

DEPOLAMA TANKLARININ SİSMİK TASARIMI VE ANALİZİ

DR. ÖĞR. ÜYE. SEZER ÖZTÜRK

PROF. DR. ALİ SARI

İMO İSTANBUL MESLEK İÇİ EĞİTİM
SEMİNERİ / 18 KASIM 2024



İÇERİK

- Giriş, depolama tankları hakkında genel bilgi
- Tasarım koşulları
- Sıvı-yapı etkileşimi
- Düşey silindirik tank analizleri
- Küresel duvarlı tank analizleri
- Yatay silindirik tank analizleri
- Kahramanmaraş depremlerinde tank hasarları

GİRİŞ

- Depremler büyük tehdit
- Domino etkisi
- 1999 Kocaeli depremi, İzmit TÜPRAŞ Rafinerisi
- 2011 Tohoku depremi



AA (2024)



Korkmaz ve diğ. (2011)



Sarı (2023)

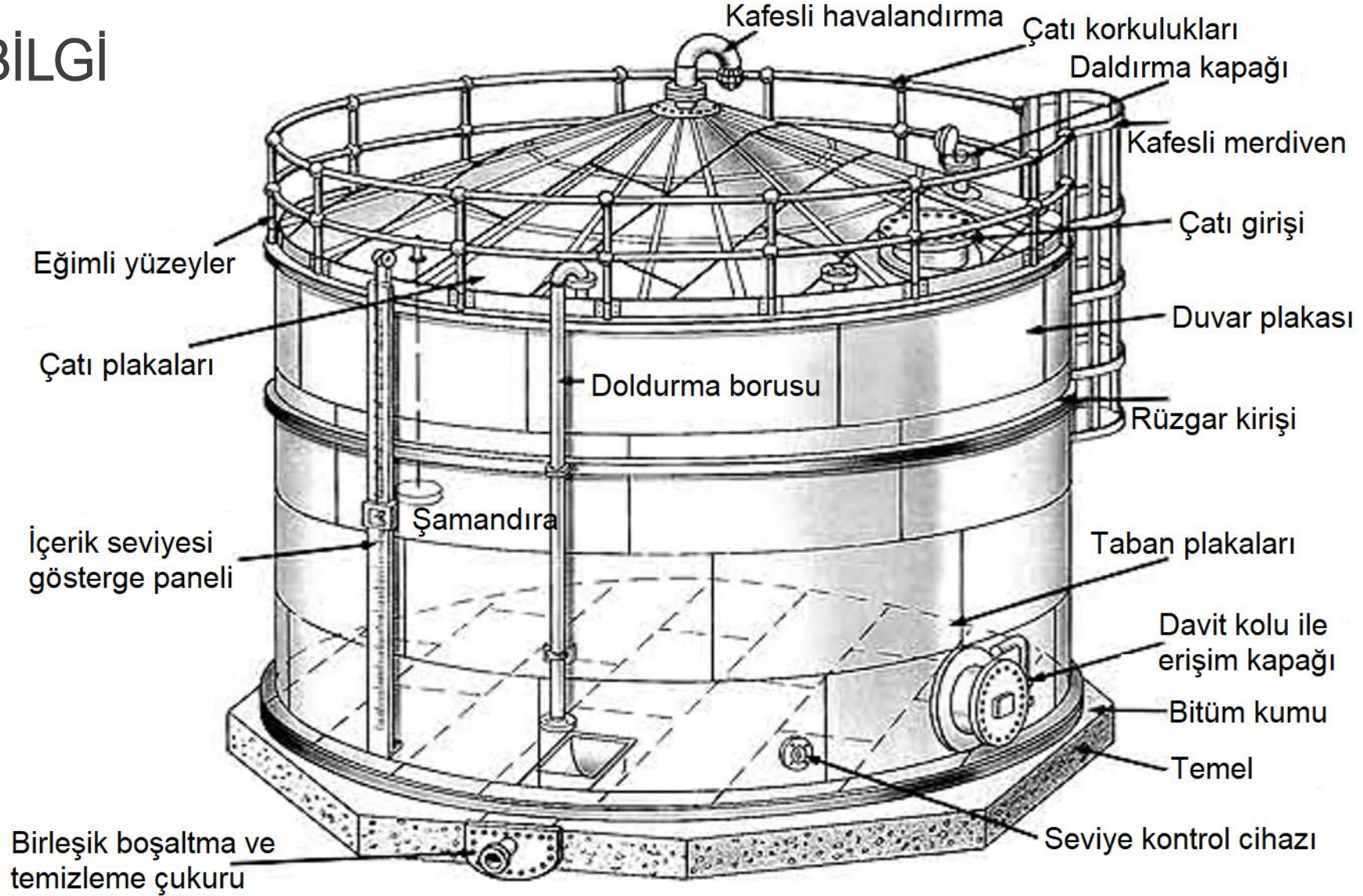


Zama ve diğ. (2012)



Zama ve diğ. (2012)

GENEL BİLGİ



ÇATI TÜRLERİ

SABİT

- Konik
- Kubbe
- Şemsiye

ÇATISIZ

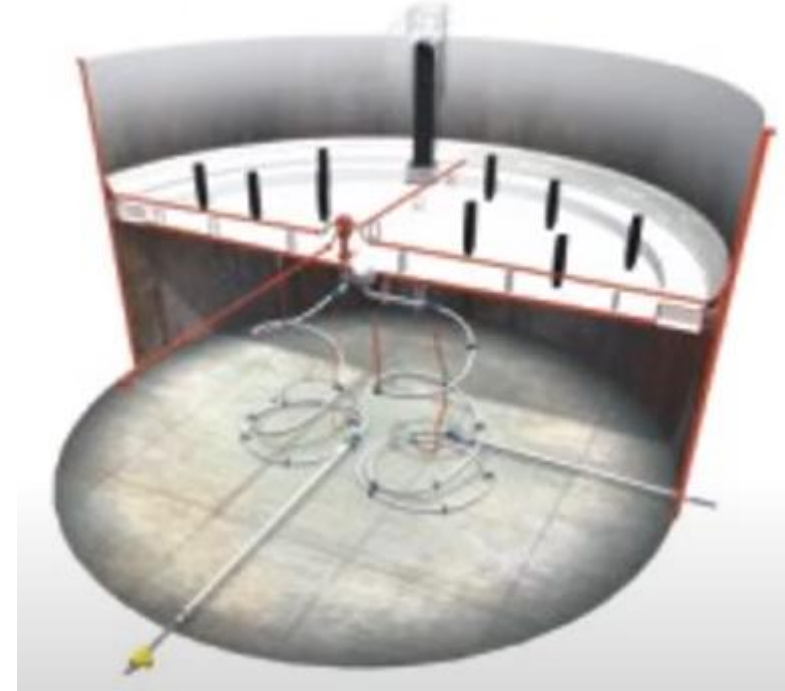
YÜZER

- İçte yüzen çatı
- Tek ponton çatı
- İki ponton çatı

ÇATI TÜRLERİ



Sabit çatılı



Yüzer çatılı

Tanklar Nasıl Seçilir?

Sıvı karakteristiği

Kaynama noktası

Kullanım basıncı

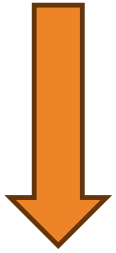
Sıcaklık

Saha koşulları

YÖNETMELİK

- Tasarım yönetmeliği kullanımı insanları etkileyebilecek felaketlerden kaçınmak içindir.
- Yönetmelikler birçok tecrübeye ve faydalı uygulamaya dayanmaktadır.

Depolama Ürünü

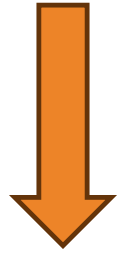


Düşük basınç

$$P_i \leq 18kPa$$

Atmosferik

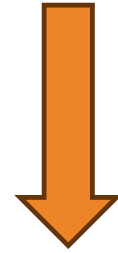
API650



Orta basınç

$$18kPa \leq P_i \leq 103kPa$$

API620



Yüksek basınç

$$P_i > 103kPa$$

ASME VIII



Kriyojenik

-160°C

API 620 App.Q

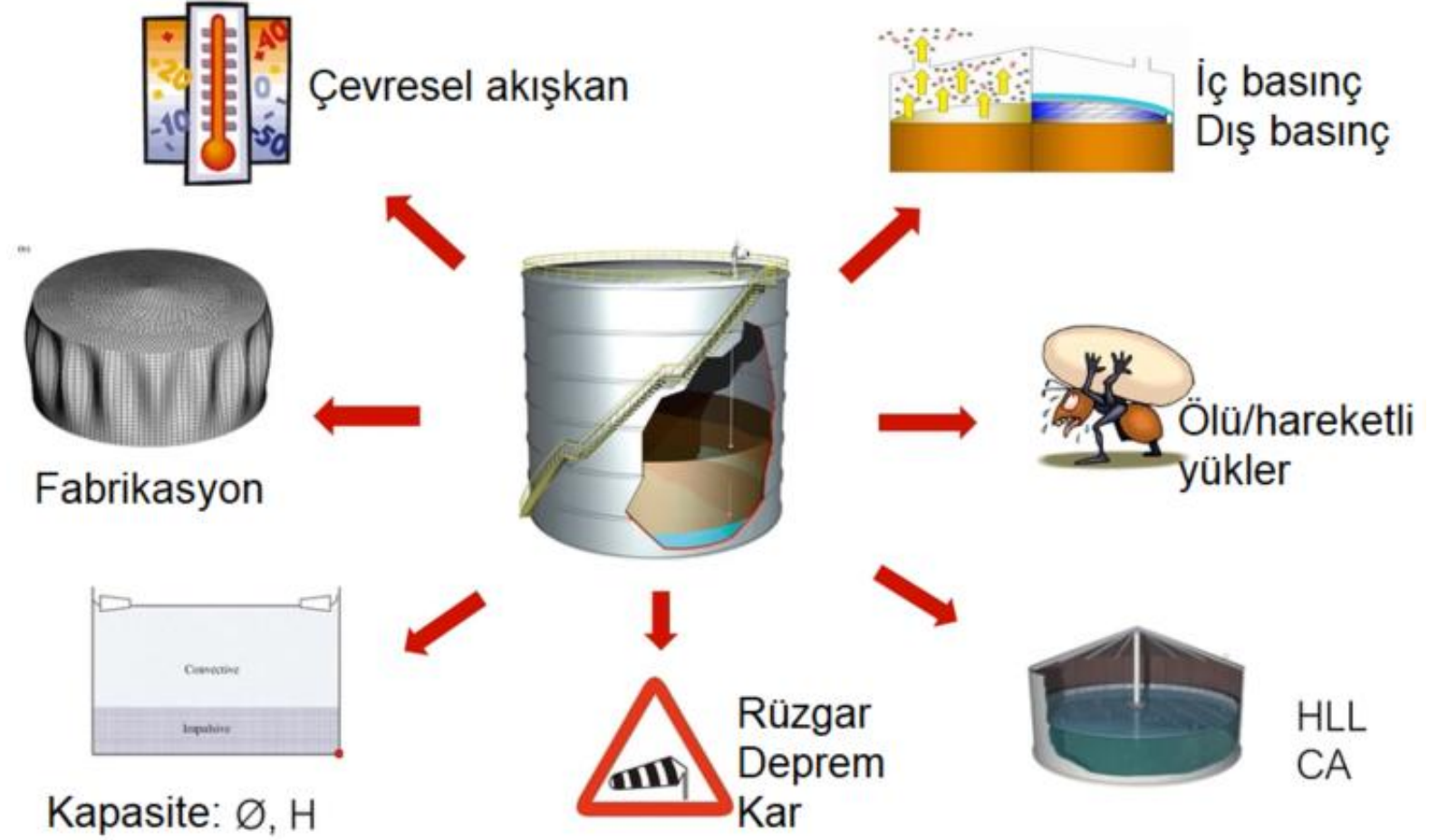
NFPA59, EN1473

API650

- İki ana kısma ayrılır.
- İlk kısım kapsam, tanımlar, ana gereklilikler gibi zorunlu maddelere,
- İkinci kısım, iyi uygulamalar, öneriler ve örnekler gibi eklere ayrılmıştır.
- İlk kısım kapsam, referanslar, tanımlar, malzemeler, tasarım, fabrikasyon, kurulum, inceleme yöntemleri, kaynaklama prosedürleri, tanımlama/sorumluluk şeklinde 10 bölümden oluşur.
- İkinci kısım ise tank boyutu, çatı türü, sismik tasarım, iç basınç miktarı, nozul yükü gibi parametrelere bağlı olarak 27 bölümden oluşur.

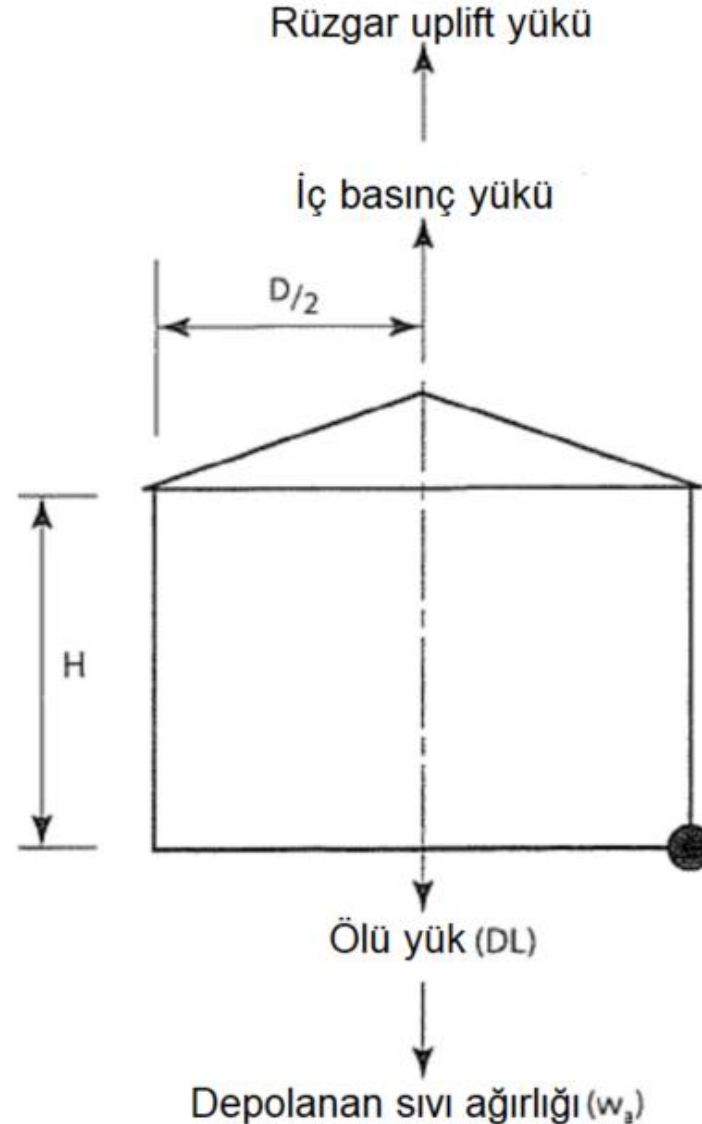
API650

- Yönetmelik sıvı içeren tankları kapsar.
- Atmosferik basınç koşulu

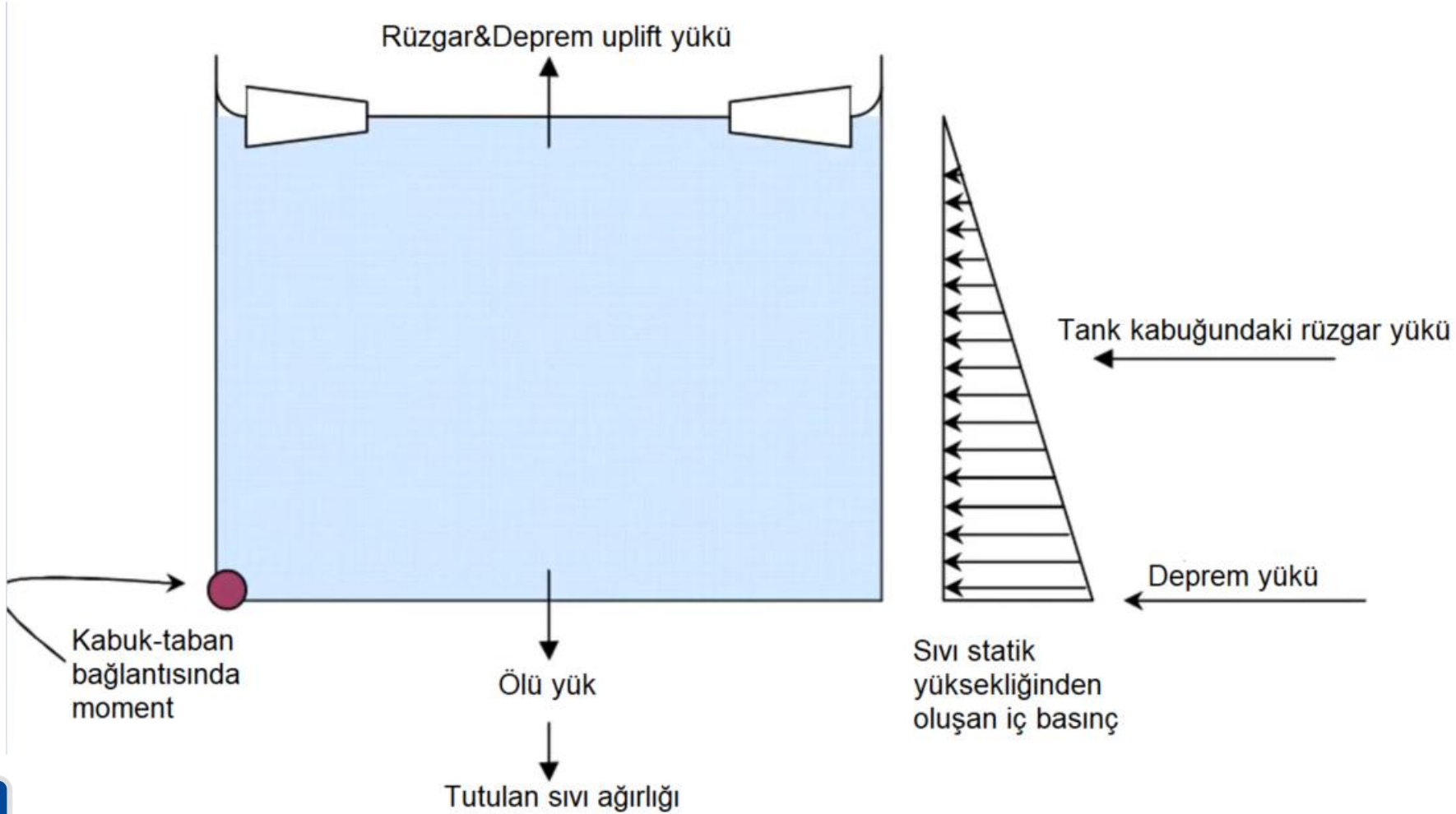


Yük Tipleri

- DL: Tank ağırlığı + CA
- Df: İç çatı ağırlığı
- F: Sıvı ağırlığı (en dolu hal)
- Pi: iç tasarım basıncı <17kPa
- Pe: dış tasarım basıncı
- Ht: Hidrotest su ağırlığı (HLL)
- Pt: Hidrotest basıncı
- W: Rüzgar tasarım basıncı
- S: Kar yükü
- E: Sismik yükler (Annex E1-E6)



Yük Kombinasyonu



MALZEME SEÇİMİ

- Yönetmelik spesifik olarak malzeme önermez.
- Tecrübe ve iyi uygulamalar
- Referans olarak alınan yazarlar
- Güncel yayınlar
- Müşteri talepleri
- Metalürji uzmanları
- Korozyon önemli bir sorun.



