

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETONARME SIVI DEPOLARININ FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE
KARŞILAŞTIRMALI DEPREM ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Yasin YILDIZ

TEMMUZ 2009
TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BETONARME SIVI DEPOLARININ FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE
KARŞILAŞTIRMALI DEPREM ANALİZİ**

İnş. Müh. Yasin YILDIZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İnşaat Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12.06.2009
Tezin Savunma Tarihi : 14.07.2009**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Âdem DOĞANGÜN

Jüri Üyesi : Prof. Dr.İng. Ahmet DURMUŞ

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ö. İskender TULUK

Enstitü Müdürü : Prof.Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Betonarme sıvı depolarının farklı yönetmeliklere göre karşılaştırmalı deprem analizi konusundaki bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayı bana öneren, yoğun iş temposuna rağmen yardım eden ve yönlendiren, bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen kendisini tanıdığım için kendimi şanslı saydığım, hayatımda peygamber sabrıyla tanıdığım ender rastlanan bir insan olan değerli hocam Prof. Dr. Âdem DOĞANGÜN'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek öğrenimim süresince çalıştığım Bayburt 112 Acil Servisi, Gümüşhane 112 Acil Servisi ve İzmir Atatürk Eğitim Araştırma Hastanesi'nde çalışan mesai arkadaşlarıma bana olan destekleri ve yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenimim sırasında bana verdiği bursla destek olan TÜBİTAK-BİDEB'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin son aşamasında bana zaman ayırarak yardım eden Öğr. Gör. Rahim ŞİBİL ve Elk. Elektronik Müh. Mehmet TETİK'e teşekkür ederim.

Belki eğitim hayatımın sonuna geldiğim bu anlarda bugüne kadar bana eğitim veren tüm hocalarıma minnettarım.

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

Bana verdiği destekle hep moral veren yüksek lisans tezimin bitmesinde manevi desteğiyle beni motive eden sevgili eşim Rabia'nın kendisine müteşekkir olduğumu bilmesini isterim.

Yasin YILDIZ
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Amaç ve Kapsam	2
1.3. Literatür Taraması	3
1.3.1. Yerüstü Sıvı Depoları Hakkında Yapılan Çalışmalar	5
1.3.1.1. Westergaard Yöntemi.....	6
1.3.1.2. Hoskins ve Jacobsen Yöntemi	7
1.3.1.3. Werner –Sundguist Yöntemi	8
1.3.1.4. Housner Yöntemi	10
1.3.1.5. Haroun Yöntemi.....	11
1.3.1.6. Değiştirilmiş Veletsos Yöntemi.....	13
1.3.1.7. Esnek Duvarlı Depoların İncelenmesi.....	15
1.3.1.8. Housner Yöntemi	15
1.3.1.9. Zangar Yöntemi	19

1.3.1.10.	Chwang ve Housner Yöntemi.....	20
1.3.1.11.	Depremiñ Düşey Bileşenine Göre Hesap	21
1.3.2.	Ayaklı Depolar Üzerinde Yapılan Çalışmalar	22
1.3.2.1.	Ayaklı Depolar İçin Toplanmış Kütle Yaklaşımının Kullanıldığı Çalışmalar	23
1.3.2.2.	Ayaklı Depo İçin Eklenmiş Kütle Yaklaşımının Kullanıldığı Çalışmalar	23
1.3.2.3.	Ayaklı Depo-Zemin Etkileşiminin Dikkate Alındığı Çalışmalar	24
1.3.2.4.	Ayaklı Depo Taban İzolasyonun Dikkate Alındığı Çalışmalar	24
1.3.2.5.	Ayaklı Depoların Davranışını Deneysel Olarak Belirlemeye Yönelik Çalışmalar	24
1.3.3.	Gömme Depolar Üzerinde Yapılan Çalışmalar	24
1.4.	Depoların Kullanım Amaçları ve Sınıflandırılması	25
1.5.	Sıvı Depolarının Farklı Yöntemlerle Dinamik Analizlerinin Pratik Uygulamaları	28
1.5.1.	Housner Yöntemi	29
1.5.1.1.	Yer üstü Depolarında Housner Yönteminin Uygulanması.....	29
1.5.1.2.	Ayaklı Depolarda Housner Yönteminin Uygulanması	43
1.5.1.3.	Bauer Çok Kütleli Sistem Yaklaşımı	48
1.5.2.	Eurocode -8'e Göre Çözüm Yapılması	49
1.5.2.1.	Yerüstü Depolara Göre Çözüm Yapılması	49
1.5.2.2.	Ayaklı Depolara Göre Çözüm Yapılması.....	54
1.5.3.	ACI 350'ye Göre Çözüm Yapılması.....	54
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	66
2.1.	Yerüstü Sıvı Depoları İçin Sayısal Uygulamalar	66
2.1.1.	Dikdörtgen Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar	66
2.1.1.1.	Sığ Dikdörtgen Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar	66
2.1.1.1.1.	Rijit Kabule Göre Sayısal Uygulamalar	66

2.1.1.1.1.1.	Housner Yöntemine Göre Deprem Hesabı.....	66
2.1.1.1.1.2.	Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı	71
2.1.1.1.2.	Esnek Kabule Göre Sayısal Uygulamaları	75
2.1.1.1.2.1.	Eurocode-8 e Göre Deprem Hesabı.....	75
2.1.1.1.2.2.	ACI 350'ye Göre Deprem Hesabı.....	79
2.1.1.2.	Derin Dikdörtgen Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar.....	85
2.1.1.2.1.	Rijit Kabule Göre Sayısal Uygulamalar	85
2.1.1.2.1.1.	Housner Yöntemine Göre Deprem Hesabı.....	85
2.1.1.2.1.2.	Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı	90
2.1.1.2.2.	Esnek Kabule Göre Sayısal Uygulamalar	93
2.1.1.2.2.1.	Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı	94
2.1.1.2.2.2.	ACI 350'ye Göre Deprem Hesabı.....	97
2.1.2.	Silindirik Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar	104
2.1.2.1.	Sığ Silindirik Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar	104
2.1.2.1.1.	Rijit Kabule Göre Sayısal Uygulamalar	104
2.1.2.1.1.1.	Housner Yöntemine Göre Deprem Hesabı.....	104
2.1.2.1.1.2.	Eurocode 8'e Göre Deprem Hesabı	109
2.1.2.1.2.	Esnek Kabule Göre Sayısal Uygulamalar	112
2.1.2.1.2.1.	Eurocode 8'e Göre Deprem Hesabı	112
2.1.2.1.2.2.	ACI 350'ye Göre Deprem Hesabı.....	116
2.1.2.2.	Derin Silindirik Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar.....	123
2.1.2.2.1.	Rijit Kabule Göre Sayısal Uygulamalar	123
2.1.2.2.1.1.	Housner Yöntemine Göre Deprem Hesabı.....	123
2.1.2.2.2.	Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı	127
2.1.2.2.3.	Esnek Kabule Göre Sayısal Uygulamalar	131
2.1.2.2.3.1.	Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı	131
2.1.2.2.3.2.	ACI 350'ye Göre Deprem Hesabı.....	134

2.2.	Ayaklı Sıvı Depoları İçin Sayısal Uygulamalar.....	140
2.2.1.	Housner Yöntemine Göre Deprem Hesabı.....	141
2.2.2.	Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı	146
2.2.3.	ACI 350'ye Göre Deprem Hesabı.....	150
3.	BULGULAR VE İRDELEME	158
4.	SONUÇLAR.....	169
5.	ÖNERİLER.....	170
6.	KAYNAKLAR	171
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Sıvı depolarının depreme karşı tasarımı, günümüzde çok önem kazanmıştır. Zira son zamanlarda meydana gelen depremlerde sıvı depolarının depremlerde hasar görmesi ya da göçmesi sonucu birçok istenmeyen olay meydana gelmiştir. Bu istenmeyen olayların başında içme ve kullanım sularının temin edilememesi, çıkan yangınların kontrol edilememesi gibi olaylar gelmektedir.

Bu bağlamda çalışmanın amacı; uygulamada çalışan teknik elemanlara, sıvı depolarının hesap ve tasarımını yaparken yol gösterici olması için, bu konuda Dünya'da yürürlükte bulunan önemli yönetmelik hükümlerini ve örnekler üzerinde hesap şekillerini karşılaştırmalı olarak sunmaktır. Böylece ülkemizde bu konuda proje yapacak olan mühendisler tez kapsamında sunulan pratik çözüm yöntemlerini kendi problemlerine uygulayarak gereken hesapları yapabileceklerdir.

Bu amaçla gerçekleştirilen çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde ilk olarak sıvı depoları hakkında genel bilgiler ve çalışmanın amacı verilmekte, geçmişte bu konuda yapılan çalışmalara ve çıkartılan standard/yönetmeliklere ilişkin literatür irdelenmektedir. Burada yerüstü, ayaklı ve gömme depolar hakkında genel olarak bilgi verildiğini ancak diğer tüm depolar için uygulama yapılmasına rağmen, gömme depolarla ilgili çözüm yapılmadığını belirtmek uygun olmaktadır.

İkinci bölüm, yapılan çalışmalar bölümü olup, bu bölümde silindirik ve dikdörtgen depoların her biri için sığ/derin, rijit/esnek kabul durumları dikkate alınarak depolara ilişkin sayısal uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Diğer taraftan ayaklı depolar için de çerçeve taşıyıcı sistemli ayaklı deponun deprem hesabına ilişkin uygulama yapılmaktadır. Uygulamalarda Housner yöntemi ile Eurocode-8 ve ACI 350 hükümleri dikkate alınmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde sayısal uygulamalardan elde edilen bulgular irdelenmektedir. Bu bölümde tablolar halinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde çalışmadan çıkartılan başlıca sonuç ve öneriler sunulmaktadır. Yapılan sayısal uygulamalarda Eurocode-8 göre elde edilen sonuçların genel olarak daha güvenli tarafta sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eurocode 8, ACI 350, Housner, ayaklı depolar, yerüstü depolar, deprem hesabı

SUMMARY

Seismic Analyses of Reinforced Concrete Tanks According to Some Main Codes with Comparatively

The design of liquid tanks according to earthquake has been more popular recent years. Many unwanted events for community have occurred due to damage or collapse of liquid storage tanks. Sortage of drinking water and uncontrolled fires are some vital examples of these unwanted events.

According to above comments, the dynamic analysis of liquid tanks is really very important for the design of this type of structure.

The main purpose of this study is selected as to give necessary information to the engineers who design the tanks. These necessary informations contain main codes requirements used n the World and Housner method.

Performed study for this purpose has four chapters. In this study, in the first chapter initially it has been given general information's about liquid tanks and purpose of study. And then literature survey has been presented. It has also been given necessary formulation and design principles for all tank groups except unground tanks in this chapter.

In the second chapter numerical studies carried out scope of this study are presented. These numerical studies have been done with reference to Housner method, requirements of Eurocode-8 and ACI 350 standards.

The third chapter is devoted to evaluate findings obtained from this study. Findings given in tables have been compared in this chapter.

In the fourth and the last chapter it has given place to the results and suggestions. It is determined that results according to Eurocode 8 give safier results.

Key Words: Eurocode 8, ACI 350, Housner, elevated tanks, liquid tanks, embedment tanks, seismic analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Pratik deprem hesabı yapılan sıvı depoları	3
Şekil 2.	Hidrostatik sıvı basıncının derinlikle değişimi.....	5
Şekil 3.	Hidrodinamik basınç dağılımının sıvı derinliği boyunca parabolik ve eliptik değişimleri.....	7
Şekil 4.	Hoskins-Jacobsen yöntemine göre sıvının sonlu olması halinde depo kesitleri.....	8
Şekil 5.	Werner ve Sundquist'e göre hidrodinamik basıncın $2l/h$ oranına göre değişimi.....	9
Şekil 6.	Housnere göre sıvı derinliği boyunca impuls ve salınım basıncının değişimi.	11
Şekil 7.	Dikdörtgen bir deponun görünüş plan ve kesiti	12
Şekil 8.	Dikdörtgen depo duvarına etkileyen boyutsuz impuls basıncı $q_i(0)$ ve $q_i(z)$ değerleri.	14
Şekil 9.	Dikdörtgen depo duvarına etkileyen (a) birinci salınım moduna ait ve (b)ikinci salınım moduna ait boyutsuz $q_{01}(z)$ ve $q_{02}(z)$ değerleri.....	15
Şekil 10.	Esnek duvarlı depo kesiti	16
Şekil 11.	$\sqrt{3}N$ nin μ ye göre değişimi.....	18
Şekil 12.	Zangar yöntemiyle hesapta gerekli olan C_m katsayısı	19
Şekil 13.	Chwang ve Housner yöntemi için C_p katsayısı	20
Şekil 14.	Depremi düşey bileşeni için rijit ve esnek tabanlı depoların modellenmesi....	21
Şekil 15.	Depo duvarına etkiyebilecek statik ve dinamik basınç bileşenleri.....	22
Şekil 16.	Ayaklı Depoların a) Çerçeve Taşıyıcı Sisteme Sahip Ayaklı Depo Kesiti b)Kabuk Taşıyıcı Sisteme Sahip Ayaklı Depo Kesiti	23
Şekil.17.	Ayaklı depo ve yer üstü deposu.....	25
Şekil 18.	Farklı geometrik şekildeki yerüstü depoları.....	26
Şekil 19.	Farklı geometrik şekillerdeki ayaklı depolar.....	27
Şekil 20.	Modüler paslanmaz çelik su depoları	28
Şekil 22.	Housner yönteminde dikkate alınan sığ ve derin depo modeli	34
Şekil 23.	Housner yöntemine ait basınç bileşkelerinin depo tabanından itibaren yüksekliklerinin durgun haldeki sıvı yüksekliğine oranlarının h/l ile değişimi.....	37
Şekil 24.	Sıvı deposunun ağırlık merkezi.....	39

Şekil 25.	Dikdörtgen depoların housner yöntemiyle pratik deprem hesabı akış diyagramı	41
Şekil 26.	Silindirik depoların housner yöntemiyle pratik deprem hesabı akış diyagramı	42
Şekil 27.	Ayaklı depo şekilleri ve mekanik modeli	43
Şekil 28.	Ayaklı depo mekanik ve matematik modeli.....	44
Şekil 29.	Amerika Birleşik Devletleri sismik alan adlandırılması	60
Şekil 30.	Sığ dikdörtgen bir sıvı deposunun plan ve kesiti	67
Şekil 31.	Sığ dikdörtgen sıvı deposunun ağırlık merkezi.....	70
Şekil 32.	Derin dikdörtgen bir sıvı deposunun plan ve kesiti.....	86
Şekil 33.	Derin dikdörtgen bir sıvı deposunun ağırlık merkezi.....	89
Şekil 34.	Sığ silindirik sıvı deposunun plan ve kesiti	105
Şekil 35.	Sığ silindirik sıvı deposunun ağırlık merkezi.....	108
Şekil 36.	Derin silindirik sıvı deposunun plan ve kesiti.....	123
Şekil 37.	Derin silindirik sıvı deposunun plan ve kesiti.....	126
Şekil 38.	DSİ tarafından tip proje olarak uygulanan ayaklı depo kesiti.....	141
Şekil 39.	Ayaklı depolarda iki kütleli sistemde matematik ve mekanik modeli	142
Şekil 40.	Ayaklı depo sayısal örnek matematik modeli	144

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Housner yöntemiyle sığ depolarda doluluk oranına göre hesaplarda kütle ve yükseklik oranı	32
Tablo 2.	Housner yöntemiyle derin depolarda doluluk oranına göre hesaplanan kütle ve yükseklik oranları.....	38
Tablo 3	Ayaklı depolarda Housner ve Bauer modelinin karşılaştırılması.....	49
Tablo 4.	Eurocode -8'e h/R göre hesaplanan katsayılar	50
Tablo 5.	Zemin sınıflarına göre Tip-1 elastik tepki spektrumuna göre katsayı değerleri	52
Tablo 6.	Eurocode -8 e göre zemin sınıfları	53
Tablo 7.	Yapı önem katsayısı.....	60
Tablo 8.	Sismik alan faktörü.....	60
Tablo 9.	Zemin Tipi Katsayısı	61
Tablo 10.	Depo tipine göre spektral davranış katsayısı.....	61
Tablo 11.	Sığ dikdörtgen sıvı depolarının rijit kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar.....	160
Tablo 12.	Sığ dikdörtgen sıvı depolarının esnek kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar.....	161
Tablo 13.	Derin dikdörtgen sıvı depolarının rijit kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar.....	162
Tablo 14.	Derin dikdörtgen sıvı depolarının esnek kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar	163
Tablo 15.	Sığ silindirik sıvı depolarının rijit kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar.....	164
Tablo 16.	Sığ silindirik sıvı depolarının esnek kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar.....	165
Tablo 17.	Derin silindirik sıvı depolarının rijit kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar.....	166
Tablo 18.	Derin silindirik sıvı depolarının esnek kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar.....	167
Tablo 19.	Ayaklı sıvı depolarının esnek kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar	168

SEMBOLLER DİZİNİ

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$A(T)$: Spektral ivme katsayısı
a_g	: Yer ivmesi
a_m	: Maksimum yer ivmesi
a_o	: Boyutsuz frekans.
B	: İntegral sabiti, plan boyutu
B_s	: <i>Yer hareketi doğrultusuna dik olan plan boyutu</i>
C_b, C_c	: EC-8 hesaplarda kullanılan katsayılar
C_m	: Zangar yönteminde depo duvarının iç yüzeyle yaptığı açığa bağlı bir katsayı
C_t	: EC-8 de taşıyıcı sistem özelliklerini niteleyen katsayı
C_w, C_t	: ACI-350 de silindirik depo hesabında kullanılan katsayılar
c	: Dikkate alınan sistemde meydana gelen dalganın yataydaki hızını, sönüm
c_0	: Zemine ait sönüm değeri
D_n	: Spektral yer değiştirme
d	: EC-8 de düşey yüklerin yatay olarak yüklenmesi ile elde edilen binanın en üst katında elde edilen yer değiştirmesi
E_c	: Elastisite modülü
e_1	: EC-8 de ($\pm\%5$) (muhtemel) ek dışmerkezlik etkisi
e_2	: Ötelenme ve dönme titreşimlerini dikkate almak için hesaba katılan dışmerkezlik
$F_I(t)$: Yapı kütlesi nedeniyle oluşan eylemsizlik kuvveti
F_b	: EC-8 de taban kesme kuvveti
$F_S(t)$: Yapı rijitliği nedeniyle oluşan kuvvet
F_D	: Darbe yükü
f	: Doğal frekans
$f(z)$: Housnere göre esnek duvarın yer değiştirmesi
G	: Kayma 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 duvar ve kapak kütlesi etkime yüksekliği
k	: Rijitlik
k_{d1}, k_{d2}	: EC-8 de elastik spektrum katsayıları
L	: Plan boyutu
L_e	: EC-8 de binanın deprem doğrultusuna dik toplam boyutu
M_o	: Sıvı depoları için devirici moment
M_b	: Sıvı depoları için eğilme momenti
M_k	: Sıvı depolarında koruyucu moment
m	: Toplam kütle
m_c	: Salınım kütlesi
m_i	: İmpuls kütlesi
m_l	: Toplam sıvı kütlesi
m_r	: Depo kapak(çatı) kütlesi
m_{ss}	: Ayaklı depolarda ayak sisteminin kütlesi
m_w	: Duvar kütlesi
$P_i(z)$: Depremden dolayı oluşan impuls kuvvetinin yükseklikle değişimi
P_i	: İmpuls etkisinde oluşan hidrodinamik basınç kuvveti
P_c	: Salınım etkisinde oluşan hidrodinamik basınç kuvveti
V	: Kesme kuvveti
V_z	: Housnere göre düşey yönde yükselen sıvı hızı
$q_n(t)$: Zamana bağlı olarak değişen modal yer değiştirme
q_0	: EC-8 de ana taşıyıcı sistem katsayısı
R_a, R_w	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R	: Dairesel temelin yarıçapı
r	: EC-8 de kat burulma rijitliği
S	: Zemin durumunu gösteren parametre
S_d	: Yer değiştirme tepkisinin maksimum değerleri (Yer Değiştirme Spektrumu)
$S_e(T)$: EC-8 de elastik davranış spektrumu
S_v	: Hız tepkilerinin maksimum değerleri
S_a	: İvme tepkilerinin maksimum değerleri
T	: Periyot
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları

T_c	: Salınım periyodu
T_i	: İmpuls periyodu
$T_{B, TC}$: EC-8 de spektral ivmenin sabit değerinin sınırları
T_D	: Sönümlü sistemin doğal titreşim periyodu
T_D	: EC-8 de sabit yer değiştirme spektrumunun başlangıcı
u	: Yapının sisteminde eylemsizliğe bağlı yerdeğiştirmeyi
$u_i(t)$: Yapının deprem doğrultusundaki yer değiştirmesi
v_s	: Kayma dalgası hızı
W	: Ağırlık
β_0	: %5 sönüm için spektral büyütme katsayısı
β_0	: Zemine ait sönüm katsayısı
ν	: Poisson oranı
θ	: Yapı sisteminde eylemsizliğe bağlı dönme
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 frekans
ξ	: Sönüm oranı
ϕ	: Salınım açısı
α	: Deprem dalgalarının yayılma doğrultularının düşeyle yaptıkları açı
ε	: ACI 350 de impuls kuvveti hesabında kullanılan bir katsayı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Depolama ihtiyacı insanlığın doğuşu ile başlamış günümüze kadar değişik amaç ve şekillerle devam ederek gelişmiştir. Zira günümüzde depolar kullanılan malzeme, konumu ve amacı gibi parametrelere bağlı olarak farklı isimler almaktadır.

Günümüz teknolojisinde depo yapımı kolaylaşmış, malzeme ve yapım alternatifleri artmıştır. Bu durum insanların sınırları yönlendirmesini kolaylaştırmıştır. Sınırlardan en önemlisi olan su, insanlık tarihi boyunca birçok kez insanlar için hem yaşama/hem de ölüm sebebi olmuştur. Bu yüzden suya hükmetme isteği insanları değişik düşüncelere itmiş, baraj ve depo gibi yapıları inşa etmeye sevk etmiştir. Durum böyle olunca suyu depolama düşüncesi insanlar için vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir.

Dünyada 1,4 milyar km³ su mevcut olup bunun büyük bölümü okyanus ve denizlerde tuzlu su, küçük bölümü ise tatlı su şeklinde bulunmaktadır. Bu tatlı suyun %99'dan fazlası kutuplarda ve buzullarda buz olarak ya da çok derinde ve çıkarılması çok pahalı olan yeraltı suyu şeklindedir. Dolayısıyla insanların yararlanabileceği su genel suyun %0,003'ü civarındadır. Diğer bir deyişle dünyadaki toplam su miktarı 100 litre olsaydı insanların kullanabileceği su miktarı sadece bir çay kaşığının yarısı kadar olacaktı. Bugün Dünya nüfusunun beşte biri su kaynaklarının yanlış kullanımı, kirlilik, alan kaybı gibi nedenlerden dolayı sağlıklı, temiz ve içilebilir suya sahip değildir. Günümüzde yaklaşık 1,3 milyar kişi su sıkıntısı çekmektedir. Gelecek 25 yılda bu sayının 2 katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Dünya nüfusunun % 40'ını barındıran 80 ülke şimdiden su sıkıntısı çekmektedir. Nüfusun hızla artması, buna karşılık su kaynaklarının giderek azalması sebebiyle su ihtiyacı her geçen gün artmaktadır (URL-1, 2008).

Ülkemiz yerüstü ve yer altı su kaynakları yönünden son derece zengin olmasına karşın son yıllarda artan küresel ısınma ve kuraklıklar su sıkıntısının yaşanmasına sebep olmuştur. Özellikle büyükşehirlerde su sıkıntısı baş göstermiş barajlarda bulunan su miktarları insanlar arasında tartışmalara yol açmıştır. Bu durum insanları gelecekle ilgili olarak korku ve endişeye sevk etmiştir.

Durum böyle olunca insanlar su depolamaya daha fazla önem vermişler ve evlerinin çatılarına, kendilerine asgari bir hafta yetecek plastik veya metal olan su depoları yaptırmışlardır.

Günümüzde en büyük su depoları hiç kuşkusuz barajlardır. Durum böyle olunca barajlar tüm büyük şehirlerin su ihtiyacının karşılanmasında çok yoğun olarak kullanılmaktadır.

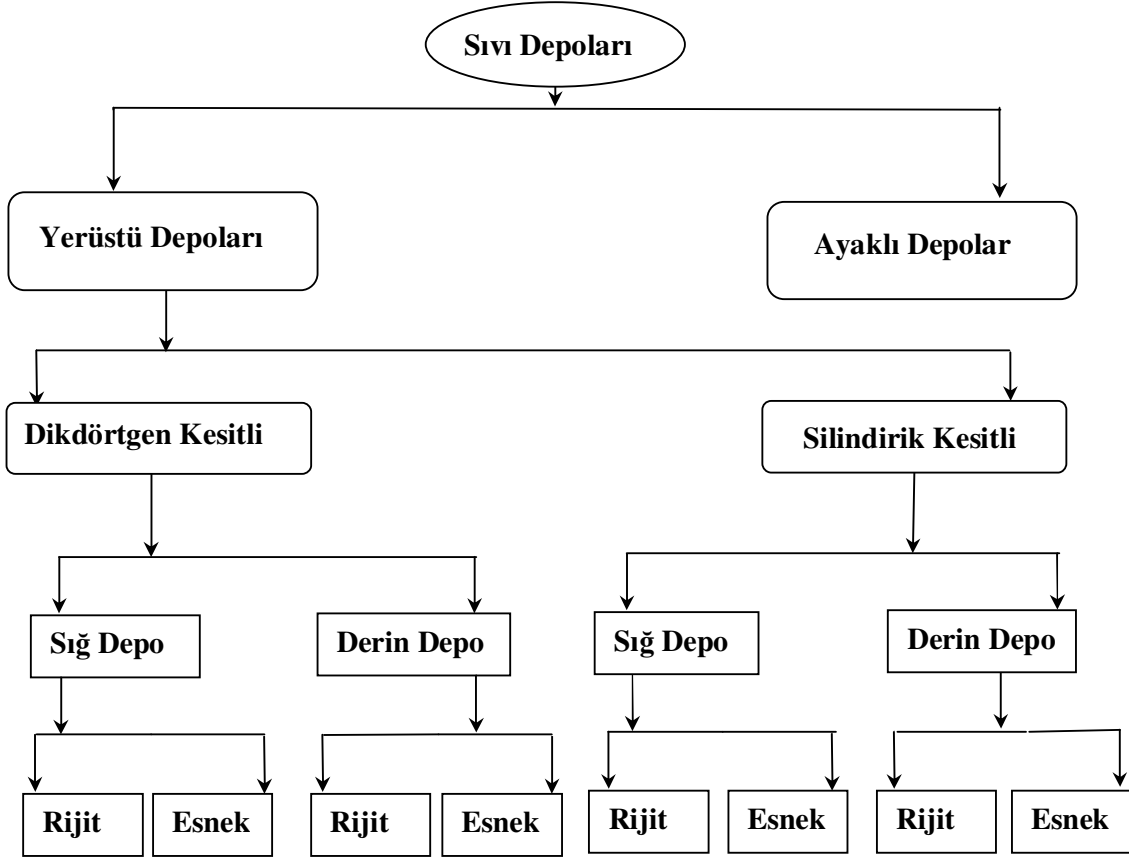
1.2. Amaç ve Kapsam

Sıvı depoları insanlar için sadece su depolamada değil diğer birçok sıvı depolanmasında da çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle sıvılarla ilgili önemli unsurlardan biri olan sıvı depoları insanların hayatında önemli bir rol oynamaktadır.

Son yıllarda yaşanan büyük depremler binalara çok büyük hasarlar vermiş binlerce insanın ölmesine neden olmuştur. Yapılan binaların yetersiz projelendirilip, yapım tekniklerine uyulmaması binaların hasar görmesinde her ne kadar büyük rol oynasa da depremin merkez üssünün sığ olması da yıkım etkilerini arttırmaktadır.

Deprem durumunda sıvı depolarının projelendirilmesi çok büyük önem arz etmektedir. Yakıt ve kimyasal malzeme depoları özellikle deprem sonrası yangınlara neden olabileme özellikleri nedeniyle projelendirilme ve yapım açısından çok hassastır. Barajların projelendirilmesi de çok önemlidir zira herhangi bir baraj göçmesi durumunda, baraj seviyesinden aşağıda kalan yerleşim yerlerindeki insanların can güvenliğinin tehlikede olacağı aşikârdır. Bu yüzden sıvılar insanlar için yeri geldiğinde yararlı, yeri geldiğinde zararlı olabilmektedir.

Yukarıda yapılan açıklamalar da dikkate alınarak çalışmanın amacı sıvı depolarının deprem karşısındaki davranışlarını değişik yönetmeliklere göre incelemek ve pratikte çalışan mühendislere bu konuda yol gösterici olacak uygulamaları sunmaktır. Bu amaçla aşağıda Şekil 1 de gösterilen depolara ilişkin sayısal uygulamalar yapılmıştır. Bu şekilden görüldüğü gibi tez kapsamında dokuz farklı depoya ilişkin deprem hesabı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Pratik deprem hesabı yapılan sıvı depoları

1.3. Literatür Taraması

Teknik literatüre göre 1800'lerin son yarısından itibaren depolar hakkında çalışmalar yapılmaya başlanmış ve bu konudaki araştırmalar günümüzde de hala devam etmektedir. Aşağıda depolarla ilgili yapılan başlıca çalışmalar yerüstü silindirik ve dikdörtgen depolar ile ayaklı depolar şeklinde gruplandırılarak topluca sunulmaktadır. Daha sonra takip eden başlıklarda ise geliştirilen yöntemlere ilişkin hesap şekilleri ayrıntılı olarak sunulmaktadır:

a) Yerüstü silindirik depolar ile ilgili yapılan çalışmalar

- Depo sıvı etkileşiminin dikkate alındığı çalışmalar (Veletsos ve Yang, 1976; Fischer, 1979; Fujita, 1981; Gedikli, 1986; Saatçi, 1998)
- Depo-zemin etkileşimin dikkate alındığı çalışmalar (Fujita, 1982; Baysal ve Nash, 1984; Yamamotovd, 1984; Haroun ve Abdel-Hafiz, 1986; Zaman ve Mahmod, 1988; Veletsos ve Tang, 1990; Chatterjee-Basu, 2001; Shrimali ve Jangit 2002)

- Depoda meydana gelen salınım hareketlerinin dikkate alındığı çalışmalar (Housner 1963; Bauer 1964; Bauer ve Siekman 1971; Aslam ve Goddem, 1979; Fujita, 1981; Housner ve Haroun, 1980; Malhotra vd, 2000).
- Depremiñ düŖey bileŖenlerini dikkate alındığı çalışmalar (Marchaj, 1979; Veletsos ve Kumar, 1984)
- Depoların dinamik özelliklerinin deneysel olarak belirlendiğı 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) modellemesiyle depoların pratik deprem hesabına yönelik çalışmalar (Graham ve Rodriquez,1952; Housner, 1963; Chen ve Barber, 1976).
- Duvar esnekliğinin dikkate alındığı çalışmalar (Priestley vd.1986; Haroun ve Chen, 1989; Doğangün, 1995; Doğangün vd., 1997; Kohd vd., 1998)
- Depo zemin etkileŖiminin dikkate alındığı çalışmalar (Doğangün, 1995; Kim vd.1996; 1998; Doğangün vd., 1997; Kohd vd.,1998)

▪ Depoda meydana gelen salınım hareketlerinin dikkate alındığı çalışmalar (Bauer ve Eidel 1987;Haroun ve Chen 1989; Livaoğlu 2008)

▪ Dikdörtgen depoların farklı yönetmeliklere göre analizi (Doğangün ve Livaoğlu, 2008)

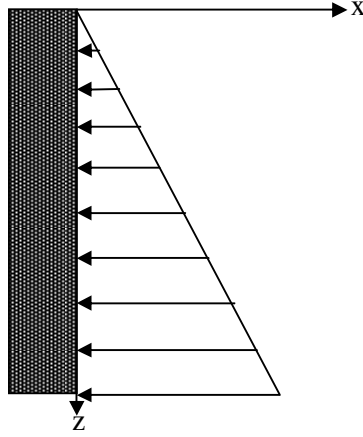
c)Ayaklı depolara ilişkin yapılan çalışmalar;

- Ayaklı depoların statik davranıŖına ilişkin)Ayaklı depolar ile ilgili yapılan çalışmalar;yapılan çalışmalar (Gamphir, 1986; Allen vd., 1990; Dias ve Hattiarachchi,1992; Jain ve Sammer 1993).
- Tek kütleli sistem kullanılarak salınımın ihmal edildiğı çalışmalar (Chandrasekaran ve Krishna, 1954; Sonobe ve Nishikawa, 1969;Rasheidat ve Suna, 1990; Haroun ve Temraz, 1992; Rai,2002)
- Çok kütleli sistem yaklaŖımı kullanılarak elde edilen çalışmalar (Housner, 1963; Sheohard, 1972; Dieterman, 1986; 1988; 1993; DurmuŖ ve Doğangün, 1992; Livaoğlu ve Doğangün, 2003–2006)
- Eklenmiş kütle yaklaŖımının dikkate alındığı çalışmalar (Doğangün vd.,1997; Asthana ve Sridhar, 1997).

- Depo sıvı zemin etkileşiminin analitik olarak dikkate alındığı çalışmalar (Dieterman 1986; 1988; 1993; Dutta vd. 2004; Livaoğlu ve Doğançin 2006).
- Depoların sıvı-yapı-zemin etkileşimlerinin dikkate alındığı çalışmalar (Livaoğlu, 2005)

1.3.1. Yerüstü Sıvı Depoları Hakkında Yapılan Çalışmalar

Daha önce belirtildiği gibi sıvı depoları konusunda günümüze kadar birçok çalışma yapılmış, bu çalışmalar neticesinde sıvı depolarının yapı-sıvı, yapı-sıvı-zemin etkileşimleri değişik yönlerle incelenmiştir. Bu çalışmada rijit ve esnek kabullere göre depoların deprem hesabı farklı yönetmeliklere göre incelenmekte ve bulgular karşılaştırılmaktadır. Bilindiği gibi statik durumda sıvı depolarının duvarlarında meydana gelen basınç, hidrostatik basınç olarak tanımlanmaktadır. Ancak, Şekil 2 de gösterilen bu basınç sıvı deposunda herhangi bir hareket olmadığı andaki sıvının depo duvarına yaptığı sıvı basıncını temsil etmektedir.



Şekil 2. Hidrostatik sıvı basıncının derinlikle değişimi

Depo tabanında herhangi bir hareket meydana geldiği zaman depo duvarlarına uygulanan basınç artık hidrostatik basınç olmaktan çıkmaktadır. Bu durumda suyun duvara uyguladığı basınç hidrodinamik basınç adını almaktadır.

Hidrodinamik basınç dağılımlarının belirlenmesi amacıyla çeşitli analitik yöntemler geliştirilmiştir. Geçmişten günümüze hidrodinamik basınç etkisinin hesaplanmasında en fazla kullanılan yaklaşım kütle-yay modellemesi olmuştur.

Hidrodinamik basınç belirlenirken yatay ve düşey etkiler dikkate alınmaktadır. Ancak genel anlamda deprem etkisinin büyük bileşeni yatay bileşen olduğu için bu çalışmalarda yatay bileşen dikkate alınacaktır. Yatay bileşen belirlenirken; duvarların sıvıyla temas eden yüzeylerinin düşey ya da eğimli olması, duvarların rijit ya da esnek olması gibi parametreler etkili olmaktadır. Hidrodinamik basınç dağılımı konusunda geliştirilen yöntemler aşağıda özetlenmektedir.

1.3.1.1. Westergaard Yöntemi

Hidrodinamik basınç dağılımının incelenmesine yönelik ilk bilimsel çalışma Westergaard'ın 1931 de yayınlanan makalesidir. Westergaard yukarıda yapılan kabullere ek olarak sıvının vizkozitesiz ve sıkışabilir olduğunu, yüzey dalgalarının ihmal edilebilir, yer hareketinin harmonik ve yer değiştirmelerin küçük olduğu kabullerini yapmıştır.

Çeşitli sadeleştirmelerden sonra Westergaard'ın yaptığı hidrodinamik basınç dağılımını veren en sade formül:

$$P_i(z) = \frac{7}{8} \cdot a_m \cdot \rho \cdot \sqrt{h \cdot z} \quad (1)$$

şeklinindedir. Araştırmacılardan Von Karman ise Westergaard'ın yaptığı bu bağıntıya benzer olarak aşağıdaki bağıntıyı yayınlamıştır.

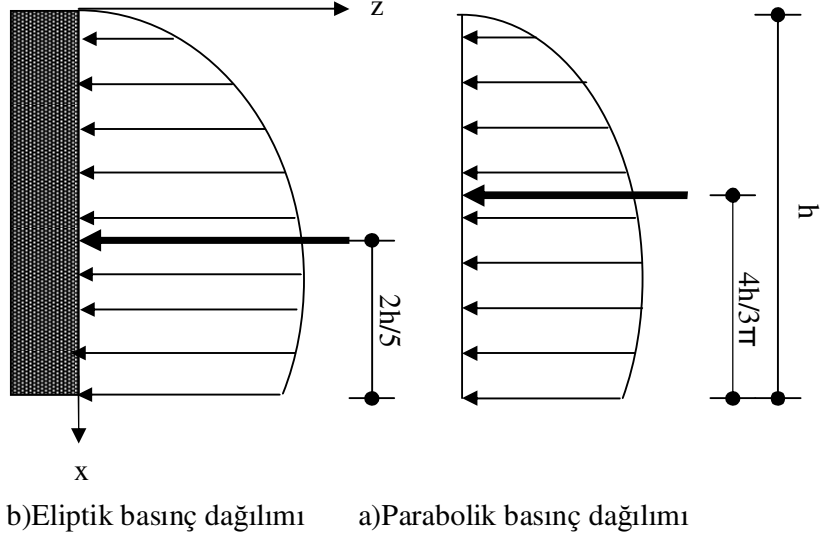
$$P_i(z) = 0,7071 \cdot a_m \cdot \rho \cdot \sqrt{z \cdot (2h - z)} \quad (2)$$

Diğer araştırmacılar Chakrabarti ve Nallini ise hidrodinamik basıncı;

$$P_i(z) = 0,7278 \cdot a_m \cdot \rho \cdot \sqrt{z \cdot (2h - z)} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanmasını önermektedirler (Doğangün, 1995). Burada; P_i İmpuls etkisinden doğan hidrodinamik basıncı, ρ sıvı birim kütesini, a_m maksimum yer ivmesini göstermektedir.

