



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SIVI DEPOLARININ HESAP VE TASARIMINDA KULLANILAN HESAP
YÖNTEMLERİNİN İRDELENMESİ**

Badradine ALİ

Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Badradine ALİ tarafından hazırlanan “SIVI DEPOLARININ HESAP VE TASARIMDA KULLANILAN HESAP YÖNTEMLERİNİN İRDELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

Başkan: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı


İmza

Üye : Dr. Öğr.Üyesi Serkan SAĞIROĞLU
Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı


İmza

Üye : Dr. Öğr.Üyesi Tamer BİROL
Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği, Mekanik Anabilim Dalı


İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım


Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
 - Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30/05/2019
İmza
Badradine ALİ



ÖZET

Yüksek Lisans

SIVI DEPOLARININ HESAP VE TASARIMINDA KULLANILAN HESAP YÖNTEMLERİNİN İRDELENMESİ

Badradine ALİ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

Nüfusun sürekli artması ve sanayinin gelişmesi, başta su olmak üzere farklı sıvıların depolanma ihtiyacı, sıvı depolarının inşa edilmesini gerekli kılmaktadır. Diğer taraftan depoların dinamik davranışlarını daha gerçekçi olarak belirleyebilmek için çalışmalar da yapılmaktadır. Bu çalışmalardan uygun görülenler yönetmeliklere alınmaktadır. Bu çalışmanın amacı, sıvı depolarının depreme göre hesabını yapmak durumunda kalan ya da bu konuya ilgi duyan mühendislerin sıvı depolarının dinamik yükler etkisindeki davranışını anlamalarına yardımcı olmak, bunlar için güncel yönetmeliklerde öngörülen bağıntıları karşılaştırmalı olarak sunmak ve sıvı depolarının hesap ve tasarımını yapabilmelerine katkı sağlamaktır. Bu amaçla çalışmada, basitleştirilmiş yöntem olarak adlandırılabilir olan toplanmış kütle yaklaşımı kullanılarak, silindirik ve dikdörtgen sıvı depolarının sismik analizi için ACI 350 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerinde önerilen hesap esasları ve parametrelerin belirlenmesinde kullanılan bağıntılar karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir.

Gerçekleştirilen çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde ilk olarak çalışmanın amacı ve kapsamı verilmektedir. İkinci bölümde, ACI 350 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerine ve geçmişte bu konuda yapılan çalışmalara ilişkin literatür irdelenmektedir. Üçüncü bölümde rijit ve esnek kabullere göre silindirik ve dikdörtgen depoların deprem hesabı için ACI 350 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerindeki önerilen bağıntılar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Dördüncü bölüm yapılan çalışmalar bölümü olup, silindirik ve dikdörtgen depoların her birinin sığ ve derin, rijit ve esnek kabul durumları dikkate alınarak depolara ilişkin sayısal uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, sayısal uygulamalardan elde edilen bulgular irdelenmektedir. Bu bölümde çizelgeler ve şekiller halinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde çalışmadan çıkarılan sonuç ve öneriler sunulmuştur. ACI 350'e göre sadece esnek çözüm bulunurken, EUROCODE 8'de ise esnek ve rijit çözümlerin her ikisi de mevcuttur. Yapılan çalışmalardan elde edilenler ışığında, EUROCODE 8 esnek çözüme göre elde edilen sonuçların, genel olarak daha güvenli tarafta sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelime: ACI 350, EUROCODE 8, İmpuls kütlesi, Salınım kütlesi

2019, X+ 82 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

EXAMINATION OF CALCULATION METHODS USED IN CALCULATION AND DESIGN OF LIQUID STORAGE TANKS

Badradine ALİ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

The continuous increase in population and the development of industries necessitate the construction of liquid tanks for the storage of different liquids, especially water. Moreover, this study will be conducted to determine the dynamic behavior of liquid storage in more realistic manner. Likewise, the study have taken into consideration the usage of the appropriates international standard code. The aim of this study is to help engineers and those that are interested in this area to understand the behavior of liquid tanks under dynamic loads and to make comparism using the international standard code. The results obtained will contribute to facilitate the calculation and the design of liquid tanks. Conquently, the relationship between the ACI 350 and EUROCODE 8 codes for the seismic analysis of cylindrical and rectangular liquid tanks and the formulas used in the determination of the parameters are compared.

The study consists of five parts. In the first chapter, the aim and scope of the study is discussed. In the second part of the study, the literature related to ACI 350 and EUROCODE 8 codes past studies are examined. The third part of the study, the predicted correlations in the ACI 350 and EUROCODE 8 codes are presented for the earthquake calculation of cylindrical and rectangular tanks, according to rigid and flexible assumptions. In the fourth chapter, takes into account the shallow and deep, rigid and flexible acceptance of each of the cylindrical and rectangular warehouses, as well as the numerical applications of the warehouses. The findings obtained from numerical applications are examined. In this section, the results obtained and presented as charts and figures are compared. In the fifth chapter, recommendations are presented, based on the results obtained from the study. According to the ACI 350, there is only a flexible solution, while the EUROCODE 8 offers both flexible and rigid solutions. In line with the studies, it was determined that the results obtained according to the EUROCODE 8 flexible solution gives results that ensures greater safety than the ACI 350.

Key words: ACI 350, Eurocode 8, Impulsive mass, Convective mass

2019, x+ 82 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı bana öneren, yoğun iş temposuna rağmen yardım eden ve yönlendiren, bilgi ve tecrübelerini aktararak her zaman desteğini aldığım ve başarı hayatıyla bize örnek olan tez danışmanım Prof. Dr. Adem Doğangün'e, tez aşamasında yardımlarını esirgemeyen Ömer Timurağaoğlu, Mehmet Rizelioğlu, R. Emre Çakmak, Cavit Serthatoğlu, Süleyman Özen, Waheed Rasekh, Mojibullah Noori'ye teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Burada, öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Tezimin hazırlanmasında yakın ilgi ve desteklerini gördüğüm bölüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim süresince çalıştığım Mutlutaş Mühendislik, Ghafari Associates, Türk Havayolları İnşaat Bölümünde çalışan arkadalarım bana olan destekleri ve yardımlarından dolayı şükranlarımı sunuyorum.

Yüksek lisans öğrenimim bana verdiği bursla destek olan YTB'e teşekkürlerimi sunarım.

Bugün buralarda bulunmamda büyük emekleri olan ve haklarımı asla ödeyemeyeceğim anneme, babama, kardeşlerime teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimin bitmesinde manevi desteği beni motive eden Mirzat Muhtar, Laith Alazab, Esra Bozdemir, Ghufraan Khouja, Abdelchakour Maiga, Emine Alakel, Halime Çot'a şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	2
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Yönetmeliklerin İrdelenmesi.....	4
2.1.1. Amerikan beton enstitüsü tasarım standartları.....	4
2.1.2. Eurocode 8.....	5
2.1.3. İmpuls ve salınım bileşenleri sönüm oranı.....	7
2.1.4. İmpuls ve salınım bileşenleri tasarım spektrumları.....	7
2.1.5. Deprem yükü azaltma katsayısı.....	8
2.2. Litteratür Taraması.....	9
2.2.1. Depoların kullanım amaçları ve sınıflandırılması.....	10
2.2.2. Sıvı depolarının görevleri.....	11
2.2.3. Dairesel kesitli depolar.....	11
2.2.4. Dikdörtgen kesitli depolar.....	12
2.2.5. Depolardaki sıvıların özellikleri.....	13
2.2.6. Sıvı depolarına etkiyen yükler.....	13
2.2.7. Depolar için deprem etkisi.....	14
2.2.8. Sıvı depolarında deprem hasarları.....	15
2.2.9. Sıvı depoların tasarımında dikkatı edilmesi gereken hususlar.....	16
2.2.10. Sıvı depolarının analiz yöntemi.....	17
2.2.11. Basitleştirilmiş yöntemler.....	18
2.2.12. Sıvı depolarının dinamik analizi için önerilen mekanik model.....	18
2.2.13. Sıvı yüksekliğinin etkisi.....	19
2.2.14. Depo uzunluğunun etkisi.....	20
2.2.15. Sıvı-Yapı Etkileşiminin değerlendirilmesi.....	20
2.2.16. Hidrodinamik basınç dağılımı.....	21
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
4. BULGULAR.....	33
4.1. Sayısal Uygulama.....	33
4.1.1. Örnek 1.....	33
4.1.2. Örnek 2.....	39
4.1.3. Örnek 3.....	45
4.1.4. Örnek 4.....	52
4.2. Bulguların İrdelenmesi.....	59
4.2.1. Örnek 1.....	59
4.2.2. Örnek 2.....	62
4.2.3. Örnek 3.....	65
4.2.4. Örnek 4.....	68
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	72

KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	82



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
$A(T)$	Spektral ivme katsayısı
a_g	Yer ivmesi
C_i, C_c	EC-8 hesaplarda kullanılan katsayılar
C_t	EC-8 de taşıyıcı sistem özelliklerini niteleyen katsayı: ACI-350
C_w, C_l	ACI-350 de silindirik depo hesabında kullanılan katsayılar
D_n	Spektral yer değiştirme
d_{max}	Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğin hesabı
E_c	Elastisite modülü
H	Depo duvar yüksekliği
h	Depo içerisinde sıvı yüksekliği
h_i	Depo içerisindeki impuls kütlesi yüksekliği
h_c	Depo içerisinde salınım kütlesi yüksekliği
h_z	Rijitlik hesabında kullanılan etkiye yüksekliği
k	Rijitlik
L	Plan boyutu
M_o	Sıvı depoları için devirici moment
M_b	Sıvı depoları için eğilme momenti
m	Toplam kütle
m_c	Salınım kütlesi
m_i	İmpuls kütlesi
m_l	Toplam sıvı kütlesi
m_r	Depo kapak(çatı) kütlesi
m_w	Duvar kütlesi
$P_i(y)$	Depremden dolayı oluşan impuls kuvvetinin yükseklikle değişimi
P_i	İmpuls etkisinde oluşan hidrodinamik basınç kuvveti
P_c	Salınım etkisinde oluşan hidrodinamik basınç kuvveti
P_w	Duvar etkisinde oluşan hidrodinamik basınç kuvveti
P_r	Çatı etkisinde oluşan hidrodinamik basınç kuvveti
V	Kesme kuvveti
q_0	EC-8 de ana taşıyıcı sistem katsayısı
R_a, R_w	Deprem yükü azaltma katsayısı
R	Dairesel temelin yarıçapı
S	Zemin durumunu gösteren parametre
S_d	Yer değiştirme tepkisinin maksimum değerleri
$S_e(T)$	EC-8 de elastik davranış spektrumu
S_{D1}	1 saniyelik bir sürede %5 sönümlü tasarım spektral tepki ivmesi
S_{DS}	Kısa periyotlarda %5 sönümlü tasarım spektral tepki ivmesi
$S_a = C_i$	Dinamik tepki spektrum katsayısı
T	Periyot
T_i	Deponun salınımının temel periyodu (impuls bileşenin periyodu)
T_A, T_B	Spektrum karakteristik periyotları
T_c	Salınım periyodu

T_B, T_C	EC-8 de spektral ivmenin sabit değerinin sınırları
T_D	EC-8 de sabit yerdeğiştirme spektrumunun başlangıcı
W	Ağırlık
η	EC-8'de sönüm katsayısı
Ψ_{ei}	EC-8'de azaltma katsayısı
ρ	Kütle yoğunluğu (birim kütle)
ω	Sönümsüz doğal açısal frekans
ω_D	Sönümlü titreşime ait doğal açısal frekan
ξ	Sönüm oranı
φ	Salınım açısı
ε	ACI 350 de impuls kuvveti hesabında kullanılan bir katsayı

Kısaltmalar

Açıklama

ACI	American Concrete Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASD	Kullanılabilirlik sınır durumu
API	American Petroleum Institute
AWWA	American Water Works Association
FEMA	Federal Emergency Management Agency
IBC	Uluslararası Bina Kodu
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program
NZSEE	Yeni Zelanda Deprem Mühendisliği Derneği
SD	Taşıma gücü sınır durumu
USGS	United States Geological Survey

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Deprem hesabı yapılan depolar.....	3
Şekil 2.1. İmpuls bileşenleri için tasarım tepki spektrumu	8
Şekil 2.2. Depoların sınıflandırılması	11
Şekil 2.3. Silindirik betonarme sıvı deposu.....	12
Şekil 2.4. Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depo duvarlarının davranışları.....	12
Şekil 2.5. Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı deposu.....	13
Şekil 2.6. Silindirik betonarme deponun dinamik modeli	19
Şekil 2.7. Depo duvarı boyunca oluşan hidrodinamik basınç dağılımı	22
Şekil 3.1. h/R oranına göre m_i/m_j ve m_c/m_j oranları	24
Şekil 3.2. h/R oranına göre h_i/h , h_c/h , h'_i/h , h'_c/h oranları.....	27
Şekil 3.3. h/R oranına göre C_i , C_c katsayılarının değişimi	29
Şekil 4.1. Birinci örnek için kullanılan silindirik betonarme deponun geometrik özellikleri.....	33
Şekil 4.2. İkinci örnek için kullanılan silindirik betonarme deponun geometrik özellikleri	39
Şekil 4.3. Üçüncü örnek için kullanılan dikdörtgen betonarme deponun geometrik özellikleri	45
Şekil 4.4. Dördüncü örnek için kullanılan dikdörtgen betonarme deponun geometrik özellikleri	52
Şekil 4.5. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.6. Eğilme momentlerinin karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.7. Devirici momentlerinin karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.8. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması	61
Şekil 4.9. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması.....	63
Şekil 4.10. Eğilme momentlerinin karşılaştırılması.....	63
Şekil 4.11. Devirici momentlerinin karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.12. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması	64
Şekil 4.13. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.14. Eğilme momentlerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.15. Devirici momentlerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.16. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması	67
Şekil 4.17. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması.....	69
Şekil 4.18. Eğilme momentlerinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.19. Devirici momentlerinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.20. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması	70
Şekil 4.21. İmpuls kütesinin karşılaştırılması	72
Şekil 4.22. Salınım kütesinin karşılaştırılması	73
Şekil 4.23. İmpuls periyodunun karşılaştırılması	74
Şekil 4.24. Salınım periyodunun karşılaştırılması	74
Şekil 4.25. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması	75
Şekil 4.26. Eğilme momentlerinin karşılaştırılması	75
Şekil 4.27. Devirici momentlerinin karşılaştırılması	76
Şekil 4.28. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Depoların tasarımı için yönetmeliklerin dikkate aldığı durumlar	6
Çizelge 3.1. Silindirik depo içindeki sıvı kütesinin ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre belirlenmesi	24
Çizelge 3.2. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksekliklerin belirlenmesi	25
Çizelge 3.3. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksekliklerin belirlenmesi	26
Çizelge 3.4. Eurocode 8'e göre h/R oranına göre dinamik parametrelerin değerleri	27
Çizelge 3.5. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin periyotların belirlenmesi..	28
Çizelge 3.6. Eurocode 8'e göre spektral ivmeyi belirlenen periyotlar ve katsayıların belirlenmesi	29
Çizelge 3.7. Yapı önem katsayısı	30
Çizelge 3.8. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre depremde oluşabilecek kesme kuvvetin belirlenmesi (V)	31
Çizelge 3.9. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin moment ve yüksekliklerin belirlenmesi	32
Çizelge 4.1. Örnek 1'deki depoya ait parametre.....	33
Çizelge 4.2. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin kütle ve etkili yüksekliklerin hesabı	34
Çizelge 4.3. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksek ve salınım periyodu hesabı.....	35
Çizelge 4.4. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls periyodu belirlenmesi	35
Çizelge 4.5. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V).....	36
Çizelge 4.6. Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momentin hesabı (M_b).....	37
Çizelge 4.7. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentin hesabı (M_o).....	38
Çizelge 4.8. Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğinin hesabı (d_{max}).....	38
Çizelge 4.9. Örnek 2'deki depoya ait parametre	39
Çizelge 4.10. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin kütle ve etkili yüksekliklerin hesabı	40
Çizelge 4.11. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksek ve salınım periyodu hesabı.....	41
Çizelge 4.12. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls periyodu belirlenmesi	41
Çizelge 4.13. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V).....	42
Çizelge 4.14. Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momentin hesabı (M_b).....	43
Çizelge 4.15. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentin hesabı (M_o).....	44
Çizelge 4.16. Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğinin hesabı (d_{max}).....	44
Çizelge 4.17. Örnek 3'teki depoya ait parametre	45
Çizelge 4.18. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin kütle ve etkili yüksekliklerin hesabı	46
Çizelge 4.19. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksek ve salınım periyodu hesabı.....	47

Çizelge 4.20. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls periyodu belirlenmesi	48
Çizelge 4.21. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V).....	49
Çizelge 4.22. Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momentin hesabı (M_b).....	50
Çizelge 4.23. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentin hesabı (M_o).....	51
Çizelge 4.24. Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğin hesabı (d_{max}).....	51
Çizelge 4.25. Örnek 4'teki depoya ait parametre	52
Çizelge 4.26. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin kütle ve etkili yüksekliklerin hesabı	53
Çizelge 4.27. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksek ve salınım periyodu hesabı.....	54
Çizelge 4.28. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls periyodu belirlenmesi	55
Çizelge 4.29. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V).....	56
Çizelge 4.30. Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momentin hesabı (M_b).....	57
Çizelge 4.31. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentin hesabı (M_o).....	58
Çizelge 4.32. Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğin hesabı (d_{max}).....	58
Çizelge 4.33. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin kütle, etkiki yükseklik ve periyot değerleri	59
Çizelge 4.34. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti, eğilme ve devirici momenti ve dalga yüksekliğinin değerleri	60
Çizelge 4.35. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin kütle, etkiki yükseklik ve periyot değerleri	62
Çizelge 4.36. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti, eğilme ve devirici momenti ve dalga yüksekliğinin değerleri	63
Çizelge 4.37. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin kütle, etkiki yükseklik ve periyot değerleri	66
Çizelge 4.38. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti, eğilme ve devirici momenti ve dalga yüksekliğinin değerleri	66
Çizelge 4.39. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin kütle, etkiki yükseklik ve periyot değerleri	69
Çizelge 4.40. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti, eğilme ve devirici momenti ve dalga yüksekliğinin değerleri	69
Çizelge 4.41. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin impuls kütlelerinin değerleri	72
Çizelge 4.42. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin salınım kütlelerinin değerleri	73
Çizelge 4.43. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin impuls periyodunun değerleri	73
Çizelge 4.44. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin salınım periyodunun değerleri	74
Çizelge 4.45. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvvetinin değerleri	75
Çizelge 4.46. Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momentinin değerleri	75
Çizelge 4.47. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentinin değerleri	76
Çizelge 4.48. Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğinin değerleri	76

1. GİRİŞ

Bir yapıyı güvenli bir şekilde tasarlamak için, farklı yükleme koşulları altındaki davranışının ayrıntılı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Farklı yüklemelerden doğacak gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin incelenmesi için farklı teorik, sayısal ve deneysel yöntemler bulunmaktadır. Deprem etkisi altında, sıvı depolarının projelendirilmesi, hem yükleme açısından hem de deponun özellikleri açısından önem arz etmektedir. Akaryakıt ve kimyasal sıvı depolarının tasarımında, özellikle deprem esnasında çıkan yangınlar nedenleriyle daha hassas davranmak gerekmektedir. Çünkü önemli can kayıplarının yanında çevreye de telafisi zor olan zararlar verebilmektedir. Sıvı depoları; ahşap, çelik veya betonarme olarak inşa edilebilmektedir. Betonarme ya da çelik olarak inşa edilen sıvı depolarının ekonomik ömürleri genellikle 40 ila 75 yıl arasında değişmektedir (Avval 2012). Bunların arasında betonarme sıvı depoları taşıyıcı sistem olarak verimli yapı sistemleridir. Dairesel kesitli silindirik depolar geometrisi yönünden daha avantajlı görünürken, dikdörtgen kesitli depolar da hücre bölmeli depolar açısından daha uygun olmaktadır.

Sıvı depolarının hesap ve tasarımına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Dinamik yüklerin söz konusu olmadığı durumlarda statik etkilerin dikkate alınması yeterli olmaktadır. Bilindiği gibi, sıvı depolarının duvarlarında statik halde meydana gelen basınç, hidrostatik basınç olarak tanımlanmaktadır. Depo tabanında herhangi bir hareket meydana geldiğinde, depo duvarlarına uygulanan basınç artık hidrostatik bir basınç değildir. Deprem gibi dinamik durumlar söz konusu olduğunda hidrodinamik basınçların dikkate alınması gerekmektedir. Bunun için ilk çalışmalarda basitleştirilmiş yöntemler dikkate alınmıştır. Hidrodinamik basınç dağılımını belirlemek için çeşitli analitik yöntemler geliştirilmiştir. Zamanla geliştirilen yöntemlerle sıvı depolarının yapı-sıvı, yapı-sıvı-zemin etkileşimleri gibi etkileşimler irdelenmektedir.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmada, rijit ve esnek kabullere göre depoların deprem hesabı için ACI 350 ve EUROCODE 8’de önerilen yöntemlerin hesap esasları ve parametrelerin belirlenmesinde kullanılan bağıntılar karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir.

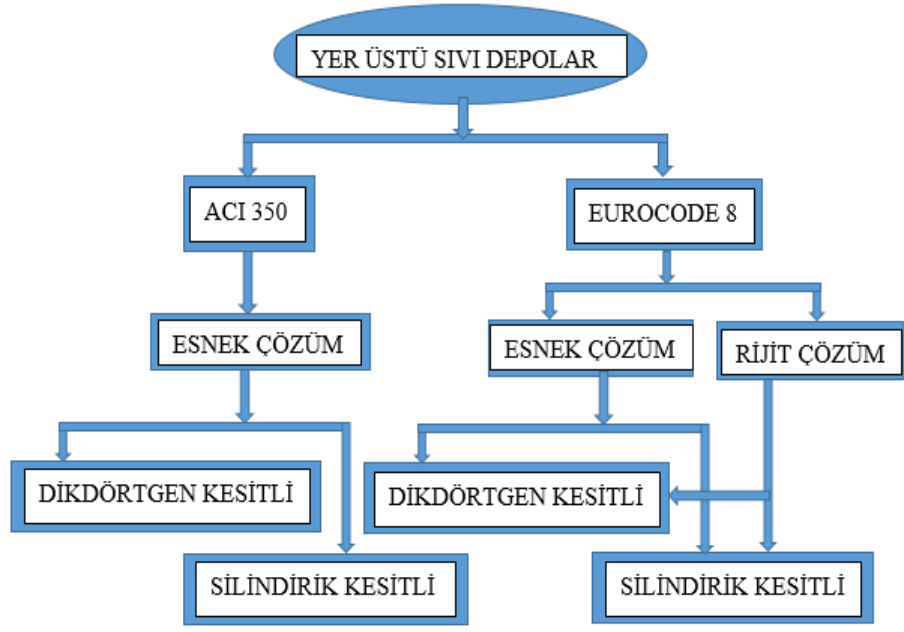
Bir sıvı deponun yapımına karar verildiğinde, hidrolik ve yapısal açıdan bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Çünkü bir depo; yapısal olarak mükemmel bir şekilde

olsa da, hidrolik açısından yetersiz olabilir. Bunun tersinin olması da mümkündür. Özel mühendislik yapılarından olan betonarme depolar için verilen hesap esasları ve geçirimsizliğin sağlanması için alınan önlemler, yüzme havuzları için de geçerlidir.

Çelik ve betonarme sıvı depoları, son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapıların dinamik performansları, özellikle halk sağlığı ve çevresel zararlar açısından özel bir önem teşkil etmektedir. Deprem performansı taşıyıcı sistemin geometrik özelliklerine ve malzeme karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir. Performanslarında yetersizlik görülen depolara örnek olarak Alaska (1964), Parkfield (1966), Niigata (1964), Taiwan (1999), Türkiye (1999) depremlerinde hasar gören sıvı depoları verilebilir. Bu olaylar sıvı depoların hesap ve tasarımı ile ilgili mühendislerin dikkatini çekmiştir. Bu konuyla ilgili öncü çalışmalar 1960 Şili ve 1964 Alaska depremlerinden sonra yaygınlaşmıştır. Araştırmacılar, başta petrol depoları olmak üzere sıvı depolarının dinamik yükler altında yeterli performansı gösterebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirmiş, bunlar yönetmelik ve standartlara girmiştir. Bu bağlamda, tez kapsamında sıvı depolarının statik ve dinamik hesaplarına ilişkin basitleştirilmiş yöntemler ve yönetmeliklerde önerilen yöntemler gerekli bağıntılarla birlikte açıklanmıştır.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, sıvı depolarının depreme göre hesabını yapmak durumunda kalan ya da bu konuya ilgi duyan mühendislerin; sıvı depolarının dinamik yükler etkisindeki davranışını anlamalarına yardımcı olmak, bunlar için yönetmeliklerde öngörülen bağıntıları karşılaştırmalı olarak sunmak ve sıvı depolarının hesap ve tasarımını yapabilmelerine katkı sağlamaktır. Bu amaçla pratik örneklerde, silindirik ve dikdörtgen sıvı depolarının sismik analizi için ACI 350 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerinde öngörülen hesap esasları ve parametrelerin belirlenmesinde kullanılan bağıntılar karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir. Dünyada yaygın olarak kullanılan ACI 350 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerindeki farklılıklar araştırılmakta ve dört farklı tipte depoya ilişkin deprem hesabı yönetmelik koşulları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Yönetmeliklerde dikkate alınan çözümler Şekil 1.1'de sunulan akış şemasında görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi ACI 350 yönetmeliğe göre sadece esnek çözüm bulunurken, Eurocode 8'de ise esnek ve rijit çözümlerin her ikisi de mevcuttur.



Şekil 1.1. Deprem hesabı yapılan depolar

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yönetmeliklerin İrdelenmesi

Binalar için taşıma gücü sınır durumu çoğu durumda tasarım için en önemli sınır durumu olurken, sıvı depoları için kullanılabilirlik sınır durumu daha etken sınır durumu olabilmektedir. Çünkü depolarda oluşacak bir çatlak deponun kullanım dışı kalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle taşıma gücüne göre daha büyük kuvvetlere göre tasarım yapılmaktadır. Buna göre, çeşitli tasarım yönetmelik ve standardlarında, depolar için daha yüksek seviyede tasarım sismik kuvvetleri belirlenmektedir. Sıvı depolarının özelliklerine bağlı olarak, depoların deprem hesabında dikkate alınan kuvvetler, bina türü yapılar için belirlenen kuvvetlere göre yaklaşık 3 ila 7 kat daha büyük olabilmektedir (Jaiswal ve ark. 2007). Depo için sismik etkileri belirlerken sıvının salınım etkisi ve depo duvarlarının esnekliği önemli parametreler olmaktadır.