MALZEME SEÇİMİ

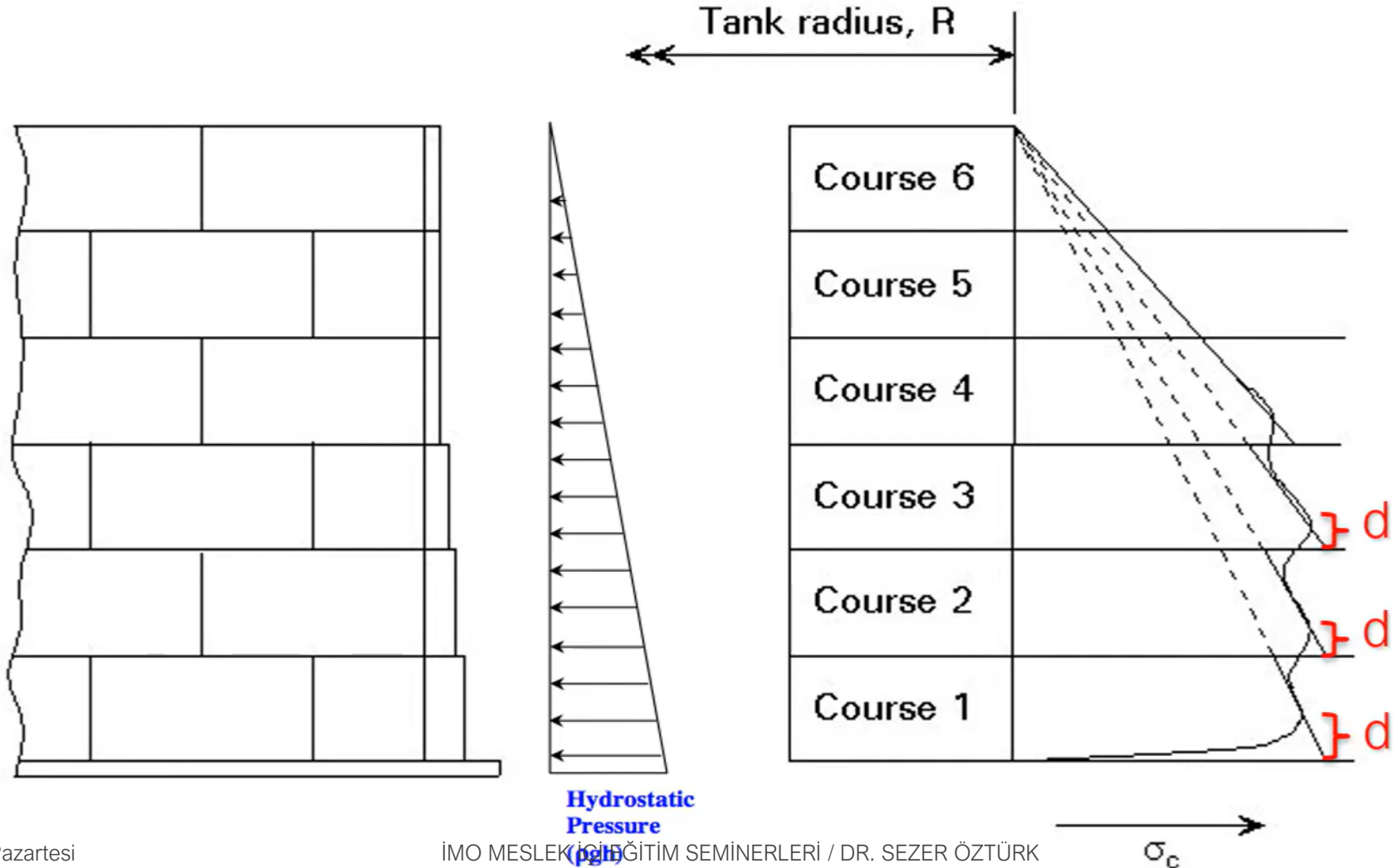
- Korozyon çevresel bir etki sonucu metalik bir malzemenin bozulması veya tahribatı
- Malzemenin ömrü azalır.
- Korozyonu tamamen yok etmeye çalışmaktansa kontrol altına almak önemlidir.
- Üniform korozyon: Metal kalınlığı zamanla eşit olarak "aşınır".
- En yaygın ve daha az tehlikeli korozyon şekli.
- Yıllık korozyon oranı.



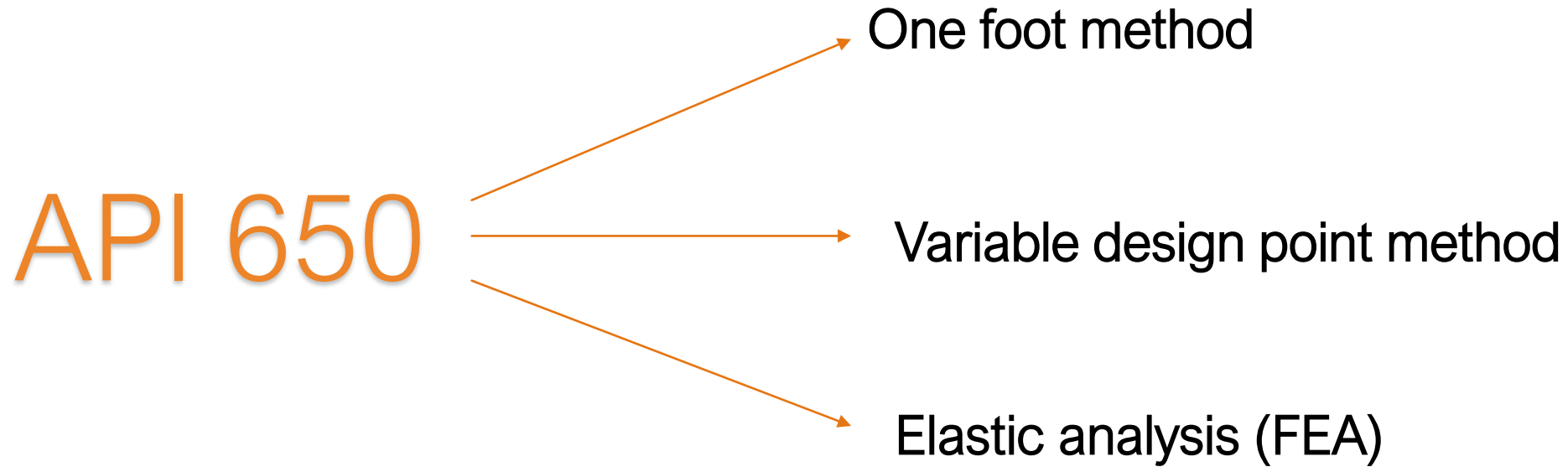
TANK KABUK TASARIMI / DÜZENLEME



TANK KABUK TASARIMI / KALINLIK HESABI



TANK KABUK TASARIMI / KALINLIK HESABI



TANK KABUK TASARIMI / KALINLIK HESABI / ONE FOOT METHOD

- API 650, 5.6.3.2
- Taban plakasının 1 foot kısmında (30.48 cm) maks gerilme.
- Hesaplamanın basitleştirilmesi, güvenli sonuçlar verir.
- $\emptyset > 61\text{m}$ için geçerli değildir.
- İki yük durumu için kıyaslama yapılır:
- Normal işletme yükleri:
- Hidrostatik test yükleri:

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA$$

td = Design thickness

tt = Test thickness

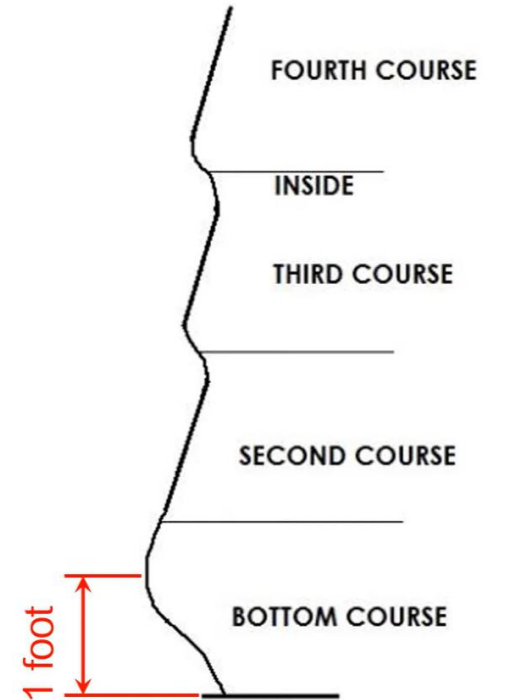
D = $\emptyset$ (mean fiber)

H = Liquid Level

G = Specific density

CA = Corrosion Allowance

S = Allow. Stress (5.2a/b)



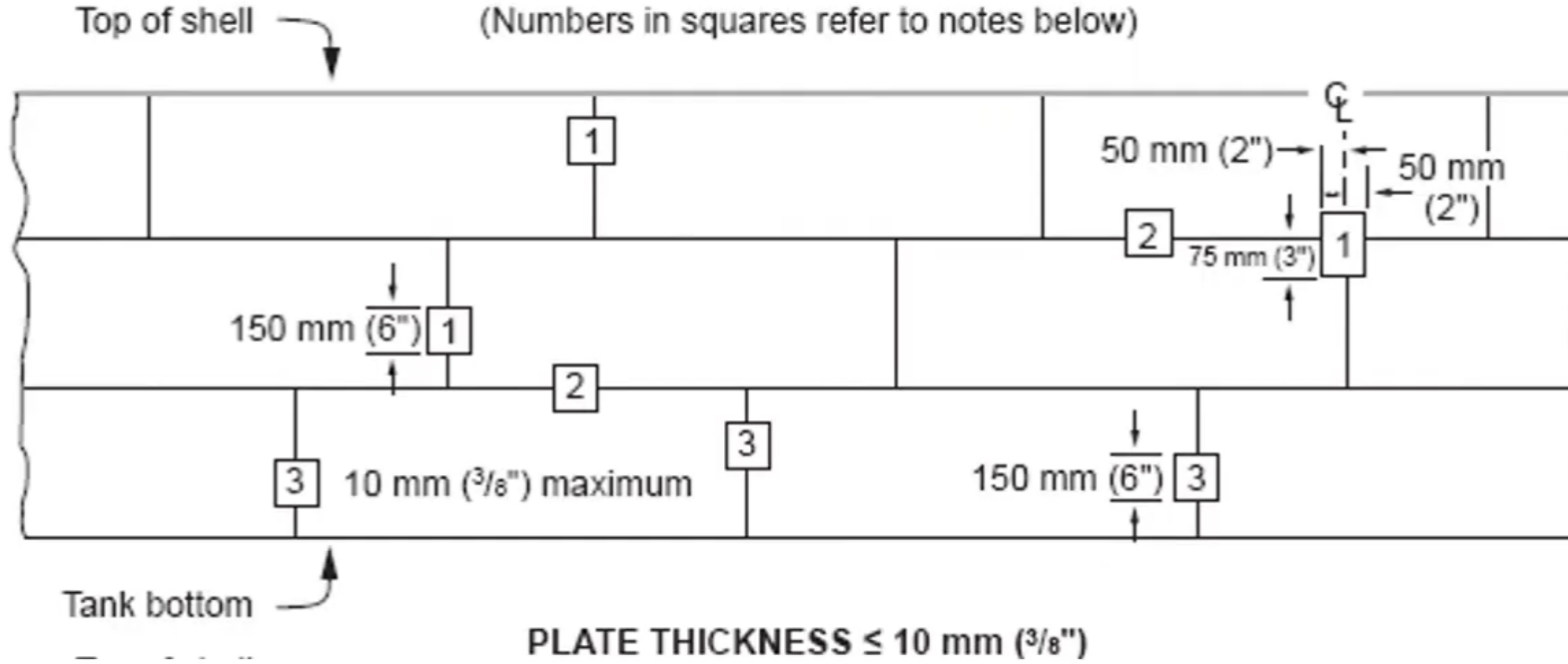
$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

TANK KABUK TASARIMI / KALINLIK HESABI

- Dikkate alınması gerekenler:
- → API 650, Bölüm 6
- → Plaka kenarları, kesme, makine veya oksijenle kesme ile hazırlanabilir.
- → Herhangi bir hazırlık yapılmayan plaka kenarları sorunlara yol açar.
- → Boyut Toleransları:
 - o Uzunluk ve genişlik: 1,6 mm
 - o Diyagonal: 3,2 mm



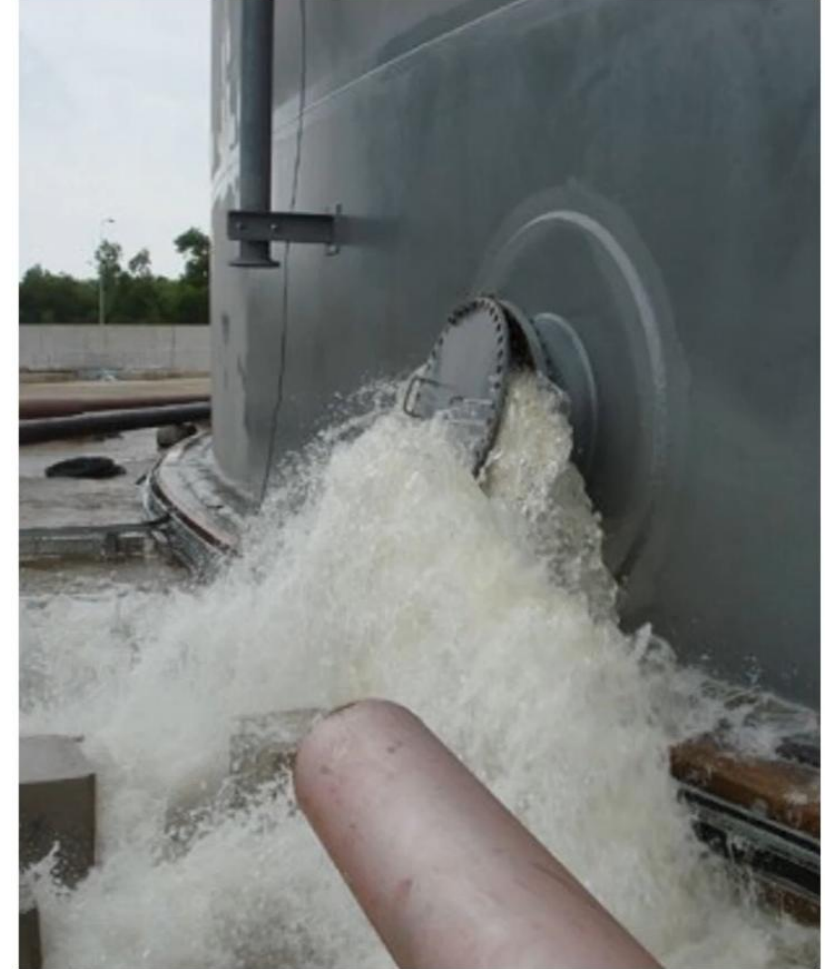
TANK KABUK TASARIMI / KAYNAKLI NOKTALAR



- 1. RT spot Dikey: ilk 3 m'de bir, oradan her 30 m'de bir, kesişimlerde %25.
- 2. RT spot Yatay: ilk 3 m'de bir, oradan her 60 m'de bir
- 3. Her dikey kaynakta RT spot dikey (1. tabaka).

TANK KABUK TASARIMI / HİDROSTATİK TEST

- API 650, 7.3.5
- Üretim tamamlandığında test yapılmalıdır.
- Kabuğu aşırı zorlamamak için kademeli doldurma
- Testten sonra hiçbir eleman kaynaklanmamalıdır.
- Dolum ve boşaltma hızları kontrol altında olmalıdır.



TANK TABAN TASARIMI / KALINLIK HESABI

- Ana amaç tankın sızdırmazlığını sağlamak.
- Duvar plaka kalınlıklarına göre çok daha küçük olur.
- 1.5 mm veya daha küçük metal sheet kalınlığı, ağırlıktan gelen eğilme ve basınç gerilmelerini karşılamaya yeterlidir.
- Ancak kaynaklama sırasında deformasyonları önlemek için, API 650'ye göre min. 6mm kalınlık olmalı.



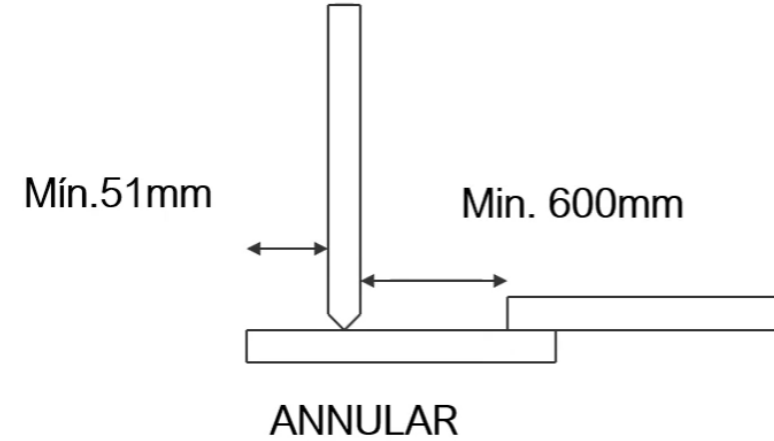
TANK TABAN TASARIMI

Recommended Width:

Par. 5.5

- Interior: min. 600mm from nearest welded joint
- Exterior: min. 51mm
- Recommended Width according to the following equation:

$$\frac{215t_b}{(HG)^{0.5}}$$



t_b = annular plate thickness

H = max. liquid level

G = Specific gravity of the fluid.

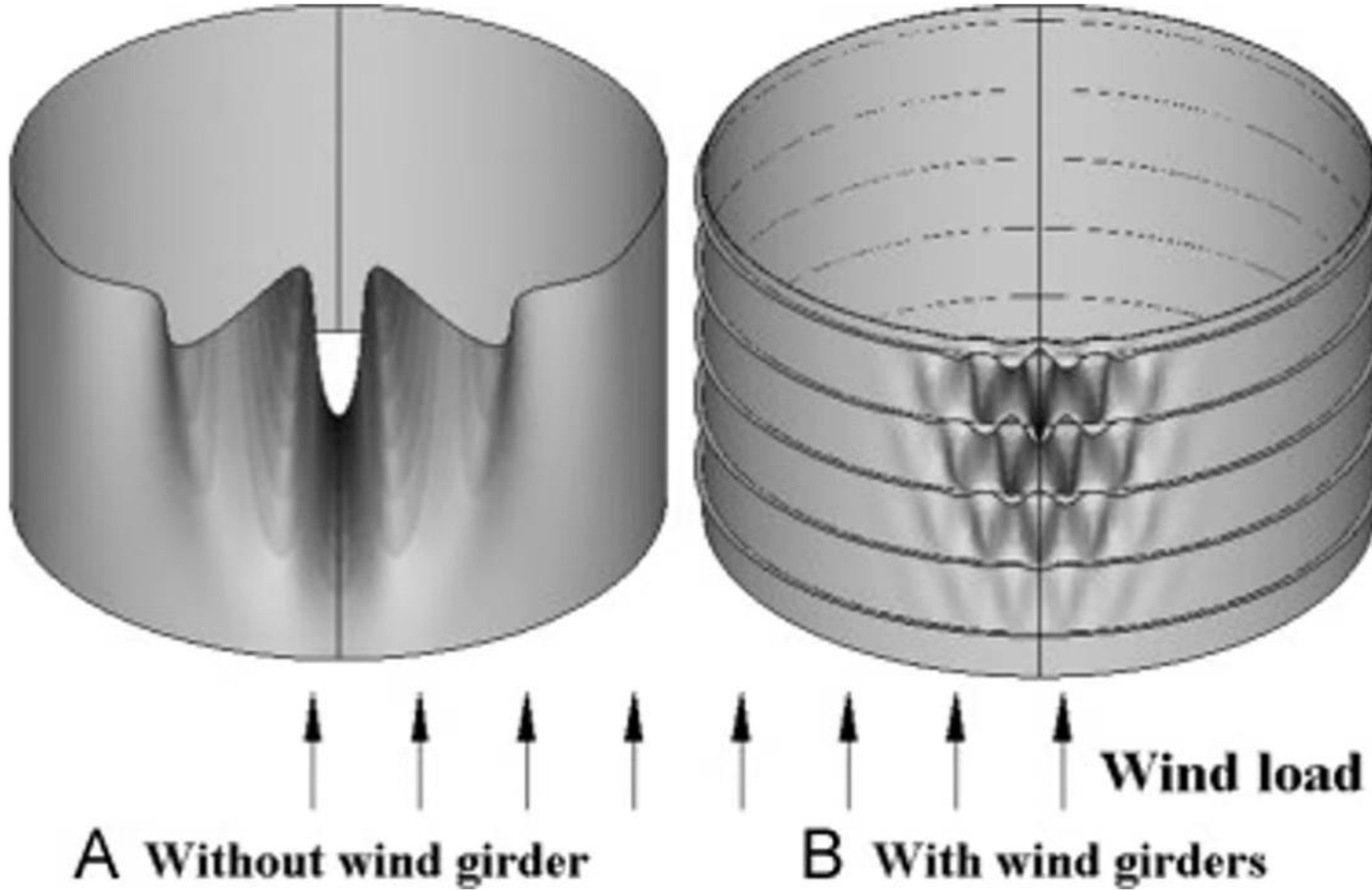
TANK TABAN TASARIMI

Minimum Thickness:

→ The thickness of the annular plate shall be not less than:

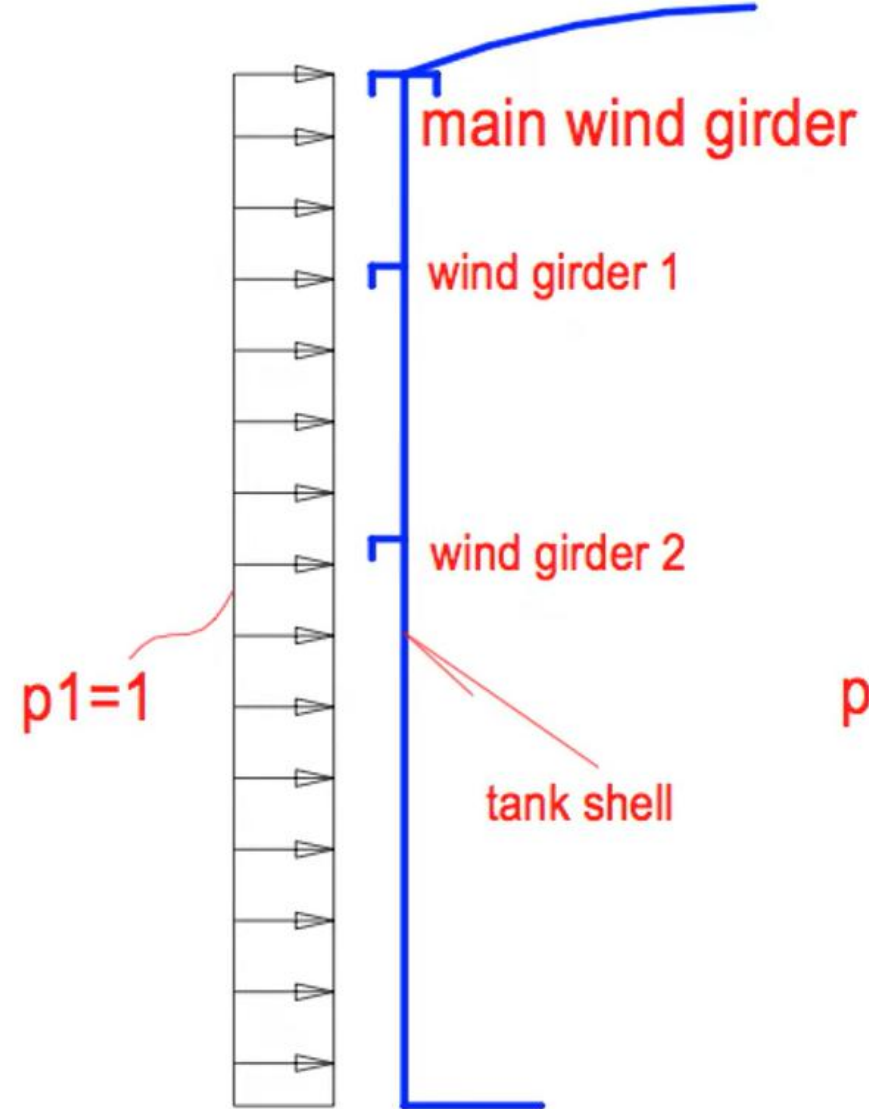
Plate Thickness ^a of First Shell Course (mm)	Stress ^b in First Shell Course (MPa)	
	≤ 190	≤ 210
$t \leq 19$	6	6
$19 < t \leq 25$	6	7
$25 < t \leq 32$	6	9
$32 < t \leq 40$	8	11
$40 < t \leq 45$	9	13

