

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİMENTO SİLOSUNUN
STATİK VE DİNAMİK ANALİZLERİ**

İnş.Müh. İbrahim Hüner

F.B.E. Mekanik Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı: DOÇ.DR. ORHUN KÖKSAL
ÖĞR. GÖR. DR. ALİ KOÇAK**

İSTANBUL - 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
RESİM LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1 BÖLÜM I - SİLOLAR VE BUNKERLER	1
1.1 Giriş	1
1.2 Genel Bilgiler	2
1.3 Silo Yapısının Bölümleri	4
1.4 Stok Malzemesi	5
1.5 Silo Elemanları	8
1.6 Silo Tipleri	10
2 BÖLÜM II - BETONARME SİLOLARIN HESAP ESASLARI.....	12
2.1 Giriş ve Genel Bilgiler	12
2.2 Siloya Etkiyen Dış Kuvvetler.....	13
2.3 Siloların Betonarme İlkeleri.....	14
2.3.1 Sükunet Durumunda Malzeme Basıncının Hesabı.....	16
2.3.2 Doldurma ve Boşaltma Durumunda Malzeme Basınçları	19
2.3.3 Rüzgar ve Deprem Etkileri.....	21
2.3.4 Cidar Yüzeylerinde Farklı Sıcaklıktan Doğan Etkiler.....	21
2.4.1 Silo Gövdesinin Hesabı.....	23
2.4.2 Silo Bunker Hesabı	24
2.4.2.1 Sükunet Durumunda Malzeme Basıncının Hesabı	25
2.4.2.2 Doldurma ve Boşaltma Durumunda Malzeme Basınçları	26
2.6.1 Siloların Doldurulması.....	27
2.6.2 Silodaki Malzemenin Alınması	27
2.7 Konstrüktif Esaslar	28
2.8 Siloların İnşası	29
3 BÖLÜM III - SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	32
3.1 Deplasman Fonksiyonlarının Seçimi	32
3.2. Elemanın İntegral Matrisi	33
3.3. Elemanın Rijitlik Matrisi ve Geometrik Yük Matrisi.....	36
3.2 Dönel Silindirik Kabuklar	36

4	BÖLÜM IV - SAYISAL UYGULAMA	41
4	Dairesel Silo ve Bunker Hesabı.....	41
4.1	Yükleme Hesapları	42
4.1.1	Sükunet Durumu.....	42
4.1.2	Doldurma Durumu.....	43
4.1.3	Boşaltma Durumu	44
4.1.1	SükunetDurumu Hesabı	44
4.1.2	Doldurma Durumu Hesabı	46
4.1.3	Boşaltma Durumu Hesabı	49
4.1.4	Deprem Hesabı.....	51
4.1.5	Kar Yüğü Hesabı.....	57
4.1.6	Rüzgar Yüğü Hesabı.....	58
4.1.7	Sıcaklık Değişiminin Hesabı.....	63
4.1.8	+50.00 ve +60.00 m'de Bulunan Çelik Kirişlerin Hesabı	65
4.1.9	+50.00 ve +60.00 m'de Bulunan Betonarme Döşeme Yüğü Hesabı	66
4.1.10	+50.00 ve +60.00 m'deki Sac Döşeme Yüğü Hesabı	67
4.1.11	+50.00 m'de Bulunan Makine Yüğü Hesabı	67
4.1.12	Radye Temel Hesabı.....	68
4.2	Çimento Silosunun Boyutlandırılması.....	75
4.2.1	±0.00 - 8.00 m Kotlar Arası Silo Perdesinin Boyutlandırılması	75
4.2.2	Silo Bunker ve Kirişin Boyutlandırılması	81
4.2.3	+8.00 - 22.00 m Kotlar Arası Silo Perdesinin Boyutlandırılması	88
4.2.4	+22.00 - 50.00 m Kotlar Arası Silo Perdesinin Boyutlandırılması	91
4.2.5	+50.00 - 60.00 m Kotlar Arası Silo Perdesinin Boyutlandırılması	93
4.2.6	Radye Temelin Boyutlandırılması	95
5	İrdeleme ve Sonuç	97
	KAYNAKLAR.....	98
	ÖZGEÇMİŞ.....	100

SİMGE LİSTESİ

A.....	: Alan
A_c	: Brüt beton alanı
A_s	: Çekme donatısı alanı
A_s'	: Basınç donatısı alanı
A_{sl}	: Burulma momenti boyuna donatısı toplam alanı
b.....	: Perde enkesit genişliği
d.....	: Kirişte faydalı yükseklik
d'	: Beton örtüsü, pas payı
dan.....	: Dekanewton=1kgf
E.....	: Elastiklik modülü; deprem etkisi
E_c	: Betonun elastiklik modülü (28 günlük)
E_s	: Donatının elastiklik modülü
e.....	: Dış merkezlik
F.....	: Kuvvet
F_k	: Karakteristik yük
F_d	: Hesap yükü
F_c	: Beton basınç kuvveti
F_s	: Donatının çekme kuvveti
F_{11}	: 1 eksenel yönündeki kuvvet
F_{22}	: 2 eksenel yönündeki kuvvet
f_{cd}	: Beton tasarım basınç dayanımı
f'_{cd}	: $0.85 \times f_{cd}$
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ctd}	: Beton tasarım çekme dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{yd}	: Donatı tasarım akma gerilmesi
f_{yk}	: Donatı karakteristik akma gerilmesi
G.....	: Özağırlık
g.....	: Birim boy veya alana etkiyen özağırlık; yerçekimi ivmesi
H.....	: Yapı toplam yüksekliği
h.....	: Kesit yüksekliği
I.....	: Atalet momenti; Bina önem katsayısı
I_c	: Brüt beton kesitin atalet momenti
l_0	: Donatı çubuğun ek bindirme boyu
l_b	: Donatı çubuğu kenetlenme boyu
M_{cr}	: Kesitte çatlama oluşturan eğilme momenti
M_d	: Hesap eğilme momenti
M_r	: Kesitin eğilme momenti taşıma gücü
M_{11}	: 1 eksenel yönündeki eğilme momenti
M_{22}	: 2 eksenel yönündeki eğilme momenti
M_{12}	: 1-2 eksenel yönündeki burulma momenti
N.....	: Eksenel kuvvet
N_d	: Hesap eksenel kuvvet
N_k	: Burkulma yükü
N_r	: Kesitin eksenel kuvvet taşıma gücü
n.....	: Hareketli yük azaltma katsayısı
P.....	: Toplam yük; silo basıncı
Q.....	: Hareketli yük
q.....	: Birim boy veya alana etkiyen hareketli yük
R.....	: Dayanım; Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
r	: Yarıçap
S	: Spektrum katsayısı
s	: Yatay donatı aralığı
T	: Burulma momenti; binanın doğal titreşim periyodu
$T_A; T_B$: Spektrum karakteristik periyodu
T_{cr}	: Çatlamayı oluşturan burulma momenti
T_d	: Tasarım burulma momenti
T_f	: Kesitin burulma taşıma gücü
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
t	: Kalınlık
u	: Çevre uzunluğu
V	: Kesme kuvveti
V_c	: Beton kesitin kesme kuvveti dayanımına katsayısı
V_{cr}	: Eğik çatlamayı oluşturan kesme kuvveti
V_d	: Tasarım kesme kuvveti
V_{pd}	: Tasarım zımbalama kuvveti
V_{pr}	: Zımbalama taşıma gücü
V_t	: Deprem taban kesme kuvveti
V_{12}	: 1-2 yönündeki kesme kuvveti
V_{23}	: 2-3 yönündeki kesme kuvveti
W	: Rüzgar yükü; toplam bina ağırlığı
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ_t	: Toplam donatı oranı
ρ_{mt}	: Mekanik toplam donatı oranı
ρ^{\prime}	: Basınç donatısı oranı
ϕ	: Donatı çapı
σ	: Normal gerilme
σ_c	: Beton gerilmesi
σ_s	: Çekme donatısında gerilme
σ^{\prime}_s	: Basınç donatısında gerilme
σ_v	: Zemin gerilmesi
τ	: Kayma gerilmesi

KISALTIMA LİSTESİ

TS500	Türk Standartları 500
TS498	Türk Standartları 498
TS6989	Türk Standartları 6989
DIN1055	Deustland Institute Norm1055
ACI 313-77	America Concrete Institute313-77
AISC-ASD89	America Institute Steel Complement89
ACI 318-99	America Concrete Institute318-99

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Bunker planı ve kesiti	3
Şekil 1.2	Silo kesiti ve bölümleri	4
Şekil 1.3	Silo elemanları	8
Şekil 1.4	Çeşitli silo tipleri	10
Şekil 2.1	Siloya depolanan malzemeden dolayı etkiyen yükler	15
Şekil 2.2	dz kalınlığında bir elemana etki eden dış kuvvetlerin düşey dengesi	17
Şekil 2.3	Dış kuvvetlere ait diyagramlar	19
Şekil 2.4	Cidar yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı	23
Şekil 2.5	Silo iç basınçları	24
Şekil 2.6	Bunkere gelen yük dağılımları	25
Şekil 2.7	Bunkere etkiyen Pd düşey ve Py yanal basınçları	26
Şekil 2.8	Silo perdesi donatı kesit Planı	28
Şekil 3.1	Kabuk elemanına etkiyen kesit tesirleri ve yönleri	37
Şekil 3.2	Kabuk elemanına etkiyen momentler	38
Şekil 3.3	Perde elemanında oluşan gerilmeler	39
Şekil 3.4	Perde elemanında meydana gelen momentler	40
Şekil 4.1	Çimento silosu (3D)	41
Şekil 4.2	Çimento silosu kesit ve plan görünüşü	42
Şekil 4.3	Çimento silosu 60.m kotu döşeme katı planı	58
Şekil 4.4	Silo çeperine uygulanan rüzgar yükleri	63
Şekil 4.5	+50.00.m kotu döşeme katı çelik kiriş planı	65
Şekil 4.6	+60.00.m kotu döşeme katı çelik kiriş planı	66
Şekil 4.7	YK800 ve YK700 kesitleri	66
Şekil 4.8	Sonlu elemanlar ile ayrılmış radye temel planı	68
Şekil 4.9	±0.00-8.00m arası silo perdesi donatı kesit planı	78
Şekil 4.10	Silo perdesi düşey donatı planı	79
Şekil 4.11	Silo perdesi yatay dış donatı planı	79
Şekil 4.12	Silo perdesi yatay iç donatı planı	80
Şekil 4.13	±0.00-8.00m kotu arası silo perde planı	80
Şekil 4.14	Silo bunker ve kiriş planı	85
Şekil 4.15	Silo bunker ve kiriş donatı planı	85
Şekil 4.16	Silo bunker ve kiriş birleşim detayı	86
Şekil 4.17	Silo bunker ve kiriş düğüm noktası detayı	86
Şekil 4.18	1m genişliğindeki bunker ve kirişe gelen malzeme yükü	87
Şekil 4.19	1m genişliğindeki bunker ve kirişin moment diyagramı	87
Şekil 4.20	+8.00-22.00m kotu arası silo perdesi donatı kesiti	90
Şekil 4.21	+8.00-50.00m kotu arası silo perdesi planı	90
Şekil 4.22	+22.00-50.00m kotu arası silo perdesi donatı kesiti	92
Şekil 4.23	+50.00-60.00m kotu arası silo perdesi donatı kesiti	94

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	Bazı stok malzemelerin birim katsayıları	5
Çizelge 2.1	Malzeme basınçlarının katsayıları.....	26
Çizelge 4.1	Sükunet durumundaki Pd değerleri	45
Çizelge 4.2	Sukunet durumundaki Py değerleri	45
Çizelge 4.3	Sukunet durumundaki Ps değerleri.....	46
Çizelge 4.4	Doldurma durumundaki Pd değerleri	47
Çizelge 4.5	Doldurma durumundaki Py değerleri	47
Çizelge 4.6	Doldurma durumundaki Ps değerleri.....	48
Çizelge 4.7	Boşaltma durumundaki Pd değerleri	49
Çizelge 4.8	Boşaltma durumundaki Py değerleri	50
Çizelge 4.9	Boşaltma durumundaki Ps değerleri.....	50
Çizelge 4.10	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	51
Çizelge 4.11	Özel tasarım ivme spektrumları	56
Çizelge 4.12	Rüzgar yükü tablosu	58
Çizelge 4.13	Yük kombinezomları	69
Çizelge 4.14	Çimento silosuna etkiyen yükler.....	73
Çizelge 4.15	Çimento silosunun özellikleri	74
Çizelge 4.16	Mod katılım oranları.....	74
Çizelge 4.17	$\pm 0.00-8.00$ m kotlar arası silo perde elemanına gelen kuvvetler.....	75
Çizelge 4.18	Silo giriş elemanına gelen kuvvetler	81
Çizelge 4.19	Silo giriş elemanına gelen kuvvetlerin düzeltilmesi.....	81
Çizelge 4.20	Bunker elemanına gelen kuvvetler.....	83
Çizelge 4.21	Kiriş elemanına gelen momentler	88
Çizelge 4.22	$+8.00-22.00$ m kotlar arası silo perde elemanına gelen kuvvetler.....	88
Çizelge 4.23	$+22.00-50.00$ m kotlar arası silo perde elemanına gelen kuvvetler	91
Çizelge 4.24	$+50.00-60.00$ m kotlar arası silo perdesinin elemanına gelen kuvvetler.....	93

RESİM LİSTESİ

Resim 1.1	Batıçim çimento silosu -1994	2
Resim 1.2	Batıçavdır Çimento Siloları -1996	5
Resim 1.3	Afşin-Elbistan kül siloları - 2002.....	7
Resim 1.4	Mersin nervürlü klinker silosu - 2000	11
Resim 1.5	Çimentaş klinker silo inşaaı - 1994	30
Resim 1.6	Batısöke çimento silo inşaaı -1996	31
Resim 1.7	Egegaz LNG tankları inşaaı - 2000.....	31

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlamamın sebebi uygulamasında çalıştığım bu tip yapıların statik ve dinamik analizini öğrenmekti. Çünkü özel yapılar olduğu için Türkçe kaynak çok azdı bu sebeple tezimi Prof.Dr. Nahit KUMBASAR'ın önerileri ile yaptım.

Hem yararlandığım kaynaklar ile hem de engin bilgisiyle tezime ışık tutan ve bana katlanan değerli hocam emekli Prof.Dr. Nahit KUMBASAR'a, özellikle Sap2000 programı hakkında bilgilerinden yaralandığım ve kıymetli zamanını bana ayıran İ.T.Ü. araştırma görevlisi Dr. öğrencisi İnş.Yük.Müh. Cüneyt VATANSEVER'e, Y.T.Ü. öğretim üyesi Prof.Dr. Turgut KOCATÜRK'e , tez danışmanlarım Y.T.Ü. öğretim üyesi Doç.Dr. Orhun KÖKSAL ve Y.T.Ü. öğretim üyesi Dr.Ali KOÇAK'a teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

ÖZET

Silolar ve bunkerler ile ilgili Türkçe kaynak yok denecek kadar azdır. İlgili Türk Standardı TS 6989 1989'da yayımlanmıştır. 1992 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesinde ders notlarının genişletilmesi biçiminde çıkan Betonarme Silo ve Bunkerler kitabından yararlanılmıştır. Bu tezde ayrıca Söke'de 1996 yılında inşa edilmiş Söke çimento silosunun modal analiz yöntemine göre SAP2000 programında hesabı yapılarak boyutlandırılmıştır. Hesaplarda silonun kendi ve malzeme ağırlığı her elverişsiz durum için dikkate alınmış, ayrıca sıcaklık farklarından doğan gerilmelerde dikkate alınmıştır. Sonuçta siloya ait gerilmeler ve momentler hesaplanmış, bu gerilme ve momentlere karşı gelen donatılar bulunmuştur.

ABSTRACT

The Turkish resources about silos and bunkers are very few. The concerning Turkish Standard TS6989 was published in 1989. It was utilized by the book “Betonarme Silo ve Bunkerler” which turned out in the way of broadening school subjects at I.T.U. Civil Faculty in 1992. Besides, this thesis has been measured by being calculated via Sap2000 program according to the analysis method of Söke Cement Silo constructed in 1996. In the estimations were taken into account the silos own and materials weight and also the tension resulted from heat difference. As a consequence, the tension and moments belonging to silos were calculated and the steels were found in the results of the tensions and moments.

BÖLÜM I

1. SİLOLAR VE BUNKERLER

1.1 Giriş

Günümüzde çeşitli malzemelerin üretilmesi ve tüketilmesinin gereği olarak büyük hacimli depolama tesislerine ihtiyaç vardır. Bu depolama tesislerinde malzemeler stoklanır ve ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılır. Bu tesislerde yükleme ve boşaltmada kolaylık sağlanması ve bazı daneli malzemelerde gerekli havalandırmanın malzemeyi aktararak yapılabilmesi için inşa edilen özel tipte depolara **silo** denir.

Silolar çeşitli malzemelerin depo edilmesi amacı ile kullanılırlar. Daneli malzeme, çeşitli tahıl ürünleri, değişik dallarda kullanılan maden cevheri, kömür, kum gibi ham maddeler ve çimento, küspe, kül, klinker, farin vb. endüstri ürün ve artıkları olabilir.

Daha az bakım masrafları gerektirmesi göçme veya burkulmaya karşı emniyetli oluşu ve depolanan malzeme açısından çeşitli avantajlar sunması sebebiyle orta ve büyük hacimli silolar betonarme olarak inşa edilirler.

Silolar yerinin seçiminde genellikle stok edilecek malzemenin bulunduğu (elde edildiği) bölgeler veya stok edilecek malzemenin depolanabileceği ve istendiği zaman kullanım bölgelerine kolaylıkla gönderilebileceği bölgeler (tren istasyonları, limanlara yakın bölgeler) tercih edilmelidir.

Enkesit alanı yanında silo yüksekliğinin artması ile birlikte büyük olması durumunda, derinlikle orantılı malzeme basıncını veren hesap biçimi yine aşırı büyük basınçlar vermektedir. Sayısal uygulamada görülebileceği gibi malzemenin çeperle olan sürtünmesini gözönüne alarak gerçeğe yakın değerler elde edilir. Siloda depolanan malzemenin denge durumunda (sükunet) olması halini kapsayan bu hesap biçimi, doldurma ve boşaltma halinde görülen aşırı basınçları da verecek biçimde düzeltilir.



Resim1.1: Batıçim çimento silosu(1994)

1.2 Genel Bilgiler

Silolarının Yüksekliklerine Göre Sınıflandırılması:

Çeper basınçları hesap esaslarında görülebileceği gibi, malzeme ile çeper arasındaki çeper sürtünme kuvveti nedeni ile, silo derinliği ile orantılı olmamakla beraber, derinliğin üstel fonksiyonu ile sabit bir değere yaklaşmaktadır. Buna karşılık silo yüksekliğinin az olması halinde, çeper sürtünmesinden ileri gelen bu etki ihmal edilebileceğinden malzeme basınçları derinlikle orantılı alınabilir.

Malzeme basınçlarının derinlikle orantılı alınabildiği silolara bunkerler, çeper sürtünmesinin hesaba katılması gereken yüksek silolara da silolar denir.

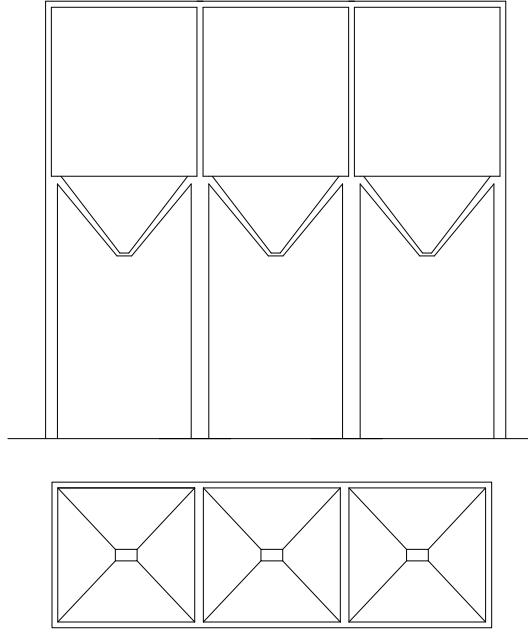
Silolar ile bunkerleri ayıran sınır malzemenin içsel sürtünme açısına, silo çeperi ile malzeme arasındaki sürtünme katsayına bağlıdır. Buna göre;

$$H > 1.5 \times \sqrt{A} \text{ için derin silo} \quad (1.1)$$

$$H < 1.5 \times \sqrt{A} \text{ için bunker hesabı yapılabilir.} \quad (1.2)$$

Silolanan malzemenin silodan boşaltılması için silo taban düzleminden itibaren meydana getirilmiş bulunan kesik koni veya kesik pramit vb. şeklindeki boşaltılma ağızlarına **bunker** denir. Ayrıca sadece bunkerlerde inşaa edilir. Örneğin kömür cevheri, kalker ve kil stokhollerinde olduğu gibi. Yükseklikleri genişliklerine göre çok fazla olmayan (yüksekliğin genişliğe oranı ≤ 1.5) düşey duvarlı bir kısım ve huniden teşkil edildiği gibi sadece kolonlar üzerinde duran bir kolondan ibaret olabilir. Bunkerlerde genellikle maden cevheri, kömür, kireçtaşı, klinker, kum, kil, çimento ve taş depolanır.

Bunkerler planda dikdörtgen, kare veyahut daire en kesitli yapılabilir. Dikdörtgen hunili bunkerlerde genellikle bir veya daha fazla malzeme boşaltma ağızı olmasına karşılık daire en kesitli hunilerde bir dairesel boşaltma ağızı yapılır.

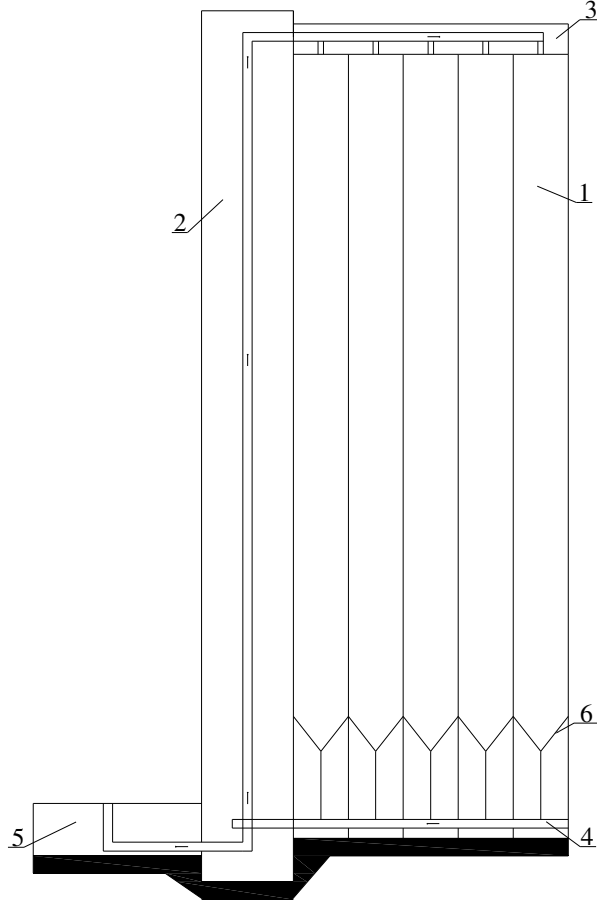


Şekil 1.1 :Bunker planı ve kesiti
(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)

1.3 Silo Yapısının Bölümleri

Şekil 1.2’de tipik bir silo kesiti ve bölümleri gösterilmiştir.

1. Depolanacak malzemenin ilk gelişte döküldüğü (5) boşluğu, depolanan malzemenin belirli zaman aralıkları ile havalandırılması gerekirse silo hücrelerinden gelen malzemenin geçişi olarak yığılmasını sağlar.



Şekil 1.2: Silo kesiti ve bölümleri

(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)

2. Depo malzemesi, depolanacağı silo hücrelerine iletilmek üzere silo üst seviyesine çıkartılır.

Bu amaçla mekanik veyahut pnömatik olabilen bir elavator kullanılır.(2)

3. Elavator ile yükseltelen malzeme yatay doğrultuda istenilen noktaya dökülmek üzere (3) yatay bandına dökülür. Bu bandın diğer ucu malzemenin depolanacağı silo hücrelerinin üstündedir.

4. Malzemenin sürekli olarak depolandığı silo hücreleri (1)

5. Kapak açıldığında boşalmayı sağlayan (6) bunkerleri

6. Altta boşaltılan malzemenin taşıma aracına veya havalandırma aracılığıyla boşaltılıyorsa (5) boşluğuna gitmesini sağlayan (4) iletici bandı



Resim 1.2: Batıçavdır çimento siloları -1998

1.4 Stok Malzemesi

Silolarında her türlü kohezyonsuz malzeme depolanmaktadır. Siloların projelendirilmesi, hesabı ve teşkili için siloların doldurulma, depolama ve boşaltma durumlarındaki davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Bundan da stok malzemesinin silo cidarlarına ve diğer silo elemanlarına olan tüm fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkisi anlaşılmaktadır.

Çizelge 1.1: Bazı stok malzemelerin birim katsayıları
(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)

Malzeme Türü	Birim Hacim Ağırlığı (γ) kg/m ³	Φ İçsel Sürtünme Açısı	μ Cidar Sürtünme Katsayısı
Portlant Çimento	1470	28	0.40
Klinker	1470 - 1570	33	0.40 - 0.50
Kok Kömürü	600	40	0.80
Çakıl	1600 - 2000	25 - 35	0.40 - 0.45
Kum	1600 - 2000	25 - 40	0.40 - 0.70
Buğday, mısır, pirinç	740 - 990	23 - 37	0.29 - 0.47

i)Stok malzemesi Türleri

Silolarda depolanan malzemeler aşağıdaki gibi gruplandırılır.

1. İşlenmemiş tarımsal ürünler

- a) Tahıllar : Buğday, arpa, mısır
- b) Bakliyat : Fasulye, mercimek, nohut
- c) Yağlı maddeler : Ayçiçeği, susam
- d) Kahve

2. İşlenmiş tarımsal ürünler

- a) Tahıl unları
- b) Yemler
- c) Şeker

3. Anorganik işlenmemiş hammaddeler

- a) Kum, kil, çakıl
- b) Maden cevheri, kömür, kok, kalker

4. Endüstri ürünleri

- a) Çimento, klinker, farin
- b) Kül, kömür tozu
- c) Gübreler
- d) Yapay daneli malzemeler

ii) Stok Malzemesinin Mekanik Türleri

Siloda depolanan malzemenin birim hacim ağırlığı, içsel sürtünmesi ve kohezyonu silonun boyutlandırılmasında etkili olan faktörlerdir. Bu sayılan özellikler dane çapına bağlıdır. Bu nedenle stok malzemeleri dane çapına bağlı olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabilirler.

- Toz malzeme : Dane çapı < 0.1 mm (Çimento,kül,tahıl unları gibi)
- Daneli malzeme : Dane çapı < 30 mm (Tahıl, kum, çakıl, Klinker ...)
- Parçalı malzeme : Büyük dane çaplı stok malzeme si.(Kalker, Kok, Kömür)

Toz şeklindeki stok malzemelerinde sürtünmenin yanı sıra kohezyon da ortaya çıkar. Daneli malzemedede ise kohezyonda ortaya çıkmaz veya çok az olur.



Resim 1.3: Afşin-Elbistan kül siloları - 2002

iii)Stok Malzemesinin Kimyasal Etkileri

Birçok stok malzemesi (tuz, asit, yağ gibi) betona etki eden maddeler içerirler. Bu durumda betonun geçirimsizliği sağlanarak etkilere dayanıklılığı temin edilebilir. Aksi halde beton bu etkilerden korunmalıdır. Pudra, yemek tuzu gibi su emen malzemeler havadaki su buharı nedeniyle birbirleriyle birleşerek akışa mani olurlar. Bu gibi durumlarda da siloların havasız silo olarak teşkili gerekmektedir.

