolona aktarılan kuvvet ve momentler göz önüne alınacaktır.

### **5.4 KONTROLLÜ HASAR SINIR DURUMU KONTROLÜ**

Kontrollü hasar sınır durumu için yapılacak kontrollerde tankta göçme meydana gelmemesi ve tankın gevrek hasar modlarında hasar görmemesi için gerekli kritik unsurlar dikkate alınacaktır. Bu kapsamda yapılacak kontrollerde dikkate alınacak temel prensipler şunlardır: (1) yapısal stabilitenin korunması, (2) gevrek hasar mekanizmalarının önlenmesi, (3) zemine sabitleme elemanlarında ve tanka bağlı hidrolik sistemlerin bağlantı noktalarında sınırlı hasar meydana gelmesi ve (4) güç tükenmesi sınırının aşılması.

### 5.4.1 Stabilité

Tankın deprem etkisi altında devrilmeye karşı yeterli güvenliğe sahip olduğunun kontrolünün yapılması gereklidir. Zemine sabitlenmemiş tanklar için aşağıdaki sunulan iki eşitsizliğin geçerli olduğu kontrol edilecektir, aksi durumda tank tabana sabitlenecektir:

$$\frac{H}{R} < \frac{2g}{S_{ae}(T, \xi)} \quad (5.7)$$

$$\frac{R^2}{H} < PGV^2 \quad (5.8)$$

Yukarıdaki denklemlerde,  $S_{ae}(T, \xi)$  hesap spektral ivmesini ve  $PGV$  hesap en büyük yer hızını ifade etmektedir. Düşey eksenli dikdörtgen tankların hesabında Denklem (5.7) ve (5.8)'teki  $R$  parametresi, tankın göz önüne alınan deprem yönündeki uzunluğunun yarısına eşit olarak alınacaktır.

Sabitleme elemanlarının yüksek sünekliliğe sahip olması durumunda ilgili elemanın detaylandırılmasında kapasite tasarımı yaklaşımı esas alınarak sünek olmayan bütün diğer muhtemel hasar mekanizmalarının gerçekleşmesi önlenecektir. Benzer şekilde sabitleme elemanlarının tanka bağlandıkları noktalarda da kapasite hesabı yaklaşımı kullanılacaktır. Bu kapsamda, eleman tarafından tank duvarına aktarılabilecek kuvvetlerin tank duvarında hasara sebebiyet vermeyecek seviyede olduğu kontrol edilecektir. Bu kontrol yapılırken sabitleme elemanlarının olası dayanım fazlalığı da göz önüne alınacaktır. Bu kapsamda, bağlantı elemanlarının duvara aktardığı kuvvetler 1.25 kat artırılarak tank duvarına uygulanacaktır. Bu etkinin deprem etkisiyle birleştiği durumda tank duvarında meydana gelen birim şekil değiştirmelerin elastik sınırlar içerisinde kaldığı kontrol edilecektir.

### 5.4.2 Zeminden Kalkma

Zemine sabitlenmemiş tanklar için deprem etkisi altında tank tabanın zeminden kalkma miktarı,  $v$  aşağıdaki sınırı aşmamalıdır:

$$v \left( \frac{H}{2} + v \right) \leq \frac{R^2}{2} \quad (5.9)$$

Dikdörtgen tanklar için Denklem (5.9)'daki  $R$  parametresi, tankın göz önüne alınan deprem yönündeki uzunluğunun yarısı olarak alınacaktır.

### 5.4.3 Rijitleştirici Kirişin Radyal Deformasyonu

Yüzer çatılı silindirik tanklarda, tank duvarının üst kısmında rijitleştirici giriş yer alır. Bu rijitleştirici giriş, deprem etkisi altında dairesel geometriden uzaklaşarak yamulan tank kesitindeki şekil değişimini azaltır. Bu yamulmanın fazla olması durumunda yüzer çatı tank duvarı içerisine sıkışır. Bu durum, tank duvarlarında hasara yol açar ve yanıcı sıvıları tutuşturabilecek kıvılcımlar oluşturur. İlgili hasarların önlenmesi için hesap deprem etkisi altında rijitleştirici girişin radyal doğrultudaki deformasyonunun tank duvarı ile yüzer çatı arasındaki esnek bölgesinin deformasyon payını aşmadığı kontrol edilecektir.

### 5.4.4 Tankın Temel Üzerinde Kayması

Tankın deprem etkisi altında temel üzerinde kaymaya karşı yeterli dayanıma sahip olduğu ilgili sürtünme kuvveti ve sabitleme elemanları kesme kapasiteleri dikkate alınarak kontrol edilecektir. Tanka bağlanan tüm boruların ve teçhizatın meydana gelebilecek kayma deformasyonundan hasar görmeyeceklerinin ispatlanması durumunda tank tabanında sınırlı miktarda kaymaya izin verilebilir.

### 5.4.5 Hidrolik Sistemlerin Bağlantı Bölgeleri

Tank duvarlarına ve tabanına bağlı hidrolik sistemlerin (boru, pompa, vs.) bağlantı noktalarındaki gerilme ve şekil değiştirmelerin ilgili bölgede kopma veya yırtılma meydana getirmeyecek seviyede olduğu kontrol edilecektir. Bu kontrol kapsamında, ilgili mesnet noktalarından tanka aktarılacağı hesaplanan yükler, 1.3 çarpanıyla büyütülerek uygulanacaktır. Bu büyütmede amaç dayanım fazlalığı, dinamik büyütme, vb. etkileri dikkate almaktır.

Tanka bağlanacak boruların deprem davranışıyla ilgili detaylı bir analiz mevcut değilse, ilgili borunun tank dışında mesnetlendiği ilk noktada en olumsuz etkiyi oluşturacak yönde  $\Delta$  kadar mesnet yer değiştirmesine maruz kaldığı durumun statik analizi yapıp gerekli kuvvetler bu şekilde belirlenecektir. Bu kapsamda kullanılacak mesnet yer değiştirmesi,  $\Delta$  aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenecektir:

$$\Delta = \frac{x}{500} PGD \quad (5.10)$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $x$  borunun tanka bağlandığı nokta ile tank dışarısında ilk mesnetlendiği nokta arasındaki mesafedir (Birim: [m]) ve  $PGD$  tankın bulunduğu saha için hesap en büyük yer değiştirme değeridir ve Bölüm 2'de tanımlandığı şekilde hesaplanacaktır.

### 5.4.6 Gevrek Hasar Mekanizmaları

#### Çelik Tanklar

Depremi etkisi altında çelik tankların duvarlarına etkileyen düşey ve yatay gerilmeler tank duvarının burkulmasına ve yapısal dayanımlarının kaybolmasına yol açabilmektedir. Tank duvarlarında gözlenen başlıca burkulma modları: (1) yüksek membran basıncından kaynaklanan burkulma ve (2) elasto-plastik burkulmadır. Kontrollü hasar sınır durumunda tank duvarlarında bu burkulma modlarının önlenmesi için gerekli kontroller yapılacaktır.

#### Yüksek Membran Basıncı Kaynaklı Burkulma

Tank duvarının deprem etkisi altında yüksek membran basıncı burkulmasına karşı yeterli güvenliğe sahip olduğu kontrol edilecektir. Tank duvarlarının burkulma dayanımı duvar iç yüzeyine etkileyen sıvı basıncı, dairesel çeper boyunca aksel gerilmelerin dağılımı ve silindirik duvar geometrisindeki kusurların seviyesine bağlıdır.

Tank duvarlarının hesap deprem etkisi altında membran basıncı kaynaklı burkulmaya karşı yeterli dayanıma sahip olduğunun kontrolü aşağıdaki kriter esas alınarak yapılacaktır:

$$\frac{f_m}{f_{cl}} \leq 0.19 + 0.81 \frac{f_p}{f_{cl}} \quad (5.11)$$
$$f_{cl} = 0.6E \frac{t}{R}$$

Yukarıdaki ifadede,  $f_m$  deprem etkisi altında tank duvarı için hesaplanan basınç gerilmesini,  $f_{cl}$  ideal silindirik kabuk geometrisine sahip tank için burkulma basıncını ve  $f_p$  duvar iç yüzeyi üzerindeki sıvı basıncının burkulma dayanımına etkisini temsil etmektedir.

Denklem (5.11)'deki  $f_p$  parametresi aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$f_p = f_{cl} \sqrt{\left(1 - \left[1 - \frac{\bar{p}}{5}\right]^2 \left(1 - \left[\frac{f_0}{f_{cl}}\right]^2\right)\right)} \leq f_{cl} \quad (5.12)$$

$$\bar{p} = \frac{pR}{t f_{cl}} \leq 5$$

Yukarıdaki denklemlerde,  $\bar{p}$  nominal çembersel basınç oranı,  $p$  tank iç yüzeyine etkiyen sıvı basıncıdır ve  $f_{cl}$  tank duvar geometrisindeki kusurların ve akma gerilmesinin burkulmaya etkisini temsil eden parametredir.

Denklem (5.12)'deki  $f_0$  parametresi aşağıdaki şekilde belirlenecektir:

$$f_0 = f_y \left( 1 - \frac{\lambda^2}{4} \right)$$

$$f_0 \begin{cases} = f_y \left( 1 - \frac{\lambda^2}{4} \right) & \text{eğer } \lambda^2 \leq 2 \\ = \bar{\sigma} f_{cl} & \text{eğer } \lambda^2 > 2 \end{cases}$$

$$\lambda^2 = \frac{f_y}{\bar{\sigma} f_{cl}} \quad (5.13)$$

$$\bar{\sigma} = 1 - \psi \left( \frac{\delta}{t} \right) \left[ \left( 1 + \frac{2}{\psi \left( \frac{\delta}{t} \right)} \right)^{1/2} - 1 \right]$$

$\frac{\delta}{t}$ : en büyük kusur genişliğinin tank duvarı kalınlığına oranı

$\psi = 1.24 - \text{Membran basıncı etkisi altında burkulma}$

Yukarıdaki ifadede,  $\delta$  tank duvarının kusursuz silindirik geometriden sapma miktarına karşılık gelmektedir ve  $\delta/t$  beklenen geometrik kusur seviyesini tanımlamakta kullanılan orandır. Tankın inşası sırasında meydana gelmesi muhtemel geometrik kusurların seviyesiyle ilgili herhangi bir bilgi mevcut değilse  $\delta/t$  oranı aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$\frac{\delta}{t} = \frac{0.06}{a} \sqrt{\frac{R}{t}} \quad (5.14)$$

$a = 1.0$  sıradan kalitede inşa işçiliği

$a = 1.5$  yüksek kalitede inşa işçiliği

$a = 2.5$  çok yüksek kalitede inşa işçiliği

Burada,  $a$  inşaat kalitesinin düzeyiyle ilgili parametredir. Mevcut tanklar için ideal silindirik geometriden sapma miktarının belirlenmesinde kullanılacak yöntem Bölüm 8'de açıklanmaktadır.

### Elastoplastik Burkulma

Silindirik tanklarda duvar alt bölgesindeki elemanlar düşey doğrultuda basınca maruz kalırken radyal doğrultudaysa dışarı yönde basınca maruz kalırlar. Tank duvarını içeriden dışarıya doğru iten radyal doğrultudaki basınç duvarda eksentrisite meydana gelmesine ve düşey yönde basınç altında "fil ayağı" burkulması olarak bilinen ve sıkça gözlenen elastoplastik burkulma mekanizmasını tetikler.

Tank duvarlarında deprem etkisi altında hesaplanan basınç gerilmesinin,  $f_m$  ilgili elastoplastik burkulma sınırının altında olduğunun kontrolü aşağıdaki kriter esas alınarak yapılacaktır:

$$f_m \leq f_{cl} \left[ 1 - \left( \frac{pR}{t f_y} \right)^2 \right] \left( 1 - \frac{1}{1.12 + s^{1.5}} \right) \left[ \frac{s + \frac{f_y}{250}}{s + 1} \right] \quad (5.15)$$

$$s = \frac{\left( \frac{R}{t} \right)}{400}$$

Genellikle silindirik tanklarda, tank duvarında yatay çeper eksenini yönünde etkiyen membran gerilmelerinin düşük olduğu durumda elastik burkulmanın tetiklenme ihtimali artarken ilgili membran gerilmelerinin yüksek olduğu durumdaysa elastoplastik burkulmanın tetiklenme ihtimali artmaktadır.

## Betonarme Tanklar

### Kesme Dayanımı

Deprem etkisi altında betonarme tanklarda duvar-taban ve çatı-duvar birleşim bölgelerinde kesme kuvveti tesirleri meydana gelir. Tankın bu kesme tesirleri altında gevrek şekilde hasar görmemesi için ilgili bölümlerde kesme dayanımının yeterli olduğunun kontrolü yapılacaktır. İlgili kesme tesirinin daha detaylı bir hesaplama ortaya konmadığı durumda, tank duvarına etkiyen kesme tesiri,  $q_{v,max}$  en büyük değeri aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$q_{v,max} = \frac{V_d}{\pi \cdot R} \quad (5.16)$$

Yukarıdaki denklemde,  $V_d$  tank duvarı ve tabanı arasında aktarılan toplam kesme kuvvetidir ve Bölüm 4'te sunulan yöntem kullanılarak hesaplanacaktır. Çatı-duvar birleşim bölgesinin kesme dayanımının kontrolü de Denklem (5.16) kullanılarak yapılacaktır ancak bu durumda toplam kesme kuvveti Denklem (4.21) ile hesaplanacaktır.

### 5.4.7 Güç Tükenmesi Sınırının Aşılması

Bu Yönetmelik kapsamında, tank duvarlarının, tabanının ve tavanının deprem etkisi altında tankın göçme noktasına karşılık gelen sınır, güç tükenmesi sınırı olarak tanımlanmıştır.

### Çelik Tanklar

#### Taban-Duvar Birleşim Bölgesi

Zemine sabitlenmiş tanklarda, taban plakasının bir kısmının hesap depremi etkisi altında zeminden ayrılması durumunda taban-duvar birleşim bölgesinde kopmanın meydana gelmesi önlenmelidir. Bu kapsamda, Denklem (4.33) kullanılarak hesaplanan  $\theta_p$  aşağıdaki sınırı aşmamalıdır:

$$\theta_p \leq \frac{2 \varepsilon_s'}{t} \cdot l_p \quad (5.17)$$

Yukarıdaki ifadede,  $\varepsilon_s'$  taban-duvar kaynak bölgesine yakın taban plakası için izin verilebilir çelik birim şekil değiştirmesidir. Aynı ifadedeki,  $l_p$  plastik dönmenin gerçekleştiği varsayılan plastik mafsal boyudur. Detaylı herhangi bir veri mevcut olmadığı durumda  $l_p = 2t$  ve  $\varepsilon_s' = 0.05$  alınabilir. Bu durumda,  $\theta_p \leq 0.2$  [rad] dönme sınırı olarak alınacaktır.

Taban duvar birleşim bölgesinde yukarıda tanımlanan  $\theta_p$  kriterinin sağlanmadığı tanklarda taban plakası kalınlığının artırılması gereklidir. Ancak bu artış taban plakasının tank duvarına kıyasla daha kalın olmasına sebebiyet verecekse, tank zemine sabitlenmelidir.

## Taban Plakası

Zemine sabitlenmemiş tankların tabanında deprem etkisi altında meydana gelen şekil değiştirmelerin kontrol edilmesinde iki eksenli gerilme hali göz önüne alınacaktır. Tabanın bir kısmının zeminden ayrılması durumunda, ayrılan kısımda yüksek seviyede membran çekme gerilmesi oluşur ancak tabanın duvarla birleştiği bölümün rijitliği taban plakasını sınırlar ve basınç gerilmelerine yol açar. Bu iki eksenli gerilme hali altında çeliğin akma dayanımının tek eksenli duruma kıyasla daha düşük akma dayanımına sebep olacağı hesaplarda göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle, taban birim şekil değiştirme talebinin hesap akma limitinin %60'ını aşmadığı ( $\varepsilon_s < 0.6\varepsilon_y$ ) kontrol edilecektir.

## Betonarme Tanklar

Betonarme tankların güç tükenmesi sınır durumuna karşılık gelen gerilme kapasiteleri, sıvı geçirmezlik ve çatlak oluşumu kontrolleri için şu kaynaklarda yer alan kriterler göz önüne alınacaktır:

- TBDY (2018) - Bölüm 7 – Deprem Etkisi Altında Yerde Dökme Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- TS500 (2000) - Betonarme Yapıların Tasarımı ve Kontrolü
- TS EN 1998-4 – Eurocode 8: Depreme Dayanıklı Yapıların Tasarımı – Bölüm 4: Silolar, tanklar ve boru hatları
- TS EN 1992-3 – Eurocode 2: Beton Yapıların Tasarımı – Bölüm 3: Sıvı tutma ve depolama yapıları

## 5.5 TANKLARIN GÜVENLİĞİYLE İLGİLİ DİĞER KURALLAR

Çok sayıda tankın bir arada bulunduğu sahalarda deprem sırasında tanklar arasında (tanklar arası bağlantılar nedeniyle, vb.) etkileşim meydana gelmesi olasılığı bulunuyorsa bu etkileşimin olası etkileri hesaplarda göz önüne alınmalıdır.