RÜZGAR KİRİŞİ TASARIMI



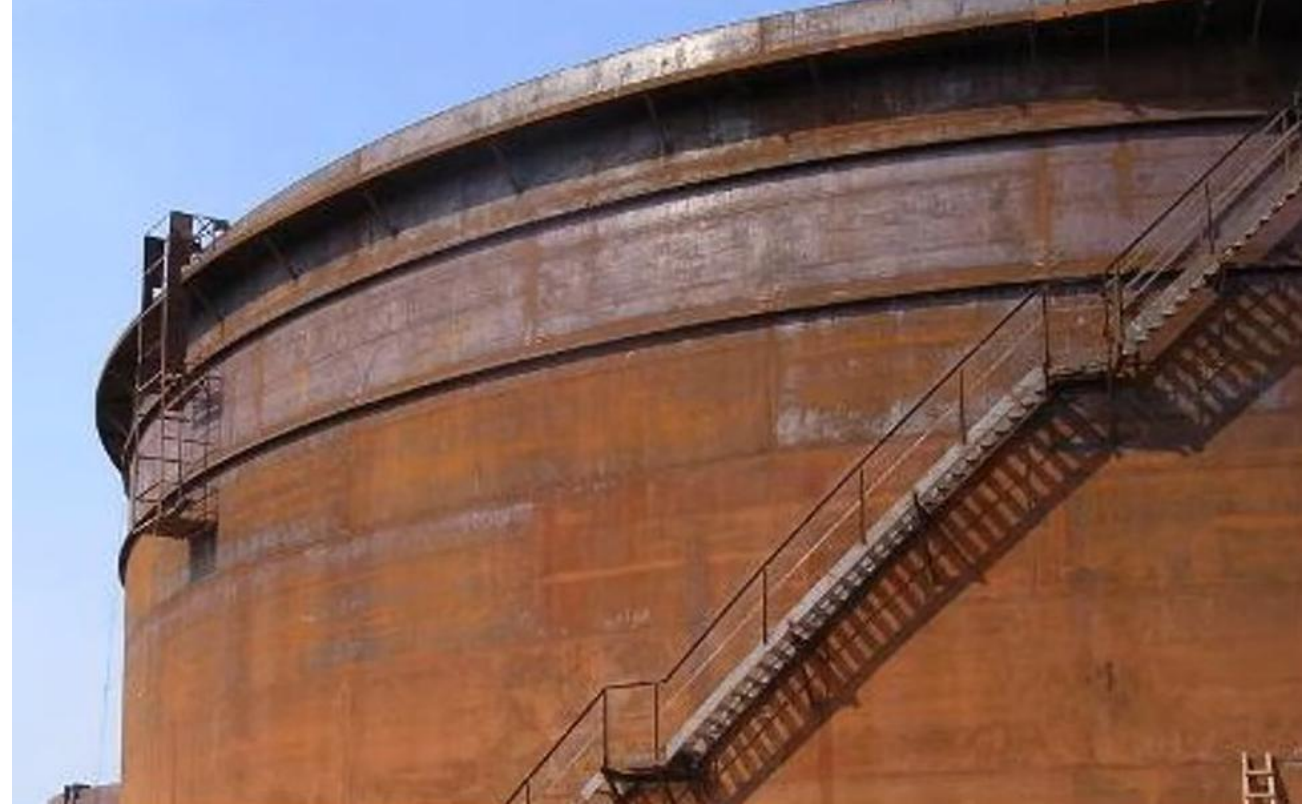
RÜZGAR KİRİŞİ TASARIMI

- Tank kabuğunu rüzgar basıncına karşı korur.
- Üst Rüzgar kirişi: Tank kabuğunun üst kısmının burkulmasını önlemek için.
- Ara rüzgar kirişi: Tank kabuğunun ara kısımlarındaki rüzgar basıncını karşılayan rijitleştirici halkalar.



RÜZGAR KİRİŞİ TASARIMI

- Üst rüzgar kirişi
- Özellikle açık tanklarda üst tabakaları güçlendirmek için çok önemlidir.
- Bu da rüzgar etkilerine karşı dayanıklılık gerektirir.
- Minimum profil boyutu:
75*75*6mm, kalınlık>5mm (Bölüm 5.9.3)



RÜZGAR KİRİŞİ TASARIMI

- Üst rüzgar kirişi / minimum kesit modülü (Bölüm 5.9.6)
- Tank bütünlüğü için önemli
- Üst kabuk tabakası rijitliği için
- Kabukta burkulma ve deformasyondan kaçınabilmek için
- Minimum kesit modülü:
- Z = gerekli kesit modülü
- D = tank çapı
- H_2 = tank yüksekliği, serbest yüzey dahil
- V = rüzgar tasarım hızı

$$Z = \frac{D^2 H_2}{17} \left(\frac{V}{190} \right)^2$$

DIŞ BASINÇ

- Dış basınç etkisinde oluşacak göçme durumu iç basıncı takinden farklıdır.
- İç basınç etkisiyle oluşacak hasar, tankın bir kısmında aşırı gerilmeden meydana gelir.
- Dış basınçta ise tank geometrisi değişerek ve hacmi küçülerek ani hasar meydana gelir.
- Sadece iç basınca göre tasarlanan tankların aksine dış basıncı tanımlamak için tek bir denklem veya ifadeden söz edilemez.
- Bunun yerine birkaç farklı yoldan yararlanılabilir.



DIŞ BASINÇ

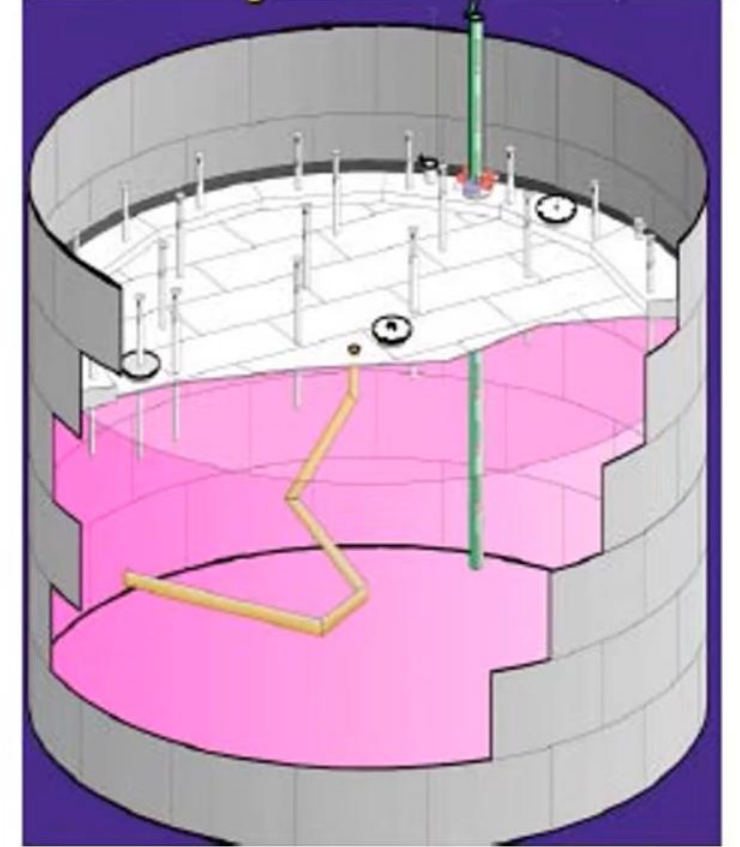
- Eğer dış basınç bu aralıktaysa, tankın çatı, duvar ve taban olmak üzere 3 ana bileşeninin kontrolü yapılır.
- Tank kabuğu en kritik olan bileşen.
- Tank kabuğunun dış basınca dayanıklı olup olmadığının hesabı;
- 1-Kabuk kalınlığı hidrolik ve iç basınca göre hesaplanır.
- 2-Ardından malzemenin elastik bölgesinde elastik burkulma kontrolü yapılır, API Annex V 8.1.1.
- 3-Toplam dönüştürülmüş yükseklik bulunur, API Annex V 8.1.4.
- 4-Tank kabuğundaki izin verilen dış basınç hesaplanır, API Annex V 8.1.2.
- Eğer dış yüklerin etkileri daha yüksekse, tank duvarının atalet momenti artırılmalıdır. Yani takviye halkaları kullanılabilir.

DIŞ BASINÇ

- Tank atalet momentini artırmanın iki yolu vardır;
- 1-Kalınlığı artırmak; plak kalınlığı artırılması yüksek maliyetlidir, yüksek kalınlıklar için kaynaklama işlemi yapılmalıdır, bu yöntem sadece küçük boyutlarda uygulanabilir.
- 2-Takviye halkaları uygulamak; en yaygın yöntem, eğilmiş profiller gerektirir, plaklar ve profiller kullanılabilir.
- Halkalar arası mesafe, halka sayısı; API Annex V 8.2.1
- Gereken kesit; Annex V 8.2.6

ÇATI TASARIMI

- Sabit çatılı tanklar ortam sıcaklığında büyük miktarda uçucu olmayan ürün depolar.
- Kullanımı daha yaygındır.
- Buharlaştırılabilir sıvı depolamasında ise sıvı seviyesi ve çatı arasında bir buhar bölgesi oluşur. Bu bölgeyi engellemek için sıvının üzerinde yüzen ekipmanlar kullanılır.



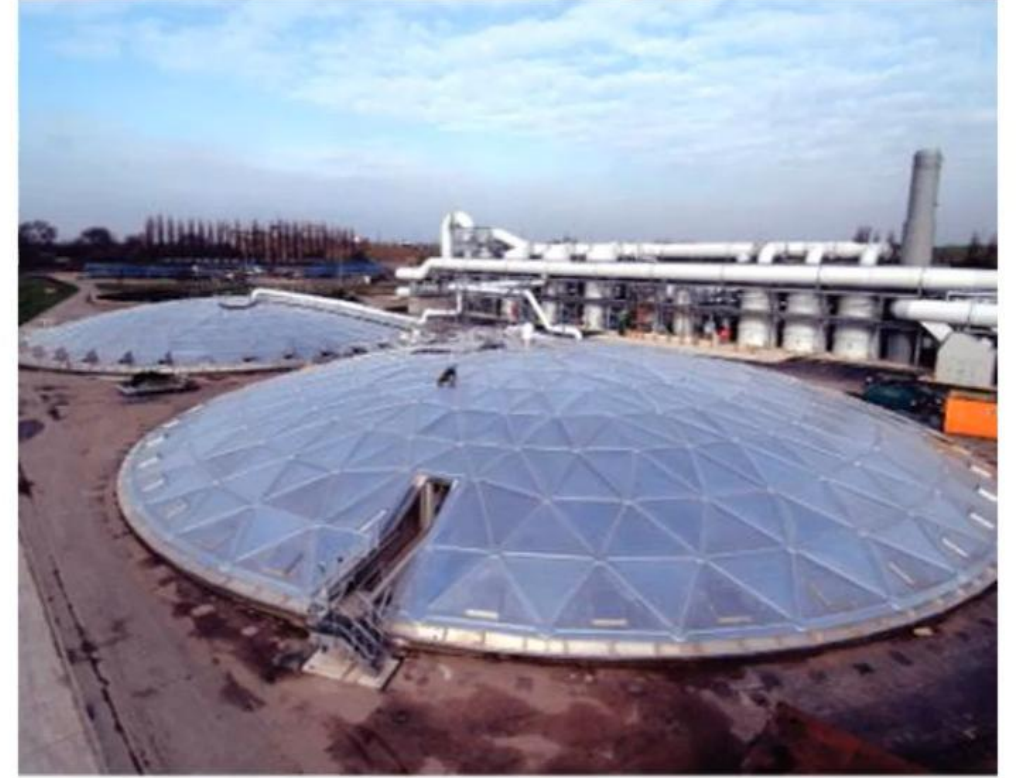
SABİT ÇATI TASARIMI

- Çatı şekilleri;
- Konik çatı
- Kubbe çatı
- Şemsiye çatı
- Aynı zamanda çatılar kendinden destekli veya dışarıdan destekli olabilir.
- Kalınlık hesabı API 650 5.10.5.1
- Kalınlık maksimum 13mm, min 5mm (korozyon paysız)
- Eğim max 37°, minimum 9.5°



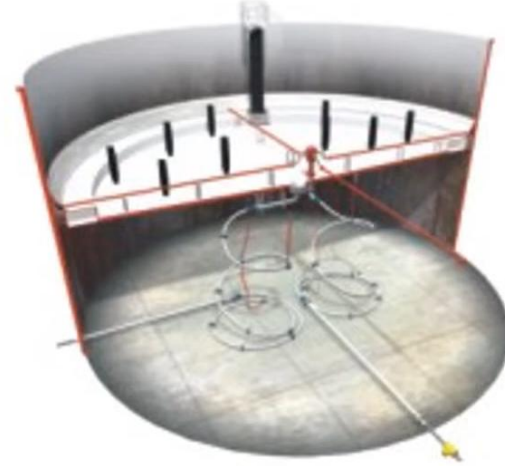
SABİT ÇATI TASARIMI

- Aluminum dome
- Daha hafif
- Kendinden destekli
- Daha pahalı
- Cıvatalı montajlı
- Üçgen yapı
- Büyük çaplı tanklar
- Tasarım Kriterleri:
- Ek G



YÜZEN ÇATI TASARIMI

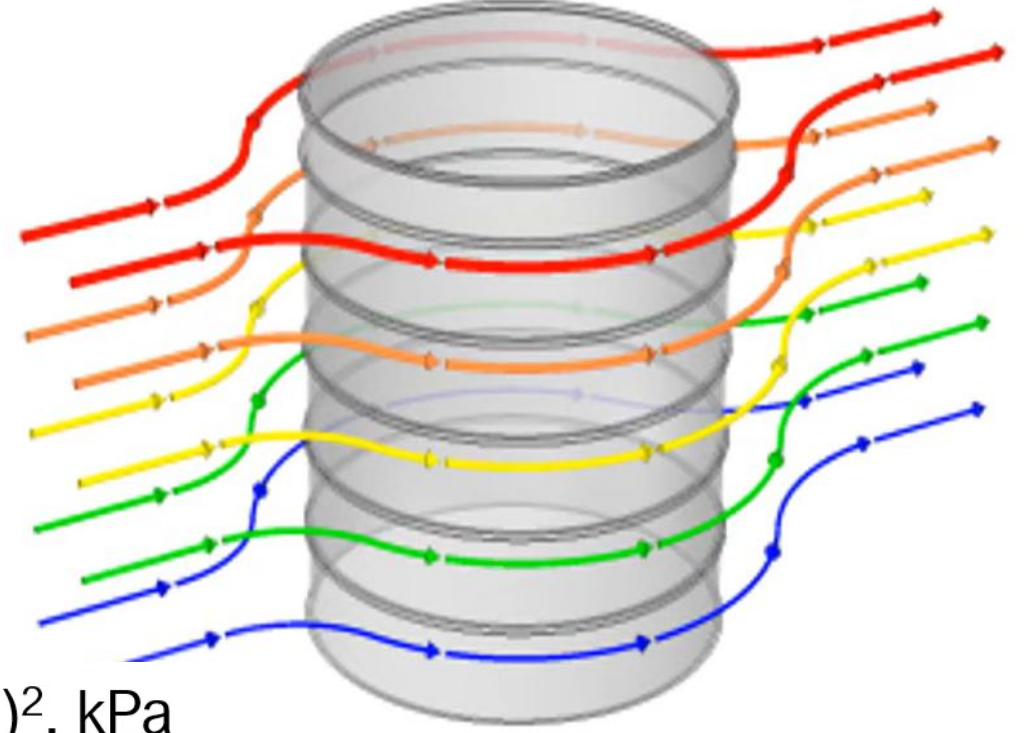
- Yüzen çatı türleri
- Yüzen çatılar içte veya dışta olabilir.
- Ortak özellikler: buharlaşma kayıplarını azaltır.
- İçte yüzen çatıda sıvının, rüzgar, kum, yağmur, kar toz gibi dış etkenlerden kirlenmesi önlenir. Ayrıca yapımı ve bakımı daha kolaydır. Güneşle direkt teması olmadığı için seal eleman malzeme dayanıklılığı daha yüksektir.
- Dışta yüzen çatı, daha yüksek depolama hacmi için daha iyi. Ayrıca daha ucuzdur.



- Single veya double deck olarak teşkil edilebilir.
- API 650 Annex C

RÜZGAR ETKİSİ

- API 650 5.2.1k
- Rüzgar hızı;
- Sahanın konumuna bağlıdır.
- ASCE, UBC gibi farklı yönetmelikler
- API 650'de minimum tasarım rüzgar hızı: 190 Km/h
- Rüzgar basıncı da rüzgar hızına bağlıdır.
- API 650 5.2.1k
- Tank kabuğundaki rüzgar basıncı; $P_{ws}: 0,86 \times (V/190)^2$, kPa
- Çatıda uplift basıncı: $P_{WR}: 1,44 \times (V/190)^2$, kPa



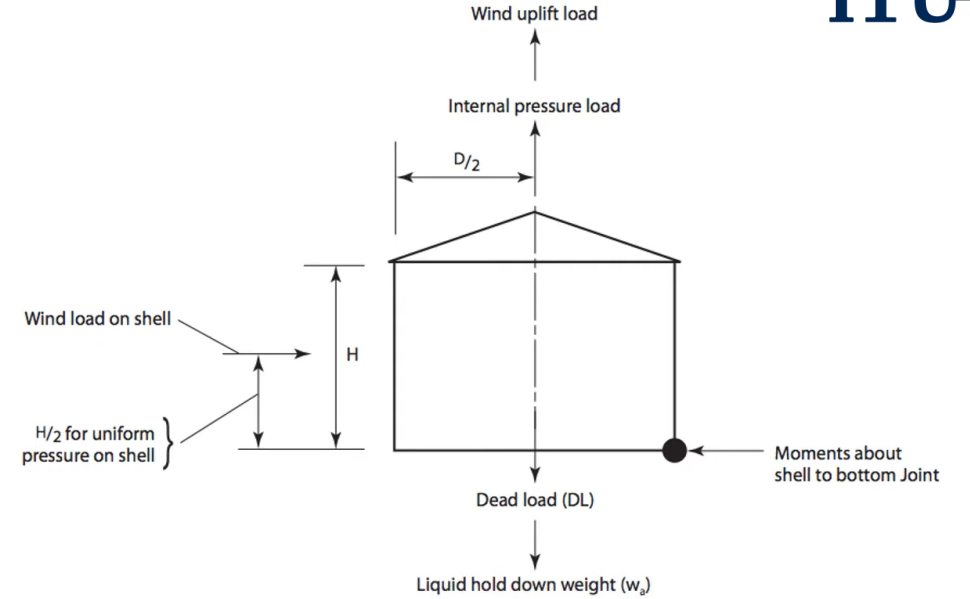
RÜZGAR ETKİSİ

- Genel doğrulama / Bölüm 5.11.2
- Yükler tanımlandıktan sonra 3 duruma göre kontrol;

$$0.6M_w + M_{pi} < M_{DL}/1.5 + M_{DLR}$$

$$M_w + F_p(M_{pi}) < (M_{DL} + M_F)/2 + M_{DLR}$$

$$M_{ws} + F_p(M_{pi}) < M_{DL}/1.5 + M_{DLR}$$

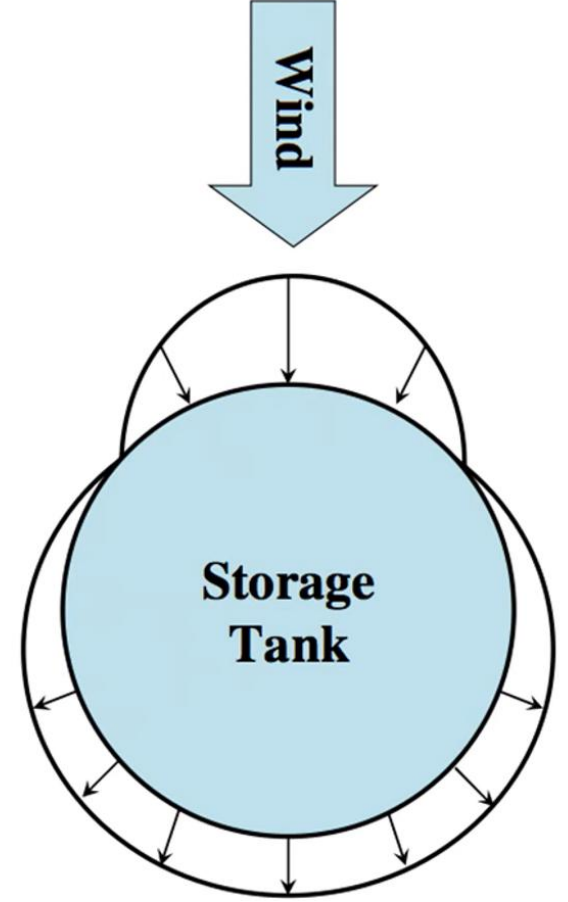


- 3 koşuldan biri sağlanmazsa bile, ankraj bulonları kullanılması gerekir.
- M_w : rüzgardan dolayı devrilme momenti
- M_{pi} : iç basınçtan dolayı devrilme momenti
- F_p : işletme ve tasarım basıncı oranı < 0.4
- M_{DL} : tank ağırlığından dolayı dayanım momenti
- M_F : sıvı ağırlığından dolayı dayanım momenti
- M_{DLR} : çatı ağırlığından dolayı dayanım momenti
- M_{ws} : yatay rüzgardan dolayı devrilme momenti