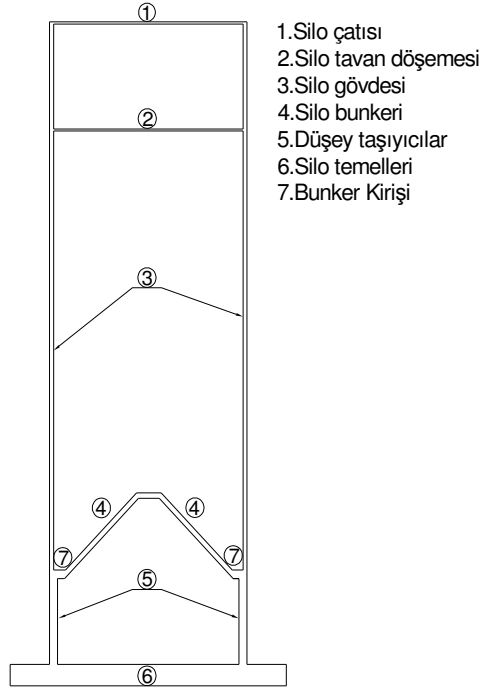
iv)Stok Malzemesinin Sıcaklık Etkisi

Çimento ve klinker gibi malzemeler ~ 100 °C de siloya doldurulur ve zamanla soğur. Bu nedenle silo elemanlarının projelendirilmesinde sıcaklık farkı göz önüne alınmalıdır. Bu sıcaklık farkından dolayı aşırı bir moment oluşur. Bu da silo çeperlerinde donatının artmasına neden olur. (Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)

1.5 Silo Elemanları

Bir silo 6 elemandan oluşmaktadır. Her tip silo da bu altı eleman bir araya getirilerek silo grupları teşkil edilebilir.

i) Silo Çatısı: Çatı sistemi enkesit tipine bağlıdır. Silo tavanı aynı zamanda çatı vazifesi görür. Yatay kuvvetlere karşı küçük yerdeğiştirmeler yapabilecek şekilde silo duvarlarına oturtulur. Bu yerdeğiştirme betonun kısalması ve uzaması hallerinde ek kuvvetlerin oluşmaması bakımından da önemlidir. Çatıda çelik kiriş de kullanılabilir. Hesaplarda kar yükü, çatı kaplaması ve kendi ağırlığı göz önüne alınır. Enkesit boyutlarına bağlı olarak çelik yada beton bir döşeme yapılır.



Şekil 1.3: Silo elemanları

ii) Silo Tavan Döşemesi: Silo tavanı enkesit boyutlarına bağlı olarak çeşitli döşeme tiplerinden biri ile yapılır. Plak, nervürlü, kaset döşeme veyahut çelik kirişler üzerine oturan sac levhalar ve onun üzerindeki betonlanmış hasır çelikler silo duvarlarına ankre edilerek yük aktarımı sağlanır. Silo tavanlarında makine ve benzeri hareketli yükler silo duvarına ankre edilen çelik kirişlere yayılı yük olarak aktarılır. Ayrıca döşemedeki boşluk vasıtasıyla çimento bunkerlere boşaltılır. Delik civarı özel olarak donatılmalıdır.

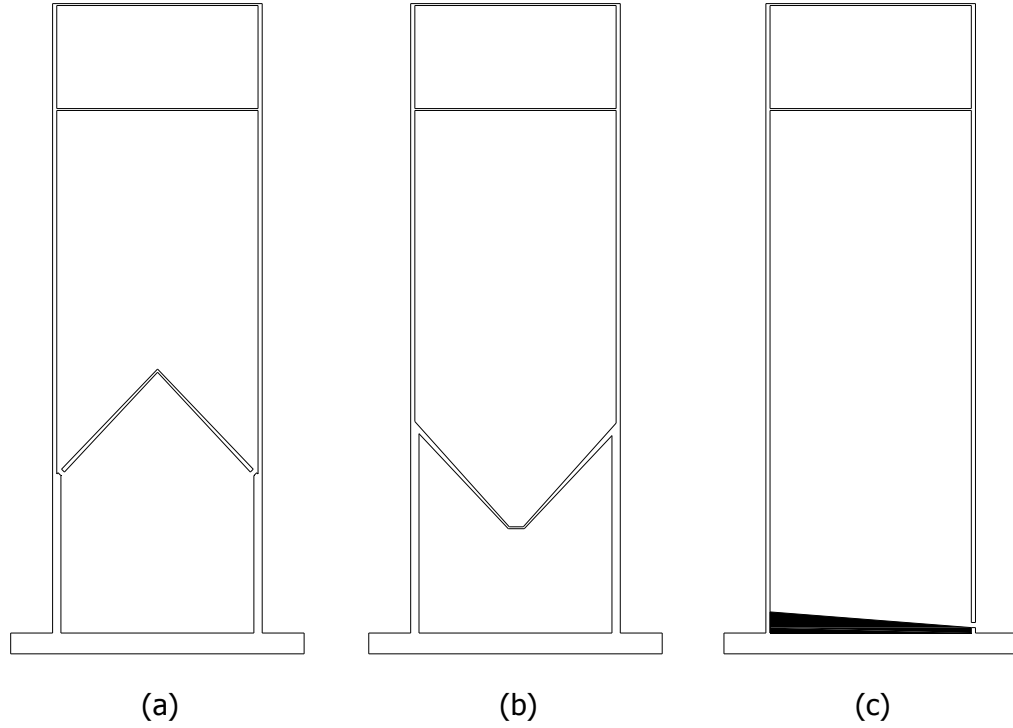
iii) Silo G6vdesi: Silonun en 6nemli elemanıdır. Stok malzemesinin yanal basıncına ve g6vde ağırlığına maruzdur. Silo g6vdesi değişken kalınlıkla yapılabilir.6rneğimizde g6r6ld6đ6 gibi 0-8m arası silo 7eperi 0.80m, 8-50m arası 0.40m, 50-60m arası 0.30m'dir. Dairesel enkesitli silolarda g6vdede b6y6k 7ember gerilmeler oluşur. Bu halde beton 7ekme gerilmesi ihmal edilerek, gerilmeler donatıyla karşılanır.

iv) Silo Bunkerı: Malzeme alma işlemi burada yapılır. Genellikle bunker inşa edilir. Bunkerin eğimi s6rt6nme durumuna ve akış 6zelliklerine bağlıdır. Bunker yapılmadığı takdirde d6şeme 6zerine eğimli dolgu betonu yapılır.

Silolarda diğer m6hendislik yapılarının 7oğundan farklı olarak, hareketli y6k6n, sabit y6ke oranı 7ok b6y6k değerler almaktadır. Uzun bir s6re tam dolu olan silo boşaltıldığında betonun s6nmesi nedeniyle perdelerde yatay 7atlaklar oluşmaktadır. Bu 7atlakları en aza indirmek i7in, eğer yatay y6klerden gelen etkiler 6nemli değilse boyuna donatı oranı d6ř6k tutulur. Yatay y6klerden doğan etkilerin b6y6k olması durumunda ise d6ř6k boyuna donatı oranı elde etmek i7in perde boyutları b6y6t6l6r.

v) Silo Temeli: Oransal olarak k66k temel alanlı y6ksek silolarda fazla hareketli y6k, salınımlara ve doldurmaya bağlı olarak değişik şekilde dağılan zemin basın7lara neden olur. Bu sebeple m6saade edilmeyen oturmalar ve bunun sonucunda 6st yapıda 7atlakların oluşmaması i7in temellere 6zellikle 6nem verilmesi gerekir.

Zemin koşullarının iyi olması durumunda betonarme s6rekli temeller ve kısıtlı temel alanı nedeniyle betonarme radye temel gerekli olur. Radye temeller kirişli ya da kirişsiz teşkil edilir. Sağlam tabakaların derinde olduğu zeminlerde 7oğu kez kazıklı temel en uygun 76z6m olup silo y6kleri doğrudan sağlam zemine aktarılmaktadır.



Şekil 1.4: Çeşitli silo tipleri

- a) Radye temele oturan silo ; ters bunker silo perdesine ankastre edilmiş
- b) Bunker ankastre olduğu silo duvarı kalınlaştırılmış;
- c) Taban eğimli demirsiz dolgu betonu. Malzeme yandan alınıyor.

1.6 Silo Tipleri

i)Silo Enkesit Tipleri ve Boyutları:

Genellikle çelik veya betonarme olarak yapılan silolar yapıldığı malzemenin cinsine göre değişik kesitli olabilirler. Silolar tekil olarak teşkil edildiği gibi silo gruplar halinde de inşa edilebilirler.

Betonarme silolar, dairesel, kare, dikdörtgen veya çokgen kesitli olabilirler. En uygun kesit formu dairedir. Bu kesit tipinde silo yan duvarları (silo gövdesi) enine doğrultuda sadece çekme kuvveti altında zorlanırlar. Bu nedenle kare ve dikdörtgen silolara göre gövde kalınlıkları daha az seçilebilir. Daire kesitli silolara ön gerilme verilebilir veya dıştan

nervürlenebilir (Resim1.4'de görüldüğü gibi). Genellikle daire kesitli silolarda daire çapı 6~20 m öngermeli dairesel silolarda 20~40 m dir.

Silo yükseklikleri 30~65 m arası olmaktadır. Silolar genellikle kayar kalıp tekniği ile inşa edildikleri için silo yüksekliğinin seçimi kullanılacak kayar kalıp tekniğine uygun olmalıdır. Kayar kalıp ile teşkil edilen minumum silo yüksekliği 20 m dir. Geniş çaplı silolarda tırmanır kalıp tercih edilebilir.



Resim1.4:Mersin nervürlü klinker silosu - 2000

BÖLÜM II

BETONARME SİLOLARIN HESAP ESASLARI

2.1 Giriş ve Genel Bilgiler: Çeşitli malzemelerin stoklanması için inşa edilecek siloların tasarımı stok malzemesinin özellikleri ile geometrik ve yapısal analize ait ilkelerin birleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Stok malzemesin içsel sürtünme açısı değerleri malzeme davranışını önemli derecede etkiler. Bunlara ek olarak bir stok malzemesine ait akış özellikleri dane boyutu, nem, sıcaklık ve maruz kaldıkları basınç gibi pek çok parametreye bağlı olarak büyük ölçüde değişkenlik gösterir. Bu parametrelerin doğru olarak belirlenmesine bağlıdır.

Silonun geometrik tasarımı ise malzeme boşaltma ağızlarının biçimine ve malzemenin boşaltma esnasındaki akış şekline bağlıdır. Boşaltımın yapılacağı bunkerlerin eğimi malzemenin kohezyonuna, boşaltım esnasındaki akış biçimi ise içsel sürtünme açısı ile birlikte malzeme ile silo çeperi arasında oluşan sürtünme kuvvetlerine bağlıdır. Geometrik tasarımın amacı kullanılabilir silo kapasitesini en yüksek oranda tutarken toplam maliyeti ve silo yüksekliğini en düşük değerleri elde etmek içindir. Kullanılan tasarım yöntemleri en uygun çeper biçimi ile en küçük çıkış boyutlarının seçimini belirler.

İdeal boşaltma şekli sükunet durumunda tüm malzemenin hiçbir engel rastlamadan dışarıya atılması. Buna kütle akışı denir. Bu kütle akışında malzeme sabit bir hızla hareket etmez. Yatay kesitlerde hızın değişmesi olasıdır.

Bir silonun yapısal tasarımı stok malzemesi tarafından, silo duvarları üzerinde oluşan basınç ve kesme gerilmesi dağılımlarının ve bu dağılımın yükleme, sükunet, boşaltma ve yeniden yükleme durumlarına göre değişimlerinin bilinmesini gerektirir. Silo tasarımında yukarıda anlatılan parametrelerin belirlenmesi ve kullanılmasında pek çok belirsizlik mevcuttur. Bu nedenle pek çok silo yapısal hasarlara uğratmaktadır. (Jenike). Bazı ülkelerdeki yönetmelikler silolarda sadece minimum şartları belirlerken çoğu kere mühendisler ve uygulayıcılar kendi yargı ve tecrübelerini kullanmak durumunda kalırlar.

Silodaki yapısal hasarlar başlıca üç nedenden kaynaklanmaktadır.

1. Silo yapısal tasarımından doğan hasarlar
2. Silo inşasında yapılan hatalar
3. Silonun hatalı kullanımı

Bu yapılan tez çalışmasında yapısal tasarımdaki hatalardan olan eksantrik boşaltma sırasında daire sel kesite sahip silo duvarlarında oluşacak eğilme etkisi hesaba katılmamıştır. Bu bir araştırma konusudur. Bu konu hakkında herhangi hesap yöntem gösteren kaynak bulunamamıştır.

2.2 Siloya Etkiyen Dış Kuvvetler

Silolarda öncelikle göz önüne alınması gereken dış yükler:

- Sabit yükler (Öz ağırlık, siloya monte edilmiş sabit ekipman ağırlığı)
- Kullanım yükleri (Silolanan malzeme ağırlığı, hareketli donanım vb.)
- Rüzgâr ve kar yükleri
- Deprem yükleri
- Sıcaklık etkileri

Bu tez kapsamında, stok malzemesi tarafından siloda neden olduğu yükler tamamen doldurma, sükunet ve boşaltma durumları olmak üzere üç kısımda incelenmiştir.

Sabit yükler etkisi altında tüm kuvvetler dengede olmalıdır. Bu sayede silolarda düşey doğrultuda aksel kuvvet oluşacağı açıktır. Çeper sürtünmesinin de düşey doğrultuda benzer etki oluşturacağı düşünülmeli ve tabanda perdelerle oturan silolarda bu etkilerin bunker yükleri ile birlikte hesaplanması gerekir.

Malzeme yükü, sayısal uygulamada görüleceği gibi silo çeperine yatay ve düşey yönde sürtünme nedeni ile etki eden kuvvetler oluşturur. Bu kuvvetlerin şiddeti içsel sürtünme açısı ile malzeme-çeper sürtünmesine bağlı olduğundan ve daneli malzemelerde bu sürtünme açısı değerleri denge durumunda ve hareketli durumda farklı değerler aldığından her durum için ayrı ayrı incelenmelidir. Sürtünme açıları gerçekte basınca bağlı olarak da değişmektedir. Ancak bu değişimin göz önüne alınması oldukça zor olduğundan ortalama bir değer kullanılmaktadır. Daneli malzemenin bu etkilerin hesabına esas olacak özellikleri en çok rastlanan malzemeler için bir çizelge ile verilmiştir.(Çizelge 2.1)

Sıcak malzemenin depolandığı silolarda iç ve dış sıcaklık farkı önemli gerilmeler doğurabilir. Bu etki silo biçimine ve yüksekliğine bağlı olarak göz önüne alınan statik sisteme göre hesaplanmalıdır.

Rüzgâr ve deprem etkisi, perdeyi zorlayan bir yük olarak düşünülmesi gerekir. Üst yapıya gelen deprem ve rüzgâr yükü, bilinen yöntemlerle perde çeperlerine dağıtılır ve yatay yük momentleri hesaplanır. Deprem durumunda silonun ne kadar dolu olabileceği, yatay yükün dış merkezliği dikkat edilmesi gereken konulardır.

2.3 Siloların Betonarme İlkeleri

i) Malzeme Basınçları ve Aralarındaki Bağlılıklar

Bağlılıklarda kullanılan temel varsayımlar ise aşağıdaki gibidir:

Kesit büyüklükleri

A: Enkesit alanı

u: ıslak çevre

$$r_h = \frac{A}{u} \text{ (hidrolik yarıçap)} \quad (2.1)$$

γ = Birim hacim ağırlığı

ϕ = İçsel sürtünme açısı

δ = Cidar sürtünme açısı

$\mu = \tan \delta$: Cidar sürtünme katsayısı

$\lambda = P_y / P_d$: Denge konumundaki aktif malzeme basınç katsayısı

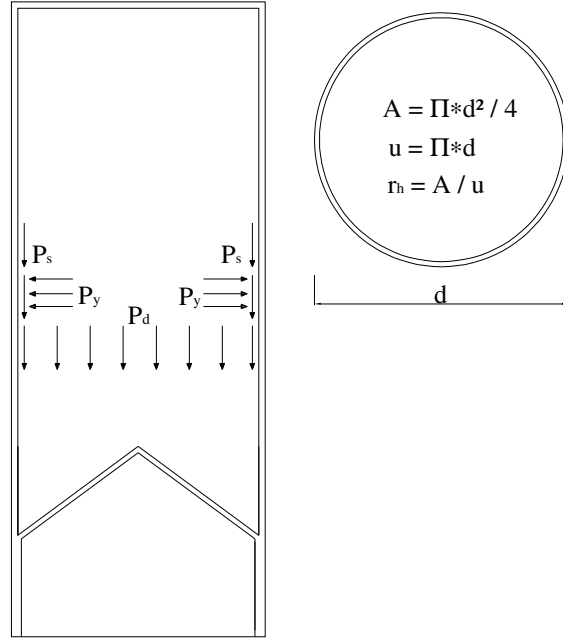
Stok malzemesi yükleri:

P_d : Herhangi bir z derinliğinde üstteki malzemenin alttaki malzemeye uyguladığı basınç kuvveti ;(t / m²)

P_y : Herhangi bir z derinliğinde silo içindeki malzemenin silo çeperine uyguladığı çepere dik basınç kuvveti ; (t / m²)

P_s : Herhangi bir z derinliğinde silo içindeki malzeme ile silo çeperi arasındaki sürtünme kuvveti ; (t / m²)

(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)



Şekil 2.1: Siloya depolanan malzemeden dolayı etkiyen yükler
(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)

ii) Daneli Malzeme Basınçları

Silolarda malzemenin yaptığı basıncın araştırmasını ilk defa Robert 1882 yılında yapmıştır. Robert silo zeminindeki toplam basıncın silo içindeki malzeme ağırlığından önemli miktarda küçük olduğunu ve doldurmanın belli derinliğe ulaşıldığında basınç değerinin büyümediğini göstermiştir. Janssen, Boeey, Lufft ve diğer araştırmacıların daha sonraki çalışmaları Roberts'ın araştırmasını doğrulamışlardır. Bu durumun yatay basınçta da aynı olduğunu göstermiştir. Bu basınç Coulomb Metoduna göre hesap edilerek bulunan basınçtan büyüktür.

Malzemenin çeperle olan sürtünmesi göz önüne alındığında derinliğin üstel fonksiyonu olarak değişen basınçlar söz konusudur. Sürtünme, doldurma, boşaltma ve denge durumlarında farklı değerler almaktadır. Ayrıca içsel sürtünme açısı da basınçla değişmektedir. Silo basıncının hesabı Janssen Yöntemi ile yapılacaktır (İ.T.Ü. Yüksek Lisans Bitirme Tezi-1987)

2.3.1 Sükunet Durumunda Malzeme Basıncının Hesabı

Silodan z derinliğinde ve dz kalınlığında bir eleman çıkarılıp bu elemana etki eden dış kuvvetlerin düşey dengesi göz önüne alınsın:(Şekil 2.1)
(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü. -1992)

$$\sum p_d = 0 \quad p_d - \left(p_d + \frac{dp_d}{dz} dz \right) - \gamma \times A \times dz - p_s \times u \times dz = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{dp_d}{dz} + p_s \times \frac{u}{A} = \gamma \quad (2.3)$$

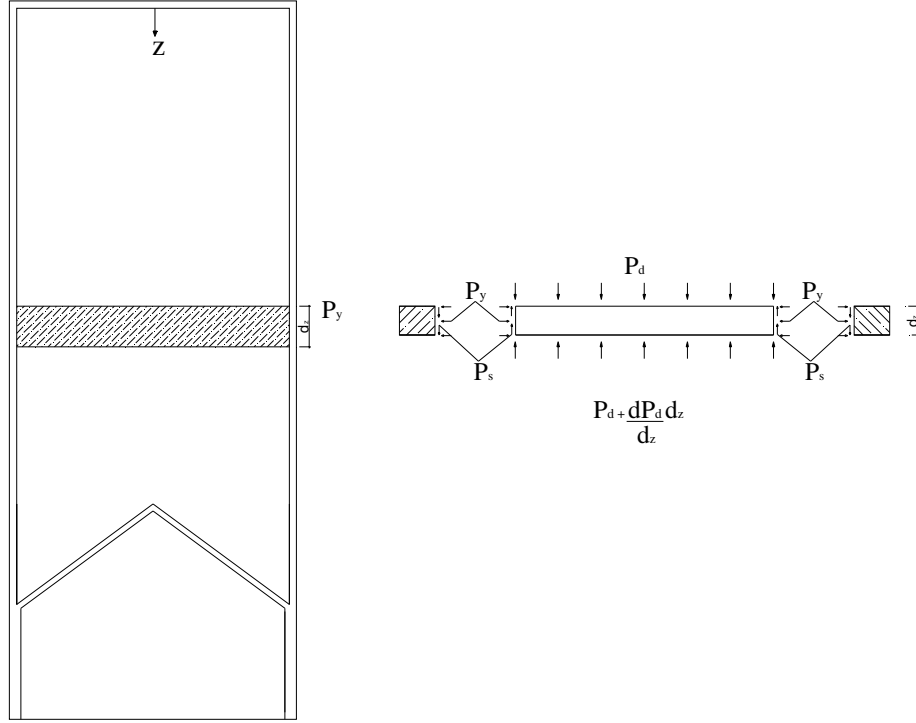
$$p_s = \mu \times p_y = \gamma \times \mu \times p_d \quad (2.4)$$

eşitliği (2) diferansiyel denkleminde yerine koyarsak;

$$\frac{dp_d}{dz} + \lambda \times \mu \times p_d \times \frac{u}{A} = \gamma \quad (2.5)$$

Bu diferansiyel denklemin çözümü;

$$p_d = \frac{\gamma \times A}{\lambda \times \mu \times u} \times \left[1 - C \times e^{\left(-\frac{\lambda \times \mu \times u}{A} \times z \right)} \right] \text{ olur. } C \text{ katsayısı sınır koşullarından tayin edilir.} \quad (2.6)$$



Şekil 2.2:dz Kalınlığında bir elemana etki eden dış kuvvetlerin düşey dengesi
(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)

$$z=0 , p_d = 0 , c=1$$

$$p_d = \frac{\gamma \times A}{\lambda \times \mu \times u} \times \left[1 - e \left(-\frac{\lambda \times \mu \times u}{A} \times z \right) \right] \quad (2.7)$$

z'nin artan değerleri için p_d asimtotik bir değere yaklaşır.

$$r_h = \frac{A}{u} \text{ (hidrolik yarıçap)}$$

$$p_o = \frac{\gamma \times r_h}{u} = \gamma \times \frac{A}{u} \quad (2.8)$$

$$z_o = \frac{A}{\gamma \times \mu \times u} = \frac{r_h}{\lambda \times \mu} \quad (2.9)$$

sembolleri ile siloya etki eden dış kuvvetler aşağıdaki gibidir.

$$\xi = \frac{z}{z_o}, \phi(\xi) = (1 - e^{-\xi}) \text{ olmak üzere;} \quad (2.10)$$

$$p_d(z) = p_{dmaks} \times (1 - e^{-\frac{z}{z_o}}) = \gamma \times z_o \times \phi(\xi) = p_{dmaks} \times \phi(\xi) \quad (2.11)$$

$$p_y(z) = p_{ymaks} \times (1 - e^{-\frac{z}{z_o}}) = \lambda \times \gamma \times z_o \times \phi(\xi) = p_{ymaks} \times \phi(\xi) \quad (2.12)$$

$$p_s(z) = p_{smaks} \times (1 - e^{-\frac{z}{z_o}}) = \gamma \times r_h \times \phi(\xi) = p_{smaks} \times \phi(\xi) \quad (2.13)$$

Asimtotik değerler;

$$p_{dmak} = \frac{\gamma \times A}{\lambda \times \mu \times u} = \frac{p_o}{\lambda \times \mu} \quad (2.14)$$

$$p_{ymak} = \frac{\gamma \times A}{\mu \times u} = \frac{p_o}{\mu} \quad (2.15)$$

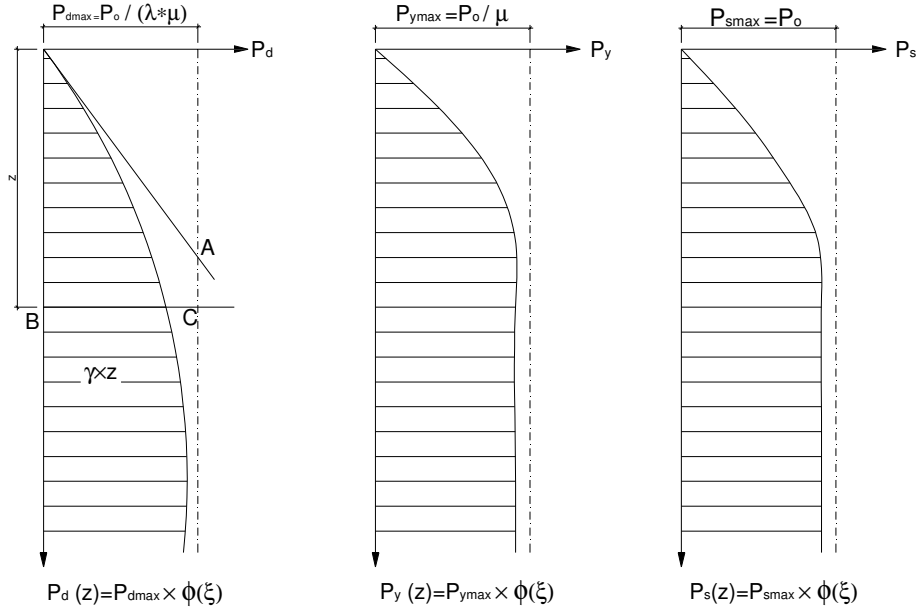
$$p_{smak} = p_o \quad (2.16)$$

p_s ' nin 0 ile z arasında integrali çeperde birim genişliğe etki eden düşey kuvveti verir.

$$V = \gamma \times r_h \times \left[z - z_o \times \left(1 - e^{-\frac{z}{z_o}} \right) \right] = (\gamma \times z - p_d) \times r_h \quad (2.17)$$

Malzeme sürtünme kuvvetinden oluşan bu eksenel kuvvete çeper ağırlığı (V_g) eklenmelidir.

Hesap edilen dış kuvvetlere ait diyagramlar Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3:Dış kuvvetlere ait diyagramlar
(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)

2.3.2 Doldurma ve Boşaltma Durumlarında Malzeme Basınçları

Janssen teorisi, silo duvarlarındaki malzeme basıncını sukunetteki basınç durumuna göre inceler. Fakat silonun doldurma ve boşaltmasında yatay basınç değişir. Bu durum duvarın iç yüzeyinde artan sürtünme kuvvetlerinin sonucu olarak ortaya çıkar.

Yukarıdaki bağıntılardan elde edilen

$$\lambda = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\Psi}{2} \right) \quad (2.18)$$

olarak kullanılan aktif basınç katsayısı yerine doldurma durumunda $\lambda=0.50$ boşaltma durumunda ise $\lambda=1.00$ alınır. Çeper sürtünmesini ifade eden ψ açısı için de doldurma durumunda $\psi' = 0.60 \times \psi$ olarak malzemenin içsel sürtünme açısına bağlı değerler kullanılır. Dane çapı 0.06 mm 'den küçük malzeme için boşaltma ve doldurma durumlarında $\psi'=\psi$ alınır. Dane çapının 0.06<d<0.20mm arasında olan malzemede ise yukarıda verilen değerlerle enterpolasyon yapılarak bulunur.

