

**BETONARME SİLİNDİRİK SU DEPOLARINDA
OPTİMUM YARIÇAP-YÜKSEKLİK
ORANININ BELİRLENMESİ**

Güneş KOZLUCA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz - 2006

**DETERMINATION OF OPTIMUM
RADIUS-HEIGHT RATIO FOR REINFORCED
CYLINDRICAL WATER STORAGE TANKS**

Güneş KOZLUCA

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

July - 2006

**BETONARME SİLİNDİRİK SU DEPOLARINDA
OPTİMUM YARIÇAP - YÜKSEKLİK ORANININ
BELİRLENMESİ**

Güneş KOZLUCA

**Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Hidrolik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır**

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Hasan TOZLUK

Temmuz - 2006

ÖZET

Su depoları, çeşitli amaçlar için değişik malzemeler ile inşa edilebilen yapılardır. İçme suyu depoları, yüzme havuzları, sıcak su depoları vs. gibi amaçlarla kullanılabilirler, prizmatik, silindirik ve aynı zamanda ayaklı şekillerde yapılabilirler.

Diğer tüm yapılara benzer şekilde su depoları güvenli, ekonomik olmalı ve insanların ihtiyaçlarına cevap vermelidir. Deponun yapılacağı bölgenin deprem ve zemin karakteristikleri, yapımda kullanılacak malzemeler, işletme bakım masrafları ve deponun esas yapılış amacı genel maliyeti etkileyen bazı faktörlerdir.

Bu çalışmada tercih edilen depo tipi sert kil zemin üzerine oturan betonarme silindirik sulama deposudur. Bu depoların maliyetleri değerlendirilmiş ve uygun tasarımlar için maliyet optimizasyonu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Silindirik su depoları, su depolama tankları, depoların maliyet optimizasyonu

SUMMARY

Water storage tanks are structures constructed for various purposes and they can be built from various materials. They can be used as drinking water tanks, swimming pool tanks or hot water tanks etc. and they can be built in rectangular or cylindrical forms and also they can be built as elevated tanks.

Similar to all other structures water storage tanks must be safe and economical and they must satisfy the people's needs. Earthquake and soil characteristics of the area where the tank is to be constructed, materials that will be used in the construction, maintaining and running costs and the main construction purpose of the tank are some of the factors that effect the overall cost.

In this study the tank type preferred is a reinforced cylindrical irrigation tank which is built on stiff clay. These tanks are evaluated for their costs and cost optimization is applied for available designs.

Keywords : Cylindrical water tanks, water storage tanks, cost optimization of tanks

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasına katkıda bulunan değerli danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr.Hasan TOZLUK'a, Sayın Arş.Gör.Halil NOHUTÇU'ya ve yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve tüm arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla.....

Temmuz-2006

Güneş KOZLUCA
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii

1.GİRİŞ	1
1.1 Amaç	1
1.2 Kapsam	1
2. SU DEPOLARININ SAĞLAMALARI GEREKEN ŞARTLAR	2
2.1 Halk Sağlığı Bakımından Sağlaması Gereken Şartlar	2
2.2 Teknik Bakımdan Sağlaması Gereken Şartlar	2
2.3 İşletmecilik Bakımından Sağlaması Gereken Şartlar	2
3. BOYUTLANDIRMA	3
3.1 Depo Boyutlarının Belirlenmesi	3
3.1.1 En yüksek su seviyesinin belirlenmesi	3
3.1.2 Cidar yüksekliğinin belirlenmesi	4
3.1.3 Depo yüksekliğinin belirlenmesi	4
3.1.4 Depo iç yarıçapının belirlenmesi	4
3.1.5 Cidar kalınlığının belirlenmesi	5
3.2 Zemin taşıma gücü kontrolü	6

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4. DİNAMİK ANALİZ	8
4.1 Deponun Sismik Modeli	8
4.2 Sismik Parametrelerin Belirlenmesi	9
4.2.1 Titreşim Periyotları	9
4.2.2 Yatay sismik katsayı	10
4.2.3 Taban kayması	12
4.2.4 Taban eğilme momenti	13
4.2.5 Devirme momentleri	13
4.2.6 En büyük dalga yüksekliği	15
4.2.7 Ankraj gereksinimi	15
4.3 Cidar Dinamik Basınçları	16
4.3.1 İmpulsif hidrodinamik basınç	16
4.3.2 Konvektif hidrodinamik basınç	17
4.3.3 Düşey ivmelenmeden kaynaklanan hidrodinamik basınç	18
4.3.4 Cidar ataletinden kaynaklanan dinamik basınç	19
4.3.5 Maximum hidrodinamik basınç	20
4.4 Taban Dinamik Basınçları	21
4.4.1 İmpulsif hidrodinamik basınç	22
4.4.2 Konvektif hidrodinamik basınç	22
4.4.3 Taban ataletinden kaynaklanan yatay dinamik basınç	23
4.5 Sonuç	24
5. MODELLEME	25
5.1 Model Tipi ve Boyutlar	25
5.2 Zemin modellemesi	26
5.3 Malzeme karakteristikleri	30
5.4 Yükler	30

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.5 Analiz kontrolları	34
6.BETONARME HESAPLAR	39
6.1 Cidar Boyuna Donatılarının Belirlenmesi	40
6.1.1 Orta kısım boyuna donatılarının belirlenmesi	44
6.1.2 Alt kısım boyuna donatılarının belirlenmesi	48
6.1.3 Üst kısım boyuna donatının belirlenmesi	51
6.2 Enine Donatıların Belirlenmesi	52
6.2.1 Alt kısım enine donatısının belirlenmesi	53
6.2.2 Orta kısım enine donatısının belirlenmesi	56
6.2.3 Üst kısım enine donatısının belirlenmesi	57
6.3 Radye Donatılarının Belirlenmesi	58
6.3.1 Kesit üstü donatılarının belirlenmesi	60
6.3.2 Kesit altı donatılarının belirlenmesi	62
6.3.3 Çember donatıların belirlenmesi	65
6.4 Donatıların birbirlerine bağlanması	66
6.5 Kesme kuvveti kontrolü	67
7. METRAJ VE MALİYET HESAPLAMALARI	69
7.1 Boyuna Donatılar.....	69
7.2 Enine Donatılar	71
7.3 Cidar Çirozu	72
7.4 Radye - Kesit Üstü Hasır Donatıları	73
7.5 Radye-Kesit altı hasır donatıları	74
7.6 Radye-Kesit altı ek donatıları	74
7.7 Çember donatılar	75
7.8 Radye Çirozu	75
7.9 Etriyeler	75

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

7.10 Beton Metrajı	76
7.11 Kalıp Metrajı	77
7.12 Metraj Sonuçları	77
7.13 Maliyet	77
8. BOYUTLANDIRMANIN MALİYETE ETKİSİ	79
8.1 Cidar Eğilme Momentleri.....	80
8.2 Radye Maximum Momentleri	82
8.3 Cidar Çevresel Çekme Kuvvetleri	84
8.4 Betonun Maliyete Etkisi	97
8.5 Donatının Maliyete Etkisi	98
8.6 Optimum Oran-Maliyet İlişkisi	102
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
10. EKLER	107
11. KAYNAKLAR	113

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Silindirik depo cidarı	5
3.2 Depo boyutları	7
4.1 Dinamik analiz yön kabulleri	8
4.2 Deponun sismik modeli	9
4.3 Deponun dinamik analiz boyutları	10
4.4 En büyük dalga yüksekliği	15
4.5 İmpulsif hidrodinamik basınç dağılımı.....	17
4.6 Konvektif hidrodinamik basınç dağılımı	18
4.7 Düşey basınç dağılımı	19
4.8 Düşey ivmelenmeden kaynaklanan hidrodinamik basınç dağılımı	19
4.9 Cidar ataletinden kaynaklanan dinamik basınç dağılımı	20
4.10 Basınç vektörlerinin yönleri	21
4.11 Taban hidrodinamik basınç parametreleri	22
4.12 Depo tabanında hidrodinamik basınç dağılımı	23
4.13 Yatay dinamik basınç dağılımı	24
5.1 SAP 2000 programı model boyutları	25
5.2 Yapının sonlu elemanlar modeli	26
5.3 Radye yayları	27
5.4 Dikdörtgen temelin eşdeğer dairesel temele dönüşümü	27
5.5 Oturma faktörü değerleri	28

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6 Eşdeğer statik deprem kuvvetleri	31
5.7 Düğüm noktasının sorumlu olduğu alan	32
5.8 Yayın x eksenindeki izdüşümü	32
5.9 Eşdeğer statik kuvvetler	33
5.10 Sonlu elemanların lokal aksları	35
5.11 Kuvvetlerin pozitif yönleri	35
5.12 Momentlerin pozitif yönleri	36
5.13 G yükü altındaki şekil değiştirme	37
5.14 Q yükü altındaki şekil değiştirme	38
5.15 E yükü altındaki şekil değiştirme	38
6.1 Çevresel dalgalanma oluşturan M11 momenti	40
6.2 Fil ayağı şekil değiştirmesi	41
6.3 Cidar M22 momentlerinin değişimi	42
6.4 Depremin $-x$ yönünden gelmesi durumu	43
6.5 Depremin $+x$ yönünden gelmesi durumu	43
6.6 Uzun doğrultudaki faydalı yükseklik	45
6.7 Orta kısım boyuna donatıları	48
6.8 Alt kısım düşey ek donatıları.....	50
6.9 Boyuna donatılar	51
6.10 Cidar çekme kuvveti değerlerinin değişimi	53

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.11 Enine donatılar için net beton örtüsü	54
6.12 Üst kısım enine donatısının yerleşimi	57
6.13 Merkezden uzaklık - Moment İlişkisi	59
6.14 Radye kesit üstü hasır donatıları	61
6.15 Radye - Kesit altı donatıları	63
6.16 Uç donatılarının boyu	64
6.17 Radye içi çember donatılar.....	66
6.18 Çember donatıları bağlayan etriyeler	67
7.1 Depo içine yakın boyuna donatılar	69
7.2 Depo dışına yakın boyuna donatılar	70
7.3 Cidarın düzlemde açılmış hali	72
7.4 Hasır donatıların yerleşimi	74
8.1 Su yüksekliği-depo yarıçapı ilişkisi	80
8.2 Kombinasyon farkı-su yüksekliği ilişkisi	81
8.3 Depo yüksekliği-Eğilme Momenti Eğrisi	82
8.4 Cidar kalınlığı-taban momenti	83
8.5 Depo yüksekliği – Çekme kuvveti İlişkisi	84
8.6 Depo yüksekliği – Beton Miktarı	97
8.7 Depo yüksekliği – Donatı Miktarı İlişkisi	98
8.8 Depo yarıçapı – Radye Donatısı	99

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.9 Depo yüksekliği – Maliyet	100
8.10 Malzemelerin maliyete etki yüzdeleri	101
8.11 Donatı yüzdeleri	101
8.12 Depo yarıçapı – Maliyet	102
8.13 Optimum oran - Maliyet İlişkisi	103
8.14 Cidar kalınlığı-optimum oran ilişkisi	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Kohezyonlu zeminlerde izin verilebilir taşıma gücü değerleri	3
4.1 Dinamik katsayılar ve periyotlar	10
4.2 Yatay sismik katsayılar	11
4.3 İmpulsif ve konvektif su kütleleri	12
4.4 Taban kaymaları	12
4.5 İmpulsif ve konvektif yükseklikler – 1	13
4.6 İmpulsif ve konvektif eğilme momentleri	13
4.7 İmpulsif ve konvektif yükseklikler – 2	14
4.8 Devirme momentleri	14
5.1 Düşey ve yatay k_o değerleri	28
6.1 Cidar moment ve kuvvetleri	41
6.2 Cidar çevresel çekme kuvvetleri	52
6.3 Taban maximum momentleri	59
7.1 Cidar boyuna donatı metraj sonuçları	71
7.2 Cidar enine donatı metraj sonuçları	72
7.3 Toplam cidar donatısı	73
7.4 Radye donatıları metraj sonuçları	76
7.5 Toplam donatı	76
7.6 Malzeme metraj sonuçları	77
8.1 Modellenen depo boyutları	79

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.2 Kombinasyon sonuçları	80
8.3 Taban momentleri	83
8.4 Orta kısım boyuna donatıları	86
8.5 Alt kısım boyuna ek donatıları	87
8.6 Üst kısım boyuna donatıları	88
8.7 Alt ve orta kısım enine donatıları	89
8.8 Üst kısım enine donatıları	90
8.9 Cidar çirozları	91
8.10 Radye kesit üstü ve kesit altı hasır donatıları	92
8.11 Radye kesit altı uç ek donatıları	93
8.12 Radye çember doantıları ve radye çirozları	94
8.13 Etriyeler ve toplam radye donatısı	95
8.14 Boyutlandırma sonuçları	96
8.15 Cidar kalınlığı – optimum oran	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
A_{cidar}	Cidarın yüzey alanı (m^2)
A	Düğüm noktasının sorumlu olduğu alan (m^2)
$A_{h(i)}$	İmpulsif modda yatay sismik katsayı
$A_{h(c)}$	Konvektif modda yatay sismik katsayı
A_{radye}	Radyenin yüzey alanı (m^2)
A_s^{min}	Minimum donatı miktarı (mm^2/m)
A_{su}	Uzun doğrultudaki donatı miktarı (mm^2/m)
A_{var}	Kesitte var olan donatı (mm^2/m)
A_{ek}	Kesite gereken ek donatı (mm^2/m)
$A_{taban(iç)}$	İç taban alanı (m^2)
$A_{taban(du)}$	Dış taban alanı (m^2)
A_v	Yerçekimi yönündeki ivme
b_w	Kesit genişliği (mm)
d	Faydalı yükseklik (mm)
C_i	İmpulsif katsayı
C_c	Konvektif katsayı
d_{max}	En büyük dalga yüksekliği (m)
d_u	Uzun doğrultudaki faydalı yükseklik (mm)
$\Ç$	Çevre (m)
D	Deponun iç çapı (m)
D	Temel derinliği (m)
e_x	Yay parçasının y eksenı üzerindeki izdüşümü (m)
e_y	Yay parçasının x eksenı üzerindeki izdüşümü (m)
E	Elastisite modülü (KN/m^2)
F11	1 yüzünde 1 doğrultusundaki kuvvet (KN/m)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
F_{22}	2 yüzünde 2 doğrultusundaki kuvvet (KN/m)
F_{12}	1 yüzünde 2 doğrultusundaki kuvvet (KN/m)
F_x	x doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvveti (KN)
F_y	y doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvveti (KN)
$F_{A(x)}$	A noktasına ait x doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvveti (KN)
$F_{B(x)}$	B noktasına ait x doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvveti (KN)
$F_{C(x)}$	C noktasına ait x doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvveti (KN)
$F_{D(x)}$	D noktasına ait x doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvveti (KN)
$F_{A(y)}$	A noktasına ait y doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvveti (KN)
$F_{B(y)}$	B noktasına ait y doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvveti (KN)
$F_{C(y)}$	C noktasına ait y doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvveti (KN)
$F_{D(y)}$	D noktasına ait y doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvveti (KN)
F	Çekme/basma kuvveti (KN/m)
F_{su}	Su kuvveti (KN)
f_{ctd}	Beton tasarım eksenel çekme dayanımı (MPa)
f_{ctk}	Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı (MPa)
f_{yd}	Boyuna donatı tasarım akma dayanımı (MPa)
f_{yk}	Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı (MPa)
g	Yerçekimi ivmesi (m/sn^2)
G	Kayma modülü (KN/m^2)
h	Su yüksekliği (m)
h_i	İmpulsif sıvı kütlelerinin yüksekliği (m)
h_c	Konvektif sıvı kütlelerinin yüksekliği (m)
h_i^*	İmpulsif sıvı kütlelerinin yüksekliği (Taban basıncı dikkate alınarak) (m)
h_c^*	Konvektif sıvı kütlelerinin yüksekliği (taban basıncı dikkate alınarak) (m)
h_{max}	Maximum su yüksekliği (m)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
h_{cidar}	Cidar yüksekliği (m)
h_{depo}	Depo yüksekliği (m)
h_w	Cidarın ağırlık merkezinin tabana uzaklığı (m)
I	Yapı önem katsayısı
i	Hasır donatıların sıra numarası
K_c	Sismik model yay katsayısı
k_o	Temel rijitlik katsayısı
k	Yay katsayısı (KN/m)
k	Net beton örtüsü (mm)
k_{v-yay}	Düşey doğrultudaki yay katsayısı (KN/m)
k_{h-yay}	Yatay doğrultudaki yay katsayısı (KN/m)
k_h	Donatı katsayısı
k_s	Donatı katsayısı
L	Donatı boyu (m)
l_o	Çekme donatısı bindirme boyu (m)
l_b	Donatı kenetlenme boyu (m)
L_k^{net}	Kısa kenar net açıklığı (mm)
L_i	i .sıradaki donatının boyu (m)
m	Kenar uzunlukları oranı
m	Toplam sıvı kütlesi (kg)
m_b	Taban kütlesi (kg)
m_i	İmpulsif sıvı kütlesi (kg)
m_c	Konvektif sıvı kütlesi (kg)
m_w	Cidarın kütlesi (kg)
M	Maliyet (YTL)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
M	Toplam eğilme momenti (KNm/m)
$M_{\max}$	Kesitteki maximum moment (KNm/m)
M_{11}	1 yüzünde 2 eksen etrafında dönen moment (KNm/m)
M_{12}	Burulma momenti (KNm/m)
M_{22}	2 yüzünde 1 eksen etrafında dönen moment (KNm/m)
M_i	İmpulsif modda tabanda oluşan eğilme momenti (KN-m)
M_c	Konvektif modda tabanda oluşan eğilme momenti(KN-m)
M_i^*	İmpulsif modda tabanda oluşan devirme momenti(KN-m)
M_c^*	Konvektif modda tabanda oluşan devirme momenti(KN-m)
M^*	Toplam devirme momenti (KN-m)
n	Donatı sayısı (adet)
i	Donatının sıra numarası
P	Düğüm noktasına ait basınç (KN/m ²)
P_b	Taban ataletinden kaynaklanan yatay dinamik basınç (KN/m ²)
P_{ib}	Tabanın impulsif hidrodinamik basıncı (KN/m ²)
P_{cb}	Tabanın konvektif hidrodinamik basıncı (KN/m ²)
$P_{iw(y)}$	Cidarın impulsif hidrodinamik basıncı (KN/m ²)
$P_{cw(y)}$	Cidarın konvektif hidrodinamik basınç (KN/m ²)
P_v	Düşey ivmelenmeden kaynaklanan basınç (KN/m ²)
P_{ww}	Cidar ataletinden kaynaklanan dinamik basınç (KN/m ²)
$P_{\max}^x$	Cidarın x doğrultusundaki maximum dinamik basıncı (KN/m ²)
$P_{\max}^z$	Cidarın z doğrultusundaki maximum dinamik basıncı (KN/m ²)
$P_{\max}$	Maximum hidrodinamik basınç (KN/m ²)
$Q_{cb(x)}$	Tabanın konvektif hidrodinamik basınç katsayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
$Q_{cw(y)}$	Cidarın konvektif hidrodinamik basınç katsayısı
$Q_{iw(y)}$	Cidarın impulsif hidrodinamik basınç katsayısı
r	Cidar orta yüzeyine kadar olan yarıçap (m)
$r_{iç}$	İç yarıçap (m)
$r_{dış}$	Dış yarıçap (m)
R	Deprem azaltma faktörü
R	Temel yarıçapı (m)
s	Donatı aralığı (mm)
$(S_a / g)_{(i)}$	İmpulsif modda sismik ivme katsayısı
$(S_a / g)_{(c)}$	Konvektif modda sismik ivme katsayısı
t	Cidar kalınlığı (m)
t_b	Taban kalınlığı (m)
T_i	İmpulsif titreşim periyodu (sn)
T_c	Konvektif titreşim periyodu (sn)
V	Su hacmi (m ³)
V	Toplam kayma (KN)
V_i	İmpulsif moddaki taban kayması (KN)
V_c	Konvektif moddaki taban kayması (KN)
V_d	Kesme kuvveti üst sınırı (KN/m)
V_{max}	Kesitteki maximum kesme kuvveti (KN/m)
V_{cidar}	Cidar hacmi (m ³)
V_{radye}	Radye hacmi (m ³)
w	Donatının birim ağırlığı (kg/m)
W	Donatı miktarı (ton)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
W_{cidar}	Cidar ağırlığı (KN)
W_{taban}	Taban ağırlığı (KN)
W_{su}	Su ağırlığı (KN)
W	Toplam ağırlık (KN)
x	z eksenine olan uzaklık (m)
y	Noktanın y koordinatı (m)
z	Noktanın z koordinatı (m)
Z	Deprem bölge katsayısı
α	Şekil düzeltme faktörü
θ_i	i . sıradaki hasır donatının yatayla yaptığı açı (°)
α_1	İlave donatının toplam donatıya oranına bağlı katsayı
β	Oturma faktörü
σ	Gerilme (KN/m ²)
σ_{em}^z	Zemin emniyet gerilmesi (KN/m ²)
α_s	Cidar kalınlığı katsayısı
ϕ	Düğüm noktasının x eksenine ile yaptığı açı (°)
ϕ	Donatı çapı (mm)
ρ	Suyun yoğunluğu (kg/m ³)
ρ_d	Donatı tablo katsayısı
ρ_m	Cidar malzemesinin birim ağırlığı (KN/m ³)
ρ_u	Uzun doğrultudaki donatı oranı
ρ_{min}	Minimum donatı oranı
γ_{mc}	Beton için malzeme katsayısı
γ_{ms}	Donatı için malzeme katsayısı
ν	Poisson oranı

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
E	Deprem yükü
G	Sabit yük
T.Y.	Tabandan yükseklik
Q	Hareketli yük
<i>pp</i>	Pas payı

1.GİRİŞ

Su depoları, kullanım amaçlarına göre üstleri açık veya kapalı yapılmaktadır. Uygulamada yüzme havuzları, tarımsal sulama amaçlı su depoları, üstü açık yapılmaktadır. İmalat işçiliğinin kolaylığı prizmatik depoların uygulama alanlarını yaygınlaştırsa da maliyet açısından en uygun geometrik şekil, küresel veya silindirik tasarımlardır.

1.1 Amaç

Tezin amacı; sabit hacimli silindirik, üstü açık, betonarme su depolarında, dinamik etkileri de göz önüne almak sureti ile tasarımlar oluşturarak maliyet açısından optimum depo yarıçapı – depo yüksekliği (r / h_{depo}) oranının belirlenmesidir.

1.2 Kapsam

En uygun maliyeti veren orana ulaşabilmek için 10.000 m³ sabit hacimli silindirik bir su deposu ele alınmaktadır. Deponun 2. derece deprem bölgesinde yapılması planlanmaktadır. Depo içindeki su hacmi sabit kalacak şekilde boyutlar değiştirilerek toplam on iki farklı kombinasyon için maliyet analizi yapılmaktadır.

Dünyada daha önce de su depolarının dinamik analizleri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır.

2004 yılında “Seismic design of liquid-containing concrete structures” isimli çalışmada sıvı tanklarının dinamik analizleri yapılmıştır.(Genota,2004)

“The formulations of shear force and overturning moment of the large-upright unanchored industrial liquid storage tanks subjected to horizontal ground exciations” isimli çalışmada yanal yüklere maruz kalan sıvı depolarında taban kayma kuvveti ve devirme momenti değerleri formülize edilmiştir.(Özer,2005)

2.SU DEPOLARININ SAĞLAMALARI GEREKEN ŞARTLAR

Su depoları sağlık bakımından, teknik bakımdan ve işletmecilik bakımından beklenen ihtiyaçlara cevap verecek nitelikte olmalıdır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir.

2.1 Halk Sağlığı Bakımından Sağlaması Gereken Şartlar

Her depoda yetkisiz kimselerin içeri girmesini önlemek amacı ile halk sağlığının korunması yönünden tedbir alınmalıdır. Depoların temizlenmesi ve deney için su alınması kolay olmalıdır. Depo içindeki sular uniform olarak yenilenebilmelidir. Suların çok ısınması veya çok soğuması, depoda uzun süre bekletilmesi ve depo içinde devamlı olarak durgun suların bulunması sağlık açısından uygun olmayan durumlardır.

2.2 Teknik Bakımdan Sağlaması Gereken Şartlar

İnşaa edilecek bir deponun hacmi yeterli, yapısı sağlam olmalı ve içinde su depolanan kısımları su sızdırmamalıdır. Depo içinde suyun sirkülasyonu dalgıç perdeler, ara bölmeler, giriş ve çıkış yerleri doğru ayarlanmalıdır. Yapı tarzı, yapı malzemeleri ve bakım masrafları mümkün olduğunca az olacak şekilde seçilmelidir.

2.3 İşletmecilik Bakımından Sağlaması Gereken Şartlar

Depo yeri, deponun amacına uygun olmalıdır. İnşaatın yapılabilmesi ve deponun işletilebilmesi için uygun bir yol, yük taşımaya elverişli bir zemin ve ileride su deposuna yeni bölmeler ilave edebilme imkanları göz önünde bulundurulmalıdır.

Deponun işletilmesi esnasında yapının içine girilmesi kolay olmalıdır. Tesisin bakım ve işletilmesi için yapılmış olan servis kısımları yeterli derecede aydınlatılmalıdır. Tesisat, kazaları önleme talimatına uygun olmalıdır. Depoların su bölmeleri kısımlarının tamir, temizlik ve bakımı işletmede herhangi bir aksaklık olmaksızın yapılabilmelidir. (Muslu,1998)

3. BOYUTLANDIRMA

Betonarme silindirik su depoları sabit yük, hareketli yük ve deprem yükleri altında incelenmektedir. Tasarımlarda kullanılacak kesit tesirleri SAP 2000 programında yapılan modelleme analizlerinden elde edilmektedir. Yük katsayıları ile artırılarak oluşturulan kombinasyonlar karşılaştırılarak güvenli tasarımlar yapılmakta ve sonuçlar maliyete dönüştürülerek optimum oran araştırılmaktadır.

3.1 Depo Boyutlarının Belirlenmesi

SAP 2000 programında modellenecek depoların boyutları, zeminin taşıma gücü dikkate alınarak en yüksek su seviyelerine bağlı şekilde belirlenmektedir.

3.1.1 En yüksek su seviyesinin belirlenmesi

Depo yapılacak yerde zemin, sert kil olduğundan ilk aşamada bu zemin üzerine yapılabilecek 10.000 m³ hacimli ilk depo tasarlanmaktadır. Aşağıdaki çizelgede değişik zemin tiplerine ait taşıma gücü değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.1 Kohezyonlu zeminlerde izin verilebilir taşıma gücü değerleri (Yıldırım 1982)

Zemin cinsi	σ_{em}^z (KN/m ²)
Sert taşlı kil, sert fissürlü kil, sağlam seyl, bozuşmuş çamurtaşı	> 300
Çok katı taşlı kil, çok katı marn	150-300
Katı fissürlü kil, katı taşlı kil, katı marn	75-150
Orta katı normal konsolide kil	40-75
Yumuşak kil	20-40

Sert kilin taşıma gücü değeri $\sigma_{em}^z = 122,5 \text{ KN/m}^2$ olarak belirlenmektedir. (Çizelge 3.1). 1 m^2 zemine en fazla $122,5 \text{ KN}$ kuvvet etki edeceğine göre, 1 m^3 su 10 KN olduğundan depodaki su sütunu yüksekliği $h_{\max}$, en fazla $12,25 \text{ m}$ olmaktadır. Bu durumda seçilen zemin üzerinde yapılacak bir depo içerisinde en fazla $12,25 \text{ metre}$ yüksekliğinde su bulunabilmektedir.

3.1.2 Cidar yüksekliğinin belirlenmesi

Depremin etkisi ile suda oluşacak çalkantı ve taşmalar dikkate alınarak su seviyesinin üzerinde 50 cm 'lik bir dalgalanma payı bırakılmaktadır. En yüksek su seviyesi $12,25 \text{ metre}$ olduğundan cidar yüksekliği $h_{\text{cidar}} = 12,25 + 0,50 = 12,75 \text{ m}$ olmaktadır.

3.1.3 Depo yüksekliğinin belirlenmesi

Radye kalınlığı 50 cm alınmaktadır. Tabandan en üst noktaya kadar olan depo yüksekliği düşünüldüğünde cidar yüksekliğine 50 cm 'lik radye kalınlığı da eklenmektedir. Bu durumda $h_{\text{depo}} = h_{\text{cidar}} + t_b = 12,75 + 0,50 = 13,25 \text{ m}$ olmaktadır.

3.1.4 Depo iç yarıçapının belirlenmesi

$$10.000 = h_{\max} \times A_{\text{taban}(i\check{c})}$$

$$10.000 = 12,25 \times A_{\text{taban}(i\check{c})}$$

$$A_{\text{taban}(i\check{c})} = 816,33 \text{ m}^2$$

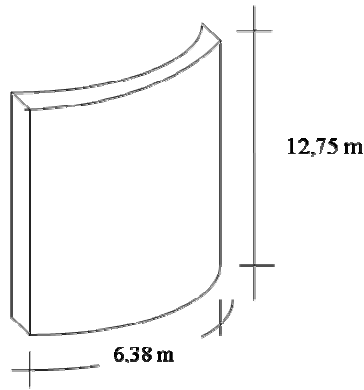
$$A_{\text{taban}(i\check{c})} = \pi (r_{i\check{c}})^2$$

$$816,33 = \pi (r_{i\check{c}})^2$$

$$r_{i\check{c}} = 16,12 \text{ m}$$

3.1.5 Cidar kalınlığının belirlenmesi

Yapıdan alınan herhangi bir cidar parçası iki doğrultuda çalışan plaklara benzetilerek çözülmektedir. İki doğrultuda çalışan plaklarda uzun kenarın kısa kenara oranı $m \leq 2$ olması gerektiğinden ve cidar yüksekliği $h_{cidar} = 12,75$ metre olduğundan sistemden, eni 6,38 m olan bir parça seçilerek minimum cidar kalınlığı hesabı yapılmaktadır.