RÜZGAR ETKİSİ

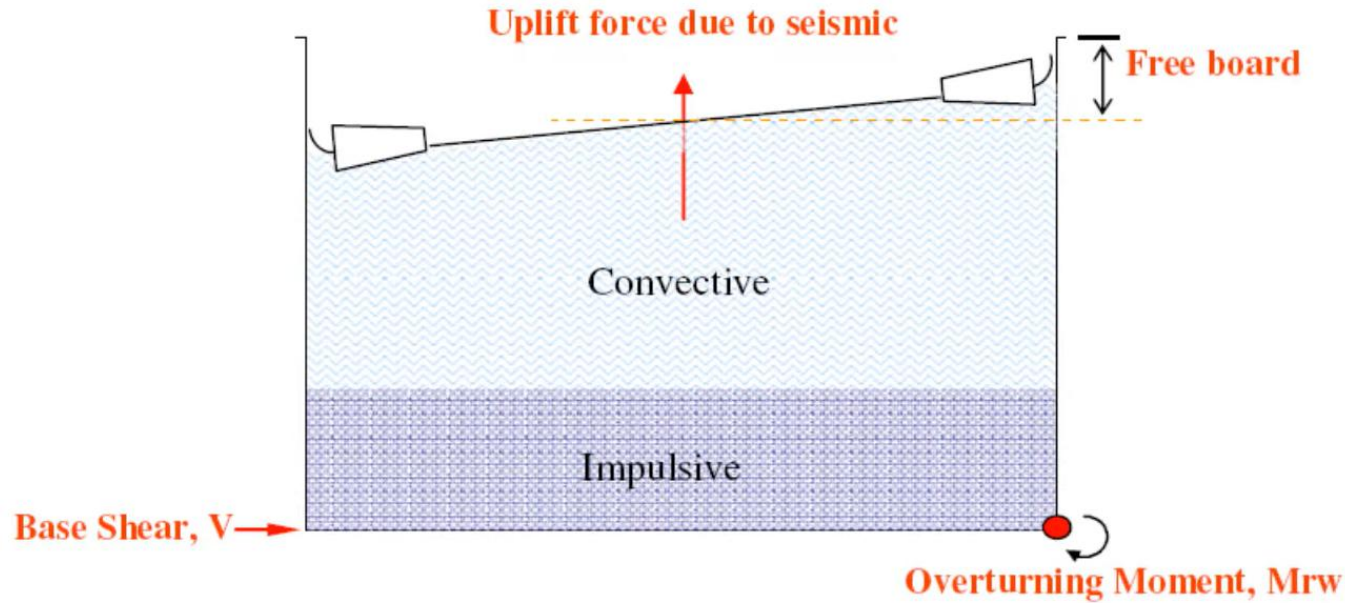
- Rüzgardan dolayı yatay kayma
- Rüzgar kaynaklı yatay yük, tank kapasitesinden küçük olmalıdır.
- F_s : tank kabuğundaki yük
- F_w : kapasite yükü
- $F_w = T_w * F_f$
- T_w : tank ağırlığı
- F_f : sürtünme faktörü (max 0.4) (Bölüm 5.11.4)

$$F_w > F_s$$



DEPREM ETKİSİ

■ Deprem hesabı / Annex E



- Devrilmeye karşı tank stabilitesi
- Ankraj bulonlarının sayısı ve boyutu
- Taban kesme kuvvetine karşı kayma mukavemeti
- Çalkalanma etkisi sebebiyle serbest kısım

DEPREM ETKİSİ

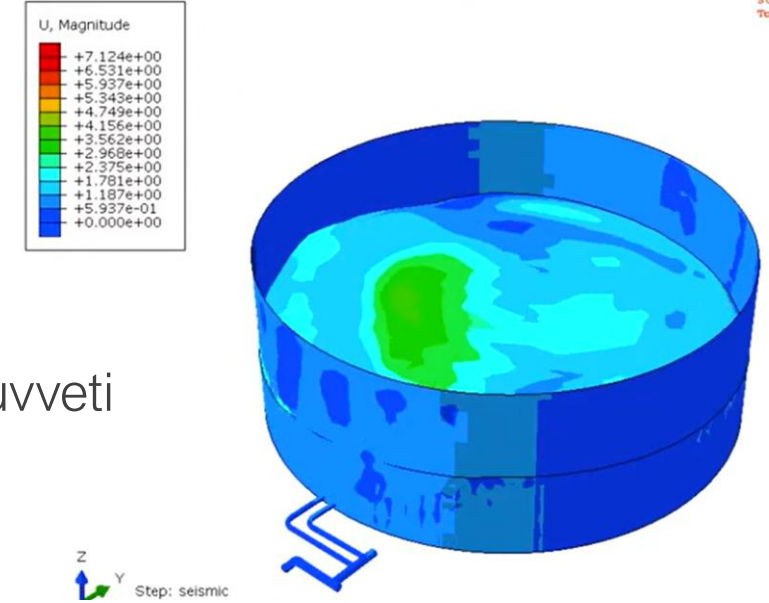
- Deprem hesabı / Annex E
- Sismik tepki hesaplanır, spektral ivme
- Tasarım yükleri hesaplanır, devrilme momenti ve taban kesme kuvveti
- Dayanım yükleri hesaplanır.
- Sıvının davranışı: impulsive ve convective

Impulsive

- Tankın tabanındaki sıvı kısmı
- Tank ile birlikte hareket eder
- Eşit ivme ve deplasmanlara sahip

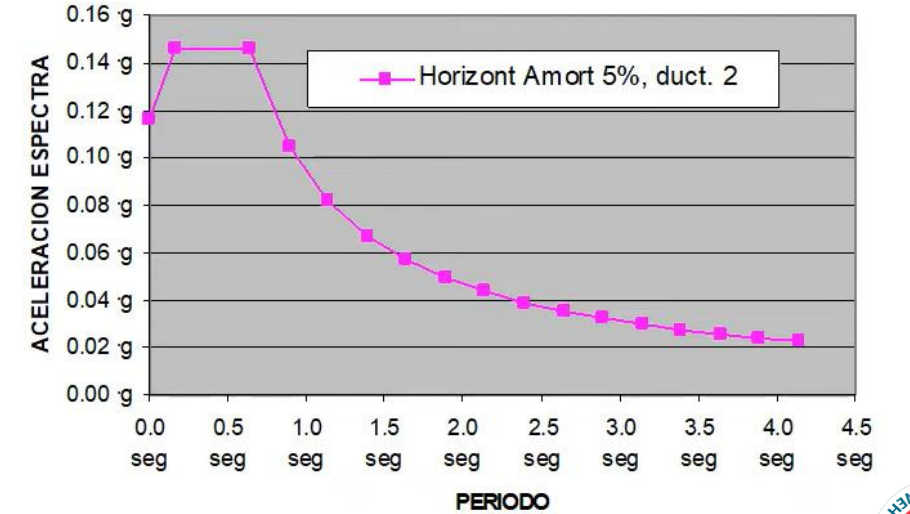
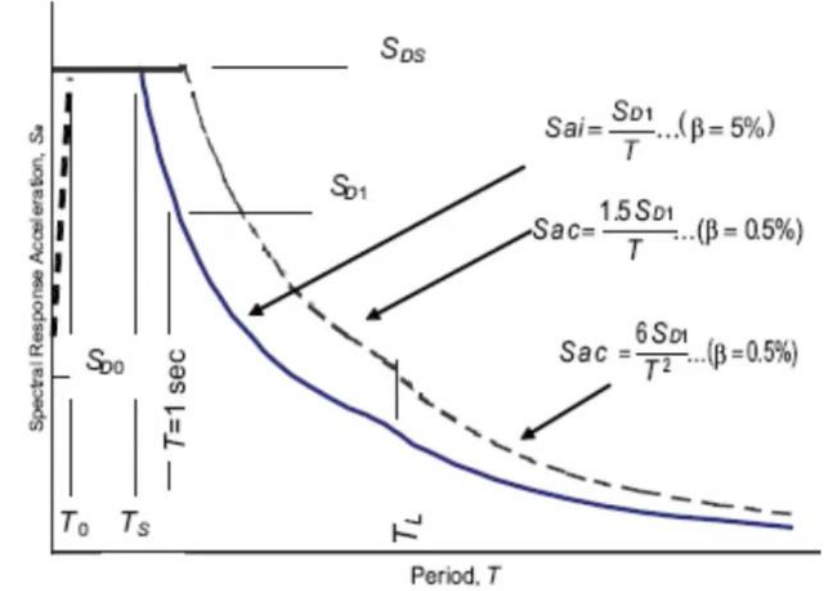
Convective

- Tankın üst kısmındaki sıvı kısmı
- Çalkalanmadan sorumlu
- Doğal titreşim periyodu çok daha büyük



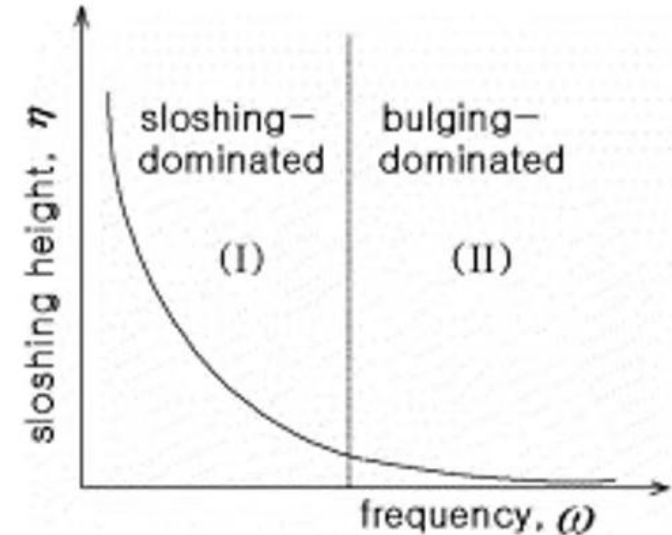
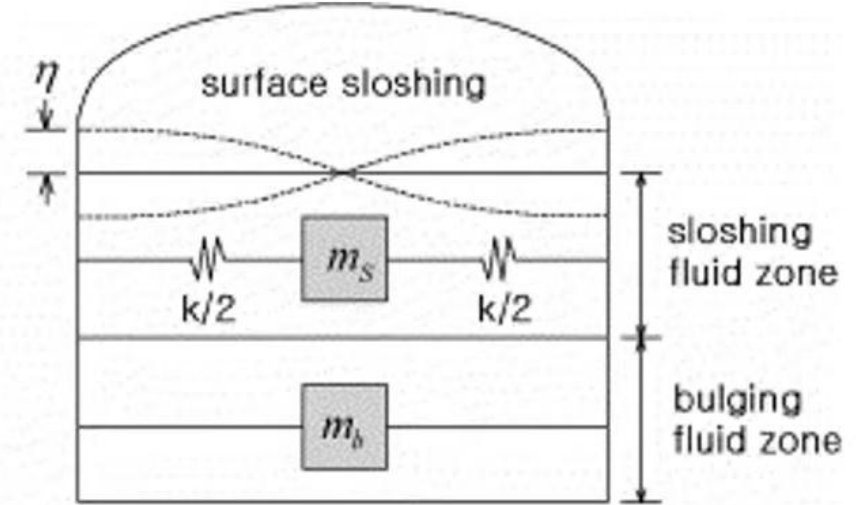
DEPREM ETKİSİ

- Spektral ivme / Annex E.6.1
- 1. Tankın doğal titreşim periyodu belirlenir.
- E.4.5 / T_i ve T_c
- 2. Spektral tepki belirlenir.
- E.4.6 / impulsive ivme, A_i , convective ivme, A_c



DEPREM ETKİSİ

- Spektral ivme / Annex E.6.1
- 3. Efektif ağırlık / E. 6.1.1
- Impulsive ağırlık (W_i)
- Convective ağırlık (W_c)
- 4. Etki noktaları / E. 6.1.2.1
- Impulsive koordinat (X_i)
- Convective koordinat (X_c)



DEPREM ETKİSİ

- Tasarım yükleri / devrilme momenti / E. 6. 1. 5
- Impulsive ve convective moment
- M_{rw} =tank duvarı tabanındaki devrilme momenti
- A_i/A_c = spektral ivme
- W_s/r = tank ağırlığı
- W_i = impulsive ağırlık
- W_c = convective ağırlık
- X_i/X_c = tabandan itibaren ağırlık etki noktaları

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_iX_i + W_sX_s + W_rX_r)]^2 + [A_c(W_cX_c)]^2}$$

DEPREM ETKİSİ

- Tasarım yükleri / taban kesme / E. 6.1
- Impulsive ve convective kesme
- V = toplam taban kesme
- V_i = impulsive kesme
- V_c = convective kesme
- A_i = impulsive ivme
- A_c = convective ivme
- W_s = duvar ağırlığı
- W_r = çatı ağırlığı
- W_f = taban ağırlığı
- W_i = impulsive ağırlığı
- W_c = convective ağırlık

$$V_i = A_i(W_s + W_r + W_f + W_i)$$

$$V_c = A_c W_c$$

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2}$$

DEPREM ETKİSİ

- Tasarım yüklerine dayanım
- Kendinden destekli tanklar:
- J faktörü / E.6.2.1.1
- w_t = tabana etkiyen duvar ve çatı ağırlığı
- J = ankraj oranı
- M_{rw} = tank duvarı tabanında devrilme momenti
- W_s = duvar ağırlığı
- w_{rs} = duvara etkiyen çatı ağırlığı
- D = nominal tank çapı
- A_v = düşey deprem ivmesi katsayısı
- w_a = uplift etkisine dayanım kuvveti
- w_{int} = iç basınç yükü

Anchorage Ratio J	Criteria
$J \leq 0.785$	No calculated uplift under the design seismic overturning moment. The tank is self-anchored.
$0.785 < J \leq 1.54$	Tank is uplifting, but the tank is stable for the design load providing the shell compression requirements are satisfied. Tank is self-anchored.
$J > 1.54$	Tank is not stable and cannot be self-anchored for the design load. Modify the annular ring if $L < 0.035D$ is not controlling or add mechanical anchorage.

J faktörü / E.6.2.1.1

$$w_t = \left[\frac{W_s}{\pi D} + w_{rs} \right]$$

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2 [w_t (1 - 0.4A_v) + w_a - 0.4w_{int}]}$$

DEPREM ETKİSİ

- Tasarım yüklerine dayanım
- Deprem yüklerine dayanamayan tanklar;
- E.6.2.1.2
- Ankraj bulonları
- w_t = duvar tarafından desteklenen çatı ağırlığı
- M_{rw} = tank duvarında devrilme momenti
- D = nominal tank çapı
- A_v = düşey deprem ivmesi katsayısı
- n_A = bulon sayısı

Bolts design load

$$P_{AB} = w_{AB} \left(\frac{\pi D}{n_A} \right)$$

Uplift load

$$w_{AB} = \left(\frac{1.273 M_{rw}}{D^2} - w_t (1 - 0.4 A_v) \right)$$

DEPREM ETKİSİ

- Kayma dayanımı
- Tankın yer değiştirmesine sebep olabilecek taban kesme kuvveti / API 650 E.7.6
- Ankrajlı tanklarda hesap gerekmez
- Kendinden destekli tanklarda dayanım sürtünme kuvvetinin doğrulanması gerekir.
- V = taban kesme
- V_s = Dayanım kuvveti
- μ = sürtünme faktörü
- A_v = düşey deprem spektral ivme
- $W_s/W_r/W_f/W_p$ = tank bileşenlerinin ağırlığı

$$V_s = \mu(W_s + W_r + W_f + W_p)(1.0 - 0.4A_v)$$

$$\text{If } V_s \geq V \rightarrow \text{Ok}$$

DEPREM ETKİSİ

- Serbest yüzey hesabı / E.7.2-1
- Depremde sloshing davranışı önemli
- Sıvının dökülmesi, taşması gibi durumların önüne geçilmesi için serbest yüzey boşluğunun belirlenmesi gerekir.
- Sıvının convective kısmına ve yüksekliğine bağlıdır. D = nominal tank çapı
- Af = sloshing ivme katsayısı / E.7.2-2/5 → SUG, convective titreşim periyodu

$$\delta_s = 0.5DA_f$$

Value of S_{DS}	SUG I	SUG II	SUG III
$S_{DS} < 0.33g$	(a)	(a)	δ_s (c)
$S_{DS} \geq 0.33g$	(a)	$0.7\delta_s$ (b)	δ_s (c)

a. A freeboard of $0.7\delta_s$ is recommended for economic considerations but not required.
 b. A freeboard equal to $0.7\delta_s$ is required unless one of the following alternatives are provided:

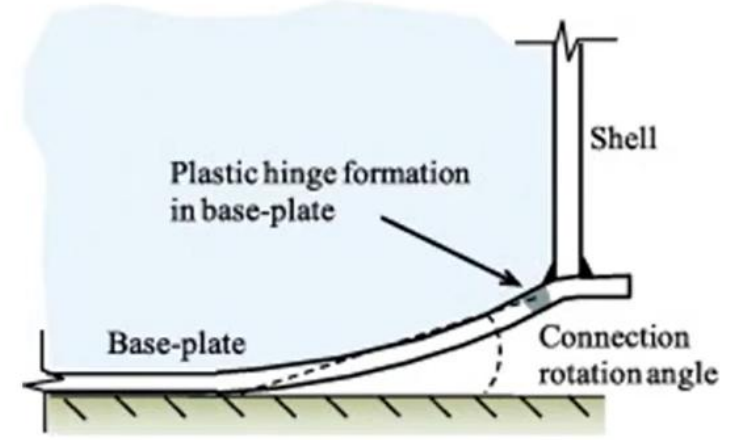
1. Secondary containment is provided to control the product spill.
2. The roof and tank shell are designed to contain the sloshing liquid.

 c. Freeboard equal to the calculated wave height, δ_s , is required unless one of the following alternatives are provided:

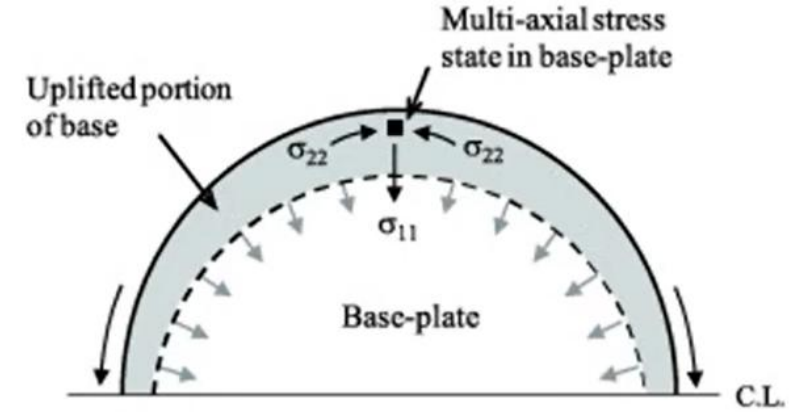
1. Secondary containment is provided to control the product spill.
2. The roof and tank shell are designed to contain the sloshing liquid.