Çalkalanma sonucu olası taşmanın yüksek risk oluşturduğu durumlarda ilgili muhtemel zararları en aza indirme amacıyla tank ilgili taşmayı sınırlandıracak kapasitede bir koruma havzası içinde inşa edilmelidir.

## BÖLÜM 6 – DEPREM YALITIMLI SIVI DEPOLAMA TANKLARININ ANALİZİ VE HESABI

### 6.1 TANIM, KAPSAM VE GENEL İLKELER

Tankın üzerinde bulunduğu platformun mesnetlendiği ara yüzünde düşey doğrultuda rijitlik, yatay doğrultuda esneklik ve/veya enerji tüketimi sağlayan bileşenlerin tamamı bu Yönetmelik kapsamında yalıtım sistemi olarak adlandırılmaktadır. Bu kapsamda, temel sistemi de dâhil olmak üzere tankın yalıtım arayüzünün altında kalan kısım alt yapı olarak adlandırılır. İlgili arayüzün üzerinde kalan bölüm ise tank sisteminin üst yapısı olarak adlandırılmaktadır.

Bu bölüm, yeni tankların tasarımında deprem yalıtımının hesabının yapılması veya mevcut bir tankın deprem yalıtımı uygulanarak deprem davranımının iyileştirilmesi amacıyla yapılacak hesaplarda tank ve sıvının dinamik davranışının modellenmesiyle ilgili esasları kapsamaktadır. Bu kapsam dışında bulunan bütün diğer hususlar için *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği* (Bölüm 14) içerisinde yalıtımlı binaların tasarımı için sunulan esaslar göz önüne alınacaktır.

### 6.2 HESAP YÖNTEMİ

Deprem yalıtımlı tankların deprem performansı yalıtım sistemi, tank ve depolanan sıvının birbirleriyle etkileşimli dinamik davranışlarına bağlıdır. Bu etkileşimin sistemin deprem hesabında göz önüne alınması zaman zaman alanı dışında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile yalıtım sistemine etkiyen yer değiştirme ve eksenel yük taleplerinin belirlenmesi ile



mümkündür. Bu analizde, sıvının dinamik davranışından kaynaklanan etkiler eş değer yığılı kütleli modelleme yaklaşımı göz önüne alınarak hesaba katılabilir.

Belirli özel durumlarda, yalıtım sistemi deprem dayanımının tank ve depolanan sıvıyı da kapsayan bütüncül bir yaklaşımla, akışkanlar mekaniği prensiplerine dayanan ve yapı-sıvı etkileşimini göz önüne alan kapsamlı bir model ile analizlerin gerçekleştirilmesi de uygun olabilir. Ancak bu durumda, ilgili model ile elde edilen temel analiz parametrelerinin (toplam taban kesme kuvveti, devrilme momenti, en büyük yer değiştirmeler, vb.) yeterli doğruluğa sahip olduğu teknik bir değerlendirmeyle ortaya konulup, Bölüm 1.3'te tanımlanan gözetim ve kontrol heyetine sunulacaktır.

Oluşturulacak analiz modeliyle elde edilen sonuçlar hem deprem yalıtım sisteminin hem de sıvı tankının deprem davranımının değerlendirilmesinde göz önüne alınacaktır. Bu kapsamda, yalıtım sisteminin deprem davranımının değerlendirilmesinde *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*'nde (Bölüm 14) sunulan esaslar göz önüne alınacaktır.

### **6.3 DİĞER ÖNEMLİ HUSUSLAR**

Depolanan sıvının tank dışına taşması durumunda (ısınma, soğuma, vb. etkiler sonucu) yalıtım sisteminin mekanik özelliklerinin değişmesi ihtimali bulunuyorsa, ilgili değişimler hesaplarda göz önüne alınacaktır.

## **BÖLÜM 7 – ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN VE DEPREM ETKİSİ ALTINDA ZEMİN DAVRANIŞININ BELİRLENMESİNE İLİŞKİN KURALLAR**

Sıvı depolama tankının bulunduğu sahanın yerel jeolojik özellikleri, zemin özellikleri ve zeminin deprem etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesine ilişkin kurallar, Ulaşım ve Dağıtım Tesisleri için hazırlanan "Geoteknik Konular Raporu" kapsamında belirlenmiş özel hususlar haricinde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY,2018, Bölüm 16 – Deprem Etkisi Altında Temel Zemin ve Temellerin Tasarımı İçin Özel Kurallar) Maddesi gereğince belirlenecektir.

## **BÖLÜM 8 – DEPREM ETKİSİ ALTINDA SIVI DEPOLAMA TANKLARININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE GÜÇLENDİRME TASARIMI İÇİN GENEL KURALLAR**

### **8.1. TANIM, KAPSAM VE GENEL İLKELER**

Mevcut ve güçlendirilecek tüm sıvı depolama tanklarının hatlarının deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen tankların güçlendirme tasarım ilkeleri bu bölümde tanımlanmıştır.

Mevcut sıvı depolama tanklarının hatlarının deprem etkisi altında davranışı, Bölüm 5'te tanımlanan esaslar çerçevesinde belirlenecektir. Ancak mevcut tanklar için malzeme ve bağlanıtı noktası özellikleri bu bölüme göre derlenecektir.

Hasara neden olan bir deprem sonrasında hasarlı sıvı depolama tankının deprem güvenliği bu bölümde verilen yöntemlerle belirlenemez.

### **8.2. MEVCUT TANKLARDAN BİLGİ TOPLANMASI VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ**

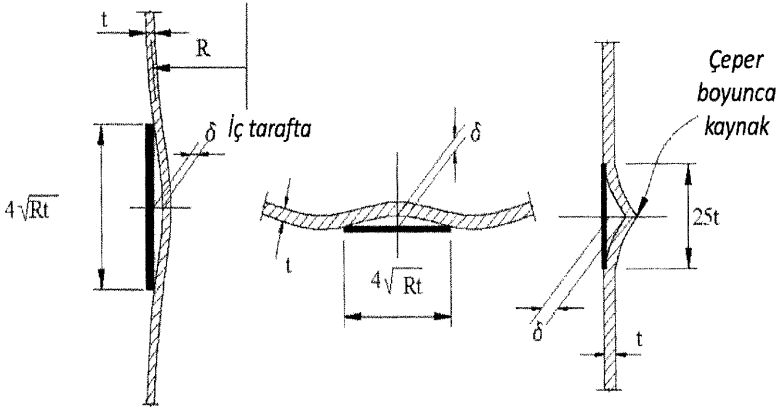
Mevcut tankların değerlendirmesi ve güçlendirilmesi sırasında, tankın ve tank temelinin tasarımı, yapım koşulları, tankın bulunduğu sahanın zemin özellikleri ve ilgili sahanın depremselliği hakkında olabildiğince eksiksiz bilgi edinilmesi önem taşımaktadır. Bu mevcut koşulların yeterince kapsamlı şekilde belirlenebilmesi için gerekli durumlarda özel tetkik ve çalışmalar yürütülecektir.

Belirli bir sıvı depolama tankının deprem davranışının değerlendirilmesinde şu temel esaslar göz önüne alınacaktır:

1. Tank ve tank temelinin taşıyıcı sistem özellikleri ve bağlantı detayları ayrıntılı şekilde ortaya konmalıdır.
2. Taşıyıcı sistem bileşenlerinin malzeme özellikleri belirlenmelidir.
3. Tankın, tank temelinin ve ilgili bağlantılı sistemlerin ilgili saha için göz önüne alınan deprem etki düzeyleri altında maruz kalacağı zorlamalar belirlenmelidir (Bölüm 4).
4. Tankın, tank temelinin ve ilgili bağlantılı sistemlerin deprem etkisi altında meydana gelecek zorlamalar altında yeterli kapasiteye sahip olduğu ilgili sınır durumları kontrol edilerek ortaya konulmalıdır (Bölüm 5).

Sıvı depolama tankının taşıyıcı sistem özellikleriyle ilgili toplanacak bilgi gerek kapsam ve gerekse düzey açısından, TBDY (2018)-Bölüm 15.2 ile uyumlu olmalıdır.

Mevcut çelik tanklarda yapılacak sınır durumu kontrollerinde gevrek hasar mekanizmalarının kontrolü (Bölüm 5.4.7), kapsamında tankın mevcut inşa özellikleri göz önüne alınarak hesaplanacaktır. İlgili hesaplarda göz önüne alınacak geometrik kusur seviyesi oranı,  $\delta/t$  belirlenirken,  $4\sqrt{Rt}$  uzunluğundaki düz bir çubuk ile Şekil 8.1'de gösterilen şekilde ölçüm yapılacaktır.



Şekil 8.1 Geometrik kusur seviyesi ölçümü (ECCS 1983'ten değiştirilerek alınmıştır.)

# EK A – ZEMİN-TEMEL-TANK ETKİLEŞİMİNİN MODELLENMESİ VE HESABINA İLİŞKİN KURALLAR

## A.1. TANIM, KAPSAM VE GENEL İLKELER

Zemin-temel-tank etkileşimi nedeniyle *Yerel Zemin Sınıfı* ZC, ZD, ZE ve ZF olan sahalardaki tankların deprem davranışları tümüyle rijit mesnetli tanklara göre önemli derecede farklılık gösterir. İlgili etkileşim darbesel titreşim modu periyodunun uzamasına yol açar ve ilgili sönüm oranı artar. Darbesel modun doğal titreşim periyodunun hesap spektrumunun sabit spektral ivme bölgesinin alt sınırından kısa olması ( $T < T_A$ ) durumunda, zemin-temel-tank etkileşimli sistemdeki periyod uzaması spektral ivmelerin sabit mesnetli tanklara göre daha yüksek olmasına yol açar. Bu durumda, ilgili etkileşimin hesaplarda dikkate alınması önem taşır.

Zemin-temel-tank sisteminin deprem etkisi altındaki etkileşiminin hesaplanmasında göz önüne alınacak temel esaslar bu bölümde açıklanmaktadır.

## A.2. ZEMİN ESNEKLİĞİNİN DEPREM HESABINDA GÖZ ÖNÜNE ALINMASI İÇİN YÖNTEMLER

Zemin-temel-tank etkileşiminin hesaplarda göz önüne alınması için farklı detay seviyelerinde ve kapsamlardaki şu iki yaklaşım kullanılabilir:

1. Basitleştirilmiş analiz yöntemi
2. Detaylı analiz yöntemi

Bu iki yöntem aşağıda açıklanmaktadır.

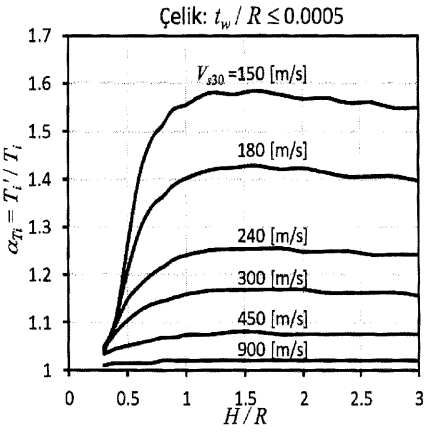
## A.3. BASİTLEŞTİRİLMİŞ ANALİZ YÖNTEMİ

Yumuşak zeminli sahalarda bulunan tankların darbesel titreşim modu periyodunun basitleştirilmiş yönteme göre hesabında aşağıdaki eşitlik kullanılacaktır:

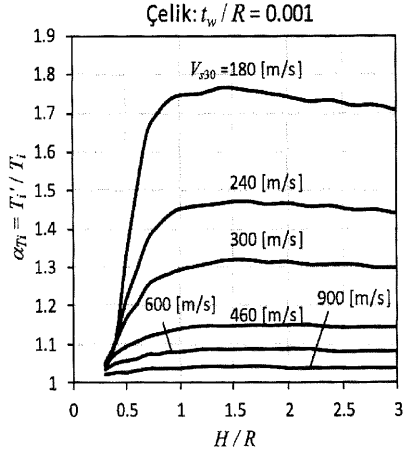
$$T_i' = \alpha_{T_i} T_i \quad (\text{A.1})$$

Yukarıdaki denklemde,  $T_i'$  etkileşimin göz önüne alındığı durum için darbesel titreşim periyodudur,  $T_i$  tankın tümüyle rijit zemin üzerinde bulunduğu ve zemin-temel-tank etkileşiminin olmadığı durum için geçerli periyodun uzunluğudur ve  $\alpha_{T_i}$  etkileşimli periyod hesaplama katsayısıdır. Etkileşimli periyod hesaplama katsayısı,  $\alpha_{T_i}$  sahadaki zeminin en üst 30m'lik bölümündeki ortalama kayma dalgası hızı ( $V_{s30}$ ), tank duvar malzemesine (çelik veya betonarme) ve duvar kalınlığının tank yarıçapına oranına bağlı olarak Şekil A.1 kullanılarak belirlenecektir. Düşey silindirik tank geometrisi dışındaki tanklar için (dikdörtgen, v.b.)  $\alpha_{T_i}$  belirlenirken, eşdeğer taban alanına sahip dairesel taban alanının yarıçapı  $R$  göz önüne alınacaktır. Şekilde yer almayan  $V_{s30}$  değerleri için, grafiklerde sunulan değerler arasında interpolasyon yapılacaktır.

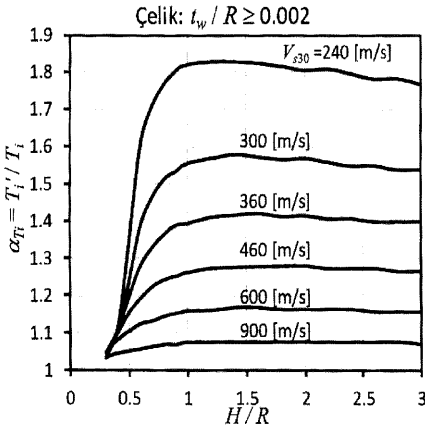
Zemin-temel-tank sisteminin darbesel titreşim modunun sönüm oranı, benzer özelliklere sahip olan rijit mesnetli tanka göre daha yüksektir. Etkileşimli durum için geçerli sönüm oranı ( $\zeta_i$ ) Şekil A.2 kullanılarak belirlenecektir. Şekilde yer almayan  $V_{s30}$  değerleri için, grafiklerde sunulan değerler arasında interpolasyon yapılacaktır.



