

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
YAPI DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

TEZ NUMARASI

Genel :
Anabilim dalı :
Program :

BETONARME VE ÖNGERİLMELİ BETON
SİLOLARIN PROJELENDİRME ESASLARI

M. Cahit TURHAN

Yönetici: Doç. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ

TRABZON
Kasım 1986

Ö N S Ö Z

Bu çalışma K.Ü. İnşaat Müh. bölümünde bir yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışma Betonarme ve öngerilmeli beton siloların projelendirilmesini içermektedir. Çalışmada betonarme ve öngerilmeli beton siloların projelendirilmesinde, proje öncesi düşünülmesi gereken hususlar ve hesap yöntemleri incelenmiştir.

Bu çalışmaların süresi boyunca her türlü yardımı esirgemeyen Sn. hocam Doc. Dr. Ahmet DURMUŞ'a ve çalışmam sırasında yardımlarını gördüğüm Av. Ö. Lütfü TURHAN'a, İnş. Yük. Müh. Sn. Erdem TEKİN'e, İnş. Yük. Müh. Sn. Çetin LATİFOĞLU'na, İnş.Yük.Müh. Sn. Sunay ÖZMEN'e, Alm. Mütercim İsmail YILDIZ'a Ayrıca tezimin yazımında gösterdiği yardımından ötürü İnş.Müh. Sn. Altan ÜNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

M. Cahit TURHAN
TRABZON/KASIM 1986

İ Ç İ N D E K İ L E R

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	I
SUMARY	II
SİMGE LİSTESİ	III
BİRİMLER ÇİZELGESİ	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
ÇİZELGELER LİSTESİ	VII
GİRİŞ	VIII

B Ö L Ü M I

GENEL BİLGİLER

1.1.	SİLOLARIN AMACI	1
1.2.	TANIMLAR	1
1.3.	SİLOLARIN YAPIMINDA KULLANILAN MALZEMELER	2
1.4.	SİLOLARDA ARANAN ÖZELLİKLER	3
1.5.	SİLOYA KONACAK MALZEMELER	3
1.5.1.	Malzeme Çeşitleri	3
1.5.2.	Üretilmiş ve Üretimden Sonra Öğütülmüş Malzemeler	4
1.5.2.1.	Tarım Ürünleri	4
1.5.2.2.	İşlenmiş Tarım Ürünleri	4
1.5.2.3.	Anorganik Ham Maddeler	4
1.5.2.4.	Sanayi Ürünleri	4
1.5.3.	Malzemenin Siloda Oluşturduğu Etkiler	4
1.5.3.1.	Mekanik Etkiler	4
1.5.3.2.	Kimyasal Etkiler	5
1.5.3.3.	Sıcaklık Etkisi	5
1.5.3.4.	Toz Patlaması	6
1.5.3.5.	Malzemedeki Haşarat Etkisi	6
1.6.	PROJELENDİRME	6
1.6.1.	Proje İlkeleri	6
1.6.2.	Silplardaki İşletme Tesisleri	7
1.6.3.	Plan ve Boykesit	8
1.6.4.	Hücre Şekilleri	9
1.7.	SİLODAKİ MALZEMENİN SEVKİYATI	10
1.7.1.	Genel Bakış	10

1.7.2.	Teslim Alma ve Teslim Etme	10
1.7.3.	Hücrelerin Dolması	10
1.7.4.	Hücrelerin Boşaltılması	11
1.8.	SİLO HÜCRELERİNİN KISIMLARI	11
1.8.1.	Hücre Duvarları	11
1.8.2.	Duvar Destekleri	11
1.8.3.	Silo Hücresinin Tabanı	12
1.8.4.	Hücrenin İç Yapısı	12

B Ö L Ü M II

SİLOLARIN HESABI

2.1.	MALZEMELERİN KAREKTERİSTİK DEĞERLERİ	14
2.1.1.	İçsel Sürtünme	14
2.1.2.	Duvar Sürtünmesi	15
2.1.3.	Tabi Şev Açısı	15
2.1.4.	Döküm Ağırlığı	16
2.2.	YÜKLERİN HESABI	16
2.2.1.	Jansen ve Koenen'in Klasik Teorisine nın Hesabı	20
2.2.2.	Deneyle ve Sonuçları	21
2.2.3.	Reimbert ve Janssen Yönteminin Karşılaştırılması	22
2.2.4.	Siloya Etkiyen Yüklerin Hesabı için Öneriler	24
2.3.	YÜKLERİ ARTIRAN VE AZALTAN ETKİLER	25
2.3.1.	Silodaki Malzemenin Küprülenmesi	25
2.3.2.	Eksantrik Boşaltma	25
2.3.3.	Havalandırma	25
2.3.4.	Sıcaklığın Etkisi	26
2.4.	SİLO CİDARLARININ HESABI	26
2.4.1.	Tek Dairesel Kesitli Silo Hücresi	27
2.4.2.	Ağ Hücreler	27
2.4.3.	Yay Hücreler	28
2.4.4.	Dikdörtgen veya Kare Kesitli Hücreler	30
2.4.5.	Düzgün Çokgen Hücreler	31
2.5.	TREMİLER VE HESAPTA İZLENEN YOL	32
2.5.1.	Konik Ağızlı Tremiler	34
2.5.2.	Düzgün Primit Şeklindeki Hücreler	35
2.5.3.	Tremilerin Silo Duvarına Birleştirilmeleri	35
2.6.	SİLOLARDA TAŞIYICI KOLONLAR	36
2.6.1.	Kolonlara Gelen Yükler	36

2.6.2.	Kolon Hesabında Dikkat Edilecek Hususlar	39
2.7.	TEMELLER	42

B Ö L Ü M III

ÖNGERİLMELİ SİLOLAR

3.1.	GENEL BİLGİLER	43
3.2.	HESAP ESASLARI	44
3.2.1.	Geometri	45
3.2.2.	Yüklerin Hesabı	45
3.2.3.	İnşaat Malzemesi	45
3.2.4.	Öngerme Kuvvetlerinin Hesabı	46
3.2.4.1.	Kablo Boyunun Hesabı	46
3.2.4.2.	Sürtünme Kayıpları	46
3.2.4.3.	Sıkıştırıcı Oturması	48
3.2.4.4.	Uzama Boyunun Hesabı	49
3.2.4.5.	Rölaksasyon Sonucu Oluşan Kayıplar	49
3.2.4.6.	Rötre ve Sünme Sonucu Oluşan Kayıplar	51

B Ö L Ü M IV

SAYISAL ÖRNEKLER

4.1.	BİR HÜCRELİ DAİRESEL KESİTLİ BETONARME BİR SİLONUN HESABI	53
4.2.	BİR HÜCRELİ DAİRESEL KESİTLİ ÖNGERİLMELİ BİR SİLONUN HESABI ...	60

B Ö L Ü M V

SİLOLARA AİT ŞARTNAME KAYITLARI

5.1.	ALMAN ŞARTNAMESİ (DİN 1055)	69
5.2.	AMERİKAN BETON ENSTİTÜSÜ ŞARTNAMESİ (ACI 313-77)	77
5.3.	İNGİLİZ ŞARTNAMESİ (BS 5061)	103

B Ö L Ü M VI

6.1.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	125
7.	KAYNAKLAR	127
8.	ÖZGEÇMİŞ	128

Ö Z E T

Bu çalışma, betonarme siloların projelendirilmesini içeren bir çalışmadır. Çalışmamızın amacı, Betonarme silolar konusunda bir eser ortaya koymaktır. Memleketimizde Türkçe olarak bu konuda gerekli bilgiyi verebilecek bir yayın olmaması, dolayısıyla piyasadaki mühendislerin bu konuda yeteri kadar bilgiyi bulamamalarına neden olmaktadır. Amacımız bu boşluğu bir ölçü ile gidermektir. Çalışmamız genellikle yabancı yayın ve şartnamelerden faydalanılarak yapılmıştır.

Çalışma üç bölümden ve ek olarak bazı şartnamelerin Tercümesinden oluşmaktadır.

Birinci bölümde siloların projelendirilmesinde ön çalışmalar, silonun yerinin seçimi için dikkat edilecek hususlar anlatılmıştır. Ayrıca yapılacak silonun hücre şekli, siloda bulunması gereken ek tesisler, silolanacak malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde silo elemanlarına etkiyen yüklerin hesabı, anlatılmıştır. Hücrelere etkiyen yüklerin hesaplanmasında kullanılan yöntemler işlenmiş ve bunların karşılaştırılması yapılmıştır. Değişik hücre şekillerinin statik hesabı yapılmış olup yardımcı tablolar verilmiştir. Tremi ve kolonların hesabı bu bölümde işlenmiştir.

Üçüncü bölümde ön gerilmeli silolar hakkında açıklama yapılmış ve bu siloların hesap esasları verilmiştir.

Ek olarak da DİN 1055 - Bölüm 6, ACI 33 - 77 Bölüm 4 ve Bölüm 5 ve BS 5061 Tercüme edilerek sunulmuştur.

S U M M A R Y

This study includes the design of reinforced concrete silos. The aim of our study is to produce a literature about reinforced concrete silos. In Turkey, engineers are unable to find enough knowledge about this subject since there isn't any publication written in Turkish on this matter. Our aim is to help them, producing this literature. In general, we produced it, making use of foreign publications and specifications.

Our study includes three parts and translations of some specifications.

In part one, some knowledge about preliminary study on the design of silos and subjects which will be taken care of while choosing a place for a silo, are discussed. In addition, some useful knowledge about, the cell shape of silo, joining institutions which must be built and materials which will be stored in the silo, are given.

In part two, calculations of the loads affecting silo are given. The methods which were used while calculating the effects of loads on the cells are examined and compared. Static calculations about different cell shapes and useful tables are given. Also the calculations about hoppers and colons are presented.

In part three, pre-tension silos are explained and the calculation methods for them are given.

In addition, DIN 1055-part 6, ACI 33 - 77 part 4 and 5 and BS 5061 are translated and presented.

S İ M G E L İ S T E S İ

h_o	:	Silo yüksekliği
h	:	Hücre yüksekliği
r	:	Hücre yarıçapı
d	:	Hücre çapı
h_k	:	Kolon yüksekliği
a, b	:	Dikdörtgen hücrenin plandaki boyutları
P_h	:	Hücreye duvarlarına etkiyen yatay malzeme basıncı
P_v	:	Hücreye tabanına etkiyen düşey malzeme basıncı
P_w	:	Hücre duvarlarına etkiyen düşey sürtünme kuvveti
U	:	Hücrenin çevresi (iç)
F	:	Hücrenin alanı (iç)
φ	:	İçsel sürtünme açısı
r_h	:	Hidrolik yarıçap
λ	:	Yan basınç oranı
θ	:	Tabii sev açısı
φ'	:	Duvar sürtünme açısı
M	:	Duvar sürtünme değeri
γ	:	Silodaki malzemenin yoğunluğu
Z	:	Silo hücrelerine yerleştirilen koordinatın apsis değeri
Z_o	:	Karakteristik apsis
λ_a	:	Yanal basınç oranının alt değeri
$\lambda_{\bar{u}}$:	Yanal basınç oranının üst değeri
e	:	Tabii logaritma
P_{hi}	:	Boşaltma esnasında yatay yük
Δl	:	Sıcaklıktan dolayı duvarlardaki uzama miktarı
α	:	Uzama katsayısı, Açısı
t	:	Sıcaklık farkı
E	:	Elastisite modülü
n'	:	Sıcaklıktan dolayı oluşan gerilme
T	:	Çekme kuvveti
S	:	Dairesel kesitli silolarda normal kuvvet
e_1	:	Hücre duvarının kalınlığı
f_{ck}	:	Betonun basınç dayanımı
f'_{yk}	:	Çeliğin çekime dayanımı
f'_{yk}	:	Çeliğin basınç dayanımı
F_e	:	Donatı alanı
M	:	Hücre duvarlarında oluşan moment
Q	:	Kar kuvveti
N	:	Normal kuvvet

I	: Atalet momenti
t	: Hücre duvarlarının köşesindeki mesnet reaksiyonu
h'	: Tremi yüksekliği
s'	: Treminin yüzey alanı
z'	: Tremi ağırlık merkezinin apsisi
$P_{hz'}$: Tremiye etkiyen yatay yük
$P_{vz'}$: Tremiye etkiyen düşey yük
$P'_{hz'}$: Tremi ağırlık merkezine etkiyen yatay yük
$P'_{vz'}$: Tremi ağırlık merkezine etkiyen düşey yük
r'	: Treminin yarıçapı
R_H	: Tremiye etkiyen yatay yük
R_M	: Tremi etkisinde tremiye etkiyen yük
i	: Treminin yatayla yatığı açı
ΔX	: Donatı arasındaki mesafe
Q_Z	: Silo malzemesinin tabanda oluşturduğu yük
P_m	: Tremiyi dolduran malzeme ağırlığı
P_t	: Tremi ve bağlı sistemlerin ağırlığı
n	: Hücre sayısı
N_1	: Köşe kolonlara gelen yük
N_2	: Kenar orta kolonlara gelen yük
N_3	: İç orta kolonlara gelen yük
Q	: Toplam düşey yük
l	: Silonun uzunluğu
V	: Rüzgâr yükü
b_1	: Kolon genişliği
H	: Kolonun en kesitinin eğilme yönündeki boyutu
w	: Donatı oranı
k_1	: Katsayı
k_2	: Katsayı
α'	: Katsayı
m	: Oran
E_e	: Çeliğin elastisite modülü
E_b	: Betonun elastisite modülü

BİRİMLER ÇİZELGESİ

Bu çizelgenin hazırlanmasında $1 \text{ kgf} = 10 \text{ N}$ varsayılmıştır.

Cinsi	Uluslararası Sistem (SI)	Semboller	Metrik Sistem
—	Newton	N	0.1 kgf
—	Dekanevton	daN	1.00 kgf
Tekil yük	Kilonevton	kN	100.00 kgf
Eşit yayılı yük şiddeti	Kilonevton/Metre	kN/m	100.00 kgf/m
Dayanım ya da gerilme	Newton/mm ²	N/mm ²	10.00 kgf/cm ²
Moment	Kilonevtonxmetre	kN.m	100.00 kgf.m

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sahife No

Şekil 1	Silo ve Depo	2
Şekil 2	Siloya etkiyen yükler ve kesitler.....	2
Şekil 3	Bir silo tesisinin şeması	8
Şekil 4	Dağıtıcı boru sarkaçları	8
Şekil 5	Düzgün sıralı hücreler	9
Şekil 6	Çeşitli hücre şekilleri	10
Şekil 7	Hücre duvarlarının desteği	12
Şekil 8	Silo tabanları	12
Şekil 9	Silonun iç yapısı	12
Şekil 10	Silo duvarındaki ve dz elemanındaki kuvvetler	17
Şekil 11	Reimbert ve Janssene göre yüklerin karşılaştırılması ...	19
Şekil 12	λ 'nın analitik belirlenmesi	20
Şekil 13	$1/\lambda$ 'nın fonksiyonunun gösterimi	21
Şekil 14	Silo hücresi	22
Şekil 15	Tek dairesel kesit	27
Şekil 16	Ağ şeklinde daire hücreleri	27
Şekil 17	Bir ağ hücresinin daire yayı	27
Şekil 18	Yay hücreli silo	30
Şekil 19	Köşede yay hücresi	30
Şekil 20	Dikdörtgen hücre	31
Şekil 21	Düzgün çokgen hücre	32
Şekil 22	Tremi	33
Şekil 23	Tremiye etkiyen yük	33
Şekil 24	Konik tremilerde yüklerin bileşkesi	34
Şekil 25	Tremilerde donatı aralığı	34
Şekil 26	Treminin boyuna kesiti	34
Şekil 27	Düzgün pramit şeklinde tremi	35
Şekil 28	Pramit şeklindeki tremideki donatı şeması	36
Şekil 29	Silolarda kolonlar	37
Şekil 30	Kolonlara etkiyen yatay yükler	39
Şekil 31	Üngerilmeli silonun boyuna ve enine kesiti	44
Şekil 32	Kablo boyunca kablo kuvvetinin belirtilmesi için nomogram	47
Şekil 33	Sıkıştırıcı oturması	48
Şekil 34	Farklı halat tiplerinde rölaksasyon kayıplarının sonuç değeri (çevre ısı 20 ^o)	50
Şekil 35	Çevre ısısının fonksiyonu olarak çok düşük rölaksasyonlu halatlarda rölaksasyon kayıplarının sonuç değeri	50
Şekil 36	Yükleme anında ve yapı kısmının h_0 etkin yüksekliğinin fonksiyonu olarak betonun son rötme miktarı	52
Şekil 37	Yükleme anının yapı kısmının h_0 etkin yüksekliğinin fonksiyonu olarak betonun sonuç sünme sayısı	52

ÇİZELGE LİSTESİ

Sahife No

Çizelge 1	İçsel sürtünme değerleri	14
Çizelge 2	Duvar sürtünme değerleri	15
Çizelge 3	Şev açısı değerleri	16
Çizelge 4	Döküm ağırlığı değerleri	16
Çizelge 5	Φ değerleri	18
Çizelge 6	Janssen ve Reimbert yönteminin karşılaştırılması	23
Çizelge 7	M ve λ nın doldurma ve boşaltma durumuna göre değerleri	24
Çizelge 8	Ağ hücrelerde kesitlerdeki yüklerin α ya bağlı değerleri	28
Çizelge 9	Yay hücreli kesitlerde yüklerin α ya bağlı değerleri	29
Çizelge 10	Öngerilmeli beton ve betonarme bir silonun karşılaştırılması	45

G İ R İ Ő

İnsanoğlu Tarihin ilk yıllarından beri kendi ihtiyacında kullanacağı malzemeyi, depolamak gereğini hissetmiŐtir. Bu depolama, malzemeyi kullanacak olduğu zamana kadar belirli özelliklerini kaybetmeden kullanma imkânını verecek Şekilde olma özelliğini taŐımalıdır.

İlk zamanlarda genellikle gıda maddelerini yıl boyunca belirli periyodlarla saklamak için ambarlar yapılmıştır. Örneğin, bunun ilk örneğini Mısır'da II. Ramses zamanında yapılan büyük tahıl ambarlarında görmekteyiz.

İnsanoğlunun ihtiyaçlarının zamanla artması, kullandığı malzeme çeŐitlerinin çoğalması ve bunların özel koruma tedbirleri gerektirmesi siloların yapımına yeni bir boyut kazandırmıŐtır. Dünyanın bir yerinde üretilip başka bir yerde kullanmak için ulaşım araçlarına ihtiyaç olduğu kadar bu ulaşım merkezlerinde de silolara ihtiyaç duyulmuŐtur. Ayrıca malzemenin üretildiği yerden kullanılacağı, iŐleneceđi veya tüketileceği yerlere ulaŐması için belirli yerlerde silolamak gereği duyulmaktadır.

Günümüz dünyasında insanoğlu siloyu gıda, yem, kimyasal madde, maden, petrol gibi bir çok ham veya işlenmiş maddenin depolanmasında kullanmaktadır. Dünyada artan nüfusa paralel olarak siloların hacimleri de artmaktadır.

Bugün silolar malzemeleri uzun süre özelliğini kaybetmeden saklanabilecek Şekilde yapılabilir. İnsanoğlu gelecekte oluŐabilecek bir kıtlık, felaket ve harp tehlikesine karşı Őimdiden elinde bir takım ihtiyaç maddelerini silolama gereğini hissetmiŐtir.

Silolar yapıldığı malzeme ile silolanacak malzemenin özelliklerine bağlıdır. Genellikle sıvı malzemeler için çelik ve plastik silolar kullanılır. Kuru ve kısa zamanda tüketilecek malzeme için ahşap silolar ekonomik olmaktadır.

Bugün betonarmenin birçok özelliklerinin bilinmesi ve daha iyi tanınabilmesi itibari ile betonarme ve öngerilmeli beton silolar geniş çapta kullanılmaktadır. Sıcaklığa karşı dayanıklı olması, dış darbeler karşısındaki dayanıklılığı ve iŐlenebilme kolaylığı bakımından silo yapımındaki tercihe sebep olmuştur. Bu amaçla;

Bu çalışmamızda, betonarme siloların projelendirilmesinde projeciye yardımcı olmak amacı ile çeşitli literatürlerden faydalanılarak bu eseri hazırladık.

Çalışmamızda siloların projelendirilmesinden önce düşünülmesi gereken sorunlar, silonun kullanım amacına göre alınacak önlemler, malzeme karakteristikleri ve yüklerin hesabı bulunmaktadır.

Yüklerin hesabında, diğer memleketlerde kullanılan ve geliştirilen yöntemlerdeki hesap esasları bulunmaktadır. Bunların içinden bize uygun olarak seçtiğimiz bir yöntemle yapılan bir örnek bulunmaktadır.

Çeşitli silo hücrelerinin statik hesabı, bunların yardımcı tabloları ve donatı hesapları verilmiştir.

Son yıllarda gelişen öngerme tekniğinin silolardaki uygulaması bir örnekle açıklanmıştır.

Eklerde ise ACI 313-77'nin "projelendirme ve hazır beton silolar" bölümü DIN 1055 Bölüm 6, BS 5061 yem kule siloları ve kullanım tavsiyelerinin tercümesi bulunmaktadır.

GENEL BİLGİLER

1.1. Siloların amacı :

Silolar depo olarak kullanılır ve çeşitli malzemelerin muhafazası olarak tanımlanırlar. Ayrıca silolar bu malzemeleri havanın olumsuz etkilerinden de korurlar. Malzemelerin taşınması, karayolu, demiryolu ve en çokta denizyolundan, özel taşıma vasıtaları ile özellikle de gemilerle yapılır. Malzemenin nakliye araçlarından teslim alınması ve iadesi için silo yapılarının içinde iç tertibat mevcuttur.

Silolar için tercih edilen yerler, malların büyük miktarlarda depo edildiği üretim merkezleri veya bölgeleri, liman ve yük istasyonları gibi taşıma araçlarının değiştiği aktarma alanları ve malzemelerin bir sonraki kullanımına kadar tekrar depo edildiği işletme tesisleri veya sarfiyat bölgeleridir.

Siloların en önemli unsuru silo hücresidir. Yükseklikleri genişlik ölçülerinden daha büyüktür ve yer çekiminin yardımı ile dar bir yerde doldurma, depolama ve boşaltmaya imkân verirler.

Silo binasının yapımına karar verilince; plânlamayı yapan inşaat mühendisine, işbirliği yapacağı makina mühendisi ile gerekli malzemeleri temin edebilmesi amacı ile nakliye taşıma tertibatı ile bunların fonksiyonları hakkında bazı açıklayıcı bilgiler verilmelidir.

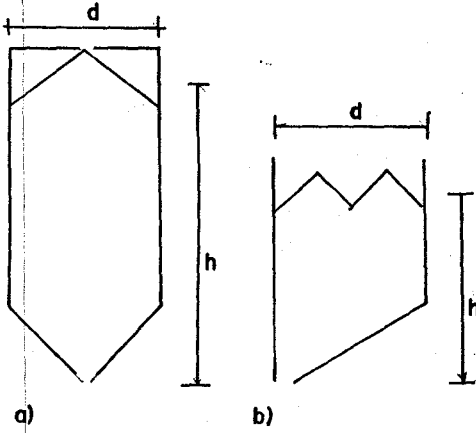
Silo yapıları yalnız yüksekliğinden dolayı, birçok durumda da hacminden dolayı şehir çevresini ve mimari tarzı diğer sanayi binalarından daha çok etkilemiştir. Bu nedenle projeye vazifelendirilen inşaat mühendisi inşaat sahibini her durumda ikna etmelidir ki, mimar, yapının yakınındaki binalara yapılara uygunluğundan ve mimari tarzından vazgeçmesin.

1.2. Tanımlar :

Silo bir muhafaza ve depo olarak ifade edilmektedir. Siloların yüksekliği plândaki genişlik veya çapa oranla daha büyüktür. Silo duvarları düşey bir doğrultuda inşa edilmektedir. Ayrıca boşaltma sisteminin çok kolay olması için alt taban huni şeklinde yapılmakta ve üste de silo tavanında kilitlenen bir doldurma kapağı yer alır. Daha fazla hücreler bir yapıya sıkıştırılırsa silo kavramı bütün tesisler için kullanılır. Büyük bir depoda h/d oranı bir silodakinden daha küçüktür. Genel-

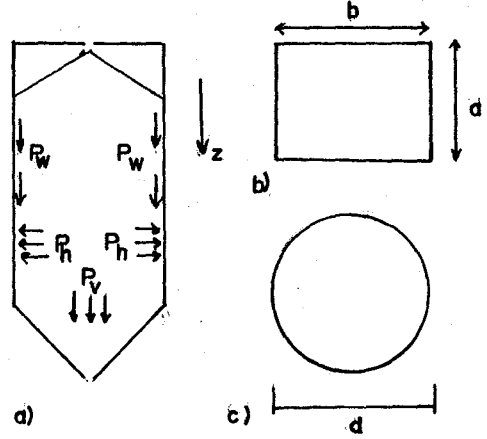
likle her iki koruyucu çeşidi arasındaki limit oranı $h/d=1,5$ olarak bulunur. (Şekil 1)

Bir siloda silo malzemesinden oluşan yüklerin bir bölümü duvarın sürtünmesi ile alınırken duvarlara gelen yatay yük ve düşey yük azalmaktadır. Bu durum bir depoda h/d oranının küçüklüğünden dolayı o kadar azdır ki, buna önem verilmeyebilir. İşte silo ile diğer depolar arasındaki önemli fark buradadır. Bu açıklamalar (Şekil 2) de görülmektedir.



ŞEKİL 1

- a) Silo $h/d > 1,5$
- b) Depo $h/d < 1,5$



ŞEKİL 2

- a) Silo yükleri P_w, P_v, P_h
- b) Dikdörtgen kesit
- c) Dairesel kesit

1.3. Siloların yapımında kullanılan malzemeler :

Silolar bilinen inşaat malzemelerinden inşa edilirler. Ahşap, tekniğinin gelişmesiyle, bugün silo inşaatında da yerini almıştır. Küçük silolarda plastik tercih edilmektedir. Çelik silolar çok eskiden yapılmıyordu ve son 10 yıl içerisinde hem küçük ve hem büyük tesisler için sağlamlığını göstermiştir.

Orta ve büyük silolarda yüzyılın başından beri betonarme yapılar çoğalarak kendini kabul ettirmiştir. Özellikle son 20 yıl içinde betonarme yapının birçok sorunu çözüldüğü için betonarmeden yapmak görüşü çoğalmıştır. Betonarmenin ve öngermeli beton tekniğinin gelişmesi ile bugün betonarme siloların sayısı büyük ölçüde artmıştır.

Yapı maddesi olarak beton faydaları da bilinmektedir. Hemen hemen her şekilde yapılabilmeleri, uygun olmayan çevre şartlarındaki aşınma müddeti, çarpma ve darbelerle karşı dayanıklılığı, yüksek sıcaklık ve sıcaklık süresince azalmayan dayanıklılığı çelik karşısındaki hareket yeterliliği silo yapımındaki yayılmaya yardımcı

olmuştur.

Bu sebeplerle mühendise porje ve yapım esnasında aşırı zorluklar çıkarmamıştır.

1.4. Silolarda aranan özellikler :

- İstenen kapasitede olmalı, giriş ve çıkış kapasitesi yeterli olmalı
- Malzeme giriş ve çıkışında anında tartım yapabilecek basküller ihtiva etmeli
- Malzemenin istenen özelliklere getirilmesini sağlayacak temizleme, eleme, sistemleri olmalı
- Tohum hazırlama cihazları bulunmalı
- Rutubeti yüksek malzemeyi girişte kurutabilecek kurutma tertibatı olmalı
- Toz patlamasını önleyecek kapasitede aspirasyon (havalandırma) sistemlerini içermeli
- Her türlü araca yükleme yapabilecek çıkışları bulunmalı
- Liman silolarında malı gemiye yüklerken istifleme yapabilecek trimleme (yerleştirme) cihazı bulunmalı
- Dampersiz kamyon boşaltmaya elverişli kamyon kaldırma cihazı bulunmalı
- Silo için telefon veya telsiz haberleşme sistemi bulunacak
- Araç trafiğinin normal bir şekilde çıkmasını sağlayacak demiryolu ve karayolu yaklaşma yolları bulunacak
- Peryodik bakım süresince silo faaliyetini durdurmayacak tesisata sahip olacak
- Hücrelerde seviye sıcaklık, seviye rutubet, seviye malzeme cihazlarını içermeli.

1.5. Siloya konulacak malzemeler :

1.5.1. Malzeme çeşitleri :

Silo malzemesi olarak, siloda serbest halde depo edilebilen veya aktarılabilen bütün maddeler ifade edilmektedir. Bunlardan başka hazır veya yarım kalmış sanayi ve zirai ürünleri de depo edilebilen silo malzemeleridir. Bunların naklieleri için ambalaj yapma zorunluluğu yoktur. Büyük miktardaki paketlenmemiş malları nakletmek, aktarmak ve depolamak büyük bir süratle sürdürülebilmektedir. Çünkü bu sayede ekonomi sağlanmaktadır.

Siloların teşekkülü ve hesaplanması, silodaki doldurma, depolama ve boşaltma proje için çok önemlidir. Bu düşünce altında silo hücrelerinde veya bütün tesislerdeki silo malzemesinin kullanılabilmesi için fiziki, kimyevi ve biyolojik etkiler ve etmenler bilinmelidir.

1.5.2. Üretilmiş ve üretimden sonra öğütülmüş malzemeler :

Aşağıda sayılanların tamamı değildir. Sınırlı bir kesimi gösterir. Burada açık bir sınırlandırma mümkün değildir.

1.5.2.1. Tarım ürünleri :

Tahıl siloları önceleri eski tarihi devirlerde yapılıyordu. Bugün de zirai mamulleri depolama miktarına göre hâlâ silo malzemeleri arasında ilk sırayı almaktadır. Başlıcalarının adları şunlardır:

Tahıl (Arpa, Yulaf, Darı, Mısır, Çavdar, Buğday)

Baklagiller (Fasulyeler, bezelyeler, mercimekler, soya fasulyeleri)

Yağ tohumları (Karabuğday, keten, kolza, hardal, ayçiçekleri)

1.5.2.2. İşlenmiş tarım ürünleri :

Tahıl unu

Kaba öğütülmüşler (Palmin, soya fasulyesi, Ayçiçeği)

Hayvanlara yem olabilenler; (Kabuklulardan üretilen malzemeler; soya fasulyesi, Ayçiçeği, buğday vs.)

1.5.2.3. Anorganik Ham maddeler :

Çakıl, kuars, kum; Maden

Maden, kireç, kömür, kokkümü (Bunlar genellikle diğer depolarda depolanır)

1.5.2.4. Sanayi ürünleri :

Çimento, çimento klinkeri, kül kömürtozu

Gübre (Potasyum, fosfat), oksit, kükürt, soda, özel hazırlanmış malzeme (granüler malzeme)

1.5.3. Malzemenin siloda oluşturduğu etkiler :

1.5.3.1. Mekanik etkiler :

Siloların, hesaplanmasında çok önemli bir husus olan silo malzemelerini düzey taşıma mekanik tesirin basıncı altındadır. Bu basınç yerçekimi kuvvetinden etkilenmekte ve herşeyden önce alt alta olan tanelerin ortak etkisinden tane büyüklüğüne bağlı olan zemin mekaniğindeki İç Sürtünme ve Kohezyon ölçümü olarak

kullanılmaktadır. Bundan dolayı tane büyüklükleri silo malzemesi için en önemli değerlerdir.

- Tane ölçüleri 0,1 mm.'nin altında olan toz silo malzemeleri.

Bunlara; Tahıl unu, çimento, kül ve benzerleri dahildir.

- Tane ölçüleri 30 mm'nin altında olan tane silo malzemeleri.

Bunlara; Tahıl, baklagiller, yağ tohumları, çakıl, kuars, kum ve benzerleri dahildir

- Büyük taneli parça silo malzemeleri.

Bunlara; Maden, kireç, kömür, kok kömürü dahildir.

- Kohesives silo malzemeleri.

Buna da; kaba öğütülmüşler, yemler ve benzerleri dahildir.

Toz halindeki silo malzemesinde iç sürtünmenin yanında kohezyon etkisi ortaya çıkmaktadır. Kohesiv silo malzemesi esasen bitkisel mamullerin işlenmesi ile olur. Bu esnada danelerin kabukları kırılırsa yağlı kısım dışarı çıkar. Bunlar ağır akıcılar olarak ifade edilmektedir. Çünkü siloların boşaltılmasındaki akış tanecikli malzemelerdeki gibi yerleştirememekte ve bundan dolayı bazı yardımcı önlemler alma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

1.5.3.2. Kimyasal etkiler :

Silo malzemelerinin bazıları betona tutunurlar. Örneğin; tuzlar, asitler, katı yağlar, sıvı yağlar, kükürtler gibi. Betonun yoğunluğu o kadar fazladır ki, kimyevi tesirler karşısında ulaşılan dayanıklılık silo malzemesi için özel koruma tedbirleri gerektirmektedir. Aksi takdirde beton, tesir olan maddelerin doğrudan doğruya girişinde önce korunması gerekirdi.

Nem tutan malzemeleri bir araya toplanmaya ve dökülmeyi önlemeye sebebiyet verirler. Bunlar için adı geçen sebepten dolayı hava geçirmez silolar kullanılır. Kireç, Güherçile, yemektuzu rutubeti tutan malzemeler için birer örnektir.

1.5.3.3. Sıcaklığın etkisi :

Biyolojik ve kimyevi durumlar sebebiyle suyun oluşturduğu nem maddeleri kendiliğinden tutuşturmaya kadar ısıtır. Örneğin nemli tahıl, nemli kömür ve kükürt için işletme tedbirleri alınmaktadır. Böyle durumlarda hücre tam zamanında boşaltılır veya tahıllar diğer hücrelere aktarılır. Çimento 100°C'lik bir sıcaklıkla siloya doldurulur ve yavaş yavaş soğur. Buna rağmen yangın karşısında beton çok dayanıklıdır ve Betonarme silolar ekseriyetle sıcaklığı dayanıklı olarak tanzim edilmektedir.

1.5.3.4. Toz Patlaması :

Birçok silolarda silo malzemesi nedeni ile oluşan patlama tehlikesine dikkat etmek gerekir. Belirli karışım durumlarında önceden bir kıvılcımla tutuşabilen serbest haldeki toz, toz hava karışımı olmakta ve sonradan da toz patlaması olmaktadır.

Toz oluşturan maddeler; Tahıl baklagiller, yağ tohumları, un, çimento ve şeker gibileridir. Toz patlaması seyrek değildir ve çok büyük zararlar meydana getirmektedir.

1.5.3.5. Malzemedeki haşaratın etkisi :

Beton haşaratdan dolayı haşare uğramaz, fakat haşarat mücadelesi içinde çeşitli yollar vardır. Haşaratla mücadelede en etkili yöntem hücre içine gazdan hava üflemeğdir.

1.6. Projelendirme :

1.6.1. Proje esasları :

Belirli bir yerdeki malzeme yığınlarını depolayan, aktaran veya işleyen bir silonun yapılışı ekonomik zaruretten doğmaktadır.

Projenin başında, silo tesisi için inşaat sahibi tarafından yapılan tesbitler arzu edilen fonksiyonlar ve sonuçları bulunmaktadır. Bunun için ilgililerle yapılan konuşmalar görevli kişilere aktarılmalı ve krokilerin yardımı ile masraf tahmini, faydalı ve zararlı çeşitli ihtimalleri gözönünde bulundurmak gerekir.

Uygun yer seçimi siloların nakliye şebekesine bağlantısına göre belirlenir. Silodaki bir takım işlerin ve bunların karşılıklı koordinesi için mevcut bulunan nakliye yollarının dışında işletme şartları en büyük ağırlığı taşımaktadır.

Bir silo tesisinde az sermaye ve düşük işletme masrafları ile çeşitli iş safhalarının koordinesini yapmak için, planlamada meslek sahiplerinin inşaat sahasında sıkı bir işbirliği gereği vardır.

Asansör ve diğer mekanik tertibatlar iş sahasında makine mühendislerine aittir. Yapı ve taşıma yolları projesi inşaat mühendisi tarafından hazırlanır. Ayrıca mimar mühendis dış şekil ve proje müzakeresinde etkili olmalıdır. Silo tesislerinin donanımlarında kazayı önleme talimatnamesine uymak gerekir. Önlemler patlama veya yangın oluşması sırasında basınç yükselmesi nedeni ile kaçmayı gerektirmelidir.

Malzemenin değişimi sırasında toz oluşturan silo malzemeleri için toz infilaki sık sık olmakta ve gelecekte de bütün önleyici tedbirlere rağmen bu toz patlamasının devam edeceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle bir patlama sırasında insanların bir tehlikeye girmemeleri ve zararın az olması için silo yapıları çok hassas yapılmalıdır.

Bu maksatla içerdeki hafif bir bir basınç yükselmesine mukavemet gösterebilmesi ve böylelikle de basınç dalgalarının dışarıya yayılabilmesine imkan verebilmesi için duvarların ve tavanın evre kısımları hafif yapı tarzında inşa edilmelidir.

Silo mallarının hem depolanması hem de aktarılmasında son yıllarda ciddi dzemlemeler yapılmaktadır.

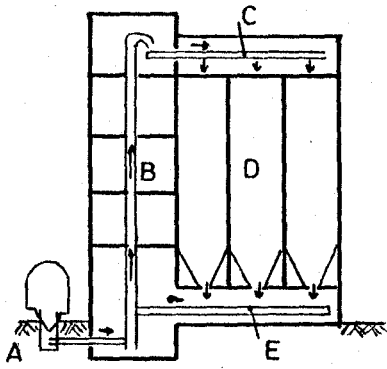
1.6.2. Silolardaki işletme tesisleri :

İçinde silo malının düşey nakledildiği işletme kuyusu bir silo tesisinin özü olarak görülür. Hemen hemen diğer bütün donanımlar ve inşaat kısımları onun işlemesine ve bölgesine bağımlıdır.

İşletme kuyusu demiryolu, karayolu ve denizyolundan nakledilecek malzemeyi en uygun şekilde doldurup boşalmayı yapabilecek yerde olmalıdır. İşletme kuyusu bir çok durumda hücre bloğunun içinde olmakla beraber, yapıda tercih edilen bir dış duvarın içine yerleştirilebilir.

Enerji naklinde uzun yollardan kaçınmak için makina dairesi maksata uygun olarak işletme kuyusunun yanında bulunur. Silodaki mal kullanılacak veya işlenecekse işletme kuyusunun civarındaki lüzumlu yerler tasnif edilir.

şekil 3'te basit bir silo tesisinin açıklama şeması görülmektedir. Malzeme kara veya demir yolundan kabul kuyusuna (A) verilir ve yatay olarak işletme kuyusuna (B) nakledilir. İşletme kuyusundaki düşey ilerlemeyi bir elevatör üzerine almakta ve malzeme tavan katında (C) hücre girişlerine düşey olarak dağıtılmaktadır. Silo malzemesi yer çekiminin yardımı ile hücrelerden (D) yatay taşıma şeriti üstünde (E) zemin kata iner işletme kuyusu yapının en yüksek noktası ile en derin noktasını birbirine bağlar bunun yanında sitenin bütün yüzeyler ulaşılabilmek ve hizmetlerin yapılabilmesi için asansör ve merdiven çıkışı tanzim edilir. Ayrıca normal faaliyetde açılan tavan katındaki delikli bir kuyu düşey taşıma için makinaların hizmetine hazır olmalıdır.

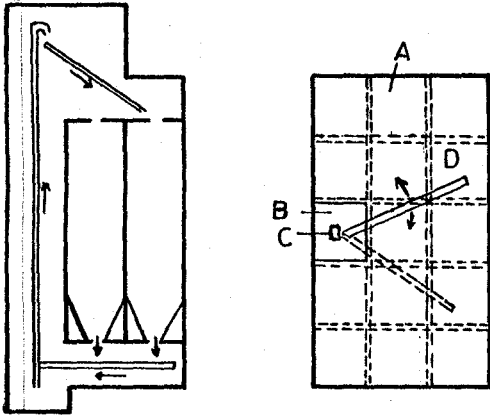


- A : Kabul yeri
- B : Elevatörlü işletme kuyusu
- C : Yatay dağıtım tavan katı
- D : Silo hücresi
- E : Yatay boşaltım zemin katı

ŞEKİL 3

1.6.3. Plan ve Boy kesit :

Şekil 4'deki palılda bir tanesi işletme kuyusu olarak kullanılan ve geriye 14 hücre kalan 15 kareye bölünmüştür. Bunlar düşey bir eksen etrafında 180°C dönen boru sarkaçlar vasıtası ile elevatörden alınarak hücrelere doldurulur.