ANKRAJ BULONU TASARIMI

- Ankraj tasarım koşulları / Bölüm 5.12
- Rüzgara göre / 5.11
- Depreme göre / E6
- İç basınca göre / F7
- Uplift davranışına dayanım
- $t_b = U/N$
- t_b = Her bulona etkiyen yük
- N = bulon sayısı
- U = net uplift yükü
- Bulon emniyet gerilmeleri / Tablo 5-21



(a)



(b)

ANKRAJ BULONU TASARIMI

Uplift Load Case	Net Uplift Formula, U (N)	Allowable Anchor Bolt Stress (MPa)	Allowable Shell Stress at Anchor Attachment (MPa)
Design Pressure	$[(P - 0.08t_h) \times D^2 \times 785] - W_1$	$^{5/12} \times F_y$	$^{2/3} F_{ty}$
Test Pressure	$[(P_t - 0.08t_h) \times D^2 \times 785] - W_1$	$^{5/9} \times F_y$	$^{5/6} F_{ty}$
Failure Pressure ^a	$[(1.5 \times P_f - 0.08t_h) \times D^2 \times 785] - W_3$	F_y	F_{ty}
Wind Load	$P_{WR} \times D^2 \times 785 + [4 \times M_{WH}/D] - W_2$	$0.8 \times F_y$	$^{5/6} F_{ty}$
Seismic Load	$[4 \times M_{rw}/D] - W_2 (1 - 0.4A_v)$	$0.8 \times F_y$	$^{5/6} F_{ty}$
Design Pressure ^b + Wind	$[(F_p P + P_{WR} - 0.08t_h) \times D^2 \times 785] + [4 M_{WH}/D] - W_1$	$^{5/9} \times F_y$	$^{5/6} F_{ty}$
Design Pressure ^b + Seismic	$[(F_p P - 0.08t_h) \times D^2 \times 785] + [4 M_{rw}/D] - W_1 (1 - 0.4A_v)$	$0.8 \times F_y$	$^{5/6} F_{ty}$
Frangibility Pressure ^c	$[(3 \times P_f - 0.08t_h) \times D^2 \times 785] - W_3$	F_y	F_{ty}

where

- A_v is the vertical earthquake acceleration coefficient, in % g;
- D is the tank diameter, in meters;
- F_p is the pressure combination factor;
- is the minimum yield strength of the bottom shell course, in MPa;

Bölüm 5.12'ye göre

- Minimum bulon sayısı 4
- Bulonlar arası maksimum mesafe 3m
- Bulon minimum çapı: 25mm



KÖTÜ ANKRAJ UYGULAMALARI



GÖZLEMLERE DAYALI ÇALIŞMALAR

Yayın yazarları	Yıl	Tank sayısı
O'Rourke ve So	2000	423
American Lifelines Alliance	2001	532
D'amico ve Buratti	2018	3026

- ❖ Tez kapsamında bu sayı 4511'e çıkarılmıştır.
- ❖ 32 deprem
- ❖ Detaylar tablodadır.
- ❖ 101 sonlu eleman analizi

Deprem	PGA aralığı (g)	Tank sayısı	Referanslar
Long Beach, 1933	0.358-0.448	52	(T. W. Cooper vd., 1997)
Kern County, 1952	0.114-0.351	64	(Steinbrugge & Moran, 1954a)
Alaska, 1964	0.20-0.384	40	(Belanger, 1973; Hanson, 1973)
San Fernando, 1971	0.12-0.86	35	(T. W. Cooper vd., 1997)
Managua, 1972	0.39	3	(Eidinger vd., 2001)
Miyagi, 1978	0.285	73	(Kawano vd., 1978)
Imperial Valley, 1979	0.378-0.467	29	(Haroun, 1983)
Greenville, 1980	0.167	1	(Stratta, 1980)
Coalinga, 1983	0.187-0.45	52	(Kiremidjian vd., 1985; Mavko vd., 1985; Scholl & Stratta, 1984)
Central Japan Sea, 1983	0.05	3	(Fire Department Dangerous Goods Security Room, 2011)
Chile, 1985	0.23-0.28	163	(Booth & Taylor, 1988; Connor, 1985; EERI, 1986; Pineda vd., 2012)
Adak, 1986	0.2	3	(Eidinger vd., 2001)
New Zealand, 1987	0.3-0.5	11	(Hashimoto & Tiong, 1989)
Loma Prieta, 1989	0.1-0.55	1824	(Ballantyne & Crouse, 1997; T. W. Cooper vd., 1997; EEFIT, 1993; EERI & National Research Council, 1989; Schiff & Holzer, 1998)
Costa Rica, 1991	0.24	37	(Mitchell & Tinawi, 1992a; Santana, 1992; Shea, 1991)
Landers, 1992	0.19-0.553	33	(T. W. Cooper vd., 1997; EQE Engineers and Consulting, 1993)

GÖZLEMLERE DAYALI ÇALIŞMALAR

Yayın yazarları	Yıl	Tank sayısı
O'Rourke ve So	2000	423
American Lifelines Alliance	2001	532
D'amico ve Buratti	2018	3026

- ❖ Tez kapsamında bu sayı 4511'e çıkarılmıştır.
- ❖ 32 deprem
- ❖ Detaylar tablodadır.
- ❖ 101 sonlu eleman analizi

Hasar sınıfı	Hasar tanımı	#1	#2
DS1	Hasar yok veya düşük seviyede hasar meydana gelmesi.	4511	4612
DS2	Ankraj, taban plakası, duvar, boru sistemi, temel gibi bölümlerde orta seviyede hasarın meydana gelmesi. Ayrıca sıvı çalkalanması sebebiyle çatı ve duvarın üst kısmında düşük seviyede hasarın oluşması.	1299	1400
DS3	Belirtilen bölümlerde büyük hasarın meydana gelmesi.	724	728
DS4	Belirtilen bölümlerde aşırı hasarın meydana gelmesi. Ayrıca fil ayağı burkulması ve taban-duvar arasında hasarın oluşması.	285	285
DS5	Tank göçmesi, yer değiştirmesi, devrilmesi, ileri seviyede fil ayağı burkulması, duvar yırtılması hasarları.	129	129

Deprem	PGA aralığı (g)	Tank sayısı	Referanslar
Northridge, 1994	0.23-0.9	104	(T. Cooper & Wachholz, 1994; Hall & Earthquake Engineering Research Institute, 1995; Merriman & Williams, 1994)
Chi-Chi, 1999	0.057-0.137	6	(Yochida vd., 2000; Zama, 2003)
Kocaeli, 1999	0.23	50	(Girgin, 2011; Sarı & Korkmaz, 2007; Sezen vd., 2000; Sezen & Whittaker, 2006; Steinberg vd., 2001; Suzuki, 2002)
Bhuj, 2001	0.236	2	(EERI, 2001; Madabhushi & Haigh, 2005)
Bam, 2003	0.413-0.497	7	(Eshghi & Razzaghi, 2005)
Tokachi-Oki, 2003	0.1	177	(Hatayama, 2008)
Zarand, 2005	0.205	11	(Razzaghi & Eshghi, 2015)
Silakhor, 2006	0.12-0.44	28	(Razzaghi & Eshghi, 2015)
Central Peru, 2007	0.34-0.474	104	(Hopkins vd., 2008; Taucer vd., 2009)
Haiti, 2010	0.78	2	(Edwards, 2012)
Chile, 2010	0.24-0.334	202	(Herrera & Beltran, 2012; Moehle vd., 2010; Pineda vd., 2012)
Tohoku, 2011	0.031-0.359	33	(Fire Department Fire Research Centre, 2011)
New Zealand, 2013	0.11-0.40	546	(Yazdanian vd., 2020)
Napa Valley, 2014	0.234-0.65	12	(Almutfi vd., 2014; Fischer, 2014a, 2014b)
New Zealand, 2016	0.23-0.36	802	(Yazdanian vd., 2020)
KMaraş, 2023	0.6	2	(Dilsiz vd., t.y.; Hancılar vd., 2023)

GEÇMİŞ DEPREMLER

1994, Northridge



1999, Kocaeli



Zama ve diğ. (2012)

Öztürk ve diğ. (2019)

2016, Yeni Zelanda



Yazdanian ve diğ. (2019)



Öztürk ve diğ. (2024)

GÖZLEMLERE DAYALI ÇALIŞMALAR

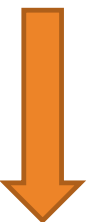
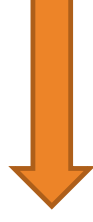
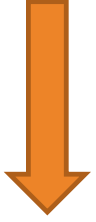
■ Küresel tanklar

Deprem	Yıl	PGA (g)	Tank Sayısı
Kern County	1952	0.2	2
Miyagi Ken Oki	1978	0.3	1
Chile	1985	0.332	4
Costa Rica	1991	0.2	1
Kobe	1995	0.5	1
Kocaeli	1999	0.23;0.32	2
Bhuj	2001	0.236	5
Kashiwazaki	2007	0.2	1
Chile	2010	0.56	2
Tohoku	2011	0.114	1

◆ Yatay silindirik tanklar

Deprem	Yıl	PGA (g)	Tank Sayısı
Kern County	1952	0.15; 0.2	5
Coalinga	1983	0.43	1
Morgan Hill	1984	0.32	1
Chile	1985	0.24-0.332	12
Loma Prieta	1989	0.5	1
Costa Rica	1991	0.24	4
Northridge	1994	0.61	5
Kocaeli	1999	0.23	1

SEA / Kayıt Seçimi



Yakın fay hareketleri
(ileri yönelim etkisi
içeren)
49 adet

Yakın fay hareketleri
(ileri yönelim etkisi
içermeyen)
26 adet

Yakın fay hareketleri
(sıçrama adımı etkisi
içeren)
10 adet

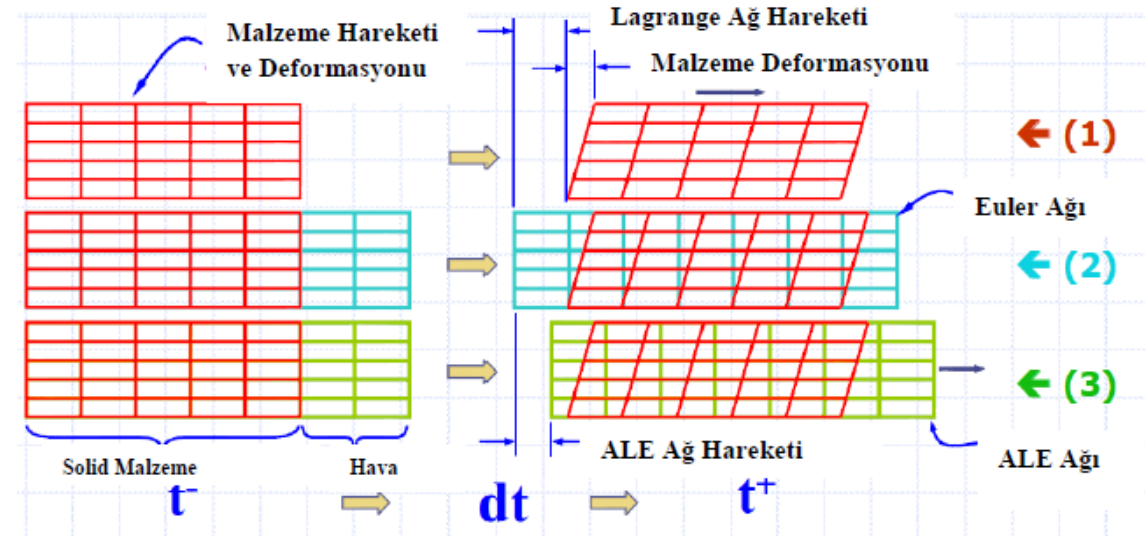
Uzak fay hareketleri
25 adet

Kahramanmaraş
depremleri
10 adet

- Shome ve diğ. (1998)
- Bray ve Rodriguez (2004)
- Kalkan ve Kunnath (2006)
- Düşey silindirik depolama tankı için 101 analiz, Küresel depolama tankı için 720 analiz, Yatay silindirik depolama tankı için 120 analiz
- Zaman tanım alanında yapılacak analizler eğer belirli bir bölgedeki yapı için geçerliyse kayıtları sahaya uygun olarak seçmek ve ölçeklemek gerekmektedir. Ancak tez çalışması kapsamında genel bir inceleme yapılması hedeflendiğinden belirli bir tasarım spektrumu göz önüne alınmamış, deprem kayıtları sadece yakın-fay ve uzak-fay yer hareketi kayıtları olarak gruplandırılmıştır.

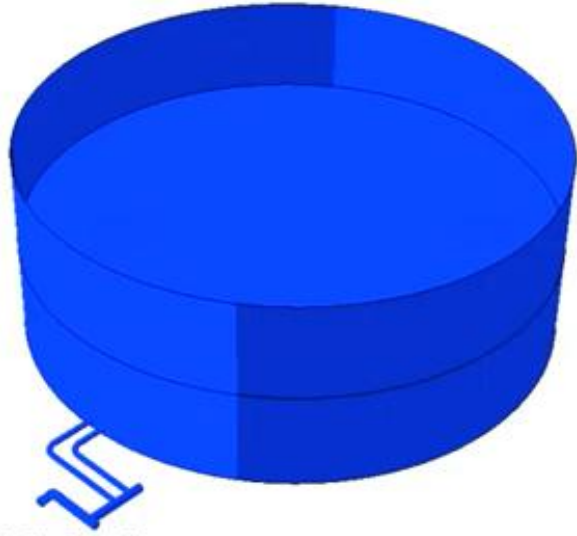
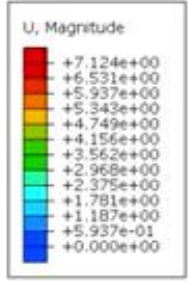
SONLU ELEMAN ANALİZLERİ / SIVI YAPI ETKİLEŞİMİ

- **Lagrange** yaklaşımında sonlu elemanlar ağı (mesh), malzemeyle birlikte hareket eder. Bu şekilde malzeme sınırları doğrulukla belirlenir ve sınır koşulları kolaylıkla uygulanabilir. Genelde yapısal mekanikte kullanılan bu yaklaşım oldukça ekonomik olmasına karşın malzemenin aşırı şekil değiştirdiği durumlarda ağda da meydana gelen şekil değiştirmeler sebebiyle analizin doğruluğu azalmakta ve çözüm nümerik olarak stabil durumunu kaybedebilmektedir.
- **Euler** yaklaşımında sonlu elemanlar ağı sabittir ve malzeme bu ağın içinde hareket etmektedir. Genellikle sıvıların mekaniğinde kullanılan bu algorithmada ağ ve malzeme bağımsız olduğu için malzemenin yüksek genlikli hareketleri ağda bir deformasyon sorunu oluşturmaz. Fakat malzeme ağa göre göreceli olarak hareket ettiği için ilave olarak ortaya çıkan konveksiyonel terimler diferansiyel denklemlerin çözümünde zorluklara sebep olur. Euler algoritmasında malzemelere ait sınırların kesin olarak belirlenmesi ve sınır koşullarının uygulanması zorlaşır. Ayrıca, malzemenin içinde hareket edebileceği bütün ortamın ağ ile tanımlanması gerekir.
- Coupled Eulerian Lagrangian teknik / Abaqus. Sıvı sızıntısı sorunu, 100'ün üzerinde analiz.
- Sıvının Lagrangian olarak modellenmesi ve ALE Adaptive Mesh avarı



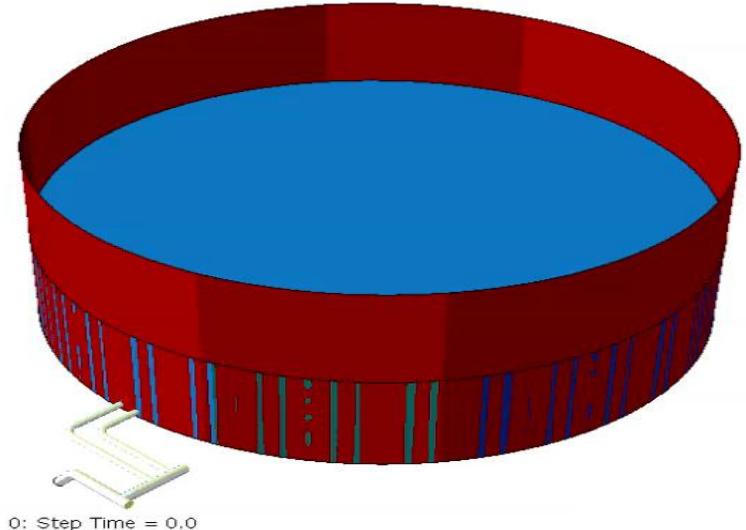
Do ve Day (2005),
Akgül (2022)

SONLU ELEMAN ANALİZLERİ



Step: seismic
Increment: 0: Step Time = 0.0
Primary Var: U, Magnitude
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+00

Step: seismic Frame: 0
Total Time: 0.000000



Step: seismic
Increment: 0: Step Time = 0.0
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+00

Step: seismic Frame: 0
Total Time: 0.000000

SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

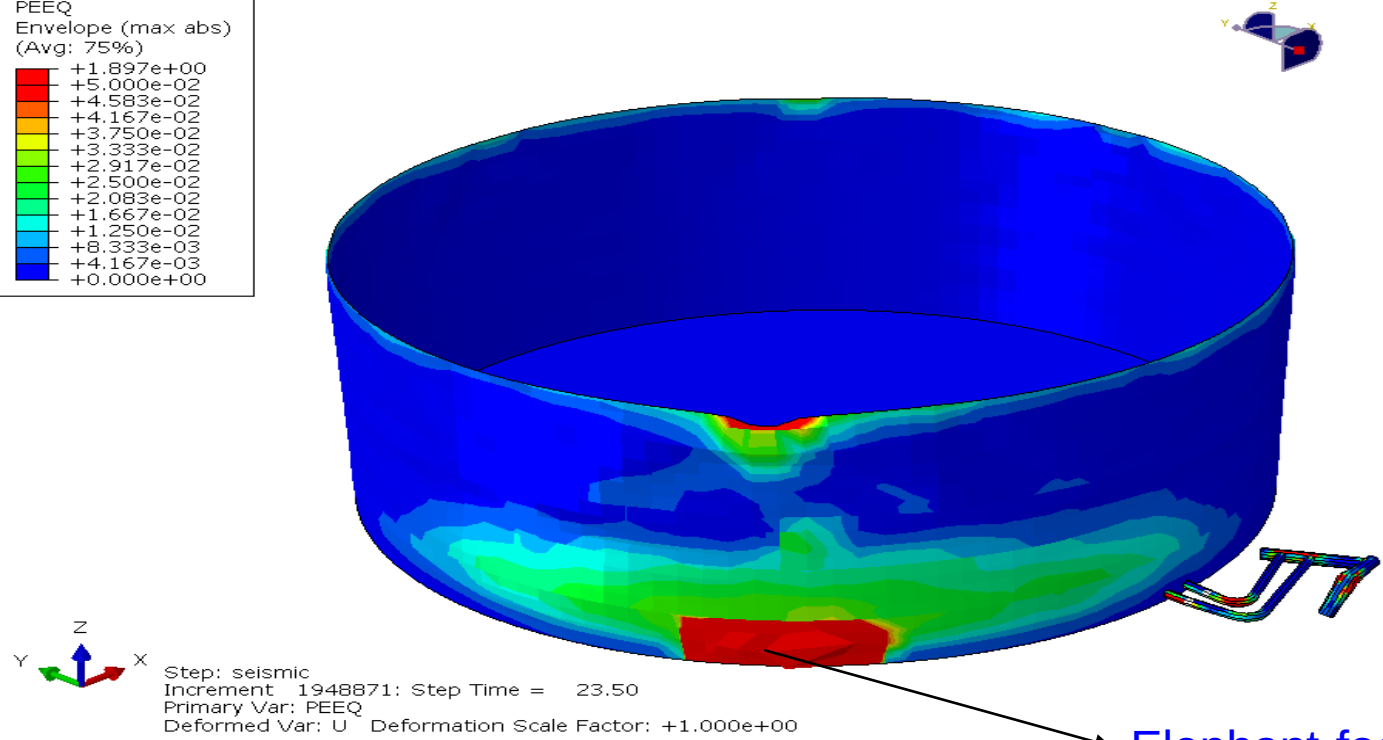
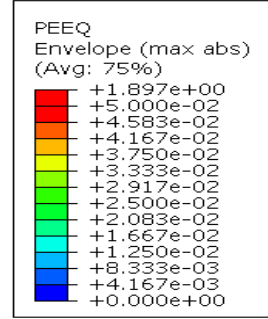
Red color indicates 5% plastic strain
Max = 189%

Elephant-foot buckling with major loss of containment, severe damage

Damage = DS4

Rupture size = 11×4.5 m

Containment loss = 100%

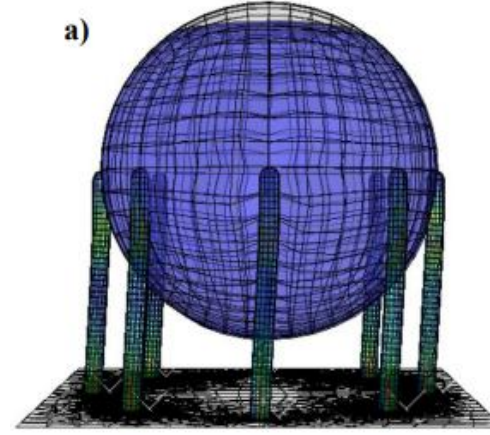


Elephant-foot buckling

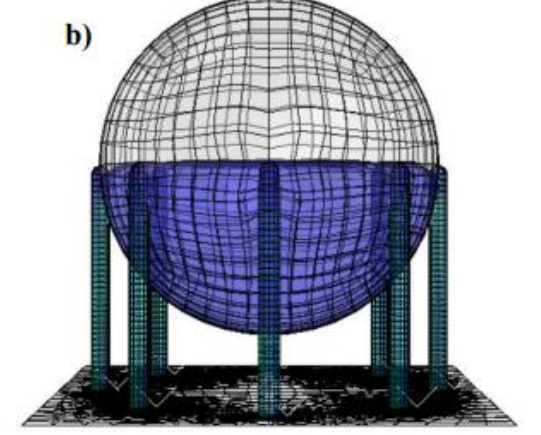
SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