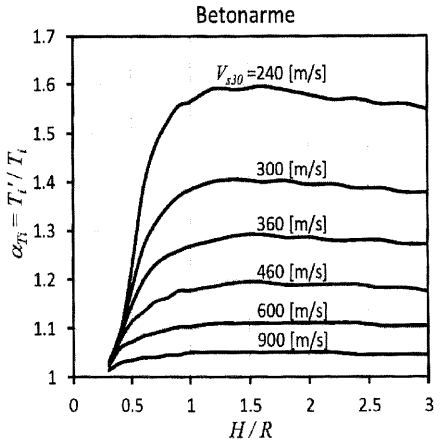
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil A.1 Zemin-yapı etkileşimli tanklarda etkili darbesel periyod,  $T_i'$  hesaplama katsayısı

Tablo A.1 Zemin-yapı etkileşimli çelik tankların ( $t_w/R \leq 0.0005$ ) darbesel periyodunun rijit mesnetli tankın periyoduna oranı,  $\alpha_{T1}$

$H/R$	$V_{s30}$					
	150	180	240	300	450	900
0.3	1.040	1.044	1.048	1.047	1.035	1.010
0.4	1.109	1.109	1.096	1.080	1.045	1.015
0.5	1.258	1.207	1.147	1.104	1.051	1.015
0.6	1.402	1.289	1.175	1.123	1.057	1.015
0.7	1.478	1.339	1.198	1.137	1.062	1.015
0.8	1.512	1.364	1.214	1.144	1.068	1.020
0.9	1.546	1.388	1.231	1.151	1.068	1.020
1.0	1.554	1.402	1.240	1.158	1.074	1.020
1.2	1.580	1.419	1.250	1.166	1.074	1.020
1.4	1.577	1.425	1.252	1.167	1.080	1.020
1.6	1.584	1.429	1.254	1.167	1.080	1.020
1.8	1.576	1.421	1.255	1.168	1.074	1.020
2.0	1.567	1.423	1.248	1.168	1.075	1.020
2.2	1.569	1.415	1.248	1.162	1.075	1.020
2.4	1.559	1.406	1.249	1.162	1.075	1.020
2.6	1.560	1.406	1.241	1.162	1.075	1.020
2.8	1.548	1.407	1.241	1.162	1.075	1.020
3.0	1.549	1.397	1.241	1.156	1.075	1.020

Tablo A.2 Zemin-yapı etkileşimli çelik tankların ( $t_w/R = 0.001$ ) darbesel periyodunun rijit mesnetli tankın periyoduna oranı,  $\alpha_{T1}$

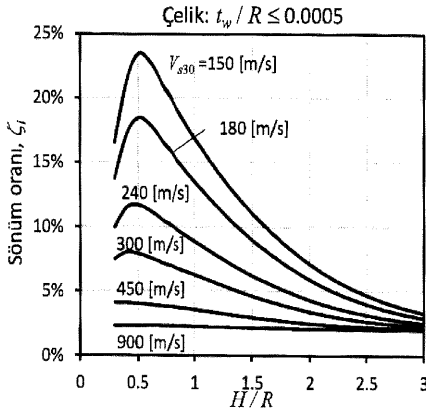
$H/R$	$V_{s30}$					
	180	240	300	460	600	900
0.3	1.035	1.041	1.050	1.048	1.034	1.020
0.4	1.111	1.110	1.102	1.075	1.051	1.025
0.5	1.328	1.214	1.165	1.093	1.056	1.025
0.6	1.500	1.291	1.204	1.106	1.062	1.030
0.7	1.651	1.370	1.252	1.119	1.073	1.036
0.8	1.700	1.407	1.271	1.125	1.073	1.036
0.9	1.732	1.433	1.281	1.132	1.079	1.036
1.0	1.746	1.450	1.292	1.139	1.079	1.036
1.2	1.751	1.459	1.304	1.146	1.086	1.041
1.4	1.766	1.465	1.316	1.147	1.086	1.041
1.6	1.761	1.470	1.319	1.148	1.086	1.041
1.8	1.753	1.462	1.311	1.148	1.086	1.041
2.0	1.743	1.465	1.313	1.148	1.086	1.036
2.2	1.731	1.456	1.305	1.149	1.086	1.036
2.4	1.733	1.457	1.305	1.142	1.080	1.036
2.6	1.720	1.447	1.306	1.142	1.080	1.036
2.8	1.721	1.448	1.298	1.142	1.081	1.036
3.0	1.707	1.438	1.298	1.142	1.081	1.036

Tablo A.3 Zemin-yapı etkileşimli çelik tankların ( $t_w / R \geq 0.002$ ) darbesel periyodunun rijit mesnetli tankın periyoduna oranı,  $\alpha_T$

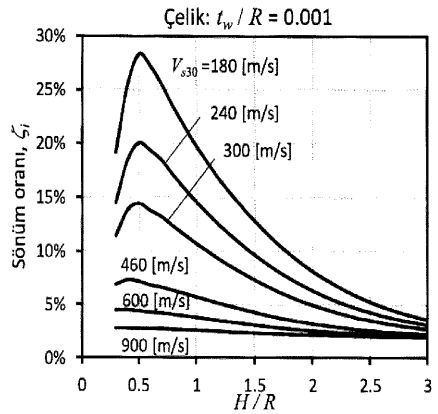
H / R	$V_{s30}$					
	240	300	360	460	600	900
0.3	1.032	1.036	1.045	1.046	1.047	1.034
0.4	1.109	1.104	1.103	1.100	1.080	1.045
0.5	1.352	1.242	1.199	1.156	1.104	1.051
0.6	1.614	1.391	1.281	1.192	1.123	1.057
0.7	1.714	1.466	1.330	1.224	1.130	1.062
0.8	1.769	1.512	1.364	1.242	1.144	1.068
0.9	1.805	1.534	1.388	1.252	1.151	1.068
1.0	1.821	1.554	1.393	1.262	1.158	1.074
1.2	1.829	1.568	1.410	1.273	1.159	1.074
1.4	1.829	1.577	1.415	1.275	1.167	1.074
1.6	1.824	1.571	1.419	1.277	1.167	1.074
1.8	1.816	1.564	1.412	1.278	1.161	1.075
2.0	1.805	1.567	1.414	1.279	1.161	1.075
2.2	1.809	1.557	1.405	1.272	1.162	1.075
2.4	1.796	1.547	1.406	1.272	1.162	1.075
2.6	1.781	1.548	1.397	1.273	1.155	1.075
2.8	1.783	1.536	1.397	1.265	1.155	1.075
3.0	1.767	1.537	1.397	1.265	1.156	1.069

Tablo A.4 Zemin-yapı etkileşimli betonarme tankların etkili darbesel periyodunun rijit mesnetli tank periyoduna oranı,  $\alpha_T$

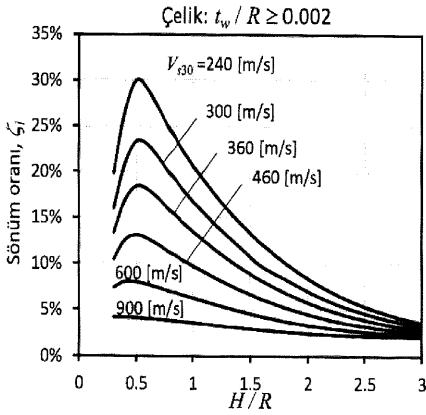
H / R	$V_{s30}$					
	240	300	360	460	600	900
0.3	1.028	1.027	1.030	1.027	1.023	1.014
0.4	1.091	1.093	1.086	1.077	1.060	1.030
0.5	1.222	1.180	1.147	1.114	1.072	1.035
0.6	1.386	1.266	1.198	1.134	1.084	1.041
0.7	1.472	1.314	1.230	1.154	1.090	1.041
0.8	1.520	1.346	1.248	1.162	1.096	1.046
0.9	1.555	1.370	1.259	1.177	1.102	1.046
1.0	1.564	1.384	1.269	1.177	1.103	1.052
1.2	1.591	1.401	1.281	1.186	1.109	1.052
1.4	1.589	1.406	1.291	1.194	1.110	1.052
1.6	1.596	1.400	1.293	1.195	1.110	1.052
1.8	1.589	1.402	1.287	1.188	1.110	1.052
2.0	1.579	1.394	1.287	1.189	1.110	1.052
2.2	1.569	1.395	1.280	1.189	1.110	1.052
2.4	1.571	1.387	1.280	1.189	1.110	1.047
2.6	1.560	1.387	1.281	1.183	1.104	1.047
2.8	1.560	1.378	1.273	1.183	1.104	1.047
3.0	1.549	1.378	1.273	1.176	1.104	1.047



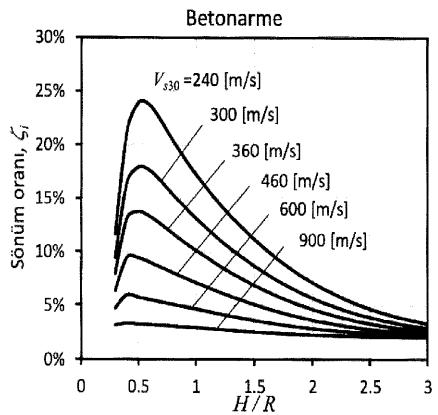
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil A.2 Zemin-yapı etkileşimli tanklarda darbesel titreşim modu sönüm oranı,  $\zeta_i$

Tablo A.5 Zemin-yapı etkileşimli çelik tankların ( $t_w / R \leq 0.0005$ ) darbesel titreşim modu etkili sönüm oranı,  $\zeta_i$

H / R	$V_{s30}$					
	240	300	360	460	600	900
0.3	16.5%	13.8%	10.0%	7.5%	4.1%	2.3%
0.4	21.3%	17.1%	11.5%	8.0%	4.1%	2.3%
0.5	23.4%	18.4%	11.7%	7.9%	4.0%	2.3%
0.6	22.9%	18.0%	11.3%	7.6%	4.0%	2.3%
0.7	21.4%	16.9%	10.7%	7.3%	3.9%	2.3%
0.8	19.8%	15.8%	10.1%	6.9%	3.8%	2.3%
0.9	18.3%	14.6%	9.5%	6.6%	3.7%	2.2%
1.0	16.9%	13.5%	8.9%	6.3%	3.6%	2.2%
1.2	14.3%	11.6%	7.8%	5.6%	3.3%	2.2%
1.4	12.1%	9.8%	6.7%	4.9%	3.1%	2.1%
1.6	10.1%	8.3%	5.8%	4.3%	2.9%	2.1%
1.8	8.5%	7.0%	5.0%	3.8%	2.7%	2.1%
2.0	7.1%	5.9%	4.3%	3.4%	2.5%	2.1%
2.2	6.0%	5.0%	3.8%	3.1%	2.4%	2.0%
2.4	5.1%	4.3%	3.3%	2.8%	2.3%	2.0%
2.6	4.3%	3.8%	3.0%	2.6%	2.2%	2.0%
2.8	3.7%	3.3%	2.7%	2.4%	2.1%	2.0%
3.0	3.3%	2.9%	2.5%	2.3%	2.1%	2.0%

Tablo A.6 Zemin-yapı etkileşimli çelik tankların ( $t_w / R = 0.001$ ) darbesel titreşim modu etkili sönüm oranı,  $\zeta_i$

H / R	$V_{s30}$					
	180	240	300	460	600	900
0.3	19.2%	14.4%	11.4%	6.9%	4.5%	2.8%
0.4	25.4%	18.4%	13.8%	7.3%	4.5%	2.8%
0.5	28.3%	20.0%	14.4%	7.2%	4.4%	2.8%
0.6	27.3%	19.3%	13.8%	6.8%	4.3%	2.8%
0.7	25.5%	18.4%	13.2%	6.6%	4.2%	2.7%
0.8	23.4%	17.0%	12.3%	6.3%	4.1%	2.7%
0.9	21.5%	15.8%	11.5%	6.0%	4.0%	2.7%
1.0	19.8%	14.6%	10.7%	5.7%	3.8%	2.6%
1.2	16.7%	12.4%	9.2%	5.1%	3.5%	2.5%
1.4	14.0%	10.5%	7.9%	4.5%	3.2%	2.4%
1.6	11.7%	8.8%	6.7%	4.0%	3.0%	2.3%
1.8	9.8%	7.4%	5.7%	3.6%	2.7%	2.2%
2.0	8.1%	6.3%	4.9%	3.2%	2.6%	2.2%
2.2	6.8%	5.3%	4.2%	2.9%	2.4%	2.1%
2.4	5.7%	4.5%	3.7%	2.7%	2.3%	2.1%
2.6	4.8%	3.9%	3.3%	2.5%	2.2%	2.1%
2.8	4.1%	3.4%	2.9%	2.3%	2.1%	2.0%
3.0	3.6%	3.0%	2.7%	2.2%	2.1%	2.0%



Tablo A.7 Zemin-yapı etkileşimli çelik tankların ( $t_w / R \geq 0.002$ ) darbesel titreşim modu etkili sönüm oranı,  $\zeta_i$

H / R	$V_{s30}$					
	240	300	360	460	600	900
0.3	19.9%	16.0%	13.3%	10.5%	7.4%	4.1%
0.4	26.6%	20.9%	16.9%	12.6%	8.0%	4.2%
0.5	30.0%	23.4%	18.4%	13.1%	8.0%	4.1%
0.6	29.0%	23.0%	18.0%	12.7%	7.7%	4.0%
0.7	26.8%	21.5%	17.0%	12.0%	7.3%	3.9%
0.8	24.6%	19.8%	15.7%	11.2%	7.0%	3.8%
0.9	22.6%	18.3%	14.6%	10.5%	6.6%	3.7%
1.0	20.7%	16.8%	13.5%	9.8%	6.2%	3.6%
1.2	17.4%	14.2%	11.4%	8.4%	5.5%	3.3%
1.4	14.6%	11.9%	9.7%	7.2%	4.9%	3.0%
1.6	12.2%	9.7%	8.2%	6.2%	4.3%	2.8%
1.8	10.1%	8.3%	6.9%	5.3%	3.8%	2.6%
2.0	8.4%	7.0%	5.8%	4.6%	3.4%	2.5%
2.2	7.0%	5.9%	5.0%	4.0%	3.0%	2.3%
2.4	5.9%	5.0%	4.3%	3.5%	2.8%	2.2%
2.6	5.0%	4.3%	3.7%	3.1%	2.6%	2.2%
2.8	4.2%	3.7%	3.3%	2.8%	2.4%	2.1%
3.0	3.7%	3.2%	2.9%	2.6%	2.3%	2.1%

Tablo A.8 Zemin-yapı etkileşimli betonarme tankların darbesel titreşim modu etkili sönüm oranı,  $\zeta_i$

H / R	$V_{s30}$					
	240	300	360	460	600	900
0.3	11.6%	9.4%	7.9%	6.3%	4.7%	3.1%
0.4	21.1%	16.4%	13.0%	9.4%	5.9%	3.3%
0.5	23.9%	17.9%	13.7%	9.4%	5.7%	3.3%
0.6	23.7%	17.6%	13.3%	9.0%	5.5%	3.2%
0.7	22.2%	16.6%	12.5%	8.5%	5.3%	3.1%
0.8	20.4%	15.4%	11.7%	8.1%	5.1%	3.1%
0.9	18.8%	14.2%	10.9%	7.6%	4.8%	3.0%
1.0	17.2%	13.1%	10.1%	7.1%	4.6%	2.9%
1.2	14.5%	11.2%	8.7%	6.3%	4.2%	2.8%
1.4	12.2%	9.4%	7.4%	5.5%	3.8%	2.6%
1.6	10.2%	8.0%	6.3%	4.7%	3.4%	2.5%
1.8	8.5%	6.7%	5.4%	4.1%	3.1%	2.3%
2.0	7.1%	5.7%	4.6%	3.6%	2.8%	2.3%
2.2	6.0%	4.8%	4.0%	3.2%	2.6%	2.2%
2.4	5.0%	4.1%	3.5%	2.9%	2.4%	2.1%
2.6	4.3%	3.6%	3.1%	2.7%	2.3%	2.1%
2.8	3.7%	3.2%	2.8%	2.5%	2.2%	2.0%
3.0	3.2%	2.9%	2.6%	2.3%	2.1%	2.0%

#### A.4 DETAYLI ANALİZ YÖNTEMİ

Zemin-temel-tank sisteminin etkileşiminin analizi için kapsamlı bir analiz modeli oluşturularak ilgili etkileşim hesaplarında göz önüne alınacaktır. Bu modelde, zeminin esnekliğinin dinamik empedans özellikleri göz önüne alınacaktır. Ayrıca radyasyon sönümü etkisi hesaba katılacaktır. İlgili hesaplarda literatürde kabul görmüş olan analiz yöntemleri kullanılacaktır. Bu analizlerde zemin doğrudan analiz modeline dâhil edilebilir veya yarı-sonsuz elastik ortam şeklinde temsil edilebilir. İlgili analizler ve teknik değerlendirmeler, Bölüm 1.3'te tanımlanan gözetim ve kontrol heyetine sunulacaktır.

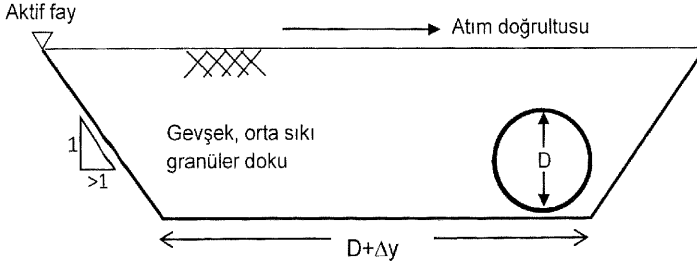
**BORU HATTI SİSTEMLERİ (PETROL, DOĞALGAZ, SU, ATIK SU)**

**ÖRNEK NUMERİK ÇÖZÜM**

## ÖRNEK NUMERİK ÇÖZÜM

Aşağıda verilen örnekte, sağ yanal atımlı aktif bir fayı kesen gömülü ana su boru hattının tasarımı açıklanmaktadır. Tasarım mühendisi, boru hattını önce CTP (Cam Elyaf Takviyeli Plastik) parçalı boru hattı olarak tasarlamaya başlayacak; Yönetmeliğin ilgili hükümleri ile hesap ve kontrolleri yaptıktan sonra boru hattının tasarımına alın kaynaklı sürekli çelik boru olarak devam edecektir.

Tasarlanacak boru hattı ile ilgili genel geometrik kesit bilgileri Şekil 1'de verilmiştir. Boru güzergahının kestiği aktif fay segmentinin uzunluğu Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Türkiye Diri Fay Haritası'na göre 95 km olarak tespit edilmiştir. Aktif fayı kesen boru güzergahında yapılan jeolojik ve geoteknik çalışmalar sonucu serbest zemin yüzeyinden itibaren 50 m derinliğe kadar jeolojik katmanların S dalga hızı ( $V_s$ ) verileri ve birim ağırlıkları Tablo 1'de verilmiştir. Güzergahın aktif bir fayı kesmesi nedeniyle boru hattını çevreleyen dolgu malzemesinin ağırlığı olabildiğince sınırlandırılarak gevşek ve orta daneli granüler malzeme olarak belirlenmiştir (**Madde 3.4.2.6**). Tasarım mühendisi, **Madde 3.4.2.3**'ü dikkate alarak granüler dolgu malzemesi derinliğinin boru hattı üst kotundan itibaren serbest zemin yüzeyine kadar en fazla bir metre olmasına karar vermiştir. Bu karar CTP borularla ilgili teknik şartnameye de uygundur.