Westergaard'a göre yapılan basınç dağılımı aşağıda Şekil 3 de gösterilmektedir.

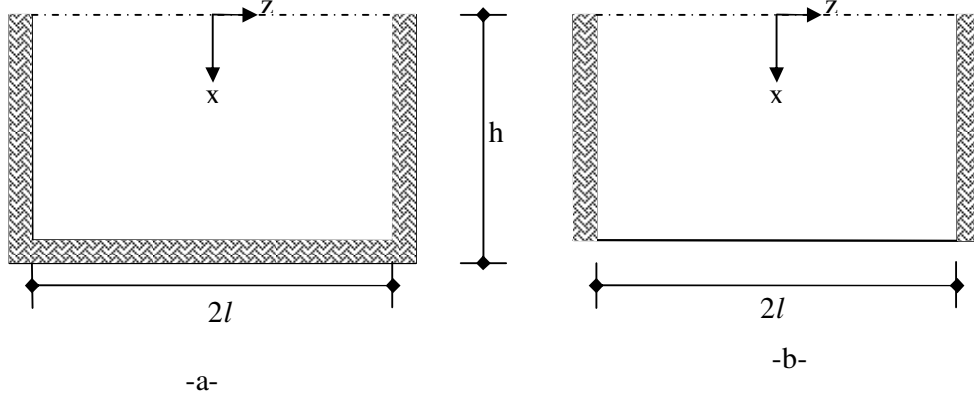


Şekil 3. Hidrodinamik basınç dağılımının sıvı derinliği boyunca parabolik ve eliptik değişimleri

1.3.1.2. Hoskins ve Jacobsen Yöntemi

Hoskins ve Jacobsen daha önce yapılan sıvı uzunluğu yarı sonsuz kabulü yerine sıvı uzunluğu sonludur kabulünü yapmışlardır. Bu durum teknik literatüre göre ilk defa dikdörtgen bir sıvı deposunun benzetilmiş deprem etkisi altındaki davranışını teorik ve deneysel olarak incelemiş olması anlamına gelmektedir.

Hoskins ve Jacobsen'in sıvının sonlu olması kabulüne göre aşağıda Şekil 4 te gösterilen depo kesitleri.



Şekil 4. Hoskins-Jacobsen yöntemine göre sıvının sonlu olması halinde depo kesitleri

Bu araştırmada hidrodinamik basınç ifadesi;

$$P_i(z) = \frac{8}{\pi^2} \cdot a(t) \cdot \rho \cdot h \cdot \sum_{j=1,3,5}^{\infty} (-1)^{\frac{(j-1)}{2}} \cdot \frac{1}{j^2} \cdot \cos \frac{j \cdot \pi (h-z)}{2h} \cdot \tanh \left(\frac{j \cdot \pi \cdot 2l}{4h} \right) \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir.

1.3.1.3. Werner –Sundguist Yöntemi

Werner ve Sundguist hidrodinamik basıncı belirlemek için Westergaard'ın kabullerini yapmış ve buna ek olarak duvar yüzeyine etkiyen sıvı uzunluğunun yarı sonsuz olduğu kabulü yerine bu uzunluğun sonlu olduğunu kabul etmiştir.

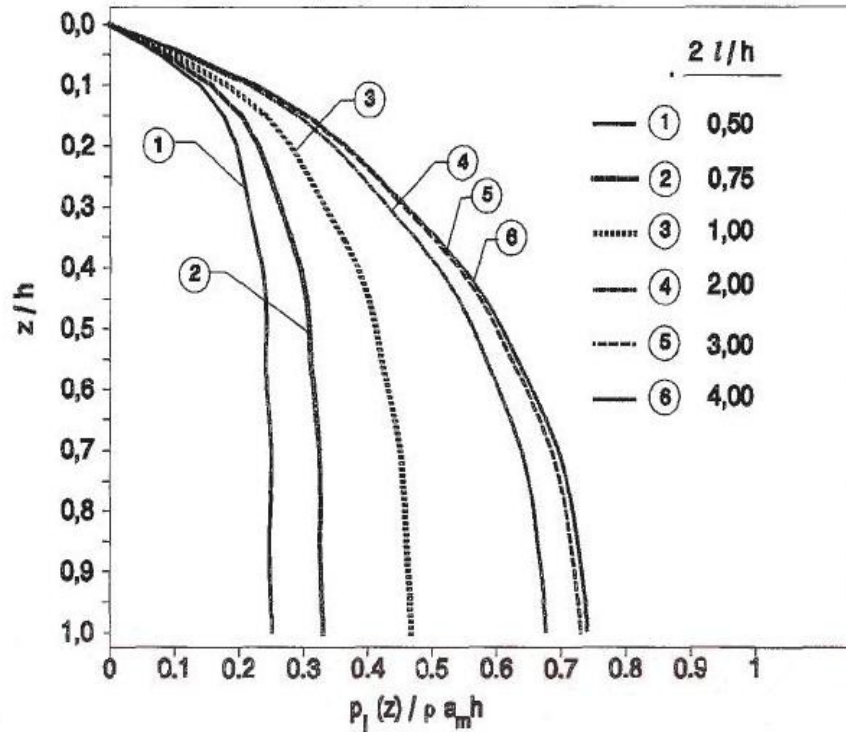
Bu araştırmacılar $2l/h$ oranının hidrodinamik basınç üzerindeki etkisini deprem doğrultusunda dik duvarların çeşitli yönlerdeki hareketlerini de dikkate alarak incelemiştir. Bu durumda duvarla temas halinde bulunan sıvının yapacağı yer değiştirme, sıvının sıkışabilirliğini de dikkate alarak duvarın yapacağı yer değiştirmeye eşitlenmektedir (Doğangün, 1995).

Hidrodinamik basınç ifadesi

$$P_i(z) = \frac{8}{\pi^2} \cdot a_m \cdot \rho \cdot h \cdot \sum_{j=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{j^2 \sqrt{1 - \frac{4h}{jV_s T_b}}} \cdot \frac{\left(1 - \cosh\left(\frac{j \cdot \pi \cdot 2l}{2h}\right)\right)}{\sinh\left(\frac{j \cdot \pi \cdot 2l}{2h}\right)} \cdot \sinh\left(\frac{j \cdot \pi (h-z)}{2h}\right) \cdot \tanh\left(\frac{j \cdot \pi \cdot z}{2h}\right) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bağıntıdan görüldüğü gibi sıvı uzunluğunun sıvı yüksekliğine oranı ($2l/h$) arttıkça hidrodinamik basınç artmaktadır. Hoskins ve Jacobsen yapmış oldukları çalışmada hidrodinamik basıncın $2l/h$ oranının sonsuz alınması yerine 3 olarak alınması halinde %98,3 üne, 4 alınması halinde %99,6 sına ulaşıldığını belirtmişlerdir. Aşağıda Werner ve Sundguist'e göre yapılan hidrodinamik basınç değişimi Şekil 5 te gösterilmektedir (Doğangün 1995).



Şekil 5. Werner ve Sundguist'e göre hidrodinamik basıncın $2l/h$ oranına göre değişimi

1.3.1.4. Housner Yöntemi

Şimdiye kadar verilen tüm yöntemlerde hidrodinamik basınç hesabı yapılırken impuls basıncı dikkate alınmış olmasına rağmen, bu yöntemde impuls basıncı yanında salınım basınçları da dikkate alınmaktadır.

İmpuls basıncı bir kısım sıvı kütlesinin depo duvarlarının ötelenmesine eylemsizlik prensibine göre tepkisinden meydana gelmektedir.

Housner daha önce yapılan kabullere ek olarak düşey membranlar arasında tutulduğu varsayılan sıvının viskozitesiz, sıkışamaz ve yer değiştirmelerin küçük olduğu kabullerini yapmaktadır. Bu şartlar altında depo duvarlarına yatay bir ivme verildiği zaman membranlar sıvı ile birlikte hareket etmekte ve bu durumda membranlar arasında sıkışmakta olan sıvı düşey yönde hareket etmekte ve yükselmektedir (Doğangün, 1995)

Burada düşey yönde yükselen sıvının hızı;

$$V_z = (h - z) \cdot \frac{dv_x}{dx} \quad (6)$$

bağıntısıyla verilebilir.

Buradan impuls basıncı ifadesi;

$$P_i(z, t) = a(t) \cdot \rho \cdot h \sqrt{3} \cdot \left[\frac{z}{2} - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right] \cdot \tanh \left[\sqrt{3} \cdot \frac{1}{h} \right] \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir.

Salınım basıncı ise ivmeli bir hareket etkisinde salınıma geçen bir kısım sıvının depo duvarına yaptığı hidrodinamik etkiden meydana gelmektedir. Bir sıvı deposunda sıvının serbest salınım yapabilmesi için sıvı üst yüzeyi ile depo tavanı alt yüzeyi arasında % 2 lik boşluğun olması gerekmektedir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda salınım basıncı;

$$P_o(z,t) = 0,527 \cdot \rho \cdot l^2 \cdot \omega^2 \cdot \phi \frac{\cosh\left(1,581 \cdot \frac{h-z}{l}\right)}{\sinh\left(1,581 \cdot \frac{h}{l}\right)} \cdot \sin \omega_n t \quad (8)$$

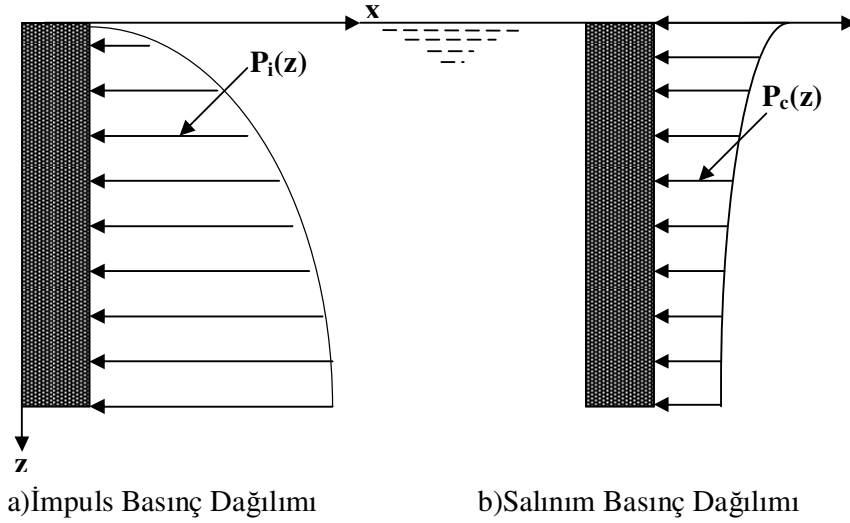
şeklinde ifade edilebilmektedir.

Burada; ω_n : Sıvı titreşiminin açısal hızını

S_d : Spektrum ivmesi

ϕ : Salınım açısını göstermektedir.

Buna göre aşağıda Şekil 6a ve 6b de şematik olarak gösterilmektedir.



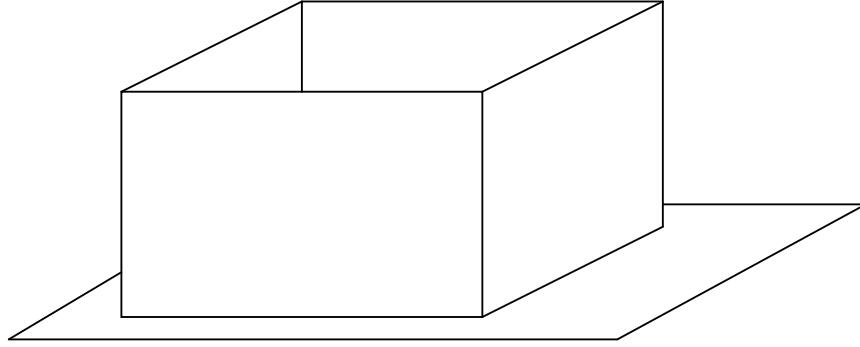
Şekil 6. Housnere göre sıvı derinliği boyunca impuls ve salınım basıncının değişimi

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü gibi impuls basıncı maksimum değerini depo tabanında, salınım basıncı ise sıvı serbest yüzeyi düzeyinde almaktadır. Buna karşılık impuls basıncı minimum değerini sıvı serbest yüzey düzeyinde, salınım basıncı ise depo tabanı yüzeyi düzeyinde almaktadır (Doğangün, 1995).

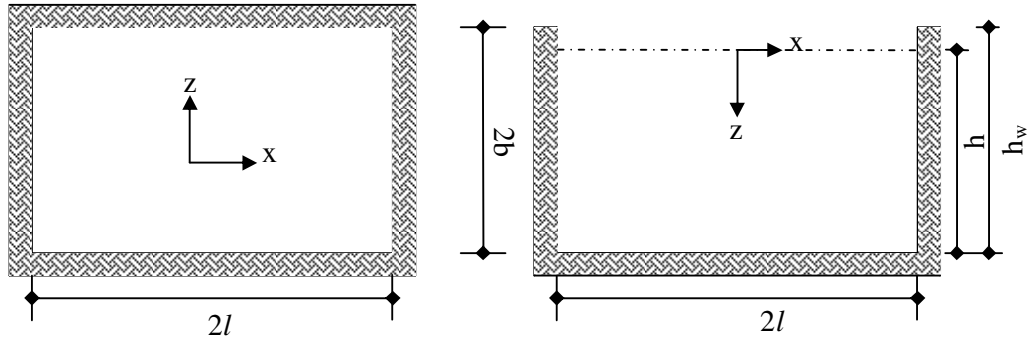
1.3.1.5. Haroun Yöntemi

Haroun duvarlara etkiyecek hidrodinamik basınçların belirlenmesinde üç boyutlu bir depo modeli kullanmıştır. Haroun sıvının salınım yapmadığı, viskozitesiz ve sıkışmaz

olduğu kabullerini yapmaktadır. Dikkate alınan deponun plan ve kesitleri Şekil 7 de görülmektedir.



a-)Üç boyutlu görünüş



b-)Plan

c-)Kesit

Şekil 7. Dikdörtgen bir deponun görünüş plan ve kesiti

Haroun Laplace denklemlerini kullanarak sınır koşullarını sağlayacak şekilde bir denklem belirledikten sonra bir depo duvarları üzerinde ($x=l$) hidrodinamik basınç ifadesi;

$$P_i(z,t) = \frac{2 \cdot \rho \cdot a(t)}{h} \sum_{j=1,3}^{\infty} \frac{(-1)^{j-1}}{\lambda_j^2} \cdot \tanh(\lambda_j l) \cos(\lambda_j (h-z)) \quad (9)$$

şeklini almaktadır.

Çalışmasında deponun tamamını dikkate alan modeli kullanan bu araştırmacının elde ettiği bu formülün y ' den bağımsız olması dikkat çekicidir. Bu formülde

$\lambda_j^2 = (j^2 \cdot \pi^2) / (4h^2)$ yazılırsa Hoskins –Jacobsen e ait olan formül bulunur.

Şimdiye kadar yapılan çalışmaların tamamında basınç dağılımlarının üzerinde durulmuştur. Ancak Haroun depremin birbirine dik iki yatay bileşenine göre depo duvarlarında meydana gelen basınç dağılımlarını belirlemek için de bağıntılar vermiştir.

1.3.1.6. Değiştirilmiş Veletsos Yöntemi

Veletsos Haroun yönteminde yapılan kabulleri esas almıştır. Veletsos'un daha önce dairesel depolar için yapmış olduğu çalışmaya benzer olarak depo duvarına etkiyen hidrodinamik basıncın değerlendirilmesinde Housner yönteminde olduğu gibi impuls ve salınım basınçlarının her ikisi de dikkate alınmaktadır.

Daha önce yapılan çalışmalara göre impuls basıncı (P_i): $q_i(z)$ boyutsuz impuls basınç fonksiyonunu, α ' yıllık aşılma ihtimaline göre belirlenen yatay ivme katsayısı, β ' deprem bölge katsayısını, T_h yatay titreşim periyodunu (T_i ya da T_o), $A_h(T_h)$ standartlaştırılmış yatay spektrum ivmesini ($T_h=0$ için $A_h(0)=1.00$), A_p yer hareket ivmesinin yıllık aşılma ihtimaline göre alınan ihtimal faktörünü (söz konusu ivmenin yıllık aşılma ihtimali=0.01 ise $A_p=1,00$ dir) ve $C_h(T_h) = \alpha' \beta' A_h(T_h) A_p$ yatay deprem katsayısını göstermek üzere hidrodinamik impuls basıncı;

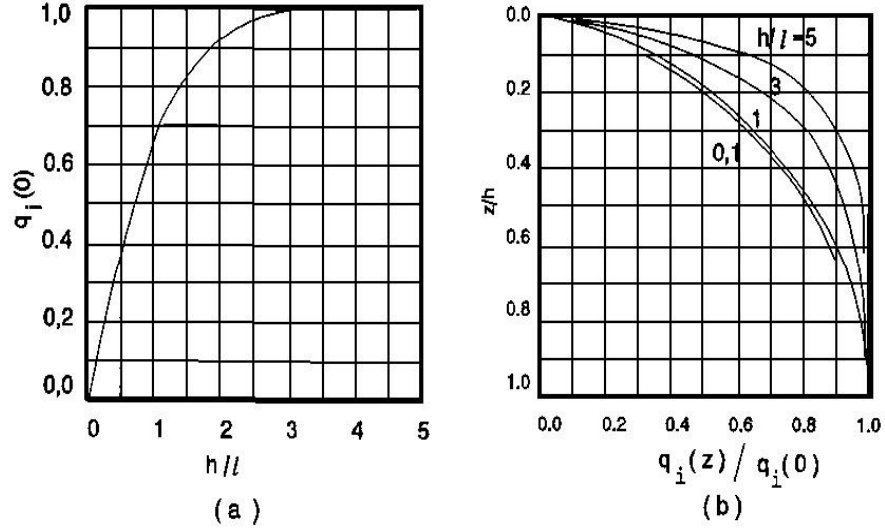
$$P_i(z) = q_i(z) \cdot a_m \cdot \rho \cdot l \quad (10)$$

bağıntısıyla salınım basınçları ise $q_{01}(z)$ ve $q_{02}(z)$ sırasıyla birinci ve ikinci salınım modu için boyutsuz basınç fonksiyonlarını göstermek üzere 1. ve 2. salınım modu için;

$$P_{01}(z) = q_{01}(z) \cdot C_h(T_{01}) \cdot \rho \cdot g \cdot l \quad (11)$$

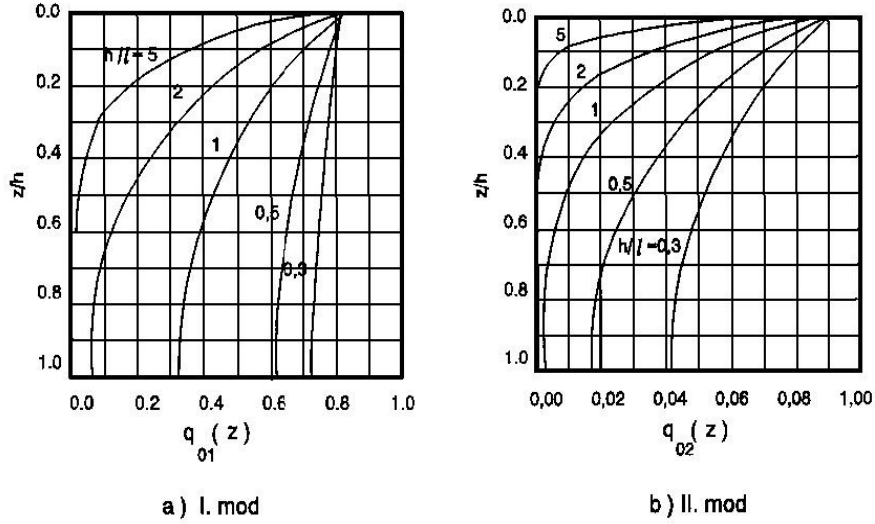
$$P_{02}(z) = q_{02}(z) \cdot C_h(T_{02}) \cdot \rho \cdot g \cdot l \quad (12)$$

bağıntılarıyla hesaplanmaktadır. Aşağıda Şekil 8 de impuls basıncı için q_i ve q_z değerlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 8. Dikdörtgen depo duvarına etkiyen boyutsuz impuls basıncı $q_i(0)$ ve $q_i(z)$ değerleri.

Aşağıda Şekil 9 da ise derinlik boyunca 1. ve 2. modda'ki “ q ” değerlerinin değişimi verilmektedir.



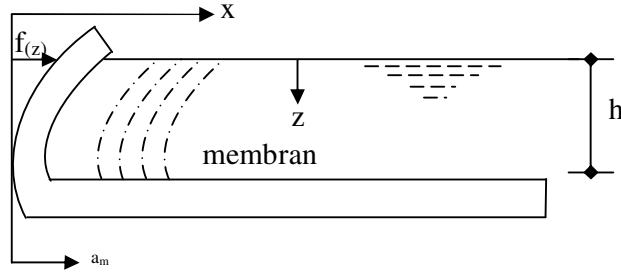
Şekil 9. Dikdörtgen depo duvarına etkiyen (a) birinci salınım moduna ait ve (b) ikinci salınım moduna ait boyutsuz $q_{01}(z)$ ve $q_{02}(z)$ değerleri

1.3.1.7. Esnek Duvarlı Depoların İncelenmesi

Esnek duvarlı depoların hareketi zemin hareketinden farklı olmaktadır. Bilindiği gibi hidrodinamik basınçlar genellikle impuls ve salınım basınçları olmak üzere iki bileşene ayrılabilir. Çözümlemede bu iki bileşenin dikkate alınması halinde depo esnekliği salınım moduna ait periyodu dolayısıyla da salınım basıncını önemli derecede artırmamakta, ancak impuls moduna ait periyodu dolayısıyla da impuls basıncını ihmal edilemeyecek derecede değiştirmektedir. Bu durum da salınım basıncının rijit depolardaki gibi belirlenebileceğini göstermektedir.

1.3.1.8. Housner Yöntemi

Bu yöntemde belirlenen en önemli özellik sıvı uzunluğunun sonsuz olduğudur. Salınım basınçları rijit depolardaki gibi hesaplanabildiğinden Housner sıvı uzunluğunun yarı sonsuz olması halinde duvar esnekliğinin impuls basıncı üzerindeki etkisini yaklaşık bir yöntemle incelemektedir. Bu yöntemde depo içindeki sıvının şekil değiştirmiş duvara benzer membranlar arasında tutulduğu kabul edilmektedir. Aşağıda Şekil 10'da esnek duvarlı depo modeli verilmektedir.



Şekil 10. Esnek duvarlı depo kesiti

Sabit ya da değişken kalınlıklı depo duvarına etkiyen hidrodinamik impuls basıncı (P_i); $f(z)$ duvarın rölatif yatay yer değiştirmesini göstermek üzere;

İntegral alınarak;

$$D = \int_0^h [f(z)]^2 dz \quad (13)$$

$$F = \int_0^h \left[\int_z^h f(z) dz \right]^2 dz \quad (14)$$

olmak üzere hidrodinamik basınç;

$$P_i(z) = \rho \cdot a_m \cdot \omega^2 \sqrt{\frac{D}{F}} \int_0^z \int_z^h f(z) dz dz \cdot \sin \omega t \quad (15)$$

ifadesiyle belirlenmektedir.

Buna bağlı olarak bileşke kuvvet

$$P_i(z) = \rho \cdot a_m \cdot \omega^2 \sqrt{\frac{D}{F}} \int_0^h \int_0^z \int_z^h f(z) dz dz dz \cdot \sin \omega t \quad (16)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir.

Depo duvarlarının sabit kalınlıklı olması halinde: “ EF ” eğilme rijitliğini göstermek üzere

$$\mu = \frac{p}{a_m} \frac{h^3}{\left(\frac{\pi}{4}\right)^4 EI} \quad (17)$$

duvarın rölatif yer değiştirmesi;

$$f(z) = a_m \left(1 - \mu + \mu \sin \frac{\pi x}{2h}\right) \quad (18)$$

bağıntılılarıyla belirlenebilir.

İmpuls basıncı ifadesi;

$$P_i(z) = \rho \cdot h \cdot a_m \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{3} \sqrt{\frac{1 - 1,68\mu + 1,18\mu^2}{1 + 2,44\mu + 1,63\mu^2}} \cdot \left[(1 - \mu) \cdot \left(\frac{z}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{h}\right)^2\right) + \left(\frac{2}{\pi}\right)^2 \mu \sin \frac{\pi z}{2h} \right] \quad (19)$$

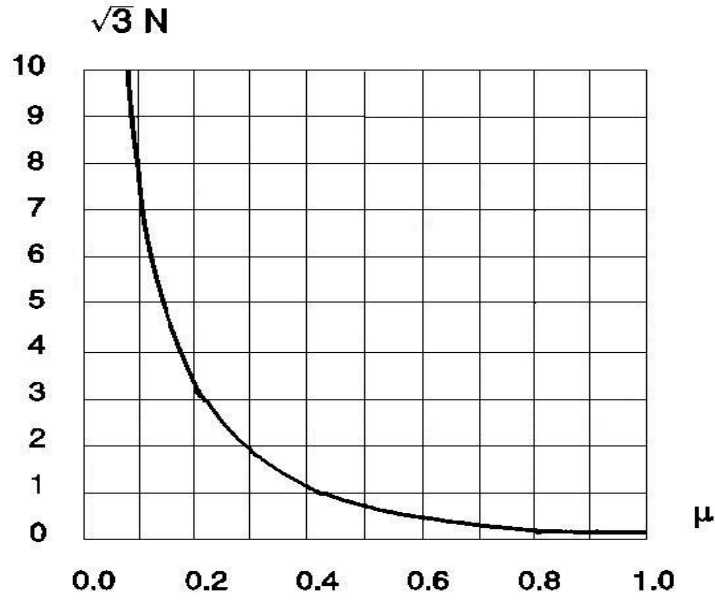
şeklinde yazılabilir.

İmpuls basınç kuvveti ise;

$$P_i(z) = \rho \cdot h^2 \cdot a_m \frac{\omega^2}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1 - 1,68\mu + 1,18\mu^2}{1 + 2,44\mu + 1,63\mu^2}} \cdot (1 - 0,22\mu) \quad (20)$$

şeklinde de ifade edilebilmektedir.

Bu durumda hidrodinamik impuls basıncı “ μ ” bağıntısıyla hesaplanabileceği gibi ” $\sqrt{3}N$ ” ye bağlı olarak da şekil 11 den de alınabilir. Housner yapmış olduğu bu çalışmada esnekliğin artması haline duvara etkiyecek hidrodinamik impuls basıncının azalacağını belirtmektedir.



Şekil 11. $\sqrt{3}N$ nin μ ye göre değişimi

$$N = \left(\frac{\pi}{2}\right)^4 \frac{EI}{\rho \cdot \omega^2 \cdot h^5} \quad (21)$$

$$\sqrt{3}N = \sqrt{\frac{1 - 1,68\mu + 1,18\mu^2}{1 + 2,44\mu + 1,63\mu^2}} \frac{(1 - 0,22\mu)}{\mu} \quad (22)$$

Sıvı uzunluğunun sonlu kabulüyle esnek duvarlı depolarda hidrodinamik basınç dağılımlarının analitik olarak pratik hesabına ilişkin teknik literatürde yönetmelik koşulları dışında böyle bir çalışmaya rastlanmamıştır. Oysa bu kabul depoları daha gerçekçi olarak temsil etmektedir

Ekonomik düşüncelerle depo duvarlarının genellikle değişken kalınlıklı olarak inşa edildiği bilinir. Durum böyle olunca depo duvarlarının iç yüzü düşeyle sıfırdan farklı bir açı yapmaktadır. Diğer bir deyişle söz konusu duvarların sıvıyla temasta bulunan yüzeyleri eğimli olmaktadır (Doğangün 1995).

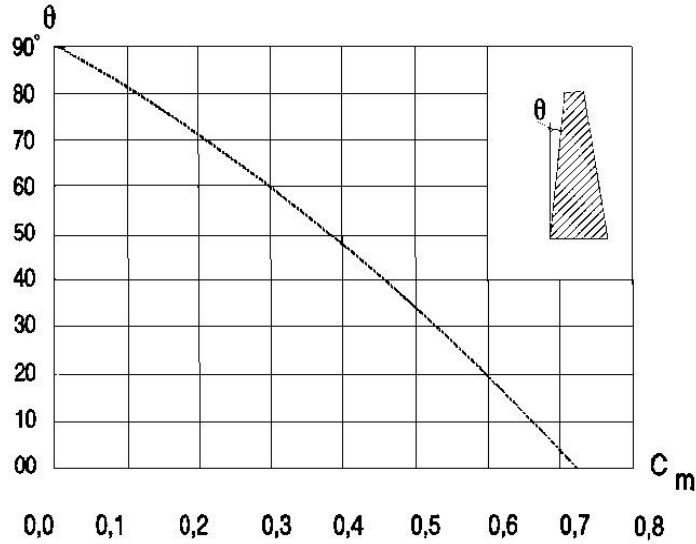
1.3.1.9. Zangar Yöntemi

Zangar eğimli bir duvara etkiyen hidrodinamik basınç dağılımlının analogik bir yolla “ C_m ” duvar iç yüzeyinin düşeyle yaptığı açısı (θ)’ya bağlı bir katsayıyı göstermek üzere hidrodinamik basınç;

$$P_i(z) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a_m \cdot h \cdot C_m \left[\frac{z}{h} \left(2 - \frac{z}{h} \right) + \sqrt{\frac{z}{h} \left(2 - \frac{z}{h} \right)} \right] \quad (23)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Bu bağıntıdaki C_m katsayısının değişimi aşağıda Şekil 12’de verilmektedir. Bu şekilden θ büyüdükçe C_m katsayısının dolayısıyla hidrodinamik basıncın azaldığı görülmektedir. (Doğangün, 1995)



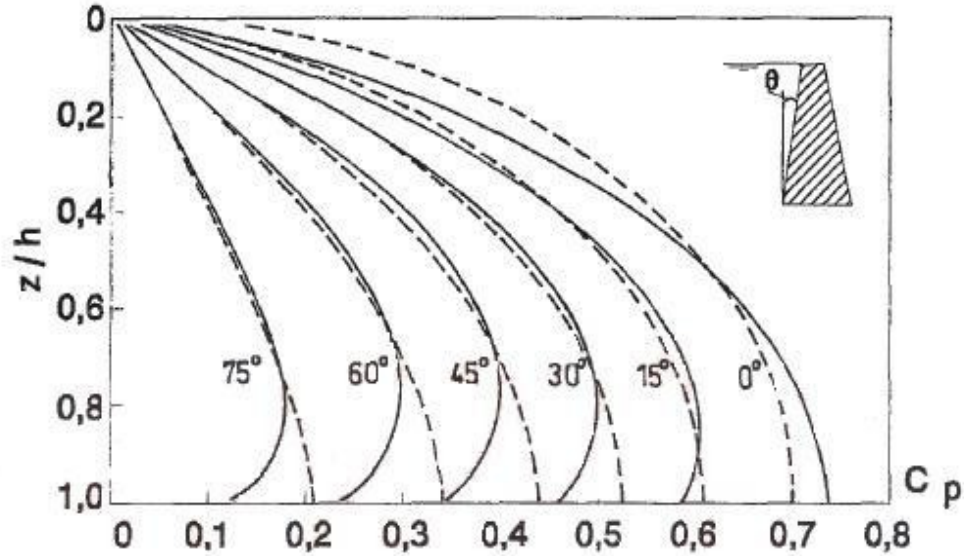
Şekil 12. Zangar yöntemiyle hesapta gerekli olan C_m katsayısı

1.3.1.10. Chwang ve Housner Yöntemi

Chwang ve Housner eğimli bir duvara etkiyen hidrodinamik basınç dağılımını, duvarın sıvıya değen yüzeyin düşey olması için gerçekleştirilen Karman yönteminin eğimli duvara uyarlanmasından elde ettikleri hidrodinamik basınç ifadesi;

$$P_i(z) = C_p \cdot \rho \cdot a_m \cdot \frac{z}{h} \quad (24)$$

şeklinde yazılmıştır. Bu bağıntıdaki C_p katsayısının θ ve z/h ile değişimi aşağıda Şekil 13 te verilmektedir.



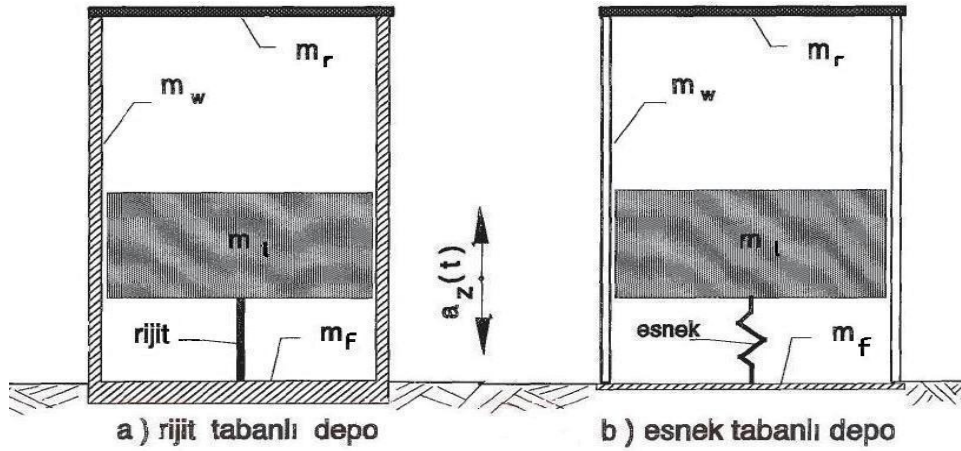
Şekil 13. Chwang ve Housner yöntemi için C_p katsayısı

Yukarıdaki Şekil 13'ten de görüldüğü gibi maksimum basınç duvarın suyla temas eden yüzeyinin düşey olması ($\theta=0$) halinde meydana gelmektedir. Duvar iç yüzeyinin eğimi arttıkça (θ büyüdükçe) C_p dolayısıyla da hidrodinamik basınç azalmaktadır (Doğangün, 1995).

1.3.1.11. Depremi Düşey Bileşeni Göre Hesap

Depremi düşey bileşeni de depo duvarlarında yatay doğrultuda etkiyen bir hidrodinamik basınç meydana getirmektedir. Deneysel ve teorik çalışmalar düşey ivmeli bir harekette genellikle sıvıda salınım hareketinin meydana gelmediğini göstermektedir.

Bu nedenle depremi düşey bileşeni göre hesapta sadece impuls basıncının dikkate alınması yeterli olmaktadır. Rijit ve esnek tabanlı depolara etkiyen impuls basıncının hesaplanmasında dikkate alınan modeller aşağıdaki Şekil 14 de verilmektedir.



Şekil 14. Depremi düşey bileşeni için rijit ve esnek tabanlı depoların modellemesi

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü gibi toplam sıvı kütlesi m_l depo tabanının rijit olması halinde rijit bir elemanla, esnek olması halinde ise bir yayla bağlandığı kabul edilmektedir (Doğangün, 1995).

Buna göre rijit tabanlı depolarda depremi düşey bileşeninden dolayı meydana gelen ve sıvı serbest yüzeyi düzeyinde sıfır olan impuls basıncı depo tavanında,

$$P_{ixz}(h) = \rho \cdot h \cdot a_z(t), \quad (25)$$

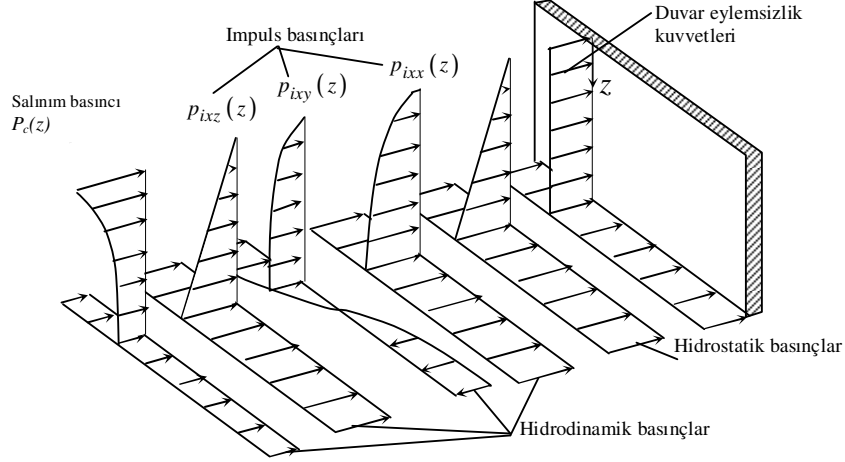
bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

Esnek tabanlı depolarda ise T_v depo-zemin etkileşimiyle hesaplanan düşey titreşim periyodunu “ α ” düşey ivme katsayısını ($=0,7 \alpha$), $A_v(T_v)$ standartlaştırılmış düşey spektrum

ivmesini ($T_v=0$ için $A_v(0)=1,0$ dır.) olmak üzere hidrodinamik basınç ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$P_{ixz}(h) = \alpha'' \cdot \beta' \cdot A_v(T_v) \cdot A_p \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (26)$$

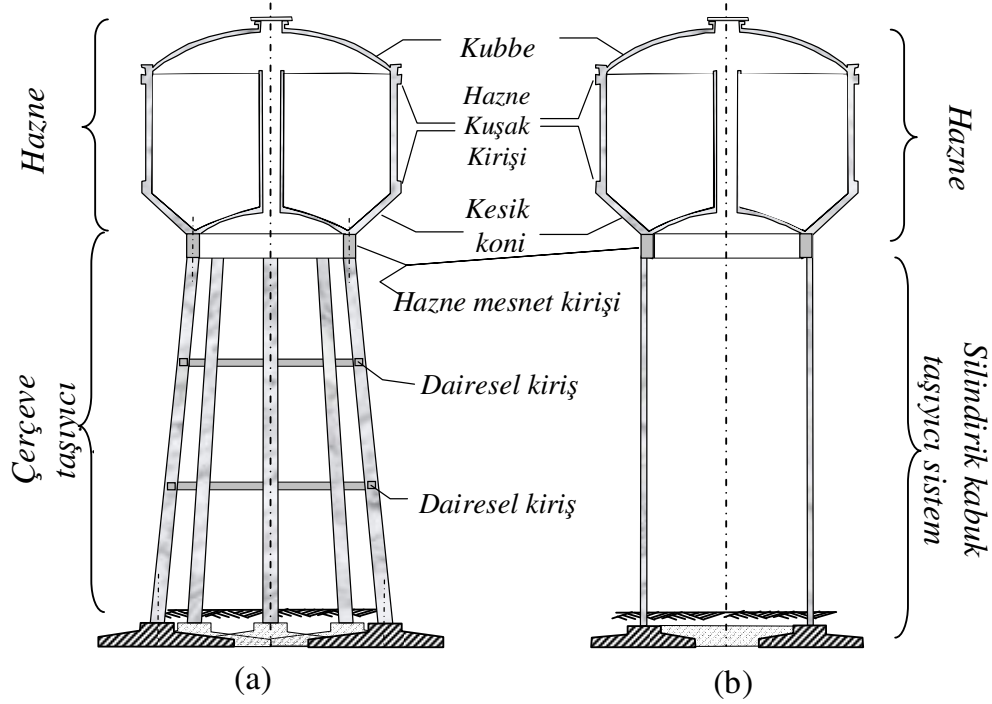
Bir sıvı deposuna etkiyebilecek tüm basınç dağılımları Şekil 15 te verilmektedir.