Model	Tank çapı (m)	Kolon sayısı	Sıvı doluluk oranı (%)	Çapraz eleman durumu
#1	12	8	90	Yok
#2	12	8	50	Yok
#3	12	7	90	Var
#4	12	7	50	Var
#5	12	7	90	Yok
#6	12	7	50	Yok

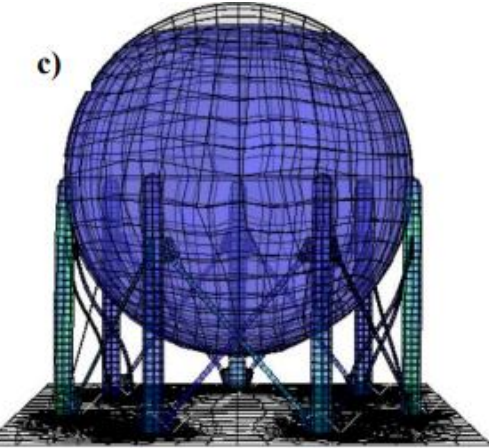
Kaynaklı birleşimlerde plastik şekil değiştirme sınırı: %5
(API/ISO 19901-3 Petroleum and natural gas industries)



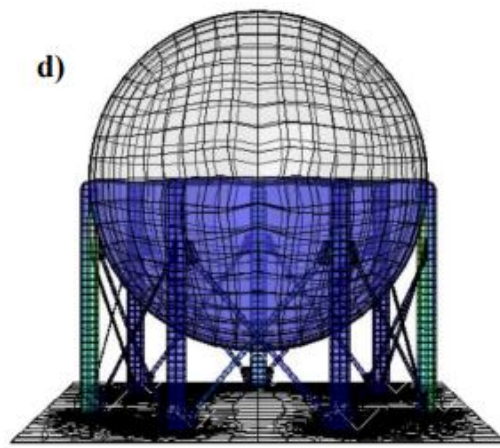
Model 1



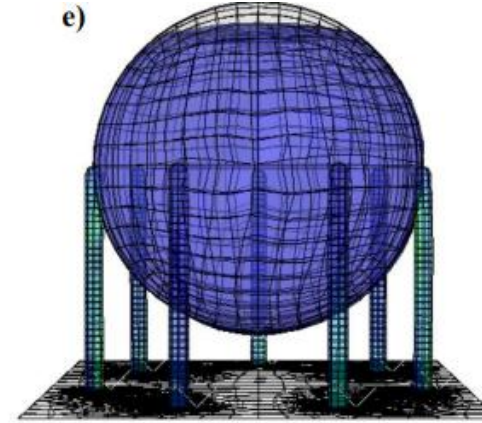
Model 2



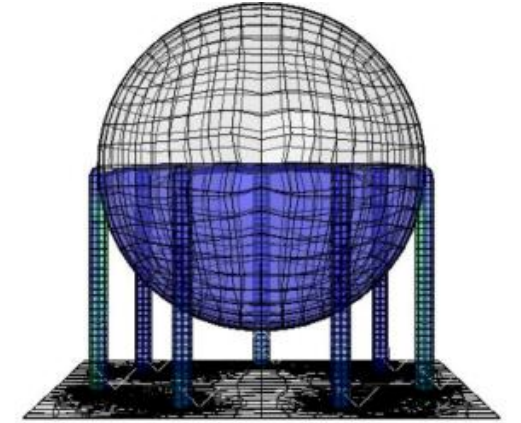
Model 3



Model 4



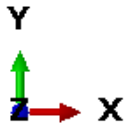
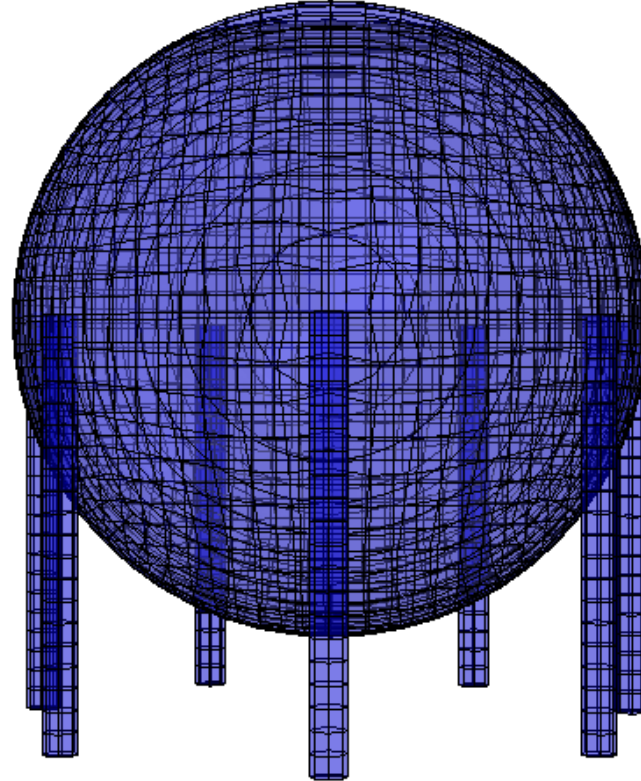
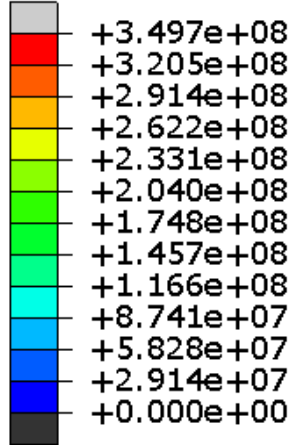
Model 5



Model 6

SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

S, Mises
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



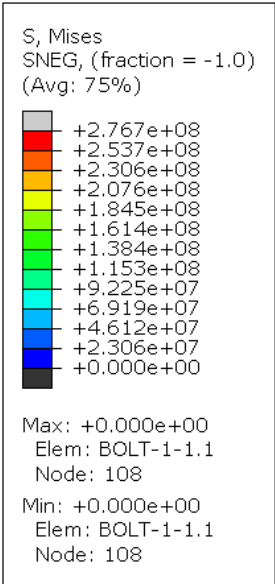
ODB: spherical_water31.odb Abaqus/Explicit 3DEXPERIENCE R2017x Mon Feb 06 11:12:17 GMT+03:00 2023

Step: earthquake
Increment 0: Step Time = 0.0
Primary Var: S, Mises
Deformed View: Deformation Scale Factor: 1.000e+00

Step: earthquake Frame: 0
Total Time: 0.000000

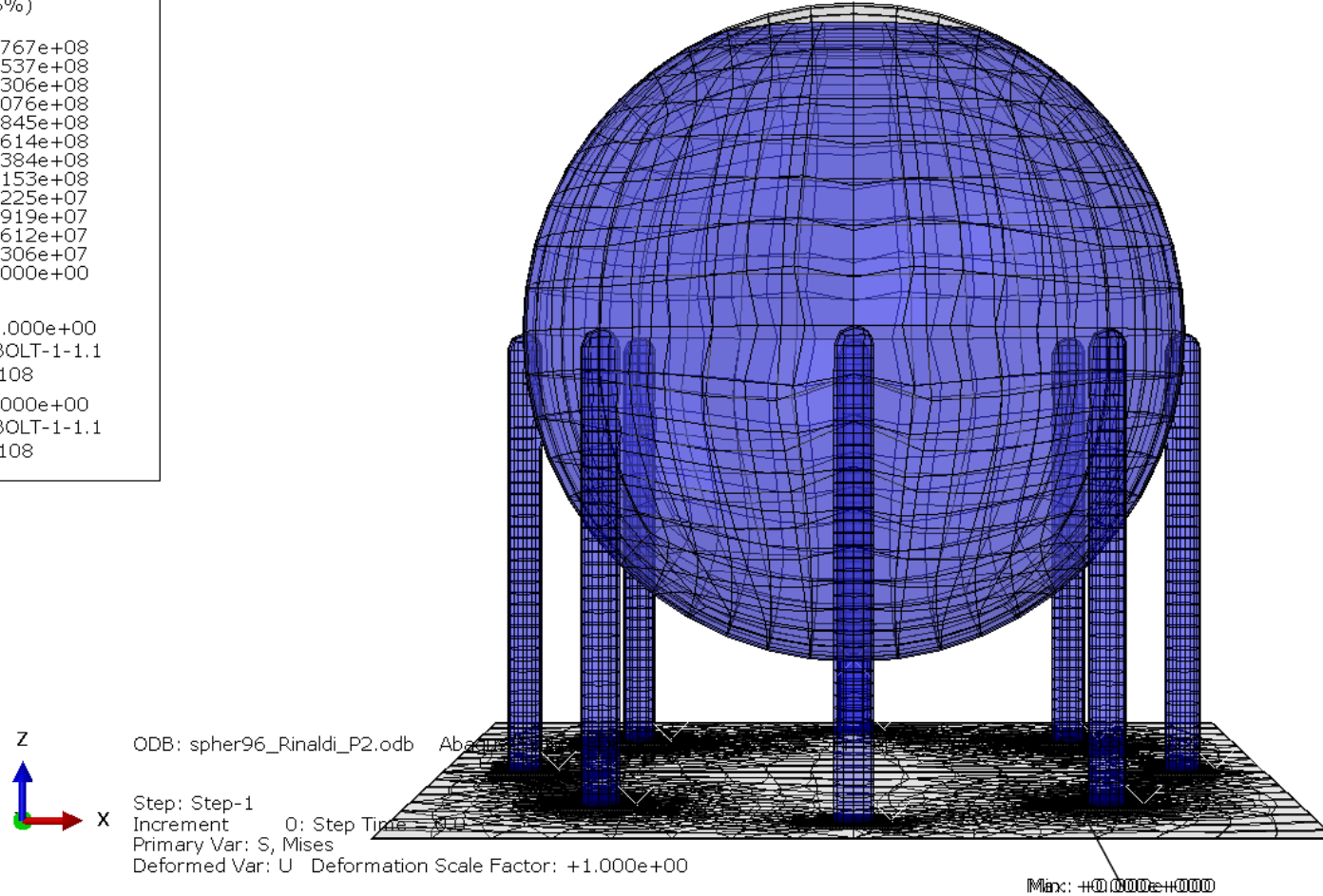
8 kolon, %90 doluluk, Model 1
Northridge 1994: 0.87g
Lagrangian yaklaşımı

SONLU ELEMAN ANALİZLERİ



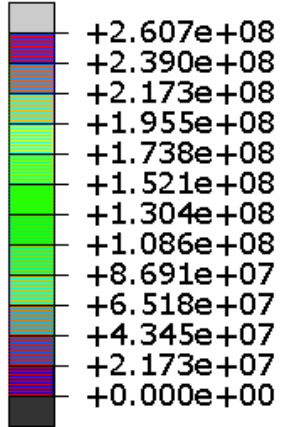
Step: Step-1 Frame: 0
Total Time: 0.000000

7 kolon ve çaprazlı,
%50 doluluk, Model 4
Erzincan 1992: 0.5g
Lagrangian yaklaşımı

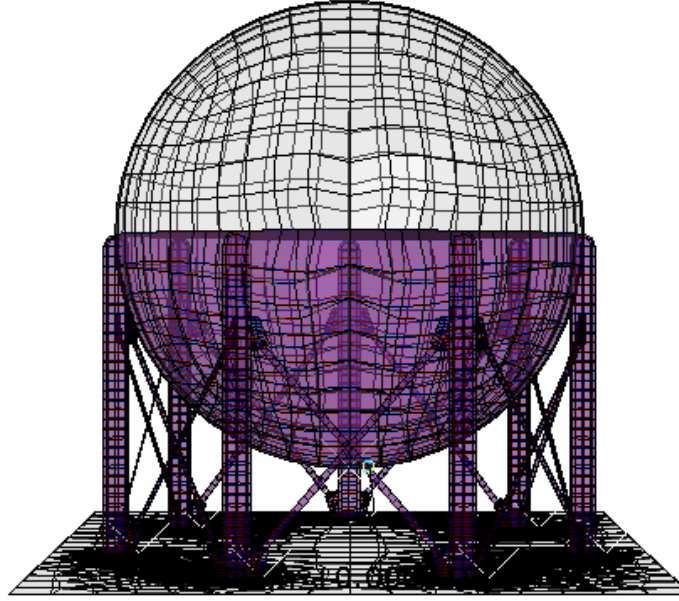


SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

S, Mises
SNEG, (fraction = -1.0)
(Avg: 75%)



Max: +0.000e+00
Elem: BRACE-1.14
Node: 82



Step: Step-1 Frame: 0
Total Time: 0.000000

7 kolon ve çaprazlı,
%50 doluluk, Model 4
Erzincan 1992: 0.5g
Lagrangian yaklaşımı

Y

Z

X

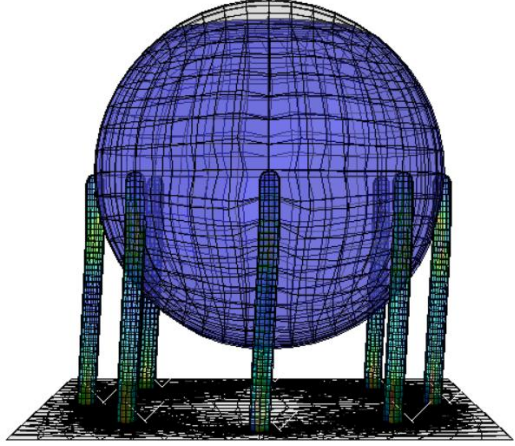
ODB: braced_05_Erzincan.odb Abaqus/Explicit 3DEXPERIENCE R2017x Fri Oct 14 18:25:20 GMT+03:00 2022

Step: Step-1

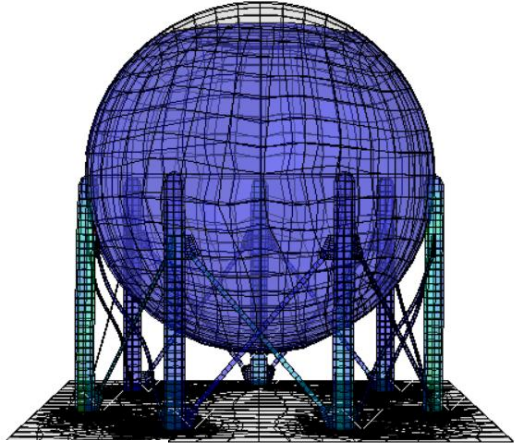
Increment 0: Step Time = 0.0

Primary Var: S, Mises

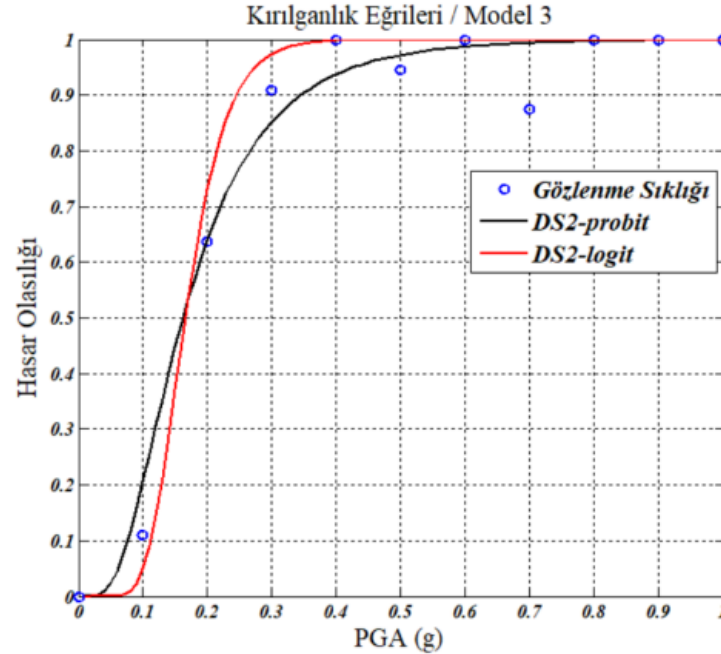
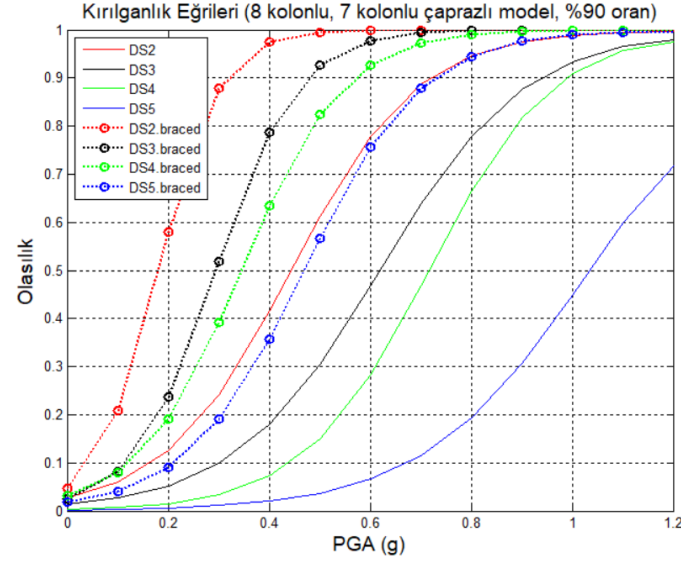
KIRILGANLIK EĞRİLERİ



Model 1

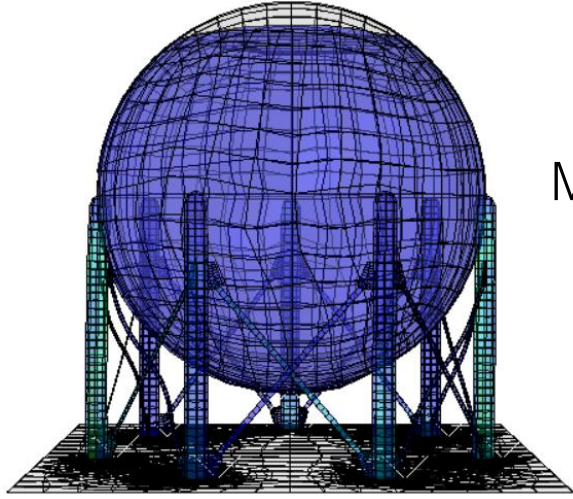


Model 3

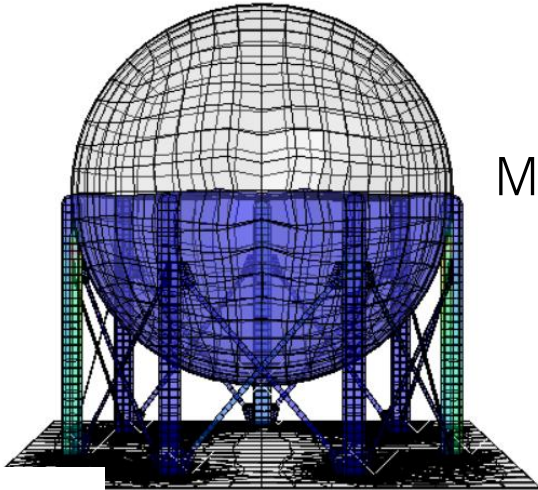


PGA	total	DS≥1	DS≥2	obs2	DS≥3	obs3
0.1	9	9	1	0.111	0	0
0.2	11	11	7	0.636	3	0.272
0.3	22	22	20	0.909	12	0.545
0.4	19	19	19	1.000	16	0.842
0.5	18	18	17	0.944	15	0.833
0.6	15	15	15	1.000	15	1.000
0.7	8	8	7	0.875	7	0.875
0.8	3	3	3	1	3	1
0.9	6	6	6	1	6	1.000
1	3	3	3	1	3	1.000
1.1	2	2	2	1	2	1
1.2	2	2	2	1	2	1
1.3	2	2	2	1	2	1

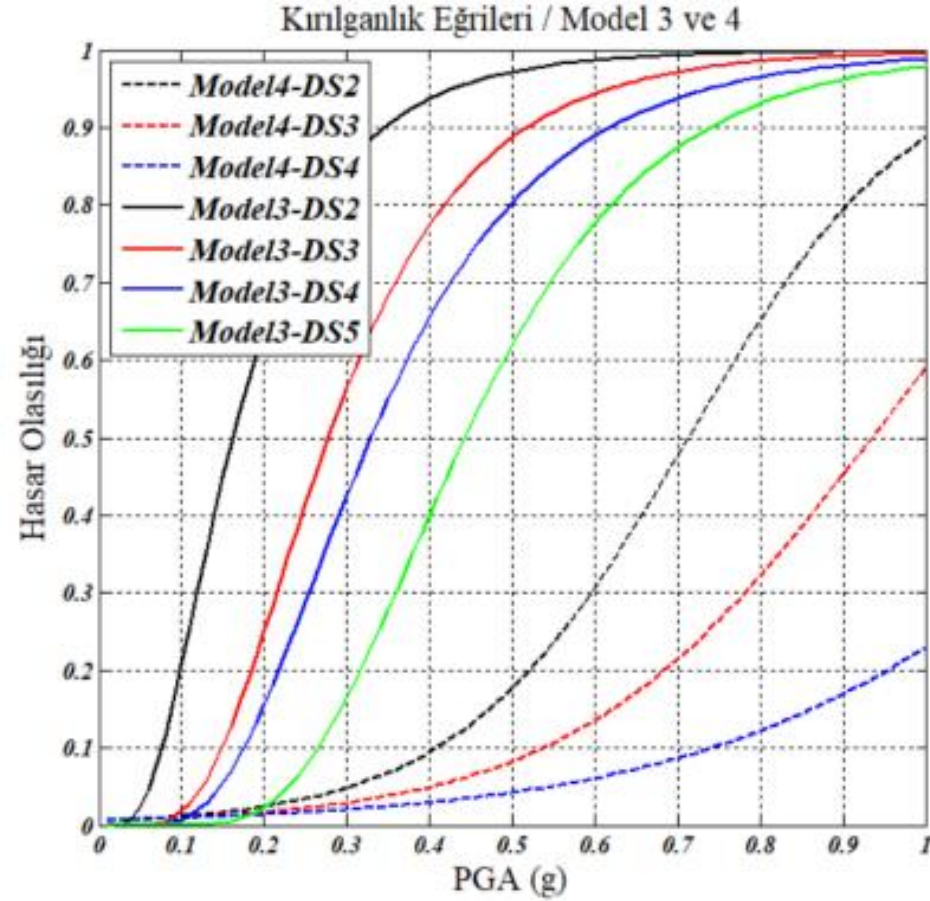
KIRILGANLIK EĞRİLERİ



Model 3

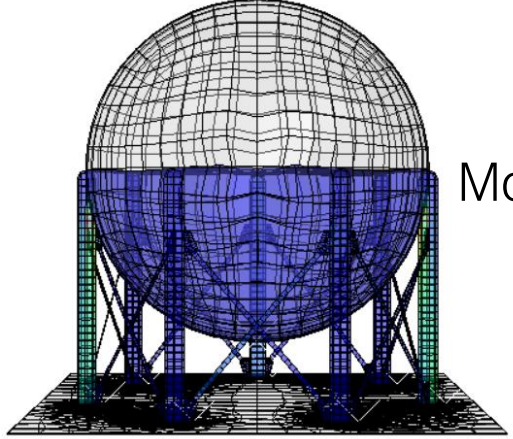


Model 4

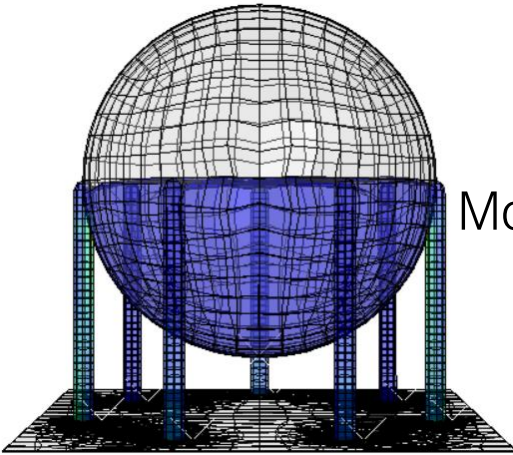


Şekil 6.39: Model 3 ve Model 4 kırılğanlık eğrilerinin kıyaslanması.