Homojenleştirme siloları denilen ve toz malzemenin karışmasını sağlamak üzere basınçlı hava üflenen silolarda malzemenin davranışı bir sıvının davranışı gibidir. Bu nedenle boşaltma durumunda bulunan basınçla;

$p_d = 0.60 \times \gamma \times z$ 'den hesaplanan basınçtan büyük olanı hesapta esas alınır.

Beton Kalender 1965; boşaltma ve doldurma durumunda yatay basıncı aşağıdaki şekilde vermektedir.

$\bar{\delta}$ = Silo duvarı ile malzeme arasındaki sürtünme açısı olmak üzere

$$\tan \delta = \left(\frac{p_s}{p_d} \right) = \mu \quad (2.19)$$

Derinliğe göre yükler;

$p(z) = \bar{\delta}_{\max} \times \phi$ olup

$$\phi = \left(1 - e^{-\frac{z}{z_0}} \right)$$

$$\text{Doldurma durumunda } z_0 = \frac{A}{\lambda \times \mu \times u} \quad (2.20)$$

$$\text{Boşaltma durumunda } z_0 = \frac{A}{\lambda \times \mu \times u} \quad (2.21)$$

Daneli malzeme durumunda ; $\phi_{\text{dane}} > 0.02$ mm ise

$$\bar{\delta}_d = 0.75 \times \phi \quad (\text{Doldurma anında}) \quad (2.22)$$

$$\bar{\delta}_b = 0.60 \times \phi \quad (\text{Boşaltma anında}) \quad (2.23)$$

Toz halindeki malzemede ise ; $\phi_{\text{dane}} < 0.06$ mm ise

$$\bar{\delta}_d = \bar{\delta}_b = 1.00 \times \phi \quad (2.24)$$

ϕ_{dane} 0.02 mm ile 0.06mm arasında enterpolasyon yapılır.

$$\lambda_d = 0.50 \quad (\text{Doldurma anında})$$

$$\lambda_b = 1.00 \quad (\text{Boşaltma anında})$$

2.3.3 Rüzgâr ve Deprem Etkileri

Siloya gelen rüzgâr etkisi TS 498’de belirtilen yöntemle bulunup silo çeperlerine yatayla yaptığı açı kadarıyla rüzgâr yükü etki ettirilir. Yani rüzgâr etkisi yükseklik ve açığa bağlı olarak değişir.

Deprem etkilerinin hesabında ise; silonun en az %100 oranında dolu olduğu kabul edilmelidir. Genellikle silolar 25m’den yüksek olduğu için deprem hesabı modal analiz veyahut zaman tanım aralığında yapılmalıdır.

Diğer yapılarda olduğu gibi silolar da yük veya yükler etkisi altında olduğundan projelendirmelerinde bu yüklerin kombinezonları dikkate alınır. Emniyet gerilmesi metoduna göre silolar için yük veya yük etkisi kombinezonları TS500’de bu metod için verilmiş olan kombinezonların benzeridir. G sabit yük, Q hareketli yük, W rüzgâr yükü, E deprem yükü, T sıcaklık değişimi vb. etkileri altında siloların hesap kombinezonları aşağıdaki gibidir.

Taşıma Gücüne metoduna göre projelendirmede kullanılan yük veya yüklerin etkisinin kombinezonları;

$$Fd_1 = 1.4G + 1.6Q$$

$$Fd_2 = G + 1.2Q + 1.2T$$

$$Fd_3 = G + 1.3Q + 1.3W$$

$$Fd_4 = 0.9G + 1.3W$$

$$Fd_5 = G + Q + E$$

2.3.4 Cidar Yüzeylerinde Farklı Sıcaklıktan Doğan Etkiler

Sıcaklık etkisi yapının şekli ve boyutları dikkate alındığında önemli kesit etkileri oluşturabilecekse, TS500 ve TS6989’a uygun olarak dikkate alınmalıdır. Mümkün olduğu ölçüde yapıyı genişleme derzleriyle bloklara ayırmak suretiyle sıcaklık etkisi azaltılmalıdır.

Silolanan malzemenin sıcaklığı dış sıcaklıktan farklı ise Şekil 2.4’de görüldüğü gibi Δt sıcaklık farkından dolayı bir $M_{\Delta t}$ momenti meydana gelir. Silolanan malzemenin iç sıcaklığı 120°C ’yi geçmiyorsa ve daha kesin bir yöntem yoksa $M_{\Delta t}$ momentinin değeri

$$M_{\Delta t} = \frac{\Delta t \times h^2}{0.104} \text{ dan.cm/m} \quad (2.25)$$

olarak alınabilir. t_i ve t_e sırasıyla cidarın iç ve dış yüzeyin sıcaklığını, h çeper kalınlığını, λ_c betonun ısı iletkenlik katsayısını $1/h_i$ ve $1/h_e$ cidarın iç ve dış yüzeylerinin ısıl direncini, T_i silolanan malzemenin iç sıcaklığını, T_e dış hava sıcaklığını gösterir. Bu cidarın içindeki ısı akım yoğunluğu

$$K = \frac{t_i - t_e}{\frac{h}{\lambda_c}} = \frac{\Delta t}{\frac{h}{\lambda_c}} \text{ kcal/m}^2 \text{ saat} \quad (2.26)$$

$$K = \frac{T_i - T_e}{\frac{h}{\lambda_c} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}} \text{ olmak üzere;} \quad (2.27)$$

$$\Delta t = K \times \frac{h}{\lambda_c} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ formülüyle hesaplanır. Bu işlemlerde } \lambda_c = 1.4 \text{ kcal/m } ^\circ\text{C} \text{ saat,} \quad (2.28)$$

$1/h_i = 0.15 \text{ m}^2 \text{ saat} ^\circ\text{C/kcal}$, $1/h_e = 0.10 \text{ m}^2 \text{ saat} ^\circ\text{C/kcal}$ olarak alınır ve h cidar kalınlığı (m) cinsinden yerine konursa $\Delta T = T_i - T_e$ olmak üzere;

$$\Delta t = \frac{h}{0.35 + h} \times \Delta T \text{ } ^\circ\text{C} \text{ formülüyle bulunur.} \quad (2.29)$$

Çoğu stok malzemesi silolara döküldüğü esnada silo duvarlarının sahip olduğu sıcaklıktan farklı sıcaklıktadır. Analizde dikkate alınacak iki durum vardır. Bunlardan en kötüsü genellikle sıcak bir malzeme yüzeyi üzerindeki silo duvarları üzerinde bulunur. Stok malzemesi siloya depolanmaya devam ederken sıcaklıkta yükselir. Sürekli yükselmekte olan sıcak malzeme yerleşik malzeme üzerine dökülür. Sıcaklığı yüksek malzeme daha düşük sıcaklıktaki silo duvarı ile temas haline geçer. Belirli bir yükseklikteki dar bir duvar şeridinde sıcaklık farklılığına neden olur. Bu duvar yüksekliği değeri TS6989 da 100 cm olarak alınmış ve bu bölgedeki momentin hesaplanması için (2.25)'deki bağıntı verilmiştir. Bu momentin hesaplanması için gerekli formülde $E_c = 7000 \times \sqrt{f_{ck}} \text{ kg/cm}^2$ olarak verilmektedir. Bu değer yaklaşık TS6989'da verilen elastisitenin 1/3'üne karşılık gelmektedir.

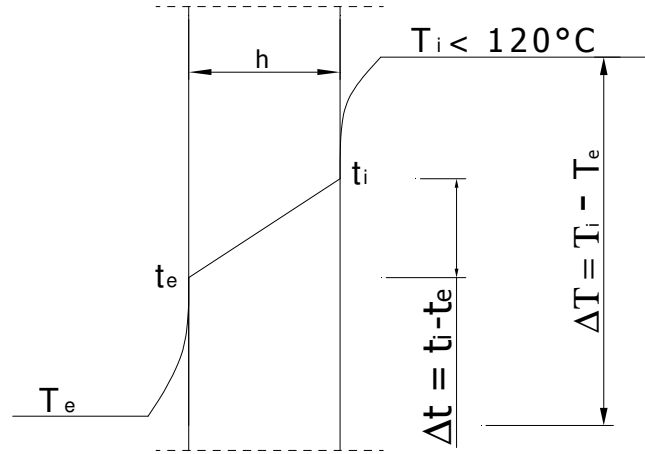
Örnek aşağıdaki gibidir:

Örnek: BS40 için $E_c = 34.250 \text{ N/mm}^2$

$$E_c = 7000 \times \sqrt{f_{ck}} = 7000 \times \sqrt{400} = 140.000 \text{ kg/cm}^2 = 14.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{O halde } E_c = \frac{34.250}{3} = 11.416 \text{ N/mm}^2$$

Sonrasında ise tüm sıcaklık duvarın dış yüzeyinde düşmeye başlıyor ve soğumuş malzeme duvarla temas ediyor. 2. durum ise mevcut doldurulmuş malzemede ise sıcaklık dışarıya doğru akıyor. Burada ki sıcaklık gradyeni mevcut malzemenin kalınlığı boyunca dışarıya çıkıyor. Dolayısıyla düşey yüklerle azaltılmış sıcaklık yükleriyle kullanılması gerekmektedir.



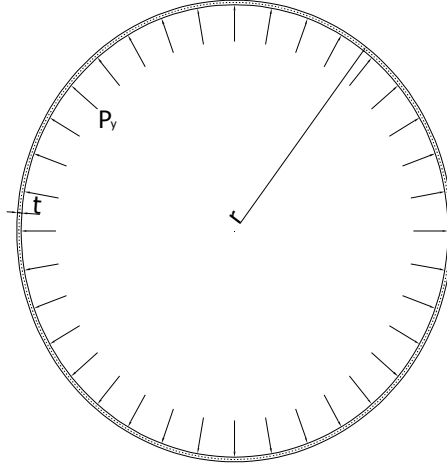
Şekil 2.4: Cidar yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı
(TS 6989/Mayıs 1989)

2.4.1 Silo Gövdesinin Hesabı:

Silo gövdesindeki en büyük zorlanmalar P_y yatay yükleri ve sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkar. Bu etki altında silo gövdesinin hesabı sonlu elemanlar metoduyla yapılarak ayrılmış perde elemanlarına gelen gerilmeler yatay kesitler yardımıyla birim dilimlere ayrılmış olarak düşünülür. Göz önüne alınan çubuk sistem yatay yükler etkisinde komşu dilimlerin etkisi düşünülmeden statığın bilinene metotları ile çözümlenerek kesit tesirleri bulunur. Bulunan kesit tesirleri ile esas donatı olarak isimlendirilen yatay donatılar hesaplanır. Sürtünme kuvveti (P_s), kendi ağırlığı ve bunker yükünden doğan düşey yükler etkisinde silo gövdesi hesaplanır.

i) Dairesel Kesitli Silo Gövdesi Hesabı: Gövde silindirik kabuk taşıyıcıdır. Bu taşıyıcının çeşitli yük durumları için çözümleri mevcuttur. Pratik bir hesap için P_y yatay kuvveti etkisindeki halka kesitin göz önüne alınması yeterlidir (Şekil 10). Çünkü silolarda silindir yarıçapı küçük olduğundan meydana gelebilecek eğilme etkileri ihmal edilebilir düzeydedir. Çekme kuvveti ile varsa sıcaklık etkisinden doğan M_t momentini de hesaba katarak eğilme etkisinde bir kesit olarak boyutlandırılması genellikle yeterlidir. Diğer gövdenin enine doğrultuda silonun ana doğrusu boyunca genellikle birim genişlikli bir elemanın taşıyacağı $N_s = V + V_g$ basınç kuvveti ve M_t momentini göz önüne alınmalıdır.

Dairesel enkesitli silolarda taban genellikle kesik konidir. Silo tabanının (bunker) asılması durumunda gövdeye N_s çekme kuvvetleri etki eder. Gövde düşey donatıları perdenin iç ve dış yüzeye dağıtılmalıdır. Hesaplarda kendi ağırlığı, asılan bunker yükü ve (P_s) sürtünme kuvveti gözönüne alınmalıdır.



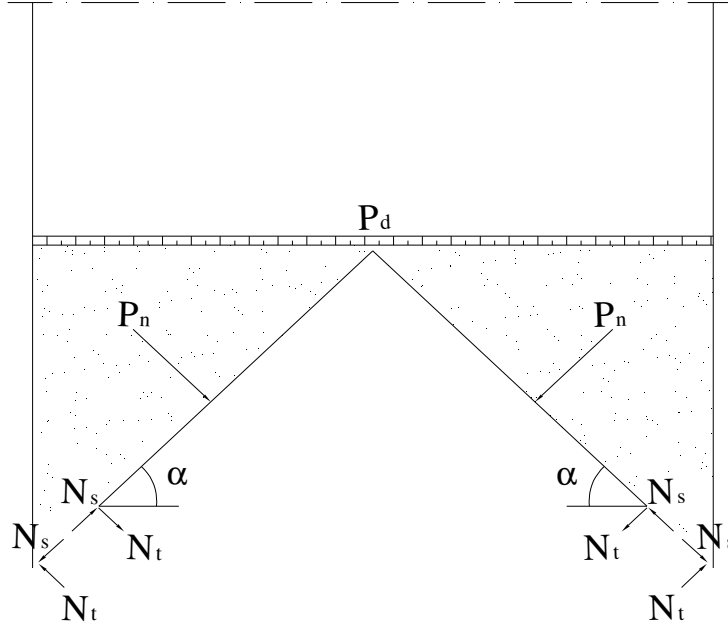
Şekil 2.5: Silo iç basınçları

.(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)

$$P_y \text{ iç basınçlarından oluşan } N_y = P_y \times r$$

2.4.2 Silo Bunker Hesabı: Silonun kendi ağırlığı ve depolanan malzeme ağırlığı nedeniyle çoğu kez silo tabanı olarak silo en kesitine uyan kesik koni olarak boyutlandırılmaktadır. Taban plağı mesnetlenme şekline ve geometrisine bağlı olarak üzerine etki eden P_d malzeme basınçları ve zati ağırlığı etkisi altında sonlu elemanlar metoduyla hesaplanıp donatılır. Kesik koni P_n ve P_t malzeme basınçlarına maruzdur. Koniye etki eden N_s ve N_t kuvvetleri Şekil2.6'da verilmiştir.

Bunker tepesinden herhangi bir z uzaklığındaki birim boya etkiyen N_s meridyen kuvveti bu derinliğin altındaki kuvvetlerin düşey dengesi yazılarak kolaylıkla hesaplanır. Bu kuvvetler ve geometrik boyutların tepeden z uzaklıktaki değerler olduğunu gözönüne alınarak z derinliğinin altında kalan W_m malzeme ağırlığı ve W_g bunker zati ağırlığı ve $P_d = P_{d(z)}$ ile $N_s = N_{s(z)}$. N_s ve N_t kuvvetleri en büyük değerlerini gövde ile bunkerin birleştiği $z = H$ kesitinde alacaklardır. D aynı kesitteki iç çapı göstermektedir.

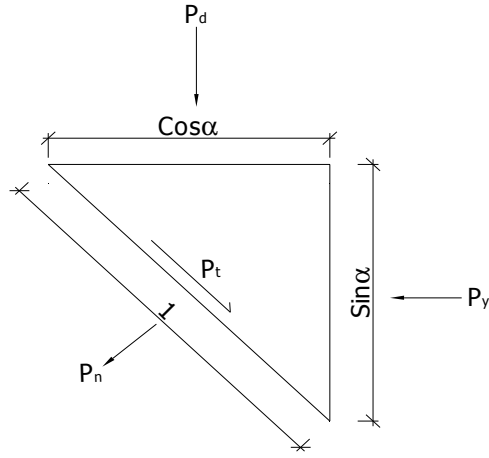


Şekil 2.6: Bunkere gelen yük dağılımları

$$N_s = \frac{P_d \times D}{4 \times \sin \alpha} + \frac{W_m + W_g}{\Pi \times D \times \sin \alpha} \quad (2.30)$$

$$N_t = \frac{P_n \times D}{2 \times \sin \alpha} \quad (2.31)$$

2.4.2.1 Sükunet Durumunda Malzeme Basıncının Hesabı: Bunkerlerde yüksekliğinin az olması ve stok malzemesi ile çeper arasındaki sürtünmenin ihmal edilebilmesi sonucu malzeme basınçları istinat duvarlarındaki toprak basınçlarına benzer olarak yükseklikle lineer olarak değişmektedir. Buna göre sükunet halinde bunker üst yüzeyinden, z mesafedeki P_d düşey ve P_y yanal basınçları;



Şekil 2.7:Bunkere etkiyen Pd düşey ve Py yanal basınçları

Şekil 2.7: Bunkere etkiyen Pd düşey ve Py yanal basınçları
(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)

$$P_d = \gamma \times z \quad (2.32)$$

$$P_y = \lambda \times \gamma \times z \quad (2.33)$$

dir. Bu basınçların yüzeye normal P_n ve teğetsel P_t bileşenleri

$$P_n = P_y \times \sin^2 \alpha + P_d \times \cos^2 \alpha \quad (2.34)$$

$$P_t = (P_d - P_y) \times \sin \alpha \times \cos \alpha \quad (2.35)$$

olur. Burada α eğik bunker duvarının yatayla yaptığı açığı göstermektedir.

2.4.2.2 Doldurma ve Boşaltma Durumlarında Malzeme Basınçları:

Doldurma ve boşaltma durumlarında yanal itki ve sürtünme katsayıları DIN 1055'e göre sukunet durumundan farklı olarak silodaki gibi elverişsiz değerler almaktadır.

Çizelge2.1:Malzeme basınçlarının katsayıları

Katsayı	Sukunet	Doldurma	Boşaltma
λ	$\tan^2(45-\Psi/2)$	$\lambda=0.50$	$\lambda=0.50$
μ	$\tan \rho'(\rho'=\Psi)$	$\rho'=0.75 \times \Psi$	$\rho'=0.60 \times \Psi$

2.6.1 Siloların Doldurulması: Stok malzemesi üstten doldurulur. Silolara malzeme mekanik veya pnömatik yolla depolanır.

i) Mekanik Taşıma: Stoklanacak malzeme düşey iletim bandı vasıtasıyla (elevatör) silo üst yüzeyinde düzenlenmiş yatay taşıma bandı, taşıma çarkına (helezon) dökülür. Bu bant malzemeyi silo hücrelerinin tavanındaki delikten içeriye doğru doldurur. Yatay bandın tüm silo hücrelerine erişecek şekilde düzenlenmiş olması gerekir.

ii) Pnömatik Taşıma: Pnömatik taşıma toz şeklindeki malzemelerin doldurulması için kullanılır. Malzeme taşıma borusu içinde hava ile hareket eder. Mekanik taşımada malzeme taşıma bandı üzerinde hareketsiz iken pnömatik taşımada taşımaya bizzat katılır.

2.6.2 Silodaki Malzemenin Alınması: Depo malzemesinin boşaltılması silo tabanında veya gövdenin alt kısmına teşkil edilen boşluklarla sağlanır.

i) Doğrudan Boşaltma: Kolayca akabilen malzemelerde malzeme alınış kapasitesinin alınması yeterlidir. Malzeme kendi ağırlığı etkisinde aşağıya doğru hareket ederek silo tabanında teşkil edilen transport mekanizmasına boşalır.

ii) Mekanik Boşaltma: Kohezyonsuz daneli malzeme boşaltımı esnasında silo altındaki bazı bölgelerde delik bulunur. Bu deliklerin fazla olması ile silo malzemesinin birlikte çökmesi sağlanır. Ayrıca geriye hiçbir artık kalması istenmiyorsa tabanda eğik yüzeyler teşkil edilir veya sürtünme kuvvetini engellemek için yan yüzeyler boyanır.

Kohezyonlu malzemelerde, malzemeler birbirine yapışır ve içi boşluklu köprüler oluşur. Böylece malzemenin akışı önlenir. Silo hücrelerine alt bölgelerde özel şekiller verilerek malzemenin çıkıştan önce parçalanması sağlanır (Enine duvarlar gibi). Bu önlemler yeterli olmadığı takdirde malzeme özel kepçelerle yukarı çekilir.

iii) Pnömatik Boşaltma: Toz şeklindeki malzemenin boşaltılması için tabanda bir çok delik teşkil edilir. Bu tip malzemelerde akma özelliğinin düzeltilmesi için akış bölgesine hava üflenir. Malzeme hava karışımı bir sıvı gibi dışarı alınır.

Bu tür boşalmalarda TS6989 yönetmelik gereği silolanan malzemenin bütün olarak harekete geçmesini önleyecek bir boşaltma sağlayan en uygun metodu kullanarak

bunkerlerdeki kesit kuvvetlerini dikkate almaktadır. Uygulamada yapılan 42m yüksekliğindeki silolanan malzeme dikkate alınmıştır.

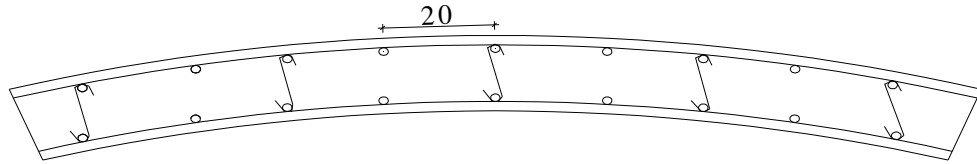
2.7 Konstrüktif Esaslar

Silo ve bunkerlerde konstrüktif esaslar aynıdır. Çapı 15m'den küçük dairesel silolarda cidar kalınlığı 15cm'den az olmamalıdır.

Beton örtü tabakası kalınlığı normal silolarda en az 2cm olmalı, kimyasal maddelerin saklandığı silolarda ise daha fazla yapılmalıdır.

Komşu siloların birleşim bölgelerinde kalınlık, gövde kalınlığının 2 katı olmalıdır. Yatay malzeme basınçları yükseklikle değiştiğinden silo yüksekliğince 2 – 6 m'lik dilimler için aksel çekme kuvvetleri hesaplanır. Bu çekme kuvvetlerini almak üzere çembersel donatı yerleştirilir. Dairesel silolarda kalınlık boyunca çekme gerilmeleri dağılım üniform değildir. Bunun sonucu gövde de hesaplarda göz önüne alınmayan eğilme momentleri oluşur. Dolayısıyla dairesel silolarda iç ve dış yüzde donatı yerleştirilmesi uygun olur. Uygulamada bu donatılar her iki yüzeye eşit olarak konur. İç ve dış yatay donatılar dışa doğru hareket etmemesi için S şeklindeki çirozlarla 50cm ara ile birbirine bağlanabilir.

(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)



Şekil 2.8: Silo perdesi donatı kesit planı

Donatı çubuk boyu 6m'yi aşmamalıdır. Yatay donatıların ekinde çekme çubuklarının eki için gerekli bindirme boyunun % 50 fazlası bir boy gerekli olmaktadır. Aynı bir düşey

kesitte donatının en fazla 1/3'ü nün eki yapılmalı, ek yerleri, en az 1m şaşırtmalı olmalıdır. Yatay donatı aralığı 15 – 25 cm arası olmalıdır.

Yatay donatıların yanı sıra düşey donatılar da gereklidir. Düşey donatılar betonlanmadan önce yatay donatıların tespitini ve taşınmasını sağlarlar. Bu donatılar komşu silo hücrelerinin farklı doldurmalarından ortaya çıkan tali momentleri de karşılarlar. Ayrıca bu donatılar iç ve dış yüz arasındaki farklı sıcaklık değişiminden oluşan gerilmeleri de karşılarlar. Ayrıca silonun deprem ve rüzgâr etkisi altında konsol şeklinde eğilmesinde çalışırlar.

ACI 313-77'e göre düşey donatı oranı dış yüzde 0.002, iç yüzde ise 0.0015'den az olmamalıdır. Düşey donatıların bindirilmesinde kanca yapılmaz. Bindirme boyu en az 40Φ olmalıdır. Düşey donatıların bindirilmeleri de karşılıklı olarak şaşırtmalı olmalıdır.

Silo gövdesinde pencere, kapı veya diğer boşluklar bulunabilir. Boşluk nedeniyle kesilen yatay donatının 1.2 katı boşluğun üstüne ve altına eşit olarak yerleştirilir. Boşluğun her iki yanında gövde kalınlığının 4 katı kadar bir düşey şeridin kolon gibi çalıştığı düşünülmelidir. Bu kolon donatısı boşluk açıklığına eşit yükseklikteki kirişin mesnet reaksiyonu göz önüne alınmalıdır. Yanyana boşluk olması halinde iki boşluk arasındaki dolu kısmın genişliği gövde kalınlığının 3 katından veya 50 cm'den daha az olmamalıdır. İki boşluk arasındaki dolu kısım bir kolon gibi boyutlandırılmalıdır.

(Betonarme silolar ve bunkerler - İ.T.Ü.-1992)

2.8 Siloların İnşası:

Silo yüksekliğinin 10m'yi geçmediği betonarme silolarda klasik kalıplama ile beton döküldüğü gibi, yüksekliği 10m'yi geçen silolarda kayar kalıp veyahut tırmanan kalıp kullanılması hem yapım hızı hem de inşaat maliyeti yönünden gerekli olmaktadır. Yükseklik nedeniyle iskele yapımı, hem riskli hem de maliyetlidir.

Kayar kalıplar yapı yüksekliğinden bağımsız olarak yapıya mesnetlendikleri için zemin kadar herhangi bir taşıyıcı iskeleye gerek yoktur. İskele maliyetleri ortadan kalkar.

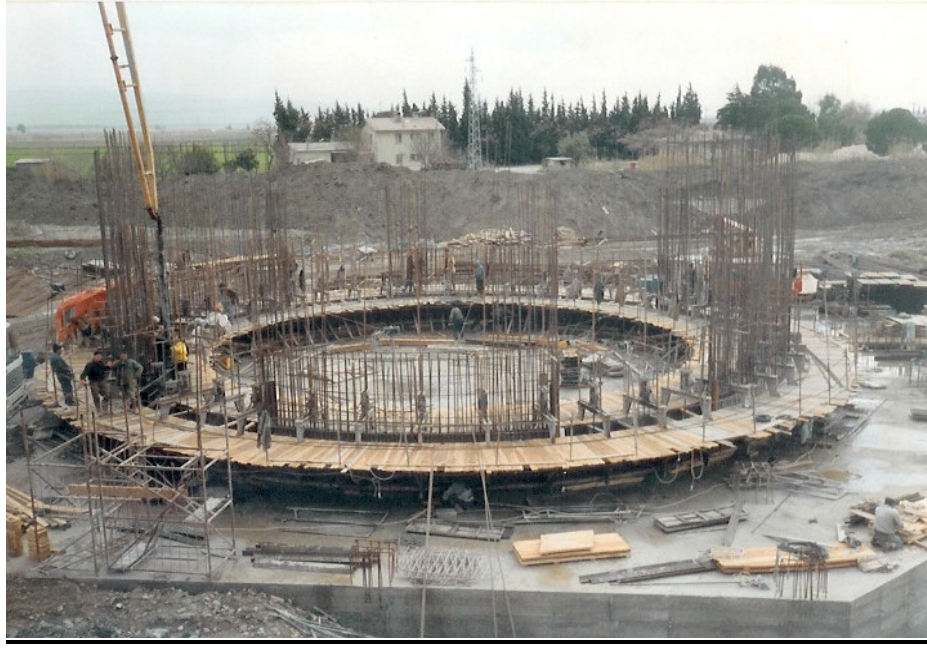
Kayar kalıplarda gösterilen kalıp yüzeyi genellikle 120cm yüksekliğinde olup döşeme üzerindeki 10×10 boyutlu elemanlara bağlanırlar. Bu bağlanma elemanları sistemin çelik elemanlarına sabitlenir. Çelik elemanları hidrolik pistonlar vasıtasıyla kalıp yüzeyi ile birlikte

düşük hızla yukarıya doğru çekilerek beton dökülmektedir. Beton dökümü imalat sonuna kadar aralıksız devam etmektedir. Sistemin pistonları 1.5 - 2.5m aralıklarla olup kalıp yüzeyine etki eden taze beton basınçları çelik elemanları vasıtasıyla tırmanma çubuklarına aktarılır. Tırmanma çubukları genellikle 26mm çapında olup manşonlarla boyu uzatılır. Bu çubuk en alttaki taşıyıcı duvara kadar uzanıp silo çekimi bitiminde kule vinç vasıtasıyla beton içinden sökülür.