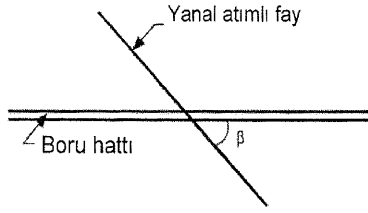


Şekil 1. Tasarımı yapılacak gömülü boru hattının genel geometrik kesit bilgisi.  $\Delta y$  toplam atım miktarıdır.

Tablo 1. Boru hattının aktif fayı kestiği noktada jeolojik birimler ve hesap parametreleri

Derinlik, $h_i$ (m)	Katman	$V_{s,i}$ (m/s)	Birim ağırlık ( $kN/m^3$ )
0 – 1	Gevşek zemin	150	18
1 – 12	Tüf-Aglomera	370	20
12 – 29	Kiltaş	410	21
29 – 41	Kiltaş	543	22
41 – 51	Kiltaş	469	22
51 – (53) Kuyu Sonu	Kumtaş	1092	24

Gene boru hattı güzergâh tespiti yapılırken **Madde 3.4.2.1** dikkate alınarak fayı kesen boru parçasının sadece çekme etkisi altında kalması için konumu aktif fay ile  $90^\circ < \beta < 85^\circ$  olacak şekilde sınırlandırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Boru güzergahının aktif fayı kestiği durumu gösteren şema

### Yer hareketi ile ilgili hesaplar:

*V<sub>s30</sub> hesabı:*

Boru hattı güzergahının fayı kestiği noktada zemin katmalarında belirlenen kayma dalgası (S dalgası) hızları (Tablo 1) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği **Bölüm 16**'da verilen **Denklem 16.2** kullanılarak  $(V_s)_{30}$  (üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı) değeri hesaplanmıştır. Bu hesap aşağıda gösterilmektedir.

$$(V_s)_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{h_i}{V_{s,i}} \right)} = \frac{30}{\left( \frac{1}{150} + \frac{11}{370} + \frac{17}{410} + \frac{2}{543} \right)} \cong 368 \text{ m/s}$$

Elde edilen  $(V_s)_{30}$  değeri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği **Bölüm 16 Tablo 16.1**'e göre ZC yerel zemin sınıfına ( $360 \text{ m/s} \leq (V_s)_{30} < 760 \text{ m/s}$ ) tekabül eder.

*DD-1, DD-1a, DD-2, DD-3 deprem yer hareketi seviyeleri için zemin etkilerinden bağımsız PGA (en büyük yer ivmesi), PGV (en büyük yer hızı), S<sub>s</sub> (kısık periyot) ve S<sub>1</sub> (T = 1.0 s) spektral ivme hesapları:*

Boru hattının aktif fayı kestiği noktada DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeylerine karşılık gelen zemin etkilerinden bağımsız yer hareketi parametreleri **Bölüm 2.3** doğrultusunda <http://tdth.afad.gov.tr> adresinden elde edilmiştir.

Zemin etkilerinden bağımsız DD-1a deprem yer hareketi seviyesi parametreleri için ise **Denklem (2.1)** ve **Denklem (2.5)** kullanılmıştır. Bu işlemler aşağıda gösterilmektedir.

$$\log_{10}(PGA_{DD-1a}) = 0.367(\log_{10}(1.17)) + 0.633(\log_{10}(0.70)) \quad (2.1.a)$$

$$PGA_{DD-1a} = 0.85 \text{ g}$$

$$\log_{10}(PGV_{DD-1a}) = 0.367(\log_{10}(102)) + 0.633(\log_{10}(61)) \quad (2.1.b)$$

$$PGV_{DD-1a} = 74 \text{ cm/s}$$

$$\log_{10}(S_{s,DD-1a}) = 0.367(\log_{10}(2.98)) + 0.633(\log_{10}(0.83)) \quad (2.5.a)$$

$$S_{s,DD-1a} = 1.33 \text{ g}$$

$$\log_{10}(S_{1,DD-1a}) = 0.367(\log_{10}(0.83)) + 0.633(\log_{10}(0.46)) \quad (2.5.b)$$

$$S_{1,DD-1a} = 0.57 \text{ g}$$

Tablo 2 yukarıda özetlenen hesaplar sonucu elde edilmiş PGA, PGV, S<sub>s</sub> ve S<sub>1</sub> değerlerini göstermektedir.

Tablo 2 Boru güzergahının aktif fay kestiği koordinat için DD-1, DD-1a, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeylerine karşılık gelen PGA, PGV, S<sub>s</sub> ve S<sub>1</sub> değerler.

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	PGA (g)	PGV (cm/s)	S <sub>s</sub> (g)	S <sub>1</sub> (g)
DD-1	1.17	102	2.98	0.83
DD-1a	0.85	74	1.33	0.57
DD-2	0.70	61	0.83	0.46
DD-3	0.30	18	0.68	0.16

*En büyük doğrultu ve yakın fay etkilerinin zemin etkilerinden bağımsız yer hareketi parametrelerine yansıtılması:*

Yukarıda hesaplanan zemin etkilerinden bağımsız PGA ve PGV değerleri **2.3.3.2** ve **2.3.3.3** maddelerinde belirtilen katsayılar kullanılarak en büyük doğrultu ve yakın fay etkilerini dikkate alan PGA' ve PGV' değerleri hesaplanır. Aynı şekilde zemin etkilerinden bağımsız S<sub>s</sub> ve S<sub>1</sub> değerleri **2.3.5.2** ve **2.3.5.3** maddelerinde belirtilen katsayılar ile çarpılarak en büyük doğrultu ve yakın fay etkilerini de içeren S<sub>s</sub>' ve S<sub>1</sub>' değerleri hesaplanır.

PGA ve PGV için en büyük doğrultu katsayıları sırasıyla  $\gamma_{PGA} = 1.1$  ve  $\gamma_{PGV} = 1.25$ ; PGV için yakın fay etkisini temsil eden  $\varphi_{PGV,YF}$  katsayısı ise **Denklem 2.3'**e göre (DD-3 yer hareketi seviyesi hariç diğer tüm yer hareketi seviyeleri için)  $\varphi_{PGV,YF} = 1.2$ 'dir. (Boru hattı güzergahının fayı kestiği nokta dikkate alındığında **Denklem 2.3'**te kullanılan L<sub>F</sub> değeri L<sub>F</sub> = 0'dır -L<sub>F</sub>, km cinsinden sahanın fay düzlemine olan en yakın mesafesidir-).

S<sub>s</sub> ve S<sub>1</sub> için en büyük doğrultu katsayıları sırasıyla  $\gamma_S = 1.1$  ve  $\gamma_1 = 1.3$ ; S<sub>1</sub> için yakın fay etkisini temsil eden  $\varphi_{S_1,YF}$  katsayısı ise **Denklem 2.7'**ye göre DD-3 yer hareketi seviyesi hariç diğer tüm yer hareketi seviyeleri için  $\varphi_{S_1,YF} = 1.2$ 'dir.

Yakın fay ve en büyük doğrultu etkisini dikkate alan zemin etkisinden bağımsız PGA', PGV', S<sub>s</sub>' ve S<sub>1</sub>' değerleri tüm deprem yer hareketi seviyeleri için toplu olarak Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Doğrultu ve yakın fay etkilerinin yansıtılması sonucunda elde edilmiş PGA', PGV', S<sub>s</sub>' ve S<sub>1</sub>' değerleri

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	PGA' (g)	PGV' (cm/s)	S <sub>s</sub> ' (g)	S <sub>1</sub> ' (g)
DD-1	1.29	153	3.28	1.29
DD-1a	0.94	111	1.46	0.89
DD-2	0.77	92	0.91	0.72
DD-3	0.33	23	0.75	0.21

*Yerel zemin etkilerinin en büyük doğrultu ve yakın fay etkilerini dikkate alan PGA', PGV', S<sub>s</sub>' ve S<sub>1</sub>' yer hareketi parametrelerine yansıtılması:*

Daha önceki hesaplarda (bkz. *Vs30 hesapları*) söz konusu sahanın zemin koşulları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği **Bölüm 16 Tablo 16.1'**e göre ZC olarak belirlenmiştir. **Tablo 2.1** ve **Tablo 2.2** kullanılarak sırasıyla PGA' ve PGV' için ZC yerel zemin sınıfına tekabül eden F<sub>PGA</sub> ve F<sub>PGV</sub> zemin katsayıları hesaplanmıştır. Aynı şekilde **Tablo 2.3** ve **Tablo 2.4** kullanılarak ZC yerel zemin sınıfı için S<sub>s</sub>' ve S<sub>1</sub>' değerlerine karşılık gelen F<sub>S</sub> ve F<sub>1</sub> zemin katsayıları hesaplanmıştır. Bu hesapların sonuçları Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4 Yerel zemin etkilerinin yansıtılmasında kullanılan katsayılar

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	$F_{PGA}$	$F_{PGV}$	$F_S$	$F_1$
DD1	1.2	1.3	1.2	1.4
DD-1a	1.2	1.3	1.2	1.4
DD2	1.2	1.3	1.2	1.4
DD3	1.2	1.3	1.2	1.5

Tablo 4'te verilen  $F_{PGA}$  ve  $F_{PGV}$  zemin katsayıları, **Denklem (2.4)**'te kullanılarak tasarım en büyük yer ivmesi ( $PGA_D$ ) ve en büyük yer hızı ( $PGV_D$ ) değerleri elde edilir. Aynı şekilde Tablo 4'te verilen  $F_S$  ve  $F_1$  **Denklem (2.8)**'de kullanılarak yatay elastik tasarım spektrum hesabında kullanılmak üzere  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  değerleri elde edilir. Bu hesaplama sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Tasarıma esas  $PGA_D$ ,  $PGV_D$ ,  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  spektral ivme değerleri

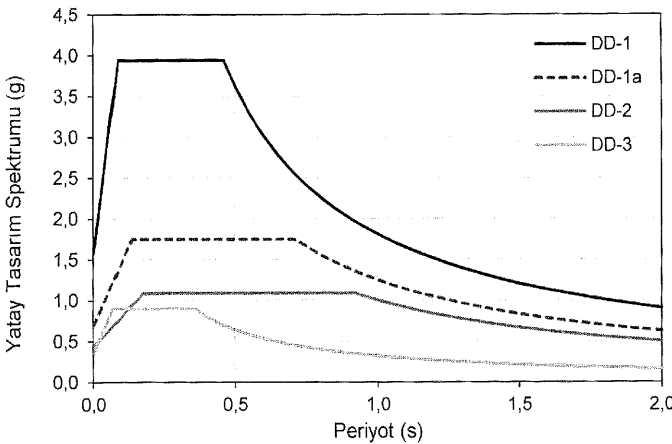
Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	$PGA_D$ (g)	$PGV_D$ (cm/s)	$S_{DS}$ (g)	$S_{D1}$ (g)
DD-1	1.55	199	3.94	1.81
DD-1a	1.13	144	1.75	1.25
DD-2	0.92	120	1.09	1.00
DD-3	0.40	30	0.90	0.32

*Yatay elastik tasarım spektrumunun hesaplanması:*

**Denklem (2.9)** ve **Denklem (2.10)** dikkate alınarak hesaplanmıştır. **Denklem (2.10)** ile hesaplanan köşe periyotları ( $T_A$  ve  $T_B$ ) her bir deprem yer hareketi düzeyi için Tablo 6'da verilmiştir. Şekil 3, **Denklem (2.9)** sonucu hesaplanan yatay tasarım spektrumlarını göstermektedir.

Tablo 6. Yatay tasarım spektrumu için  $T_A$  ve  $T_B$  köşe periyotları

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	$T_A$ (s)	$T_B$ (s)
DD-1	0.09	0.46
DD-1a	0.14	0.71
DD-2	0.18	0.92
DD-3	0.07	0.36



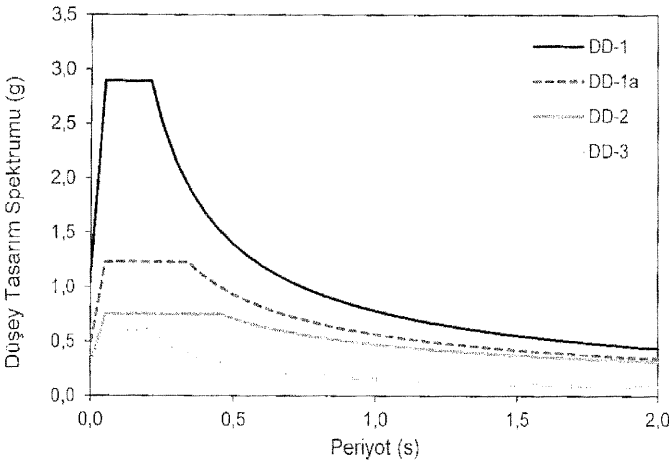
Şekil 3 DD-1, DD-1a, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeylerine karşılık gelen yatay elastik tasarım spektrumları.

### Düşey elastik tasarım spektrumunun hesaplanması:

Düşey elastik tasarım spektrumu **Denklem (2.12)** ve **Denklem (2.13)**'te verilen ifadeler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu ifadelere göre düşey elastik tasarım spektrumunun hesabında kullanılan tüm katsayıları Tablo 7'de verilmiştir. Şekil 4, **Denklem (2.12)** ile elde edilen düşey elastik tasarım spektrum değerlerini göstermektedir.

Tablo 7 Düşey tasarım spektrumunun elde edilmesinde kullanılan  $SA_{VS}$  (kısa periyot düşey spektrum değeri),  $SA_{V1}$  ( $T = 1.0$  s düşey ivme spektrumu değeri),  $C_L$ ,  $T_{SV}$  (köşe periyot) ve  $n$  değerleri

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	$SA_{VS}$ (g)	$SA_{V1}$ (g)	$C_L$	$T_{SV}$ (s)	$n$
DD-1	2.89	0.79	0.73	0.21	0.84
DD-1a	1.23	0.57	0.54	0.34	0.72
DD-2	0.75	0.47	0.37	0.45	0.58
DD-3	0.61	0.15	0.75	0.20	0.86



Şekil 4 DD1, DD1-1a, DD2 ve DD3 yer hareketi düzeylerine karşılık gelen düşey tasarım spektrumları.

### Boru hattının parçalı boru hattı olarak tasarımı:

Tasarım mühendisi boru hattını önce parçalı boru hattı olarak tasarlamayı düşünmüştür. Bu amaçla, boru hattının kapasitesini de dikkate alarak çapı  $D = 1.8$  m, et kalınlığı  $t = 0.0131$  m ve uzunluğu 6 m olan CTP (Cam Elyaf Takviyeli Plastik) parçalı borular kullanmaya karar vermiştir. Parçalı boruların sadece çekme etkisi altında çalışması için boruların sağ yanal atımlı fayı  $\beta = 85^\circ$  ile kesecek şekilde konumlandırılmıştır.

Söz konusu boru hattının aktif bir fayı geçmesi nedeniyle **3.2.2.5'e** göre **tasarım sınıfı II** olarak kabul edilmiştir. Tablo 8, bu tasarım sınıfı ile ilgili deprem yer hareketi düzeyini, hedef performans seviyesini ve hesap yöntemini Yönetmelik hükümlerine göre özetlemektedir (**Tablo 3.1** ve **Madde 3.3.1**).

Tablo 8. Parçalı boru hattı tasarımı için temel kriterler

Tasarım sınıfı	Tasarım Sınıfı Tanımı	Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Hedef Performans Seviyesi	Asgari Analiz/Tasarım Yöntemi
II	I, III ve IV sınıflarına girmeyen diğer boru hattı sistemleridir	DD-3	Kontrollü Hasar (Hedef deprem yer hareketi düzeyi ardından kullanıcıların %90'nına 3 ila 7 gün içerisinde %100 servis sunabilme hedefine karşılık gelir).	Eşdeğer statik hesap yöntemi

Sahada yapılan jeolojik ve geoteknik etütlerde boru hattı güzergahında heyelan ve sıvılaşma tehlikesinin olmadığı anlaşılmıştır. Yer sarsıntısı için eşdeğer statik hesap yöntemi sonucu elde edilen hesap değerleri aşağıda gösterilmiştir. Hesaplamalarda  $C_s$  (S deprem dalgası görünür yayılma hızı)  $C_s = 1000$  m/s olarak kabul edilmiştir (**Madde 5.1.1**).