1960 Şili ve 1964 Alaska depremleri sırasında depoların hasar görmesi, sıvı depolarının sismik analizi üzerine birçok araştırmanın başlamasına neden olmuştur. Bu konudaki başlıca çalışmalardan olan Housner (1963) ve Veletsos (1974)'te depoların sismik etkilere karşı hesabı ve tasarımı için mekanik modeller geliştirilmiştir.

Sıvı depoların tasarımı için birçok standart/kod ve yönetmelik bulunmaktadır. Aşağıda bu konuda yaygın olarak kullanılan yönetmelikler kısaca tanıtılmıştır.

2.1.1. Amerikan beton enstitüsü tasarım standardı ACI 350

ACI'nın en yaygın kodlardan biri betonarme depolar için ACI 350.3-06 standardıdır. Bu kodun ilk baskısı 2001 yılında ACI komitesi tarafından "Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structure and Commentary" başlıklı yayını olarak yapıldı. Bu standart, sıvı içeren betonarme yapıların sismik analizi ve tasarımı için önerilen prosedürleri içermektedir. Sıvı içeren bir yapının analizi ve tasarımı, sıvı ve yapının birbirini etkileyen farklı davranışları nedeniyle, önemli bir mühendislik problemi olmaktadır. ACI 350 farklı şekillerdeki (dikdörtgen ve dairesel) betonarme veya öngerilmeli beton ile üretilen depoların hesap ve tasarım esaslarını içermektedir.

2.1.2. Eurocode 8

Eurocode standartları, ülkelerin kullanımları için ortak yapısal tasarım esaslarını içermektedir. Ülkeler yerel parametrelerini kullanarak genel hesap ve tasarım esaslarını kullanabilmektedir.

Yapılarla ilgili olan Eurocode standartları aşağıda sıralanmaktadır:

- EN 1990 Eurocode: Yapısal tasarımın temeli
- EN 1991 Eurocode 1: Yapılar üzerindeki eylemler
- EN 1992 Eurocode 2: Beton yapıların tasarımı
- EN 1993 Eurocode 3: Çelik yapıların tasarımı
- EN 1994 Eurocode 4: Kompozit çelik ve beton yapıların tasarımı
- EN 1995 Eurocode 5: Ahşap yapıların tasarımı
- EN 1996 Eurocode 6: Duvar yapılarının tasarımı
- EN 1997 Eurocode 7: Geoteknik tasarım
- EN 1998 Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapı tasarımı
- EN 1999 Eurocode 9: Alüminyum yapıların tasarımı

EN 1998 Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapıların tasarımı

Yukarıdaki listeden görüldüğü gibi tez kapsamında kullanılacak olan depoların depreme göre hesaplarında kullanılacak ilgili standard Eurocode 8'dir. Bu standart genel olarak yapılar için sismik tasarımının prensip ve uygulama esaslarını içermektedir. Eurocode 8'in dördüncü kısmı (Part-4) depolar, silolar ve boru hatları ile ilgilidir. Bu standartta, salınım ve impuls bileşenlerinin dinamik modellemesinin nasıl yapılması gerektiği ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Aynı zamanda tehlikeli madde içeren sıvı depolarının ve çeşitli inşaat mühendisliği yapılarının sismik tasarımı için hükümleri kapsamaktadır. Eurocode 8 (1998)'da, rijit dairesel depolar için Veletsos ve Yang'ın (1977) mekanik modeli, esnek dairesel depolar için ise Veletsos (1984) modelleri ile Malhotra ve diğerleri tarafından kullanılan Haroun ve Housner (1981) modelleri kullanılmıştır. Housner'ın 1963'te geliştirmiş olduğu model rijit dikdörtgen depolar için kullanılmaktadır.

Eurocode 8'e göre hesap ve tasarımda davranış faktörü q ve spektrum şekli önemli parametrelerdir. Bununla birlikte, 475 yıllık bir referans dönüş periyoduna karşılık gelen maksimum tasarım yer ivmesi a_g değeri, ülkelerin belirlemesine bırakılmıştır.

Yönetmeliklerin karşılaştırılmalarıyla ilgili olarak, Jaiswal ve ark. (2007) çalışmalarında, depoların hesap ve tasarımı için yönetmeliklerde dikkate alınan durumları Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. Çalışmada gözden geçirilen yönetmeliklerin özetlenmekte ve sıvı depolarının tasarım sismik kuvvetinin değerlendirilmesi sunmaktadır. Çizelge 2.1'de belirtilen standart ve yönetmeliklerin çoğunluğu Amerika Birleşik Devletleri'nde hazırlanmıştır. Bunların dışında, 2006 IBC (Uluslararası Bina Kodu), Eurocode 8 ve NZSEE (Yeni Zelanda Deprem Mühendisliği Derneği) yönetmelikleri de irdelenmektedir. Çizelge 2.1'de yönetmeliklerin bir kısmı "taşıma gücü sınır durumu" (SD) kullanılırken diğerleri ise "kullanılabilirlik sınır durumu" (ASD) ile simgelenmiştir.

Çizelge 2.1. Depoların tasarımı için yönetmeliklerin dikkate aldığı durumlar (Jaiswal ve ark 2007)

KOD	YIL	YER ÜSTÜ		AYAKLI		sismik kuvvet seviyesi
		Beton	Çelik	Tip kule	Çerçeveli-tip kule	
ACI 350-3	2001	✓	-	✓	-	ASD
API 650	2005	-	✓	-	-	ASD
ASCE 7	2005	✓	✓	✓	✓	SD
AWWAD-100	2005	-	✓	✓	✓	ASD
AWWAD-100	1995	✓	-	-	-	ASD
AWWAD-115	1995	✓	✓	-	-	ASD
EUROCODE 8	1988	✓	✓	✓	✓	SD
IBC	2006	✓	✓	✓	✓	SD
NZSEE	-	✓	✓	✓	✓	SD

Yönetmeliklerin karşılaştırılması ile ilgili olarak aşağıdaki hususlar belirtilebilir:

- Çeşitli yönetmeliklerde açıklanan depo tiplerinde tek düzelik yoktur. Yönetmeliklerin çoğunda yerüstü depolara vurgu yapılmakta, ayaklı depolar hakkında çok sınırlı bilgiler verilmektedir.

- Tüm yönetmelikler depoların dinamik analizinde salınım ve impuls bileşenlerin dikkate alınmasını önerilmektedir.
- Kısa periyotlu özel depo tipi için, tüm yönetmelik deponun taban kesme kuvveti oranı hemen hemen aynıdır.

2.1.3. İmpuls ve Salınım Bileşenleri için Sönüm Oranı

Sıvı depoları; dinamik bir etkiye maruz kaldığında, depo içindeki sıvının hareketi, asıl olarak iki kütleli hareket olarak modellenmektedir. Bunlardan ilki deponun yapısal kısmı ile birlikte hareket eden sıvı kütlesi (impuls kütlesi), ikincisi yapısal kısımdan bağımsız olarak hareket eden ve impuls kütlesine nazaran değişik periyotlarla salınım yapan sıvı kütlesi (salınım kütlesi)'dir.

İmpuls ve salınım bileşenleri için sönüm oranı, tüm yönetmeliklerde ve standartlarda ayrı ayrı belirtilmiştir. Yönetmelik ve standartlarda salınım bileşeni için genel olarak %0.5 sönüm oranı kullanılmaktadır.

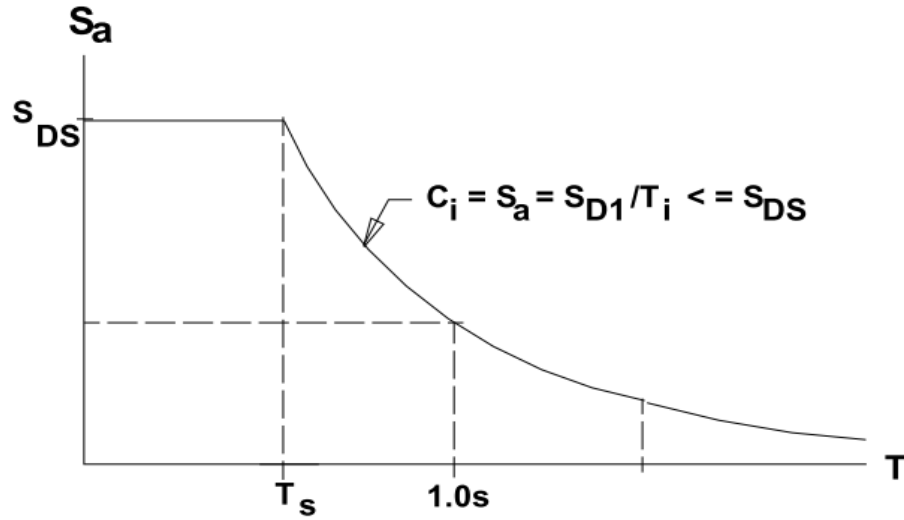
İmpuls bileşeni için sönüm oranı, yönetmelik ve standartlarda farklı farklı önerilmektedir. Bu oran, depo tipine, inşaat malzemesine vb. özelliklere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. ASCE 7, ACI 350.3, AWWA D-100, D-110, D115 ve API 650'deki impuls bileşenin sönüm oranı, tüm depo türleri için genellikle %5 olarak önerilmektedir. Bu değer salınım için öngörülen sönüm değerinin 3 katı küçük olduğu belirtilebilir.

Eurocode 8'de, önerilmeli beton ve betonarme depoların impuls bileşeni için sönüm oranı %5 iken, çelik depolar için %2 olarak önerilmektedir.

2.1.4. İmpuls ve Salınım Bileşenleri Tasarım Spektrumları

Eşdeğer statik kuvvet prosedüründe tepki spektrumu yöntemi, sıvı içeren yapılar için dinamik kuvvetlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yönetmeliklerde ve standartlarda belirtilen yer hareketi için çıkartılan tepki spektrumunun yanında, impuls ve salınım bileşenleri için ayrı ayrı tepki spektrumları geliştirilebilmektedir. Bunun nedeni, tasarım için kullanılan sönüm oranlarına dayanan impuls ve salınım bileşenlerinin farklı dinamik karakterde, periyotlarının da birbirine göre oldukça farklı değerlerde olmasıdır.

ACI 350'de C_i ve C_c , sırasıyla impuls ve salınım hidrodinamik basınçlar için periyoda bağlı olarak belirlenen dinamik tepki katsayıları olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.1'de, impuls sismik tepki katsayısı C_i 'nin belirlenmesinde kullanılan tasarım spektrumu görülmektedir. Şekilde S_a ve C_i dinamik tepki spektrum katsayısını, S_{DS} ve S_{D1} sırasıyla kısa periyotlarda ve 1 saniyelik bir sürede %5 sönümlü tasarım spektral tepki ivmesini, T_i impuls bileşenin periyodunu ve T periyodunu göstermektedir.



Şekil 2.1. İmpuls bileşeni için tasarım tepki spektrumu (ACI 350 2006)

2.1.5. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Deprem yüğü azaltma katsayısı; yapının süneklik, enerji dağıtma kapasitesinin ve dayanım fazlalığının birleşik etkisini temsil eden katsayıdır. Yönetmelikler ve standartlarda verilen değerler arasındaki fark aşağıdaki gibi irdelenebilir (Jaiwal ve ark. 2007):

- Yüğü azalma katsayısı, ASCE 7'de modifikasyon faktörü R ile ifade edilirken Eurocode 8'de ise davranış katsayısı q ve NZSEE'de düzeltme faktörü C_f olarak kullanılır, C_f ise süneklik faktörü μ ve sönüm oranı ξ 'nin bir fonksiyonudur.
- Amerikan standartı ASCE 7'de modifikasyon faktörüne benzer bir ifade ile yüğü azalma katsayısı kullanılmaktadır.
- Elastik tasarımda sismik kuvveti azaltmak için farklı yönetmeliklerin takip ettiği stratejilerde önemli farklılıklar görülmektedir.

- İlk büyük fark, enerji yutma kapasitelerine bağlı olarak depoların sınıflandırılması ile ilgilidir. Bazı yönetmelikler ve standartlar, depoların ayrıntılı bir sınıflandırmasını verir ve her bir depo tipi için yük azaltma katsayısının değerini belirtmektedir.
- Çeşitli yönetmeliklerdeki diğer önemli fark ise salınım kuvvetleri için yük azaltma katsayısının kullanılması ile ilgilidir. ACI 350.3, D-110 ve Eurocode 8'de salınım modu için yük azaltma katsayısı kullanılmamakta fakat ASCE 7, D-100 ve API 650'de salınım modu için yük azaltma katsayısından düşük değerler alınmaktadır.

2.2. Litteratür Taraması

Teknik literatüre göre 1800'lerin son yarısından itibaren depolar hakkında çalışmalar yapılmaya başlanmış ve bu konuyla ilgili araştırmalar günümüzde de hala devam etmektedir. Bu tez kapsamına giren konularla ilgili yapılmış olan çalışmalar genel olarak sınıflandırılmış ve aşağıda guruplar halinde sunulmuştur.

A-Yerüstü silindirik depolara ilişkin yapılan çalışmalar:

- Depo-Sıvı etkileşiminin dikkate alındığı çalışmalar (Veletsos ve Yang 1976, Fischer 1979, Fujita 1981, Gedikli 1996, Saatçi 1998, Hosseini ve Mohojer 2000).
- Depo-Zemin etkileşiminin dikkate alındığı çalışmalar (Fujita 1982, Baysal ve Nash 1984, Yamamoto ve ark. 1984, Haroun ve Abdel-Hafiz 1986; Zaman ve Mahmood 1988, Veletsos ve Tang 1990, Chatterjee-Basu 2001, Shrimali ve Jangid 2002).
- Sıvı-Depo-Zemin etkileşimlerinin dikkate alındığı çalışmalar (Seeber ve ark.1990, El-Zeiny 1995, El-Zeiny 2002, Cho ve ark. 2005).
- Depoda meydana gelebilecek salınım hareketinin dikkate alındığı çalışmalar (Housner 1963, Bauer 1964, Bauer ve Siekmann 1971, Aslam ve Godden 1979, Fujita 1981, Housner ve Haroun 1980, Malhotra ve ark. 2000).
- Depo mesnet koşullarına bağlı olarak tabandaki kalkmaları dikkate alan çalışmalar (Arros ve Sogabe 1984, Borton ve Parker 1987, El-Zeiny 1995, 2002, Meler 2002).
- Depremin düşey bileşeninin dikkate alındığı çalışmalar (Marchaj 1979; Veletsos ve Kumar 1984).

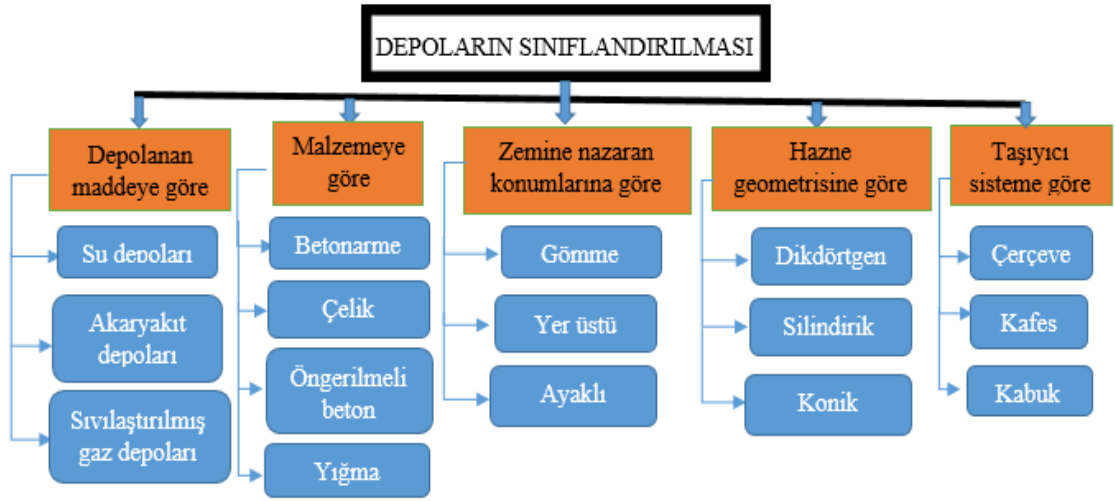
- Depoların dinamik özelliklerinin deneysel olarak belirlendiği çalışmalar (Haroun 1983, Minowa 1984, Hamdan 2000).

B-Yerüstü dikdörtgen depolara ilişkin yapılan çalışmalar:

- Depo duvarına etkiyen hidrodinamik basıncı belirlemeye yönelik çalışmalar (Hoskins ve Jacobsen 1934, Housner 1957, Doğangün ve Livaoğlu 2004).
- Kütle-yay (Toplanmış Kütle) modellenmesiyle depoların pratik deprem hesabına yönelik çalışmalar (Graham ve Rodriquez 1952, Housner 1963, Chen ve Barber 1976).
- Duvar esnekliğinin dikkate alındığı çalışmalar (Priestley ve ark. 1986, Haroun ve Chen 1989, Doğangün 1995, Doğangün ve ark. 1997, Koh ve ark. 1998).
- Depo-zemin etkileşiminin dikkate alındığı çalışmalar (Doğangün 1995, Kim ve ark. 1996, 1998, Doğangün ve ark. 1997, Koh ve ark. 1998).
- Depoda meydana gelen salınım hareketinin dikkate alındığı çalışmalar (Bauer ve Eidel 1987, Haroun ve Chen 1989).
- Depoda taban izolasyonunun dikkate alındığı çalışmalar (Park ve ark. 2000).
- Deneysel çalışmalar (Koh ve ark. 1998).
- Dikdörtgen sıvı depoların zaman tanım alanıyla dinamik analizi ile ilgili çalışmalar (Amirreza Ghaemmaghami 2010).

2.2.1. Depoların kullanım amaçları ve sınıflandırılması

Sıvı depoları genel olarak; dairesel, dikdörtgen veya kare kesitli olmaktadır. Sıvı depoları için farklı açıdan yapılan sınıflandırmalar Şekil 2.2'deki şemada sunulmuştur. Bu çalışmada uygulamaya konu olan depolar, sunulan depo sınıflarından zemine konumlarına göre yer üstü ve hazne geometrisine göre de silindirik ve dikdörtgen olarak seçilmiştir.



Şekil 2.2. Depoların sınıflandırılması (Doğangün 1989)

2.2.2. Sıvı depolarının görevleri

Sıvı depoları, yukardaki sınıflandırmada olduğu gibi çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bu amaçlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- İnsanların ihtiyaç duyduğu suyu depolamak
- Yangın sırasında ilave su ihtiyacını karşılamak
- Şebekedeki su basıncının belirli sınırlar içinde kaldığından emin olmak
- Sanayi ve enerji için gerekli sıvıların depolanması
- Atıksuları, arıtılması için biriktirmek

2.2.3. Dairesel kesitli depolar

İhtiyaca göre farklı geometrik şekillerde sıvı depoları yapılmaktadır. Depo tasarımlarının ülke ekonomisi göz önünde bulundurularak yapılması önemlidir. Malzeme maliyeti açısından en ekonomik tasarımlar, küresel ya da silindirik depolardır (Kozluca ve Nohutçu 2007).

Depolardaki sıvılar, depo yan duvarlarına basınç uygulamakta ve dışarıya doğru hareket etmeye zorlamaktadır. Bu etki nedeniyle duvarlar özellikle moment ve kesme kuvveti etkisinde kalmaktadır. Dairesel depolar diğer depolardan daha üstündür. Çünkü dairesel depolarda genellikle eğilme momenti ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Ayrıca, duvar

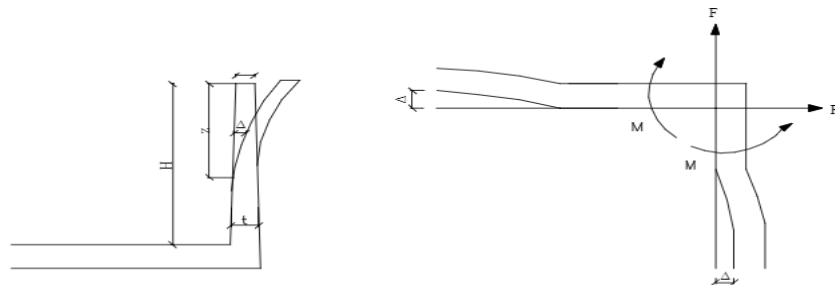
yüzeylerinin eğriliği dairesel depolardaki işçilik ve takviye işçiliğini arttırdığı için, birim alan maliyetleri diğer depolardan daha yüksektir. Bu dairesel depoların sakıncalı tarafını oluşturur (Doğangün 1989). Şekil 2.3'te bir silindirik sıvı deposunun örneği gösterilmektedir. Öte yandan depolarda çatlama riski büyük önem taşıdığından, duvarlarında eğilme momentinden kaynaklanan çekme gerilmelerinin betonu çatlatabilecek düzeye ulaşması istenmemektedir.



Şekil 2.3. Silindirik betonarme sıvı deposu (<https://www.dntanks.com>).

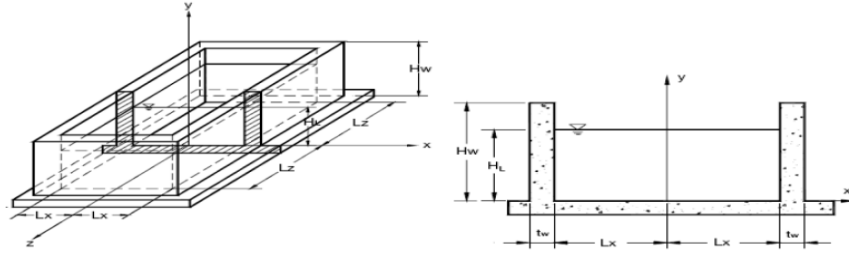
2.2.4. Dikdörtgen kesitli depolar

Dikdörtgen depoların duvarları plak yüzeysel taşıyıcı elemanlar olarak değerlendirilebilir. Çünkü sıvı basıncı, depo tabanına ve duvarlarına dik olarak etki etmekte ve bu nedenle de her iki doğrultuda eğilme momenti meydana gelmektedir. Dairesel depo duvarlarında aksenal çekme kuvveti etkili olmasına rağmen dikdörtgen depo duvarlarında, aksenal kuvvetin yanında kesme kuvveti ve eğilme momenti de etkili olmaktadır. Bu şekilde yüklemeye maruz bir dikdörtgen deponun duvarlarının yatay ve düşey deformasyonu, Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Görülebileceği gibi negatif momentin ve kesme kuvvetinin maksimum değerleri genellikle köşelerde bulunmaktadır.



Şekil 2.4. Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depo duvarlarının davranışları (Altan ve Güler 2008)

Dikdörtgen kesitli depo duvarlarında eğilme momentinin meydana gelmesi tercih edilmeyen bir durumdur. Ancak, eğer depo yapılacak arazi, endüstri yapılarında kesin ise, farklı sıvıları depolamak için çok gözlü depo inşaatı gerekmektedir. Bu durumda, dikdörtgen depolar, arazi kaybını önlemek için dairesel depolardan daha uygun olmaktadır. Şekil 2.5'te üstü açık bir yerüstü dikdörtgen sıvı deposunun örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı deposu (Ghaemmaghami 2010)

2.2.5. Depolardaki sıvıların özellikleri

Betonarme sıvı depolarında biriktirilecek sıvının betona zarar vermemesi gerekmektedir. Karbon bileşimli maddeler genel olarak çoğu beton için zararlı değildir. Diğer maddelerin bazıları kısmen, bazıları ise son derecede zararlı olup betonun bozulmasına neden olmaktadır. Hemen hemen tüm asitler ve tuzların bazıları zararlı etkiler yaratmaktadır. Beton için zararlı asitlere sülfürik, hidroklorik, karbonik, sakarit, asetik asit ve fenol örnek verilebilmektedir. Beton için zararlı tuzlar ise magnezyum sülfat, sodyum sülfat, zeytinyağı, kakao yağı, meyve suları, süt ve diğer bazı yağlardır.

Sodyum klorit, kalsiyum klorit, oksalik asit (tek zararsız asit), sodyum nitrat, kireç suyu maden yağı, benzol, parafim, vazelin, vb. bileşimler içeren maddeler betona zararlı değildir (Doğangün 1989).

2.2.6. Sıvı depolarına etkiyen yükler

Depoların projelendirilmesi sırasında ilk olarak, diğer yapı türlerinde olduğu gibi, kendi ağırlığı (kalıcı yükler, zati yükler) dikkate alınmaktadır. Diğer bir yük olarak depolanacak suyun etkisi belirtilebilir. Depo hesaplarında suyun yalnızca ağırlığının değil ayrıca

deponun duvarlarına yaptığı su basıncının da dikkate alınması gerekmektedir. Suyun temasta bulunduğu yan duvarların boyutlandırılmasında, donatılandırılmasında su basıncı daha etkili olmaktadır. Statik durumda su basıncı, su yüzeyi ile etkilediği yüzeydeki noktanın arasındaki kot farkının suyun özgül ağırlığı ile çarpımı kadar bir şiddette üçgen yayılı yatay kuvvet olarak etki etmektedir.

Deponun toprağa kısmen veya tamamen gömülü olduğu durumlarda zemin etkisinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Zemin basıncının su basıncı ile birlikte veya ayrı ayrı yapıya etki etmeleri durumları dikkate alınmalıdır. Zemin basıncının derinlikle değişimi de, üzerinde varsa sürşarj yükünün değerine ve zeminin özelliklerine göre değişmektedir. Depoda su bulunmadığı durumda toprak etkisi daha elverişsiz olabilmektedir.

Depo tabanının mümkün olduğunca yer altı su seviyesinden yukarıda olması gerekmektedir. Aksi takdirde suyun kaldırma kuvvetinin etkisi de göz önüne alınarak, deponun ağırlığı ile bu etki karşılaştırılmalıdır. Depoda su bulunmaması göz önüne alınarak kaldırma tahkiki yapılmalıdır. Gerekli görülürse yapıya ilave beton tabakası ile ağırlık eklenmesi yapılabilir.