- A : Silo hücresi
- B : İşletme kuyusu
- C : Nakil tertibatı
- D : Dağıtıcı boru sarkaçları

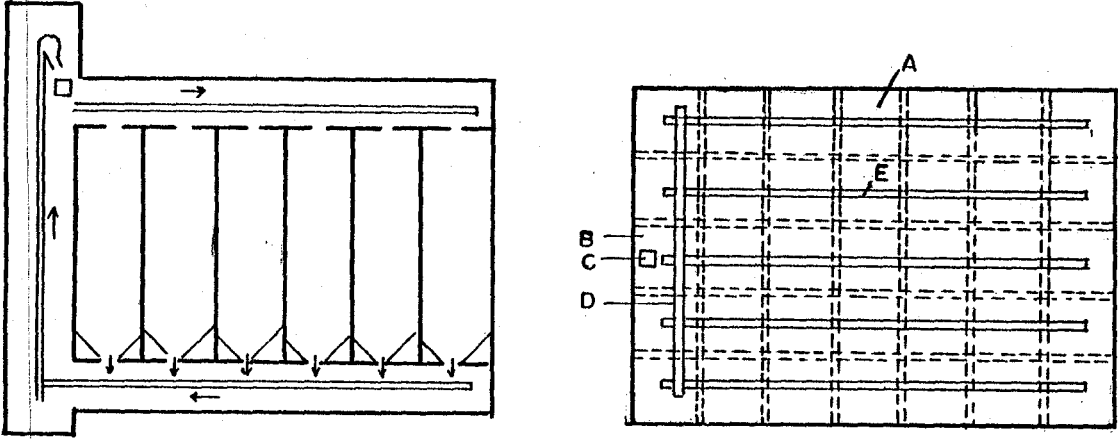
ŞEKİL 4

Şekil 5'de gösterilen ve 5 sırada düzenlenen 34 hücreli tesisler her sıra için bir Redler ile donatılmıştır. İlave bir taşıma şeridi işleme kuyusundaki düşey nakil işini yapan elevatörlerden hücre sıralarına enine mal dağıtımını yüklenmektedir. Bir hücre sırasının (sayısının) uzunluğu Redlerin randımanına göre 60 m.nin üzerinde sınırlandırılır.

Dik kesitte zemin katı, çatı katı ve hücre bölümü bulunur.

Zemin ve çatı katında yatay malzeme taşıma şeritlerinin donanımı bulunur ve ayrıca bunları havanın etkisine karşı korumaktadır. Silo hücrelerinin alt bölümün-

de huniler bulunmaktadır. Hunilerin eğik yüzeylerinin meyili silo malının sürtünme mukavetine ve akma durumuna bağlıdır. Bu tahılda yatayla 35°'lik bir açı olmaktadır.



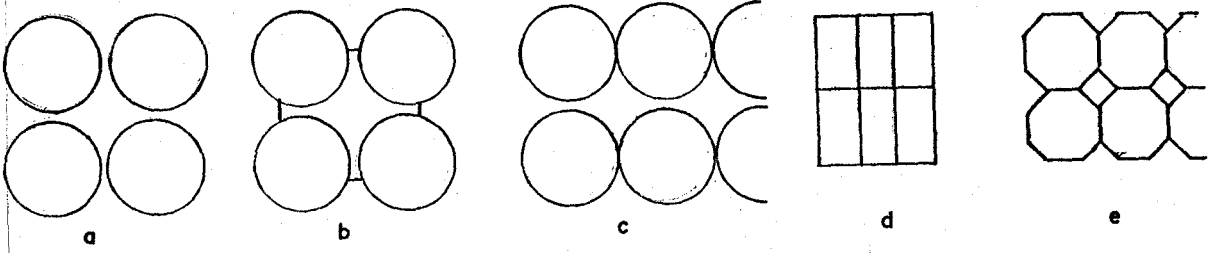
- A :SİLO HÜCRESİ
B :İŞLETME KUYUSU
C :ELEVATÖR
D :ENİNE REDLER
E :UZUNLUK DOĞRULTUSUNDA HÜCRE SIRALARININ ÜZERİNDEKİ REDLER

ŞEKİL 5

1.6.4. Hücre şekilleri :

Hücre kesiti için projenin bütün taleplerinin yerine getirildiği bir çok şekiller gözönünde bulundurulur. Bununla ilgili bazı örnekler şekil 6'da verilmiştir.

Statik bakımından şekil 6'a serbest duran daire halkası uygun çözüm olarak düşünülebilir. Silo dolu iken duvarlarda eğilme momenti teşekkül etmez. Yükler çember doğrultusundaki çekme kuvveti ile karşılanabilir. Daire hücreler birbirleri ile veya ara duvarlarla bağlanırsa (Şekil 6 b) bu faydalı durum kaybolur. Daire hücreleri arasındaki yer ilave bir hücreyi gösterir. (Şekil 6 c) de dış duvarlar için statikçe uygun daire şeklinden faydalanılır. Dikdörtgen hücre ise (Şekil 6 d) basit tarzda temel kesiti tanzim etmekte ve tamamiyle dış duvarlarda ortaya çıkarmaktadır. Çok köşeli hücreler (Şekil 6 e) küçük iç hücrelerden oluşan ve dış duvar şekline bir çok imkânlar sağlamaktadır.



- a: Serbest dairesel hücreler
b: Ara duvarlarla bağlı dairesel hücreler
c: Dairesel bağlı hücreler
d: Dikdörtgen hücreler
e: Çokgen hücreler

ŞEKİL 6

1.7. Silodaki malzemenin sevkiyatı :

1.7.1. Genel Bakış :

Silonun taşıma tesisatı makinalı teçhizatın yardımıyla olur. Silo malzemesi- ni;

- Nakliye araçlarından (Kamyon, yük gemisi, yük treni) teslim almak
- Silodaki yatay ve düşey sistemle sevk etmek
- Hücrelere doldurmak ve hücrelerden boşaltmak

bu sistemin yardımı ile olur.

1.7.2. Teslim alma ve teslim etme :

Teslim alma usulü hem nakliye araçlarına hem de silo malzemesinin durumuna göre tanzim edilmektedir. Gemiler ve yük kamyonları genellikle uygun şeritlerle boşaltılır.Yalnız istisna durumlarda çengel, kancalı vinç kullanılır.

1.7.3. Hücrelerin dolması :

Hücre tavanının üst tarafından silo malzemesi hücreye aktarılır. Hücreye doldurulan malzeme mümkün olduğu kadar karışmalıdır. Düşme hızlarının farklı olduğu farklı büyüklüklerde ve ağırlıklardaki taneler malzemenin büyük bir kısmını oluşturduğu için bu durum özellikle yüksek ve büyük hücrelerde istenmez ve uygulanmaz. Karışım hücre kesiti üzerine muntazaman dağıtılan ilaveler sayesinde birçok doldurma deliği ile azaltılır ki, özellikle zor olan kohezyonlu malzemeler için biraz zorluk çekmek gerekir.

1.7.4. Hücrelerin boşaltılması :

Boşaltmanın usulü silo malzemesinin akıcı özelliklerine göre tanzim edilmiştir. Yavaş dökülen mallar için dökülme ağızı yeterlidir fakat toz mallar için çoğu defa mekanik veya pünomatik (hava püskürtücü) yardımlar gereklidir ve kohesiv mallar için böyle özel önlem alma zorunluluğu vardır. Bazı durumlarda bu mallar kaldırma mekanizmasıyla yukarıya çekilir.

1.8. Silo hücrelerinin kısımları :

1.8.1. Hücre duvarları :

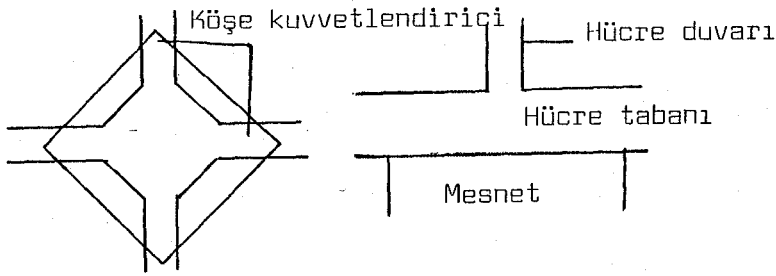
Silo malzemesinin etrafını saran ve destekleyen düşey silindir veya plaklardan oluşmaktadır. Duvarlar etrafı çeviren elemanlar olarak silo malzemesini çevrenin ve havanın etkilerinden korur. Suyun içeriye girmesini önlemek için; silikon reçineli suya dayanıklı boyalar kullanılır. Bu nemin depolanmasını önler ve içeriye sızmış suyun buhar olarak tekrar dışarıya çıkmasına imkan verir. İçeri sızan suya karşı çok hassas olan çimento hücreleri için bu silikonize boya önemini göstermektedir. Tabi bunlar boya maddesiyle boyanabilir. Ancak çok önemli bir husus vardır. Şöyle ki, su geçirmezliğinden dolayı bir buhar deposu oluşturan ve suyun tekrar dışarı buhar olarak çıkmasına mani olan boyalarda çok itinalı davranmak gerekir.

1.8.2. Duvar destekleri :

Zemin katın temellerine mesnetlenen ve üzerine hücre duvarları duran elemanlardır. Daire veya çokgen kesitli hücre bloklarında yük taşınması metal plaklarla olur. Bu esnada hücre tabanı ve tavanı çelik plaklarla duvarlara kuvvetli bir şekilde bağlanmış olur. Çekme ve basınç kuvvetlerini kaldırabilir ve genellikle az ve zararsız şekil değişikliği olur.

Şekil 8'de hücre duvarının bir bölümünde zemin kattaki mesnede geçişi görülmektedir.

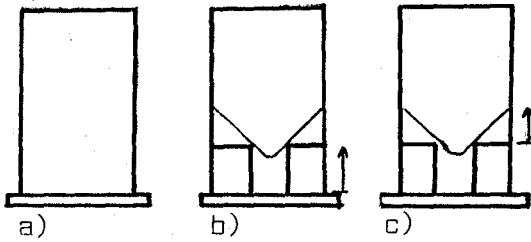
Duvar doğrultusundan gelen yüklerin daha iyi karşılanması için levha şekildedeki gibi 45° döndürülür.



ŞEKİL 7

1.8.3. Silo hücresinin tabanı :

Hücre tabanı hücrenin boşaltılması şekline göre yatay veya huni şeklinde eğik yüzeyli teşkil edilebilir. Geride kalan malzeme boşalma sırasında rahat çıkıyorsa, kalmasında mahzur yoksa veya mekanik dağıtım cihazları bulunuyorsa (mesela helezoni nakil tertibatı) o zaman yatay zeminler kullanılır. Huni tertibatı yapılacaksa öyle ayarlanmalıdır ki, malzeme iki boru kesitinden akabilmelidir.

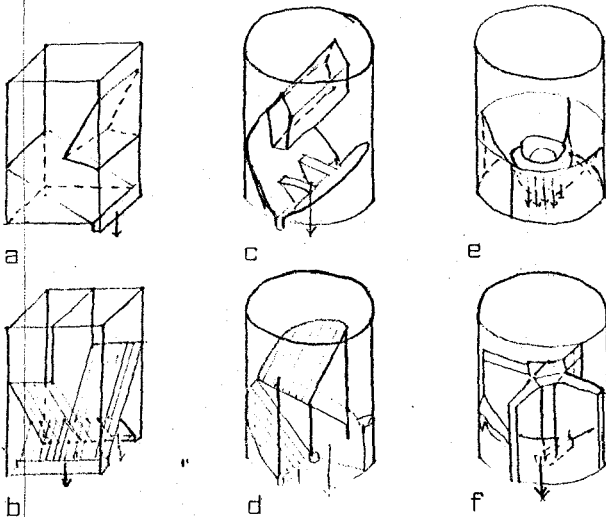


- a : Zemin katta yatay silo tabanı
- b : Sonradan inşa edilmiş silo tabanı
- c : Önceden inşa edilmiş silo tabanı

ŞEKİL 8

1.8.4. Hücrenin iç yapısı :

İç yapı kohesiv malzemenin akış hareketini düzenleyen ve boşaltmayı kolaylaştırmaları için hücre kesitindeki yapılan değişik işlemlerdir. (Şekil 9).



- a : Burun ağız
- b : Çapraz zemin
- c : Ağırlık direği
- d : Kanatlı akma
- e : Masa
- f : Haçlı akma

ŞEKİL 9

Şekil 9'da bazı iç teçhizatlı silo ağızları görülmektedir. Şekil 9-a'daki burun malzemeyi tek yönlü akışa çevirmekte ve böylelikle sistemi meydana getirmektedir. (Şekil 9-b)'de birbirine karşı eğimi olan çapraz zeminli yüzeyler ve çift yönlü akışlar malzemeye yol verme imkânı sağlar. (Şekil 9-c) ağırlığı hafifletme direği, burunun benzeri gibi fakat çift taraflıdır, masa (şekil 9-e) ve çapraz akış (şekil 9-f) toprak hale gelen malı parçalar ve gevşemelerini sağlar. Kanatlı akma (şekil 9-d) merkezi akışta yumuşayarak akmaya imkân verir.

Bütün bu akış şekillerine rağmen kohesiv silo malındaki yapımayı azaltmak hâlâ başarılammıştır.

2. Siloların Hesabı :

2.1. Karakteristik değerler :

Silo içindeki bulunacak malzemenin özelliklerinin tanımı için bazı deneyler yapılmıştır. Bu deneyler, malzemenin silo hücresinin cidarına ve tabanına yaptığı basıncı hesaplamada yardımcı olacak bazı karakteristik değerlerdir. Bu değerler malzemenin fiziki ve kimyasal özelliğine göre değişmektedir.

2.1.1. İçsel sürtünme :

Malzemenin kendi yoğunluğunun etkisi ile kendi kendine kararlı hale gelmesi için danelerin oluşturduğu açıdır.

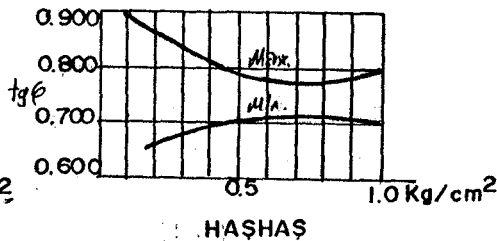
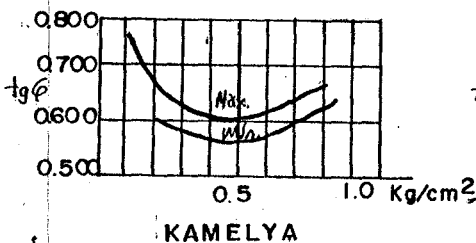
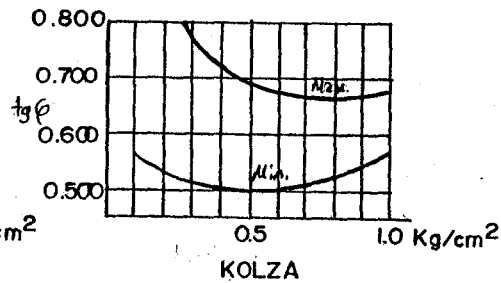
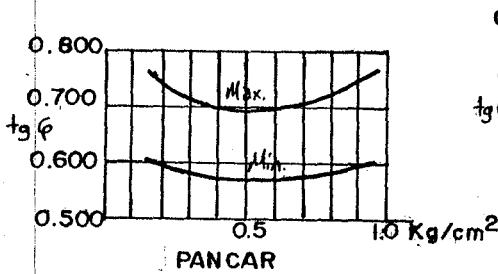
Huerslev kreisring aleti ile yapılan malzemelerin iç ve duvar sürtünmeleri 0,1105 kg/cm² - 0,861 kg/cm² arasında aşağıda gösterilmiştir.

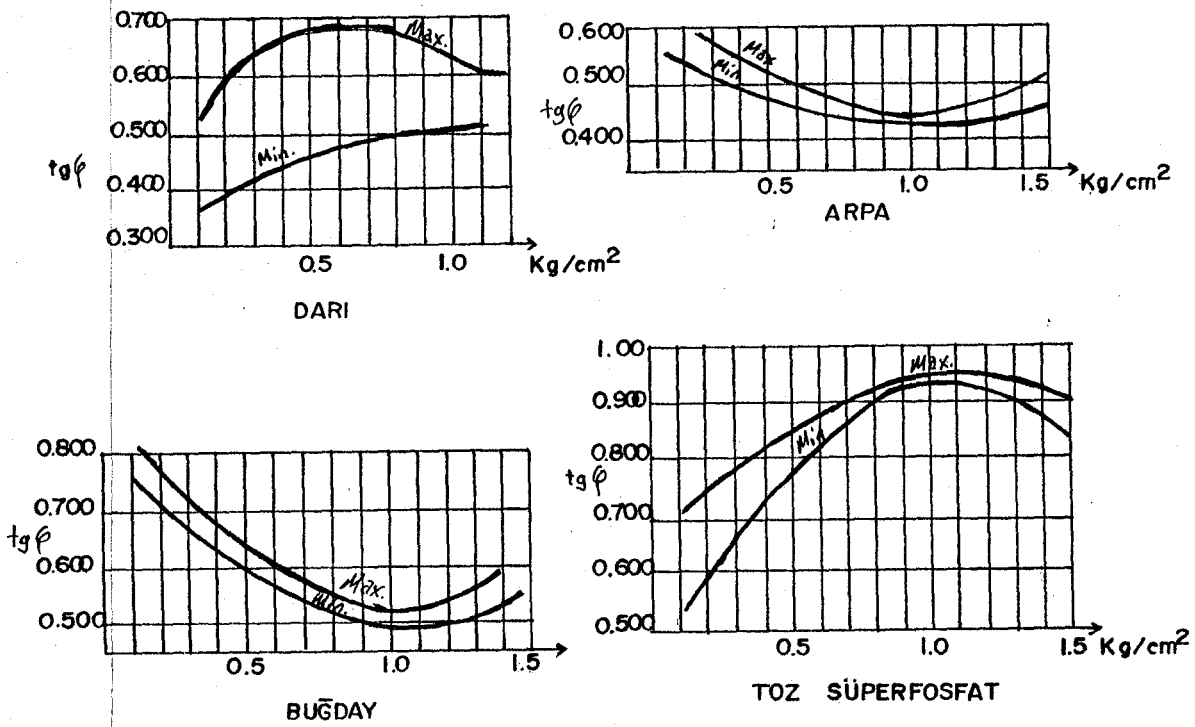
Darı için iç sürtünme değerleri ortalama olarak aşağıda verilmiştir.

Çizelge 1 :

Basıncı kg/cm ²	Sürtünme açısı ψ			
	Max tg ψ	Min tg ψ	Max Min	Min
0,1105	0,1524-0,1477	0,467-0,370	27°30'-25°30'	25°-20°10'
0,233	0,617-0,580	0,493-0,401	31°40'-27°55'	26°16'-21°50'
0,648	0,645-0,668	0,528-0,475	32°50'-31°20'	27°50'-25°25'
0,861	0,651-0,608	0,528-0,487	32°05'-31°20'	27°50'-21°

Diğer bazı malzemeler için sürtünme değerleri grafik olarak aşağıda verilmiştir.





2.1.2 Duvar sürtünmesi : Malzemenin temasta bulunduğu yapının türüne göre değişir. Üstüste gelen malzemenin yükünden ve rutubetten dolayı yükselir.

Aşağıdaki Tabloda değerler ortalama basınç olarak $0,162 kg/cm^2$ duvarların pürüzlü ve pürüzsüz durumlarına göre verilmiştir.

Çizelge 2 :

Malzemenin Cinsi	Duvar Yüzeyi	Max tg	Min tg	Duvar sürtünme açısı	
				Max tg	Min tg
Pancar	Pürüzsüz Beton	0,387	0,311	$21^{\circ} 10'$	$17^{\circ} 15'$
	Pürüzlü Beton	0,858	0,655	$40^{\circ} 40'$	$33^{\circ} 15'$
Kamelya	Pürüzsüz Beton	0,405	0,396	$22^{\circ} 05'$	$21^{\circ} 05'$
	Pürüzlü Beton	0,698	0,597	$35^{\circ} 00'$	$30^{\circ} 50'$
Haşhaş	Pürüzsüz Beton	0,448	0,417	$24^{\circ} 10'$	$22^{\circ} 40'$
	Pürüzlü Beton	0,723	0,642	$35^{\circ} 50'$	$32^{\circ} 45'$
Darı	Pürüzsüz Beton	0,552	0,486	$28^{\circ} 30'$	$25^{\circ} 55'$
	Pürüzlü Beton	0,536	0,404	$28^{\circ} 10'$	$22^{\circ} 00'$
Fosfat	Pürüzsüz Beton	0,678	0,512	$34^{\circ} 10'$	$27^{\circ} 10'$

2.1.3 Tabi Şev Açısı : Bu prizmatik bir çerçeve yardımı ile belirlenir. Bu cam bir kablo direk olarak uygun döküm davranışı malzemenin dökümündeki davranış büyük bir yakınlıkla ölçülür.

Aşağıda bazı maddelerin şev açısı verilmiştir.

Şizelge 3 :

Buğday	25°
Yulaf	33°
Arpa	27° 30'
Darı	24° 20'
Kolza	27°
Haşhaş	29° 30'
Pancar	28° 40'
Kamelya	29° 20'
Fosfat	42°
Mısır	37°
Çimento (Portland)	25°

Döküm Ağırlığı :

Döküm ağırlığını belirlemek için genellikle Toz malzeme (amışıl çimento) bel-
li yükseklik ve huni kullanılarak yapılır. Bazı sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Şizelge 4 :

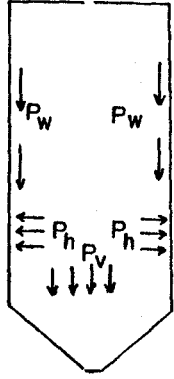
Buğday	750 kg/m ²
Yulaf	495 kg/m ²
Arpa	552 kg/m ²
Darı	690-705 kg/m ²
Kolza	655 kg/m ²
Haşhaş	600 kg/m ²
Pancar	650 kg/m ²
Kamelya	665 kg/m ²
Fosfat	780 kg/m ²

Yüklerin Araştırılması, Yüklerin Hesabı :

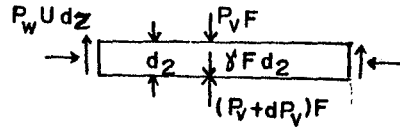
Silo malzemesi tarafından duvarlara ve silonun temellerine yapılmış olan ba-
r, geçen yüzyıl içinde mühendisler tarafından titizlikle araştırılmıştır.

Silo duvarlarına etkiyen yatay basınçlar (P_h) ve düşey duvar sürtünme kuvveti (P_w), ve silo tabanına etkiyen düşey yük (P_v) yükü mühendisler tarafından değişik şekilde yorumlanmıştır.

Bunların içinde Reimbeir ve Jangenin araştırmaları bugün daha çok kullanılmaktadır. Şekilde bir silo hücreğine etkiyen kuvvetler görülmektedir.



a) Silo duvarlarındaki kuvvetler



b) Silo malzemesinin dz elemanındaki kuvvetler

Şekil 10

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi' &= \frac{P_w}{P_h} = \mu && \text{Duvar sürtünme değeri} \\ \lambda &= \frac{P_h}{P_v} && \text{Yan basınç oranı} \end{aligned}$$

Özgül ağırlığı γ ve içsel sürtünme açısı φ , silo hücreğine etkiyen sabitler olarak kabul edersek, silo malzemesinin dz elemanında görülen diferansiyel denklem;

$$P_v F + P_w U - F = 0 \quad \text{ortaya çıkar.}$$

$$r_h = \frac{F}{U} \quad \text{Hidrolik yarıçap}$$

$$P_w = \mu P_h = \lambda \mu P_v$$

ve

$$Z_0 = \frac{r_h}{\lambda \mu}$$

Sınır şartları altında $z=0$ için düşey yükler (P_v) sıfır olduğu yerde çözüm

$$P_v = \gamma z_0 (1 - e^{-z/z_0}) \quad \text{dan ibarettir.}$$

e fonksiyonu için

$$\phi = 1 - e^{-z/z_0} \quad , \quad z_0 = \frac{\Gamma h}{\lambda m} \quad \text{denklemden yerine konulur}$$

ve yukarıdaki ilişkilere göre Jansen'e göre;

$$\text{Düşey yük için} \quad P_v = \gamma r h \phi / \lambda m$$

$$\text{Yatay yük için} \quad P_h = \gamma r h \phi / m$$

$$\text{Sürtünme yükü için} \quad P_w = \gamma r h \phi$$

meydana gelir.

Çizelge 5'de Z/Z_0 'a bağlı olarak ϕ için değerler verilmiştir.

Z/Z_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,00	0,10	0,18	0,26	0,33	0,39	0,45	0,50	0,55	0,59
1	0,63	0,67	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85
2	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
3	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98

Reimbert'e göre aynı şartlardaki malzemelerin silodaki durumu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P_v = \gamma \Gamma_h \phi_1 / \lambda m$$

$$P_h = \gamma \Gamma_h \phi_2 / m$$

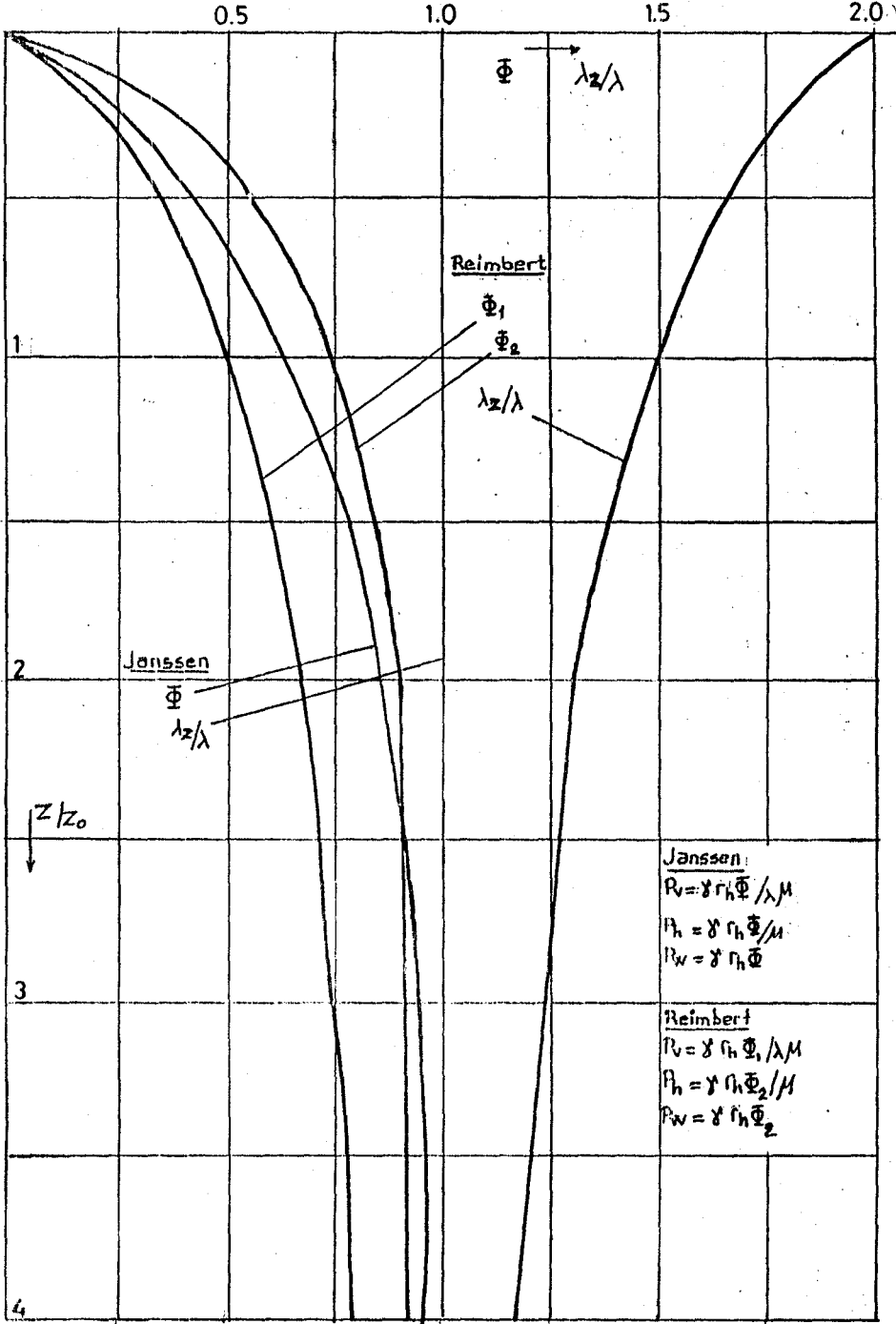
$$P_w = \gamma \Gamma_h \phi_2$$

Buradan

$$\phi_1 = (z/z_0) (z/z_0 + 1)^{-1}$$

$$\phi_2 = 1 - (z/z_0 + 1)^{-2}$$

$$z_0 = \frac{\Gamma_h}{\lambda m}$$



Şekil 11 : Reimbert ve Janssen'e göre yüklerin mukayesesi

(Şekil 11)'de Reimbert ve Jansen'e göre yüklerin mukayesesi gösterilmiştir.

Bundan görülmektedir ki yanal basınç oranı λ Jansen'de olduğu gibi sabit değildir.

$$\lambda_z = \frac{P_h}{P_v} = \lambda \frac{\phi_2}{\phi_1} = \lambda (z/z_0 + 2) / (z/z_0 + 1)$$

(Şekil 11)'de hem ϕ_1 , ϕ_2 hem de λ_z / λ , z / z_0 'a bağlı olarak gösterilmiştir. Basınçların durumu Jansenle karşılaştırılmıştır. λ_z / λ $z = 0$ için iki başlangıç değeri verir ve max derinliklerde bunlar birbirlerine daha da yaklaşırlar. Fakat hesaptaki λ değerine pratikte pek varılamamıştır. Temelde Janssenin max P_h , P_w ve min P_v değerlerine yaklaşır, ancak üst kısımda P_h ve P_w ile % 40 oranında ayrılmaktadır.

2.2.1. Janssen ve Koenen Klasik Teorisine Göre λ nın Hesabı :

λ 'yı tanımlamak için Janssen ve Koenen'in klasik teorisinde faydalanılarak;

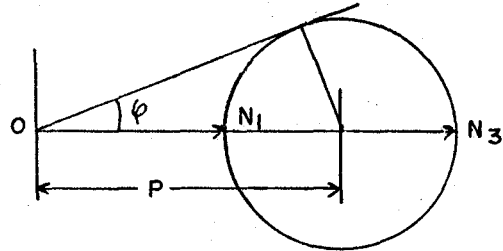
$\frac{P_h}{P_v}$ oranını belirlemede şu yaklaşımdan faydalanılmıştır.

$$\frac{1 + \sin \psi}{1 - \sin \psi} = \frac{1}{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{2}\right)}$$

$$ON_1 = P(1 - \sin \psi)$$

$$ON_3 = P(1 + \sin \psi)$$

$$\frac{ON_3}{ON_1} = \frac{1 + \sin \psi}{1 - \sin \psi} = \frac{1}{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \psi\right)}$$



Şekil 12

Janssen ve Koenen $\frac{1}{\lambda} = \frac{P_v}{P_h}$ oranının max durumunda $\frac{1}{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{2}\right)}$ olacağını söylemiştir.

Ne yazık ki, bu teoride $\lambda = \frac{P_h}{P_v}$ oranı sabittir. Fakat yapılan deneyler bunun sabit olmadığını göstermiştir. Örneğin; silonun yüksekliği ve formuna göre değişmektedir. Deneyler göstermiştir ki;

P_{hs}, P_{vs} (Silindir için)

$$P_{hs} > P_{hk} > P_{hü}$$

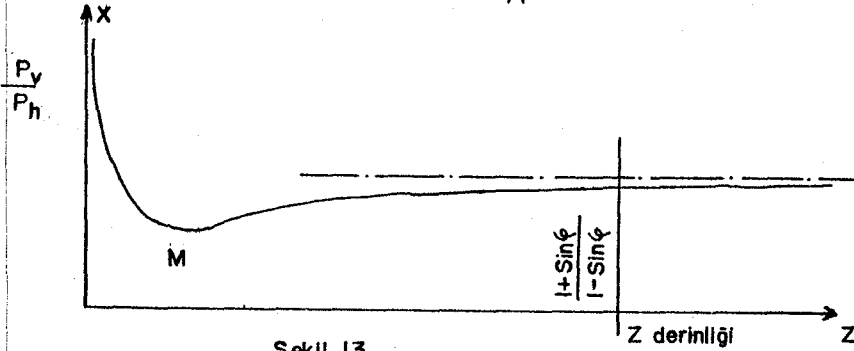
P_{hk}, P_{vk} (Kare için)

$$P_{vs} < P_{vk} < P_{vü}$$

$P_{hü}, P_{vü}$ (Üçgen için)

ve buradan da $\frac{P_{hs}}{P_{vs}} > \frac{P_{hk}}{P_{vk}} > \frac{P_{hü}}{P_{vü}}$ olur. Bu gösterir ki;

λ sabit değildir. $\frac{1}{\lambda} = \frac{1 + \sin \psi}{1 - \sin \psi} = \frac{P_v}{P_h}$ 'nın grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 13

$\frac{1}{\lambda} = \frac{P_v}{P_h}$ 'nın en küçük değeri olan M noktası $\frac{1 + \sin \psi}{1 - \sin \psi}$ eğrisinin asimtotunun altında kalmaktadır. Bu da büyük bir hata sayılmamaktadır.

2.2.2. Deneysel ve Sonuçlar :

Yukarıdaki hesap yöntemlerinde görüldüğü gibi, yükleri belirleyebilmemiz için silo malzemelerinin bazı özelliklerini bilmek zorundayız, bunlar için gerek laboratuvarında ve gerekse silolarda deneyler yapılmıştır.

Birim hacim ağırlığı (γ) genellikle laboratuvardaki denemelerden ortaya çıkabilir. Bu değerler şüphesiz silo malzemesinin büyük ağırlığından dolayı artış göstermektedir. Tahıllarda bu artış % 10-15'e kadar çıkabilir. Böylece birim hacim ağırlığı $\gamma = 0,9 \text{ t/m}^3$ 'ün üzerine çıkabilir.

Duvar sürtünme açısının ϕ 'nin ölçümü zordur. Çünkü duvar yüzeylerini pürüzlü ve cilalı olma durumu düzgün bir şekilde kaydedilmemiştir. Örneğin Betonarmeden yapılmış tahıl silolarının iç yüzeyleri bir kaç yıl sonra yağlı bir yapışkan yağ tabakası ile düzeltildiği ve pürüzlü olmadığı artık bilinmektedir. Böyle yüzeylerin duvar sürtünme açısı pürüzlü beton yüzlerinkinden küçüktür.

Yanal basınç oranı $\lambda = \frac{P_h}{P_v}$ deneyi laboratuvarında pek az yapılmıştır.

Zemin mekaniğindeki teoriye göre ana gerilim oranı olarak bilinen iki sınır değeri oranında değişir. Alt sınır değeri Janssen ve Koenenin klasik teorisine göre

$$\lambda_0 = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{2} \right) \quad \text{değeri bazı deneylerde yakın olarak bulunur.}$$

nur.

Diğer taraftan silo malzemesinin köprülenmesinden oluşan üst sınır değeri,

$$\lambda \ddot{u} = 1 / \lambda \alpha$$

deneylemlerle hâlâ ispatlanamamıştır.

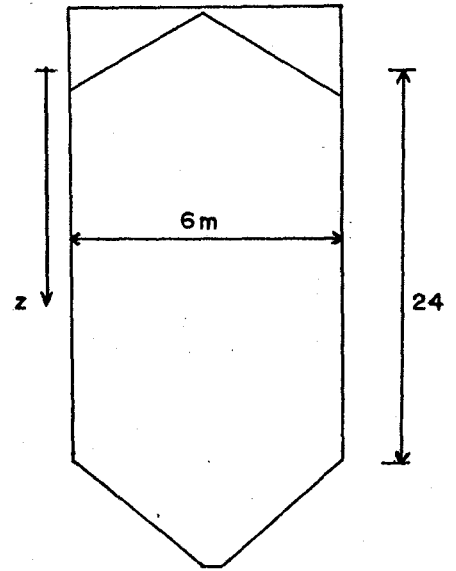
Silo duvarlarının etkileyici yüklerin en tesirlisi yatay yük (P_h) dir. Deneylemler siloların boşaltılmasında en büyük ağırlığın ortaya çıktığını göstermektedir. Hesap için esas olan boşaltmada meydana çıkan yatay basınç P_h dir.

2.2.3. Reinbert ve Janssen İşleminin Karşılaştırılması :

Reimbert ve Janssen'in yöntemlerini bir örnekle inceleyelim:

Örnek; Çapı 600 m. yüksekliği 24 m. olan silindirik bir silonun aşağıdaki verilere göre yüklerini tayin edelim.

- En küçük yoğunluk = 730 kg/m³
- En büyük yoğunluk = 830 kg/m³
- İçsel sürtünme açısı = 21°30'
- Duvar sürtünme açısı = 21°50'
- Tabi sev açısı = 25°



Şekil 14

Janssene göre yüklerin tayini:

$$m = \tan \psi' = \tan 21^\circ 50' = 0,394$$

$$h = \frac{6}{2} \tan 25 = \frac{6}{2} \times 0,466 = 1,398$$

$$\lambda = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{21^\circ 30'}{2} \right) = 0,462$$

$$r_h = \frac{F}{U} = \frac{P}{4} = \frac{6}{4} = 1,5$$

$$z_0 = \frac{r}{\lambda m} = \frac{1,5}{0,394 \times 0,462} = 8,24$$

$$P_h = \frac{\gamma r \phi}{m} = \frac{840 \times 1,5 \times \phi}{0,394} = 3197,97 \phi$$

Reimbert'e göre ϕ_1 ve ϕ_2 değerlerini bulup sunuları tabloda karşılaştıralım.

$$\phi_1 = (z/z_0)(z/z_0 + 1)^{-1}$$

$$\phi_2 = 1 - (z/z_0 + 1)^{-2}$$

$$P_V = \gamma r_h \phi / \lambda m \longrightarrow \frac{840 \times 1,5 \phi_1}{0,394 \times 0,462} = 6922 \phi_1$$

Çizelge 6 :

Z	Z/Z ₀	ϕ	ϕ_1	ϕ_2	Janssen		Reimbert	
					P _h	P _v	P _h	P _v
4	0,485	0,37	0,327	0,547	1183	1	1749	
8	0,971	0,61	0,493	0,742	1951		2373	
12	1,456	0,77	0,593	0,833	2462		2664	
16	1,942	0,85	0,660	0,884	2718		2827	
20	2,427	0,91	0,708	0,915	2910		2926	
24	2,913	0,94	0,744	0,934	3006	6506	2987	5150

Yukardaki Tabloda görüldüğü gibi Janssenin P_h ve P_v değerleri Reimbert'in değerlerine oranla azda olsa büyük çıkmaktadır.

Projeyi hazırlayan mühendise karşılaştırma imkânı vermek için yabancı şartnameleri de gözlemlerin içine alması tavsiye olunur. Şekil 17'deki grafikler Buğday silosunun boşaltımındaki yatay yük P_h belirtilmiş ve boyutsuz koordinatlar kullanılarak sonuçlar doğrudan doğruya karşılaştırılmıştır.

Beton siloların hesap ve planları için Fransız şartnamesi Reimbert'in hesap metodlarına uygun düşmemektedir, onlar daha çok Janssen'in hesap yöntemini yani;

$$P_V = \gamma r_h \phi / \lambda m$$

$$P_h = \gamma r_h \phi / m$$

$$P_w = \gamma r_h \phi \quad \text{denklemleri kullanılır.}$$

Ayrıca Fransız şartnamesi boyanmış beton duvarlı hücreler için duvar sürtünme açısının azalmasını ve bunla birlikte yük arttırmasını ister.

Amerikalılar hem Reimbert'e göre hem de Janssen'e göre hesap metodlarını uygun görmüştür.

Alman şartnamesi DIN1055 Blat 6'da ise Janssen'in yöntemi uygulanmıştır. Fakat λ ve m değerlerini silo malzemesinin cinsine göre doldurma ve boşaltmada değişik olmak üzere sabit değerler haline getirmişlerdir.

İngilizler dairesel yem siloları ile ilgili şartnamede (BS 5061) yükleri, malzemenin kuru veya nemli durumuna göre değerlendirip, bazı formüllerle vermiştir.

Bu konu ile ilgili bazı bilgiler Ek'te verilmiştir.

2.2.4. Siloya etkiyen yüklerin hesabı için öneriler :

Silo malzemesinin ağırlığı

$$\phi = 1 - e^{-z/z_0} \longrightarrow z_0 = \frac{r_h}{\lambda \mu}$$

$$P_v = \gamma r_h \phi / \lambda \mu$$

$$P_h = \gamma r_h \phi / \mu$$

$$P_w = \gamma r_h \phi$$

denklemleri yardımıyla bulunur.