**Denklem (5.1.a)**  $\varepsilon_g = \frac{1.2}{2 \cdot 1000} = 0.0006$

**Denklem (5.16)**  $\Delta_{deprem} = 6 \times 0.0006 = 0.0036 \text{ m} = 0.36 \text{ cm}$

**Denklem (5.17)**  $\Delta_{deprem,maks} = \Delta_{deprem} + 0.64 = 1 \text{ cm}$

**Denklem (5.1.a)**'da kullanılan  $PGV_D$ , DD-2 deprem yer hareketi seviyesi için Tablo 5'te gösterilen  $PGV_D = 120$  cm/s değerinin [m/s] cinsinden ifadesidir. **Denklem (5.16)**'da kullanılan  $L_p$  her bir CTP parçalı borunun uzunluğudur ve hesaplarda  $L_p = 6$  m olarak alınmıştır. **Denklem (5.17)**, bağlantı noktasındaki en büyük eksenel yer değiştirmeyi verir.

Boru hattının yanal sağ atımlı bir fayı kesmesi nedeniyle kalıcı fay hareketi için **Denklem (6.2)** ve **Denklem (6.3)** kullanılarak sırasıyla eksenel ( $\Delta_{deprem}$ ) ve açılal ( $\gamma_{deprem}$ ) yerdeğiştirme değerleri hesaplanır. Bu denklemlerde kullanılan  $\delta_f$ , toplam kalıcı fay yer hareketidir (toplam fay atımı) ve **Bölüm 2.4** ile **3.2.2.6 Tablo 3.3** dikkate alınarak hesaplanır. Bu açıklamalara göre aşağıdaki hesaplar yapılır:

**Denklem (2.15)**  $AD = 10^{-1.43+0.88 \cdot \log_{10}(95)} = 2.04 \text{ m} = 204 \text{ cm}$

**3.2.2.6, Tablo 3.3**  $\kappa = 1.0$ ;  $\delta_f = \kappa \times AD = 204 \text{ cm}$

**Denklem (6.3)**  $\gamma_{deprem} = \arcsin\left(\frac{2.04}{6} \sin 85\right) = 19.76^\circ$

**Denklem (6.2)**  $\Delta_{deprem} = \frac{204}{2} \cos 85 = 8.9 \text{ cm}$

Bağlantı noktasında en büyük eksenel yer değiştirme, **6.1.2** maddesine göre **Denklem (5.17)** kullanılarak hesaplanır.

**Denklem (5.17)**  $\Delta_{deprem,maks} = \Delta_{deprem} + 0.64 = 9.53 \text{ cm}$



CTP boruların teknik şartnamesinde açılmal yer değiştirme 1.8 m çapında, 6 m uzunluğunda bir CTP boru için en fazla 1° olarak verilir. Hesaplamalarda bulunan  $\gamma_{deprem} = 19.76^\circ$  bu değerin çok üstündedir. ve 8.1.1.2 maddesine göre parçalı borular için **kontrollü hasar performans** hedefini (Tablo 8) sağlamaz. Aynı zamanda, hesaplanan en büyük eksenel yer değiştirme ( $\Delta_{deprem,max}$ ) değeri **Denklem (8.1)** ifadesinde belirtilen  $\Delta_{kapasite}$ 'nin çok üstündedir. Bu nedenle tasarım mühendisi söz konusu kullanma suyu boru hattını sürekli elik boru hattı olarak tasarlama kararı alır.

**Boru hattının sürekli boru hattı olarak tasarımı:**

Tasarım mühendisi, söz konusu boru hattını aynı kesit özelliklerini koruyarak (D = 1.8 m, t = 0.0131 m) alın kaynakla birleştirilmiş elik boru hattı olarak tasarlama kararı alır. Tasarımda 12 m uzunluğunda borular kullanılacaktır. Kullanım amacına göre söz konusu boru hattı sürekli boru hattı olarak **Tablo 3.4**'e göre Tasarım Sınıfı I'e girmektedir. Tablo 9, bu tasarım sınıfı ile ilgili deprem yer hareketi düzeyini, hedef performans seviyesini ve hesap yöntemini Yönetmelik hükümlerine göre özetlemektedir.

Tablo 9. Sürekli boru hattı tasarımı için temel kriterler

Tasarım sınıfı	Tasarım Sınıfı Tanımı	Deprem Yer Hareketi Düzeyi		Hedef Performans Seviyesi	Asgari Analiz/Tasarım Yöntemi
I	II, III ve IV sınıflarına girmeyen doğalgaz, sıvı hidrokarbon veya su sevkiyatı yapan sürekli boru hatları	DD-3	Kesintisiz Kullanım	Hedef deprem yer hareketi düzeyinde boru hasarı ihmal edilebilir düzeyde kalır	Eşdeğer statik hesap yöntemi
		DD-1a	Kontrollü Hasar*	Hedef deprem yer hareketi düzeyinde önemli ölçüde ovalleşmeyi ve boruda buruşmanın başlamasını kabul eder	

Yer sarsıntısı için eşdeğer statik hesap yöntemi sonucu elde edilen hesap değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$DD-3: \text{Denklem (5.1.a)} \varepsilon_g = \frac{0.3}{2 \times 1000} = 0.00015$$

$$DD-1a: \text{Denklem (5.1.a)} \varepsilon_g = \frac{1.44}{2 \times 1000} = 0.00072$$

$$DD-3: \text{Denklem (5.3)} \varepsilon_p = \text{küçük olan değer} \left\{ \frac{0.00015}{\frac{26.7 \times 1000 \times 2000}{4 \times 0.0735 \times 2 \times 10^{11}}} \right\} = 0.00015$$

$$DD-1a: \text{Denklem (5.3)} \varepsilon_p = \text{küçük olan değer} \left\{ \begin{array}{l} 0.00072 \\ \frac{26.7 \times 1000 \times 2000}{4 \times 0.0735 \times 2 \times 10^{11}} \end{array} \right\} = 0.00072$$

**Denklem (5.3)** ile yapılan en büyük aksenal birim yerdeğiştirme ( $\varepsilon_p$ ) hesabında boru birim uzunluğu boyunca oluşan en büyük aksenal kuvvet ( $T_U$ ) **Denklem (7.1)** kullanılarak bulunmuştur:

$$T_U = c_s \pi D \alpha S_u + c_k \pi D H \bar{\gamma} \left( \frac{K_o - 1}{2} \right) \tan \delta$$

Kullanılan dolgu malzemesi (kumlu granüler malzeme) kohezyonsuz bir malzeme olması nedeniyle  $c_s = 0$  ve  $c_k = 1$  kullanılmıştır. Bu malzemenin etkin zemin birim ağırlığı  $\bar{\gamma} = 17.2$  kN/m<sup>3</sup>, boru-zemin arayüzeyi için sürtünme açısı  $\delta = 21^\circ$ , sükûnetteki yanal zemin basınç katsayısı  $K_o$  ise 2.4 olarak alınmıştır. Dolgu derinliği olarak da  $H = 1$  m kabulü yapılmıştır. **Denklem (5.3)**'te kullanılan  $\lambda$  (dalga boyu uzunluğu) gerçek değerinin bilinmemesi nedeniyle **5.2.1.1'**de belirtildiği gibi  $\lambda = 2000$  m olarak kabul edilmiştir. Boru hattı yer sarsıntısı altında çekme veya basınca maruz kalabilir. Bundan dolayı her iki duruma karşılık gelen sınır durumlarının sağlanması gerekmektedir. Elde edilen  $\varepsilon_p$  değerleri çekme için **Tablo 8.3 (Denklem (8.9)-Kesintisiz Kullanım)** ve **Tablo 8.6 (Denklem (8.19)-Kontrollü Hasar)** ile verilen sınırların altındadır (**Denklem (8.9)**  $\varepsilon_t = 0.01$  ve **Denklem (8.19)**  $\varepsilon_t = 0.02$  birim yerdeğiştirme sınırlarını veriyor). Gene, elde edilen  $\varepsilon_p$  değerleri basınç için **Tablo 8.3 (Denklem (8.6)-Kesintisiz Kullanım)** ve **Tablo 8.6 (Denklem (8.16)-Kontrollü Hasar)** ile verilen sınırların altındadır (**Denklem (8.6)**  $\varepsilon_c = 0.0075$  ve **Denklem (8.16)**  $\varepsilon_c = 0.01$  birim yerdeğiştirme sınırlarını veriyor). Tasarım mühendisinin bu sınırlara karşılık hesapladığı değerler yukarıdaki işlemlerde sırasıyla 0.00015 ve 0.00072 bulunmuştur. Analizi yapılan çelik borular DD-1a ve DD-3 yer hareketi altında kontrollü hasar ve kesintisiz kullanım performans seviyelerini sağlamaktadır.

Tasarım Sınıfı I'e giren sürekli boru hatlarının kalıcı fay yer hareketi için hesaplamalarında **3.2.2.3** ve **3.2.3.4** maddeleri ile **Tablo 3.5** dikkate alındığında **Denklem (2.15)** ile beklenen kalıcı fay deplasmanı (AD) hesaplanır. Bu değer, **Denklem (6.1)** kullanılarak yapılan ortalama aksenal çekme birim yerdeğiştirme hesabında  $\delta_f$  (toplam kalıcı fay hareketi -toplam fay atımı-) hesaplaması sırasında kullanılır ( $\delta_f = \kappa \cdot AD$ ). Bu hesapların tamamı aşağıda verilmektedir.

$$\text{Denklem (2.15)} AD = 10^{-1.43 + 0.88 \cdot \log_{10}(95)} = 2.04 \text{ m} = 204 \text{ cm}$$

$$\text{3.2.3.4, Tablo 3.5 } \kappa = 1.0; \delta f = \kappa \times AD = 204 \text{ cm}$$

$$\text{Denklem (6.1)} \varepsilon_p = \frac{2.04}{2 \times 50} \cos 85 + \frac{1}{2} \left( \frac{2.04 \times \sin 85}{2 \times 50} \right)^2 = 0.00198$$

**Denklem (6.1)**'de  $L_a$  (borunun fayı kestiği nokta ile zemine mesnetlendiği nokta arasındaki mesafe)  $L_a = 50$  m olarak kabul edilmiştir. Elde edilen  $\varepsilon_p$  değeri **Tablo 8.3 (Denklem (8.2)-Kesintisiz Kullanım)** ve **Tablo 8.6 (Denklem (8.15)-Kontrollü Hasar)** ile verilen sınırların altındadır. (**Denklem (8.2)**  $\varepsilon_t = 0.02$  ve **Denklem (8.15)**  $\varepsilon_t = 0.04$  birim yerdeğiştirme sınırlarını veriyor). Boru sadece çekme altında birim yerdeğiştirmelere maruz kalacak şekilde konumlandırıldığı için ( $\beta = 85^\circ$ ) sadece çekme sınır durumları sınır kontrollerinde kullanılmıştır. Analizi yapılan çelik borular Yönetmeliğin öngördüğü aşgari kalıcı fay yer hareketi altında kontrollü hasar ve kesintisiz kullanım performans seviyelerini sağlamaktadır.

### **Deprem hariç diğer koşulların dikkate alınması:**

Tasarım mühendisi yer sarsıntısı ve kalıcı fay hareketi eksenel birim yerdeğiştirmelere ek olarak *iç basınç* ve *zemin yükü* kaynaklı eksenel birim yerdeğiştirmeleri hesaplamış ve deprem etkisi ile oluşacak eksenel birim yerdeğiştirmelere göre düşük, gözardı edilebilecek değerler elde edildiğini göstermiştir. Boru maksimum 10 bar'lık bir iç basınç ( $P=10$  bar) altında servis verecek şekilde tasarlanmaktadır. Çelik boru malzemesi için elastisite modülü'nün  $2 \times 10^{11}$  Pa ( $E=2 \times 10^{11}$  Pa), boru yarıçapı'nın 0.9 m ( $r = 0.9$ m) ve boru et kalınlığının 0.0131m ( $t=0.0131$ m) alınması ile iç basınç kaynaklı eksenel birim yerdeğiştirmeler aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_p = \frac{Pr}{2Et} = \frac{10^6 * 0.9}{2 * 2 * 10^{11} * 0.0131} = 0.000172$$

Zemin yükü kaynaklı eksenel birim yerdeğiştirmelerin borunun herhangi bir iç basınca maruz kalmadığı -servis dışı olduğu- durumlarda önem kazandığı, diğer durumlarda ise göz ardı edilebileceği varsayılabilir. Zemin yükü kaynaklı eksenel birim yerdeğiştirmelerin hesaplanmasında gömülü borunun esnek davranış sergileyeceği kabulü yapılır. Bir hendek içine yerleştirilen ve dolgu malzemesiyle üzeri kapatılmış esnek borular için zemin yükü, boru ile eşit genişlikte ve boru üzerindeki dolgu malzemesi derinliğinde bir toprak parçasının ağırlığına eşittir. Borunun yeraltı su tablası üzerinden geçtiği durumlar için zemin yükü aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$P_G = \bar{\gamma}H = 17.2 * 1.0 = 17.2 \text{ KN/m}^2$$

Bu hesaplarda dolu malzemesi etkin zemin birim ağırlığı  $\bar{\gamma} = 17.2$  kN/m<sup>3</sup> ve dolgu derinliği  $H = 1$  m olarak alınmıştır.

**Modifiye edilmiş lowa denkleminin** kullanılması ile zemin yükünün burada yaratacağı ovalleşme hesaplanmıştır. Burada kullanılan dolgu malzemesi elastisite modülü  $3 \times 10^7$  Pa dir ( $E'=3 \times 10^7$  Pa). Çelik boru malzemesi için elastisite modülü  $2 \times 10^{11}$  Pa ( $E=2 \times 10^{11}$  Pa), boru yarıçapı 0.9 m ( $r = 0.9$ m) ve boru et kalınlığı 0.0131m ( $t=0.0131$ m) alınmıştır. Eğilme katsayısı  $D_1$  ve yatak katsayısı  $K$  için sırasıyla 1.0 ve 0.1 değerleri atanmıştır.

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{D_1 K P_G}{\frac{Et^3}{12r^3} + 0.061E'} = \frac{1 * 0.1 * 17.2 * 10^3}{\frac{2 * 10^{11} * 0.0131^3}{12 * 0.9^3} + 0.061 * 30 * 10^6} = 0.0009$$

Zemin yükü kaynaklı eksenel birim yerdeğiştirme ovalleşmeye bağlı olarak aşağıdaki ilişkinin kullanılması ile elde edilmiştir.

$$\varepsilon_p = 4 \left( \frac{\Delta y}{D} \right) \left( \frac{t}{D} \right) = 4 * 0.0009 * \frac{0.0131}{1.8} = 0.000027$$

Borunun maruz kaldığı diğer yükler (iç basınç ve zemin yükleri kaynaklı) altında oluşacak yer değiştirmelerin göz ardı edilebilir seviyede olduğu görülmektedir.

**BORU HATTI SİSTEMLERİ (SIVI DEPOLAMA TANKLARI)**

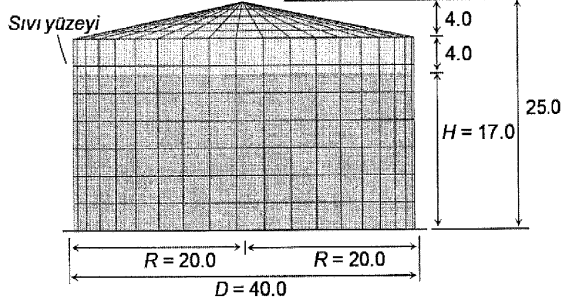
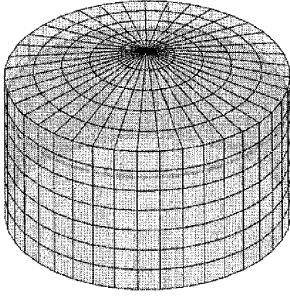
**ÖRNEK NUMERİK ÇÖZÜM**

## 1. ÖRNEK SIVI DEPOLAMA TANKININ TANITIMI

Deprem tasarımı yapılan sıvı depolama tankının genel geometrisi Şekil 1'de ve temel özellikleri Tablo 1'de sunulmaktadır. Tank, çelik duvar, taban ve konik çatı sistemine sahiptir. Tankın bulunduğu saha Kocaeli İli sınırları içerisinde yer almaktadır. İlgili sahanın koordinatları zemin özellikleri Tablo 2'da sunulmaktadır.

Tablo 1. Tank özellikleri

Parametre	Değer	Birim
<i>Geometri</i>		
Sıvı yüksekliği, $H$	17.0	[m]
Tank çapı, $D$	40	[m]
Sıvı hacmi	21'363	[m <sup>3</sup> ]
Duvar yüksekliği	21.0	[m]
Çatı tepe noktası yüksekliği	24.0	[m]
Duvar eşdeğer kalınlığı, $t_w$	22	[mm]
Tank tavan kalınlığı, $t_r$	10	[mm]
Sabitleme bağlantı mesafesi	30	[cm]
<i>Hesap özellikleri</i>		
Tank tasarım sınıfı	III	[-]
<i>Malzeme özellikleri</i>		
Duvar elastisite modülü, $E$	200	[GPa]
Duvar kütle yoğunluğu, $\rho_w$	8	[t/m <sup>3</sup> ]
Sıvı kütle yoğunluğu, $\rho$	0.9	[t/m <sup>3</sup> ]



(a)

(b)

Şekil 1. Tank geometrisi: (a) genel görünüm ve (b) temel mesafeler.