Şekil 3.1 Silindirik depo cidarı

α_s = Sürekli kenar uzunlukları toplamı / Toplam Çevre

Cidar parçasının iki yanı ve altı dolu olduğundan, deponun üzeri açık olduğundan, sürekli kenar uzunlukları toplamı iki depo yüksekliği ve parçanın eninin toplamı olmaktadır.

$$\alpha_s = ((2 \times 12,75) + 6,38) / (25,5 + 12,75)$$

$$\alpha_s = 0,833$$

İki doğrultuda çalışan plaklarda minimum plak kalınlığı bağıntısı aşağıdaki gibidir.

L_k^{net} ; Kısa kenar net açıklığı (mm)

$$t \geq \frac{L_k^{net}}{15 + 20/m} (1 - \alpha_s / 4)$$

$$t \geq \frac{6380}{15 + 20/2} (1 - 0,833/4)$$

$$t \geq 202 \text{ mm}$$

Cidar kalınlığı en az 202 mm olmalıdır. Cidar kalınlığı 250 mm = 25 cm olarak belirlenmektedir.

3.2 Zemin Taşıma Gücü Kontrolü

En yüksek su seviyesi hesabında $V = 10.000 \text{ m}^3$ değeri depo içerisindeki suyun hacmi olduğundan hesaplarda iç yarıçap ve iç taban alanı değerleri kullanılmaktadır. Ancak gerçekte deponun kendi ağırlığı da olduğundan zeminin bu yükleri taşıyıp taşımadığı kontrol edilmelidir.

$r_{iç} = 16,12$ metre idi. 25 cm cidar kalınlığına sahip bir depoda dış yarıçap değeri $r_{dış} = 16,12 + 0,25 = 16,37$ metre olmaktadır.

Taban ağırlığı : $W_{taban} = \pi (16,37)^2 \times 0,50 \times 25 = 10.523 \text{ KN}$

Cidar ağırlığı : $W_{cidar} = \pi (16,37^2 - 16,12^2) \times 12,75 \times 25 = 8.134 \text{ KN}$

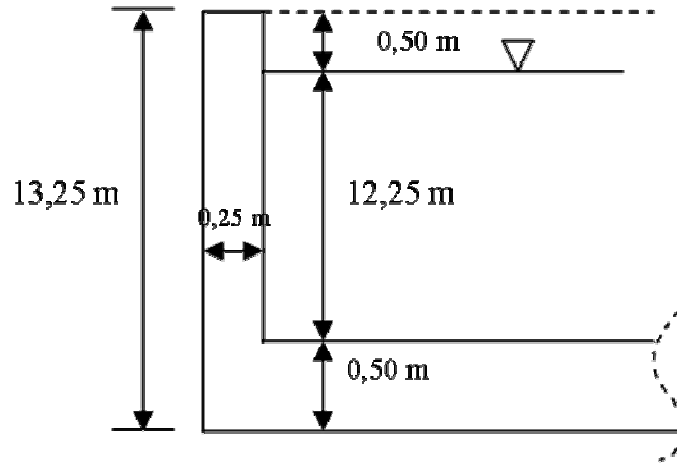
Suyun ağırlığı : $W_{su} = 10.000 \times 10 = 100.000 \text{ KN}$

Toplam ağırlık : $W = 10.523 + 8.134 + 100.000 = 118.657 \text{ KN}$

Dış alan : $A_{taban(dış)} = \pi (16,37)^2 = 841,87 \text{ m}^2$

$$\sigma = \frac{118.657}{841,87} = 140,94 \text{ KN/m}^2 < \sigma_{em}^z = 150 \text{ KN/m}^2$$

Bu yüklerin oluşturduğu gerilme, zemin emniyet gerilmesinden küçük olduğundan zemin bu yükleri güvenle taşır ve boyutlandırma uygundur.

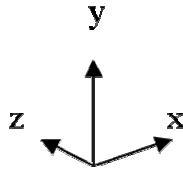


Şekil 3.2 Depo boyutları

Sonuç olarak SAP 2000 programında ilk aşamada oluşturulacak model Şekil 3.2’deki gibi olmaktadır.

4. DİNAMİK ANALİZ

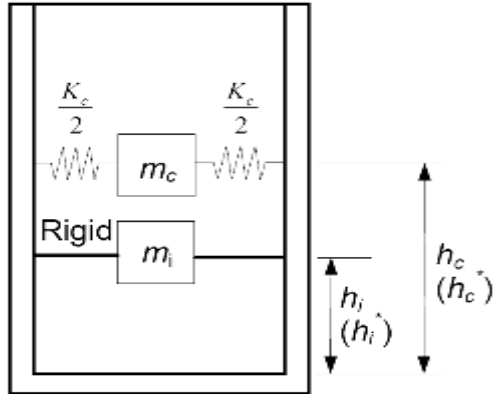
Dinamik analiz, bir yapının deprem yükleri altındaki davranışını tayin etmek için yapılmaktadır. Dinamik analiz hesaplarında, “Guidelines for seismic design of liquid storage tanks” referans alınmaktadır. (Jain S.K. and Jaiswal O.R). Deponun sismik modelleme sonuçlarına göre elde edilen formüller kullanılmakta ve dinamik analiz verileri oluşturulmaktadır. Referansın yön kabulüne göre yatay eksenler x ve z eksenlerini; yerçekiminin tersi yönündeki eksen y eksenini göstermektedir.



Şekil 4.1 Dinamik analiz yön kabulleri

4.1 Deponun Sismik Modeli

Sıvı depolanan yapıların deprem sırasındaki davranışları incelenirken haznedeki sıvı kütlesi; impulsif sıvı kütlesi ve konvektif sıvı kütlesi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İmpulsif sıvı kütlesi, altta bulunan ve deprem sırasında rijit kalan sıvı kütlesidir. Konvektif sıvı kütlesi ise impulsif sıvı kütlesinin üzerinde duran ve deprem sırasında çalkalanarak cidarda dalga etkisi oluşturan sıvı kütlesidir. Konvektif sıvı kütlesindeki çalkantılar, sismik modelde kütle ile cidar arasına yerleştirilen yaylarla tanımlanmaktadır.



Şekil 4.2 Deponun sismik modeli (Jain S.K. and Jaiswal O.R)

Referansın oluşturduğu sismik model sonucunda dinamik analizde kullanılacak parametreler için bazı bağıntılar türetilmiştir.

4.2 Sismik Parametrelerin Belirlenmesi

Sismik parametreleri etkileyen faktörler, deponun yapıldığı malzeme, depolanacak sıvının yoğunluğu, deponun amacı, deprem bölgesi gibi faktörlerdir. Sismik parametrelerin formülleri ve boyutları belirlenen depo için elde edilen hesap sonuçları aşağıda verilmektedir. Dinamik analiz hesaplamalarında Şekil 4.1’deki yön kabulüne göre depremin $-x$ yönünden $+x$ yönüne doğru geldiği kabul edilmektedir.

4.2.1 Titreşim periyotları

h : Su yüksekliği ($h = 12,25$ m)

D : Deponun iç çapı ($D = 32,24$ m)

ρ : Sıvının yoğunluğu ($\rho = 1000$ kg/m³)

g : Yerçekimi ivmesi ($g = 9,81$ m/sn²)

C_i : İmpulsif katsayı

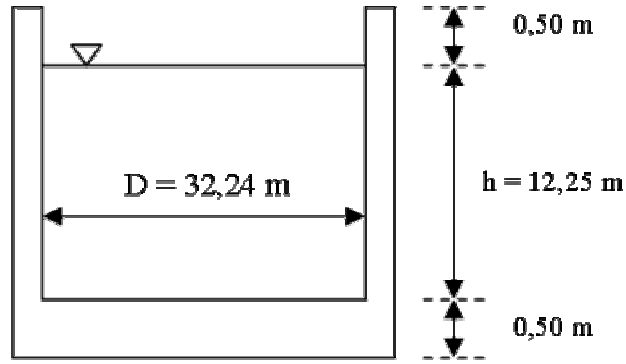
T_i : İmpulsif titreşim periyodu (sn)

C_c : Konvektif katsayı

T_c : Konvektif titreşim periyodu (sn)

E : Deponun yapıldığı malzemenin elastisite modülü

$$E = 5000 \sqrt{f_{ck}} = 5000 \sqrt{30} = 27.386 \text{ KN/m}^2$$



Şekil 4.3 Deponun dinamik analiz boyutları

Çizelge 4.1 Dinamik katsayılar ve periyotlar

$$C_i = \left(\frac{1}{\sqrt{h/D(0,46 - 0,3h/D + 0,067(h/D)^2)}} \right) \quad C_i = 4,56$$

$$T_i = C_i \frac{h\sqrt{\rho}}{\sqrt{t/D\sqrt{E}}} \quad T_i = 0,121 \text{ sn}$$

$$C_c = \frac{2\pi}{\sqrt{3,68 \tanh(3,68h/D)}} \quad C_c = 3,48$$

$$T_c = C_c \sqrt{D/g} \quad T_c = 6,31 \text{ sn}$$

4.2.2 Yatay sismik katsayı

A_{hi} = İmpulsif modda yatay sismik katsayı (Betonarme depolar için % 5 sönümlü elastik davranış spektrumundan elde edilmektedir.)

A_{hc} = Konvektif modda yatay sismik katsayı (% 0,5 sönümlü elastik davranış spektrumundan elde edilmektedir.) Bu değer belirlenirken % 5 sönümlü elastik davranış spektrumu kullanıldığından % 0,5'lik eğriye geçmek için 1,75 çarpanı kullanılmaktadır. Formül sonucu bulunan A_{hc} , 1,75 çarpanı ile çarpılmaktadır.

Z = Deprem bölge katsayısı (2.derece deprem bölgesi için $Z = 0,24$)(Jain S.K and Murthy, 2001)

(2. derece deprem bölgesi referansın kabulüne göre IV.derece deprem bölgesidir)

R = Deprem azaltma faktörü (Betonarme depolar için $R = 2,00$)(Jain S.K and Murthy,2001)

I = Yapı önem katsayısı (Sulama amaçlı depolar için $I = 1,00$)(Jain S.K and Murthy,2001)

$\left(\frac{S_a}{g}\right)_i$ = İmpulsif modda sismik ivme katsayısı

$\left(\frac{S_a}{g}\right)_c$ = Konvektif modda sismik ivme katsayısı

Sert zeminler için ($T_i < 0,40$ sn ise $\left(\frac{S_a}{g}\right)_i = 2,5$)

Sert zeminler için ($T_c > 0,40$ sn ise $\left(\frac{S_a}{g}\right)_c = 1 / T_c$)

Çizelge 4.2 Yatay sismik katsayılar

$$A_{hi} = \frac{Z}{2} \frac{I}{R} \left(\frac{S_a}{g}\right)_i \quad A_{hi} = 0,150$$

$$A_{hc} = \frac{Z}{2} \frac{I}{R} \left(\frac{S_a}{g}\right)_c \quad A_{hc} = 0,017$$

4.2.3 Taban kayması

Depremden dolayı depo tabanında oluşacak kayma, impulsif ve konvektif modlar için ayrı ayrı belirlenmektedir.

V_i = İmpulsif moddaki taban kayması (KN)

V_c = Konvektif moddaki taban kayması (KN)

V = Toplam kayma (KN)

m_i = İmpulsif sıvı kütlesi (kg)

m_c = Konvektif sıvı kütlesi (kg)

m_w = Cidarın kütlesi ($m_w = 829.126$ kg)

m = Toplam sıvı kütlesi ($m = V * \rho = 10.000 \times 1.000 = 1.000.000$ kg)

Çizelge 4.3 İmpulsif ve konvektif su kütleleri

$$m_i = \left(\frac{\tanh 0,866(D/h)}{0,866(D/h)} \right) * m \quad m_i = 4.296.556 \text{ kg}$$

$$m_c = \left(0,23 * \frac{\tanh 3,68h/D}{h/D} \right) * m \quad m_c = 5.356.956 \text{ kg}$$

Çizelge 4.4 Taban kaymaları

$$V_i = (A_{hi}) * (m_i + m_w) g \quad V_i = 7542 \text{ KN}$$

$$V_c = (A_{hc}) * m_c * g \quad V_c = 874 \text{ KN}$$

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2} \quad V = 7593 \text{ KN}$$

4.2.4 Taban eğilme momenti

Tabanda oluşan eğilme momenti impulsif ve konvektif modlar altında ayrı ayrı incelenmektedir.

M_i = İmpulsif modda tabanda oluşan eğilme momenti (KN-m)

M_c = Konvektif modda tabanda oluşan eğilme momenti (KN-m)

M = Toplam eğilme momenti (KN-m)

h_i = İmpulsif sıvı kütleinin yüksekliği (m) = $\frac{h}{D} < 0,75$ ise $h_i = 0,375.h$

h_c = Konvektif sıvı kütleinin yüksekliği (m)

Çizelge 4.5 İmpulsif ve konvektif yükseklikler-1

$$\begin{aligned} h_i &= 0,375 * h & h_i &= 4,59 \text{ m} \\ h_c &= \left(1 - \frac{\cosh(3,68h/D) - 1,00}{3,68h/D \sinh(3,68h/D)}\right) * h & h_c &= 6,96 \text{ m} \end{aligned}$$

Çizelge 4.6 İmpulsif ve konvektif eğilme momentleri

$$M_i = (A_{hi}) * (m_i h_i + m_w h_w) g \quad M_i = 36821 \text{ KN-m}$$

$$M_c = (A_{hc}) * (m_c h_c) g \quad M_c = 6085 \text{ KN-m}$$

$$M = \sqrt{M_i^2 + M_c^2} \quad M = 37321 \text{ KN-m}$$

4.2.5 Devirme momentleri

Deprem esnasında depoyu devirmeye çalışan ve tabanda oluşan devirme momentleri de impulsif ve konvektif modlar altında ayrı ayrı incelenmektedir.

M_i^* = İmpulsif modda tabanda oluşan devirme momenti (KN-m)

M_c^* = Konvektif modda tabanda oluşan devirme momenti (KN-m)

M^* = Toplam devirme momenti (KN-m)

h_i^* = İmpulsif sıvı kütlesinin yüksekliği (m) (taban basıncı dikkate alınarak)

h_c^* = Konvektif sıvı kütlesinin yüksekliği (m) (taban basıncı dikkate alınarak)

t_b = Taban kalınlığı (0,50 m)

m_b = Taban kütlesi ($m_b = 1072725$ kg)

h_w = Cidarın ağırlık merkezinin tabana uzaklığı ($h_w = 12,75 / 2 = 6,38$ m)

Çizelge 4.7 İmpulsif ve konvektif yükseklikler-2

$$h_i^* = \left(\frac{0,866 \frac{D}{h}}{2 \tanh .0,866 . \frac{D}{h}} - 0,125 \right) * h \quad h_i^* = 12,72 \text{ m}$$

$$h_c^* = \left(1 - \frac{\cosh(3,68 \frac{h}{D}) - 2,01}{3,68(\frac{h}{D}) \sinh(3,68 \frac{h}{D})} \right) * h \quad h_c^* = 11,62 \text{ m}$$

Çizelge 4.8 Devirme Momentleri

$$M_i^* = (A_{hi}) \left\{ m_i (h_i^* + t_b) + m_w (h_w + t_b) + m_b t_b / 2 \right\} g \quad M_i^* = 92392 \text{ KN-m}$$

$$M_c^* = (A_{hc}) m_c (h_c^* + t_b) g \quad M_c^* = 10592 \text{ KN-m}$$

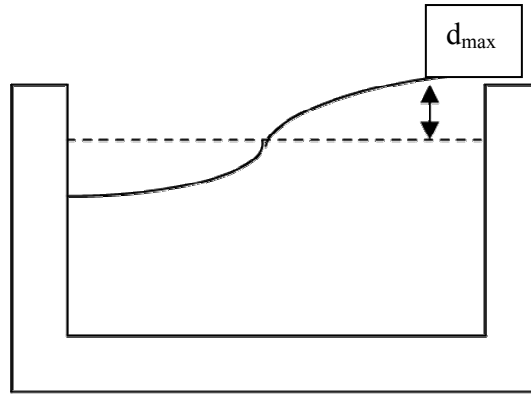
$$M^* = \sqrt{M_i^{*2} + M_c^{*2}} \quad M^* = 92997 \text{ KN-m}$$

4.2.6 En büyük dalga yüksekliği

Deprem sırasında depo içindeki konvektif su kütlesi dalgalanmaktadır. Dalgalanma sonucunda suyun yerçekiminin tersi yönünde yaptığı en büyük yer değiştirme değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Depo, sulama amaçlı olması nedeni ile üstü açık olduğundan dalga yüksekliği değeri yalnızca deprem sırasında suyun depodan taşıp taşmayacağını belirlemekte kullanılmaktadır.

$$d_{\max} = (A_{hc})R * \frac{D}{2} \longrightarrow d_{\max} = 0,54 \text{ m}$$

$h = 12,25 \text{ m}$ iken deprem olması durumunda suyun tepeden 4 cm taşacağı görülmektedir.



Şekil 4.4 En büyük dalga yüksekliği

4.2.7 Ankraj gereksinimi

$\frac{h}{D} < \frac{1}{(A_h)_i}$ ise ankraja gerek yoktur. $h = 12,25 \text{ m}$, $D = 32,24 \text{ m}$ ve $(A_h)_i = 0,150$

olduğundan $\frac{12,25}{32,24} < \frac{1}{0,150} = 0,38 < 6,67$ ' dir. Dolayısı ile depoyu köşelerden zemine tutturmaya gerek yoktur.

4.3 Cidar Dinamik Basınçları

Deprem sırasında cidarda oluşacak dinamik basınçlar suyun impulsif mod, konvektif mod ve düşey ivmelenmesinden oluşan hidrodinamik basınçları ile cidarın kendi ataletinden kaynaklanan basınçtır. Bu basınçların dağılımları şekiller ile verilmektedir. Depremin -x yönünden geldiği kabul edildiğinden bu dağılımlarda sağ düşey çizgi cidar kabul edilmektedir.

4.3.1 İmpulsif hidrodinamik basınç

İmpulsif hidrodinamik basınç, impulsif hidrodinamik basınç katsayısına, tabandan yüksekliğe ve noktanın merkezle olan ϕ açısına bağlı olarak belirlenmektedir.

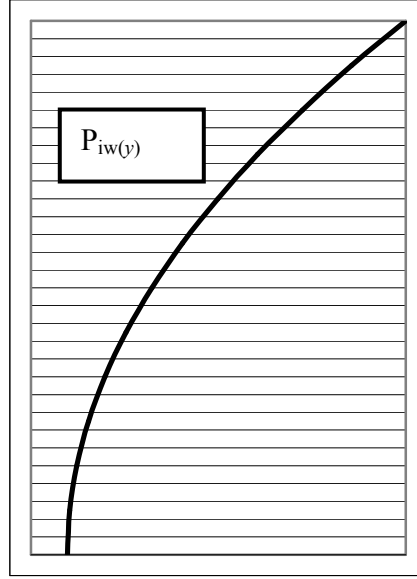
$Q_{iw(y)}$: İmpulsif hidrodinamik basınç katsayısı

$P_{iw(y)}$: İmpulsif hidrodinamik basınç (KN/m²)

y : Noktanın y koordinatı (tabandan yükseklik (m))

$$Q_{iw(y)} = 0,866 \left[1 - \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right] \tanh \left(0,866 \frac{D}{h} \right)$$

$$P_{iw(y)} = Q_{iw(y)} A h_{(i)} \rho \cdot g \cdot h \cdot \cos \phi$$



Şekil 4.5 İmpulsif hidrodinamik basınç dağılımı

Bu eşitlikler yardımı ile tabandan her yükseklikteki tüm ϕ açıları için impulsif hidrodinamik basınçlar hesaplanmaktadır. Bu değerler, tabanda en büyük, cidarın en üstünde ise sıfır olan non-lineer bir dağılım göstermektedir.

4.3.2 Konvektif hidrodinamik basınç

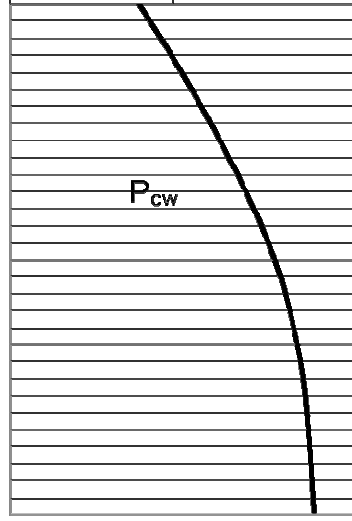
Konvektif hidrodinamik basınç, konvektif hidrodinamik basınç katsayısına, tabandan yüksekliğin iç çapa oranına y/D ve noktanın merkezle olan ϕ açısına bağlı olarak belirlenmektedir.

$Q_{cw(y)}$: Konvektif hidrodinamik basınç katsayısı

$P_{cw(y)}$: Konvektif hidrodinamik basınç (KN/m²)

$$Q_{cw(y)} = 0,5625 \frac{\cosh(3,674 * \frac{y}{D})}{\cosh(3,674 * \frac{h}{D})}$$

$$P_{cw(y)} = Q_{cw(y)} A h_{(c)} \rho \cdot g \cdot D \left[1 - \frac{1}{3} \cos^2 \phi \right] \cos \phi$$



Şekil 4.6 Konvektif hidrodinamik basınç dağılımı

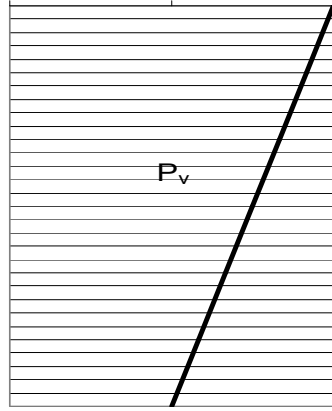
Konvektif hidrodinamik basınç, cidarın en üstünde en büyük, cidardan tabana doğru azalan non-lineer bir dağılıma sahiptir.

4.3.3 Düşey ivmelenmeden kaynaklanan hidrodinamik basınç

Deprem sırasında düşey yönde oluşan ivme de cıdarda hidrodinamik basınçlar oluşturmaktadır. S_a / g değerinin her durumda 2,5 olarak alınması tavsiye edilmek üzere A_v , düşey ivmesi ile hesaplanan P_v basınçları, yalnızca tabandan yükseklik değerine bağlı olarak değişmektedir.

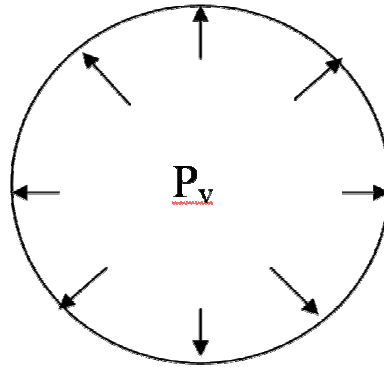
$$A_v = \frac{2}{3} \left(\frac{Z}{2} \cdot \frac{I}{R} \cdot \frac{S_a}{g} \right)$$

$$P_v = A_v \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \left(1 - \frac{y}{h} \right)$$



Şekil 4.7 Düşey basınç dağılımı

Bu basınçlar; hidrostatik basınç gibi cidarda her yönde dağıtılmaktadır. Şekil 4.8’ de herhangi bir yükseklikteki halkaya ait P_v dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.8 Düşey ivmelenmeden kaynaklanan hidrodinamik basınç dağılımı

4.3.4 Cidar ataletinden kaynaklanan dinamik basınç

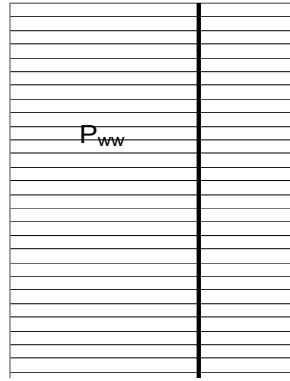
Cidarda suyun dinamik etkilerinin yanı sıra cidar kesitine gelen deprem kuvvetleri de dinamik basınçlara neden olmaktadır. Bu basınçlar, cidar kalınlığına ve cidarın yapıldığı malzemenin yoğunluğuna göre değişmektedir.

$$P_{ww} = A_{h(i)} \cdot t \cdot \rho_m \cdot g$$

P_{ww} : Cidar ataletinden kaynaklanan basınç (KN/m²)

t : Cidar kalınlığı (m)

ρ_m : Cidar malzemesinin yoğunluğu (KN/m³)



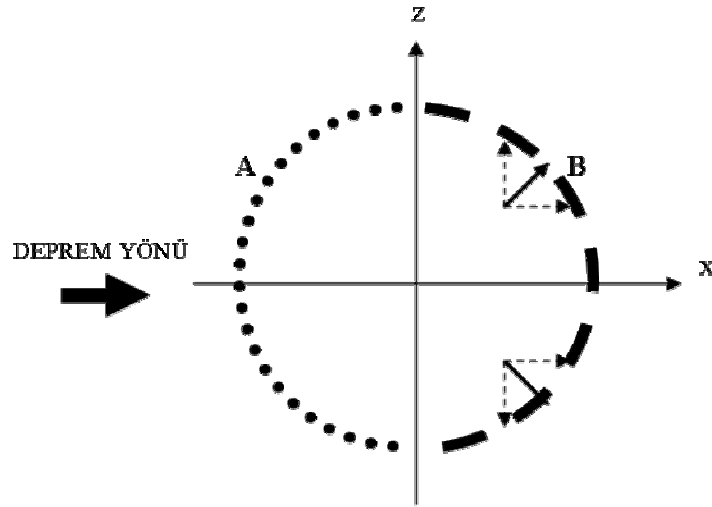
Şekil 4.9 Cidar ataletinden kaynaklanan dinamik basınç dağılımı

Cidar kalınlığı depo yüksekliği boyunca sabit olduğundan bu basınç cidar yüksekliği boyunca üniformdur ve impulsif hidrodinamik basınca (P_{iw}) eklenmektedir.

4.3.5 Maximum hidrodinamik basınç

Deprem sırasında cidarda sudan ve cidarın kesitinden kaynaklanan dinamik basınçlar, tabandan her 1 metre yükseklik ve 10'ar derecelik ϕ açıları için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Bu noktalardaki maximum dinamik basınç değerleri, basınç vektörlerinin yönlerine göre değişiklik göstermektedir.

Deprem $-x$ 'ten $+x$ yönüne doğru geldiğinden P_{iw} , P_{cw} , P_{ww} basınçları hep $+x$ yönünde, P_v basıncı ise deprem yönüne bağlı olmaksızın hep radyal yöndedir. Dolayısı ile P_v basıncının x ve z bileşenleri bulunmaktadır. (Şekil 4.10)



Şekil 4.10 Basınç vektörlerinin yönleri

P_v 'nin x bileşeni, x yönündeki en büyük hidrodinamik basınç hesaplanırken B yayı üzerindeki noktalarda bu basınçlara eklenmekte, A yayı üzerindeki noktalarda ise yönü ters olduğundan çıkarılmaktadır. Dolayısı ile x eksenindeki maximum hidrodinamik basınçlar, B yayı üzerindeki noktalarda A yayı üzerindikilerden büyük çıkmaktadır.

P_v 'nin z bileşeni ise z doğrultusunda başka basınç bulunmadığından direkt z yönündeki en büyük hidrodinamik basınç değerine eşit olmaktadır.

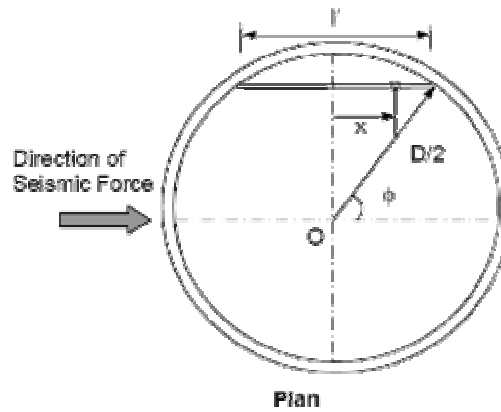
$$x \text{ yönündeki maximum hidrodinamik basınç ; } P_{\max}^x = \sqrt{(P_{iw} + P_{ww})^2 + P_{cw}^2 \pm (P_v^x)^2}$$

$$z \text{ yönündeki maximum hidrodinamik basınç ; } P_{\max}^z = (P_v^z)$$

4.4 Taban Dinamik Basınçları

Deprem sırasında yalnızca cidarda değil depo tabanında da dinamik basınçlar oluşmaktadır. Bu basınçlar, sudan kaynaklanan impulsif ve konvektif hidrodinamik basınçlar ile taban ataletinden kaynaklanan yatay dinamik basınçtan oluşmaktadır.