Tahıllarda yoğunluk 9,00 kg/m³, çimentoda 1,920 kg/m³ yeterlidir. Yoğunluğun en büyük artışı, büyük silolardaki yüksek basınçtan dolayı Kohessiv silo mallarında ortaya çıkar. Silolardaki ölçümler kohessiv malzemeler için 1000 kg/m³ civarında oluşan değerler ortaya çıkarmıştır.

Yanal basınç oranı λ ve duvar sürtünme değeri μ her silo malzemesi için büyük fark göstermez daha ziyade bu malzemeler üç grupta toplanabilir. Toz silo malı, taneli silo malzemesi ve kohezyonlu silo malzemesi. Çizelge 7'de silo hücrelerinin doldurma ve boşaltma durumuna göre değerler verilmiştir. Bunlar silindir hücreler içindir.

Çizelge 7 :

Silo Malzemesi	Doldurma		Boşaltma	
	λ	μ	λ	μ
Toz	0,50	0,40	1,00	0,30
Taneli	0,50	0,40	1,00	0,20
Kohezyonlu	0,50	0,30	1,00	0,15

Bu tablodaki boşaltma için duvar sürtünme değeri, toz silo malzemesindeki $\phi = 16^\circ 7'$ bir açığa uygundur. Toz silo malzemesinde ise $\phi' = 0,20 - 11^\circ 3'$ lik duvar sürtünme açısına karşılık gelir.

Max yatay yük P_H ve duvar sürtünme yükü P_V boşaltmada, max düşey yük P_V doldurmada meydana gelir.

Doldurmada ortaya çıkan yük eğrileri iyi bir tahminle durum çizgisi olarak kaydedilebilir. Daire şeklindeki tek hücrelerde sabit yüklerden ortaya çıkmayan fakat yatay yönde simetrik olmayan yükler yatay gerilimli eğim momentlerini meydana getirir.

2.3. Yükleri artıran ve azaltan tesirler :

2.3.1. Silodaki malzemenin köprülenmesi :

Silo malzemesinin köprülenmesi : Silo malzemesinin kendi tutarak köprülenmesinden ve bu köprünün yıkılmasından dolayı yükler artar. Bunun için silo tabanına gelen P_V yükü iki misli artabilir. Tahıllar için 1, 2 katı, kohesiv mallar için 1, 6 katı kadar P_V 'yi artırmak yeterlidir.

2.3.2. Eksantrik boşaltma :

Boşaltmada eksantrik durum oluyorsa silo civarına homojen olmayan bir yatay yük gelir. Tecrübelerle göre tesiri dikkate alınmalıdır. Bunun için P_H 'nin kritik olduğu yerlerde $P_H' = P_{hi} - P_H$ kadar bir yükü P_H ya ilave edilir.

P_{hi} ----> Boşalma esnasındaki yatay yük

Eksantrik değer boşaltmada $d/6$ dan büyük değilse (d ; en büyük çap) P_H' alınmayabilir ve $h < 2d$ ise yine dikkate alınmayabilir.

2.3.3. Havalandırma :

Silo hücreesindeki taneli veya toz malzemelerin havalandırılması için havalandırma tertibatı vardır. Bu tip silolardaki hücrelerin arası farklıdır.

Bazı taneli silo malzemelerinin havalandırılmasından dolayı yatay kuvvet oluşabilir. P_H nın hesabı için havalandırma deliklerinin bulunduğu yükseklikte üfleme kuvveti kadar basınç artar. Bu kuvvet hücrenin en üst kısmında sıfır olacak şekilde yukarı doğru dağıtılmalıdır.

Toz malzeme için kullanılan silolarda havalandırmadan dolayı önemli bir yük artması olmaz.

2.3.4. Sıcaklığın etkisi :

Silolar ciddi sıcaklık zorlamalarına maruz kalırlar. Yapı içindeki sıcaklık farklılığı çeşitli sebeplerden olabilir. Dış sıcaklık değişimi güneş ışınlarının etkisi ile kuvvetli bir ısınma, yağmur veya rüzgâr dolayısıyla silo dış duvarlarında oluşan ani sıcaklık azalması yani soğumadan ileri gelmektedir. Ayrıca sıcak olarak doldurulan veya sonradan ısıtılan ya da içindeki reaksiyonlardan doğan ısıların oluşturduğu yüklerdir. Bunlar ince derzlerle engellenebilir.

Sıcaklıktan dolayı duvarlarda oluşan uzama miktarına

$$\Delta L = \alpha \Delta t \quad \text{dersek}$$

α -----> 15°C deki beton için 10×10^{-6} ve çelik için 12×10^{-6} duvardaki sıcaklıktan dolayı oluşan gerilme

$$n = E \frac{\Delta L}{L} = E \frac{\alpha L \Delta t}{L} = E \alpha \Delta t \quad \text{olur.}$$

E -----> Elastisite modülü. Beton için 20×10^4 , çelik için 200×10^4

Fakat malzemenin üst kısmında sıkıştırma yükü daha azdır ve n gerilmesi küçük olur. Bunları tam olarak ölçmek zordur. Fakat daha önce yapılan araştırmalar göstermiştir ki, esas değer n' , n değerinin üçtebiri kadardır.

$$n' = \frac{E \alpha \Delta t}{3}$$

Örneğin sıcaklık değişimi $\Delta t = 15^\circ\text{C}$ için

$$\text{Beton duvarlarda; } n' = \frac{20 \times 10^4 \times 10 \times 10^{-6} \times 15}{3} = 10 \text{ bar} = 100 \text{ N/cm}^2$$

Duvar kalınlığı 15 cm ve 1 metre yükseklik için duvarla hesaptaki T kuvvetine ek olarak $T = 100 \times 15 \times 10 = 15000$ Newton ilave edilmelidir.

2.4. Silo cidarlarının hesabı :

Hücre duvarlarındaki büyük zorlanmalar, silodaki malzemenin oluşturduğu yatay yüklerdir. Duvar sürtünme ağırlıkları ve diğer düşey ağırlıklar buna karşın genellikle küçük yükler doğurmaktadır. Hücreler veya hücre bloklarının hepsi tek yatay kesit olarak düşünülmüştür. Esas donatı olarak kabul edilen yatay donatılar betonarmenin hesap tekniğine göre hesaplanır.

2.4.1. Tek dairesel kesitli silo hücresi :

Daire şeklindeki silolar bu şeklin statik bakımdan en elverişli olmasına karşın pek nadir olarak benimsenmektedir. Bunun çeşitli nedenleri olup bu nedenlerin başında dairesel planın araziye kullanma şartına uymaması gelmektedir. Diğer yandan tek hücreli kesitte eğilme mevcut olmayıp yalnız normal kuvvet mevcut bulunmaktadır.

$$S = P_h \cdot r$$

Betonarme silolarda boyutlandırma yapılırken en ufak bir çatlama olmayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Bunun için basınç mukavemetinin $1/10$ 'u alınır.

$$e, \geq \frac{r P_h}{100 f_{ck} / 10}$$

f_{yk} : Çelik gerilmesi alırsak

Gerekli donatı kesit alanı

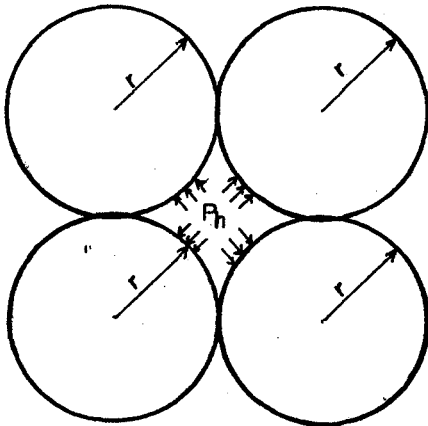
$$F_e = \frac{r P_h}{f_{yk} \cdot k}$$

k ----- Emniyet Katsayısı

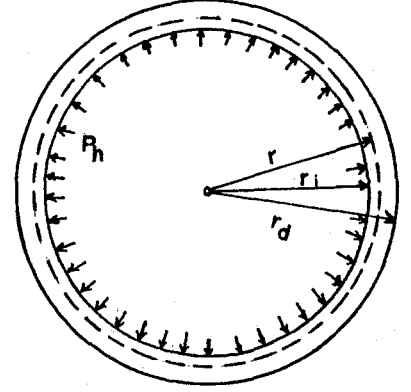
Bu formüllere rağmen yapılan araştırmalar göstermiştir ki, siloların imalatının kolaylığı için duvar kalınlığı 15 cm. den az olmaz.

2.4.2. Ağ tipi hücreler :

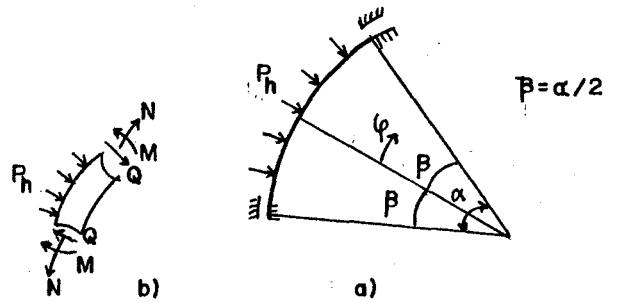
Ağ hücreler olarak daha çok yanyana bulunan daire hücreleri sırasındaki yerler ifade edilmektedir (Şekil 16). Bunlar kesitte üç veya dört tane hücreden veya istisnai durumlarda eşit yarıçaplı beş daire yayından teşekkül eder.



Şekil :16 Ağ hücreli silo hücresi



Şekil :15 Tek dairesel kesit



Şekil 17: Bir ağ hücresinin daire yayı

a) Statik sistem

b) Büyütülmüş duvar elemanı

Ağ hücrelerde silo malzemesinden oluşan yüklerin hesabında kare bir yüzeyin hidrolik yarı çapı kullanılır. Teğet çizgilerinde dairesel hücrelerin geometrisinden dolayı eğilme momentine engel olmaktadır, genellikle kullanıldığı görülmemiştir. Konstiriktif donatı kullanılacaktır. Oluşması muhtemel momentler yatay yüklerden gelmektedir. Şekil 17'ye göre eşit yarıçaplı yaylardan oluşan bir ağ hücresi esas alınmaktadır.

Çizelge 8 :

Açı (Grad)	Yay Sayısı	Köşe noktası $\psi = \alpha/2$ N = 0		Orta kısım $\psi = 0$ Q = 0		Açı (Grad)	Yay Sayısı	Köşe noktası $\psi = \alpha/2$ N = 0		Orta kısım $\psi = 0$ Q = 0	
		M/P _h r ²	Q/P _h r	M/P _h r ²	N/P _h r			M/P _h r ²	Q/P _h r	M/P _h r ²	N/P _h r
40		-0,043	-0,364	0,021	0,064	88		-0,257	-0,966	0,133	0,390
44		-0,052	-0,404	0,026	0,079	90	4	-0,273	-1,000	0,141	0,414
48		-0,063	-0,445	0,032	0,095	92		-0,290	-1,036	0,150	0,440
52		-0,075	-0,488	0,038	0,113	96		-0,326	-1,111	0,169	0,494
56		-0,088	-0,532	0,045	0,133	100		-0,366	-1,192	0,190	0,556
60	6	-0,103	-0,577	0,052	0,155	104		-0,410	-1,280	0,214	0,624
64		-0,119	-0,625	0,060	0,179	108		-0,460	-1,376	0,241	0,701
68		-0,137	-0,675	0,070	0,206	112		-0,517	-1,483	0,271	0,788
72	5	-0,156	-0,727	0,080	0,236	116		-0,581	-1,600	0,306	0,887
76		-0,178	-0,781	0,091	0,269	120	3	-0,654	-1,732	0,346	1,000
80		-0,202	-0,839	0,103	0,305						
84		-0,228	-0,900	0,117	0,346						

Tablo 8'de kesit kuvvetlerinin pratik hesabı için değerler verilmiştir. Hüc-re duvarlarının arakesit noktaları ve temas noktaları arasındaki uzun mesafeden do-layısı sık sık oluşan mesnetler arasındaki açıklığın kısa olmasını gözönünde bulundu-rabilmek kaydıyla, α için daire yaylarının bütün sayısını karşılamayan aradeğerler verilmiştir.

$$M = P_h r^2 (\beta \cos \psi - \sin \beta) / \beta \cos \beta$$

$$Q = - P_h r \sin \psi / \cos \psi$$

$$N = P_h r (\cos \psi / \cos \beta - 1)$$

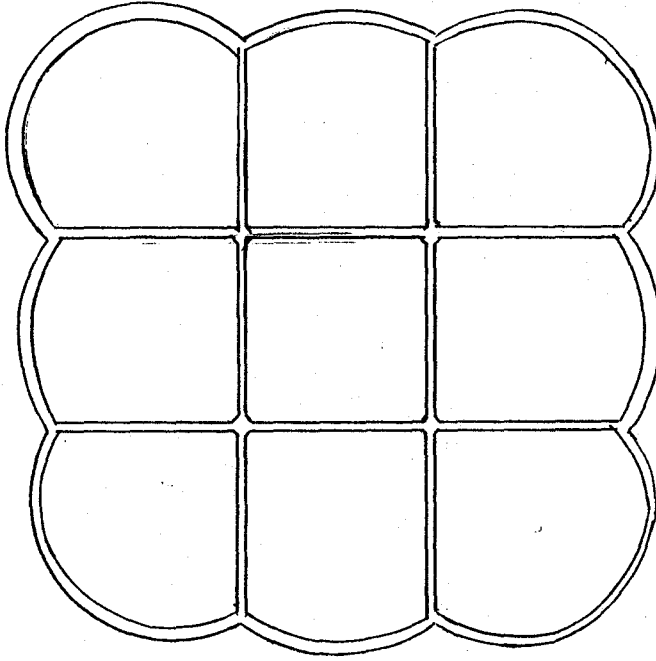
$$\beta : \text{Yarım açılma açısı} \quad \beta = \alpha/2$$

2.4.3. Yay hücreleri :

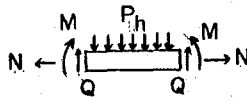
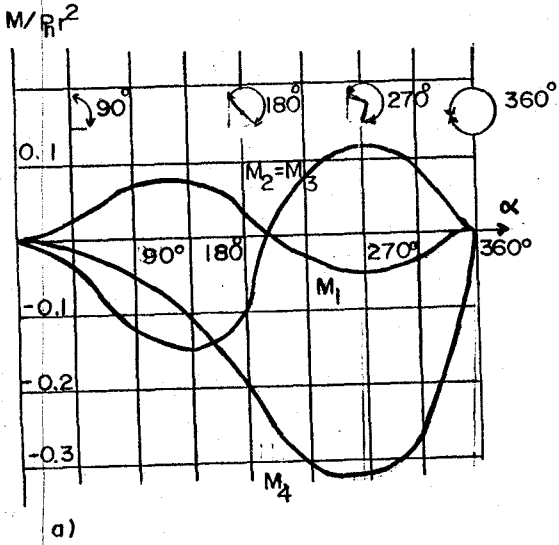
Yay hücreli silo kesiti Şekil 18'de gösterilmiştir. Kare veya dikdörtgen hücrelerinin dış kesimlerinin daire yayı şeklinde oluşturulmasıyla yapılırlar. Bu yay hücreleri küçük eğilme momentleri oluşturması dolayısıyla uygun taşıma imkânı oluştururlar. Elastik teoriye göre kesit büyüklüğünün hesabı uzundur. Bunun için Çizelge 9'da sabit duvar kalınlığı ile ayrılmış köşe hücresi için gerekli değerler verilmiştir.

Gizelge 9

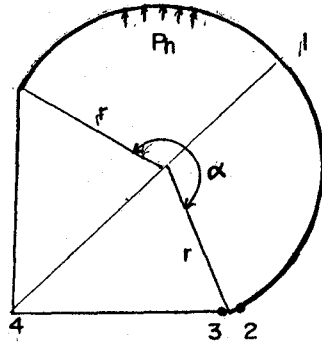
Açı Grad	Eğilme momenti M Çarpan : $1/P_h r^2$			Kesme kuvveti Q , Normal kuvvet N Çarpan : $1/P_h r$ ($Q_1 = 0$, $Q_4 = N_4$)				
	M_1	M_2 ; M_3	M_4	Q_2	Q_3	N_1	N_2	N_3 ; N_4
10	0,002	- 0,002	- 0,001	0,085	- 0,073	0,020	0,024	0,050
20	0,006	- 0,009	- 0,003	0,165	- 0,146	0,048	0,063	0,099
30	0,012	- 0,019	- 0,006	0,237	- 0,218	0,083	0,115	0,148
40	0,020	- 0,032	- 0,011	0,300	- 0,287	0,124	0,177	0,197
50	0,029	- 0,048	- 0,016	0,351	- 0,353	0,170	0,248	0,245
60	0,039	- 0,066	- 0,023	0,390	- 0,415	0,220	0,325	0,292
70	0,047	- 0,084	- 0,030	0,416	- 0,471	0,274	0,405	0,340
80	0,055	- 0,101	- 0,040	0,431	- 0,523	0,330	0,487	0,386
90	0,062	- 0,118	- 0,050	0,432	- 0,568	0,388	0,568	0,432
100	0,066	- 0,131	- 0,062	0,423	- 0,606	0,448	0,645	0,478
110	0,068	- 0,142	- 0,075	0,404	- 0,636	0,507	0,717	0,522
120	0,068	- 0,142	- 0,090	0,375	- 0,660	0,567	0,783	0,565
130	0,066	- 0,150	- 0,107	0,340	- 0,675	0,625	0,842	0,607
140	0,061	- 0,148	- 0,125	0,298	- 0,682	0,682	0,891	0,647
150	0,055	- 0,140	- 0,144	0,254	- 0,680	0,737	0,932	0,686
160	0,046	- 0,128	- 0,164	0,207	- 0,671	0,790	0,964	0,722
170	0,036	- 0,111	- 0,184	0,160	- 0,652	0,839	0,986	0,756
180	0,025	- 0,090	- 0,205	0,115	- 0,626	0,885	1,000	0,788
190	0,013	- 0,066	- 0,226	0,072	- 0,591	0,927	1,006	0,817
200	0,001	- 0,040	- 0,246	0,034	- 0,549	0,965	1,006	0,844
210	- 0,011	- 0,013	- 0,265	0,002	- 0,499	0,998	1,000	0,867
220	- 0,022	0,014	- 0,283	- 0,025	- 0,442	1,027	0,991	0,887
230	- 0,032	0,039	- 0,298	- 0,045	- 0,378	1,050	0,979	0,904
240	- 0,040	0,062	- 0,311	- 0,059	- 0,307	1,068	0,966	0,918
250	- 0,047	0,082	- 0,322	- 0,067	- 0,231	1,081	0,953	0,927
260	- 0,050	0,096	- 0,328	- 0,068	- 0,150	1,089	0,943	0,933
270	- 0,025	0,105	- 0,330	- 0,065	- 0,065	1,092	0,935	0,935
280	- 0,050	0,107	- 0,328	- 0,057	0,024	1,089	0,932	0,933
290	- 0,047	0,103	- 0,320	- 0,047	0,115	1,082	0,933	0,927
300	- 0,040	0,093	- 0,305	- 0,036	0,208	1,071	0,938	0,915
310	- 0,032	0,077	- 0,282	- 0,024	0,301	1,057	0,948	0,899
320	- 0,023	0,058	- 0,250	- 0,014	0,393	1,042	0,961	0,877
330	- 0,014	0,037	- 0,206	- 0,007	0,481	1,026	0,975	0,848
340	- 0,007	0,018	- 0,151	- 0,002	0,565	1,013	0,988	0,810
350	- 0,002	0,005	- 0,082	- 0,000	0,640	1,003	0,997	0,764
360	0,000	0,000	0,000	0,000	0,707	1,000	1,000	0,707



Şekil 18 : Yay hücreli silo



b)



c)

Şekil 19 : Köşede yay hücreleri

- 1'den 4'e kadar olan noktaların eğilme momentleri
- Bir duvar elemanına etkiyen kuvvetler
- 1'den 4'e kadar noktaların kesitte bulunduğu yerler

2.4.4. Dikdörtgen veya kare hücre :

Dikdörtgen veya kare kesitli hücreler çerçeve olarak doğru çubuklar gibi hesaplanır. Yatay ağırlık P_h nın etkisinde 1 metre yükseklikteki bir silo dilimindeki çekme kuvveti;

a kısa kenarı için $T_a = \frac{P_b \cdot b}{2}$

b uzun kenarı için $T_b = \frac{P_a \cdot a}{2}$

$$P_b = \frac{\gamma r_h \Phi}{\lambda M}$$

$$r_h = \frac{a'}{4}$$

$$a' = \frac{2ab}{a+b}$$

$$P_a = \frac{\gamma r_h \Phi}{\lambda M}$$

a ve b açıklıklı duvarların 1 m. yükseklikleri için, I_a ve I_b atalet momentlerini gösterirse ve

$$X = \frac{b I_a}{a I_b} \text{ olursa}$$

köşe momentlerini şöyle yazabiliriz.

$$M_A = \frac{P_a a^2 X + P_b b^2}{12 (X + 1)} \text{ olur.}$$

Açıklık momentleri ise;

$$M_b = \frac{P_b b^2}{8} - |M_A|$$

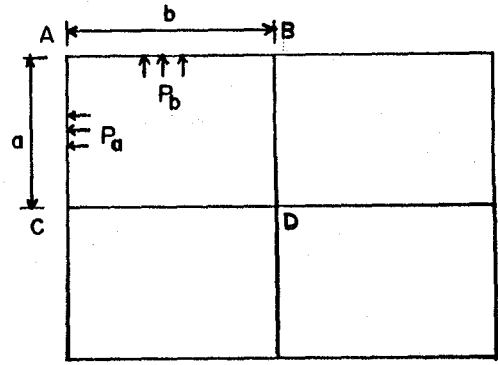
$$M_a = \frac{P_a a^2}{8} - |M_A| \text{ olur.}$$

Kare kesitli silolarda ise

$a = b$, $I_a = I_b$ ve $X = 1$ olacağından

$$M_A = \frac{P_a a^2}{12} \text{ olur.}$$

$$M_a = M_b = \frac{P_a a^2}{8} - \frac{P_a a^2}{12} = \frac{P_a a^2}{24} \text{ olur.}$$



Şekil:20 Dikdörtgen hücre

2.4.5. Düzdün çokgen hücre :

Bu siloların kesitleri yatay düzlemlerin içinde, malzemenin direk yatay yükleriyle, mesnetlerdeki çekme kuvvetlerinden doğacak eğilme momentine maruzdurlar.

Kenar uzunluğu b olan bir düzdün çokgen hücrede;

Küşelerde

$$M = - \frac{P_h \cdot b^2}{12}$$

Açıklık ortasında

$$M = \frac{P_h \cdot b^2}{24}$$

n kenarlı düzgün bir çokgen kesitli hücrede

dış açısı $\alpha = \frac{360}{n}$ olur. Mesnet reaksi-yonu $t = \frac{P_h \cdot b}{2}$ olmak üzere $T_1 = \frac{t}{\text{tg } \alpha}$ ve $T_2 = \frac{t}{\sin \alpha}$ iz düşümlerine ayrılır ki,her kenarın maruz kalacağı çekme kuvveti $T = T_1 + T_2 = t \left(\frac{1}{\text{tg } \alpha} + \frac{1}{\sin \alpha} \right)$ $\text{tg } \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$ dersek;

$$T = \frac{P_h \cdot b}{2} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{\sin \alpha} \right) \text{ bulunur.}$$

Eşkenar üçgen kesitte

$$T = \frac{P_h \cdot b}{2} \times \frac{1 + 0,50}{0,866} = 0,288 P_h \cdot b$$

Kare kesitte

$$T = 0,50 P_h \cdot a$$

Düzgün beşgen kesitte

$$T = \frac{P_h \cdot b}{2} \times \frac{1 + 0,309}{0,951} = 0,688 P_h \cdot b$$

Düzgün altıgen kesitte

$$T = \frac{P_h \cdot b}{2} \times \frac{1 + 0,50}{0,866} = 0,805 P_h \cdot b$$

Düzgün sekizgen kesitte

$$T = \frac{P_h \cdot b}{2} \times \frac{1 + 0,707}{0,707} = 1,205 P_h \cdot b$$

Düzgün onkenarlı kesitte

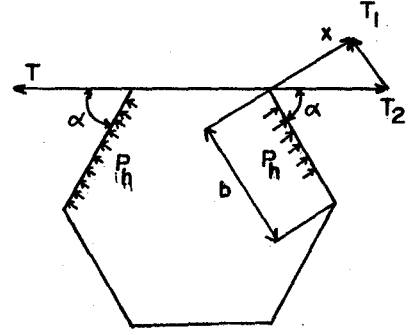
$$T = \frac{P_h \cdot b}{2} \times \frac{1 + 0,809}{0,5878} = 1,53 P_h \cdot b$$

olarak verilir.

2.5. TREMİLER ve hesaplanmasında izlenecek yol :

Siloların alt kısmında yer alan ve şekli silo tabanına tabi olan tremi, eğik düzlemlerden oluşur ve bu düzlemler silonun yanal çeperlerinden malzeme boşaltma ağzına doğru yaklaşır. Bununla birlikte silonun tabanı yatay doğrultuda olabilir. Bu durumda silo içeriği olan malzemenin içsel şev açısı ile aynı eğimde hafif dolgu malzemesinden oluşturulmuş içsel yüzeyler üzerinden boşaltma ağzına doğru iner.

Statik hesaplarında boşaltma ağzının hücre planı merkezinde bulunmaması halini gözönüne almak önemli bir noktadır. Zira bu taktirde ağza bitişik kısımdaki



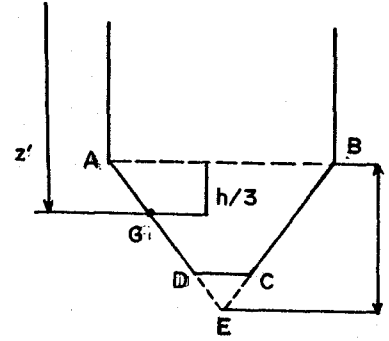
Şekil: 21. Düzgün çokgen hücre

basınç daha düşük ve ters tarafta daha büyük değer alır.

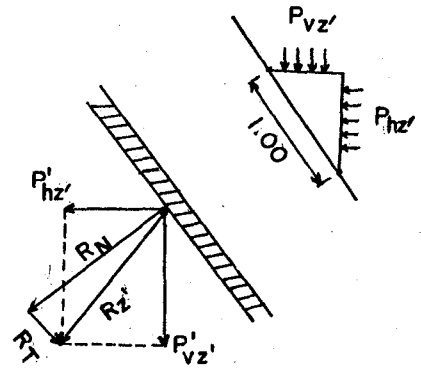
Hesap :

A - Siloya depo edilecek malzemeden doğacak basınçlar:

Böyle bir Tremi ABE üçgeni teşkil etsin ve ABCD'den ibaret bir düşey kesite sahip olsun. Üçgenin ağırlık merkezi G, AB doğrusundan $h'/3$ kadar aşağıda olacaktır. G ağırlık merkezinin koordinat değeri $z' = z + \frac{h'}{3}$ olur. z' deki duvar yüksekliği için yatay yük P_h ve düşey yük P_v olduğuna göre ve tremi duvarının yatayla yaptığı açı (i) ise tremi duvarına gelen yük;



Şekil:22 Tremi



Şekil:23 Tremiye etkleyen yükler

$$P'_{hz'} = P_{hz'} \cdot \sin i$$

$$P'_{vz'} = P_{vz'} \cdot \cos i$$

yazılabilir.

$P_{hz'}$ ve $P_{vz'}$ nün bileşenleri R_z' , duvar yüzeyinde normal ve yatay kuvvetlere ayrılır. Bu kuvvetler R_N ve R_T olsun.

Tremiyi dolduran silo malzemesinin ve buradaki boşaltma cihazları ile tremi-zatı ağırlığının tesirleri;

P_1 -----> Tremiyi dolduran hububat ağırlığı, P_2 Tremi ve boşaltma cihazlarının ağırlığı S' de tremi yüzeyinin toplam alanı olsun.

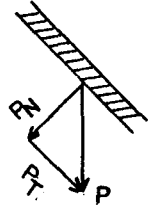
Tremi yüzeyinin birim alanına gelen yük:

$$P = \frac{P_1 + P_2}{S'}$$

lerine ayrılır.

dır. Bu kuvvet cidar boyunca ve cidara dik P_T ve P_N kuvvet-

P_{hz} ve P_{vz} nün bileşenleri R_z , duvar yüzeyinde normal ve yatay kuvvetlere ayrılır. Bu kuvvetler R_N ve R_T olsun.



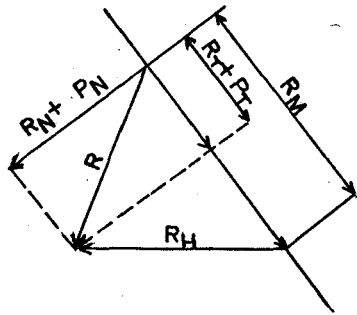
Tremiyi dolduran silo malzemesinin ve buradaki boşaltma cihazları ile temizati ağırlığının tesirleri

P_1 ----> Tremiyi dolduran hububat ağırlığı, P_2 ---> Tremi ve boşaltma cihazlarının ağırlığı, S' de tremi yüzeyinin toplam alanı olsun. Tremi yüzeyinin birim alanına gelen yük:

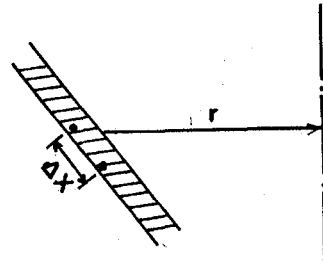
$P = \frac{P_1 + P_2}{S'}$ dır. Bu kuvvet cidar boyunca ve cidara dik P_T ve P_N kuvvetlerine ayrılır.

2.5.1. Konik ağızlı tremiler :

Normal kuvvetler, $R_N + P_N$ i, yatay kuvvetler $R_T + P_T$ yi hesapta kullanabiliriz. Şekildeki R bileşke kuvvetini R_H ve R_M parçalarına ayırarak R_H yi çember donatısına R_M yi meridyen donatısına taşıtabiliriz.



Sekil : 24



Sekil : 25

Çember donatısı: ΔX , iki donatı arasındaki uzaklık ve içten ölçülüp, tremi yarıçapı r' , R_H dan dolayı oluşan çember kuvvetini hesaplırsak;

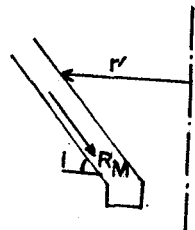
$R_H \times \Delta X \times r'$ olur.

Donatı alanı : $F_e \times f_{yk} = R_H \times \Delta X \times r'$ bulunabilir.

ya da ; $\Delta x = \frac{F_e \times f_{yk}}{r' \times R_H}$ olur.

Δx ve f_e uygun bir şekilde seçilerek tesbit edilirler.

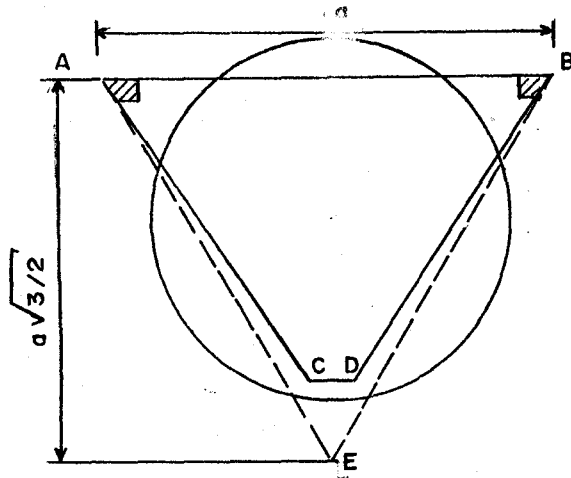
Sekil : 26



Boyuna donatı: Tremi duvarlarına gelen çekme kuvvetini aldığı kabul edilir. Tremilerin silo duvarlarına bağıntısı boyuna donatısı ile olur.

$$X = \frac{F_e \times f_{ck} \times 2 \cos i}{R_M \times r'} \quad e17 \quad \frac{R_H \times r'}{100 \times f_{ck} \times \sin i} \text{ (cm) olarak hesaplanır.}$$

2.5.2. Düzgün pramit şeklindeki Tremi :



Şekil : 27

ABCD Trapez kesitli Tremi kesiti olsun. ABE Eşkenar üçgen ve bu üçgenin alanı S olsun, S alanına eşit daire yarıçapı;

$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$ olur. Serbest mesnetleme halinde P yükü altında oluşacak moment;

$$M_0 = \frac{3pr^2}{16} = \frac{3PS}{16\pi} \approx 0,06 P.S \text{ olur.}$$

Eğer tremiler köşelere tam ankastre iseler;

Açıklık Momenti; $M = 0,06 P.S. \times 0,8 = 0,048 P.S.$

Köşe Momentleri; $M' = -0,06 \times \frac{2}{3} P.S \times 0,8 = -0,032 P.S \text{ olur.}$

Örneğin:

$$a = 5, \quad p = 3 \text{ t/m}^2$$

$$S = \frac{5^2 \times \sqrt{3}}{4} = 10,688 \text{ m}^2$$

$$M = 0,048 \times 3 \times 10,688 = 1,539 \text{ tm}$$

$$M' = -0,032 \times 3 \times 10,688 = -1,026 \text{ tm}$$

2.5.3. Tremilerin silo duvarlarına birleştirilmesi :

Yukarıda hesaplanmış donatılara ilaveten Tremilerin silo duvarlarına asılmasına yarıyacak donatıların eklenmesi şarttır.

a) Silonun alt kesiminde silo malzemesinden oluşan düşey basınç:

$$Q_z = P_v \times F \quad \text{dir.}$$

b) Tremiyi dolduran malzeme ağırlığı

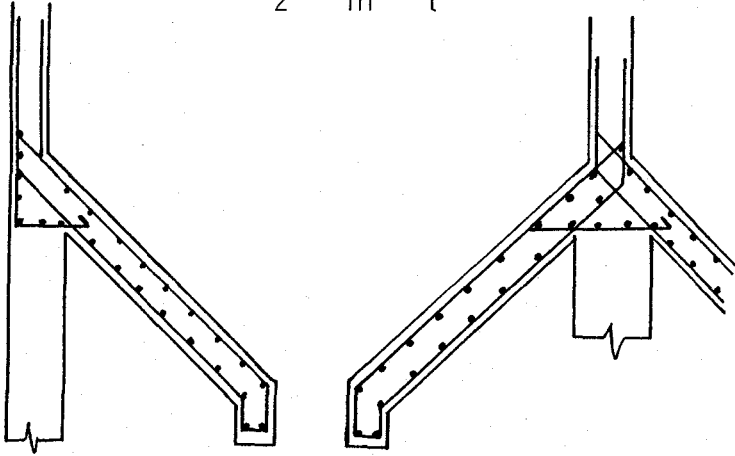
$$P_m = \frac{1}{3} \gamma F \times h' \quad \text{dür.} \quad h' : \text{Tremi yüksekliği}$$

c) Tremi ve buna bağlı sistemlerin ağırlığı da P_t olsun. Şu halde silonun duvarlarında oluşacak düşey çekme kuvveti

$$T = \frac{Q_z + P_m + P_t}{U} \quad \text{t/m olacaktır.}$$

Bu yüke göre donatı ve aralığını şöyle yazabiliriz.

$$\Delta x = \frac{f_{e1} \times f_{yk} \times u}{Q_z + P_m + P_t}$$



Şekil: 28 Primit kesitli tremi donatı şeması

KOLONLAR

2.6. Silolarda taşıyıcı kolonlar :

2.6.1. Kolonlara gelen yükler :

Silolara ve Tremilere intikal eden kuvvetler normal kuvvet ve burulma momenti şeklinde olur. Normal kuvvetler silonun kendi ağırlığı ve içindeki malzemenin ağırlığından oluşan kuvvetlerdir. Bunun yanında rüzgâr ve deprem kuvvetinden eğilme oluşur.

Normal kuvvetler :

Kolon başlarına gelen Normal kuvvetler kolanlar vasıtası ile zemine aktarılır.

n ----> Hücre sayısı

axb ----> Zemin alanı

P_1 ----> Köşe kolonları

Q ----> Toplam düşen yük

$$N_1 = \frac{P_1 \text{ kolonlarına gelen yük;}}{n \times ab} = \frac{Q \times \frac{a}{2} \times \frac{b}{2}}{4n} = \frac{Q}{4n} \text{ kg}$$

$$N_2 = \frac{P_2 \text{ kenar orta kolonlarına gelen yük;}}{n \times ab} = \frac{Q \times \frac{ab}{2}}{2n} = \frac{Q}{2n} \text{ kg}$$

$$N_3 = \frac{P_3 \text{ iç orta kolonlara gelen yük;}}{n \times ab} = \frac{Q}{n} \text{ kg}$$

Yan yüzeylere gelen rüzgâr yükü neticesinde devirme momenti meydana gelir ve daha önce bahsedilen normal kuvvetlere ilave edilir.

M ----> Devrilme momenti

l ----> Silonun esas uzunluğu

$\sum N$ ----> Toplam düşey kuvvetler

Buna göre bileşke eksantrikliği

$$e' = \frac{M}{\sum N} \text{ olacaktır.}$$

Rüzgâr kuvvetinden dolayı l açıklığı yönünde basınç artması :

$$N' = N \left(1 + \frac{12 e' x}{l^2} \right)$$

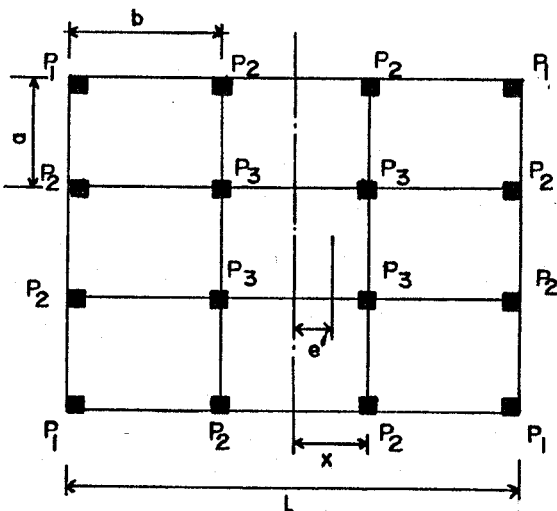
Kenar kolonlar için $x = l/2$ alırsak

$$N' = N \left(1 + \frac{6 e'}{l} \right) \text{ olur ki, bu ek değer } N_1 \text{ ve } N_2 \text{ ye ilave edilmelidir.}$$

Rüzgârın çarptığı yüzlerdeki kolonlarda

$$N'' = N \left(1 - \frac{12 e' x}{l^2} \right) \quad N'' = N \left(1 - \frac{6 e'}{l} \right) \text{ ifadesi } e' > \frac{l}{6} \text{ olunca}$$

negatif bir basınç yüklemesi (çekme) oluşurki silonun boş olması halinde araştırılmalıdır.



Şekil: 29

Eğilme Momenti : Rüzgâr yükü olarak, Kolon üst başına etkiyen yatay yük V ise ve kolon yüksekliği h ise rüzgâr yükünden oluşan toplam moment $V \times h$ dir. Bu yükü bütün kolonlara dağıtırsak;

$$H_1 \times h + H_2 \times h + H_3 \times h + \dots + H_n \times h = V \times h \quad \text{olmalıdır.}$$

Bir kolona gelen eğilme momentini ($H_1 \times h, H_2 \times h, \dots$) bulmak için kolon atalet momentini toplam atalet momentlerine oranlayıp toplam eğilme momenti ile çarpmak gerekir.

Şöyle ki; Atalet momenlerini I_1, I_2, \dots, I_n ile gösterirsek

$$H_1 \times h = V \times h \times \frac{I_1}{I_1 + I_2 + \dots + I_n} \quad \text{ve buradan}$$

$$H = \frac{V \times I_1}{I_1 + I_2 + \dots + I_n} \quad \text{bulunur.}$$

Atalet momentlerini hesaplariken kolonların enine kesitleri dikkate alınmalıdır. Kolonların yatay boyutlarını seçerken çevre şartları ve zemin durumunu dikkate almak gerekir.

Kolon hesabını yapabilmek için iki kuvvet tanımlanır.