26 mm çapındaki tırmanma çubuğunun etrafında manto borusu vardır. Manto borusu çapı çelik çubuğun çapından daha büyük olup çelik çubuğun birlikte betonlanmasını önler ve bütün betonlanma işlemi bittikten sonra çelik çubuğun geri alınması sağlanmış olur.



Resim 1.5: Çimentoş klinker silo inşaaı -1994



Resim 1.6: Batisöke çimento silosu inşası -1996



Resim 1.7: Egegaz LNG tankları inşası -2000

BÖLÜM III

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ :

3.1 Deplasman Fonksiyonlarının Seçimi :

Rijit cisim hareketi ve sabit deformasyon şartını sağlayacak şekilde seçilmelidir. Koordinat eksenini değişince çözüm farklı olmamalıdır. Bunun için deplasman fonksiyonları ya tam polinom veya tabii koordinatların fonksiyonu şeklinde olmalıdır. Elemanın içinde ve kenarında sürekli olmalıdır. Ayrıca iç ve dış kuvvetlerin içindeki türevlerde de sürekli olmalıdır.

Herhangi bir (e_i) elemanına ait bir elemanın içinde yada sınırları üzerinde bir (i) noktasındaki deplasman vektörü $\{V_i\}$ olsun.

$$V_i = \begin{Bmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \\ w(x, y) \end{Bmatrix} = [\psi(x, y)] \times \{a\} \quad (3.1)$$

Burada $[\psi(x, y)]$ seçilen fonksiyonlardır. Hesap kolaylığı bakımında genellikle polinom seçilir. $\{a\}$ bilinmeyen katsayılarıdır. Bu $\{a\}$ katsayılarının sayısı, bir elemandaki düğüm noktalarının deplasman parametrelerinin toplam sayısına eşit olmalıdır.

Elemanın düğüm noktası deplasman parametreleri;

$$d = \begin{Bmatrix} [d]_1 \\ [d]_2 \\ [d]_3 \\ [d]_4 \end{Bmatrix} \text{ şeklindedir.} \quad (3.2)$$

Elemanın düğüm noktası deplasmanları $\{d\}$ ile polinom sabitleri $\{a\}$ arasındaki bağı veren $[A]$ matrisi ise; elemanın düğüm noktalarının deplasman parametrelerinin $\psi(x, y)$ ve

$\psi(x, y)$ 'nin türevleri cinsinden yazılmış bileşenlerinde, düğüm noktası koordinatlarının yerine konması ile bulunur.

$$\{d\} = [A] \times \{a\} \text{ şeklinde elde edilir.} \quad (3.3)$$

Burada bilinmeyen $\{a\}$ katsayıları hesaplanırsa;

$$\{a\} = [A]^{-1} \times \{d\} \quad (3.4)$$

$[B] = [A]^{-1}$ diyelim, bu taktirde $\{a\}$ katsayıları:

$$\{a\} = [B] \times \{d\} \text{ şeklinde olur.} \quad (3.5)$$

(3.5) denklemini (3.1) denkleminde yerine koyarsak; elemanın (i) noktasının deplasman vektörü, elemanın düğüm noktalarının deplasman parametreleri cinsinden belirlenmiş olur.

$$\{V_i\} = \begin{Bmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \\ w(x, y) \end{Bmatrix} = [\psi(x, y)] \times [B] \times \{d\} \quad (3.6)$$

Burada $[\psi(x, y)] \times [B]$ ifadesine şekil fonksiyonu denir. Bu şekil fonksiyonları her elemanda aynıdır. Yalnız deplasman parametreleri elemandan elemana değişir.

3.2. Elemanın İntegral Matrisi :

Elemanın rijitlik matrisi ve dış yük matrisleri hesaplanırken iki yöntem uygulanır.

1. İntegral matrisleri ile hesap yapmak
2. Şekil fonksiyonlarını önceden tayin edip, onlarla işlem yapmak.

Araştırmada integral matrisleriyle hesap yapılmıştır. Deformasyon-deplasman bağıntılarından; şekil değiştirme ve dönme vektörleri $V_i(x, y)$ deplasman vektörlerinin türetilmesine ve $\{a\}$ sabitlerinin değerlerine bağlı olarak yazılabilir.

$$\{\varepsilon\} = \{F\} \times \{a\} \quad (3.7)$$

$$\{\beta\} = \{G\} \times \{a\} \quad (3.8)$$

Buradaki $[F]$ ve $[G]$ matrisine türev matrisi denir.(3.5) denklemini (3.7) ve (3.8) denkleminde yerine koyarsak;

$$\{\varepsilon\} = \{F\} \times \{B\} \times \{d\} \quad (3.9)$$

$$\{\beta\} = \{G\} \times \{B\} \times \{d\} \text{ elde edilir.} \quad (3.10)$$

a)Denge problemi için: (e_i) Elemanın şekil değiştirme enerjisinin birinci varyasyonunu yazılırsa;

$$\delta U = \int \int_{e_i} \{\varepsilon\}^T \times [D] \times \{\varepsilon\} dx dy \quad (3.11)$$

Buradaki $[D]$ elastisite sabitlerinin matrisidir. (3.9) ve (3.10) denklemlerini, (3.11) denkleminde yerine koyarsak;

$$\delta U = \{d\}^T \int \int_{e_i} [B]^T \times [F]^T \times [D] \times [F] \times [B] \times \{d\} dx dy \quad (3.12)$$

denklemini elde ederiz.Burada değişkenleri içinde alan matrisleri ayrıca yazalım .

$$H = \int \int_{e_i} [F]^T \times [D] \times [F] dx dy \quad (3.13)$$

Bu matrise elemanın rijitlik matrisinin integral matrisi denir.

$[H_{ij}]$ 'nin simetrik olmayan her bir terimini tek tek tayin etmek lazımdır. (3.12) denklemini aşağıdaki şekli alır.

$$\delta U = \{d\}^T \times [B]^T \times [H] \times [B] \times \{d\} \quad (3.14)$$

b) Stabilite problemi için: (e_i) Elemanın şekil değiştirme enerjisinin ikinci varyasyonunu yazalım.

$$\frac{1}{2} \delta^2 U = \frac{1}{2} \int \int_{e_i} [\varepsilon]^T \times [D] \times [\varepsilon] \times dx dy + \frac{1}{2} \int \int [\beta]^T \times [N_0] \times [\beta] dx dy \quad (3.15)$$

Burada [N₀] ön burkulma membran gerilmelerini verir. (3.9) ve (3.10) denklemlerini (3.15) denkleminde yerine koyarsak;

$$\begin{aligned} \delta^2 U = \{d\}^T \int \int_{e_i} [B]^T \times [F]^T \times [D] \times [F] \times [B] \times \{d\} dx dy + \\ \{d\}^T \int \int_{e_i} [B]^T \times [G]^T \times [N_0] \times [G] \times [B] \times \{d\} dx dy \end{aligned} \quad (3.16)$$

Yine değişkenleri içine alan matrisleri ayrıca yazalım.

$$[H] = \int \int_{e_i} [F]^T \times [D] \times [F] dx dy \quad (3.17)$$

$$[L] = \int \int_{e_i} [G]^T \times [N_0] \times [G] dx dy \quad (3.18)$$

Buradaki [H] yukarıdaki gibi elemanın rijitlik matrisinin integral matrisidir. [L] ise elemanın geometrik yük matrisinin integral matrisidir.

[H_{ij}] ve [L_{ij}]'nin simetrik olmayan her bir terimini tek tek tayin etmek gerekir. (3.16) denklemini son olarak aşağıdaki şekli alır.

$$\delta^2 U = \{d\}^T \times [B]^T \times [H] \times [B] \times \{d\} + \{d\}^T \times [B]^T \times [L] \times [B] \times \{d\} \quad (3.19)$$

3.3. Elemanın Rijitlik Matrisi ve Geometrik Yük Matrisi:

(3.14) ve (3.19) denklemlerini daha kısa ve öz bir şekilde yazarsak:

$$\delta U = \{d\}^T \times [K_e] \times \{d\} \quad (3.20)$$

$$\delta^2 U = \{d\}^T \times [K_e] \times \{d\} + \{d\}^T \times [N_e] \times \{d\} \quad (3.21)$$

şeklini alır.

Burada; $[K_e]$; eleman rijitlik matrisini, $[N_e]$; geometrik yük matrisini (elemanın ikinci mertebe etkileri matrisini) gösterir.

$$[K_e] = [B]^T \times [H] \times [B] \quad (3.22)$$

$$[N_e] = [B]^T \times [L] \times [B] \quad (3.23)$$

Denge problemleri için sadece elemanın rijitlik matrisini tayin etmek kafidir. Stabilitate problemleri için ise; hem elemanın rijitlik matrisini ve hem de geometrik yük matrisini tayin etmek gerekir.

3.4 Dönel Silindirik Kabuklar

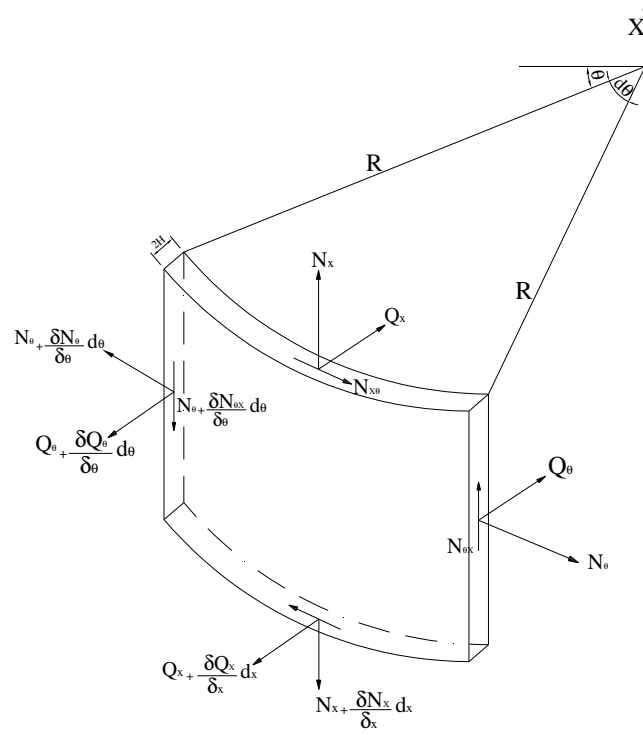
Kabuklar kalınlığı olan, diğer boyutları ve eğrilik yarıçapları yanında kalınlığı küçük olan, her noktada kalınlığının orta noktalarının geometrik yeri bir yüzey olan yüzeysel taşıyıcı sistemlere **kabuk** denir.

Kabuk kalınlıklarını ortalayan ve eğrilik eğrilerinden oluşan yüzeye orta yüzey denir. Orta yüzeye göre de kabuk isimlendirilir. Yani kabuk işlemlerde kolaylık sağlayacak şekilde seçilecek bir referans yüzeyi ile tarif edilebilir. Bu referans yüzeyi çoğu kez orta yüzey alınır. Böylece bir kabuğu, sadece ortalama yüzeyi ve kalınlığıyla tarif etmek olanaklıdır.

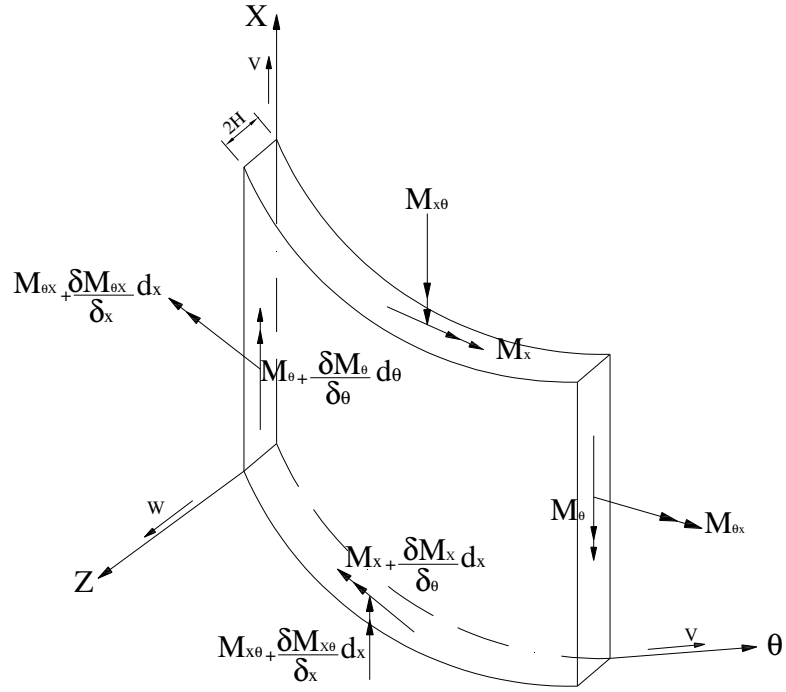
Kabuller:

- Kabuk kalınlığı, kabuğun diğer boyutlarına nazaran küçüktür.
- Sehimler, kabuk kalınlığına nazaran küçüktür. (2.mertebe terimleri ihmal edilebilir.)

- c) Kabuk ortalama yüzeye dik doğrultuda tesir eden normal gerilmeler, ihmal edilebilecek kadar küçüktür.
- d) Deformasyondan önce kabuk yüzeyine dik olan bir doğru, deformasyondan sonra da dik ve o yüzeyin normali yüzeyinde olur. (Kirchhoff – Love hipotezi)
- e) Malzeme homojen ve lineer elastiktir. Hooke Kanunu geçerlidir.



Şekil 3.1 Kabuk elemanına etkiyen kesit tesirleri ve yönleri



Şekil 3.2 Kabuk elemanına etkiyen momentler

Kabuk Denge Denklemleri

1) $\Sigma x = 0;$

$$-N_x \times R \times d\theta + (N_x + \frac{\partial N_x}{\partial x} \times dx) \times R \times d\theta - N_{\theta x} \times dx + (N_{\theta x} + \frac{\partial N_{\theta x}}{\partial x} \times dx) \times dx + P_x \times dx \times R \times d\theta = 0$$

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{1}{R} \times \frac{\partial N_{\theta x}}{\partial \theta} + P_x = 0 \quad (3.24)$$

2) $\Sigma \theta = 0;$

$$(N_{\theta x} + \frac{\partial N_{\theta x}}{\partial x} \times dx) \times R \times d\theta - dx - N_{\theta} \times dx - N_{x\theta} + R \times d\theta + (N_{x\theta} + \frac{\partial N_{x\theta}}{\partial x} \times dx) \times R \times d\theta$$

$$-Q_{\theta} \times dx \times d\theta + P_{\theta} \times R \times d\theta = 0$$

$$\frac{\partial N_{x\theta}}{\partial x} + \frac{1}{R} \times \frac{\partial N_{\theta}}{\partial \theta} - \frac{1}{R} \times Q_{\theta} + P_{\theta} = 0 \quad (3.25)$$

$$3) \Sigma Z = 0;$$

$$-Q_x \times R \times d\theta + (Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} \times dx) \times R \times d\theta - Q \times dx + (Q_\theta \times \frac{\partial Q_\theta}{\partial \theta} d\theta) \times dx$$

$$+ N_\theta \times dx \times d\theta + P_z \times dx \times R \times d\theta = 0$$

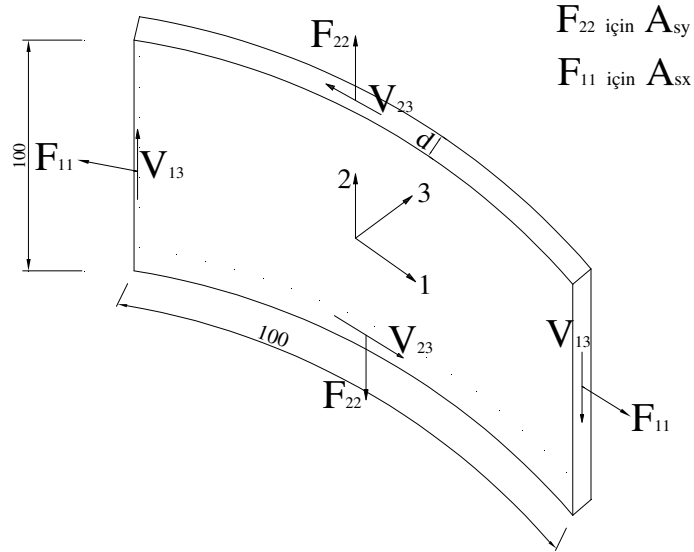
$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{1}{R} \times \frac{\partial Q_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R} \times N_\theta + P_z = 0 \quad (3.26)$$

$$4) \Sigma M_x = 0; \quad \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{1}{R} \times \frac{\partial M_{\theta x}}{\partial \theta} - Q_x = 0 \quad (3.27)$$

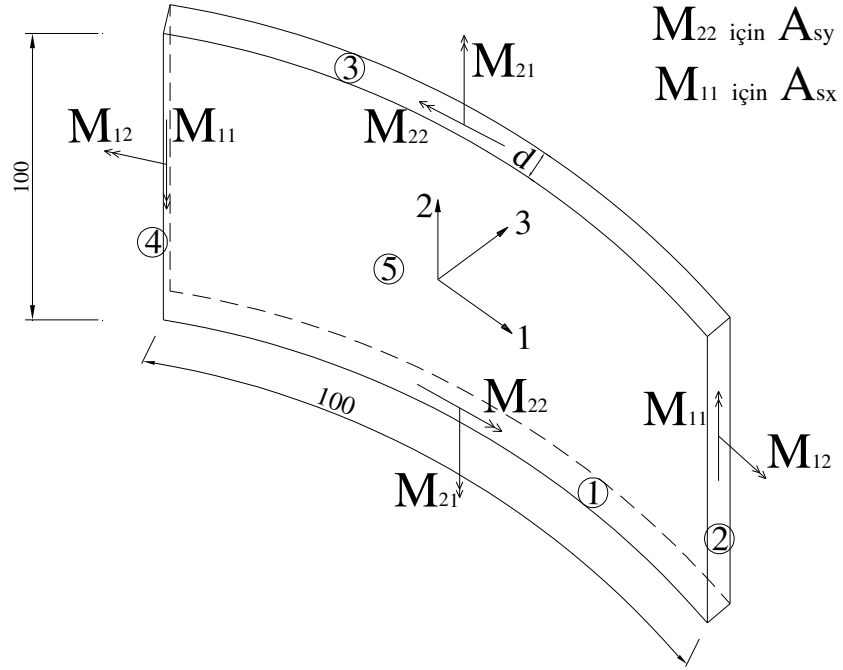
$$5) \Sigma M_\theta = 0; \quad \frac{\partial M_{x\theta}}{\partial x} + \frac{1}{R} \times \frac{\partial M_\theta}{\partial \theta} - Q_\theta = 0 \quad (3.28)$$

$$6) \Sigma M_z = 0; \quad (N_{x\theta} - N_{\theta x}) + \frac{M_{\theta x}}{R} = 0 \quad (3.29)$$

Sap2000 programında kabul edilen gerilme ve momentlerin yön doğrultuları;



Şekil 3.3 Perde elemanında oluşan gerilmeler



Şekil 3.4 Perde elemanında meydana gelen momentler

Ayrıca silomuzun perde elemanı dairesel olduğu için yüzeye gelen kuvvet SAP2000 programında Şekil 3.4’de gösterilen (5) yüzeyine basınç biçiminde silo içindeki malzemenin kütle ve ağırlıkları sonlu elemanlar metoduyla bölünmüş perde elemanına basınç biçiminde etki edilir.

1 yüzeyi : 2 Eksen (-)

4 yüzeyi : 1 Eksen (-)

2 yüzeyi : 1 Eksen (+)

5 yüzeyi : 3 Eksen (-)

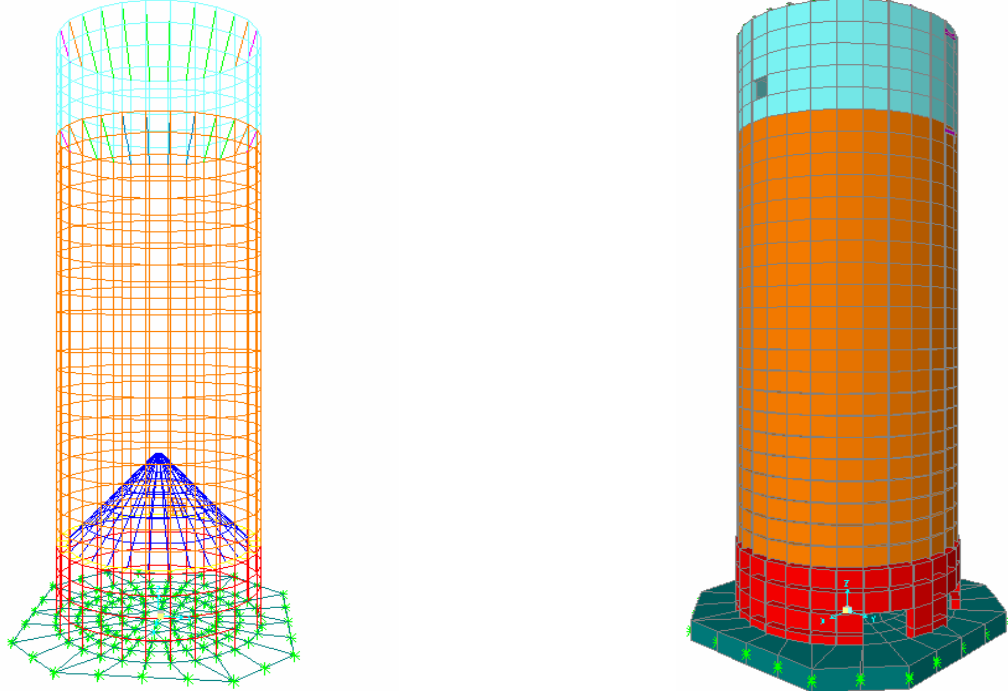
3 yüzeyi : 2 Eksen (+)

6 yüzeyi : 3 Eksen (+)

BÖLÜM IV

SAYISAL UYGULAMA

Uygulama: Dairesel Silo ve Bunker Hesabı



Şekil 4.1: Çimento silosu (3D)

Kullanılan Malzeme

Perdeler, Bunker ve Kiriş.....: BS40 / BÇ III

Radye Temel.....: BS30 / BÇ III

Silo çapı (R).....: 20 m

Silo Toplam Yüksekliği.....: 60 m

Silodaki Malzeme Yüksekliği.....: 42 m

Taban Seviye Kotu.....: 0.00 m

Ters Bunker Kotu.....: 8.00 m

Perde₁ kalınlık (0.00 - 8.00 kotlar arası).....: 0.80 m

Perde₂ kalınlık (8.00 – 50.00 kotlar arası).....: 0.40 m

Perde₃ kalınlık (50.00 – 60.00 kotlar arası).....: 0.30 m

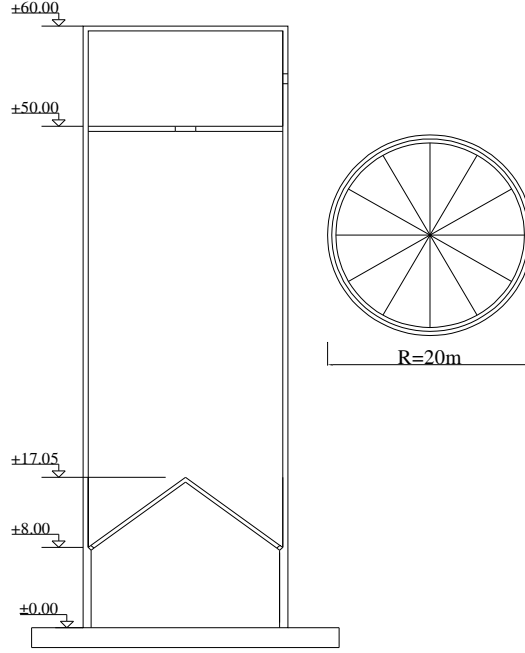
Radye Temel kalınlık.....: 2.00 m

Depo Edilen Malzeme (Portland Çimentosu)....: $\gamma = 1.47 \text{ t/m}^3$

İçsel Sürtünme Açısı.....: $\psi = 28^\circ$

Zemin Emniyet Gerilmesi.....: $q_{zem} = 50t/m^2$

Zemin Yatak Katsayısı.....: $K_0 = 2500t/m^3$



Şekil 4.2: Çimento silosu kesit ve plan görünüşü

4.1 Yükleme Hesapları:

4.1.1 Sükunet Durumu:

$$\psi' = \text{Max } \psi = 28^\circ$$

$$\mu = \tan \psi' = \tan 28 = 0.532 \quad (\text{Cidar Sürtünme Katsayısı})$$

$$r_h = \frac{A}{u} = \frac{\Pi \times d^2}{4 \times \Pi \times d} = \frac{d}{4} = \frac{19,20}{4} = 4.8m \quad (\text{Hidrolik Yarıçap})$$

$$P_0 = \gamma \times r_h = 1.47 \times 4.8 = 7.06t / m^2$$

$$\lambda = \tan(45 - \Psi / 2) \quad (\text{Denge konumundaki aktif malzeme basınç katsayısı})$$

$$\lambda = \tan(45 - 28/2) = 0.361$$

$$Z_0 = \frac{r_h}{\lambda \times \mu} = \frac{4.8}{0.361 \times 0.532} = 25m$$

$$P_{\max d} = \frac{P_0}{\lambda \times \mu} = \frac{7.06}{0.361 \times 0.532} = 36.37t / m^2$$

$P_{\max d}$ (Z= 25m derinliğinde üstteki malzemenin alttaki malzemeye uyguladığı basınç kuvveti)

$$P_{\max y} = \frac{P_0}{\mu} = \frac{7.06}{0.532} = 13.27t / m^2$$

$P_{\max y}$ (Z= 25m derinliğinde silo içindeki malzemenin silo çeperine uyguladığı dik basınç kuvveti)

$$P_{\max s} = P_0 = 7.06t / m^2$$

$P_{\max s}$ (Z= 25m derinliğinde silo içindeki malzeme ile silo çeperi arasındaki sürtünme kuvveti)

4.1.2 Doldurma Durumu:

$$\psi' = 0.75 \times \psi = 21^\circ$$

$$\mu = \tan \psi' = \tan 21 = 0.384 \quad (\text{Cidar Sürtünme Katsayısı})$$

$$r_h = 4.80m$$

$$P_0 = 7.06t / m^2$$

$$\lambda = 0.50$$

$$Z_0 = \frac{r_h}{\lambda \times \mu} = \frac{4.8}{0.50 \times 0.384} = 25m$$

$$P_{\max d} = \frac{P_0}{\lambda \times \mu} = \frac{7.06}{0.50 \times 0.384} = 36.77t / m^2$$

$$P_{\max y} = \frac{P_0}{\mu} = \frac{7.06}{0.384} = 18.40t / m^2$$

$$P_{\max s} = P_0 = 7.06t / m^2$$

4.1.3 Boşaltma Durumu:

$$\psi' = 0.60 \times \psi = 16.8^\circ$$

$$\mu = \tan \psi' = \tan 16.8 = 0.302 \quad (\text{Cidar Sürtünme Katsayısı})$$

$$r_h = 4.80m$$

$$P_0 = 7.06t / m^2$$

$$\lambda = 1.00$$

$$Z_0 = \frac{r_h}{\lambda \times \mu} = \frac{4.8}{1.00 \times 0.302} = 15.90m$$

$$P_{\max d} = \frac{P_0}{\lambda \times \mu} = \frac{7.06}{1.00 \times 0.302} = 23.38t / m^2$$

$$P_{\max y} = \frac{P_0}{\mu} = \frac{7.06}{0.302} = 23.38t / m^2$$

$$P_{\max s} = P_0 = 7.06t / m^2$$

4.1.1 Sükunet Durumu Hesabı:

$$\phi(\xi) = 1 - e^{\frac{-Z}{Z_0}} = 1 - e^{(-0.04 \times Z)} = t / m^2$$

$$P_{d(z)} = P_{d(\max)} \times \phi(\xi) = 36.76 \times (1 - e^{-0.04 \times Z}) = t / m^2$$

$$P_{y(z)} = P_{y(\max)} \times \phi(\xi) = 18.40 \times (1 - e^{-0.04 \times Z}) = t / m^2$$

$$P_{s(z)} = P_{s(\max)} \times \phi(\xi) = 7.06 \times (1 - e^{-0.04 \times Z}) = t / m^2$$

Z = 8 – 50m arası P_d , P_y ve P_s Excelde hesap edilip ; 2x2 karelaja göre Sap2000’de silo çeperlerine etki ettirilir.Aynı işlem doldurma ve boşaltma için de geçerlidir.