Gömme depolarda, zemin etkisi ön plana çıkmaktadır. Depo geometrisi bu depolar için de hesap açısından çok belirgin bir parametre olmaktadır. Depo tavanının üzerindeki toprak yükünün de dikkate alınması gerekmektedir.

Ayaklı depolar belirli bir yükseklikte olması nedeniyle diğerlerinden farklı karakterdedir. Bu depolarda su haznesi belirli bir rijitliğe sahip ayak adı verilen yapısal bir sisteme oturmaktadır. Bu durumda bu tür yapıların rüzgara ve deprem etkisine göre tasarımında daha etkin olarak dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır.

Rötre ve sünme etkileri bütün depo çeşitlerinde göz önüne alınmalıdır.

2.2.7. Depolar için deprem etkisi

Deprem, yer kabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzeyini sarsma olayıdır. Deprem kendisi doğal bir afet olup, yapıların hasar görmemesi halinde can ve mal kaybına yol açmayacaktır. Ancak yapıların yeterli performansa sahip olmaması durumunda deprem

yapıların hasar görmesine neden olacak ve halk ve çevre sağlığı açısından olumsuzluklar ortaya çıkacaktır. Sıvı depolarının sismik performansı, özel bir önem taşımaktadır. Betonarme sıvı depoları, son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapılar, deprem sonrası bölgelere su temin etmek ve yangın söndürme ihtiyacını karşılamaktadır. Sıvı depoları, büyük bir depremin ardından can kayıplarının yanında çevreye de telafisi zor olan zararlar verebilmektedir. Deprem esnasında kontrolsüz yangınlar meydana gelebilmekte ve depremden daha fazla zarar verebilmektedir. Endüstriyel sıvı depolar, yüksek derecede zehirli ve yanıcı sıvılar içerebilmekte ve deprem sırasında içeriklerini kaybetmemelidir.

Sıvı depoları çok çeşitli sismik tehlikelere ve diğer çevresel faktörlerle etkileşime maruz kalmaktadır. San Francisco'daki büyük depremde su depolarının hasar görmesi sonucunda, itfaiyenin su kaynaklarında azalmalar olmuş ve yangınla mücadele zaafa uğramıştır. Bu durum da depremde çıkan yangınların söndürülmesi açısından su depoların önemini ortaya koymaktadır (ABD Jeolojik Araştırma, USGS 2012).

2.2.8. Sıvı depolarında deprem hasarları

Büyük tarihsel depremler sonrasında betonarme sıvı depolarda farklı düzeylerde hasarlar oluşmuştur. Bu hasarlar değerlendirilerek yönetmelik ve standartlardaki koşullar güncellenmiştir.

Japonya'daki 1964 Niigata depremi sonucunda meydana gelen yangın, 14 günden fazla sürmüş ve 122 milyon litre petrol tüketilmiştir. Bu yangının nedenleri üzerine yapılan araştırmalar, depo ile çatı arasındaki sürtünmenin kıvılcım oluşturduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Çatı ile yan duvar arasındaki metalik bir malzeme yan duvara doğru sürtüttüğünde kıvılcım oluşmasına sebep olmuştur. Bu kıvılcımlar deponun içinde bulunan petrol buharını ateşlemiş ve büyük bir yangına yol açmıştır (Kawasumi 1968). 1964'te, Alaska'da meydana gelen depremler ve Niigata'da meydana gelen olay, sıvı (petrol) depolarında önemli kayıplara neden olmuştur (Ulusal Araştırma Konseyi 1968). Bu olaylar birçok sismik mühendislik camiasının dikkatini çekmiştir. Araştırmacılar, başta petrol olmak üzere sıvı depolarının deprem yükleri altında performanslarını iyileştirmek için çeşitli yöntemler geliştirmeye yoğunlaşmışlardır.

1971'de San Fernando'da meydana gelen bir başka deprem, Sylmar ve Granada Tepeleri'ndeki atıksu ve su arıtma sistemlerinde büyük hasarlara neden olmuştur. Kaynaklı bir çelik su deponun hasarı da rapor edilmiştir. Bu durumda, depo temellerindeki oluşan aşırı gerilmeler ve zeminde meydana gelen farklı oturmaların koruyucu plakanın yatay bir deformasyonuna neden olduğu fark edilmiştir. Yeraltı su depoları tahmini olarak 0.4 g'lik bir yer ivmesine maruz kalmış ve ciddi hasarlar oluşmuştur. Ayrıca, depremden kaynaklanan salınım dalgaları, Sylmar bölgesinde bir çelik yıkama suyu deposunun hasarına neden olmuştur. San Fernando'daki 1971'deki söz konusu zararlar, sıvı depolarının sismik tasarımı için daha sıkı kriterlerin benimsenmesine yol açmıştır. 1994'te Kaliforniya'da benzer büyüklükte bir deprem meydana geldiğinde, ilk defa can güvenliği performans seviyesine göre tasarlanan yapılarda sadece küçük hasarlar meydana gelmiştir. Ancak, Northridge depreminde Los Angeles bölgesindeki bazı ana tesislerde büyük zararlar meydana gelmiştir (USGS 2012).

17 Ocak 1995'te Japonya'daki Kobe depreminde de depolarda bazı hasarlar meydana gelmiştir. Bu depremde meydana gelen zemin sıvılaşması, kıyı bölgelerindeki hasarların ana sebebi olarak belirtilmiştir.

2001'deki Bhaji Hindistan depreminde birçok ayaklı depo hasar görmüştür (USGS 2012).

Türkiye'de 1999 depremlerinde bir çok sıvı tutma yapısı ve petrokimya tesisi hasar görmüş, çıkan yangınlar önemli zararlar meydana getirmiştir (USGS 2012).

2.2.9. Sıvı depoların tasarımında dikkatı edilmesi gereken hususlar

Sıvı içeren yapılarda meydana gelen hasarların nedenleri, diğer yapılarda meydana gelen hasarların nedenlerine esas itibariyle benzemektedir. Bunlar genel olarak projelendirme, yapım ve kullanım aşamasında yapılan hatalardan kaynaklanmaktadır. Bu aşamaların herhangi biri çeşitli parametrelere bağlı olup herbiri birinci dereceden önemli olmaktadır.

Amerikan Lifelines İttifakı (ALA 2004), kaynağından yararlanarak, önceki depremler sırasında depolarda gözlemlenen farklı hasarların nedenlerini aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kabuğun Burkulması: Çoğunlukla silindirik çelik depolarda meydana gelmektedir. Deponun gövdesini oluşturan çelik kabuk burkulmaktadır.

- Çatı hasarı: Deponun içerdiği sıvının üst kısmının salınım hareketinden kaynaklanan aşırı salınım basınçlarının oluşması ve yeterli serbest dalga yüksekliği bulunmadığı durumlarda çatı hasarları meydana gelmektedir.
- Ankrajın yetersizliği: Deprem etkileri altında depolar aşırı hidrodinamik basınç yaşamaktadır. Ayrıca yapının kendi ağırlığından kaynaklanan büyük atalet kuvvetleri de doğabilmektedir. Yerüstü veya ayaklı depolarda devrilme momentinden kaynaklanan çekme ekisi nedeniyle duvar-taban bağlantısında kopma oluşmaktadır.
- Deponun destek sisteminin hasarı: Özellikle çerçeve taşıyıcı sisteme sahip ayaklı depolarda meydana gelmektedir. Üzerindeki ağır hazne kısmı nedeniyle yanal ötelenmeler ve devirici moment etkili olabilmektedir.
- Temel yetersizliği: Dinamik etkilerden doğan aşırı taban basıncı ya da kısmi oturmalar temelin hasar görmesine neden olmaktadır. Bu hasar hem betonarme hem de çelik depolarda görülebilmektedir.
- Derz hasarları: Depolarda derzler kullanılabilir. Bu derzlerdeki hasarlar nedeniyle sızıntılar meydana gelebilmektedir.
- Öngerilmeli betonarme depo hasarı: Öngerilmeli depolarda öngerme kaybı depolarda çatlamalara neden olabilmektedir.
- Depo-boru sistemi hasarı: Depolardaki doldurma ve boşaltma sistemlerinde özellikle depremlerde bağlantı hasarları meydana gelebilmektedir.

2.2.10. Sıvı depolarının analiz yöntemleri

Bu çalışmada sıvı depolarının sismik analizi için ACI 350 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerine göre basitleştirilmiş sismik tasarım yöntemleri sunulmaktadır. Bu bilgilerle yönetmeliklerin karşılaştırılarak, moment ve kuvvetler açısından en elverişsiz olanı ortaya konulmaktadır. Sıvı depoların dinamik analizine bulguların mertebeleri hakkında fikir sahibi olabilmek için sadeleştirilmiş yöntemlerle başlamak, daha sonra ayrıntılı analizlere geçmek daha uygun olmaktadır. Basitleştirilmiş yöntemler genelde bir ya da iki mod dikkate alınarak eşdeğer statik analizi içermektedir. Tasarım spektrumu kullanılarak da deponun tasarımı gerçekleştirilmektedir.

Ayrıntılı ya da detaylı analiz yöntemleri arasında zaman tanım alanında gerçekleştirilen

dinamik analizler belirtilebilir. Bu yöntemle gerilmeler, yerdeşiştirmeler ya da salınım yüksekliği gibi parametrelerin deprem süresince değişimlerinin belirlenmesine de imkan tanımaktadır. Bu yöntem aynı zamanda temel-yapı ve sıvı-yapı etkileşim etkilerini dikkate alarak gerçekleştirilen analizlerde de kullanılmaktadır.

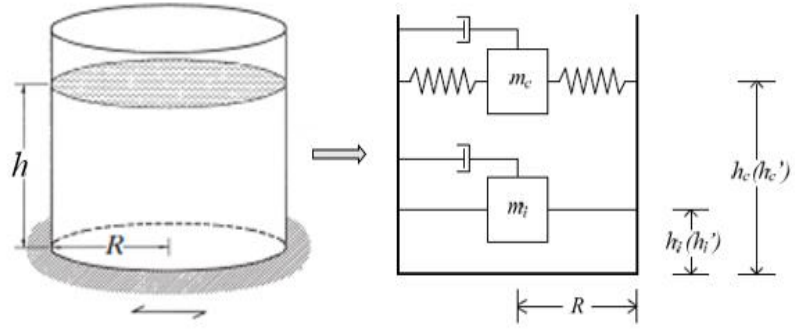
2.2.11. Basitleştirilmiş yöntemler

Basitleştirilmiş yöntemler, depolarda dinamik yüklerden doğacak gerilmelerin veya kesit tesirlerinin tahminleri için kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar hem rijit depolar hem de esnek depolar için geliştirilmiştir. Bu prosedürde, deprem sarsıntısından dolayı yapıların atalet kuvvetleri ve ilave su kütlesi, sistemin eşdeğer ağırlık merkezine uygulanan eşdeğer statik kuvvetlerle temsil edilmektedir. Atalet kuvvetleri, yapısal kısmın kütlesi ile sıvı kütlesinin yer hareketine tepkisinden kaynaklanmaktadır.

Suyun sıkıştırılmaz olduğu kabul edilirse, bir hidrolik yapı için sıvı-yapı etkileşimi, eşdeğer bir ilave su kütlesi ile temsil edilmektedir. Bu konuda Westergaard, Housner ve Chopra tarafından çeşitli yöntemler önerilmiştir (Westergaard 1938, Housner 1957, Chopra ve Liaw 1975).

2.2.12. Sıvı depolarının dinamik analizi için önerilen mekanik model

Sıvı depoları dinamik bir etkiye maruz kaldığında depo içindeki sıvının hareketi asıl olarak iki kütlenin hareketi olarak modellenmektedir. Bunlardan ilki deponun yapısal kısmı ile birlikte hareket eden sıvı kütlesi (impuls kütlesi), ikincisi yapısal kısımdan bağımsız olarak hareket eden ve impuls kütesine nazaran değişik periyotlarla salınım yapan sıvı kütlesi (salınım kütesesi)'dir. Bu model Şekil 2.6'da görölmektedir. Şekilde R silindirik depoların iç yarıçapını, h sıvının yüksekliğini göstermektedir. Şekilde m_i ve m_c sırasıyla impuls ve salınım kütelelerini, h_i ve h_i' ise impuls kütesinin ve devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliklerini temsil etmektedir. Benzer Şekilde, h_c ve h_c' salınım kütesinin ve devirici moment hesabında etkili salınım yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 2.6. Silindirik betonarme deponun dinamik modeli (Vukobratovic ve ark
2013)

Deponun alt kısmındaki sıvının meydana getireceği etki impuls kuvveti, üst kısmındaki sıvının meydana getireceği etki ise salınım kuvveti ile temsil edilmektedir. Depo içindeki sıvı impuls kütlelerinin, depo duvarları ile birlikte hareket ettiği, salınım kütlelerinin ise depo duvarlarından farklı olarak hareket ettiği belirtilebilir. İmpuls ve salınım titreşimi temsil eden toplanmış kütle kavramını kullanarak depoların dinamik analizi yapılabilmektedir. Bu modeller basit ve hızlı bir değerlendirme sağlamaktadır. Silindirik depolar için iki kütleli olarak tanımlanan bu model, Housner tarafından yönetmeliklere girebilecek hale getirilmiştir.

2.2.13. Sıvı yüksekliğinin etkisi

Toplanmış kütle; tek serbestlik dereceli sistemde (SDOF), yapının kütlesi ve karşılık gelen eşdeğer statik kuvvet, tabanın üzerinde etkili bir yükseklikte uygulanmaktadır. Bu yaklaşımda Housner (Housner 1963), sıvı depolarının dinamik analizi için, depo duvarlarının ataletini ve hidrodinamik basınç etkisini hesaba dahil etmek için ilave sıvı kütlelerini dikkate alan bir model önermiştir. Betonarme depo duvarının ataletinden doğan kuvvet, depo duvarının ağırlık merkezine etkimektedir. Hidrodinamik impuls basıncını oluşturacak sıvı kütlesi, impuls yanal kuvvetin ağırlık merkezini temsil eden duvar tabanının üstünde bir yükseklikte toplanmaktadır.

Maksimum tasarım sıvı yüksekliğinin, sıvı depolarının dinamik tasarımında maksimum dinamik tepkiye yol açmayabileceğini belirtmek gerekmektedir. Düşük sıvı seviyesi

durumundan kaynaklanan temel sıvı depolarının doğal frekansının, tepki spektral ivmesine ve ilave sıvı kütesinin katılımına bağlı olarak daha yüksek dinamik tepkiye neden olması mümkün olmaktadır.

2.2.14. Depo uzunluğunun etkisi

Deponun uzunluğunun sıvı yüksekliğine oranı, L/h , sıvı depolarının dinamik tepkisi üzerindeki depo büyüklüğünün ve sıvı yüksekliğinin etkisini incelemek için bir parametre olarak kullanılmaktadır. Böyle bir yaklaşım kullanmanın avantajları şunlardır:

- L ve h ikisi de bir deponun konfigürasyonunu temsil eden temel parametrelerdir.
- Depo duvar yüksekliğini, dinamik analizde önceden belirlenmiş bir parametre iken, sıvının yüksekliği ise bir değişken olarak kabul edilebilir.

2.2.15. Sıvı-Yapı etkileşiminin değerlendirilmesi

Sıvı-yapı etkileşimleri gibi birçok mühendislik sisteminin tasarımında uçaklar, uzay araçları, motorlar, depolar ve köprüler gibi yapılarda dikkati alınmaktadır.

Statik durum yaygın olarak bilinen şekliyle hidrostatik basınçlardan ibaret iken, dinamik halde sıvının ve deponun geometrik ve mekanik özelliklerine bağlı olarak çeşitli şekillerde etkileşimin ortaya çıkması muhtemeldir. Sıvı-yapı etkileşimi, sıvı ile depo duvarları arasında gerçekleşen fiziksel bir olaydır.

Sıvı-yapı sistemleri dinamik bir etkiye maruz kaldığında, depo içindeki sıvının hareketi için, iki ana davranıştan söz edilebilir. Birincisi depo ile birlikte hareket eden impuls kütesi ve ikincisi duvarlardan bağımsız olarak hareket eden ve impuls kütesine nazaran değişik periyotlarla salınım yapan salınım kütleleridir. Salınlı etkileşimlerin etkilerini göz önünde bulundurmamak, özellikle yorulmaya duyarlı malzemeler içeren yapılarda yıkıcı olabilmektedir.

Sıvı-yapı sistemleri dinamik bir etkiye maruz kaldığı zaman, yapısal ve hidrodinamik etkiler etkileşime girmektedir.

Bir sıvı akışı yapıyla karşılaştığında, gerilmelere ve deformasyonlara yol açabilecek kuvvetler doğurmaktadır. Bu deformasyonlar sıvının basıncına, hızına ve gerçek yapının malzeme özelliklerine bağlı olarak oldukça büyük veya çok küçük olabilmektedir.

Yapının deformasyonları oldukça küçükse ve zaman içindeki değişimler de nispeten yavaşsa, sıvının davranışı deformasyondan büyük ölçüde etkilenmeyecektir.

2.2.16. Hidrodinamik basınç dağılımı

Statik olarak, sıvı tutma yapılarında oluşan etkiler hidrostatik basınçlar olarak bilinirken, dinamik bir etkiye maruz kaldığında hidrodinamik basınçlar meydana gelmektedir. Hidrodinamik basınçlar genellikle sıvı depoları, barajlar ve nükleer santraller gibi sıvı içeren yapılar tasarlanırken göz önüne alınması gereken etkilerdir.

Dinamik etkilere maruz kalan depo temellerinde gerilmeler ve taban-duvar ayrıtlarındaki kesit tesirleri, depolanan sıvının kütle-yay modellemesi yardımıyla, pratik olarak hesaplanabilmektedir. Dinamik etki nedeniyle, derinliği boyunca depo duvarlarında meydana gelen parabolik etkileri hesaplamak için hidrodinamik basıncın derinliğe bağlı olarak dağılımını da bilmek gerekmektedir.

Depremi etkilediği duvarın üzerine sıvı tarafından uygulanan hidrodinamik basıncın dağılımının, şekil ve büyüklük bakımından hidrostatik basınçtan farklı olduğu bilinmektedir. Diğer yandan zamana bağlı bu basınçlar dinamik gerilmeler oluşturduğundan deponun performansı üzerinde önemli derecede etkili olmaktadır. Hidrodinamik basınç dağılımları, dolayısıyla bunlardan doğan gerilmeler aşağıdaki üç parametreye bağlı olarak değişmektedir.

- Zemin hareketinin karakteristikleri
- Depolanan sıvının özellikleri
- Deponun fiziksel ve geometrik özellikleri

Doğangün (1995) yılında doktora tez çalışmasında farklı durumlara göre farklı yöntemler kullanılarak hidrodinamik basınç dağılımlarının değişimlerini irdelenmiştir. Depreme göre esnek ve rijit hidrodinamik basınçların çözümlemesinden şunlar vurgulamıştır:

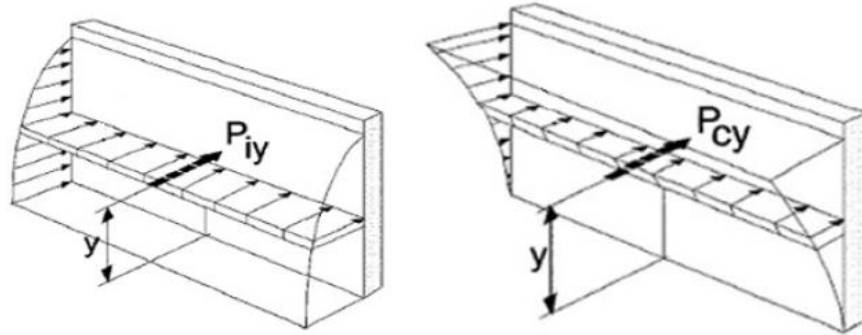
- Esnek duvarlı depolarda duvarlara uygulanan hidrodinamik basınç rijit duvarlı depolardakine göre genellikle daha büyük olmaktadır. Rijit ve esnek duvarlı depo çözümlemelerinden elde edilen hidrodinamik basınçlar arasındaki fark sıvı serbest

yüzeyi düzeyinden itibaren derinliğin ortasına kadar hızlı artmakta, daha sonra azalmaktadır.

- Depoların rijit çözümlemesinden elde edilen hidrodinamik basınç dağılımlarının kısıtlama parametrelerinden pratik olarak bağımsız olduğu belirtilmiştir. Ancak depoların esnek çözümlemesinde durum aynı olmamaktadır.

Bu konuya ek olarak Ghaemmaghami (2010) doktora tez çalışmasında, 3 boyutlu tank modelinde hidrodinamik basınç dağılımının depo duvarının yüksekliği boyunca olduğu gibi depo duvarının üzerindeki yatay doğrultuda da değiştiği belirtilmiştir. Depo uzun duvara dik doğrultuda bir dış ivmeye maruz kalırsa deponun köşesindeki hidrodinamik basınç duvarın orta kesitindeki basınçtan daha düşük olmaktadır.

Şekil 2.7’de P_{iy} ve P_{cy} impuls ve salınım basınçlarını göstermek üzere bunların depo duvar yüksekliği boyunca değişimleri görülmektedir.



Şekil 2.7. Depo duvarı boyunca oluşan hidrodinamik basınç dağılımı (ACI 350 2006)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Sıvı depolarının dinamik hesapları ile ilgili olarak ACI 350 ve EUROCODE 8’de basitleştirilmiş bir yöntem olan toplanmış kütle yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu bağlamda ilk olarak sıvı deposunun geometrik şekline göre sıvı deposu içindeki toplam kütle belirlenmekte, daha sonra katsayılar kullanılarak toplam kütlelerin bir oranı şeklinde impuls (m_i) ve salınım (m_c) kütleleri hesaplanmaktadır. Doğal olarak deponun boyutlarına göre bu kütlelerin oranları da değişmektedir. En genel olarak çok sığ depolarda beklendiği gibi depo içindeki sıvının önemli bir kısmı salınım kütlelerine katılmakla ve salınım kütlesi ön plana çıkabilmekte, derin depolarda ise impuls kütlesi daha etkin olabilmektedir. ACI 350 ve EUROCODE 8’de dikkate alınan kütlelerin değerleri Çizelge 3.1’de, bunların etkime yüksekliklerinin değerleri ise Çizelge 3.2 ve 3.3’te verilen bağıntılarla belirlenmektedir. Çizelgelerde R depo yarıçapını, D depo çapını, h sıvının yüksekliğini, I_1 değiştirilmiş Bessel fonksiyonu, I_1' değiştirilmiş Bessel fonksiyonun türevini, λ_n birinci mertebeden Bessel fonksiyonu, v_n mod ve frekansa göre değişen bir katsayıyı, ρ_l sıvı yoğunluğu, b yarı genişliği, l yarı uzunluğu göstermektedir.

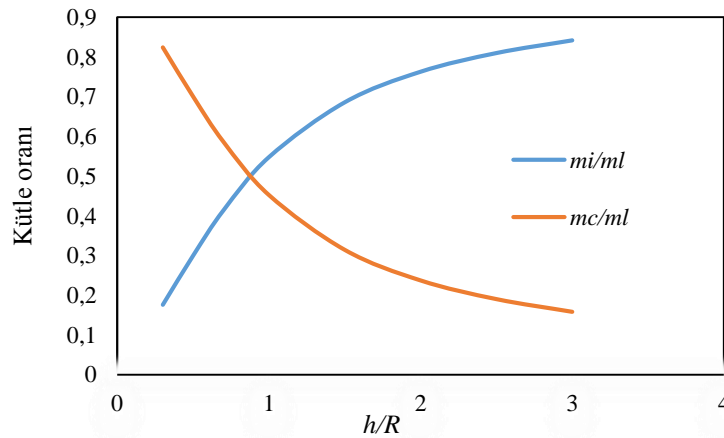
EUROCODE 8’e göre, deponun modeli deponun doluluk oranının h/R fonksiyonuna göre belirlenmektedir. Kütlelerin hesabından önce h/R oranı hesaplamakta, deponun sığ mı derin mi olduğuna aşağıdaki eşitliklere göre karar verilmektedir:

- $h/R < 1,5$ ise depo sığ
- $h/R > 1,5$ ise depo derin

Silindirik ve dikdörtgen kesitli sığ ve derin depolardaki h/R oranına göre impuls ve salınım kütlelerinin değişimi Şekil 3.1’de, bu kütlelerin etkime yüksekliklerinin değişimi ise Şekil 3.2’de görülmektedir. Şekil 3.1’den görüldüğü gibi doluluk oranının çok küçük değerleri için salınım kütlesi oranı çok büyük olurken, bu oran 0.8 civarında her iki kütle değeri birbirine eşit olmakta, bu değerden sonra da artık impuls kütlelerinin oranı artarak, salınım kütlelerinin oranı da azalarak devam etmektedir.