- 1- Her bir kolona gelen normal kuvvet
- 2- Yatay rüzgâr yükü

b_1 -----> Kolon kesitinin genişliği

H_1 -----> Kolon kesitinin yüksekliği alınır;

$$I = \frac{b_1 H_1^3}{12}$$

Eğilme momenti ve normal kuvvetler H_1 ve b_1 e bağlı olarak şöyle verilmiştir

$$N = k_2 b_1 \cdot H_1 \quad M = \frac{H_1 N}{k_2}$$

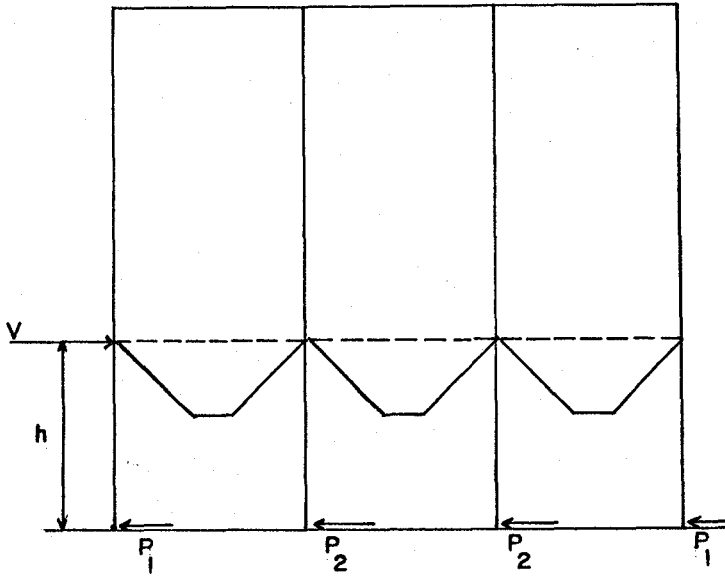
k_1 ve k_2 katsayıları şöyle verilir

$$k_1 = \frac{0,45 \times f_{ck} \times \alpha' - w (f_{yk} - f'_{yk})}{0,5 f_{ck} \times 0,81 \alpha' (3 - \alpha) + 0,18 f'_{yk} - 0,4 [0,45 f_{ck} \times \alpha' - w (f_{yk} - f'_{yk})]}$$

$$k_2 = 0,45 \times f_{ck} \times \alpha - w (f_{yk} - f'_{yk})$$

$$\alpha = \frac{m f_{ck}}{f_{yk} + m f_{ck}}$$

$$m = \frac{E_e}{E_b}$$



ŞEKİL: 30

2.6.2. Kolon hesabında dikkat edilecek hususlar :

1. Silo doludur, kolonlar max yüklenmişlerdir.
2. Silo boştur, kolonlar min yüklenmişlerdir.

$\frac{M}{N}$ oranının değeri dolu silolarda en az, boş silolarda en büyüktür. Kolonlar her durum için incelenmelidir. Kolondaki max M ve max N hesap edildikten sonra beton ve donatı kesit bulunur.

Kolonların boyutlandırılması için Almanlar tarafından bir abak geliştirilmiştir. Bu abağın kullanılışı şöyle olur.

$$\frac{M}{f_{yk} \times b_1 H_1^2} \text{ ve } \frac{N}{f_{ck} \times b_1 H_1} \text{ tesbit edilir.}$$

Kolonlar boş iken yani min yükleme durumunda incelenirken;

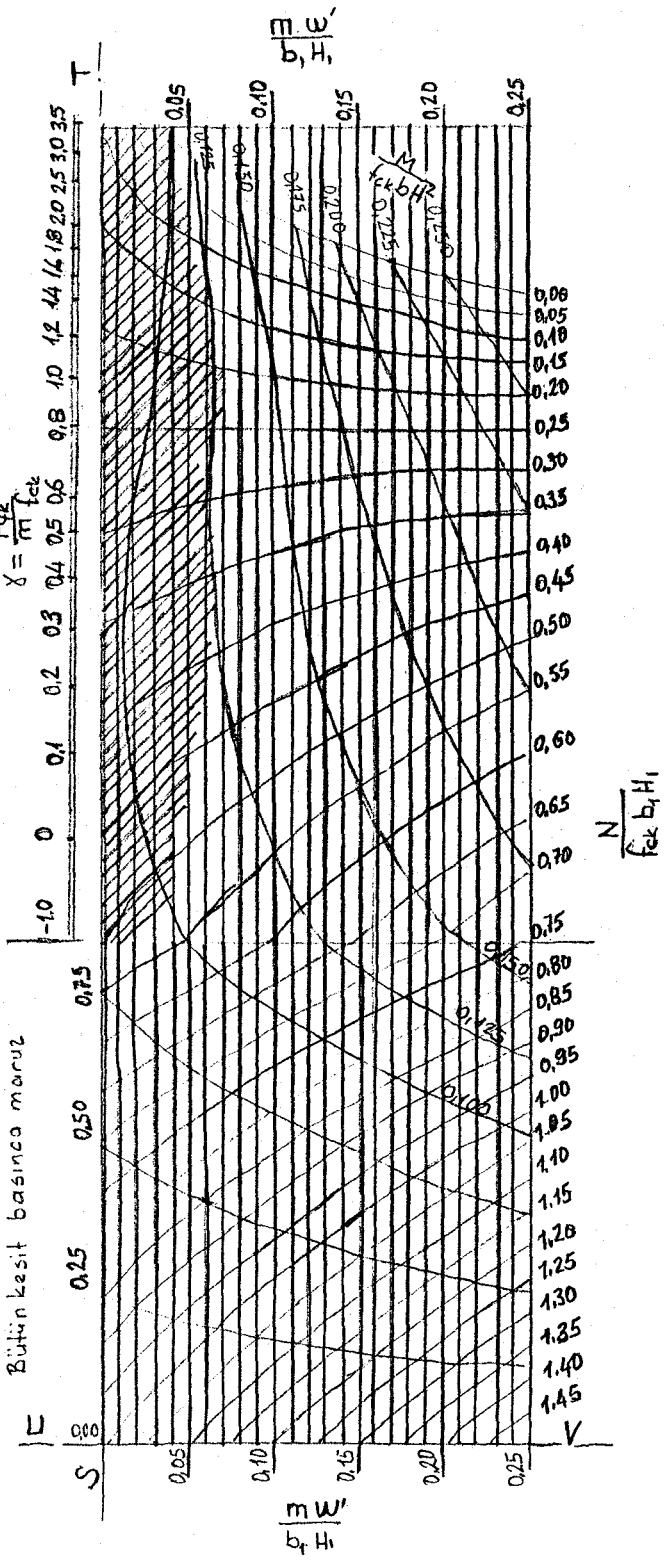
Bu parametrelere karşılık gelen eğrilerin çizgilerle taralı alandan eğrileri kesmesi durumunda min normal kuvvet için hesap yapılmalıdır. Eğer eğriler taralı alanın dışında kesişiyorsa min yükleme yani silonun boş durumu için hesaba gerek yoktur. Olayı daha yakından incelersek,

Örneğin; $\frac{M}{f_{ck} \times b_1 H_1^2} = 0,150$ $\frac{N}{f_{ck} \times b_1 H_1} =$

eğrileri ile kesiştirilerek

Kismi kesit basınca maruz

$$\chi = \frac{f_{yk}}{m \cdot f_{ek}}$$



Bütün kesit basınca maruz

S

$$\frac{m \cdot W'}{b \cdot H}$$

$$\frac{N}{f_{ek} \cdot b \cdot H}$$

V

T

bir donatı bulunabilir. Burda minimum N için hesaba gerek yoktur.

Genel olarak silo dolu iken max normal kuvvetler için büyük donatı çıkacağı söylenebilir. Fakat yukarıda da belirtildiği gibi eğriler taralı bölgede kesişirse; bazan min normal kuvvetler için büyük donatı elde edilebilir. Çizgilerle taralı alanı yakından incelersek \overline{ST} doğrusu ile $\frac{Mw'}{b_1 H_1} = 0,066$ arasındaki donatı çok azdır.

Absis doğrusu; $\frac{Mw'}{b_1 H_1} = 0,066$ dır.

Şöyle bir kural söylersek; Bir kolon moment yükü dışında normal kuvvet vasıtası ile max N ve min N yükü ile yüklenebilir.

Öncelikle Max N için gerekli donatı belirlenmelidir.

$$\frac{Mw'}{b_1 H_1} \geq 0,066 \quad \text{için min N için hesap gerekmez.}$$

$\frac{Mw'}{b_1 H_1} < 0,066$ ise $\frac{M}{f_{ck} b_1 H_1^2}$ ve $\frac{N}{f_{ck} b_1 H_1}$ bulunup min N durumunu incelemek gerekir. Eğrilerin taralı alan içinde kesişmesi halinde hem M ve max N hem de M ve min N için kolonlar hesaplanır. Her iki donatının büyüğü kabul edilir.

Örnek : Bir silonun kolonlarının boyutları 0,90 m x 0,90 m olup şu yüklemelere maruz kalsın.

$$M = 6500000 \text{ kg.cm.}$$

$$\text{Max } M = 260 \text{ 000 kg}$$

$$\text{Min } M = 65 \text{ 000 kg}$$

$$f_{ck} = 80 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yk} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$m = 15 \text{ için}$$

hesaplayalım.

Çözüm :

$$\frac{M}{f_{ck} b_1 H_1^2} = \frac{6500000}{80 \times 90 \times 90^2} = 0,111$$

$$\frac{N}{f_{ck} b_1 H_1} = \frac{260000}{80 \times 90 \times 90} = 0,40 \quad \text{bu değerlere karşılık gelen değerleri tablodan okursak;}$$

$$\frac{Mw'}{b_1 H_1} = 0,018 \quad \text{Bu değer } 0,066 \text{'dan küçük olduğu için min N durumunu hesaplayalım.}$$

$$\frac{N}{f_{ck} b_1 H_1} = \frac{65000}{80 \times 90 \times 90} = 0,10 \quad \text{bu değere karşılık gelen değeri tablodan okursak}$$

$$\frac{m w'}{b_1 H_1} = 0,040 \quad \text{ve} \quad \chi = 2.00$$

Burada görülüyorki min N için daha büyük donatı bulunmaktadır.

$$F_e = w' = \frac{0,040 \times 90 \times 90}{15} = 21,60 \text{ cm}^2$$

Çeliğin gerilme değeri

$$f_{yk} = \chi \times m \times f_{ck} = 2.00 \times 15 \times 80 = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

Yukarıki rmerkte simetrik teğhizatların çözümü için kabul edilen abakla, normal kuvvetler ve eğilme durumu için yaptık.

Bu abak dayanak olarak kullanılmaz. Sadece bir yol göstericidir.

2.7. Temeller :

Siloların temel hesabı diğer binaların temellerinin hesabı gibi yapılır. şurası unutulmamalıdır ki birim alana gelen yük fazla olacağından zemin etüdü iyi yapılmalıdır. Ayrıca silolar devrilmeye müsait bir yapıya sahip olduklarından temel cinsinin seçimi önem kazanmaktadır. Silolar genellikle radye ve kazık temeller üzerine inşa edilirler.

3. Öngerilmeli Silolar

3.1. Genel Bilgiler :

Betonun çekme dayanımı çok zayıftır. Bu değer merteye olarak basınç dayanımının 1/12'si kadardır. Betonarme tekniğinde betonun bu zayıf noktası çekme etkisinde kalan bütün bölgelere, çekme kuvveti doğrultusunda ve bu kuvveti karşılayabilecek miktarda çelik donatı yerleştirilmek sureti ile takviye edilmiştir. Bununla beraber bu şekilde elde edilen malzeme kullanımını sınırlayan birçok sakınca göstermektedir.

Bunlar;

Aderans yardımı ile etrafını sarmış olduğu donatıyla birlikte gerilen beton kopmadan donatısının uzamasına uyum sağlayamaz. Bu nedenle betonda çatlaklar oluşur. Bu çatlakların açıklıkları donatı çap ve gerilmeleri uygun bir şekilde seçilerek sıralanabilir olmakla beraber, çok küçük gerilmeler istisna olmak üzere, oluşmaları engellenememektedir. Bu çatlaklar aracılığı ile donatılar doğrudan çevre ortamı ile temas kurmakta ve korrozyon tehlikesine maruz kalmaktadır. Diğer taraftan çatlakların varlığı su giriş ve çıkışlarına sebep olmaktadır. Bu da yapı içindeki malzemenin bozulmasına sebep olmaktadır. Özellikle suya karşı hassas malzemelerde (örneğin; çimento, şeker vs.) bu önemli sorun olmaktadır.

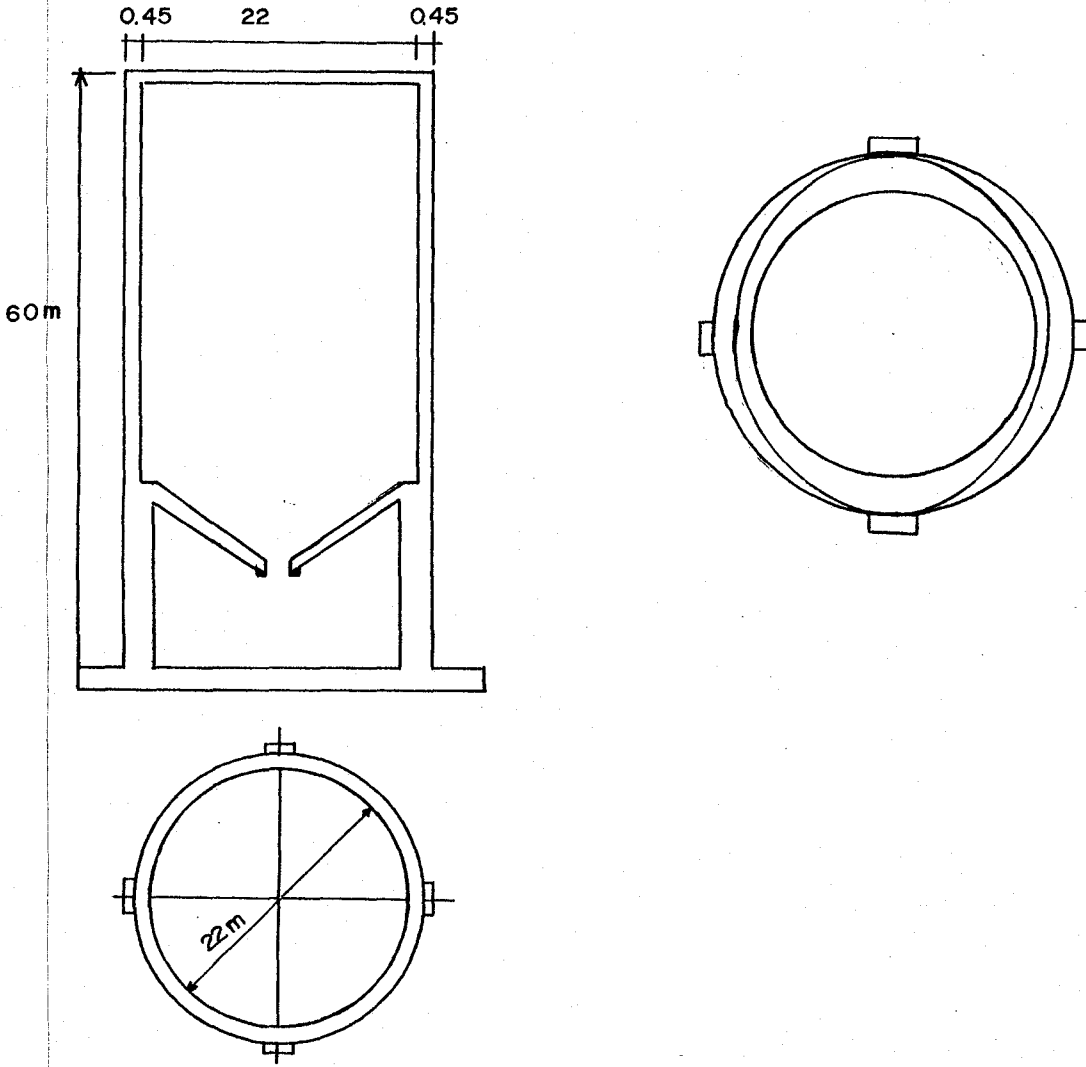
Çatlağın varlığı yapının görevini yapmasına mani olmakta ya da pek fazla güvenilir olmayan pahalı izolasyonun yapılmasını gerektirerek yapıyı ekonomik olmaktan çıkarmaktadır.

Öngerme çeliğinin akma sınırı diğer çeliklere göre çok yüksek ve zamana bağlı gerilme azalması çok azdır. Bu nedenle silo, su tankları ve benzeri yapılarda beton çekme gerilmelerinin kaldırılması kolaylaşmakta, yüksek pürsantağlı betonarme demiri yerini büyük oranda öngerme çeliğine bırakmaktadır. Böylece gerek betondan gerek demirden büyük ekonomi sağlanmaktadır.

Bunun için uygulamadan bir örnek verirsek;

Ürdün-Reşadiye çimento tesisi siloları:

Dört adet 22 m. çapında, 60 m. yüksekliğinde, dört adet 18 m. çapında ve 34 m. yüksekliğinde 8 adet siloda toplam 550 ton öngerme çeliği kullanılmıştır. Silo üzerindeki külaklardan gerilen yarım daire biçimindeki kabloların germesi iki uçtan aynı anda yapılmıştır. Kullanılan öngerme çeliği 0,5" anma çapında ve 1665 N/mm² akma sınırına, 1860 N/mm² kopma mukavemetine sahip öngerme halatıdır.



Şekil : 31

3.2. Hesap esasları :

Hesap Yöntemi kısaca şöyledir:

Silonun her 1 m. yüksekliğinde malzeme basıncı ve sıcaklık değişimi gibi etkilerle oluşan çekme kuvvetleri bilinen yöntemlerle hesaplanmakta ve bu çekme kuvvetini karşılayacak kadar sayıda kablo seçilmektedir. Üngerme çeliğine kopma mukavemetinin % 80'nini aşmayacak biçimde uygulanan ilk germe kuvveti, sürtünme, kamalanma gibi nedenlerle bir miktar azalmaktadır. Buna ek olarak çeliğin gevşemesi, betonun rötne ve sünmesi gibi zamana bağlı kayıplar da hesaba katıldığında kabloda kopma mukavemetinin % 50-60'ı kadar bir kuvvet kalmaktadır. Kablo sayısının hesabında bu sonuç kuvvet gözönüne alınmalıdır. Bu siloların üngerilmeli olarak yapılmasının getirdiği ekonomi 22 m. çaplı silo için aşağıdaki tabloda karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 10 :

	Öngermeli silo	Betonarme silo
Silo çidarı	45 cm	75-135-160 cm
Cidar betonu	1900 m ³	6532 m ³
Öngerme çeliği	116 Ton (61 kg/m ³)	-
Yumuşak donatı	139 Ton (73 kg/m ³)	680 Ton (104 kg/m ³)

3.2.1. Geometri :

$$\text{Alan : } F = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\text{Çevre : } U = \pi D$$

$$\text{Hidrolik Yarıçap } r_h = \frac{F}{U} = \frac{D}{4}$$

3.2.2. Yüklerin hesabı :

Yüklerin hesabı 2.2. kısımdaki hesap esaslarına göre hesaplanır.

3.2.3. İnşaatta kullanılacak malzeme :

Silo inşaatında kullanılacak malzemenin sınıfı seçilir. (Beton sınıfı çeliğin kopma mukavemeti Elastisite modülü) gibi.

Sonra öngerme çeliğinin taşıyabilecek olduğu yük hesap edilir. Bu yük ACİ ye göre kopma mukavemetinin % 70'idir. Bir halatın taşıdığı yük $F_{st} \times F_{pu} \times 0,70 \times 10^{-3}$ Ton dur.

F_{st} -----> Öngerme halatının kesit alanıdır (mm²)

F_{pu} -----> Öngerme halatının kopma mukavemeti (kg/mm²)

P_h , yatay yükün silonun belirli yüksekliğine göre hesap edilen değerler için halat miktarı belirlenir.

Kabloda oluşacak ani ve zamana bağlı kayıplar hesap edildikten sonra kabloya verilecek son öngerme kuvveti hesaplanır.

3.2.4. Öngerme kuvvetinin hesabı :

3.2.4.1. Kablo boyu hesap edilir.

Kablo boyunun hesabı; kablo yörüngesinin çapından faydalanılarak hesaplanır.

3.2.4.2. Sürtünme kayıpları :

Bir öngerme elemanı boyunca sürtünme kayıpları Coulomb halat sürtünme yasası yardımı ile hesap edilir.

$$P(x) = P_0 e^{-(\mu + kx)} \quad (\text{coulomb yasası})$$

$P(x)$: Germe noktasının X uzaklığındaki öngerme kuvveti

P_0 : Germe noktasındaki öngerme kuvveti

e : Tabii logaritma

μ : Sürtünme katsayısı

α : X açıklığı üstündeki tüm dönüş açıları toplamı (radyan)

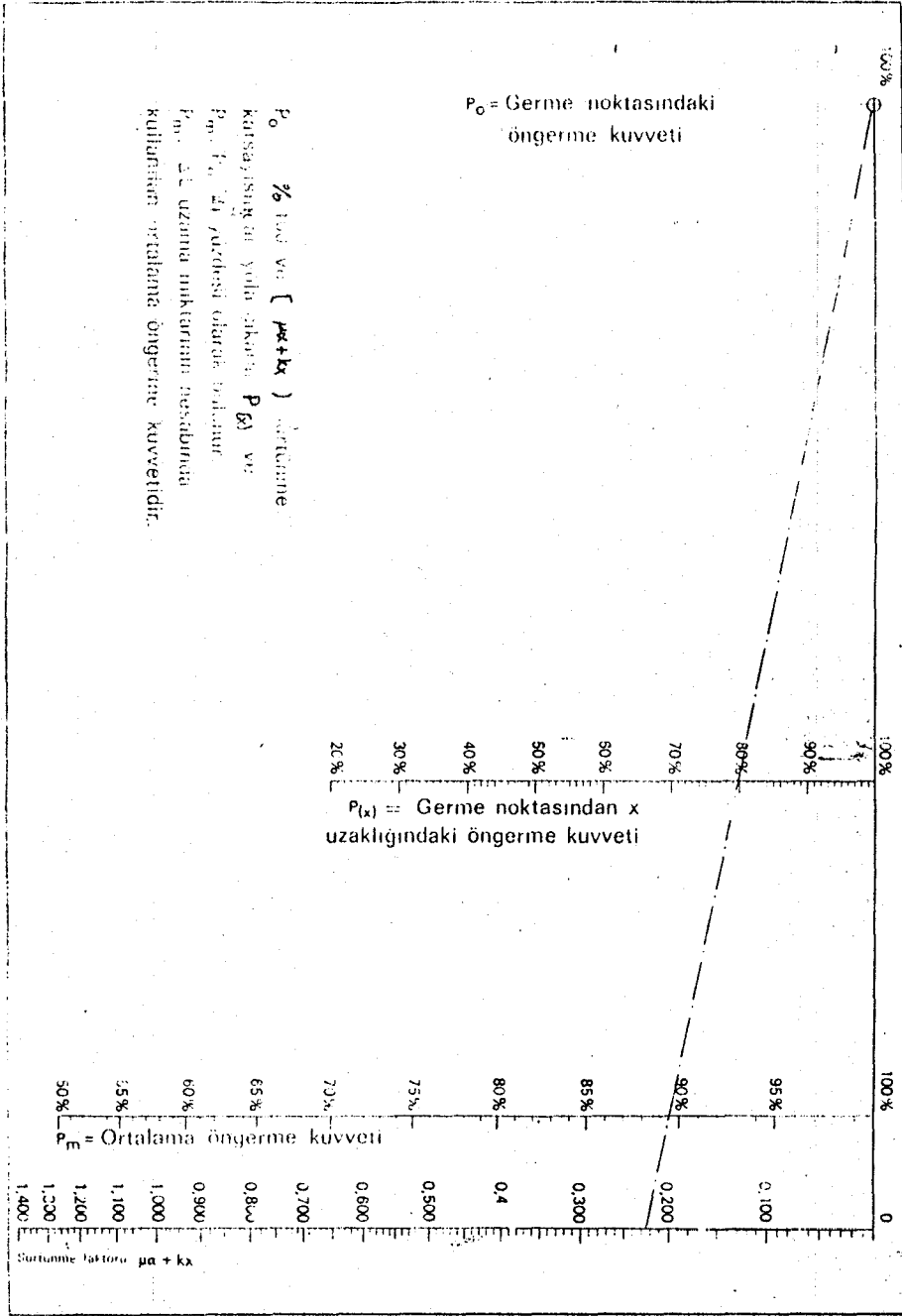
k : Birim uzunluktaki istenmeyen dönüşler için (yerleştirme halatları) sürtünme katsayısı

Kuvvet akışının belirlenmesi Coulomb yasasının ardışık uygulanması ile ya da basit olarak Şekil 32 'deki diyagram yardımı ile yapılır. Aranılan $P(x)$ ve P_m değerleri P_0 ve $(\mu + kx)$ değerlerini birleştiren doğru üzerinden okunur. μ ve k katsayıları bir yandan öngerme çeliği ve kılıf borusu tipine diğer yandan öngerme elemanının yapım biçimine bağlıdır. (Atölye imalatı ya da şantiyedeki kablo sürme ve çekme gibi) Yapılan deneyler ve ölçümler sonucu μ ve k katsayıları şöyle bulunmuştur.

μ katsayısı	Değişim aralığı	Ortalama değer
a) Normal metal kılıf borular içindeki kablolar	0,16 ~ 0,22	0,19
b) Eğri olarak düşenen yarı (rijit) kılıf boruları içine yerleştirilen kablolar	0,13 ~ 0,19	0,16
k katsayısı (metre başına)	(0,6 ~ 1,0) 10^{-3}	0,8. 10^{-3}

Pratikte normal olarak ortalama değer kullanımı yeterlidir. Aksi halde gerilme hesabında uç değerlerinin etkisini incelemek gerekecektir. Öngerme elemanı boyunca meydana gelen sürtünme kayıplarına ek olarak germe makinası ve ankrajda da kayıplar olur. Bu nedenle germe işlemi sırasında monometrenin göstergesindeki kuv-

Verilen gereken degerde düzeltilmelidir.



Şekil: 32 Kablo boyunca kablö kuvvetinin belirlenmesi için nomogram

Kayıpların büyüklüğü, kablo ünitesine ankraj tipine ve kullanılan greme makinasının biçimine göre değişir. Germe makinası içindeki kayıpları monometrenin gösterdiği değerlerin % 1-3'ünün bulmakta, ankrajdaki sürtünme kayıpları % 2-4 dolayında kalmaktadır.

3.2.4.3. Sıkıştırıcı oturması (kama kayması) :

Halatların ankraj katasına kamalanmasında sıkıştırıcılar 6 mm. lik sabit bir boyda gömülürler. Bu değer kablo ünitesinden halat çapından ve öngerme çeliğinin niteliğinden bağımsızdır. Kablo sürtünmesi sonucu kuvvet kaybının doğrusal olduğu kabul edilirse -ki, bu çoğu durumda yeterli hassaslığı vermektedir- w ve ΔP değerleri şöyle olur;

w : Sıkıştırıcı oturmasının etkilediği mesafe

ΔP : Ankraj noktasındaki kuvvet kaybı

$$w = \frac{\Delta l_c E_s A_s}{\Delta p}$$

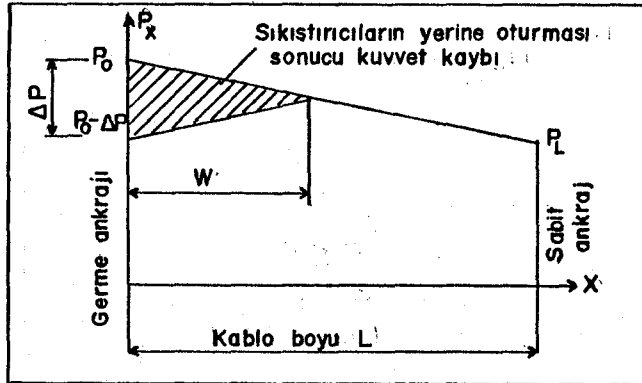
$$\Delta P = 2\Delta p \cdot w$$

Δl_c : Sıkıştırıcıların oturması = 0,006 m.

E_s : Öngerme çeliğinin elastisite modülü kN/m^2

A_s : Öngerme çeliği kesit alanı m^2

Δp : 1 m. deki öngerme kuvveti kaybı $kN/m = \frac{P_0 - P_L}{L}$



Şekil: 33 Sıkıştırıcı oturması

Çoğu durumda bu kaybın pratik bir anlamı yoktur. Çünkü gerekli kablo kuvveti, genelde W açıklığının dışında oluşan hesaba esas momentten çıkar. Kısa kablolarda küçük dönüş açılarında ya da mesnet veya ankraj bölgesindeki normal gerilmelerin hesaba esas olduğu durumlarda ise sıkıştırıcıların oturması sonucu meydana gelen kayıpların karşılaştırılması zorunludur. Gerekli durumlarda sıkıştırıcı oturmasından doğan kayıp kablonun kısa süreli fazla gerilmesiyle ve ankraj kafası ile ankraj plakası arasına altlıklar yerleştirilerek karşılanabilir. Çoğu standartlar kablonun kısa süreli fazla gerilmesine izin verir. Bu bazı yararlar sağlar.

3.2.4.4. Uzama boyunun hesabı :

ΔL uzama boyu aşağıdaki eşitlikle tam olarak hesap edilir.

$$\Delta L = \int_0^L \frac{P_x}{E_s \times A_s} dx + \int_0^L \frac{P_x}{E_c \times A_c} dx$$

Çeliğin uzaması Betonun uzaması

İkinci integral çoğu durumda ihmal edilebilir. (Öngermeden doğan beton gerilmelerinin büyük olması hali hariç). Buna göre uzama boyu şöyle hesap edilir.

$$\Delta L = \frac{P_m \cdot L}{E_s \cdot A_s}$$

P_m : Ortalama öngerme kuvvetidir.

$$P_m = \frac{P_0 - P_x}{m\alpha + kx} \quad P_m \text{ değeri şekil 32'deki diyagramdan alınabilir.}$$

3.2.4.5. Rolaksasyon (gevşeme) kayıpları :

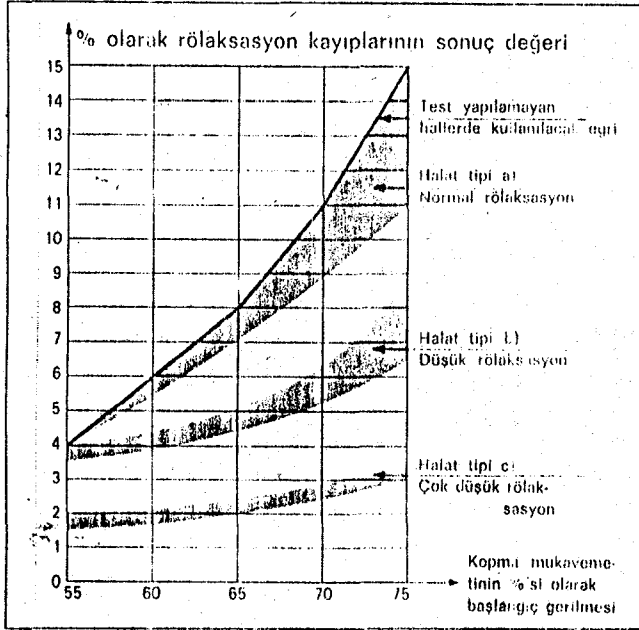
Belirli bir kuvvetle gerilmiş ve sonra sabit uzunlukta tutulmuş bir öngerme elemanında zamana bağlı gerilme ve kayıpları rolaksasyon olarak adlandırılır. Burada öngerme çeliğinin niteliğine göre ve imal biçimine göre değişen malzeme özelliği sözkonusudur. Belirli bir çelik için rolaksasyon esas olarak başlangıçtaki gerilme ve çevre ısısına bağlıdır.

Öngerme halatlarında üç tür rolaksasyon ayırtedilebilir.

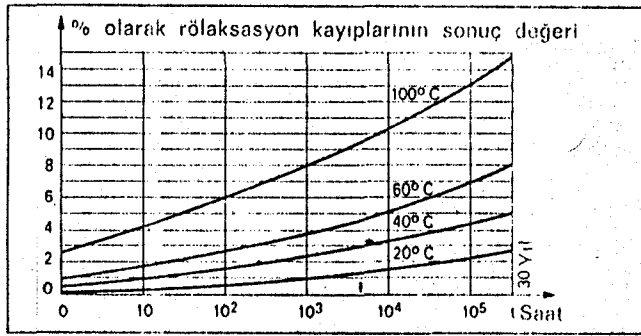
- Normal rolaksasyon
- Düşük rolaksasyon
- Çok düşük rolaksasyon

Bugün genellikle çok düşük rolaksasyonlu halatlar kullanılmaktadır. Şekil 34 20°C'lik çevre ısısında rolaksasyon kayıplarının sonuç değerlerini vermektedir. Renkli işaretlerin genişliği imalat toleranslarını belirtmektedir. Şekil 35'de

Çok düşük röleksasyonlu halatlarda ısı etkisini göstermektedir.



Şekil :34 Farklı halat tiplerinde röleksasyon kayıplarının sonuç değeri (Çevre ısısı 20°)



Şekil :35 Çevre ısısının fonksiyonu olarak çok düşük röleksasyonlu halatlarda rö. kayıplarının sonuç değeri

'de çok düşük relaksasyonlu halatlarda ısı etkisini göstermektedir.

3.2.4.6. Betonun rötire ve sünmesi sonucu oluşan kayıplar :

Bu kayıpların hesabında en iyi yol ülkede yürürlükte olun şartnamelerin ya da dikkate alınan özel literatürün esas alınmasıdır.

ACI 'ye göre;

rötire; $F_{1s} = (17.000 - 150 R)$ psi formülü ile verilir.

R : Yıllık ortalamanın yüzdesi

Öngerme çeliğinin ortalama gerilmesi (f_a) = % 61 x f_{pn}

Rötreden oluşan kayıp = $\frac{f_{1c}}{f_a} = \%$ olarak verilir.

Sünme:

Sünme kaybı : $f_{1c} = 12 f_{cir} - 7 f_{c ds}$

f_{cir} : Yöresel basınç altındaki beton gerilmesi

$f_{c ds}$: Germe işleminden ve uygulanacak tüm ölü yüklerden sonra oluşan beton gerilmesi

Sünmeden oluşan kayıp = $\frac{f_{1c}}{f_a} = \%$ olarak bulunur.

Rötire ve sünme kaybını CEB/FIB şartnamesinin verilerine göre oluşturulan eşitlikler şekil 36 ve şekil 37 'de sabit gerilme altında rötire ve sünme sonucu oluşan kayıpların yeterli bir kesinlikle elde edilmesini sağlamaktadır.

$$P_{c+s} = 100. \frac{\Delta \sigma_{p,c+s}}{\sigma_{po}}, \quad \Delta \sigma_{p,c+s} = \frac{E_s E_s + \alpha \psi_{\infty} (\sigma_{c,po+g})}{1 - \frac{\sigma_{cpo}}{\sigma_{po}} (1 + \frac{\psi_{\infty}}{2})}, \quad \alpha = \frac{E_s}{E_c}$$

(Basınç ve kısalma için eksi, çekme için artı işareti)

Burada;

ΔP_{c+s} : Rötire ve sünme kayıplarının sonuç değeri (% olarak)

$\Delta \sigma_{p,c+s}$: Rötire ve sünme sonucu öngerme çeliğindeki gerilme kaybı (N/mm² olarak)

σ_{po} : Öngerme çeliğindeki başlangıç gerilmesi (N/mm²)

σ_{cpo} : Yalnız öngerme sonucu öngerme elemanı yüksekliğindeki ilk beton gerilmesi (N/mm²)

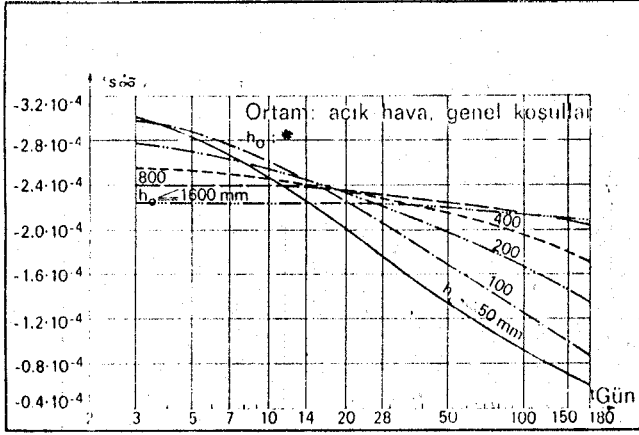
$\sigma_{c,po+g}$: Ön germe, zati ağırlık ve diğer sabit yükler sonucu öngerme elemanı yüksekliğindeki beton gerilmesi (N/mm²)

E_s : Öngerme çeliğinin elastisite modülü

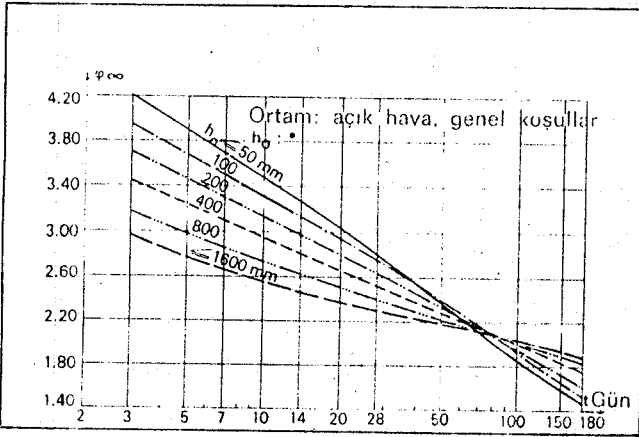
E_c : Betonun elastisite modülü

$\epsilon_{s\infty}$ = Özel son rötre miktarı -Şekil 36'den alınacak.

φ_{∞} = Betonun sonuç sünme sayısı -Şekil 37'den alınacak.



Şekil : 36 Yükleme anının ve yapı kısmının h_0 etkin yüksekliğinin fonksiyonu olarak betonun son rötre miktarı



Şekil : 37 Yükleme anının yapı kısmının h_0 etkin yüksekliğinin fonksiyonu olarak betonun sonuç sünme sayısı

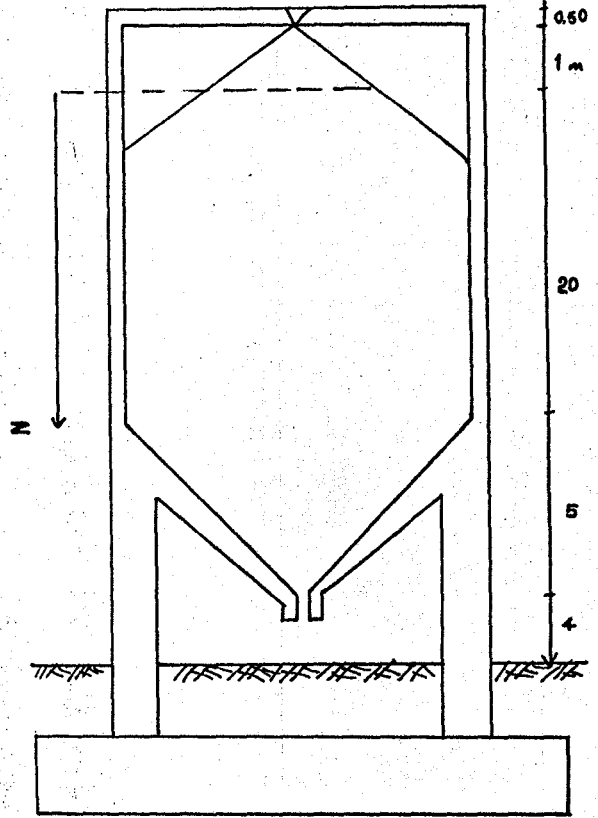
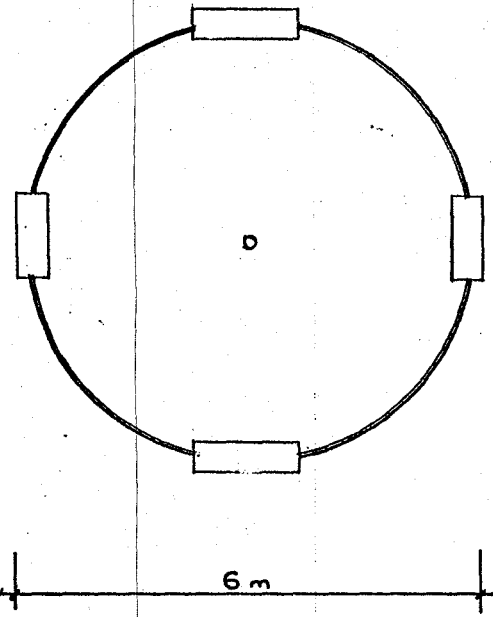
$$* h_0 = 1,5 \frac{2A_c}{U}$$

A_c : Beton kesitinin alanı

U : Yapı kısmının atmosfere açık çevresi (sandık kesitlerde iç çevrenin - yalnızca yarısı alınır)

4. SAYISAL ÖRNEKLER

4.1. Örnek : Bir hücreli dairesel kesitli betonarme bir silonun hesabı



Bilinenler :

$$\gamma = 830 \text{ kg/m}^3, \quad \theta = 25^\circ, \quad \psi' = 21.30', \quad \psi'' = 21.50', \quad h = 20 \text{ m.}, \quad h_s = 30 \text{ m.}$$
$$h_c = 9 \text{ m.}, \quad d = 6 \text{ m.}$$

Çözüm :

$$\text{Alan} : \quad F = \frac{d^2}{4} \quad \text{-----} \quad F = 3,14 \times \frac{6^2}{4} = 28,27 \text{ m}^2$$
$$\text{Çevre} : \quad U = d \quad \text{-----} \quad U = 3,14 \times 6 = 18,84 \text{ m}$$
$$\text{Hidrolik Yarıçap} : \quad r_h = \frac{F}{U} \quad \text{-----} \quad r_h = \frac{28,27}{18,84} = 1,5 \text{ m.}$$

Silolanacak malzeme (Buğday)'nin özelliklerine göre boşaltma durumu için Tablo den aşağıdaki değerleri almak mümkündür.

$$\mu = 0,20$$

$$\lambda = 1,00$$

Karakteristik apsis

$$Z_o = \frac{r_h}{\lambda \mu} \quad \text{-----} \quad Z_o = \frac{1,5}{0,2 \times 1} = 7,5 \text{ m. olarak hesaplanır.}$$

1. Yüklere Hesabı

Gerekli formüller :

$$P_h = \gamma \cdot r_h \cdot \bar{\phi} / M$$

$$P_v = \gamma \cdot r_h \cdot \bar{\phi} / \lambda M$$

$$P_w = \gamma \cdot r_h \cdot \bar{\phi}$$

Z	Z/Z ₀	$\bar{\phi}$	P _h	P _v
4	0.553	0.41	2552	
8	1.067	0.65	4046	
12	1.600	0.80	4980	
16	2.133	0.88	5478	
20	2.667	0.93	5789	57.89

2. Kesit Hesabı

$$e \geq \frac{r \cdot P_h}{100 \times f_{ckd}} = \frac{3 \times 5789}{100 \times 15.5} = 11.20 \text{ cm.}$$

Dairesel kesitli hücrelerde cidarlarda çekme kuvveti oluşur. Bunun için cidar kalınlığı küçük çıkmaktadır. TS500 perde duvarlarda 15 cm. den az kalınlık kabul etmemektedir. Bunun için duvar kalınlığımızı 15 cm. seçeceğiz.