Şekil 15. Depo duvarına etkiyebilecek statik ve dinamik basınç bileşenleri (Doğangün, 2002).

1.3.2. Ayaklı Depolar Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Geçmişten günümüze ayaklı depolarla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar konularına göre aşağıda sınıflandırılmıştır. Ayaklı depolar özellikle sanayi bölgelerinde su temini için kullanılmakta ve yüksek oldukları için suyu yükseklik farkıyla cazibe ile iletebilmektedirler. Günümüzde ayak kısmı daha çok çerçeve sistem olarak uygulanan ayaklı depoların deprem karşısında diğer depolara göre daha fazla zorlandıkları birçok deprem sonrasında gözlemlenmiştir. Bu konuda yapılan araştırmalarda silindirik kabuk taşıyıcı sistemli ayaklı depoların çerçeve ayaklı depolara göre deprem davranışının daha olumlu olduğu ve depremlerden daha az etkilendiği tespit edilmiştir. Aşağıda Şekil 16 da çerçeve taşıyıcılı ve silindirik kabuk taşıyıcılı ayaklı depo kesitleri verilmiştir.



Şekil 16. Ayaklı Depoların a) Çerçeve Taşıyıcı Sistemine Sahip Ayaklı Depo Kesiti
b) Kabuk Taşıyıcı Sistemine Sahip Ayaklı Depo Kesiti

1.3.2.1. Ayaklı Depolar İçin Toplanmış Kütle Yaklaşımının Kullanıldığı Çalışmalar

Housner'in ayaklı depolar için geliştirdiği bu yaklaşımda ilk olarak sıvı için impuls (m_i) ve salınım (m_o) kütleleri belirlenmektedir. Daha sonra impuls kütlelerinin etkime yüksekliğinde haznenin boş kütlelerini ve depo ayağının belirli bir kısmının (genelde ayak kütlelerinin $2/3$ ü ya da tamamını) kütlelerini kapsayan m_1 kütle ve salınım kütlelerinin oluşturduğu m_2 kütle belirlenmektedir.

Ayak için bir k_1 rijitliği, sıvı salınımlarını temsilen bir k_2 rijitliği belirlenerek sistem iki serbestlik dereceli sistem olarak çözülmektedir. Housner ve Ellaith bu yaklaşımda hazne tabanındaki dönmenin de dikkate alınmasını önermektedirler. Bu yaklaşımda yapılan çalışmalarda depo ayağının zemine ankastre mesnetlendiği kabul edilmektedir.

1.3.2.2. Ayaklı Depo İçin Eklenmiş Kütle Yaklaşımının Kullanıldığı Çalışmalar

Bu çalışmalarda amaç yapılar için hazırlanan ve sıvı eleman içermeyen genel amaçlı paket programları kullanarak ayaklı depoların dinamik davranışları belirlemektir. Bu

yaklaşımında ayaklı deponun sıvı haricindeki kısmi sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmekte ve sıvı için belirlenen impuls ve salınım kütleleri yapı kütesine eklenmektedir. Bu yaklaşımla yapılan çalışmalarda da depo ayağının zemine ankastre mesnetlendiği kabul edilmektedir.

1.3.2.3. Ayaklı Depo-Zemin Etkileşiminin Dikkate Alındığı Çalışmalar

Rasheidat ve Suna tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada depo ayağının zemine ankastre mesnetlenmediği kabul edilmektedir. Bunun için zemin sonlu elemanlara bölünerek zeminin dikdörtgen bir ayaklı deponun dinamik davranışına etkileri araştırılmaktadır. Ancak deponun tamamen dolu olduğu ve sıvının salınım hareketi yapmadığı kabul edilmiş olup toplam sıvı kütlesi doğrudan boş hazne kütesine eklenmiştir.

1.3.2.4. Ayaklı Depo Taban İzolasyonunun Dikkate Alındığı Çalışmalar

Bu çalışmalarda daha çok son zamanlarda gündeme gelen taban izolasyonlarının deponun dinamik davranışına etkileri araştırılmaktadır.

1.3.2.5. Ayaklı Depoların Davranışını Deneysel Olarak Belirlemeye Yönelik Çalışmalar

Marashi ve Shakib incelemelerine konu olan depoların titreşim frekanslarını deneysel olarak belirlemişlerdir.

1.3.3. Gömme Depolar Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Gömme depolarla ilgili çalışmalar diğer depolara nazaran daha kısıtlıdır. Gömme depoların yerüstü depolarına göre deprem hesabı farkı deprem hesabı yapılırken gömme depolarda dinamik zemin basıncı etkilerinin de dikkate alınması zorunluluğudur.

Gömme depolar (Seed., 1970) gibi araştırmacılar bu konuda çalışmıştır. 1984 yılında japon Mononobe-Okabe(JSCE) yöntemi uygulanmış ve kabul görerek günümüze kadar kullanılagelmiştir.

Gömme bir sıvı deposunun yan duvarları diğer etkilerin (özgül ağırlık, sıcaklık, yağmur v.b) yanında sıvı etkisine ters yönde toprak basıncına maruz kalmaktadır. Yine

gömme sıvı depoları incelenirken yer altı su seviyesinin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Yeraltı su seviyesi yüksek olan bölgelerde gömme su deposunun boş olması durumunda su deposunun zemin içinde yüzme tehlikesi ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde Mononobe-Okabe yöntemi birçok ülkede gömme depo hesabında kullanılmaktadır.

1.4. Depoların Kullanım Amaçları ve Sınıflandırılması

Depolar kullanım amacına göre genellikle, insanların su ihtiyacını karşılamak(içme suyu, sulama v.b.) şebekedeki su basıncını artırmak veya azaltmak, özellikle hidroelektrik santrallerde enerji üretimi ve atık suların güvenli deşarjını sağlamak için kullanılırlar.

Aşağıda Şekil 17 de ayaklı ve yerüstü depo resimleri yer almaktadır.



a) Ayaklı depo



b) Yerüstü depo

Şekil.17. Ayaklı depo ve yer üstü deposu. a- (URL-2, 2009), b- (URL-3, 2009).

Depolar sınıflandırılırken aşağıdaki kriterler dikkate alınabilir.

a) Kullanılan malzeme cinsine göre;

1-) Betonarme su depoları

2-) Çelik su depoları

a-) Modüler paslanmaz çelik su depoları

b-) Paslanmaz veya paslanabilen boyalı yekpare su depoları

- 3-) PVC esaslı su depoları
- 4-) Kâgir veya beton su depoları
- 5-) Ahşap su depoları

Şekil 18 de yerüstü depolara ait dikdörtgen ve silindirik sıvı depoları yer almaktadır.



a)Dikdörtgen yerüstü deposu



b)Silindirik yerüstü deposu

Şekil 18. Farklı geometrik şekildeki yerüstü depoları. a- (URL-4, 2009), b- (URL-5, 2009)

b) Kullanım amacına göre;

- 1-) İçme suyu depoları
- 2-) Sulama depoları
- 3-) Akaryakıt depoları
- 4-) Gaz depoları
- 5-) Kimyevi madde depoları

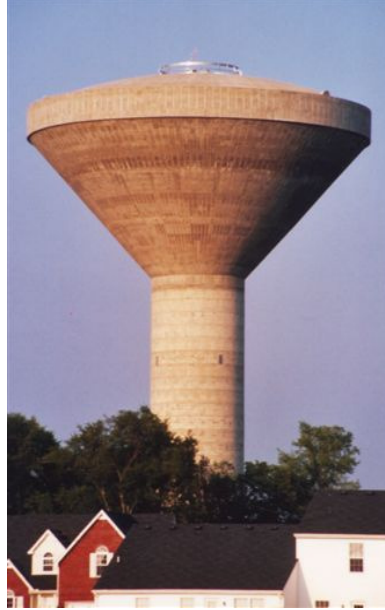
c) Yeryüzündeki konumuna göre;

- 1-) Gömme depolar
- 2-) Bir kısmı zemine gömülü bir kısmı zemin yüzeyinde bulunan depolar
- 3-) Zemin yüzeyinde bulunan depolar
- 4-)Ayaklı depolar

Şekil 19 da ayaklı depolara ilişkin kesitlerinin değişik geometrik biçimlere sahip depolar görülmektedir. ait resimler yer almaktadır.



a) Ayaklı küre depo



b) Ayaklı konik depo



c) Ayaklı silindir depo

Şekil 19. Farklı geometrik şekillerdeki ayaklı depolar. a- (URL-6, 2009), b- (URL-7, 2009), c- (URL-8, 2009).

d) Geometrik şekline göre su depoları

1-) Dikdörtgen su depoları

2-) Silindir su depoları

Aşağıda Şekil 20 de günümüzde çok yaygın olarak kullanılan modüler paslanmaz çelik su deposu resmi yer almaktadır.



Şekil 20. Modüler paslanmaz çelik su depoları (URL-9, 2009)

Özellikle son yıllarda içme suyu depoları için yeni bir sektör doğmuştur. Bunlar modüler paslanmaz çelik su depolarıdır. Bu depolar pratik ve kolay kurulumları ile istenilen ölçü ve ebatlarda kurulabilirken bakım masrafları da diğer depolara göre daha düşüktür. Zira yosun ve bakteri üremesini engellemektedirler. Günümüzde binlerce ton suyu rahatlıkla taşıyabilecek şekilde imal edilebilmektedirler. Bu depolar hidrostatik ve hidrodinamik etkileri kendi depo cidarlarıyla taşıyabildiğinden değişik mekânlara rahatlıkla kurulabilmekte kurulan alanda sadece düşey yönde bir yük etkisi ile etkimektedirler. Ancak yine de günümüzde betonarme su depoları ekonomik olmaları yönünden değerlendirildiğine yaygın olarak kullanılan depolardır.

1.5. Sıvı Depolarının Farklı Yöntemlerle Dinamik Analizlerinin Pratik Uygulamaları

Bu bölümde sıvı depolarının pratik uygulamaları klasik Housner yöntemine ve standartlar Eurocode-8, ACI 350 tarafından önerilen yöntemlere göre yapılacaktır. Ayrıca aşağıda açıklanan yöntemlerle yerüstü ve ayaklı depolar üzerinde yapılacak deprem hesapları belirtilmektedir.

1.5.1. Housner Yöntemi

Bu bölümde yapılacak pratik uygulamaların yerüstü ve ayaklı depolara uygulanışı üzerinde durulacak ilgili bağıntılar verilecektir. Ayrıca yerüstü depolar için sığ ve derin depo uygulamalarında kullanılan bağıntılara ilişkin farklar da gösterilmektedir.

1.5.1.1. Yer üstü Depolarında Housner Yönteminin Uygulanması

Bir önceki bölümde de belirtildiği üzere Housner ilk olarak salınım basıncını dikkate alan araştırmacıdır. Bu açıdan bakıldığında Housner dinamik analiz hesabında impuls basıncının yanında salınım basıncını dikkate alarak dinamik analizi daha gerçekçi biçimde ortaya koymuştur. Dikdörtgen ve silindir bir deponun analitik olarak dinamik analizi için hidrodinamik basınç kuvvetleri ve etkiye yükseklikleri ve bunlara bağlı olarak hesaplanan momentlerin ve maksimum dalga yüksekliğinin belirlenmesinde housner yöntemi kullanımı yaygındır.

İlk olarak dikdörtgen sıvı depoları için;

Sığ depolar ($h/l \leq 1,5$) için Housner Yöntemi:

Sığ depolarda sıvının duvarlara uyguladığı hidrodinamik basınç kuvvetleri sadece impuls ve salınım kütlelerinin oluşturduğu etkilerle temsil edilmektedir.

Bağıntılar verilirken ilk olarak toplam sıvı kütlesi hesabı;

Dikdörtgen kesitli depolarda;

$$m_l = 2b \cdot 2l \cdot h \cdot \rho_l \quad (27)$$

Silindirik kesitli depolarda;

$$m_l = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \rho_l \quad (28)$$

Burada impuls ve salınım kütleleri aşağıda verilmiştir.

İmpuls kütlesini hesabı dikdörtgen ve silindir kesitli depolarda aşağıdaki bağıntı ile yapılmaktadır.

$$m_i = m_l \cdot \frac{h}{1,732 \cdot l} \cdot \tanh\left(1,732 \frac{l}{h}\right) \quad (29)$$

Salınım kütlesi dikdörtgen sıvı depolarında;

$$m_c = m_l \cdot 0,527 \cdot \frac{l}{h} \cdot \tanh\left(1,581 \cdot \frac{h}{l}\right) \quad (30)$$

Salınım kütlesi silindirik sıvı depolarında;

$$m_c = m_l \cdot 0,318 \cdot \frac{R}{h} \cdot \tanh\left(1,84 \cdot \frac{h}{R}\right) \quad (31)$$

bağıntılarla belirlenmektedir. Daha sonra impuls basıncının bileşkesinin depo tabanından itibaren yüksekliği silindirik ve dikdörtgen kesitli sıvı depolarında;

$$h_i = \frac{3}{8} \cdot h \quad (32)$$

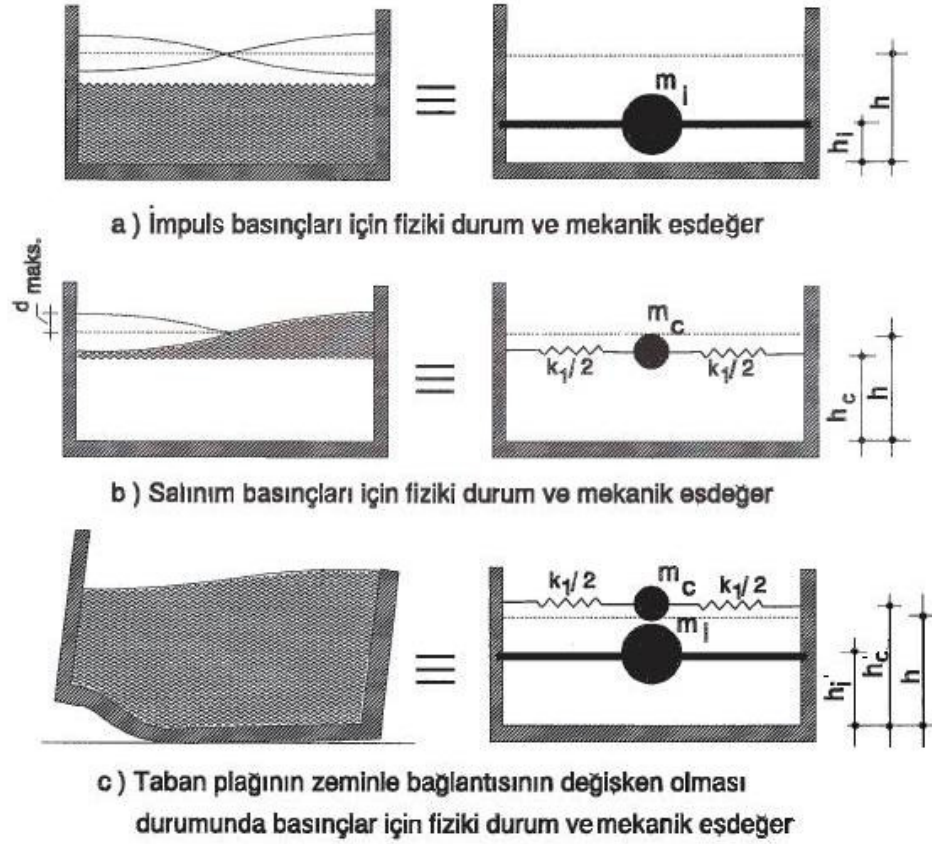
bağıntısıyla salınım basıncının bileşkesinin depo tabanından itibaren yüksekliği ise dikdörtgen kesitli depolarda;

$$h_c = \left(1 - \frac{\cosh\left(1,581 \cdot \frac{h}{l}\right) - 1}{1,581 \cdot \frac{h}{l} \cdot \sinh\left(1,581 \cdot \frac{h}{l}\right)} \right) \cdot h \quad (33)$$

Silindirik kesitli depolarda ise;

$$h_i' = \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1,732 \cdot \frac{l}{h}}{\tanh\left(1,732 \cdot \frac{l}{h}\right)} - \frac{1}{8} \right) \cdot h \quad (34)$$

bağıntısıyla gösterilmektedir. Aşağıda Şekil 21 de Housner yöntemine göre dikkate alınan kütleler ve etkiye yükseklikleri farklı durumlar için verilmiştir.



Şekil 21. Housner yönteminde dikkate alınan sığ depo fiziki durumları ve mekanik eşdeğerleri

Devirici moment hesabında, depo tabanındaki dinamik etkilerin dikkate alınması halinde impuls basıncı bileşkesinin tabandan itibaren yüksekliği dikdörtgen sıvı depolarında;

$$h_i' = \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1,732 \cdot \frac{l}{h}}{\tanh\left(1,732 \frac{l}{h}\right)} - \frac{1}{8} \right) \cdot h \quad (35)$$

Silindir sıvı depolarında;

$$h_i' = \frac{1}{8} \left(\frac{4}{1,732 \cdot R \cdot \tanh\left(1,732 \frac{R}{h}\right)} - 1 \right) h \quad (36)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Salınım basıncı yüksekliği ise dikdörtgen sıvı depolarında;

$$h_c' = \left(1 - \frac{\cosh\left(1,581 \cdot \frac{h}{l}\right) - 2}{1,581 \cdot \frac{h}{l} \cdot \sinh\left(1,581 \cdot \frac{h}{l}\right)} \right) \cdot h \quad (37)$$

Silindirik sıvı depolarında;

$$h_c' = \left(1 - \frac{\cosh\left(1,84 \cdot \frac{h}{R}\right) - 2,01}{1,84 \cdot \frac{h}{R} \cdot \sinh\left(1,84 \cdot \frac{h}{R}\right)} \right) \cdot h \quad (38)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Housner yöntemiyle sığ depolar için impuls ve salınım kütlelerinin toplam sıvı kütlesine ve bunlarla ilgili basınçların bileşkelerinin tabandan itibaren etkiye yüksekliklerinin depodaki sıvı yüksekliğine oranlarının doluluk oranına göre hesapları aşağıdaki Tablo 1 de verilmektedir.

Tablo 1. Housner yöntemiyle sığ depolarda doluluk oranına göre hesaplarda kütle ve yükseklik oranı (Doğangün 1995).

Doluluk Oranı	m_i/m_t	m_c/m_t	h_i/h	h_c/h	h_i'/h	h_c'/h
0,1	0,058	0,826	0,375	0,501	8,660	40,342
0,2	0,115	0,806	0,375	0,504	4,330	10,341
0,3	0,173	0,776	0,375	0,509	2,887	4,792
0,4	0,231	0,737	0,375	0,516	2,166	2,857
0,5	0,288	0,694	0,375	0,525	1,735	1,970
0,6	0,344	0,649	0,375	0,534	1,452	1,495
0,7	0,398	0,604	0,375	0,545	1,255	1,216
0,8	0,450	0,562	0,375	0,557	1,111	1,043
0,9	0,498	0,521	0,375	0,570	1,004	0,930
1,0	0,542	0,484	0,375	0,583	0,922	0,855
1,1	0,583	0,450	0,375	0,597	0,858	0,805
1,2	0,620	0,420	0,375	0,610	0,807	0,772
1,3	0,653	0,392	0,375	0,624	0,766	0,751
1,4	0,683	0,368	0,375	0,637	0,732	0,735
1,5	0,710	0,345	0,375	0,650	0,705	0,730

Yukarıdaki tablodan görüldüğü gibi doluluk oranının 0,5 den küçük olması halinde impuls ve salınım kütlelerinin toplam sıvı kütesine oranlarının toplamı 1,00 den küçük kalmaktadır. Bu durum söz konusu doluluk oranlarına sahip depolarda Housner yönteminde sadece 1. salınım moduna karşılık gelen salınım kütesinin dikkate alınıp diğer modlara ait kütlelerin ihmal edilmesinden ileri gelmektedir.

Depoya etki eden impuls kuvveti bağıntısı;

$$P_i = m_i \cdot a_{max} \quad (39)$$

şeklinde ifade edilebilir. Salınım etkisinden doğan hidrodinamik basınç kuvveti;

$$P_c = m_c \cdot S_a \quad (40)$$

Maksimum eğilme momenti;

$$M_b = P_i \cdot h_i + P_c \cdot h_c \quad (41)$$

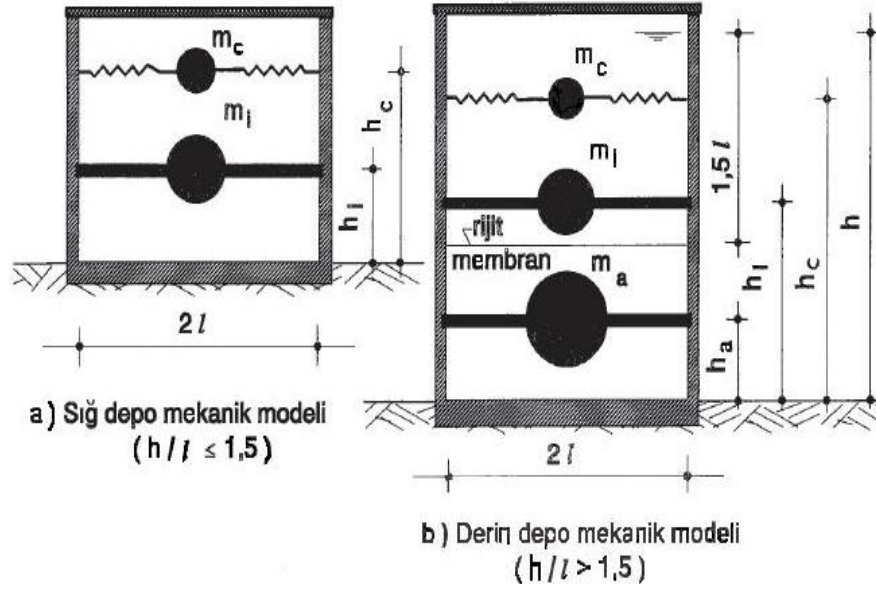
şeklinde ifade edilebilir. Devirici moment ise;

$$M_o = P_i \cdot h_i + P_c \cdot h_c' \quad (42)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir.

Derin yerüstü depoları ($h/l \geq 1,5$) için Housner Yöntemi:

Derin depolarda sıvı serbest yüzeyinden itibaren $1,5l$ derinliğinde depoyu iki kısma ayıran rijit bir membranın bulunduğu düşünülmektedir. Bu durumda depodaki sıvı kütlesi rijit membranın üstünde impuls ve salınım kütleleriyle, membranın altında ise depo tabanı ile birlikte hareket ettiği kabul edilen bir atıl kütle (m_a) ile temsil edilmektedir. Hesaplarda dikkate alınan derin depo modeli karşılaştırma k amacıyla sığ depolarınkiyle birlikte aşağıda Şekil 22 de verilmektedir.



Şekil 22. Housner yönteminde dikkate alınan sığ ve derin depo modeli

Bu depolarda impuls kütlesi silindir ve dikdörtgen depolarda;

$$m_i = \left(\frac{1,064 \cdot l}{h} \right) \cdot m_l \quad (43)$$

Salınım kütlesi dikdörtgen depolarda;

$$m_c = \left(\frac{0,518 \cdot l}{h} \right) \cdot m_l \quad (44)$$

Silindirik depolarda ise;

$$m_c = \left(\frac{0,135 \cdot R}{h} \right) \cdot m_l \quad (45)$$

Atıl kütle dikdörtgen ve silindir depolar için;

$$m_a = \left(1 - \frac{3l}{2h} \right) \cdot m_l \quad (46)$$

bağıntılarıyla ifade edilebilir.

İmpuls kütlesi için etkili olan yükseklik bağıntısı dikdörtgen ve silindirik depolarda;

$$h_i = \left(1 - \frac{15l}{16h}\right) \cdot h \quad (47)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Salınım kütlesi için etkili olan salınım yüksekliği dikdörtgen depolarda;

$$h_c = \left(1 - \frac{0,525l}{h}\right) \cdot h \quad (48)$$

Silindirik depolarda;

$$h_c = \left(1 - \frac{0,479 \cdot R}{h}\right) \cdot h \quad (49)$$

ifadesiyle belirtilebilir.

Atıl kütle için etkili olan yükseklik ise dikdörtgen ve silindirik sıvı depolarında;

$$h_a = \left(\frac{1}{2} - \frac{3l}{4h}\right) \cdot h \quad (50)$$

bağıntısıyla belirtilebilir.

Devirici moment hesabında kullanılan impuls yüksekliği dikdörtgen ve silindirik sıvı depolarında;

$$h_i' = \left(1 - \frac{0,630l}{h}\right) \cdot h \quad (51)$$

ifadesiyle gösterilebilir.

Devirici moment hesabında kullanılan etkili salınım yüksekliği ise dikdörtgen ve silindirik sıvı depolarında;

$$h_c' = \left(1 - \frac{0,405l}{h}\right) \cdot h \quad (52)$$

bağıntısıyla belirlenebilir.

Sözü edilen bu üç kütlede m_b , m_c , m_a dolayı depo duvarlarına uygulanan impuls, salınım ve atıl basınç kuvvetleri, a_m tek serbestlik dereceli sistemin maksimum spektrum ivmesini göstermek üzere sırasıyla;

İmpuls basıncı dikdörtgen ve silindirik sıvı depolarında (39) nolu eşitlik yardımıyla sığ depolarda kullanılan bağıntı yardımıyla yapılabilir. Salınım basıncı ifadesi ise dikdörtgen ve silindirik depolarda (40) nolu bağıntı yardımıyla aynı şekilde sığ depolarda kullanılan bağıntı ile yapılabilir.

Atıl kütle etkisiyle oluşan basınç değeri;

$$P_a = m_a \cdot a_m \quad (53)$$

bağıntısıyla hesaplanabilmektedir.

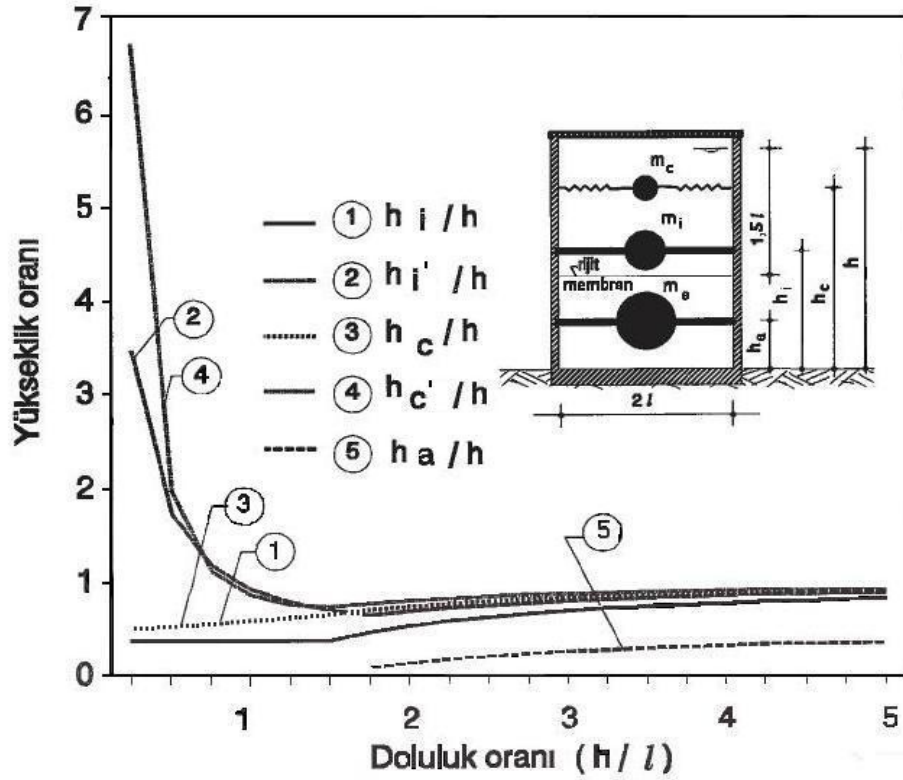
Basınçların eş zamanda olduğu kabulüyle maksimum eğilme momenti ve devirici moment sırasıyla;

$$M_b = P_i \cdot h_i + P_c \cdot h_c + P_a \cdot h_a \quad (54)$$

$$M_o = P_i \cdot h_i' + P_c \cdot h_c' + P_a \cdot h_a \quad (55)$$

bağıntılarıyla hesaplanmaktadır.

Housner yöntemiyle derin depolar için impuls, salınım ve atıl kütlelerin toplam sıvı kütesine oranlarıyla, bunlarla ilgili basınçların bileşkelerinin tabandan itibaren yüksekliklerinin depodaki sıvı yüksekliğine oranları Tablo 2 de ve bu yükseklik oranlarının h/l ye göre değişimi aşağıda Şekil 23 de verilmektedir.



Şekil 23. Housner yöntemine ait basınç bileşmelerinin depo tabanından itibaren yüksekliklerinin durgun haldeki sıvı yüksekliğine oranlarının h/l ile değişimi

Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi doluluk oranının 1,5 den küçük değerler için özellikle devirici momentin hesabında kullanılan etkime yüksekliklerinin h_i' ve h_c' toplam yüksekliğe oranı (h/l)=0,10 için $h_i'/h=8,660$ ve $h_c'/h=40,342$ değerini almaktadır.

Bu da impuls ve salınım basınçları bileşmelerinin tabandan itibaren teorik olarak yüksekliklerinin sırasıyla depoda bulunana statik haldeki sıvı yüksekliğinin 8,66 ve 40,342 katı olabileceğini göstermektedir. Durum böyle olunca bu boyutlarda bir deponun yapılması gerektiğinde bu hesabın bir kez de doğrusal olmayan etkileri de dikkate alan yöntemlerle yapılmasının yararlı olacağı açıktır.

Tablo 2. Housner yöntemiyle derin depolarda doluluk oranına göre hesaplanan kütle ve yükseklik oranları

h/l	m_i/m_t	m_c/m_t	m_a/m_t	h_i/h	h_c/h	h_a/h	h_i/h	h_c/h
1,6	0,665	0,324	0,063	0,414	0,672	0,031	0,606	0,747
1,7	0,626	0,305	0,118	0,449	0,691	0,059	0,629	0,762
1,8	0,591	0,288	0,167	0,479	0,708	0,083	0,650	0,775
1,9	0,560	0,273	0,211	0,507	0,724	0,105	0,668	0,787
2,0	0,532	0,259	0,250	0,531	0,738	0,125	0,685	0,798
2,1	0,507	0,247	0,286	0,554	0,750	0,143	0,700	0,807
2,2	0,484	0,235	0,318	0,574	0,761	0,159	0,714	0,816
2,3	0,463	0,225	0,348	0,592	0,772	0,174	0,726	0,824
2,4	0,443	0,216	0,375	0,609	0,781	0,187	0,737	0,831
2,5	0,426	0,207	0,400	0,625	0,790	0,200	0,748	0,838
2,6	0,409	0,199	0,423	0,639	0,798	0,212	0,758	0,844
2,7	0,394	0,192	0,444	0,653	0,806	0,222	0,767	0,850
2,8	0,380	0,185	0,464	0,665	0,812	0,232	0,775	0,855
2,9	0,367	0,179	0,483	0,677	0,819	0,241	0,783	0,860
3,0	0,355	0,173	0,500	0,687	0,825	0,250	0,790	0,865
3,1	0,343	0,167	0,516	0,698	0,831	0,258	0,797	0,869
3,2	0,333	0,162	0,531	0,707	0,836	0,266	0,803	0,873
3,3	0,322	0,157	0,545	0,716	0,841	0,273	0,809	0,877
3,4	0,313	0,152	0,559	0,724	0,846	0,279	0,815	0,881
3,5	0,304	0,148	0,571	0,732	0,850	0,286	0,820	0,884
3,6	0,296	0,144	0,583	0,740	0,854	0,292	0,825	0,887
3,7	0,288	0,140	0,595	0,747	0,858	0,297	0,830	0,891
3,8	0,280	0,136	0,605	0,753	0,862	0,303	0,834	0,893
3,9	0,273	0,133	0,615	0,760	0,865	0,308	0,838	0,896
4,0	0,266	0,130	0,625	0,766	0,869	0,312	0,842	0,899
4,1	0,260	0,126	0,634	0,771	0,872	0,317	0,846	0,901
4,2	0,253	0,123	0,643	0,777	0,875	0,321	0,850	0,904
4,3	0,247	0,120	0,651	0,782	0,878	0,326	0,853	0,906
4,4	0,242	0,118	0,659	0,787	0,881	0,330	0,857	0,908
4,5	0,236	0,115	0,667	0,792	0,883	0,333	0,860	0,910

Suyun serbest yüzeyden maksimum yükselmesi dikdörtgen depolarda;

$$d_{max} = \frac{0,833 \cdot \left(\frac{S_a}{g}\right) \cdot l}{1 - 1,581 \cdot \left(\frac{S_a}{g}\right) \cdot \tanh\left(1,581 \cdot \frac{h}{l}\right)} \quad (56)$$

Silindirik depolarda ise;

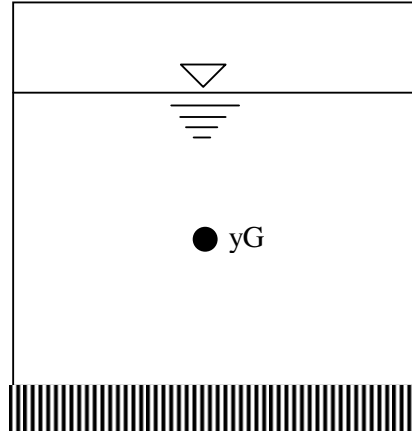
$$d_{max} = \frac{0,626 \cdot \left(\frac{S_a}{g}\right) \cdot R}{1 - 1,84 \cdot \left(\frac{S_a}{g}\right) \cdot \tanh\left(1,84 \cdot \frac{h}{R}\right)} \quad (57)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

Koruyucu moment hesabı;

Koruyucu moment hesabı yapabilmek için depo ayrıtlarının bilinmesi gereklidir.

Burada depoya ait aşağıdaki şekilde toplam kütle ifadesi ; $Mt = m_t + m_{depo}$



Şekil 24 Sıvı deposunun ağırlık merkezi

$M_k = M_t \cdot yG$ burada ağırlık merkezinden dönme noktasına olan uzaklık olarak hesaplanır.