Çizelge 4.1: Sükunet durumundaki P_d değerleri

Z (m)	$P_{d(\max)}$ (t/m ²)	$\Phi(\xi)$	$P_{d(z)}$ (t/m ²)
30	36,76	0,69881	25,688
32	36,76	0,72196	26,539
34	36,76	0,74334	27,325
36	36,76	0,76307	28,051
38	36,76	0,78129	28,720
40	36,76	0,79810	29,338
42	36,76	0,81363	29,909

Çizelge 4.2: Sükunet durumundaki P_y değerleri

Z (m)	$P_{y(\max)}$ (t/m ²)	$\Phi(\xi)$	$P_{y(z)}$ (t/m ²)
0	18,40	0,00000	0,000
2	18,40	0,07688	1,415
4	18,40	0,14786	2,721
6	18,40	0,21337	3,926
8	18,40	0,27385	5,039
10	18,40	0,32968	6,066
12	18,40	0,38122	7,014
14	18,40	0,42879	7,890
16	18,40	0,47271	8,698
18	18,40	0,51325	9,444
20	18,40	0,55067	10,132
22	18,40	0,58522	10,768
24	18,40	0,61711	11,355

26	18,40	0,64655	11,896
28	18,40	0,67372	12,396
30	18,40	0,69881	12,858
32	18,40	0,72196	13,284
34	18,40	0,74334	13,677
36	18,40	0,76307	14,041
38	18,40	0,78129	14,376
40	18,40	0,79810	14,685
42	18,40	0,81363	14,971

Çizelge 4.3: Sükunet durumundaki Ps değerleri

Z (m)	$P_{s(max)}$ (t/m ²)	$\Phi(\xi)$	$P_{s(z)}$ (t/m ²)
0	7,06	0,00000	0,000
2	7,06	0,07688	0,543
4	7,06	0,14786	1,044
6	7,06	0,21337	1,506
8	7,06	0,27385	1,933
10	7,06	0,32968	2,328
12	7,06	0,38122	2,691
14	7,06	0,42879	3,027
16	7,06	0,47271	3,337
18	7,06	0,51325	3,624
20	7,06	0,55067	3,888
22	7,06	0,58522	4,132
24	7,06	0,61711	4,357
26	7,06	0,64655	4,565
28	7,06	0,67372	4,756
30	7,06	0,69881	4,934
32	7,06	0,72196	5,097
34	7,06	0,74334	5,248
36	7,06	0,76307	5,387
38	7,06	0,78129	5,516
40	7,06	0,79810	5,635
42	7,06	0,81363	5,744

4.1.2 Doldurma Durumu Hesabı:

$$\phi(\xi) = 1 - e^{\frac{-Z}{Z_0}} = 1 - e^{(-0.04 \times Z)} = t / m^2$$

$$P_{d(Z)} = P_{d(\max)} \times \phi(\xi) = 36.77 \times (1 - e^{-0.04 \times Z}) = t / m^2$$

$$P_{y(Z)} = P_{y(\max)} \times \phi(\xi) = 18.40 \times (1 - e^{-0.04 \times Z}) = t / m^2$$

$$P_{s(Z)} = P_{s(\max)} \times \phi(\xi) = 7.06 \times (1 - e^{-0.04 \times Z}) = t / m^2$$

Z = 8 – 50m arası P_d , P_y ve P_s Excelde hesap edilip ; 2×2 karelaja göre Sap2000’de silo çeperlerine etki ettirilir.

Çizelge 4.4: Doldurma durumundaki P_d değerleri

Z (m)	$P_{d(\max)}$ (t/m ²)	$\Phi(\xi)$	$P_{d(Z)}$ (t/m ²)
30	36,77	0,69881	25,695
32	36,77	0,72196	26,547
34	36,77	0,74334	27,333
36	36,77	0,76307	28,058
38	36,77	0,78129	28,728
40	36,77	0,79810	29,346
42	36,77	0,81363	29,917

Çizelge 4.5: Doldurma durumundaki P_y değerleri

Z (m)	$P_{y(\max)}$ (t/m ²)	$\Phi(\xi)$	$P_{y(Z)}$ (t/m ²)
0	18,40	0,00000	0,000
2	18,40	0,07688	1,415
4	18,40	0,14786	2,721
6	18,40	0,21337	3,926
8	18,40	0,27385	5,039
10	18,40	0,32968	6,066
12	18,40	0,38122	7,014
14	18,40	0,42879	7,890

16	18,40	0,47271	8,698
18	18,40	0,51325	9,444
20	18,40	0,55067	10,132
22	18,40	0,58522	10,768
24	18,40	0,61711	11,355
26	18,40	0,64655	11,896
28	18,40	0,67372	12,396
30	18,40	0,69881	12,858
32	18,40	0,72196	13,284
34	18,40	0,74334	13,677
36	18,40	0,76307	14,041
38	18,40	0,78129	14,376
40	18,40	0,79810	14,685
42	18,40	0,81363	14,971

Çizelge 4.6: Doldurma durumundaki P_s değerleri

Z (m)	$P_{s(max)}$ (t/m ²)	$\Phi(\xi)$	$P_{s(Z)}$ (t/m ²)
0	7,06	0,00000	0,000
2	7,06	0,07688	0,543
4	7,06	0,14786	1,044
6	7,06	0,21337	1,506
8	7,06	0,27385	1,933
10	7,06	0,32968	2,328
12	7,06	0,38122	2,691
14	7,06	0,42879	3,027
16	7,06	0,47271	3,337
18	7,06	0,51325	3,624
20	7,06	0,55067	3,888
22	7,06	0,58522	4,132
24	7,06	0,61711	4,357
26	7,06	0,64655	4,565
28	7,06	0,67372	4,756
30	7,06	0,69881	4,934
32	7,06	0,72196	5,097

34	7,06	0,74334	5,248
36	7,06	0,76307	5,387
38	7,06	0,78129	5,516
40	7,06	0,79810	5,635
42	7,06	0,81363	5,744

4.1.3 Boşaltma Durumu Hesabı:

$$\phi(\xi) = 1 - e^{\frac{-Z}{Z_0}} = 1 - e^{(-0.063 \times Z)} = t / m^2$$

$$P_{d(Z)} = P_{d(\max)} \times \phi(\xi) = 23.38 \times (1 - e^{-0.063 \times Z}) = t / m^2$$

$$P_{y(Z)} = P_{y(\max)} \times \phi(\xi) = 23.38 \times (1 - e^{-0.063 \times Z}) = t / m^2$$

$$P_{s(Z)} = P_{s(\max)} \times \phi(\xi) = 7.06 \times (1 - e^{-0.063 \times Z}) = t / m^2$$

Z = 8 – 50m arası P_d , P_y ve P_s excelde hesap edilip ; 2×2 karelaja göre Sap2000’de silo çeperlerine etki edilir.

Çizelge 4.7: Boşaltma durumundaki Pd değerleri

Z (m)	P _{d(max)} (t/m ²)	Φ(ξ)	P _{d(z)} (t/m ²)
30	23,38	0,84893	19,848
32	23,38	0,86681	20,266
34	23,38	0,88258	20,635
36	23,38	0,89648	20,960
38	23,38	0,90874	21,246
40	23,38	0,91954	21,499
42	23,38	0,92907	21,722

Çizelge 4.8: Boşaltma durumundaki P_y değerleri

Z (m)	$P_{y(max)}$ (t/m^2)	$\Phi_{(\xi)}$	$P_{y(z)}$ (t/m^2)
0	23,38	0,00000	0,000
2	23,38	0,11839	2,768
4	23,38	0,22276	5,208
6	23,38	0,31477	7,359
8	23,38	0,39589	9,256
10	23,38	0,46741	10,928
12	23,38	0,53046	12,402
14	23,38	0,58605	13,702
16	23,38	0,63505	14,848
18	23,38	0,67826	15,858
20	23,38	0,71635	16,748
22	23,38	0,74993	17,533
24	23,38	0,77953	18,225
26	23,38	0,80563	18,836
28	23,38	0,82864	19,374
30	23,38	0,84893	19,848
32	23,38	0,86681	20,266
34	23,38	0,88258	20,635
36	23,38	0,89648	20,960
38	23,38	0,90874	21,246
40	23,38	0,91954	21,499
42	23,38	0,92907	21,722

Çizelge 4.9: Boşaltma durumundaki P_s değerleri

Z (m)	$P_{s(max)}$ (t/m^2)	$\Phi_{(\xi)}$	$P_{s(z)}$ (t/m^2)
0	7,06	0,00000	0,000
2	7,06	0,11839	0,836
4	7,06	0,22276	1,573
6	7,06	0,31477	2,222
8	7,06	0,39589	2,795
10	7,06	0,46741	3,300
12	7,06	0,53046	3,745

14	7,06	0,58605	4,137
16	7,06	0,63505	4,483
18	7,06	0,67826	4,788
20	7,06	0,71635	5,057
22	7,06	0,74993	5,294
24	7,06	0,77953	5,503
26	7,06	0,80563	5,688
28	7,06	0,82864	5,850
30	7,06	0,84893	5,993
32	7,06	0,86681	6,120
34	7,06	0,88258	6,231
36	7,06	0,89648	6,329
38	7,06	0,90874	6,416
40	7,06	0,91954	6,492
42	7,06	0,92907	6,559

4.1.4 Deprem Hesabı:

Çimento Silosu Aydın'nın Söke ilçesinde projelendirilmiştir. Buna göre Aydın 1. Deprem bölgesinde bulunmaktadır. Deprem bölgelerine göre değişen etkin yer ivme katsayısı $A_0=0.40$ alınmıştır.

Bina önem katsayısı (I) konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları vb. girmektedir. Bu nedenle $I=1$ alınmalıdır.

Çimento silosunun oturduğu zemin **Z2** yerel zemin sınıfına girmektedir.

$T_A=0.15$ $T_B=0.40$

Çizelge 4.10: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
(Afet yapılar hakkında yapılacak yapılar hakkında yönetmelik)

BİNA TÜRÜ OLMAYAN YAPILAR İÇİN TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞ KATSAYISI

Yapı Türü	R
Kütlesi yüksekliği boyunca yayılı uzay kafes kirişli çelik kuleler, silo ve endüstri bacaları	4

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, silolar ve endüstri bacaları için R=4 seçilmelidir.

i) Hesap Yönteminin Seçilmesi: Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler;

- a) Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- b) Mod Birleştirme Yöntemi
- c) Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

yukarıda verilen yöntemler tüm binalar ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilir. 1.ve 2. Deprem bölgelerinde, temel üst kotundan itibaren ölçülen toplam yüksekliği 25.00 metreden yüksek olmayan yapılar Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile hesaplanır. Bizim yapımızın yerden yüksekliği 60.00 metredir. O halde Mod Birleştirme Yöntemi ile hesap edilecektir.

Mod Birleştirme Yöntemi: Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yer değıştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatiksels olarak birleştirilmesi ile elde edilir.

Hesaba katılması gerekli titreşim modu sayısı, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir mod için hesaplanan etkin modal kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından az olmaması kuralına göre belirlenecektir.

Silo içindeki malzeme deprem sırasında yanal çeperlere kuvvet uygular. Bu kuvvet salınım olduğundan beraber deprem sarsıntısından sonra da bu salınım belli bir süre devam eder. Bu kuvvet her 2m'lik katlar boyunca 48– 16 m'ler arası yapılır.

Depo Edilen Malzeme (Portland Çimento) : $\gamma = 1.47 \text{ t/m}^3$

Silo çapı (R) : 20 m

Deprem olduğu sırada silonun %100 çimento ile dolu olduğu varsayılarak ve bu koşula göre hesap edilirse;

$$\text{Silo Alanı} : A_1 = \frac{\Pi \times R^2}{4} = \frac{\Pi \times 19.20^2}{4} \cong 289.53m^2$$

Sap2000'de 2×2 m'lik silo çeperi parçalandığına göre ve bu çeperlerdeki birleşim noktalarına gelen kütle hesaplanırsa;

h= 50.m'deki çeperlere uygulanacak kütle;

Silonun 2 m'lik yüksekliğinin yarısı alınır; $V_1 = 289.53 \times 1 = 289.53 \text{ m}^3$

Çimento Ağırlığı : $G_1 = V_1 \times \gamma = 289.53 \times 1.47 = 425.61t$

Her bir çeperdeki 30 adet birleşim noktasına gelen kütle:

$$F_1 = \frac{G_1}{30 \times g} = \frac{425.61}{30 \times 9.81} \cong 1.45 \text{ tsn}^2 / m$$

h= 48 – 18 m'ler arası çeperlere uygulanacak kütleler;

Silonun 2 m'lik yüksekliğine göre; $V_2 = 289.53 \times 2 = 579.06 \text{ m}^3$

Çimento Ağırlığı : $G_2 = V_2 \times \gamma = 579.06 \times 1.47 = 851.22t$

Her bir çeperdeki 30 adet birleşim noktasına gelen kütle:

$$F_2 = \frac{G_2}{30 \times g} = \frac{851.22}{30 \times 9.81} \cong 2.89 \text{ tsn}^2 / m$$

16.m'deki ters bunkerden dolayı; kuvvet azalır. Ters bunkere de dağıtılır.

$$V_3 = \left[\frac{\Pi \times R^2 \times h}{4} - \frac{h}{3} \times \frac{\Pi \times (R_2^2 + R_1 \times R_2 + R_1^2)}{4} \right]$$

$$V_3 = \left[\frac{19.20^2 \times \Pi \times 2}{4} - \frac{2}{3} \times \frac{(3.44^2 + 3.44 \times 0.86 + 0.86^2)}{4} \right] \cong 576.47 \text{ m}^3$$

Çimento Ağırlığı : $G_3 = V_3 \times \gamma = 576.47 \times 1.47 = 847.41t$

Bunkerden dolayı 60 noktaya kuvvet uygulanırsa;

$$\text{Kütle : } F_3 = \frac{G_3}{60 \times g} = \frac{847.41}{60 \times 9.81} \cong 1.44 \text{ tsn}^2 / m$$

14 m'deki ters bunkerde ve silo çerperinde meydana gelen kütle;

$$V_4 = \left[\frac{\Pi \times R^2 \times h}{4} - \frac{h}{3} \times \frac{\Pi \times (R_3^2 + R_3 \times R_2 + R_2^2)}{4} \right]$$

$$V_4 = \left[\frac{\Pi \times 19.20^2 \times 2}{4} - \frac{2}{3} \times \frac{\Pi \times (6.88^2 + 6.88 \times 3.44 + 3.44^2)}{4} \right] = 535.69 m^3$$

$$\text{Çimento Ağırlığı : } G_4 = V_4 \times \gamma = 535.69 \times 1.47 = 787.46 t$$

Bunkerden dolayı 60 noktaya kütle uygulanırsa;

$$\text{Kütle : } F_4 = \frac{G_4}{60 \times g} = \frac{787.46}{60 \times 9.81} \cong 1.34 \text{ tsn}^2 / m$$

12 m'deki ters bunkerde ve silo çerperinde meydana gelen kuvvet;

$$V_5 = \left[\frac{\Pi \times R^2 \times h}{4} - \frac{h}{3} \times \frac{\Pi \times (R_4^2 + R_4 \times R_3 + R_3^2)}{4} \right]$$

$$V_5 = \left[\frac{\Pi \times 19.20^2 \times 2}{4} - \frac{2}{3} \times \frac{\Pi \times (10.32^2 + 10.32 \times 6.88 + 6.88^2)}{4} \right] = 461.33 m^3$$

$$\text{Çimento Ağırlığı : } G_5 = V_5 \times \gamma = 461.33 \times 1.47 = 678.16 t$$

Bunkerden dolayı 60 noktaya kütle uygulanırsa;

$$\text{Kütle : } F_5 = \frac{G_5}{60 \times g} = \frac{678.16}{60 \times 9.81} \cong 1.15 \text{ tsn}^2 / m$$

10 m'deki ters bunkerde ve silo çeperinde meydana gelen kütle;

$$V_6 = \left[\frac{\Pi \times R^2 \times h}{4} - \frac{h}{3} \times \frac{\Pi \times (R_5^2 + R_5 \times R_4 + R_4^2)}{4} \right]$$

$$V_6 = \left[\frac{\Pi \times 19.20^2 \times 2}{4} - \frac{2}{3} \times \frac{\Pi \times (13.76^2 + 13.76 \times 10.32 + 10.32^2)}{4} \right] = 349.80 m^3$$

$$\text{Çimento Ağırlığı : } G_6 = V_6 \times \gamma = 349.80 \times 1.47 = 514.21 t$$

Bunkerden dolayı 60 noktaya kuvvet uygulanırsa ;

$$\text{Kuvvet : } F_6 = \frac{G_6}{60 \times g} = \frac{514.21}{60 \times 9.81} \cong 0.87 tsn^2 / m$$

8 m'deki ters bunkerde ve silo çeperinde meydana gelen kütle;

$$V_7 = \left[\frac{\Pi \times R^2 \times h}{4} - \frac{h}{3} \times \frac{\Pi \times (R_6^2 + R_6 \times R_5 + R_5^2)}{4} \right]$$

$$V_7 = \left[\frac{\Pi \times 19.20^2 \times 2}{4} - \frac{2}{3} \times \frac{\Pi \times (17.20^2 + 17.20 \times 13.76 + 13.76^2)}{4} \right] = 201.10 m^3$$

$$\text{Çimento Ağırlığı : } G_7 = V_7 \times \gamma = 201.1 \times 1.47 = 295.62 t$$

Bunkerden dolayı 60 noktaya kütle uygulanırsa;

$$\text{Kütle : } F_7 = \frac{G_7}{60 \times g} = \frac{295.62}{60 \times 9.81} \cong 0.50 tsn^2 / m$$

Çizelge 4.11: Özel tasarım ivme spektrumları

T_A	T_B	T_1	$\tan(84.29)$	$S(T_1)$
		0,00	10,00	1,000
		0,05	10,00	1,500
		0,10	10,00	2,000
0,15		0,15	10,00	2,500
		0,20		2,500
		0,25		2,500
		0,30		2,500
		0,35		2,500
	0,40	0,40		2,500
	0,40	0,45		2,275
	0,40	0,50		2,091
	0,40	0,55		1,938
	0,40	0,60		1,807
	0,40	0,65		1,695
	0,40	0,70		1,598
	0,40	0,75		1,512
	0,40	0,80		1,436
	0,40	0,85		1,368
	0,40	0,90		1,307
	0,40	0,95		1,251
	0,40	1,00		1,201
	0,40	1,10		1,113
	0,40	1,20		1,038
	0,40	1,30		0,974
	0,40	1,40		0,918
	0,40	1,50		0,868
	0,40	1,60		0,825
	0,40	1,70		0,786
	0,40	1,80		0,751
	0,40	1,90		0,719
	0,40	2,00		0,690
	0,40	2,10		0,663
	0,40	2,20		0,639
	0,40	2,30		0,617
	0,40	2,40		0,596
	0,40	2,50		0,577

4.1.5 Kar Yüğü Hesabı:

Kar yüğü hesap değeri P_k için alınacak yük, kar yağışı artış şartlarına göre değışkenlik gösterir. Kar yüğü P_{k0} , hareketli yük sınıfına girer. Bunun bağı olduğı etkenler coğrafik ve meteorolojik şartlardır. (Kar yağmayan yerlerde kar yüğü hesap değeri “0” alınır.

30° 'ye kadar eğimli çatılarda kar yüğü hesap değeri (P_k), kar yüğü (P_{k0}) değerine eşit kabul edilir. Çatı alanı, planda düzgün yayılı yük olarak dikkate alınır.

$$P_k = m \times P_{k0}$$

$$\alpha = 0 - 30 \rightarrow m = 1 \quad \text{O halde ; } P_k = 1 \times P_{k0} = P_{k0}$$

Kar yüğü (P_{k0}) değeri yapının coğrafik olarak denizden yüksekliğine göre; TS498'de tablo halinde belirtilmiştir. Yapımız Aydın'ın Söke ilçesinde olup denizden yüksekliği $h \leq 200m$ 'dir ve I.Bölgede bulunmaktadır. Bu nedenle $P_{k0} = 0.075 \text{ t/m}^2$ alınır.

$$P_k = m \times P_{k0} = 1 \times 0.075 = 0.075 \text{ t/m}^2$$

Çimento silosu 60.m yüksekliğinde üstü kapalı ve yatayla 0° açı yapmaktadır. Bu yüzden $\cos 0 = 1$ alınır. 60. metrede bulunan çelik kirişlerin aralıkları 2.05 – 1.05 arasın da değışmektedir. Bu aralıklara göre

$$P_{k1} = 0.075 \times 2.05 = 0.154 \text{ t/m}$$

$$P_{k2} = 0.075 \times 1.98 = 0.149 \text{ t/m}$$

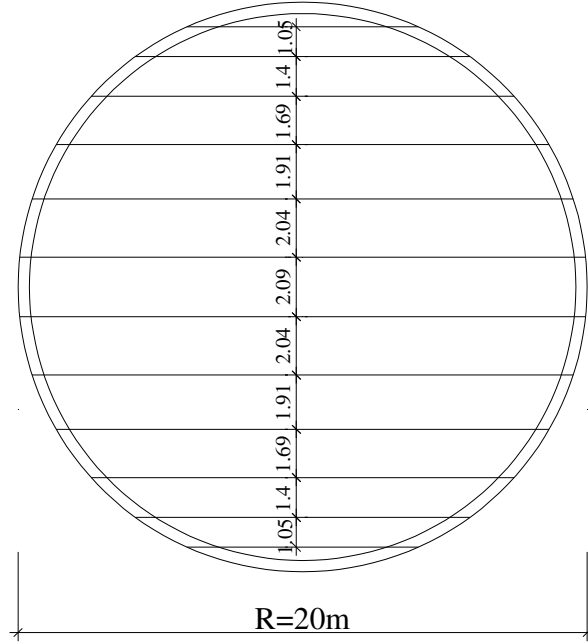
$$P_{k3} = 0.075 \times 1.98 = 0.149 \text{ t/m}$$

$$P_{k4} = 0.075 \times 1.80 = 0.135 \text{ t/m}$$

$$P_{k5} = 0.075 \times 1.55 = 0.116 \text{ t/m}$$

$$P_{k6} = 0.075 \times 1.23 = 0.093 \text{ t/m}$$

$$P_{k7} = 0.075 \times 1.05 = 0.079 \text{ t/m}$$



Şekil 4.3: Çimento silosu +60.00m kotu döşeme katı planı

4.1.6 Rüzgâr Yüğü Hesabı:

TS498’de yükseklikle değişen Emme (q t/m²), Rüzgâr hızı (Vm/sn)

Çizelge 4.12: Rüzgâr yüğü tablosu (TS498)

Zeminden Yükseklik (m)	Rüzgâr Hızı (V) (m/sn)	Emme (q) (t/m2)
0 - 8	28	0,05
9 - 20	36	0,08
21 - 100	42	0,11
> 100	46	0,13

a) Rüzgârın soldan esmesi halinde aşağıdaki gibi hesaplanır.

i) Silonun 21 – 60m’ler arasında $q=0.110$ t/m² değerine göre hesap edilirse;

Silonun Çevresinin Hesabı

$$\text{Silo Çevresi} = 2 \times \Pi \times r = 2 \times \Pi \times 10 = 62.83 \text{ m}$$

$$\text{Bir yüzeydeki bütün Çeperlerin Alanı} = 62.83 \times 2 = 125.66 m^2$$

$$21 - 60 \text{ metreler arası siloya gelen rüzgâr gerilmesi} = 125.66 \times 0.11 = 13.83 t$$

$$\text{Toplam çeperlerin alanına gelen gerilme} = 1.2 \times \frac{13.83}{2 \times 2} = 4.15 t / m^2$$

Toplam bir ekseninde 30 adet çeper olmakla beraber, $\cos \alpha$ ile doğru orantılıdır.

$$\text{X1 cephesine gelen yük} : \frac{4.15 \times 0.8}{1.2} = 2.77 t / m^2$$

$$P_r \times \cos 0 + 2 \times P_r \times \cos 12 + 2 \times P_r \times \cos 24 + 2 \times P_r \times \cos 36 + 2 \times P_r \times \cos 48 + 2 \times P_r \times \cos 60 + \\ 2 \times P_r \times \cos 72 + 2 \times P_r \times \cos 84 = 2.77 t / m^2$$

$$P_r = 0.290 t / m^2$$

$$P_{r1} = 0.290 \times \cos 0 = 0.290 t / m^2$$

$$P_{r2} = 0.290 \times \cos 12 = 0.284 t / m^2$$

$$P_{r3} = 0.290 \times \cos 24 = 0.265 t / m^2$$

$$P_{r4} = 0.290 \times \cos 36 = 0.235 t / m^2$$

$$P_{r5} = 0.290 \times \cos 48 = 0.195 t / m^2$$

$$P_{r6} = 0.290 \times \cos 60 = 0.145 t / m^2$$

$$P_{r7} = 0.290 \times \cos 72 = 0.090 t / m^2$$

$$P_{r8} = 0.290 \times \cos 84 = 0.031 t / m^2$$

$$\text{X2 cephesine gelen gerilme} : \frac{4.15 \times 0.4}{1.2} = 1.384 t / m^2$$

$$P_r \times \cos 0 + 2 \times P_r \times \cos 12 + 2 \times P_r \times \cos 24 + 2 \times P_r \times \cos 36 + 2 \times P_r \times \cos 48 + 2 \times P_r \times \cos 60 + \\ 2 \times P_r \times \cos 72 + 2 \times P_r \times \cos 84 = 1.384 t / m^2$$

$$P_r = 0.145 t / m^2$$

$$P_{r1} = 0.145 \times \cos 0 = 0.145t / m^2$$

$$P_{r2} = 0.145 \times \cos 12 = 0.142t / m^2$$

$$P_{r3} = 0.145 \times \cos 24 = 0.133t / m^2$$

$$P_{r4} = 0.145 \times \cos 36 = 0.117t / m^2$$

$$P_{r5} = 0.145 \times \cos 48 = 0.097t / m^2$$

$$P_{r6} = 0.145 \times \cos 60 = 0.073t / m^2$$

$$P_{r7} = 0.145 \times \cos 72 = 0.045t / m^2$$

$$P_{r8} = 0.145 \times \cos 84 = 0.015t / m^2$$

ii) Silonun 9 – 20m’ler arasına $q=0.08 t/m^2$ göre hesap edilirse;