Gerekli donatı alanı :

$$F_e = \frac{r \cdot P_h}{F_{yk}} \quad \text{formülü ile hesap edilir.}$$

Z	4	8	12	16	20
F _e (cm ²)	6.38	10.12	12.45	13.70	14.47

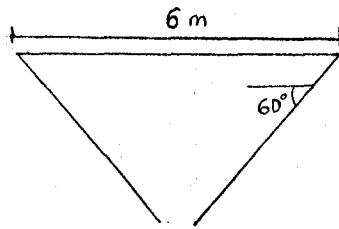
Boyuna donatı \emptyset 10/25 olarak kullanılacaktır.

Meridyen donatısı :

0 - 4	4 - 8	8 - 12	12 - 16	16 - 20
\emptyset 14/20	\emptyset 14/15	\emptyset 14/10	\emptyset 14/10	\emptyset 14/10

olacak şekilde kullanılacak.

3. Tremi Hesabı



$$i = 60^\circ$$

$$P_h = 5789 \text{ kg/m}^2$$

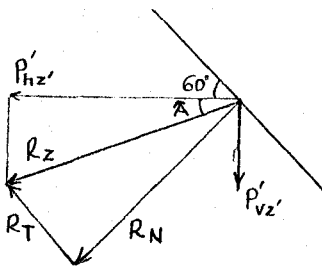
$$P_v = 5789 \text{ kg/m}^2$$

$$P_{h2'} = P_h, \quad P_{v2'} = P_v \text{ kabul edelim.}$$

$$P'_{h2'} = P_{h2'} \times \sin i = 5789 \times \sin 60 = 4949.6$$

$$P'_{v2'} = P_{v2'} \times \cos i = 5789 \times \cos 60 = 2894.5$$

$$R_z = \sqrt{P'^2_{h2'} + P'^2_{v2'}} = \sqrt{4949.6^2 + 2894.5^2} = 5733.81 \text{ kg/m}^2$$



R_z nin tremi doğrultusu ile yaptığı açı;

$$\text{tg } \hat{A} = \frac{2894.5}{4949.6} = 0.584 \quad \hat{A} = 30^\circ$$

R_z tremi doğrultusu ile yaptığı açı : $60 + 30 = 90^\circ$ dir.

Burada R_T bileşeni sıfır olmaktadır. Bunun sebebi de $P_h = P_v$ olmasıdır. Bu-

radâ $R_z = R_N$ olmaktadır.

$$R_N = 5733.81 \text{ kg/m}^2 \quad P_1 = 830 \times \frac{1}{3} h' \times S$$

$$h' = 3 \times \text{tg } 60 = 1.732 \times 3 = 5.2 \text{ m.}$$

$$S = \pi d^2/4 = 3.14 \times 6^2/4 = 28.27 \text{ m}^2$$

$$P_1 = 830 \times \frac{1}{3} \times 5.2 \times 28.27 = 40671 \text{ kg}$$

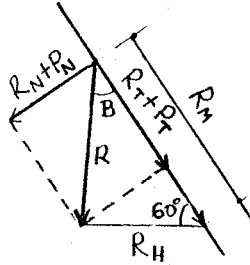
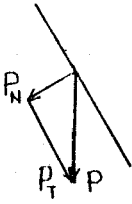
$$P_2 = 1000 \text{ kg alalım.}$$

$$P = \frac{P_1 + P_2}{S} = \frac{40671 + 1000}{28.27} = 1474 \text{ kg/m}^2$$

$$P_N = P \cdot \cos 60 = 1474 \times 0.5 = 737 \text{ kg/m}^2$$

$$P_T = P \cdot \sin 60 = 1474 \times 0.87 = 1277 \text{ kg/m}^2$$

Bu yükleri tremiye aktaralım



$$R_N + P_N = 5733.81 + 737 = 6470.81 \text{ kg/m}^2$$

$$R_T + P_T = 1277 + 0 = 1277 \text{ kg/m}^2$$

$$R = \sqrt{6470.81^2 + 1277^2} = 6595.61 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{tg } \hat{\theta} = \frac{6470.81}{1277} = 5.07 \quad \hat{\theta} = 79^\circ$$

$$\frac{R}{\sin 60^\circ} = \frac{R_M}{\sin 41^\circ} = \frac{R_H}{\sin 79^\circ} = 7581.16 \text{ kg/m}^2$$

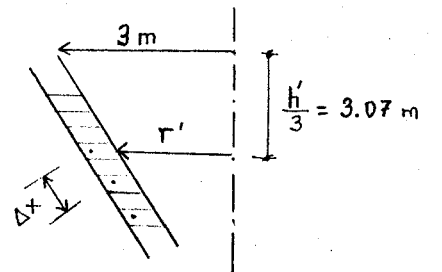
$$R_M = 7581.16 \times \sin 41 = 7581.16 \times 0.66 = 4973.69 \text{ kg/m}^2$$

$$R_H = 7581.16 \times \sin 79 = 7581.16 \times 0.98 = 7441.87 \text{ kg/m}^2$$

r' : Tremi ağırlık merkezinin eksene uzaklığı

R_H yı çember donatısına taşıtırsak

$$r' = 3 - \frac{3.07}{\text{tg } 60} = 1.23 \text{ m.}$$



$\Delta X = 15 \text{ cm.}$ seçersek

ΔX : İki donatı arasındaki uzaklık

$$F_e = \frac{\Delta X \cdot r' \cdot R_H}{f_{yk}} = \frac{0.15 \times 1.23 \times 7441.87}{1200} = 1.14 \text{ cm}^2 \text{ ----- } \emptyset 14 (1.55 \text{ cm}^2)$$

R_M yi meridyen donatısına taşıtırsak

Burada donatıyı $\emptyset 14 (1.55 \text{ cm}^2)$ seçelim ve ΔX 'i bulalım.

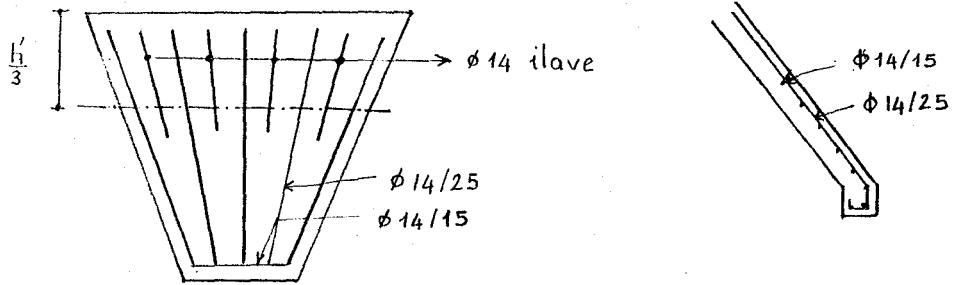
$$\Delta X = \frac{1.55 \times 1200 \times 2 \times \cos 60^\circ}{4973.69 \times 1.23} = 0.304 \text{ m. (} X = 25 \text{ cm olarak alınır)}$$

Tremi kalınlığı :

$$e \geq \frac{R_H \times r'}{100 \times f_{ckd} \times \sin i} = \frac{7441.87 \times 1.23}{100 \times 15.5 \times \sin 60^\circ} = 6.82 \text{ cm.}$$

$e = 15 \text{ cm.}$ seçeceğiz, çünkü TS500 perde duvarlarda 15 cm.'den az kalınlığa izin vermemektedir.

Donatı hesabı treminin ağırlık merkezindeki yarıçapa göre yapılmıştır. Treminin boşaltma tarafındaki daralmadan dolayı koyulamayan donatı üst kısımdaki boşluklara konulmalıdır.



Treminin silo duvarına birleştirilmesi

Tremiye etkiyen kuvvetlerden dolayı silo duvarında oluşacak kuvvet

$$T = \frac{Q_2 + P_1 + P_2}{U} \text{ olacaktır.}$$

$$Q_2 = P_v \times F = 5789 \times 28.27 = 163\ 655 \text{ kg.}$$

$$U = 18.84 \text{ m.}$$

$$T = \frac{163655 + 40671 + 1000}{18.84} = 10898 \text{ kg/m}$$

Donatıyı Ø 14 seçip donatı aralığını bulalım.

$$\Delta X = \frac{1.55 \times 1200}{10898} = 0,17 \text{ m}$$

kullanılacak donatı Ø 14/17 olacaktır.

Kolonlar

Yükler :

Silo duvarları	$18.84 \times 0.15 \times 21 \times 2400$	=	142 430 kg
Tremi duvarları	$6 \times 0.15 \times \left(\frac{18.84+0.94}{2}\right) \times 2400$	=	2 136 kg
Silonun üst tabliyesi	$28.27 \times 0.20 \times 2400$	=	13 565 kg
Kolonlar (70 x 100) Tahminen	$0.70 \times 1 \times 9 \times 2400$	=	15 120 kg
	Toplam	:	173 251 kg

Silo içindeki malzeme : $28.27 \left(20 + \frac{5}{3}\right) 830 = 508368 \text{ kg.}$

Bir kolona gelecek ölü yük : $173251/4 = 43312 \text{ kg.}$

Bir kolona gelecek malzeme ve ölü yük : $742951/4 = 181237 \text{ kg.}$

Rüzgâr yükü : Rüzgârın silo üzerindeki etki alanı

$(d + 0,6) \times (h_s + 0,3 d)$ olarak alınır. (Dairesel kesitler için)

Rüzgâr hızını da $V = 0,8 V_s$ olarak alacağız.

$V_s \rightarrow$ 30 yıllık max rüzgâr hızı.

$$F = (6 + 0,6) (30 + 0,3 \times 6) = 210 \text{ m}^2$$

$$V = 0,8 \times 150 = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$R = 210 \times 120 = 25185 \text{ kg.}$$

$$M = \frac{R \times h_s}{2} = \frac{25185 \times 30}{2} = 377775 \text{ kg.m}$$

Rüzgâr etkisi ile kolona etkiyecek yük; $X = \frac{L}{2}$ kabul edersek

$$N' = N \left(1 + \frac{6\lambda}{L}\right)$$

$$\lambda = \frac{M}{\Sigma N} = \frac{377775}{724951} = 0.51$$

$$N' = 181237 \left(1 + \frac{6 \times 0.51}{6}\right) = 237.668 \text{ kg}$$

$\lambda > \frac{1}{6}$ olduğu için silonun boş olması halini araştıracağız. Silo boş iken bir kolona gelen yük : 43312 kg.

$$e' = \frac{M}{\Sigma N} = \frac{377775}{173251} = 2.18$$

$$N'' = 43312 \left(1 - \frac{6 \times 2.18}{6}\right) = - 51130 \text{ kg.}$$

Kolon hesabında dikkate alınacak yükler;

$$M = 377775 \text{ kgm} \quad , \quad N' = 237668 \text{ kg} \quad , \quad N'' = - 51130 \text{ kg}$$
$$m = 15$$

$$\alpha = \frac{m \cdot f_{ck}}{f_{yk} + m \cdot f_{ck}} = \frac{15 \times 80}{1600 + 15 \times 80} = \frac{1200}{2800} = 0.43$$

$$w = 0.008 \text{ seçelim}$$

$$k_1 = \frac{0,45 \times 80 \times 0,43 - 0,008 (1600 - 1400)}{0,5 \times 80 \times 0,81 \times 0,43 (3 - 0,43) + 0,8 \times 0,0008 \times 1400 - 0,4 (0,45 \times 80 \times 0,43 - 0,008 (1600 - 1400))}$$

$$k_1 = \frac{14,88}{3881} = 0,38$$

$$k_2 = 0,45 \times 80 \times 0,43 - 0,008 (1600 - 1400) = 14,88$$

$$b \cdot H = \frac{N'}{k_2} = \frac{237668}{14,88} = 15972 \text{ cm}^2$$

$$H = \frac{M}{N} k_1 = \frac{377775}{237668} \times 0,38 = 0,604 \text{ m}$$

H ≥ 60.4 cm. olmalıdır.

$$H = 80 \text{ cm.} \quad , \quad b = 200 \text{ cm.} \quad \text{seçelim}$$

$$b \times H = 80 \times 200 = 16000 > 15972 \text{ cm}^2$$

$$F_e = 16000 \times 0.008 = 128 \text{ cm}^2 \quad \text{-----} \rightarrow 34 \text{ } \emptyset \text{ } 22 \quad (129 \text{ cm}^2)$$

Silonun boş olması halini (N'' = -51.130 ton) düşünelim.

$$N'' = 51.130 \text{ ton} \quad , \quad b_1 = 200 \text{ cm} \quad , \quad H = 80 \text{ cm.}$$
$$h = 195 \text{ cm.} \quad h' = 5 \text{ cm.} \quad e = 95 \text{ cm.}$$

$$\beta = \frac{h'}{h} = \frac{5}{195} = 0,025 < 0,07$$

$$C = \frac{M}{|N|} = \frac{377775}{51130} = 7.39$$

$$\frac{C}{b_1} = \frac{7,39}{2} = 3,94 > 0,7 \quad \text{büyük eksantrisite}$$

$$M_e = M - N = 377,775 + 51,130 \times 0,95 = 426,35 \text{ tm}$$

$$h = k_h \sqrt{\frac{M_e}{H}} \quad 195 = k_h \sqrt{\frac{426,35}{0,8}} = k_h \times 23,08$$

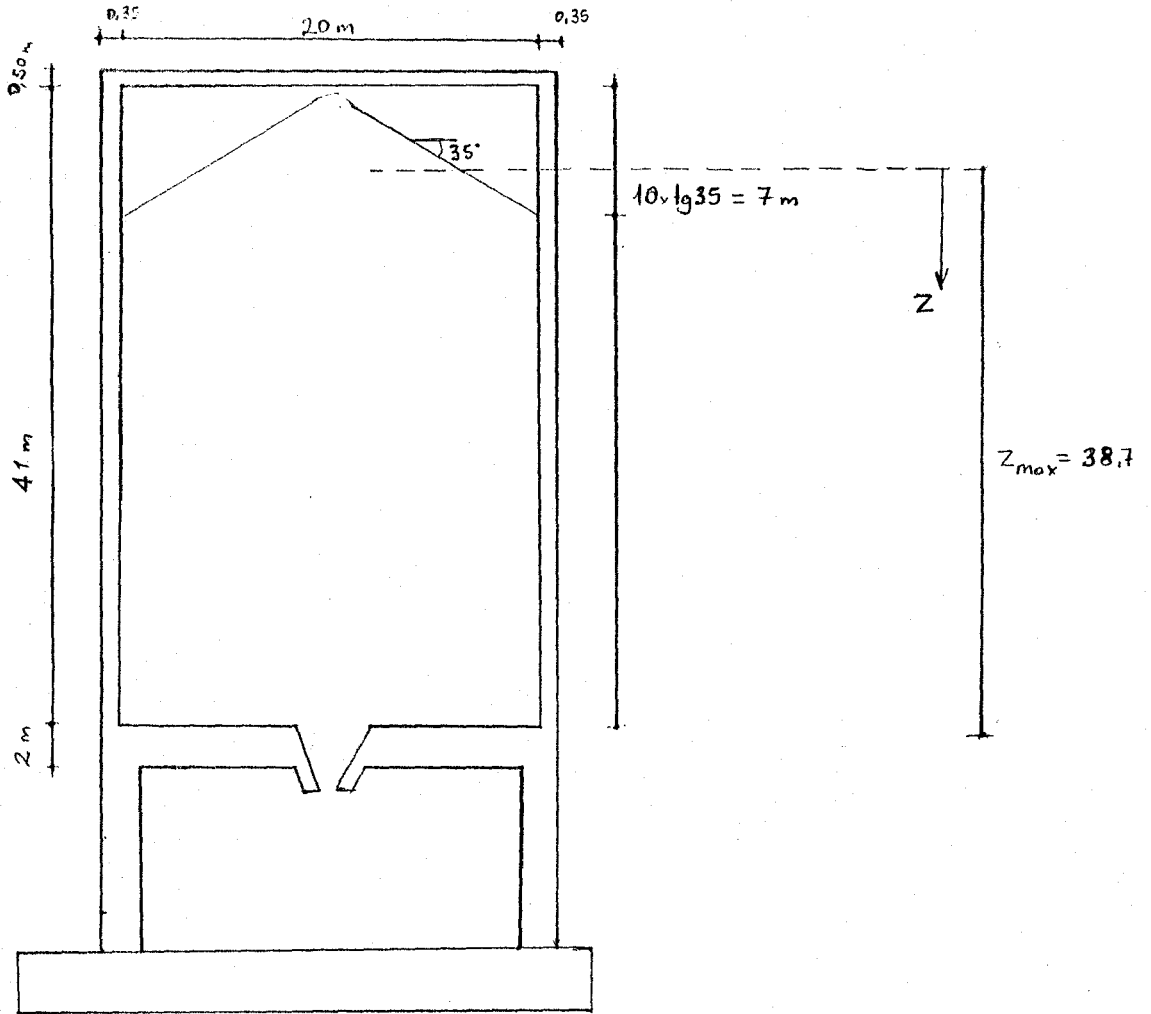
$$k_h = \frac{195}{23,08} = 8,45 > 0,8$$

$k_h > k_h^*$ olduğundan

$$F_e \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{M_e}{h} k_e + \frac{N}{F_{cy}}$$

$$F_e \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{377,775}{195} \times 0,84 + \frac{51,130}{1,4} = 48,15 \text{ cm}^2 < 128 \text{ cm}^2$$

4.2. Örnek : Bir hücreli dairesel kesitli öngerilmeli bir silonun hesabı.



$$d = 20 \text{ m.} , \quad h_s = 41 \text{ m.} , \quad \varphi = 35^\circ , \quad \varphi' = 21^\circ , \quad \theta = 35^\circ , \quad \gamma = 1530 \text{ kg/m}^3$$

Malzeme : Alkali kristalize Fosfat

Ortalama dane büyüklüğü $> 0,2 \text{ mm}$

$$\text{Alan : } F = \pi d^2/4 = 3.14 \times 20^2/4 = 314,15 \text{ m}^2$$

$$\text{Çevre : } U = \pi d = 3.14 \times 20 = 62,83 \text{ m.}$$

Hidrolik yarıçap : $r_h = \frac{D}{4} = \frac{20}{4} = 5 \text{ m.}$

Kullanılacak malzemelerin özellikleri

Öngerme çeliği :

$$F_{ST} = 140 \text{ mm}^2$$

$$f_{pu} = 180 \text{ kg/m}^2 = 1,77 \text{ kN/mm}^2$$

$$E_{ST} = 20000 \text{ kg/mm}^2 = 196,2 \text{ kN/mm}^2$$

Beton :

BS 30 (C 30)

$$f_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2 = 30 \text{ N/mm}^2$$

Donatı : Nervürlü çubuk

$$f_{yk} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Halata uygulanacak ilk kuvvet :

ACI ye göre Ankrajdan sonra kabloların hemen gerilmesi

$$0,70 F_{pu} \times F_{ST} = 0,70 \times 140 \times 180 \times 10^{-3} = 17,64 \text{ Ton (bir halat için)}$$

Ayrıntılar için ankraj başındaki ilk kuvvet

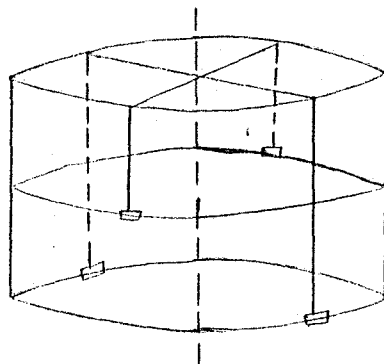
2 Halat için 35.3 Ton

4 Halat için 70.6 Ton

6 Halat için 105.8 Ton

12 Halat için 211.7 Ton

Kablo düzeni : Yatay öngerme kabloları duvar çevresinde iki ankraj oluşturacağından kabloların uzunluğu duvar çevresinin yarısına eşittir ard arda gelen kabloların ankrajları 90° lik bir geometriye sahiptir.



$$\lambda = \frac{P_h}{P_v} = 1.00$$

$$M = \text{tg } \varphi' = \text{tg } 21^\circ = 0.3839$$

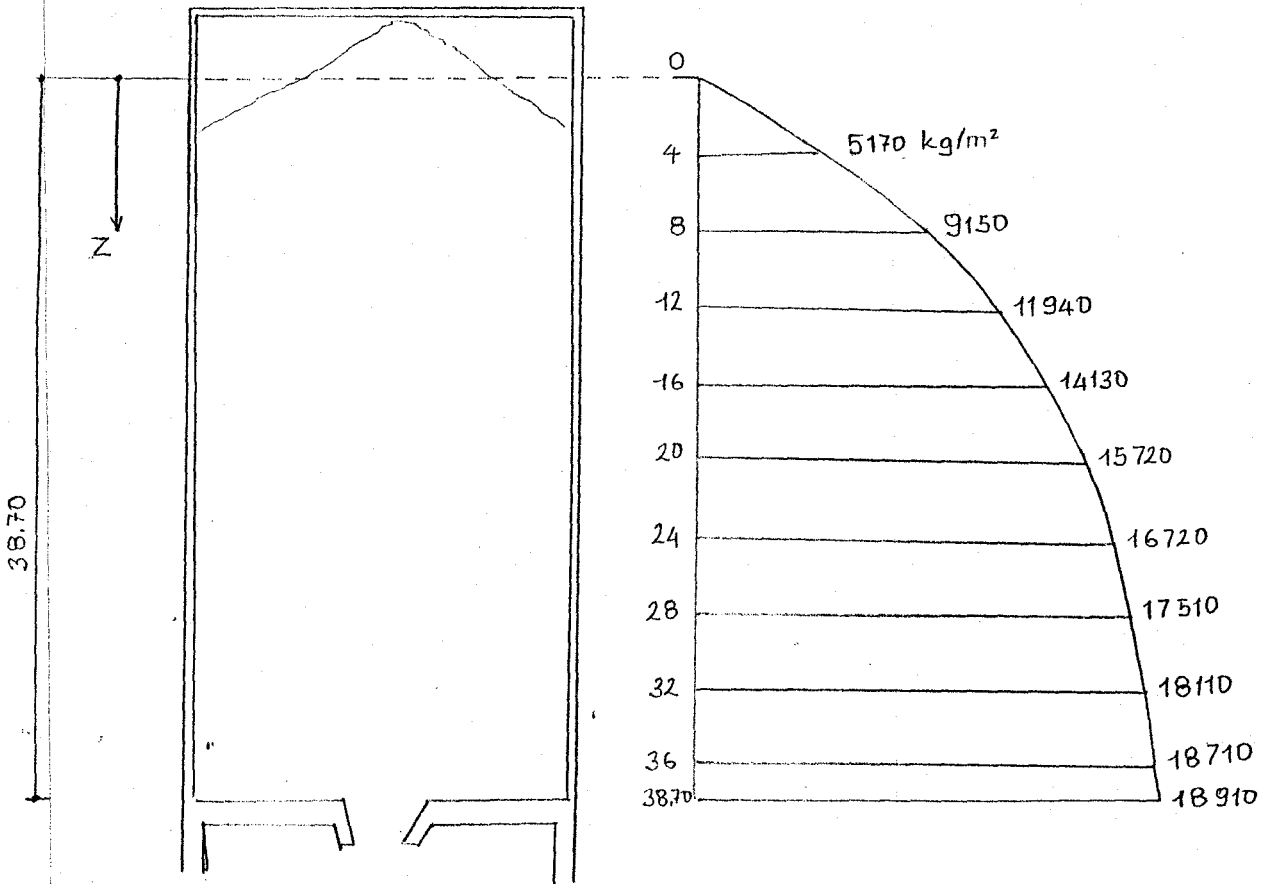
$$Z_0 = \frac{r_h}{\lambda M} = \frac{5}{1 \times 0.3839} = 13.025 \text{ m.}$$

$$\max P_h = \frac{\gamma r_h}{M} = \frac{1530 \times 5}{0.3839} = 19900 \text{ kg/m}^2$$

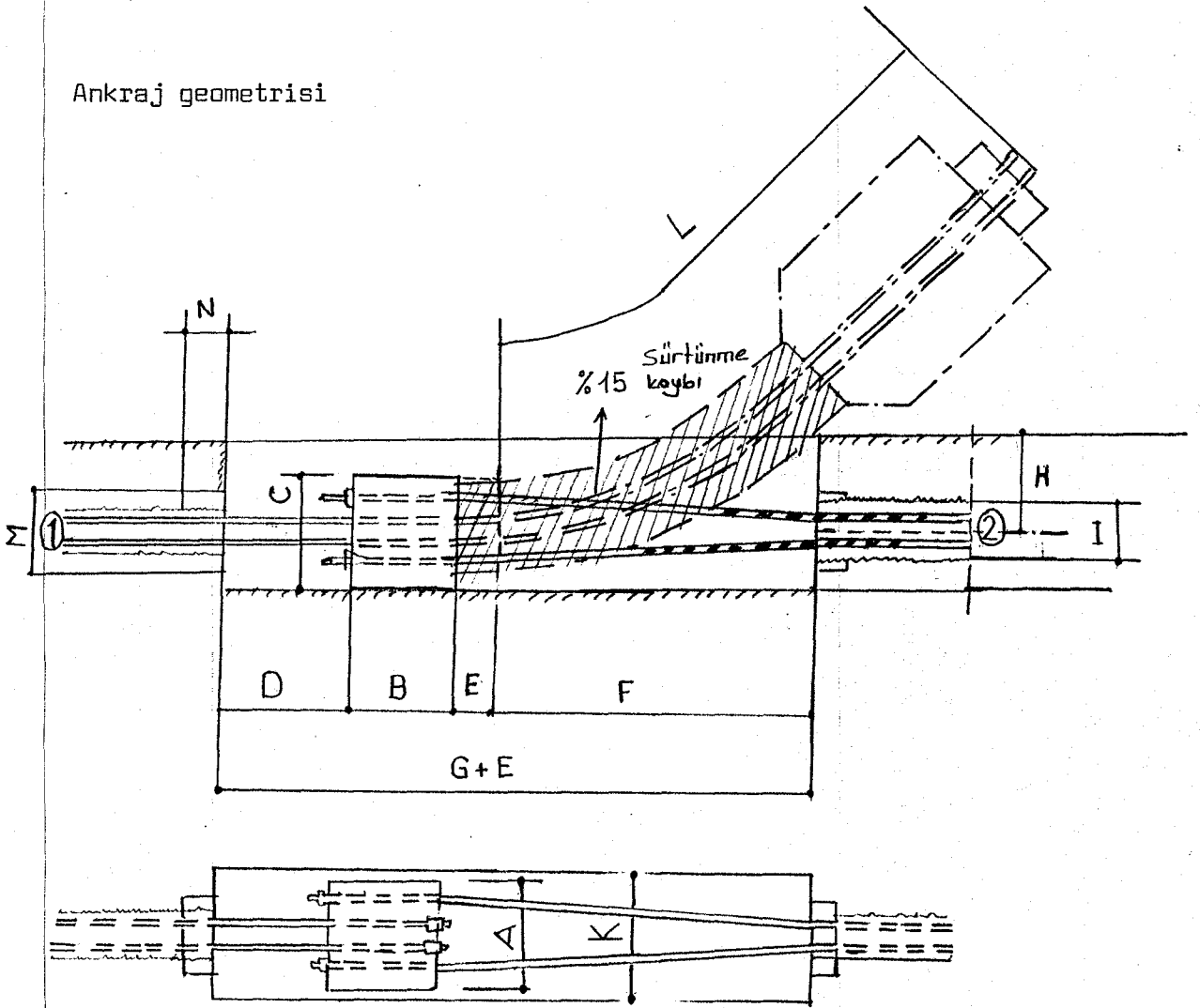
Malzeme yüksekliği; $Z_{\max} = 34 + 7 \times \frac{2}{3} = 38.70 \text{ m.}$

$$P_h = \frac{\gamma r_h \Phi}{M} \quad \text{Formülü ile hesaplırsak}$$

Z	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	38.70
Z/Z ₀	0	0.31	0.61	0.92	1.23	1.54	1.84	2.15	2.46	2.76	2.97
Φ	0	0.26	0.46	0.60	0.71	0.79	0.84	0.88	0.91	0.94	0.95
P _h	0	5170	9150	11940	14130	15720	16720	17510	18110	18710	18910



Ankraj geometrisi



[mm]

TİP	6 - 2"	6 - 4"	6 - 6	6 - 12
A	140	170	210	300
B	70	80	100	160
C	90	100	140	160
D	100	150	220	400
E	2. Kablonun uzama boyu			
F ²⁾	400	500	550	650
G ²⁾	570	730	870	1210
H	65	70	90	100
Ø I	35/40	45/50	55/62	80/87
K	180	210	250	340
L ³⁾	850	1050	950	850
Ø M	60	80	95	125
N	30	30	30	35
Ø O	16/20	16/20	25/29	25/29
	140	150	190	210

Dış takosun derinliği

$$\left(H + \frac{C}{2} + 30\right)$$

Öngerme kuvveti :

Kablo yarıçapı : Kabul edilen duvar kalınlığı 35 cm.

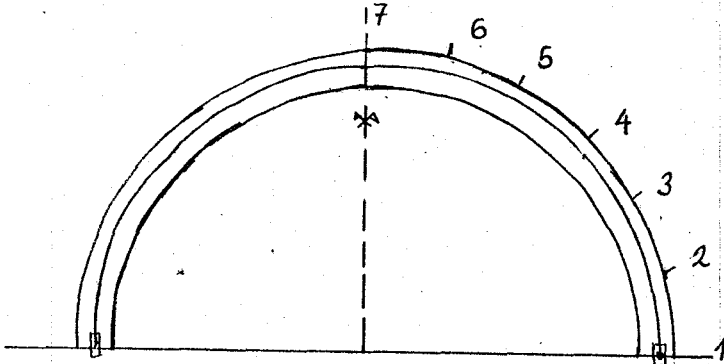
Dış yarıçap	10,35 m
Sıva	- 0,03 m
İki ankraj tablası	- 0,04 m
1/2 Ø kablo	- 0,04 m
	<hr/>
	10,24 m

Sürtünme kaybı :

Coulomb Formülü $P_x = P_0 e^{-(\alpha \mu + kx)}$

Kablonun 180° deki uzunluğu : $\frac{\pi D}{2} = \frac{3.14 \times 10,24}{2} = 32,17 \text{ m.}$

$\mu = 0,10$, $k = 1 \times 10^{-3}$ alacağız.



N_{kta}	α (rad)	x (m)	$\alpha \mu$	kx	Sıkıştırıcı otuması hariç P_0 (Ton)	Sıkıştırıcı otumasından sonra P_0 (Ton)	% f_{pu}	Kuvvetlerin Ortalama değeri
1	0	0	0	0	17,64	15,86	% 63	$P_0 = \frac{110,05}{7} = 15,72$ (% 62 f_{pu})
2	0,262	5,4	0,0262	0,0316	17,09	16,37	% 65	
3	0,524	10,7	0,0524	0,0631	16,56	16,56	% 66	
4	0,785	16,1	0,0785	0,0946	16,05	16,05	% 64	
5	1,047	21,4	0,1047	0,1261	15,55	15,55	% 62	
6	1,309	26,8	0,1309	0,1577	15,06	15,06	% 60	
7	1,571	32,17	0,1571	0,1893	14,60	14,60	% 58	

$\Sigma = 110,05$

Sıkıştırıcı oturması :

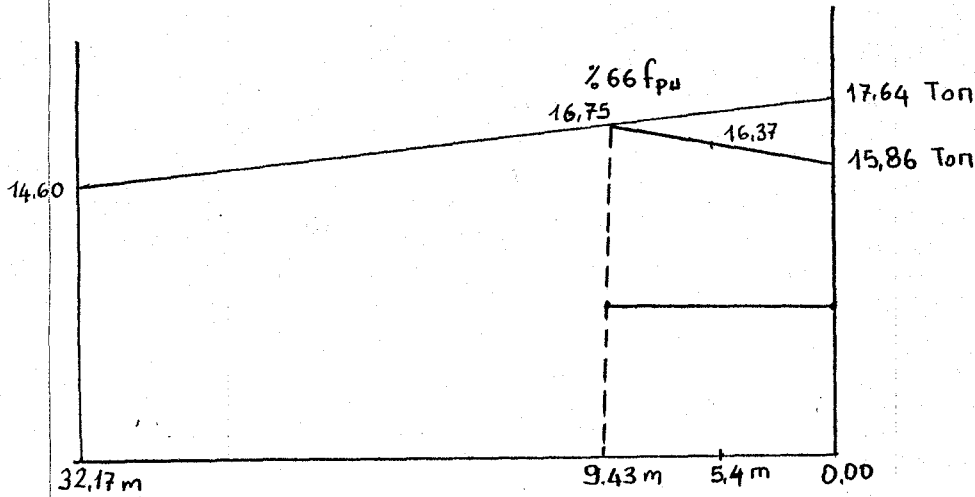
$$\Delta l_c = 0,003 \text{ m.} \quad (\text{kullanacağımız ankraj için})$$

$$w = \frac{\sqrt{\Delta l_c \times E_{ST} \times F_{ST}}}{\Delta P}$$

$$\Delta P = \frac{\text{Kuvvet kaybı}}{\text{Kablo uzunluğu}} = \frac{17,64 - 14,60}{32,17} = 0,0945 \text{ Ton/m}$$

$$w = \sqrt{\frac{0,003 \times 2 \times 10^7 \times 1,4 \times 10^{-4}}{0,0945}} = 9,43 \text{ m.}$$

$$\text{Kuvvet kaybı} \quad \Delta P = 2 \Delta P \times w = 2 \times 0,0945 \times 9,43 = 1,78 \text{ Ton}$$



Öngerme kuvvetinin ortalama değeri

P_0 kuvvetinin hesabı ve 90° lik durum farkı ile ard arda iki kablunun toplamı :

Nokta	P_0 (Ton) i.halat için	P_0 (Ton) (i+1).halat için	Toplam (Ton)	P_0 (Ton) Ortalama Kuvvet
1	15,86	14,60	30,46	15,23
2	16,37	15,06	31,43	15,72
3	16,56	15,55	32,11	16,06
4	16,05	16,06	32,10	16,05
5	15,55	16,56	32,11	16,06
6	15,06	16,37	31,43	15,72
7	14,60	15,86	30,46	15,23

$$P_{0 \text{ min}} = 15,23 \text{ Ton}$$

bir halat için

$$F = 140 \text{ mm}^2$$

$$P_{0 \text{ max}} = 16,05 \text{ Ton}$$

$$f_{pu} = 180 \text{ kg/mm}^2$$

Zamana bağlı kayıplar :

Rolaksasyon :

Kabloda rolaksasyon kaybı % 70 f_{pu} da % 6

Nokta	% f_{pu}	% Kayıp
1	63	4,7
2	65	5,4
3	66	5,6
4	64	5,2
5	62	4,6
6	60	4,3
7	58	4,3
		$\Sigma = 34,1$

Ortalama Rolaksasyon kaybı

$$\frac{34,1}{7} = \% 4,9$$

Rötre :

$$f_{1s} = (17.000 - 150 R) \text{ psi}$$

R -----> Nem yüzdesi % 50

$$f_{1s} = 17.000 - 150 \times 50 = 9500 \text{ psi} = 0,668 \text{ ton/cm}^2$$

Öngerme çeliğinin ortalama mukavemeti % 61 $f_{pu} = 10,98 \text{ ton/cm}^2$

$$\text{Rötreden oluşan kayıp} = \frac{0,668}{10,98} = \% 6,1$$

Sünme :

$$\text{Sünme kaybı : } f_{1c} = 12 f_{cir} - 7 f_{cds}$$

f_{cir} ----- Tahminen

Üstte : - 30 kg/cm²

Altta : -100 kg/cm²

Ortalama = -65 kg/cm²

f_{cds} ----- Hesapla

Üstte : 0 kg/cm²

$$\text{Altta : } f_{cds} = \frac{p \cdot r}{t} = \frac{1,99 \times 1000}{35} = 57 \text{ kg/cm}^2$$

Ortalama : 28,4 kg/cm²

$$\text{Sünme kaybı : } f_{1c} = 12 \times 65 - 7 \times 28,4 = 581 \text{ kg/cm}^2 = 0,581 \text{ ton/cm}^2$$

$$\text{Sünmeden dolayı kayıp oranı : } \frac{0,581}{10,98} = \% 5,3$$

Zamana bağılı kayıpların toplamı

Rolaksasyon	4,9
Rötire	6,1
Sünme	5,3

% 16,3

----->

$$P = 0,837 P_0$$

Kablo Miktarı

Halattaki en küçük kuvvet

$$P_{\infty} = 0,837 \times 15,23 = 12,75 \text{ ton}$$

2 Kablo için	=	25,50	Ton
4 Kablo için	=	51,00	Ton
6 Kablo için	=	76,50	Ton
12 Kablo için	=	153,00	Ton

P_{∞} minimum kuvvet

silonun doldurma halinde sürtünme ve zamana bağılı kayıplardan sonra betonda min 100 ton/m² basınç istenir. Sıcaklıktan dolayı oluşan yükler donatı çeliği ile alınacaktır.

Üngerme kuvvetine ek olarak ortalama 100 ton/m² ilave edersek

$$100 \text{ ton/m}^2 \times 1,00 \text{ m}^2 \times 0,35 = 35 \text{ ton/m}$$

Z nin durumu	Ayrılan kısımlardaki basınçlar ton/m ²	Dairesel gerilme kuvveti $P_i \times \frac{r}{i^2}$ (Ton/m)	Beton içindeki gerilme ton/m	Üngerilme ve içteki gerilme Toplamı ton/m	1 m için gerekli halat miktarı	Toplam gerekli halat miktarı		
0 - 4	5,2	52	+35	87	6,824	27,29	8 Z 6-4 e=57 cm	
4 - 8	9,2	92	↑ ↓	127	9,961	39,84	10 Z 6-4 e=40 cm	
8 - 12	11,9	119		154	12,078	48,31	8 Z 6-6 e=50 cm	
12 - 16	14,1	141		176	13,804	55,22	10 Z 6-6 e=40 cm	
16 - 20	15,7	157		192	15,059	60,24	10 Z 6-6 e=40 cm	
20 - 24	16,7	167		202	15,843	63,37	11 Z 6-6 e=36 cm	
24 - 28	17,5	175		210	16,471	65,88	11 Z 6-6 e=36 cm	
28 - 32	18,1	181		216	16,941	67,76	11 Z 6-6 e=38 cm	
32 - 36	18,7	187		222	17,412	69,65	11 Z 6-6 e=36 cm	
36 - 38,7	18,9	189		+35	224	17,569	47,43	8 Z 6-6 e=33 cm

Z = 545 Halat | Z = 552 Halat (kullanılan)

Yukardaki tabloda

8 Z 6 - 4

Z -----

Ankraj tipini

6 -----

inç olarak halat çapını

4 -----

Halat adedini

8 -----

Kablo adedini göstermektedir.