Burada duvara ait ayrıtlar;

Depo duvar kalınlığı $t_w = 0,5$ m

Depo temel kalınlığı $t_f = 0,5$ m

Depo kapak kalınlığı $t_r = 0,2$ m

olarak seçilirse,

Dikdörtgen sıvı depolarında toplam kütle hesabı;

Duvar kütlesi hesabı;

$$m_w = (2 \cdot B + 2 \cdot L) \cdot H \cdot t_w \cdot \rho_c \quad (58)$$

Depo kapağı kütlesi hesabı;

$$m_r = B \cdot L \cdot t_r \cdot \rho_c \quad (59)$$

Depo temel kütlesi hesabı;

$$m_f = B \cdot L \cdot t_f \cdot \rho_c \quad (60)$$

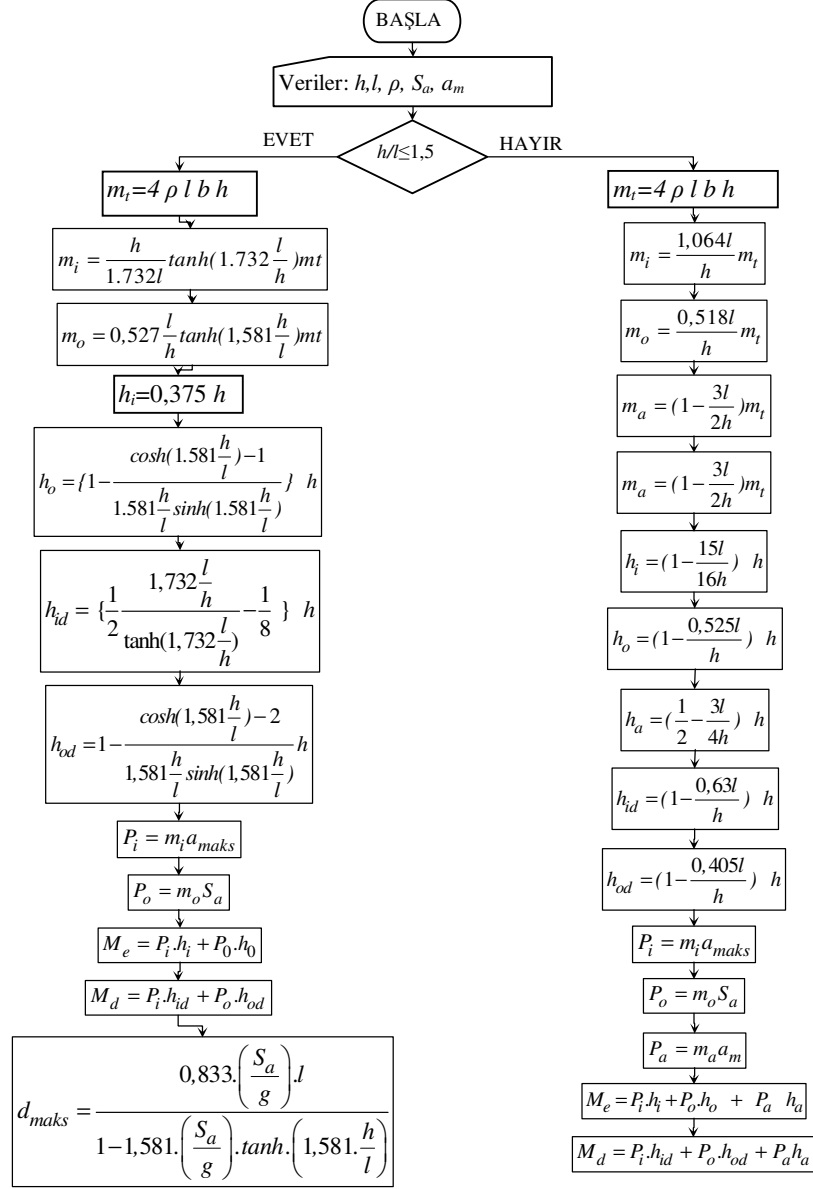
Ağırlık merkezi hesabı;

$$yG = \frac{m_l \cdot h_l + m_w \cdot h_w + m_f \cdot h_f + m_r \cdot h_r}{m_l + m_w + m_f + m_r} \quad (61)$$

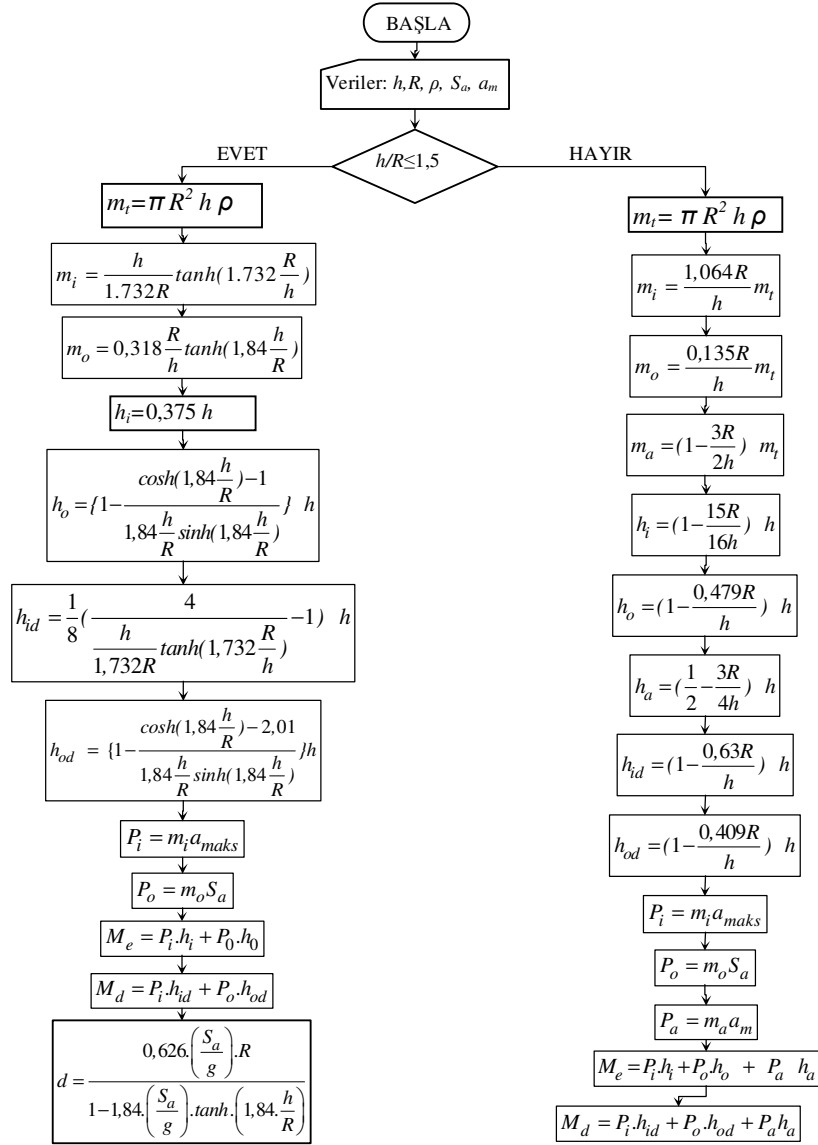
Koruyucu moment aşağıdaki (62) nolu bağıntı ile hesaplanabilir.

$$M_k = m_t \cdot yG \quad (62)$$

Bu konu içerisinde verilen tüm formüllerde silindirik depolara ait verilmeyen bağıntılarda silindir şekilli depolarda l yerine R yarıçap kullanılacaktır. Aşağıda Şekil 25 ve 26 da dikdörtgen ve silindirik kesitli depolar için Housner yönteminin pratik çözüme yönelik deprem hesabı için akış diyagramları yer almaktadır.



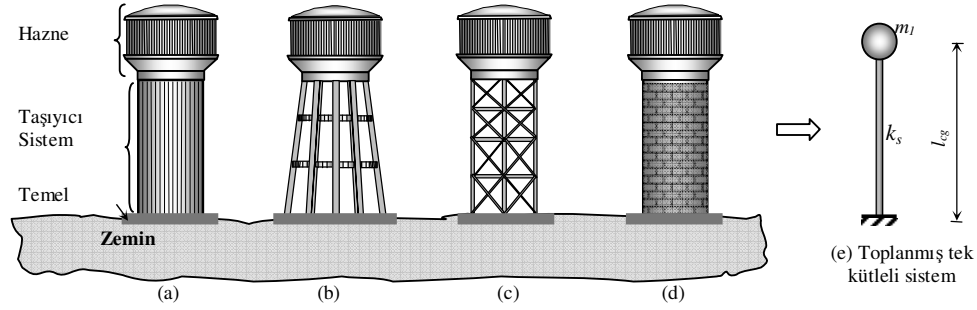
Şekil 25. Dikdörtgen depoların housner yöntemiyle pratik deprem hesabı akış diyagramı (Doğangün, 2002).



Şekil 26. Silindirik depoların housner yöntemiyle pratik deprem hesabı akış diyagramı (Doğangün, 2002).

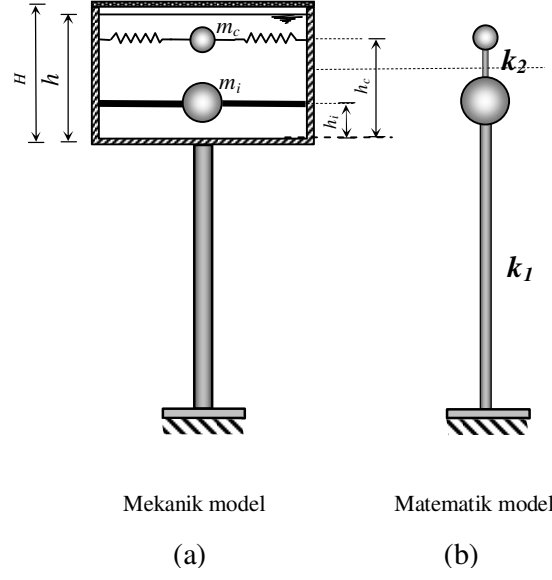
1.5.1.2. Ayaklı Depolarda Housner Yönteminin Uygulanması

Ayaklı depolar, dinamik olarak depremden en fazla etkilenen depolar olarak günümüze gelmişlerdir. Günümüze kadar ayaklı depolarla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Genel olarak bir önceki bölümde belirtilmiş olan başlıklar halinde ayaklı depolarla ilgili olarak aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır. Aşağıda Şekil 27 de değişik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı depo modelleri verilmektedir.



Şekil 27. Ayaklı depo şekilleri ve mekanik modeli

Hidrodinamik basınç dağılımlarının meydana getirdikleri etkileri eşdeğer kütleler yardımıyla belirlemek amacıyla 1950'lerden itibaren kütle-yay modellemesi kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda önce söz konusu eşdeğer kütleler ile bunların ağırlık merkezlerinin tabandan itibaren yükseklikleri, daha sonra bunların maksimum yer ivmesi ya da spektrum ivmesiyle çarpılması suretiyle hidrodinamik basınç kuvvetleri hesaplanmaktadır. Bu basınç kuvvetlerinin bilinmesi halinde depo taban-duvar ayrıntılarındaki eğilme momentleri ve depo taban-zemin ara yüzeyindeki devirici moment kolaylıkla belirlenebilmektedir. Housner yöntemine göre ayaklı depo için dikkate alınan eşdeğer mekanik model ve matematik model aşağıda Şekil 28 de verilmiştir.



Şekil 28. Ayaklı depo mekanik ve matematik modeli

Housner 1963 te silindirik depolar için; hazne duvarının sıvıyla temasta bulunan yüzeyinin düşey ve düz olduğu, hazne duvarının rijit olduğu, sıvının sıkışamaz ve viskozitesiz olduğu, sıvının salınımından doğan yer değiştirmelerin küçük olduğu, sıvının dönmesiz olduğu, sıvının yatayda bir dinamik etkiye maruz kaldığında düşey membranlar arasında hareket ettiği, hareket esnasında düşey membranlar arasında olan su sıkışmayacağından yükselme eğilimi gösterdiği gibi kabuller yapmıştır.

Bu yöntemde aşağıda sunulan bağlantılar yardımıyla impuls ve salınım kütlelerinin toplam sıvı kütlesine oranları, salınım kütlesi frekansı ile bu kütlelerin etkiye yükseklikleri ve bunlara bağlı hesaplanan hidrodinamik basınçlar, taban kesme ve taban eğilme momentleri belirlenebilmektedir. Bunları belirleyebilmek için basitleştirilmiş bir yaklaşım ortaya koymuştur. Bu mekanik modelde m_i için impuls kütlesine ek olarak boş hazne kütlesinin ve ayak kütlesinin belirli bir kısmı dikkate alınmaktadır. Dikkate alınan ayak kütlesi için ACI 371R-98 ayak kütlesinin % 66'sının dikkate alınması önerilmektedir. Priestley vd.(1986) ayak kütlesinin tamamının dikkate alınması gerektiğini önermektedir. Bu yöntem 1960 lardan bugüne kadar birçok uygulamada kullanılmış olup Epstein(1976) tarafından bazı katkılar yapılarak yeniden düzenlenmiştir. Bu çalışma kapsamında da Housner yönteminin Epstein tarafından düzenlenmiş hali kullanılmaktadır.(Livaoğlu, 2005)

Ayaklı depolarda genel kabule göre sıvı deposu ve ayak sisteminin kütleleri ayrılarak hesaplar yapılmaktadır.

Bu bölümde ayaklı depoların taşıyıcı sistemi ve impuls kütlesi aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabileceği

$$m_1 = m_i + m_v + 0,66 \cdot m_{ss} \quad (63)$$

Salınım kütlesi;

$$m_2 = m_c \quad (64)$$

İmpuls kütlesini veren ifade;

$$m_i = \left(\frac{\tanh\left(\frac{1,74 \cdot R}{h}\right)}{\frac{1,74 \cdot R}{h}} \right) \cdot m_l \quad (65)$$

Salınım kütlesi yerüstü depolarında kullanılan (31) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir;

İmpuls kütlesinin depo tabanından yüksekliği yerüstü depolarında kullanılan (32) nolu bağıntı yardımıyla yapılabilir.

Salınım kütlesinin depo tabanından yüksekliği yerüstü depolarında kullanılan (34) nolu bağıntı yardımıyla yapılabilir.

Yukarıdaki Şekil 28 de görülen matematik modelde k_1 ayak taşıyıcı sisteminin rijitliğini göstermekte olup salınım kütlesinin mesnetlendiği sistemin rijitliği k_2 ise aşağıdaki bağıntıyla belirlenebilir.

$$k_2 = m_c \cdot \left(\frac{g}{R} \right) \cdot 1,84 \cdot \tanh\left(1,84 \cdot \frac{h}{R}\right) \quad (66)$$

Ayak taşıyıcı sistemin rijitliği aşağıdaki bağıntı yardımıyla belirlenebilir.

$$k_1 = \frac{12 \cdot E_{cl} \cdot I_{cl} \cdot N_{cl}}{h_{cl}^3} \left[\frac{1}{\frac{2 \cdot I_{cl} \cdot N_p (4N_p^2 - 1)}{A_c \cdot R_s^2} + N_p + 2 \cdot (N_p - 1) \cdot \frac{E_{cl} \cdot \left(\frac{I_{cl}}{h_{cl}}\right)}{Eb \cdot \left(\frac{I_b}{L}\right)}} \right] \quad (67)$$

Bu bağıntıda;

E_{cl} =Betonarme kolonun elastisite modülü

h_{cl} =Net yükseklik

I_{cl} =Eylemsizlik momenti

N_{cl} =Kolon sayısı

E_b =Betonarme kirişin elastisite modülü

L =Net açıklık

I_b =Atalet momenti

N_p =Panel sayısı

R_s =Destek iskelenin yarıçapı

Yukarıdaki formülden ayak siteminin çerçeve iskeletinin rijitliği k_1 olarak hesaplanır.

İmpuls periyodu hesabı;

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{m_i}{k_1}} \quad (68)$$

olarak salınım periyodu hesabı;

$$T_c = 2\pi \sqrt{\frac{m_c}{k_2}} \quad (69)$$

Bağıntılarıyla hesaplanabilir.

Deprem yönetmeliği 2007 den zemin sınıfı belirlendikten sonra periyod değerine göre;

$$0 \leq T_i \leq T_A \text{ için} \quad S(T) = 1 + 1.5 \cdot \frac{T_i}{T_A} \quad (70)$$

$$T_A \leq T_i \leq T_B \text{ için} \quad S(T) = 2.5 \quad (71)$$

$$T_B \leq T_i \text{ için için} \quad S(T) = 2.5 \cdot \left(\frac{T_B}{T_i} \right)^{0.8} \quad (72)$$

şeklinde periyod aralığı seçilebilir. Seçilen periyod aralığına göre spektrum katsayısı hesaplanabilir.

Buradan spektrum ivmesi ifadesi;

$$S_{pa}(T_o) = \frac{A_0 \cdot I \cdot S(T) \cdot g}{Ra(T)} \quad (73)$$

$$A_o \cdot I \cdot S(T) = A_o(T_1) \quad (74)$$

şeklinde hesaplanabilir.

İfadeleri yardımıyla kesme kuvveti aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir.

$$V_t = \frac{A(T_1) \cdot g}{Ra(T)} \cdot m \quad (75)$$

Burada hidrodinamik P_1 kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$P_1 = m_1 \cdot (h_i + h_{ss}) \quad (76)$$

P_2 kuvveti hesabı ise;

$$P_2 = m_2 \cdot (h_c + h_{ss}) \quad (77)$$

Buradan eğilme momenti hesabı;

$$M_b = P_1 \cdot (h_i + h_{ss}) + P_2 \cdot (h_c + h_{ss}) \quad (78)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Buradan devirici moment hesabı;

$$M_o = P_1 \cdot (h_i' + h_{ss}) + P_2 \cdot (h_c' + h_{ss}) \quad (79)$$

şeklinde ifade edilebilir

1.5.1.3. Bauer Çok Kütleli Sistem Yaklaşımı

Housner yaklaşımından farklı olarak birden fazla salınım kütesinin de dikkate alınabildiği bir diğer yaklaşımda Bauer tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda ortaya konulmuştur. Bu yöntem 1964'den bu güne kadar birçok uygulamada kullanılmış olmakla beraber, Housner yaklaşımındaki belirtilen sıvı yatay da bir dinamik etki altında kaldığında düşey membranlar arasında olduğu varsayılan membranlar mevcuttur, hareket esnasında düşey membranlar arasında olan su sıkışmayacağından yükselme eğilimi göstermektedir, eksen takımı hazne iç yüzeyi tabanının geometrik merkezindedir kabulleri dışındaki bütün kabuller aynıdır. Farklı olarak eksen takımının sıvı geometrik merkezinde olduğu ve sıvı belirli yüksekliklerde ayrılarak bunlardan taban seviyesindeki kütlelerin salınım yapmadığı diğer seviyelerin ise ayrı ayrı salınım yapan sıvı kütleleri oldukları kabulüyle çözüme gidilmiştir.

Tablo 3 de m_w sıvı toplam kütesini, λ_n birinci dereceden birinci türde Bessel fonksiyonun köklerini göstermektedir. (Livaoğlu, 2005)

Tablo 3. Ayaklı depolarda Housner ve Bauer modelinin karşılaştırılması

	Bauer modeli	Housner modeli (Epstein, 1976)
Salınım frekansı (ω^2)	$\omega_n^2 = \frac{g}{R} \lambda_n \tanh\left(\lambda_n \frac{h}{R}\right)$	$\omega^2 = \frac{g}{R} 1.84 \tanh\left(1.84 \frac{h}{R}\right)$
Salınım kütlesi rijitliği (k_{cn})	$k_{cn} = m_{cn} \frac{g}{R} \lambda_n \tanh\left(\lambda_n \frac{h}{R}\right)$	$k_c = m_c \frac{g}{R} 1.84 \tanh\frac{1.84 \cdot h}{R}$
Salınım kütlesi (m_{cm})	$m_{cn} = m_w \frac{2 \tanh\left(\lambda_n \frac{h}{R}\right)}{\lambda_n (h/R) (\lambda_n^2 - 1)}$	$m_c = m_w \cdot 0.318 \frac{R}{h} \tanh(1.84 h/R)$
İmpuls kütlesi (m_i)	$m_i = m_w \left(1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{m_{cn}}{m_w}\right)$	$m_i = m_w \frac{\tanh(1.74 R/h)}{(1.74 R/h)}$
Salınım kütlesi yüksekliği (h_{cm})	$h_{cn} = h \left[\frac{1}{2} - \frac{4}{\lambda_n (h/R)} \tanh\left(\lambda_n \frac{h}{2R}\right) \right]$	$h_c = \left[1 - \frac{\cosh(1.84 h/R) - 1}{1.84 h/R \sinh(1.84 h/R)} \right] h$
İmpuls kütlesi yüksekliği (h_i)	$h_i = h \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{(m_i/m_w)} \sum_{m=0}^{\infty} \left(\frac{m_m}{m_w}\right) \left(\frac{h_m}{h}\right) \right]$	$h_i = \frac{3}{8} h$

1.5.2. Eurocode -8'e Göre Çözüm Yapılması

Eurocode-8 standardı daha önce de belirtildiği gibi 1998 yılından sonra 2006 da revize edilmiştir. Bu bölümde Eurocode-8'e göre yerüstü depoların pratik deprem hesabında çözüme yönelik adımlar anlatılmış ve bu standartlara göre hesap, bağıntılarla desteklenmiştir. Bu bölümde yerüstü ve ayaklı depolara ait çözüm yöntemleri belirtilmiştir.

1.5.2.1. Yerüstü Depolara Göre Çözüm Yapılması

Eurocode-8'e göre yapılacak çözümlerde sıvı deposuna ait çeşitli parametreler seçilecektir.

İlk olarak çözüm yapılırken sıvı deposunun geometrik şekline göre sıvı deposunun sıvı hacmi hesaplanır. Eğer sıvı deposu silindir ise kütle hesabı;

(28) no lu bağıntı kullanılabilir.

Eğer deponun geometrik şekli dikdörtgen ise sıvı kütlesi hesabı;

(27) nolu bağıntı yardımıyla hesap yapılabilir.

İlk olarak h/l oranına göre deponun sığ mı derin mi olduğuna karar verilir.

$h/l < 1,5$ ise sığ $h/l > 1,5$ ise depo derin depo olur.

Tablo 4. Eurocode -8'e h/R göre hesaplanan katsayılar

$\frac{h/R}{h/l}$	C_1	C_c ($s/m^{1/2}$)	m_i/m	m_c/m_i	h_i/h	h_c/h	h'_i/h	h'_c/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

Buradan; h/R oranına göre C_i , C_c , m_i , m_c , h_i , h_c , h'_i , h'_c tablo yardımıyla belirlenmektedir.

Daha sonra buradan depo duvarlarının esnek olmasına göre yer ivmesi ifadesi;

$$a_g = \gamma_1 \cdot ag_R \quad (80)$$

Bağıntısıyla ifade edilebilir. Yer ivmesi hesabı yapılırsa γ_1 burada yapı önem katsayısı olarak alınır ve $\gamma_1=1,25$ olarak seçilebilir. Bağıntıdaki ivme hesabı birinci derece deprem bölgesi kabulü için;

$$ag_R=0,4g \quad (81)$$

olarak seçilebilir. Daha sonra belirlenmiş olan zemin sınıfı dikkate alınarak katsayılar buna göre belirlenir. a_g hesabı yapıldıktan sonra impuls periyodu hesabına geçilir.

Silindirik depolarda hesap yapılırken impuls periyodu;

$$T_{imp} = C_i \cdot \frac{\sqrt{\rho} \cdot H}{\sqrt{s/R} \cdot \sqrt{E}} \quad (82)$$

Salınım periyodu ise;

$$T_{con} = C_c \cdot \sqrt{R} \quad (83)$$

bağıntısıyla belirlenebilir.

Dikdörtgen kesitli depolarda hesap yapılırken ise impuls ve salınım periyodu hesabı; aşağıdaki bağıntılar yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

$$T_{imp} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{df}{g}} \quad (84)$$

$$T_{con} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{L}{g}}{\frac{\pi}{2} \cdot \tanh\left(\frac{\pi \cdot h}{2 \cdot l}\right)}} \quad (85)$$

Deprem etkisiyle oluşabilecek kesme kuvveti hesabı;

$$V = (m_i + m_w + m_r) \cdot S_e(T_{imp}) + m_c \cdot S_e(T_{con}) \quad (86)$$

Burada kesme kuvveti hesabında R_{wi} , R_{wc} deprem yükü azaltma katsayıları kullanılacaktır.

Depo duvarının kütle hesabı;

$$m_w = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H \cdot t_w \cdot \rho_c \quad (87)$$

bağıntısıyla,

Depo çatısı kütlesi hesabı;

$$m_r = \pi \cdot R^2 \cdot t_r \cdot \rho_c \quad (88)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

Periyod hesabına geçmeden önce Eurocode-8 de belirtilen periyod aralıkları aşağıda (89)-(90)-(91)-(92) nolu bağıntılarla verilmiştir. Burada periyoda uygun ivme hesabı yapılacaktır

Aşağıda Eurocode-8 Part. I den alınan değerler kullanılmıştır.

$$0 \leq T \leq T_B : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (89)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (90)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (91)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (92)$$

Periyoda göre $S_e(T)$ hesabını yapılması;

Tablo 5. Zemin sınıflarına göre Tip-1 elastik tepki spektrumuna göre katsayı değerleri

<i>Zemin Tipi</i>	<i>S</i>	<i>T_B(s)</i>	<i>T_C(s)</i>	<i>T_D(s)</i>
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

Tablo 6. Eurocode -8 e göre zemin sınıfları

Zemin Sınıfı	Açıklama	Parametreler		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} Batma /30cm	c_u (kPa)
A	Kayma dalgası hızı 800m/s den daha büyük en az 5m'lik kaya ya da kayaya benzer formasyonlar	>800	-	-
B	Mekanik özellikleri derinlikle artan en az birkaç on metre kalınlığında çok yoğun kum, çakıl veya rijit kil.	360–800	>50	>250
C	Kalınlığı birkaç on metreden yüzlerce metreye ulaşan yoğun veya ortalama yoğunlukta kum, çakıl veya rijit kil	180–360	15–50	70–250
D	Gevşek ya da ortalama kohezyonsuz zeminler (bir kısmı kohezyonlu zemin tabakası içerebilir) veya genelde gevşek olan fakat bir miktar sıkı kohezyonlu zemin içeren zeminler.	<180	<15	<70
E	Alüvyonlu tabaka içeren zeminler vs, $30 > 800$ m/s olan tabaka üzerinde C ve D sınıfı 5–20 m lik zemin tabakası olan zeminler.	-		
S ₁	10 m den daha düşük bir kalınlıkta ve plastisite indeksi yumuşak/kil/silt tabakası içeren plastisite indeksi(PI>40) ve su içeriği yüksek olan zeminler.	<100		10–20
S ₂	Özel killer, sıvılaşma potansiyeli olan zeminler veya diğer sınıflara girmeyen zeminler. A-E veya S ₁	-		

% 5 sönüm değerine göre

$\eta = 1$ olarak alınır.

(86) nolu eşitlik yardımıyla buradan depo duvarında kesme kuvveti hesabı yapılır. Eğilme momenti hesabını veren ifade;

$$M_b = (m_i \cdot h_i + m_w \cdot h_w + m_r \cdot h_r) \cdot S_e(T_{imp}) + m_c \cdot h_c \cdot S_e(T_{con}) \quad (93)$$

şeklinde yazılabilir.

Devirici moment hesabı ise;

$$M_o = (m_i \cdot h'_i + m_w \cdot h_w + m_r \cdot h_r) \cdot S_e(T_{imp}) + m_c \cdot h'_c \cdot S_e(T_{con}) \quad (94)$$

şeklinde ifade edilebilir.

1.5.2.2. Ayaklı Depolara Göre Çözüm Yapılması

Eurocode-8 standardında ayaklı depoların pratik uygulamaları ile ilgili olarak bir tanımlama yapılmamıştır. Ayaklı depolarda rijit bir ayak sisteminin olması uygulamada ekonomik olmayacaktır. Ayak sisteminin çerçeve sistem olarak alınması nedeniyle ayaklı depo esnek olarak kabul edilir. Bu durumda ayaklı depolara göre rijit bir çözüm yapılmayacaktır. Silindir yerüstü depolar için verilen formüller yardımıyla ayaklı depoların esnek olarak pratik uygulamaları yapılacaktır.

1.5.3. ACI 350'ye Göre Çözüm Yapılması

ACI-350 2003 yılında son şeklini almış ve günümüze kadar kullanılagelmiştir. ACI-350 de de diğer çözüm yöntemlerindeki gibi yer üstü ve ayaklı depoları yapı-zemin etkileşimine göre pratik uygulamaları incelenecektir.

ACI 350'ye göre hesapta sabitler g , E_c , ν , t_w seçilir.

Toplam sıvı kütlesi hesabı;

(51) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

Eğer geometrik şekil silindir ise toplam sıvı kütlesi ifadesi;

(52) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

Burada hesap yapılırken formüllerde “D” yerine “2l” konacaktır.

Dikdörtgen depoda impuls kütlesi hesabı;

$$\frac{m_i}{m_l} = \frac{\tanh\left[0,866\left(\frac{2b}{h}\right)\right]}{0,866\left(\frac{2b}{h}\right)} \quad (95)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

Salınım kütlesi hesabı ise;

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,264\left(\frac{2l}{h}\right) \cdot \tanh\left[3,16\left(\frac{h}{2l}\right)\right] \quad (96)$$

İfadesiyle hesaplanabilir.

Depoda;

$$\frac{2l}{h} > 1,333 \text{ ise}$$

İmpuls kuvveti etkime yüksekliği hesabı;

$$\frac{h_i}{h} = 0,375 \quad (97)$$

İfadesi yardımıyla yapılabilir.

$$\text{Eğer ; } \frac{2l}{h} < 1,333 \text{ ise}$$

İmpuls kuvveti etkime yüksekliği hesabı

$$\frac{h_i}{h} = 0,5 - 0,09375 \cdot \left(\frac{2l}{h}\right) \quad (98)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Tüm sıvı depoların salınım yüksekliklerinde ise aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,16 \cdot \left(\frac{h}{l} \right) \right] - 1}{3,16 \cdot \left(\frac{h}{l} \right) \cdot \sinh \left[3,16 \left(\frac{h}{l} \right) \right]} \quad (99)$$

Devirici moment hesabında kullanılacak impuls yüksekliği hesabı ise;

Depoda;

$$\frac{2l}{h} < 0,75 \text{ ise;}$$

$$\frac{h_i'}{h} = 0,45 \quad (100)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

$$\text{Eğer ; } \frac{2l}{h} \geq 0,75 \text{ ise;}$$

$$\frac{h_i'}{h} = \frac{0,866 \cdot \left(\frac{2l}{h} \right)}{2 \cdot \tanh \left[0,866 \cdot \left(\frac{2l}{l} \right) \right]} - \frac{1}{8} \quad (101)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

Devirici moment hesabı için etkili salınım yüksekliği hesabı;

$$\frac{h_c'}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,16 \cdot \left(\frac{h}{2l} \right) \right] - 2,01}{3,16 \cdot \left(\frac{h}{2l} \right) \cdot \sinh \left[3,16 \cdot \left(\frac{h}{2l} \right) \right]} \quad (102)$$

ifadesiyle yardımıyla hesaplanabilir.

İmpuls periyodu hesabı ise;

$$T_i = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (103)$$

şeklinde ifade edilebilir.

İmpuls periyodu hesabı yapabilmek için rijitlik hesabı;

$$k = \frac{E_c}{4 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{t_w}{h} \right)^3 \quad (104)$$

Burada formülde kullanılacak duvar kütlesi hesabı;;

$$m_w = H_w \cdot \frac{t_w}{10^3} \cdot \rho_c \quad (105)$$

ifadesiyle hesaplanabilir.

İmpuls kütlesi hesabı ise;

$$m_i = \frac{W_i}{W_L} \cdot \frac{2l}{2} \cdot h \cdot \rho_L \quad (106)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

Rijitlik ifadesinde kullanılacak “ h_z ” yüksekliği aşağıda (102) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$h_z = \frac{m_i \cdot h_i + m_w \cdot h_w}{m_i + m_w} \quad (107)$$

İmpuls periyodu hesabında kullanılacak açısal hız;

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (108)$$

şeklinde ifade edilebilir.

İmpuls periyodu hesabı;

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (109)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

Salınım periyodu hesabında kullanılacak λ hesabı;

$$\lambda = \sqrt{3,16 \cdot g \cdot \tanh \left[3,16 \cdot \left(\frac{h}{2l} \right) \right]} \quad (110)$$

İfadesi yardımıyla hesaplanabilir.

Salınım periyodu hesabı ise;

$$T_c = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \sqrt{2l} \quad (111)$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\sqrt{3,16 \cdot g \cdot \tanh \left[3,16 \cdot \left(\frac{h}{2l} \right) \right]}} \cdot \sqrt{2l} \quad (112)$$

şeklinde ifade edilebilir.

İmpuls periyodu değerine göre hidrodinamik kuvvet hesabında kullanılacak katsayılar

$T_i \leq 0,31$ s için

$$C_i = \frac{2,75}{S} \quad (113)$$

$T_i > 0,31$ s için

$$C_i = \frac{1,25}{T_i^{2/3}} \leq \frac{2,75}{S} \quad (114)$$

bağıntılarıyla ifade edilebilir.

Salınım periyodu değerine göre hidrodinamik kuvvet hesabında kullanılacak katsayı;

$T_c \geq 2,4$ s için

$$C_c = \frac{6}{T_c^2} \quad (115)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

C_c ve C_i periyoda bağlı olarak salınım moduna (% 0,5 sönüm için) ve impuls moduna (% 5 sönüm için) belirlenen spektral büyütme katsayılarını R_w davranış katsayısını ifade etmektedir.

Duvar yükü etkisiyle oluşacak hidrodinamik kuvvet hesabında kullanılan katsayı;

$$\varepsilon = \left[0,0151 \left(\frac{2l}{h} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{2l}{h} \right) + 1,021 \right] \quad (116)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

Duvar kütlesi (82) nolu bağıntı yardımıyla belirlenebilir.

Duvar yükü etkisiyle oluşacak hidrodinamik kuvvet;

$$P_w = Z \cdot S \cdot I \cdot \varepsilon \cdot \frac{m_w}{R_{wi}} \quad (117)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

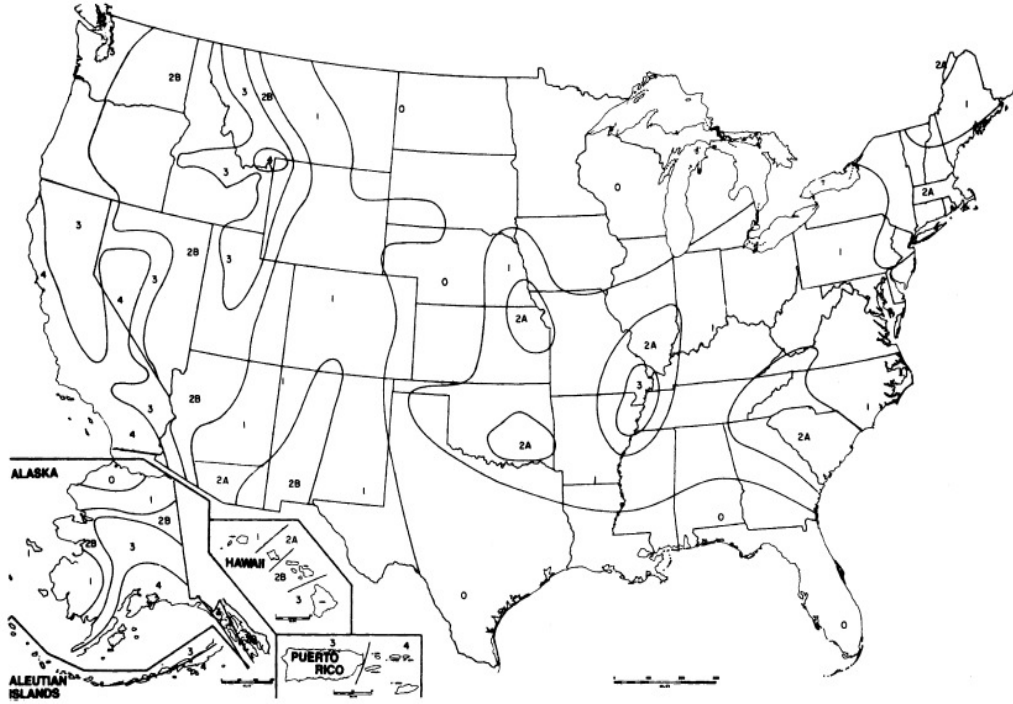
Hidrodinamik kuvvet hesabında kullanılan katsayılar Tablo-7, 8, 9, 10 yardımıyla seçilmektedir.

Tablo 7. Yapı önem katsayısı

Sıvı Deposu Tipi	Yapı Önem Faktörü, <i>I</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

Tablo 8. Sismik alan faktörü

Sismik Alan Adı	Sismik Alan Faktörü, <i>Z</i>
1	0,075
2A	0,15
2B	0,2
3	0,3
4	0,4



Şekil 29. Amerika Birleşik Devletleri sismik alan adlandırılması

Tablo 9. Zemin tipi katsayısı

Zemin Tipi	Açıklama	Zemin Katsayısı, S
A	İki tür zemin gurubunu içerir; a:Kaya gibi material olan ve kesme dalgası hızı 762,m/s den büyük olan zeminler veya b:orta yoğunlukta veya orta sertlikteki zemin şartlarını sağlayan ve derinliği 60960 mm den az olan zeminler	1,0
B	Orta yoğunlukta veya orta sertlikte toprak koşullarında toprağın derinliğinin 60960 mm aştığı yerlerde bir zemin tipi	1,2
C	6096 mm den fazla Orta sertlikte kil içeren fakat 12192 mm yi aşmayan zemin tipi	1,5
D	152,4 m/s den daha az kesme dalgası hızıyla karakterize edilmiş 12192 mm den yumuşak kil içeren zemin tipi	2,0

Tablo 10. Depo tipine göre spektral davranış katsayısı

Yapı Tipi	R_{wi} üstünde veya zemin yüzeyinde	Zemine gömülü	R_{wc}
Ankrajlı veya esnek tabanlı depolar	4,5	4,5	1,0
Sabitlenmiş veya tabanı mafsalı depolar	2,75	4,00	1,0
Ankrajsız, dolu veya boş depolar	2,0	2,75	1,0
Ayaklı Depolar	3,0	-	1,0

Temel kütlesi hesabı;

$$m_f = 2b \cdot 2l \cdot t_f \cdot \rho_c \quad (118)$$

Çatı kütlesi etkisiyle meydana gelen kuvvet hesabı;

$$P_r = Z \cdot S \cdot I \cdot C_i \cdot \frac{m_r}{R_{wi}} \quad (119)$$

İmpuls etkisiyle oluşan kuvvet hesabı;

$$P_i = Z \cdot S \cdot I \cdot C_i \cdot \frac{m_i}{R_{wi}} \quad (120)$$

Salınım etkisiyle oluşan kuvvet hesabı;

$$P_c = Z \cdot S \cdot I \cdot C_c \cdot \frac{m_c}{R_{wc}} \quad (121)$$

Yapıya gelen toplam kesme kuvveti hesabı;

$$V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2} \quad (122)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Duvara etki eden yük etkisiyle oluşan moment hesabı;

$$M_w = P_w \cdot h_w \quad (123)$$

Çatı kütlesi etkisiyle oluşan moment hesabı;

$$M_r = P_r \cdot h_r \quad (124)$$

İmpuls kütlelerinden meydana gelen moment hesabı;

$$M_i = P_i \cdot h_i \quad (125)$$

Salınım kütlelerinden meydana gelen moment hesabı;;

$$M_c = P_c \cdot h_c \quad (126)$$

bağıntılarıyla ifade edilebilir.

Sıvı deposuna deprem esnasında etkiyen eğilme momenti hesabı;

$$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2} \quad (127)$$

ifadesi yardımıyla hesaplanabilir.

Depo tabanına etkiyen devirici moment hesabı;

$$M_o = \sqrt{(M_i' + M_w + M_r)^2 + M_c'^2} \quad (128)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

Salınım etkisi sonucu oluşabilecek maksimum dalga yüksekliği hesabı;

$$d_{max} = \left(\frac{2l}{2}\right) \cdot (Z \cdot S \cdot I \cdot C_c) \quad (129)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Burada silindir depolarda “2L” yerine “D” çap ifadesi konarak hesaplar yapılmıştır.

İmpuls periyodu hesabı;

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} \quad (130)$$

Şeklinde ifade edilebilir ancak açısal hız ifadesi aşağıda (131) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$\omega_i = C_i \cdot \frac{1}{h} \sqrt{\frac{10^3 \cdot E_c}{\rho_c}} \quad (131)$$

Açısal hız ifadesinde bulunan C_i ifadesi aşağıda (132) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$C_t = C_w \cdot \sqrt{\frac{t_w}{10 \cdot R}} \quad (132)$$

C_t katsayısında kullanılan C_w ifadesi (125) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$C_w = 9,375 \cdot 10^{-2} + 0,2039 \left(\frac{h}{D}\right) - 0,1034 \left(\frac{h}{D}\right)^2 - 0,1253 \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^3 + 0,1267 \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^4 + 3,186 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^5 \quad (133)$$

Devirici moment hesabında kullanılan impuls momenti

$$M_i' = P_i \cdot h_i' \quad (134)$$

Devirici moment hesabında kullanılan salınım momenti

$$M_c' = P_c \cdot h_c' \quad (135)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Ayaklı depolarda dikkate alınan temel kuvveti hesabı

$$P_f = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot t_f \cdot \rho_c \quad (136)$$

İfadesiyle hesaplanabilir.

Ayaklı depolarda ayak kütesinden oluşan kuvvet ise;

$$P_{ss} = Z \cdot S \cdot I \cdot C_i \cdot \frac{m_{ss}}{R_{wi}} \quad (137)$$

ifadesiyle hesaplanabilir.