Silonun Çevresinin Hesabı:

$$\text{Silo Çevresi} = 2 \times \Pi \times r = 2 \times \Pi \times 10 = 62.83 \text{ m}$$

$$\text{Bir yüzeydeki bütün çeperlerin Alanı} = 62.83 \times 2 = 125.66m^2$$

$$9 – 20 \text{ m’ler arası siloya gelen rüzgâr gerilmesi} = 125.66 \times 0.08 = 10.05t$$

$$\text{Toplam çeperlerin alanına gelen gerilme} = 1.2 \times \frac{10.05}{2 \times 2} = 3.02t / m^2$$

Toplam bir ekseninde 30 adet çeper olmakla beraber, $\cos \alpha$ ile doğru orantılıdır.

$$\text{X1 cephesine gelen yük} : \frac{3.02 \times 0.8}{1.2} = 2.01t / m^2$$

$$P_r \times \cos 0 + 2 \times P_r \times \cos 12 + 2 \times P_r \times \cos 24 + 2 \times P_r \times \cos 36 + 2 \times P_r \times \cos 48 + 2 \times P_r \times \cos 60 + 2 \times P_r \times \cos 72 + 2 \times P_r \times \cos 84 = 2.01t / m^2$$

$$P_r = 0.210t/m^2$$

$$P_{r1} = 0.210 \times \cos 0 = 0.210t / m^2$$

$$P_{r2} = 0.210 \times \cos 12 = 0.205 t / m^2$$

$$P_{r3} = 0.210 \times \cos 24 = 0.192 t / m^2$$

$$P_{r4} = 0.210 \times \cos 36 = 0.170 t / m^2$$

$$P_{r5} = 0.210 \times \cos 48 = 0.141 t / m^2$$

$$P_{r6} = 0.210 \times \cos 60 = 0.105 t / m^2$$

$$P_{r7} = 0.210 \times \cos 72 = 0.065 t / m^2$$

$$P_{r8} = 0.210 \times \cos 84 = 0.022 t / m^2$$

$$\text{X2 cephesine gelen yük : } \frac{3.02 \times 0.4}{1.2} = 1.00 t / m^2$$

$$P_r \times \cos 0 + 2 \times P_r \times \cos 12 + 2 \times P_r \times \cos 24 + 2 \times P_r \times \cos 36 + 2 \times P_r \times \cos 48 + 2 \times P_r \times \cos 60 + 2 \times P_r \times \cos 72 + 2 \times P_r \times \cos 84 = 1.00 t / m^2$$

$$P_r = 0.105 t / m^2$$

$$P_{r1} = 0.105 \times \cos 0 = 0.105 t / m^2$$

$$P_{r2} = 0.105 \times \cos 12 = 0.103 t / m^2$$

$$P_{r3} = 0.105 \times \cos 24 = 0.096 t / m^2$$

$$P_{r4} = 0.105 \times \cos 36 = 0.085 t / m^2$$

$$P_{r5} = 0.105 \times \cos 48 = 0.070 t / m^2$$

$$P_{r6} = 0.105 \times \cos 60 = 0.053 t / m^2$$

$$P_{r7} = 0.105 \times \cos 72 = 0.032 t / m^2$$

$$P_{r8} = 0.105 \times \cos 84 = 0.011 t / m^2$$

iii) Silonun 0 – 8m'ler arasına $q=0.05 t/m^2$ göre hesap edilirse;

Silonun Çevresinin Hesabı

$$\text{Silo Çevresi} = 2 \times \pi \times r = 2 \times \pi \times 10 = 62.83 \text{ m}$$

$$\text{Bir yüzeydeki bütün çeperlerin alanı} = 62.83 \times 2 = 125.66 m^2$$

60.metredeki siloya gelen rüzgâr gerilmesi = $125.66 \times 0.05 = 6.28t$

$$\text{Toplam çeperlerin alanına gelen gerilme} = 1.2 \times \frac{6.28}{2 \times 2} = 1.884t / m^2$$

Toplam bir eksende 30 adet çeper olmakla beraber, $\cos \alpha$ ile doğru orantılıdır.

$$\text{X1 cephesine gelen gerilme : } \frac{1.884 \times 0.8}{1.2} = 1.256t / m^2$$

$$P_r \times \text{Cos}0 + 2 \times P_r \times \text{Cos}12 + 2 \times P_r \times \text{Cos}24 + 2 \times P_r \times \text{Cos}36 + 2 \times P_r \times \text{Cos}48 + 2 \times P_r \times \text{Cos}60 + 2 \times P_r \times \text{Cos}72 + 2 \times P_r \times \text{Cos}84 = 1.256t / m^2$$

$$P_r = 0.131 t/m^2$$

$$P_{r1} = 0.131 \times \text{Cos}0 = 0.131t / m^2$$

$$P_{r2} = 0.131 \times \text{Cos}12 = 0.128t / m^2$$

$$P_{r3} = 0.131 \times \text{Cos}24 = 0.120t / m^2$$

$$P_{r4} = 0.131 \times \text{Cos}36 = 0.106t / m^2$$

$$P_{r5} = 0.131 \times \text{Cos}48 = 0.088t / m^2$$

$$P_{r6} = 0.131 \times \text{Cos}60 = 0.066t / m^2$$

$$P_{r7} = 0.131 \times \text{Cos}72 = 0.041t / m^2$$

$$P_{r8} = 0.131 \times \text{Cos}84 = 0.014t / m^2$$

$$\text{X2 cephesine gelen gerilme : } \frac{1.884 \times 0.4}{1.2} = 0.628t / m^2$$

$$P_r \times \text{Cos}0 + 2 \times P_r \times \text{Cos}12 + 2 \times P_r \times \text{Cos}24 + 2 \times P_r \times \text{Cos}36 + 2 \times P_r \times \text{Cos}48 + 2 \times P_r \times \text{Cos}60 + 2 \times P_r \times \text{Cos}72 + 2 \times P_r \times \text{Cos}84 = 0.628t / m^2$$

$$P_r = 0.066 t/m^2$$

$$P_{r1} = 0.066 \times \text{Cos}0 = 0.066t / m^2$$

$$P_{r2} = 0.066 \times \text{Cos}12 = 0.065t / m^2$$

$$P_{r3} = 0.066 \times \text{Cos}24 = 0.061t / m^2$$

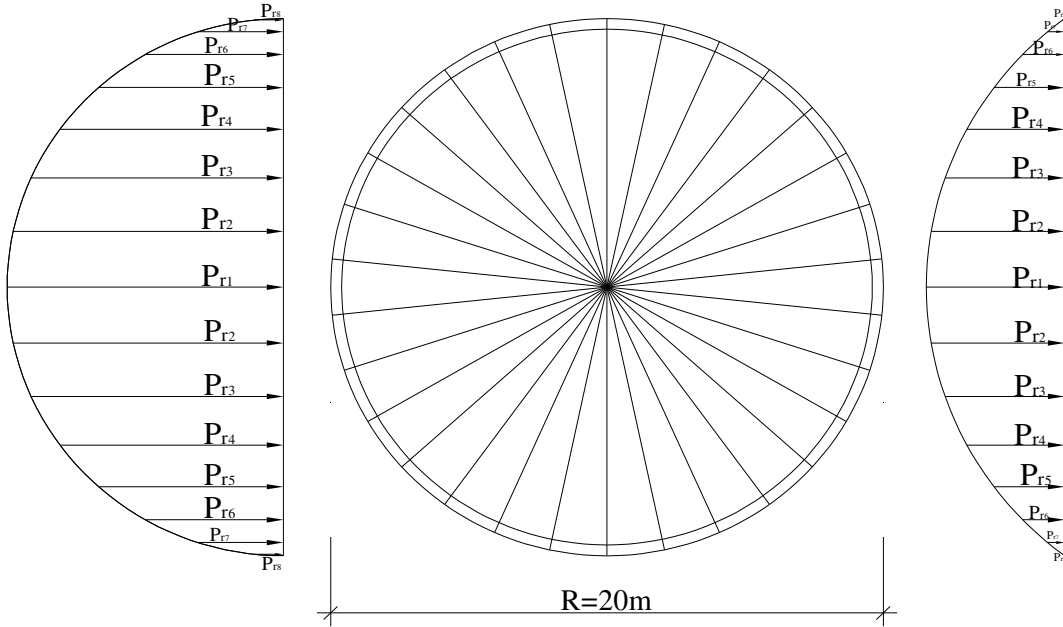
$$P_{r4} = 0.066 \times \cos 36 = 0.054t / m^2$$

$$P_{r5} = 0.066 \times \cos 48 = 0.044t / m^2$$

$$P_{r6} = 0.066 \times \cos 60 = 0.033t / m^2$$

$$P_{r7} = 0.066 \times \cos 72 = 0.021t / m^2$$

$$P_{r8} = 0.066 \times \cos 84 = 0.007t / m^2$$



Şekil 4.4: Silo çeperine uygulanan rüzgar yükleri

b) Rüzgârın sağdan esmesi halinde silonun sağ kısmı basınç, sol tarafı emme çıkar. O halde hesaplar tam ters istikamette silo çeperlerine etki yapılır.

4.1.7 Sıcaklık Değişiminin Hesabı:

h = Silo çeper kalınlığı

T_i = Silolanan malzemenin iç sıcaklığı

T_e = Silonun dış hava sıcaklığı

$$\Delta t = \frac{h}{0.35 + h} \times \Delta T \text{ } ^\circ\text{C formülüyle bulunur.}$$

Uniform sıcaklık yüklemesi;

$$\Delta T = T_i - T_e = 100 - 0 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{h}{0.35 + h} \times \Delta T = \frac{0.4}{0.35 + 0.4} \times 100 \cong 54 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sıcaklık nedeniyle betonarmenin elastisite modülü azalır. Bu azalma TS6989'da verilen madde 4.6.2'deki formül kullanılarak elastisitenin 1/3 oranda azaldığı bulunur. Bu durumda, rijitlik azaldığı için sıcaklık farkı nedeniyle ortaya çıkan eğilme momenti de azalacaktır. Fakat bu azaltma düşük ve farklı atalet momenti azaltma yerine, sıcaklık farkını 3 değerine bölerek sağlanacaktır. Bu durumda

$$P_{\Delta T1} = \frac{54}{3} \cong 18 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ olarak alınır.}$$

Sap2000 programında sıcaklık farkı birim boya karşı gelen değer olarak alındığından, burada programa özel olarak izleyen işlem yapılarak 1m kalınlık için sıcaklık farkı elde edilmiştir.

$$P_{\text{tp1}} = \frac{18}{0.4} = 45 \text{ } ^\circ\text{C/m}$$

P_{tp1} $^\circ\text{C/m}$ büyüklüğü iç cidarın dış cidara göre daha fazla genleşme yapmasını sağlamak için -45°C/m olarak silo çeperlerine dağıtılır.

Kiriş için;

$$\Delta t = \frac{h}{0.35 + h} \times \Delta T = \frac{0.8}{0.35 + 0.8} \times 100 \cong 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_{\Delta T2} = \frac{70}{3} \cong 23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{tp2}} = \frac{23}{0.8} \cong 29 \text{ } ^\circ\text{C/m}$$

Sap2000'de -29°C/m silo kirişine dağıtılır.

Bunker için;

$$\Delta t = \frac{h}{0.35 + h} \times \Delta T = \frac{0.3}{0.35 + 0.3} \times 100 \cong 46^\circ\text{C}$$

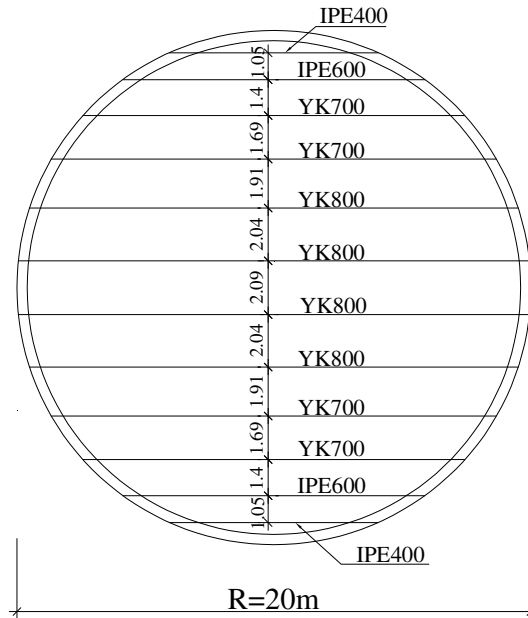
$$P_{\Delta T2} = \frac{46}{3} \cong 15^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{tp}2} = \frac{15}{0.3} \cong 50^\circ\text{C/m}$$

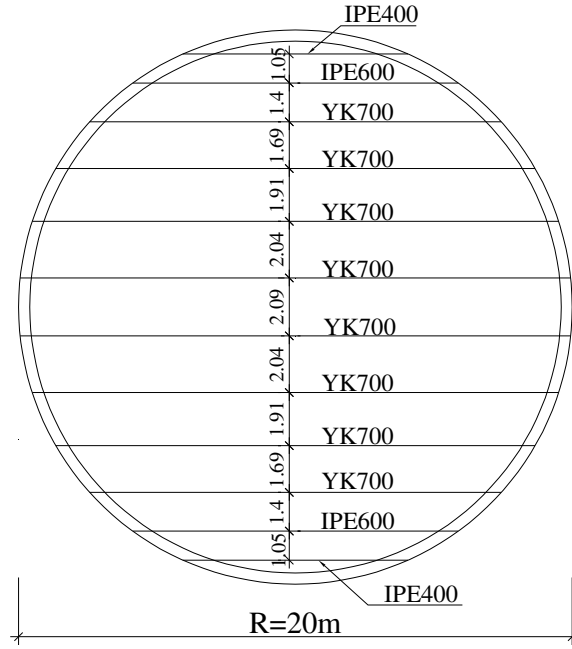
Sap2000'de -50°C/m silo bunkerine dağıtılır.

4.1.8 +50.00 ve +60.00m'de Bulunan Çelik Kirişlerin Hesabı:

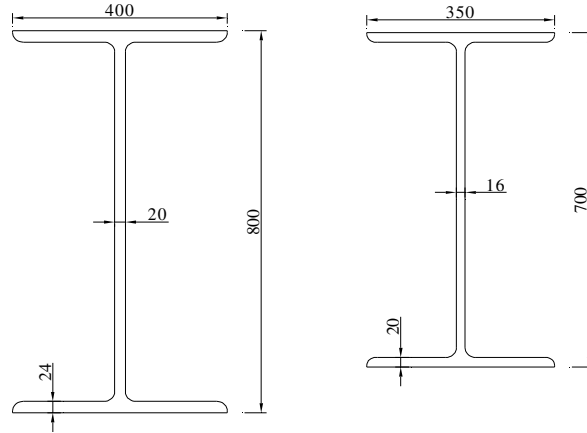
Bu kotlardaki çelik kirişler Amerikan yönetmeliğinin (AISC-ASD89) TS500'e uyarlanarak hesaplanmıştır. Üzerine +50.00m'de makine, 20cm yüksekliğindeki betonarme döşeme ve sac yükü etki edilmiştir. Kiriş altlarına konsol yapılarak perde de bulunan sac ankrajlar vasıtasıyla silo perdesine yükü aktarılır.



Şekil 4.5: +50.00m kodu döşeme katı çelik kiriş planı



Şekil 4.6: +60.00m kodu döşeme katı çelik kiriş planı



Şekil 4.7: YK800 ve YK700 kesitleri (Ölçüler mm'dir.)

4.1.9 +50.00 ve +60.00 m'de Bulunan Betonarme Döşeme Hesabı:

Betonarmenin özgül ağırlığı : $\gamma_b = 2.50t / m^3$

Döşeme yüksekliği (d) : 0.20 m

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'daki çelik kirişlere yayılı yük olarak etki edersek;

$$P_{b1} = A_1 \times \gamma_b = 0.20 \times 2.05 \times 2.50 = 1.03t / m$$

$$P_{b2} = A_2 \times \gamma_b = 0.20 \times 1.98 \times 2.50 = 0.99t / m$$

$$P_{b3} = A_3 \times \gamma_b = 0.20 \times 1.80 \times 2.50 = 0.90t / m$$

$$P_{b4} = A_4 \times \gamma_b = 0.20 \times 1.55 \times 2.50 = 0.78t / m$$

$$P_{b5} = A_5 \times \gamma_b = 0.20 \times 1.23 \times 2.50 = 0.62t / m$$

$$P_{b6} = A_6 \times \gamma_b = 0.20 \times 1.05 \times 2.50 = 0.53t / m$$

4.1.10 +50.00 ve +60.00m'de Bulunan Sac Döşeme Hesabı:

$$\text{Çeliğin özgül ağırlığı} \quad : \gamma_s = 7.85t / m^3$$

$$\text{Döşeme yüksekliği (d)} \quad : 0.005 \text{ m}$$

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'daki çelik kirişlere yayılı yük olarak etki edersek;

$$P_{s1} = A_1 \times \gamma_s = 0.005 \times 2.05 \times 7.85 = 0.080t / m$$

$$P_{s2} = A_2 \times \gamma_s = 0.005 \times 1.98 \times 7.85 = 0.078t / m$$

$$P_{s3} = A_3 \times \gamma_s = 0.005 \times 1.80 \times 7.85 = 0.071t / m$$

$$P_{s4} = A_4 \times \gamma_s = 0.005 \times 1.55 \times 7.85 = 0.061t / m$$

$$P_{s5} = A_5 \times \gamma_s = 0.005 \times 1.23 \times 7.85 = 0.048t / m$$

$$P_{s6} = A_6 \times \gamma_s = 0.005 \times 1.05 \times 7.85 = 0.041t / m$$

4.1.11 +50.00m'de Bulunan Makine Yüğü Hesabı:

50.m'de bulunan makineler çelik kirişler üzerinde tekil yük olarak düşünülecektir. Bu kotta bulunan makinelerin toplam ağırlığı 20ton'dur. 6 ayak üzerine oturmakta olup silonun merkezinde bulunmaktadır ve ortadaki iki kiriş üzerine yükleri aktarılmaktadır. Bu iki kirişe tekil yük etki ettireceğiz. Bu makine elevatör ile 50.00 metreye gelen çimentoları ters bunker üzerine püskürtmektedir. Bu yüzden merkezdeki döşemede 1m²'lik bir boşluk bulunmaktadır. Makine 2×8m² lik bir alan kaplar.

$$G_m = 6t$$

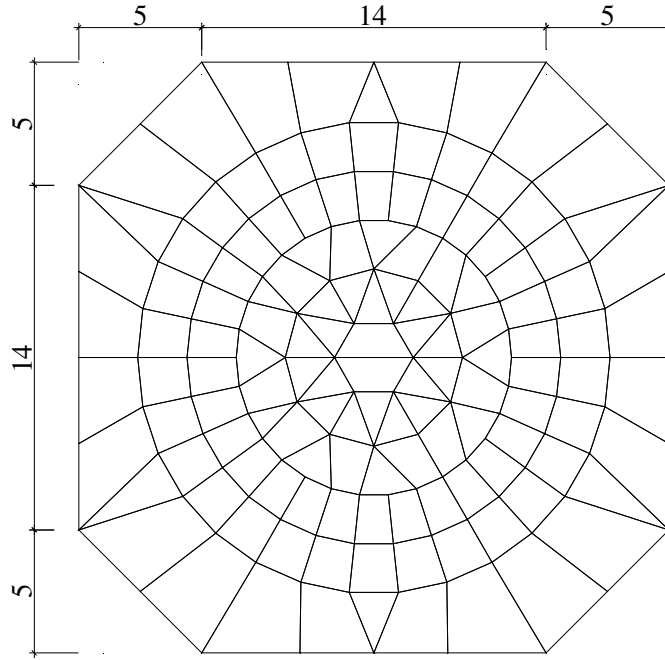
$$P_m = \frac{G_m}{6} = \frac{6}{6} = 1.00t$$

4.1.12 Radye Temel Hesabı:

Silomuzun temelini belirlemek için temel sınıfını bilmek gerekir. Zemin çeşidi **Z2**'dir. Buna göre;

Zemin yatak katsayısı: $k=2500t/m^3$

Temelimiz sekizgen biçiminde olup; 20m çaplı silomuzdan 2m'lik ampattan çıkarak temelimiz oluşturduk. Sonlu elemanlar yöntemi ile parçaladığımız radye temelimizin elemanlarına zemin yatak katsayısını area springs olarak etkitmemiz yeterli olur.



Şekil 4.8: Sonlu elemanlar ile ayrılmış radye temel planı

Çizelge 4.13: Yük kombinezomları

TABLE: Response Combination Data				
Combinations	Combination Type	Case Name	Case Type	Scale Factor
Text	Text	Text	Text	Text
COMB1				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1,4
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1,4
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1,4
	Linear Add	Pd-S	Linear Static	1,6
	Linear Add	Py-S	Linear Static	1,6
	Linear Add	Ps-S	Linear Static	1,6
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,6
COMB2				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1,4
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1,4
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1,4
	Linear Add	Pd-D	Linear Static	1,6
	Linear Add	Py-D	Linear Static	1,6
	Linear Add	Ps-D	Linear Static	1,6
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,6
COMB3				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1,4
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1,4
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1,4
	Linear Add	Pd-B	Linear Static	1,6
	Linear Add	Py-B	Linear Static	1,6
	Linear Add	Ps-B	Linear Static	1,6
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,6
COMB4				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-S	Linear Static	1,2
	Linear Add	Py-S	Linear Static	1,2
	Linear Add	Ps-S	Linear Static	1,2
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,2
	Linear Add	Sıcaklık	Linear Static	1,2
	Linear Add	Sıcaklık-D	Linear Static	1,2
COMB5				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1

	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-D	Linear Static	1,2
	Linear Add	Py-D	Linear Static	1,2
	Linear Add	Ps-D	Linear Static	1,2
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,2
	Linear Add	Sıcaklık	Linear Static	1,2
	Linear Add	Sıcaklık-D	Linear Static	1,2
COMB6				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-B	Linear Static	1,2
	Linear Add	Py-B	Linear Static	1,2
	Linear Add	Ps-B	Linear Static	1,2
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,2
	Linear Add	Sıcaklık	Linear Static	1,2
	Linear Add	Sıcaklık-D	Linear Static	1,2
COMB7				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-S	Linear Static	1,3
	Linear Add	Py-S	Linear Static	1,3
	Linear Add	Ps-S	Linear Static	1,3
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,3
	Linear Add	Rüzgarsağ	Linear Static	1,3
COMB8				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-D	Linear Static	1,3
	Linear Add	Py-D	Linear Static	1,3
	Linear Add	Ps-D	Linear Static	1,3
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,3
	Linear Add	Rüzgarsağ	Linear Static	1,3
COMB9				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-B	Linear Static	1,3
	Linear Add	Py-B	Linear Static	1,3
	Linear Add	Ps-B	Linear Static	1,3

	Linear Add	Makine	Linear Static	1,3
	Linear Add	Rüzgarsağ	Linear Static	1,3
COMB10	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-S	Linear Static	1,3
	Linear Add	Py-S	Linear Static	1,3
	Linear Add	Ps-S	Linear Static	1,3
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,3
	Linear Add	Rüzgarsol	Linear Static	1,3
COMB11	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-D	Linear Static	1,3
	Linear Add	Py-D	Linear Static	1,3
	Linear Add	Ps-D	Linear Static	1,3
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,3
	Linear Add	Rüzgarsol	Linear Static	1,3
COMB12	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-B	Linear Static	1,3
	Linear Add	Py-B	Linear Static	1,3
	Linear Add	Ps-B	Linear Static	1,3
	Linear Add	Makine	Linear Static	1,3
	Linear Add	Rüzgarsol	Linear Static	1,3
COMB13	Linear Add	Ölü	Linear Static	0,9
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	0,9
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	0,9
	Linear Add	Rüzgarsağ	Linear Static	1,3
COMB14	Linear Add	Ölü	Linear Static	0,9
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	0,9
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	0,9
	Linear Add	Rüzgarsol	Linear Static	1,3
COMB15	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1

	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-S	Linear Static	1
	Linear Add	Py-S	Linear Static	1
	Linear Add	Ps-S	Linear Static	1
	Linear Add	DepremX	Response Spectrum	1
	Linear Add	Kar	Linear Static	1
COMB16				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-D	Linear Static	1
	Linear Add	Py-D	Linear Static	1
	Linear Add	Ps-D	Linear Static	1
	Linear Add	DepremX	Response Spectrum	1
	Linear Add	Kar	Linear Static	1
COMB17				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-B	Linear Static	1
	Linear Add	Py-B	Linear Static	1
	Linear Add	Ps-B	Linear Static	1
	Linear Add	DepremX	Response Spectrum	1
	Linear Add	Kar	Linear Static	1
COMB18				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-S	Linear Static	1
	Linear Add	Py-S	Linear Static	1
	Linear Add	Ps-S	Linear Static	1
	Linear Add	DepremY	Response Spectrum	1
	Linear Add	Kar	Linear Static	1
COMB19				
	Linear Add	Ölü	Linear Static	1
	Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
	Linear Add	Pd-D	Linear Static	1
	Linear Add	Py-D	Linear Static	1
	Linear Add	Ps-D	Linear Static	1
	Linear Add	DepremY	Response Spectrum	1
	Linear Add	Kar	Linear Static	1

COMB20

Linear Add	Ölü	Linear Static	1
Linear Add	B.Döşeme	Linear Static	1
Linear Add	S.Döşeme	Linear Static	1
Linear Add	Pd-B	Linear Static	1
Linear Add	Py-B	Linear Static	1
Linear Add	Ps-B	Linear Static	1
Linear Add	DepremY	Response Spectrum	1
Linear Add	Kar	Linear Static	1

COMB21

Envelope	COMB1	Combination	1
Envelope	COMB2	Combination	1
Envelope	COMB3	Combination	1
Envelope	COMB4	Combination	1
Envelope	COMB5	Combination	1
Envelope	COMB6	Combination	1
Envelope	COMB7	Combination	1
Envelope	COMB8	Combination	1
Envelope	COMB9	Combination	1
Envelope	COMB10	Combination	1
Envelope	COMB11	Combination	1
Envelope	COMB12	Combination	1
Envelope	COMB13	Combination	1
Envelope	COMB14	Combination	1
Envelope	COMB15	Combination	1
Envelope	COMB16	Combination	1
Envelope	COMB17	Combination	1
Envelope	COMB18	Combination	1
Envelope	COMB19	Combination	1
Envelope	COMB20	Combination	1

Çizelge 4.14: Çimento silosuna etkiyen yükler

TABLE: Load Case Definitions			
LoadCase	DesignType	SelfWtMult	AutoLoad
Text	Text	Unitless	Text
ÖLÜ	DEAD	1	
B.DÖŞEME	DEAD	0	
S.DÖŞEME	DEAD	0	
Pd-S	LIVE	0	
Py-S	LIVE	0	
Ps-S	LIVE	0	

Pd-D	LIVE	0	
Py-D	LIVE	0	
Ps-D	LIVE	0	
Pd-B	LIVE	0	
Py-B	LIVE	0	
Ps-B	LIVE	0	
KAR	SNOW	0	
RÜZGARSOL	WIND	0	USER
RÜZGARSAĞ	WIND	0	USER
DEPREMX	QUAKE	0	USER_COEFF
DEPREMY	QUAKE	0	USER_COEFF
MAKİNE	OTHER	0	
SICAKLIK	OTHER	0	
SICAKLIKD	OTHER	0	