Tablo 2. Saha özellikleri

Parametre	Değer	Birim
Enlem	40.76K	[°]
Boylam	29.76E	[°]
Zemin ortalama kayma dalgası hızı, $V_{s30}$	500	[m/s]
Yerel zemin sınıfı	ZC	-
En yakın aktif faya olan mesafe	3	[km]

## 2. HESAP SPEKTRAL İVMELERİ

Sıvı depolama tankının yer aldığı saha (40.76°K, 29.76°E) için deprem tehlikesi haritası kısa periyod ( $S_s$ ) ve 1.0 saniye periyod ( $S_1$ ) için spektral ivme değerleri, 22/1/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan "Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası" kullanılarak belirlenmiştir. Hesaplarda göz önüne alınan harita ivme değerleri, <http://tdth.afad.gov.tr/> adresli internet sitesinden elde edilmiştir ve Tablo 3'da sunulmaktadır. Tankın içerisinde depolanan sıvının Tehlikeli Madde sınıfına girmesi ve tankın deprem sonrası işlevselliğinin kritik olması nedeniyle "Tank Tasarım Sınıfı: III" alınmıştır.

Tablo 3. Saha için deprem tehlikesi haritası ivme, hız değerleri ve performans hedefleri

Tehlike Düzeyi	$S_s$ [g]	$S_1$ [g]	PGA [g]	PGV [m/s]	Performans Hedefi
DD-1 (2475 yıl)	2.894	0.837	1.146	101.24	Kontrollü Hasar
DD-2 (475 yıl)	1.638	0.447	0.672	58.154	Kesintisiz Kullanım

DD-3 (72 yıl)	0.615	0.151	0.270	16.044	-
DD-4 (44 yıl)	0.330	0.079	0.145	8.088	-

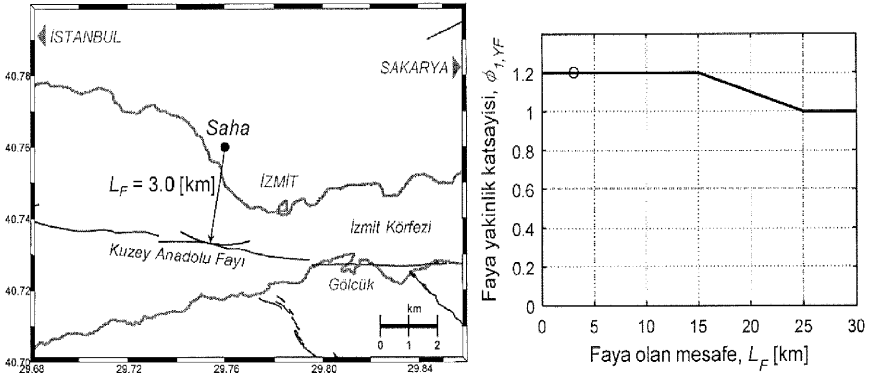
Kısa periyod spektral ivmesi,  $S_S$  için en büyük doğrultu etkisi katsayısının,  $\gamma_S$  değeri 1.1 olarak hesaba katılmıştır. En büyük doğrultu etkisini dikkate alan kısa periyod spektral ivmesi,  $S'_S$  aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$S'_S = \gamma_S S_S \quad (2.1)$$

$$= (1.1) \cdot (2.894[\text{g}])$$

$$S'_S = 3.18 [\text{g}]$$

Bir saniye periyoda sahip sistemin spektral ivme değeri için en büyük doğrultu etkisinin hesaplanması için ilgili katsayının,  $\gamma_1$  değeri 1.3 olarak hesaba katılmıştır. Faya yakınlık katsayısının,  $\varphi_{1,YF}$  belirlenmesi için sahanın en yakın aktif faya olan mesafesinin,  $L_F$  belirlenmesinde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Türkiye Diri Fay Haritası (2012)'de sunulan aktif faylar göz öne alınmıştır. İlgili haritadan yer alan faylar ve sahanın konumu Şekil 2'de sunulmaktadır. İlgili haritadan da görülebildiği üzere  $L_F = 3 [\text{km}]$  olarak belirlenmiştir. İlgili  $L_F$  değerine karşılık gelen yakın fay etkisi çarpanı,  $\varphi_{1,YF}$  değeri 1.2 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Yakın fay etkisi katsayısının,  $\varphi_{1,YF}$  belirlenmesinde kullanılan: (a) aktif fay konumu, ve (b) mesafe-katsayı ilişkisi

En büyük doğrultu ve yakın fay etkilerini göz önüne alan, bir saniye periyod için geçerli spektral ivme değeri,  $S'_1$  aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$S'_1 = \gamma_1 \varphi_{1,YF} S_1 \quad (2.2)$$

$$= (1.3) \cdot (1.2) \cdot (0.837 [\text{g}])$$

$$S'_1 = 1.31 [\text{g}]$$

Kısa periyod spektral ivmesi için yerel zemin etki katsayısı,  $F_S$ , Yönetmelik'te Tablo 2.1'de sunulan ve "ZC" zemin sınıfına karşılık gelen değerler kullanılarak tespit edilmiştir. İlgili tabloda "ZC" sınıfı ve  $S'_S \geq 1.5[g]$  için  $F_S$  değeri 1.2 olarak sunulmaktadır. Sonuç olarak, kısa periyod tasarım spektral ivmesi,  $S_{DS}$  şu şekilde hesaplanmıştır:

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

$$= (1.2) \cdot (3.18 [g])$$

$$S_{DS} = 3.82 [g]$$

Bir saniye periyoda karşılık gelen spektral ivme için yerel zemin etki katsayısı,  $F_1$  değeri Yönetmelikte Tablo 2.2'de sunulan değerler göz önüne alınarak 1.4 olarak belirlenmiştir. Hesap spektral ivmesi,  $S_{D1}$  şu şekilde hesaplanmıştır:

$$S_{D1} = F_1 S'_1 \quad (2.5)$$

$$= (1.4) \cdot (1.31 [g])$$

$$S_{D1} = 1.82 [g]$$

Yatay elastik tasarım spektrumunun hesaplanması için öncelikle ilgili köşe periyodları,  $T_A$ ,  $T_B$  ve  $T_L$  aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{(1.82)}{(3.82)} \quad (2.10)$$

$$T_A = 0.0957 [s]$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{(1.82)}{(3.82)}$$

$$T_B = 0.4785 [s]$$

$$T_L = 6 [s]$$

Tankın darbesel ve devinimsel hidrodinamik modlarının hesabında kullanılan  $H/R$  değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\frac{H}{R} = \frac{17}{20} = 0.85$$

Darbesel hidrodinamik titreşim modu periyodu,  $T_i$  Yönetmelik'teki Denklem 4.3 kullanılarak hesaplanmıştır. Darbesel periyod hesaplama katsayısının,  $C_i$  hesaplanması için Yönetmelik Tablo 4.1'de sunulan değerler arasında  $H/R = 0.85$  oranı göz önüne alınarak enterpolasyon yapılmıştır. Enterpolasyon sonucunda  $C_i = 6.665$  elde edilmiştir. Sonuç olarak, darbesel titreşim modu için periyod,  $T_i$  değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$T_i = C_i H \sqrt{\frac{\rho R}{t_w E}} \quad (4.3)$$



$$= (6.665)(17) \sqrt{\frac{(900)(20)}{(0.022)(2 \times 10^{11})}}$$

$$T_i = 0.229 \text{ [s]}$$

Devinimsel periyod hesaplama katsayısı,  $C_c$  Tablo 4.1'de sunulan değerler arasında enterpolasyon yapılarak belirlenmiştir. Bu işlem sonucunda,  $H/R=0.85$  değeri için  $C_c$  değeri 1.56 olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak devinimsel periyod,  $T_c$  Yönetmelik'teki Denkem 4.4 kullanılarak aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$T_c = C_c \sqrt{R} \quad (4.4)$$

$$= (1.56) \sqrt{20}$$

$$T_c = 6.98 \text{ [s]}$$

Düşey yöndeki titreşim modu hesaplama katsayısının,  $C_v$  belirlenmesinde Tablo 4.2'de sunulan referans kütle yoğunluğu oranı değerleri için listelenen katsayılar kullanılmıştır. Tank için geçerli olan yoğunluk oranı,  $\rho/\rho_w$  ve duvar kalınlığı-yarı çap oranları,  $t_w/R$  şu şekilde belirlenmiştir:

$$t_w/R = 0.022/20 = 0.0011$$

$$\rho/\rho_w = 900/8000 = 0.1125$$

$$C_v = (C_v)_r \sqrt{\frac{t_w/R}{(t_w/R)_r} \frac{(\rho/\rho_w)_r}{\rho/\rho_w}} \quad (4.6)$$

$$C_v = (0.086) \sqrt{\frac{(0.0011)}{(0.001)} \frac{(0.127)}{(0.1125)}}$$

$$C_v = 0.0958$$

Yukarıdaki denklemde sunulan  $(C_v)_r$  değerinin belirlenmesi için  $H/R = 0.85$  için Tablo 4.2'de  $t_w / R = 0.001$  sütununda sunulan ilgili değerler arasında enterpolasyon yapılmıştır. Düşey titreşim modu için periyod aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$T_v = 2\pi \frac{H}{C_v} \sqrt{\frac{\rho_w}{E}} \quad (4.5)$$

$$= 2\pi \frac{(17)}{(0.0958)} \sqrt{\frac{8000}{2 \times 10^{11}}}$$

$$T_v = 0.229 \text{ [s]}$$

Düşey yöndeki solunum modu titreşim periyodu,  $T_v$  Denklem 4.5 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$T_v = 2\pi \frac{H}{C_v} \sqrt{\frac{\rho_w}{E}} \quad (4.5)$$

$$= 2\pi \frac{(17)}{(0.0958)} \sqrt{\frac{8000}{2 \times 10^{11}}}$$

$$T_v = 0.223 \text{ [s]}$$

Sönüm oranları darbesele,  $\xi_c$  ve devinimsel,  $\xi_i$  modları için sırasıyla % 0.5 ve %2 değerlerine eşit olarak göz önüne alınmıştır. Darbesele titreşim modu sönüm katsayısının,  $\eta_\xi(T_i, \xi_i)$  belirlenmesi için  $\xi_1$ =%1 ve  $\xi_2$ =%3 sönüm oranları için elde edilen katsayı değerleri arasında aşağıdaki şekilde enterpolasyon yapılmıştır:

$$\begin{aligned} \eta_\xi(T_i, \xi_i) &= [\eta_\xi(T_i, \xi_1) - \eta_{\xi_2}(T_i, \xi_2)] \frac{(\xi - \xi_2)}{(\xi_1 - \xi_2)} + \eta_{\xi_2}(T_i, \xi_2) \\ &= (1.505 - 1.160) \frac{(0.02 - 0.03)}{(0.01 - 0.03)} + 1.160 \end{aligned}$$

$$\eta_\xi(0.229s, \%2) = 1.332$$

Yukarıdaki denklemlerde, aralarında enterpolasyon yapılan katsayı değerleri,  $\eta_\xi(T_i, \%1)$  ve  $\eta_\xi(T_i, \%3)$  Yönetmelikte sunulan Denklem 2.12 kullanılarak belirlenmiştir. İlgili hesaplarda Tablo 2.3'te sunulan parametre değerleri göz önüne alınmıştır.

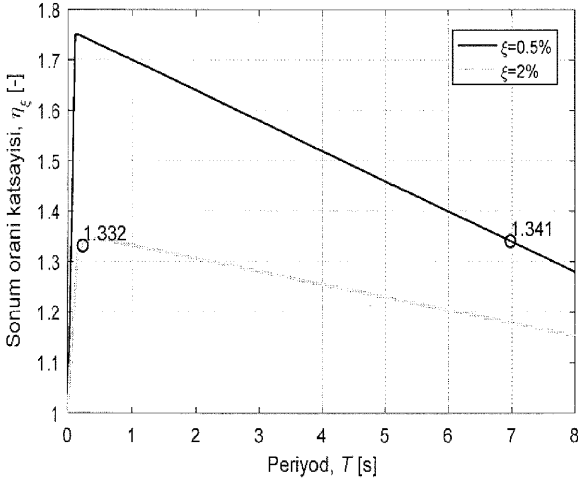
Devinimsel titreşim modu için sönüm etkisi katsayısı,  $\eta_\xi(T_c, \xi_c)$  Yönetmelikteki Denklem 2.11 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\eta_\xi(T_c, \xi_c) = 1.76 - 0.06 \cdot T_c \quad 0.11 \text{ s} < T_c \leq 28 \text{ s} \quad (2.11)$$

$$= 1.76 - 0.06 \cdot (6.98) \quad 0.11 \text{ s} < T_c = 6.98 \text{ s} \leq 28 \text{ s}$$

$$\eta_\xi(6.98s, \%0.5) = 1.341$$

Sıfır ila sekiz saniye aralığındaki periyot değerleri için darbesele ve devinimsel modların sönüm oranları için elde edilen katsayılar,  $\eta_\xi$  Şekil 3'de sunulmaktadır. Tankın darbesele ve devinimsel titreşim periyodlarına karşılık gelen sönüm oranı değerleri Şekil 3'te işaretlenmiştir.



Şekil 3. Sönüm oranı katsayısı,  $\eta_{\xi}$  değerleri

Darbesele titreşim modu için yatay elastik tasarım spektral ivmesi,  $S_{ae}(T_i, \xi_i)$  Denklem 2.7 kullanılarak aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$S_{ae}(T_i, \xi_i) = \eta_{\xi}(T_i, \xi_i) S_{DS} \quad T_A < T_i \leq T_B \quad (2.7)$$

$$= (1.332)(3.82) \quad 0.0957 < 0.229 \leq 0.479$$

$$S_{ae}(0.229, \%2) = 5.09 \text{ [g]}$$

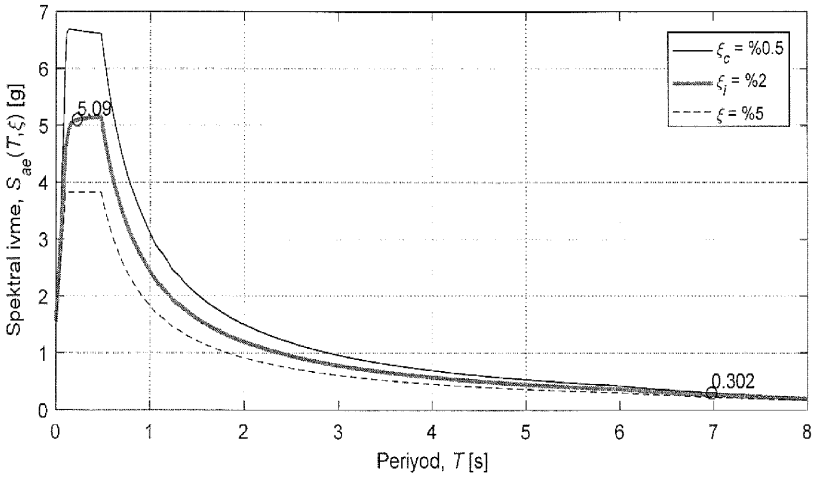
Devinimsel titreşim modu için yatay elastik tasarım spektral ivmesinin,  $S_{ae}(T_c, \xi_c)$  belirlenmesi için Denklem 2.9 aşağıdaki şekilde kullanılmıştır:

$$S_{ae}(T_c, \xi_c) = \eta_{\xi}(T_c, \xi_c) \frac{S_{D1} T_L}{T_c^2} \quad T_L < T_c \quad (2.9)$$

$$= (1.341) \frac{(1.83)(6)}{6.98^2} \quad 6 < 6.98$$

$$S_{ae}(6.98s, \%0.5) = 0.302 \text{ [g]}$$

Sıfır ila sekiz saniye aralığındaki periyotlar için elde edilen yatay elastik tasarım spektral ivmesi değerleri Şekil 4'te sunulmaktadır.