Ayaklı depolarda temel kuvvetiyle oluşan moment hesabı;

$$M_f = P_f \cdot (h_f + h_{ss}) \quad (138)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Ayak sistemin etkisiyle oluşan ayak momenti

$$M_{ss} = P_{ss} \cdot h_{ss} \quad (139)$$

olarak ifade edilebilir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yerüstü ve ayaklı depolara ait sayısal örnekler çözülecektir. Yapılacak pratik uygulamalarda Housner yöntemiyle yerüstü depolarda rijit çözüm, Eurocode-8 e göre rijit ve esnek çözüm, ACI-350 ye göre ise sadece esnek çözüm yapılacaktır.

Yapı sıvı etkileşiminin dikkate alındığı sayısal örneklerde Eurocode-8 e göre yapılan esnek çözümlerde SAP 2000 programından yararlanılmıştır.

2.1. Yerüstü Sıvı Depoları İçin Sayısal Uygulamalar

Bu bölümde yerüstü sıvı depoları ile ilgili olarak yapılacak sayısal uygulamalar verilecektir. Bu bölümde rijit, esnek kabule göre çözüm yapılacaktır.

2.1.1. Dikdörtgen Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar

Bu bölümde yapılacak çalışmalarda dikdörtgen sıvı depoları boyutlarına göre sığ ve derin yapılan kabullere göre ise esnek ve rijit olarak sınıflandırılarak deprem hesapları yapılacaktır. Yapılacak deprem analizleri üç ayrı yöntemle değerlendirilecektir.

2.1.1.1. Sığ Dikdörtgen Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar

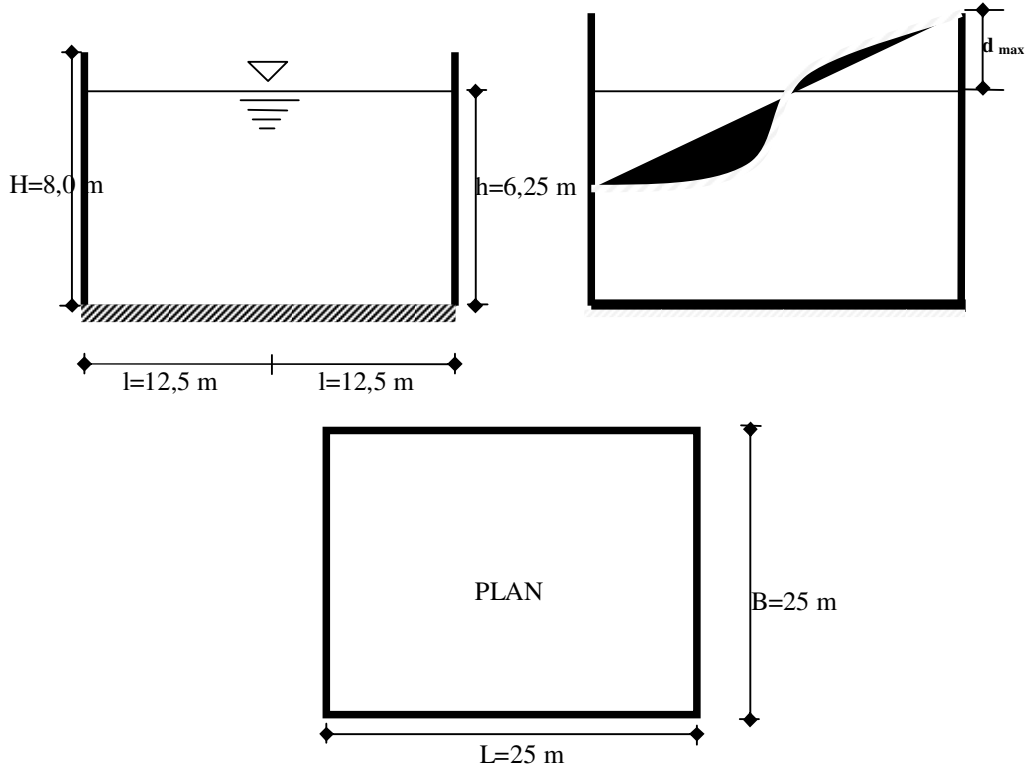
Sığ dikdörtgen sıvı depolarının deprem hesabında sıvı depoları farklı üç yöntemle çözümlenirken esnek ve rijit olarak ayrı ayrı hesapları yapılacaktır.

2.1.1.1.1. Rijit Kabule Göre Sayısal Uygulamalar

Rijit kabule göre yapılacak çözümlerde iki farklı yöntem kullanılacaktır. Rijit duvar kabulüne göre klasik yöntem Housner ve Eurocode-8 standardı kullanılacaktır.

2.1.1.1.1.1. Housner Yöntemine Göre Deprem Hesabı

Aşağıda Şekil 30 da verilen plan, kesite göre, boyutları verilen sıvı deposu Housner metoduna göre çözülecektir. Yapılan hesaplar, rijit duvar kabulüyle aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 30. Sığ dikdörtgen bir sıvı deposunun plan ve kesiti

Verilen parametreler:

$$h = 6,25 \text{ m}$$

$$l = 12,5 \text{ m}$$

$$b = 12,5 \text{ m}$$

$$\gamma_l = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{max} = 0,4g \text{ m/sn}^2$$

$$S_a = 0,79$$

Dikdörtgen sıvı deposunda toplam kütle hesabı, (27) nolu bağıntı yardımıyla

$$m_l = 4 \cdot 12,5 \cdot 12,5 \cdot 6,25 \cdot 1000 = 3906250 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi hesabı, (29) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_i = \frac{6,25}{1,732 \cdot 12,5} \cdot \tanh\left(1,732 \cdot \frac{12,5}{6,25}\right) \cdot 3906250 = 1125462,346 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Salınım kütesinin hesabı, (30) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_c = 0,527 \cdot \frac{12,5}{6,25} \cdot \tanh\left(1,581 \cdot \frac{6,25}{12,5}\right) \cdot 3906250 = 2711959,257 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütesi için dikkate alınacak yükseklik hesabı, (32) nolu bağıntıdaki veriler yerine konursa impuls yüksekliği;

$$h_i = \frac{3}{8} \cdot 6,25 = 2,34375 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Salınım kütesi için dikkate alınacak yükseklik hesabı (33) nolu bağıntı yerine konulursa;

$$h_c = \left(1 - \frac{\cosh\left(1,581 \cdot \frac{6,25}{12,5}\right) - 1}{1,581 \cdot \frac{6,25}{12,5} \cdot \sinh\left(1,581 \cdot \frac{6,25}{12,5}\right)}\right) \cdot 6,25 = 3,27816761 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment için etkili olan impuls yüksekliği hesabı, (34) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_i' = \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1,732 \cdot \frac{12,5}{6,25}}{\tanh\left(1,732 \cdot \frac{12,5}{6,25}\right)} - \frac{1}{8}\right) \cdot 6,25 = 10,06496892 \text{ m olarak hesaplanabilir.}$$

Devirici moment için etkili olan salınım yüksekliği hesabı ise (35) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_c' = \left(1 - \frac{\cosh\left(1,581 \cdot \frac{6,25}{12,5}\right) - 2}{1,581 \cdot \frac{6,25}{12,5} \cdot \sinh\left(1,581 \cdot \frac{6,25}{12,5}\right)} \right) \cdot 6,25 = 12,30949613 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Maksimum zemin ivmesi hesabı;

$$a_{max} = 0,4 \cdot 9,81 \cdot 1,25 = 4,905 \text{ m/sn}^2 \text{ şeklinde hesaplanabilir.}$$

Depoya etki eden impuls kuvveti hesabı için (39) nolu bağıntıdan işlemin sonucu;

$$P_i = 1125462,346 \cdot 4,905 = 5520,3987 \text{ kN olarak hesaplanabilir.}$$

Deprem hesabı yapılan sayısal örnekte rijit kabule çözüm yapıldığı için deprem yükü azaltma katsayısı kullanılmamıştır.

Depoya etki eden salınım kuvvetini hesabı (40) nolu denklem yardımıyla;

$$P_c = 2711959,257 \cdot 0,79 = 2142,44781 \text{ kN olarak hesaplanır}$$

Depoya etki eden eğilme momenti hesabı, (41) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_b = 5520,3987 \cdot 2,34375 + 2142,44781 \cdot 3,278167612 = 19961,7375 \text{ kN. m olarak}$$

hesaplanabilir.

Depoya etki eden devirici moment hesabı, (42) nolu bağıntı ile;

$$M_o = 5520,3987 \cdot 10,06498692 + 2142,44781 \cdot 12,309496 = 81935,19346 \text{ kN. m olarak}$$

hesaplanabilir.

Suyun serbest yüzeyden maksimum yükselmesi (56) nolu bağıntı ile;

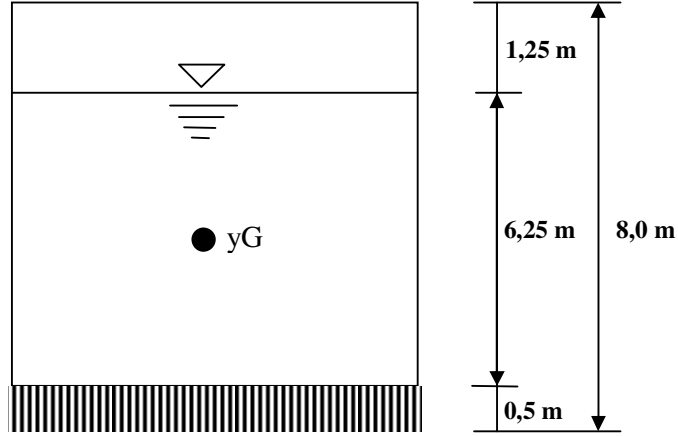
$$d_{max} = \frac{0,833 \cdot \left(\frac{0,79}{9,81}\right) \cdot 12,5}{1 - 1,581 \cdot \left(\frac{0,79}{9,81}\right) \cdot \tanh\left(1,581 \cdot \frac{6,25}{12,5}\right)} = 0,9152776656 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Deprem hesabında kontrol amaçlı koruyucu moment hesabı için;

Koruyucu moment hesabı yapabilmek için depo ayrıtlarının bilinmesi gereklidir.

Burada sıvı ve deposunun ağırlığının hesabı; $Mt=m_l+m_{depo}$

Burada depoya ait yukarıdaki şekilde



Şekil 31. Sığ dikdörtgen sıvı deposunun ağırlık merkezi

Sayısal uygulamada verilen depoya ait ayrıtlar;

Depo duvar kalınlığı $t_w=0,5$ m

Depo temel kalınlığı $t_f=0,5$ m

Depo kapak kalınlığı $t_r=0,2$ m

olarak seçilirse, depo içerisinde bulunan sıvı kütlesi (27) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$m_l = 3906250$ kg olarak hesaplanır.

Duvar kütlesi hesabı(58) nolu bağıntıdan

$m_w = (2 \cdot 25 + 2 \cdot 25) \cdot 8 \cdot 0,5 \cdot 2400 = 960000$ kg olarak hesaplanabilir.

Depo kapağı kütlesi hesabı, (59) nolu bağıntıdan;

$$m_r = 25 \cdot 25 \cdot 0,2 \cdot 2400 = 300000 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Depo temel kütlesi hesabı ise, (60) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_f = 25 \cdot 25 \cdot 0,5 \cdot 2400 = 750000 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Ağırlık merkezi hesabı, (61) nolu bağıntı yardımıyla;

$$y_G = \frac{38320,3125 \cdot 3,625 + 9417,6 \cdot 4,5 + 7357,5 \cdot 0,25 + 2943 \cdot 8,6}{38320,3125 + 9417,6 + 7357,5 + 2943} = 3,5914 \text{ m olarak}$$

hesaplanır.

Koruyucu moment hesabı (62) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_k = 58038,4125 \cdot 3,59140 = 208435,9164 \text{ kN. m olarak hesaplanabilir.}$$

2.1.1.1.1.2. Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı

Şekil 30 da verilen sığ dikdörtgen sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıdaki sayısal uygulamalar yapılacaktır.

$$\gamma = h / l = 6,25 / 12,5 = 0,5$$

Eurocode 8 Part-IV de verilen doğal titreşim Periyodu hesabında kullanılan C_i ve C_c katsayıları, impuls (m_i), ve salınım (m_c) kütlelerinin oranları ve sırasıyla tabandan olan yükseklikleri (h_i , h_c) ve taban basıncını hesaba katmak için kullanılan sanal yükseklikleri (h_i' , h_c') ifade edilmektedir.

Tablo 4 ten alınan değerler aşağıda gösterilmiştir.

h/l	C_i	C_c	m_i/m_l	m_c/m_l	h_i/h	h_c/h	h_i'/h	h_c'/h
0,5	7,74	1,74	0,3	0,7	0,4	0,543	1,46	1,517

Buna göre yapılan hesaplamalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Toplam sıvı kütlesi hesabı, (27) nolu bağıntı yardımıyla

$$m_l = 4 \cdot 12,5 \cdot 12,5 \cdot 6,25 \cdot 1000 = 3906250 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Tablo 4 yardımıyla, impuls kütlesi hesabı;

$$\frac{m_i}{m_l} = 0,3$$

$$m_i = 1171875 \text{ kg olarak}$$

hesaplanır.

Salınım kütlesi hesabı

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,7$$

$$m_c = 2734375 \text{ kg olarak}$$

hesaplanabilir.

İmpuls kütlesi etkili yükseklik hesabı;

$$\frac{h_i}{h} = 0,4$$

$$h_i = 2,5 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Salınım kütlesi için etkili yükseklik hesabı

$$\frac{h_c}{h} = 0,543$$

$$h_c = 3,39375 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Devirici moment hesabında kullanılan etkili impuls yüksekliği hesabı;

$$\frac{h_i'}{h} = 1,46$$

$$h_i' = 9,125 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Devirici moment hesabında kullanılan etkili salınım yüksekliği hesabı;

$$\frac{h_c'}{h} = 1,517 \quad h_c' = 9,48125 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Burada depo rijit kabule göre çözümlendiği için zemin ivmesi olarak kullanılacak “ a_g ” direkt sıvı deposunun impuls ivmesi olarak kullanılabilir. Zira depo rijit olara kabul edildiği için sıvı deposu deprem esnasında zeminin hareketini taklit edecektir.

1. Deprem bölgesi kabulüne göre $a_{gR} = 0,4g$ olarak alınabilir.(80) nolu bağıntı yardımıyla zemin ivmesi;

$$a_g = 1,25 \cdot 0,4g$$

$$a_g = 4,905 \text{ m/sn}^2 \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

Salınım periyodu (85) nolu bağıntı yardımıyla;

$$T_{con} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{12,5 / 9,81}{\frac{\pi}{2} \tanh \left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{6,25}{12,5} \right]}} = 6,988 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

m_w =Depo duvar kütlesi

m_r =Depo çatı kütlesi

Duvar kütlesi hesabı, daha önce de verilen (58) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_w = (25 \cdot 8 \cdot 2 + 25 \cdot 8 \cdot 2) \cdot 0,5 \cdot 2400 = 960000 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Duvar kapak kütlesi hesabı ise (59) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_r = B \cdot H \cdot s \cdot \gamma_c = 25 \cdot 25 \cdot 0,2 \cdot 2400 = 300000 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

İvme hesabı yapılan

$$\gamma \geq 1,0 \quad = 1,25 \text{ olarak alınırsa } a_{gR} = 0,4g, \quad a_{gR} = 3,924$$

$$a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 4,905 \quad S = 1,2 \text{ olursa}$$

% 5 sönüm değerine göre salınım ivmesi; (92) nolu bağıntı yardımıyla;

$$S_e(T_{con}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{0,5 \cdot 2,0}{6,988} \right] = 0,301338397$$

olarak hesaplanabilir.

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (86) nolu bağıntı yardımıyla;

$$V = (1171875) \cdot 4,905 + 2734375 \cdot 0,301339387$$

$$V = 6572,021761 \text{ kN olarak hesaplanabilir.}$$

Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momenti hesabı, (93) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_b = (1171875 \cdot 2,5) \cdot 4,905 + 2734375 \cdot 3,39375 \cdot 0,301339387$$

$$M_b = 17166,482 \text{ kN. m olarak hesaplanabilir.}$$

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment hesabı, (94) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_o = (1171875 \cdot 9,125) \cdot 4,905 + 2734375 \cdot 9,48125 \cdot 0,301338$$

$$M_o = 91017,58963 \text{ kN. m olarak hesaplanabilir.}$$

2.1.1.1.2. Esnek Kabule Göre Sayısal Uygulamaları

Bu bölümde sığ dikdörtgen sıvı depoları esnek duvar kabulüne göre deprem hesabı yapılacaktır. Burada Avrupa Topluluğu Standardı Eurocode-8 ve Amerika Birleşik Devletleri Standardı ACI 350 ye göre deprem analizi yapılacaktır.

2.1.1.1.2.1. Eurocode-8 e Göre Deprem Hesabı

Şekil 30 da verilen sığ dikdörtgen sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıda sayısal uygulamalar yapılacaktır,

$$\gamma = h / l = 6,25 / 12,5 = 0,5$$

Eurocode 8 Part-IV de verilen doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan C_i ve C_c katsayıları, impuls (m_i), ve salınım (m_c) kütlelerinin oranları ve sırasıyla tabandan olan yükseklikleri(h_i , h_c) ve taban basıncını hesaba katmak için kullanılan sanal yükseklikleri (h'_i , h'_c) şeklinde ifade edilebilir.

Tablo 4 ten elde edilen değerler aşağıda gösterilmiştir.

h/l	C_i	C_c	m_i/m_l	m_c/m_l	h_i/h	h_c/h	h'_i/h	h'_c/h
0,5	7,74	1,74	0,3	0,7	0,4	0,543	1,46	1,517

Buna göre yapılan hesaplamalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Toplam sıvı kütlesi, (27) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_l = 4 \cdot 12,5 \cdot 12,5 \cdot 6,25 \cdot 1000 = 3906250 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Tablo 4' ten yararlanılarak, impuls kütlesi hesabı;

$$\frac{m_i}{m_l} = 0,3$$

$$m_i = 1171875 \text{ kg olarak}$$

hesaplanabilir.

Salınım kütlesi hesabı;

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,7$$

$$m_c = 2734375 \text{ kg olarak}$$

hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılan olan impuls kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_i}{h} = 0,4$$

$$h_i = 2,5 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Eğilme momenti hesabında kullanılan olan salınım kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_c}{h} = 0,543$$

$$h_c = 3,39375 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Devirici moment hesabında kullanılan olan impuls kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_i'}{h} = 1,46$$

$$h_i' = 9,125 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Devirici moment hesabında kullanılan olan salınım kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_c'}{h} = 1,517$$

$$h_c' = 9,48125 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Burada depo esnek olduğu için ilk olarak impuls periyodu hesabı yapılabilir.

Eurocode-8 de belirtilen $m_i \cdot g/4 \cdot B \cdot H$ yayılı yük olarak yüklenerek SAP 2000 programında modellenmiştir. Sıvı deposunda impuls yüksekliğinde meydana gelen deplasman $d_f=0,0681$ m olarak hesaplanmıştır.

İmpuls periyodu (84) nolu bağıntı yardımıyla;

$$T_{imp} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{0,0681}{9,81}} = 0,52350 \text{ sn olarak hesaplanabilir.}$$

1. Deprem bölgesi kabulüne göre zemin ivmesi için katsayı $a_{gR}=0,4g$ olarak alınabilir.

Zemin ivmesi (80) nolu bağıntı yardımıyla;

$$a_g = 1,25 \cdot 0,4g$$

$a_g=4,905 \text{ m/sn}^2$ olarak hesaplanabilir.

Salınım periyodu (85) nolu bağıntı yardımıyla;

$$T_{con} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l/g}{\frac{\pi}{2} \tanh\left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{h}{L}\right]}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{12,5/9,81}{\frac{\pi}{2} \tanh\left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{6,25}{12,5}\right]}} = 6,988 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

m_w =Depo duvar kütlesi

m_r =Depo çatı kütlesi

Duvar kütlesi hesabı, (58) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_w = (25 \cdot 8 \cdot 2 + 25 \cdot 8 \cdot 2) \cdot 0,5 \cdot 2400 = 960000 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Kapak kütlesi hesabı, (59) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_r = 25 \cdot 25 \cdot 0,2 \cdot 2400 = 300000 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Zemin ivmesi daha önce de yapılan (80) nolu bağıntı yardımıyla;

$$Y_I \geq 1,0 \quad = 1,25 \text{ olarak alınırsa } a_{gR}=0,4g, \quad a_{gR}=3,924$$

$a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 4,905$ olarak hesaplanabilir.

$S=1,2$ olursa % 5 sönüm değerine göre impuls ivmesi hesabı (91) nolu bağıntı yardımıyla;

$$S_e(T_{imp}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{0,5}{0,52} \right] = 14,0544$$

olarak hesaplanabilir.

Salınım ivmesi hesabı, (92) nolu bağıntı yardımıyla;

$$S_e(T_{con}) = 2,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{0,5 \cdot 2}{6,988^2} \right] = 0,301333971$$

olarak hesaplanabilir.

$$h_w = 4 \text{ m}$$

$$h_f = 8,1 \text{ m}$$

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı, (86) nolu bağıntı yardımıyla;

$$V = (1171875 + 960000 + 300000) \cdot 14,0544 + 2734375 \cdot 0,301333987$$

$V = 13252,53634 \text{ kN}$ olarak hesaplanabilir.

Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momenti hesabı, (93) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_b = (1171875 \cdot 2,5 + 960000 \cdot 4 + 300000 \cdot 8,1) \cdot 14,0544 \\ + 2734375 \cdot 3,39375 \cdot 0,301333$$

$M_b = 49813,1243$ kN. m olarak hesaplanabilir.

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment hesabı, (94) nolu bağıntı ile;

$$M_o = (1171875 \cdot 9,125 + 960000 \cdot 4 + 300000 \cdot 8,1) \cdot 14,0544$$

$$+2734375 \cdot 9,48125 \cdot 0,301333$$

$M_o = 94504,797$ kN. m olarak hesaplanabilir.

2.1.1.1.2.2. ACI 350'ye Göre Deprem Hesabı

Şekil 30 da verilen sığ dikdörtgen sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıda sayısal uygulamalar yapılacaktır.

Verilen parametreler;

$$g=9,81 \text{ m/sn}^2 \quad E_c=21 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \quad \nu = 0,17 \quad t_w=0,5 \text{ m olarak alınır.}$$

Toplam sıvı kütlesi hesabı; (27) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_l = 25 \cdot 25 \cdot 6,25 \cdot 1000 = 3906250 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi hesabı, (95) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{m_i}{m_l} = \frac{\tanh\left[0,866\left(\frac{25}{6,25}\right)\right]}{0,866\left(\frac{25}{6,25}\right)} = 0,2881183$$

$$m_i = 1125462,34 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Salınım kütlesi hesabı (96) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,264 \left(\frac{25}{6,25} \right) \cdot \tanh \left[3,16 \left(\frac{6,25}{25} \right) \right] = 0,6952799$$

$m_c = 2715937,273$ kg olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (97) nolu bağıntı ile;

$h_i = 2,34375$ m olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği (99) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,16 \left(\frac{6,25}{25} \right) \right] - 1}{3,16 \left(\frac{6,25}{25} \right) \cdot \sinh \left[3,16 \left(\frac{6,25}{25} \right) \right]} = 0,5244776$$

$h_c = 3,278$ m olarak hesaplanır.

Devirici moment hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (101) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{h_i'}{h} = \frac{0,866 \left(\frac{25}{6,25} \right)}{2 \cdot \tanh \left[0,866 \left(\frac{25}{6,25} \right) \right]} - \frac{1}{8} = 1,610 \text{ olarak hesaplanır.}$$

$h_i' = 10,065$ m olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği (102) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{h_c'}{h} = 1 - \frac{\cosh\left[3,16\left(\frac{6,25}{25}\right)\right] - 2,01}{3,16 \cdot \left(\frac{6,25}{25}\right) \cdot \sinh\left[3,16\left(\frac{6,25}{25}\right)\right]} = 1,98597$$

$h_c' = 12,412$ m olarak hesaplanır

İmpuls periyodu hesabı yapabilmek için sıvı deposunun rijitlik hesabı (104) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

Rijitlik hesabında kullanılan “ h_z ” yüksekliği hesabı (107) nolu denklem yardımıyla hesaplanabilir.

Depo impuls ve duvar kütlesi hesabı, (105) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_w = 8 \cdot \frac{500}{10^3} \cdot 2,4 = 9,6 \text{ kN} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \text{ olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi hesabı ise (106) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_i = \frac{1125462,34}{3906250} \cdot \frac{25}{2} \cdot 6,25 \cdot 1 = 22,5092 \text{ kN} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \text{ olarak hesaplanır.}$$

İmpuls ivmesi hesabında kullanılacak yükseklik hesabı ise (107) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_z = \frac{22,5092 \cdot 2,34375 + 9,6 \cdot 4}{22,5092 + 9,6} = 2,839 \text{ m olarak hesaplanabilir.}$$

Sıvı deposunun rijitlik hesabı (104) nolu bağıntı yardımıyla;

$$k = \frac{21 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{500}{2,839}\right)^3 = 28679,6034 \text{ kN/m olarak hesaplanır.}$$

Toplam kütle hesabı ise;

$$m = m_i + m_w = 22,5092 + 9,6 = 32,1092 \text{ kN} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \text{ olarak hesaplanır.}$$

İmpuls periyodu, (109) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_i = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{32,1092}{28679,6034}} = 0,210 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Salınım periyodu hesabı (112) nolu bağıntı yardımıyla;

$$T_c = \frac{2\pi}{\sqrt{3,16 \cdot 9,81 \cdot \tanh\left[3,16\left(\frac{6,25}{25}\right)\right]}} \cdot \sqrt{25} = 6,954 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

İmpuls periyoduna göre ACI 350 den seçilen eşitliğe göre C_i katsayısı; (113) nolu bağıntı yardımıyla;

$$C_i = \frac{2,75}{1,2} = 2,29166 \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

Salınım periyoduna göre salınım kuvveti hesabında kullanılacak C_c katsayısı hesabı; (115) nolu bağıntı yardımıyla;

$$C_c = \frac{6}{T_c^2} = \frac{6}{6,954^2} = 0,12407 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Burada ACI 350 de verilen tablolardan aşağıdaki değerler alınabilir;

Z Sismik alan faktörünü

I Bina önem katsayısını

S Zemin sınıfını karakterize eden bir katsayıyı

C_c ve C_i periyoda bağlı olarak salınım moduna (% 0,5 sönüm için) ve impuls moduna (% 5 sönüm için) belirlenen spektral büyütme katsayılarını R_w davranış katsayısını ifade etmektedir.

Aşağıda yapılacak işlemlerde kullanılacak değerler verilmiştir.

$$Z=0,4$$

$$I=1,25$$

$$S=1,2$$

$$R_{wi}=2,75$$

$R_{wc}=1,0$ olarak dikkate alınmıştır.

Duvar yükü etkisiyle oluşacak kuvvet hesabında kullanılan ε katsayısı hesabı; (116) nolu bağıntı ile;

$$\varepsilon = \left[0,0151 \left(\frac{25}{6,25} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{25}{6,25} \right) + 1,021 \right] = 0,4994 \leq 1,00 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Duvar kütlesi etkisi ile oluşun kuvvet hesabı (117) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$P_w = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,29166 \cdot 0,4994 \cdot \frac{9417,6}{2,75} = 2351,5678 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Depo kapak kütlesi hesabı (59) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$m_r = 25 \cdot 25 \cdot 0,2 \cdot 2400 = 300000 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Kapak ağırlığından oluşun çatı kütlesi, (119) nolu bağıntı yardımıyla;

$$P_r = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,29166 \cdot \frac{2943}{2,75} = 1471,496 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kuvveti (120) nolu bağıntı yardımıyla;

$$P_i = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,29166 \cdot \frac{11040,78561}{2,75} = 5520,3767 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Salınım kütlesi (121) nolu bağıntı ile

$$P_c = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,124074 \cdot \frac{26643,34465}{1,00} = 1983,448 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (122) nolu bağıntı yardımıyla;

$$V = \sqrt{(5520,3767 + 2351,568 + 1471,496)^2 + (1983,448)^2} = 9551,64645 \text{ kN olarak}$$

hesaplanır.

Duvar kütesinden meydana gelen duvar momenti hesabı (123) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_w = 2351,568 \cdot 4 = 9406,272 \text{ kN.m olarak hesaplanır.}$$

Çatı kütesinden meydana gelen çatı momenti (124) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_r = 1471,496 \cdot 8,1 = 11919,1176 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momenti (125) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_i = 5520,3767 \cdot 2,34375 = 12938,381 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Salınım kuvvetinden oluşan salınım momenti (126) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_c = 1983,448 \cdot 3,278 = 6501,74254 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Eğilme momenti (127) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_b = \sqrt{(12938,381 + 9406,272 + 11919,1176)^2 + (6501,74254)^2}$$

$$M_b = 34875,1864 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Temel seviyesi altında meydana gelen ve temel ile taşıyıcı sistemi de içeren devirici moment (134)-(135) nolu bağıntılar yardımıyla

$$M_i = 5520,3767 \cdot 10,065 = 55562,594 \text{ kN. m olarak hesaplanır}$$

$$M_c' = 1983,448 \cdot 12,412 = 24618,55658 \text{ kN. m olarak hesaplanır}$$

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment (128) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_o = \sqrt{(55562,584 + 9406,272 + 11919,1176)^2 + (24618,5568^2)}$$

$$M_o = 80733,1024 \text{ kN. m olarak hesaplanır}$$

Maksimum oluşabilecek dalga yüksekliği (129) nolu bağıntı yardımıyla;

$$d_{max} = \left(\frac{25}{2}\right) \cdot (0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,124074) = 0,93055 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

2.1.1.2. Derin Dikdörtgen Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar

Derin dikdörtgen sıvı depoları için yapılacak sayısal uygulamalar sığ dikdörtgen depolarda olduğu gibi yapılacaktır. Burada derin depolar; rijit ve esnek kabule göre değişik yöntemlerle incelenecektir.

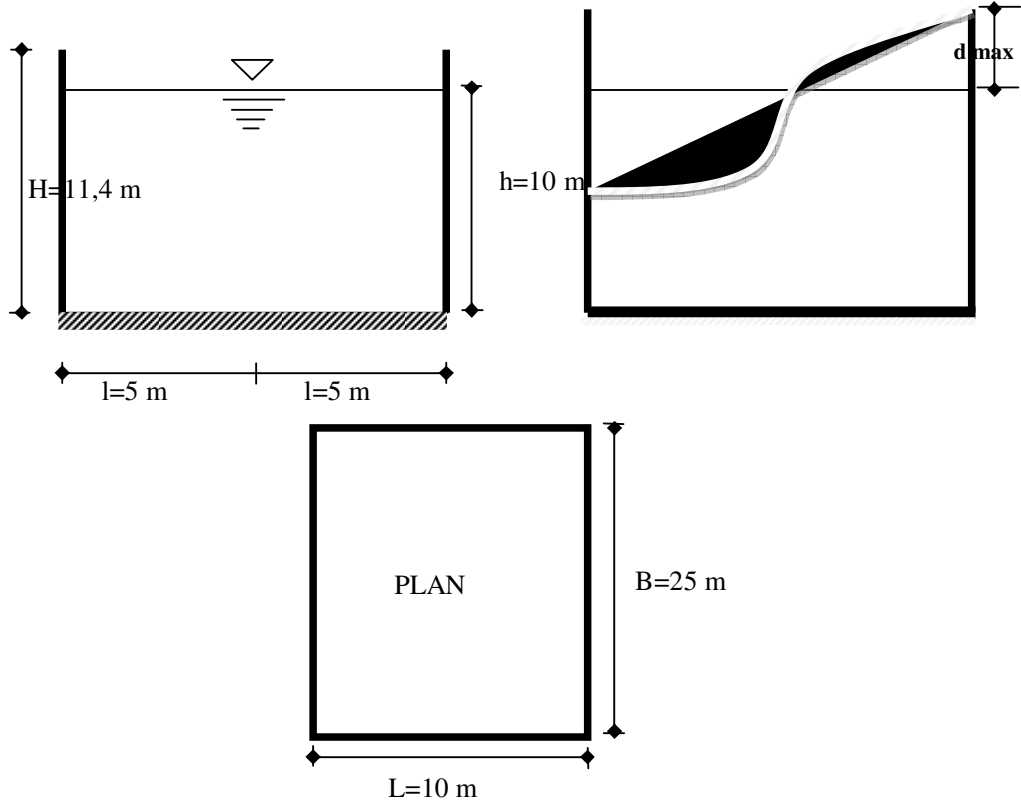
2.1.1.2.1. Rijit Kabule Göre Sayısal Uygulamalar

Rijit kabule göre derin dikdörtgen sıvı depoları sığ depolarda olduğu gibi sıvı farklı yönetmeliklere göre deprem hesabı yapılacaktır.

2.1.1.2.1.1. Housner Yöntemine Göre Deprem Hesabı

Aşağıda Şekil 32 de verilen plan, kesite göre, boyutları verilen sıvı deposu housner metoduna göre çözülecektir. Yapılacak hesaplar rijit duvar kabulüne göre aşağıda

belirtilmiştir.



Şekil 32. Derin dikdörtgen bir sıvı deposunun plan ve kesiti

Verilen parametreler;

$$h = 10\text{ m}$$

$$l = 5\text{ m}$$

$$b = 12,5\text{ m}$$

$$\rho = 1000$$

$$g = 9,81$$

$$a_{\text{max}} = 0,4g$$

$$S_a = 0,79$$

Toplam kütle (27) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_l = 4 \cdot 5 \cdot 12,5 \cdot 10 \cdot 1000 = 2500000\text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi (43) nolu ifade kullanılarak;

$$m_i = \frac{1,064 \cdot 5}{10} \cdot 2500000 = 1330000 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Salınım kütlesi (44) nolu denklem kullanılarak;

$$m_c = \frac{0,518 \cdot 5}{10} \cdot 2500000 = 647500 \text{ kg olarak hesaplanır}$$

Atıl kütle (46) nolu bağıntıdan yararlanılarak;

$$m_a = \left(1 - \frac{3 \cdot 5}{2 \cdot 10}\right) \cdot 2500000 = 625000 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi için dikkate alınacak yükseklik hesabı (47) nolu denklemden impuls kütlesi;

$$h_i = \left(1 - \frac{15 \cdot 5}{16 \cdot 10}\right) \cdot 10 = 5,3125 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Salınım kütlesi için dikkate alınacak yükseklik (48) nolu ifadede;

$$h_c = \left(1 - \frac{0,525 \cdot 5}{10}\right) \cdot 10 = 7,375 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Atıl kütle için dikkate alınacak yükseklik (50) nolu bağıntıdan;

$$h_a = \left(\frac{1}{2} - \frac{3 \cdot 5}{4 \cdot 10}\right) \cdot 10 = 1,25 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment için etkili olan impuls yüksekliği (51) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_i' = \left(1 - \frac{0,63 \cdot 5}{10}\right) \cdot 10 = 6,85 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment için etkili olan salınım yüksekliği (52) nolu bağıntıdan

$$h'_c = \left(1 - \frac{0,405 \cdot 5}{10}\right) \cdot 10 = 7,975 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden impuls kuvveti (39) nolu bağıntıdan;

$$P_i = 1330000 \cdot 4,905 = 6523,65 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden salınım kuvveti (40) nolu bağıntıdan;

$$P_c = 647500 \cdot 0,79 = 511,525 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Atıl kütlede oluşan depoya etki eden atıl kuvvet (53) nolu bağıntı yardımıyla:

$$P_a = 625000 \cdot 4,905 = 3065,625 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden eğilme momenti (54) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_b = 6523,65 \cdot 5,3125 + 511,525 \cdot 7,375 + 3065,625 \cdot 1,25$$

$$M_b = 42261,41875 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden devirici moment (55) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_o = 6523,65 \cdot 6,85 + 511,525 \cdot 7,975 + 3065,625 \cdot 1,25$$

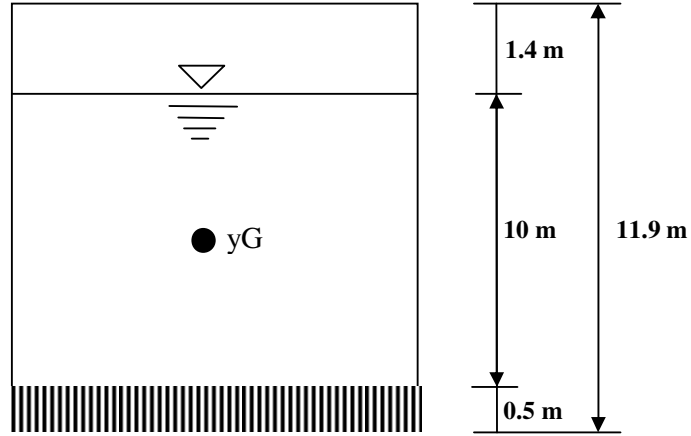
$$M_o = 52598,4456 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Seçilen boyutların kontrol amaçlı koruyucu moment hesabı;

Koruyucu moment hesabı yapabilmek için depo ayrıtlarının bilinmesi gereklidir.

Deponun ağırlığının hesabı; $Mt = m_l + m_{depo}$

Sıvı deposuna ait aşağıda Şekil 33 de görülen depo boyutları;



Şekil 33. Derin dikdörtgen bir sıvı deposunun ağırlık merkezi

Örnek sıvı deposu ayrıtlarına ait boyutlar;

Depo duvar kalınlığı $t_w=0,5$ m

Depo temel kalınlığı $t_f=0,5$ m

Depo kapak kalınlığı $t_r=0,2$ m

olarak seçilirse,

Depo toplam sıvı kütlesi daha önce (27) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştı;

$m_l = 250000$ kg olarak hesaplanabilir.

Duvar kütlesi (58) nolu bağıntı yardımıyla;

$m_w = (2 \cdot 25 + 2 \cdot 10) \cdot 11,4 \cdot 0,5 \cdot 2400 = 957600$ kg olarak hesaplanabilir.

Depo kapağı(çatı) kütlesi (59) nolu bağıntı yardımıyla;

$m_r = 25 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 2400 = 120000$ kg olarak hesaplanabilir.

Depo temel kütlesi (60) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_f = 25 \cdot 10 \cdot 0,5 \cdot 2400 = 300000 \text{ kg. olarak hesaplanabilir.}$$

Ağırlık merkezi (61) nolu bağıntı yardımıyla;

$$y_G = \frac{2452,5 \cdot 5 + 9394,056 \cdot 5,7 + 2943 \cdot 0,25 + 1177 \cdot 12,1}{2452,5 + 9394,056 + 2943 + 1177} = 5,0597 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Koruyucu moment (62) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_k = 42458,556 \cdot 5,0597 = 214827,5558 \text{ kN. m olarak hesaplanır}$$

2.1.1.2.1.2. Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı

Şekil 32 de verilen derin dikdörtgen sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıdaki sayısal uygulamalar yapılacaktır.

$$\gamma = h / l = 10 / 5 = 2$$

Eurocode 8 Part-IV de verilen doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan C_i ve C_c katsayıları, impuls (m_i), ve salınım (m_c) kütlelerinin oranları ve sırasıyla tabandan olan yükseklikleri (h_i , h_c) ve taban basıncını hesaba katmak için kullanılan sanal yükseklikleri (h_i' , h_c') ifade etmektedir.