Çizelge 4.15: Çimento silosunun özellikleri

TABLE: Area Section Properties							
Section	Material	AreaType	Type	Thickness	BendThick	TotalWt	TotalMass
Text	Text	Text	Text	m	m	Ton	Ton-s2/m
BUNKER	BS40	Shell	Shell-Thick	0,3	0,3	258,4	25,8
KİRİŞ	BS40	Shell	Shell-Thick	0,8	0,8	113,5	11,4
PERDE1	BS40	Shell	Shell-Thick	0,8	0,8	834,9	83,5
PERDE2	BS40	Shell	Shell-Thick	0,4	0,4	2.527,7	252,8
PERDE3	BS40	Shell	Shell-Thick	0,3	0,3	448,6	44,9
RADYE	BS30	Shell	Shell-Thick	2,0	2,5	3.287,5	328,8

Çizelge 4.16: Mod Katılım Oranları

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,3986	0,0177	0,7566	0,0000
MODAL	Mode	2	1,3885	0,7769	0,7744	0,0000
MODAL	Mode	3	0,3648	0,7769	0,7744	0,0000
MODAL	Mode	4	0,3643	0,7769	0,7744	0,0000
MODAL	Mode	5	0,3499	0,7769	0,7744	0,0001
MODAL	Mode	6	0,3497	0,7769	0,7744	0,0004
MODAL	Mode	7	0,3103	0,7769	0,7744	0,9854
MODAL	Mode	8	0,2406	0,7769	0,7744	0,9854
MODAL	Mode	9	0,2405	0,7769	0,7744	0,9854
MODAL	Mode	10	0,2328	0,7769	0,7744	0,9854

MODAL	Mode	11	0,1968	0,7769	0,7748	0,9854
MODAL	Mode	12	0,1965	0,7774	0,7748	0,9854
MODAL	Mode	13	0,1870	0,7775	0,7748	0,9854
MODAL	Mode	14	0,1869	0,7775	0,7748	0,9854
MODAL	Mode	15	0,1810	0,9349	0,7764	0,9854
MODAL	Mode	16	0,1737	0,9364	0,9241	0,9854

4.2 Çimento Silosunun Boyutlandırılması:

$$M_{sd} = M_d - N_d \times (h/2 - d') \text{ tm/m}$$

$$m_{sd} = \frac{M_{sd}}{0.85 \times f_{cd} \times b \times d^2}$$

ρ_m Tablo3 dikdörtgen kesit tablosu

$$As = \frac{\rho_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} + \frac{N_d}{f_{yd}} \text{ cm}^2 / \text{m}$$

ρ'_m Tablo3 dikdörtgen kesit tablosu

$$As' = \frac{\rho'_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} \text{ cm}^2 / \text{m}$$

4.2.1 ±0.00 – 8.00 m Kotlar Arası Silo Perdesinin Boyutlandırılması:

±0.00m kodundaki perdenin et kalınlığı h=0.80m olup, perde Sap2000'de 2×2m'lik elamanlara parçalarsak ve kapı kenarında bulunan perdemiz en fazla zorlanma gerilmesine sahiptir. Buradaki gerilme hesapları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.17: ±0.00–8.00 m kotlar arası silo perde elemanına gelen kuvvetler

TABLE: Element Forces - Area Shells									
Area	Joint	OutputCase	F11	F22	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton/m	Ton/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
5	321	COMB6	-226,5	-1.132,7	-10,2	-73,3	10,3	-9,6	-45,9
5	15	COMB6	-171,1	-855,3	-15,7	-56,3	-7,0	-9,6	-21,1
5	16	COMB6	-41,9	-829,4	-23,1	-10,7	8,0	15,1	-21,1
5	320	COMB6	-97,4	-1.106,9	-6,2	-6,2	25,3	15,1	-45,9

Düşey donatı hesabı;

Perde dış donatısı için;

$$M_{sd} = M_{22} - F_{22} \times (h/2 - d') = 73.3 + 1132.7 \times (0.8/2 - 0.05) = 469.8 \text{ tm/m}$$

$$m_{sd} = \frac{M_{sd}}{0.85 \times f_{cd} \times b \times d^2} = \frac{469.8}{0.85 \times 2667 \times 1 \times 0.75^2} = 0.37$$

$\rho_m = 0.425$ (Tablo3. Dikdörtgen Kesit Tablosu)

$$As = \frac{\rho_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} - \frac{F_{22}}{f_{yd}} = \frac{0.425 \times 100 \times 75}{16.1} - \frac{1132.7}{3.65} = -112.3 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

O halde; minumum donatı yeterlidir. $As = 100 \times 80 \times 0.0025 = 20 \text{ cm}^2/\text{m}$

Seçilen Donatı : $\phi 25 / 20$ ($As = 2458 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Perde iç donatı hesabı;

$\rho'_m = 0.14$ (Tablo3. Dikdörtgen Kesit Tablosu)

$$As' = \frac{\rho'_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} = \frac{0.149 \times 100 \times 75}{16.1} = 69.4 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Tablo3 büyük dışmerkezli olarak hazırlanmıştır. Hesapta çıkan değerlerde küçük dışmerkezli olarak tablonun uygun olmadığı görülmüştür. Beton kesit eksenel kuvveti taşımaktadır.

O halde; minumum donatı yeterlidir. $As = 100 \times 80 \times 0.0025 = 20 \text{ cm}^2/\text{m}$

Seçilen Donatı : $\phi 25 / 20$ ($As = 2458 \text{ mm}^2/\text{m}$)

$$Nd \leq 0.5 \times f_{ck} \times Ac$$

$$Nd \leq 0.5 \times 40 \times 1000 \times 800 = 1600kn$$

$$e = \frac{73.3}{1132.7} = 0.065m$$

$$e_{\min} = 15 + 0.03 \times h = 39mm$$

$$e < e_{\min}$$

Yatay donatı hesabı;

Perde dış ve iç donatı için;

$$M_{sd} = M_{11} - F_{11} \times (h/2 - d') = 23.1 + 41.9 \times (0.8/2 - 0.05) = 37.8tm / m$$

$$m_{sd} = \frac{M_{sd}}{0.85 \times f_{cd} \times b \times d^2} = \frac{37.8}{0.85 \times 2667 \times 1 \times 0.75^2} = 0.03$$

$$\rho_m = 0.031 \text{ (Tablo3. Dikdörtgen Kesit Tablosu)}$$

$$As = \frac{\rho_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} - \frac{F_{11}}{f_{yd}} = \frac{0.031 \times 100 \times 75}{16.1} - \frac{46.5}{3.65} = 1.70cm^2 / m$$

O halde; minumum donatı yeterlidir. $As = 100 \times 80 \times 0.0025 = 20 \text{ cm}^2/m$

Seçilen Donatı : $\phi 24 / 20$ ($As = 2262mm^2/m$)

$$\left(\frac{T}{T_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{V}{V_{cr}} \right)^2 = \psi$$

$\psi < 1.0$ ise kesit çatlamaamıştır.

$\psi \geq 1.0$ ise kesit çatlamaştır.

T ve V =Uygulanan burulma momenti ve kesme kuvveti

T_{cr} = Basit burulma altında çatlama dayanımı

V_{cr} = Burulmanın bulunmadığı durumda eğik çatlama dayanımı

$$T_{cr} = S \times f_{ctd}$$

$$V_{cr} = 0.65 \times f_{ctd} \times b_w \times d$$

$$M_{12\max} = T_{\max} = 25.3tm / m$$

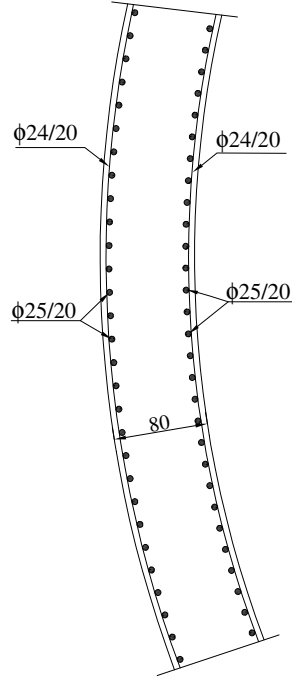
$$V_{23\max} = 45.9t / m$$

$$T_{cr} = 0.45 \times 1^2 \times 0.8 \times 145 = 52.2tm / m$$

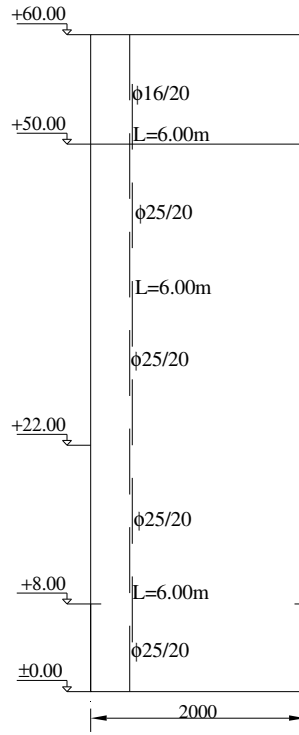
$$V_{cr} = 0.65 \times 145 \times 0.8 \times 1 = 75.4t / m$$

$$V_c = 0.8 \times V_{cr} = 0.8 \times 75.4 = 60.3t / m$$

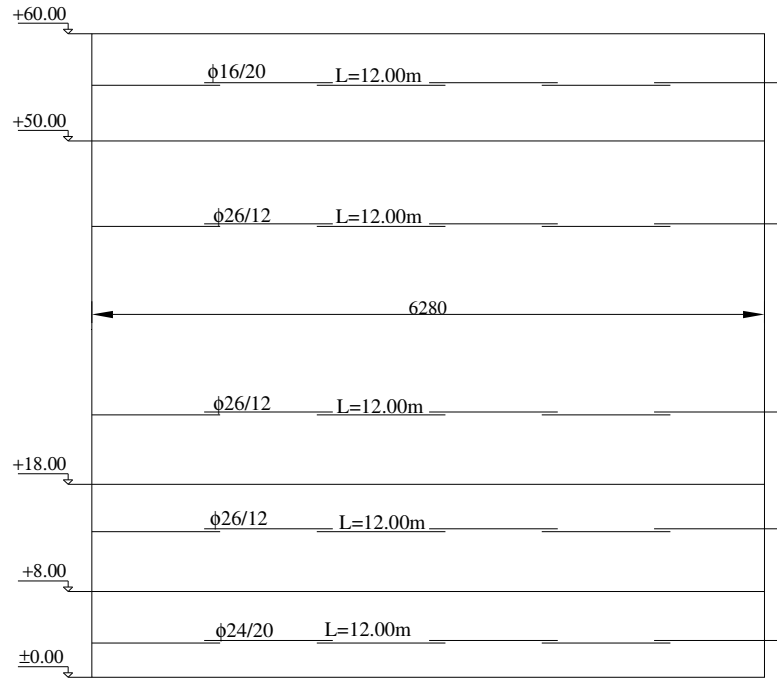
$$\left(\frac{25.3}{52.2}\right)^2 + \left(\frac{45.9}{75.4}\right)^2 = 0.6 < 1 \text{ kesit çatlamamıştır.}$$



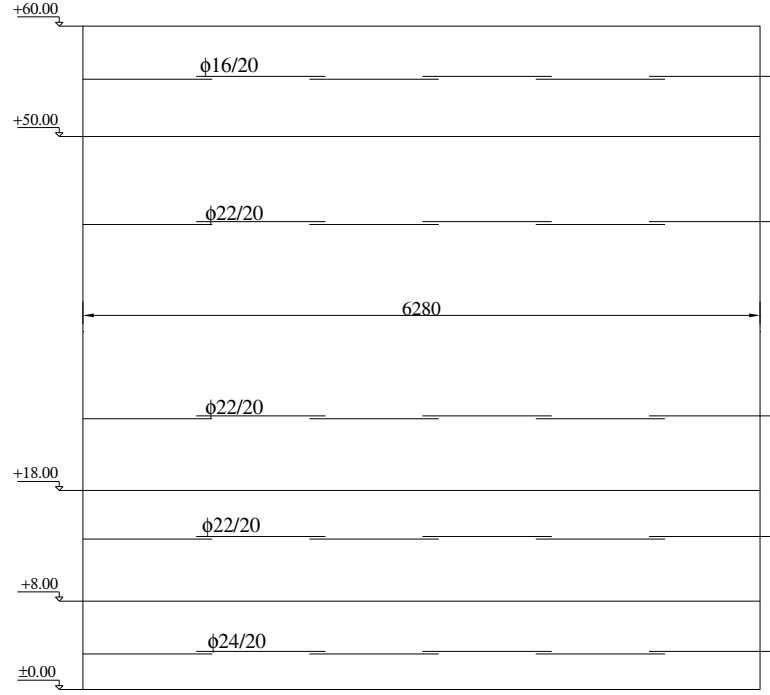
Şekil 4.9: ±0.00 - 8.00m Arası Silo Perdesi Donatı Kesit Planı



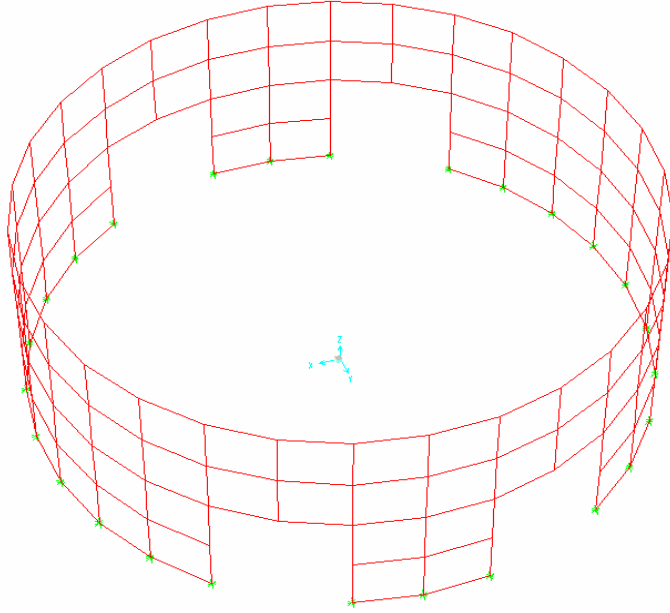
Şekil 4.10: Silo Perdesi Düşey Donatı Planı



Şekil 4.11: Silo perdesi yatay dış donatı planı



Şekil 4.12: Silo perdesi yatay iç donatı planı



Şekil 4.13: ±0.00-8.00m Kodu Arası Silo Perde Planı

4.2.2 Silo Bunkeri ve Kirişin Boyutlandırılması:

Kirişin et kalınlığı $h=0.80m$, bunker $h=0.30m$ 'dir. Bunker ve kiriş Sap2000'de $2 \times 2m$ 'lik elamanlara ayırırsak kirişte ve bunkerdeki gerilmeler ve boyutlandırılması aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.18: Silo kiriş elemanına gelen kuvvetler

TABLE: Element Forces - Area Shells									
Area	Joint	OutputCase	F11	F22	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton/m	Ton/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
895	122	COMB2	516,2	-163,7	-49,6	-318,1	-41,3	2,4	-301,7
895	121	COMB2	515,8	-165,4	-53,4	-321,3	40,7	2,4	-306,1
895	161	COMB2	597,8	-149,1	26,7	-19,2	-11,0	0,5	-306,3
895	162	COMB2	597,7	-149,5	30,1	-16,3	8,5	0,5	-301,4

Bunker kirişinde moment düzeltmesi yapılırsa; gerilme ve momentler enterplasyon yapılarak perde-bunker birleşimindeki gerçek değerlere göre hesap edilmiş olur.

Çizelge 4.19: Silo kiriş elemanına gelen kuvvetlerin düzeltilmesi

TABLE: Element Forces - Area Shells									
Area	Joint	OutputCase	F11	F22	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton/m	Ton/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
895	122-162	COMB2	597,8	-158,1	26,7	-197,4	-28,2	1,6	-301,6
895	121-161	COMB2	597,7	-158,9	30,1	-200,5	28,8	1,6	-306,2

Konsol boyuna donatı hesabı;

Kiriş üst donatısı;

$$M_{sd} = M_{22} - F_{22} \times (h/2 - d') = 200.5 + 158.9 \times (0.8/2 - 0.05) = 256.1tm/m$$

$$m_{sd} = \frac{M_{sd}}{0.85 \times f_{cd} \times b \times d^2} = \frac{256.1}{0.85 \times 2667 \times 1 \times 0.75^2} = 0.200$$

$\rho_m = 0.227$ (Tablo3. Dikdörtgen Kesit Tablosu)

$$A_s = \frac{\rho_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} - \frac{F_{22}}{f_{yd}} = \frac{0.227 \times 100 \times 75}{16.1} - \frac{158.9}{3.65} = 62.2cm^2/m$$

Seçilen donatı : $\phi 30 / 12$ ($A_s = 6362 \text{ mm}^2/m$)

$$\text{Alt donatı için ; } \frac{6362}{5} = 1272 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Seçilen donatı : $\phi 20 / 20$ ($A_s = 1571 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Konsol yatay donatı hesabı;

Alt donatı için;

$$M_{sd} = M_{11} - F_{11} \times (h/2 - d') = 30.1 - 597.7 \times (0.8/2 - 0.05) = -179.1 \text{ tm} / \text{m}$$

O halde; minimum donatı yeterlidir. $A_s = 100 \times 80 \times 0.0025 = 20 \text{ cm}^2/\text{m}$

Seçilen Donatı : $\phi 24 / 20$ ($A_s = 1901 \text{ mm}^2/\text{m}$)

$$\text{Üst donatı için ; } \frac{20}{5} = 4 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Seçilen donatı : $\phi 16 / 20$ ($A_s = 1005 \text{ mm}^2/\text{m}$)

$$M_{12\text{max}} = T_{\text{max}} = 28.8 \text{ tm} / \text{m}$$

$$V_{23\text{max}} = -306.2 \text{ t} / \text{m}$$

$$T_{cr} = 0.45 \times 0.8 \times 1^2 \times 145 = 52.2 \text{ tm} / \text{m}$$

$$V_{cr} = 0.65 \times 145 \times 0.8 \times 1 = 75.4 \text{ t} / \text{m}$$

$$V_c = 0.8 \times V_{cr} = 0.8 \times 75.4 = 60.3 \text{ t} / \text{m}$$

$$\left(\frac{28.8}{52.2} \right)^2 + \left(\frac{306.2}{75.4} \right)^2 = 16.80 > 1 \text{ kesit çatlamıştır.}$$

$$\tau \leq \tau_{\text{max}}$$

$$\tau_{\text{max}} = 0.22 \times f_{cd} = 0.22 \times 2667 = 586.8 \text{ t} / \text{m}^2$$

$$\tau = \frac{V_d}{b_w \times d} + \frac{T_d}{S} = \frac{306.2}{0.8 \times 1} + \frac{28.8}{0.45 \times 1^2 \times 0.8} = 462.75 \text{ t} / \text{m}^2 < \tau_{\text{max}} = 586.8 \text{ t} / \text{m}^2$$

Kesit boyutlarını büyütme gerek yoktur.

$$A_e = b_k \times h_k = 0.70 \times 0.90 = 0.63 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_0}{s} = \frac{A_{sl}}{s} + \frac{A_{ot}}{s} = \frac{V_d - V_c}{n \times f_{ywd}(d)} + \frac{T_d}{2 \times A_e \times f_{ywd}}$$

$$\frac{A_0}{s} = \frac{306.2 - 60.3}{1 \times 36500 \times 0.75} + \frac{47.3}{2 \times 0.63 \times 36500} = 1 \times 10^{-2} m = 1 cm$$

$$\min \rho_{wo} = 0.15 \times \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \times \left(1 + 1.3 \times \frac{T_d}{V_d \times b_w} \right)$$

$$\min \frac{A_0}{s} = 0.15 \times \frac{145}{36500} \times \left(1 + 1.3 \times \frac{28.8}{306.2 \times 1} \right) = 6.7 \times 10^{-4} m < 1 \times 10^{-2} m$$

Çiroz olarak $\phi 12$ kullanılırsa; $A_0 = 113 \text{ mm}^2$

$s = 113 / 10 = 11.3 \text{ cm}$ Buradan;

$\phi 12 / 12 \text{ cm}$ ara ile çiroz konmalıdır.

Çizelge 4.20: Bunker elemanına gelen kuvvetler

TABLE: Element Forces - Area Shells									
Area	Joint	OutputCase	F11	F22	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton/m	Ton/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
925	162	COMB2	195,2	-299,4	-1,1	-8,0	-1,3	0,5	-8,1
925	161	COMB2	194,6	-302,8	-0,9	-7,9	1,1	0,5	-8,7
925	288	COMB2	-343,8	-407,1	3,1	13,7	-1,4	-0,7	-8,8
925	264	COMB2	-343,0	-403,4	3,0	13,6	1,3	-0,4	-8,0

Bunker donatı hesabı;

Bunker konsol donatısı;

$$M_{sd} = M_{22} - F_{22} \times (h/2 - d') = 13.7 + 407.1 \times (0.3/2 - 0.025) = 64.6 \text{ tm / m}$$

$$m_{sd} = \frac{M_{sd}}{0.85 \times f_{cd} \times b \times d^2} = \frac{64.6}{0.85 \times 2667 \times 1 \times 0.275^2} = 0.38$$

$\rho_m = 0.436$ (Tablo3. Dikdörtgen Kesit Tablosu)

$$A_s = \frac{\rho_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} - \frac{F_{22}}{f_{yd}} = \frac{0.436 \times 100 \times 27.5}{16.1} - \frac{407.1}{3.65} = -37.1 \text{ cm}^2 / m$$

O halde; minumum donatı yeterlidir. $A_s = 100 \times 30 \times 0.0025 = 7.5 \text{cm}^2/\text{m}$

Seçilen Donatı : $\phi 16 / 20$ ($A_s = 1005 \text{mm}^2/\text{m}$)

Bunker yatay donatı hesabı;

Alt donatı için;

$$M_{sd} = M_{11} - F_{11} \times (h/2 - d') = 3.1 + 343.8 \times (0.3/2 - 0.025) = 46.1 \text{tm} / \text{m}$$

$$m_{sd} = \frac{M_{sd}}{0.85 \times f_{cd} \times b \times d^2} = \frac{46.1}{0.85 \times 2667 \times 1 \times 0.275^2} = 0.27$$

$\rho_m = 0.314$ (Tablo3. Dikdörtgen Kesit Tablosu)

$$A_s = \frac{\rho_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} - \frac{F_{11}}{f_{yd}} = \frac{0.314 \times 100 \times 27.5}{16.1} - \frac{343.8}{3.65} = -40.6 \text{cm}^2 / \text{m}$$

O halde; minumum donatı yeterlidir. $A_s = 100 \times 30 \times 0.0025 = 7.5 \text{cm}^2/\text{m}$

Seçilen donatı : $\phi 16 / 20$ ($A_s = 1005 \text{mm}^2/\text{m}$)

$$M_{12\text{max}} = T_{\text{max}} = 1.4 \text{tm} / \text{m}$$

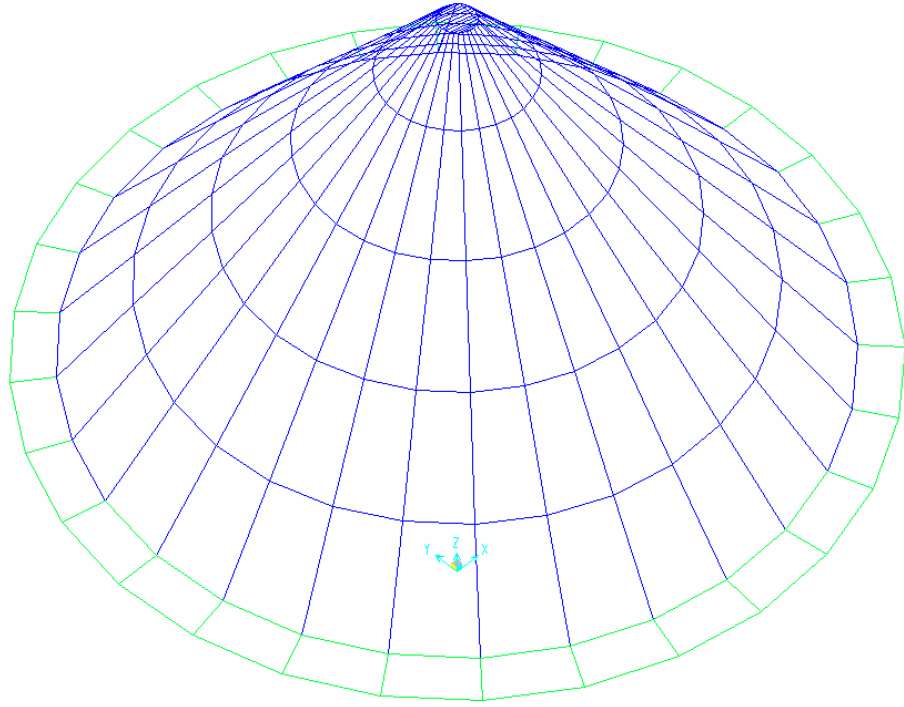
$$V_{23\text{max}} = -8.8 \text{t} / \text{m}$$

$$T_{cr} = 0.45 \times 0.3 \times 1^2 \times 145 = 19.6 \text{tm} / \text{m}$$

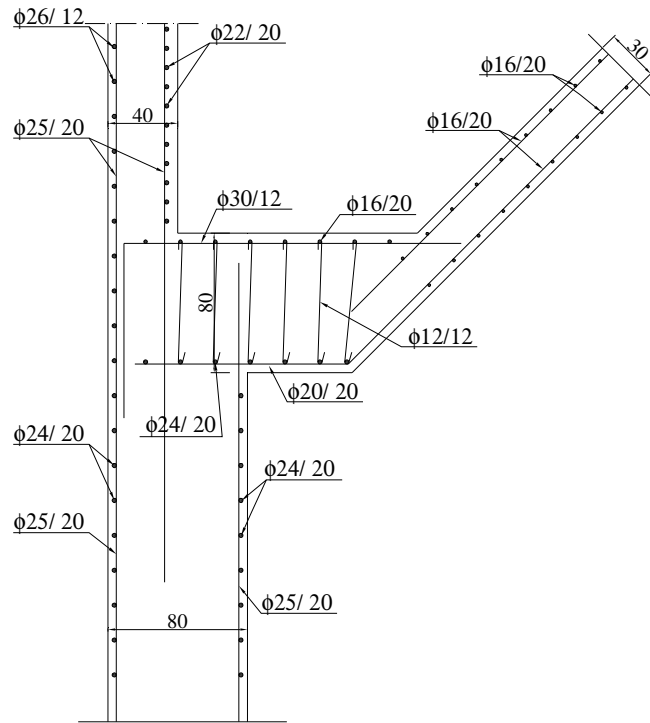
$$V_{cr} = 0.65 \times 145 \times 0.3 \times 1 = 28.3 \text{t} / \text{m}$$

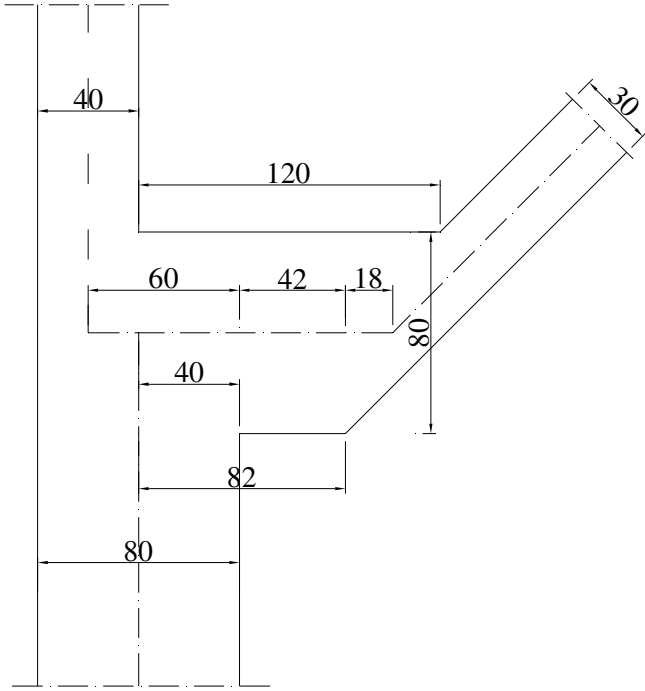
$$V_c = 0.8 \times V_{cr} = 0.8 \times 28.3 = 22.6 \text{t} / \text{m}$$

$$\left(\frac{1.4}{19.6} \right)^2 + \left(\frac{8.8}{28.3} \right)^2 = 0.1 < 1 \text{ kesit çatlamamıştır}$$