Tabanda oluşan hidrokinamik basınçlar, hesap yapılmak istenen noktanın x ekseni ile olan ϕ açısına ve x ekseni doğrultusunda z eksenine olan mesafesine(x) bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 4.11 Taban hidrokinamik basınç parametreleri (Jain S.K. and Jaiswal O.R)

4.4.1 İmpulsif hidrokinamik basınç

Tabanda oluşan impulsif hidrokinamik basınç değerleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$P_{ib} = 0,866.Ah_{(i)}. \rho .g.h \left(\frac{\sinh(0,866 \frac{x}{h})}{\cosh(0,866 \frac{l'}{h})} \right)$$

4.4.2 Konvektif hidrokinamik basınç

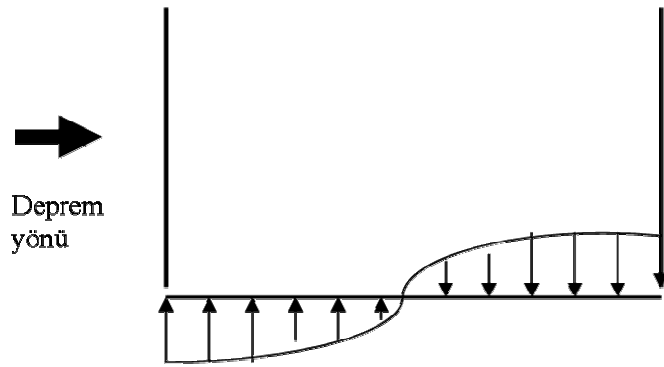
Tabanda oluşan konvektif hidrokinamik basınç, konvektif hidrokinamik basınç katsayısına ($Q_{cb(x)}$) bağlıdır. Bu katsayı, x / D oranına bağlı olarak değişmektedir.

$$Q_{cb(x)} = 1,125 \left[\frac{x}{D} - \frac{4}{3} \left(\frac{x}{D} \right)^3 \right] \sec h(3,674 \frac{h}{D})$$

$$P_{cb} = Q_{cb(x)} \cdot Ah_{(c)} \cdot \rho \cdot g \cdot D$$

Hesap yapılan noktada oluşan toplam hidrodinamik basınçları belirlemek için o nokta için ayrı ayrı hesaplanan impulsif ve konvektif hidrodinamik basınçların karelerinin toplamının karekökü alınmaktadır.

$$P_{\max} = \sqrt{P_{ib}^2 + P_{cb}^2}$$



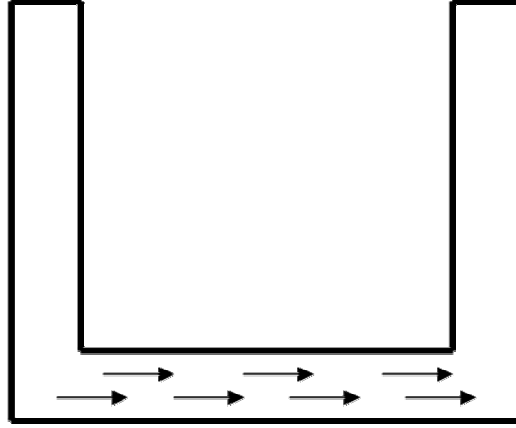
Şekil 4.12 Depo tabanında hidrodinamik basınç dağılımı

Tabandaki hidrodinamik basınçlar, depremin $-x'$ ten $+x$ yönüne doğru gelmesi durumunda Şekil 4.12' deki gibi tabanın deprem yönüne uzak olan yarısında pozitif, diğer yarısında da negatif olacak şekilde y eksenine doğrultusunda dağıtılmaktadır.

4.4.3 Taban ataletinden kaynaklanan yatay dinamik basınç

Cidar dinamik basıncına benzer şekilde tabanın kendi ataletinden kaynaklanan dinamik basınç aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır. Deprem $+x$ yönüne doğru geldiğinden bu basınçlar $+x$ yönündedir.

$$P_b = (A_h)_i \cdot t_b \cdot \rho_m \cdot g$$



Şekil 4.13 Yatay dinamik basınç dağılımı

4.5 Sonuç

Dinamik etkilerden dolayı depo cidarında ve tabanında oluşacak basınçlar belirlendikten sonra yapının SAP 2000 programında modelleme aşamasına geçilmektedir.

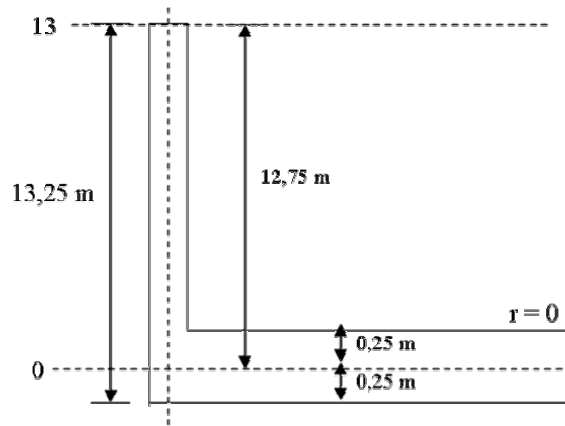
5.MODELLEME

SAP 2000 programı sonlu elemanlar yöntemi ile çalışmaktadır. Bu yöntemde yapı, kendisini temsil eden sonlu elemanlara bölünmektedir. Her elemanın yanındaki elemanlara tesirleri aktardığı kabul edilmektedir.

5.1 Model Tipi ve Boyutlar

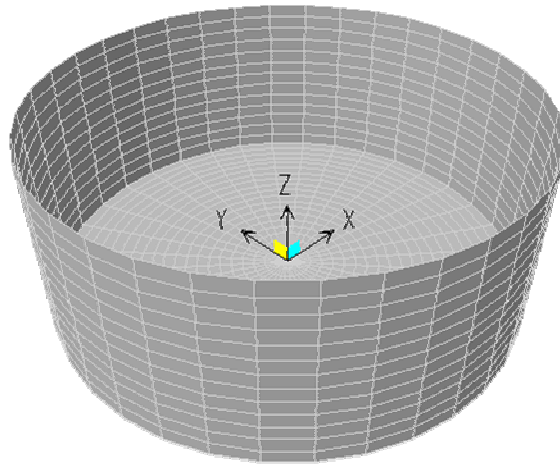
SAP 2000 programında modellenecek depolar silindirik kabuk “cylindrical shell” sınıfındadır. Birim sistemi olarak KN-m ile çalışılmaktadır. Deponun boyutları programa girilmektedir.

Program, kabuk elemanlarda orta yüzeyler ile çalışmaktadır. Bu durumda deponun yüksekliği $h_{depo} = 13,25$ metre ve radye kalınlığı 0,50 metre olduğundan radye kesitinin orta noktası ile cidar kesitinin orta noktasını kesiştirmek için depo yüksekliği değeri $h_{depo} = 13,25 - (0,50/2) = 13,00$ metre girilmektedir. Bunun amacı, modellemede cidarların radye ile bağlantısını sağlamaktır. Şekil 5.1’ de modellenen deponun boyutları görülmektedir. Depo yarıçapı değeri olarak da merkezden cidarın orta kesitine kadar olan mesafe alınmaktadır.



Şekil 5.1 SAP 2000 programı model boyutları

Sonlu elemanlar oluşturmak için yapı, yatayda depo yüksekliğine (13), dairesel tabanda açısal olarak 36 dilime ve tabanın merkezinden çepere doğru radyal şekilde 20 dilime bölünerek tam yuvarlaklık sağlanmış ve en hassas çözüm yoluna gidilmiştir. Yapının yatayda depo yüksekliğine bölünmesinin nedeni, hesap kolaylığı açısından cidarda birer metrelik dilimler elde etmektir.

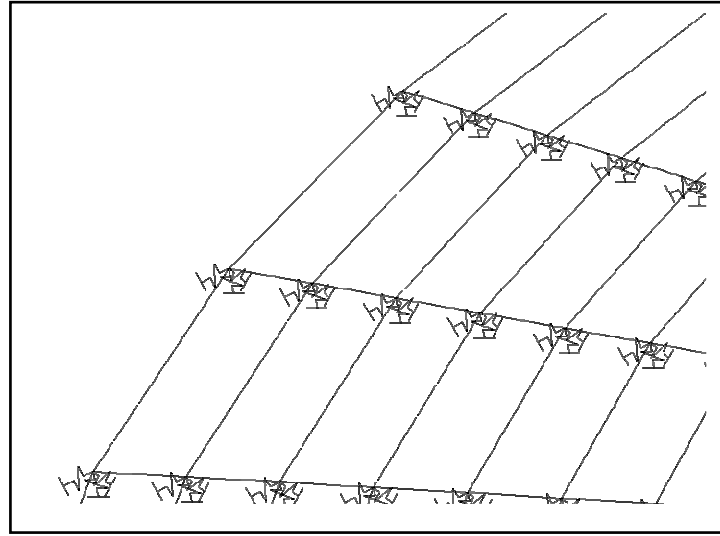


Şekil 5.2 Yapının sonlu elemanlar modeli

Şekil 5.2’den de görüldüğü gibi SAP 2000 programında çalışılan global eksen takımına göre yatay eksenler x ve y eksenlerini, yerçekiminin tersi yönündeki eksen z eksenini göstermektedir.

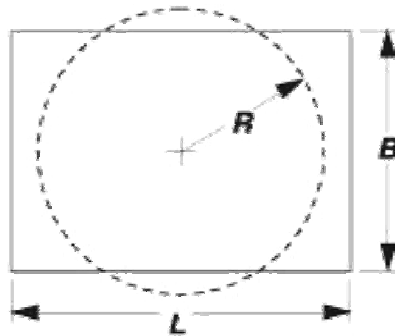
5.2 Zemin Modellemesi

Zemin, elastik zemin üzerine oturan radye modeline göre radyedeki tüm düğüm noktalarında üç yönde yaylar olarak tanımlanmaktadır. Winkler’ in yay modeline göre düşey yükleri almak için yerçekimi yönünde yaylar ve yatay deprem yüklerini karşılamak için yatayda iki yönde yaylar yerleştirilmektedir. (Bkz. Şekil 5.3)



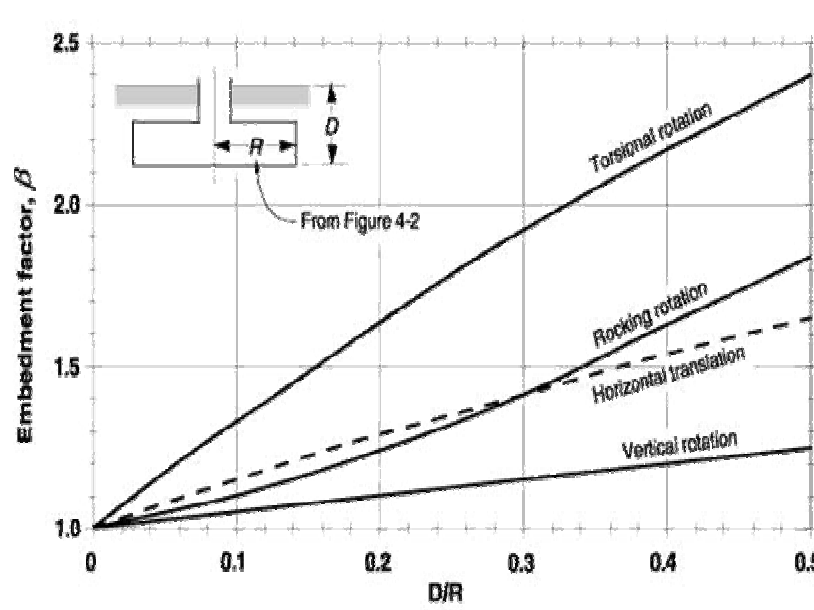
Şekil 5.3 Radye yayları

Tabanda tanımlanan yayların yay sabitlerinin hesabı için zemine ait parametreler kullanılmaktadır. k , yay sabiti olmak üzere FEMA 302' ye göre bu değer $k = \alpha \cdot \beta \cdot k_o$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada α şekil düzeltme faktörüdür. Yay sabiti hesaplamaları dikdörtgen veya kare temeller için yapıldığında hesaplamalarda eşdeğer dairesel temellere dönüştürülmektedir. (Şekil 5.4). Silindirik depolarda temel zaten dairesel olduğundan şekil düzeltme faktörü değeri $\alpha = 1$ olarak alınmaktadır.



Şekil 5.4 Dikdörtgen temelin eşdeğer dairesel temele dönüşümü (FEMA 302,1997)

β oturma faktörüdür. Temel derinliğinin dairesel temel yarıçapına oranına (D/R) bağlı olarak değişmektedir ve Şekil 5.5' ten elde edilmektedir. Temel derinliği 0,50 metre ve yarıçapı $r_{du} = 16,37$ metre olan depoya ait $\frac{D}{R} = \frac{0,50}{16,37} = 0,03$ olduğundan grafikten β değeri de 1 çıkmaktadır.



Şekil 5.5 Oturma faktörü değerleri (FEMA 302,1997)

$k = \alpha \cdot \beta \cdot k_o$ eşitliğinde α ve β katsayılarının 1 olması nedeni ile modellemede kullanılacak yay katsayıları direkt k_o değerine eşit olmaktadır. k_o ; temel rijitlik katsayısıdır. Bu katsayı, zeminin poisson oranına (ν) ve kayma modülüne (G) bağlı bir katsayıdır. Düşey ve yatay doğrultular için değişen k_o değerleri Çizelge 5.1' de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Düşey ve yatay k_o değerleri (FEMA 302,1997)

Düşey doğrultu	$k_o = \frac{4GR}{1-\nu}$
Yatay doğrultu $k_o =$	$\frac{8GR}{2-\nu}$

G , kayma modülü; elastisite modülü (E) ve poisson oranı (ν) belli bir zemin için aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmektedir.(FEMA 302,1997)

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Depo yapılması düşünülen yerde zemin tipinin sert kil olduğu kabulüne göre sert kile ait elastisite modülü değeri $E = 50.000 \text{ KN/m}^2$ ve poisson oranı $\nu = 0,35$ alınmaktadır. (Das,1998) Buna göre sert kile ait kayma modülü değeri;

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = G = \frac{50.000}{2(1+0,35)} = 18.519 \text{ KN/ m}^2 \text{ dir.}$$

Programdaki global eksen takımına göre yerçekiminin tersi yönündeki düşey eksen z ekseni, yatay eksenler de x ve y eksenleri olduğundan düşey yaylar z doğrultusunda, yatay yaylar x ve y doğrultularında tanımlanmaktadır.

$$\text{Düşey doğrultuda yay katsayısı } k_{v-yay} = \frac{4.G.R}{1-\nu} = \frac{4 \times 18.519 \times 16,37}{1-0,35} = 1.865.576 \text{ KN/m}$$

$$\text{Yatay doğrultuda yay katsayısı } k_{h-yay} = \frac{8.G.R}{2-\nu} = \frac{8 \times 18.519 \times 16,37}{2-0,35} = 1.469.847 \text{ KN/m}$$

Bu katsayılar, radyedeki tüm düğüm noktalarının altlarında x, y ve z doğrultularında yay sabitleri olarak tanımlanmaktadır.

5.3 Malzeme Karakteristikleri

Malzeme karakteristikleri ve kesit kalınlıkları programa verilmektedir. C30 betonun yoğunluğu $\rho_m = 25 \text{ KN/m}^3$ ve elastisite modülü $E = 27.386 \times 10^3 \text{ KN/m}^2$ alınmaktadır. Cidar kalınlığı 0,25 m, taban kalınlığı 0,50 m olarak verilmekte ve programdaki kesit atamaları yapılmaktadır.

5.4 Yükler

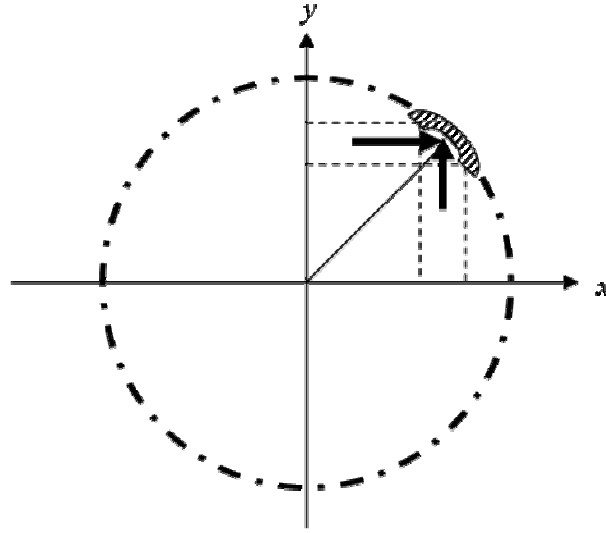
G; sabit yük (ölü yük) değerini program, kesit kalınlığı ve malzemenin karakteristik datalarına bağlı olarak kendisi hesaplamaktadır. G; ölü yükü yalnızca deponun kendi ağırlığıdır.

Q; hareketli yükü, tanımlanmakta ve depo içinde su yüksekliğine bağlı olarak cidara üçgen yayılı hidrostatik basınç uygulanmaktadır. Hidrostatik su basıncı tabanda üniformdur. Su yükü, cidarda ve tabanda sadece düğüm noktalarına değil tüm yüzeye yüzey basıncı (surface pressure) şeklinde etkitilmektedir. Q; hareketli yükü yalnızca depo içindeki suyun hidrostatik basıncıdır.

E; deprem yükü tanımlanmaktadır. Dinamik analiz sırasında tabandaki her x mesafesi ve ϕ için ayrı ayrı hesaplanan $P_{\max}$, maximum hidrodinamik basınç değerleri tabandaki sonlu elemanlara uygulanmaktadır. Bu basınçlar uygulanırken deprem yönüne yakın tarafta negatif, deprem yönüne uzak tarafta pozitif olacak şekilde yerçekimi doğrultusunda uygulanmaktadır.(Bkz.Şekil 4.12) Taban ataletinden kaynaklanan yatay dinamik basınç da tabana +x yönünde etki ettirilmektedir.

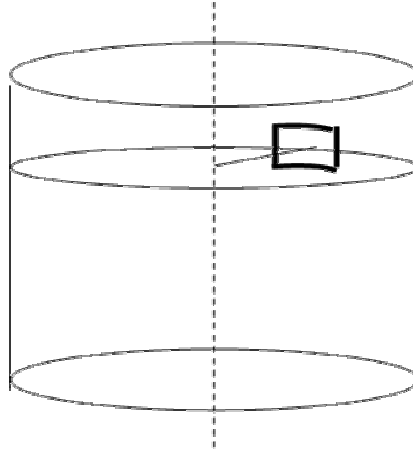
Cidarda da dinamik analiz sırasında her tabandan yükseklik ve ϕ açısı için hesaplanan, $P_{\max}$, maximum hidrodinamik basınçlar, sorumlu oldukları alanlar ile çarpılarak eşdeğer statik deprem kuvvetlerine dönüştürülmektedir. ($F = P * A$). Bu kuvvetler E yüklemesi altında cidardaki tüm düğüm noktalarına global eksen takımına göre x ve y doğrultularında etkitilmektedir.

Şekil 5.6' da tabandan herhangi bir yükseklikteki bir ϕ açısına sahip cidar düğüm noktasına etkiyen eşdeğer statik deprem kuvvetleri görülmektedir. x eksenini doğrultusundaki kuvvet F_x kuvveti; y eksenini doğrultusundaki kuvvet F_y kuvvetidir.



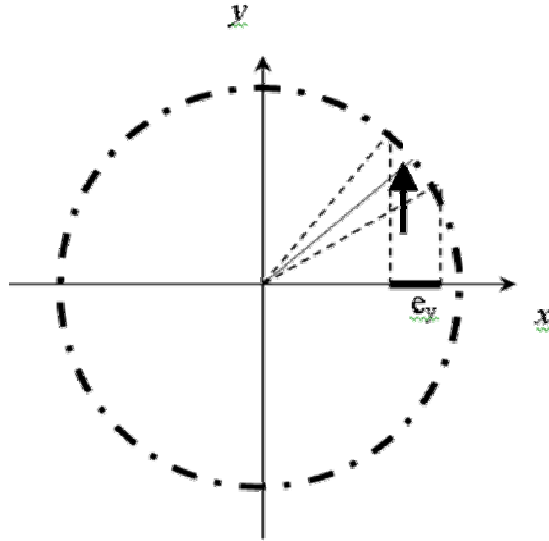
Şekil 5.6 Eşdeğer statik deprem kuvvetleri

Yapı, yatayda depo yüksekliğine bölündüğünden cidarda yerçekimi doğrultusunda düğüm noktaları arası mesafe 1 metredir. Düğüm noktalarının sorumlu oldukları alanlar belirlenirken bir boyutu 1 m, diğer boyutu ise şekilde belirginleştirilen yay parçası olan alan alınmaktadır. Bu alan, yaklaşık dikdörtgen kabul edilmektedir. Şekil 5.7' de düğüm noktasının sorumlu olduğu alan görülmektedir. Yay parçası düğüm noktasından sonlu elemanın yarısı kadar iki yana, aşağı ve yukarı gidilerek bulunduğu düğüm noktası bu alanın tam ortasıdır.



Şekil 5.7 Düğüm noktasının sorumlu olduğu alan

y eksenini doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvvetinin (F_y) belirlenmesi sırasında yay parçasının x eksenindeki izdüşümü kullanılmaktadır. Bu değer (e_y) olsun.



Şekil 5.8 Yayın x eksenindeki izdüşümü

Taban radyal olarak $36'$ ya bölündüğünden, birim açı 10° ' dir. ϕ açısına sahip bir düğüm noktasından her iki yana $10/2=5'$ er derece gidildiğinde kesikli çizgiler ile

gösterilen iki üçgen elde edilmektedir. Bu üçgenlerin her ikisinin de hipotenüsü r (depo yarıçapı)'dır. (Şekil 5.8)

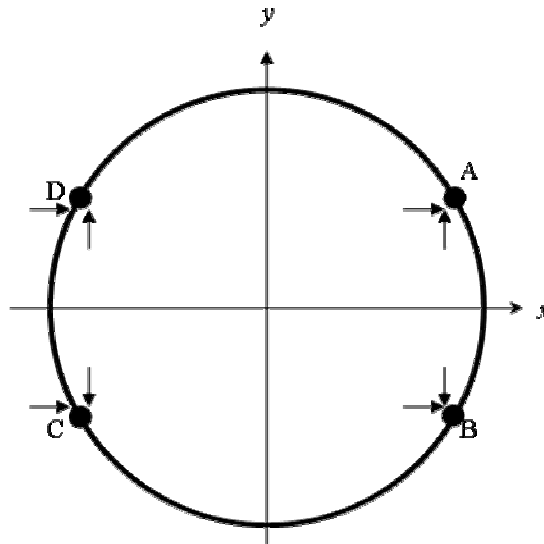
Küçük üçgenin x eksenindeki kenar uzunluğu $= r \cdot \cos(\phi - 5)$

Büyük üçgenin x eksenindeki kenar uzunluğu $= r \cdot \cos(\phi + 5)$

Aradaki fark e_y olduğundan $e_y = r \cdot \cos(\phi - 5) - r \cdot \cos(\phi + 5)$

x eksenini doğrultusundaki eşdeğer statik deprem kuvvetinin (F_x) belirlenmesi sırasında yay parçasının y eksenindeki izdüşümü kullanılmaktadır. Bu değer (e_x) olsun. Benzer yaklaşımla $e_x = r \cdot \sin(\phi + 5) - r \cdot \sin(\phi - 5)$ olmaktadır.

Şekil 4.10' daki A ve B yayları üzerinde bulunan düğüm noktaları ele alınmaktadır. Bu noktalar tabandan aynı yükseklikte ve y eksenine eşit uzaklıktadır. Bu noktalar için belirlenen eşdeğer statik deprem kuvvetleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 5.9 Eşdeğer statik kuvvetler

$$F_{A(x)} = F_{B(x)} > F_{D(x)} = F_{C(x)}$$

$$F_{A(y)} = F_{B(y)} = F_{D(y)} = F_{C(y)}$$

Yapıdaki simetriden dolayı dört düğüm noktasının da sorumlu olduğu alanlar eşittir. $F_{A(x)} > F_{D(x)}$ olmasının nedeni; A noktasının bulunduğu yayda dinamik analizden elde edilen $P_{\max}$ basınçlarının karşı yaydan büyük olmasıdır. Karşılaştırılan noktaların sorumlu oldukları alanlar da eşit olduğundan $P^x_{\max}$ basınçlarının farkı direkt kuvvetlere yansımaktadır.

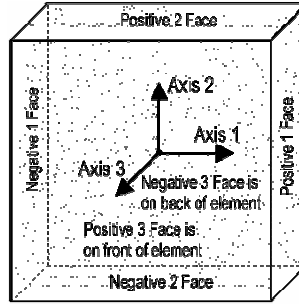
Son olarak G (sabit yük etkileri), Q (hareketli yük etkileri) ve E (deprem yükü etkileri) kombinasyon katsayıları ile çarpılarak tasarımda kullanılacak kombinasyonlar oluşturulmaktadır. Tasarımda kullanılacak kombinasyonlar deprem durumunda, sıvı basıncına maruz duvarlarda hareketli yük katsayısını 1,4 almak koşulu ile 1,4G+1,4Q ve 1,0G+1,4Q+1,0E olmaktadır. (TS 500, 2000)

5.5 Analiz Kontrolları

Tasarım aşamasına geçebilmek için öncelikle modelin beklenen sonuçları vermesi gerekmektedir. Yapılacak ilk kontrol düşey yaylarda çekme(boy uzaması) olup olmadığıdır. Düşey yaylar her iki kombinasyonda da tabanda hiçbir düğüm noktasında çekmeye maruz kalmamaktadır. Yani düşey yaylar hep basınca çalışmakta ve boyları kısalmaktadır. Yatay yaylar ise 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonunda bazı yerlerde çekmeye bazı yerlerde basınca maruz kalmaktadır.

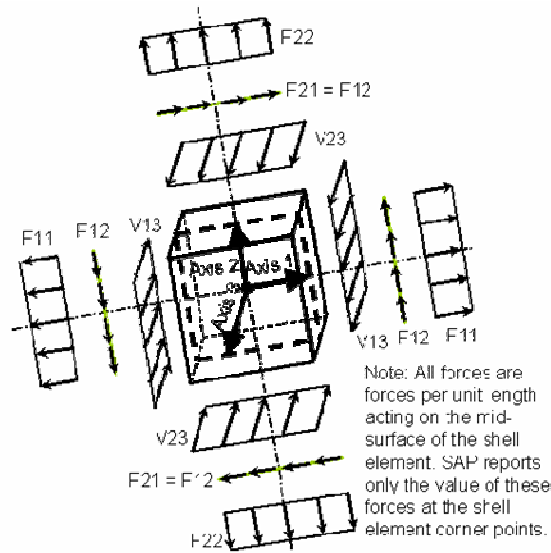
SAP 2000 programı, her zaman “shell” elemanların orta yüzeylerinin köşe noktalarında birim genişlik için sonuç vermektedir. Bu sonuçlar sonlu elemanların lokal akslarına göredir. Şekil 5.10’ da sonlu elemanın lokal aksları görülmektedir. Şekildeki sonlu eleman, cidarın bir parçası olarak düşünüldüğünde pozitif 3 yönü cidarın hava ile temas eden tarafı, negatif 3 yönü ise cidarın su ile temas eden tarafıdır. Dolayısı ile deponun merkezinde durup sonlu elemana baktığımızda karşı yön 3 eksen, cidara teğet

olan sol yön 1 eksenini ve yukarı yön de 2 eksenini göstermektedir. Tüm sonlu elemanlar için lokal akslar bu şekilde belirlenmektedir.



Şekil 5.10 Sonlu elemanların lokal aksları (SAP 2000 Manuel,1998)

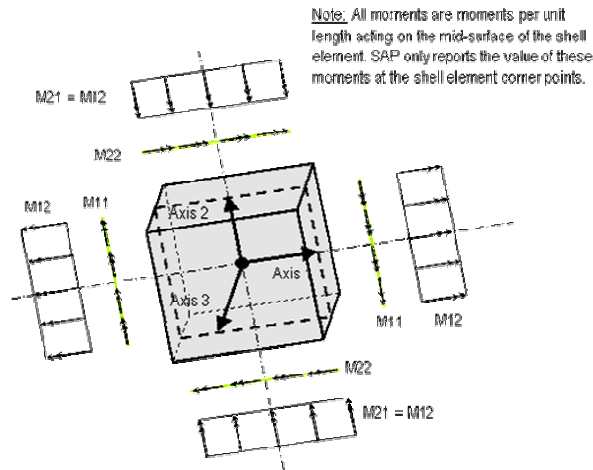
Bu akslara göre elemanlarda oluşacak kuvvetlerin pozitif yönleri Şekil 5.11’ de görülmektedir.



Şekil 5.11 Kuvvetlerin pozitif yönleri (SAP 2000 Manuel,1998)

F11 kuvveti pozitif ve negatif 1 yüzlerine etkiyen 1 eksenî doğrultusundaki çekme/basma kuvveti, F22 ise pozitif ve negatif 2 yüzlerine etkiyen 2 eksenî doğrultusundaki çekme/basma kuvvetidir. F12 ise pozitif ve negatif 1 yüzlerine etkiyen 2 eksenî doğrultusundaki kesme kuvvetidir. Her zaman $F12 = F21$ dir.

Tabanda aralarında 90° açî bulunan iki nokta arasında kuvvetlerin indisleri değişmektedir. Yani herhangi bir noktanın F11 değeri kendisine dik noktanın F22' si olmaktadır. Bunun nedeni de tabanın dairesel olmasından dolayı sonlu elemanların dönmesi ile lokal aksların da dönmesidir. Tam 90° dönüldüğünde 1 eksenî diğer eleman için 2 eksenî olmaktadır.