1 silo için gerekli kablo miktarı :

$$2 \times 80 \text{ kablo} \quad Z 6 - 6 \quad \text{bir } 180^\circ \text{ de} = 160 \text{ kablo}$$

$$2 \times 18 \text{ kablo} \quad Z 6 - 4 \quad \text{bir } 180^\circ \text{ de} = 36 \text{ kablo}$$

Kablo uzunluğu :

$$r = 10,24 \text{ m}$$

$$r = 10,24 \times 3 = 32,17 \text{ m}$$

$$32,17 + \frac{1,20}{\text{çekmek}} = 33,37 \text{ m}$$

İçin fazlalık

$$160 \text{ kablo} \times 6 \text{ halat} \times 33,37 \text{ m} \times 1,146 \text{ kg/m} = 36712 \text{ kg}$$

$$36 \text{ kablo} \times 4 \text{ halat} \times 33,37 \text{ m} \times 1,146 \text{ kg/m} = \underline{5507 \text{ kg}}$$

$$\text{Gerekli öngerme çeliği : } 42218 \text{ kg}$$

$$160 \text{ Ankraj başlığı} \quad \text{Tip } Z 6 - 6$$

$$36 \text{ Ankraj başlığı} \quad \text{Tip } Z 6 - 4$$

Duvar Kalınlığı :

Seçilen : 35 cm. min kablo aralığı : 33 cm.

$$\text{max kablo kuvveti } P_0 = 16,05 \times 6 = 96,3 \text{ ton/kablo}$$

$$\frac{96,3}{0,33} = 291,82 \text{ ton/m}$$

$$\text{Betondaki max gerilme : } \frac{291820}{100 \times 35} = 84 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar kalınlığını 30 cm'ye azaltmak mümkündür.

$$\text{Bu durumda beton gerilmesi} = \frac{291820}{100 \times 30} = 97 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Beton miktarı : } (10.30^2 - 10.00^2) \times 41 \text{ m} = 785 \text{ m}^3$$

$$\text{Yaklaşık olarak } \varnothing 20 \text{ mm. den büyük çubuklar için } 40 \text{ kg/m}^3$$

$$\varnothing 16 \text{ mm. den büyük çubuklar için } \underline{90 \text{ kg/m}^3}$$

$$130 \text{ kg/m}^3$$

$$1. \text{ Silo hücresi için } 130 \times 785 = 102.050 \text{ kg.}$$

İ ç i n d e k i l e r

1. Kavramlar ve Bunların Gerekli Olduğu Yerler

- 1.1. Silo hücreleri
- 1.2. Silo içindeki malzemeler
- 1.3. Yükler

2. Yüklerin Hesabı

- 2.1. Hesapta kullanılan (kabul edilen) yükler
- 2.2. Ölçülere esas yük durumları
- 2.3. Sonsuz derinlikteki yükler
- 2.4. Sınırlı derinlikteki yükler

3. Yükün Değerini Artırıcı Tesirler

- 3.1. Silo içindeki malzemenin köprülenmesi
- 3.2. Eksantrik boşaltma
- 3.3. Havalandırma

4. Yükleri Azaltacak Tesirler

- 4.1. Hücrelerin tabanları
- 4.2. Hususi silo boşaltma tedbirleri

5. Özel Durumlar

- 5.1. Homojen hale getirici silolar
- 5.2. Fermantasyona uğrayan yem siloları

6. Isı Gerilmeleri

7. Yeni Bilgilerin Kullanılması

1. Kavramlar ve Bunların Gerekli Olduğu Yerler

1.1. Silo hücreleri : Bu şartnamede incelenecek olan silo hücreleri prizmatik ve silindirik tiplerdir.

Yük durumları; tremi ağzına (boşaltma ağzı) ve silo ceplerindeki (hücre hari- ci) yük düşey olmayan yük durumları izah edilmemiştir.

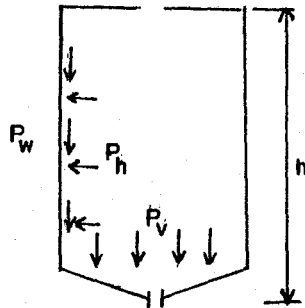
Silolardaki bu durumlar bu şartnameye alınmamıştır. Buradaki yüklerin değerlendirilmesi çok dikkat gerektirir.

1.2. Silo içindeki malzemeler :

Bu şartnamede değerlendirilen silo malzemeleri taneli ve toz durumdaki malzeme- lerdir. Bunlarda kohezyon iç sürtünmeden daha küçüktür. Bu şartnamenin kullanılma- sındaki şart silo içindeki malzemenin hacminin artmamasıdır.

Örneğin; nemin malzeme içine girmesiyle, malzemenin hacmi ve ağırlığı artar bu silonun yükünü artırır.

1.3. Yükler :



Şekil I

P_v ----- Düşey yükler

Silonun enine kesitinde m^2 ye düşen yük

P_n ----- Yatay yükler silo duvarla- rına gelen yük

P_w ----- Sürtünme yükü duvarlara gelen

2. Yüklerin Hesabı :

2.1. Hesapta kabul edilen yükler :

Silo hücresinin en kesit şekli F/U dikkate alınarak hesaplanır.

F ----- Kesit alanı (m^2) , U ----- Çevre (m) olarak alınır. F ve U değer- leri içi eşit alanlı kareler düşünülebilir. Silo derinliği silo tabanının alanına gö- re hesaplanır. Bu silo içindeki malzemenin max yüksekliğinden alınır.

Hesap ağırlığı γ (mg/m^2) DİN 1055 Blat 1'den alınır. Duvar sürtünme açısı şöyle tayin edilir.

$$\tan \delta = \frac{P_w}{P_n} = \mu$$

Bu değer DİN 1055 1. sahifede verilen açılardan bağımsızdır.

Tablo 1.

Silo Malzemesi	Duvar Sürtünme Açısı ° Derece olarak	
	Doldururken λ_t	Boşaltırken λ_e
Çapları 0,2 mm den büyük olan silo malzemeleri	0,75 φ'	0,60 φ'
Toz şeklindeki silo malzemeleri çekirdek çapı 0,06 mm	1,00 φ'	1,00 φ'

Çapları 0,06 mm. ile 0,2 mm. arasındaki daneli ve toz halindeki malzemelerde duvar sürtünme açısı için enterpolasyon yapılabilir.

Şuna dikkat edilmelidir ki, duvar sürtünme açısı rutubetin etkisi ile yukarıdaki tablodaki değerlerden fazla çıkacaktır.

$$\lambda = \frac{\text{Yatay Kuvvetler}}{\text{Düşey Kuvvetler}} = \frac{P_h}{P_v}$$

λ -----> Silo yüksekliğine göre sabit alınır. Doldurma esnasında silonun sakin haldeki basınç katsayısı olarak alınacaktır. Bu zemin mekaniğindeki dinlenme basınç değerine benzer ve bu sayı

$$\lambda_f = 0,50 \quad (\lambda_f = \text{doldurma})$$

Boşaltma esnasında $P_h = P_v$ olduğundan $\lambda_e = 1,00$ ($\lambda_e = \text{boşaltma alınır.}$)

2.2. Ölçülere esas yük durumları :

Genellikle en büyük yükler 2. tabloda görülen yükleme durumunda ortaya çıkar. Fakat yinede 3. ve 4. kısımlarda yükleri azaltıcı ve artırıcı tesirlerin yaptığı değişiklikler görülecektir.

Tablo 2.

Y ü k	Taneli Malzemeler		Toz Malzemeler	
	Derinlik Sınırlı	Derinlik Sonsuz	Derinlik Sınırlı	Derinlik Sonsuz
Düşey Yükler P_v	Doldurma	Doldurma	Doldurma	Doldurma
Yatay Yük P_h	Boşaltma	Boşaltma	Boşaltma	Doldurma Boşaltma
Duvar Sürtünme Yükü P_w	Boşaltma	Doldurma Boşaltma	Boşaltma	Doldurma Boşaltma

2.3. Sonsuz derinliğe ait yükler :

Sonsuz derinlikteki durumda yükler şu değerleri alır.

Doldurma esnasında;

$$\text{Max } P_v = \frac{\gamma F}{\lambda f m f U} , \quad \text{Max } P_h = \frac{\gamma F}{m f U} , \quad \text{Max } P_w = \frac{\gamma F}{U}$$

Boşaltma esnasında;

$$\text{Max } P_v = \frac{\gamma F}{\lambda e m e U} , \quad \text{Max } P_h = \frac{\gamma F}{m e U} , \quad \text{Max } P_w = \frac{\gamma F}{U}$$

2.4. Sınırlı Derinlikteki Yükler :

Burada Z derinliğinin artması ile yükler e fonksiyonuna bağlı olarak artış gösterirler.

$$P(z) = \text{Max } P \times \emptyset$$

$$\emptyset = 1 - e^{-z/z_0}$$

Doldurma esnasında

$$z_0 = \frac{F}{\lambda f m f U}$$

Boşaltma esnasında

$$z_0 = \frac{F}{\lambda e m e U}$$

z/z_0 a bağılı \emptyset nin değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

z/z_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,	0,00	0,10	0,18	0,26	0,33	0,39	0,45	0,50	0,55	0,59
1,	0,63	0,67	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85
2,	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
3,	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98

3. Yükün Değerini Artırıcı Tesirler :

3.1. Silo malzemesinin köprülenmesi :

Silo malzemesinin köprülenmesinden dolayı yükler büyür. Bu yüzden silo tabanına gelen P_v yükleri iki misli olmakta gene de yük χ_z den büyük olmasına gerek yoktur. Bu durumda silolarda köprülenme olmazsa bu dediğimizden vazgeçilebilir.

3.2. Eksantrik boşaltma :

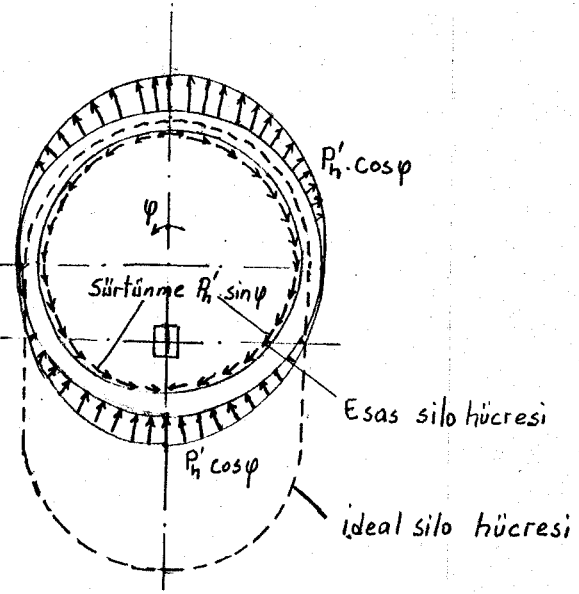
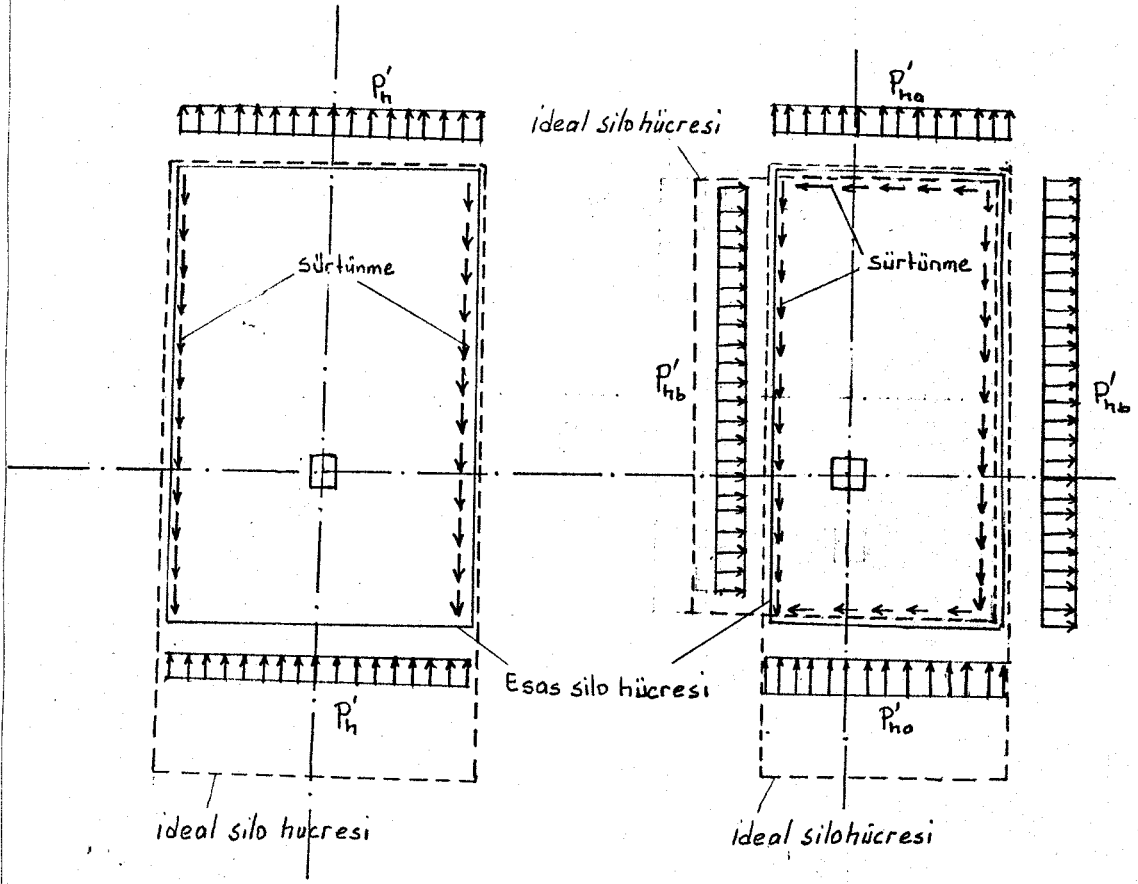
Boşaltmada eksantrik durum oluyorsa silo civarına homojen olmayan bir yatay yük gelir. Tecrübelerle göre tesiri dikkate alınmalıdır. P_h nin istenmeyen değerlerinin tesadüf ettiği yerlerde 2 ve 4.1. kısımlarda belirlenen boşaltma yüklerinin değerleride $P'_h = P_{hi} - P_h$ (Şekil 3)'de antimetrik olarak hakiki silo hücrelerine fazladan gelen yük (malzeme silo duvarları arasındaki sürtünmeden dolayı denge sağlar.

P_{hi} 2 ve 4.1. kısımlardaki esasa giren ideal silo hücresindeki boşaltma yükü (Şekil 3)'de Devrilme (kuvveti) en derindeki, en kesitteki eksenin dışına doğru meydana gelir.

Eksantrik değer boşaltmada $d/6$ dan büyük değilse olmayabilir. (d --- en büyük çap) eksantrisetede h değeri $2d$ den büyük değilse dikkate alınmaz.

3.3. Havalandırma :

Bazı silo hücrelerinde duran silo malzemesini havalandırma tertibatı vardır. Bu tip silolar hücrelerinin arası (taneli ve toz) malzemesi için silolarından farklıdır. Taneli silo malzemelerinden yatay kuvvet oluşabilir. Bundan dolayı ikinci kısımdaki yatay kuvvet P_h nin hesabı içine havalandırma deliklerinin yüksekliğinde üfleme kuvveti kadar basınç artar. Bu yüklerin artmasını oluşturan kuvvet hücreler yukarı doğru eşit , en üstte sıfır olacak şekilde dağıtılmalı. Toz malzeme için kullanılan silolarda havalandırmadan dolayı önemli bir yük artması olmaz. Bunlara da



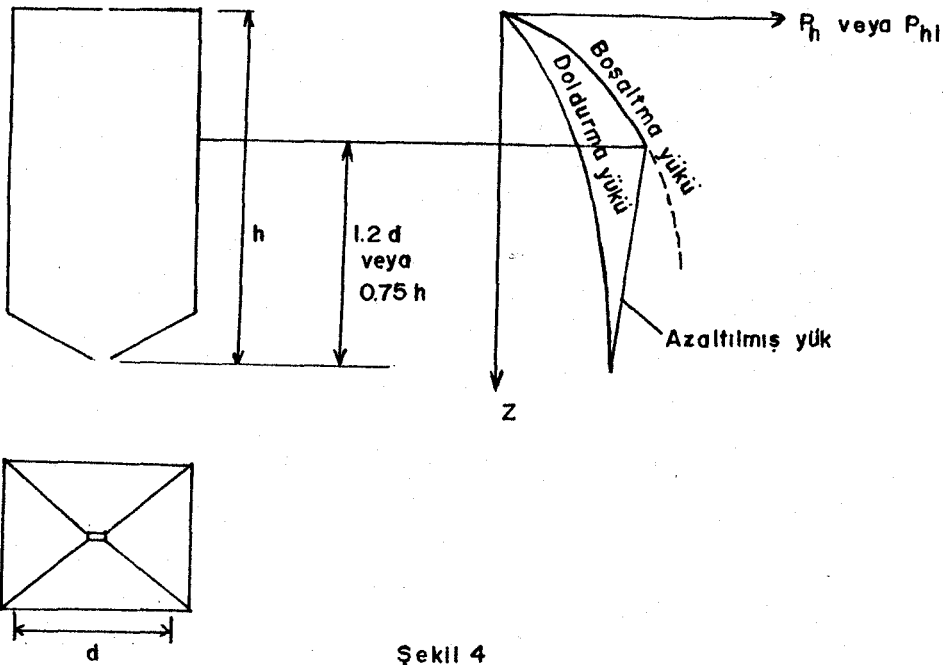
Şekil 3

hava ile boşaltma mücade edilmiş (pünomatik olarak) bu durumda da önemli yük artması tesbit edilememiştir.

4. Yükü Azaltıcı Tesirler :

4.1. Hücre tabanı :

Yük azaltıcı tesirlerden dolayı hücre tabanından itibaren $1,2 d$ yüksekliğinde veya en fazla $0,75 h$ yüksekliğinden aşağıya doğru azaltılmalıdır. (şekilde görüldüğü gibi)



Şekil 4

4.2. Özel boşaltma tertibatları :

Bir silo hücresinde yalnız yukarıdan mal alınıyorsa ve bu esnada aşağıda kalan malzeme hareketsiz oluyorsa boşaltmadan doğan yükler dikkate alınmazlar.

Yukarıdan dışarı akış şartlarında yalnız anlaşılma (şartlanma) yapılmamalıdır.

5. Özel Durumlar :

5.1. Homojen hale getirici silolar :

Toz halindeki malzemeleri basınçlı hava ile karıştırarak homojen hale geti-

rilir. Burada $P_h = P_v = 0,6 \gamma \cdot z$

2. Kısımdaki ile karşılaştırılarak ikisinden büyük olanı alınır.

5.2. Fermantasyona uğrayan yem siloları :

Bunlar için diğer silolardakinden başka fiziki kanunlar hüküm sürer. İçindeki su ve fermantasyon hadisesinden dolayı başka yükler oluşur.

Bazı tecrübelerden aşağıdaki tablodan bu değerler alınabilir.

Tablo 4

	Klas I	Klas II	Klas III
	Malzeme kuruya yakın	Malzeme yarı ıslak	Malzeme ıslak
Kuru kütlenin taze malzeme ağırlık olarak % si	> 35	23 - 35	< 23
Hesap ağırlığı silo malzemesinin	0,50	0,75	1,00
Düşey kuvvet P_v M_p/m^2	γz	γz	γz
Yatay kuvvet P_n M_p/m^2	$0,70 \gamma z$	$0,70 \gamma z$	$1,00 \gamma z$
Duvar sürtünme P_w kuvveti M_p/m^2	$0,16 P_n$	$0,14 P_n$	$0,10 P_n$

Bu değerleri kullanmanın ön şartları şunlardır:

Bütün fermantasyon silolarından açıkça görünen yerien hangi klastaki malzeme için olduğu yazılmalıdır.

1. ve II. Klas'taki malzemeler (ıslak malzemeler) yarıya kadar dolmaya müsaade edilir. Mevcut sulu malzemeyi akıtmamak için sulu madde 1 m. den daha yüksekte durmalıdır.

6. Sıcaklıktan Doğan Gerilmeler :

Sıcak olarak doldurulan veya sonradan ısıtılan ya da içindeki reaksiyonlardan doğan ısılardan doğan yüklerdir.

Bunlar konstrüktif etkilerle (yatay hareketli şekillendirmelerle, duvar tabanlarındaki yatay hareketlerle) ve beton silolarda ince derzlerle engellenebilir. Duvarların iç ve dış taraflarındaki ısı naklini (DİN 4108 bakmalıdır) ısı geçişinin direncinin toplamı

$$\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} = 0,2 \text{ m}^2\text{h grad/kcal}$$

Fermantasyon silolarında en büyük ısı farklılığı 35 grad alınır.

7. Yeni Bilgilerin Kullanılması :

Yeni bilgilerin kullanılmasına mücade edilmesi için; bu normun dışındaki değerlerin bir devlet dairesinde ispatlanarak ve mücade alınarak uygulanır.

(ACI 313 - 77)

Granüler Malzemelerin Depolanması için Hangar, Silo ve Beton Depoların Yapımı ve Projelendirilmesi için Pratik Öneriler

BÖLÜM 4 - PROJELENDİRME

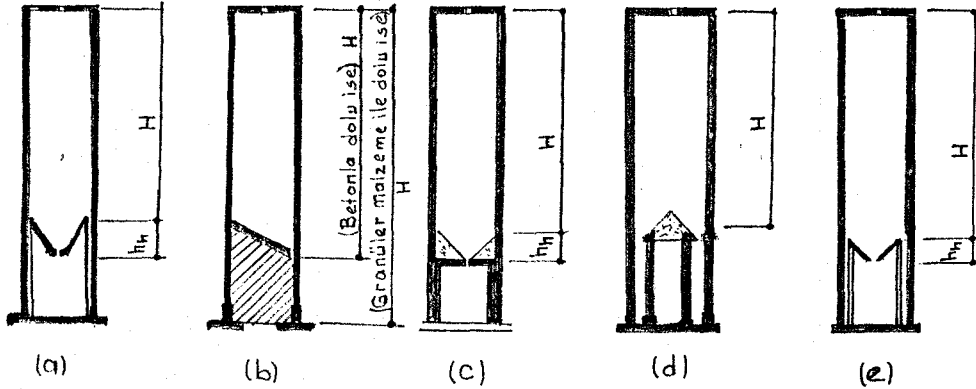
4.1.1. Simgeler :

Not edilen yerler hariç, simgeler bütün denklemlerde aynıdır. Simgelerin birimleri Amerikan veya metrik sistemdir.

- A = Alan veya her birim genişlik veya yükseklik için duvarın büyük alanı
- A_s = Donatı alanı (genellikle duvarın birim genişliği için)
- $A_{s,t}$ = Birim genişlik için ısı kuvvetleri nedeni ile ilave demir alanı
- C = Reimbert formülündeki karakteristik absis
- C_d = Yüksek basınç faktörü, malzemenin boşaltılması esnasında ortaya çıkan basıncın artmasında kullanılan, statik basınçtan proje basıncına çeviren faktör
- C_t = Vuruş faktörü, ani doldurmadan ileri gelen basınç artmasında kullanılan, statik basınçtan proje basıncına çeviren faktör
- C_p = Aseismik proje faktörü (uniform yapı kodu)
- D = Çap (iç, not edilmedikçe)
- E_s, E_c = Çelik ve beton için Elastisite modülü
- F = Kuvvet, Çekme veya basınç
- F_m = Tremi duvarı çevresinin beher birim uzunluğuna gelen meridyence zar kuvveti
- F_t = Tremi duvarı beher genişliğine gelen yatay zar kuvveti
- F_u = F'nın son değeri
- H = Silo yüksekliği (Şekil 1'e bak)
- H_e = Zelzeleden ileri gelen yatay kesme
- I = Atalet Momenti
- L = Yatay enine kesitin iç çevresi
- M = Eğilme Momenti, genellikle duvarın beher genişliği için
- R = Hidrolik yarıçap
- T_1 = Depolanan malzemenin içerideki sıcaklığı
- T_o = Silo duvarlarının dışındaki hava sıcaklığı
- V = Toplam düşey sürtünme kuvveti, birim duvar genişliğine gelen (4-5 ve 4-16 formüllerindeki)
- W = Birim alana gelen rüzgâr kuvveti

W_{ff}	= Sismik hesaplar için efektif hareketli yük
W_g	= Tremi ağızlığı
W_m	= Tremi içindeki malzeme ağırlığı
Y	= Depolanan malzemenin üst yüzeyinden bahsi geçen noktaya kadar olan derinlik
Z	= Zelzele bölgesi faktörü
a	= Dikdörtgen kısa kenar uzunluğu, çokgen silonun iç duvar uzunluğu
a'	= (4-2 denkleminde) Hayali kare silo kenar uzunluğu
b	= Dikdörtgen uzun kenar uzunluğu, eğik kesitin genişliği
c_a, c_b	= Eğik a ve b duvarları arasındaki toplam tremi yükünün sınırlama bölme faktörü
d	= Eğik beton zarının efektif derinliği
d'	= Basınç yüzünden bu yüze en yakın demirin merkezine olan mesafe
d_{es}	= Proje kuvveti veya basıncını gösteren simge
e	= Eksantrisite
$f_{c,vert}$	= Düşey basınç gerilmesi
f'_c	= Beton basınç gerilmesi (son)
f_s	= Çelik çekme gerilmesi
$(f'_s)_{eff}$	= Çelik efektif basınç gerilmesi
$f_{c,ten}$	= Betonun çekme gerilmesi (son)
f_y	= Çeliğin sıyrılma gerilmesi
g	= Birim alandaki ölü yük (veya yer çekimini gösteren yük)
h	= Duvar kalınlığı
h_c	= Kolon yüksekliği
h_h	= Tremi yüksekliği
h_s	= Depolanan malzemenin eğimli kısmının tepeye olan yüksekliği
k	= P'nin q'ya oranı
l_o	= Yatay, temiz açıklık
m	= Sürtünme sabiti
p	= Depolanan malzemedan ileri gelen yatay statik basınç
q	= Depolanan malzemedan ileri gelen düşey statik basınç
q	= Yatayla açılı yüzeye gelen birim statik basınç
s_{cr}	= Yarık açıklığı
t	= Sıcaklık
u	= Nihai notasyonu
v_c	= Müsade edilebilen son proje kesme gerilmesi
v_u	= Son yük altında hesaplanan kesme gerilmesi
w_1, w_2, w_3	= Yarık genişlik bileşenleri
w_{cr}	= Toplam çatlak genişliği
w_u	= Bahsi geçen yüze gelen birim alandaki son yük

- x = Yataylığı gösteren simge
y = Proje kuvvet yönteminde basınç blokunun derinliği, düşeyliği gösteren simge
 y_L = y'nin limit değeri, basınç bloku derinliği
 α = Tremi duvarlarının eğim açısı
 αt = Betonun ısısal genleşme katsayısı
 β = Dikdörtgen basınç bloku derinliğinin basınç yüzünden tarafsız eksene olan uzaklığa oranı (Yarık genişlik denklemi faktörü)
 γ = Malzemenin birim hacim ağırlığı
 μ = Duvarla malzeme arasındaki sürtünme katsayısı
 ν = Poisson oranı, 0,3 kabul edildi
 ρ = İç sürtünme açısı
 ϕ = Kapasite azaltma faktörü
 ψ = Yarık genişliği hesabında kullanılan faktör
 ΣO = Birim duvar yüksekliğine gelen yatay çember donatı çubuklarının toplamı



- (a) Padye temel üzerindeki ve duvara ekli dikdörtgen kolon üzerinde duran Tremili silo.
(b) Duvar temelli alttan bağımsız ve dolgu üzerinde plak mesnetli silo.
(c) Kalın ve kısa duvar ile mesnetlenmiş alttan plaka üzerine dolgu ile oturtulan tremili silo.
(d) Kolon ile mesnetlenmiş döşemenin üzerinde dolgu ile oluşturulmuş ve birkaç ağız olan tremili silo, temel radyesinin üstündeki kolonlar pekiştirilmiştir.
(e) Padye temelli ve kolonlar üzeri dairesel krişle mesnetlenmiş bağımsız tremili silo.

ŞEKİL 4.1

4.2. Genel :

4.2.1. Silolar muhtemel bütün yüklere dayanabilecek şekilde dizayn edilmelidir. Şöyle ki:

- (a) Ölü yük : Yapının ağırlığı ve yapıya ilâve edilen ekipmanların ağırlığı;
- (b) Hareketli yük : Depolanan malzemedan gelen yükler, ya vuruş veya yüksek basınç dahil (ki hangisi daha büyük sonuç basıncı verirse), taban ve çatı hareketli yükleri, kar, ya kar veya sismik yük (ki hangisi büyükse) ve silonun dışına karşı depo edilen veya yığılan topraktan doğan kuvvetler; (Aynı zamanda kesim 4-8'e bak.)
- (c) Dış hava ile depo edilen malzeme arasındaki ısı farkından ileri gelen ısısızal gerilmeler;

4.2.2. Yapısal bölümler uygun kuvvetler için ayrılmalıdır. Kısım 4'deki metodlar kullanılarak gerilmeler hesaplanmalı ve birleştirilmelidir. Alışılmış yapısal bölümlerin dizayn metodları temel, taban, çatı ve buna benzer kısımlar, burada gösterilmeyecek; ACI 318-71, Kısım 4, Genel İhtiyaçlar'a uygun olarak yapılacaktır.

4.2.3. Yerinde dökme silo duvarları kalınlığı 15 cm. den ve prefabrik beton duvarları 5 cm.den az olmayacaktır.

4.2.4. Yük faktörleri ve kapasite azaltma faktörü.

4.2.4.1. Silo dizaynı için yük faktörleri ACI 318-71, 9.3. maddesindeki şartlara uyacaktır. Depolanan malzeme ağırlığı hareketli yük olarak hesaba alınacaktır.

4.2.4.2. Şantiye şartlarında dökülen beton için kapasite azaltma faktörü \emptyset , ACI 318-71, Bölüm 9'da verildiği gibidir.

Devanlı kontrol yapılmadıkça, (kayan kalıp) için bu değerler 0,95 ile çarpılmalıdır.

4.3. Detaylar ve demirin yerleştirilmesi :

4.3.1. Kayıcı kalıbın kullanıldığı yerlerde, detaylar ve demir arajmanı pratikte mümkün olduğu kadar basit yerleştirilebilecek ve inşaat esnasında kontrol edilebilecek şekilde yapılacaktır.

4.3.2. Eğilme momentinin etkilediği yer ve iç kesitlerde demir donatı kullanılacaktır.

4.3.3. Yatay bağlantılar, tek siloları silo grubundan ayıran direnç yüklerini alacak şekilde yapılacaktır.

4.3.4. Basınç bölgesinin üstünde beher birim yükseklik için gereken yatay de-

mir alanı, (ısısal donatı hariç) h kalınlığının en az 6 katına eşit bir mesafe için H silo yüksekliğinin atında devam edecektir. (Şekil 4-1'e bak.) Bu noktanın altında, toplam yatay donatı alanı, duvar yüksekliğinin beher biriminin beton alanının 0,0025 katından az olamaz.

4.3.5. Basınç bölgesindeki düşey donatı 4 adet çubuk (1,3 cm². kesit) veya daha büyük olacak ve düşey donatının toptan beton alanına oranı 0,0015 den küçük olmayacaktır (dış duvarlar için). İç duvarlar için bu oran 0,0010 dan küçük olmayacaktır (Şayet hesaplama gösterilirse ki, iç duvarlar için düşey demire gerek yoktur). Düşey demirlerin arası 4h mesafesini aşamaz, veya 45 cm.i aşamaz (dış duvarlar için); iç duvarlar için mütekabilen 60 cm.

Düşey demirler, silo tavanı ile birleşimdeki eğilme momentini karşılayacak şekilde hesaplanacaktır. Kayar kalıp inşaat tarzında jack çubukları, ilerdeki genişletme için, şayet yerinde bırakılırsa düşey donatı olarak kullanılabilir.

Basınç bölgesinin altındaki silo duvarlarında düşey donatının toplam beton alanına olan minimum oran, beher birim duvar genişliği için 0,0020 den az olamaz. Bununla beraber, duvar kalınlığının değiştiği yerlerde, birim genişliğe düşen düşey sıcaklık donatısı duvarın altında, üstündeki donatının altında olmayacaktır.

4.3.6. Duvar üstü boyunca ve kolonlarda, zelzele ve rüzgâr yüklerine karşın kaldırırma veya kaymayı önlemek için "filizler ve takoslar" kullanılacaktır. Aralığa (açıklığa) en yakın temele bitişik duvarlarda, açıklığın her iki tarafında "filiz" ler bulunacaktır, "filiz"ler kesiti en az duvarın o bölgesinde mevcut düşey çubuk kesitine eşit olmalıdır.

4.3.7. Dairesel silolarda çubuklar gerek düşey gerekse yatay olarak şaşırtmalı birleştirilecek. Tremiye yakın donatıların birleşmesi basınç bölgesinde yapılacak yatay donatılar şaşırtmalı ve bindirme boyu 1 m.den az olmayacak. Düşey donatı ise üst üste gelmeyecek şekilde, her araya üç çubuk konulacaktır.

4.3.8. Duvar boşluklarında donatı :

4.3.8.1. Basınç bölgesindeki boşluklar :

(a) Bütün gerilme birikmelerinin olduğu sahalar analiz edilip, hesaplanıp, buna göre donatı konulmadıkça, yatay donatı kesilen yerdeki miktarın en az 1,2 ke-re fazlasının yarısı alta ve diğer yarısı üst kısma ilâve edilmelidir. (Kısım 4.3.8.3.'e bak.)

(b) Kuvvet için gerekli olmadığı hesapla gösterilebilinmedikçe, ilâve düşey donatı boşluğun her iki tarafındaki duvara ilâve edilecektir. Bu ilâve donatı duvarda dar bir şerit olarak hesaplanacak; boşluğun iki tarafında 4h genişliğinde, bir kolon fonksiyonunda, açıklık yüksekliğinde mesnetsiz, kendi payına düşen düşey yükü taşıyan, ve açıklığa gelen yükün yarısını taşıyan kolon gibi ilâve demir, açıklıktan dolayı azalan demirin yarısından az olamaz.

4.3.8.2. Basınç bölgesinde olmayan açıklıklar (boşluklar) :

Boşluğun üstüne ve altına ilâve edilecek muntazam donatı alanı, normal boşluk yüksekliği için gereken yatay demir alanından (yarısından) az olamaz. Boşluğun alt ve üstünde kalan duvarlar, yatay yüklerin tümünü alacak şekilde projelendirilmelidir.

Boşluğa bitişik basınç bölgesi altındaki düşey demirler, aynen basınç bölgesinde bahsedilen usullere göre hareket edilecektir. (Bölüm 4.3.8.1. (b))

4.3.8.3. Bütün boşluklar, çubuk uzatması :

İlâve donatı, yük taşıyan demirlerin yerine geçen ve boşlukta kesilmek durumunda olan, boşluğun arkasında da uzatılmalıdır. Her yöndeki uzatma:

- (a) Demirin sıyırma kuvvetlerini bağ ile alabilmeye yeterli olmalıdır.
- (b) 60 cm. den kısa olamaz ve
- (c) Bahsi geçen demir yönündeki boşluk boyutunun yarısından az olamaz.

4.3.8.4. Bütün boşluklar, bitişik alanlarda :

Bitişik alanlardaki boşluk arasındaki duvarlar, 3h genişliğinden az olamaz ve gerekliliği hesapla gösterilmedikçe kolon olarak dizayn edilmelidir.

4.3.9. Yatay donatı arasındaki düşey temiz mesafe, birbirine bindirme yapılmamışsa, 5 cm.den az olamaz. İlâve olarak, kayar kalıpla yapılan yapılarda, kayma esnasında çubukları bağlamaya imkân verecek kadar yatay donatının ara mesafeleri geniş olmalıdır.

4.3.10. Basınç bölgesindeki silo duvarlarında yatay demirlerin bindirme uzunluğu, kayar sistemle inşa edilen yapılarda şunlardan az olamaz:

Dairesel olmayan silolarda, uzunluklar ACI 318 Clas C için.

Yuvarlak silolar için (veya yuvarlak donatı ile herhangi bir hücre) uzunluk ACI 318 Clas B için, artı 15 cm.

Bindirme boyunun belirtilmesinde, kayıcı kalıp uygulanan yapılardaki çubuklar alt çubuk olarak farzedilir. (Bununla beraber, kayar kalıp uygulanan yapılarda yatay çubuklar üst çubuk olarak gözönüne alınır. Bindirmelerde donatının beton örtü kalınlığı en az ACI 318-71, Bölüm 7.14; ve fakat iç satırlar için 2,5 cm.den az olmayacaktır.

4.3.11. Donatı alanı $A_{x,f}$, stok malzemenin sıcaklığından ileri gelen termal gerilmeler, çekme donatısına stok malzeme basıncından dolayı kullanılan donatıya şu şekilde munzam ilâve edilecektir.

Tek donatılı duvarlarda, esas demire ilâve edilecektir. Çift donatılı duvarlarda, $A_{x,f}$ toplam miktar, soğuk yüzeye yakın sıraya ilâve edilecektir.

4.3.12. Tek donatılı, dairesel duvarlarda esas Tremi donatısı dış yüzeye yakın konacaktır.

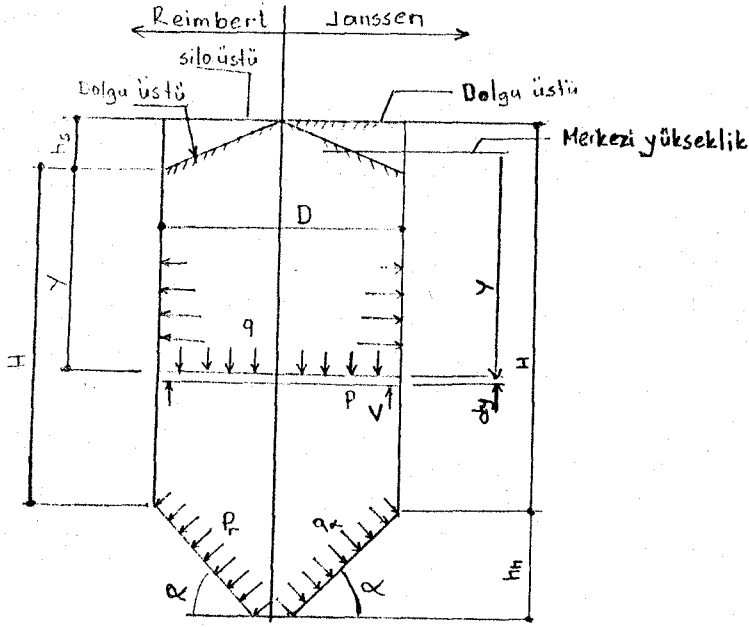
4.4. Yükler :

4.4.1. Stok malzemesi basıncı :

4.4.1.1. Genel : Silo duvarlarına ve tabana etki eden yükler burada anlatılan metodlardan biri ile belirlenecektir. Hesaba alınan malzeme basıncı sadece statik basıncı değil, fakat aynı zamanda dolgu, boşaltma anındaki muhtemel basınç artmalarını, ekzantrik yüklemelerden ileri gelen etkileri de içermelidir. Grup halindeki silolar için, duvarın bir tarafının boş, diğer tarafının dolu olması ihtimali de gözönüne alınmalıdır.

4.4.1.2. Herhangi bir basınç hesap metodu burada belirtildiği gibi kullanılabilir ki bu metod yatay ve düşey dizayn basınçlarını ve sürtünme dizayn yüklerini en az 4.4.2. bölümündeki metodlara eşit verecektir. (Yüksek basınç faktörü ile) Nerede malzeme dağılımı gerçekten değişik ise, basınçlar dağılımın kombinasyonu kullanılarak en fazla basınç alana göre hesaplanır.

4.4.2. Silolarda malzeme basıncı :



4.4.2.1. Duran haldeki depo edilmiş malzemenin kullanılan statik basınçları, aşağıdaki metodlardan birisi kullanılarak hesap edilir:

(a) Janssen'in metodu (Şekil 4.2. ye bak.) :

1. Stok malzemenin yüzünden Y derinliğindeki düşey statik birim basınç

$$q = \frac{\gamma R}{\mu' k} (1 - e^{-\mu' k Y/R}) \quad (4.1)$$

ki burada R = hidrolik yarıçaptır. Yuvarlak silolar için, $R = D/4$. Düzgün poligon kesitli silolar için $R = D_o/4$, D_o ise, silonun iç alanına eşit dairenin (izafi) yarıçapıdır. Kare kesitli silolarda $R = a/4$, a kare kenar uzunluğu olmak üzere.