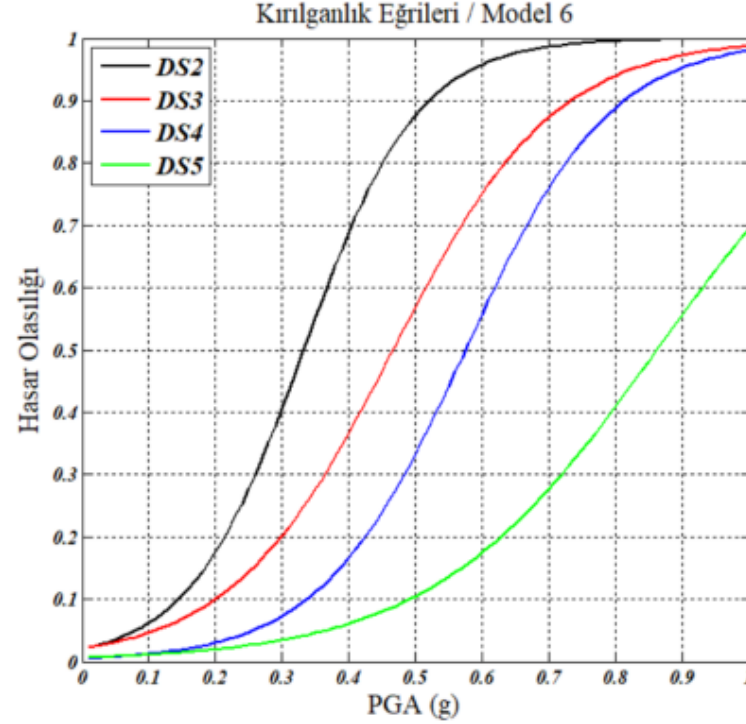
KIRILGANLIK EĞRİLERİ



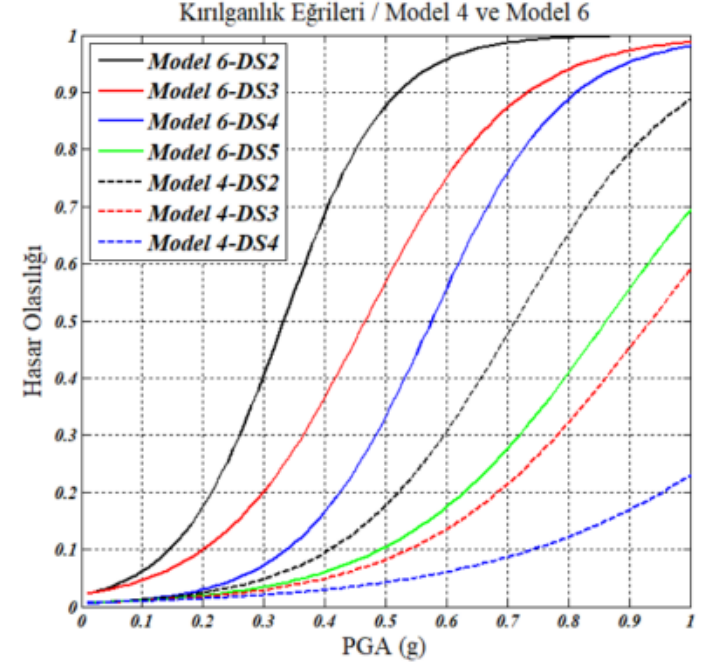
Model 4



Model 6

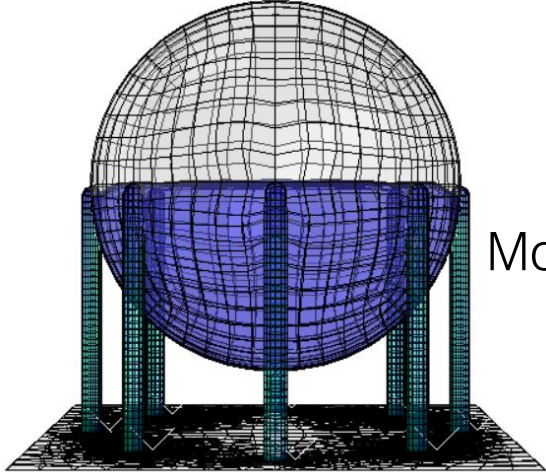


Şekil 6.48: Model 6 için kırılğanlık eğrileri.

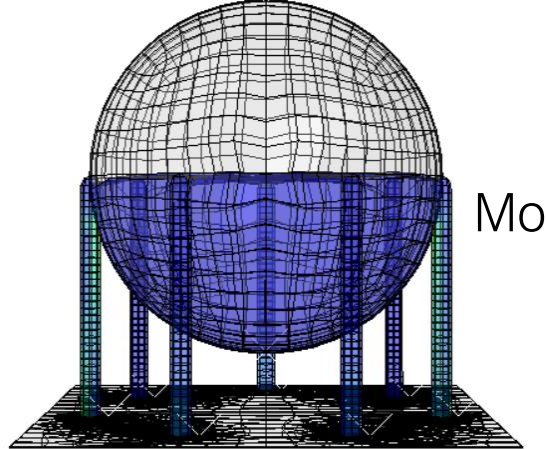


Şekil 6.49: Çapraz çubuk etkisinin görülmesi amacıyla Model 4 ve Model 6'ya ait kırılğanlık eğrilerinin kıyaslanması.

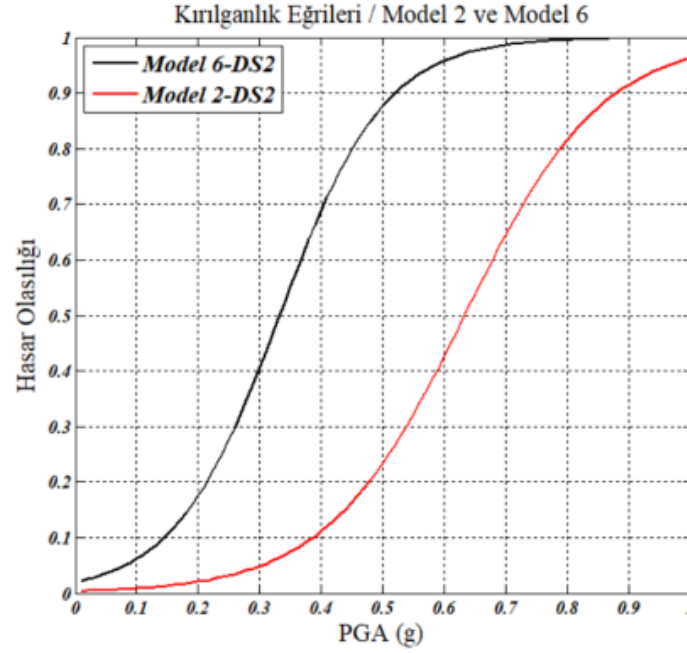
KIRILGANLIK EĞRİLERİ



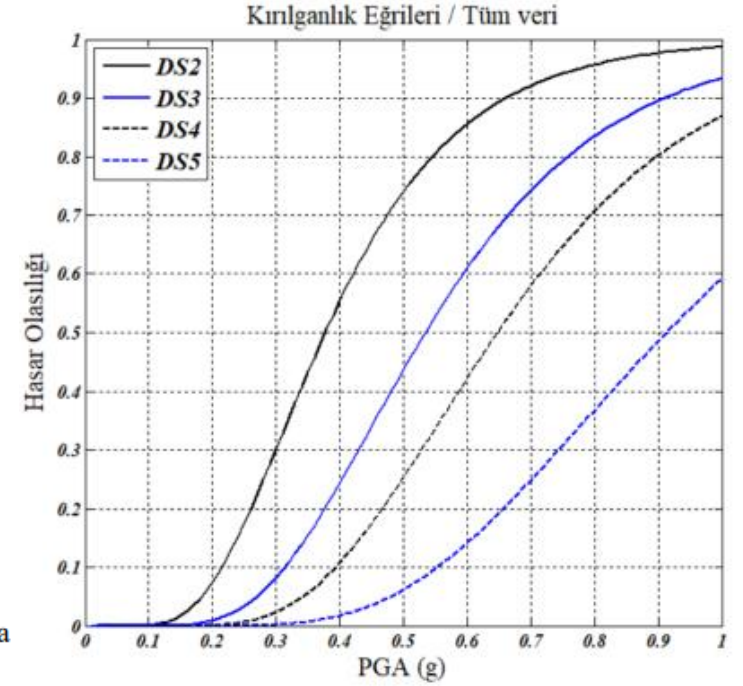
Model 2



Model 6



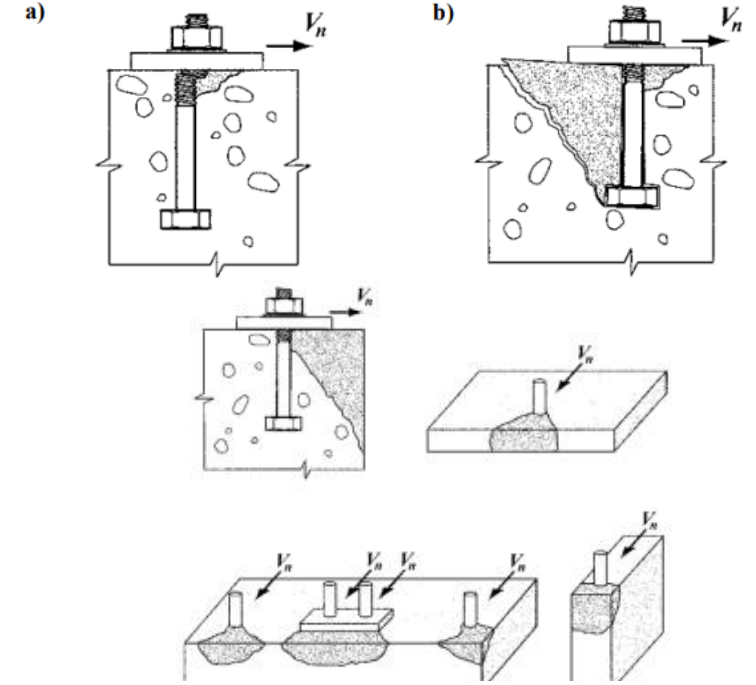
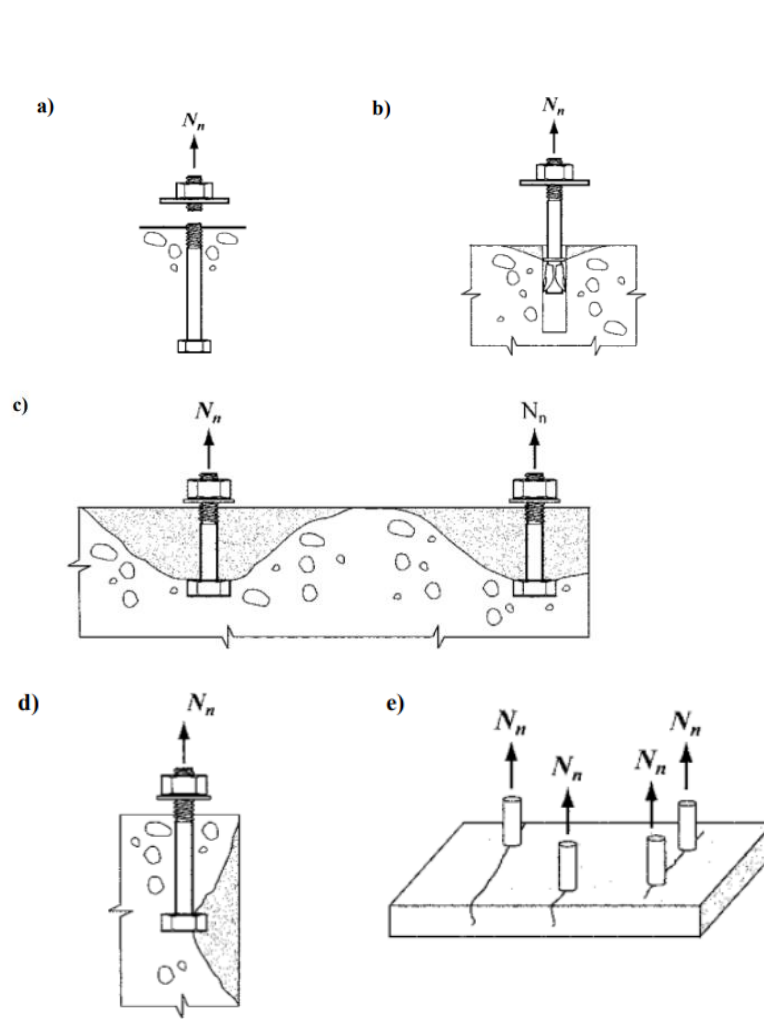
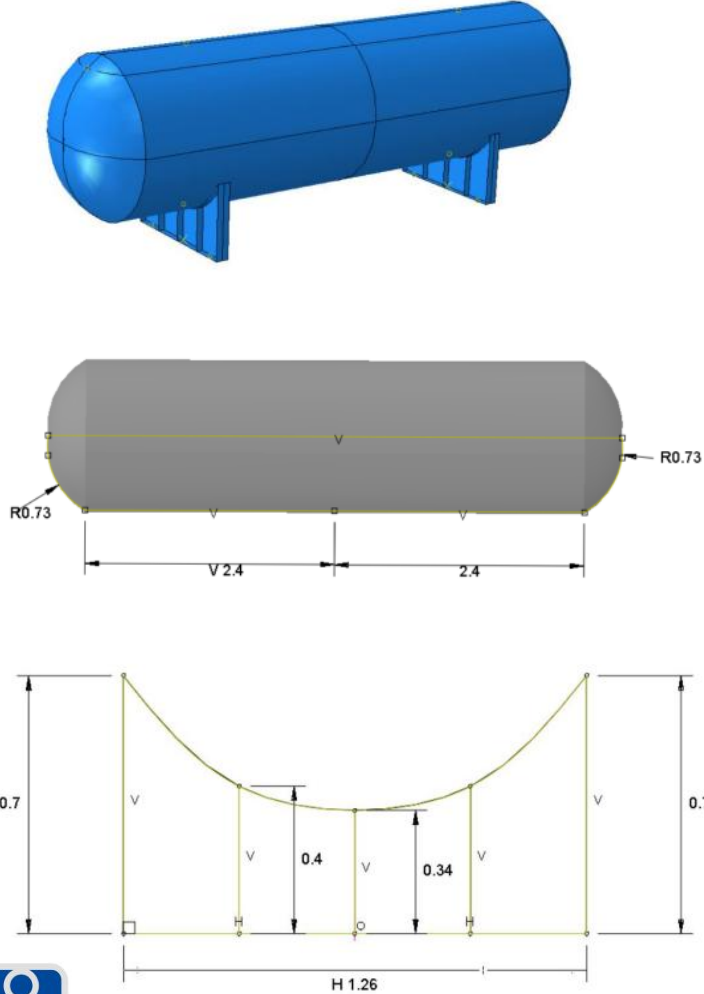
Şekil 6.50: Kolon sayısının etkisinin görülmesi amacıyla Model 2 ve Model 6'ya ait kırılğanlık eğrilerinin kıyaslanması.



Şekil 6.51: Tüm analizler ve gözlemsel verilerle elde edilen kırılğanlık eğrileri.

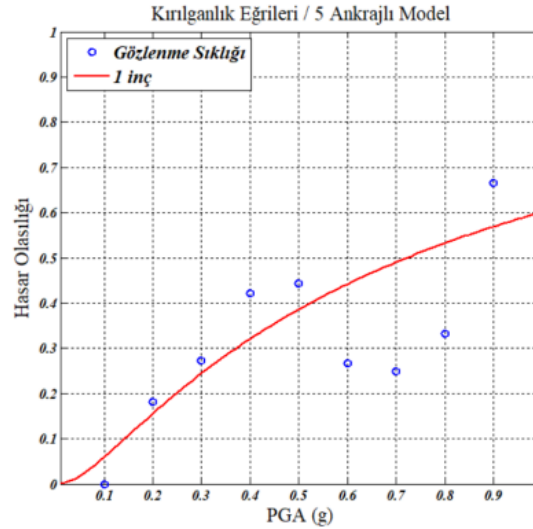
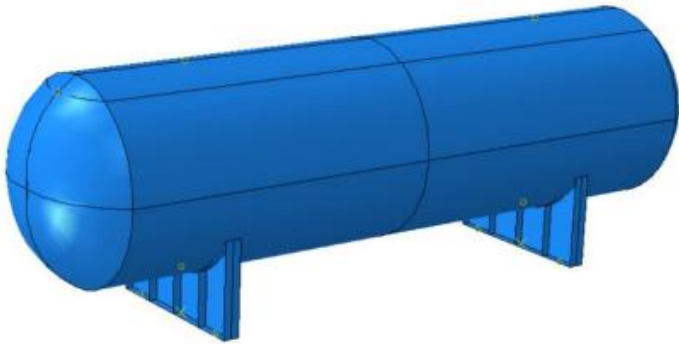
SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

ACI355

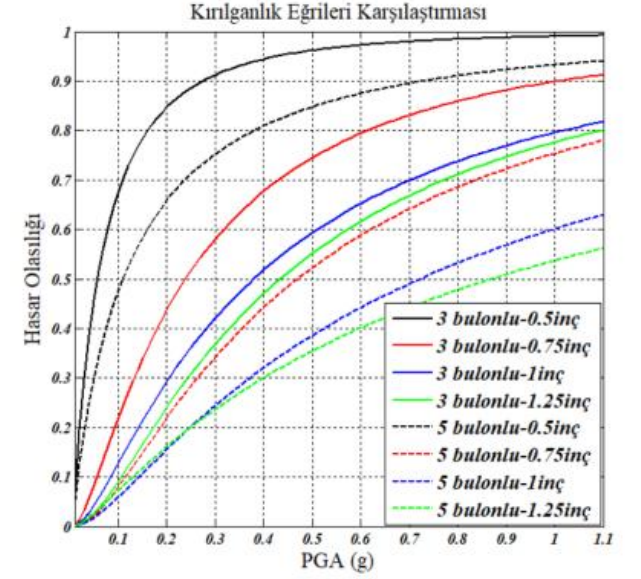


KIRILGANLIK EĞRİLERİ

PGA	total	0.5 inç	obs_05	0.75 inç	obs_075	1 inç	obs_1	1.25 inç	obs_125
0.1	9	4	0.444	0	0	0	0	0	0
0.2	11	8	0.727	2	0.181	2	0.181	2	0.181
0.3	22	20	0.909	11	0.5	6	0.272	5	0.227
0.4	19	16	0.842	10	0.526	8	0.421	8	0.421
0.5	18	16	0.888	8	0.444	8	0.444	8	0.444
0.6	15	11	0.733	6	0.4	4	0.267	4	0.266
0.7	8	7	0.875	4	0.5	2	0.25	2	0.25
0.8	3	3	1	3	1	1	0.333	1	0.333
0.9	6	4	0.666	4	0.667	4	0.667	4	0.667
1	3	3	1	2	0.667	2	0.667	1	0.333
1.1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
1.2	2	2	1	2	1	2	1	2	1
1.3	2	2	1	2	1	1	0.5	0	0



Şekil 6.64: 1 inç çapında 5 ankrallı model için gözlenme olasılıkları ve kırılmalık eğrisi.