Şekil 5.12 Momentlerin pozitif yönleri (SAP 2000 Manuel,1998)

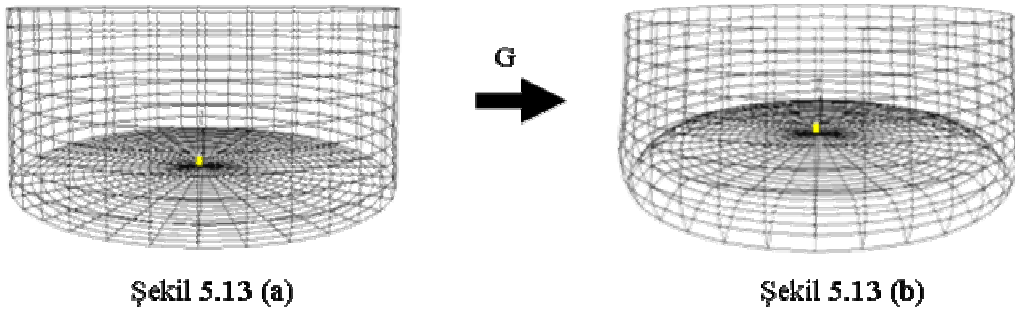
Şekil 5.12' de sonlu elemana etki eden momentlerin pozitif yönleri görülmektedir. M11, pozitif ve negatif 1 yüzlerinde 2 eksenî etrafında dönen momenti; M22 ise pozitif ve negatif 2 yüzlerinde 1 eksenî etrafında dönen momenti temsil etmektedir. M12 burulma momentidir. Her zaman $M12 = M21$ ' dir.

Kombinasyonlara bakmaksızın lokal akslara göre elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde; G ve Q yüklemeleri altında elde edilen kesit tesirleri tabandan aynı yükseklikteki cidar noktalarında aynı değerlerdedir. Çünkü bu kuvvetler yalnızca

tabandan yükseklik değerine bağlıdır. Tabanda ise merkezden aynı uzaklıktaki tüm noktalarda aynıdır ve simetri oluşturmaktadır.

E yüklemesi, x eksenine göre simetrik olduğundan x eksenine göre simetrik olan tabandan aynı yükseklikteki cidar noktalarında kesit tesirleri aynı çıkmaktadır. Tabanda da x eksenine göre simetrik merkezden eşit uzaklıktaki noktalardaki değerler aynıdır.

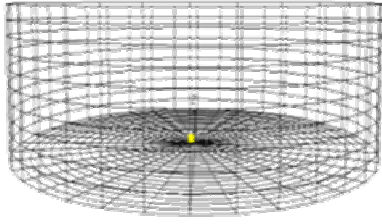
Şekil değiştirmeler kontrol edildiğinde yalnızca G yükü altında depoda oluşan şekil değiştirme, cidarın ağırlığı nedeni ile yerçekimi yönünde çökmesi ve tabanın yukarı doğru bombelenmesidir. Tabandaki bombelenmenin nedeni radyenin ağırlığına karşı koyan zemin kuvvetleridir. Şekil 5.13(a)' da deponun şekil değiştirmemiş hali (b)' de ise G yükü altında deponun şekil değiştirmiş hali görülmektedir.



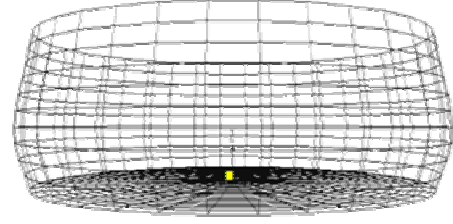
Şekil 5.13 (a)

Şekil 5.13 (b)

Hareketli yük, yalnızca depo içindeki suyun hidrostatik basıncı olduğundan bu yüklemeden dolayı oluşan şekil değiştirme fiçilaşma şeklindedir.(Şekil 5.14)

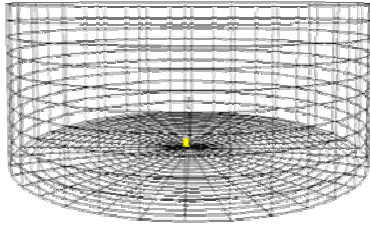


Şekil 5.14(a)

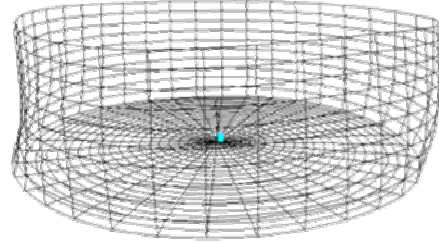
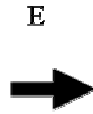


Şekil 5.14(b)

E ; Yatay deprem kuvvetine göre çözümde ise deprem $-x$ yönünden $+x$ yönüne doğru geldiğinden depoda $+x$ yönüne doğru bir kayma görülmektedir.(Şekil 5.15)



Şekil 5.15(a)



Şekil 5.15(b)

Analiz sonuçları incelendiğinde modelin yaylar, şekil değiştirmeler ve simetriler yönünden beklenen sonuçları verdiği görülmektedir. Modelleme aşaması tamamlanan deponun betonarme hesabına geçilmektedir.

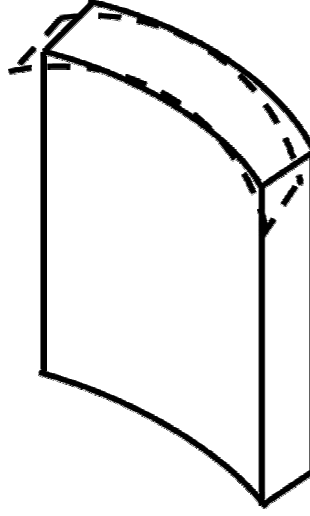
6. BETONARME HESAPLAR

Silindirik deponun betonarme hesabında SAP 2000 programından alınan analiz sonuçları kullanılmaktadır. Modellemede kabul edilen eksen takımına göre yerçekiminin tersi yönü z eksenini olduğundan tabandan yükseklik değerleri noktaların z koordinatlarıdır. Elde edilen kombinasyon sonuçları karşılaştırılarak güvenli tarafta kalacak şekilde depreme dayanıklı tasarımlar oluşturulmaktadır. Hesaplar, birim genişlik için yapılmaktadır. Tasarımda C30 betonu ve S420 çeliği kullanılmaktadır. Radye kalınlığı 50 cm alınmaktadır. Su yapıları için pas payı 5 cm alınmaktadır.

Depo cidarında eğilme ve eksenel yükleri alması için boyuna donatılar, çevresel çekme kuvvetlerini alması için enine donatılar kullanılmaktadır. Depo tabanında ise hasır ve çember donatılar bulunmaktadır. (Celep Z., ve Kumbasar N., 1998). Donatıların bağlantıları, cidarda çirozlar ile tabanda çiroz ve etriyeler ile sağlanmaktadır.

Cidarın betonarme hesabı, iki doğrultuda çalışan plak yaklaşımı ile yapılmaktadır. İki doğrultuda çalışan plaklar, her iki yönde eğilmeye maruz kalmaktadır.

Cidarda çevresel dalgalanma etkisi oluşturan moment SAP 2000 programının yön kabulüne göre M11 momentidir. (Şekil 6.1)

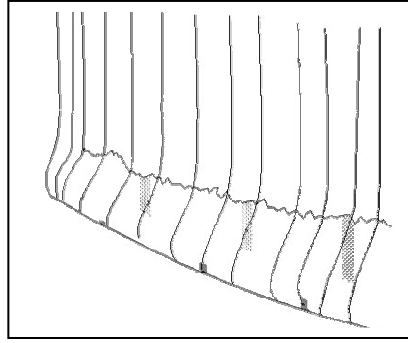


Şekil 6.1 Çevresel dalgalanma oluşturan M11 momenti

Cidarın dairesel olması sebebi ile M11 momentleri çok küçüktür. (1,4G+1,4Q kombinasyonunda en büyük $M_{11} = 27,090 \text{ KN/m}$ iken 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonunda en büyük $M_{11} = 32,868 \text{ KN/m}$ dir.) Hesaplarda bu momentler ihmal edilmektedir.

6.1 Cidar Boyuna Donatılarının Belirlenmesi

Cidarda, fil ayağı şeklinde şekil değiştirme oluşturan moment SAP 2000 programının lokal aks yön kabulüne göre M22 momentidir. Bu momentleri karşılaması için cidara boyuna donatılar yerleştirilmektedir.



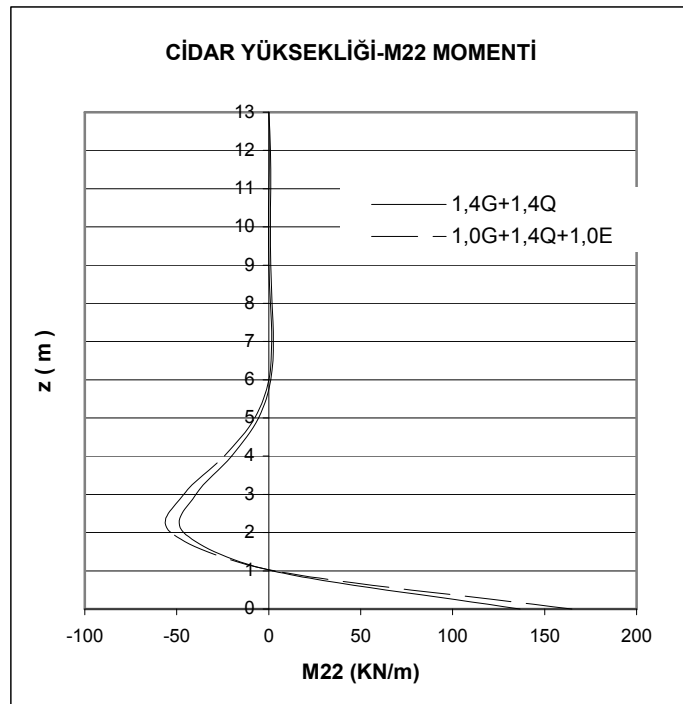
Şekil 6.2 Fil ayağı şekil değişimi (ESDEP WG 17)

Kesitteki basınç/çekme kuvvetleri de boyuna donatıyı etkilemektedir. Bu nedenle donatı seçimi için SAP 2000 programından alınan kombinasyon sonuçlarından M22 ve F22 değerleri kullanılmaktadır. Analizler sonucunda 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonundan elde edilen değerlerin cidarda 1,4G+1,4Q kombinasyonuna göre daha büyük sonuçlar verdiği görülmektedir. Yani deprem olması durumunda kesit, düşey yüklere göre daha fazla zorlanmaktadır. Dolayısı ile tasarım, 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonuna göre yapılmaktadır. Aşağıda $h = 12,25$ metrelik su yüksekliğine sahip deponun cidarında, tabandan her bir metre yükseklikteki düğüm noktalarına ait M22 moment ve F22 kuvvet değerleri çizelge ve grafik şeklinde verilmektedir.

Çizelge 6.1 Cidar moment ve kuvvetleri

t.y.	1,4G+1,4Q		1,0G+1,4Q+1,0E	
z	F22	M22	F22	M22
m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN-m/m
0	-181,58	136,670	-277,33	164,838
1	-37,17	2,2028	-113,25	3,4977
2	-9,48	-46,1893	-61,00	-53,1279
3	-44,82	-39,6021	-83,49	-46,2332
4	-80,31	-20,0613	-109,17	-24,1426
5	-96,17	-5,5041	-115,62	-7,5675
6	-95,43	1,1254	-106,32	0,0374
7	-86,39	2,5303	-90,44	1,7024
8	-75,1	1,8733	-74,56	1,007
9	-64,23	1,0816	-61,36	0,1317
10	-54,14	0,855	-50,96	-0,1274
11	-44,35	1,0501	-42,39	0,1275
12	-34,48	0,8695	-34,69	0,1772
13	-24,88	0,0458	-27,42	0,0499

1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyon sonuçları, depremin en etkin olduğu hat üzerinden (+x doğrultusundan) alınmaktadır. 1,4G+1,4Q kombinasyonuna göre cidarda aynı yüksekliğe sahip tüm noktalarda zaten aynı değerler çıkmaktadır. F22 kuvvetlerinin işaretlerinin eksi olması, basınç kuvveti olduklarını göstermektedir.



Şekil 6.3 Cidar M22 momentlerinin değişimi

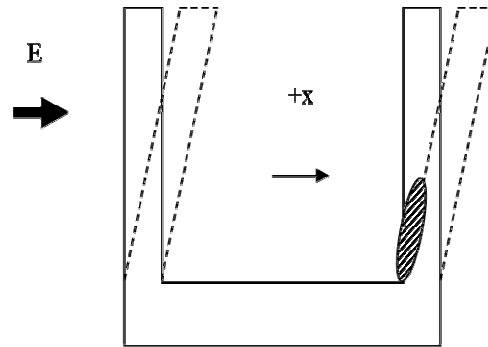
Cidarda $z = 1,00'$ de (tabandan 1 metre yükseklikte) ve $z = 6,00'$ de çekme bölgesinin yer değiştirdiği görülmektedir. $z = 6,00'$ dan sonra moment değerleri sıfıra yaklaşmaktadır. Momentin işaret değiştirdiği noktalara göre cidar; alt kısım, orta kısım ve üst kısım olarak 3 bölüme ayrılmaktadır. Bunun amacı, fazla moment olmayan yerlerde gereksiz donatı yığılmalarını önlemektir. Bu durumda alt bölge $z = 0,00-1,00$ arası, orta bölge $z = 1,00-6,00$ arası ve üst bölge de $z = 6,00-13,00$ arası olmaktadır.

Dinamik analizde, deprem olması durumunda cidarın ve tabanın davranışı belirlemek amacı ile depremin $-x$ yönünden geldiği kabul edilmişti. Ancak tasarım

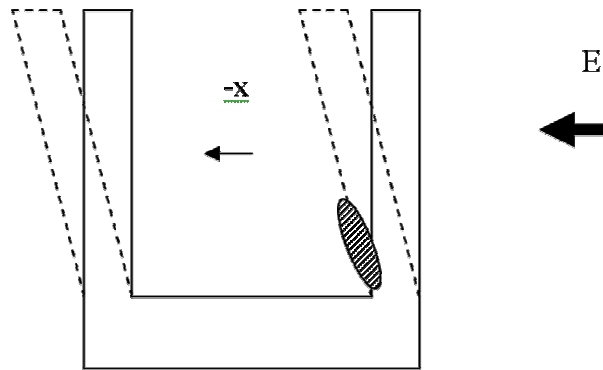
aşamasında yapının simetrikliği, depremin her yönden gelebileceği kabulüne uygundur. Depremin tam ters yönden gelmesi durumunda hidrodinamik basınçlar karşı cidar için hesaplanmış olacak ve sadece yönleri değişecektir. Depremin etkin olduğu kombinasyona göre tasarım yapıldığından aşağıdaki yaklaşım dikkate alınmalıdır.

Depremin $-x$ yönünden gelmesi durumunda Şekil 6.3' e göre $z = 0,00-1,00$ aralığında yani alt bölgede çekme bölgesi cidarın su ile temas eden yüzüne yakın tarafıdır. (Şekil 6.4' teki taralı alan)

Depremin $+x$ yönünden gelmesi durumunda taralı alan basınç bölgesi olmaktadır.(Şekil 6.5).(Bu durumda Şekil 6.3 ile verilen grafiğin de düşey eksene göre simetrisi geçerli olacaktır.)



Şekil 6.4 Depremin $-x$ yönünden gelmesi durumu



Şekil 6.5 Depremin $+x$ yönünden gelmesi durumu

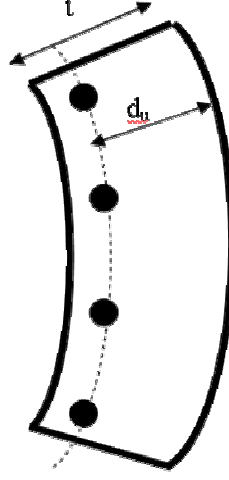
Depremi geliş yönüne bağlı olarak taralı alan bazı durumlarda çekmeye bazı durumlarda ise basınca çalışacaktır. Bu durum, cidarın her yerinde geçerli olduğundan cidarda hiçbir bölge çekme veya basınç bölgesi şeklinde ayrılmayıp donatılar, her iki yüzde karşılıklı eşit olacak şekilde konulmaktadır.

Donatılar belirlenirken güvenli tarafta kalmak için o bölgedeki en büyük moment değeri ve en küçük basınç kuvveti değeri alınmaktadır. Hesap kolaylığı açısından öncelikle orta kısımdaki boyuna donatılar belirlenmekte, bu donatılar alt bölgeye ve radye içine kadar uzatılmaktadır. Moment değerlerinin alt bölgeden küçük olması nedeni ile bu donatılar alt taraftaki eğilmeyi karşılamaya yetmeyeceğinden alt kısım için aradaki fark kadar daha donatı ilavesi yapılmaktadır.

6.1.1 Orta kısım boyuna donatılarının belirlenmesi

Orta kısımdaki en büyük moment tabandan 2 metre yüksekliktedir ve değeri $M_{22} = 53,1279 \text{ KNm/m'}$ dir. Orta kısımda oluşan en küçük $F_{22} = 9,48 \text{ KN/m'}$ dir. (Bkz.Çizelge 6.1)

Boyuna donatılar, uzun doğrultuda yerleştirilmektedir. İki doğrultuda çalışan plaklarda uzun doğrultudaki faydalı yükseklik; $d_u = t - (pp + 15)$ dir. (Topçu, 2003) d_u , düşey donatıların ağırlık merkezinden kesitin üst kısmına kadar olan mesafedir. Şekil 6.6' da orta kısımda deponun içine yakın tarafa konulan boyuna donatılara ait faydalı yükseklik mesafesi görülmektedir.



Şekil 6.6 Uzun doğrultudaki faydalı yükseklik

$$d_u = 250 - (50 + 15) = 185 \text{ mm}$$

$$k_h = \frac{d_u}{100} \cdot \sqrt{\frac{b_w}{M}} \quad (\text{Aydın, 2002})$$

$$k_h = \frac{185}{100} \cdot \sqrt{\frac{1000}{53,1279}}$$

$$k_h = 8,03 \Rightarrow k_s = 0,34$$

$$A_{su} = \frac{10^4 \cdot k_s \cdot \rho_d \cdot M}{d_u} - \frac{F}{0,365}$$

$$A_{su} = \frac{10^4 \cdot 0,34 \cdot 1,03 \cdot 53,1279}{185} - \frac{(9,48)}{0,365}$$

$$A_{su} = 980 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Seçilen donatı} = \phi 16 / 200 \quad (1005 \text{ mm}^2/\text{m})$$

$\phi 16$ lık donatılar 200 mm ara ile cidarın her iki yüzünde karşılıklı simetrik olacak şekilde yerleştirilmektedir. Uzun doğrultuda yerleştirilen donatıların oranı $\rho \geq 0,0015$ olmalıdır.(Topçu, 2003)

$$\text{Donatı oranı kontrolü} \Rightarrow \rho_u \geq 0,0015$$

$$\rho_u \geq \frac{A_{su}}{1000d_u}$$

$$\rho_u \geq \frac{1005}{1000.185}$$

$$\rho_u = 0,0054 > 0,0015$$

$$\text{Donatı aralığı kontrolü} \Rightarrow s \leq 1,5 \cdot t$$

$$200 < 1,5 \cdot 250 = 375 \text{ mm}$$

$$s \leq 250 \text{ mm} \quad (\text{Uzun doğrultu için})$$

$$200 \text{ mm} < 250 \text{ mm}$$

Donatının boyu

Orta kısım, $z = 1,00 - 6,00$ arasındır. Bu durumda orta kısım çekme donatısının boyu $6,00 - 1,00 = 5,00$ metrelik yükseklik boyunca devam etmektedir. Bu donatılar alt bölgeye kadar uzatıldığından 5 metrelik boya 1 metrelik alt bölge yüksekliği eklenmelidir. ($5,00+1,00 = 6,00$ m).

$z = 0$ noktası radyenin orta noktası olduğundan donatının radye içindeki boyu, radye kalınlığının yarısından pas payı düşölerek bulunan değerdir.

((0,50/2)-0,05=0,20 m) Donatılar radye içinde yatay olarak 20 cm kıvrılmaktadır. Bu durumda donatının boyu $6,00+0,20+0,20 = 6,40$ m olmaktadır.

Donatıların üst kısımdaki donatılara bindirilmesi gerekmektedir. Betonarme yapılarda çekme donatısı için bindirme boyu l_o , temel kenetlenme boyu l_b ' ye göre belirlenmektedir. (TS 500,2000)

$$l_o = \alpha_1 . l_b$$

Burada α_1 , eklenecek donatının kesitteki toplam donatıya oranına bağlı bir katsayıdır. ($1,3 < \alpha_1 < 1,6$). Hesaplarda $\alpha_1 = 1,5$ alınmaktadır. Kenetlenme boyu aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır. (TS 500, 2000)

$$l_b = \left(0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \right)$$

$$\gamma_{ms} = 1,15 \text{ (Tüm donatı sınıfları için) } \quad \text{ve} \quad f_{yk} = 420 \text{ MPa} \quad (\text{S420 için})$$

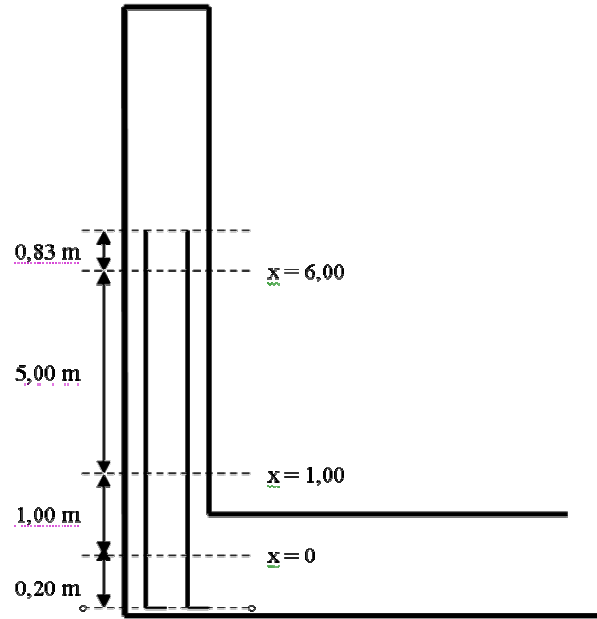
$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{ms} = 420 / 1,15 = 365,22 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{mc} = 1,5 \text{ (Yerde dökme betonlar için) } \quad \text{ve} \quad f_{ctk} = 1,90 \text{ Mpa} \text{ (C30 için)}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 1,90 / 1,5 = 1,27 \text{ MPa}$$

$$l_b = \left(0,12 \frac{365,22}{1,27} . 0,016 \right) = 0,55 \text{ m}$$

Donatıların kenetlenme boyu $l_b = 0,55$ metre olduğundan bindirme boyu $l_o = 1,5 \times 0,55 = 0,83$ m olmaktadır. Bu durumda toplam boy $L = (6,40 + 0,83) = 7,23$ m olmaktadır.



Şekil 6.7 Orta kısım boyuna donatıları

6.1.2 Alt kısım boyuna donatılarının belirlenmesi

Alt kısımda, $z = 0,00-1,00$ aralığında, en büyük moment $1,0G+1,4Q+1,0E$ kombinasyonu sonucunda elde edilmektedir ve değeri $M_{22} = 164,838 \text{ KNm/m}$ ' dir. Bu değer $z = 0$ noktasında yani radyenin tam ortasındaki düğüm noktasına ait değerdir. (Şekil 6.7) Moment grafiğine göre cidarın radye ile kesişim noktasındaki moment değeri $z = 0$ noktasındaki momentten zaten küçük olduğundan donatı $M_{22} = 164,838 \text{ KNm/m}$ değerine göre belirlenmektedir. Bu bölgedeki en küçük basınç kuvveti ise $F_{22} = 37,17 \text{ KN/m}$ ' dir.

$$d_u = 185 \text{ mm}$$

$$k_h = \frac{d_u}{100} \cdot \sqrt{\frac{b_w}{M}}$$

$$k_h = \frac{185}{100} \cdot \sqrt{\frac{1000}{164,838}}$$

$$k_h = 4,56 \quad \Rightarrow \quad k_s = 0,33$$

$$A_{su} = \frac{10^4 k_s \cdot \rho \cdot M}{d_u} - \frac{F}{0,365}$$

$$A_{su} = \frac{10^4 \cdot 0,33 \cdot 1,03 \cdot 164,838}{185} - \frac{(37,17)}{0,365}$$

$$A_{su} = 2927 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Alt bölgede her bir metre için 2927 mm²' lik donatıya ihtiyaç vardır. Ancak bu bölgede ortadan gelen düşey donatıları da bulunduğuından seçilecek donatı var olan miktar düşülerek hesaplanmaktadır.

$$A_{\text{var}} = \phi 16 / 200 (1005 \text{ mm}^2/\text{m})$$

$$A_{ek} = A_{su} - A_{\text{var}}$$

$$A_{ek} = 2927 - 1005 = 1922$$

$$\text{Seçilen donatı} = \phi 16 / 100 (2011 \text{ mm}^2/\text{m})$$

Bu ek donatılar alt bölgede, orta kısımdan gelen donatıların hemen yanlarına cidarda karşılıklı simetri oluşturacak şekilde yerleştirilmektedir.

$$\text{Donatı oranı kontrolü} \quad \Rightarrow \quad \rho_u \geq 0,0015$$

$$\rho_u \geq \frac{A_{su}}{1000 d_u}$$

$$\rho_u \geq \frac{1005 + 2011}{1000.185}$$

$$\rho_u = 0,0163 > 0,0015$$

Donatı aralığı kontrolü $\Rightarrow s \leq 1,5 \cdot t$

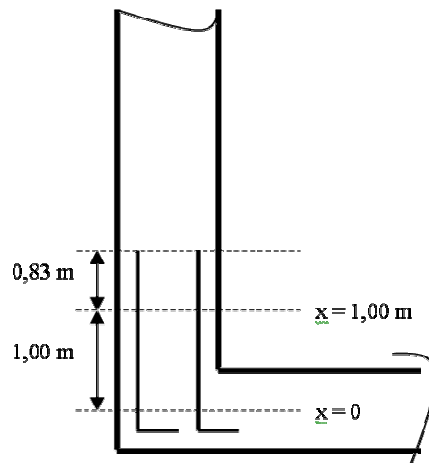
$$100 < 1,5 \cdot 250 = 375 \text{ mm}$$

$s \leq 250 \text{ mm}$ (Uzun doğrultu için)

$$100 \text{ mm} < 250 \text{ mm}$$

Donatının boyu

Alt bölge, $z = 0,00-1,00$ arasındır. Buradaki boyuna donatı, $z = 1,00'$ e kadar uzatılmaktadır. Bu donatılar da radye içinde 20 cm kıvrıldıklarından radye içindeki boyları $((0,50/2)-0,05+0,20) = 0,40 \text{ m}$ olmaktadır. Üst donatılarla bağlantı için gerekli bindirme boyu $\phi 16'$ lık donatı için 0,83 metre idi. Bu durumda ek donatıların toplam boyu : $L = 1,00 + 0,40 + 0,83 = 2,23 \text{ metredir.}$



Şekil 6.8 Alt kısım düşey ek donatıları

6.1.3 Üst kısım boyuna donatının belirlenmesi

$z = 6,00'$ dan sonra moment değerlerinin sıfıra yaklaşması nedeni ile bu kısımda konstrüktif donatı kullanılmaktadır. Kullanılması gereken minimum donatı çapı $\phi 12'$ dir. Uzun doğrultuda yerleştirilen donatılarda en büyük donatı aralığı $250 \text{ mm}'$ dir. (Topçu, 2003) Dolayısı ile minimum donatı $\phi 12/250$ olarak belirlenmektedir.

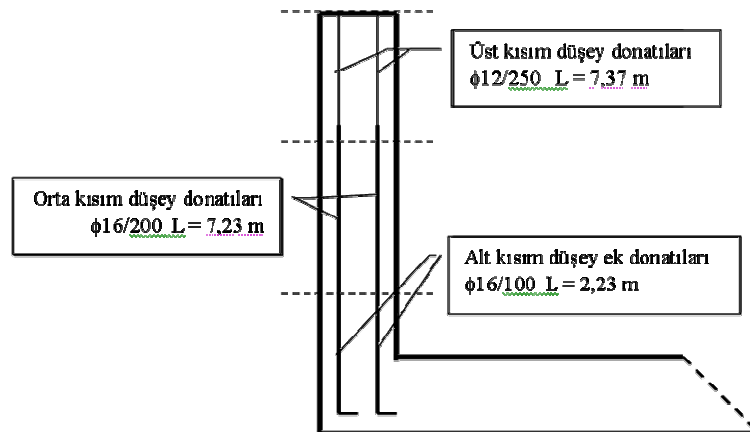
Donatının boyu

Üst kısım $z = 6,00'$ dan yukarıda kalan kısımdır. Cidar yüksekliği $h_{\text{cidar}} = 12,75$ metre olduğundan bu donatının boyu $L = (12,75 - 6,00) = 6,75 \text{ m}'$ dir. Bu donatının orta kısımdaki donatılara bağlanması için bindirme boyu eklenmektedir. $\phi 12'$ lik donatı için gerekli bindirme boyu;

$$l_o = 1,5 \left(0,12 \frac{365,22}{1,27} \cdot 0,012 \right) = 0,62 \text{ m}$$

Konstrüktif donatının toplam boyu $L = 6,75 + 0,62 = 7,37$ metre olmaktadır.

Cidar için seçilen tüm düşey donatılar Şekil 6.9' da görülmektedir.