Dikdörtgen siloların kısa kenarına bitişik basınç hesabı için, $R = a/4$ kullanın ve uzun kenara bitişik basınç için $R = a'/4$ kullanın. Burada a', izafi kare silonun kenar uzunluğu: Kare:

$$a' = \frac{2.a.b}{a + b} \quad \text{ki burada } a = \text{kısa kenar uzunluğu; } b = \text{uzun kenar}$$

uzunluğudur.

2. Yanal statik birim basınç, Y derinliğinde

$$p = q.k \quad (4.3)$$

Yukarıdaki eşitlikte, k şöyle farzedilir;

$$k = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho} \quad (4.4)$$

3. Y derinliğinin üzerindeki duvarda duvar çevresinin birim genişliğine etki eden düşey sürtünme kuvveti:

$$v = (\gamma Y - 0,8 q) R \quad (4.5)$$

(b) Reimbert'in metodu (şekil 4.2 ye bakınız) :

1. Stok malzemenin yüzünden aşağı Y derinliğindeki düşey statik birim basınç:

$$q = \gamma \left[Y \left(\frac{Y}{C} + 1 \right)^1 + \frac{h_s}{3} \right] \quad (4.6)$$

2. Y derinliğinde yanal statik birim basınç :

$$p = p_{\max} \left[1 - \left(\frac{Y}{C} + 1 \right)^2 \right] \quad (4.7)$$

Yukarda :

Yuvarlak silolar için

$$\text{max. statik basınç} = p_{\max} = \frac{\gamma D}{4 M' k} \quad (4.8)$$

$$C = \frac{D}{4 M' k} - \frac{h_s}{3} \quad (4.9) \quad \text{bu formüldeki k değeri (4.4) eşitli-}$$

ğünde verilmiştir.

4 den fazla kenarı olan poligonal silolar için

$$p_{\max} = \frac{\gamma R}{M'} \quad (4.10)$$

$$C = \frac{L}{\pi} \cdot \frac{1}{4 M' k} - \frac{h_s}{3} \quad (4.11)$$

(R Janssen metodunda tanımlandığı gibidir)

Dikdörtgen silolarda, kısa kenar a'da:

$$p_{\max} = \frac{\gamma a}{4 M' k} \quad (4.12)$$

$$C = \frac{a}{\pi M' k} - \frac{h_s}{3} \quad (4.13)$$

Dikdörtgen silolar için, uzun kenar b'de :

$$p_{\max} = \frac{\gamma a'}{4 M' k} \quad (4.14)$$

a' değeri Janssen metodunda tanımlandığı gibidir.

$$C = \frac{a'}{\pi \mu' k} - \frac{h_s}{3} \quad (4.15)$$

3. Düşey sürtünme kuvveti, Y derinliğinde birim duvar genişliğinde:

$$V = (\gamma Y - q) R \quad (4.16)$$

(R ve a' değerleri Janssen'de olduğu gibi)

(c) Üçüncü, diğer metodu : Stok malzemenin yüzünden Y derinliğinde yatayla α açısı yapan meyil yüzeyindeki statik birim basınç :

$$q_\alpha = p \sin^2 \alpha + q \cos^2 \alpha \quad (4.17)$$

4.4.2.2. Dizayn basıncı ve stok malzemedeki kuvvetler :

Dizayn basınçları P_{des} , q_{des} , $q_{,des}$ ve dizayn kuvvetleri V_{des} şu şekilde bulunur: Basit bir çarpma işlemi ile statik basınç veya kuvvet, uygun fazla basınç düzeltme faktörü C_d veya vuruş faktörü C_i ile çarpılır ki bu daha büyük toplam basınç veya kuvvet verir. Minimum gerekli değerler, (C_d ve C_i faktörlerinin) C_1 ve C_2 tablolarında (ek C) verilmiştir. (Aynı zamanda kısım 4.4.2.4. e bakınız eksantrik çekilmenin etkisi için)

4.4.2.3. Homogen silolarda basınçlar :

Hömojen silolardaki basınçlar (şerhe bak.) daha geniş (a) ve (b) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır:

(a) Basınç, kısım 4.4.2.2. deki (hava basıncı ihmal edilerek) talimattaki gibi hesaplanır.

(b) Basınç şu kabul ile hesaplanır;

$$P_{des} = q_{des} = q_{\alpha,des} = 0,6 \gamma Y \quad (4.18)$$

Duvar birim uzunluğuna etki eden düşey sürtünme kuvveti ya (4.5) veya (4.16) eşitliğine göre hesaplanır.

4.4.2.4. Ekzantrik boşaltmadan ileri gelen basınç yükselmesi :

Duvara eşit olmayan yanıl basınçlar ki ekzantrik boşaltma açıklıkları nedeniyle ortaya çıkar, gözönüne alınmalıdır.

4.4.3. Diğer basınç ve kuvvetler :

Dizayn basınç ve kuvvetleri 4.4.2.2. , 4.4.2.3. kısımlarında belirtildiği gibi hesabedilir. 4.4.2.4. sadece stok malzemenin dolayısıdır. Zati, kar, termal ve sismik veya rüzgâr yükleri etkileri, stok malzeme yükü ile birlikte gözönüne alınmalıdır; her yük tipi ACI 318 de bildirildiği gibi uygun yük faktörü ile çarpılmasıdır, nihai gerekli kuvvet değerini bulmak için (Kısım 4.5.4. bak.)

4.4.4. Rüzgâr Kuvvetleri :

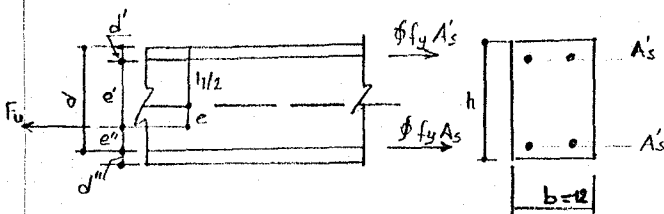
Siloda gözönüne alınacak rüzgâr yükleri pozitif ve negatif basınç olarak aynı anda vaki olacaktır. Basınçlar yerel yapı şartnamelerdeki değerlerden az olamaz. Rüzgâr basınç dağılımı, bitişik silo ve yapılarda hesaba alınacaktır. Boş siloda rüzgârdan ileri gelen dairesel eğilme gözönüne alınacaktır.

4.4.5. Zelzele Kuvvetleri :

4.4.5.1. Genel :

(a) Uniform yapı kodu verilen sahalar içinde inşa edilecek silolar, yatay sismik yüklere mukavim şekilde inşa ve dizayn edilecektir. Varsayımlar ve eşitlikler burada verilmiştir.

(b) Dinamik analizler, yerel temel şartlarına uygun olarak ve sismik sınırlara uygun olarak dizayn zelzele spektrum'u kullanarak, burada verilen metodun yerine kullanılabilir.



Şekil:43 Küçük eksantrik gerilme

4.4.5.2. Kabuller :

(a) Sismik kuvvetler her yönde etki edebilir.

(b) Depolanan malzemenin % 80'den küçük olmayan ağırlığı, silolardaki sismik kuvvetlerin hesabında efektif hareketli yük olarak kullanılacaktır, N_{eff} . Bu hareketli yükün merkezi depolu malzeme esas hacminin merkezi ile birlikte.

4.4.5.3. Minimum Zelzele Kuvvetleri :

(a) Toplam yatay sismik kuvvet veya kesme (tabanda) şu formülle hesaplanır:

$$H_e = Z C_p (W_g + W_{eff}) \quad (4.19)$$

W_g = Yapının ağırlığı

Z = Zelzele sınır faktörü; bu sınır-bölge 3,2,1 için mütekabilen 1,0; 0,5 ve 0,25 tir.

Uniform Building Code (Birleşik Amerika için) harita bu zelzele bölgelerini göstermektedir.

(b) Sismik yüklere maruz ve tabanı toprak seviyesi üzerinde yüklerle depolanmış tüm silolar $C_p = 0,2$ için dizayn edilecektir; şu şartla: Zelzele dinamik analizi göstermedikçe, yapının stabilitesi ve yeterli mukavemet kuvveti C_p 'nin değerinden daha azdır, fakat C_p 0,1 den küçük olamaz.

(c) Duvarları yere kadar uzanan ve depo malzemesi direk olarak zemine oturan silolar, yere oturan tank gibi düşünülerek $C_p = 0,10$ alınabilir.

(d) (a) ve (b) şıkları arasındaki orta durumlarda, C_p katsayısı lineer interpolasyonla hesaplanır.

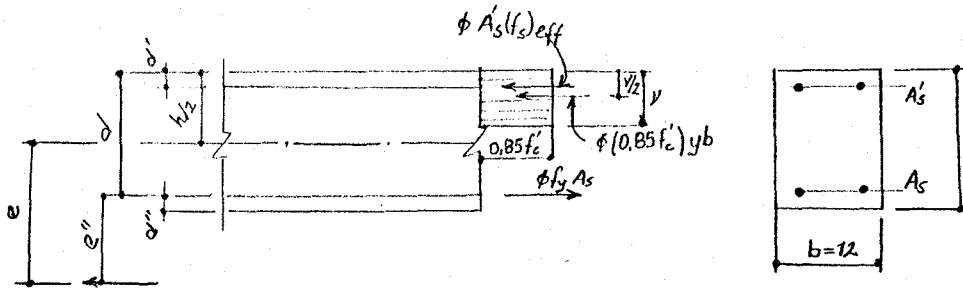
4.5. Duvar Dizaynı :

4.5.1. Genel : Silo duvarları, çekme, basınç ve diğer yüklere maruz kalacakmış gibi dizayn edilecektir. Yerinde dökülen beton silolar için minimum duvar donatısı ve duvar kalınlığı Bölüm 4.3. ve 4.2.3. deki yazıldığı gibi olacaktır. Hazır silolar için gerekli duvar kalınlığı Bölüm 5'deki metodlarda bildirilmiştir.

4.5.2. Sadece (eğilme) veya aksenal basınçla birlikte eğilmeye etki eden eğrilik dizaynı, ACI 318-71 Bölüm 10'da belirtildiği şekilde olacaktır.

4.5.3. Eğilme ile birlikte direk çekme : Eğilme ve direk çekme duvar dizaynında gözönüne alınacaktır.

Çekme ve eğilme birlikte etki eden duvarlarda aşağıdaki yaklaşımlardan biri ile hesap yapılabilir, eksantisitenin büyüklüğüne bağlı olarak ($e = M_u/F_u$)



Sekil 4.4. Büyük eksantrik gerilme

Durum I : Küçük eksantrisite, $e \leq h/2 - d''$ (Şekil 4.3.'e bakınız). Beher birim yükseklik için gerekli çekme demir alanı :

$$A_s = \frac{F_u e'}{\phi f_y (d-d')} \quad (4.20)$$

F_u kuvvetine en yakın tarafta, ve

$$A'_s = \frac{F_u e''}{\phi f_y (d-d')} \quad (4.21)$$

aksi tarafta her iki demir alanları, A_s ve A'_s çekmededir.

Durum II : Büyük eksantrisite; ($e > h/2 - d''$) (Şekil 4.4.'e bakınız). y/d oranı için kod limiti tayini Tablo 4.1.'den. Basınç blokunun limit yüksekliğini, y_L , hesap et. Gerekli basınç donatısını tahmin ederek, f'_s nü hesapla. (efektif basınç donatı gerilmesi)

$$(f'_s)_{eff} = 87. \left(\frac{y_L - \beta_1 d'}{y_L} \right) - 0.85 f'_c \quad (4.22)$$

fakat $f_y - 0.85 f'_c$ (4.23) den fazla değil.

Şayet yukardakiler f'_s için negatif bir değer verirse, basınç demiri tesirsiz olacaktır. Şayet basit donatılı durum elverişli değilse, ya d derinliği fazla-
laştıırılacak veya (A'_s) tesirli olabilecek bir yere hareket edecektir.

Şayet f'_s için çözülen değer pozitif ise, gerekli

$$A'_s = \frac{F_u (e''/\phi) - 0.85 f'_c b y_L (d - \frac{y_L}{2})}{(f'_s)_{eff} (d-d')} \quad (4.24)$$

A'_s pozitif ise, basınç donatısı gereklidir. Bu halde, gerekli çekme demir hacmi

$$A_s = \frac{f_u/\phi + 0,85 f'_c b y_L + A'_s(f'_s)_{eff}}{f_y} \quad (4.25) \text{ olur.}$$

Eğer (4.24) formülü negatif A_s verirse, basınç donatısı gerekli değildir. Netice olarak (basınç tarafı demiri gerekli mi, değil mi bakılmaksızın) duvar basit donatılı olarak dizayn edilir.

Bu halde, çekme demir alanı şöyledir:

$$A_s = \frac{F_u/\phi + 0,85 f'_c b y}{f_y} \quad (4.26)$$

bu formülde

$$y \approx d - \sqrt{d^2 - \frac{2 F_u e''}{0,85 \phi f'_c b}} \quad (4.27)$$

4.5.4. Termal gerilmeler : Nihai kuvvetler ve eğilme momentleri, ki bunlar termal etkileri (depolanan malzemenin sıcak veya soğukluğundan doğan) içermektedir, şöyle hesaplanır:

$$u = 1,4 D + 1,7 L \quad (4.28)$$

Buradaki D; ölü (zafi) yüklerin ve termal yüklerin etkisini de içermektedir.

İlâve donatı alanı, şayet stoklanan malzemenin ileri gelen termal gerilmeler için gerekli ise, dairesel duvarlar için veya toplam çarpıklık hasılatlı duvar alanları için aşağıdaki gibi tayin edilebilir:

(a) Duvarın iç ve dışındaki Δt sıcaklık farkını belirleyiniz.

(b) Beher duvar birim yüksekliğindeki termal eğilme momenti

$$M_{xt,u} = M_{yt,u} = 1,4 E_c h^2 \alpha_t \Delta T / (1-y) \quad (4.29)$$

(c) Beher birim genişlik (veya yükseklik) için gerekli yatay veya düşey termal donatı :

$$A_{s,ty} = \frac{M_{xt,u}}{f_y (d-d'')} \quad (4.30)$$

$$A_{s,tx} = \frac{M_{xt,u}}{f_y (d-d'')} \quad (4.31)$$

TABLO 4.1. y/d nin kod - limit değerleri

Beton Gerilmesi f'_e (psi olarak)	Demir Kopma Gerilmesi, psi		
	40 000	50 000	60 000
4000	0,436	0,405	0,378
5000 e kadar	0,411	0,381	0,355
6000	0,386	0,357	0,333

4.5.5. Basınç Bölgesindeki Dairesel Duvarlar :

4.5.5.1. Stok malzemenin radyal basıncından ileri gelen direk çekme, dairese silo duvarlarında gözönüne alınmalıdır. Sadece uniform radyal malzeme basınçları için, nihai çevresel gerilme kuvveti ve beher birim duvar yüksekliği için gerekli demir alanı, (4.32) ve (4.33) formüllerine göre hesaplanacaktır. (Aynı zamanda kısım 4.3.2. , 4.3.3. ve 4.3.4. e bakınız)

$$F_u = 1,7 p_{des} (D/2) \quad (4.32)$$

$$A_s = F_u / (\phi F_y) \quad (4.33)$$

Her halükârda gerekli çevresel donatı alanı, konulana eşit veya daha fazla olmalıdır; şayet gösterilmedikçe ki: duvarın düşey eğilme kapasitesi, fazla gerilmeli bölgedeki ek basıncın dağılımına elverişlidir, ki bu adı geçen bölgenin altında veya üstünde max. kapasiteye sahiptir.

4.5.5.2. Bölüm 4.5.5.1. de gerekli ilâve demirin haricinde yatay ilâve demir, bütün mevcut eğilme momentleri ve sıcaklık etkileri için tedarik edilmelidir.

4.5.5.3. Hazır silolar haricindeki silolar için düşey teçhizat Bölüm 4.3.5. de belirlenenden daha az olamaz.

4.5.5.4. Boşluklar (delik) etrafındaki ilâve demir Bölüm 4.3.8.'deki gibi hesaplanacaktır.

4.5.5.5. Dairesel siloların basınç bölgesindeki duvar kalınlıkları, hazır silolardan başka (Bölüm 4.2.3.'e bakınız) hazır silolar için Kısım 5'e bakınız.

4.5.5.5.1. Beton dökülen kalıpları kontrol edilmeyen duvarlar için müsaade edi-

lebilen nihai düşey gerilmeler şu değeri aşamaz.

$$f_{e,vert} = 0,55 \emptyset f'_e \quad (4.34)$$

ki burada \emptyset 0,70 dir.

Kalıpları kontrol edilen duvarlarda, yukardaki max. değer biraz azaltılabilir.

4.5.5.5.2. Duvar kalınlığı yarık genişliği için çek edilecektir. Duvar içindeki çatlak genişliği dizaynı (uzun süreli yüklemelerde ve kısa süreli fazla basınçlarda) 0,0008 inç (0,2)^{mm} yi geçemez; özellikle rutubetli hassas malzeme depo eden silolar için. Hiçbir durumda maximum dizayn çatlak genişliği 0,012 inç (0,3)^{mm} yi aşamaz. Statik yükleme için münhasıran, dizayn çatlak genişliği yukardaki değer yarısını aşamaz.

4.5.5.6. Sıcaklık Teçhizatı : Sıcaklık teçhizatı bölüm 4.5.4. de gerektiği gibi tedarik edilmelidir.

4.5.6. Basınç Bölgesi Altında Yuvarlak Duvarlar :

4.5.6.1. Basınç bölgesi altındaki duvar, düşey yüke maruz taşıyıcı duvar olarak dizayn edilmelidir ve herhangi bir gelebilecek yatay yüke maruz taşıyıcı duvar olarak hesap edilmelidir.

4.5.6.2. Nihai düşey basınç gerilmeleri Bölüm 4.5.5.5.1. de belirtilen değerleri aşamaz.

4.5.7. Kare, dikdörtgen veya poligonal siloların basınç bölgesindeki duvarlar :

4.5.7.1. Kare, dikdörtgen veya poligonal siloların basınç bölgesindeki duvarlar, direkt çekme, eğilme momenti ve kesmenin kombinasyonu için dizayn edilecektir.

4.5.7.2. Stoklanan malzemenin yatay basıncından ileri gelen beher birim yükseklikteki yatay nihai gerilme kuvveti aşağıdaki formüle göre hesaplanacaktır:

Dikdörtgen silolar için;

$$F_{a,u} = 1,7 \frac{b}{2} p_{des} \quad (4.35)$$

($F_{a,u}$ b duvarında p hesaplanan basınç a duvarı içinde)

$$F_{b,u} = 1,7 \frac{a}{2} p_{des} \quad (4.36)$$

($F_{b,u}$ a duvarında p hesaplanan basınç b duvarı içinde)

Kare silolar için

$$F_u = 1,7 \frac{a}{2} p_{des} \quad (4.37)$$

Poligonal silolar için

$$F_u = 1,7 (0,866 a) p_{des} \quad (\text{Altıgen}) \quad (4.38)$$

$$F_u = 1,7 (1,207 a) p_{des} \quad (\text{Sekizgen}) \quad (4.39)$$

(4.38)'de ve (4.39)'da a = bir kenar uzunluğu

4.5.7.3. Kare, dikdörtgen ve poligonal silolar için duvar kalınlıkları :

Duvar kalınlıkları Bölüm 4.2.3.'de gerekenden daha az olamaz ve aşağıdakileri sağlamalıdır:

(a) Nihai düşey basınç gerilmesi (4.34) eşitliğindeki limitleri aşmamalıdır, aynı zamarında;

$$f_{e,vert} = 0,55 \emptyset \left[1 - (H_0/40h)^2 \right] \quad (4.40)$$

değerini de aşmamalıdır. Bu eşitlikte $\emptyset = 0,7$ dir. Eğer $H_0 > l_0$ ise, (4.40) denkleminde H_0 yerine l_0 kullanınız; ki burada H_0 ve l_0 temiz düşey ve yatay açıklıktır (mesnetler arasında).

(b) Hesaplanan kesme gerilmesi, v_u , müşterek eğilme ve çekme altındaki duvarlar için şöyle hesaplanır:

$$v_u = \frac{V_u}{\emptyset bd} \quad (4.41)$$

ve şu değeri aşamaz

$$v_c = 2 (1 - 0,02 F_u/A_g) \sqrt{f'_c} \quad (4.42)$$

4.5.7.4. Kare, dikdörtgen ve poligonal silolar için çatlak genişliği limitleri dairesel silolar için olanın aynıdır.

4.5.7.5. Kare, dikdörtgen ve poligonal silolardaki stok malzemeden doğan sıcaklık etkileri hesapları Bölüm 4.5.4. deki gibi hesaplanır.

4.5.8. Kare, dikdörtgen ve poligonal silolarda basınç bölgesi altındaki duvarlar :

4.5.8.1. Basınç bölgesi altındaki duvarlar, düşey yüklere ve herhangi tesir edebilecek yatay yüklere maruz taşıyıcı duvar olarak dizayn edilecektir. (ACI 318'e bakınız).

4.5.8.2. Nihai düşey basınç gerilmesi (4.40) eşitliğindeki değerleri aşamaz.

4.5.9. Silo gruplarında iş bağlantı duvarlarının devamlılığı : Devamlılık için kabul yapılmalıdır ve duvarlar kesme ve eğilme momenti ile beraber çekme için teçhizatlandırılmalıdır. Dolu ve boş hücrelerin birbirine yük etkileri dizayn'da gözönüne alınmalıdır.

4.6. Temel Dizaynı :

4.6.1. Yükler : Silo ve bunkerlerin altları, stok malzemeden gelen düşey yüklemeye karşı koyacak şekilde dizayn edilmelidir (Bölüm 4.4. de açıklandığı gibi) ve diğer yüklere şayet varsa zelzele kuvvetleri, Bölüm 4.4.5.'de belirtildiği şekilde tayin edilmelidir. İlâveten, zelzele yüklemesi altında, stok malzemenin e, fektif ağırlığı (% 80) Bölge 3 içindeki silolar için alt yapıda mesnetlenmiş şekilde gözönüne alınmalıdır. Hesaplanan (sismik olmayan) taban basıncı Bölge 0 içinde kullanılmalıdır. Bölge 1 ve 2 için hesaplanmış taban basıncı üstündeki yükselmeler müteakiben (bir çeyrek ve yarım olarak, Bölge 3 için yükseltmenin) olmalıdır. Bu halde, münasip düşürülmüş yük faktörü kullanılabilir. (ACI 318-71 Bölüm 9) Şayet varsa, stoklanmış malzemeden gelen termal gerilmelerde gözönüne alınmalıdır.

4.6.2. Konik Tremiler :

4.6.2.1. Konik Tremi kabuğu dairesel ve meridyensel gerilme zar kuvvetlerine maruzdur. Simetrik konik tremi için, meridyensel kuvvet F_{mu} , beher birim daire boyunda, Treminin jeneratör çizgisine paralel:

$$F_{mu} = 1,7 \left[\frac{q_{des} D}{4 \sin \alpha} + \frac{w_m}{D \sin \alpha} \right] + 1,4 \frac{w_g}{\pi D \sin \alpha} \quad (4.43)$$

ki burada q_{des} Tremi tepesindeki düşey dizayn basıncıdır, ve D adı geçen yükseklikteki Tremi çapıdır.

Gerekli meridyensel donatı ise;

$$A_s = \frac{F_{mu}}{\phi f_y} \quad (4.44)$$

Tangent (veya çevresel) kuvvet F_{tu} , beher duvar birim genişliğe (plan'daki kabuk veya yatay)

$$F_{tu} = 1,7 \frac{q_{a,des} D}{2 \sin \alpha} \quad (4.45)$$

ve tanjantsal donatı (gerekli).

$$A_s = \frac{F_{tu}}{\emptyset f_y} \quad (4.46)$$

4.6.2.2. Çevresel kiriş (taşıyıcı), ki bu kabuğun kalınlaştırılmış bir parçasıdır, hesaplanan aksenal kuvvet, eğilme momenti ve kesmeye karşı koyacak şekilde yeterli dirence haiz olmalıdır.

4.6.2.3. Çatlak genişliği, kabul edilebilir limitler içinde, depolanan malzemenin özelliklerine göre, olmalıdır.

4.6.2.4. Duvar kalınlığı 13 cm.den düşük olamaz.

4.6.3. Pramidol Tremiler :

4.6.3.1. Pramidol Tremi duvarları eğilme, kesme ve direk gerilme kuvvetlerine maruzdur. Bu bölümdeki bahsedilenler, simetrik veya hemen hemen simetrik, uniform dağılmış dolgulu Tremiler içindir. Asimetrik Tremiler, burada pratikte tavsiye edilmeyen ve burada verilmeyen analizleri gerektirir.

4.6.3.2. Pramidol Tremi duvarları yatay ve meyilli gerilme zar kuvvetlerine maruzdur ve iki-yollu (plaka tipi) eğilmeye, aynı zamanda düzlem olmayan eğilmeye maruzdur.

Nihai meridyenel gerilme zar kuvvetleri (Tremi eğimine paralel) duvarın beher birimi genişliğinde, mütakabilen a ve b :

$$F_{mau} = \frac{1,7 (C_{a,m} W_a + A_a q_{a,des}) + 1,4 C_{a,g} W_a}{a \sin \alpha_a} \quad (4.47)$$

$$F_{mbu} = \frac{1,7 (C_{b,m} W_b + A_b q_{b,des}) + 1,4 C_{b,g} W_b}{b \sin \alpha_b} \quad (4.48)$$

Yukarıda C_a ve C_b , (Projeci tarafından belirlenen) a ve b duvarları arasında düşey Tremi yüklemesinin bölünen parçaları için faktörlerdir. Kare plân kesitli pramidol Tremi için bu değerler 0,25'dir.

Nihai yatay zar kuvveti beher birim duvar genişliği (meyilli) için:

$$F_{\text{tau}} = 1,7 \left(\frac{b}{2}\right) q_{\text{ab,des}} \sin \alpha_a \quad (4.49)$$

$$F_{\text{tbu}} = 1,7 \left(\frac{a}{2}\right) q_{\text{aa,des}} \sin \alpha_b \quad (4.50)$$

4.6.3.3. Tremi duvarlarının dizaynında, her iki meridyenel ve yatay yönde müşterek eğilme, kesme ve direk çekme gözönüne alınmalıdır.

4.6.3.4. Duvar kalınlığı, eğilme, kesme ve çatlak genişliği limitlerini tatmin edici olmalıdır, fakat 15 cm.den daha az olmamalıdır.

4.6.4. Alt Tabliye :

4.6.4.1. Yatay tabliye altı için (Tremi kovası hariç) dizayn yükleri: zati yük (ölü), Tabliyenin üzerinde hesaplanmış dizayn düşey basınç, ve depolanmış malzmeden (varsa) ileri gelen termal yüklerdir.

Sismik yükleme, depolanmış malzmeden gelen düşey basıncı değiştirmesi halinde gözönüne alınacaktır. Nihai düşey yük (sismik yükleme hariç) beher birim sahaya için:

(Alt tabliyenin)

$$w_u = 1,4 g + 1,7 q_{\text{des}} \quad (4.51)$$

4.6.4.2. Şayet yatay zelzele hareketleri etkisi gözönüne alınırsa, alt tabliyeye gelen nihai düşey yük (beher birim alana) (4.51) ve (4.52) değerlerinden hangisi büyükse o alınacaktır.

$$w_u = 0,75 (1,4 g + 1,7 q) \quad (4.52)$$

burada 4.6.1. bölümüne göre q hesaplanacaktır.

4.7. Kolon Dizaynı :

Siloları veya silo alt tabliyelerini taşıyan kolonların düşey demir alanı, kolon brüt alanının % 2'sinden fazla olamaz.

4.8. Temel Dizayn :

4.8.1. Aşağıda açıklanan haricinde silo temelleri, genelde, ACI 318-71, Bölüm 15'e göre dizayn edilecektir.

4.8.2. Depolanmış malzemeden ileri gelen fazla basıncın etkisi, silo temel hesaplarında ihmal edilebilir. Şayet varsa, darbe herhalde gözönüne alınacaktır.

4.8.3. Asimetrik yükleme "silo gruplarının, ve yatay yüklerin etkisi, temel hesaplarında gözönüne alınacaktır.

BÖLÜM 5 - HAZIR BETON ENDÜSTRİ SİLOLARI

5.1. Notasyon :

- A_w = Efektif enine kesit alanı (yatay izdüşümde) "Hazır silo duvarlarının"
 D_m = Ana çap (esas)
 H_s = Basınç testi için Hazır beton silo elemanının yüksekliği
 M = Dairesel Hazır silo gruplarını birleştirmek için dairesel eğilme gerilmesi
 W = Birim alan için yatay rüzgâr basıncı
 Y = Depolanmış malzemenin yüzeyinden adı geçen noktaya kadar olan derinlik
 f_{cr} = Kritik karşı kuvvet (basınç)
 p = Depolanmış malzemeden ileri gelen yatay statik basınç
 w = Hazır beton elemanları kalınlığı
 \emptyset = Azaltma faktörü kapasitesi.

5.2. Maksat :

Bu fasıl sadece önceden dökülmüş beton siloları kapsamaktadır, ki bunlar daneli iri materyalin depolanmasında kullanılır. Çiftçilikte hayvan yemi depolanması için kullanılamaz.

5.3. Malzeme :

5.3.1. Yaş-yerinde dökme Hazır beton silolar için malzemeler, Fasıl 2'de, "Material" başlığında belirtilmiştir.

5.3.2. Vibrasyon metodu ile fabrikada üretilen Hazır beton silo elemanları için malzeme ASTM C145 veya ASTM C55'e uyacaktır.

5.3.3. Rötire Hazır beton silo elemanının denge ağırlığının % 90 mertebesine gelmesine sebep olur ve boyununda ASTM C426'da belirtildiği gibidir.

5.3.4. Özellikle bölgelerdeki iç kaplama basit bir operasyondan müteşekkildir, Üç kat sıva uygulaması (ince kum + çimento) stave yüzlerine sıvanan ve birleşim yerlerine, yekpare bir duvar sathı elde etmek için. En son demir mala ile temiz perdelanır.

5.3.5. Dış sath ise kalın bir çimento harcı ile sıvanır, böylece su geçirim-

sizlik ve birleşim yerlerinin rijiditesi sağlanmış olur.

5.4. Toleranslar :

5.4.1. Yuvarlaklık : En uzun ve en kısa çap arasındaki fark 1,7 cm/m. (çapın) geçemez.

5.4.2. Şakulilik, diklik veya spiral : Yüksekliğin (8 mm/m) den fazla değil.

5.4.3. Çıkıntılık : Yüksekliğin (8 mm/m) den fazlası, hem de toplamın 7,5 cm. den fazlası olamaz.

5.5. Duvar Dizaynı :

5.5.1. Yükler, dizayn basıncı ve kuvvetler : Yükler, dizayn basıncı ve düşey yükler Hazır silo dizaynı için, Fası 4'de belirtildiği gibi hesaplanır. Fazla basınç veya darbe (hangisi olursa olsun kontrollü) ve ekzantrik boşaltma açıklıkları etkileri, rüzgâr, termal gerilme (varsa) ve sismik etkiler hepsi gözönüne alınacaktır.

5.5.2. Duvar Kalınlığı : Gerekli Hazır silo duvar kalınlığı, dairesel eğilme, basınç, çekme ve ezilme gözönüne alınarak tayin edilir, fakat hiçbir halde Bölüm 4.2.3.'de verilenlerden daha az olamaz.

5.5.3. Duvarın desteklenmediği yerde rüzgârdan ileri gelen dairesel eğilme : Hazır silo dizaynı için verilen dairesel eğilme gerilmesi M_{θ} , hesapla tayin edildiği gibi, veya bu türlü komple dairesel birleştirilmeleri test edilerek tayin edildiği gibi, aşağıdaki geresinmeyi de tatmin etmelidir. (karşılmalıdır)

$$M_{\theta} \geq \frac{0,75 (1,7) D_m^2 W}{16 \emptyset} \quad (5.1)$$

ki burada W rüzgâr basıncı (kg f/m² olarak) ve 0,75 yük faktörüdür.

5.5.4. Eşit olmayan iç basınçtan doğan dairesel eğilme : Aynı şekilde dairesel eğilme gerilmesi M_{θ} , aşağıdakileri de sağlamalıdır:

$$M_{\theta} \geq \frac{1,7 (P_{\max} - P_{\min}) D_m^2}{12 \emptyset} \quad (5.2)$$

ki burada 1,7 yük faktörü ve P_{\max} ve P_{\min} Y derinliğinde oluşan en büyük ve en küçük yatay statik basınç.

5.5.5. Düsey yük altında "Ezilme" : Silo duvar kalınlığı öyle olmalıdır ki, kritik ezilme gerilmesi, f_{cr} , hesapla tayin edildiği veya testlerden bulunduğu gibi ve Kısım 5.4., Toleranslar bölümünde müsaade edilen sapmaların haricinden gelen maximum eksantrisite gözönüne alındığında, aşağıdaki iki gerekli duruma uymalıdır:

(a) Silo boş, rüzgâr yükü etkisinde

$$f_{cr} \geq \frac{(0,75) (1,7) (\text{ölü yük} + \text{Duvara etkileyen rüzgâr yükü})}{\emptyset A_w} \quad (5.3)$$

(b) Silo dolu, rüzgârsız, öyle bir noktada, ki depolanmış malzeme duvarı sıkı tutmuyor :

$$f_{cr} \geq \frac{1}{\emptyset A_w} (1,4 (\text{Duvardaki ölü yük}) + 1,7 (\text{Duvardaki hareketli yük})) \quad (5.4)$$

Yukarıdaki formüllerde, A_w duvarın en kesit efektif alanıdır, hesapla veya testle tayin edilen.

5.5.6. Basınç : Hazır beton silo elemanı kalınlığı öyle olmalıdır ki, nihaî düşey basınç gerilmesi, test ile tayin edildiği gibi, aşağıdaki yük kombinasyonlarının en az maksimum hesaplanmış nihaî düşey gerilmenin $1,3/\emptyset$ katı kadar olmalıdır: (ACI 318'de özellikleri belirtildiği gibi yük faktörü için): (a) ölü + depolanmış malzeme ve diğer hareketli yük; (b) ölü + depolanmış malzeme + rüzgâr.

Test yapılmadan (yapılmaksızın), efektif duvar alanındaki nihaî düşey gerilme, A_w , $f_{c,vert}$ değerini aşamaz, (4.34) eşitliği Kısım 4.5.5.5.1. de.

5.5.7. Çekme ve Kesme : Silo, ACI 318'de belirtildiği gibi yük faktörünü kullanarak ve pürüzlü yüzlü silindir için uygun kalıp faktörünü kullanarak, rüzgârdan doğacak devrilmeye karşı düşünülmelidir. Gerekli ise devrilmeye karşı ankraj temin edilmelidir. Hazır beton elemanın çekme gerilmesi ve testle tayin edildiği gibi iki komşu beton elemanı arasındaki kaymaya onun direnci, her biri hesaplanmış nihaî ankraj kuvvetinin $1,3/\emptyset$ katından küçük olamaz. Test yapılmaksızın, efektif duvar alanındaki nihaî düşey çekme gerilmesi, A_w , $\sqrt[3]{f'_c}$ değerini geçemez.

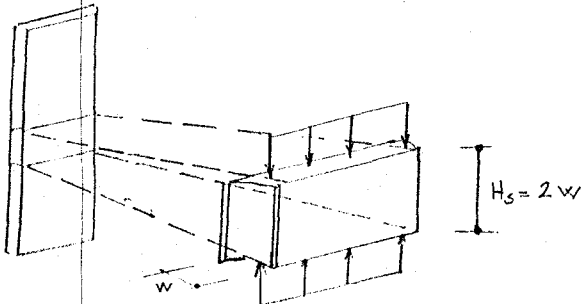
5.5.8. Duvar açıklıkları (boşlukları) : Hazır silolardaki duvar boşlukları öyle bir yolla çerçevelenmeli ki, düşey ve yatay eğilme ve çekme gerilmesi (duvarın) boşluklarda azalmış olmamalıdır.

5.6. Hazır silolar için Tremiler (Kasnak'lar - Çemberler) :

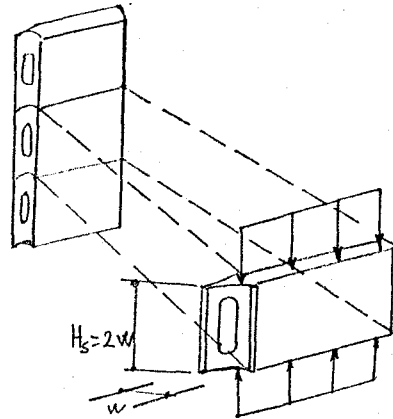
5.6.1. Boyut ve aralık : Aşağıda not edilenin dışında Hazır silolar için dış çemberin boyut ve aralığı, yerinde beton dökülen dairesel siloların yatay teçhizatının aynı usulu ile hesaplanır; şu farklılık kapasite azaltma faktörü $\emptyset 1,0$ alınabilir. Çember teçhizatının hesabında, duvar yüksekliği üzerinde ortalama dizayn basıncı, 30 kere efektif kalınlığa eşitlenerek alınabilir. Tremiler (1,27 cm) çapından daha küçük olamaz. Aralık Hazır beton elemanı yüksekliğinden daha büyük, efektif duvar kalınlığının 10 katından fazla olamaz.

5.6.2. Demir alanı hesabı : Hazır silo Tremilerinin gerekli boyut ve aralık hesabı sırasında, Tremi net alanı kullanılacak ve şunlardan küçük olan alınacaktır: (a) Çubuğun alanı veya (b) Lifi'nin ana alanı. Treminin nihai gerilmesindeki uygun şartlar gözönüne alınacaktır, şayet kulplar veya mekanik bağlantılar eğilme deformasyonlarına veya gerilmelere sebep oluyorsa, Tremi demirinin akma sınırından daha yüksek alınacaktır.

5.6.3. Gerilme : Hazır silo Tremileri : öyle gerilmelidir ki, rötne'den, elastik kısalmadan ve sıcaklık değişiklikleri kayıplarından sonra bile yeterli mukavemet (gerilim) kalmalıdır, ki bu gerekli düşey ve yatay mukavemet gücünü sağlayabilmelidir.



Şekil 5.1. Dolu eleman



Şekil 5.2. Bosluklu eleman

5.7. Hazır beton eleman testi :

Aşağıdaki prosedür Hazır beton elemanların basınç mukavemetinin tayinini test için kullanılır.

5.7.1. Verilen test kesiti dolu kesitli beton elemanının tam genişliğinden teşekkül edecektir, beton elemanının kalınlığının iki misli olan bu kesitin yüksekliği ile, (bakınız Şekil.5.1.) eleman bilinen basınç test makinası ile test edilecektir, makinanın içine silo duvarlarına konulduğu gibi aynı şekilde yerleştirilecek-

tir. Doğru olunmaya dikkat edilmelidir ki, eleman doğru ve yatay yüz ile örtülmüş-
tür ve öyle merdanelerle test edilecektir ki, en az biri kendi kendine yatay yüzü
dengeleyebilir olsun.

5.7.2. Boşluklu elemanın testi esnasında, kesit eleman kalınlığının iki misli
yükseklikte kesilmelidir. (Şekil 5.2.). Bununla beraber maksimum derinlik, bir
komple boşluk içerecektir ve çekirdeğin hiçbir parçası tepede veya tabanda bulun-
mayacaktır.

5.7.3. Ortalama minimum basınç mukavemeti net alandaki, 28 günde en az 4.000
psi olmalıdır.

BS 5061 : 1974

Silindirik Yüksek Tahıl Siloları ve Kullanımı için Öneriler

1. Genel

1.1. Amaç

İngiliz Standartlarına göre siloların inşa edilmesinin nedeni ürünü İngiliz üretim koşullarında korumaktır. Belki bundan dolayı kabul edilmiş mühendislik yapılarının dışına çıkılmaktadır. Bu standart esas yüksekliği 3 m. den büyük silolar için kullanılır.

1.2. Tanımlar

Bu standartta aşağıdaki tanımlar kullanılmıştır:

h_e : Gerçek yükseklik (metre cinsinden, döşeme seviyesinden silindirin en üst seviyesine kadar)

h_u : Faydalı yükseklik (silo kapasitesinin hesabında kullanılır)

h_c : Silindirin yüksekliği (Temelin üzerinden silindir silonun üstüne kadar)

Malzemenin üst seviyesi : Silo döşemesinden $0,90 h_e$ seviyesi basınç hesabı için kabul edilen seviye, silo kapasitesinin hesabı için kullanılan seviye veya silo döşemesinden $0,90 h_u$ seviyesi.

h_s : Malzeme derinliği : Dikkate alınacak noktanın malzeme yüzeyi arasındaki mesafe.

d : Silo çapı (silonun ortalama iç çapı)

d_e : Silo çapı (silonun ortalama dış çapı)

(Kule) Yüksek Silo : Malzemenin korunması için silindirik yapı

(Yem) Tahıl silonun genel amaç : Yüksek nemli malzemenin silolarda depolanması

Malzeme : Hava almayan koşullarda doğal etkilerden ve asidik ortamdan korunmuş ürünler.