Çizelge 3.1. Silindirik depo içindeki sıvı kütlesinin ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre belirlenmesi

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Toplam sıvı kütlesi	Silindirik kesitli depolar için : $m_i = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \rho_i$ Dikdörtgen kesitli depolar için : $m_i = 2b \cdot 2l \cdot h \cdot \rho_i$	Silindirik kesitli depolar için : $m_i = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \rho_i$ Dikdörtgen kesitli depolar için : $m_i = 2b \cdot 2l \cdot h \cdot \rho_i$
İmpuls kütlesi oranı	Silindirik kesitli depolar için: $\frac{m_i}{m_i} = \frac{\tanh \left[0,866 \left(\frac{D}{h} \right) \right]}{0,866 \left(\frac{D}{h} \right)}$ Dikdörtgen kesitli depolar için: $\frac{m_i}{m_i} = \frac{\tanh \left[0,866 \left(\frac{2b}{h} \right) \right]}{0,866 \left(\frac{2b}{h} \right)}$	$\frac{m_i}{m_i} = 2 \left(\frac{h}{R} \right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{I_1 [v_n / (h / R)]}{v_n^3 I_1 [v_n / (h / R)]}$
Salınım kütlesi oranı	Silindirik kesitli depolar için: $\frac{m_c}{m_i} = 0,230 \left(\frac{D}{h} \right) \cdot \tanh \left[3,68 \left(\frac{D}{h} \right) \right]$ Dikdörtgen kesitli depolar için: $\frac{m_c}{m_i} = 0,264 \left(\frac{2l}{h} \right) \cdot \tanh \left[3,16 \left(\frac{h}{2l} \right) \right]$	$\frac{m_c}{m_i} = \frac{2 \tanh [\lambda_n (h / R)]}{\lambda_n (h / R) (\lambda_n^2 - 1)}$



Şekil 3.1. h/R oranına göre m_i/m_i ve m_c/m_i oranları

Çizelge 3.2. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksekliklerin belirlenmesi

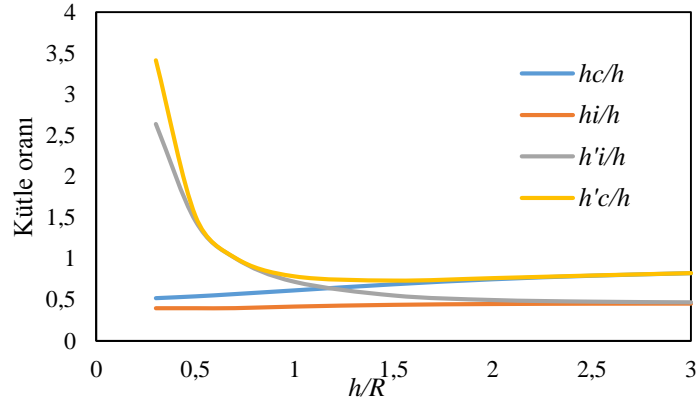
Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
İmpuls kütlesi etkime yüksekliği oranı	<p>Silindirik kesitli depolar için: Eğer $D/h \geq 1,333 \Rightarrow \frac{h_i}{h} = 0,375$</p> <p>Eğer $D/h < 1,333 \Rightarrow$ $\frac{h_i}{h} = 0,5 - 0,09375 \left(\frac{h}{D}\right)$</p> <p>Dikdörtgen kesitli depolar için : Eğer $2l/h > 1,333 \Rightarrow \frac{h_i}{h} = 0,375$</p> <p>Eğer $2l/h < 1,333 \Rightarrow$ $\frac{h_i}{h} = 0,5 - 0,09375 \left(\frac{2l}{h}\right)$</p>	$\frac{h_i}{h} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n I_1 [v_n / (h/R)]}{v_n^4 I_1' [v_n / (h/R)]} [v_n (-1)^n - 1]}{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{I_1 [v_n / (h/R)]}{v_n^3 I_1' [v_n / (h/R)]}}$
Salınım kütlesi etkime yüksekliği oranı	<p>Silindirik kesitli depolar için:</p> $\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,68 \left(\frac{h}{D}\right) \right] - 1}{3,68 \left(\frac{h}{D}\right) \cdot \sinh \left[3,68 \left(\frac{h}{D}\right) \right]}$ <p>Dikdörtgen kesitli depolar için:</p> $\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,16 \left(\frac{h}{2l}\right) \right] - 1}{3,16 \left(\frac{h}{2l}\right) \cdot \sinh \left[3,16 \left(\frac{h}{2l}\right) \right]}$	$\frac{h_c}{h} = 1 + \frac{1 - \cosh [\lambda_n (h/R)]}{\lambda_n (h/R) \sin [\lambda_n (h/R)]}$

Çizelge 3.3. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksekliklerin belirlenmesi

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Devirici moment hesabında impuls kütleli etkime yüksekliği oranı	<p>Silindirik kesitli depolar için :</p> <p>Eğer</p> $D / h < 0,75 \Rightarrow \frac{h_i'}{h} = 0,45$ <p>Eğer</p> $D / h \geq 0,75 \Rightarrow$ $\frac{h_i'}{h} = \frac{0,866\left(\frac{D}{h}\right)}{2 \tanh \left[0,866\left(\frac{D}{h}\right)\right]} - \frac{1}{8}$ <p>Dikdörtgen kesitli depolar için:</p> <p>Eğer</p> $\frac{2l}{h} < 0,75 \Rightarrow \frac{h_i'}{h} = 0,45$ <p>Eğer</p> <p>Eğer $\frac{2l}{h} \geq 0,75$;</p> $\frac{h_i'}{h} = \frac{0,866\left(\frac{2l}{h}\right)}{2 \tanh \left[0,866\left(\frac{2l}{h}\right)\right]} - \frac{1}{8}$	$\frac{h_i'}{h} = \frac{\frac{1}{2} + 2\left(\frac{h}{R}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{v_n + 2(-1)^{n+1} I_1[v_n / (h / R)]}{v_n^4 I_1[v_n / (h / R)]}}{2\left(\frac{h}{R}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{I_1[v_n / (h / R)]}{v_n^3 I_1[v_n / (h / R)]}}$
Devirici moment hesabında salınım kütleli etkime yüksekliği oranı	<p>Silindirik kesitli depolar için :</p> $\frac{h_c'}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,68\left(\frac{h}{D}\right)\right] - 2,01}{3,68\left(\frac{h}{D}\right) \cdot \sinh \left[3,68\left(\frac{h}{D}\right)\right]}$ <p>Dikdörtgen kesitli depolar için :</p> $\frac{h_c'}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,16\left(\frac{h}{2l}\right)\right] - 2,01}{3,16\left(\frac{h}{2l}\right) \cdot \sinh \left[3,16\left(\frac{h}{2l}\right)\right]}$	$\frac{h_c'}{h} = 1 + \frac{2 - \cosh [\lambda_n(h / R)]}{\lambda_n(h / R) \sin [\lambda_n(h / R)]}$

Şekil 3.2'den görüldüğü gibi impuls ve salınım kütlelerin etkime yüksekliklerinin değişimleri de doluluk oranının küçük değerleri için birbirinden çok farklı olmakta, ancak bu oranın 1 değerinden itibaren aralarındaki farklar azalmakta ve yataya yakın bir şekilde

ilerlemektedir.



Şekil 3.2. h/R oranına göre h_i/h , h_c/h , h'_i/h , h'_e/h oranları

EUROCODE 8'de h/R oranına göre C_i ve C_c katsayılarının, kütlelerin ve etkiye yüksekliklerinin değerleri Çizelge 3.4'te sunulmaktadır. C_i ve C_c katsayılarının h/R oranına göre değişimleri grafik olarak Şekil 3.3'te sunulmaktadır. Bu şekilde görüldüğü gibi C_i katsayısındaki değişim daha fazla olmaktadır.

Çizelge 3.4. Eurocode 8'e göre h/R oranına göre dinamik parametrelerin değerleri

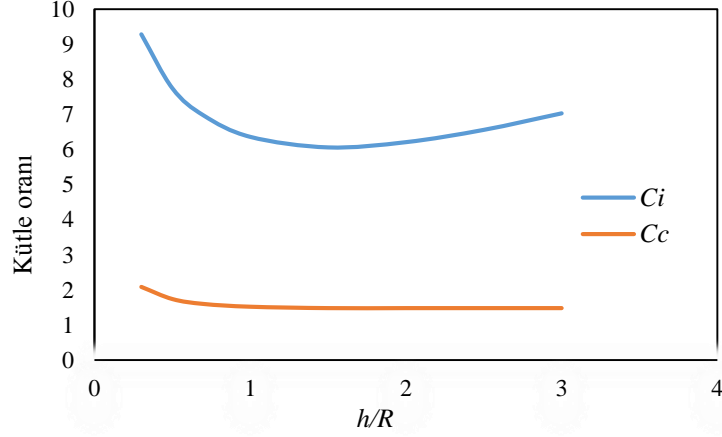
h/R	C_i	$C_c(s/m_1/2)$	m_i/m_1	m_c/m_1	h_i/h	h_c/h	h'_i/h	h'_e/h
0,3	9,28	2,09	0,176	0,824	0,400	0,521	2,640	3,414
0,5	7,74	1,74	0,300	0,700	0,400	0,543	1,460	1,517
0,7	6,97	1,60	0,414	0,586	0,401	0,571	1,009	1,011
1,0	6,36	1,52	0,548	0,452	0,419	0,616	0,721	0,785
1,5	6,06	1,48	0,686	0,314	0,439	0,690	0,555	0,734
2,0	6,21	1,48	0,763	0,237	0,448	0,751	0,500	0,764
2,5	6,56	1,48	0,810	0,190	0,452	0,794	0,480	0,796
3,0	7,03	1,48	0,842	0,158	0,453	0,825	0,472	0,825

Çizelge 3.5. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin periyotların belirlenmesi

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
İmpuls periyodu (T_i)	<p>Silindirik kesitli depolar için :</p> $C_i = C_w \times \sqrt{\frac{t_w}{10 \times R}} \text{ ve}$ $w_i = C_i \times \frac{1}{h} \sqrt{10^3 E_g / \gamma_c} \text{ olmak üzere}$ $T_i = \frac{2\pi}{w_i}$ <p>Dikdörtgen kesitli depolar için :</p> <p>Toplam sıvı kütlesi</p> $m = w_i + w_w$ <p>Sıvı deposunun rijitliği</p> $k = \frac{E_c}{4,10^6} \times \left(\frac{t_w}{h_z}\right)^3$ <p>Rijitlik hesabında kullanılan yükseklik</p> $h_z = \frac{(w_i h_i + w_w h_w)}{(w_i + w_w)} \text{ olmak üzere}$ $T_i = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	<p>Silindirik kesitli depolar için :</p> $T_i = C_i \times \frac{\sqrt{\rho_l \times h}}{\sqrt{S / R} \times \sqrt{E}}$ <p>Dikdörtgen kesitli depolar için :</p> $T_i = 2\pi \sqrt{\frac{d_f}{g}}$
Salınım periyodu hesabı (T_c)	<p>Silindirik kesitli depolar için :</p> $\lambda = \sqrt{3,68g \tanh \left[3,68 \left(\frac{h}{D}\right) \right]} \text{ olmak üzere}$ $T_c = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{D}$ <p>Dikdörtgen kesitli depolar için :</p> $\lambda = \sqrt{3,16g \tanh \left[3,16 \left(\frac{h}{2l}\right) \right]} \text{ olmak üzere}$ $T_c = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{2l}$	<p>Silindirik kesitli depolar için :</p> $T_c = C_c \sqrt{R}$ <p>Dikdörtgen kesitli depolar için</p> $T_c = 2\pi \sqrt{\frac{l/g}{\frac{\pi}{2} \tanh \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{h}{L} \right)}}$

Silindirik ve dikdörtgen bir deponun titreşimi için impuls ve salınım periyotları olmak üzere iki farklı periyot belirlenmektedir. Bu periyotların belirlenmesi için gerekli olan bağıntılar Çizelge 3.5'te sunulmuştur. Bu çizelgedeki semboller: E elastisite modülü,

w_i , λ , C_i , C_c , C_w ve C_l periyodun hesabında kullanılan katsayılar, g yerçekimi ivmesi, γ_c beton yoğunluğu, ρ_l sıvı yoğunluğu, S zemin katsayı, t_w duvar kalınlığı, R depo yarıçapını, d_f sıvı deposunda impuls yüksekliğinde meydana gelen deplasman.



Şekil 3.3. h/R oranına göre C_i , C_c katsayılarının değişimi

Bir deponun toplam sismik tepkisi için doğal titreşim periyotları, kesme kuvveti ve devirici moment açısından analiz edilmesi gerekmektedir. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre kesme kuvveti hesabı Çizelge 3.9'da, moment hesabı ise Çizelge 3.10'da sunulmaktadır.

Çizelge 3.6. Eurocode 8'e göre spektral ivmeyi belirlenen periyotlar ve katsayıların belirlenmesi

Zemin Tipi	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

EUROCODE 8'e göre Çizelge 3.8'da hesaplanacak kesme kuvvetindeki kullanılacak spektral katsayılar için Çizelge 3.6'daki periyotların ve katsayıların yardımıyla belirlenmektedir. Çizelge 3.7'de yapı önem katsayı göstermektedir. Çizelgelerdeki

semboller: D depo çapını, R depo yarıçapını, H depo ykseklğini, B depo genişliğini, L depo uzunluğunu, S zemin katsayısını, t_w depo duvar kalınlığını, t_r depo kapak kalınlığını, Z sismik alan faktörünü, I yapı önem katsayısı, $S_e(T_n)$ periyoda bağlı spektral katsayısı, R_{w_i} ve R_{w_e} deprem yükü azalma katsayıları, a_g zemin ivmesi, η spektral hesabınba kullanılan katsayı göstermektedir.

Çizelge 3.7. Yapı önem katsayısı

Sıvı Deposu Tipi	Yapı önem katsayısı, I
İçerisinde zararlı sıvılar bulunan depolar	1,5
Deprem sonrası acil amaçlar için kullanılan depolar veya yangın söndürme sisteminde kullanılan depolar	1,25
Geriye kalan tüm depolar	1,0

Çizelge 3.8. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre depremde oluşabilecek kesme kuvvetinin belirlenmesi (V)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2}$ <p>İmpuls kuvvetinin hesabı (P_i)</p> $P_i = Z.S.I.C_i \times \frac{m_i}{R_{W_i}}$ <p>Duvar kütlesi etkisi ile oluşan kuvvet hesabı (P_w)</p> $P_w = Z.S.I.\varepsilon.C_i \times \frac{m_w}{R_{W_i}}$ <p>Çatı kütlesi etkisiyle meydana gelen kuvvet hesabı (P_r)</p> $P_r = Z.S.I.C_i \times \frac{m_r}{R_{W_i}}$ <p>Salınım kuvvetinin hesabı (P_c)</p> $P_c = Z.S.I.C_c \times \frac{m_c}{R_{W_c}}$ <p>ACI 350 de verilen tablolardan alınacak katsayılar ($Z, S, I, R_{W_i}, R_{W_c}$)</p> <p>Duvar yükü etkisiyle oluşacak kuvvet hesabında kullanılan $\varepsilon \leq 1,0$ katsayı</p> $\varepsilon = \left[0,0151 \left(\frac{D}{h} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{D}{h} \right) + 1,021 \right]$ <p>C_i impuls periyoduna göre hesaplanır, eğer</p> $T_i \leq 0,31s \text{ ise } C_i = 2,5$ $T_i \geq 0,31s \text{ ise } C_i = \frac{1,25}{T_i^{2/3}}$ <p>C_c salınım periyoduna göre hesaplanır.</p> $T_c \geq 2,4s ; C_c = \frac{6}{T_c^2}$	$V = (m_i + m_w + m_r) \times S_e(T_i) + m_c S_e(T_c)$ <p>Duvar kütlesi hesabı</p> <p>Silindirik kesitli depolar için</p> $m_w = 2 \times \pi \times R \times H \times t_w \times \rho_c$ <p>Dikdörtgen kesitli depolar için</p> $m_w = (2B + 2L) \times H \times t_w \times \rho_c$ <p>Kapak kütlesi hesabı</p> <p>Silindirik kesitli depolar için :</p> $m_r = \pi \times R^2 \times t_r \times \rho_c$ <p>Dikdörtgen kesitli depolar için :</p> $m_r = B \times L \times t_r \times \rho_c$ <p>Periyoda göre $S_e(T_n)$ hesabını yapılması</p> $0 \leq T_n \leq T_B :$ $S_e(T_n) = a_g . S \cdot \left[1 + \frac{T_n}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$ $T_B \leq T_n \leq T_c :$ $S_e(T_n) = a_g . S \cdot \eta \cdot 2,5$ $T_c \leq T_n \leq T_D :$ $S_e(T_n) = a_g . S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_c}{T_n} \right]$ $T_D \leq T_n \leq 4s$ $S_e(T_n) = a_g . S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_c \cdot T_D}{T_n^2} \right]$ <p>İvme hesabında alınan değerler EUROCODE 8 Part I den kullanılmıştır.</p>

Çizelge 3.9. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin moment ve yüksekliklerin belirlenmesi

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Eğilme momenti (M_b)	$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$ <p>İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momenti</p> $M_i = P_i \times h_i$ <p>Duvar kütesinden meydana gelen duvar momenti</p> $M_w = P_w \times h_w$ <p>Çatı kütesinden meydana gelen çatı momenti</p> $M_r = P_r \times h_r$ <p>Salınım kuvvetinden oluşan salınım momenti</p> $M_c = P_c \times h_c$	$M_b = (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) \cdot S_e(T_i) + m_c h_c \cdot S_e(T_c)$
Deprem esnasında oluşabilecek devirici momenti (M_o)	$M_o = \sqrt{(M_i' + M_w' + M_r')^2 + M_c'^2}$ <p>Devirici momenti hesabında kullanılan impuls momenti</p> $M_i' = P_i \times h_i'$ <p>Devirici momenti hesabında kullanılan salınım momenti</p> $M_c' = P_c \times h_c'$ <p>Duvar kütesinden meydana gelen duvar momenti</p> $M_w' = P_w \times h_w'$ <p>Çatı kütesinden meydana gelen çatı momenti</p> $M_r' = P_r \times h_r'$	$M_o = (m_i h_i' + m_w h_w' + m_r h_r') \cdot S_e(T_i) + m_c h_c' \cdot S_e(T_c)$
Maksimum oluşabilecek dalga yüksekliği (d_{\max})	$d_{\max} = \left(\frac{D}{2}\right) I \times \eta_c \times \frac{1,226 S_D}{T_c^2}$	$d_{\max} = R \times \frac{S_e(T_c)}{g}$

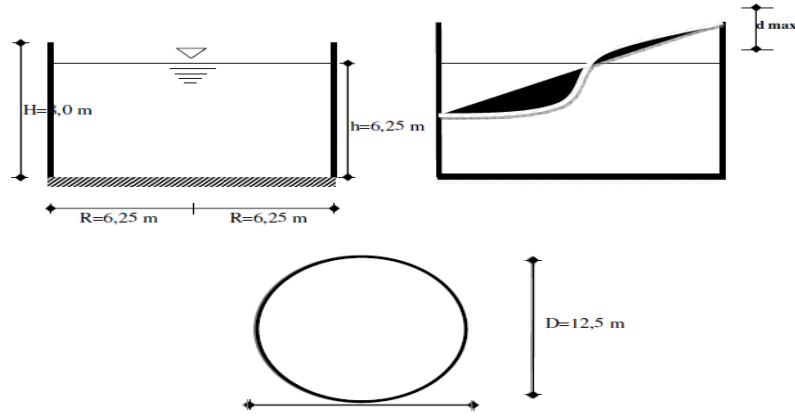
4. BULGULAR

4.1. Sayısal Uygulama

Bu bölümde pratik uygulama için EUROCODE 8'e göre rijit ve esnek, ACI 350'ye göre esnek çözüm yapılmıştır. Hesaplar 1. derece deprem bölgesine göre yapılmıştır (her iki standart için yer ivmesi ve yapı davranış katsayısı aynı seçilmiştir).

4.1.1. Örnek 1

Bu çalışmanın uygulamasına konu olan depo; zemin konuna göre yer üstü ve hazne geometrisine göre de silindirik depodur. Sıvı yoğunluğu 1000 kg/m^3 , duvar malzeme yoğunluğu 2400 kg/m^3 , sönüm oranı %5, Poisson oranı 0.14, duvar kalınlığı 0.5m seçilmiştir.



Şekil 4.1. Birinci örnek için kullanılan silindirik betonarme deponun geometrik özellikleri

Çizelge 4.1. Örnek 1'deki depoya ait parametre

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$E = 21,10^3 \text{ N / m}^2$	$h = 6,25\text{m}$
$\nu = 0,17$	$R = 6,25\text{m}$
$t_w = 0,5\text{m}$	$H = 8\text{m}$
$g = 9,81\text{m / s}^2$	$\gamma_i = 1000\text{kg / m}^3$
$Z = 4,905$	$a_{gR} = 0.4g$

Çizelge 4.2. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin kütle ve etkili yüksekliklerin hesabı

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Toplam sıvı kütlesi	$m_i = \pi \times \frac{12.5^2}{4} \times 6.25 \times 1000$ $m_i = 766601,563kg$	$m_i = \pi \times 6.25^2 \times 6.25 \times 1000$ $m_i = 766601,563kg$
İmpuls kütlesi	$\frac{m_i}{m_i} = \frac{\tanh \left[0,866 \left(\frac{12,5}{6,25} \right) \right]}{0,866 \left(\frac{12,5}{6,25} \right)}$ $m_i = 415611,356kg$	$\frac{h}{R} = \frac{6,25}{6,25} \Rightarrow \frac{h}{R} = 1;$ $\frac{m_i}{m_i} = 0,548 \Rightarrow m_i = 0,548m_i$ $m_i = 0,548 \times 766601,563$ $m_i = 420097,656kg$
Salınım kütlesi	$\frac{m_c}{m_i} = 0,230 \left(\frac{12,5}{6,25} \right) \cdot \tanh \left[3,68 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) \right]$ $m_c = 352636,434kg$	$\frac{m_c}{m_i} = 0,452 \Rightarrow m_c = 0,452m_i$ $m_c = 0,452 \times 766601,563$ $m_c = 346503,907kg$
İmpuls kütlesi etkili yükseklik hesabı	<p>Depoda $\frac{D}{h} > 1,333 \Rightarrow \frac{h_i}{h} = 0,375$</p> $h_i = 0,375 \times 6,25$ $h_i = 2,344m$	$\frac{h_i}{h} = 0,419 \Rightarrow h_i = 0,419h$ $h_i = 0,419 \times 6,25$ $h_i = 2,619m$
Salınım kütlesi etkili yükseklik hesabı	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,68 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) \right] - 1}{3,68 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) \cdot \sinh \left[3,68 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) \right]}$ $\frac{h_c}{h} = 0,602 \Rightarrow h_c = 0,602h \Rightarrow h_c = 3,763m$	$\frac{h_c}{h} = 0,616 \Rightarrow h_c = 0,616h$ $h_c = 0,616 \times 6,25$ $h_c = 3,850m$
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği hesabı	<p>Depoda $\frac{D}{h} \geq 0,75$</p> $\frac{h_i}{h} = \frac{0,866 \left(\frac{12,5}{6,25} \right)}{2 \tanh \left[\left(0,866 \left(\frac{12,5}{6,25} \right) \right) \right]} - \frac{1}{8}$ $\frac{h_i}{h} = 0,797 \Rightarrow h_i = 4,981m$	$\frac{h_i}{h} = 0,721 \Rightarrow h_i = 0,721 \times h$ $h_i = 0,721 \times 6,25$ $h_i = 4,506m$

Çizelge 4.3. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksek ve salınım periyodu hesabı

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Devirici moment hesabında etkili salınım yüksekliği hesabı	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,68 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) \right] - 2,01}{3,68 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) \times \sinh \left[3,68 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) \right]}$ $\frac{h_c}{h} = 0,784m \Rightarrow h_c = 4,900m$	$\frac{h_c}{h} = 0,785 \Rightarrow h_c = 0,785h$ $h_c = 0,785 \times 6,25$ $h_c = 4,906m$
Salınım periyodu hesabı	$T_c = \frac{2\pi \times \sqrt{12,5}}{\sqrt{3,68 \times 9,81 \times \tanh \left[3,68 \times \frac{6,25}{12,5} \right]}}$ $T_c = 3,789s$	$T_c = 1,52 \times \sqrt{6,25}$ $T_c = 3,800s$

Çizelge 4.4. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls periyodu belirlenmesi

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}$ <p>C_i Katsayısı hesabında kullanılan C_w katsayının hesabı :</p> $C_w = 9,375 \cdot 10^{-2} + 0,2039 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) - 0,1034 \left(\frac{6,25}{12,5} \right)^2 - 0,1253 \left(\frac{6,25}{12,5} \right)^3 + 0,1267 \left(\frac{6,25}{12,5} \right)^4 - 3,186 \cdot 10^{-2} \left(\frac{6,25}{12,5} \right)^5$ $C_w = 0,161$ <p>C_i Katsayının hesabı:</p> $C_i = 0,161 \sqrt{\frac{0,5}{10 \times 6,25}} \Rightarrow C_i = 0,014$ <p>Açısal hız hesabı</p> $\omega_i = 0,0144 \times \frac{1}{6,25} \sqrt{\frac{10^3 \times 21 \cdot 10^3 \times 9,81}{2,4}}$ $\omega_i = 21,346$ $T_i = \frac{2\pi}{21,346} \Rightarrow T_i = 0,300s$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde sıvı deposu deprem esnasında zemin hareketini taklit edecektir.</p> <p>0.4g yer ivmesi dikkate alınmaktadır:</p> $\gamma_i \geq 1 \Rightarrow a_{gR} = 0.4g$ $a_{gR} = 0,4 \times 9,81$ $a_{gR} = 3,924$ $a_g = \gamma_i \times a_{gR}$ $a_g = 1,25 \times 3,924$ $a_g = 4,905m/s^2$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman impuls periyodun hesabını yapılmalı:</p> $T_i = 6,36 \times \frac{\sqrt{1 \times 6,25}}{\sqrt{\frac{0,5}{6,25}} \times \sqrt{21 \cdot 10^3}}$ $T_i = 0,306s$

Çizelge 4.5. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>C_c ve C_i katsayılarının hesabı</p> <p>$T_i \leq 0,31s$; $C_i = 2,5$</p> <p>$T_c \geq 2,4s$; $C_c = \frac{6}{T_c^2}$; $C_c = \frac{6}{3,789^2}$; $C_c = 0,417$</p> <p>Duvar yükü etkisiyle oluşacak kuvvet hesabında kullanılan ε katsayı hesabı</p> $\varepsilon = \left[0,0151 \left(\frac{6,25}{12,5} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) + 1,021 \right]$ <p>$\varepsilon = 0,9294$; $\varepsilon \leq 1,00$</p> <p>İmpuls kuvvetin hesabı (P_i)</p> $P_i = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 2,5 \times \frac{4074,621}{1,25}$ <p>$P_i = 59958,863kN$</p> <p>Salınım kuvvetinin hesabı (P_c)</p> $P_c = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 0,417 \times \frac{3457,219}{1,00}$ <p>$P_c = 10630,948kN$</p> <p>Duvar kütlesi etkisiyle oluşan kuvvet hesabı (P_w)</p> $P_w = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 0,929 \times 2,5 \times \frac{3694,118}{1,25}$ <p>$P_w = 50500,071kN$</p> <p>Çatı kütlesi etkisiyle meydana gelen kuvvet hesabı (P_r)</p> $P_r = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 2,5 \times \frac{577,206}{1,25}$ <p>$P_r = 8493,702kN$</p> $V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2}$ $V = \sqrt{(118952,636)^2 + (10630,948)^2}$ <p>$V = 119426,742kN$</p>	<p>Duvar kütlesi hesabı:</p> $m_w = 2 \times \pi \times 6,25 \times 8 \times 0,5 \times 2400$ <p>$m_w = 376800kg$</p> <p>Kapak kütlesi hesabı</p> $m_r = \pi \times 6,25^2 \times 0,2 \times 2400$ <p>$m_r = 58875kg$</p> <p>İmpuls ivmesi hesabı :</p> <p>$s = 1.2$ olursa ve %5 sönüm için</p> $T_b \leq T_i \leq T_c$ $S_e(T_i) = 4,905 \times 1,2 \times 1 \times 2,5$ $S_e(T_i) = 14,715$ <p>Salınım ivmesi hesabı :</p> $T_d \leq T_c \leq 4s$ $S_e(T_c) = 4,905 \times 1,2 \times 1 \times 2,5 \times \left(\frac{0,5 \times 2}{3,8^2} \right)$ $S_e(T_c) = 1,015$ <p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde :</p> $V = 4118,604 \times 4,905 + 3397,097 \times 1,015$ <p>$V = 23649,806kN$</p> <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $V = 8389,927 \times 14,715 + 3397,097 \times 1,015$ <p>$V = 126905,829kN$</p>