Şekil 6.9 Boyuna donatılar

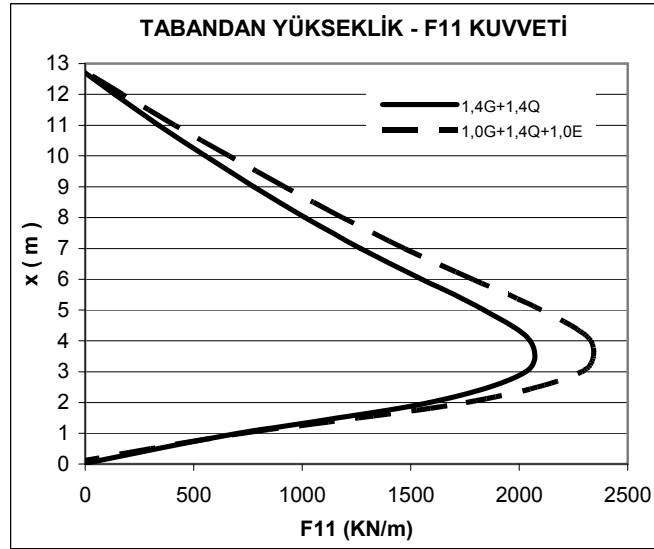
6.2 Enine Donatıların Belirlenmesi

Enine donatılar, cidarda oluşan çevresel çekme kuvvetlerini karşılamaktadır. SAP 2000 programındaki lokal aks yön kabulüne göre çevresel çekme kuvveti, F11 kuvvetidir. Analiz sonucunda elde edilen çevresel çekme kuvveti değerleri çizelgede verilmektedir.

Çizelge 6.2 Cidar çevresel çekme kuvvetleri

t.y	1,4G+1,4Q	1,0G+1,4Q+1,0E
z	F11	F11
m	KN/m	KN/m
0	-17,08	-95,15
1	705	725,25
2	1585,54	1756,33
3	2030,22	2288,93
4	2050,09	2331,21
5	1837,72	2103,57
6	1551,7	1788,04
7	1270,14	1474,51
8	1013,4	1186,49
9	777,01	918,78
10	553,23	662,12
11	339,4	412,78
12	136,32	171,94
13	-58,64	-59,8

1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonunda oluşan çevresel çekme kuvvetleri 1,4G+1,4Q kombinasyonundan daha etkin çıkmaktadır. Bu sonuçlara göre aşağıdaki eğri elde edilmektedir.



Şekil 6.10 Cidar çekme kuvveti değerlerinin değişimi

Donatılar belirlenirken depo, 3 yatay parçaya bölünmektedir. Bunun amacı, üst kısımlarda fazla çekme kuvvetleri oluşmadığından daha seyrek donatının yerleştirilebilmesidir. Bu bölgelere sık donatı koymak maliyeti artıracığından istenmeyen bir durumdur. Şekil 6.10' a göre alt bölge $z = 0,00-5,00$ aralığı, orta bölge $z = 5,00-8,00$ aralığı ve üst bölge $z = 8,00'$ den yukarı kısım olarak belirlenmektedir.

6.2.1 Alt kısım enine donatısının belirlenmesi

Alt kısımda belirlenecek enine donatı, bu bölgedeki, $z = 0,00 - 5,00$ aralığındaki, en büyük F11 değerine karşı koyması gereken donatıdır. Alt bölgede çekme kuvveti $z = 4,00'$ te en büyüktür ve değeri $F11 = 2331,21 \text{ KN/m}$ 'dir.

$$F11 = 2331,21 \text{ KN/m}$$

$$A_s = F / f_{yd}$$

$$A_s = 2331,21 / 0,365$$

$$A_s = 6387 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Bu donatı çerperin her iki yüzüne eşit şekilde konulmaktadır.

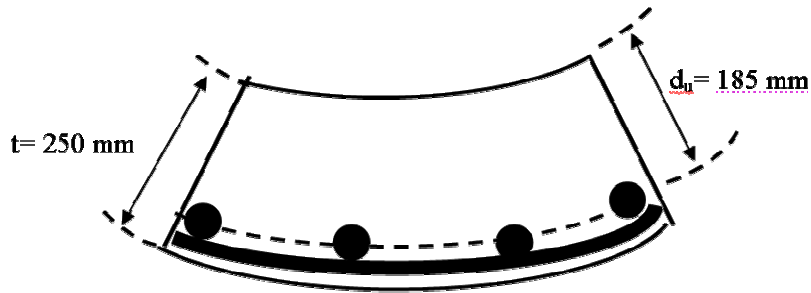
$$A_s = 6387 / 2 = 3194 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Seçilen donatı} = \phi 20 / 95 \text{ (} 3307 \text{ mm}^2/\text{m} \text{)}$$

Enine donatılar belirlenirken beton çekmeye çalışmadığından beton kesit yok kabul edilmektedir. Donatılar kesitte istenilen herhangi bir yere konulabilir ancak alışılakelen yöntem ile bu donatılar da kesitin her iki tarafında simetrik olacak şekilde düşey donatıların etrafını sararak yerleştirilmektedir.

Donatının boyu

Enine donatılar çift sıra halinde yerleştirildiğinden depo içine yakın ve depo dışına yakın donatıların boyları farklıdır. Donatıların dışında kalan net beton örtüsü : $k = (250 - 185 - (16/2) - 20) = 37 \text{ mm}$ ' dir. Burada 250 mm cidar kalınlığı, 185 mm düşey donatıların ağırlık merkezinden kesit üstüne kadar olan mesafe (uzun doğrultudaki faydalı yükseklik), $(16/2)$ düşey donatı çapının yarısı ve 20 değeri de enine donatının çapını ifade etmektedir.



şekil 6.11 Enine donatılar için net beton örtüsü

Net beton örtüsü, 37 mm değeri, enine donatının en dışından kesitin dışına kadar olan mesafedir.

Dış tarafa yakın yerleştirilen enine donatıların boyu, $(r_{du} - (k + (\phi/2)))$ yarıçapına sahip çemberin çevresi olmaktadır.

İç tarafa yakın yerleştirilen enine donatıların boyu, $(r_{iç} + (k + (\phi/2)))$ yarıçapına sahip çemberin çevresi olmaktadır.

Kesitteki enine donatının toplam boyu $L = (2 \pi (r_{du} - (k + (\phi/2)))) + (2 \pi (r_{iç} + (k + (\phi/2))))$

$$L = 2 \pi [(r_{du} - (k + (\phi/2))) + r_{iç} + (k + (\phi/2))]$$

$$L = 2 \pi (r_{iç} + r_{du})$$

$$r_{iç} = 16,12 \text{ m}, r_{du} = 16,37 \text{ m}$$

$$L = 2 \pi (r_{iç} + r_{du})$$

$$L = 2 \pi (16,12 + 16,37) = 204,14 \text{ m}$$

Enine donatılar da boyuna donatılar gibi birbirlerine bindirilmektedir. Şantiye için gelen donatıların boylarının standart 11 metre olduğu kabul edilirse enine donatılarda $204,14/11 = 19$ yerde bindirme yapmak gerekecektir. 20' lik donatı için bindirme boyu

$$l_o = 1,5 \left(0,12 \frac{365,22}{1,27} \cdot 0,020 \right) = 1,04 \text{ m}$$

Toplam bindirme boyu = $19 \times 1,04 = 19,76$ metre

Toplam enine donatı boyu : $L = 204,14 + 19,76 = 223,90$ metre

6.2.2 Orta kısım enine donatısının belirlenmesi

$z = 5,00-8,00$ arası için belirlenecek donatı, $z = 5,00'$ teki, tabandan 5,00 metre yükseklikteki F11 değerine göre belirlenmektedir. Çünkü bu bölgedeki en büyük değer bu noktadadır ve değeri $F11 = 2103,57 \text{ KN/m'}$ dir. (Bkz. Çizelge 6.2)

$$F11 = 2103,57 \text{ KN/m}$$

$$A_s = F / f_{yd}$$

$$A_s = 2103,57 / 0,365$$

$$A_s = 5764 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Bu donatı çeperin her iki yüzüne eşit şekilde konulmaktadır.

$$A_s = 5764 / 2 = 2882 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Seçilen donatı} = \phi 20 / 105 \text{ (} 2992 \text{ mm}^2/\text{m} \text{)}$$

Seçilen donatılar, halkalar halinde tabandan $z = 5,00-8,00$ aralığında kesitin her iki tarafında düşey donatıların etrafını saracak şekilde yerleştirilmektedir.

Donatının boyu

$$L = 204,14 \text{ m}$$

Bindirme sayısı : $204,14/11 = 19$ yerde bindirme yapmak gerekecektir. 20' lik donatı için bindirme boyu

$$l_o = 1,5 \left(0,12 \frac{365,22}{1,27} \cdot 0,020 \right) = 1,04 \text{ m}$$

$$\text{Toplam bindirme boyu} = 19 \times 1,04 = 19,76 \text{ metre}$$

$$\text{Toplam enine donatı boyu} : L = 204,14 + 19,76 = 223,90 \text{ metre}$$

6.2.3 Üst kısım enine donatısının belirlenmesi

$z = 8,00'$ den üstü için belirlenecek donatı, tabandan $z = 8'$ deki F11 kuvvetine göre belirlenmektedir. Çünkü üst bölgedeki en büyük değer bu noktadadır ve değeri $F11 = 1186,49 \text{ KN/m}$ ' dir. (Bkz.Çizelge 6.2)

$$F11 = 1186,49 \text{ KN/m}$$

$$A_s = F / f_{yd}$$

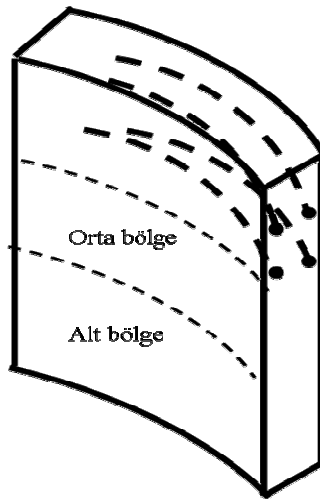
$$A_s = 1186,49 / 0,365$$

$$A_s = 3251 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Bu donatı çeperin her iki yüzüne eşit şekilde konulmaktadır.

$$A_s = 3251 / 2 = 1626 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Seçilen donatı} = \phi 16 / 120 \text{ (} 1676 \text{ mm}^2/\text{m} \text{)}$$



Şekil 6.12 Üst kısım enine donatısının yerleşimi

Donatının boyu

$$L = 204,14 \text{ m}$$

Bindirme sayısı : $204,14/11 = 19$ yerde bindirme yapmak gerekecektir. 16' lık donatı için bindirme boyu

$$l_o = 1,5 \left(0,12 \frac{365,22}{1,27} \cdot 0,016 \right) = 0,83 \text{ m}$$

$$\text{Toplam bindirme boyu} = 19 \times 0,83 = 15,77 \text{ metre}$$

$$\text{Toplam enine donatı boyu : } L = 204,14 + 15,77 = 219,91 \text{ metre}$$

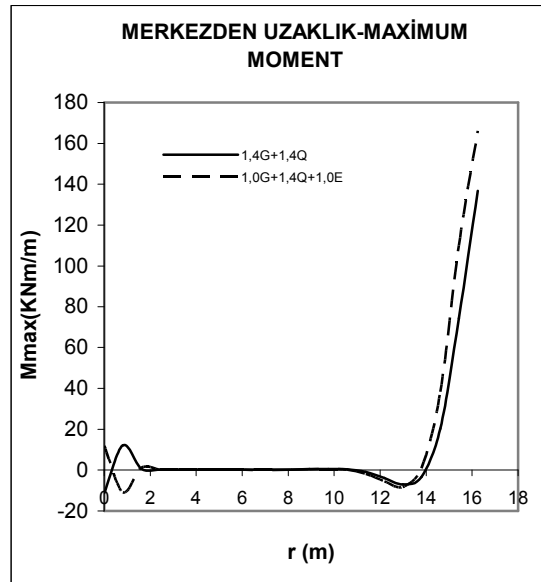
6.3 Radye Donatılarının Belirlenmesi

Radye donatıları belirlenirken de iki kombinasyon sonucu karşılaştırılmakta ve büyük olan değerler kullanılarak tasarım yapılmaktadır. Tabanın dairesel olması nedeni ile 1,4G+1,4Q kombinasyonunda M11 momentleri M22 momentlerine eşit çıkmaktadır. Ancak bu kural, 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonunda geçerli değildir. Temelin geometrisi ve hasır donatı kullanılması, tabanda oluşan en büyük momente göre tasarım yapmayı gerektirmektedir.

Cidarda olduğu gibi radyede de momentler 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonunda daha etkindir. Modelleme yapılırken taban, merkezden cidara doğru dairesel olarak 20' ye bölündüğünden analiz sonucunda $r = 0'$ dan $r = r'$ ye kadar radyede oluşan en büyük moment değerleri elde edilmektedir. (Çizelge 6.3) Deprem $-x$ yönünden $+x'$ e doğru geldiğinden radyede de en fazla zorlanan taraf $+x$ doğrultusudur. Çizelge sonuçları bu hat üzerinden alınmaktadır.

Çizelge 6.3 Taban maximum momentleri

	1,4G+1,4Q	1,0G+1,4Q+1,0E
r	Mmax	Mmax
m	KN-m/m	KN-m/m
0	-11,1831	11,768
0,81	12,1	-10,8871
1,62	0,6128	1,1287
2,44	0,1766	0,1137
3,25	0,1789	0,1627
4,06	0,2	0,1804
4,87	0,1779	0,1584
5,68	0,1468	0,1254
6,50	0,1155	0,0921
7,31	0,097	0,0791
8,12	0,1325	0,1396
8,93	0,4435	0,319
9,74	0,4381	0,4915
10,56	0,2801	0,104
11,37	-0,9602	-1,8237
12,18	-3,9176	-5,6507
12,99	-7,0252	-8,2325
13,8	-3,4204	0,8325
14,62	20,4002	38,2889
15,43	74,2634	109,9041
16,24	136,6704	166,0578



Şekil 6.13 Merkezden uzaklık - Moment ilişkisi

Şekil 6.13' deki orjin noktası depo tabanının merkezi olmak üzere merkezden uçlara gidildikçe moment değerlerinin arttığı görülmektedir. $r = 14,00$ metreden sonra en büyük momentler oluşmaktadır.

Tabandaki şekil değiştirmeye bağlı olarak depremin geliş yönüne bağlı olmaksızın kesitin üst kısmında çekme bölgesi her zaman merkezde iken, kesitin alt kısmında çekme bölgesi her zaman cidar altlarında yani uçlardadır. Çekme bölgeleri dışında kalan yerlerde minimum hasır donatı seçilmektedir.

6.3.1 Kesit üstü donatılarının belirlenmesi

Kesit üstünde, çekme bölgesi merkezde olduğundan seçilecek donatılar, merkeze konulmaktadır. Radye merkezinde, momentler çok küçüktür.(Şekil 6.13) Çekme kuvvetleri de çok küçük olduğundan minimum donatı yeterli olmaktadır. Pas payı 5 cm olduğundan 50 cm' lik radyede faydalı yükseklik $d = 500 - 50 = 450$ mm' dir.

$$\rho_{\min} = 0,8 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

$$\rho_{\min} = 0,8 \cdot \frac{1,27}{365,22} = 0,0028$$

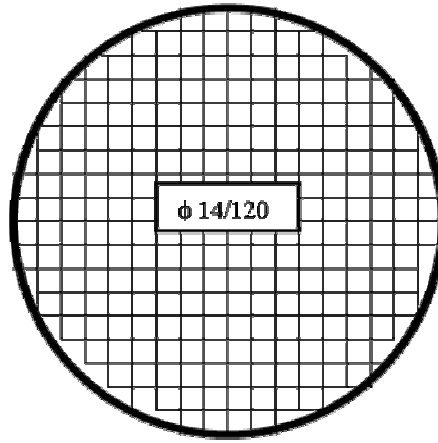
$$\rho_{\min} = \frac{A_s^{\min}}{b_w \cdot d}$$

$$0,0028 = \frac{A_s^{\min}}{1000 \cdot 450}$$

$$A_s^{\min} = 1252 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Seçilen donatı} = \phi 14/120 \quad (1283 \text{ mm}^2/\text{m})$$

Bu donatılar, kesitin üzerinde hasır şeklinde yerleştirilmektedir.



Şekil 6.14 Radye kesit üstü hasır donatıları

Donatının boyu

Kesitin üst kısmında moment değerleri, merkezden uçlara doğru gidildikçe azalacağından merkezdeki momenti karşılamaya yeten donatı uçlarda oluşan momentleri de karşılamaya yetecektir. Bu nedenle bu donatılar merkezden uçlara kadar uzatılmakta ve radyenin altına kıvrılmaktadır.

$r_{du} = 16,37$ m olduğundan kesit üstündeki donatıların boyu $L = ((16,37 - 0,05) \times 2) + 0,45 \times 2 = 33,54$ metre olmaktadır. Burada 0,05 değeri pas payı; 0,45 metre değeri hasır donatının radye içinde yerçekimi yönünde kıvrılan kısmıdır. (radye kalınlığı- pas payı). $L = 33,54$ m değeri, merkezden geçen yatay ve düşey iki donatının boyudur. Yanlardaki hasır donatıların boyları sinüs teoremi ile belirlenmektedir.

6.3.2 Kesit altı donatılarının belirlenmesi

Kesit altında merkezde minimum hasır donatılar kullanılmaktadır. Merkez hasır donatısı $\phi 14/120'$ dir. Bu donatılar da yine cidar altlarına kadar uzatılmakta ve radye içinde yerçekiminin tersi yönünde kıvrılmaktadır. Merkezden geçen hasırların boyları $L = 33,54$ metredir.

Kesitin altında çekme bölgesi uçlardadır. Merkezden uçlara doğru gidildikçe moment değerleri arttığından merkezden gelen hasır donatı uçlarda momentleri karşılamaya yetmeyecektir. Hasır donatıları cidar altlarına kadar uzadığından uçlarda aradaki fark kadar ek donatılar seçilmektedir.

Ek donatıları, tabanda oluşan en büyük moment ve en büyük çekme kuvveti değerlerine göre seçilmektedir. (Tabanda, cidardaki kuvvetten farklı olarak F22 kuvvetleri artı işaretlidir yani basınç değil çekme kuvvetidir. Tasarımda bu kuvvetlerin en büyüğü moment ifadesine eklenmektedir.) Tabanda oluşan en büyük çekme kuvveti $r=16,24$ metrede $F22=280,345$ KN/m' dir.

Tabanda oluşan en büyük moment $r=16,24$ metrede ve değeri $M_{\max} = 166,0578$ KNm/m'dir. (Bkz.Çizelge 6.3)

$$M_{\max} = 166,0578 \text{ KNm/m}$$

$$k_h = \frac{d}{100} \cdot \sqrt{\frac{b_w}{M}}$$

$$k_h = \frac{450}{100} \cdot \sqrt{\frac{1000}{166,0578}}$$

$$k_h = 11,04 \Rightarrow k_s = 0,34$$

$$A_s = \frac{10^4 \cdot k_s \cdot \rho_d \cdot M}{d} + \frac{F}{0,365}$$

$$A_s = \frac{10^4 \cdot 0,34 \cdot 1,03 \cdot 166,0578}{450} + \frac{280,345}{0,365}$$

$$A_s = 2061 \text{ mm}^2/\text{m}$$

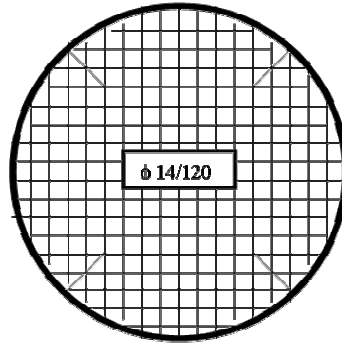
Radye altında uçlar için gereken toplam $A_s = 2060 \text{ mm}^2/\text{m}$ 'dir. Eklenecek donatı miktarı, var olan hasır donatı miktar düşülerek belirlenmektedir.

$$A_s^{\text{var}} = 1283 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s^{\text{ek}} = 2061 - 1283 = 778 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Seçilen donatı} = \phi 12/145 \text{ (780 mm}^2/\text{m)}$$

Uç donatıları, merkeze doğru yönlendirilerek yerleştirilmektedir. Bunlardan bazıları şekilde gösterilmektedir. Şekilde gösterilmeyen diğer uç donatıları da aynı şekilde merkeze doğru yönlendirilmektedir.



Şekil 6.15 Radye - Kesit altı donatıları

Uç donatılarının boyu

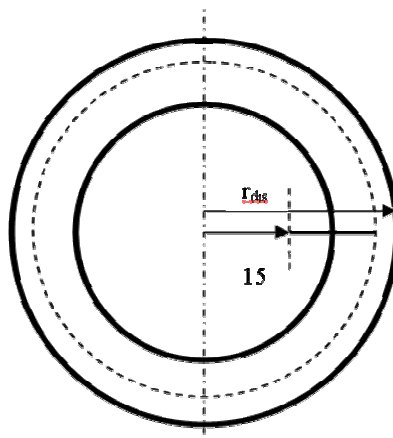
Uç donatılarının merkeze doğru gelmesi gereken mesafeyi belirlemek için merkezden uçlara doğru gelen hasır donatının en fazla karşılayabileceği moment değeri bilinmelidir. Tabandaki en büyük çekme kuvveti $F_{22} = 280,365$ KN/m idi.

$$A_s = \frac{10^4 k_s \cdot \rho_d \cdot M}{d} + \frac{F}{0,365}$$

$$k_s = 0,34 \quad \Rightarrow \quad 1283 = \frac{10^4 \cdot 0,34 \cdot 1,03 \cdot M}{450} + \frac{280,365}{0,365}$$

$$M_{\max} = 66 \text{ KNm/m}$$

$\phi 14/120'$ lik hasır donatılar en fazla 66 KNm'lik momentini karşılamaktadır. Moment grafiğine bakıldığında (Şekil 6.13) momentin, $r = 15,00$ metrede bu değere ulaştığı görülmektedir. Merkezden $r = 15,00$ metreye kadar olan momentleri hasır donatılar zaten karşılamaktadır. Dolayısı ile uç donatıları, cidar altlarından başlamakta ve $r = 15,00$ metrede kesilmektedir.



Şekil 6.16 Uç donatılarının boyu

Uç donatıları şekilde gösterilen kesikli çizgiden başlamaktadır. Kesikli çizgi, dış çeperden pas payı düşülerek oluşturulmuştur. Bu donatılar, hasır donatıların üzerine binmektedir.

$$\text{Uç donatıları için bindirme boyu} \quad l_o = 1,5 \cdot \left(0,12 \frac{365,22}{1,27} \cdot 0,012 \right) = 0,62 \text{ m}$$

Uç donatıları, $r = 15$ metrede kesildiğinden uç donatılarının yatay boyu :
 $L = (((16,37 - 0,05) - 15,00) + 0,62 = 1,94 \text{ m'}$ dir.

Bu donatılar aynı zamanda radye içinde de yukarı doğru 0,45 metre kıvrılacağından uç donatılarının toplam boyu : $L = 1,94 + 0,45 = 2,39$ metre olmaktadır.

6.3.3 Çember donatılarının belirlenmesi

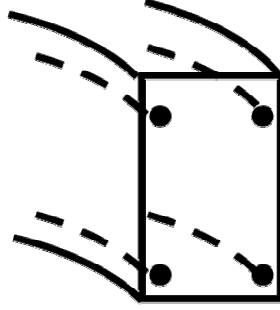
Depo tabanında çevresel çekme kuvvetlerini karşılamak için çember donatılar bulunmaktadır. Bu donatılar, cidardaki gibi F11 kuvvetlerini karşılamaktadır. Tabanda, en büyük çevresel çekme kuvveti uçlarda oluşmaktadır. 1,4G+1,4Q kombinasyonunda tabanda oluşan en büyük çevresel çekme kuvveti $F11 = 133,080 \text{ KN/m}$ iken 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonunda $F11 = 209,087 \text{ KN/m'}$ dir. Bu durumda $F11 = 209,087 \text{ KN/m}$ değeri kullanılmaktadır.

$$A_s = \frac{F}{f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{209,087}{0,365}$$

$$A_s = 573 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$A_s < A_s^{\min}$ olduğundan seçilmesi gereken donatı $\phi 14'$ lük minimum donatıdır. Çember donatılar, cidar altlarında depo içine yakın ve depo dışına yakın tarafta hem kesit altında hem kesit üstünde karşılıklı olacak şekilde yerleştirilmektedir.(Şekil 6.17)



Şekil 6.17 Radye içi çember donatılar

Donatıların boyu:

$$L = 204,14 \text{ m}$$

Bindirme sayısı : $204,14/11 = 19$ yerde bindirme yapmak gerekecektir. 14' lük donatı için bindirme boyu

$$l_o = 1,5 \left(0,12 \frac{365,22}{1,27} \cdot 0,014 \right) = 0,72 \text{ m}$$

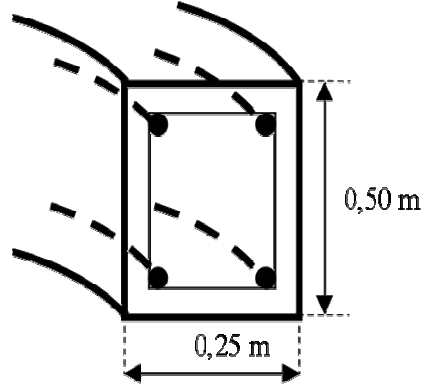
Toplam bindirme boyu = $19 \times 0,72 = 13,68$ metre

Toplam çember donatı boyu : $L = 204,14 + 13,68 = 217,82$ metre

6.4 Donatıların Birbirlerine Bağlanması

Tabanda ve cidarda donatıları birbirlerine bağlamak için 1 m^2 'de 4 adet olacak şekilde çirozlar kullanılmaktadır. Bu çirozların boyları tabanda, radye yüksekliği kadar; cidarda ise cidar kalınlığı kadar olmaktadır.

Tabandaki çirozlara ilave olarak çember donatıları birbirine bağlamak için cidar altlarında konstrüktif etriyeler kullanılmaktadır. ($\phi 10/100$)



Şekil 6.18 Çember donatıları bağlayan etriyeler

Etriye boyu : $L = ((0,50-(0,05+0,05))) \times 2 + ((0,25-(0,05+0,05))) \times 2 = 1,10 \text{ m}$

6.5 Kesme Kuvveti Kontrolü

Betonarme hesap yapılırken donatı seçiminde izin verilen aralıklarda tasarım yapılmaktadır. Güvenliği etkileyen bir diğer parametre de beton kesitin kesme kuvvetlerini karşılamasıdır. Aksi takdirde beton ezilmektedir. Yapılan analizler sonucunda tabanda yerçekimi doğrultusunda elde edilen en büyük kesme kuvveti 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonunda $V_{\max} = 111,680 \text{ KN/m}$ olarak belirlenmektedir.

Kesme kuvveti üst sınırı : $V_d \leq 0,22 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa} = 20 \cdot 10^3 \text{ KN/m}^2$$

$$V_d \leq 0,22 \times 20 \cdot 10^3 \times 1 \times 0,45$$

$$V_d \leq 1980 \text{ KN/m}$$

$V_{max} < V_d$ olduğundan 50 cm yüksekliğindeki radye kesit, kesmeyi karşılamaktadır. Kesiti artırmaya gerek yoktur.

Cidar için yatayda elde edilen en büyük kesme kuvveti değeri 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonunda $V_{max} = 160,998 \text{ KN/m}$ 'dir.

$$\begin{aligned} \text{Kesme kuvveti üst sınırı :} \quad V_d &\leq 0,22 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \\ V_d &\leq 0,22 \times 20 \cdot 10^3 \times 1 \times 0,185 \\ V_d &\leq 814 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

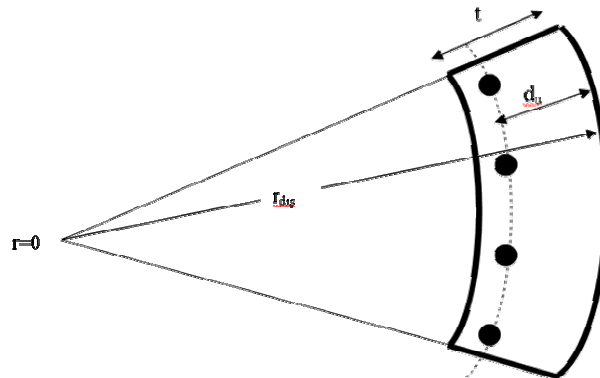
$V_{max} < V_d$ olduğundan cidar da kesmeyi karşılamaktadır.

7. METRAJ VE MALİYET HESAPLAMALARI

Betonarme hesabı yapılan, boyutları $h_{\text{cidar}} = 12,75$ m, $r = 16,24$ m ve $t = 0,25$ m olan deponun, malzeme maliyetleri için metrajları çıkarılmaktadır. Bulunan miktarlar, malzeme birim fiyatları ile çarpılarak maliyete dönüştürülmektedir.

7.1 Boyuna Donatılar

Depo cidarındaki boyuna donatıların miktarlarının belirlenebilmesi için bu donatıların yerleştikleri uzunlukların bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 7.1 Depo içine yakın boyuna donatılar

Deponun içine yakın donatılar ($r_{du} - d_u$) yarıçapına sahip çemberin çevresi boyunca yerleşmektedir. (Şekil 7.1). Donatıların sayıları yerleştikleri uzunluk, donatı aralığına bölünerek belirlenmektedir.