Tablo 4 ten alınan değerler aşağıda verilmiştir.

h/l	C_i	C_c	m_i/m	m_c/m	h_i/h	h_c/h	h_i'/h	h_c'/h
2	6,21	1,48	0,763	0,237	0,448	0,751	0,5	0,764

Buna göre yapılan hesaplamalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

İşlem sırasına göre yapılacak hesaplar aşağıda belirtilmiştir.

Toplam sıvı kütlesi (27) nolu bağıntı yardımıyla;

$m_i = 4 \cdot 12,5 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 1000 = 2500000$ kg olarak hesaplanabilir.

Tablo 4 yardımıyla; impuls kütlesi hesabı;

$$\frac{m_i}{m_l} = 0,763$$

$$m_i = 1907500 \text{ kg olarak}$$

hesaplanabilir.

Salınım kütlesi hesabına göre

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,237$$

$$m_c = 592500 \text{ kg olarak}$$

hesaplanabilir.

Eğilme momentinde kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği

$$\frac{h_i}{h_l} = 0,448$$

$$h_i = 4,48 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Eğilme momentinde kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği

$$\frac{h_c}{h_l} = 0,751$$

$$h_c = 7,51 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Devirici moment hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği

$$\frac{h_i'}{h_l} = 0,5$$

$$h_i' = 5 \text{ m olarak hesaplanabilir.}$$

Devirici moment hesabında kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği

$$\frac{h_c'}{h_l} = 0,764$$

$$h_c' = 7,64 \text{ m olarak hesaplanabilir.}$$

Burada sıvı deposu rijit olduğu için zemin ivmesi olarak kullanacağımız “ a_g ”yi biz direkt sıvı deposunun impuls ivmesi olarak kullanılabilir. Zira rijit bir yapı olduğu için için deprem esnasında zemin hareketini taklit edecektir.

1. Deprem bölgesi kabulüne göre zemin ivmesi için katsayı $agR=0,4g$ olarak alınabilir.

Zemin ivmesi (80) nolu bağıntı yardımıyla;

$$a_g = 1,25 \cdot 0,4g$$

$$ag=4,905 \text{ m/sn}^2$$

Salınım periyodu (85) nolu bağıntı yardımıyla;

$$T_{con} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{5/9,81}{\frac{\pi}{2} \tanh\left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{10}{5}\right]}} = 3,58576 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Duvar kütlesi (87) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_w = (25 \cdot 11,4 \cdot 2 + 10 \cdot 11,4 \cdot 2) \cdot 0,5 \cdot 2400 = 957600 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Kapak kütlesi (88) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_r = 25 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 2400 = 120000$$

Zemin ivmesinin belirlenmesi ise;

$$\gamma \geq 1,0 \quad = 1,25 \text{ olarak alınırsa } agR=0,4g \quad a_{gR}=3,924$$

$$a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 4,905 \quad S=1,2 \text{ olursa}$$

% 5 sönüm değerine göre salınım ivmesi hesabı Eurocode -8 Part 1 den seçilen değerler sonucunda, (92) nolu bağıntı yardımıyla salınım ivmesi;

$$S_e(T_{con}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{0,5 \cdot 2}{3,58576^2} \right] = 1,14445$$

$$h_w = 5,7 \text{ m}$$

$$h_f = 11,5 \text{ m}$$

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti (86) nolu bağıntı yardımıyla;

$$V = (1907500) \cdot 4,905 + 592500 \cdot 1,14445$$

$$V = 10034,374 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momenti (93) nolu bağıntı yardımıyla hesabı;

$$M_b = (1907500 \cdot 4,48) \cdot 4,905 + 592500 \cdot 7,51 \cdot 1,14445$$

$$M_b = 47008,59855 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment (94) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_o = 1907500 \cdot 5 \cdot 4,905 + 592500 \cdot 7,64 \cdot 1,14445$$

$$M_o = 51962,01932 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

2.1.1.2.2. Esnek Kabule Göre Sayısal Uygulamalar

Derin dikdörtgen sıvı depoları sığ depolarda olduğu gibi esnek duvar kabulüne göre Eurocode-8 ve ACI 350'ye göre deprem hesabı yapılacaktır.

2.1.1.2.2.1. Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı

Şekil 32 de verilen derin dikdörtgen sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıdaki sayısal işlemler yapılacaktır.

$$\gamma = h / l = 10 / 5 = 2$$

Eurocode 8 Part-IV de verilen doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan C_i ve C_c katsayıları, impuls (m_i), ve salınım (m_c) kütlelerinin oranları ve sırasıyla tabandan olan yükseklikleri (h_i , h_c) ve taban basıncını hesaba katmak için kullanılan sanal yükseklikleri (h_i' , h_c') şeklinde ifade edilir.

Aşağıda Tablo 4 ten alınan değerlere yer verilmiştir.

h/l	C_i	C_c	m_i/m_l	m_c/m_l	h_i/h	h_c/h	h_i'/h	h_c'/h
2	6,21	1,48	0,763	0,237	0,448	0,751	0,5	0,764

Buna göre yapılan hesaplamalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Toplam sıvı kütlesi (27) nolu bağıntıdan yararlanılarak;

$$m_l = 4 \cdot 12,5 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 1000 = 2500000 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Tablo 4 yardımıyla impuls kütlesi hesabı;

$$\frac{m_i}{m_l} = 0,763$$

$$m_i = 1907500 \text{ kg olarak}$$

hesaplanabilir.

Salınım kütlesi hesabı;

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,237$$

$$m_c = 592500 \text{ kg olarak}$$

hesaplanabilir.

Eğilme momenti hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği hesabı;

$$\frac{h_i}{h_l} = 0,448 \quad h_i = 4,48 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Eğilme momenti hesabında kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği hesabı;

$$\frac{h_c}{h_l} = 0,751 \quad h_c = 7,51 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Devirici moment hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği hesabı;

$$\frac{h_i'}{h} = 0,5 \quad h_i' = 5 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Devirici moment hesabında kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği hesabı;

$$\frac{h_c'}{h_l} = 0,764 \quad h_c' = 7,64 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Sayısal örnekte sıvı deposu esnek olduğu için ilk olarak impuls periyodu hesabı yapılacaktır.

Standartla belirtilen $m_i \cdot g/4 \cdot B \cdot H$ yayılı yük olarak sıvı deposu duvarına yüklenerek SAP 2000 programında modellenmiştir. Sıvı deposunda impuls yüksekliğinde meydana gelen deplesman $d_f=0,0753$ m olarak hesaplanmıştır.

İmpuls periyodu (84) nolu bağıntı yardımıyla;

$$T_{imp} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{0,0753}{9,81}} = 0,55048 \text{ sn olarak hesaplanmıştır.}$$

Salınım periyodu (85) nolu bağıntı yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$T_{con} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{5/9,81}{\frac{\pi}{2} \tanh\left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{10}{5}\right]}} = 3,58576 \text{ sn}$$

Duvar kütlesi (87) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_w = (25 \cdot 11,4 \cdot 2 + 10 \cdot 11,4 \cdot 2) \cdot 0,5 \cdot 2400 = 957600 \text{ kg}$$

Kapak kütlesi (88) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_r = 25 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 2400 = 120000 \text{ kg}$$

Zemin ivmesi (80) nolu bağıntı ile;

$$\gamma_I \geq 1,0 \quad = 1,25 \text{ olarak alınırsa } a_{gR} = 0,4g, \quad a_{gR} = 3,924$$

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} = 4,905 \quad S = 1,2 \text{ olursa}$$

şeklinde yapılabilir.

Eurocode-8 den impuls periyodu hesabına göre periyod aralığı seçilir ve impuls ivmesi hesaplanabilir.

İmpuls ivmesi (91) nolu bağıntı yardımıyla aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$S_e(T_{imp}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{0,5}{0,55048}\right) = 13,36561$$

Salınım ivmesi (92) nolu eşitlik yardımıyla;

$$S_e(T_{con}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 2}{3,58576^2}\right) = 1,14445$$

$$h_w = 5,7 \text{ m}$$

$$h_j = 11,5 \text{ m}$$

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti (86) nolu bağıntı yardımıyla;

$$V = (1907500 + 957600 + 120000) \cdot 13,34561 + 592500 \cdot 1,14445$$

$V = 14640,50645$ kN olarak hesaplanır.

Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momenti (93) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_b = (1907500 \cdot 4,48 + 957600 \cdot 5,7 + 120000 \cdot 11,5) \cdot 13,34561 \\ + 592500 \cdot 7,51 \cdot 1,14445$$

$M_b = 79749,811$ kN. m olarak hesaplanabilir.

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment (94) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_o = (1907500 \cdot 5 + 957600 \cdot 5,7 + 120000 \cdot 11,5) \cdot 13,34561 \\ + 592500 \cdot 7,64 \cdot 1,14445$$

$M_o = 84651,6026$ kN. m olarak hesaplanabilir.

2.1.1.2.2.2. ACI 350'ye Göre Deprem Hesabı

Şekil 32 de verilen derin dikdörtgen sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıdaki sayısal işlemler yapılacaktır.

Verilen parametreler;

$$g=9,81 \text{ m/sn}^2 \quad E_c=21 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \quad \nu = 0,17 \quad t_w=0,5 \text{ m olarak alınır.}$$

Toplam sıvı kütlesi (27) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_l = 25 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 1000 = 2500000 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi (95) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{m_i}{m_l} = \frac{\tanh\left[0,866\left(\frac{25}{10}\right)\right]}{0,866\left(\frac{25}{10}\right)} = 0,449887$$

$m_i = 1124719,592$ kg olarak hesaplanır.

Salınım kütlesi (96) nolu bağıntı yardımıyla

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,264\left(\frac{25}{10}\right) \cdot \tanh\left[3,16\left(\frac{6,25}{10}\right)\right] = 0,26305$$

$m_c = 657628,3434$ kg olarak hesaplanır.

Eğilme moment hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (98) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{h_i}{h} = 0,5 - 0,09375 \cdot \left(\frac{10}{10}\right) = 0,40625 \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

$h_i = 4,0625$ m olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği (99) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left[3,16\left(\frac{10}{10}\right)\right] - 1}{3,16\left(\frac{10}{10}\right) \cdot \sinh\left[3,16\left(\frac{10}{10}\right)\right]} = 0,709303 \text{ olarak hesaplanır.}$$

$h_c = 7,09303$ m olarak hesaplanır.

Devirici moment hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (101) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{h_i'}{h} = \frac{0,866 \left(\frac{10}{10} \right)}{2 \cdot \tanh \left[0,866 \left(\frac{10}{10} \right) \right]} - \frac{1}{8} = 0,494158 \text{ olarak hesaplanır}$$

$h_i' = 4,942$ m olarak hesaplanır.

Devirici moment hesabında kullanılacak salımm kuvveti etkime yüksekliği (102) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{h_c'}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,16 \left(\frac{10}{10} \right) \right] - 2,01}{3,16 \cdot \left(\frac{10}{10} \right) \cdot \sinh \left[3,16 \left(\frac{10}{10} \right) \right]} = 0,736472$$

$h_c' = 7,36472$ m olarak hesaplanır.

İmpuls periyodu hesabı yapabilmek için (103) nolu bağıntıda da açıkça görülen rijitlik hesabı yapılmalıdır.

Rijitlik hesabı (104) nolu denklem yardımıyla yapılabilir. Rijitlik hesabında kullanılan “ h_z ” yüksekliği hesabı aşağıdaki şekilde (107) nolu eşitlikte verilmiştir.

Duvar kütlesi (105) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_w = 11,4 \cdot \frac{500}{10^3} \cdot 2,4 = 13,68 \text{ olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi (106) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_i = \frac{11033499,2}{24525000} \cdot \frac{10}{2} \cdot 10 \cdot 1 = 22,49439 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Rijitlik hesabında kullanılacak yükseklik hesabı (107) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_z = \frac{22,494392 \cdot 4,0625 + 13,68 \cdot 5,7}{22,494392 + 13,68} = 4,306814 \text{ m}$$

olarak hesaplanır.

Rijitlik hesabı (104) nolu bağıntı yardımıyla;

$$k = \frac{21 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{500}{4,306814} \right)^3 = 8214,87516 \text{ kN/m olarak hesaplanır.}$$

Toplam kütle $m = m_i + m_w = 22,494392 + 13,68 = 36,1744 \text{ kN.s}^2/\text{m}^4$ olarak hesaplanır.

İmpuls periyod (109) nolu bağıntı yardımıyla;

$$T_i = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{36,174}{8214,87516}} = 0,41695 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kuvveti hesabında kullanılan C_i katsayısı (108) nolu bağıntı yardımıyla;

$$C_i = \frac{1,25}{\frac{2}{0,41695^3}} = 2,23968 \leq \frac{2,75}{1,2} = 2,23968 \text{ olduğundan}$$

$C_i = 2,23968$ olarak alınır.

Salınım periyodu ise (112) nolu bağıntı yardımıyla;

$$T_c = \frac{2\pi}{\sqrt{3,16 \cdot 9,81 \cdot \tanh \left[3,16 \cdot \left(\frac{10}{10} \right) \right]}} \cdot \sqrt{10} = 3,5751 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

$T_c = 3,5751 \geq 2,4 \text{ s}$ olduğundan

Salınım kuvveti hesabında kullanılan C_c katsayısı (115) nolu eşitlik yardımıyla;

$$C_c = \frac{6}{3,5815^2} = 0,469434 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Burada ACI 350 de verilen tablolardan aşağıdaki değerler alınabilir.

Z Sismik alan faktörünü

I Bina önem katsayısını

S Zemin sınıfını karakterize eden bir katsayıyı

C_c ve C_i periyoda bağlı olarak salınım moduna (% 0,5 sönüm için) ve impuls moduna (% 5 sönüm için) belirlenen spektral büyütme katsayılarını R_w davranış katsayısını ifade etmektedir.

Aşağıda yapılacak işlemlerde kullanılacak değerler verilmiştir.

$$Z=0,4$$

$$I=1,25$$

$$S=1,2$$

$$R_{wi}=2,75$$

$$R_{wc}=1,0 \text{ olarak dikkate alınmıştır.}$$

Duvar kütesinden oluşan kuvvet hesabında kullanılan “ ε ” katsayısı (116) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\varepsilon = \left[0,0151 \left(\frac{10}{10} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{10}{10} \right) + 1,021 \right]$$

$$\varepsilon = 0,8453 \leq 1,00 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Depo duvar kütesinden oluşan hidrodinamik duvar kuvveti (117) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_w = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,23968 \cdot 0,8453 \cdot \frac{9394,056}{2,75} = 3880,329 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Depo kapak kütesinden oluşan hidrodinamik kapak kuvveti (115) nolu bağıntı yardımıyla;

$$P_r = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,23968 \cdot \frac{1177,2}{2,75} = 575,24755 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

İmpuls etkisiyle oluşan impuls kuvveti (120) nolu bağıntı yardımıyla;

$$P_i = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,23968 \cdot \frac{11033,4992}{2,75} = 5391,6016 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Salınım etkisiyle oluşan impuls kuvveti (121) nolu bağıntı yardımıyla

$$P_c = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,469343 \cdot \frac{6451,334}{1,00} = 1816,7331 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti (122) nolu eşitlik yardımıyla;

$$V = \sqrt{(5391,6016 + 3880,329 + 575,24755)^2 + 1816,7331^2} = 10013,363 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Moment hesab ise ;

Duvar kuvvetinden meydana gelen duvar momenti hesabı (123) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_w = 3880,329 \cdot 5,7 = 22117,875 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Kapak kuvvetinden meydana gelen duvar momenti hesabı (124) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_r = P_r \cdot h_r = 575,24755 \cdot 11,5 = 6615,347 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

İmpuls etkisinden oluşan impuls momenti (125) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_i = P_i \cdot h_i = 5391,6016 \cdot 4,0625 = 21903,3815 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Salınım etkisinden oluşan salınım momenti (126) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_c = P_c \cdot h_c = 1816,7331 \cdot 7,09303 = 12886,14238 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Temel seviyesi hemen üst noktasına depo duvarında oluşan eğilme momenti (127) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_b = \sqrt{(21903,3815 + 22117,875 + 6615,347)^2 + (12886,14238)^2}$$

$$M_b = 52250,53377 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Temel seviyesi altında meydana gelen ve temel ile taşıyıcı sistemi de içeren devirici moment hesabı;

Devirici moment hesabında kullanılacak impuls ve salınım momenti hesabı sırasıyla; (134) ve (135) nolu eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$M_i' = 5391,6016 \cdot 4,942 = 26645,29511 \text{ kN. m olarak hesaplanır}$$

$$M_c' = 1816,7331 \cdot 7,36472 = 13379,7306 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment (128) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_o = \sqrt{(26645,29511 + 22117,875 + 6615,347)^2 + (13379,7306)^2}$$

$M_o = 56971,8997$ kN. m olarak hesaplanır.

Maksimum oluşabilecek dalga yüksekliği (129) nolu eşitlik yardımıyla;

$$d_{max} = \left(\frac{10}{2}\right) \cdot (0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,469434) = 1,4083 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

2.1.2. Silindirik Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar

Bu bölümde yapılacak çalışmalarda silindirik sıvı depoları boyutlarına göre sığ depo ve derin, yapılan kabullere göre ise esnek ve rijit olarak sınıflandırılarak deprem hesapları yapılacaktır. Yapılacak deprem hesapları üç ayrı yöntemle göre değerlendirilecektir.

2.1.2.1. Sığ Silindirik Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar

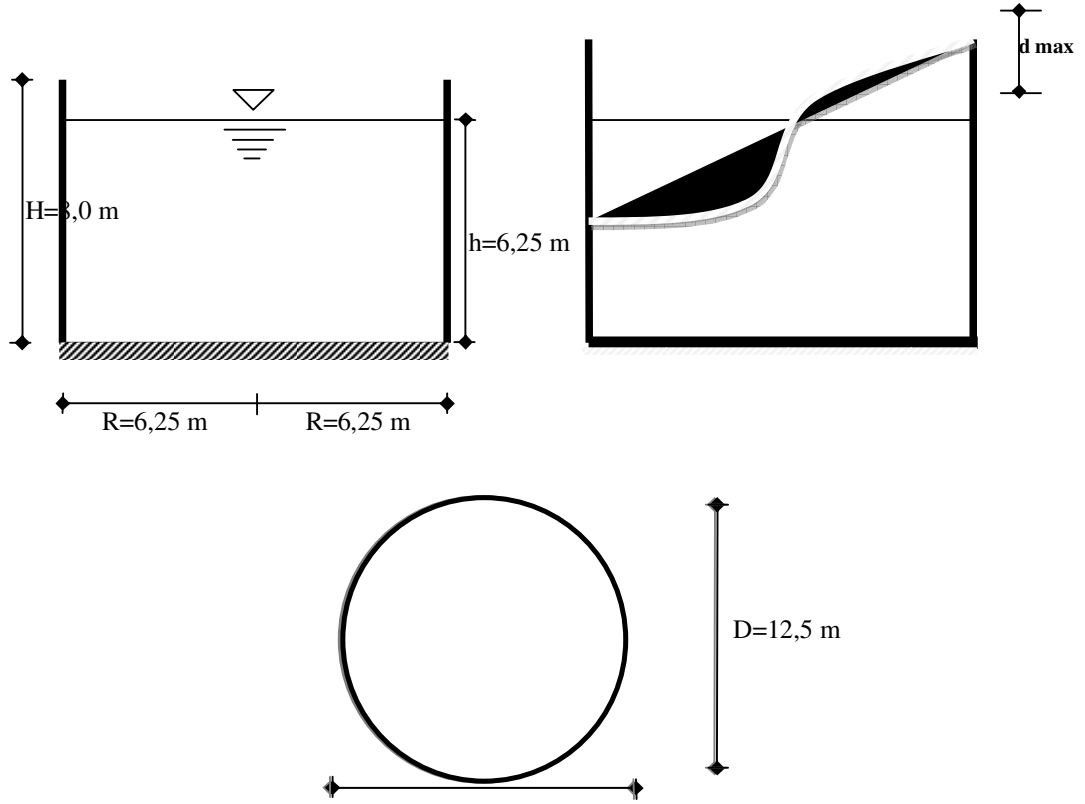
Sığ silindirik sıvı depolarının deprem hesabında sıvı depoları farklı üç yöntemle göre çözümlenirken esnek ve rijit olarak ayrı ayrı hesapları yapılacaktır.

2.1.2.1.1. Rijit Kabule Göre Sayısal Uygulamalar

Rijit kabule göre burada iki farklı yöntemle göre çözüm yapılacaktır. Rijit duvar kabulüne göre klasik yöntem Housner ve Eurocode–8 kullanılacaktır. Yapılacak hesaplara göre deprem analizi yapılacaktır.

2.1.2.1.1.1. Housner Yöntemine Göre Deprem Hesabı

Aşağıda Şekil 34 de verilen sığ silindir deponun plan kesitine göre sayısal uygulamalar ve hesaplar yapılacaktır. Yapılacak hesaplar rijit duvar kabulüne göre aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 34. Sığ silindirik sıvı deposunun plan ve kesiti

Verilen parametreler;

$$h = 6,25m$$

$$R = 6,25m$$

$$\rho = 1000$$

$$g = 9,81m / sn^2$$

$$a_{max} = 0,4g$$

$$S_a = 0,79$$

Toplam sıvı kütlesi hesabı, (28) nolu bağıntı yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$m_l = \pi \cdot 6,25^2 \cdot 6,25 \cdot 1000 = 766990,334 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi hesabı (29) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_i = \frac{6,25}{1,732 \cdot 6,25} \cdot \tanh\left(1,732 \cdot \frac{6,25}{6,25}\right) \cdot 766990,394 = 415951,3955 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Salınım kütlesi , (31) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_c = 0,318 \cdot \frac{6,25}{6,25} \cdot \tanh\left(1,84 \cdot \frac{6,25}{6,25}\right) \cdot 766990,394 = 231901,7358 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Eğilme momenti hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (32) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_i = \frac{3}{8} \cdot 6,25 = 2,34375 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Eğilme momenti hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği, (34) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_c = \left(1 - \frac{\cosh\left(1,84 \cdot \frac{6,25}{6,25}\right) - 1}{1,84 \cdot \frac{6,25}{6,25} \cdot \sinh\left(1,84 \cdot \frac{6,25}{6,25}\right)}\right) \cdot 6,25 = 3,784315846 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (36) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_i' = \frac{1}{8} \left(\frac{4}{\frac{6,25}{1,732 \cdot 6,25} \cdot \tanh\left(1,732 \cdot \frac{6,25}{6,25}\right)} - 1 \right) \cdot 6,255 = 4,981069847 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği; (38) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_c' = \left(1 - \frac{\cosh\left(1,84 \cdot \frac{6,25}{6,25}\right) - 2,01}{1,84 \cdot \frac{6,25}{6,25} \cdot \sinh\left(1,84 \cdot \frac{6,25}{6,25}\right)} \right) \cdot 6,25 = 4,902224795 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden impuls kuvveti hesabı, (39) nolu bağıntı yardımıyla;

$$P_i = 415951,3955 \cdot 4,905 = 2040,242 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden salınım kuvveti hesabı (40) nolu bağıntıdan;

$$P_c = 231901,7358 \cdot 0,79 = 183,2023717 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden eğilme momenti hesabı (41) nolu bağıntıdan;

$$M_b = 2040,242 \cdot 2,34375 + 183,20237 \cdot 3,784315846 = 5475,11282 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden devirici moment hesabı (42) nolu bağıntıdan;

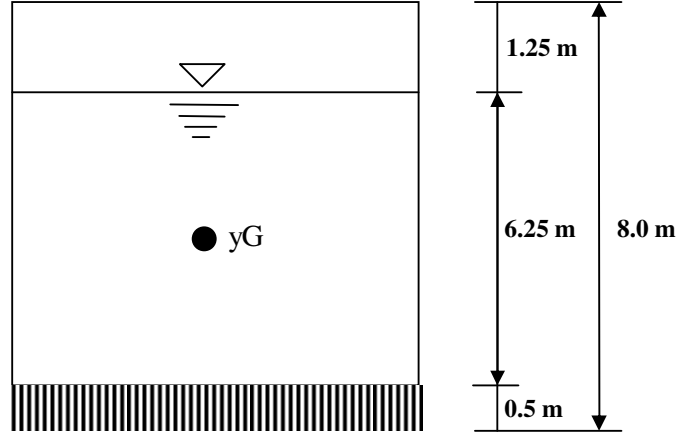
$$M_o = 2040,242 \cdot 4,981069847 + 183,20237 \cdot 4,902224795 = 11060,68711 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Suyun serbest yüzeyden maksimum yükselmesi hesabı, (57) nolu bağıntı yardımıyla;

$$d_{max} = \frac{0,626 \cdot \left(\frac{0,79}{9,81}\right) \cdot 6,25}{1 - 1,84 \cdot \left(\frac{0,79}{9,81}\right) \cdot \tanh\left(1,84 \cdot \frac{6,25}{6,25}\right)} = 0,366742 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Burada kontrol amaçlı koruyucu moment hesabı;

Koruyucu moment hesabı yapabilmek için depo ayrıtlarının bilinmesi gereklidir.



Şekil 35. Sığ silindirik sıvı deposunun ağırlık merkezi

Sıvı deposuna ait ayrıtların boyutları;

Depo duvarı kalınlığı $t_d=0,5$ m

Depo taban kalınlığı $t_t=0,5$ m

Depo kapak kalınlığı $t_k=0,2$ m

olarak seçilirse,

Toplam sıvı kütlesi daha önce (28) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

$m_l = 7524,175$ kN olarak hesaplanabilir.

Duvar kütlesi (87) nolu eşitlik yardımıyla

$m_w = 2 \cdot \pi \cdot 6,25 \cdot 7,5 \cdot 0,5 \cdot 2400 = 3467,140$ kN olarak hesaplanabilir.

Temel kütlesi (60) nolu eşitlik yardımıyla;

$m_f = 0,5 \cdot \pi \cdot 6,25^2 \cdot 2400 = 1444,641$ kN olarak hesaplanabilir.

Kapak kütlesi (88) nolu eşitlik yardımıyla;

$m_r = 0,2 \cdot \pi \cdot 6,25^2 \cdot 2400 = 577,856$

$$m_{toplam} = 7524,175 + 2467,140 + 1444,641 + 577,856 = 12013,812 \text{ kN olarak}$$

hesaplanabilir.

Ağırlık merkezi (61) nolu eşitlik yardımıyla;

$$y_G = \frac{7524,175 \cdot 3,625 + 2467,140 \cdot 4 + 1444,641 \cdot 0,25 + 577,856 + 8,1}{7524,175 + 2467,140 + 1444,641 + 577,856} = 3,5114 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Koruyucu moment (62) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_k = 12013,812 \cdot 3,5114 = 42185,29946 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

2.1.2.1.1.2. Eurocode 8'e Göre Deprem Hesabı

Şekil 34 de verilen sığ silindirik sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıda sayısal uygulamalar yapılacaktır

$$\gamma = H / L = 6,25 / 12,5 = 0,5$$

Eurocode 8 Part-IV de verilen doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan C_i ve C_c katsayıları, impuls m_i , ve m_c salınım kütlelerinin oranları ve sırasıyla tabandan olan yükseklikleri(h_i , h_c) ve taban basıncını hesaba katmak için kullanılan sanal yükseklikleri(h'_i , h'_c) şeklinde ifade edilebilir

Tablo 4 ten alınan değerlerler;

h/l	C_i	C_c	m_i/m	m_c/m	h_i/h	h_c/h	h'_i/h	h'_c/h
0,5	6,36	1,52	0,548	0,452	0,419	0,616	0,721	0,785

Tablo 4 ten alınan değerlere göre yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

Toplam sıvı kütlesi (28) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_l = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \gamma_{sivi} = \pi \cdot 6,25^2 \cdot 6,25 \cdot 1000 = 766990,394 \text{ kg}$$

Tablo 4 ten alınan değerler yardımıyla, impuls kütlesi hesabı;

$$\frac{m_i}{m_l} = 0,548 \quad m_i = 420310,74 \text{ kg}$$

Salınım kütlesi hesabı;

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,452 \quad m_c = 346679,66 \text{ kg}$$

Eğilme momenti hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_i}{h} = 0,419 \quad h_i = 2,61875 \text{ m olarak}$$

hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği

$$\frac{h_c}{h} = 0,616 \quad h_c = 3,85 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği

$$\frac{h_i'}{h} = 0,721 \quad h_i' = 4,50625 \text{ m}$$

Devirici moment hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği

$$\frac{h_c'}{h} = 0,785 \quad h_c' = 4,90625 \text{ m olarak}$$

hesaplanır.

Burada pratik uygulamada çözülen sayısal örnek sıvı deposu, rijit olduğu için zemin ivmesi olarak kullanacağımız “ a_g ” yi biz direkt sıvı deposunun impuls ivmesi olarak kullanabiliriz. Zira rijit bir yapı olduğu için için deprem esnasında yapacağı hareket zemin hareketini taklit yönünde olacaktır.

1. Deprem bölgesi kabulüne göre $a_{gR} = 0,4g$ olarak alınabilir.

Zemin ivmesi hesabında (80) nolu eşitlik yardımıyla;

$$a_g = 1,25 \cdot 0,4g$$

$$a_g = 4,905 \text{ m/sn}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Salınım periyodu (83) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_{con} = 1,52 \cdot \sqrt{6,25} = 3,8 \text{ sn olarak belirlenbilir.}$$

m_w =Depo duvar kütlesi

m_r =Depo çatı kütlesi

Duvar kütlesi (87) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_w = 2 \cdot \pi \cdot 6,25 \cdot 8 \cdot 0,5 \cdot 2400 = 157,0796 \cdot 2400 = 376991,1184 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Çatı kütlesi (88) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_r = \pi \cdot R^2 \cdot s \cdot \gamma_c = \pi \cdot 6,25^2 \cdot 0,2 \cdot 2400 = 58904,86 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Zemin ivmesi (80) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\gamma_1 \geq 1,0 \quad = 1,25 \text{ olarak alınırsa } a_{gR} = 0,4g, \quad a_{gR} = 3,924$$

$$a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 4,905$$

$$S = 1,2 \text{ olursa}$$

% 5 sönüm değerine göre sönüm katsayısı seçilir.

Salınım ivmesi (92) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$S_e(T_{con}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{0,5 \cdot 2}{3,8^2} \right] = 1,01944$$

$$h_w = 3,125 \text{ m}$$

$$h_r = 6,35 \text{ m}$$

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti ise (86) nolu eşitlik yardımıyla;

$$V = (420310,74) \cdot 4,905 + 346679,66 \cdot 1,019044$$

$V = 2414,90462 \text{ kN}$ olarak hesaplanabilir.

Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momenti (93) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_b = 420310,74 \cdot 2,61875 \cdot 4,905 + 346679,66 \cdot 3,85 \cdot 1,019044$$

$M_b = 6759,013 \text{ kN. m}$ olarak hesaplanabilir.

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment (94) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_o = 420310,74 \cdot 4,50625 \cdot 4,905 + 346679,66 \cdot 4,90625 \cdot 1,019044$$

$M_o = 11024,15648 \text{ kN. m}$ olarak hesaplanabilir.

2.1.2.1.2. Esnek Kabule Göre Sayısal Uygulamalar

Esnek kabule göre burada iki farklı yöntemle göre çözüm yapılacaktır. Rijit duvar kabulüne göre klasik yöntem Eurocode-8 ve ACI 350 standartları kullanılacaktır. Yapılacak hesaplara göre deprem hesabı yapılacaktır.

2.1.2.1.2.1. Eurocode 8'e Göre Deprem Hesabı

Şekil 34 de verilen sığ silindirik sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıdaki sayısal işlemler yapılacaktır.

$$\gamma = h / R = 6,25 / 6,25 = 1$$

Eurocode 8 Part-IV de verilen doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan C_i ve C_c katsayıları, impuls (m_i), ve salınım (m_c) kütlelerinin oranları ve sırasıyla tabandan olan yükseklikleri (h_i , h_c) ve taban basıncını hesaba katmak için kullanılan sanal yükseklikleri (h_i' , h_c') ifade etmektedir.

Tablo 4 ten alınan değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

h/R	C_i	C_c	m_i/m_l	m_c/m_l	h_i/h	h_c/h	h_i'/h	h_c'/h
1	6,36	1,52	0,548	0,452	0,419	0,616	0,721	0,785

Buna göre yapılan hesaplamalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Toplam sıvı kütlesi (28) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_l = \pi \cdot 6,25^2 \cdot 6,25 \cdot 1000 = 766990,394 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Tablo 4 yardımıyla aşağıdaki değerler hesaplanır.

İmpuls kütlesi hesabı;

$$\frac{m_i}{m_l} = 0,548$$

$$m_i = 420310,74 \text{ kg olarak}$$

hesaplanır.

Salınım kütlesi hesabı;

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,452$$

$$m_c = 346679,658 \text{ kg olarak}$$

hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_i}{h} = 0,419$$

$$h_i = 2,61875 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Eğilme momenti hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_c}{h} = 0,616$$

$$h_c = 3,85 \text{ m}$$

Devirici moment hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_i'}{h} = 0,721$$

$$h_i' = 4,50625 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

Devirici momenti hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_c'}{h} = 0,785$$

$$h_c' = 4,90625 \text{ m olarak}$$

hesaplanabilir.

1. Deprem bölgesi kabulüne göre zemin ivmesi katsayısı $a_{gR} = 0,4g$ olarak alınabilir.

Zemin ivmesi hesabı (80) nolu bağıntı yardımıyla aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$a_g = 1,25 \cdot 0,4g$$

$$a_g = 4,905 \text{ m/sn}^2 \text{ olarak hesaplanılır.}$$

İmpuls periyodu (82) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_{imp} = 6,36 \cdot \frac{\sqrt{1} \cdot 10}{\sqrt{0,5 / 6,25 \cdot \sqrt{21 \times 10^4}}} = 0,490684 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Salınım periyodu (83) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_{con} = 1,52 \cdot \sqrt{6,25} = 3,8 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Depo duvar kütlesi (87) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_w = 2 \cdot \pi \cdot 6,25 \cdot 8 \cdot 0,5 \cdot 1000 = 157079,6327 \text{ kg}$$

Depo kapak kütlesi (88) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_r = \pi \cdot 6,25^2 \cdot 0,2 \cdot 1000 = 24543,693$$

Zemin ivmesi hesabı aşağıdaki gibi

$$Y_I \geq 1,0 \quad = 1,25 \text{ olarak alınırsa } a_{gR} = 0,4g, \quad a_{gR} = 3,924$$

Burada depo duvarları esnek kabule göre çözümlendiği için Eurocode–8 Part-IV de verilen formüller kullanılarak çözüme gidilecektir.

İmpuls ivmesi (90) nolu eşitlik yardımıyla;

$$S_e(T_{imp}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 = 14,715 \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

% 5 sönüm değerine göre hesaplar yapılacaktır.

Salınım ivmesi (92) nolu eşitlik yardımıyla;

$$S_e(T_{con}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{0,5 \cdot 2}{3,8^2} \right] = 1,019044$$

$$h_w = 3,125 \text{ m}$$

$$h_r = 6,35 \text{ m}$$

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti (86) nolu eşitlik yardımıyla;

$$V = (420310,74 + 157079,6327 + 24543,693) \cdot 14,715 + 346679,658 \cdot 1,019044$$

$V = 3574,1763$ kN olarak hesaplanabilir

Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momenti (93) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_b = (420310,74 \cdot 2,61875 + 157079,6327 \cdot 4 + 24543,693 \cdot 8,1) \cdot 14,715 \\ + 346679,658 \cdot 3,85 \cdot 1,019044$$

$M_b = 11657,6775$ kN. m olarak hesaplanabilir.

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment (94) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_o = (420310,74 \cdot 4,50625 + 157079,6327 \cdot 4 + 24543,693 \cdot 8,1) \cdot 14,715 \\ + 346679,658 \cdot 4,90625 \cdot 1,019044$$

$M_o = 16293,903$ kN. m olarak hesaplanabilir.

2.1.2.1.2.2. ACI 350'ye Göre Deprem Hesabı

Şekil 34 de verilen sığ silindirik sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıdaki sayısal uygulamalar yapılacaktır.

Verilen parametreler;

$$g=9,81 \text{ m/sn}^2, E_c=21 \times 10^9 \text{ N/m}^2, \nu=0,17, t_w=0,5 \text{ m olarak alınır.}$$

Toplam sıvı kütlesi (28) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_l = \pi \cdot \frac{12,5^2}{4} \cdot 6,25 \cdot 1000 = 766990,3939 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi (95) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{m_i}{m_l} = \frac{\tanh\left[0,866\left(\frac{12,5}{6,25}\right)\right]}{0,866\left(\frac{12,5}{6,25}\right)} = 0,5423163$$

$m_i = 415951,3954$ kg olarak hesaplanır.

Salınım kütlesi (96) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,230\left(\frac{12,5}{6,25}\right) \cdot \tanh\left[3,68\left(\frac{6,25}{12,5}\right)\right] = 0,437365$$

$m_c = 335455,341$ kg olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği (97) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{h_i}{h} = 0,375 \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

$h_i = 2,34375$ m olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılan salınım yüksekliği (99) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left[3,68\left(\frac{6,25}{12,5}\right)\right] - 1}{3,68\left(\frac{6,25}{12,5}\right) \cdot \sinh\left[3,68\left(\frac{6,25}{12,5}\right)\right]} = 0,394509 \text{ olarak hesaplanır.}$$

$h_c = 2,4657$ m olarak hesaplanır.

Devirici moment hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği (101) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{D}{h} = \frac{12,5}{6,25} = 2 \geq 0,75 \text{ olduğunda}$$

$$\frac{h_i'}{h} = \frac{0,866 \left(\frac{12,5}{6,25} \right)}{2 \cdot \tanh \left[0,866 \left(\frac{12,5}{6,25} \right) \right]} - \frac{1}{8} = 0,796971$$

olarak hesaplanır.

$$h_i' = 4,98106 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği (102) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{h_c'}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,68 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) \right] - 2,01}{3,68 \cdot \left(\frac{6,25}{12,5} \right) \cdot \sinh \left[3,68 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) \right]} = 0,784356 \quad h_c' = 4,9022 \text{ m}$$

olarak hesaplanır.