Çizelge 4.6. Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momentin hesabı (M_b)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momenti</p> $M_i = 59958,863 \times 2,344$ $M_i = 140543,427kNm$	$h_i = 2,619m$ $h_w = 4m$ $h_r = 8,10m$ <p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde :</p> $M_b = a + b$
<p>Salınım kuvvetinden oluşan salınım momenti</p> $M_c = 10630,948 \times 3,763$ $M_c = 40004,257kNm$	$a \Rightarrow m_i h_i S_e(T_i) = 4118,656 \times 2,619 \times 4,905$ $m_i h_i S_e(T_i) = 52909,058kNm$ $b \Rightarrow m_c h_c S_e(T_c) = 3397,097 \times 3,85 \times 1,015$ $m_c h_c S_e(T_c) = 13275,006kNm$
<p>Duvar kütlelerinden meydana gelen duvar momenti</p> $M_w = 50500,071 \times 4$ $M_w = 202000,284kNm$	$M_b = 52909,058 + 13275,006$ $M_b = 66184,064kNm$
<p>Çatı kütlelerinden meydana gelen çatı momenti</p> $M_r = 8493,702 \times 8,10$ $M_r = 68798,986kNm$	<p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $M_b = a + b$ $a \Rightarrow$ $(m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 444959,248kNm$ $b \Rightarrow$ $m_c h_c S_e(T_c) = 13275,006kNm$
$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$ $M_b = \sqrt{(411342,697)^2 + (40004,257)^2}$ $M_b = 413283,383kNm$	$M_b = 444959,248 + 13275,006$ $M_b = 458234,254kNm$

Çizelge 4.7. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentin hesabı (M_o)

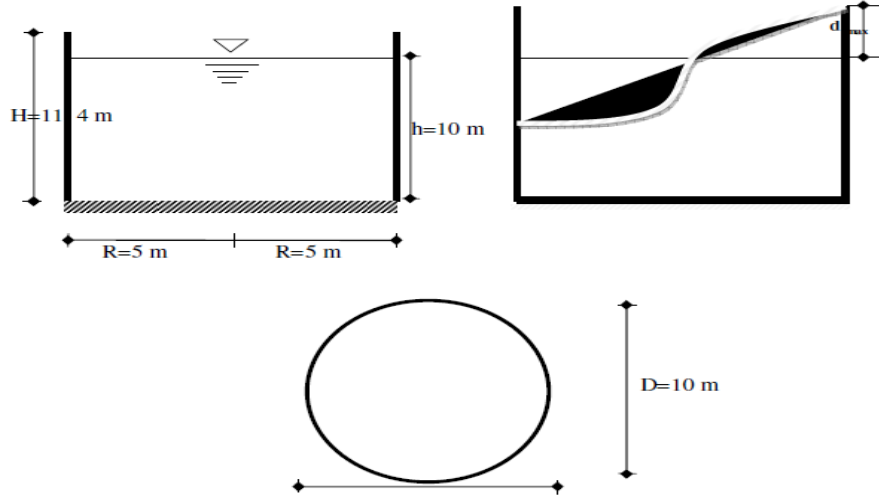
ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>Devirici moment hesabında kullanılan impuls momenti</p> $M_i = 59958,863 \times 4,981$ $M_i = 298655,096 kNm$ <p>Devirici moment hesabında kullanılan salınım momenti</p> $M_c = 10630,948 \times 4,9$ $M_c = 52091,645 kNm$ $M_o = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$ $M_o = \sqrt{(569454,366)^2 + (52091,645)^2}$ $M_o = 571831,981 kNm$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde:</p> $M_o = c + d$ $c \Rightarrow$ $m_i h_i S_e(T_i) = 4118,656 \times 4,506 \times 4,905$ $m_i h_i S_e(T_i) = 91030,247 kNm$ $d \Rightarrow$ $m_c h_c S_e(T_c) = 3397,097 \times 4,906 \times 1,015$ $m_c h_c S_e(T_c) = 16916,150 kNm$ $M_o = 91030,247 + 16916,150$ $M_o = 107946,397 kNm$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $M_o = c + d$ $c \Rightarrow$ $(m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 559321,367 kNm$ $d \Rightarrow$ $m_c h_c S_e(T_c) = 16916,150 kNm$ $M_o = 559321,367 + 16916,150$ $M_o = 576237,517 kNm$

Çizelge 4.8. Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğinin hesabı (d_{max})

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$d_{max} = \left(\frac{12,5}{2} \right) \times 1,25 \times 1 \times \frac{1,226 \times 1,015}{3,8^2}$ $d_{max} = 0,67m$	$d_{max} = 6,25 \times \frac{1,015}{9,81}$ $d_{max} = 0,65m$

4.1.2. Örnek 2

Bu çalışmanın uygulamasına konu olan depo Şekil 4.2’de; zemin konuna göre yer üstü ve hazne geometrisine göre de silindirik depodur. Sıvı yoğunluğu 1000 kg/m^3 , duvar malzeme yoğunluğu 2400 kg/m^3 , sönüm oranı %5, Poisson oranı 0.14, duvar kalınlığı 0.5m seçilmiştir.



Şekil 4.2. İkinci örnek için kullanılan silindirik betonarme deponun geometrik özellikleri

Çizelge 4.9. Örnek 2’deki depoya ait parametre

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$E = 21,10^3 \text{ N / m}^2$	$h = 10 \text{ m}$
$\nu = 0,17$	$R = 5 \text{ m}$
$t_w = 0,5 \text{ m}$	$H = 11,4 \text{ m}$
$g = 9,81 \text{ m / s}^2$	$\gamma_i = 1000 \text{ k}_g / \text{m}^3$
$Z = 4,905$	$a_{gR} = 0.4 \text{ g}$

Çizelge 4.10. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin kütle ve etkili yüksekliklerin hesabı

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Toplam sıvı kütlesi	$m_i = \pi \times \frac{10^2}{4} \times 10 \times 1000$ $m_i = 785000kg$	$m_i = \pi \times 5^2 \times 10 \times 1000$ $m_i = 785000kg$
İmpuls kütlesi	$\frac{m_i}{m_i} = \frac{\tanh \left[0,866 \left(\frac{10}{10} \right) \right]}{0,866 \left(\frac{10}{10} \right)}$ $m_i = 633924,780kg$	$h/R = \frac{10}{5} \Rightarrow h/R = 2 ;$ $\frac{m_i}{m_i} = 0,763 \Rightarrow m_i = 0,763m_i$ $m_i = 0,763 \times 785000$ $m_i = 598955kg$
Salınım kütlesi	$\frac{m_c}{m_i} = 0,230 \left(\frac{10}{10} \right) \cdot \tanh \left[3,68 \left(\frac{10}{10} \right) \right]$ $m_c = 180320,415kg$	$\frac{m_c}{m_i} = 0,237 \Rightarrow m_c = 0,237m_i$ $m_c = 0,237 \times 785000$ $m_c = 186045kg$
İmpuls kütlesi etkili yükseklik hesabı	<p>Depoda $\frac{D}{h} = 1 < 1,333 \Rightarrow \frac{h_i}{h} = 0,5 - 0,09375 \left(\frac{10}{10} \right)$</p> $\frac{h_i}{h} = 0,406$ $h_i = 4,062m$	$\frac{h_i}{h} = 0,448 \Rightarrow h_i = 0,448h$ $h_i = 0,448 \times 10$ $h_i = 4,48m$
Salınım kütlesi etkili yükseklik hesabı	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,68 \left(\frac{10}{10} \right) \right] - 1}{3,68 \left(\frac{10}{10} \right) \cdot \sinh \left[3,68 \left(\frac{10}{10} \right) \right]}$ $\frac{h_c}{h} = 0,7417$ $h_c = 7,417m$	$\frac{h_c}{h} = 0,751 \Rightarrow h_c = 0,751h$ $h_c = 0,751 \times 10$ $h_c = 7,51m$
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği hesabı	<p>Depoda $\frac{D}{h} = 1 \geq 0,75$</p> $\frac{h_i'}{h} = \frac{0,866 \left(\frac{10}{10} \right)}{2 \tanh \left[\left(0,866 \left(\frac{10}{10} \right) \right) \right]} - \frac{1}{8}$ $\frac{h_i'}{h} = 0,498 \Rightarrow h_i' = 4,98m$	$\frac{h_i'}{h} = 0,5 \Rightarrow h_i' = 0,5h$ $h_i' = 0,5 \times 10$ $h_i' = 5m$

Çizelge 4.11. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksek ve salınım periyodu hesabı

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Devirici moment hesabında etkili salınım yüksekliği hesabı	$\frac{h_c'}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,68 \left(\frac{10}{10} \right) \right] - 2,01}{3,68 \left(\frac{10}{10} \right) \times \sinh \left[3,68 \left(\frac{10}{10} \right) \right]}$ $\frac{h_c'}{h} = 0,755 \Rightarrow h_c' = 7,55m$	$\frac{h_c'}{h} = 0,764 \Rightarrow h_c' = 0,764h$ $h_c' = 0,764 \times 10$ $h_c' = 7,64m$
Salınım periyodu hesabı	$T_c = \frac{2\pi \times \sqrt{10}}{\sqrt{3,68 \times 9,81 \times \tanh \left[3,68 \times \frac{10}{10} \right]}}$ $T_c = 3,307s$	$T_c = 1,48 \times \sqrt{5}$ $T_c = 3,309s$

Çizelge 4.12. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls periyodu belirlenmesi

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}$ <p>C_i Katsayısı hesabında kullanılan C_w katsayının hesabı :</p> $C_w = 9,375 \cdot 10^{-2} + 0,2039 \left(\frac{10}{10} \right) - 0,1034 \left(\frac{10}{10} \right)^2 - 0,1253 \left(\frac{10}{10} \right)^3 + 0,1267 \left(\frac{10}{10} \right)^4 - 3,186 \cdot 10^{-2} \left(\frac{10}{10} \right)^5$ $C_w = 0,16379$ <p>C_i Katsayısının hesabı :</p> $C_i = 0,16379 \sqrt{\frac{0,5}{10 \times 5}}$ $C_i = 0,0163$ <p>Açısal hız hesabı</p> $\omega_i = 0,0163 \times \frac{1}{10} \sqrt{\frac{10^3 \times 21 \cdot 10^3 \times 9,81}{2,4}}$ $\omega_i = 15,101$ $T_i = \frac{2\pi}{15,101} \Rightarrow T_i = 0,418s$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde sıvı deposu deprem esnasında zemin hareketini taklit edecektir.</p> <p>0.4g yer ivmesi dikkate alınmaktadır:</p> $\gamma_l \geq 1 \Rightarrow a_{gR} = 0.4g$ $a_{gR} = 0,4 \times 9,81$ $a_{gR} = 3,924$ $a_g = \gamma_l \times a_{gR}$ $a_g = 1,25 \times 3,924$ $a_g = 4,905m/s^2$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman impuls periyodun hesabını yapılmalı:</p> $T_i = 6,21 \times \frac{\sqrt{1 \times 10}}{\sqrt{\frac{0,5}{5} \times \sqrt{21 \cdot 10^3}}}$ $T_i = 0,428s$

Çizelge 4.13. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>C_c ve C_i katsayılarının hesabı</p> <p>$T_i \geq 0,31s$ ise $C_c = \frac{1,25}{T_i^{2/3}}$; $C_i = \frac{1,25}{(0,418)^{2/3}}$ $C_i = 2,24$</p> <p>$T_c \geq 2,4s$ ise $C_c = \frac{6}{T_c^2}$; $C_c = \frac{6}{3,307^2}$ $C_c = 0,548$</p> <p>Duvar yükü etkisiyle oluşacak kuvvet hesabında kullanılan ε katsayısı hesabı</p> $\varepsilon = \left[0,0151 \left(\frac{10}{10} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{10}{10} \right) + 1,021 \right]$ <p style="text-align: center;">$\varepsilon = 0,8453$; $\varepsilon \leq 1,00$</p> <p>İmpuls kuvvetinin hesabı (P_i)</p> $P_i = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 2,24 \times \frac{6214,948}{1,25}$ <p style="text-align: center;">$P_i = 87794,841kN$</p> <p>Salınım kuvvetinin hesabı (P_c)</p> $P_c = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 0,548 \times \frac{1767,847}{1,00}$ <p style="text-align: center;">$P_c = 7127,799kN$</p> <p>Duvar kütlesi etkisiyle oluşan kuvvet hesabı (P_w)</p> $P_w = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 0,845 \times 2,24 \times \frac{4211,294}{1,25}$ <p style="text-align: center;">$P_w = 50287,255kN$</p> <p>Çatı kütlesi etkisiyle meydana gelen kuvvet hesabı (P_r)</p> $P_r = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 2,24 \times \frac{369,412}{1,25}$ <p style="text-align: center;">$P_r = 5218,462kN$</p> $V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2}$ $V = \sqrt{(143300,558)^2 + (7127,799)^2}$ <p style="text-align: center;">$V = 143477,718kN$</p>	<p>Duvar kütlesi hesabı :</p> $m_w = 2 \times \pi \times 5 \times 11,4 \times 0,5 \times 2400$ <p style="text-align: center;">$m_w = 429552kg$</p> <p>Kapak kütlesi hesabı</p> $m_r = \pi \times 5^2 \times 0,2 \times 2400$ <p style="text-align: center;">$m_r = 37680kg$</p> <p>İmpuls ivmesi hesabı :</p> <p>$s = 1,2$ olursa ve %5 sönüm için</p> $T_B \leq T \leq T_c$ $S_e(T_i) = 4,905 \times 1,2 \times 1 \times 2,5$ <p style="text-align: center;">$S_e(T_i) = 14,715$</p> <p>Salınım ivmesi hesabı :</p> $T_D \leq T \leq 4s$ $S_e(T_c) = 4,905 \times 1,2 \times 1 \times 2,5 \times \left(\frac{0,5 \times 2}{3,309^2} \right)$ <p style="text-align: center;">$S_e(T_c) = 1,343$</p> <p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde :</p> $V = 5872,107 \times 4,905 + 1823,97 \times 1,343$ <p style="text-align: center;">$V = 31252,275kN$</p> <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $V = 10452,812 \times 14,715 + 1823,97 \times 1,343$ <p style="text-align: center;">$V = 156262,72kN$</p>

Çizelge 4.14. Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momentin hesabı (M_b)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momenti</p> $M_i = 87794,841 \times 4,0625$ $M_i = 356666,542kNm$	$h_i = 4,48m$ $h_w = 5,7m$ $h_r = 11,50m$
<p>Salınım kuvvetinden oluşan salınım momenti</p> $M_c = 7127,799 \times 7,417$ $M_c = 52866,885kNm$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde :</p> $M_b = a + b$ $a \Rightarrow m_i h_i S_e(T_i) = 5872,107 \times 4,48 \times 4,905$ $m_i h_i S_e(T_i) = 129036,028kNm$
<p>Duvar kütesinden meydana gelen duvar momenti</p> $M_w = 50287,255 \times 5,7$ $M_w = 286637,353kNm$	$b \Rightarrow m_c h_c S_e(T_c) = 1823,97 \times 7,51 \times 1,343$ $m_c h_c S_e(T_c) = 18396,433kNm$
<p>Çatı kütesinden meydana gelen çatı momenti</p> $M_r = 5218,462 \times 11,50$ $M_r = 60012,313kNm$ $M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$ $M_b = \sqrt{(703316,208)^2 + (52866,885)^2}$ $M_b = 705300,359kNm$	$M_b = 129036,028 + 18396,433$ $M_b = 147432,461kNm$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $M_b = a + b$ $a \Rightarrow$ $(m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 802845,168kNm$ $b \Rightarrow$ $m_c h_c S_e(T_c) = 18396,433kNm$ $M_b = 802845,168 + 18396,433$ $M_b = 821241,601kNm$

Çizelge 4.15. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentin hesabı (M_o)

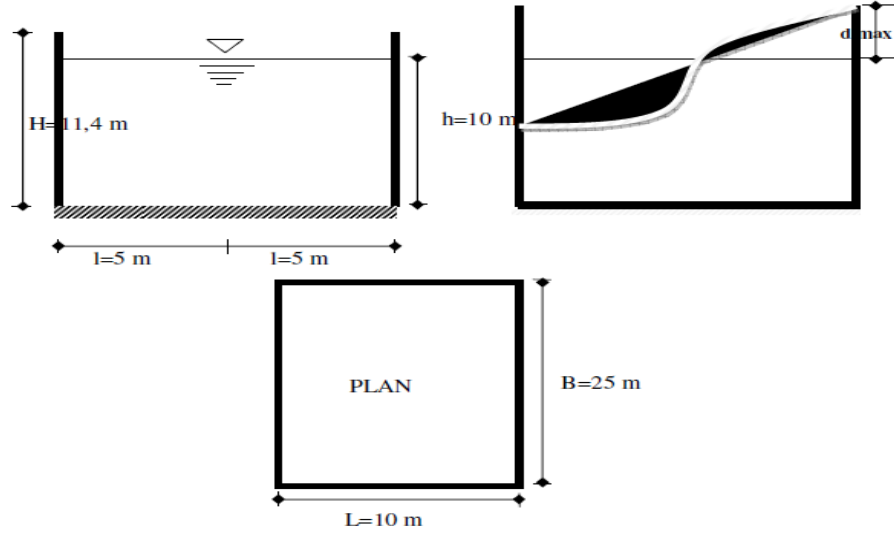
ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>Devirici momenti hesabında kullanılan impuls momenti</p> $M_i = 87794,841 \times 4,98$ $M_i = 437218,308 kNm$ <p>Devirici momenti hesabında kullanılan salınım momenti</p> $M_c = 7127,799 \times 7,55$ $M_c = 53814,882 kNm$ $M_o = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$ $M_o = \sqrt{(783867,974)^2 + (53814,882)^2}$ $M_o = 785713,078 kNm$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde : $M_o = c + d$</p> $c \Rightarrow$ $m_i h_i S_e(T_i) = 5872,107 \times 5 \times 4,905$ $m_i h_i S_e(T_i) = 144013,424 kNm$ $d \Rightarrow$ $m_c h_c S_e(T_c) = 1823,97 \times 7,64 \times 1,343$ $m_c h_c S_e(T_c) = 18714,88 kNm$ $M_o = 144013,424 + 18714,88$ $M_o = 162728,305 kNm$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $M_o = c + d$ $c \Rightarrow$ $(m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 847777,392 kNm$ $d \Rightarrow$ $m_c h_c S_e(T_c) = 18714,880 kNm$ $M_o = 847777,392 + 18714,88$ $M_o = 866492,272 kNm$

Çizelge 4.16. Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğinin hesabı (d_{max})

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$d_{max} = \left(\frac{10}{2}\right) \times 1,25 \times 1 \times \frac{1,226 \times 1,343}{3,307^2}$ $d_{max} = 0,94m$	$d_{max} = 5 \times \frac{1,343}{9,81}$ $d_{max} = 0,68m$

4.1.3. Örnek 3

Bu çalışmanın uygulamasına konu olan depo Şekil 4.3'te; zemine nazaran konuma göre yer üstü ve hazne geometrisine göre de dikdörtgen depodur. Sıvı yoğunluğu 1000 kg/m^3 , duvar malzeme yoğunluğu 2400 kg/m^3 , sönüm oranı %5, Poisson oranı 0.14, duvar kalınlığı 0.5m seçilmiştir.



Şekil 4.3. Üçüncü örnek için kullanılan dikdörtgen betonarme deponun geometrik özellikleri

Çizelge 4.17. Örnek 3'teki depoya ait parametre

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$E = 21,10^3 \text{ N / m}^2$	$h = 10\text{m}$
$\nu = 0,17$	$l = 5\text{m}$
$t_w = 0,5\text{m}$	$b = 12,5\text{m}$
$g = 9,81\text{m / s}^2$	$\gamma_l = 1000\text{kg / m}^3$
$Z = 4,905$	$a_{gR} = 0,4\text{g}$

Çizelge 4.18. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin kütle ve etkili yüksekliklerin hesabı

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Toplam sıvı kütlesi	$m_i = 2 \times 12,5 \times 2 \times 5 \times 10 \times 1000$ $m_i = 2500000kg$	$m_i = 2 \times 12,5 \times 2 \times 5 \times 10 \times 1000$ $m_i = 2500000kg$
İmpuls kütlesi	$\frac{m_i}{m_i} = \frac{\tanh \left[0,866 \left(\frac{25}{10} \right) \right]}{0,866 \left(\frac{25}{10} \right)}$ $m_i = 1124717,592kg$	$h/l = \frac{10}{5} \Rightarrow h/l = 2 ;$ $\frac{m_i}{m_i} = 0,763 \Rightarrow m_i = 0,763m_i$ $m_i = 0,763 \times 2500000$ $m_i = 1907500kg$
Salınım kütlesi	$\frac{m_c}{m_i} = 0,264 \left(\frac{10}{10} \right) \cdot \tanh \left[3,16 \left(\frac{10}{10} \right) \right]$ $m_c = 657625kg$	$\frac{m_c}{m_i} = 0,237 \Rightarrow m_c = 0,237m_i$ $m_c = 0,237 \times 2500000$ $m_c = 592500kg$
İmpuls kütlesi etkili yükseklik hesabı	<p>Depoda $\frac{2l}{h} < 1,333 \Rightarrow \frac{h_i}{h} = 0,5 - 0,09375 \left(\frac{10}{10} \right)$</p> $\frac{h_i}{h} = 0,4062$ $h_i = 4,062m$	$\frac{h_i}{h} = 0,448 \Rightarrow h_i = 0,448h$ $h_i = 0,448 \times 10$ $h_i = 4,48m$
Salınım kütlesi etkili yükseklik hesabı	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,16 \left(\frac{10}{10} \right) \right] - 1}{3,16 \left(\frac{10}{10} \right) \cdot \sinh \left[3,16 \left(\frac{10}{10} \right) \right]}$ $\frac{h_c}{h} = 0,7093 \Rightarrow h_c = 7,093m$	$\frac{h_c}{h} = 0,751 \Rightarrow h_c = 0,751h$ $h_c = 0,751 \times 10$ $h_c = 7,51m$
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği hesabı	<p>Depoda $\frac{2l}{h} \geq 0,75$</p> $\frac{h_i}{h} = \frac{0,866 \left(\frac{2 \times 5}{10} \right)}{2 \tanh \left[0,866 \left(\frac{2 \times 5}{10} \right) \right]} - \frac{1}{8}$ $\frac{h_i}{h} = 0,4941 \Rightarrow h_i = 4,941m$	$\frac{h_i}{h} = 0,5 \Rightarrow h_i = 0,5h$ $h_i = 0,5 \times 10$ $h_i = 5m$

Çizelge 4.19. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksek ve salınım periyodu hesabı

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Devirici moment hesabında etkili salınım yüksekliği hesabı	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,16 \left(\frac{10}{2 \times 5} \right) \right] - 2,01}{3,16 \left(\frac{10}{2 \times 5} \right) \times \sinh \left[3,16 \left(\frac{10}{2 \times 5} \right) \right]}$ $\frac{h_c}{h} = 0,7364$ $h_c = 7,364m$	$\frac{h_c}{h} = 0,764 \Rightarrow h_c = 0,764h$ $h_c = 0,764 \times 10$ $h_c = 7,64m$
Salınım periyodu hesabı	$T_c = \frac{2\pi \times \sqrt{2 \times 5}}{\sqrt{3,16 \times 9,81 \times \tanh \left[3,16 \times \frac{10}{2 \times 5} \right]}}$ $T_c = 3,570s$	$T_c = 2\pi \sqrt{\frac{5 / 9,81}{\frac{\pi}{2} \tanh \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{10}{5} \right)}}$ $T_c = 3,580s$

Çizelge 4.20. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls periyodu belirlenmesi

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$T_i = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ <p>Duvar kütlesi hesabı :</p> $w_w = H_w \times \frac{t_w}{10^3} \times \rho_c$ $w_w = 11,4 \times \frac{500}{10^3} \times 2,4$ $w_w = 13,68 \text{KN.s}^2 / \text{m}^4$ <p>Periyot hesabında kullanılan impuls kütle hesabı :</p> $w_i = \frac{m_i}{m_i} \times \frac{2l}{2} \times h \times \rho_i$ $w_i = \frac{1124717,592}{2500000} \times \frac{10}{2} \times 10 \times 1$ $w_i = 22,494 \text{KN.s}^2 / \text{m}^4$ <p>Rijitlik hesabında kullanılan yükseklik</p> $h_z = \frac{22,494 \times 4,062 + 13,68 \times 5,7}{22,494 + 13,68}$ $h_z = 4,682 \text{m}$ <p>Sıvı deposunun rijitliği</p> $k = \frac{21 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^6} \times \left(\frac{500}{4,682}\right)^3$ $k = 6394,042 \text{KN} / \text{m}$ $T_i = 2\pi \times \sqrt{\frac{36,174}{6394,042}}$ $T_i = 0,472 \text{s}$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiği için sıvı deposu deprem esnasında zemin hareketini taklit edecektir.</p> <p>0.4g yer ivmesi dikkate alınmaktadır:</p> $\gamma_l \geq 1 \Rightarrow a_g R = 0.4g$ $a_g R = 0.4 \times 9,81$ $a_g R = 3,924$ $a_g = \gamma_l \times a_g R$ $a_g = 1,25 \times 3,924$ $a_g = 4,905 \text{m} / \text{s}^2$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman impuls periyodun hesabını yapılmalı :</p> $T_i = 2\pi \times \sqrt{\frac{d_f}{g}}$ $T_i = 2\pi \times \sqrt{\frac{0,0753}{9,81}}$ $T_i = 0,550 \text{s}$