Şekil 4. Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri,  $S_{ae}(T, \xi)$

Düşey yöndeki titreşim modu için elastik spektral ivme,  $S_{aeD}(T_v, \xi_i)$  hesabı için gerekli olan kısa periyot düşey spektral ivme,  $SA_{VS}$ , değeri aşağıdaki şekilde Denklem 2.19 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$a_{VS} = 5.07(V_{s30})^{-0.306} = 5.07(500)^{-0.306} \quad (2.19)$$

$$a_{VS} = 0.757$$

$$b_{VS} = 1.03 + 0.066 \left( \frac{\min(V_{s30}, 760)}{1000} \right)$$

$$= 1.03 + 0.066 \left( \frac{\min(500, 760)}{1000} \right)$$

$$b_{VS} = 1.603$$

$$SA_{VS} = a_{VS}(S'_s)^{b_{VS}}$$

$$= 0.757(3.183)^{1.603}$$

$$SA_{VS} = 2.59 \text{ [g]}$$

Bir saniye periyot için düşey yöndeki spektral ivme değeri,  $SA_{V1}$  Denklem 2.20 ile aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$a_{V1} = 9.90(V_{s30})^{-0.467} = 9.90(500)^{-0.467} \quad (2.20)$$

$$a_{V1} = 0.544$$

$$SA_{V1} = a_{V1}(S'_1)^{0.91}$$

$$= (0.544)(1.306)^{0.91}$$

$$SA_{V1} = 0.693 \text{ [g]}$$

Düsey yöndeki elastik spektral ivme,  $S_{aeD}(T_v, \xi)$  değerlerinin hesaplanmasında kullanılan,  $n$ ,  $C_L$  ve  $T_{SV}$  değerleri aşağıdaki şekilde Denklem 2.16-18 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$C_L = 1 - \frac{SA_{V1}}{SA_{VS}} = 1 - \frac{0.693}{2.59} \quad (2.18)$$

$$C_L = 0.733$$

$$T_{SV} = \text{maks} \{0.13; (0.7 - 0.67C_L)\} = \text{maks}\{0.13; 0.209\} \quad (2.16)$$

$$T_{SV} = 0.209$$

$$n = \ln(1 - C_L) / \ln(T_{SV}) \quad (2.17)$$

$$= \ln(1 - 0.733) / \ln(0.209)$$

$$n = 0.843$$

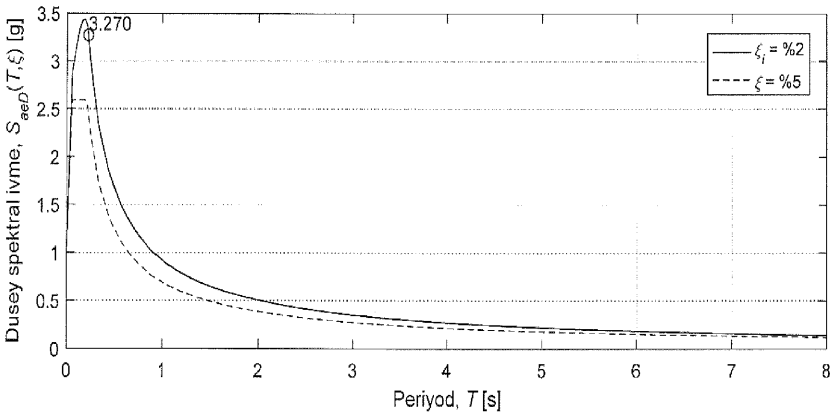
Düsey yöndeki hidrodinamik mod için spektral ivme,  $S_{aeD}(T_v, \xi_i)$  aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$S_{aeD}(T_v, \xi_i) = \eta_\xi SA_{VS} \left( \frac{T_{SV}}{T} \right)^n \quad T_{SV} = 0.209 \leq T = 0.223 \quad (2.15)$$

$$= (1.33)(2.59) \left( \frac{0.209}{0.223} \right)^{0.843}$$

$$S_{aeD}(T_v, \xi) = 3.27 \text{ [g]}$$

Saha için elde edilen düşey ivme spektrumu,  $S_{aeD}(T_v, \xi_i)$  Şekil 5'de sunulmaktadır.



Şekil 5. Düşey ivme spektrumu,  $S_{aeD}(T_v, \xi)$

Tankın devrilme stabilitesinin kontrolünde göz önüne alınacak saha en büyük yer hızı,  $PGV$  değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} PGV &= 0.75 (S_{DS} S_{D1})^{0.55} & (2.21) \\ &= 0.75 [(3.82)(1.83)]^{0.55} \\ PGV &= 2.18 \text{ [m/s]} \end{aligned}$$

Tasarımda göz önüne alınan  $f_d$  parametresi Denklem 2.23 kullanılarak aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$\begin{aligned} f_d &= 1 + 10 \cdot S_1' \text{ eğer } S_1' \geq 0.1 & (2.23) \\ &= 1 + 10(1.31) \text{ eğer } S_1' = 1.31 \geq 0.1 \\ f_d &= 14.1 \end{aligned}$$

Saha için en büyük zemin yer değiştirmesi değeri,  $PGD$  şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} PGD &= 0.25 f_d S_1' \left( \frac{V_{s30}}{760} \right)^{-0.4} & (2.23) \\ &= 0.25 (14.1)(1.31) \left( \frac{500}{760} \right)^{-0.4} \\ PGD &= 5.4 \text{ [m]} \end{aligned}$$

### 3. HİDRODİNAMİK BASINÇ

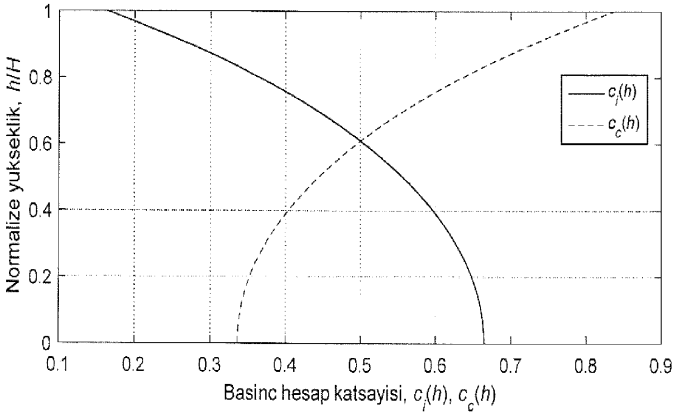
Tank duvarlarına ve tabanının etkiyen hidrodinamik basınç değerlerinin hesaplanması için Yönetmelikte düşey silindirik tanklar için sunulan denklemler kullanılmıştır. Tank duvarına etkiyen devinimsel hidrodinamik basıncın hesaplanmasında kullanılan ilgili basınç katsayısı,  $c_c(h)$  aşağıda sunulan Denklem 4.10 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} c_c(h) &= 0.837 \frac{\cosh[1.841 \cdot h/R]}{\cosh[1.841 \cdot H/R]} & (4.10) \\ &= 0.837 \frac{\cosh[1.841 \cdot h/20]}{\cosh[1.841 \cdot 17/20]} \\ c_c(h) &= (0.335) \cosh[0.092 \cdot h] \end{aligned}$$

Darbesel hidrodinamik basıncın hesabında kullanılan ilgili basınç katsayısı,  $c_i(h)$  Denklem 4.9 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} c_i(h) &= 1 - c_c(h) & (4.9) \\ c_i(h) &= 1 - (0.335) \cosh[0.092 \cdot h] \end{aligned}$$

Tank duvarı üzerinde farklı yüksekliklerde bulunan noktalar için elde edilen hidrodinamik basınç katsayısı değerleri Şekil 6'da sunulmaktadır.



Şekil 6. Hidrodinamik duvar basıncı hesap katsayıları,  $c_i(h)$  ve  $c_c(h)$

Tank duvarı darbesel hidrodinamik hesap basıncı,  $p_i(\theta, h)$  değerleri Denklem 4.8 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned}
 p_i(\theta, h) &= c_i(h) \rho R S_{ae}(T_i, \xi_i) g \cos \theta & (4.8) \\
 &= c_i(h) \cdot (0.9)(20)(5.09)(9.81) \cos \theta \\
 p_i(\theta, h) &= (899) \cdot c_i(h) \cdot \cos \theta \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

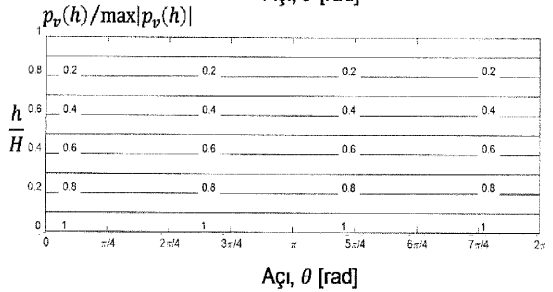
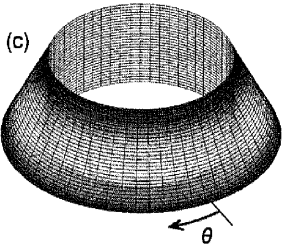
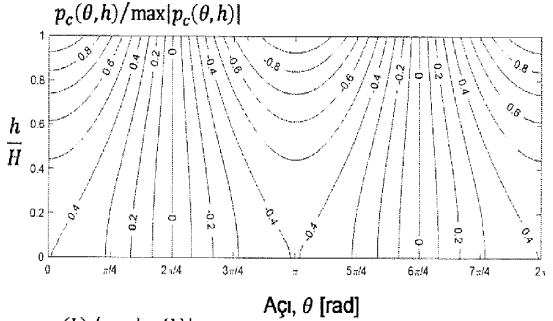
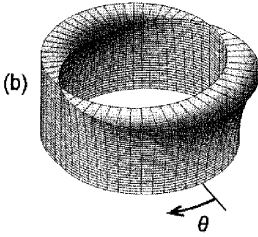
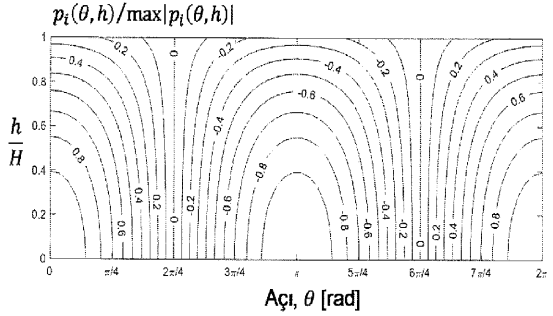
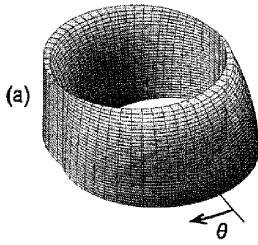
Benzer şekilde tank duvarlarına etkiyecek hesap hidrodinamik devinimsel basınç değerleri Denklem 4.11 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned}
 p_c(\theta, h) &= c_c(h) \rho R S_{ae}(T_c, \xi_c) g \cos \theta & (4.11) \\
 &= c_c(h) \cdot (0.9)(20)(0.302)(9.81) \cos \theta \\
 p_c(\theta, h) &= (53.4) \cdot c_c(h) \cdot \cos \theta \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

Düşey yöndeki titreşim moduyla ilgili hesap hidrodinamik basınç,  $p_v(h)$  değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned}
 p_v(h) &= \left(1 - \frac{h}{H}\right) S_{aed}(T_v, \xi_i) g \rho H & (4.8) \\
 &= \left(1 - \frac{h}{17}\right) (3.27)(9.81)(0.9)(17) \\
 p_v(h) &= (490) \cdot \left(1 - \frac{h}{17}\right) \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

Tank duvarları için hesaplanan normalize hidrodinamik darbesel, devinimsel ve düşey modal basınç dağılımları Şekil 7'de sunulmaktadır.



Şekil 7. Tank duvarlarına etkiyen: (a) darbesel,  $p_t(\theta, h)$ , (b) devinimsel,  $p_c(\theta, h)$  ve (c) düşey,  $p_v(h)$  titreşim modları için normalize hidrodinamik basınç dağılımı

Tank tabanına etkiyen hidrodinamik hesap basınç değerleri Yönetmelikte sunulan denklemler kullanılarak yapılmıştır. Tank tabanı devinimsel ve darbesel hidrodinamik basınç katsayıları,  $c'_c$  ve  $c'_t$  değerleri Denklem 4.15 aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$c'_c(r) = 1.146 \cdot \frac{J_1\left(1.841 \frac{r}{R}\right)}{\cosh[1.841 H/R]} \quad (4.15)$$

$$= 1.146 \cdot \frac{J_1\left(1.841 \frac{r}{20}\right)}{\cosh\left[1.841 \cdot \left(\frac{17}{20}\right)\right]}$$

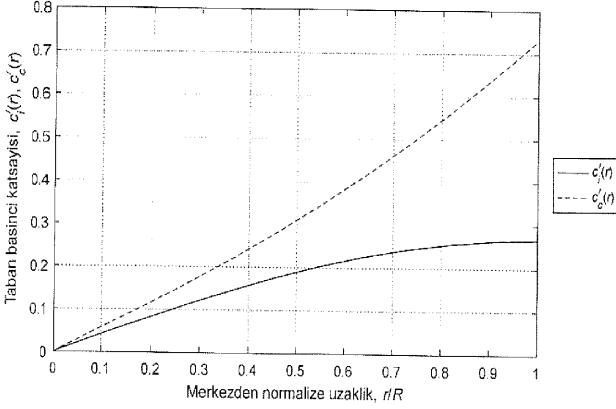
$$c'_c(r) = 0.459 \cdot J_1(0.0920 \cdot r) \dots [\text{N/m}^2]$$



$$c'_i(r) = \frac{r}{R} - c'_c(r) \quad (4.14)$$

$$c'_i(r) = \frac{r}{20} - c'_c(r)$$

Yukarıdaki denklemlerle elde edilen taban darbesel ve devinimsel basınç katsayıları Şekil 8'de sunulmaktadır.



Şekil 8. Taban darbesel,  $c'_c$ ' ve devinimsel,  $c'_i$  hidrodinamik basınç katsayıları

Tank tabanı darbesel hidrodinamik hesap basıncı,  $p'_i(\theta, r)$  Denklem 4.13 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$p'_i(\theta, r) = c'_i(r) \rho R S_{ae}(T_i, \xi_i) g \cos \theta \quad (4.13)$$

$$= c'_i(r) \cdot (0.9)(20)(5.09)(9.81) \cos \theta$$

$$p_i(\theta, h) = (899) \cdot c'_i(r) \cdot \cos \theta \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Benzer şekilde, tank tabanı hesap hidrodinamik devinimsel basınç değerleri Denklem 4.14 kullanılarak belirlenmiştir:

$$p'_c(\theta, r) = c'_c(r) \rho R S_{ae}(T_c, \xi_c) g \cos \theta \quad (4.14)$$

$$= c'_c(r) \cdot (0.9)(20)(0.302)(9.81) \cos \theta$$

$$p_c(\theta, h) = (53.4) \cdot c'_c(r) \cdot \cos \theta \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

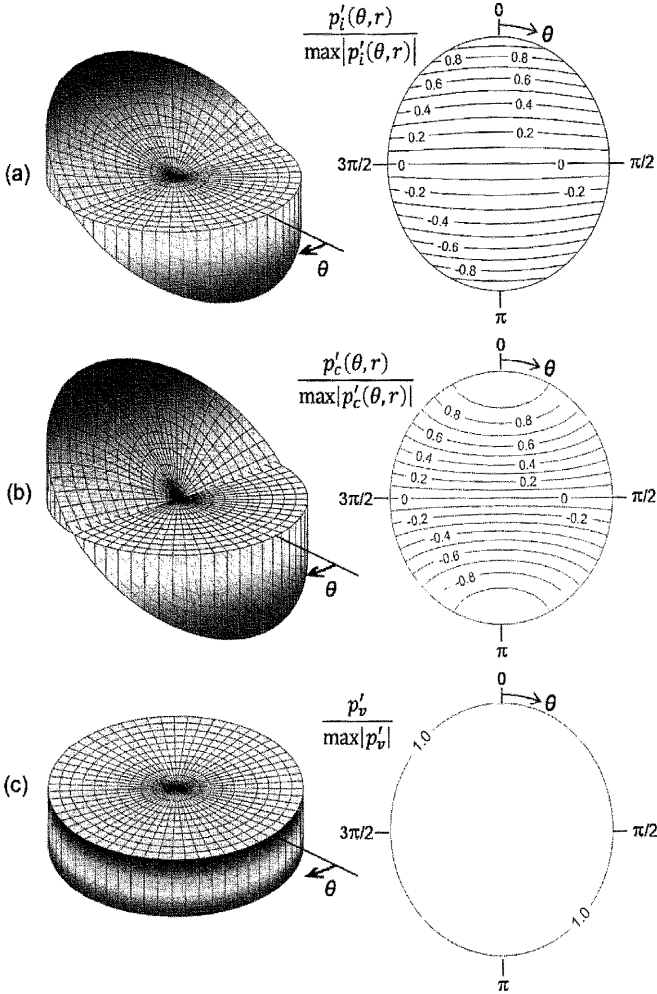
Düşey yöndeki titreşim moduyla ilgili taban hidrodinamik basıncı,  $p'_v$  tüm taban üzerine eşit olarak etmektedir ve büyüklüğü aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$p'_v = \rho H S_{aeD}(T_v, \xi_i) g \quad (4.8)$$

$$= (0.9)(17)(3.27)(9.81)$$

$$p'_v = 491 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Tank tabanı için hesaplanan normalize hidrodinamik darbesel, devinimsel ve düşey modal basınç dağılımları Şekil 9'da sunulmaktadır.