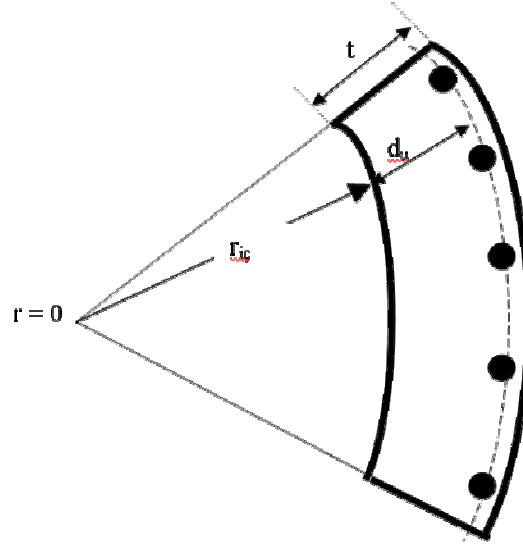
$$\text{Çevre} = 2\pi (r_{du} - d_u) = 2\pi (16,37 - 0,185) = 101,69 \text{ m}$$

$$\text{Alt kısımda : } \phi 16/100 \quad L = 2,23 \text{ m} \quad \text{Adet : } n = 101,69 / 0,100 = 1017 \text{ adet}$$

$$\text{Orta kısımda : } \phi 16/200 \quad L = 7,23 \text{ m} \quad \text{Adet : } n = 101,69 / 0,200 = 508 \text{ adet}$$

$$\text{Üst kısımda : } \phi 12/250 \quad L = 7,37 \text{ m} \quad \text{Adet : } n = 101,69 / 0,250 = 407 \text{ adet}$$

Deponun dışına yakın donatılar ($r_{iç} + d_u$) yarıçapına sahip çemberin çevresi boyunca yerleşmektedir. (Şekil 7.2)



Şekil 7.2 Depo dışına yakın boyuna donatılar

$$\text{Çevre} = 2\pi (r_{iç} + d_u) = 2\pi (16,12 + 0,185) = 102,45 \text{ m}$$

$$\text{Alt kısımda : } \phi 16/100 \quad L = 2,23 \text{ m} \quad \text{Adet : } n = 102,45 / 0,100 = 1025 \text{ adet}$$

$$\text{Orta kısımda : } \phi 16/200 \quad L = 7,23 \text{ m} \quad \text{Adet : } n = 102,45 / 0,200 = 512 \text{ adet}$$

$$\text{Üst kısımda : } \phi 12/250 \quad L = 7,37 \text{ m} \quad \text{Adet : } n = 102,45 / 0,250 = 410 \text{ adet}$$

Toplam boyuna donatı adedi:

$$\text{Alt kısım } n = 1017 + 1025 = 2042 \text{ adet}$$

$$\text{Orta kısım } n = 508 + 512 = 1020 \text{ adet}$$

$$\text{Üst kısım } n = 407 + 410 = 817 \text{ adet}$$

Toplam boyuna donatı boyu:

$$\text{Alt kısım } L = 2,23 \times 2 = 4,46 \text{ m}$$

$$\text{Orta kısım } L = 7,23 \times 2 = 14,46 \text{ m}$$

$$\text{Üst kısım } L = 7,37 \times 2 = 14,74 \text{ m}$$

Toplam boyuna donatı miktarı; donatı adedi, donatı boyu ve donatının bir metresinin ağırlığı çarpılarak elde edilmektedir.(İMO,2006)

Toplam boyuna donatı miktarı:

Alt kısım : $2042 \times 4,46 \times 1,578 = 14,37$ ton

Orta kısım : $1020 \times 14,46 \times 1,578 = 23,27$ ton

Üst kısım : $817 \times 14,74 \times 0,888 = 10,69$ ton

Çizelge 7.1 Cidar boyuna donatı metraj sonuçları

DONATI YERİ	BOYUNA DONATI (TON)
Alt bölge	14,37
Orta bölge	23,27
Üst bölge	10,69
Toplam	48,33

7.2 Enine Donatılar

Enine donatılar; alt, orta ve üst bölgelerde seçildikleri aralık boyunca aşağıdan yukarı doğru çift taraflı halkalar şeklinde dizilmektedir.

Enine donatılar

Alt kısım ϕ 20/95 L = 223,90 m

Orta kısım ϕ 20/105 L = 223,90 m

Üst kısım ϕ 16/120 L = 219,91 m

Toplam enine donatı adedi

Alt kısım $n = ((5,00 - 0,00) / 0,095) \times 2 = 105$ adet

Orta kısım $n = (8,00 - 5,00 / 0,105) \times 2 = 57$ adet

Üst kısım $n = (12,75 - 8,00 / 0,120) \times 2 = 79$ adet

Toplam enine donatı boyu

Alt kısım : $L = 223,90 \text{ m}$ (İçe yakın ve dışa yakın enine donatının toplam boyu)

Orta kısım : $L = 223,90 \text{ m}$ (İçe yakın ve dışa yakın enine donatının toplam boyu)

Üst kısım : $L = 219,91 \text{ m}$ (İçe yakın ve dışa yakın enine donatının toplam boyu)

Toplam enine donatı miktarı:

Alt kısım : $105 \times 223,90 \times 2,470 = 58,07 \text{ ton}$

Orta kısım : $57 \times 223,90 \times 2,470 = 31,52 \text{ ton}$

Üst kısım : $79 \times 219,91 \times 1,578 = 27,41 \text{ ton}$

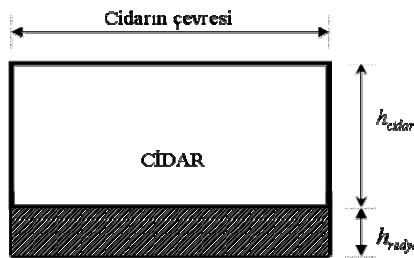
Çizelge 7.2 Cidar enine donatı metraj sonuçları

DONATI YERİ	ENİNE DONATI (TON)
Alt bölge	58,07
Orta bölge	31,52
Üst bölge	27,41
Toplam	117,00

7.3 Cidar Çirozu

Donatıları birbirlerine bağlamak için her m^2 de 4 adet olacak şekilde 8'lik çirozlar kullanılmaktadır.

Yüzey alanı hesaplanırken cidarın düzlemde açıldığı düşünülmektedir. Bu durumda cidarın yüzey alanı uzun kenarı cidar çevresi, kısa kenarı cidar yüksekliği olan dikdörtgenin alanı olmaktadır.



Şekil 7.3 Cidarın düzlemde açılmış hali

Cidarın yüzey alanı : $A_{cidar} = 2\pi r \times h_{cidar}$

Cidarın çevresi : $\Ç = 2\pi r = 2\pi(16,24) = 102,04 \text{ m}$, $h_{cidar} = 12,75 \text{ m}$

$$A_{cidar} = 102,04 \times 12,75 = 1301,00 \text{ m}^2$$

Adet : $n = 1301,00 \times 4 = 5204 \text{ adet}$

$L = 25 \text{ cm}$ (cidar yüksekliği)

Çiroz miktarı : $W = 5204 \times 0,25 \times 0,395 = 0,51 \text{ ton}$

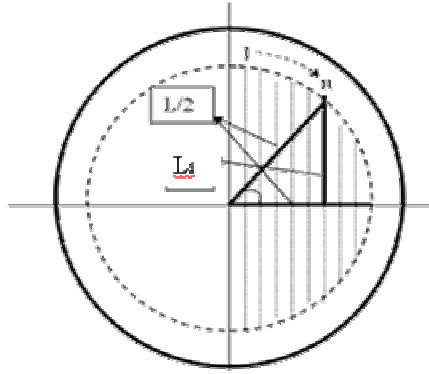
Çizelge 7.3 Toplam cidar donatısı

DONATI YERİ	MİKTAR (TON)
Boyuna donatılar	48,33
Enine donatılar	117,00
Çirozlar	0,51
Toplam	165,84

7.4 Radye - Kesit Üstü Hasır Donatıları

Kesit üstü donatılarında tam merkezden geçen hasır donatıların boyu $L = 33,54$ metredir. Ancak bu boya hasır donatıların radye içinde kıvrıldıkları boy da dahildir. Merkezden geçen hasır donatıların yatay boyu $L = 33,54 - (0,45 \times 2) = 32,64$ metredir.

Kesitin üstünde merkeze yerleştirilen hasır donatılar 120 mm aralık ile yerleştirildiğinden bir çeyrek dairede $n = (32,64/2) / 0,120 = 136$ adet donatı bulunmaktadır. x eksenini, $\theta = 0$ olmak üzere birim açısı : $90 / 136 = 0,66^\circ$ olmaktadır. i . sıradaki donatıya karşılık gelen açı $\theta_i = ((136 - i) \times 0,66)^\circ$ dir. (Şekil 7.3)



Şekil 7.4 Hasır donatıların yerleşimi

i . sıradaki donatının boyu L_i olmak kaydı ile bu değer sinüs teoremi ile belirlenmektedir.

$$\frac{L/2}{\sin 90} = \frac{L_i}{\sin \theta_i}$$

Bu formül kullanılarak $i = 0$ 'dan $i = 136$ ' ya kadar i 'nin tüm değerleri için hasırdaki donatı boyları belirlenmektedir. Radyede kesit üstünde 13,56 tonluk hasır donatı bulunmaktadır.

7.5 Radye-Kesit Altı Hasır Donatıları

Kesit altında kullanılan hasır donatılar, kesit üstündeki ile aynı olduğundan radyede kesit altında da 13,56 tonluk hasır donatı bulunmaktadır.

7.6 Radye-Kesit Altı Ek Donatıları

Ek donatıları $\phi 12/145$ olarak seçilmiştir. Bu donatıların adedi, yerleştirildiği uzunluk donatı aralığına bölünerek belirlenmektedir. Merkeze doğru yönlendirilen uç donatıları, kesildikleri noktada dış tarafa göre sıklaşmaktadır. Ortalama değer olması açısından bu donatıların yerleştikleri hat, merkezden donatının bittiği noktaya kadar olan mesafeye (15 m) donatının yatay boyunun yarısı ilave edilerek bulunan yarıçapa sahip çemberin çevresidir. Donatının yatay boyu = 1,94 m

$$\text{Çevre : } \zeta = 2\pi (15,00 + (1,94/2)) = 100,34 \text{ m}$$

$$\text{Uç donatılarının adedi : } n = 100,34 / 0,145 = 692 \text{ adet}$$

$$\text{Uç donatılarının toplam boyu } L = 2,39 \text{ m}$$

$$\text{Uç donatılarının miktarı } W = 692 \times 2,39 \times 0,888 = 1,47 \text{ ton}$$

7.7 Çember Donatılar

Çember donatılar $\phi 14$ 'lük seçilmiştir. Cidar altlarında depo içine yakın ve depo dışına yakın tarafta kesit altında ve kesit üstünde olmak üzere toplam 4 adettir.

$$n = 4 \text{ adet, } L = 217,82 \text{ m}$$

$$\text{Çember donatılarının miktarı } W = 4 \times 217,82 \times 1,208 = 1,05 \text{ ton}$$

7.8 Radye Çirozu

Donatıları birbirlerine bağlamak için radyede de her m^2 'de 4 adet olacak şekilde 8'lik çirozlar kullanılmaktadır.

$$\text{Radyenin yüzey alanı : } A_{\text{radye}} = \pi(r_{\text{du}})^2 = \pi(16,37)^2 = 841,87 \text{ m}^2$$

$$\text{Adet : } n = 841,87 \times 4 = 3367 \text{ adet}$$

$$L = 50 \text{ cm (radye yüksekliği)}$$

$$\text{Çiroz miktarı : } W = 3367 \times 0,50 \times 0,395 = 0,66 \text{ ton}$$

7.9 Etriyeler

Etriye adımı $s = 100 \text{ mm}$. Etriye boyu $L = 1,10 \text{ m}$ ' dir.

$$\text{Etriyelerin dizildiği hat : } 2\pi r = 102,04 \text{ m}$$

$$\text{Etriye sayısı : } 102,04/0,100 = 1020 \text{ adet}$$

$$\text{Toplam etriye miktarı : } 1020 \times 1,10 \times 0,617 = 0,69 \text{ ton}$$

Çizelge 7.4 Radye donatıları metraj sonuçları

DONATI YERİ	RADYE DONATISI (TON)
Kesit üstü hasır donatı	13,56
Kesit altı merkez hasır donatı	13,56
Kesit altı uç -ek donatıları	1,47
Çember Donatılar	1,05
Çirozlar	0,66
Etriyeler	0,69
Toplam	30,99

Çizelge 7.5 Toplam donatı

DONATI	MİKTAR (TON)
Cidar donatıları	165,84
Radye donatıları	30,99
Toplam	196,83

Depoya gereken toplam donatı miktarı : $W = 196,83$ tondur.

7.10 Beton Metraji

Cidardaki beton hacmi : $V_{cidar} = A_{cidar} \times t = 1301,00 \times 0,25 = 325,25 \text{ m}^3$

Radyedeki beton hacmi : $V_{radye} = A_{radye} \times t_b = 841,87 \times 0,50 = 420,94 \text{ m}^3$

Depoya gerekli toplam beton miktarı : $V = 325,25 + 420,94 = 746,19 \text{ m}^3$ olmaktadır.

7.11 Kalıp Metraji

Optimum maliyette beton dökümü için kullanılan hazır kalıp, 3 metrelik halka şeklinde düşünülmektedir. Bir tane kalıp kullanılmakta olup aynı kalıp alt bölümden söküldükten sonra üst kısımlarda da kullanılmaktadır.

Döküm için gerekli kalıp miktarı, cidar çevresi ile kalıp yüksekliği çarpılarak elde edilen sonuçtur.

$$\text{Çevre} : 2\pi(r_{du}) = 2\pi(16,37) = 102,86 \text{ m.}$$

$$\text{Kalıp miktarı } A_k = 102,86 \times 3 = 308,57 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

7.12 Metraj Sonuçları

Sert kil zemin üzerine oturan 2. derece deprem bölgesinde bulunan cidar yüksekliği $h_{cidar} = 12,75 \text{ m}$, depo yarıçapı $r = 16,24 \text{ m}$, cidar kalınlığı $t = 25 \text{ cm}$ ve taban kalınlığı $t_b = 50 \text{ cm}$ olan betonarme silindirik su deposu malzeme miktarları açısından değerlendirildiğinde çizelgedeki sonuçlar elde edilmektedir.

Çizelge 7.6 Malzeme metraj sonuçları

MALZEME	MİKTAR	BİRİM
Toplam donatı	196, 83	ton
Toplam beton	746,19	m ³
Toplam kalıp	308,57	m ²

7.13 Maliyet

Depo yapılacak bölgede, 2006 uygulama yılı itibarı ile C30 sınıf betonun birim fiyatı 96 YTL/m³, inşaat demirinin birim fiyatı 800 YTL/ton ve betonarme kalıbının birim fiyatı 10,93 YTL/m² şeklinde belirlenmektedir.

$$\text{Depoya gidecek demirin maliyeti} = 196,83 \times 800 = 157.464,00 \text{ YTL}$$

$$\text{Depoya gidecek betonun maliyeti} = 746,19 \times 96 = 71.634,24 \text{ YTL}$$

$$\text{Depoya gidecek kalıbın maliyeti} = 308,57 \times 10,93 = 3.372,67 \text{ YTL}$$

Su deposunun malzeme maliyeti

$$M = 157.464,00 + 71.634,24 + 3.372,67 = 232.470,91 \text{ YTL olmaktadır.}$$

8. BOYUTLANDIRMANIN MALİYETE ETKİSİ

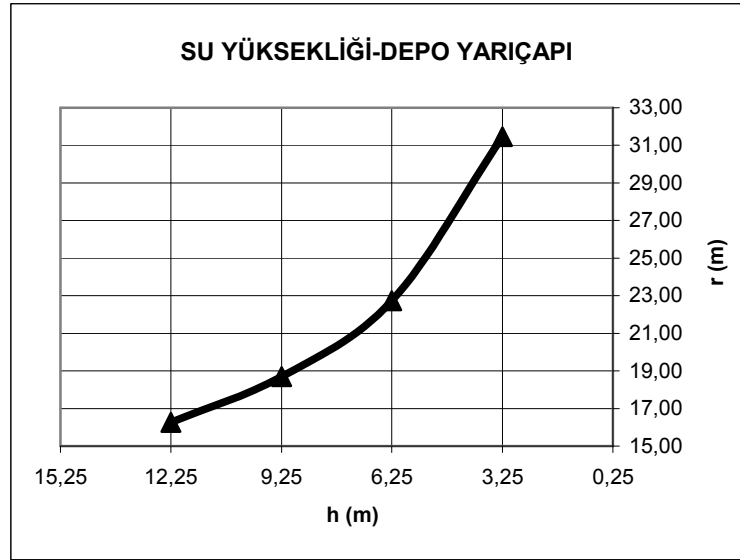
Optimum boyutlara ulaşabilmek için su hacmi sabit kalacak şekilde deponun boyutları değiştirilerek $h = 12,25$ m, $t = 0,25$ metrelik depo için yapılan dinamik analiz modelleme, tasarım, metraj ve maliyet hesaplamaları aynı şekilde depo ve su yüksekliği her defasında 3'er metre düşürülmek sureti ile 3 kez tekrarlanmaktadır.

Hedeflenen optimum oranın tüm cidar kalınlıkları için geçerli olup olmadığının kontrolü için yapılan hesaplamalar cidar kalınlıkları her defasında 5' er cm artırılarak tekrarlanmaktadır. Yani $h = 12,25 - 9,25 - 6,25 - 3,25$ metre ve $t = 0,25 - 0,30 - 0,35$ metre olmak üzere toplam 12 farklı çözüm bulunmaktadır. Aşağıda modellenen ve analizleri yapılan tüm depolara ait boyutlar görülmektedir.

Çizelge 8.1 Modellenen depo boyutları

t	h_{depo}	h	r
0,25	13,25	12,25	16,24
0,25	10,25	9,25	18,68
0,25	7,25	6,25	22,69
0,25	4,25	3,25	31,42
0,30	13,25	12,25	16,27
0,30	10,25	9,25	18,70
0,30	7,25	6,25	22,72
0,30	4,25	3,25	31,45
0,35	13,25	12,25	16,29
0,35	10,25	9,25	18,73
0,35	7,25	6,25	22,74
0,35	4,25	3,25	31,47

Modellenen depoların boyutlarına bakıldığında 10.000 m^3 lük su hacmini sağlamak için su yüksekliği azaldıkça yarıçap değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu, tüm cidar kalınlıkları için geçerlidir. (Şekil 8.1)



Şekil 8.1 Su yüksekliği-depo yarıçapı ilişkisi

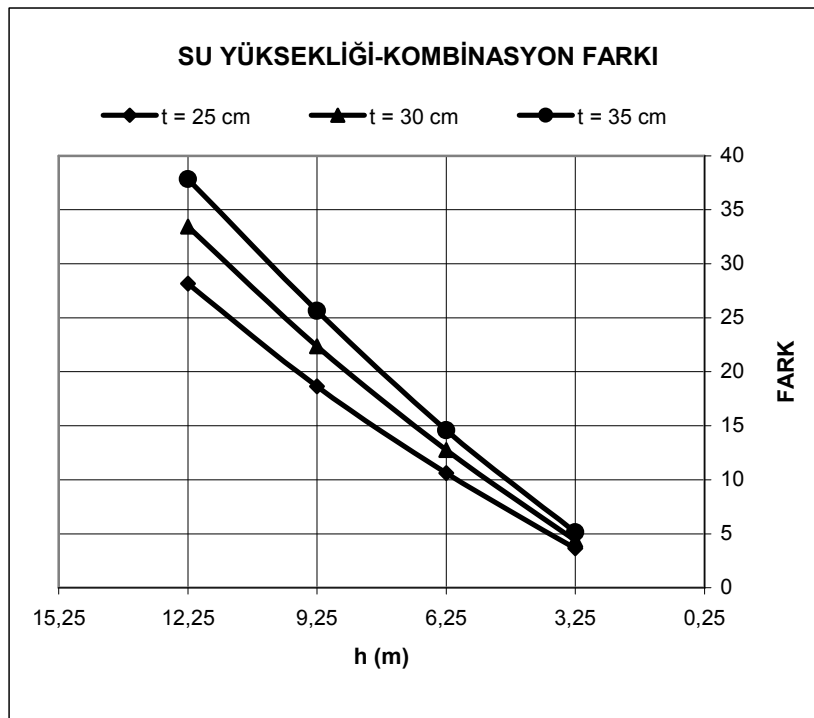
8.1 Cidar Eğilme Momentleri

Depoların analiz sonuçlarına göre boyuna donatıları etkileyen momentler, 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonunda 1,4G+1,4Q kombinasyonundan daha büyüktür. Bu durum, tüm depolar içi geçerlidir. (Çizelge 8.2) Çizelgedeki değerler, alt kısım boyuna donatılarını etkileyen cidar M22 momentleridir.

Çizelge 8.2 Kombinasyon sonuçları

t	h	1,4G+1,4Q	1,0G+1,4Q+1,0E
0,25	12,25	136,670	164,838
0,30	12,25	153,015	186,458
0,35	12,25	162,838	200,692
0,25	9,25	115,039	133,668
0,30	9,25	128,380	150,733
0,35	9,25	136,443	162,082
0,25	6,25	84,665	95,294
0,30	6,25	92,753	105,501
0,35	6,25	96,798	111,372
0,25	3,25	34,825	38,463
0,30	3,25	37,734	42,143
0,35	3,25	39,662	44,819

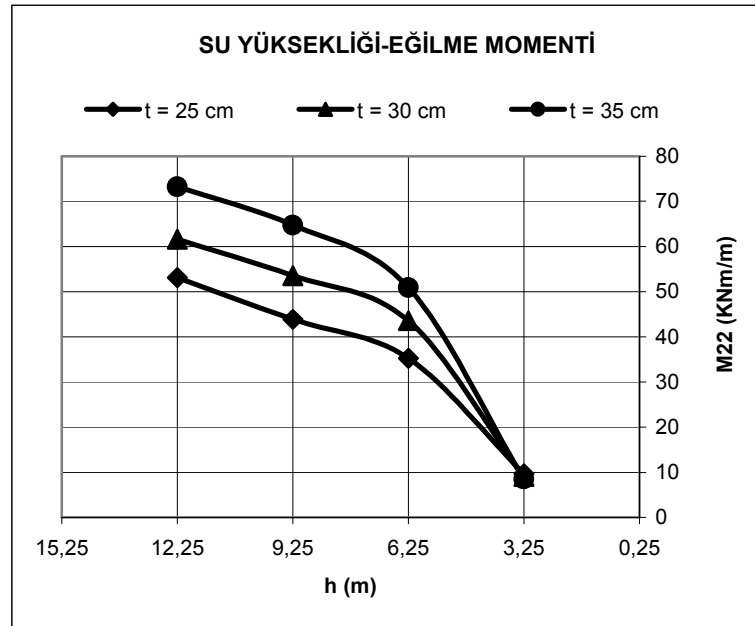
Depoların kombinasyon sonuçları birbirleri ile kıyaslandığında sabit cidar kalınlığı altında, örneğin yalnızca $t = 25$ cm'lik depolarda, su yüksekliği azaldıkça kombinasyonlar arasındaki farkın da azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni su yüksekliğinin azalması ile birlikte depo yüksekliğinin de azalması ve buna bağlı olarak düşey yüklerin etkinleşmesi, deprem kuvvetlerinin yüksek depolara göre etkinliğinin azalmasıdır. Bu durum, tüm cidar kalınlıkları için geçerlidir. (Şekil 8.2)



Şekil 8.2 Kombinasyon farkı-su yüksekliği ilişkisi

Optimizasyon sırasında cidar kalınlıkları eşit şekilde artırıldığından sabit yükseklik altında cidar kalınlıklarının artmasına bağlı olarak kombinasyon sonuçlarının da neredeyse eşit şekilde arttığı görülmektedir. (Şekil 8.2)

Şekil 8.3’ deki eğriler ise orta kısım boyuna donatılarını etkileyen cidar M22 momentlerine aittir. (1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonu) Bu grafikten de sabit yükseklik altında cidar kalınlığının artmasının momentleri artıran bir faktör olduğu görülmektedir.



Şekil 8.3 Su yüksekliği-Eğilme Momenti Eğrisi

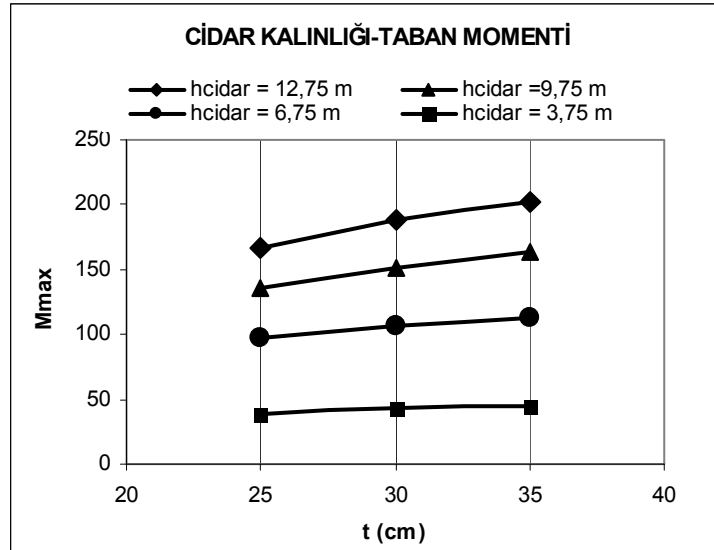
8.2 Radye Maximum Momentleri

Radye uç donatılarını etkileyen, tabanda oluşan maximum moment sonuçları incelendiğinde aşağıdaki çizelge elde edilmektedir.

Çizelge 8.3 Taban momentleri

t	h	1,4G+1,4Q	1,0G+1,4Q+1,0E
0,25	12,25	136,670	166,0578
0,25	9,25	115,039	135,056
0,25	6,25	84,665	96,476
0,25	3,25	34,825	39,035
0,30	12,25	153,015	187,715
0,30	9,25	128,38	151,984
0,30	6,25	92,753	106,554
0,30	3,25	37,734	42,652
0,35	12,25	162,838	201,814
0,35	9,25	136,443	163,256
0,35	6,25	96,798	112,327
0,35	3,25	39,662	45,286

Taban momentlerinde de 1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonunun 1,4G+1,4Q kombinasyonuna göre etkin olduğu görülmektedir. Sabit cidar kalınlığı altında depo yüksekliğinin azalması, kuvvet kolunu azaltacağından taban momentlerini azaltmaktadır. (Şekil 8.4)

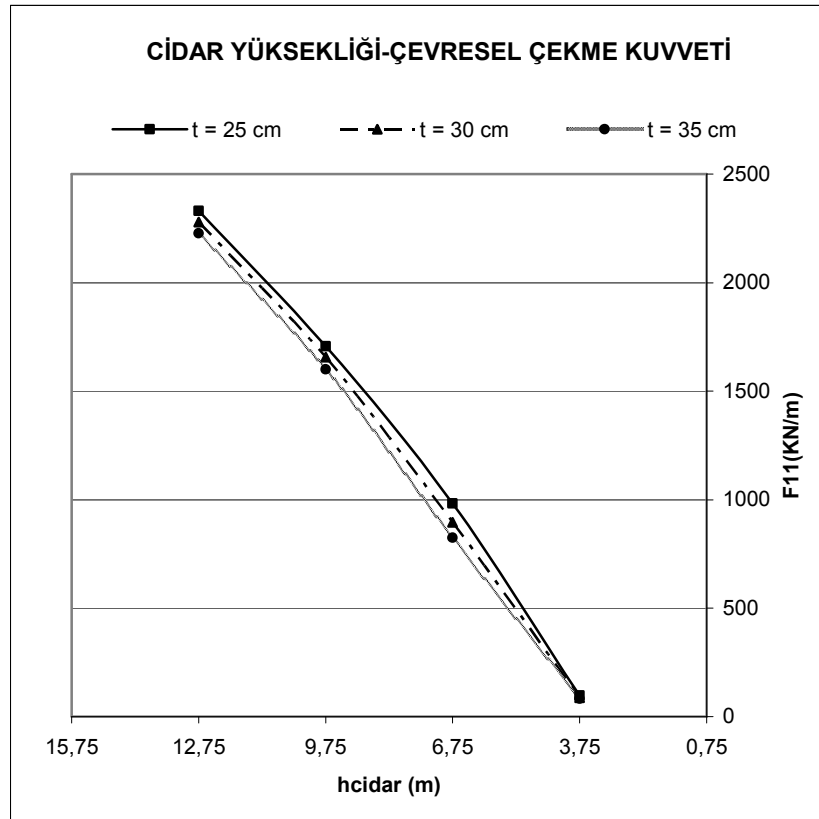


Şekil 8.4 Cidar kalınlığı-taban momenti

Sabit yükseklik altındaki bir depoda da cidar kalınlığının artması, cidarı rijitleştirerek üzerine daha fazla kuvvet gelmesine neden olmaktadır ve böylece tabana aktarılan yük arttığından taban momentleri artmaktadır.(Şekil 8.4)

8.3 Cidar Çevresel Çekme Kuvvetleri

Çevresel çekme kuvveti değerleri enine donatıların belirlenmesi için kullanılmaktadır. Cidar yüksekliği azaldıkça çevresel çekme kuvvetleri azaltmaktadır. Sabit yükseklik altında cidar kalınlığının artması, kesitin rijitleşmesi sebebi ile çekme kuvvetlerini artıran bir faktördür. (Şekil 8.5) Grafikteki değerler, alt bölge enine donatılarının belirlenmesinde kullanılan çevresel çekme kuvveti değerleridir. (1,0G+1,4Q+1,0E kombinasyonu)



Şekil 8.5 Cidar yüksekliği – Çekme kuvveti İlişkisi

Betonarme hesapları yapılan depoların betonarme hesap, metraj ve maliyet sonuçları Çizelge 8.4-Çizelge 8.14 arasında verilmektedir.