Çizelge 4.21. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>C_c ve C_i katsayıların hesabı</p> $T_i > 0,31s; C_i = \frac{1,25}{T_i^{2/3}} \leq \frac{2,75}{s}$ <p style="text-align: center;">$S = 1,2; C_i = 2,259$</p> $T_c \geq 2,4s; C_c = \frac{6}{T_c^2}; C_c = \frac{6}{3,570^2}; C_c = 0,470$ <p>Duvar yükü etkisiyle oluşacak kuvvet hesabında kullanılan ε katsayısı hesabı</p> $\varepsilon = \left[0,0151 \left(\frac{10}{10} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{10}{10} \right) + 1,021 \right]$ <p style="text-align: center;">$\varepsilon = 0,8453; \varepsilon \leq 1,00$</p> <p>İmpuls kuvvetinin hesabı (P_i)</p> $P_i = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 2,259 \times \frac{11026,642}{1,25}$ <p style="text-align: center;">$P_i = 146615,459kN$</p> <p>Salınım kuvvetinin hesabı (P_c)</p> $P_c = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 0,470 \times \frac{6447,3}{1,00}$ <p style="text-align: center;">$P_c = 22323,386kN$</p> <p>Duvar kütlesi etkisiyle oluşan kuvvet hesabı (P_w)</p> $P_w = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 0,85 \times 2,259 \times \frac{9388,235}{1,25}$ <p style="text-align: center;">$P_w = 124830,423kN$</p> <p>Çatı kütlesi etkisiyle meydana gelen kuvvet hesabı (P_r)</p> $P_r = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 2,259 \times \frac{1176,470}{1,25}$ <p style="text-align: center;">$P_r = 15642,902kN$</p> $V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2}$ $V = \sqrt{(287088,784)^2 + 22323,386^2}$ <p style="text-align: center;">$V = 287955,385kN$</p>	<p>Duvar kütlesi hesabı :</p> $m_w = (2 \times 25 + 2 \times 10) \times 11,4 \times 0,5 \times 2400$ <p style="text-align: center;">$m_w = 957600kg$</p> <p>Kapak kütlesi hesabı</p> $m_r = 25 \times 10 \times 0,2 \times 2400$ <p style="text-align: center;">$m_r = 120000kg$</p> <p>İmpuls ivmesi hesabı :</p> <p style="text-align: center;">$s = 1,2$ olursa ve %5 sönüm için</p> $T_c \leq T \leq T_d$ $S_e(T_i) = 4,905 \times 1,2 \times 1 \times 2,5 \times \left(\frac{0,5}{0,5502} \right)$ <p style="text-align: center;">$S_e(T_i) = 13,371$</p> <p>Salınım ivmesi hesabı :</p> $T_d \leq T \leq 4s$ $S_e(T_c) = 4,905 \times 1,2 \times 1 \times 2,5 \times \left(\frac{0,5 \times 2}{3,5801^2} \right)$ <p style="text-align: center;">$S_e(T_c) = 1,147$</p> <p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde :</p> $V = 18700,980 \times 4,905 + 5808,823 \times 1,1477$ <p style="text-align: center;">$V = 98395,093kN$</p> <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman:</p> $V = 29265,68 \times 13,371 + 5808,823 \times 1,1477$ <p style="text-align: center;">$V = 397978,193kN$</p>

Çizelge 4.22. Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momentin hesabı (M_b)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momenti	$h_i = 4,48m$
$M_i = 146615,459 \times 4,062$	$h_w = 5,7m$
$M_i = 595625,302kNm$	$h_r = 11,50m$
Salınım kuvvetinden oluşan salınım momenti	Depo rijit olarak kabul edildiğinde:
$M_c = 22323,386 \times 7,093$	$M_b = a + b$
$M_c = 158339,777kNm$	$a \Rightarrow m_i h_i S_e(T_i) = 18700,980 \times 4,48 \times 4,905$
Duvar kütesinden meydana gelen duvar momenti	$m_i h_i S_e(T_i) = 410942,814kNm$
$M_w = 124830,423 \times 5,7$	$b \Rightarrow m_c h_c S_e(T_c) = 5808,823 \times 7,51 \times 1,1477$
$M_w = 711533,411kNm$	$m_c h_c S_e(T_c) = 50067,564kNm$
Çatı kütesinden meydana gelen çatı momenti	$M_b = 410942,814 + 50067,564$
$M_r = 15642,902 \times 11,50$	$M_b = 461010,378kNm$
$M_r = 179893,373kNm$	Depo esnek olarak kabul edildiği zaman:
$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$	$M_b = a + b$
$M_b = \sqrt{(1487052,086)^2 + (158339,777)^2}$	$a \Rightarrow$
$M_b = 1495458,255kNm$	$(m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 2017856,98kNm$
	$b \Rightarrow$
	$m_c h_c S_e(T_c) = 50070,617kNm$
	$M_b = 2017856,98 + 50070,617$
	$M_b = 2067927,597kNm$

Çizelge 4.23. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentin hesabı (M_o).

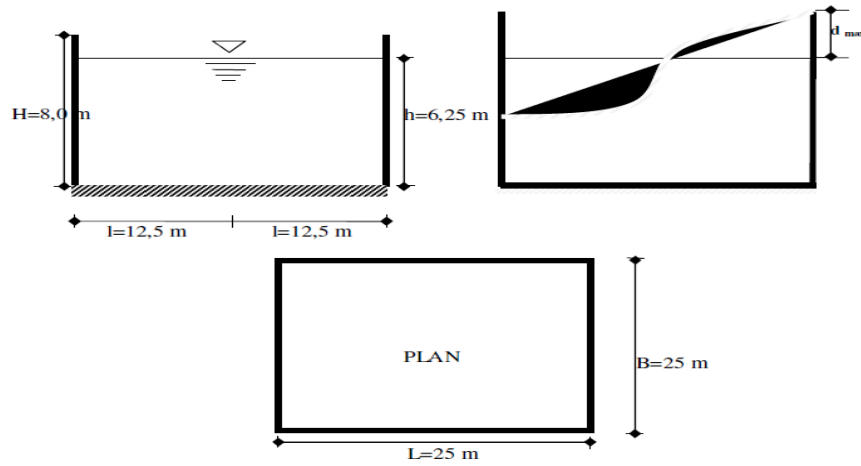
ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>Devirici momenti hesabında kullanılan impuls momenti</p> $M_i' = 146615,459 \times 4,9419$ $M_i' = 724558,937kNm$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde: $M_o = c + d$</p> $c \Rightarrow$ $m_i h_i' S_e(T_i) = 18700,980 \times 5 \times 4,905$ $m_i h_i' S_e(T_i) = 458641,534kNm$ $d \Rightarrow$ $m_c h_c' S_e(T_c) = 5808,823 \times 7,64 \times 1,1477$ $m_c h_c' S_e(T_c) = 50934,246kNm$
<p>Devirici momenti hesabında kullanılan salınım momenti</p> $M_c' = 22323,386 \times 7,3648$ $M_c' = 164407,273kNm$ $M_o = \sqrt{(M_i' + M_w + M_r)^2 + M_c'^2}$ $M_o = \sqrt{(1615985,721)^2 + 164407,273^2}$ $M_o = 1615985,772kNm$	<p>$M_o = 458641,534 + 50934,246$</p> $M_o = 509575,78kNm$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman:</p> $M_o = c + d$ $c \Rightarrow$ $(m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 2146676,825kNm$ $d \Rightarrow$ $m_c h_c' S_e(T_c) = 50934,246kNm$ $M_o = 2146676,825 + 50934,246$ $M_o = 2197611,071kNm$

Çizelge 4.24. Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğinin hesabı (d_{max})

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$d_{max} = \left(\frac{10}{2}\right) \times 1,25 \times 1 \times \frac{1,226 \times 1,147}{3,57^2}$ $d_{max} = 0,70m$	$d_{max} = 5 \times \frac{1,147}{9,81}$ $d_{max} = 0,58m$

4.1.4. Örnek 4

Bu çalışmanın uygulamasına konu olan depo Şekil 4.4’de; zemine nazaran konuma göre yer üstü ve hazne geometrisine göre de dikdörtgen depodur. Sıvı yoğunluğu 1000 kg/m^3 , duvar malzeme yoğunluğu 2400 kg/m^3 , sönüm oranı %5, Poisson oranı 0.14, duvar kalınlığı 0.5m seçilmiştir.



Şekil 4.4. Dördüncü örnek için kullanılan dikdörtgen betonarme deponun geometrik özellikleri

Çizelge 4.25. Örnek 4’teki depoya ait parametre

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$E = 21,10^3 \text{ N / m}^2$	$h = 6,25 \text{ m}$
$\nu = 0,17$	$l = 12,5 \text{ m}$
$t_w = 0,5 \text{ m}$	$b = 12,5 \text{ m}$
$g = 9,81 \text{ m / s}^2$	$\gamma_l = 1000 \text{ kg / m}^3$
$Z = 4,905$	$a_{gR} = 0.4 \text{ g}$

Çizelge 4.26. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin kütle ve etkili yüksekliklerin hesabı

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Toplam sıvı kütlesi	$m_i = 2 \times 12,5 \times 2 \times 12,5 \times 6,25 \times 1000$ $m_i = 3906250 \text{ kg}$	$m_i = 2 \times 12,5 \times 2 \times 12,5 \times 6,25 \times 1000$ $m_i = 3906250 \text{ kg}$
İmpuls kütlesi	$\frac{m_i}{m_i} = \frac{\tanh \left[0,866 \left(\frac{25}{6,25} \right) \right]}{0,866 \left(\frac{25}{6,25} \right)}$ $m_i = 1125462,34 \text{ kg}$	$h/l = \frac{6,25}{12,5} \Rightarrow h/l = 0,5$ $\frac{m_i}{m_i} = 0,3 \Rightarrow m_i = 0,3 m_i$ $m_i = 0,3 \times 3906250$ $m_i = 1171875 \text{ kg}$
Salmım kütlesi	$\frac{m_c}{m_i} = 0,264 \left(\frac{25}{6,25} \right) \cdot \tanh \left[3,16 \left(\frac{6,25}{25} \right) \right]$ $m_c = 2715937,273 \text{ kg}$	$\frac{m_c}{m_i} = 0,7 \Rightarrow m_c = 0,7 m_i$ $m_c = 0,7 \times 3906250$ $m_c = 2734375 \text{ kg}$
İmpuls kütlesi etkili yükseklik hesabı	<p>Depoda $\frac{2l}{h} > 1,333$; $\frac{h_i}{h} = 0,375$</p> $h_i = 0,375 \times 6,25$ $h_i = 2,344 \text{ m}$	$\frac{h_i}{h} = 0,4 \Rightarrow h_i = 0,4h$ $h_i = 0,4 \times 6,25$ $h_i = 2,5 \text{ m}$
Salmım kütlesi etkili yükseklik hesabı	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,16 \left(\frac{6,25}{25} \right) \right] - 1}{3,16 \left(\frac{6,25}{25} \right) \cdot \sinh \left[3,16 \left(\frac{6,25}{25} \right) \right]}$ $\frac{h_c}{h} = 0,524$ $h_c = 3,277 \text{ m}$	$\frac{h_c}{h} = 0,543 \Rightarrow h_c = 0,543h$ $h_c = 0,543 \times 6,25$ $h_c = 3,394 \text{ m}$
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği hesabı	<p>Depoda $\frac{2l}{h} \geq 0,75$</p> $\frac{h_i'}{h} = \frac{0,866 \left(\frac{2 \times 12,5}{6,25} \right)}{2 \tanh \left[0,866 \left(\frac{2 \times 12,5}{6,25} \right) \right]} - \frac{1}{8}$ $\frac{h_i'}{h} = 1,610 \Rightarrow h_i' = 10,064 \text{ m}$	$\frac{h_i'}{h} = 1,46 \Rightarrow h_i' = 1,46 \times h$ $h_i' = 1,46 \times 6,25$ $h_i' = 9,125 \text{ m}$

Çizelge 4.27. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksek ve salınım periyodu hesabı

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Devirici moment hesabında etkili salınım yüksekliği hesabı	$\frac{h_c'}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,16 \left(\frac{6,25}{2 \times 12,5} \right) \right] - 2,01}{3,16 \left(\frac{6,25}{2 \times 12,5} \right) \times \sinh \left[3,16 \left(\frac{6,25}{2 \times 12,5} \right) \right]}$ $\frac{h_c'}{h} = 1,985$ $h_c' = 12,412m$	$\frac{h_c'}{h} = 1,517 \Rightarrow h_c' = 1,517h$ $h_c' = 1,517 \times 6,25$ $h_c' = 9,481m$
Salınım periyodu hesabı	$T_c = \frac{2\pi \times \sqrt{2 \times 12,5}}{\sqrt{3,16 \times 9,81 \times \tanh \left[3,16 \times \frac{6,25}{25} \right]}}$ $T_c = 6,952s$	$T_c = 2\pi \sqrt{\frac{12,5 / 9,81}{\frac{\pi}{2} \tanh \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{6,25}{12,5} \right)}}$ $T_c = 6,987s$

Çizelge 4.28. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls periyodu belirlenmesi

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ <p>Duvar kütlesi hesabı :</p> $w_w = H_w \times \frac{t_w}{10^3} \times \rho_c$ $w_w = 8 \times \frac{500}{10^3} \times 2,4$ $w_w = 9,6 kN \cdot s^2 / m^4$ <p>Periyot hesabında kullanılan impuls kütle hesabı :</p> $w_i = \frac{m_i}{m_i} \times \frac{2l}{2} \times h \times \rho_i$ $w_i = \frac{1125462,34}{3906250} \times \frac{25}{2} \times 6,25 \times 1$ $w_i = 22,059 kN \cdot s^2 / m^4$ <p>Rijitlik hesabında kullanılan yükseklik</p> $h_z = \frac{22,059 \times 2,344 + 9,6 \times 4}{22,059 + 9,6}$ $h_z = 2,846 m$ <p>Sıvı deposunun rijitliği</p> $k = \frac{21 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^6} \times \left(\frac{500}{2,846}\right)^3$ $k = 28468,419 kN / m$ $T_i = 2\pi \sqrt{\frac{31,659}{28468,419}}$ <p style="text-align: center;">m</p>	<p>Depo rijit olarak Kabul edildiği için sıvı deposu deprem esnasında zemin hareketini taklit edecektir.</p> <p>0.4g yer ivmesi dikkate alınmaktadır:</p> $\gamma_l \geq 1 \Rightarrow a_g R = 0.4g$ $a_g R = 0.4 \times 9,81$ $a_g R = 3,924$ $a_g = \gamma_l \times a_g R$ $a_g = 1,25 \times 3,924$ $a_g = 4,905 m / s^2$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman impuls periyodun hesabını yapılmalı :</p> $T_i = 2\pi \times \sqrt{\frac{d_f}{g}}$ $T_i = 2\pi \times \sqrt{\frac{0,034}{9,81}}$ $T_i = 0,369 s$

Çizelge 4.29. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>C_c ve C_i katsayıların hesabı</p> <p>$T_i \leq 0,31s$; $C_i = 2,5$</p> <p>$T_c \geq 2,4s$; $C_c = \frac{6}{T_c^2}$; $C_c = \frac{6}{6,951^2}$; $C_c = 0,124$</p> <p>Duvar yükü etkisiyle oluşacak kuvvet hesabında kullanılan ε katsayı hesabı</p> $\varepsilon = \left[0,0151 \left(\frac{25}{6,25} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{25}{6,25} \right) + 1,021 \right]$ <p>$\varepsilon = 0,50$; $\varepsilon \leq 1,00$</p> <p>İmpuls kuvvetinin hesabı (P_i)</p> $P_i = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 2,5 \times \frac{11033,94}{1,25}$ <p>$P_i = 162364,427kN$</p> <p>Salınım kuvvetinin hesabı (P_c)</p> $P_c = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 0,124 \times \frac{26626,836}{1,00}$ <p>$P_c = 24292,461kN$</p> <p>Duvar kütlesi etkisiyle oluşan kuvvet hesabı (P_w)</p> $P_w = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 0,50 \times 2,5 \times \frac{9411,7}{1,25}$ <p>$P_w = 69246,583kN$</p> <p>Çatı kütlesi etkisiyle meydana gelen kuvvet hesabı (P_r)</p> $P_r = 4,905 \times 1,2 \times 1,25 \times 2,5 \times \frac{2941,17}{1,25}$ <p>$P_r = 43279,317kN$</p> $V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2}$ $V = \sqrt{(274890,327)^2 + (24292,461)^2}$ <p>$V = 275961,619kN$</p>	<p>Duvar kütlesi hesabı :</p> $m_w = (2 \times 25 + 2 \times 25) \times 8 \times 0,5 \times 2400$ <p>$m_w = 960000kg$</p> <p>Kapak kütlesi hesabı</p> $m_r = 25 \times 25 \times 0,2 \times 2400$ <p>$m_r = 300000kg$</p> <p>İmpuls ivmesi hesabı :</p> <p>$s = 1,2$ olursa %5 sönüm için</p> $T_b \leq T \leq T_c$ $S_e(T_i) = 4,905 \times 1,2 \times 1 \times 2,5$ <p>$S_e(T_i) = 14,715$</p> <p>Salınım ivmesi hesabı :</p> $T_b \leq T \leq 7s$ $S_e(T_c) = 4,905 \times 1,2 \times 1 \times 2,5 \times \left(\frac{0,5 \times 2}{6,988^2} \right)$ <p>$S_e(T_c) = 0,301$</p> <p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde :</p> $V = 11488,97 \times 4,905 + 26807,5 \times 0,301$ <p>$V = 64422,455kN$</p> <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $V = 23841,9 \times 14,715 + 26807,5 \times 0,301$ <p>$V = 358902,616kN$</p>

Çizelge 4.30. Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momentin hesabı (M_b)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momenti	$h_i = 2,5m$ $h_w = 4m$ $h_r = 8,1m$
$M_i = 162364,427 \times 2,343$ $M_i = 380419,853kNm$	Depo rijit olarak kabul edildiğinde :
Salınım kuvvetinden oluşan salınım momenti	$M_b = a + b$ $a \Rightarrow m_i h_i S_e(T_i) = 11488,970 \times 2,5 \times 4,905$ $m_i h_i S_e(T_i) = 140883,49kNm$ $b \Rightarrow m_c h_c S_e(T_c) = 26807,5 \times 3,393 \times 0,301$ $m_c h_c S_e(T_c) = 27378,312kNm$ $M_b = 140883,49 + 27378,312$ $M_b = 168261,802kNm$
Duvar kütesinden meydana gelen duvar momenti	Depo esnek olarak kabul edildiği zaman
$M_w = 69246,583 \times 4$ $M_w = 276986,332kNm$	$M_b = a + b$ $a \Rightarrow$ $(m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 1267608,592kNm$ $b \Rightarrow$ $m_c h_c S_e(T_c) = 27378,312kNm$ $M_b = 1267608,592 + 27378,312$ $M_b = 1294986,904kNm$
Çatı kütesinden meydana gelen çatı momenti	
$M_r = 43279,317 \times 8,10$ $M_r = 350562,468kNm$	
$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$ $M_b = \sqrt{(1007968,653)^2 + (79436,347)^2}$ $M_b = 1007968,692kNm$	

Çizelge 4.31. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentin hesabı (M_o)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>Devirici momenti hesabında kullanılan impuls momenti</p> $M_i' = 162364,427 \times 10,064$ $M_i' = 1634035,593kNm$ <p>Devirici momenti hesabında kullanılan salınım momenti</p> $M_c' = 24292,461 \times 12,412$ $M_c' = 301518,026kNm$ $M_o = \sqrt{(M_i' + M_w + M_r)^2 + M_c'^2}$ $M_o = \sqrt{(2261584,393)^2 + (301518,026)^2}$ $M_o = 2261584,46kNm$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde: $M_o = c + d$</p> $c \Rightarrow$ $m_i h_i' S_e(T_i) = 11488,970 \times 9,125 \times 4,905$ $m_i h_i' S_e(T_i) = 514224,755kNm$ $d \Rightarrow$ $m_c h_c' S_e(T_c) = 26807,5 \times 9,481 \times 0,301$ $m_c h_c' S_e(T_c) = 76502,734kNm$ $M_o = 514224,755 + 76502,734$ $M_o = 590727,489kNm$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $M_o = c + d$ $c \Rightarrow$ $(m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 2337351,184kNm$ $d \Rightarrow$ $m_c h_c' S_e(T_c) = 76504,75kNm$ $M_o = 2337351,184 + 76504,75$ $M_o = 2413855,934kNm$

Çizelge 4.32. Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğin hesabı (d_{max})

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$d_{max} = \left(\frac{25}{2} \right) \times 1,25 \times 1 \times \frac{1,226 \times 0,301}{6,952^2}$ $d_{max} = 0,12m$	$d_{max} = 12,25 \times \frac{0,301}{9,81}$ $d_{max} = 0,37m$

4.2. Bulguların İrdelenmesi

Sayısal çalışmalardan elde edilen bulgular aşağıdaki çizelgeler ve şekillerle gösterilmektedir. Bu çalışmada dört farklı, iki silindirik ve iki dikdörtgen sığ ve derin sıvı deponun basitleştirilmiş yöntemle pratik deprem hesabı yapılmıştır. Sıvı depolarının esnek çözümü göz önüne alındığında ACI 350 ve Eurocode 8 yönetmeliklerindeki bağıntılara göre analiz yapılabilmiş, ancak rijit çözüm ise sadece Eurocode 8 dikkate alınarak yapılmıştır.

4.2.1. Örnek 1

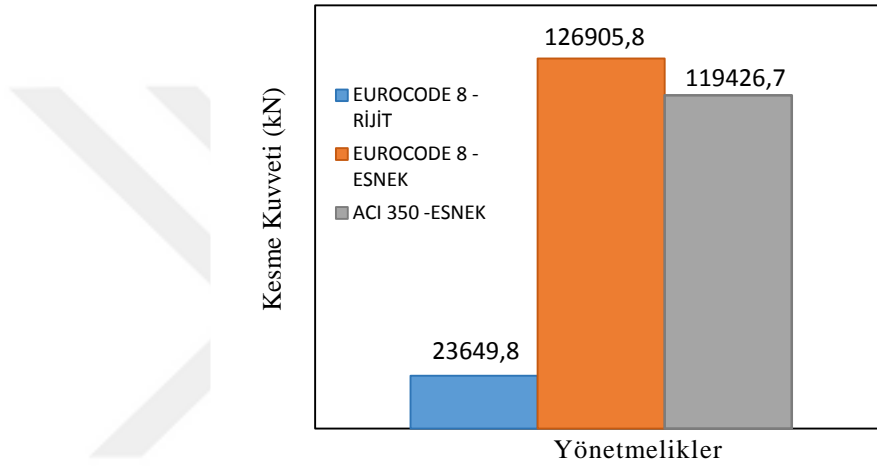
Birinci örnekte gerçekleştirilen dinamik analizden ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre gerçekleştirilen çözümlmelerden hesaplanan kesme kuvvetinin, eğilme momentinin, devirici momentin ve dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması sırasıyla Çizelge 4.34 ve Şekil 4.5, 4.6, 4.7, 4.8'de sunulmaktadır. Bunların kütle, etkili yükseklik ve periyot değerleri ise Çizelge 4.33'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.33. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin kütle, etkili yükseklik ve periyot değerleri

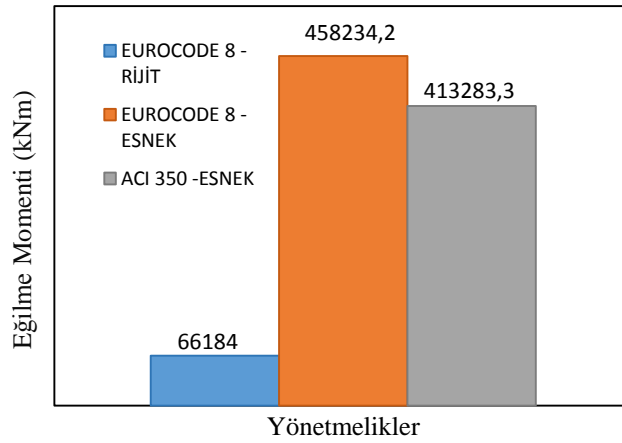
Yönetmelikler	ACI 350	Eurocode 8
Toplam sıvı kütlesi (kg)	766601.563	
İmpuls kütlesi (kg)	415611,356	420097,656
Salınım kütlesi (kg)	352636,434	346503,907
İmpuls kütlesi etkili yüksekliği (m)	2,344	2,619
Salınım kütlesi etkili yüksekliği (m)	3,763	3,850
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği (m)	4,981	4,506
Devirici moment hesabında etkili salınım yüksekliği (m)	4,900	4,906
Salınım periyodu (s)	3,789	3,800
İmpuls periyodu (s)	0,300	0,306

Çizelge 4.34. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti, eğilme ve devirici momenti ve dalga yüksekliğinin değerleri

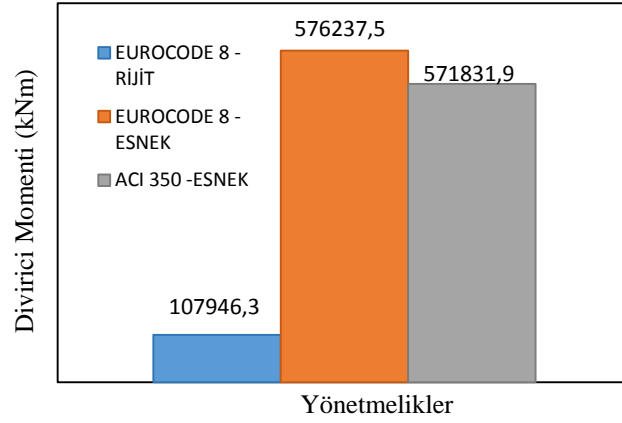
Yönetmelikler	ACI 350	Eurocode 8	
	Esnek	Rijit	Esnek
Kesme kuvveti (kN)	119426,742	23649,806	126905,829
Eğilme momenti (kNm)	413283,383	66184,064	458234,254
Devirici moment (kNm)	571831,981	107946,397	576237,517
Dalga yüksekliği (m)	0,67	0,65	



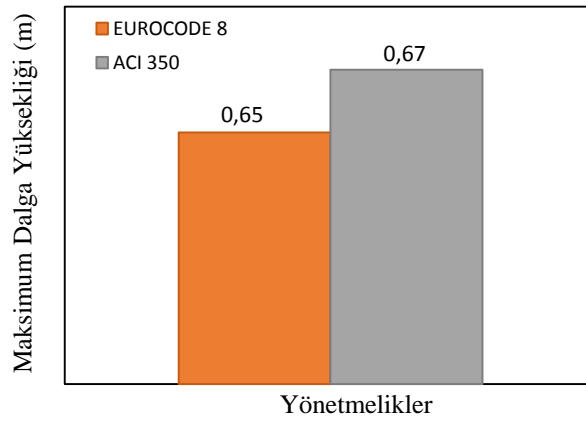
Şekil 4.5. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması



Şekil 4.6. Eğilme momentlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.7. Devirici momentlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.8. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.33'te ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls kütlesi ACI 350'den elde edilen değerden daha büyük olduğu görülmüştür. Ancak salınım kütlesi için, ACI 350'de EUROCODE 8'den daha büyük sonuçlar elde edilmiştir. Bunların etkili yükseklikleri, (devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği hariç), impuls ve salınım periyotların değerleri EUROCODE 8'de, ACI 350'den daha büyük elde edilmiştir.