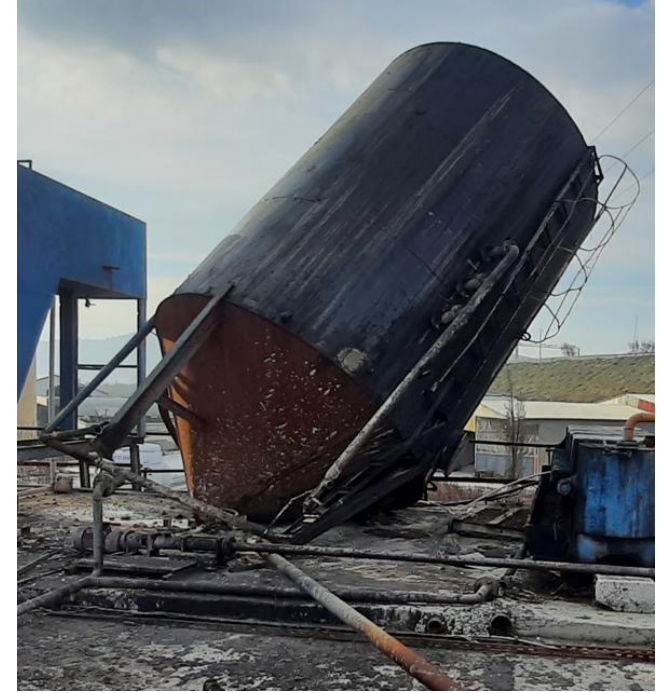
Şekil 6.66: Yatay silindirik tank için 3 ve 5 ankrallı teşkil edilen modellerin kırılmalık eğrilerinin kıyaslanması.

2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE DEPOLAMA TANKLARI

- Nurdağı, yağ fabrikası



2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE DEPOLAMA TANKLARI



2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE DEPOLAMA TANKLARI



Yön.	Ti (s)	Tc (s)
API650	0.19	2.33
Eurocode	0.19	2.34
TTY	0.19	2.34
A.I. Japan	0.18	2.34

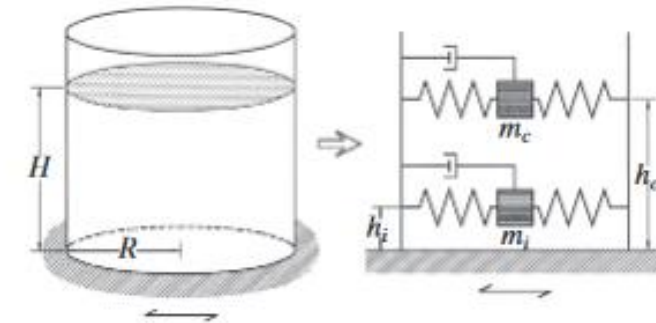
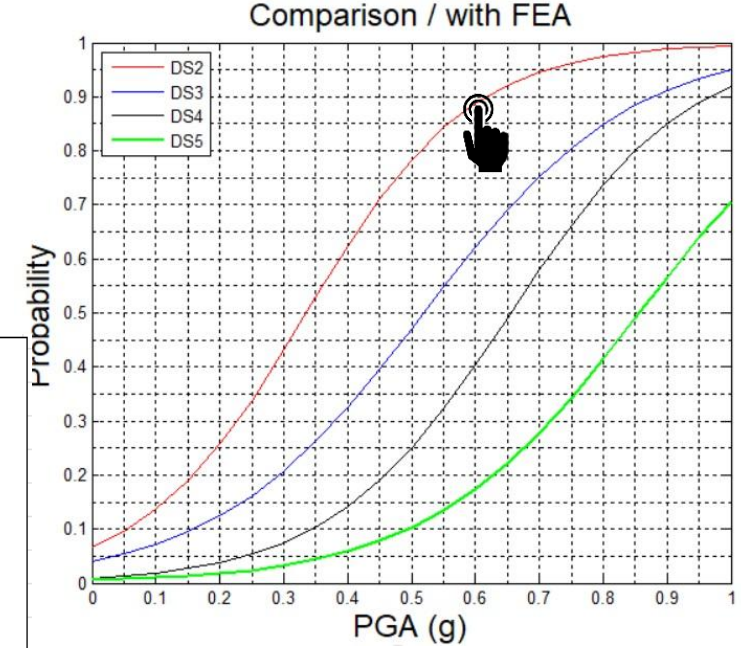
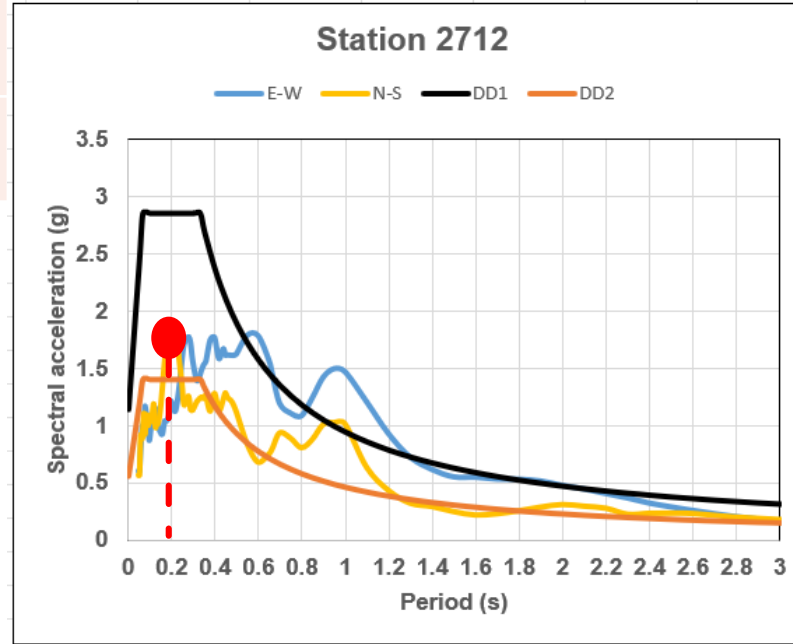
D (m)	5
H (m)	8
H/R	3.2
H/D	1.6
$\rho_{v.oil}$ (kg/m ³)	910
μ (Ns/m ²)	0.063
E (Mpa)	2.00E+05
Doluluk	90%

PGA_EW: 588.54 cm/s² = 0.6g

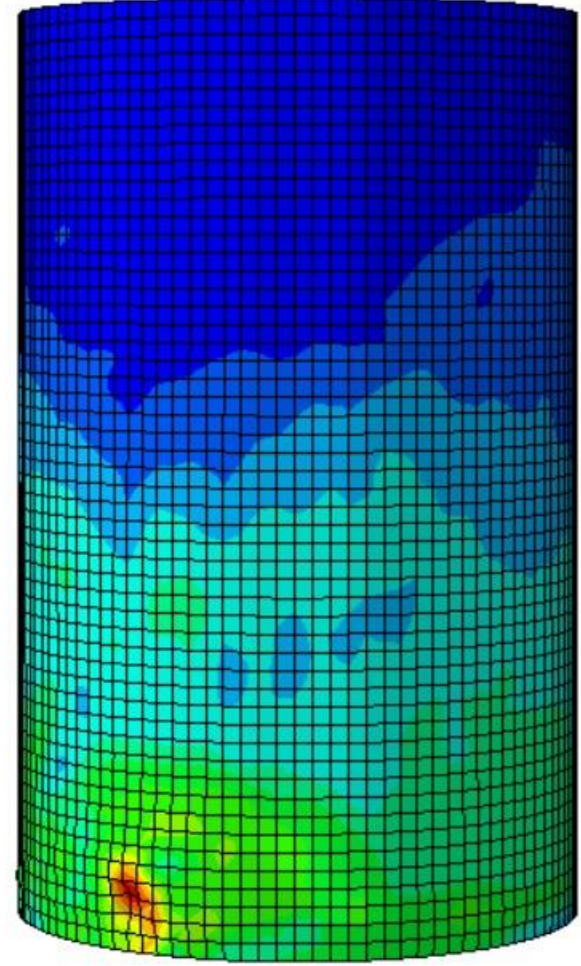
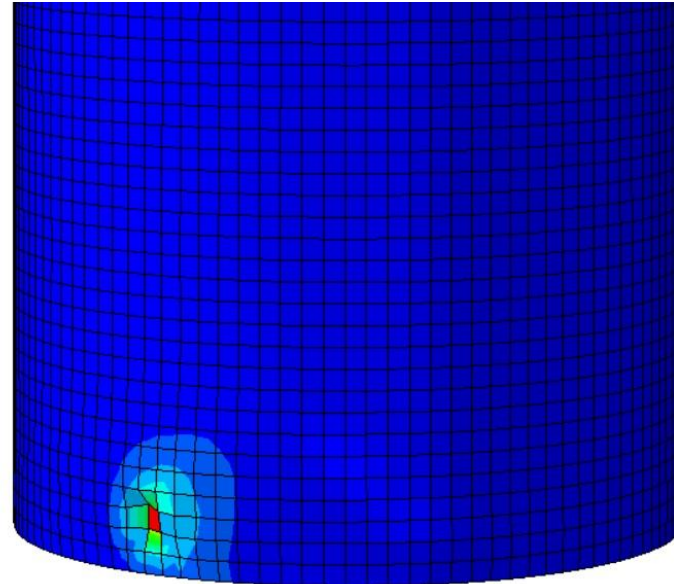
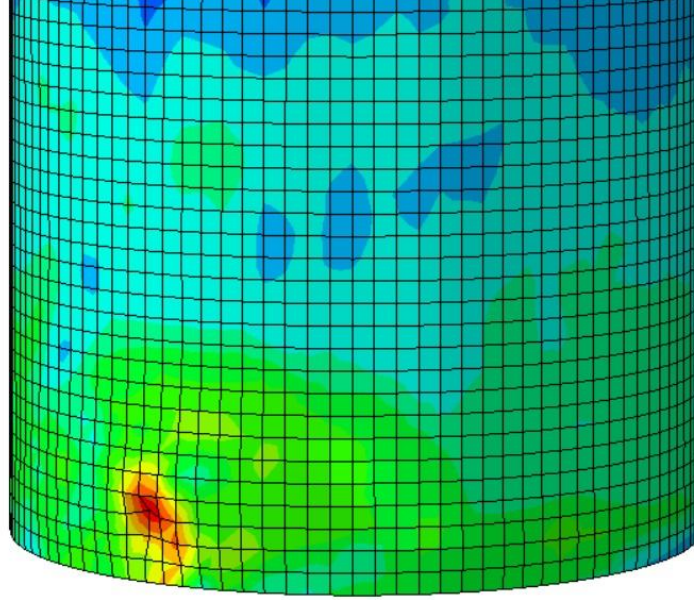
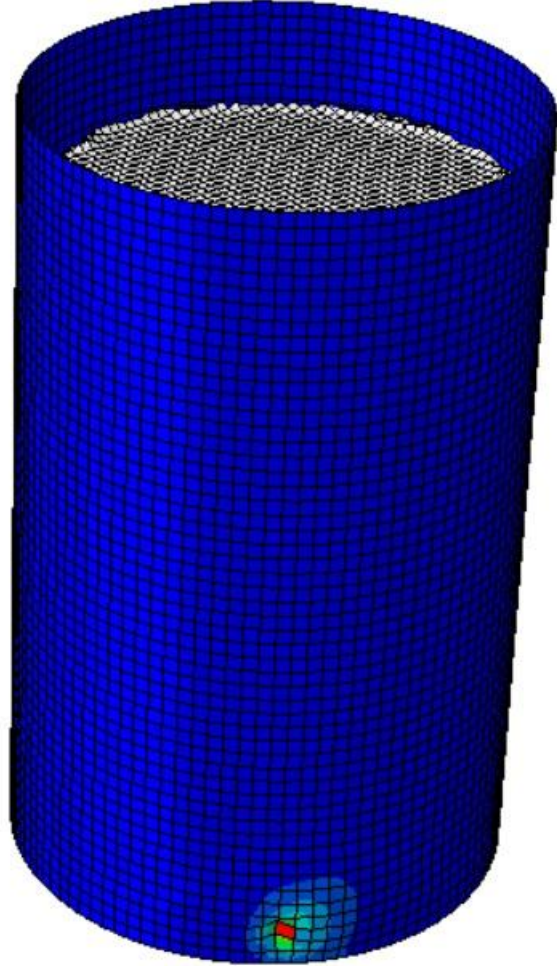
PGA_NS: 551.479 cm/s² = 0.56g

PGA_UD: 315.27 cm/s² = 0.32g

Ti = 0.19s, Tc = 2.34s



MODEL VERİFİKASYONU - 2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE TANKLAR



Zaman tanım alanında SEM analizi
2712 istasyonu kaydı, PGA=0.6g

2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE DEPOLAMA TANKLARI



Yön.	Ti (s)	Tc (s)
API650	0.18	2.55
Eurocode	0.18	2.56
TTY	0.18	2.56
A.I. Japan	0.17	2.56

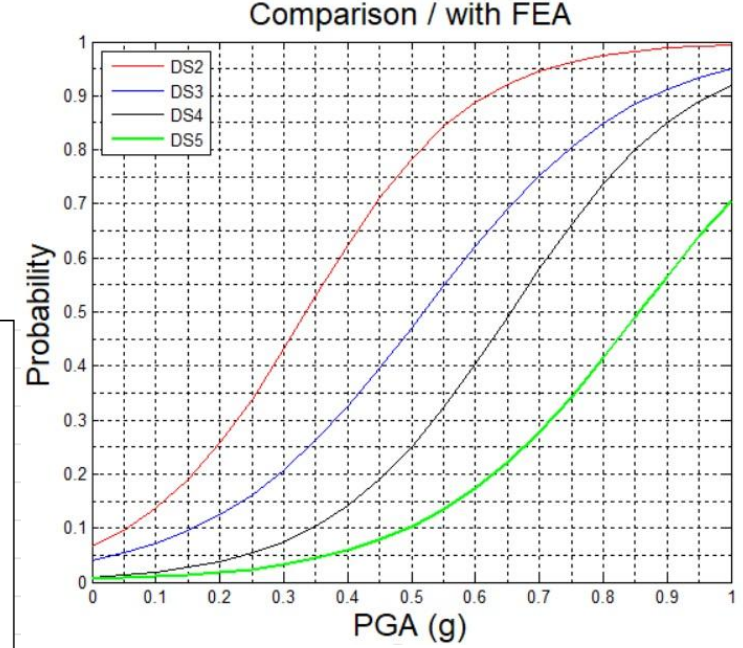
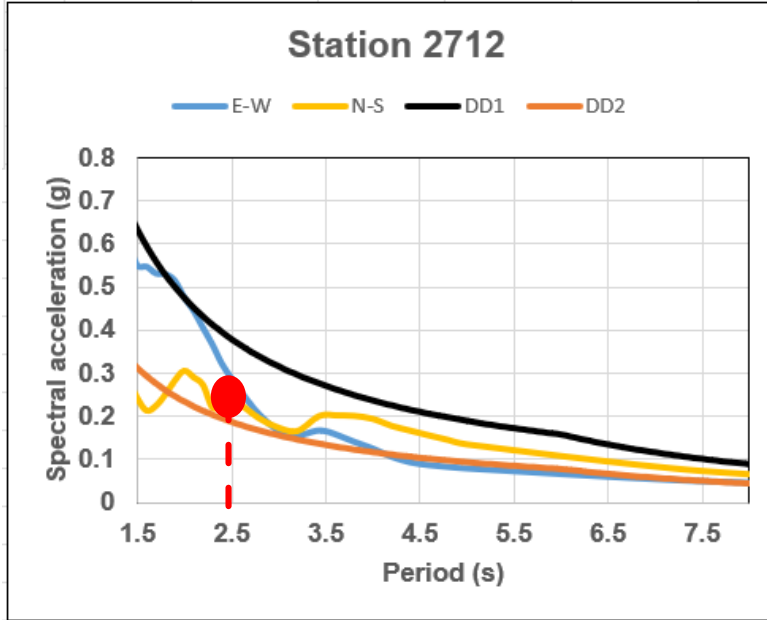
D (m)	6
H (m)	7.55
H/R	2.52
H/D	1.26
pv.oil (kg/m3)	910
μ (Ns/m2)	0.063
E (Mpa)	2.00E+05
Filling ratio	90%

PGA_EW: 588.54 cm/s² = 0.6g

PGA_NS: 551.479 cm/s² = 0.56g

PGA_UD: 315.27 cm/s² = 0.32g

Ti = 0.18s, Tc = 2.56s



MODEL VERİFİKASYONU - 2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE TANKLAR

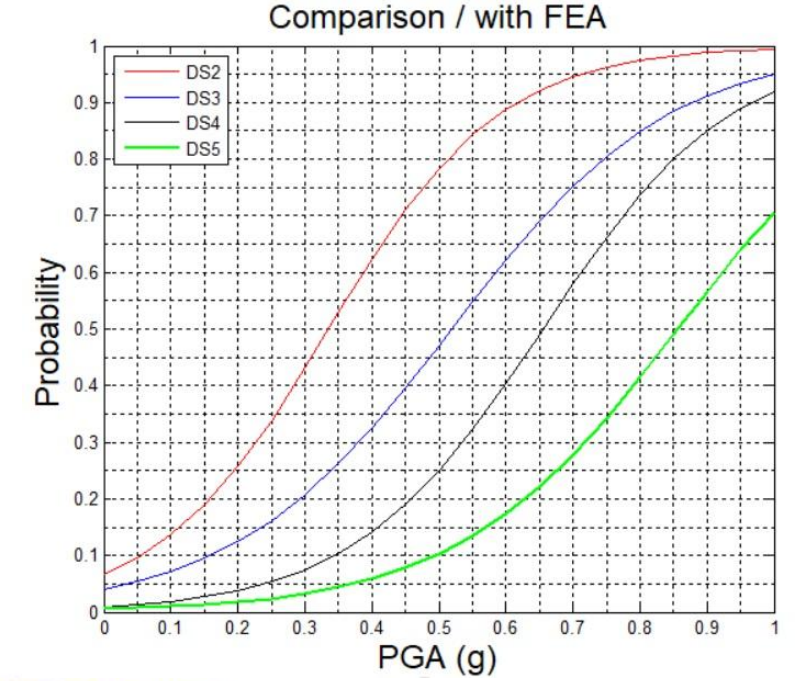
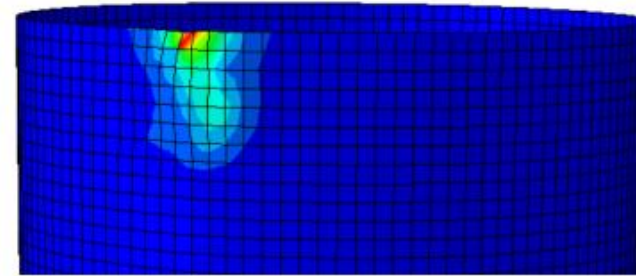


PGA_EW: 588.54 cm/s² = 0.6g

PGA_NS: 551.479 cm/s² = 0.56g

PGA_UD: 315.27 cm/s² = 0.32g

T_i = 0.18s, T_c = 2.56s



SONUÇLAR

- Düşey silindirik tankların gözlemsel deprem hasar verileri toplamda 4511'e yükseltilmiştir.
- Düşey silindirik tanklarla ilgili 101 sonlu eleman analizi yapılmıştır.
- Hem düşey silindirik, hem küresel, hem de yatay silindirik tanklar için sismik kırılgenlık eğrileri türetilmiştir.
- Küresel tanklarda kolon sayısı artırıldığında veya sisteme çapraz çubuk eleman eklendiğinde yapının deprem performansı artmakta, kırılgenlığı azalmaktadır. Ayrıca sıvı seviyesinin %90 olduğu durumlarda tankta meydana gelen zorlanmaların ve plastik şekil değıştirmelerin %50 sıvı doluluğa sahip tanklara göre oldukça fazla olduğu anlaşılmıştır. Bu da türetilen sismik kırılgenlık eğrilerine açık bir şekilde yansımıştır.

SONUÇLAR

- Yatay silindirik tanklarda ankraj bulonlarının göçme durumları incelenmiştir. Oluşturulan kırılganlık eğrilerinden ankraj çapının ve sayısının deprem performansına olumlu etki yaptığı ve sismik hassasiyeti azalttığı görülmüştür.
- 2023 Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen depolama tankı hasarları tez çalışmasında türetilen kırılganlık eğrileri vasıtasıyla da yüksek olasılıkla tahmin edilebilmiştir. Düşey silindirik depolama tanklarında herhangi bir yırtılma ve sıvı sızıntısı/taşması olmadan duvar burkulması hasarı 0.6g yer ivmesi için DS2 hasar sınıfında %80 olasılıkla tahmin edilebilmiştir. Bu açıdan türetilen kırılganlık eğrilerinin deprem risk analizi kapsamında yapılacak değerlendirmelerde faydalı araçlar olacağı düşünülmektedir.
- Analizlerde kurulan modellerin verifikasyonu da Kahramanmaraş depremlerinde oluşan tank hasarlarının yakalanmasıyla sağlanmıştır.

Dinlediğiniz için teşekkürler!

Dr. Sezer Öztürk / FSMVÜ İnşaat Müh.
Web sitesi: <https://sezer.ozturk.fsm.edu.tr/>
E-mail: sezer.ozturk@fsm.edu.tr
ssezerozturkk@gmail.com