İmpuls periyodu hesabı;

İmpuls periyodunda kullanılan açısal hız hesabı;

C_i katsayısı hesabında kullanılan C_w (133) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$C_w = 9,375 \cdot 10^{-2} + 0,2039 \left(\frac{6,25}{12,5} \right) - 0,1034 \left(\frac{6,25}{12,5} \right)^2 - 0,1253 \cdot \left(\frac{6,25}{12,5} \right)^3 + 0,1267 \cdot \left(\frac{6,25}{12,5} \right)^4$$

$$+ 3,186 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{6,25}{12,5} \right)^5 = 0,16111063 \text{ olarak hesaplanır.}$$

C_i katsayısı (132) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$C_i = 0,16111063 \cdot \sqrt{\frac{500}{10 \cdot 6,25}} = 0,45569$$

İmpuls periyodu hesabında kullanılacak açısal hız (131) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

Açısal hız ifadesi ise;

$$\omega_i = 0,45569 \cdot \frac{1}{6,25} \sqrt{\frac{10^3 \cdot 21 \cdot 10^3}{2,4}} = 215,672$$

İmpuls periyodu (130) nolu bağıntı yardımıyla hesabı;

$$T_i = \frac{2\pi}{215,672} = 0,0291 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Tablodan bulunan değerler;

$$T_i \leq 0,31 \text{ s için} \quad C_i = \frac{2,75}{S} = \frac{2,75}{1,2} = 2,2916$$

Salınım periyodu (112) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_c = \frac{2\pi}{\sqrt{3,68 \cdot 9,81 \cdot \tanh\left[3,68 \cdot \left(\frac{6,25}{12,5}\right)\right]}} \cdot \sqrt{12,5} = 3,792 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

$$T_c \geq 2,4 \text{ s için}$$

Salınım etkisinden gelen kuvvet hesabında kullanılacak katsayı (110) nolu eşitlik yardımıyla;

$$C_c = \frac{6}{3,792^2} = 0,41723$$

Burada ACI 350 de verilen tablolardan depoya göre;

Z Sismik alan faktörünü

I Bina önem katsayısını

S Zemin sınıfını karakterize eden bir katsayısı

C_c ve C_i periyoda bağlı olarak salınım moduna (% 0,5 sönüm için) ve impuls moduna (% 5 sönüm için) belirlenen spektral büyütme katsayılarını R_w davranış katsayısını ifade etmektedir.

Aşağıda yapılacak hidrodinamik kuvvet tespitinde Tablo 8-9-10 dan alınan değerler verilmiştir.

$$Z=0,4$$

$$I=1,25$$

$$S=1,2$$

$$R_{wi}=2,75$$

$$R_{wc}=1,0 \text{ olarak dikkate alınmıştır.}$$

olarak duvara gelen kuvvet hesaplanır.

Duvar kütlesi ve çatı kütlesi hesabı daha önce aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$m_w = 5270,0531$$

Duvar ağırlığından doğan kuvvet hesabında kullanılan katsayı “ ϵ ” (116) nolu eşitlik yardımıyla çözülebilir.

$$\epsilon = \left[0,0151 \left(\frac{12,5}{6,25} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{12,5}{6,25} \right) + 1,021 \right] = 0,9294 \leq 1,00$$

olarak hesaplanır.

Duvar kütlelerinden oluşan hidrodinamik duvar kuvveti (117) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_w = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,29166 \cdot 0,9294 \cdot \frac{5270,0531}{2,75} = 2448,987 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Çatı kütlelerinden oluşan hidrodinamik çatı kuvveti (119) nolu eşitlik yardımıyla

$$P_r = Z \cdot S \cdot I \cdot C_i \cdot \frac{m_r}{R_{wi}} = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,29166 \cdot \frac{577,857}{2,75} = 288,927 \text{ kN} \quad \text{olarak}$$

hesaplanır

İmpuls etkisinden impuls kuvveti (120) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_i = Z \cdot S \cdot I \cdot C_i \cdot \frac{m_i}{R_{wi}} = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,29166 \cdot \frac{4080,483}{2,75} = 2040,235659 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Salınım etkisinden oluşan salınım kuvveti (123) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_c = Z \cdot S \cdot I \cdot C_c \cdot \frac{m_c}{R_{wc}} = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,41723 \cdot \frac{3290,817}{1,00} = 823,817 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti (122) nolu eşitlik yardımıyla;

$$V = \sqrt{(2040,235659 + 2448,987 + 288,927)^2 + 823,817^2} = 4848,648 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Moment hesabı;

Duvar kuvvetinden meydana gelen duvar momenti (123) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_w = 2448,987 \cdot 4 = 9795,948 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Çatı kuvvetinden meydana gelen çatı momenti (124) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_r = 288,927 \cdot 8,1 = 2340,309 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kuvvetinden meydana gelen impuls momenti (125) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_i = 2040,235659 \cdot 2,34375 = 4781,8023 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Salınım kuvvetinden meydana gelen salınım momenti (126) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_c = 823,817 \cdot 2,4657 = 2031,2856 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Temel seviyesi hemen üst noktasına depo duvarında oluşan eğilme momenti M_b hesabı;

Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momenti (127) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_b = \sqrt{(4781,8023 + 9795,948 + 2340,309)^2 + (2031,2856)^2} = 17039,567 \text{ kN.m}$$

olarak hesaplanır.

Temel seviyesi altında meydana gelen ve temel ile taşıyıcı sistemi de içeren devirici moment hesabında kullanılacak impuls ve salınım momentleri sırasıyla (134)-(135) nolu eşitlikler yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$M_i' = 2040,235659 \cdot 4,98106 = 10162,536 \text{ kN. m olarak hesaplanır}$$

$$M_c' = 823,817 \cdot 4,9022 = 4038,516 \text{ kN. m olarak hesaplanır}$$

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment (128) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_o = \sqrt{(10162,536 + 9795,948 + 2340,309)^2 + (4038,516)^2} = 22391,1208 \text{ kN.m}$$

olarak hesaplanır.

Maksimum oluşabilecek dalga yüksekliği (129) nolu eşitlik yardımıyla;

$$d_{max} = \left(\frac{12,5}{2} \right) \cdot (0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,417) = 1,56375 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

2.1.2.2. Derin Silindirik Sıvı Depoları İçin Yapılan Sayısal Uygulamalar

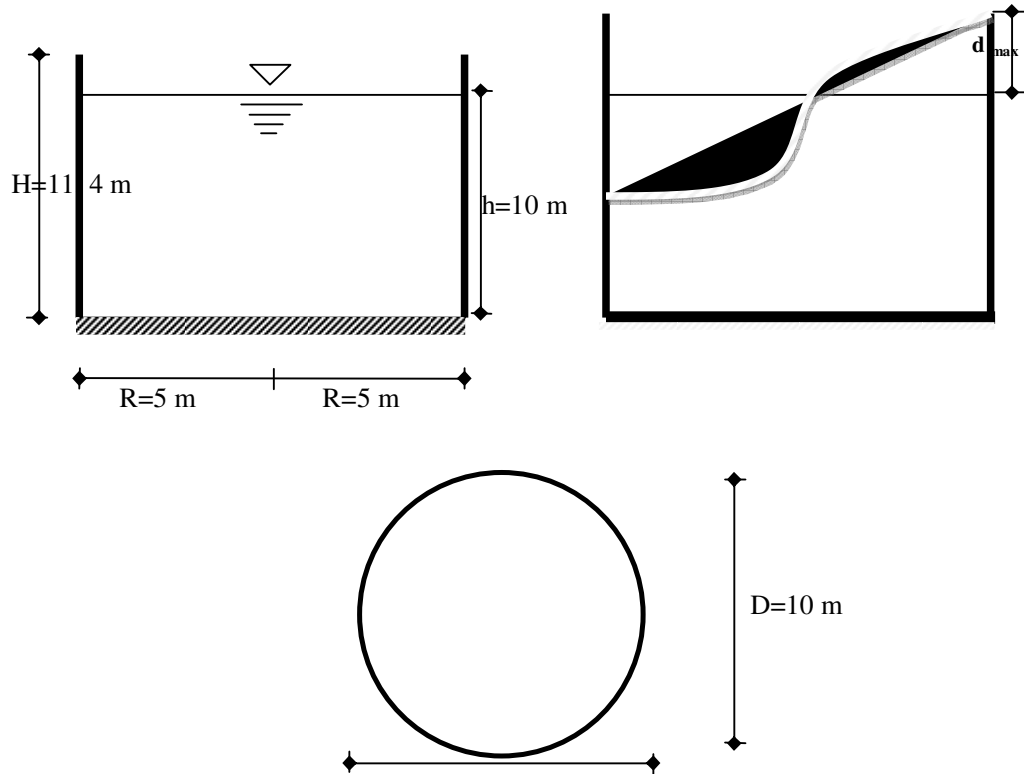
Derin silindirik sıvı depolarının deprem hesabında sıvı depoları üç farklı yöntemle göre çözümlenirken esnek ve rijit olarak ayrı ayrı hesapları yapılacaktır.

2.1.2.2.1. Rijit Kabule Göre Sayısal Uygulamalar

Rijit kabule göre bu bölümde iki farklı yöntemle göre çözüm yapılacaktır. Rijit duvar kabulüne göre klasik yöntem Housner ve Eurocode-8 kullanılacaktır. Yapılacak hesaplara göre deprem analizi yapılacaktır.

2.1.2.2.1.1. Housner Yöntemine Göre Deprem Hesabı

Aşağıda Şekil 36 da verilen sıg silindir deponun plan kesitine göre sayısal uygulamalar ve hesaplar yapılacaktır. Yapılacak hesaplar rijit duvar kabulüne göre aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 36. Derin silindirik sıvı deposunun plan ve kesiti

Verilen parametreler;

$$h = 10 \text{ m}$$

$$R = 5 \text{ m}$$

$$\rho = 1000$$

$$g = 9,81 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{max} = 0,4g$$

$$S_a = 0,79$$

Toplam kütle (28) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_l = \pi \cdot 5^2 \cdot 10 \cdot 1000 = 785398,1634 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi (43) nolu bağıntıdan;

$$m_i = \frac{1,064 \cdot 5}{10} \cdot 785398,1634 = 417831,823 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Salınım kütlesi (45) nolu bağıntıdan;

$$m_c = \frac{0,135 \cdot 5}{10} \cdot 785398,1634 = 53014,37604 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Atıl kütle (46) nolu bağıntıdan;

$$m_a = \left(1 - \frac{3 \cdot 5}{2 \cdot 10}\right) \cdot 785398,1634 = 196349,5409 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Eğilme momenti hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (47) nolu bağıntıdan;

$$h_i = \left(1 - \frac{15 \cdot 5}{16 \cdot 10}\right) \cdot 10 = 5,3125 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Eğilme momenti hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (49) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_c = \left(1 - \frac{0,479 \cdot 5}{10}\right) \cdot 10 = 7,605 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Atıl kütle için dikkate alınacak yükseklik (50) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_a = \left(\frac{1}{2} - \frac{3 \cdot 5}{4 \cdot 10}\right) \cdot 10 = 1,25 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği (51) nolu bağıntıdan;

$$h_i' = \left(1 - \frac{0,63 \cdot 5}{10}\right) \cdot 10 = 6,85 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment hesabında kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği (52) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_c' = \left(1 - \frac{0,409 \cdot 5}{10}\right) \cdot 10 = 7,955 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden impuls kuvveti (39) nolu bağıntı yardımıyla;

$$P_i = 417831,823 \cdot 4,905 = 2049,465 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden salınım kuvveti (40) nolu bağıntı yardımıyla;

$$P_c = 53014,37604 \cdot 0,79 = 41,881 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden atıl kütle (53) nolu bağıntı yardımıyla;

$$P_a = 1926,188 \cdot 4,905 = 963,0945 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Depoya etki eden eğilme momenti (54) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_b = 2049,465 \cdot 5,3125 + 41,881 \cdot 7,605 + 963,0943 \cdot 1,25 = 12410,15569 \text{ kN. m olarak}$$

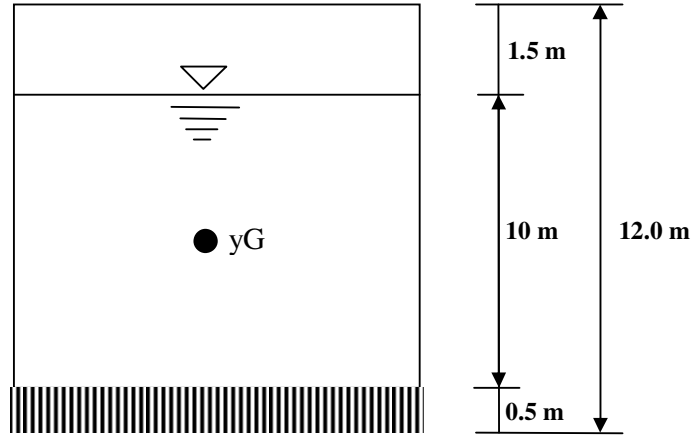
hesaplanır.

Depoya etki eden devirici moment (55) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_o = 2049,465 \cdot 6,85 + 41,881 \cdot 7,955 + 963,0943 \cdot 1,25 = 15575,8665 \text{ kN. m olarak}$$

hesaplanır.

Hesaplanan sonuçları kontrol amaçlı olarak koruyucu moment hesabı;



Şekil 37. Derin silindirik sıvı deposunun plan ve kesiti

Örneğe konu olan depoya ait ayrıtlar;

Depo duvarı kalınlığı $t_d=0,5 \text{ m}$

Depo taban kalınlığı $t_t=0,5 \text{ m}$

Depo kapak kalınlığı $t_r=0,2 \text{ m}$

olarak seçilirse,

Daha önce hesaplanan değerler aşağıda verilmiştir. Burada sadece temel kütlesi hesabı yapılacaktır.

Toplam sıvı kütlesi daha önce (28) nolu bağıntı ile hesaplanmıştır;

$$m_l = 7704,756 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Toplam duvar kütlesi (87) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_w = 2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 11,4 \cdot 0,5 \cdot 2400 = 4216,0425 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Toplam temel kütlesi (60) nolu eşitlik yardımıyla

$$m_f = 0,5 \cdot \pi \cdot 5^2 \cdot 2400 = 924,571 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Toplam çatı kütlesi (88) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_r = 0,2 \cdot \pi \cdot 5^2 \cdot 2400 = 369,8283 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

$$m_{toplamlam} = 7704,756 + 4216,0425 + 924,571 + 369,8283 = 13215,1978 \text{ kN olarak}$$

hesaplanır

Ağırlık merkezi (61) nolu eşitlik yardımıyla;

$$y_G = \frac{7704,756 \cdot 5 + 4216,0425 \cdot 5,7 + 924,571 \cdot 0,25 + 369,8283 \cdot 12,1}{7704,756 + 4216,0425 + 924,571 + 369,8283} = 5,0897 \text{ m olarak}$$

hesaplanır.

Koruyucu moment (62) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_k = 13215,1978 \cdot 5,0897 = 67261,392 \text{ kN.m olarak hesaplanır.}$$

2.1.2.2.2. Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı

Şekil 36 de verilen derin silindirik sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıdaki işlemler yapılacaktır.

$$\gamma = H / R = 10 / 5 = 2$$

Eurocode 8 Part-IV de verilen doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan C_i ve C_c katsayıları, impuls m_i , ve salınım m_c kütlelerinin oranları ve sırasıyla tabandan olan yükseklikleri(h_i, h_c) ve taban basıncını hesaba katmak için kullanılan sanal yükseklikleri(h_i', h_c') olarak verilmiştir.

Tablo 4'ten alınan değerler aşağıda belirtilmiştir.

h/R	C_i	C_c	m_i/m	m_c/m	h_i/h	h_c/h	h_i'/h	h_c'/h
2	6,21	1,48	0,763	0,237	0,448	0,751	0,5	0,764

Yukarıdaki Tablo 4 ten alınan değerlere göre yapılan hesaplamalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Toplam sıvı kütlesi (28) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_i = \pi \cdot 5^2 \cdot 10 \cdot 1000 = 785398,1634 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Tablo 4 yardımıyla aşağıdaki değerler hesaplanmıştır.

İmpuls kütlesi hesabı;

$$\frac{m_i}{m} = 0,763$$

$$m_i = 599258,799 \text{ kg olarak}$$

hesaplanır.

Salınım kütlesi hesabı;

$$\frac{m_c}{m} = 0,237$$

$$m_c = 186139,365 \text{ kg olarak}$$

hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği ;

$$\frac{h_i}{h} = 0,448$$

$h_i = 4,48$ m olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_c}{h} = 0,751$$

$h_c = 7,51$ m olarak

hesaplanabilir.

Devirici moment hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_i'}{h} = 0,5$$

$h_i' = 5$ m olarak hesaplanabilir.

Devirici moment hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_c'}{h} = 0,764$$

$h_c' = 7,64$ m olarak

hesaplanabilir.

Burada sıvı deposu rijit olduğu için zemin ivmesi olarak kullanacağımız “ a_g ” yi direkt sıvı deposunun impuls ivmesi olarak kullanılacaktır. Zira rijit bir yapı olduğu için için deprem esnasında zemin hareketini taklit edecektir.

Zemin ivmesi hesabı;

1.Deprem bölgesi kabulüne göre $a_{gR}=0,4g$ olarak düşünülebilir.

Zemin ivmesi hesabı (80) nolu eşitlik yardımıyla;

$$a_g = 1,25 \cdot 0,4g$$

$a_g=4,905$ m/sn² olarak alınabilir.

Salınım periyodu (83) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_{con} = 1,48 \cdot \sqrt{5} = 3,3094 \text{ sn olarak hesaplanabilir.}$$

Duvar kütlesi (87) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_w = 2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 11,4 \cdot 0,5 \cdot 2400 = 429769,875 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Kapak kütlesi (88) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_r = \pi \cdot 5^2 \cdot 0,2 \cdot 2400 = 37699,1118 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Zemin ivmesi;

$$\gamma_1 \geq 1,0 \quad = 1,25 \text{ olarak alınırsa } ag_R = 0,4g, \quad ag_R = 3,924$$

$$ag = \gamma_1 \cdot ag_R = 4,905 \quad S = 1,2 \text{ olursa}$$

Salınım ivmesi (92) nolu eşitlik yardımıyla;

$$S_e(T_{con}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 2}{3,3094^2} \right) = 1,3436$$

Toplam kesme kuvveti (86) nolu eşitlik yardımıyla;

$$V = 599258,799 \cdot 4,905 + 186139,365 \cdot 1,3436$$

$$V = 3189,461 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Eğilme momenti (93) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_b = (599258,799 \cdot 4,48 \cdot 4,905 + 186139,365 \cdot 7,51 \cdot 1,3436$$

$$M_b = 15050,7736 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment (94) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_o = 599258,799 \cdot 5 \cdot 4,905 + 186139,365 \cdot 7,64 \cdot 1,3436$$

$M_o = 16607,562$ kN. m olarak hesaplanır.

2.1.2.2.3. Esnek Kabule Göre Sayısal Uygulamalar

Esnek kabule göre burada iki farklı yöntemle göre çözüm yapılacaktır. Esnek duvar kabulüne göre klasik yöntem Housner ve Eurocode-8 kullanılacaktır. Yapılacak hesaplara göre deprem analizi yapılacaktır.

2.1.2.2.3.1. Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı

Şekil 36 da verilen derin silindirik sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıdaki işlemler yapılacaktır.

$$\gamma = H / R = 10 / 5 = 2$$

Eurocode 8 Part-IV de verilen doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan C_i ve C_c katsayıları, impuls m_i , ve salınım m_c , kütlelerinin oranları ve sırasıyla tabandan olan yükseklikleri(h_i , h_c) ve taban basıncını hesaba katmak için kullanılan sanal yükseklikleri (h_i' , h_c') sembolleriyle ifade edilir.

Tablo 4 ten alınan değerler aşağıda gösterilmiştir.

h/R	C_i	C_c	m_i/m	m_c/m	h_i/h	h_c/h	h_i'/h	h_c'/h
2	6,21	1,48	0,763	0,237	0,448	0,751	0,5	0,764

Tablodan alınan değerlere göre yapılan hesaplamalar aşağıdaki belirtilmiştir.

Toplam kütle (28) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_t = \pi \cdot 5^2 \cdot 10 \cdot 1000 = 785398,1634 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Tablo 4 yardımıyla aşağıdaki değerler hesaplanmıştır.

İmpuls kütlesi;

$$\frac{m_i}{m_l} = 0,763$$

$m_i = 599258,799$ kg olarak hesaplanır.

Salınım kütlesi;

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,237$$

$m_c = 186139,365$ kg olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_i}{h} = 0,448$$

$h_i = 4,48$ m olarak hesaplanabilir.

Eğilme momenti hesabında kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_c}{h} = 0,751$$

$h_c = 7,51$ m olarak hesaplanır.

Devirici moment hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_i'}{h} = 0,5$$

$h_i' = 5$ m olarak hesaplanabilir.

Devirici moment hesabında kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_c'}{h} = 0,764$$

$h_c' = 7,64$ m olarak hesaplanır.

Burada depomuz esnek olduğu için Eurocode-8 Part-IV de verilen formüller kullanılarak çözüme gidilecektir.

1. Deprem bölgesi kabulüne göre zemin ivmesi hesabında ivme katsayısı $agR=0,4g$ olarak alınabilir.

Zemin ivmesi (80) nolu eşitlik yardımıyla;

$$a_g = 1,25 \cdot 0,4g$$

$a_g = 4,905 \text{ m/sn}^2$ olarak hesaplanabilir.

İmpuls periyodu (82) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_{imp} = 6,21 \cdot \frac{\sqrt{1} \cdot 10}{\sqrt{0,5/5} \cdot \sqrt{21 \times 10^4}} = 0,4285307 \text{ sn olarak hesaplanabilir.}$$

Salınım periyodu (83) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_{con} = C_c \cdot \sqrt{R} = 1,48 \cdot \sqrt{5} = 3,3094 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Duvar kütlesi (87) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_w = 2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10 \cdot 0,5 \cdot 2400 = 376991,1184 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Depo kapağı kütlesi (88) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_r = \pi \cdot 5^2 \cdot 0,2 \cdot 2400 = 37699,11184 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

İmpuls ivmesi hesabı;

$$ag = \gamma_1 \cdot ag_R = 4,905 \quad S=1,2 \text{ olursa}$$

Tip 1 elastik tepki spektrumu kullanılarak impuls ivmesi (90) nolu eşitlik yardımıyla impuls ivmesi;

$$S_e(T_{imp}) = 0,4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 = 14,715 \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

Salınım ivmesi (92) nolu eşitlik yardımıyla;

$$S_e(T_{con}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \left(\frac{0,5 \cdot 2}{3,3094^2} \right) = 1,3436$$

Toplam kesme kuvveti (86) nolu eşitlik yardımıyla;

$$V = (599258,799 + 429769,875 + 37699,1118) \cdot 14,715 + 186139,365 \cdot 1,3436$$

$V = 5958,060257$ kN olarak hesaplanabilir.

Eğilme momenti (93) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_b = (599258,799 \cdot 4,48 + 429769,865 \cdot 5 + 37699,1118 \cdot 10,1) \cdot 14,715 + 186139,365 \cdot 7,51 \cdot 1,3436$$

$M_b = 29779,4179$ kN. m olarak hesaplanır

Devirici moment (94) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_o = (599258,799 \cdot 5 + 429769,865 \cdot 5 + 37699,1118 \cdot 10,1) \cdot 14,715 + 186139,365 \cdot 7,64 \cdot 1,3436$$

$M_o = 31479,352$ kN. m olarak hesaplanabilir.

2.1.2.2.3.2. ACI 350'ye Göre Deprem Hesabı

Şekil 36 da verilen derin silindirik sıvı deposu plan ve kesitine göre aşağıdaki sayısal işlemler yapılacaktır

Verilen parametreler

$$g = 9,81 \text{ m/sn}^2 \quad E_c = 21 \times 10^9 \text{ N/m}^2, \quad \nu = 0,17, \quad t_w = 0,5 \text{ m olarak alınır.}$$

Toplam sıvı kütlesi (28) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_l = \pi \cdot \frac{10^2}{4} \cdot 10 \cdot 1000 = 785398,1634 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi (95) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{m_i}{m_l} = \frac{\tanh\left[0,866\left(\frac{10}{10}\right)\right]}{0,866\left(\frac{10}{10}\right)} = 0,807547$$

$m_i = 634245,9307$ kg olarak hesaplanır.

Salınım kütlesi (96) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,230\left(\frac{10}{10}\right) \cdot \tanh\left[3,68\left(\frac{10}{10}\right)\right] = 0,229707$$

$m_c = 180411,8759$ kg olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (98) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{D}{h} = \frac{10}{10} = 1 < 1,333 \text{ ise } \frac{h_i}{h} = 0,5 - 0,09375\left(\frac{10}{10}\right) = 0,40625$$

$h_i = 4,0625$ m olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği (99) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left[3,68\left(\frac{10}{10}\right)\right] - 1}{3,68\left(\frac{10}{10}\right) \cdot \sinh\left[3,68\left(\frac{10}{10}\right)\right]} = 0,741632$$

$h_c = 7,41632$ m olarak hesaplanır.

Devirici moment hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (100) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{D}{h} = \frac{10}{10} = 1 < 0,75 \text{ olduğundan}$$

$h_i' = 4,5$ m olarak hesaplanır.

Devirici moment hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği (102) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{h_c'}{h} = 1 - \frac{\cosh\left[3,68\left(\frac{10}{10}\right)\right] - 2,01}{3,68 \cdot \left(\frac{10}{10}\right) \cdot \sinh\left[3,68\left(\frac{10}{10}\right)\right]} = 0,755486$$

$h_c' = 7,55486$ m olarak hesaplanır.

İmpuls periyodu hesabı;

C_i katsayısı hesabında kullanılacak C_w katsayısı (133) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$C_w = 9,375 \cdot 10^{-2} + 0,2039 \left(\frac{10}{10}\right) - 0,1034 \left(\frac{10}{10}\right)^2 - 0,1253 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^3 + 0,1267 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^4 - 3,186 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^5 = 0,16379 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Açısal hız hesabında kullanılan C_i katsayısı hesabı (132) nolu eşitlik yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$C_i = 0,16379 \cdot \sqrt{\frac{500}{10 \cdot 5}} = 0,518$$

Rijitlik hesabında kullanılan açısal hız (131) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$\omega_i = 0,518 \cdot \frac{1}{10} \sqrt{\frac{10^3 \cdot 21 \cdot 10^3}{2,4}} = 153,226$$

İmpuls periyodu (130) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = \frac{2\pi}{153,226} = 0,041 \text{ s olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kuvvetinde kullanılacak C_i katsayısı (113) nolu eşitlik yardımıyla;

$T_i \leq 0,31$ s için

$$C_i = \frac{2,75}{1,2} = 2,2916$$

Salınım periyodu (112) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_c = \frac{2\pi}{\sqrt{3,68 \cdot 9,81 \cdot \tanh \left[3,68 \cdot \left(\frac{10}{10} \right) \right]}} \cdot \sqrt{10} = 3,309 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Salınım periyodu için salınım kuvveti hesabında kullanılacak C_c katsayısı (115) nolu eşitlik yardımıyla;

$T_c \geq 2,4$ s için

$$C_c = \frac{6}{T_c^2} = \frac{6}{3,309^2} = 0,548$$

Burada ACI 350 de verilen tablolardan depomuza uygun olan veriler seçilir;

Z Sismik alan faktörünü

I Bina önem katsayısını

S Zemin sınıfını karakterize eden bir katsayıyı

C_c ve C_i periyoda bağı olarak salınım moduna (% 0,5 sönüm için) ve impuls moduna (% 5 sönüm için) belirlenen spektral büyütme katsayılarını R_w davranış katsayısını ifade etmektedir.

Aşağıda yapılacak sayısal işlemlerde tablolardan seçilen değerler verilmiştir.

$$Z=0,4$$

$$I=1,25$$

$$S=1,2$$

$$R_{wi}=2,75$$

$$R_{wc}=1,0 \text{ olarak dikkate alınmıştır.}$$

Duvar kütlesi hesabında kullanılan ε katsayısı (116) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\varepsilon = \left[0,0151 \left(\frac{10}{10} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{10}{10} \right) + 1,021 \right] = 0,8453 \leq 1,00$$

olarak hesaplanır.

Depo duvar kütlesi daha önce (87)nolu eşitlik yardımıyla

$$m_w = 429769,875 \text{ kg olarak hesaplanmıştır.}$$

Duvar kütesinden oluşan duvar kuvveti (117) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_w = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,2916 \cdot 0,8453 \cdot \frac{4216,042}{2,75} = 1781,8583 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Kapak kütlesi hesabı (88) nolu eşitlik yardımıyla aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$m_r = \pi \cdot \frac{10^2}{4} \cdot 0,2 \cdot 2400 = 37699,112 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Kapak kütesinden oluşan depo kapak kuvveti, (119) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_r = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,2916 \cdot \frac{369,8283}{2,75} = 184,9087 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kuvveti hesabı (120) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_i = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,2916 \cdot \frac{6221,9526}{2,75} = 3110,8858 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Salınım kuvveti hesabı (121) nolu eşitlik yardımıyla aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$P_c = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,548 \cdot \frac{1769,840}{1,00} = 581,9234 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti (122) nolu eşitlik yardımıyla;

$$V = \sqrt{(3110,8858 + 1781,8583 + 184,9087)^2 + (581,923)^2} = 5110,8896 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momenti hesabı için;

Duvar kuvvetinden meydana gelen duvar momenti (123) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_w = 1781,8583 \cdot 5,7 = 10156,5923 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Kapak kuvvetinden meydana gelen çatı momenti (124) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_r = 184,9087 \cdot 11,5 = 2126,45 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

İmpuls etkisinden oluşan impuls momenti (125) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_i = 3110,8858 \cdot 4,0625 = 12637,974 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Salınım etkisinden oluşan salınım momenti (126) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_c = 581,923 \cdot 7,41632 = 4315,7272 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Temel seviyesi hemen üst noktasına depo duvarında oluşan eğilme momenti (127) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_b = \sqrt{(12637,974 + 10156,5923 + 2126,45)^2 + (4315,7272^2)} = 25291,946 \text{ kN. m}$$

olarak hesaplanır.

Temel seviyesi altında meydana gelen ve temel ile taşıyıcı sistemi de içeren devirici moment hesabında kullanılan impuls ve salınım momentleri (134)–(135) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_i' = P_i \cdot h_i' = 3110,8858 \cdot 4,5 = 13998,986 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

$$M_c' = P_c \cdot h_c' = 581,923 \cdot 7,55486 = 4396,347 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment (128) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_o = \sqrt{(13998,986 + 10156,5923 + 2126,45)^2 + (4396,347)^2}$$

$$M_o = 26647,19269 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Maksimum oluşabilecek dalga yüksekliği (129) nolu eşitlik yardımıyla;

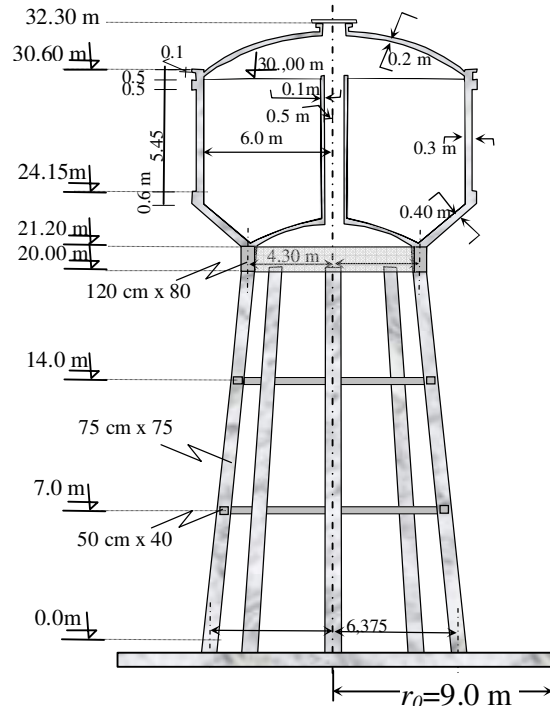
$$d_{max} = \left(\frac{10}{2}\right) \cdot (0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,548) = 1,644 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

2.2. Ayaklı Sıvı Depoları İçin Sayısal Uygulamalar

Ayaklı sıvı depoları deprem hesabında daha önce sunulan Housner, Eurocode 8 ve ACI 350 ye göre esnek duvar kabulüne göre sayısal uygulamalar yapılacaktır.

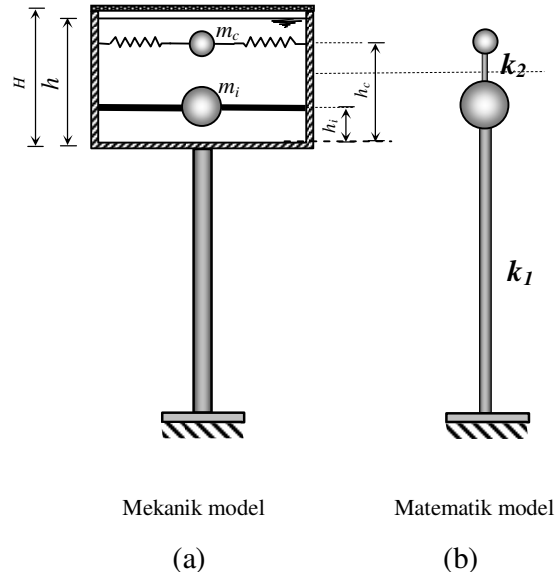
2.2.1. Housner Yöntemine Göre Deprem Hesabı

Bu bölümde Housner metoduna göre DSİ tarafından kullanılan tip proje pratik uygulamada model olarak alınacaktır. Aşağıda Şekil 38 de gösterilen boyutlar için esnek duvar kabulüne göre çözüm gerçekleştirilecektir.



Şekil 38. DSİ tarafından tip proje olarak uygulanan ayaklı depo kesiti

Yukarıda yer alan tip proje yaklaşık 900 m^3 sıvı alabilecek hazne hacmine sahiptir.



Şekil 39. Ayaklı depolarda iki kütleli sistemde matematik ve mekanik modeli

Yukarıda matematik modeli verilen sıvı deposunun toplam sıvı kütlesi (28) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_i = \pi \cdot 6^2 \cdot 8 \cdot 1000 = 904778,6842 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi hesabı (65) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_i = \frac{\tanh\left(1,74 \cdot \frac{6}{8}\right)}{1,74 \cdot \left(\frac{6}{8}\right)} \cdot 904778,6842 = 598335,893 \text{ kg şeklinde hesaplanabilir.}$$

Salınım kütlesi (31) nolu eşitlik yardımıyla

$$m_c = 0,318 \cdot \frac{6}{8} \cdot \left[\tanh\left(1,84 \cdot \frac{8}{6}\right) \right] \cdot 904778,6842 = 212620,7195 \text{ kg olarak hesaplanabilir.}$$

Eğilme momenti hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkiye yüksekliği (32) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_i = \frac{3}{8} \cdot 8 = 3,0 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Eğilme momenti hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği (34) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_c = \left(1 - \frac{\cosh\left(1,84 \cdot \frac{8}{6}\right) - 1}{1,84 \cdot \frac{8}{6} \cdot \sinh\left(1,84 \cdot \frac{8}{6}\right)} \right) \cdot 8 = 5,25256 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment için etkili olan impuls yüksekliği hesabı (36) nolu bağıntı yardımıyla;

$$h_i' = \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{4}{\frac{8}{1,732 \cdot 6} \cdot \tanh\left(1,732 \cdot \frac{6}{8}\right)} - 1 \right) \cdot 8 = 5,032 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Devirici moment için etkili olan salınım yüksekliği hesabı (38) nolu eşitlik yardımıyla;

$$h_c' = \left(1 - \frac{\cosh\left(1,84 \cdot \frac{8}{6}\right) - 2,01}{1,84 \cdot \frac{8}{6} \cdot \sinh\left(1,84 \cdot \frac{8}{6}\right)} \right) \cdot h = 5,82636 \text{ m şeklinde elde edilir.}$$

Burada taşıyıcı sistemin rijitliği k_1 salınım rijitliği de k_2 olmak üzere yapılan hesaplar aşağıda belirtilmektedir. Taşıyıcı sistemin rijitliği (66) nolu bağıntı yardımıyla;

$$k_2 = 2085,81 \cdot \frac{9,81}{6} \cdot 1,84 \cdot \tanh\left(1,84 \cdot \frac{8}{6}\right) = 6182,799 = 618,3 \text{ kN/m olarak hesaplanır.}$$

Taşıyıcı sistemin (ayak sisteminin) rijitliği k_1 ise (67) nolu bağıntı yardımıyla;

$k_1 = 34600$ kN/m olarak hesaplanır.

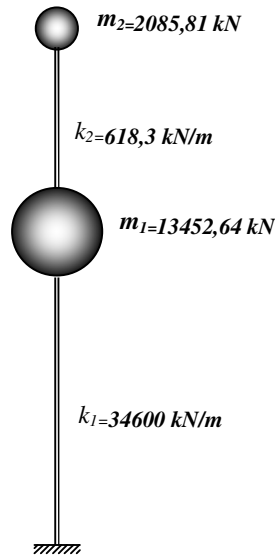
Burada iki serbestlik dereceli sistemin periyot hesabı yapılacaktır. İlk olarak yapıda m_1 kütesinin hesabı (63) nolu eşitlik yardımıyla;

$m_1 = 13452,643$ kN olarak hesaplanabilir.