Çizelge 8.4 Orta kısım boyuna donatıları

BOYUTLAR						ORTA KISIM BOYUNA DONATISI												
						DONATI								L	METRAJ			
t	h	r	r _{iç}	r _{diş}	r/h	M22	F22	d _u	k _h	k _s	A _s	Donatı		L	n	Toplam L	w	Miktar
0,25	12,25	16,24	16,12	16,37	1,23	53,1279	9,48	185	8,03	0,34	980	16	200	7,23	1020	14,46	1,578	23,27
0,25	9,25	18,68	18,55	18,80	1,82	43,8625	6,06	185	8,83	0,34	814	14	185	7,22	1268	14,45	1,208	22,13
0,25	6,25	22,69	22,57	22,82	3,13	35,2185	7,46	185	9,86	0,34	646	12	175	7,12	1629	14,24	0,888	20,60
0,25	3,25	31,42	31,30	31,55	7,39	9,6913	0,49	185	18,79	0,35	188	12	250	4,77	1579	9,54	0,888	13,38
0,30	12,25	16,27	16,12	16,42	1,23	61,5814	36,85	235	9,47	0,34	817	14	185	7,62	1105	15,25	1,208	20,36
0,30	9,25	18,70	18,55	18,85	1,82	53,5716	27,13	235	10,15	0,34	724	14	200	7,62	1174	15,25	1,208	21,63
0,30	6,25	22,72	22,57	22,87	3,13	43,5662	8,08	235	11,26	0,34	627	12	180	7,77	1586	15,54	0,888	21,89
0,30	3,25	31,45	31,30	31,60	7,40	9,0524	4,05	235	24,70	0,36	132	12	250	4,77	1580	9,54	0,888	13,39
0,35	12,25	16,29	16,12	16,47	1,23	73,2429	62,87	285	10,53	0,34	728	14	200	8,12	1023	16,25	1,208	20,08
0,35	9,25	18,73	18,55	18,90	1,83	64,7358	45,11	285	11,20	0,35	695	12	160	8,27	1470	16,54	0,888	21,59
0,35	6,25	22,74	22,57	22,92	3,14	50,9348	19,22	285	12,63	0,35	592	12	190	7,77	1504	15,54	0,888	20,76
0,35	3,25	31,47	31,30	31,65	7,40	8,4872	4,09	285	30,94	0,36	99	12	250	4,77	1582	9,54	0,888	13,41

Çizelge 8.5 Alt kısım boyuna ek donatıları

ALT KISIM BOYUNA EK DONATISI																				
		DONATI														L		METRAJ		
t	h	r	r _{iç}	r _{dış}	r/h	M22	F22	d _u	k _h	k _s	A _{Su}	A _{sva r}	A _{sek}	donatı		L	n	Topla m L	w	Mikt ar
0,2 5	12,2 5	16,2 4	16,1 2	16,3 7	1,2 3	164,8 38	37,1 7	18 5	4,56	0,3 3	332 8	100 5	232 3	1 6	10 0	2,2 3	204 2	4,46	1,57 8	14,3 7
0,2 5	9,25	18,6 8	18,5 5	18,8 0	1,8 2	133,6 68	30,2 7	18 5	5,06	0,3 3	332 7	832	249 5	1 6	13 0	2,3 1	180 6	4,62	1,57 8	13,1 6
0,2 5	6,25	22,6 9	22,5 7	22,8 2	3,1 3	95,29 4	14,4 7	18 5	5,99	0,3 3	331 8	646	267 2	1 4	14 0	2,2 0	203 8	4,41	1,20 8	10,8 5
0,2 5	3,25	31,4 2	31,3 0	31,5 5	7,3 9	38,46 3	12,3 6	18 5	9,43	0,3 3	330 0	452	284 8	1 2	25 0	2,1 2	158 0	4,25	0,88 8	5,96
0,3 0	12,2 5	16,2 7	16,1 2	16,4 2	1,2 3	186,4 58	63,4 5	23 5	5,44	0,3 3	332 4	832	249 2	1 6	11 5	2,3 1	177 8	4,62	1,57 8	12,9 6
0,3 0	9,25	18,7 0	18,5 5	18,8 5	1,8 2	150,7 33	50,5 4	23 5	6,05	0,3 3	332 2	769	255 3	1 6	15 5	2,3 1	151 7	4,62	1,57 8	11,0 5
0,3 0	6,25	22,7 2	22,5 7	22,8 7	3,1 3	105,5 01	27,1 5	23 5	7,24	0,3 3	331 5	628	268 7	1 4	18 5	2,2 2	154 4	4,45	1,20 8	8,29
0,3 0	3,25	31,4 5	31,3 0	31,6 0	7,4 0	42,14 3	17,7 8	23 5	11,4 5	0,3 4	340 0	452	294 8	1 2	25 0	2,2 0	158 1	4,41	0,88 8	6,19
0,3 5	12,2 5	16,2 9	16,1 2	16,4 7	1,2 3	200,6 92	87,3 5	28 5	6,36	0,3 3	331 8	769	254 9	1 6	14 5	2,3 3	141 3	4,66	1,57 8	10,3 9
0,3 5	9,25	18,7 3	18,5 5	18,9 0	1,8 3	162,0 82	68,9 4	28 5	7,08	0,3 3	331 8	706	261 2	1 4	14 5	2,2 1	162 3	4,43	1,20 8	8,68
0,3 5	6,25	22,7 4	22,5 7	22,9 2	3,1 4	111,3 73	37,1 8	28 5	8,54	0,3 3	331 1	595	271 6	1 2	17 5	2,1 0	163 4	4,21	0,88 8	6,10
0,3 5	3,25	31,4 7	31,3 0	31,6 5	7,4 0	44,81 9	22,5 7	28 5	13,4 6	0,3 4	339 7	452	294 5	1 2	25 0	2,2 5	158 3	4,51	0,88 8	6,33

Çizelge 8.6 Üst kısım boyuna donatıları

BOYUTLAR						ÜST KISIM BOYUNA DONATISI							TOPLAM BOYUNA DONATI
						DONATI		METRAJ					
t	h	r	r _{iç}	r _{dış}	r/h			Donatı		L	ADET	Toplam L	
0,25	12,25	16,24	16,12	16,37	1,23	12	250	7,37	817	14,74	0,888	10,69	48,33
0,25	9,25	18,68	18,55	18,80	1,82	12	250	4,27	939	8,54	0,888	7,13	42,42
0,25	6,25	22,69	22,57	22,82	3,13	12	250	1,27	1141	2,54	0,888	2,58	34,03
0,25	3,25	31,42	31,30	31,55	7,39	-	-	-	-	-	-	-	19,34
0,30	12,25	16,27	16,12	16,42	1,23	12	250	6,87	818	13,74	0,888	9,98	43,30
0,30	9,25	18,70	18,55	18,85	1,82	12	250	3,87	940	7,74	0,888	6,47	39,15
0,30	6,25	22,72	22,57	22,87	3,13	-	-	-	-	-	-	-	30,18
0,30	3,25	31,45	31,30	31,60	7,40	-	-	-	-	-	-	-	19,58
0,35	12,25	16,29	16,12	16,47	1,23	12	250	6,37	819	12,74	0,888	9,27	39,74
0,35	9,25	18,73	18,55	18,90	1,83	12	250	3,12	941	6,24	0,888	5,22	35,49
0,35	6,25	22,74	22,57	22,92	3,14	-	-	-	-	-	-	-	26,86
0,35	3,25	31,47	31,30	31,65	7,40	-	-	-	-	-	-	-	19,74

Çizelge 8.7 Alt ve orta kısım enine donatıları

BOYUTLAR						ALT KISIM ENİNE DONATISI								ORTA KISIM ENİNE DONATISI							
						DONATI				L METRAJ				DONATI				L METRAJ			
t	h	r	r _{iç}	r _{dış}	r/h	F11	As	Donat I		L	n	w	MİKT AR	F11	As	Donat I		L	n	w	MİKT AR
0,25	12,25	16,24	16,12	16,37	1,23	2331,21	3194	20	95	223,90	105	2,470	58,07	2103,57	2882	20	105	223,90	57	2,470	31,52
0,25	9,25	18,68	18,55	18,80	1,82	1706,23	2338	20	130	257,55	76	2,470	48,35	1475,75	2022	20	155	257,55	25	2,470	15,90
0,25	6,25	22,69	22,57	22,82	3,13	983,42	1348	16	145	306,77	55	1,578	26,63	921,60	1262	16	155	306,77	12	1,578	5,80
0,25	3,25	31,42	31,30	31,55	7,39	96,94	133	12	250	417,57	8	0,888	2,97	229,76	315	12	250	417,57	8	0,888	2,96
0,30	12,25	16,27	16,12	16,42	1,23	2279,77	3123	20	100	224,21	100	2,470	55,38	2109,96	2890	20	105	224,21	57	2,470	31,56
0,30	9,25	18,70	18,55	18,85	1,82	1656,88	2270	20	135	257,87	74	2,470	47,14	1472,52	2017	20	155	257,87	25	2,470	15,92
0,30	6,25	22,72	22,57	22,87	3,13	895,08	1227	16	160	307,08	50	1,578	24,23	867,80	1189	16	165	307,08	12	1,578	5,81
0,30	3,25	31,45	31,30	31,60	7,40	87,31	120	12	250	417,89	8	0,888	2,97	209,15	287	12	250	417,89	8	0,888	2,96
0,35	12,25	16,29	16,12	16,47	1,23	2228,35	3053	20	100	224,52	100	2,470	55,46	2104,36	2883	20	105	224,52	57	2,470	31,61
0,35	9,25	18,73	18,55	18,90	1,83	1600,12	2192	20	140	258,18	71	2,470	45,28	1460,11	2000	20	155	258,18	25	2,470	15,94
0,35	6,25	22,74	22,57	22,92	3,14	824,76	1130	16	175	307,40	45	1,578	21,83	821,71	1126	16	175	307,40	11	1,578	5,33
0,35	3,25	31,47	31,30	31,65	7,40	82,94	114	12	250	418,20	8	0,888	2,98	197,16	270	12	250	418,20	8	0,888	2,97

Çizelge 8.8 Üst kısım enine donatıları

BOYUTLAR						ÜST KISIM ENİNE DONATISI								TOPLAM ENİNE DONATI
						DONATI				L		METRAJ		
t	h	r	r _{iç}	r _{dış}	r/h	F11	As	Donatı		L	n	w	MİKTAR	
0,25	12,25	16,24	16,12	16,37	1,23	1186,49	1626	16	120	219,91	79	1,578	27,41	117,00
0,25	9,25	18,68	18,55	18,80	1,82	806,19	1105	16	180	252,93	30	1,578	11,97	76,22
0,25	6,25	22,69	22,57	22,82	3,13	679,97	932	14	165	304,17	21	1,208	7,71	40,14
0,25	3,25	31,42	31,30	31,55	7,39	382,40	524	12	200	417,57	17	0,888	6,30	12,23
0,30	12,25	16,27	16,12	16,42	1,23	1204,87	1651	16	120	220,22	79	1,578	27,45	114,39
0,30	9,25	18,70	18,55	18,85	1,82	838,58	1149	16	175	253,25	31	1,578	12,38	75,44
0,30	6,25	22,72	22,57	22,87	3,13	674,77	925	14	165	304,48	21	1,208	7,72	37,76
0,30	3,25	31,45	31,30	31,60	7,40	381,54	523	12	200	417,89	17	0,888	6,30	12,23
0,35	12,25	16,29	16,12	16,47	1,23	1226,57	1681	16	115	220,53	82	1,578	28,53	115,60
0,35	9,25	18,73	18,55	18,90	1,83	864,90	1185	14	130	251,36	42	1,208	12,75	73,97
0,35	6,25	22,74	22,57	22,92	3,14	667,94	915	14	165	304,80	21	1,208	7,73	34,89
0,35	3,25	31,47	31,30	31,65	7,40	377,64	518	12	200	418,20	17	0,888	6,31	12,26

Çizelge 8.9 Cidar çirozları

BOYUTLAR						CİDAR ÇİROZU					TOPLAM CİDAR DONATISI
						DONATI	METRAJ				
t	h	r	r _{iç}	r _{dış}	r/h	DONATI	A _{cidar}	n	w	MİKTAR	
0,25	12,25	16,24	16,12	16,37	1,23	8	1301,00	5204	0,395	0,51	165,84
0,25	9,25	18,68	18,55	18,80	1,82	8	1144,36	4577	0,395	0,45	119,09
0,25	6,25	22,69	22,57	22,82	3,13	8	962,32	3849	0,395	0,38	74,55
0,25	3,25	31,42	31,30	31,55	7,39	8	740,32	2961	0,395	0,29	31,86
0,30	12,25	16,27	16,12	16,42	1,23	8	1303,40	5214	0,395	0,62	158,30
0,30	9,25	18,70	18,55	18,85	1,82	8	1145,58	4582	0,395	0,54	115,13
0,30	6,25	22,72	22,57	22,87	3,13	8	963,59	3854	0,395	0,46	68,40
0,30	3,25	31,45	31,30	31,60	7,40	8	741,02	2964	0,395	0,35	32,16
0,35	12,25	16,29	16,12	16,47	1,23	8	1305,00	5220	0,395	0,72	156,06
0,35	9,25	18,73	18,55	18,90	1,83	8	1147,42	4590	0,395	0,63	110,10
0,35	6,25	22,74	22,57	22,92	3,14	8	964,44	3858	0,395	0,53	62,28
0,35	3,25	31,47	31,30	31,65	7,40	8	741,49	2966	0,395	0,41	32,41

Çizelge 8.10 Radye kesit üstü ve kesit altı hasır donatıları

Çizelge 8.10 Radye kesit üstü ve kesit altı hasır donatıları														
BOYUTLAR						RADYE-KESİT ÜSTÜ HASIR DONATILARI								
						DONATI		L			DONATI		L	METRAJ
t	h	r	r _{iç}	r _{dış}	r/h	DONATI		L	n	MİKTAR	DONATI		L	MİKTAR
0,25	12,25	16,24	16,12	16,37	1,23	14	120	33,54	136	13,56	14	120	33,54	13,56
0,25	9,25	18,68	18,55	18,80	1,82	14	120	38,40	156	17,96	14	120	38,40	17,96
0,25	6,25	22,69	22,57	22,82	3,13	14	120	46,44	190	26,39	14	120	46,44	26,39
0,25	3,25	31,42	31,30	31,55	7,39	14	120	63,90	263	50,63	14	120	63,90	50,63
0,30	12,25	16,27	16,12	16,42	1,23	14	120	33,64	136	13,60	14	120	33,64	13,60
0,30	9,25	18,70	18,55	18,85	1,82	14	120	38,50	157	18,01	14	120	38,50	18,01
0,30	6,25	22,72	22,57	22,87	3,13	14	120	46,54	190	26,45	14	120	46,54	26,45
0,30	3,25	31,45	31,30	31,60	7,40	14	120	64,00	263	50,71	14	120	64,00	50,71
0,35	12,25	16,29	16,12	16,47	1,23	14	120	33,74	137	13,80	14	120	33,74	13,80
0,35	9,25	18,73	18,55	18,90	1,83	14	120	38,60	157	18,06	14	120	38,60	18,06
0,35	6,25	22,74	22,57	22,92	3,14	14	120	46,64	191	26,72	14	120	46,64	26,72
0,35	3,25	31,47	31,30	31,65	7,40	14	120	64,10	263	50,79	14	120	64,10	50,79

Çizelge 8.11 Radye kesit altı uç ek donatıları

BOYUTLAR						RADYE-KESİT ALTI UÇ-EK DONATILARI													
						DONATI									L		METRAJ		
t	h	r	r _{iç}	r _{dış}	r/h	M _{max}	F22	d	k _h	k _s	A _s	A _{sva r}	A _{sek}	Donatı		L	n	w	MİKT AR
0,25	12,2 5	16,2 4	16,1 2	16,3 7	1,2 3	166,05 78	280,3 45	45 0	11,0 4	0,3 4	206 1	128 3	778	1 2	14 5	2,3 9	69 2	0,88 8	1,47
0,25	9,25	18,6 8	18,5 5	18,8 0	1,8 2	135,05 6	160,4 95	45 0	12,2 4	0,3 5	152 2	128 3	239	1 2	25 0	2,8 2	45 7	0,88 8	1,15
0,25	6,25	22,6 9	22,5 7	22,8 2	3,1 3	96,476	83,66 8	45 0	14,4 9	0,3 5	100 3	128 3	-	-	-	-	-	-	-
0,25	3,25	31,4 2	31,3 0	31,5 5	7,3 9	39,035	32,66 6	45 0	22,7 8	0,3 5	403	128 3	-	-	-	-	-	-	-
0,30	12,2 5	16,2 7	16,1 2	16,4 2	1,2 3	187,71 5	277,3 62	45 0	10,3 9	0,3 4	222 1	128 3	938	1 2	12 0	2,4 4	83 7	0,88 8	1,82
0,30	9,25	18,7 0	18,5 5	18,8 5	1,8 2	151,98 4	162,1 62	45 0	11,5 4	0,3 5	166 2	128 3	379	1 2	25 0	1,8 7	47 0	0,88 8	0,79
0,30	6,25	22,7 2	22,5 7	22,8 7	3,1 3	106,55 4	89,12 6	45 0	13,7 9	0,3 5	109 8	128 3	-	-	-	-	-	-	-
0,30	3,25	31,4 5	31,3 0	31,6 0	7,4 0	42,652	33,82 0	45 0	21,7 9	0,3 5	435	128 3	-	-	-	-	-	-	-
0,35	12,2 5	16,2 9	16,1 2	16,4 7	1,2 3	201,81 4	276,1 79	45 0	10,0 2	0,3 4	232 8	128 3	104 5	1 2	10 5	2,4 9	95 8	0,88 8	2,12
0,35	9,25	18,7 3	18,5 5	18,9 0	1,8 3	163,25 6	161,6 02	45 0	11,1 4	0,3 5	175 1	128 3	468	1 2	24 0	1,9 2	49 0	0,88 8	0,84
0,35	6,25	22,7 4	22,5 7	22,9 2	3,1 4	112,32 7	93,58 8	45 0	13,4 3	0,3 5	115 7	128 3	-	-	-	-	-	-	-
0,35	3,25	31,4 7	31,3 0	31,6 5	7,4 0	45,286	34,57 3	45 0	21,1 5	0,3 5	458	128 3	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 8.12 Radye çember doantıları ve radye çirozları

BOYUTLAR						RADYE-ÇEMBER DONATILARI								RADYE ÇİROZU			
						DONATI			L				DONATI	METRAJ			
t	h	r	r _{iç}	r _{dış}	r/h	F11	As	dona tı	L	n	w	MİKTA R	DONATI	A _{radye}	n	W	MİKTA R
0,2 5	12,2 5	16,2 4	16,1 2	16,3 7	1,2 3	209,0 87	57 3	4 φ 14	217, 82	4	1,20 8	1,05	8	841,8 7	3367	0,39 5	0,66
0,2 5	9,25	18,6 8	18,5 5	18,8 0	1,8 2	140,9 76	38 6	4 φ 14	250, 52	4	1,20 8	1,21	8	1110, 36	4441	0,39 5	0,87
0,2 5	6,25	22,6 9	22,5 7	22,8 2	3,1 3	86,51 4	23 7	4 φ 14	303, 91	4	1,20 8	1,46	8	1635, 99	6543	0,39 5	1,29
0,2 5	3,25	31,4 2	31,3 0	31,5 5	7,3 9	33,65 2	92	4 φ 14	420, 82	4	1,20 8	2,03	8	3127, 15	1250 8	0,39 5	2,47
0,3 0	12,2 5	16,2 7	16,1 2	16,4 2	1,2 3	213,8 43	58 6	4 φ 14	218, 13	4	1,20 8	1,05	8	847,0 2	3388	0,39 5	0,66
0,3 0	9,25	18,7 0	18,5 5	18,8 5	1,8 2	147,8 36	40 5	4 φ 14	250, 83	4	1,20 8	1,21	8	1116, 28	4465	0,39 5	0,88
0,3 0	6,25	22,7 2	22,5 7	22,8 7	3,1 3	92,83 0	25 4	4 φ 14	304, 23	4	1,20 8	1,47	8	1643, 17	6572	0,39 5	1,29
0,3 0	3,25	31,4 5	31,3 0	31,6 0	7,4 0	35,01 9	96	4 φ 14	421, 13	4	1,20 8	2,03	8	3137, 07	1254 8	0,39 5	2,47
0,3 5	12,2 5	16,2 9	16,1 2	16,4 7	1,2 3	216,0 77	59 2	4 φ 14	218, 45	4	1,20 8	1,05	8	852,1 9	3408	0,39 5	0,67
0,3 5	9,25	18,7 3	18,5 5	18,9 0	1,8 3	148,7 11	40 7	4 φ 14	251, 15	4	1,20 8	1,21	8	1122, 21	4488	0,39 5	0,88
0,3 5	6,25	22,7 4	22,5 7	22,9 2	3,1 4	97,39 0	26 7	4 φ 14	304, 54	4	1,20 8	1,47	8	1650, 36	6601	0,39 5	1,30
0,3 5	3,25	31,4 7	31,3 0	31,6 5	7,4 0	36,21 1	99	4 φ 14	421, 45	4	1,20 8	2,03	8	3147, 00	1258 8	0,39 5	2,48

Çizelge 8.13 Etriyeler ve toplam radye donatısı

BOYUTLAR						ETRİYELER						TOPLAM RADYE DONATISI
						DONATI		L		METRAJ		
t	h	r	r _{iç}	r _{dış}	r/h	donatı	aralık	L	n	w	MİKTAR	
0,25	12,25	16,24	16,12	16,37	1,23	10	100	1,10	1020	0,617	0,69	30,99
0,25	9,25	18,68	18,55	18,80	1,82	10	100	1,10	1174	0,617	0,79	39,94
0,25	6,25	22,69	22,57	22,82	3,13	10	100	1,10	1426	0,617	0,96	56,49
0,25	3,25	31,42	31,30	31,55	7,39	10	100	1,10	1974	0,617	1,33	107,09
0,30	12,25	16,27	16,12	16,42	1,23	10	100	1,20	1022	0,617	0,75	31,48
0,30	9,25	18,70	18,55	18,85	1,82	10	100	1,20	1175	0,617	0,86	39,76
0,30	6,25	22,72	22,57	22,87	3,13	10	100	1,20	1428	0,617	1,05	56,71
0,30	3,25	31,45	31,30	31,60	7,40	10	100	1,20	1976	0,617	1,46	107,38
0,35	12,25	16,29	16,12	16,47	1,23	10	100	1,30	1024	0,617	0,82	32,26
0,35	9,25	18,73	18,55	18,90	1,83	10	100	1,30	1177	0,617	0,94	39,99
0,35	6,25	22,74	22,57	22,92	3,14	10	100	1,30	1429	0,617	1,14	57,35
0,35	3,25	31,47	31,30	31,65	7,40	10	100	1,30	1977	0,617	1,58	107,67

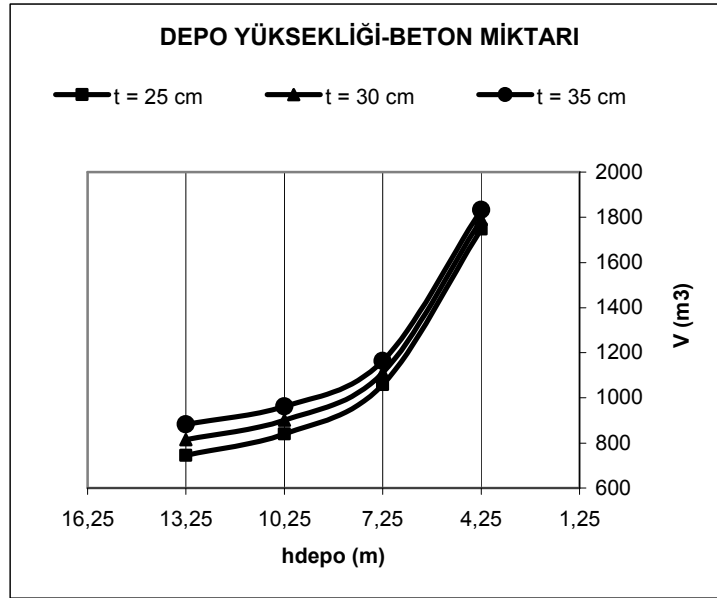
Çizelge 8.14 Boyutlandırma sonuçları

BOYUTLAR						TOPLAM DONATI	TOPLAM BETON	TOPLAM KALIP	DONATI MALİYETİ	BETON MALİYETİ	KALIP MALİYETİ	TOPLAM MALİYET
t	h	r	r _{iç}	r _{dış}	r/h							
0,25	12,25	16,24	16,12	16,37	1,23	196,83	746,19	308,57	157.464,00	71.634,24	3.372,67	232.470,91
0,25	9,25	18,68	18,55	18,80	1,82	159,03	841,28	354,38	127.224,00	80.762,88	3.873,37	211.860,25
0,25	6,25	22,69	22,57	22,82	3,13	131,04	1058,58	430,15	104.832,00	101.623,68	4.701,54	211.157,22
0,25	3,25	31,42	31,30	31,55	7,39	138,95	1748,66	594,71	111.160,00	167.871,36	6.500,18	285.531,54
0,30	12,25	16,27	16,12	16,42	1,23	189,78	814,54	309,51	151.824,00	78.195,84	3.382,94	233.402,78
0,30	9,25	18,70	18,55	18,85	1,82	154,88	901,82	355,32	123.904,00	86.574,72	3.883,65	214.362,37
0,30	6,25	22,72	22,57	22,87	3,13	125,10	1110,67	431,09	100.080,00	106.624,32	4.711,81	211.416,13
0,30	3,25	31,45	31,30	31,60	7,40	139,53	1790,85	595,65	111.624,00	171.921,60	6.510,45	290.056,05
0,35	12,25	16,29	16,12	16,47	1,23	188,32	882,85	310,46	150.656,00	84.753,60	3.393,33	238.802,93
0,35	9,25	18,73	18,55	18,90	1,83	150,08	962,71	356,26	120.064,00	92.420,16	3.893,92	216.378,08
0,35	6,25	22,74	22,57	22,92	3,14	119,63	1162,74	432,04	95.704,00	111.623,04	4.722,20	212.049,24
0,35	3,25	31,47	31,30	31,65	7,40	140,07	1833,03	596,59	112.056,00	175.970,88	6.520,73	294.547,61

8.4 Betonun Maliyete Etkisi

Çizelgeler incelendiğinde silindirik depolardaki boyutlandırmanın maliyete etkisi açıkça görülmektedir. Depo yüksekliğinin, depo yarıçapının ve bunların oranlarının değişmesi maliyeti etkilemektedir.

Maliyeti etkileyen parametrelerden biri depoya gidecek beton miktarıdır. Sabit cidar kalınlığı altında depo yüksekliğinin azaltılması, beton metrajını artıran bir faktördür. Bunun nedeni hacmin sabit kalması için, yükseklik azaldıkça çapın çok fazla artması ve dolayısı ile radye betonunun artmasıdır. Şekil 8.6'dan da görüldüğü gibi en alçak depoda en fazla beton metrajı bulunmaktadır.



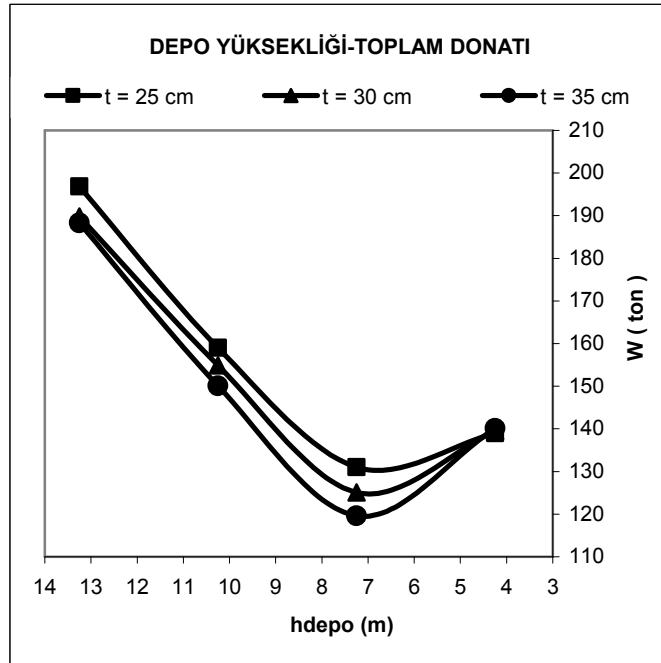
Şekil 8.6 Depo yüksekliği – Beton Miktarı

Depo yüksekliği sabit iken cidar kalınlığının artması, beton metrajını arttırmaktadır. Depo yüksekliği azaldıkça cidardaki beton miktarı azaldığından bu artış da azalmaktadır. Alçak depolarda eğrilerin birbirine yaklaşması da bunu göstermektedir.

Beton miktarının artması, kalıp miktarını da artırmaktadır. Ancak malzemenin birim fiyatının diğerlerine göre çok düşük olması kalıbın maliyete olan etkisini azaltmaktadır.