Şekil 9. Tank tabanına etkijen: (a) darbesel,  $p'_i(\theta, r)$ , (b) devinimsel,  $p'_c(\theta, r)$  ve (c) düşey,  $p'_v$  titreşim modları için normalize hidrodinamik basınç dağılımı

#### 4. DEPREM HESABI KUVVETLERİ

Deprem etkisinde tank çatısına etkijen toplam kesme kuvvetinin hesaplanması için çatı kütlesi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned}
 m_r &= t_r \pi (R^2 + H_r^2) \rho_w \\
 &= (0.01)(3.14)(20^2 + 4^2)(8)
 \end{aligned}$$

$$m_r = 104 \text{ [t]}$$

Tank tavanından duvarlara aktarılan kesme kuvveti Yönetmelikteki Denklem 4.21 kullanılarak şu şekilde belirlenmiştir:

$$\begin{aligned}
 V &= m_r S_{ae}(T_i, \xi_i) g & (4.21) \\
 &= (104)(5.09)(9.81) \\
 V &= 5220 \text{ [kN]}
 \end{aligned}$$

Tank içerisindeki sıvının darbesel titreşim modu için eşdeğer kütle,  $m_i$  aşağıdaki şekilde Denklem 4.1 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned}
 m_i &= \alpha_i \pi R^2 H \rho & (4.1) \\
 &= (0.481)(3.14)(20)^2(17)(0.9) \\
 m_i &= 9248 \text{ [t]}
 \end{aligned}$$

Yukarıdaki denklemde yer alan  $\alpha_i$  Yönetmelik'te Tablo 4.1'de sunulan değerler arasında enterpolasyon yapılarak belirlenmiştir. Bu işlem sonucunda,  $H/R=0.85$  değeri için  $\alpha_i$  değeri 0.481 olarak tespit edilmiştir. Sıvının devinimsel titreşim modu için eşdeğer kütle,  $m_c$  hesaplanması için Denklem 4.2 kullanılmıştır:

$$\begin{aligned}
 m_c &= (1 - \alpha_i) \pi R^2 H \rho & (4.2) \\
 &= (1 - 0.481)(3.14)(20)^2(17)(0.9) \\
 m_c &= 9978 \text{ [t]}
 \end{aligned}$$

Tank duvarlarının kütlesi,  $m_w$  aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$\begin{aligned}
 m_w &= 2\pi R H_w t_w \rho_w \\
 &= (6.28)(20)(21)(0.022)(8) \\
 m_w &= 464 \text{ [t]}
 \end{aligned}$$

Tank duvarının alt seviyesinde (tabanın hemen üzerinde) duvara etkiyen toplam taban kesme kuvveti Denklem 4.22 uyarınca aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

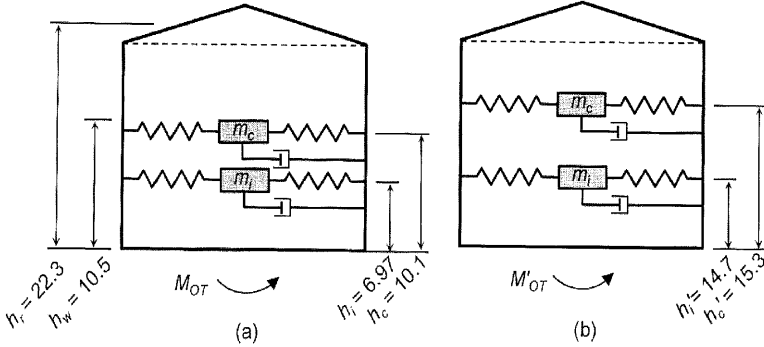
$$\begin{aligned}
 V_d &= (m_i + m_w + m_r) S_{ae}(T_i, \xi_i) g + m_c S_{ae}(T_c, \xi_c) g & (4.22) \\
 &= (9248 + 464 + 104)(5.09)(9.81) + (9978)(0.302)(9.81) \\
 V_d &= 520 \text{ [MN]}
 \end{aligned}$$

Tabanın hemen üzerindeki seviyeye etkiyen (ve taban hidrodinamik basınç etkisini içermeyen) hesap devrilme momenti,  $M_{OT}$  Yönetmelik Denklem 4.23 ile aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned}
 M_{OT} &= m_c h_c S_{ae}(T_c, \xi_c) g + (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_{ae}(T_i, \xi_i) g & (4.23) \\
 &= (9978)(10.1)(0.302)(9.81) \\
 &\quad + [(9248)(6.97) + (464)(10.5) + (104)(22.3)](5.09)(9.81)
 \end{aligned}$$

$$M_{OT} = 3877 \text{ [MNm]}$$

Yukarıdaki devrilme momentinin hesabında göz önüne alınan eşdeğer yığılı kütle yükseklikleri  $h_c$  ve  $h_i$ . Yönetmelik Tablo 4.1'de verilen değerler kullanılarak tespit edilmiştir. Tablodaki veriler kullanılarak " $H/R = 0.85$ " için yapılan enterpolasyonda  $h_c/H = 0.594$  ve  $h_i/H = 0.41$  olarak belirlenmiştir. İlgili eşdeğer kütlelerin konumları Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Taban devrilme momenti hesabında kullanılan kütle merkezi yükseklikleri: (a)  $M_{OT}$  ve (b)  $M'_{OT}$

Taban plakasının hemen altındaki düzlem için hesap devrilme momenti,  $M'_{OT}$  Denklem 4.24 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$M'_{OT} = m_c h'_c S_{ae}(T_c, \xi_c) g + (m_i h'_i + m_w h_w + m_r h_r) S_{ae}(T_i, \xi_i) g \quad (4.24)$$

$$= (9978)(15.3)(0.302)(9.81) + [(9248)(14.7) + (464)(10.5) + (104)(22.3)](5.09)(9.81)$$

$$M'_{OT} = 7602 \text{ [MNm]}$$

Birim uzunluk için duvar ağırlığı,  $w_t$  aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$w_t = \frac{m_w g}{2\pi R}$$

$$= \frac{(464)(9.81)}{2\pi (20)}$$

$$w_t = 36.2 \text{ [kN/m]}$$

Tank tabana sünek bağlantı elemanlarıyla ( $\alpha_s = 0$ ) sabitlenecek şekilde tasarlanmıştır. Deprem etkisi altında meydana gelen devrilme etkisini karşılayabilmek için bağlantı elemanlarının sahip olması gereken birim uzunluk başına düşen taşıma kapasitesi,  $P$  Denklem 4.25 kullanılarak aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$P = (0.4 \alpha_s + 0.65) \frac{M_{OT}}{D_{HD}^2} - w_t \quad (4.25)$$

$$= [0.4 (0) + 0.65] \frac{3877 \times 10^3}{40^2} - (36.2)$$

$$P = 154 \text{ [kN/m]}$$

Tankın zemine sabitlenmesi için toplam 80 adet sabitleme elemanı kullanılması planlanmıştır. Sonuç olarak, her bir sabitleme elemanı için gerekli taşıma kapasitesi,  $N_e$  şu şekilde hesaplanmıştır:

$$N_e = \frac{2\pi R}{n_e} P$$

$$= \frac{2\pi(20)}{80} \cdot 154$$

$$N_e = 292 \text{ [kN]}$$

## 5. ÇALKALANMA DALGASI YÜKSEKLİĞİ VE TAVAN BASINCI

Genel itibariyle tankın çatısına etkiyen hidrodinamik basınç ve olası taşma etkisi *Kesintisiz Kullanım* sınır durumunun kontrolünde önem taşımaktadır ve DD-2 düzeyindeki deprem etkisi altında kontrol edilmektedir. Bu kontrol bir sonraki bölümde ayrıca sunulmuştur. Normal şartlarda *Kontrollü Hasar* sınır durumunda çatıda tankın tümüyle göçmesine sebep olamayacak seviyede hasar meydana gelmesine izin verilmektedir. Ancak yine de tankın DD-1 düzeyindeki çalkalanma etkisi altındaki performansının değerlendirilmesi amacıyla burada çatıya çalkalanma dalgası nedeniyle etkiyecek hidrodinamik basınç burada açık şekilde hesaplanmıştır.

Tank içerisinde depolanan sıvıda deprem etkisi altında meydana gelen dalganın hesap yüksekliği Denklem 4.43 kullanılarak şu şekilde belirlenmiştir:

$$d_{max} = 0.84 R S_{ae}(T_c, \xi_c) \quad (4.43)$$

$$= 0.84 (20) (0.302)$$

$$d_{max} = 5.1 \text{ [m]}$$

Tankın çalkalanma payı 4 [m] olarak belirtildiği için deprem etkisi altında meydana gelebilecek 5.1 [m] yüksekliğindeki dalganın altında kalmıştır. Bu nedenle, tank tavanına deprem etkisi altındaki dalgalanma nedeniyle etkilen eşdeğer hesap basıncı Şekil 11'de gösterildiği şekilde belirlenmiştir. Yapılan değerlendirme A-B çizgisinin yataya çok yakın olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak  $h_A \cong h_B$  olarak elde edilmiştir. Bu durumda, tavan üzerinde merkezden  $r$  uzaklıktaki noktaya etkiyen hesap basıncı eşdeğer sıvı yüksekliği,  $h'(r)$  aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$h'(r) = \frac{(r - r')}{(R - r')} [d_{max} - (H_w - H)]$$

$$= \frac{(r - 15.2)}{(20 - 15.2)} (5.1 - 4)$$

$$h'(r) = 0.229 (r - 15.2) \text{ [m]} \quad 15.2 \leq r \leq 20$$

Dalgalanma etkisi nedeniyle tank tavanına etkiyen sıvı kaldırma gücü basıncı şu şekilde belirlenmiştir:

$$p_b = \gamma_l h'(r) \quad (4.42)$$

$$= (0.9) (9.81)[0.229(r - 15.2)]$$

$$p_b = 2.02(r - 15.2) \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad 15.2 \leq r \leq 20$$

Tavana çarpan dalganın akış hızı nedeniyle meydana gelen basınç etkisi aşağıdaki şekilde Denklem 4.43 kullanılarak belirlenmiştir:

$$p_v = 5.0 \left( \frac{2\pi}{T_c} d_{max} \right)^2 \frac{\gamma_l}{2g} \quad (4.42)$$

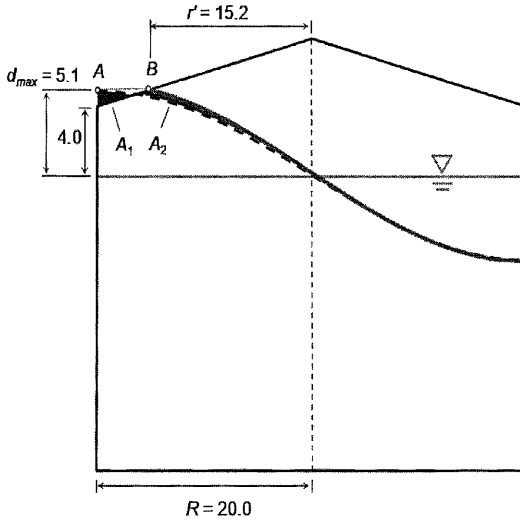
$$= 5.0 \left( \frac{2\pi}{6.98} 5.01 \right)^2 \frac{(0.9)}{2}$$

$$p_v = 45.8 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Tank tavanında merkezden  $r$  uzaklıkta olan ve çalkalanma dalgasının temas ettiği noktaya etkiyen toplam hidrodinamik basınç,  $p_r$  aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$p_r(r) = p_b(r) + p_v \quad (4.42)$$

$$p_r(r) = 2.02 (r - 15.2) + 45.8 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad 15.2 \leq r \leq 20$$



Şekil 11. Tank tavanına deprem etkisi altındaki dalgalanma nedeniyle etkiyen basıncın hesabı

## 6. DEPREM ANALİZİ VE TASARIMI

Tankin duvarlarında, tabanında ve tavanında deprem etkisi altında meydana gelen tesirlerin hesabının yapılması için tankin analitik modeli oluşturularak ilgili hidrodinamik basınç bileşenleri bu modeldeki elemanlar üzerine tanımlanmalıdır. Devinimsel, darbesel ve düşey yöndeki mod için hesaplanan tesirler ( $A_c$ ,  $A_i$  ve  $A_v$ ) aşağıdaki birleştirme kuralına göre birleştirilerek deprem etkisi hesap tesirleri,  $A_{Ed}$  hesaplanmalıdır:

$$A_{Ed} = \sqrt{A_i^2 + A_c^2 + A_v^2} \quad (5.2)$$

Tankin tasarımında ve sınır durum kontrollerinde, deprem etkisine ek olarak zati yük etkisi ( $G$ ), hareketli yük etkisi ( $Q$ ) ve varsa ön germe etkisi ( $P$ ) Denklem 5.1 kullanılarak aşağıdaki şekilde birleştirilmelidir:

$$E_d = \begin{cases} G + P + Q \pm A_{Ed} \\ G + P \pm A_{Ed} \end{cases} \quad (5.1)$$

Yukarıda sunulan yük kombinasyonlarına karşılık gelen gerilme ve şekil değiştirmeler tankin deprem dayanımının kontrolünde kullanılmalıdır.

Önceki bölümlerde DD-1 yer hareketi düzeyine karşılık gelen etkilerin hesabı sunulmuştur. *Tank Tasarım Sınıfı* III olması nedeniyle DD-1 yer hareketi düzeyi altındaki performans kontrolünde *Kontrollü Hasar* sınır durumu kıstasları göz önüne alınacaktır. İlgili kıstaslar "*Bölüm 5.4 Kontrollü Hasar Sınır Durumu Kontrolü*" bölümünde yer almaktadır. Bu sınır durumuyla ilgili yapılması gereken başlıca kontroller şunlardır:

- Sabitleme elemanlarının kapasitelerinin kontrolü,
- Tankin temel üzerinde kaymaya karşı (sabitleme elemanlarıyla birlikte) karşı koyma kapasitesinin kontrolü,
- Gevrek tank duvarı hasar (burkulma, v.b.) mekanizmalarına karşı kapasitenin kontrolü
- Taban duvar birleşim bölgesindeki dönme taleplerinin ve ilgili bölgelerdeki güç tükenmesi dönme kapasitesinin kontrolü,
- Tabanda meydana gelen birim şekil değiştirmelerin ilgili sınırlar içerisinde kaldığının kontrolü,
- Temel sisteminin taşıma gücü kontrolü.

Yukarıda sunulan kontrollere ek olarak tankin performansının DD-2 yer hareketi düzeyi için de yapılmalıdır. Bu kontrolde, *Kesintisiz Kullanım* sınır durumu kıstasları göz önüne alınmalıdır.

Bu kapsamda, "*Bölüm 5.3 Kesintisiz Kullanım Sınır Durumu Kontrolü*" bölümünde yer alan şartlar göz önüne alınmalıdır.

Tank ve saha için DD-2 düzeyinde aşağıdaki spektral ivme değerleri hesaplanmıştır:

$$S_{ae}(T_i, \xi_i) = 2.88 \text{ [g]}$$

$$S_{ae}(T_c, \xi_c) = 0.161 \text{ [g]}$$

$$S_{aed}(T_v, \xi_i) = 1.83 \text{ [g]}$$

Bununla birlikte, DD-2 yer hareketi etkisi altındaki toplam taban kesme kuvveti,  $V_d$  ve ilgili devrilme momentleri,  $M_{OT}$  ve  $M_{OT}'$  aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

$$V_d = 293 \text{ [MN]}$$

$$M_{OT} = 2185 \text{ [MNm]}$$

$$M'_{OT} = 4288 \text{ [MNm]}$$

DD-2 seviyesindeki yer hareketi etkisi altında çalkalanma dalgası yüksekliği,  $d_{max}$  şu şekilde tespit edilmiştir:

$$d_{max} = 2.71 \text{ [m]}$$

Elde edilen çalkalanma dalgası yüksekliği tankın mevcut çalkalanma payının altındadır ( $d_{max} = 2.71 \leq d_p = 4$ ). Bu nedenle, *Kesintisiz Kullanım* sınır durumu için herhangi bir ek hidrodinamik çatı basıncı altında analizinin yapılmasına ihtiyaç olmadığı anlaşılmıştır.

*Kesintisiz Kullanım* sınır durumu kontrolleri kapsamında, çalkalanma payı kontrolüne ek olarak aşağıdaki kontrollerin yapılması gereklidir:

- Deprem etkisi altında hesaplanan en büyük asal eksen birim şekil değiştirmelerinin ilgili sıvı geçirmezlik birim şekil değiştirme sınırı kapasiteleriyle kıyaslanması,
- Tank duvarlarının, sabitleme elemanlarından duvara (dayanım fazlalığını da göz önüne alarak) aktardıkları kuvvetler altındaki kapasitesinin kontrolü,
- Tanka bağlı hidrolik sistemlerinin bağlantı notalarındaki zorlamalara karşı tank duvarlarının kapasitesinin kontrolü,

İlgili tüm kontrollerin doğrulanması durumunda, hesap sonuçlandırılmadadır.