Salınım basıncı ise (64) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$m_2 = 2085,21$ kN

Yapı periyodu hesabı;



Şekil 40. Ayaklı depo sayısal örnek matematik modeli

Ayaklı depolarda kütle ve rijitlik matrisleri hesabı;

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 35218200 & -618300 \\ -618300 & 618300 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1371319,062 & 0 \\ 0 & 212620,7951 \end{bmatrix}$$

Buradan dinamik matris hesabı;

$$[D] = [M]^{-1} \cdot [K] = \begin{bmatrix} 25,682061 & -0,450879 \\ -2,907994 & 2,907994 \end{bmatrix}$$

$$[[D] - \lambda[I]] = \left[\begin{bmatrix} 25,682061 & -0,450879 \\ -2,907994 & 2,907994 \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right] = \begin{bmatrix} 25,682061 - \lambda & -0,450879 \\ -2,907994 & 2,907994 - \lambda \end{bmatrix}$$

öz değerlerin tespit edilmesi;

$$\lambda^2 - 28,590055 + 73,37212587 = 0 \text{ olarak hesaplanır.}$$

$$\lambda_1 = 25,73948, \lambda_2 = 2,850566597$$

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1} = \sqrt{25,73949} = 5,073410 \text{ rad/sn}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2} = \sqrt{2,850567} = 1,68836$$

İmpuls periyodu hesabı (68) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_i = \frac{2\pi}{5,073410} = 1,2384541 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Salınım periyodu (69) nolu eşitlik hesabı;

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi}{1,68836} = 3,7215 \text{ sn olarak hesaplanabilir.}$$

Z_2 zemin grubu zeminler için $T_A=0,15$ $T_B=0,40$ ise buradan spektrum katsayısı hesabı

(72) nolu eşitlik yardımıyla;

$$S(T_i) = 2,5 \cdot \left(\frac{0,4}{1,2384541} \right)^{0,8} = 1,01224$$

Spektrum ivmesi (73) nolu eşitlik yardımıyla;

$$S_{pa}(T_i) = \frac{A_0 \cdot I \cdot S(T) \cdot g}{R_a(T)} = \frac{0,4 \cdot 1,25 \cdot 1,01224 \cdot 9,81}{1,0} = 4,9650372$$

İmpuls etkisinden oluşan kuvvet;

$$P_1 = 4,9650372 \cdot 1371319,062 = 6808,650 \text{ kN olarak hesaplanır}$$

Salınım etkisinden doğan spektrum katsayısı (72) nolu eşitlik yardımıyla;

$$S(T_2) = 2.5 \cdot \left(\frac{0,4}{3,7215} \right)^{0.8} = 0,071988$$

Salınım etkisinden doğan salınım ivmesi (72) nolu eşitlik yardımıyla

$$S_{pa}(T_c) = \frac{0,4 \cdot 1,25 \cdot 0,07199 \cdot 9,81}{1,0} = 0,35311095 \text{ hesaplanır.}$$

Salınım etkisinden doğan salınım kuvveti 75 nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_2 = 0,35311095 \cdot 212620,7195 = 75,07 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Toplam kesme kuvveti hesabı;

$$V = \sqrt{6808,650^2 + 75,078^2} = 6809,063925 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Depo tabanındaki eğilme momenti hesabı (78) nolu eşitlik kullanılarak çözülebilir.

$$M_b = 6808,650 \cdot (3 + 20) + 75,078 \cdot (5,26 + 20) = 158495,4203 \text{ kN. m}$$

Zemin yüzeyindeki devirici moment hesabı (79) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_o = 6808,650(5,032 + 20) + 75,078 \cdot (5,82636 + 20) = 172373,1183 \text{ kN.m}$$

2.2.2. Eurocode-8'e Göre Deprem Hesabı

Şekil 38 de verilen boyutlara göre aşağıda sayısal uygulamalar yapılacaktır.

$$\gamma = h / R = 8 / 6 = 1,333$$

Eurocode 8 Part-IV de verilen doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan C_i ve C_c katsayıları, impuls m_i , ve salınım m_c kütlelerinin oranları ve sırasıyla tabandan olan yükseklikleri (h_i , h_c) ve taban basıncını hesaba katmak için kullanılan sanal yükseklikleri (h_i' , h_c') şeklinde ifade edilebilir.

Tablo 4 ten aşağıdaki değerler seçilir

h/R	C_i	C_c	m_i/m	m_c/m	h_i/h	h_c/h	h_i'/h	h_c'/h
1,333	6,162	1,494	0,639	0,361	0,432	0,665	0,611	0,751

Buna göre yapılan hesaplamalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Toplam kütle hesabı (28) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_l = \pi \cdot 6^2 \cdot 8 \cdot 1000 = 904778,6842 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi hesabı;

$$\frac{m_i}{m_l} = 0,639$$

$$m_i = m_l \cdot 0,639 = 578153,5792$$

Salınım kütlesi hesabı;

$$\frac{m_c}{m} = 0,361$$

$$m_c = m \cdot 0,361 = 326625,105 \text{ kg olarak}$$

hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği;

$$\frac{h_i}{h} = 0,432$$

$$h_i = h \cdot 0,432 = 3,456$$

Eğilme momenti hesabında kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği

$$\frac{h_c}{h} = 0,665$$

$$h_c = h \cdot 0,665 = 5,32$$

Devirici momenti hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği

$$\frac{h_i'}{h} = 0,611$$

$$h_i' = h \cdot 0,611 = 4,888$$

Devirici momenti hesabında kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği

$$\frac{h_c'}{h} = 0,751$$

$$h_c' = h \cdot 0,751 = 6,008$$

Ayaklı sıvı deposu esnek olduğu için Eurocode–8 Part-IV de verilen formüller kullanılarak çözüme gidilecektir.

Zemin ivmesi hesabı için;

1. Deprem bölgesi kabulüne göre zemin ivmesi katsayısı $a_g R=0,4g$ olarak alınabilir.

(80) nolu bağıntı yardımıyla;

$$a_g = 1,25 \cdot 0,4g$$

$$a_g = 4,905 \text{ m/sn}^2$$

İmpuls periyodu hesabı (82) nolu bağıntı yardımıyla;

$$T_{imp} = 6,162 \cdot \frac{\sqrt{1} \cdot 8}{\sqrt{0,4/6} \cdot \sqrt{21 \times 10^4}} = 0,4166 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Salınım periyodu hesabı (83) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_{con} = 1,494 \cdot \sqrt{6} = 3,659 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Aşağıda gösterilen semboller;

$$m_w = \text{Depo duvar kütlesi}$$

m_v = Boş depo hazne kütlesi

m_{ss} = Depo ayak kütlelerini ifade etmektedir.

Depo boş hazne hesabı;

$m_v = 524771,631$ kg olarak hesaplanır

Depo ayak kütlesi hesabı;

$m_{ss} = 406524,4852$ kg olarak hesaplanır

Buradan (63) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_1 = 578153,5792 + 524771,631 + 0,66 \cdot 406524,4852$$

$$m_1 = 1371231,37 \text{ kg olur.}$$

Salınım veya m_2 kütlesi ise (64) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_2 = m_c = 326625,105 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Zemin ivmesi hesabı daha önce (80) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\gamma \geq 1,0 \quad = 1,25 \text{ olarak alınırsa } a_{gR} = 0,4g, \quad a_{gR} = 3,924$$

$$a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 4,905 \quad S = 1,2 \text{ olursa}$$

Tip 1 elastik tepki spektrumu kullanılarak impuls ivmesi (90) nolu eşitlik yardımıyla;

$$S_e(T_{imp}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 = 14,715$$

olarak hesaplanır.

Salınım ivmesi hesabı (92) nolu eşitlik yardımıyla;

$$S_e(T_{con}) = 4,905 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \left(\frac{0,5 \cdot 2}{3,659^2} \right) = 1,0991$$

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti (86) nolu eşitlik yardımıyla;

$$V = 1371231,37 \cdot 14,715 + 326625,105 \cdot 1,0991$$

$V = 7084,8835$ kN olarak hesaplanabilir.

Deprem esnasında oluşabilecek eğilme momenti (93) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_b = 1371231,37 \cdot (3,456 + 20) \cdot 14,715 + 326625,105 \cdot (5,32 + 20) \cdot 1,0991$$

$M_b = 166852,1921$ kN. m olarak hesaplanır

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment (94) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_o = 1371231,37 \cdot (4,888 + 20) \cdot 14,715 + 326625,105 \cdot (6,008 + 20) \cdot 1,0991$$

$M_o = 176730,654$ kN. m olarak hesaplanır.

2.2.3. ACI 350'ye Göre Deprem Hesabı

Şekil 38 de verilen ayaklı bir sıvı deposunun kesit ve kütle modeline göre aşağıda sayısal uygulamalar yapılmıştır.

Verilen parametreler;

$$g=9,81 \text{ m/sn}^2 \quad E_c=21 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \quad \nu=0,17 \quad t_w=0,5 \text{ m olarak alınır.}$$

Toplam sıvı kütlesi hesabı (28) nolu bağıntı yardımıyla;

$$m_l = \pi \cdot \frac{12^2}{4} \cdot 8 \cdot 1000 = 904774,6842 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kütlesi (95) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{m_i}{m_l} = \frac{\tanh\left[0,866\left(\frac{12}{8}\right)\right]}{0,866\left(\frac{12}{8}\right)} = 0,6632$$

$m_i = 600024,773$ kg olarak hesaplanır.

Salınım kütlesi ise (96) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{m_c}{m_l} = 0,230\left(\frac{12}{8}\right) \cdot \tanh\left[3,68\left(\frac{8}{12}\right)\right] = 0,33993$$

$m_c = 307563,20$ kg olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılan impuls kuvveti etkime yüksekliği (97) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{D}{h} = \frac{12}{8} = 1,5 \geq 1,333 \text{ ise}$$

Yapılan hesap sonucunda;

$h_i = 3$ m olarak hesaplanır.

Eğilme momenti hesabında kullanılan salınım kuvveti etkime yüksekliği (99) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left[3,68\left(\frac{8}{12}\right)\right] - 1}{3,68\left(\frac{8}{12}\right) \cdot \sinh\left[3,68\left(\frac{8}{12}\right)\right]} = 0,65695$$

$h_c = 5,2556$ m olarak hesaplanır.

Devirici moment hesabında kullanılacak impuls kuvveti etkime yüksekliği (101) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\frac{D}{h} = \frac{12}{8} = 1,5 \geq 0,75 \text{ olduğundan}$$

$$\frac{h_i'}{h} = \frac{0,866 \left(\frac{12}{8} \right)}{2 \cdot \tanh \left[0,866 \left(\frac{12}{8} \right) \right]} - \frac{1}{8} = 0,62895 \text{ olarak hesaplanır.}$$

$h_i' = 5,032$ m olarak hesaplanır.

Devirici moment hesabında kullanılacak salınım kuvveti etkime yüksekliği (103) nolu bağıntı yardımıyla;

$$\frac{h_c'}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3,68 \left(\frac{8}{12} \right) \right] - 2,01}{3,68 \cdot \left(\frac{8}{12} \right) \cdot \sinh \left[3,68 \left(\frac{8}{12} \right) \right]} = 0,7283$$

$h_c' = 5,8264$ m olarak hesaplanır.

İmpuls periyodu hesabı (103) nolu eşitlik yardımıyla aşağıda yapılacaktır.

C_i katsayısı hesabında kullanılacak C_w katsayısı (133) nolu eşitlik yardımıyla;

$$C_w = 9,375 \cdot 10^{-2} + 0,2039 \left(\frac{8}{12} \right) - 0,1034 \left(\frac{8}{12} \right)^2 - 0,1253 \cdot \left(\frac{8}{12} \right)^3 + 0,1267 \cdot \left(\frac{8}{12} \right)^4$$

$$-3,186 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{8}{12}\right)^5 = 0,1673654 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Açısal hız bağıntısında yer alan C_i katsayısı ise (132) nolu bağıntı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$C_i = 0,1673654 \cdot \sqrt{\frac{400}{10 \cdot 6}} = 0,4321356$$

Açısal hız hesabı aşağıdaki (131) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$\omega_i = 0,4321356 \cdot \frac{1}{8} \sqrt{\frac{10^3 \cdot 21 \cdot 10^3}{2,4}} = 159,7843$$

İmpul periyodu hesabı (103) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_i = \frac{2\pi}{215,672} = 0,039323 \text{ s olarak hesaplanır.}$$

İmpuls periyoduna göre hesaplanan C_i katsayısı (113) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_i \leq 0,31 \text{ s için} \quad C_i = \frac{2,75}{1,2} = 2,2916$$

Salınım periyodu hesabında kullanılacak λ katsayısı 110 nolu eşitlik (112) nolu eşitlikte yerine konursa salınım periyodu (112) nolu bağıntıdan;

$$T_c = \frac{2\pi}{\sqrt{3,68 \cdot 9,81 \cdot \tanh\left[3,68 \cdot \left(\frac{8}{12}\right)\right]}} \cdot \sqrt{12} = 3,64943 \text{ n olarak hesaplanır.}$$

Salınım kuvveti hesabında kullanılacak C_c katsayısı (115) nolu eşitlik yardımıyla;

$$T_c \geq 2,4 \text{ s için} \quad C_c = \frac{6}{3,64943^2} = 0,45051$$

Burada ACI 350 de verilen tablolardan model depo özelliklerine göre seçilen değerler verilmiştir.

Z Sismik alan faktörünü

I Bina önem katsayısını

S Zemin sınıfını karakterize eden bir katsayıyı

C_c ve C_i periyoda bağlı olarak salınım moduna (% 0,5 sönüm için) ve impuls moduna (% 5 sönüm için) belirlenen spektral büyütme katsayılarını R_w davranış katsayısını ifade etmektedir.

Aşağıda yapılacak işlemlerde kullanılacak değerler verilmiştir.

$$Z=0,4$$

$$I=1,25$$

$$S=1,2$$

$$R_{wi}=3,0$$

$$R_{wc}=1,0 \text{ olarak dikkate alınmıştır.}$$

Duvar yükü hesabında kullanılacak ϵ katsayısı (116) nolu eşitlik yardımıyla;

$$\epsilon = \left[0,0151 \left(\frac{12}{8} \right)^2 - 0,1908 \left(\frac{12}{8} \right) + 1,021 \right] = 0,76878 \leq 1,00$$

olarak hesaplanır.

Duvar kütlesi hesabı (87) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_w = \pi \cdot 12 \cdot 10 \cdot 0,4 \cdot 2400 = 361911,4737 \text{ kg}$$

$$m_w = 3550,352 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Duvar ağırlığından oluşan duvar yükü (117) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_w = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,29166 \cdot 0,768775 \cdot \frac{3350,352}{3,0} = 1250,947$$

Kapak kütlesi ise (88) nolu bağıntı yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$m_r = \pi \cdot \frac{12^2}{4} \cdot 0,2 \cdot 2400 = 54286,72 \text{ kg hesaplanır.}$$

Kapak ağırlığından oluşan çatı kuvveti (119) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_r = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2.29166 \cdot \frac{532,353}{3,0} = 243,994 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kuvveti (120) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_i = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2.29166 \cdot \frac{5886,243}{3,0} = 2697,783 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Salınım kuvveti (121) nolu bağıntı yardımıyla;

$$P_c = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,45051 \cdot \frac{3017,195}{1,00} = 815,566 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Temel kütlesi (118) nolu eşitlik yardımıyla;

$$m_f = \pi \cdot \frac{12^2}{4} \cdot 0,4 \cdot 2400 = 108573,4421 \text{ kg olarak hesaplanır.}$$

Temel kuvveti (136) nolu eşitlik yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_f = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2.29166 \cdot \frac{1065,1055}{3,0} = 488,172$$

Taşıyıcı ayak kütlesi daha önce hesaplanmıştı.

$$m_{ss} = 3988,0155$$

Ayak kütesinden oluşan kuvvet (137) nolu eşitlik yardımıyla;

$$P_{ss} = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 2,29166 \cdot \frac{3988,0155}{3,0} = 1827,835$$

Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti (122) nolu eşitlik yardımıyla;

$$V = \sqrt{(2697,783 + 1250,947 + 243,994 + 488,172 + 1827,835)^2 + (815,566)^2}$$

$V = 6559,629$ kN olarak hesaplanır.

Duvar kuvvetinden meydana gelen duvar momenti hesabı (123) nolu bağıntı yardımıyla;

$$M_w = 1250,947 \cdot (5 + 20) = 31273,675 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Çatı kuvvetinde oluşan çatı momenti hesabı (124) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_r = 243,994 \cdot (10,1 + 20) = 7344,2194 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Temel kuvvetinden oluşan temel momenti (138) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_f = 488,172 \cdot (0,2 + 20) = 9861,0744 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momenti (125) nolu eşitlik yardımıyla

;

$$M_i = 2697,783 \cdot (3 + 20) = 62049,009 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Salınım kuvvetinden oluşan salınım momenti (126) nolu eşitlik yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$M_c = 815,566 \cdot (5,26 + 20) = 20601,197 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Ayak kütesinden oluşan taşıyıcı sistem(ayak) momenti (139) nolu eşitlik yardımıyla

$$M_{ss} = 1827,835 \cdot 10 = 18278,35 \text{ kN. m olarak hesaplanır}$$

Temel seviyesi hemen üst noktasına depo duvarında oluşan eğilme momenti (127) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_b = \sqrt{(62049,009 + 31273,675 + 7344,2194 + 9861,0744 + 18278,35)^2 + (20601,197)^2}$$

$$M_b = 130443,395 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Temel seviyesi altında meydana gelen impuls ve salınım momentleri sırasıyla (133)-(134) nolu eşitlikler yardımıyla;

$$M_i' = 2697,783 \cdot (5,032 + 20) = 67530,904 \text{ kN. m olarak hesaplanır}$$

$$M_c' = 815,566 \cdot (5,8264 + 20) = 21063,13374 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

Deprem esnasında oluşabilecek devirici moment (128) nolu eşitlik yardımıyla;

$$M_o = \sqrt{(67530,904 + 31273,675 + 7344,2194 + 9861,0744 + 18278,35)^2 + (21063,13374)^2}$$

$$M_o = 135930,0643 \text{ kN. m olarak hesaplanır.}$$

3. BULGULAR VE İRDELEME

Yapılan çalışmalarda aşağıda tablolarda, elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Bu çalışmada sıvı depolarının esnek ve rijit çözümü göz önüne alındığında rijit çözüm için Housner ve Eurocode-8 in kullanılabilirdiği, esnek çözüm göz önüne alındığında ise Eurocode-8 ve ACI-350'nin kullanılabilirdiği görülmektedir. Ayaklı depolara göre yapılan çözümlere ise rijit duvar kabulunun çok ekonomik olmayacağı bu nedenle her üç yonteme ait esnek çözüme göre yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Yapılan sayısal uygulamalardan elde edilen sonuçlarda deprem etkisinde kesme kuvveti değerleri, eğilme momenti değerleri, sıvı deposunu devirici momentleri ve deprem esnasında oluşacak maksimum dalga yükseklikleri karşılaştırmaya tabi tutulmuştur.

Yapılan değerlendirmede yerüstü depolarda esnek çözümde;

- Tablo 11 de sığ dikdörtgen sıvı depolarının rijit analizinde Eurocode 8 e göre kesme kuvveti değerinin Housner yöntemine göre büyük olmasına karşın eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin Housner yönteminde daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu durumda sıvı deposunun hangi yük etkisinde, hangi kesitlerin zorlanabileceği hesaplanarak bu duruma göre tasarım yapılması probleme gerçekçi olarak yaklaşılmasını sağlayacaktır.
- Tablo 12 de sığ dikdörtgen sıvı depolarının esnek analizinde Eurocode 8 ve ACI 350 ye göre elde edilen kesme kuvveti, eğilme ve devirici moment hesaplarının tümünün Eurocode-8'e göre yapılan çözümlerde daha büyük olduğua tespit edilmiştir.
- Tablo 13 de derin dikdörtgen sıvı depolarının rijit analizinde Eurocode 8 ve Housner yöntemleri karşılaştırılmış yapılan incelemede Housner yöntemine göre devirici momentin Eurocode-8 e göre daha büyük olduğu ancak kesme kuvveti ve eğilme momentinin Eurocode-8 de daha büyük olduğu belirlenmiştir.
- Tablo 14 te de derin dikdörtgen sıvı depolarının rijit analizinde Eurocode 8 ve ACI 350 ye göre incelenmiş kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici momentin tamamında Eurocode 8 yöntemine göre elde edilen değerlerin büyük olduğu ve sıvı deposu için daha elverişsiz sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.
- Tablo 15 de silindirik sıvı depolarının rijit analizinde Eurocode 8 ve Housnere göre değerlendirilmiş devirici moment hariç tüm değerlerde Eurocode-8 e göre elde edilen sonuçların daha büyük değerler verdiği belirlenmiştir.
- Tablo 16 da silindirik sıvı depolarının esnek kabul göre analizinde Eurocode-8 ve ACI 350 ye göre elde edilen değerler değerlendirilmiş kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici

moment değerlerinin tamamında Eurocode-8'e göre elde edilen değerlerin büyük olduğu tespit edilmiştir.

- Tablo 17 de derin dikdörtgen sıvı depolarının rijit kabule göre hesaplanan değerler incelenmiş ve kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici moment değerlerinin tamamında Eurocode-8 yöntemiyle elde edilen sonuçların daha büyük olduğu tespit edilmiştir
- Tablo 18 de derin dikdörtgen sıvı depolarının esnek kabule göre hesaplar incelenmiş kesme kuvveti, eğilme momenti ve devirici momentler karşılaştırılmış ve en büyük değerleri Eurocode-8 e göre yapılan çözümlerden elde edildiği görülmüştür.
- Tablo 19 da ayaklı sıvı depoları üç farklı yöntemle göre incelenmiş esnek kabule göre çözümler yapılmıştır. Yapılan incelemede devirici moment hariç eğilme ve kesme kuvveti hesabında Eurocode -8 yönteminin daha büyük değerler elde edildiği ancak devirici momentte ise Housner yönteminin daha büyük değer verdiği görülmüştür.
- Tüm bu bilgiler ışığında tasarımcının elde edilen sonuçları iyi değerlendirmesi ve tasarımını en elverişsiz duruma göre yapması sıvı depolarının deprem etkisinde hasarlarının azaltılmasına katkıda bulunacaktır.
- Eurocode-8'in diğer yöntemlere göre daha elverişsiz sonuç vermesi tasarımda Eurocode-8 in daha çok kullanılması gerekliliğini bir kez daha ortaya koymuştur.
- Seçilen ön boyutlandırmaya göre elde edilen koruyucu moment hesabında yapılan karşılaştırmalarda koruyucu momentin yerüstü depolarda devirici momentten büyük olduğu görülmüştür. Bu durumda seçilen boyutlar koruyucu moment hesabı da dikkate alınarak revize edilebilir.

Tablo 11. Sığ dikdörtgen sıvı depolarının rijit kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar

SİĞ DİKDÖRTGEN SIVI DEPOLARI RİJİT KABULE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLAR														
Yöntem		$m_i(kg)$	$m_c(kg)$	$h_i(m)$	$h_c(m)$	$h_i'(m)$	$h_c'(m)$	$T_{imp}(sn)$	$T_{con}(s)$	$V(kN)$	$M_b(kN)$	$M_o(kN)$	$d_{max}(m)$	$M_k(kN)$
Eurocode -8	Housner	1125462,346	2711959,257	2,3475	3,2782	10,065	12,3095	-	-	5 921,5609	19 961,7375	81 935,193	0,91528	208439,154
		1171875	2734375	2,5	3,39375	9,125	9,48125	-	6,988	6 572,02176	17 166,482	60 263,20367	-	
													-	

Tablo 12. Sığ dikdörtgen sıvı depolarının esnek kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar

SİĞ DİKDÖRTGEN SIVI DEPOLARI ESNEK KABULE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLAR													
Yöntem	$m_i(kg)$	$m_c(kg)$	$h_i(m)$	$h_c(m)$	$h_i'(m)$	$h_c'(m)$	$T_{imp}(sn)$	$T_{con}(s)$	$V(kN)$	$M_b(kN)$	$M_o(kN)$	$d_{max}(m)$	$M_k(kN)$
Eurocode -8	1 171 875	2 734 375	2,5	3, 39375	9,125	9,48125	0,5235	6,988	13 252,53634	49 813,1243	94 504,797		208 439,154
ACI 350	1 125 462,346	2 715 937,273	2,3475	3,2782	10,065	12,412	0,21	6,954	9 551,6465	34 875,1864	80 733,1024	0,93055	

Tablo 13. Derin dikdörtgen sıvı depolarının rijit kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar

DERİN DİKDÖRTGEN SIVI DEPOLARI RİJİT KABULE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLAR														
Yöntem	$m_i(kg)$	$m_c(kg)$	$m_a(kg)$	$h_i(m)$	$h_c(m)$	$h_a(m)$	$h_i'(m)$	$h_c'(m)$	$T_{con}(s)$	$V(kN)$	$M_b(kN.m)$	$M_o(kN.m)$	$d_{max}(m)$	$M_k(kN.m)$
Housner	1330 000	647 500	625000	5,3125	7,3725	1,25	6,85	7,975	-	9602,9085	42261,41875	52598,4456	-	214 827,5558
Eurocode -8	1 907 500	592 500	-	4,48	7,51	-	5	7,64	3,58576	10034,374	47008,598	51962,0193	-	

Tablo 14. Derin dikdörtgen sıvı depolarının esnek kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar

DERİN DİKDÖRTGEN SIVI DEPOLARI ESNEK KABULE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLAR													
Yöntem	$m_i(kg)$	$m_c(kg)$	$h_i(m)$	$h_c(m)$	$h_i'(m)$	$h_c'(m)$	$T_{imp}(sn)$	$T_{con}(s)$	$V(kN)$	$M_b(kN)$	$M_o(kN)$	$d_{max}(m)$	$M_k(kN)$
ACI 350	1 124 719,592	657 628,3434	4,0625	7,09303	4,942	7,36472	0,485	3,575	10013,363	52 250,53377	56 971,8987		208 439,154
Eurocode -8	1 907 500	592500	4,48	7,51	5,00	7,64	0,55048	3,585	14640,50645	79749,811	84651,6026		

Tablo 15. Sığ silindirik sıvı depolarının rijit kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar

SİĞ SİLİNDİRİK SIVI DEPOLARI RİJİT KABULE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLAR													
Yöntem	$m_i(kg)$	$m_c(kg)$	$h_i(m)$	$h_c(m)$	$h_i'(m)$	$h_c'(m)$	$T_{imp}(sn)$	$T_{con}(s)$	$V(kN)$	$M_b(kN)$	$M_o(kN)$	$d_{max}(m)$	$M_k(kN)$
Housner	415 951,3955	231901,7358	2,3475	3,784315	4,981069	4,902224	-	-	2048,451	5475,11282	11 060,68711	0,366742	42 185,29946
Eurocode -8	420 310,74	346679,66	2,61875	3, 85	4,50625	4,90625	-	3,8	2414,90462	6 759,013	11 024,1664	-	-

Tablo 16. Sığ silindirik sıvı depolarının esnek kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar

SIĞ SİLİNDİRİK SIVI DEPOLARI ESNEK KABULE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLAR													
Yöntem	$m_i(kg)$	$m_c(kg)$	$h_i(m)$	$h_c(m)$	$h_i'(m)$	$h_c'(m)$	$T_{imp}(sn)$	$T_{con}(s)$	$V(kN)$	$M_b(kN)$	$M_o(kN)$	$d_{max}(m)$	$M_k(kN)$
Eurocode -8	420310,74	346 679,658	2,61875	3, 85	4,50625	4,90625	0,490684	3,8	3 574,1763	11657,6775	16 293,903		
ACI 350	415951,3954	335 455,341	2,3475	3,4657	4,98106	4,9022	0,0291	3,792	4 848,648	17 039,567	22 391,1208	1,56461	42 185,29946

Tablo 17. Derin silindirik sıvı depolarının rijit kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar

DERİN SİLİNDİRİK SIVI DEPOLARI RİJİT KABULE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLAR														
Yöntem	$m_i(kg)$	$m_c(kg)$	$m_a(kg)$	$h_i(m)$	$h_c(m)$	$h_a(m)$	$h_i'(m)$	$h_c'(m)$	$T_{con}(s)$	$V(kN)$	$M_b(kN.m)$	$M_o(kN.m)$	$d_{max}(m)$	$M_k(kN.m)$
Housner	417831,823	53014,3760	196349,5409	5,3125	7,605	1,25	6,85	7,955	-	3 012,8506	12410,15569	15 575,8665	-	67 261,352
Eurocode -8	599258,799	186139,365	-	4,48	7,51	-	5	7,64	3,3094	3 189,461	15 050,773	16 607,562	-	

Tablo 18. Derin dikdörtgen sıvı depolarının esnek kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar

DERİN DİKDÖRTGEN SIVI DEPOLARI ESNEK KABULE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLAR													
Yöntem	$m_i(kg)$	$m_c(kg)$	$h_i(m)$	$h_c(m)$	$h_i'(m)$	$h_c'(m)$	$T_{imp}(sn)$	$T_{con}(s)$	$V(kN)$	$M_b(kN)$	$M_o(kN)$	$d_{max}(m)$	$M_k(kN)$
Eurocode -8	599258,799	186139,365	4,48	7,51	5,0	7,64	0,4285	3,3094	5958,799	29779,4179	31479,352	-	67261,392
ACI 350	634245,931	180411,8759	4,0625	7,41632	4,5	7i55486	0,041	3,309	5110,896	25291,946	26647,192	-	

Tablo 19. Ayaklı sıvı depolarının esnek kabule göre deprem hesabından elde edilen sonuçlar

AYAKLI SIVI DEPOLARI ESNEK KABULE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLAR													
Yöntem	$m_i(kg)$	$m_c(kg)$	$h_i(m)$	$h_c(m)$	$h_i'(m)$	$h_c'(m)$	$T_{imp}(sn)$	$T_{con}(s)$	$V(kN)$	$M_b(kN)$	$M_o(kN)$	$d_{max}(m)$	$M_k(kN)$
Housner	598 335,893	212 620,7195	3,0	7,51	5,2556	5,82636	1,23845	3,7215	6809,063	130 443,395	172 373,1183	-	-
Eurocode -8	578153,5792	326 625,105	3,456	7,41632	5,32	6,008	0,4166	3,659	7084,8835	166 852,1921	176 730,6541	-	-
ACI 350	600 024,773	307 563,20	3,0	7,41632	5,2556	5,826	0,039323	3,649	6559,629	158 495,4203	135 930,0643	-	-

4. SONUÇLAR

❖ Bölüm 3 te elde edilen sonuçlar incelendiğinde yerüstü depolarda rijit ve esnek çözümde Eurocode-8 in diğer yöntemlere göre daha elverişsiz sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu durumda tasarımcının daha çok Eurocode-8 de belirtilen yöntemleri dikkate almasını ancak farklı yönetmelikleri de incelemesi önemlidir.

❖ Yerüstü depoların rijit kabule göre yapılan çözümlerinde Eurocode-8 ve geleneksel olarak kullanılan Housner yöntemi kullanılmıştır. Bulunan sonuçlara göre Eurocode-8 e göre sonuçların daha büyük çıktığı görülmektedir. Ancak sığ dikdörtgen sıvı depolarının devirici momentinin Housner yönteminde daha büyük olduğu görülmüştür. Bu durumda tasarım hesaplarında Housner yöntemine göre elde edilen sığ dikdörtgen sıvı deposu devirici momenti hariç diğer tüm elde edilen değerlerde Eurocode-8 in dikkate alınabileceği aşikârdır.

❖ Yerüstü depo deprem hesabında dikkate alınan koruyucu momentin yapılan önboyutlandırmaya göre hesabında yapılan karşılaştırmada koruyucu momentin devirici momente göre daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Ancak tasarımcıların diğer standart ve yönetmelikleri de dikkate alarak optimum boyutları seçmesi mühendisliğin temel ilkelerinden ekonomik olma ilkesiyle bağdaştırılabilir.

❖ Ayaklı depolara göre esnek çözüm sonuçları incelendiğinde ise yerüstü depolarda elde edildiği gibi ayaklı depolarda da Eurocode-8 yöntemi sonuçlarının daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Ayaklı depolar gibi hassas yapıların projelendirilmesinde deprem bölgesi olan yörelerde Eurocode-8 yönteminin kullanılarak tasarım yapılmasının çok önemli olduğu belirlenmiştir. Bu durum hassasiyet derecesi yüksek olan kimyasal madde ve yakıt depoları için elzemdir.

❖ Tüm değerlendirmeler düşünüldüğünde ACI 350'nin Housner yönteminden ifade ve denklem olarak etkilendiği gözlemlenmiştir. Eurocode-8 in de geleneksel olarak kullanılan Housner yönteminden etkilendiği ancak genel anlamda kendine ait farklı formül ve denklemlerin oluşturulduğu belirlenmiştir.

5. ÖNERİLER

- ❖ Yapı sıvı etkileşiminin incelenerek farklı standartlara göre yerüstü ve ayaklı depoların incelendiği bu çalışmadan yararlanılarak bu konuda çalışma yapacak araştırmacıların konuyudaha geniş kapsamda inceleyerek tüm sıvı depolarının yapı-sıvı-zemin etkileşimlerinin yönünden incelenmesi çalışmasının yapılabilirler.
- ❖ Tüm sıvı depolarının günümüz teknolojisinde belirlenen standartlara göre karşılaştırılarak değerlendirilmesi optimum yapım teknolojilerinin geliştirilmesi yönünden çok faydalı olacağı inancındayım. Bu bağlamda sıvı depoları hakkında dünya çapında bir standartın oluşturulabileceği ve elde edilen gelişmelerin bu global standartla tüm insanlığa sunulabileceği kanaatindeyim.
- ❖ Sıvı deplarının dinamik hesaplarının incelenmesi ve buna ait çözümlerin geliştirilmesi amacıyla İnşaat Mühendisliği dalında okutulan deprem mühendisliği dersinde sıvı depoların deprem hesabının da işlenmesi gerekliliği düşüncesindeyim.

6. KAYNAKLAR

- Çakır, T., Livaoglu, R., Doğangün, A., 2008. Effects of Different Backfill Soil Types on the Dynamic Response of Rectangular Tank Wall Considering Backfill-Wall-Fluid Interaction, 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE), Beijing, China.
- Çelebioğlu, M.F., 2005. Silindirik Su Deposu Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar, 2007. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- 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, Trabzon.
- Doğangün A., 2002. Sıvı Tutucu Yapıların Dinamik Hesapları, IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, Bildiriler kitabı, Balıkesir. 297–305.
- Doğangün, A., 2007. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, 3. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Doğangün, A. ve Livaoglu, R., 2004. “Hydrodynamic Pressures Acting on The Walls of Rectangular Fluid Containers” Structural Engineering and Mechanics: An International Journal, 203-214.
- Durmuş A. ve Doğangün A., 1992. Türkiye’de Tip Proje Olarak Uygulanan Ayaklı Betonarme Sıvı Depolarının Deprem Emniyeti, Prefabrik Birliği Yayın Organı, İstanbul. 17-24.
- Durmuş A. ve Doğangün, A., 1991. Türkiye’de Tip Proje Olarak Uygulanan Betonarme Su Depolarının Depreme Karşı Güvenliklerinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesi II. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu, Balıkesir.
- Durmuş A., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş Ders Notları, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Eurocode-8., 2006. Design of Structures for Earthquake Resistance, Part:4: Silos, Tanks and Pipelines, Brussels, Belgium, 44-81.
- Eurocode-8, 2006 Design of Structures for Earthquake Resistance, Part:1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, Ground Conditions and Seismic Action, Brussels, Belgium, 33–44.

- Livaoğlu, R., 2005. Ayaklı Depoların Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşimleri Dikkate Alınarak Deprem Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,98-113.
- Livaoğlu, R., 2008. Investigation of Seismic Behavior of Fluid- Rectangular Tank-Soil/Foundation Systems in Frequency Domain” Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 132-146.
- Livaoğlu, R. ve Doğanğün A., 2007. Effects of Foundation Embedment on Seismic Behavior of the Elevated Tanks Considering Fluid-Structure-Soil Interaction” Soil Dynamics and Earthquake Engineering , 855-863.
- Livaoğlu R. ve Doğanğün A., 2004. A simple seismic analysis procedure for fluid-elevated tank-foundation/soil systems, Sixth International Conference on Advances in Civil Engineering (ACE 2004) , , 6-8 October, İstanbul, pp.570-580.
- Livaoğlu R. ve Doğanğün, A., 2006. Dynamic Behavior And Seismic Performance of Elevated Tanks Due To Ground Types Defined In Ec-8 and Tec-06, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Paper no: 1313, 3-8 September, Geneva, Switzerland.
- Livaoğlu, R. ve Doğanğün., A., 2006. Evaluation of Seismic Models of Fluid-Elevated Tanks Systems Suggested in Codes, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, October , İstanbul, Türkiye.
- Livaoğlu, R. ve Doğanğün, A., 2007. Seismic behavior of cylindrical elevated tanks with a frame supporting system on various subsoil, Indian Journal of Engineering & Materials Sciences (IJEMS). 14, 133-145.
- Livaoğlu, R. ve Doğanğün, A., 2006. The Effects of Local Site Classes on the Dynamic Behaviour of Elevated Tanks, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, October , İstanbul, Türkiye.
- Livaoğlu, R. ve Doğanğün, A., 2007. Application Of Massless Foundation Model To Fluid-Elevated Tanks-Soil/Foundation System, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Paper No. 1746, June , Thessalonikki, Greece.
- Livaoğlu, R. Çakır, T. ve Doğanğün, A., 2007. Dikdörtgen Kesitli Depoların Sismik Davranışı Üzerinde Dolgu Etkilerinin İncelenmesi, International Symposium on Advances in Earthquake & Structural Engineering, , October , Isparta. 478-490.
- Sap 2000 V 10, 1995. Structural Analysis Programs, Computer and Structures Inc, Berkeley California, USA.
- Seismic Design of Liquid Containing Concrete Structures (ACI 350.3.01) and Commentary, 2007. American Concrete Institute committee, (350.3r.01) Chapter-9, USA.

- Sezen, H., Livaoğlu, R. ve Doğanğün, A., 2008. Dynamic analysis and seismic performance evaluation of above-ground liquid-containing tanks, Engineering Structure, 794-803 .
- URL-1, <http://www.arkasokak.net/arsiv/t-25711.html>, Su Kirliliği ve Etkileri,13 Mart 2008.
- URL-2, <http://site.midyat.gov.tr/image/assets/sudeposu.jpg>, 15 Mayıs 2009.
- URL-3, <http://okulweb.meb.gov.tr/52/03/691473/foto/sudepo/sudeposu2.JPG>, 16 Mayıs 2009.
- URL-4, <http://i.pbase.com/o6/90/359090/1/82790637.UYHNOsk6.225Posted.jpg>, 16 Mayıs 2009.
- URL-5, www.underwoodeng.com/images/wt2.jpg, 17 Mayıs 2009.
- URL-6, http://www.bondcoatinc.com/wp.content/uploads/water_tower_snyder_texas_1.jpg, 16 Mayıs 2009
- URL-7, http://farm3.static.flickr.com/2137/2367830504_4b0e80b47b.jpg?v=0, 16 Mayıs 2009.
- URL-8, <http://www.smate.wvu.edu/teched/geology/GeoHaz/eq-Iran/eq-Iran-17.JPG>, 17 Mayıs 2009.
- URL-9, <http://www.baybekmuhendislik.com/userfiles/image/paslanmaz%20tank.jpg>, 16 Mayıs 2009.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Trabzon ili Maçka ilçesi Yemişli köyünde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Maçka'da tamamladı. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü'nde başladığı lisans eğitimine 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Bölümünde devam etti. 2005 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2003 yılından beri değişik kamu kuruluşlarında çalışan, çalışma hayatına halen İzmir Atatürk Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde devam eden Yasin YILDIZ yüksek lisans eğitimini sürdürmekte ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.