Çizelge 4.34 ve Şekil 4.5, 4.6, 4.7'te rijit ve esnek analizlerde EUROCODE 8'e göre elde edilen değerler incelenmiştir. EUROCODE 8 esnek çözüme göre elde edilen kesme

kuvveti, eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin rijit kabule göre elde edilenlerden çok büyük olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.34 ve Şekil 4.5, 4.6, 4.7’de esnek kabul analizinden EUROCODE 8 ve ACI 350’ye göre elde edilen değerler incelenmiştir. EUROCODE 8 esnek çözüme göre elde edilen kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin tamamı ACI 350’de elde edilen değerlerden bir miktar daha büyük olduğu belirlenmiştir..

Çizelge 4.34 ve Şekil 4.8’de EUROCODE 8 ve ACI 350’ye göre deprem esnasında oluşabilecek maksimum dalga yükseklikleri hesaplanmıştır. ACI 350’ye göre elde edilen değerler EUROCODE 8’den biraz daha büyük olarak hesaplanmıştır.

4.2.2. Örnek 2

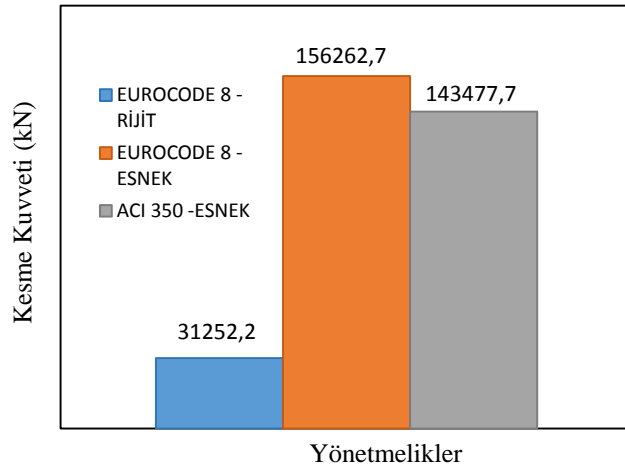
İkinci örnekte gerçekleştirilen dinamik analizden ACI 350 ve EUROCODE 8’e göre gerçekleştirilen çözümlerden hesaplanan kesme kuvvetinin, eğilme momentinin, devirici momentin ve dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması sırasıyla Çizelge 4.36 ve Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12’de sunulmaktadır. Bunların kütle, etkili yükseklik ve periyot değerleri ise Çizelge 4.35’te gösterilmektedir.

Çizelge 4.35. EUROCODE 8 ve ACI 350’ye göre sıvıya ilişkin kütle, etkili yükseklik ve periyot değerleri

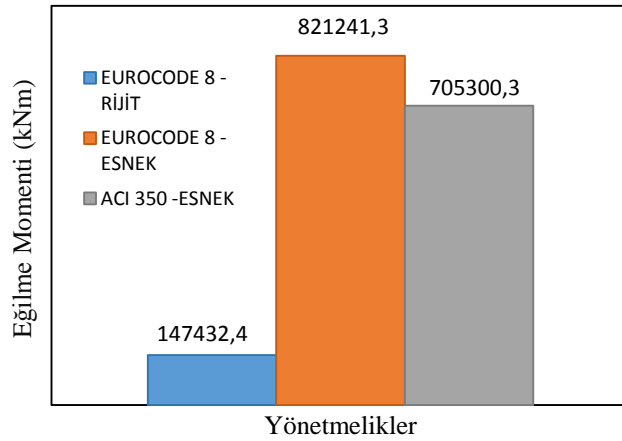
Yönetmelikler	ACI 350	Eurocode 8
Toplam sıvı kütlesi (kg)	785000	
İmpuls kütlesi (kg)	633924,780	598955
Salınım kütlesi (kg)	180320,415	186045
İmpuls kütlesi etkili yüksekliği (m)	4,062	4,48
Salınım kütlesi etkili yüksekliği (m)	7,417	7,51
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği (m)	4,98	5
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği (m)	7,55	7,64
Salınım periyodu (s)	3,307	3,309
İmpuls periyodu (s)	0,418	0,428

Çizelge 4.36. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti, eğilme ve devirici momenti ve dalga yüksekliğinin değerleri

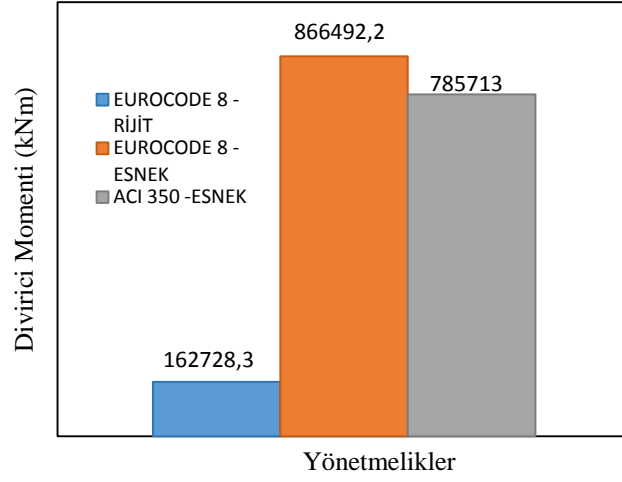
Yönetmelikler	ACI 350	Eurocode 8	
	Esnek	Rijit	Esnek
Kesme kuvveti (kN)	143477,718	31252,275	156262,72
Eğilme momenti (kNm)	705300,359	147432,461	821241,601
Devirici moment (kNm)	785713,078	162728,305	866492,272
Dalga yüksekliği (m)	0,94	0,68	



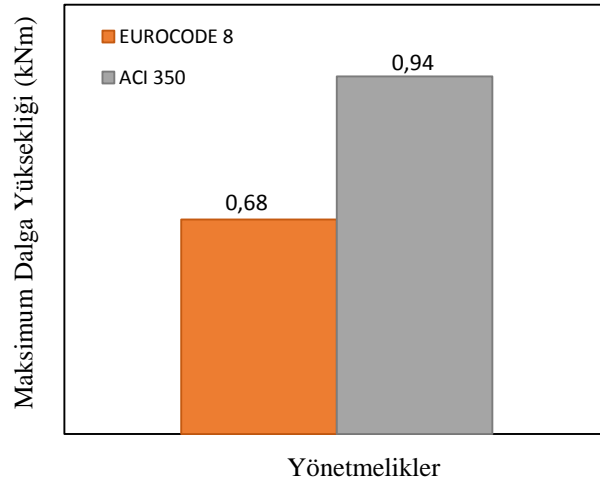
Şekil 4.9. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması



Şekil 4.10. Eğilme momentlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.11. Devirici momentlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.12. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.35'te ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. ACI350'ye göre sıvıya ilişkin impuls kütlesi EUROCODE 8'de elde edilen değerden bir miktar büyük olduğu görülmektedir. Ancak salınım kütlesi için, ACI 350'de EUROCODE 8'den daha küçük sonuçlar elde edilmiştir. Bunların etkili yükseklikleri ve impuls ve salınım periyotların değerleri EUROCODE 8'de, ACI 350'den daha büyüktür.

Çizelge 4.36 ve Şekil 4.9, 4.10, 4.11’de rijit ve esnek analizinde EUROCODE 8’e göre elde edilen değerler incelenmiştir. EUROCODE 8 esnek çözüme göre elde edilen kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin rijit kabule göre elde edilenlerden çok büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.36 ve Şekil 4.9, 4.10, 4.11’de esnek kabul analizi ise EUROCODE 8 ve ACI 350’ye göre elde edilen değerler incelenmiştir. EUROCODE 8 esnek çözüme göre elde edilen kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin tamamı ACI 350’de elde edilen değerlerden bir miktar daha büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.36 ve Şekil 4.12’de EUROCODE 8 ve ACI 350’ye göre deprem esnasında oluşabilecek maksimum dalga yükseklikleri hesaplanmıştır. ACI 350’ye göre elde edilen değerler EUROCODE 8’den biraz büyük olduğu görülmektedir.

4.2.3. Örnek 3

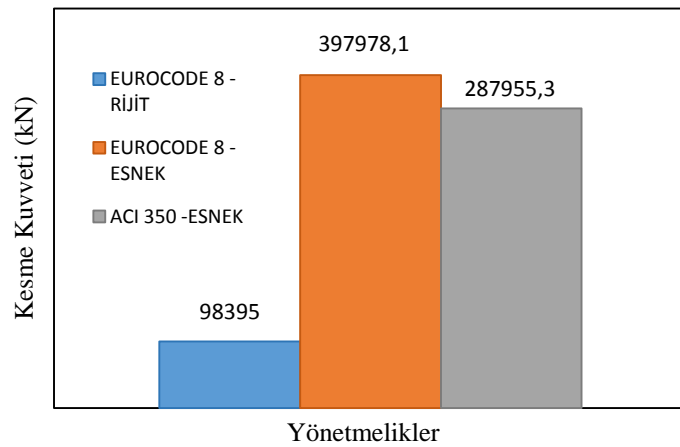
Üçüncü örnekte gerçekleştirilen dinamik analizden ACI 350 ve EUROCODE 8’e göre gerçekleştirilen çözümlerden hesaplanan kesme kuvvetinin karşılaştırılması, eğilme momentinin karşılaştırılması, devirici momentin karşılaştırılması ve dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması sırasıyla Çizelge 4.38 ve Şekil 4.13, 4.14, 4.15, 4.16’da sunulmaktadır. Bunların kütle, etkili yükseklik ve periyot değerleri ise Çizelge 4.37’de belirtilmektedir.

Çizelge 4.37. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin kütle, etkili yükseklik ve periyot değerleri

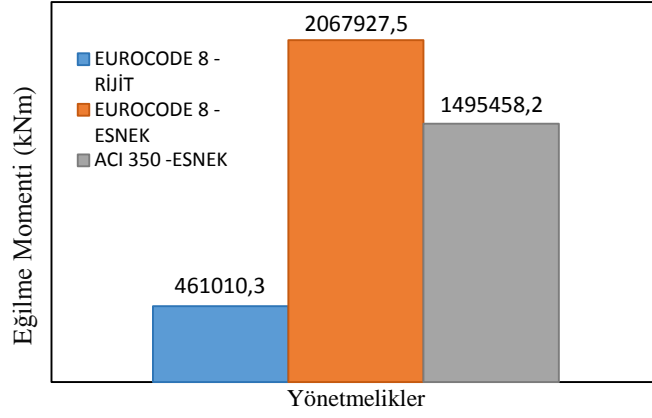
Yönetmelikler	ACI 350	Eurocode 8
Toplam sıvı kütlesi (kg)	2500000	
İmpuls kütlesi (kg)	1124717,592	1907500
Salınım kütlesi (kg)	657625	592500
İmpuls kütlesi etkili yükseklik (m)	4,063	4,48
Salınım kütlesi etkili yükseklik (m)	7,093	7,51
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği (m)	4,942	5
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği (m)	7,365	7,64
Salınım periyodu (s)	3,571	3,580
İmpuls periyodu (s)	0,472	0,550

Çizelge 4.38. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti, eğilme ve devirici momentleri ve dalga yüksekliğinin değerleri

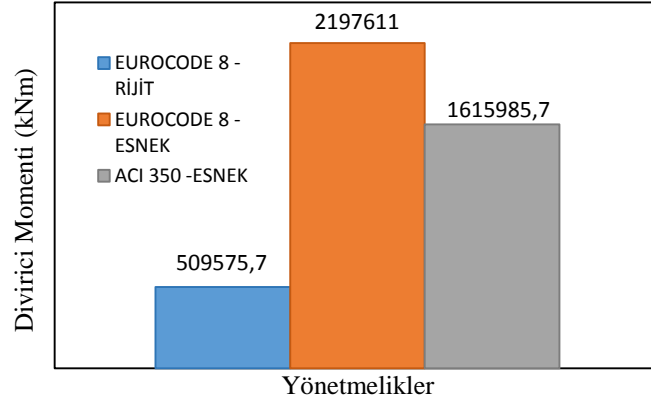
Yönetmelikler	ACI 350	Eurocode 8	
	Esnek	Rijit	Esnek
Kesme kuvveti (kN)	287955,385	98395,093	397978,193
Eğilme momenti (kNm)	1495458,255	461010,378	2067927,597
Devirici momenti (kNm)	1615985,772	509575,78	2197611,071
Dalga yüksekliği (m)	0,70	0,58	



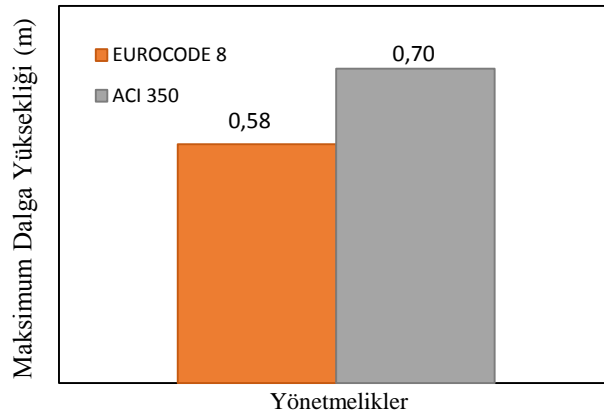
Şekil 4.13. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması



Şekil 4.14. Eğilme momentlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.15. Devirici momentlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.16. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.37’de ACI 350 ve EUROCODE 8’e göre elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. EUROCODE 8’e göre sıvıya ilişkin impuls kütlesi ACI 350’de elde edilen değerden bir miktar daha büyük olduğu görülmektedir. Ancak salınım kütlesi için, ACI 350’de EUROCODE 8’den daha büyük sonuçlar elde edilmiştir. Bunların etkili yükseklikleri ve impuls ve salınım periyotların değerleri EUROCODE 8’de, ACI 350’den daha büyüktür.

Çizelge 4.38 ve Şekil 4.13, 4.14, 4.15’te rijit ve esnek analizinde EUROCODE 8’e göre elde edilen değerler incelenmiştir. EUROCODE 8 esnek çözüme göre elde edilen kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin rijit kabule göre elde edilenlerden çok büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.38 ve Şekil 4.13, 4.14, 4.15’te esnek kabul analizi ise EUROCODE 8 ve ACI 350’ye göre elde edilen değerler incelenmiştir. EUROCODE 8 esnek çözüme göre elde edilen kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin tamamı ACI 350’de elde edilen değerlerden bir miktar daha büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.38 ve Şekil 4.16’da EUROCODE 8 ve ACI 350’ye göre deprem esnasında oluşabilecek maksimum dalga yükseklikleri hesaplanmıştır. ACI 350’ye göre elde edilen değerler EUROCODE 8’den biraz büyük olduğu görülmektedir.

4.2.4. Örnek 4

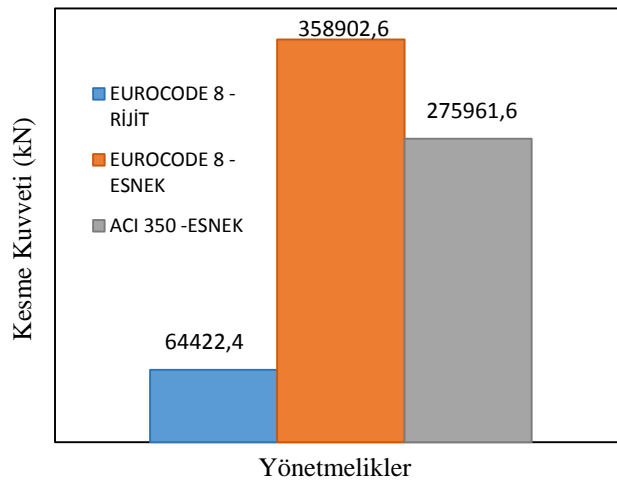
Dördüncü örnekte gerçekleştirilen dinamik analizden ACI 350 ve EUROCODE 8’e göre gerçekleştirilen çözümlerden hesaplanan kesme kuvvetinin karşılaştırılması, eğilme momentinin karşılaştırılması, devirici momentin karşılaştırılması ve dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması sırasıyla Çizelge 4.40 ve Şekil 4.17, 4.18, 4.19, 4.20’de sunulmaktadır. Bunların kütle, etkili yükseklik ve periyot değerleri ise Çizelge 4.39’da belirtilmektedir.

Çizelge 4.39. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin kütle, etkili yükseklik ve periyot değerleri

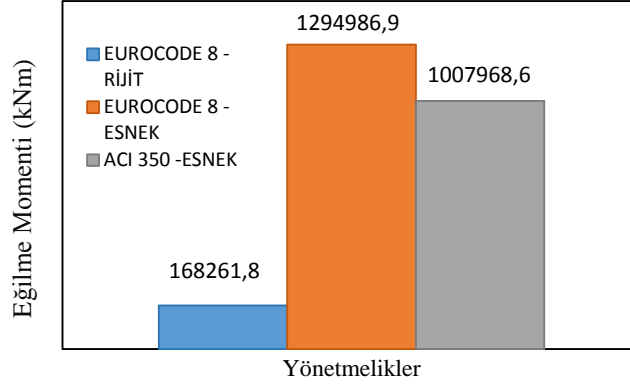
Yönetmelikler	ACI 350	Eurocode 8
Toplam sıvı kütlesi (kg)	3906250	
İmpuls kütlesi (kg)	1125462,34	1171875
Salınım kütlesi (kg)	2715937,273	2734375
İmpuls kütlesi etkili yüksekliği (m)	2,344	2,5
Salınım kütlesi etkili yüksekliği (m)	3,277	3,394
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği (m)	10,064	9,125
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği (m)	12,412	9,481
Salınım periyodu (s)	6,952	6,987
İmpuls periyodu (s)	0,209	0,369

Çizelge 4.40. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti, eğilme ve devirici momenti ve dalga yüksekliğinin değerleri

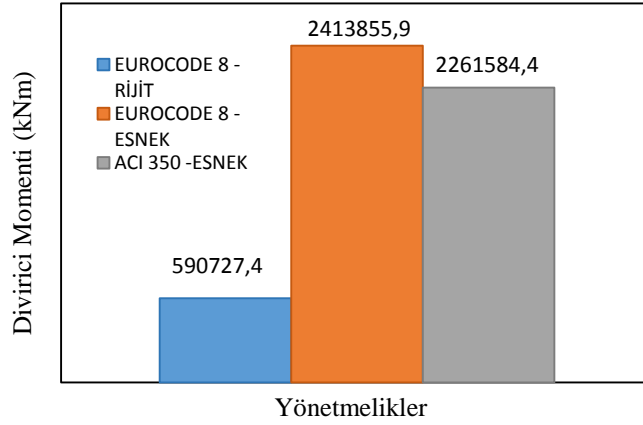
Yönetmelikler	ACI 350	Eurocode 8	
	Esnek	Rijit	Esnek
Kesme kuvveti (kN)	275961,619	64422,455	358902,616
Eğilme momenti (kNm)	1007968,692	168261,802	1294986,904
Devirici moment (kNm)	2261584,46	590727,489	2413855,934
Dalga yüksekliği (m)	0,12	0,37	



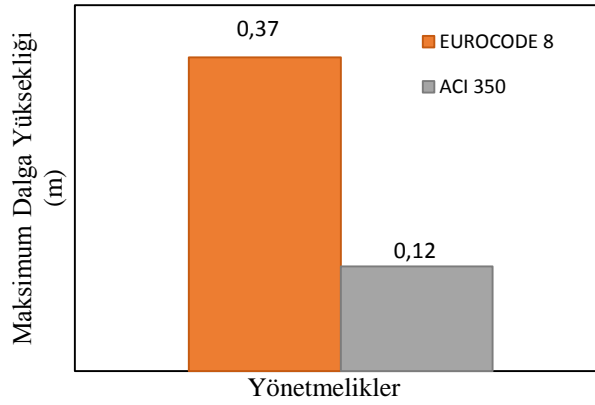
Şekil 4.17. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması



Şekil 4.18. Eğilme momentlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.19. Devirici momentlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.20. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.39’da ACI 350 ve EUROCODE 8’e göre elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. EUROCODE 8’e göre sıvıya ilişkin impuls ve salınım kütleleri ACI 350’de elde edilen değerden daha büyük olduğu görülmektedir. Bunların etkili yükseklikleri, devirici moment hesabında etkili impuls ve salınım yüksekliği hariç ve impuls ve salınım periyotların değerleri EUROCODE 8’de, ACI 350’den daha büyüktür.

Çizelge 4.40 ve Şekil 4.17, 4.18, 4.19’da rijit ve esnek analizinde EUROCODE 8’e göre elde edilen değerler incelenmiştir. EUROCODE 8 esnek çözüme göre elde edilen kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin rijit kabule göre elde edilenlerden çok büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.40 ve Şekil 4.17, 4.18, 4.19’da esnek kabul analizi ise EUROCODE 8 ve ACI 350’ye göre elde edilen değerler incelenmiştir. EUROCODE 8 esnek çözüme göre elde edilen kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin tamamı ACI 350’de elde edilen değerlerden bir miktar daha büyük olduğu görülmektedir.

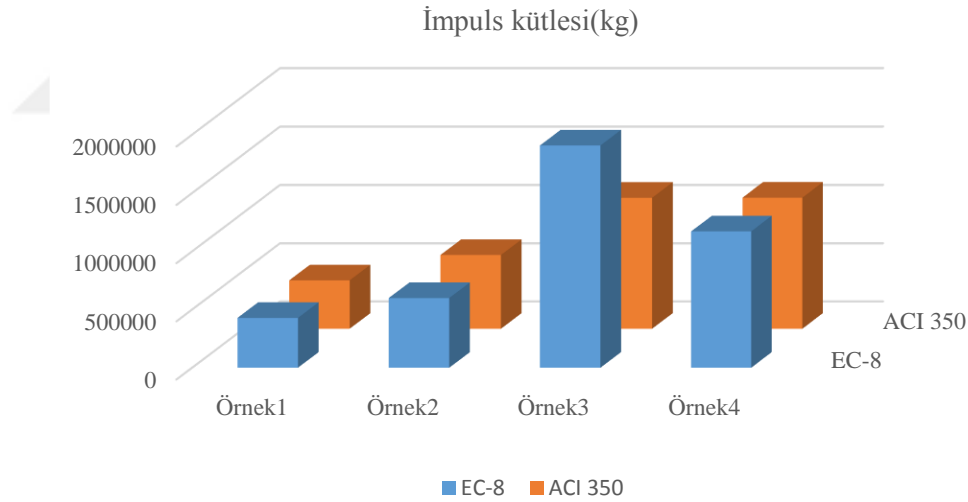
Çizelge 4.40 ve Şekil 4.20’de EUROCODE 8 ve ACI 350’ye göre deprem esnasında oluşabilecek maksimum dalga yükseklikleri hesaplanmıştır. ACI 350’ye göre elde edilen değerler EUROCODE 8’den küçük olduğu görülmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışma kapsamında ACI 350 ve EUROCODE 8’de silindirik ve dikdörtgen sıvı depoları için öngörülen bağıntılar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Yapılan örneklerde iki silindirik ve iki dikdörtgen depo seçilerek belirtilen iki koda göre depreme göre hesabı yapılarak dinamik parametreleri belirlenmiştir. Buna göre; EUROCODE 8’e göre gerçekleştirilen rijit ve esnek çözümler arasında çok büyük farklar çıkmaktadır. Dolayısıyla depo rijit kabul edilerek gerçekleştirilen çözümler, depo duvarının esnek davranması halinde elverişsiz durumda kalabilmektedir.

Çizelge 4.41. EUROCODE 8 ve ACI 350’ye göre sıvıya ilişkin impuls kütlelerinin değerleri

İmpuls kütleleri(kg)	Örnek1	Örnek2	Örnek3	Örnek4
EC-8	428097,656	598955	1907500	1171875
ACI 350	415611,356	633924,78	1124717,592	1125462,34

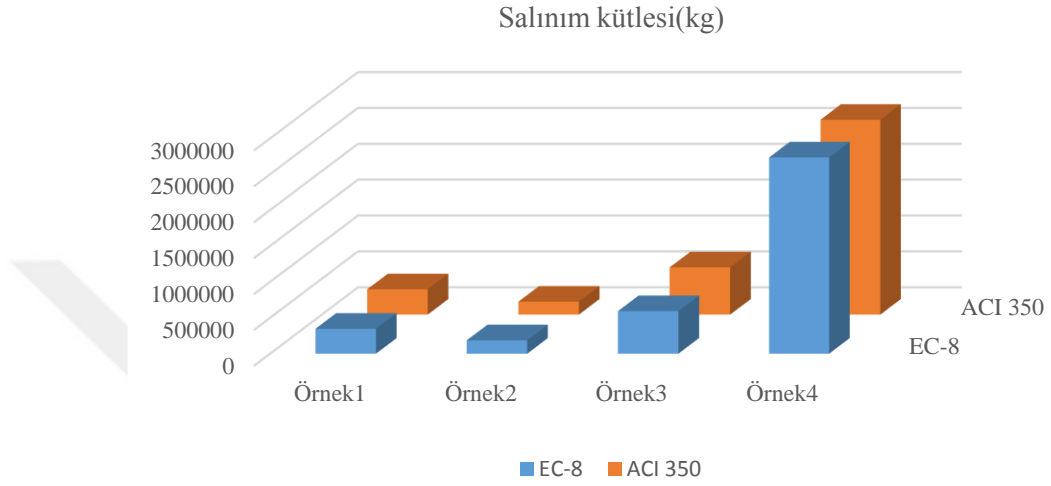


Şekil 4.21. İmpuls kütlelerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.41 ve Şekil 4.21’de birinci, üçüncü ve dördüncü örnekte, EUROCODE 8’e göre sıvıya ilişkin impuls kütleleri ACI 350’de elde edilen değerlerden büyük olduğu görülürken, sadece ikinci örnekte EUROCODE 8’e göre daha küçük değer elde edilmiştir.