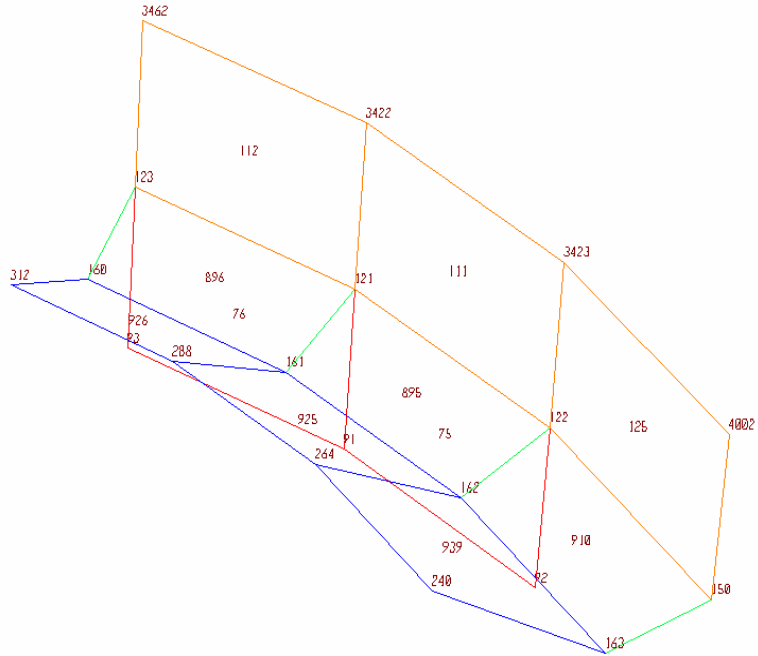


Şekil 4.14: Silo bunker ve kiriş planı





Şekil 4.16: Silo bunker ve kiriş birleşim detayı

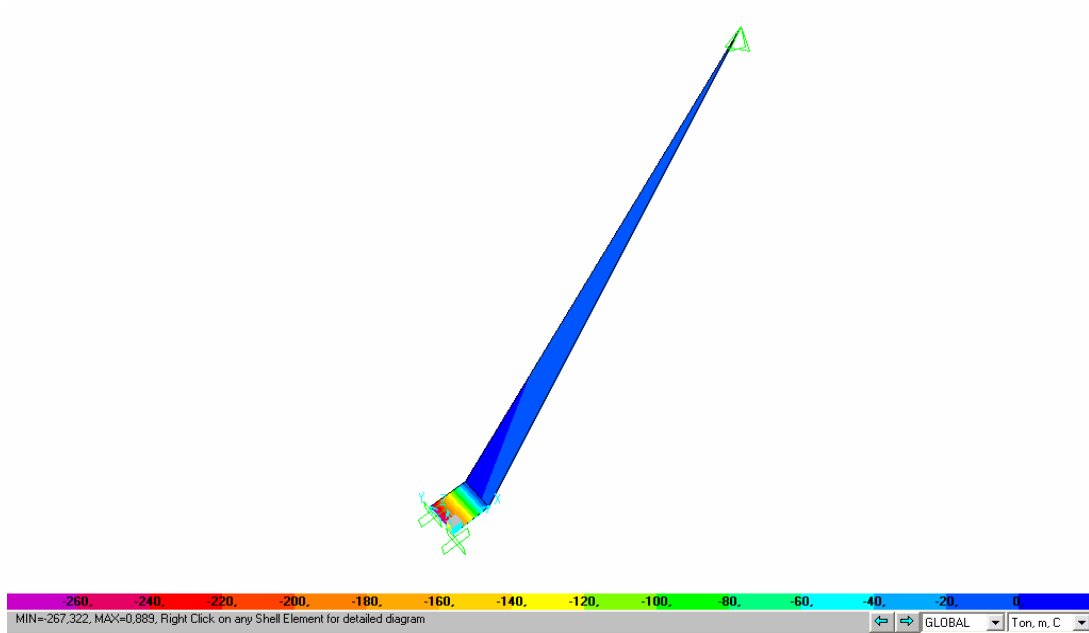


Şekil 4.17: Silo bunker ve kiriş düğüm noktası detayı

Silomuzun bunker ve kirişinden 1m genişliğinde bir parçayı çıkartıp; silomuzun aynı koşullardaki şartlarına göre yüklemelerimizi yaparsak benzer değerler bulmuş oluruz.
Comb1 =1.4×Ölü + 1.6×Malzeme



Şekil 4.18: 1m genişliğindeki bunker ve kirişe gelen malzeme yükü



Şekil 4.19: 1m genişliğindeki bunker ve kirişin moment diyagramı

Çizelge 4.21: Kiriş elemanına gelen gerilme ve momentler

TABLE: Element Forces - Area Shells								
Area	Joint	OutputCase	F11	F22	M11	M22	M12	V23
Text	Text	Text	Ton/m	Ton/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m
1	1	COMB1	3,8	18,8	-53,5	-267,3	2,1	-268,0
1	2	COMB1	3,8	18,8	-53,5	-267,3	-2,1	-268,0
1	3	COMB1	-20,4	14,0	5,2	0,9	-2,1	-268,0
1	4	COMB1	-20,4	14,0	5,2	0,9	2,1	-268,0

4.2.3 +8.00 – 22.00m Kotlar Arası Silo Perdesinin Boyutlandırılması:

Perdenin et kalınlığı $h=0.40m$. Silo Perdesi Sap2000’de $2 \times 2m$ ’lik elamanlara ayırırsak perdedeki gerilmeler ve boyutlandırılması aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.22: +8.00–22.00m kotlar arası silo perde elemanına gelen kuvvetler

TABLE: Element Forces - Area Shells									
Area	Joint	OutputCase	F11	F22	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton/m	Ton/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
130	140	COMB6	-230,7	-313,5	-13,5	-6,4	0,5	-0,3	13,0
130	141	COMB6	-226,6	-293,2	-13,2	-7,1	0,2	-0,3	13,4
130	3822	COMB6	214,3	-205,0	-18,9	-33,5	-0,4	0,1	13,4
130	3802	COMB6	210,2	-225,3	-19,1	-32,9	0,0	0,1	13,0

Düşey donatı hesabı;

Perde dış donatısı için;

$$M_{sd} = M_{22} - F_{22} \times (h/2 - d') = 33.5 + 205.0 \times (0.4/2 - 0.05) = 64.3tm / m$$

$$m_{sd} = \frac{M_{sd}}{0.85 \times f_{cd} \times b \times d^2} = \frac{64.3}{0.85 \times 2667 \times 1 \times 0.35^2} = 0.23$$

$$\rho_m = 0.26 \text{ (Tablo3. Dikdörtgen Kesit Tablosu)}$$

$$A_s = \frac{\rho_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} - \frac{F_{22}}{f_{yd}} = \frac{0.26 \times 100 \times 35}{16.1} - \frac{205.0}{3.65} = 0.36cm^2 / m$$

O halde; mininum donatı yeterlidir. $A_s = 100 \times 40 \times 0.0025 = 10 cm^2/m$

Seçilen Donatı : $\phi 25 / 20$ ($A_s = 2458 mm^2/m$)

Perde iç donatı hesabı;

Dış tarafa konulan donatının aynısı perdenin iç tarafında uygulanırsa;

Seçilen Donatı : $\phi 25 / 20$ ($A_s = 2458 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Yatay donatı hesabı;

Perde iç donatı hesabı;

$$A_s \times f_{yd} \times d_1 = N_d \times d_1 / 2 - M_d$$

$$A_s \times 36500 \times 0.3 = 214.3 \times 0.3 / 2 - 18.9$$

$$A_s = 1.21 \times 10^{-3} = 12.1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Seçilen Donatı : $\phi 22 / 20$ ($A_s = 1901 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Perde dış donatı hesabı;

$$A_s \times f_{yd} \times d_1 = N_d \times d_1 / 2 + M_d$$

$$A_s \times 36500 \times 0.3 = 214.3 \times 0.3 / 2 + 18.9$$

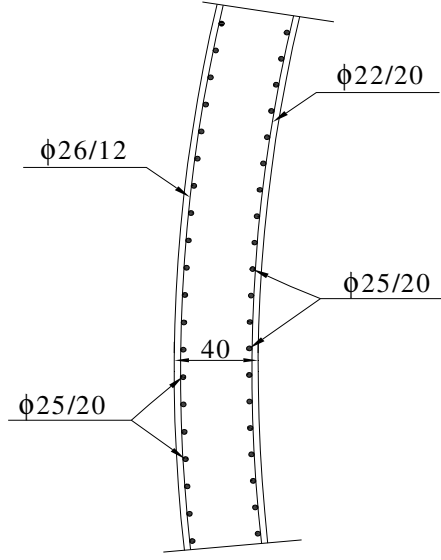
$$A_s = 4.66 \times 10^{-3} = 46.6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Seçilen Donatı : $\phi 26 / 12$ ($A_s = 4778 \text{ mm}^2/\text{m}$)

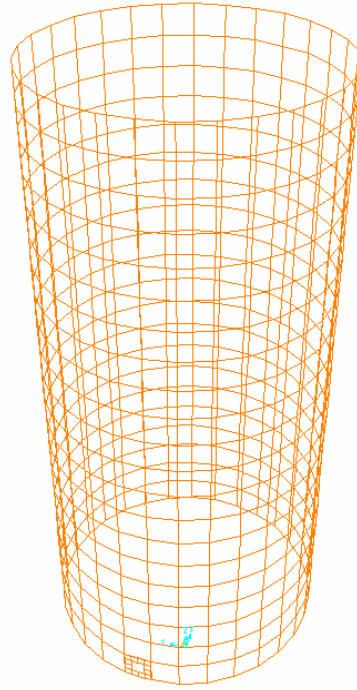
$$T_{cr} = 0.45 \times 0.4 \times 1^2 \times 145 = 26.1 \text{ tm} / \text{m}$$

$$V_{cr} = 0.65 \times 145 \times 0.4 \times 1 = 37.7 \text{ t} / \text{m}$$

$$\left(\frac{0.5}{26.1} \right)^2 + \left(\frac{13.4}{37.7} \right)^2 = 0.13 < 1 \text{ kesit çatlamamıştır.}$$



Şekil 4.20: +8.00-22.00m kotu arası silo perdesi donatı kesiti



Şekil 4.21: +8.00-50.00m kotu arası silo perdesi planı

4.2.4 +22.00 - 50.00m Kotlar Arası Silo Perdesinin Boyutlandırılması:

Perdenin et kalınlığı $h=0.40m$. $d=0.35m$ Silo Perdesi Sap2000'de $2 \times 2m$ 'lik elamanlara ayırırsak perdedeki gerilmeler ve boyutlandırılması aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.23: +22.00-50.00m kotlar arası silo perde elemanına gelen kuvvetler

TABLE: Element Forces - Area Shells									
Area	Joint	OutputCase	F11	F22	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton/m	Ton/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
326	3435	COMB6	226,8	-175,3	-14,8	-14,8	-0,1	0,0	-0,1
326	3434	COMB6	227,3	-173,2	-14,8	-14,8	0,1	0,0	0,1
326	3436	COMB6	217,4	-175,1	-14,6	-14,8	0,1	0,1	0,1
326	3437	COMB6	217,0	-177,3	-14,6	-14,8	0,0	0,1	-0,1

Düşey donatı hesabı;

Perde iç ve dış donatısı için;

$$M_{sd} = M_{22} - F_{22} \times d = 14.8 + 175.3 \times 0.35 = 76.1 \text{ tm / m}$$

$$m_{sd} = \frac{M_{sd}}{0.85 \times f_{cd} \times b \times d^2} = \frac{76.1}{0.85 \times 2667 \times 1 \times 0.35^2} = 0.275$$

$$\rho_m = 0.319 \text{ (Tablo3. Dikdörtgen Kesit Tablosu)}$$

$$A_s = \frac{\rho_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} - \frac{F_{22}}{f_{yd}} = \frac{0.319 \times 100 \times 35}{16.1} - \frac{175.3}{3.65} = -47.30 \text{ cm}^2$$

O halde; minimum donatı yeterlidir. $A_s = 100 \times 40 \times 0.0025 = 10 \text{ cm}^2/\text{m}$

Seçilen Donatı : $\phi 25 / 20$ ($A_s = 2262 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Yatay donatı hesabı;

Perde iç donatı hesabı;

$$A_s \times f_{yd} \times d_1 = N_d \times d_1 / 2 - M_d$$

$$A_s \times 36500 \times 0.3 = 227.3 \times 0.3 / 2 - 14.8$$

$$A_s = 1.76 \times 10^{-3} = 17.6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Seçilen Donatı : $\phi 22 / 20$ ($A_s = 1901 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Perde dış donatı hesabı;

$$A_s \times f_{yd} \times d_1 = N_d \times d_1 / 2 + M_d$$

$$A_s \times 36500 \times 0.3 = 227.3 \times 0.3 / 2 + 14.8$$

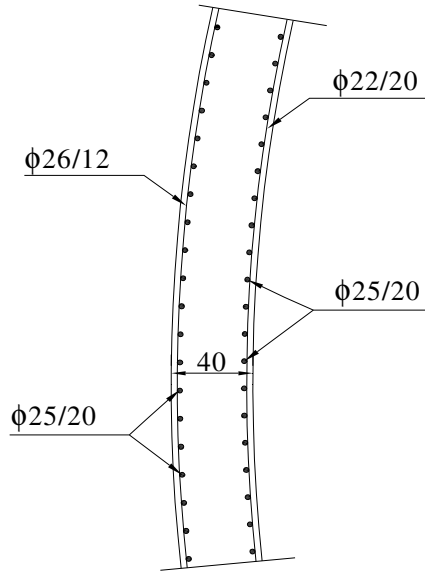
$$A_s = 4.46 \times 10^{-3} = 44.7 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Seçilen Donatı : $\phi 26 / 12$ ($A_s = 4778 \text{ mm}^2/\text{m}$)

$$M_{12 \max} = T_{\max} = 0.10 \text{ tm} / \text{m}$$

$$V_{23 \max} = 0.1 \text{ t} / \text{m}$$

Burulma momenti ve kesme kuvveti çok düşük olduğu için hesaplama gereği yoktur. Eğilme momenti ve normal kuvvet hesabı yeterlidir.



Şekil 4.22: +22.00-50.00m kotu arası silo perdesi donatı kesiti

4.2.5 +50.00 – 60.00m Kotlar Arası Silo Perdesinin Boyutlandırılması:

. Perdenin et kalınlığı $h=0.30m$. Silo Perdesi Sap2000'de $2 \times 2m$ 'lik elamanlara ayırırsak perdedeki gerilmeler ve boyutlandırılması aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.24: +50.00–60.00m kotlar arası silo perdesinin elemanına gelen kuvvetler

TABLE: Element Forces - Area Shells									
Area	Joint	OutputCase	F11	F22	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton/m	Ton/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
776	586	COMB1	-33,9	-22,2	0,1	-1,0	0,1	0,8	0,5
776	585	COMB1	-32,0	-14,6	-0,1	-1,1	-0,1	0,8	-0,9
776	587	COMB1	-4,6	-9,2	-0,2	-0,6	-0,1	-0,6	-0,9
776	588	COMB1	-6,5	-16,8	-0,1	-0,6	0,1	-0,6	0,5

Düşey donatı hesabı;

Perde iç ve dış donatısı için;

$$M_{sd} = M_{22} - F_{22} \times d = 1.0 + 22.2 \times 0.275 = 7.1 \text{ tm / m}$$

$$m_{sd} = \frac{M_{sd}}{0.85 \times f_{cd} \times b \times d^2} = \frac{7.1}{0.85 \times 2667 \times 1 \times 0.275^2} = 0.04$$

$\rho_m = 0.042$ (Tablo3. Dikdörtgen Kesit Tablosu)

$$A_s = \frac{\rho_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} - \frac{F_{22}}{f_{yd}} = \frac{0.042 \times 100 \times 27.5}{16.1} - \frac{22.2}{3.65} = 1.9 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

O halde; minimum donatı yeterlidir. $A_s = 100 \times 30 \times 0.0025 = 7.5 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Seçilen Donatı : $\phi 16 / 20$ ($A_s = 1005 \text{ mm}^2 / \text{m}$)

Yatay donatı hesabı;

Perde iç ve dış donatı hesabı;

$$M_{sd} = M_{11} - F_{11} \times (h/2 - d') = 0.1 + 33.9 \times (0.3/2 - 0.0275) = 4.25 \text{ tm / m}$$

$$m_{sd} = \frac{M_{sd}}{0.85 \times f_{cd} \times b \times d^2} = \frac{4.25}{0.85 \times 2667 \times 1 \times 0.275^2} = 0.025$$

$\rho_m = 0.026$ (Tablo3. Dikdörtgen Kesit Tablosu)

$$A_s = \frac{\rho_m \times b \times d}{f_{yd} / (0.85 \times f_{cd})} - \frac{F_{11}}{f_{yd}} = \frac{0.026 \times 100 \times 27.5}{16.1} - \frac{33.9}{3.65} = -4.9 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

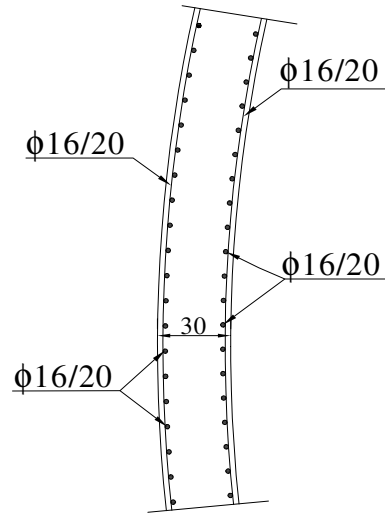
O halde; minumum donatı yeterlidir. $A_s = 100 \times 30 \times 0.0025 = 7.5 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Seçilen Donatı : $\phi 16 / 20$ ($A_s = 1005 \text{ mm}^2 / \text{m}$)

$$M_{12 \max} = T_{\max} = 0.10 \text{ tm} / \text{m}$$

$$V_{23 \max} = 0.9 \text{ t} / \text{m}$$

Burulma momenti ve kesme kuvveti çok düşük olduğu için hesaplama gereği yoktur. Eğilme momenti ve normal kuvvet hesabı yeterlidir.



Şekil 4.23: +50.00-60.00m Kodu Arası Silo Perde Donatı Kesiti

4.2.6 Radye Temelin Boyutlandırılması:

Betonarme kesit hesapları: h=2.00m, d=1.95m, b=1.00m

Zımbalama güvenliği kontrol edilirse;

$$\Sigma N = 40141.3 \text{ ton Max (COMB21)}$$

$$M_{12} = 467.7 \text{ tm/m}$$

$$V_{13} = 362.8 \text{ t/m}$$

$$N_d = 1557.9 \text{ ton}$$

$$b = 0.8 \text{ m, } d=1.95 \text{ m}$$

$$b_1 = 0.8+1.95=2.75 \text{ m}$$

$$b_2 = 2+1.95=3.95 \text{ m}$$

$$U_p = 3.95 \times 2 + 2.75 \times 2 = 13.40 \text{ m}$$

$$A_p = 2.75 \times 3.95 = 10.86 \text{ m}^2$$

$$\sigma_z = \frac{40141.3}{24 \times 24} = 69.69 \text{ t / m}^2$$

$$f_{zu} = 1.5 \times \sigma_{em} = 1.5 \times 50 = 75 \text{ t / m}^2$$

Kapı için yapılmış perde de zımbalama kontrolü yapıldığında;

$$V_{pd} = N_d - \sigma_z \times A_p = 1557.9 - 69.69 \times 10.86 = 801.1 \text{ t / m}$$

$$V_{pr} = \gamma \times f_{ctd} \times u_p \times d = 1 \times 125 \times 13.4 \times 1.95 = 3266.3 \text{ t / m}$$

$V_{pd} < V_{pr}$ Kalınlık yeterlidir. h=2.00m

$$h \geq h_{\min} = \frac{l_{yn} \times (800 + 0.7 \times f_{yd})}{36000} = \frac{18.4 \times (800 + 0.7 \times 365)}{36000} = 0.54 \text{ m}$$

h=2.00m yeterlidir.

Sonuç olarak; d=1.95m; h=2.00m seçilir. Arttırılmış yüklerin, kullanma yüklerinin yaklaşık 1.5 katı olduğu kabul edilerek; kullanma yükleri altındaki en büyük zemin gerilmesi: Ortalama bir değer;

$$q_{z \max} = \frac{\sigma_z}{1.5} + G_p = \frac{69.69}{1.5} + 2.5 \times 2.0 = 51.46t / m^2 > q_{zem} = 50 t/m^2$$

Veyahut Sap2000'den Çimento silosunun radyesinde meydana gelen maksimum çökme alınır; $U_3 = 3.71 \text{ cm}$

$$q = k \times U_3 = 2500 \times 0.0371 = 92.75t / m^2 = 9.28kg / cm^2 > \sigma_{zem} = 5.0kg/cm^2$$

Bu yüzden kazıklı temel yapılması gerekmektedir. Radye temel hesabına lüzum yoktur.

5.İRDELEME VE SONUÇ:

Bu tezde 60m yüksekliğinde 20m çapında Söke çimento silosunun statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda seçilen cidar kalınlıkları yeterli görülmele birlikte silonun 8 ila 50m kotlar arası malzemenin cidarda oluşturduğu farklı sıcaklıktan doğan momentler, perde içi gerilmelerinden dolayı enine donatı %4'lük maksimum donatı oranına yakın çıkmasına neden olmuştur. Bu sebeple öngermeli çeliklerin kullanılması ve yatay donatıların ise konstrüktif amaçlı hesap edilmesi gerekir.

Düşey yükler ve deprem kuvvetleri doğrultusunda ise perdelerin seçilen kalınlıkları minumum donatı oranı yeterli görülmüştür.

Ayrıca sistem modal analiz yöntemine göre çözülmüştür.16 mod yeterli görülmele beraber etkin modal kütle toplamının bina toplam kütle oranı %93 olduğu böylelikle 1998 deprem yönetmeliği esas alınarak %90'lık oran aşılmıştır. Bu analiz sonucunda yapımız boyutlandırılmıştır.

Temelimiz 2m kalınlığında radye temel seçilmiştir. Zemin emniyet gerilmesi 5kg/cm^2 'dir.Temelimizdeki maksimum çökme 3.71cm'dir.Zemin yatak katsayısı 2.50kg/cm^2 'dir.Böylelikle zemin emniyet gerilmesi aşılmıştır. Bu sebeple kazıklı temel yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR:

1. Betonarme Silo ve Bunkerler; Prof.Dr. Nahit KUMBASAR, Prof.Dr. Metin AYDOĞAN, Prof.Dr. Melike ALTAN.(1992)
2. T.S.E. Betonarme Siloların Hesap, Yapım ve Kullanım Kuralları (T.S. 6989 / Mayıs 1989)
3. Betonarme Siloların Hesap Esasları, yönetmeliklere göre malzeme basınçlarının karşılaştırılması ve uygulamalar; Kamil KIVRAK, İ.T.Ü. Yüksek Lisans Bitirme Tezi; (1987)
4. Siloların Genel Konstrüktif ve Hesap Esasları; Ayhan SAYİTOĞLU, İ.T.Ü. Yüksek Lisans Bitirme Tezi; (1987)
5. Betonarme Yapılar; Prof.Dr. Nahit KUMBASAR, Prof.Dr.Zekai CELEP; (2005)
6. Betonarme; Prof.Dr. Uğur ERSOY, Prof.Dr. Güney ÖZCEBE; (2004)
7. BetonarmeII – Döşeme ve Temeller, Prof.Dr. Uğur ERSOY (1995)
8. T.S.500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (Şubat 2000)
9. T.S.498 Yüklerin Hesap Değeri (Kasım 1989)
10. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik; (1998)
11. Taşıyıcı Elemanlarda Sonlu Elemanlar Yöntemi; İ.M.O. Seminer Notları. Prof.Dr. Metin AYDOĞAN; (2005)
12. Dönel Silindirik Kabuklar ; Dr. Ali KOÇAK, Y.T.Ü. Yüksek Lisans Bitirme Tezi; (1987)
- 13.Boyuna ve Dairesel Ayrık Nervürlerle Rijitlendirilmiş Silindirik Kabukların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Stabilitate Hesabı; Prof.Dr. Türkan KÖKSAL, Y.T.Ü. Doktora Tezi; (1980)

14. Jenike-Johanson Incorporated

Load Development and Structural Considerations in Silo Design

By J.W. CARSON, Ph.D. and R.T. JENKYN, P.Eng. ; www.jenike.com

15. SAP2000 Kullanım Klavuzu (www.comp-engineering.com)

16. TERBAY İnş.Ltd.Şti. / İZMİR (www.terbay.com.tr)

İbrahim HÜNER

Adres : Edirnekapı Devlet Yurdu Topkapı- Fatih / İSTANBUL

Tel Cep : 0 – 537 – 490 55 70

E-mail : ibrahimhuner@mynet.com



EĞİTİM

- 1993 – 1997 Pamukkale Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
İnşaat Bölümü
- 2002 Yıldız Teknik Üniversitesi
Yapı Mekaniği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tez Aşaması

İŞ TECRÜBESİ

- Haziran 1996 – Eylül 1998 TERBAY İnş. Ltd. Şti. / İZMİR
Batısöke 2. Klinker Üretim Hattı İnşaatı (400 adet vibrex kazık)
Saha Mühendisi
Batıçavdır Öğütme ve Paketleme Tesisi İnşaatı
Saha Mühendisi
- Nisan – Ağustos 2000 Aksaray Holding / AKSARAY
Aksaray Holding Organize Sanayii Çelik Kapı Fabrikası İnşaatı
Şantiye Şefi
- Eylül - Aralık 2000 VCS Mak. Tic. Ltd. Şti. / İSTANBUL
İçdaş Biga Haddehane Fabrikası İnşaatı
Saha Mühendisi
- Şubat – Temmuz 2001 Mimag Mak. Ve İnş. Ltd. Şti. / ANKARA
Sugözü Termik Santrali İnşaatı / Yumurtalık / ADANA
Baca ve pompa dairesi İnşaatı (Kayar ve tırmanır kalıp ile)
Şantiye Şefi
- Temmuz 2004 – Temmuz 2005 AĞDAĞ İnş.Ltd.Şti./BİLECİK
E.C.A Fabrika İnşaatı / MANİSA
Şantiye Şefi
- Aralık 2005 - Mumcular Mak.İnş.Ltd.Şti. / İSTANBUL
Proje Mühendisi

BİLGİ VE BECERİ

- Yabancı dil
İngilizce (Orta derece)
- Bilgisayar Deneyimi
Windows,Ofis Programları
- Statik hesaplama programları
SAP 2000 V10.01(iyi),XSTEEL V10.1(orta), AUTOCAD 2006(iyi) (2D)
- Her türlü metraj yapımı keşif hazırlama (B.B.F.)göre
- E sürücü ehliyeti

ASKERLİK DURUMU

- 20 – 03 –2000 tarihinde asteğmen olarak yaptığım askerlik görevim sona ermiştir.