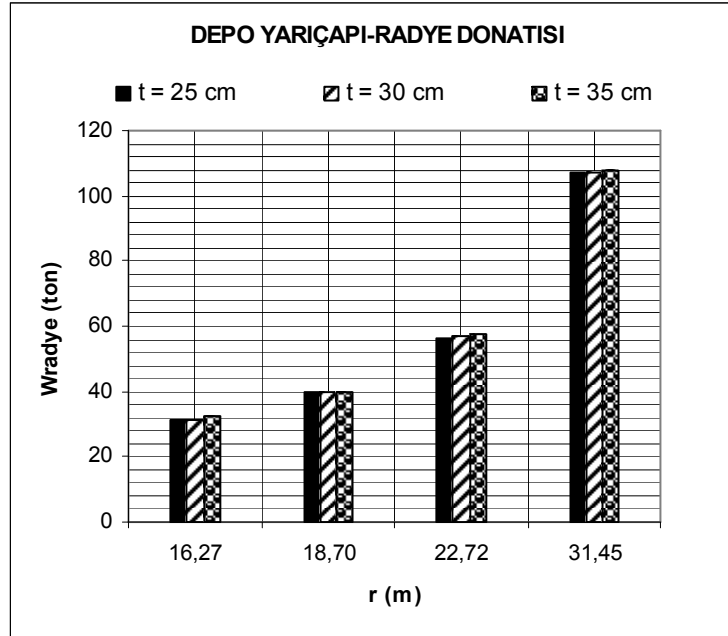
8.5 Donatının Maliyete Etkisi

Maliyete etki eden bir diğer parametre, donatı miktarıdır. Depo için gerekli donatı miktarı, sabit cidar kalınlığında depo yüksekliğinin azalmasına bağlı olarak belli bir değere kadar azalmakta ancak daha sonra artmaktadır. Bunun nedeni yüksekliğin belli bir değer altına düşmesi ile birlikte sabit su hacmi şartını sağlamak için radye çapının çok fazla büyümesi ve buna bağlı olarak cidar enine donatıları ile radye hasır donatılarının metrajlarının çok fazla artmasıdır. Grafiğe göre; depo yüksekliği yaklaşık 7,30 metrenin altına düştüğünde donatı metrajlarının artmaya başladığı gözlenmektedir. Yüksekliği 7,30 metre olan depolarda donatı miktarı açısından cidar kalınlıkları arasındaki fark en büyüktür.



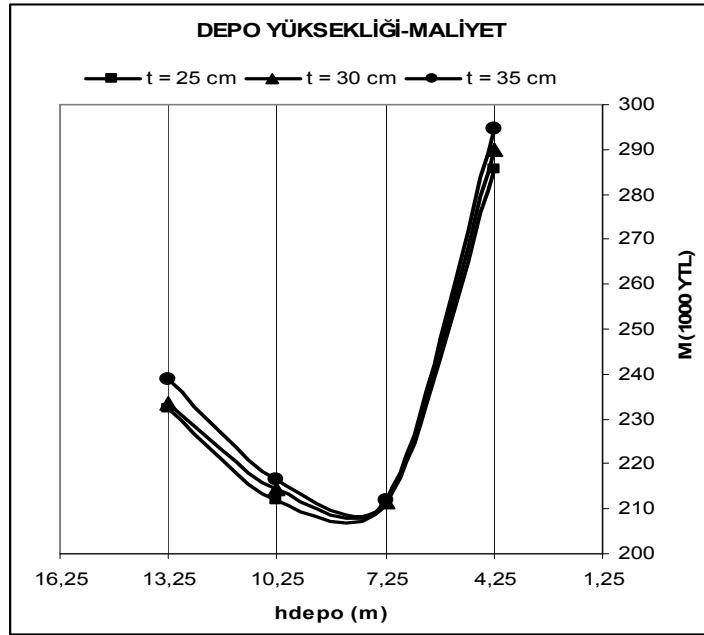
Şekil 8.7 Depo yüksekliği – Donatı Miktarı İlişkisi

Depo yarıçapının artmasına bağlı olarak radyedeki hasır donatıların boyları çok fazla arttığından radyedeki toplam donatı metrajı artmaktadır. (Şekil 8.8)



Şekil 8.8 Depo yarıçapı – Radye Donatısı

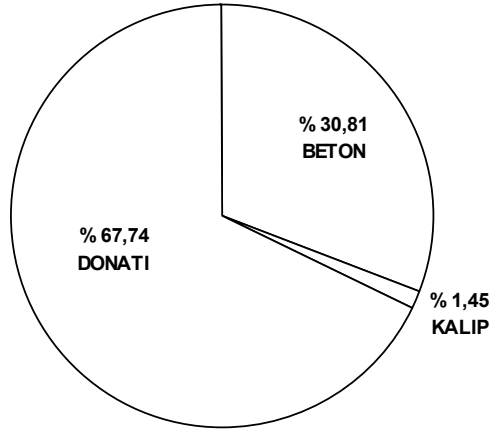
Depo yüksekliğinin maliyete olan etkisi incelendiğinde yükseklik azaldıkça maliyetin belli bir değere kadar azaldığı daha sonra artmaya başladığı görülmektedir. Maliyet açısından en uygun depo yüksekliği 7-9 metre aralığıdır. Bu aralığın tüm cidar kalınlıkları için ortak olduğu görülmektedir.(Şekil 8.9)



Şekil 8.9 Depo yüksekliği - Maliyet

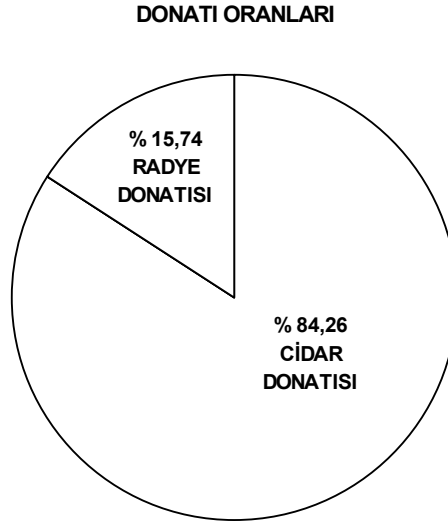
Depo yüksekliği-maliyet eğrisi, depo yüksekliği-toplam donatı eğrisi ile benzerlik göstermektedir. İki eğri karşılaştırılırsa; depo yüksekliği 7,30 metrenin altına düştüğünde donatı miktarının da maliyetin de artmaya başlamadığı görülmektedir. Buradan maliyeti etkileyen en önemli malzemenin donatı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Depodaki donatı miktarı, maliyeti % 67,74 etkilerken, beton miktarı % 30,81 ve kalıp miktarı da % 1,45 etkilemektedir.(Şekil 8.10)



Şekil 8.10 Malzemelerin maliyete etki yüzdeleri

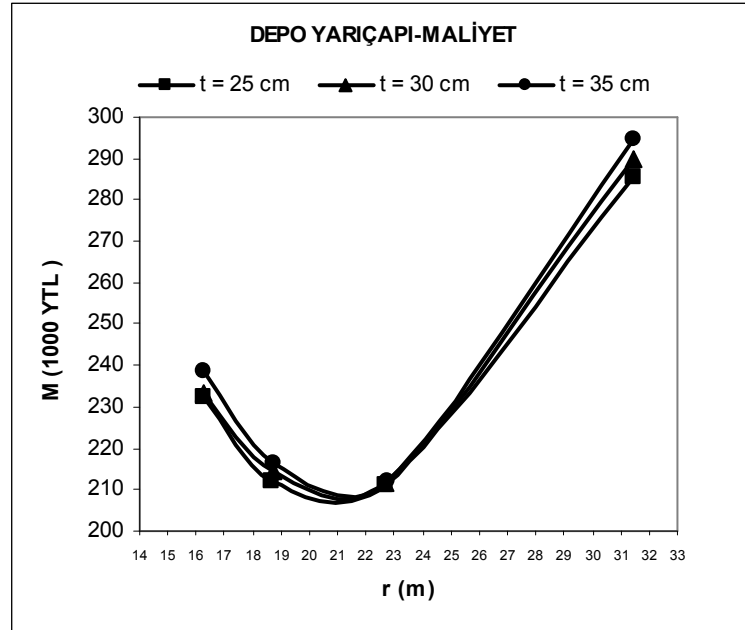
Radye donatıları, toplam donatının % 15,74' ünü oluştururken cidar donatıları % 84,26' sını oluşturmaktadır. (Şekil 8.11)



Şekil 8.11 Donatı yüzdeleri

Cidardaki enine donatılar, toplam cidar donatısının % 70'ini oluşturmaktadır. Depo çapının çok fazla artması bu donatıların çeper içindeki boylarını artırdığından metrajı büyük ölçüde etkilemektedir.

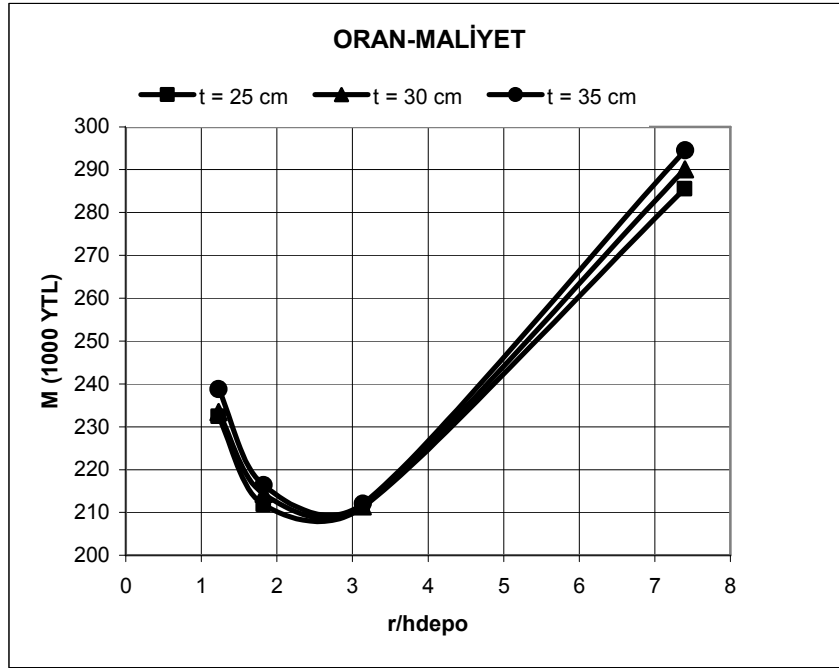
Depo yarıçapı-maliyet ilişkisi incelendiğinde en düşük maliyeti veren yarıçap aralığının 20-22 metre olduğu görülmektedir. (Şekil 8.12)



Şekil 8.12 Depo yarıçapı - Maliyet

8.6 Optimum Oran-Maliyet İlişkisi

Optimum depo yüksekliği 7-9 metre aralığı ve optimum depo yarıçapı 20-22 metre aralığı idi. Optimum aralıklarda bir depo ele alındığında en uygun maliyeti veren oran yaklaşık $r/h_{depo} = 21/8 = 2,63$ olmaktadır. r/h_{depo} - maliyet ilişkisi incelenirse optimum oranın bu değere çok yakın olduğu görülmektedir. (Şekil 8.13)



Şekil 8.13 Optimum oran - Maliyet İlişkisi

Betonarme silindirik su depolarında tüm cidar kalınlıkları için bir genelleme yapılırsa maliyet açısından optimum r/h_{depo} oranının $2 \approx 3$ ’ ye eşit olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. (Şekil 8.13) Optimum aralıkta eğrilerin çakışması cidar kalınlıkları arasındaki maliyet farkının çok az olduğu göstermektedir. r/h oranı arttıkça maliyetler arasındaki fark da artmaktadır. Burada en uygun maliyeti veren cidar kalınlığının 25 cm olduğu görülmektedir.

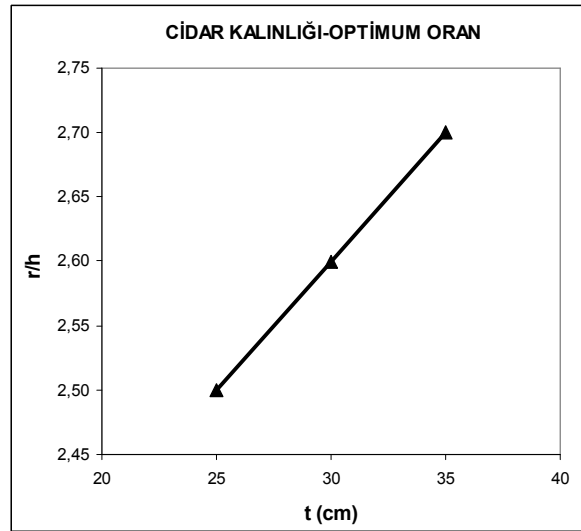
r/h_{depo} oranının artması, depo yarıçapının artması anlamına gelmektedir. Depo yarıçapının çok fazla artması da maliyeti artıracığından r/h_{depo} oranı belli bir değeri aşmamalıdır. Şekil 8.13’ e göre $r/h_{depo} > 3,00$ olduğunda maliyetler hızla artmaya başlamaktadır.

Tüm cidar kalınlıkları için ayrı ayrı optimum oran arandığında aşağıdaki çizelge elde edilmektedir.

Çizelge 8.15 Cidar kalınlığı-optimum oran

t (cm)	Optimum r/h
25	2,50
30	2,60
35	2,70

Optimum oran, $t = 25$ cm için 2,50; $t = 30$ cm için 2,60; $t = 35$ cm için 2,70'e eşittir. Cidar kalınlığının artmasına bağlı olarak optimum oran da doğrusal olarak artmaktadır. (Şekil 8.14)



Şekil 8.14 Cidar kalınlığı-optimum oran ilişkisi

Sonuç olarak 25 cm cidar kalınlığında, 20-22 metre aralığında depo yarıçapı olan, 7-9 metre aralığında depo yüksekliği olan ve $r/h_{depo} = 2,50$ olan silindirik depolar, malzeme maliyeti açısından en ekonomik çözümlerdir.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Su depolarının düşük maliyette dayanıklı yapılar olması için uygun boyutlandırmalar yapmak ve yapılabilirlik sınırları içinde tasarımlar oluşturmak önemlidir. Çalışma sonunda hedeflenen optimum oranlara ulaşılmıştır.

Çalışmada ele alınan depo, 2. derece deprem bölgesinde, sert kil zemin üzerinde oturan betonarme silindirik su depolarıdır. Optimum oranlara ulaşabilmek için oluşturulan tasarımlar oniki farklı kombinasyon için tekrarlanmıştır. Bu depoların üstleri açık, cidar kalınlıkları yükseklikleri boyunca sabittir. Cidar kalınlıkları ile radye kalınlıkları arasında herhangi bir oran bulunmamaktadır. Tasarımlar maliyete dönüştürülerek oniki farklı deponun maliyet sonuçları karşılaştırılmaktadır. 25 cm'lik cidar kalınlığı için en uygun maliyeti veren tasarımlar $r/h_{depo} = 2,50$; 30 cm'lik cidar kalınlığı için en uygun maliyeti veren tasarımlar $r/h_{depo} = 3,00$ ve 35 cm'lik cidar kalınlığı için en uygun maliyeti veren tasarımlar $r/h_{depo} = 3,50$ değerinde olduğu tasarımlardır. Maliyeti en fazla etkileyen malzeme donatı miktarıdır. Donatı miktarını ise cidardaki enine donatılar büyük ölçüde etkilemektedir. Maliyet açısından en uygun depo yüksekliği 7-9 metre aralığı iken en uygun depo yarıçapı 20-22 metre aralığıdır. Optimum değerlerin büyük ölçüde deprem bölgesi, deponun yapılış amacı, deponun üzerinde oturduğu zeminin karakteristikleri ve deponun yapıldığı malzeme gibi etkenlere bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Bu tip benzer bir çalışmada bulunmak isteyenlere verilebilecek tavsiyeler şunlardır;

- i) Çalışmada kullanılan depoların amaçları değiştirilebilir. Örneğin depo içme suyu temin etme amaçlı olduğunda depo üzerinde çatı yapmak sureti ile deprem sırasındaki çalkantıların çatıda oluşturacağı tesirler araştırılabilir.
- ii) Depoların yapıldığı malzeme değiştirilebilir. Örneğin depolar çelik olduğunda deprem durumu için ankraj gereksinimi olabilir.

- iii) Depolar içlerinde su yerine başka bir sıvının depolanacağı düşünülerek dinamik analizde oluşacak değişimin maliyeti nasıl etkileyeceği araştırılabilir.
- iv) Depolar için kabul edilen deprem bölgesi ve zemin şartları kötüleştirilerek bu durumun maliyet üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- v) Depo içerisinde oluşturulabilecek gözlerin deprem etkilerini nasıl değiştireceği araştırılabilir.
- vi) Depolar, ayaklı veya gömülü olduğunda dinamik etkilerin nasıl değiştiği araştırılabilir.
- vii) Aynı toplam hacmi verecek şekilde birden çok sayıda depo oluşturma maliyete olan etkisi araştırılabilir.
- viii) Maliyet eğrilerine, bakım masrafı, deponun sulama alanlarına uzaklığı gibi malzeme dışında başka parametreler de eklenebilir.
- ix) Depo alçak kotlu düşünülerek burada pompa kullanılmak sureti ile pompaların çalışma sisteminde maliyet açısından optimum çözüm araştırılabilir.

EK – 1 ÇALIŞMADA KULLANILAN TABLOLAR

TABLE 1 - ZONE FACTOR,Z

Seismic Zone	II	III	IV	V
Z	0.10	0.16	0.24	0.36

Table 2 – Response reduction factor, *R*

Type of tank	<i>R</i>
<u>Elevated tank</u>	
Tank supported on masonry shaft	
a) Masonry shaft reinforced with horizontal bands [*]	1.3
b) Masonry shaft reinforced with horizontal bands and vertical bars at corners and jambs of openings	1.5
Tank supported on RC shaft	
RC shaft with two curtains of reinforcement, each having horizontal and vertical reinforcement	1.8
Tank supported on RC frame[*]	
a) Frame not conforming to ductile detailing, i.e., ordinary moment resisting frame (OMRF)	1.8
b) Frame conforming to ductile detailing, i.e., special moment resisting frame (SMRF)	2.5
Tank supported on steel frame[*]	2.5
<u>Ground supported tank</u>	
Masonry tank	
a) Masonry wall reinforced with horizontal bands [*]	1.3
b) Masonry wall reinforced with horizontal bands and vertical bars at corners and jambs of openings	1.5
RC / prestressed tank	
a) Fixed or hinged/pinned base tank (Figures 6a, 6b, 6c)	2.0
b) Anchored flexible base tank (Figure 6d)	2.5
c) Unanchored contained or uncontained tank (Figures 6e, 6f)	1.5
Steel tank	
a) Unanchored base	2.0
b) Anchored base	2.5
Underground RC and steel tank[*]	4.0

TABLE 3- IMPORTANCE FACTOR

Type of liquid storage tank	<i>I</i>
Tanks used for storing drinking water, non-volatile material, low inflammable petrochemicals etc. and intended for emergency services such as fire fighting services. Tanks of post earthquake importance.	1.5
All other tanks with no risk to life and with negligible consequences to environment, society and economy.	1.0

İMO Yayınları

Çap (mm)	Ağırlık (kg/m)
6	0,222
8	0,395
10	0,617
12	0,888
14	1,208
16	1,578
18	2,000
20	2,470
22	2,984
24	3,551
26	4,168
28	4,834
30	5,549
32	6,313
34	7,127
36	7,990
38	8,903
40	9,865
45	12,485
50	15,413

Tablo 1. $t = 0,25 \text{ m}$ $h = 9,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-12,54	-135,98	115,039	-46,2	-159,62	133,668
1	515,96	-30,27	4,2883	544,27	-41,53	5,6059
2	1176,64	-6,06	-39,0752	1300,98	-6,61	-43,8625
3	1514,21	-29,96	-36,8456	1684,18	-30,08	-41,7008
4	1509,1	-56,85	-21,2498	1706,23	-53,71	-24,6512
5	1293,97	-70,25	-7,7134	1475,75	-66,77	-9,5512
6	995,87	-70,42	-0,151	1136,29	-69,11	-0,9816
7	690,01	-62,65	2,6323	806,19	-59,52	2,0916
8	406,15	-51,67	2,7718	479,11	-50,93	2,3475
9	146,99	-40,36	1,5117	185,84	-40,66	1,1258
10	-98,29	-30,14	0,0549	-99,99	-33,01	0,0591

Tablo 2. $t = 0,25 \text{ m}$ $h = 6,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-8,03	-88,56	84,665	-16,61	-84,46	95,294
1	308,78	-25,19	3,1479	333,34	-14,47	4,0662
2	702,69	-7,46	-31,1904	776,68	5,4	-34,3244
3	880,97	-20,53	-31,5577	983,42	-9,72	-35,2185
4	818,15	-36,83	-19,7752	921,6	-29,48	-22,5035
5	596,52	-44,8	-7,9711	679,97	-40,98	-9,5187
6	305,36	-43,48	-1,2129	356,99	-42,91	-1,8221
7	-2,01	-36,54	0,0361	13,29	-38,87	0,0343

Tablo 3. $t = 0,25 \text{ m}$ $h = 3,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-4,52	-39,82	34,825	-4,32	-32,61	38,463
1	87,38	-21,43	1,168	96,94	-12,36	1,4752
2	206,97	-9,66	-8,8059	229,76	-2,26	-9,6913
3	287,45	-4,84	-4,0553	317,43	-0,49	-4,636
4	343,78	1,36	-0,0375	382,4	3,49	-0,0441

Tablo 4. $t = 0,30 \text{ m}$ $h = 12,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-14,73	-199,05	153,015	-101,12	-301,36	186,4582
1	663,22	-63,45	5,1243	668,96	-147,35	8,4649
2	1473,96	-36,85	-53,473	1621,01	-95,66	-61,5814
3	1930,94	-62,12	-51,2437	2170,13	-105,88	-60,2636
4	2007,42	-91,18	-30,4835	2279,77	-122,99	-36,8771
5	1843,89	-105,98	-11,9593	2109,96	-126,85	-15,7154
6	1578,75	-106,36	-1,396	1819,54	-117,63	-3,5639
7	1295,62	-97,92	2,534	1520,92	-21,33	0,9906
8	1041,17	-21,36	2,8113	1204,87	-84,54	1,4864
9	794,37	-12,66	2,1121	925,94	-69,31	0,7033
10	564,95	-3,55	1,5866	663,04	-56,7	0,1238
11	337,99	-48,95	1,4979	411,4	-46,18	0,0684
12	144,07	15,57	0,9172	169,3	-36,89	0,0118
13	-64,09	-26,07	0,0455	-64,07	-28,24	0,0426

Tablo 5. $t = 0,30 \text{ m}$ $h = 9,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-10,72	-148,96	128,380	-47,95	-172,79	150,733
1	481,36	-50,54	6,8176	501,13	-62,97	9,5673
2	1082,4	-27,13	-44,9687	1191,46	-29,01	-50,5159
3	1422,71	-42,97	-46,8039	1592,18	-41,03	-53,5716
4	1461,03	-63,82	-30,8086	1656,88	-34,35	-35,7453
5	1290,67	-75,26	-14,2919	1472,52	-71,22	-17,5446
6	1018,25	-75,62	-3,3579	1189,25	5,57	-5,1891
7	717,76	-68,21	1,807	838,58	-64,56	0,7057
8	425,68	-56,91	2,9636	507,9	-54,72	2,2071
9	151,1	-44,61	1,7189	192,75	-44,68	1,2018
10	-112,66	-32,97	0,0562	-112,21	-35,76	0,0599

Tablo 6. $t = 0,30 \text{ m}$ $h = 6,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-6,91	-97,04	92,753	-16,33	-90,65	105,5008
1	281,04	-39,46	4,09	301,19	-27,15	5,7292
2	628,17	-21,95	-35,7899	692,97	-8,08	-39,4528
3	801,88	-29,01	-38,8095	895,08	-17,21	-43,5662
4	769,77	-39,87	-26,5105	867,8	-31,51	-30,3327
5	591,17	-44,75	-12,1453	674,77	-40,01	-14,4178
6	354,15	23,04	-2,5582	412,54	27,44	-3,4243
7	71,28	-33,54	0,0264	99	-35,27	0,0255

Tablo 7. $t = 0,30 \text{ m}$ $h = 3,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-4,74	-45,09	37,734	-4,39	-36,12	42,1434
1	78,62	-28,41	2,7039	87,31	-17,78	3,3632
2	188,17	-15,12	-8,2273	209,15	-6,68	-9,0524
3	273,25	-7,06	-3,9474	304,41	-1,63	-4,5617
4	342,17	1,75	-0,0288	381,54	4,05	-0,0337

Tablo 8. $t = 0,35 \text{ m}$ $h = 12,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-12,91	-218,9	162,838	-104,02	-310,63	200,6923
1	644,87	-87,35	5,3914	643,39	-161,14	10,0826
2	1398,62	-62,87	-61,0001	1530,31	-113,58	-69,9482
3	1851,96	-81,02	-62,6005	2067,9	-161	-73,2429
4	1963,59	-104,26	-41,2742	2228,35	-128,91	-49,8953
5	1838,82	-116,86	-19,5059	2104,36	-131,47	-25,1149
6	1596,43	-117,12	-5,1818	1840,92	-123,21	-8,6641
7	1318,45	-108,76	1,6251	1532,52	-108,33	-0,7821
8	1059,44	-28,39	3,4845	1226,57	-91,45	1,5305
9	792,1	-81,86	3,3834	938,34	-75,5	1,3501
10	557,17	-67,64	2,7049	667,88	-61,62	0,6709
11	337,65	-53,78	2,1087	411,32	-49,7	0,2752
12	129,71	-40,32	1,2015	165,53	-39,11	-0,0381
13	-71,87	-27,39	0,0459	-71,47	-29,25	0,042

Tablo 9. $t = 0,35 \text{ m}$ $h = 9,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-9,28	-163,81	136,443	-49,2	-182,38	162,0823
1	465,06	-68,94	7,063	479,67	-76,6	10,8898
2	1018,7	-46,91	-51,1886	1117,01	-45,11	-57,2554
3	1351,4	-57,01	-56,5244	1510,26	-51,52	-64,7358
4	1415,69	-72,6	-40,569	1600,12	-65,88	-47,469
5	1279,28	-81,4	-21,7313	1460,11	-74,41	-26,4886
6	1031,12	-80,98	-7,7521	1189,28	-74,43	-10,7149
7	740,01	-73,36	-0,0776	864,9	-68	-1,8843
8	444,93	-61,61	2,5106	531,27	-58,27	1,3724
9	159,76	-48,36	1,7211	205,1	-47,76	1,0573
10	-117,77	-35,31	0,0565	-113,88	-37,89	0,0597

Tablo 10. $t = 0,35 \text{ m}$ $h = 6,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-6,07	-106,77	96,798	-16,08	-96,91	111,3725
1	265,35	-52,48	3,2351	282,61	-37,18	5,4263
2	576,11	-35,36	-40,5501	634,04	-19,22	-44,546
3	740,91	-37,91	-45,441	824,76	-33,16	-50,9348
4	728,46	-44,04	-32,579	821,71	-33,77	-37,2779
5	594,23	3,81	-15,8792	667,94	-39,2	-18,8261
6	372,38	-40,56	-3,7756	435,85	-37,91	-4,8818
7	139,97	-30,54	0,0198	179,5	-31,42	0,0182

Tablo 11. $t = 0,35 \text{ m}$ $h = 3,25 \text{ m}$

	1,4G+1,4Q			1,0G+1,4Q+1,0E		
Joint	F11	F22	M22	F11	F22	M22
Text	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN/m	KN/m	KN-m/m
0	-5,09	-50,85	39,662	-4,58	-40,08	44,8187
1	74,7	-34,9	3,7822	82,94	-22,57	4,7929
2	177,39	-20,23	-7,7772	197,16	-10,61	-8,4872
3	263,58	-9,62	-3,8477	293,8	-3,4	-4,4607
4	338,3	1,43	-0,0233	377,64	4,09	-0,0274

11. KAYNAKLAR

Aydın, R., 2002, Betonarme hesap tabloları, T.C.Osmangazi Üniversitesi, 53 s.

Celep Z., ve Kumbasar N., 1998 , Betonarme yapılar, 888 s.

Das M,B., 1998, Principles of foundation engineering, 223p.

FEMA 302, 1997, NEHRP recommended provisions or seismic regulations for new buildings and other structures , Building Seismic Safety Council.

Genota A.,2004, Seismic design of liquid storage tanks, Asia conference on earthquake engineering,12 p.

Jain S.K. and Jaiswal O.R, 2005, Guidelines for seismic design of liquid storage tanks, IITK-GSDMA,106 p.

Jain S.K and Murthy, Explanatory examples on Indian seismic Code IS 1893-PART-1,2001,16 p.

Lecture notes, ESDEP WG 17- Special topics.

Muslu Y.,1998, Su temini ve çevre sağlığı,524 s.

Özer M.,2005, The formulations of shear force and overturning moment of the large-upright unanchored industrial liquid storage tanks subjected to horizontal ground exciations, pressure vessels and piping conference, 10 p.

SAP 2000 manuel,1998, Linear and nonlinear static and dynamic analysis and design of three-dimensional structures , Computers and structures inc.69 p.

Teknik Bilgi Cetvelleri, 2006, İnşaat Mühendisleri Odası.

Topçu, A., 2003 , Betonarme II ders notları, T.C.Osmangazi Üniversitesi.

TS 500, 2000, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, TSE.

Yıldırım S.,1982,Zemin incelenmesi ve temel tasarımı,150 s.

www.birimfiyat.net internet adresi