Çizelge 4.42. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin salınım kütlelerinin değerleri

Salınım kütlesi(kg)	Örnek1	Örnek2	Örnek3	Örnek4
EC-8	346503,907	186045	592500	2734375
ACI 350	352636,434	180320,415	657625	2715937,27

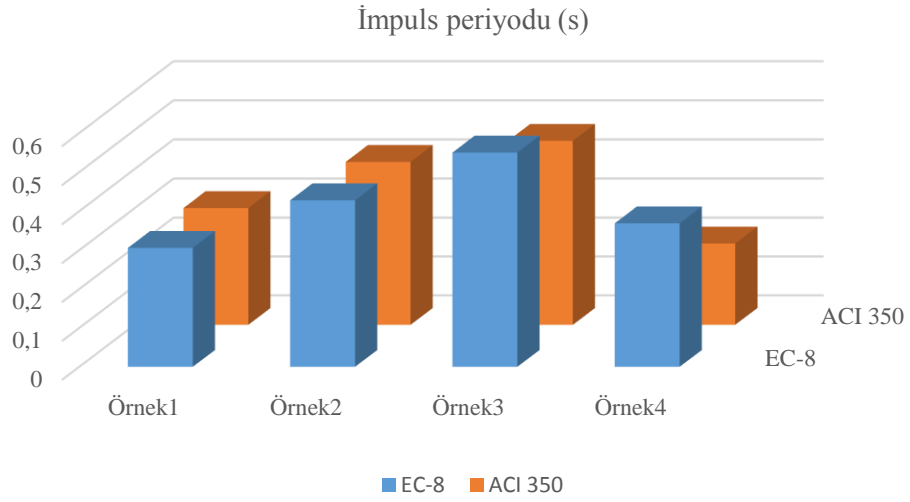


Şekil 4.22. Salınım kütlelerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.42 ve Şekil 4.22'de sıvıya ilişkin salınım kütleleri için; birinci ve üçüncü örnekte, ACI 350'ye göre elde edilen değerler EUROCODE 8 için elde edilen değerlere göre daha büyük olurken, ikinci ve dördüncü örnekte ise ACI 350'de EUROCODE 8'den daha küçük değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.43. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre sıvıya ilişkin impuls periyodunun değerleri

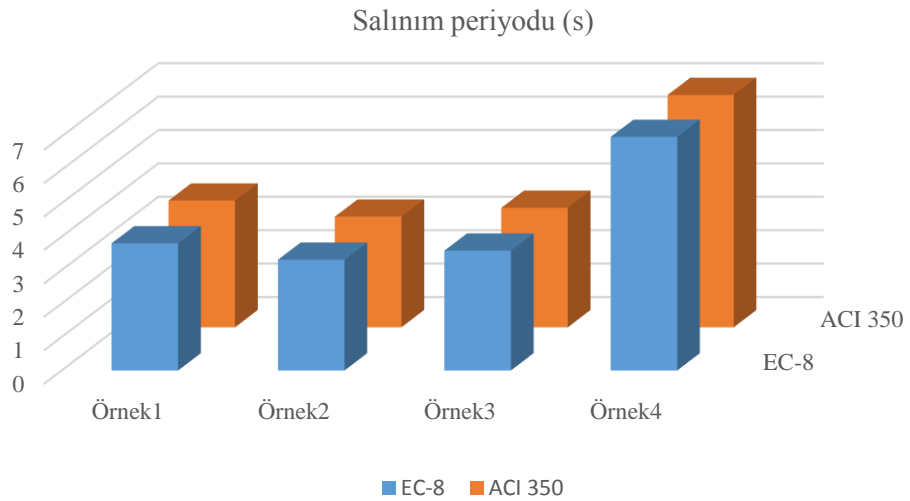
İmpuls periyodu (s)	Örnek1	Örnek2	Örnek3	Örnek4
EC-8	0,306	0,428	0,55	0,369
ACI 350	0,3	0,418	0,472	0,209



Şekil 4.23. İmpuls periyodunun karşılaştırılması

Çizelge 4.44. EUROCODE 8 ve ACI 350'ye göre siviya ilişkin salınım periyodunun değerleri

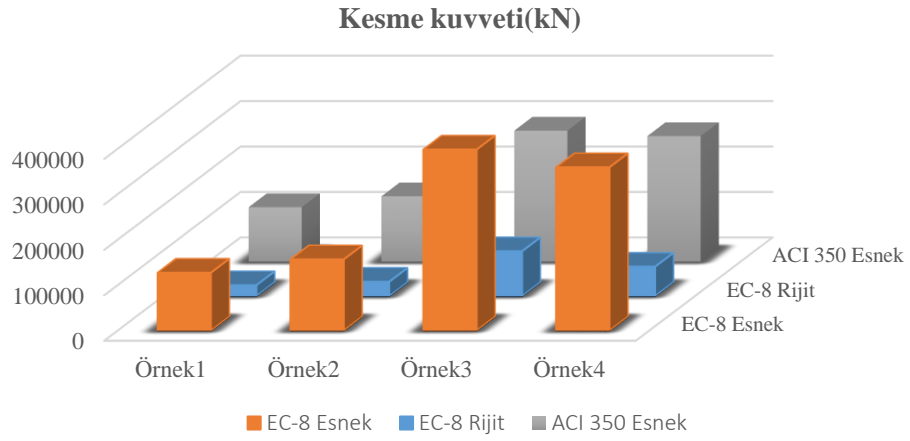
Salınım periyodu (s)	Örnek1	Örnek2	Örnek3	Örnek4
EC-8	3,8	3,309	3,58	6,987
ACI 350	3,789	3,307	3,571	6,952



Şekil 4.24. Salınım periyodunun karşılaştırılması

Çizelge 4.45. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvvetinin değerleri

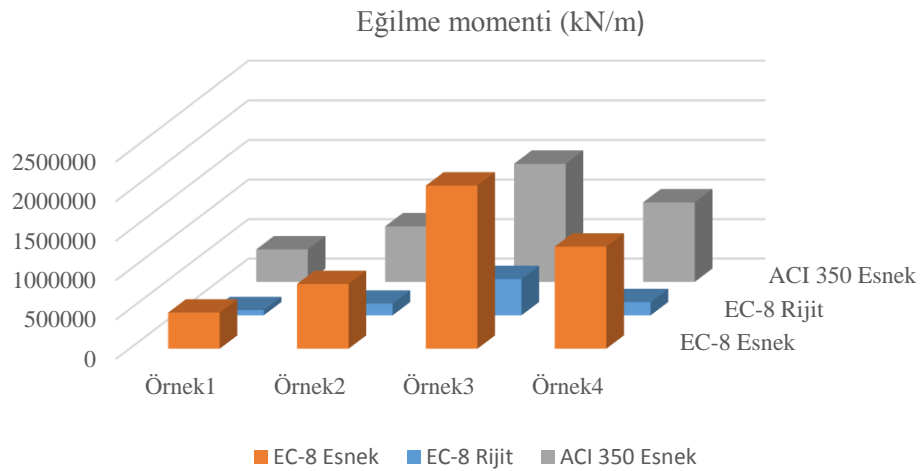
kesme kuvvet(kN)	Örnek1	Örnek2	Örnek3	Örnek4
EC-8 Esnek	126905,829	156262,72	397978,193	358902,616
EC-8 Rijit	23649,806	31252,275	98395,093	64422,455
ACI 350 Esnek	119426,742	143477,718	287955,385	275961,619



Şekil 4.25. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması

Çizelge 4.46. Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momentinin değerleri

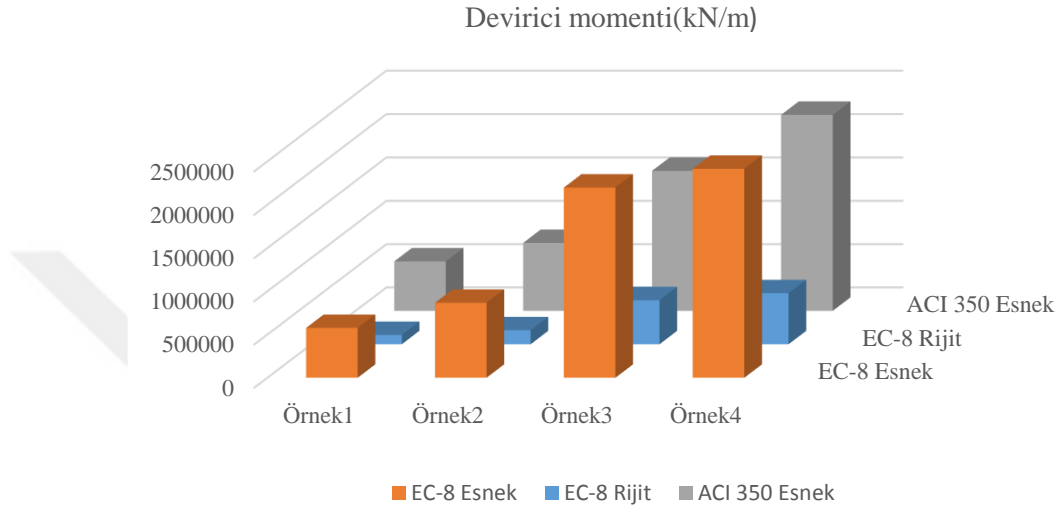
Eğilme moment(kN/m)	Örnek1	Örnek2	Örnek3	Örnek4
EC-8 Esnek	458234,254	821241,601	2067927,597	1294986,904
EC-8 Rijit	66184,064	147432,461	461010,378	168261,802
ACI 350 Esnek	413283,383	705300,359	1495458,255	1007968,692



Şekil 4.26. Eğilme momentlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.47. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentinin değerleri

Devirici momenti(kN/m)	Örnek1	Örnek2	Örnek3	Örnek4
EC-8 Esnek	576237,517	866492,272	2197611,071	2413855,93
EC-8 Rijit	107946,397	162728,305	509575,78	590727,439
ACI 350 Esnek	571831,981	785713,078	1615985,772	2261584,46

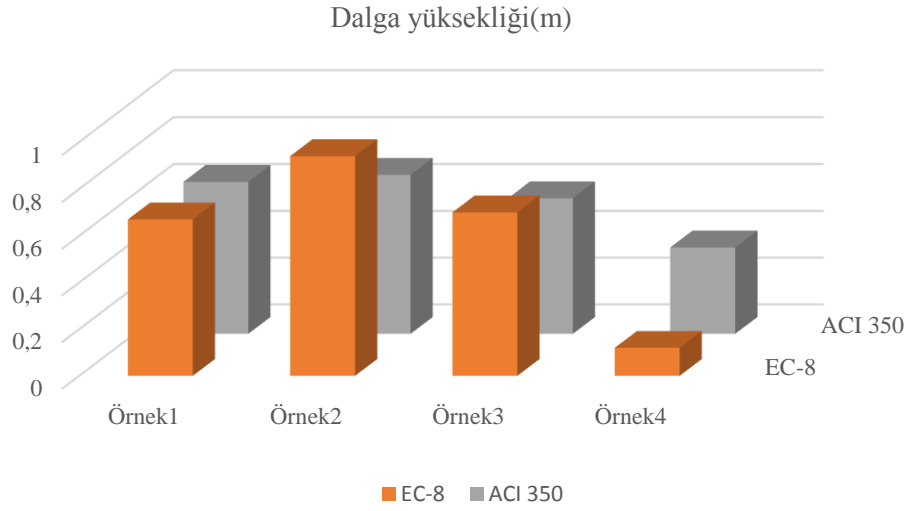


Şekil 4.27. Devirici momentlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.43, 4.44, 4.45, 4.46, 4.7 ve Şekil 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27’de esnek çözüme göre tüm örneklerde elde edilen impuls ve salınım periyotları, kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin tamamı EUROCODE 8’de, ACI 350’den daha büyük olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.48. Deprem esnasında oluşabilecek dalga yüksekliğinin değerleri

Dalga yüksekliği(m)	Örnek1	Örnek2	Örnek3	Örnek4
EC-8	0,67	0,94	0,7	0,12
ACI 350	0,65	0,68	0,58	0,37



Şekil 4.28. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.48 ve Şekil 4.28’de deprem esnasında oluşabilecek maksimum dalga yüksekliği için; EUROCODE 8’e göre elde edilen değerler ACI 350’den elde edilen değerlere göre elde edilen değerler birinci, ikinci ve üçüncü örnekte daha büyük olurken, dördüncü örnek için ise daha küçük olmuştur.

Yapılan çalışmalar sonucunda genel olarak sıvı depolarının depreme göre hesabı için EUROCODE 8 daha büyük değerler vermiştir. Nadiren ACI 350’ye göre daha büyük değerler hesaplanmıştır. Bu durumda depo tasarımı yapılırken farklı yönetmelikleri dikkate alarak analizleri gerçekleştirmek ve sonuçları birlikte değerlendirmek gerekli olabilmektedir.

Sıvı depoların sismik analizi için EUROCODE 8 ve ACI 350’de doğrusal elastik yöntemlerle kuvvetler belirlenmektedir. Güçlü yer sarsıntılı olan bölgelerde veya en büyük deprem yer hareketi için yapılan hesaplamalarda, doğrusal olmayan yöntemlerin kullanılması gerekli olabilir.

Sıvı depoların doğrusal olmayan sismik analizi için davranışı gerçekçi olarak dikkate alabilecek yöntemler konusunda çalışmaların yapılması gerekli olmaktadır.

KAYNAKLAR

- ACI 350. 2006.** Seismic design of liquid-containing concrete structures and commentary. American Concrete Institute, USA, 61s.
- Altan, M., Güler, K. 2008.** Betonarme su depolarının tasarımı. Meslekçi Eğitim Semineri, 10-12 Harizan, İstanbul, Türkiye.
- American Lifelines Alliances. 2004.** Seismic Design Standards for Above ground steel storage tanks, USA.
- Arros, J., Sogabe, K. 1984.** Behavior of liquid storage tanks under earthquake loading. The 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco.
- Aslam, M., Godden, W.G. 1979.** Earthquake sloshing in annular and cylindrical tanks. *Journal of Engineering Mechanics Division*, 105: 371-379.
- Aslani, F. 2013.** Effects of specimen size and shape on compressive and tensile strengths of self compacting concrete with or without fibres. *Magazine of Concrete Research*, 65(15): 914-929.
- Avval, I. T. 2012.** Dynamic response of concrete rectangular liquid tanks in three-dimensional space. *Ph. D. thesis*, Ryerson University, Civil Engineering, Toronto.
- Bauer, H.F. 1964.** Fluid oscillations in the containers of a space vehicle and their influence upon stability. Report NASA TR R-187.
- Bauer, H.F., Siekmann, J. 1971.** Dynamic interaction of a liquid with the elastic structure of circular cylindrical container. *Ingenieur Archiv*, 49(8): 266-280.
- Bauer, H.F., Eidel, W. 1987.** Non-linear Hydroelastic Vibrations in Rectangular Containers. Institut für Raumfahrttechnik, Forschungsbericht: LRT-WE-9-FB-7.
- Baysal, H., Nash, A.W. 1984.** Soil-Structure interaction effects on the seismic behavior of cylindrical liquid storage tanks. The 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco.
- Chatterjee-Basu, B. 2001.** Non-Stationary seismic response of tanks with soil structure interaction by wavelets. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 30: 1419-1437.
- Chen, C.P., Barber, R.B. 1976.** Seismic design of liquid storage tanks on earthquakes. International Symposium on Earthquake Structural Engineering, St. Louis Missouri.
- Chen, J. Z., Kianoush, M. R. 2010.** Generalized SDOF system for dynamic analysis of concrete rectangular liquid storage tanks: effect of tank parameters on response. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(2): 262-272.
- Doğangün, A. 1989.** Betonarme sıvı depoları ve projelendirme ilkeleri. *Yüksek Lisans Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Doğangün, A. 1995.** Dikdörtgen kesitli su depolarının sonlu elemanlar yöntemiyle depo-Sıvı zemin etkileşimini dikkate alarak Analitik yöntemlerle karşılaştırmalı deprem analizi. *Doktora Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Doğangün, A., Durmuş, A., Ayvaz, Y. 1996.** Static and dynamic analysis of rectangular tanks by using the Lagrangian fluid finite element. *Computers and Structures*, 59(3): 547-552.
- Doğangün, A., Durmuş, A., Ayvaz, Y. 1997.** Earthquake analysis of flexible rectangular tanks using the lagrangian fluid finite element. *European Journal of Mechanics- and Solids*, 16(1):165 -182.
- Doğangün, A., Livaoğlu, R. 2004.** Hydrodynamic Pressures acting on the walls of rectangular fluid containers. *Structural Engineering and Mechanics. An International Journal*, 17(2): 203-214.

- Doğangün, A., Livağolu, R. 2008.** A comparative study of the seismic analysis of rectangular tanks according to different codes. The 14 th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October, 2008, Beijing, China.
- El-Zeiny A. 1995.** Nonlinear time-dependent seismic response of unanchored liquid storage tank. *PhD Dissertation*, Department of Civil Environmental Engineering University of California, Irvine.
- El-Zeiny, A. 2002.** Study of factors affecting the seismic response of unanchored tanks. 15th ASCE Engineering Mechanics Conference June 2-5, Columbia University, New York.
- Eurocode 8. 2004.** Design of structures for earthquake resistance: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, Ground Conditions and Seismic Action. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Eurocode 8. 2006.** Design of Structures for Earthquake Resistance: Silos, Tanks and Pipelines. European Committee for Standardization, Brussels, 83s.
- Faridkhouri, M., Elias, W. J. 2015.** Determination of Hydrodynamic Forces in Rectangular Storage Tanks under Seismic Action. *International Journal of Scientific Research and Reviews*, 4(1): 50-67.
- Fischer, F.D. 1979.** Dynamic fluid effects in liquid-filled flexible cylindrical tanks. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 7: 587-601.
- Fujita, K. 1981.** A seismic response analysis of a cylindrical liquid storage tanks. *Bulletin of JSME*, 24: 1029-1036.
- Fujita, K., 1982.** A seismic response analysis of a cylindrical liquid storage tanks on elastic foundations. *Bulletin of JSME*, 25: 1977-1984.
- Graham, E.M., Rodriquez, A.M. 1952.** Characteristics of fuel motion which affects airplane dynamics. *Journal of Applied Mechanics*, 19: 381-388.
- Gedikli, A. 1996.** Silindirik Tanklarda Varyasyonel Sınır Eleman Sonlu Eleman Yöntemi ile Sıvı-Yapı Etkileşimi, *Doktora .Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ghaemmaghami, A. 2010.** Dynamic time-history response of concrete rectangular liquid tanks. *Ph. D. thesis*, Ryerson University, Civil Engineering, Toronto.
- Hamdan, H.F. 2000.** Seismic behavior of cylindrical steel liquid storage tanks. *Journal of Constructional Steel Research*. 53: 307-333.
- Haroun, M.A., Housner, G.W. 1981.** Seismic design of liquid storage tanks. *J.Tech.Councils*, 107(1):191-207.
- Haroun, M.A. 1984.** Stress analysis of rectangular walls under seismically induced hydrodynamic loads. *Bull. Seism. Soc. Am*, 74: 1031-1041.
- Haroun, M.A., Abdel-Hafiz, E.A. 1986.** A simplified seismic analysis of rigid base liquid storage tanks under vertical excitations with soil-structure interaction. *International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 5(4): 217-225.
- Haroun, M.A., Chen, W. 1989.** Seismic large amplitude liquid sloshing theory. *Proceedings of the Sessions Related to Seismic Engng. At Structures Congree*, 89:418-427.
- Hoskins, L.M., Jacobsen, L. 1934.** Water pressure in a tank caused by simulated earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of the America*, 24: 1-32.
- Hosseini, M., Mohojer, M. 2000.** Effects of foundation geometry on the natural periods of cylindrical tank-liquid-soil systems. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering (JSEE)*, 2(4):43-50.
- Housner, G.W. 1957.** Dynamic Pressure on Accelerated Fluid Containers, *Bulletin of the Seismological Society of the America*, 47: 15-35.

- Housner, G.W. 1963.** Dynamic behavior of water tanks. *Bulletin of the Seismological Society of the America*, 53: 381-387.
- Housner, W.G., Haroun, A.M. 1980.** Dynamic analysis of liquid storage tanks. The 7th World Conference on Earthquake Engineering, Istanbul.
- Jaiswal, O.R., Rai, D.C., EERI, M., Jain, S.K. 2007.** Review of seismic codes on liquid-containing tanks. *Earthquake Spectra*, 23(1): 239-260.
- Kim, J.K., Koh, H.M., Kwahk, I.J. 1996.** Dynamic response of rectangular flexible fluid containers, *J. Engng. Mech. ASCE*, 122: 807-817.
- Koh, H. M., Kim, J.K., Park, J. 1998.** Fluid-structure interaction analysis of 3-D rectangular tanks by a variationally coupled BEM-FEM and comparison with test results. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27(2): 109-124.
- Kotrasová, K., Kormaníková, E. 2017.** Dynamic analysis of liquid storage tanks. *American Institute of Physics*, 1863(1):1-4.
- Kozluca, G., Nohutçu, H. 2007.** Betonarme silindirik su depolarında ekonomik boyutların belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri dergisi*, 13(3): 305-309.
- Livaoğlu, R. 2005.** Ayaklı depoların sıvı-yapı-zemin etkileşimleri dikkate alınarak deprem davranışlarının incelenmesi. *Doktora Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Livaoğlu, R., Doğangün, A. 2005.** Seismic evaluation of fluid-elevated tank foundation/soil systems in frequency domain. *Structural Engineering and Mechanics*, 21(1): 101-119.
- Livaoğlu, R., Doğangün, A. 2005.** Hydrodynamic pressures acting on the walls of rectangular fluid containers, *Structural Engineering and Mechanics*, 17(2): 203-214.
- Livaoğlu, R., Doğangün, A. 2006.** Simplified seismic procedures for elevated tanks considering fluid-structure-soil interaction. *Journal of Fluids and Structures*, 22(3): 421-439.
- Livaoğlu, R., Doğangün, A. 2007.** Seismic behavior of cylindrical elevated tanks with a frame supporting system on various subsoil. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 14(2): 133-145.
- Livaoğlu, R., Doğangün, A. 2007.** Effects of foundation embedment on seismic behaviour of the elevated tanks considering fluid structure. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(9): 855-863.
- Livaoğlu, R., Çakır, T., Doğangün, A., Aytakin, M. 2011.** Effects of backfill on seismic behavior of rectangular tanks. *Ocean Engineering*, 38(10): 1161-1173.
- Livaoğlu, R., Turan, A., El Naggar, M. H., Doğangün, A. 2012.** Physical and numerical evaluation of SSI effects on seismic behavior of elevated tanks, *Journal of Earthquake and Tsunami*, 6(2):1-20.
- Malhotra, P.K., Wenk, T., Weiland, M. 2000.** Simple procedure of seismic analysis of liquid-storage tanks. *J. Struct. Eng. Int., IABSE*,10(3): 197-201.
- Minowa, C. 1984.** Experimental studies of a seismic properties of various tanks. The 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco.
- Park, J.H., Koh, H.M., Kim, J.K. 2000.** Seismic isolation of pool-type tanks for the storage of nuclear spent fuel assemblies. *Nuclear Engng. Design*, 199: 143-154.
- Saatçi, M. 1998.** Sismik Yükler Etkisindeki Silindirik Tanklarda Mod Süper pozisyonu ile Sıvı-Yapı Etkileşimi Problemlerinin Çözümü, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Seeber, R., Fischer, F.D., Rammerstorfer, F.G., 1990.** Analysis of three dimensional-tank-liquid soil interaction problem. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 112: 28-33.

- Sezen, H., Livaoglu, R., Dogangun, A. 2008.** Dynamic analysis and seismic performance evaluation of above-ground liquid-containing tanks. *Engineering Structures*, 30(3): 94-803.
- Veletsos, A.S. Meek, J.M. 1974.** Dynamics of behavior of building-foundation systems. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 3:121-138.
- Veletsos, A.S., Yang, J.Y. 1976.** Dynamics of fixed-base liquid storage tanks. Proceedings of USA-Japan Seminar for Earthquake Engineering Research with Emphasis on Lifeline System, Tokyo.
- Veletsos, A.S. 1984.** Seismic Response and Design of Liquid Storage Tanks: Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems, Ed.: ASCE, New York, s 255-461.
- Veletsos, A.S., Kumar, A. 1984.** Dynamic response of vertically excited liquid storage tanks. The 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco.
- Veletsos, A.S., Tang, Y. 1990.** Soil-Structure interaction effects laterally excited liquid storage tanks. *Earthquake Engineering & Structural Dynamic*, 19: 473-496.
- Yamamoto, S., Kawano, K., Shimizu, N., Umebayashi, S., Yamagata, M. 1984.** Radiation damping of cylindrical liquid storage tank resting on elastic body. The 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco.
- Yildiz, Y .2009.** Betonarme sıvı depolarının farklı yönetmeliklere göre karşılaştırmalı deprem analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Zaman, M.M., Mahmood, I.E. 1988.** Analysis of cylindrical storage tanks-foundations interaction using finite element method. *Indian Geotechnical Journal*, 18(4): 354- 384.
<https://www.dntanks.com>)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Badradine ALİ
Doğum Yeri ve Tarihi : ENCEMİNE(ÇAD)-23.01.1992
Yabancı Dili : Fransızca, İngilizce, Arapça, Türkçe

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
lise : College Evangelique Çad
Lisans : İnsp Ahmed Zabana Sétif Algérie
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum/ Kurumlar ve Yıl : Mutlutaş Mühendislik, Ghafari Associates LLC,
Türkiye Havayolları İnşaat Bölümü

İletişim (e-posta) : badradineali@yahoo.com

Yayınlar :

Ali, B., Doğangün, A. 2019. Silindirik sıvı depolarının dinamik analizinin ACI 350 VE EUROCODE 8'e göre karşılaştırılması olarak irdelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, X(Y): x-x.

Ali, B., Muhetaer, M. 2018. Betonarme bina performans analizinin 2007 ve 2017 Türkiye deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması. 2nd International Students Science Congress, 4-5 May, Izmir, Turkey.

Muhetaer, M., Ali, B. 2018. Modern ahşap yapılarda taşıyıcı sistemler. 2nd International Students Science Congress, 4-5 May, Izmir, Turkey.