Yüksek sıcaklıktaki silo malzemesi :

Kuru malzeme : 16 saat içinde 105°C de nemin giderilmesinden sonraki malzeme

Nem yüzdesi : 16 saatde 105°C de nemin giderilmesinden sonraki nem yüzdesi

Standart kapasite : Bir silonun kuru madde kapasitesi ton cinsinden standart yönteme göre hesaplanır.

Not : Standart yöntem APP C de

Yoğunluk (g) : 1 m^3 malzemenin ağırlığı

Kuru yoğunluk (gd) : Kuru maddenin 1 m³ ünün ağırlığı

$$gd = \frac{100 - \text{nem yüzdesi}}{100}$$

M.AD : Litlerin, malzeme veya kuru ürün içindeki asidik temizleyicinin ağırlık yüzdesi

Not : Bu değer fermantasyonun tipine bağlı olarak, silodaki malzemede fermantasyon esnasında % 4 - % 15 arasında artırılır.

CP : Ham Protein : Malzeme veya kuru ürün içindeki ham proteinin ağırlık yüzdesi

Not : Ham protein yüzdesi fermantasyonun tipine göre malzemede % 4 - % 15 arasında artar.

1.3. Semboller :

Bu İngiliz standardında aşağıdaki semboller kullanılmıştır.

S : Çevre (m)

E : Young Modülü N/m²

t : Duvar kalınlığı cm

r : Dış yarıçap (m)

u : Poisson oranı (0,3 , çelik için)

I : Atalet momenti (m⁴)

P : Atmosferik basınç altında silo iç basıncı, içteki emişden dolayı eğilme hesabında kullanılır)

f_{crit} : Eksenil basınç gerilmesi

P_{crit} : Düşük atmosferik basıncın (silonun içinde)

2. Silo Boyutları

Tüm yapısal gerekliliklerin bir araya getirilmesidir. Limit yükseklik depolanan malzemenin nemini koruması ve akıcı basınçtan etkilenmesini önleyebilmelidir.

Silonun çapı ihtiyaca göre hesaplanır ve bu alan makina sistemi gözönüne alınarak yapılır.

3. Temeller, Ankraj ve Oturma Yeri

3.1. Temeller projenin bir bölümü gibi düşünölmeli CP 204 deki esaslara göre inşa edilmelidir. Kuruluş sırasındaki silo temeli ile üst yapı arasındaki farklılıklar verilecektir.

Temellerde silo duvarlarının bağlantı kesimlerinde düzgün bağlantı basınç oluşur. Bu 6.2.'deki kısımdaki gibi hesaplanan drenaj basınçdır. Dikey kalınlık 150 mm.'den az olmayacak, beton sıkıştırılacak ve en az 30 N/mm² basınç gerilmesine sahip olacak, min. çimento miktarı 330 kg/m³ olacaktır. Çimento BS 12'ye göre kullanılmalıdır.

3.2. Ankraj

Silindirik silo 4.4.2. ve 4.1.6.2.'deki kısımlarda hesaplanan tüm yüklere (malzeme, hareketli, ölü, riya) karşı sağlam olarak temele ankrajlanacaktır.

3.3. Oturma Sahası

Silonun duvarları mesken mahale 1,25 h_e mesafeden az olmayacaktır.

4. Yüklere

Çok kuru malzeme için 4.1.'e göre genel amaçlı silolar için 4.2.'ye göre hesaplanacak.

Yüklerin hesabında kullanılmak için BS 648 malzeme birim ağırlıkları kullanılacaktır.

4.1. Çok kuru malzeme için kullanılan silolar

4.1.1. Çatı Yüğü :

Çatı yüğü CP 3 'ün 6. maddesi; Bölüm 5 Kısım 1'e göre hesaplanacak

4.1.2. Rüzgâr Yüğü :

Yapı, mesnetlendirilmiş çerçeve (Karkas), temel, su oluşu bağlantıları, merdiven ve kanallar gibi aksesuar uygun bağlantı ve tespit elemanları ile CP 3, kısım 2' den gelen yüklere ilaveten rüzgâr basıncı gözönüne alınarak projelendirilecektir. Devrilmeye karşı hesap için proje rüzgâr hızı V_s 30 yıllık proje ömrüne göre düşünülecektir. Silo etrafındaki basıncın değişmesinden ileri gelen burulmaya karşı yeterli rijitlik olmalıdır. 30 yıllık proje ömrü için $0,8 V_s$ rüzgâr hızı olarak uygundur.

4.1.6.2. paragrafına göre hesaplanan hayvan yemikaldırma kuvveti ile rüzgârdan ileri gelen kaldırma kuvveti ile bağlantılı olarak gözönüne alındığında V_s rüzgâr hızına istinat ettirilecektir.

İlaveli tek silolarda rüzgâr yüğü için kullanılacak eşdeğer silindir alanı;
 $(d_e + 0,6) \times (h_c + 0,3 d_e)$ alınacaktır.

4.1.3. İçsel gaz basıncı :

Gerekli yerlerde (D.2.2. ye bak) büyük negatif veya pozitif gaz basıncı oluşmasından kaçınmak amacıyla siloya gerekli delikler (hava deşarjı, nefeslik) düşünülmalıdır. Delik boyutları, normal olarak delikler açık olduğu zamanki basınç farkının iki katına dayanıklı olacak şekilde silo projelendirilecektir. Yüksek veya alçak dış basıncın (rüzgâr etkisi ile) bulunduğu bölgelerdeki açıklıklardan doğacak basınçta ayrıca gözönüne alınmalıdır.

4.1.4. Makina Yükleri :

Silonun projelendirilmesinde makinaların malzemeyi boşaltılmasında ve doldurulmasında yapıya yüklenen statik ve dinamik yükler hesaba alınmalıdır.

4.1.6.2. de belirtilen yük durumlarını gözönüne almak gerekir.

4.1.5. Malzemenin Yoğunluğu :

Herhangibir nem muhtevastındaki orta olgunluktaki stok malzemesinin kuru yoğunlu-

ğu, tedarik edilen nem muhtevası öyle yüksek değildir, doymuş yoğunluk max. 1000 den 1.100 kg/m³ e ulaşır, projelendirmede;

$$\delta_d = (140 + 14,4 h_s) \text{ kg/m}^3 \text{ farzedilir; ve özgül ağırlığı}$$

$$\delta = \frac{100}{100 - \text{nem hutevası \%}} (140 + 14,4 h_s) \text{ kg/m}^3 \text{ dür.}$$

4.1.6. Siloda kullanılan basınçlar :

Silo yapısındaki malzemenin (yeşillik, silodaki hayvan yemi) basınçları şöyledir:

(1) Yatay basınç, ki bu lifli kütleden ileri gelen basınç toplamıdır ve lifli kütlenin mayi sıkışmasından ileri gelen mayi basıncıdır.

(2) Düşey sürtünme, yerleşen kütle veya stok malzemenin yeniden genişlemesi ile duvar arasında mevcut olan kuvvettir.

(3) Temel ve taban üstündeki malzeme basıncı;

4.1.6.1. Yatay basınç : H.D.M. için kule silolar Bölüm D de belirtilen zorlamalarla kullanacakların istekleri doğrultusunda sadece kullanmak üzere, şöyle dizayn edilecektir; Malzemenin yüzeyine rölatif yatay kuvvete dayanacak şekilde gözönüne alınmak kaydıyla:

Yerleşmiş yüzeyin üstünde h_e 'nin % 10'u için ve 3 m. aşağısı için, yatay basınç (projede kullanılan) 9,8 kN/m² olacaktır.

Silonun gerisi için (mütebakisi için) yatay kuvvet şöyle olacaktır :

(1) $9,8 + (9,8 - \frac{29,5}{d})(h_s - 3) \text{ kN/m}^2$ (akışkan basıncın içsel salınması olmayan silolar için)

(2) $9,8 + 0,75 (9,8 - \frac{29,5}{d})(h_s - 3) \text{ kN/m}^2$ (aşırı akışkan basıncın salınmasına müsaade edilebilen silolar için)

Yukardaki formülde, d değeri 5 m. den daha küçük çaplı silolar için 5 olarak alınacaktır.

4.1.6.2. Düşey sürtünme yükü ve taban yükü : Projede kullanılan düşey sürtünme yükü genel amaçla kullanılan silolar için ve sadece H.D.M. siloları için aynıdır. Müteakip ayırma, üstten boşalan ve alttan boşalan silolar arasında yapılmalıdır:

4.1.6.2.1. Üsten boşalan silolar : Düşey sürtünme duvar yükü, $h_s \leq 2,33 d$ derinlikte geçerli maksimum $2,45 \text{ kN/m}^2$ değeri ile yerleşmiş malzemenin beher metre yüksekliğinde $1,05 \text{ kN/m}^2$ oranda lineer olarak yükseleceği farzedilir.

Duvardaki nihaî aşağı doğru düşey sürtünme yükü (V_{td}), şu formülle hesaplanabilir :

$$V_{td} = 0,525 h_s^2 \text{ kN/metre (çevrede) ki burada } h_s < 2,33 d$$

ve

$$V_{td} = (2,45 d h_s - 2,86 d^2) \text{ kN/metre (çevrede) ki burada } h_s > 2,33 d$$

Duvar minimum aşağı yöndeki 5 kN/m yüküne dayanacak şekilde projelendirilecektir.

Üsten boşalan silolarda, max. yukarı yönde duvar yükü (V_{tu}) şöyle farzedilebilir :

Yukardaki yerleşmiş yüzeyler için $V_{tu} = 0$;

$$h_s < 2,33 d \text{ için } V_{tu} = 0,41 h_s d \text{ kN/metre (çevrede)}$$

$$h_s > 2,33 d \text{ için } V_{tu} = 0,96 d^2 \text{ kN/metre (çevrede)}$$

4.1.6.2.2. Altta boşalan silolar : Temel seviyesinedn altta boşalmayı kesen kesicinin üstünde $0,25 d$ seviyesine kadar duvarlar için, düşey sürtünme duvar yükü (V_{td}) 'nin ortalama 900 kg/m^3 yoğunluklu malzemenin tüm ağırlığından geldiği farzedilebilir :

$$V_{td} = 2,20 h_s d \text{ kN/m}$$

$0,6 d$ 'nin üstündeki silo için, alt yük boşaltma kesicisi tepesinin üstünde, düşey duvar sürtünmesi 4.1.6.2.1.'le bağlantılı olarak hesap edilecektir.

$0,25$ ve $0,6 d$ arasındaki seviyeler için, V_{td} lineer interpolasyonla tespit edilir. Genel değerlendirmeden, özel yük boşaltıcı kullanıldığında silonun alt kısmına etki edilmek üzere ilâve yükler yapılacaktır ve bütün bunlar silonun projelendirilmesinde gözönüne alınacaktır.

4.1.6.3. Tabanda ve temelde yük : Taban ve duvar yüklerinden dolayı temel tarafından taşınan maximum malzeme yükü, $6,2 h_e d^2 \text{ kN}$ olarak alınacaktır. Malzemenin pürüzsüz

dağıtımı için, silo tabanındaki basınç $7,9 \text{ kN/m}^2$ olarak alınabilir. Taban kaplaması dağıtılmış yükün 3 katı yerel basınca dayanacak şekilde projelendirilecektir.

4.2. Umumi maksatlı yem siloları :

Yükleme 4.1.'e göre düşünülecek; şunlar hariç olmak üzere: Yatay basınç ve temel ve tabandaki yük 4.2.1. ve 4.2.2.'ye göre hesaplanacaktır.

4.2.1. Yatay basınç :

Appendix D'deki zorlama tatbik edilmediği zaman, silo max. akışkan basıncına dayanacak şekilde projelendirilecektir ki bu basınç silo içine yüksek nem ihtiva eden yem doldurulduğunda ortaya çıkar. Silo $9,8 \text{ kN/m}^2$ lik yatay mayi basıncına dayanmalıdır, silo tepesinden oturmuş yüzeyden 1 m. aşağıya kadar ve $11,0 h_g \text{ kN/m}^2$ dışarıya akan sızıntı olmaksızın en alt noktada, herhangi bir dren temin edilmeksizin ve yapıda müsaade edilen gerilmeler aşılmamak kaydıyla projelendirilecektir.

4.2.2. Taban ve temellerde yük :

Taban ve duvardan gelen, temel tarafından taşınan max. siloge yükü, $7,7 \times h_e d^2 \text{ kN}$ olarak alınacaktır. Malzemenin pürüzsüz dağılımı için, silo tabanındaki basınç $9,9 h_e \text{ kN/m}^2$ olarak alınacaktır. Taban kaplaması dağıtılmış yükün 3 katı yereel basınca dayanacak şekilde projelendirilecektir.

5. Proje ve Malzemeler :

Yapı kendi ağırlığını taşıyacak ve yüklemelere dayanacak ve rüzgâr yüklerine karşı koyacak şekilde projelendirilecektir. (Yükler Kısım 4'te belirtilmiştir) Kapı geçitleri, makina aksesuarlarınının yerleştirildiği komponentler, kapaklar gibi yüksek gerilme birikimleri olan sahalara özel itina gösterilecektir. Komponent ve malzemeler British Standards'ın ilgili maddelerindeki şartlarına uymalıdır. Silolarda insan ve hayvan sağlığına zararlı yüzey boya ve malzemeleri kullanılması yasaktır.

5.1. Silo Duvarları :

5.1.1. Silo duvarlarında basınç gerilmesi :

Silo duvarlarındaki max. düşey basınç gerilmesi N/m^2 birimiyle şu değeri aşamaz:

$\frac{f_{crit}}{1.7}$, burada $f_{crit} = K_1 \frac{Et}{r}$ ölü yük ve malzeme yükleri için alınır. % 25'e kadar müsaade edilebilir gerilmedeki çoğalma sadece rüzgâr yükü için izin verilebilir. K_1 'i belirlemek için Appendix F'e bakınız.

5.1.2. İçsel emme altında bükülme :

Silo silindirinin, minimum içsel gaz basıncı $P N/m^2$ (atmosfer basıncı altında) ile eğilmesine mani olmak amacıyla, silo duvarlarının mukavemeti (katılığı) şöyle olmalıdır:

$$P \leq \frac{P_{crit}}{3} , \quad P_{crit} = K_2 \cdot E \left(\frac{t}{r} \right)^3$$

P_{crit} belirtilmesinde, Appendix F'e bakılabilir.

5.2. Hazır beton silolar için donatı çemberi :

Donatı merdanelenmiş dişli demir çubuklardan olacaktır. Minimum nihai germe mukavemeti $415 N/mm^2$ olacaktır ve minimum uzama, 200 mm ölçü uzunluğunda % 20'dir. Proje ön gerilmesi, nihai germe mukavemetinin % 33 veya kopma mukavemetinin % 50'sini aşmayacaktır; (bunlardan hangisi daha küçük çıkarsa).

Bütün boğlan (kulp, sap), kapı geçiş çerçeveleri ve diğer çembersel bağlantılar öyle projelendirilecektir ki, çembersel bağlantıların çökme ve taşıyamaması normal toplam yükten daha büyük bir yük altında olabilsin. Herbir çemberde yapılan boy adedi dörtten az olmayacaktır. Bağlantılar Şekil Ia veya b'deki gibi veya bunların kombinasyonu olarak şaşırtılacaktır.

5.3. Hazır beton siloların yapımı :

Önceden yapılmış hazır beton silolar BS * ile uyşmalıdır. (* Hazırlık aşamasında)

Önceden yapılmış beton kapı çerçevesi, Hazır beton için şart koşulan betonla aynı kalitede olmalıdır. 5.2.'ye göre bulunacak donatı çemberleri doğacak yüke dayanacak şekilde seçilmelidir. Donatı çemberine öyle önem verilecektir ki, silo duvarı, proje yatay basıncında çember germe kuvveti içine gelecektir. Betonlar arasındaki içsel (dahili) ekler BS 1199'a göre 1 hacim NPÇ ve 2 hacim kum'dan az olmayacak harçla tamamen doldurulacaktır. Bu operasyon, 1/4 ölgerilmeden daha fazla tatbik edilmeden evvel icra edilmiş olackatır ve tüm ön gerilme harç tam katılaşıncaya kadar uygulanmıyacaktır.

Not : Yeni B.S. önceden yapılmış hazır beton elemanlar için yayınlanıncaya kadar, test limitleri müşteri ile imalâtçı arasında mutabık kalınmalıdır. Katlanma (flexural) mukavemet için tüm hazır elemanların testi, BS 1881'e göre yapılabilir; flexural mukavemet 5,0 N/mm² den küçük olamaz. Emme (absorption) limitleri bilgileri (araştırması) için Appendix E'ye de bakınız.

5.3.1. Kusurlar :

Montaj bittiğinde, hiçbir halde, ne hazır beton elemanların toplam sayısının % 2' sinden fazla; ne de bir sıradaki hazır beton elemanlarının % 3'ünden fazla adette, bütün genişlikte çatlamış hazır beton eleman olmasına müsaade edilemez. Hazır beton elemanların % 1'inden fazlasında 25 mm.'ye aşan parçaları kopmuş kısım olamaz. İçsel yongalar (kopmuş parçalar) sağlam muayene(?) harcı ile düzeltilmelidir.

5.4. Ahşap :

Ahşap kullanılırsa, yapı CP 112'ye göre projelendirilecektir. Silo dolu olduğu zaman nem emmeden dolayı şişmeye ve boşalırken ağıç kurummasından ileri gelen büzölmeye müsaade edilebilir: Önceden gerilen ahşap silolar için tam şişmiş yaş ahşabın özelliklerine göre hesap yapılır. Yaş (kurutulmamış) mukavemetler, % 18'i aşan nem muhtevası ahşap için geçerli olmak üzere, ahşap komponentleri (bileşenleri, parçaları)'nın projelendirilmesinde kullanılacaktır.

6. Konstrüksiyon :

Bütün ambar ağızları, yükleme ve boşaltma noktaları, gas delikleri, yangın dolapları ve diğer kısımlar, ki bunlar muntazam bakım isteyen kısımlardan, çalışma plâtförmünün veya aksesuar ekipmanlarının yakınına yerleştirilmelidir. Açıkta kalma derecesine göre, materyaller ve komponentler malzemenin asidinin etkisine karşı dayanıklı ve himayeli; aynı zamanda dona, hava şartlarına veya korozyona karşı olmalıdır.

H.D.M. için inşa edilen siloların kapıları, duvarları ve ambar ağızları, yatay basınca eşit akışkan basıncına karşı su geçirmez olmalıdır veya $19,6 \text{ kN/m}^2$, (hangisi daha az ise) silo tavanı su geçirmez olacaktır. Dipten boşaltma metodu nerede gerektirirse, silo tavanı gaz geçirmez olacaktır; fakat büyük basınç farklılaşmalarına karşı dışarı salıverme imkânlı olacaktır.

6.1. Boyutsal (Doğruluk) Uygulama :

Silo bileşenleri imalatçı tarafından belirlenen toleranslar özelliklerine uygun olarak inşa edilecek ve tam doğru olarak o şekilde birleştirilecektir ki, proje limitleri üzerindeki basınç birikimlerinden sakınılsın ve müşterek makina aksamının efektif operasyonuna engel olunmasın.

6.1.1. Ölçme ve Çap:

Silo duvarları iç yüzü tesis edilecektir ve yük altında kalacaktır; $1,01 \text{ d}$ ve $0,99 \text{ d}$ çaplı iki konsentrik (müşterek merkezli) düşey silindir ile hem sınır hacim içinde. Silonun iç çapı referansı tabanın $1,5 \text{ m}$. üzerinde karar verilir.

6.1.2. Spiralling (Helezoni) :

Silo duvarına tanjantsal plânda düşeyden düşey dikiş yerine olan sapması $0,005 h_c$ değerine geçemez, burada h_c değeri silonun silindirik yüksekliğidir.

6.2. Akışkan basıncının giderilmesi :

Perimetre drenajının içsel sistemi şunu sağlamayı tedarik edecektir: Akışkanlık basıncı gidericisi vardır ve duvar-taban birleşimlerinin iç yüzeylerine karşı dışarı akma yığılması olmayacaktır. Silo gaz giriş ve çıkışını önleyici kapak ile birleştirmek gereklidir. Duvar-taban birleşiminin dış detayı öyle halledilmelidir ki, toplanan mayi siloya temiz bırakacak şekilde drene edilmelidir. Hayvan yeminin akışkan artığı (pis suları) temel tabanını penetrasyonunu arttıracak şekilde etki etmesine müsaade edilmeyecektir.

6.2.1. 4.1.6.1.(2) maddesine göre yatay basınçlara göre projelendirilmiş silolarda, artan akışkan basıncı açık birleşimlerle veya delikler bırakılmak suretiyle (500 mm. den daha açık olmayan) giderilmelidir.

6.3. Yangın İstasyonu (Limanı) :

Sorumlu idareci ile başka bir mutabakata varılmadığı sürede, yangın dolaplarının sınırı silo duvarı üzerinde 1,5 m. yi aşmayan aralıkla düşey olarak yerleştirilmeli ve silo tabanından 3 m. den fazla başlamamalıdır. Yangın istasyonları yeterli boyutta olmalıdır, nedeni 20 mm. çaplı sondajla malzemenin içine sokmak ve silo duvarına sınırdan (line) 30⁰'ye kadar hareket ettirebilmek içindir. Yangın istasyonları içine değil, şüt veya silo giriş yatlarına yerleştirilmelidir; paslanmaya mukavim olacak şekilde ve her an kolayca alınıp kaldırabilecek şekilde ulaşılabilecek yerde olmalıdır.

6.4. Geçit (Giriş) Ekipmanı :

Giriş ekipmanı, çalışma platformları ve (sabit) monte edilmiş merdivenler dahil, aşağıdaki ihtiyaçları cevap verecek şekilde projelendirilecektir:

(1) Sabit merdivenler, şüt dahilindekiler hariç, BS 4211 maddesine uygun olacaktır, imalâttan sonra BS 729'a göre sıcak dolma galvanize edilen bütün parçaları onlar hariç.

- a. Onlar 4 mm. kalınlıktan daha az olmayan diğer siloya monte edildiklerinde, tümü uygunsuz basınç ve defleksiyon (sapma, dönme) olmadan 100 kg. adam ağırlığına dayanabilmelidir.
- b. Basamaklar 380 mm. temiz uzunluktan az olamaz ve araları 300 mm. den fazla olamaz ve silodan 150 mm. den az açıklıkta olamaz.
- c. "S" grad bulanların (H.T.) kullanıldığı yerlerde 10 mm. çapa indirilebilir.

(2) Ağır yük Asansörleri ve "Offices and Railways Act Statutory Instrument 849: 1968" normalarına ve nerede imkân olursa SI 863: 1968'e uygun olacaktır.

(3) Çalışma platformları ve merdiven yolları (Çatı merdivenleri v.s.), iki operatörün yanyana çalışmasına müsait boyutlu ve kayıcı olmayan çalışma yüzeyli olmalıdır. The Agriculture (Safeguarding of Workplaces) Regulations 1959 şartlarını gerçekleştirmek için, giriş sahası perimetresi (çevresi, kenarı) yatayda 1,0 m. korkuluklu ile teçhiz edilmeli ve çalışma kotundan 0,5 m. üstünde ara korkuluk bulunmalıdır.

(4) Sürekli merdivenlerin alt ucu zemin kotu üzerinde 3 m. den az olmayacaktır ve gerekirse, bu kottan aşağıdaki merdiven demantabl (çıkartılabilir) olacaktır.

(5) Giriş görevi yapan şütlerin uygun olarak havalandırılması sağlanmalıdır.

(6) Silo içinde ve dışında yapılacak işlerde kullanılacak portatif çalışma platformları, kaldırma aparatları gibi servis ekipmanının fikse edilebileceği noktalar başlangıçta gözönüne alınıp yapılmalıdır. (Provision shall be made)

7. İlan Tahtası/İkaz Plâkaları :

Uygun devamlı ikazlar (300 mm x 200 mm. den küçük olmamak üzere) 1,0 ilâ 2,0 m. yükseklik arasına (silonun) asılmalıdır. İlâve olarak, tehlike ikaz ilanı silo girişlerine konulmalıdır. Bunlar şu bilgileri içerecektir:

(1) CO₂ ve nitrojen oksit gibi tehlikeler silo operasyonunda beklenebilir, operatörler için tavsiyelerle birlikte (açık kırmızı zemin üzerine beyaz harflerle)

(2) Silo doldurulması için en tatminkâr metod için açıklama (rehber) (yeşil zemin üzerine beyaz harflerle)

(3) İmalâtçının ismi, imalât tarihi, BS numarası ve BS silo tipi (metal tabelâ) yazılmalıdır.

8. İmalâtçının El Kitabı :

İmalâtçı alıcı için silo bakımı ve idaresi için gerekli bilgileri içeren kullanma kitapçığını temin etmelidir. Appendix B el kitabında bulunacak bilgilerden bazılarını liste şeklinde vermiştir.

Appendix A

Referans için BS şartnameleri ve pratikteki kodlarının listesi :

ÇELİK KONSTRUKSİYON

BS 449	The use of structural steel in building (incorporating BS Code of Practice CP 113)
BS 449	Addendum 1 (PD 4064) The use of cold formed steel sections in buildings
BS 729	Zinc coatings on iron and steel articles, Parts 1 and 2
BS 916	Black bolts, screws and nuts
BS 1449	Steel plate, sheet and strip
BS 4190	ISO metric black hexagon bolts, screws and nuts
BS 4360	Weldable structural steels

BETON KONSTRUKSİYON

BS 12	Portland cement (ordinary and rapid-hardening)
BS 146	Portland-blastfurnace cement
BS 882, 1201	Concrete aggregates from natural sources
BS 915	High alumina cement
BS 1198-1200	Building sands from natural sources
BS 2691	Steel wire for prestressed concrete
BS 4449	Hot rolled steel bars for the reinforcement of concrete
BS 4461	Cold worked steel bars for the reinforcement of concrete
BS 4482	Hard drawn mild steel wire for the reinforcement of concrete
BS 4483	Steel fabric for the reinforcement of concrete
CP 110	The structural use of concrete
CP 114	The structural use of reinforced concrete in buildings
CP 115	The structural use of prestressed concrete in buildings
CP 116	The structural use of precast concrete
CP 2007	Design and construction of reinforced and prestressed concrete structure for the storage of water and other aqueous liquids.

AHŞAP KONSTRUKSİYON

BS 1088&4079	Plywood for marine craft
BS 1210	Wood screws

BS 1282	Classification of wood preservatives and their methods of application
BS 1455	Plywood manufactured from tropical hardwoods
BS 1494	Fixing accessories for building purposes
BS 1579	Connectors for timber
BS 1860	Structural timber. Measurement of characteristics affecting strength
CP 98	Preservative treatments for constructional timber
CP 112	The structural use of timber

Appendix B

Üreticinin El Kitabı :

Üreticinin el kitabı Siloların esas ve güvenli kullanımını sağlayacak bilgiyi kapsayacaktır. Aşağıdaki başlıklar için bilgileri içermelidir.

1- Projenin yapısından doğan sınırlamalardan dolayı kullanıcının optimum sonucu alabilmesi için kullanım bilgileri:

- a) Doldurma nem muhtevası
- b) Kayıpların kontrolü
- c) Doldurma ve boşaltma hızı
- d) Malzemenin üst sınırı
- e) Su oranını kontrol etme metodu
- f) Doldurma ve boşaltma makinelerinin doğru kullanımı, malzemelerin boyutları tavsiye edilmelidir.

2- Silonun kullanımında alınacak tedbirler

3- Silonun kullanımında doğabilecek kazaların ikazı

4- Silonun elemanlarının ve makina aksanının kontrolü. Peryodik kontrol zamanları belirtilecek

5- Muntazam bakım ve makina aksanından veya dış kuvvetlerden doğacak paslanma ve hasarlar için klavuz

6- Silonun tadilatı için sınırlamalar

7- Muntazam bakım, kontrol ve parça değişimi için mevcut faaliyetler.

Appendix C

Silonun Standart Kapasitesi :

Silonun standart kapasitesi aşağıdaki formül kullanılarak bulunacaktır.

$$C_T = \frac{\Lambda d^2}{4} (0,126 h_U + 0,0058 h_U^2) \text{ Ton}$$

Bu formül silonun çok kuru malzeme ile doldurulmasına ve Appendix D deki Tablo

1'e dayanmaktadır.

Malzemenin oturması $h_s = 0,90 h_u$ derinliğine kadar müsaade edilmiştir. Kullanılabilir yüksekliğin (h_u) belirlenmesinde makinaların hacmi gözönüne alınacaktır. Esas kapasite doldurulan malzemenin tipine ve özelliğine göre değişecektir. Taze yapraklı otlarda kapasite standart kapasitenin % 25 üstünde iken kuru otlarda % 20 altındadır.

Appendix D

Silindirik Yüksek Tahıl Siloların Kullanımı için Klavuz

D. 1. Doldurmada tavsiye edilen nem miktarı :

Çok kuru malzemeler için doldurmadaki nem miktarı Tablo 1, 2, 3'deki sınırlar içinde olmalıdır. Bu mayi basıncının riskine sebep olmadan silo içindeki yoğunluğu artırır. Oturmuş malzemedeki kuru maddelerin tonajı iç çapı 5, 6, 7 metre olanlar için verilmiştir. Tablo 3'de tahıl malzemelere ve nemli malzemeler için doldurmadaki nem oranları verilmiştir.

Üst sınırdan fazlaki nem miktarı fazla basınca sebep olarak yapısal hasarlar verebilir. Alt sınırdan daha az nem miktarı fazla ısınmaya sebep olabilir. Bu durum yangına kadar hasar verebilir.

Tablo 1 . Yarı olgunluktaki otlar için doldurmadaki nem oranında tavsiye edilen

(C.P. 12 % M.A.D. % 28 lifli)

Nem Oranları	Kuru Malzeme Silo Çapı			Yaklaşık olarak malzemenin üstün derinliği (h_s)
	5 m.	6 m.	7 m.	
%	t	t	t	m
-	0	0	0	10 % h_u (üstün)
65 - 75	15	20	30	0 - 5
60 - 70	20	30	40	5 - 10
55 - 60	25	40	50	10 - 15
50 - 60	30	45	65	15 - 20
45 - 55	35	55	75	20 - 25

Tablo 2 . Taze Yapraklı otlar için doldurmadaki nem oranında tavsiye edilen

(C.P. 18 % M.A.D. lifli 24 %)

Nem Oranları	Kuru Malzemeler Silo Çapı			Yaklaşık olarak malzemenin üstün derinliği (h_s)
	5 m.	6 m.	7 m.	
%	t	t	t	m
-	0	0	0	10 % h_u (üstün)
65 - 75	10	10	15	0 - 2,5
60 - 70	10	15	20	2,5 - 5
55 - 65	25	40	50	5 - 10
50 - 60	35	50	65	10 - 15
45 - 55	40	55	80	15 - 20
40 - 50	45	70	95	20 - 25

Tablo 3 . Kuru ot ve kuru zirai malzeme için doldurmadaki nem oranında tavsiye edilen

(C.P. 8 % M.A.D. lifli 32 %)

Nem Oranı	Kuru malzeme			Yaklaşık olarak malzemenin üstün derinliği (h_s)
	Silo çapı			
	5 m.	6 m.	7 m.	
%	t	t	t	m
-	0	0	0	% 10 h_u (üsten)
70 - 75	10	20	25	0 - 5
65 - 75	20	25	40	5 - 10
60 - 70	20	25	45	10 - 15
55 - 65	25	35	50	15 - 20
50 - 60	30	45	60	20 - 25

Yapısal nedenlerden dolayı silolar yukardaki tablolardaki nem oranlarından daha çok kesinlikle doldurulmayacaktır. Daha az su oranları üreticiler tarafından (Tarımsal veya makina aksamı yüzünden) istenebilir. Burada kapasitenin düşmesi ve besleyici kayıplar kabullenilmelidir.

D. 2. Kayıpların Kontrolü :

Besleyici kayıpları şu şartlarla önlenir:

- Yeşil ot doldurma sırasında hızlı sıkışırsa, (tercihen 3 gün içinde 500 kg/m^3 minimum olarak 400 kg/m^3), fazla ısınma riski azalır.
- Malzemenin dışı içine oksijen girmesini önleyecek şekilde kaplanırsa
- Boşaltmanın malzemesi yüzeyinin ısınmasını ve bozulmasını önleyecek şekilde hızlı olması.

D. 2. 1. Doldurma hızı (Debisi) :

Sıkışma hızı, günlük doldurulan ortalama tonaj su muhtevası ve silo çapına bağlıdır. D. 2.(a)'yı sağlamak için Tablo 4'deki hızlar yeterlidir. Bunlar 3 günde 400 kg/m^3 sağlamak için minimum değerlerdir. Tablo 4 aşağıdaki kabullere dayanmaktadır.

1) Doldurma hızı iyi şartlarda günlük 8 saat üzerinden hesaplanmıştır. (hava ve arızalar için gecikmeler hariç)

2) Normal şartlarda elde edilen 3 günlük ortalama hız iyi şartlardakinin $1/3$ 'ünden daha az olmayacaktır. Üç günlük 500 kg/m^3 olarak belirtilen yoğunluk oranını el-

de etmek için Tablo 4'de yer alan doldurma oranlarından yaklaşık olarak % 50 daha büyük oranların kullanılması gerekir.

Bu oranlara uyulduğunda, fazla ısı tehlikesi asgariye indirilmiş olur.

Baca borusu tipindeki boşaltıcılarla donatılmış olan silolarda tali fazla ısınmaların ortaya çıkmaması için üç günde 500 kg/m³'lük orandan daha yüksek bir doldurma oranı gerekir.

Silo için seçilecek çap belirlenirken, seçilecek saha makineleri sisteminin de dikkate alınması gerekir. Böylece, silonun alt kısmı için tavsiye edilen nem muhtevasının gerekli görülen doldurma oranında elde edilmesi de sağlanabilir.

Tablo 4 . Silo çapı ve doldurma oranı arasındaki bağıntı

(Ortalama çalışma şartlarında 8 saatlik çalışmaya dayalı olarak)

Nem Oranı			Üç günde 400 kg/cm ³ yoğunluk sağlamak için gerekli olacak asgari doldurma oranı		
Yaş Yapraklı Ot	Orta Kurulukta Ot	Kuru Ot	Silo Çapı		
			5 m.	6 m.	7 m.
%			Ton/saat	kuru madde	
65	70	75	0,6	0,9	1,2
60	65	70	1,0	1,5	2,0
55	60	65	1,6	2,2	3,1
50	55	60	2,4	3,4	4,6
45	50	55	3,4	4,9	6,6
40	45	50	5,0	7,1	9,7

D. 2. 1. 1. Daha fazla çalışmaya imkân verilen durumlarda olduğu gibi daha az hava muhalefeti ve makine gecikmeleri ortaya çıkan durumlarda doldurma oranı, oransal olarak azaltılabilir.

D. 2. 2. Silolanmış hayvan yeni (Silaj) kütlesinin havasının kontrol edilmesi :

Malzeme kütlesi içine oksijen girdiğinden, hem gıda kaybı hem de fazla ısınmanın ortaya çıkması sözkonusudur. Malzeme kütlesinin ekseriya kayıplarının ve ısınmasının gerçekleştiği, özellikle doldurma sırasında oksijen girişini sınırlayacak bir şekilde düzenlenmesi önem kazanır. Mümkün olan hallerde silolanmış hayvan yemi yüzeyi, geçirmez

bir örtü ile, doldurmanın fiilen yapılmadığı zamanlarda, depolama döneminde ve yükleme için aralık verildiğinde, örtülmelidir. Bu örtüyü yerleştirmek veya kaldırmak için, siloya girmeden önce, operatör imâlatçı tavsiyelerine uygun olarak silonun gerektiği gibi havalandırılmakta olduğundan emin olmalıdır. (Bakınız Madde 7 ve 8)

Silolanmış hayvan yeminin (silaj) alt ve üst boşaltma yeri kapağında veya boru kullanılan bir silo ağzından çıkartılmasının sağlandığı silolarda silaj kütlesi içine giren oksijen miktarının kabul edilebilir bir seviyede tutulmasını sınırlamak için dikkat etmek gerekir.

Boşaltma yapılmıyorsa, her iki tür boşaltıcı için, alt kısımdaki silo ağızı her zaman kapalı tutulmalıdır. Alt boşaltma yeri kapakları bulunan boşaltıcılarda silonun bütün, çatısı dahil, gaz geçirmeyecek biçimde (sıkıca) tutulmalıdır. Ancak, havalandırma imkânı sağlanmalıdır. (Bakınız 4.1.3. ve Madde 6). Üt ve alt silo ağızlarını sürekli olarak açık tutarak gevşek malzeme kütlesinden havanın devridaimine imkân verilmesi fazla ısınmaya yol açacağı ve bazı müstesna durumlarda yangın veya patlama ortaya çıkacağından bunun önlenmesi için özel dikkat gösterilmelidir.

Üst kesicili, kapaklı baca tipindeki boşaltıcılarda, D. 1 ve D. 2. 1. de tavsiye edildiği üzere, malzemenin hızlı bir şekilde yoğun bir kütle haline dönüştürülmesi için özel dikkat gösterilmesi gerekmektedir. Doldurma ve depolama süresinde, silolanmış hayvan yeminin (silaj) üst yüzeyi, geçirmez bir örtü ile kapatılmalı ve devridaimi engellemek için baca borusu tipindeki girişin bloke edilmesi gerekir. Alternatif olarak alt boşaltma kapağı olanlardaki gibi yapının tamamı gaz geçirmez hale getirilmeli fakat havalandırılmalıdır. Boşaltma döneminde, boşaltma yapılan dönem dışında, alt silo ağzının kapalı tutulması şartıyla, üst silaj yüzeyinin havalandırılması mümkündür.

D. 2. 3. Boşaltma oranı

Üsten boşaltılan bir silonun boşaltılması sırasında kışın boşaltma oranının $15 \frac{\text{kg D.M.}}{\text{m}^2 \text{ gün}}$ ve yazın $20 \frac{\text{kg D.M.}}{\text{m}^2 \text{ gün}}$ olması şartıyla tali ısınma ortaya çıkması muhtemel değildir. Günlük asgari yükleme ihtiyacı içinde sağlanacak boşaltma oranıyla belirlenen çaptan daha fazla silo çapı olmamalıdır. Tablo 5'de 5 m., 6 m. ve 7 m. kuturundaki siloların asgari boşaltma oranları belirtilmektedir.

Tablo 5 . Asgari boşaltma oranları

	Silo Çapı		
	5 m.	6 m.	7 m.
	$\frac{\text{kg D.M.}}{\text{m}^2 \text{ gün}}$		
Yaz	390	570	770
Kış	290	430	575

D. 3. Kuru malzeme hayvan yemleri için siloların kullanılması sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar

Tablo 1, 2, 3'de tavsiye edilen nem muhtevasına göre soldurulmuş olan kuru malzeme hayvan yemlerinin muhafazası için dairesel silolar en etkin olan araçlardır. Gerektiği gibi soldurulan hayvan yemi veya yeşillik kulede yaklaşık olarak 900 kg/m^3 'lük bir yoğunluk meydana getirmekte böylece asgari kayıp ortaya çıktığı gibi maksimum kapasite kullanımına imkân vermekte yan sıvı basıncı veya etkisi olmamaktadır.

Silo çalıştırılırken aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir :

(a) Tablo 1, 2 ve 3'de belirtilen tavsiye edilen nem muhtevalarına göre doldurmanın çiftçi tarafından yapılması amaçlandırılmalıdır.

(b) İmalatçı veya satıcı tarafından tavsiye edilen metod kullanılarak doldurma sırasında nem muhtevasının değeri kontrol edilmelidir.

(c) Tavsiye edilenden daha nemli (yaş) bir ürün ile silo kazrak doldurulmuş ise, ek yerlerinden sıvı sızmaya başlayabilir, uç durumlarda, büyük bir eklenti bölgesinde dışarıya akma ile karşılaşmakta ve siloya fazla baskı yapılan bir durum görülebilmektedir. Önemli bir sızıntı görüldüğünde doldurma hemen durdurulmalı, imalatçının talimatları dışında siloya herhangi bir madde daha koyulmamalıdır. Silo tekrar doldurulmadan önce siloda bulundurulmuş hayvan yemi yeşilliği kullanılmalıdır.

Siloda sızma meydana gelmiş ise paslanma nedeniyle bir hasar ortaya çıkması bakımından kontrol edilmeli ve silo müteakip yıl için doldurulmadan önce önemli derecede hasarlı parçalar yenilenmeli veya değiştirilmelidir.

(d) Siloların hayvan yemi (yeşillik) silonun merkez eksenine etrafında eşit bir şekilde dağıtılmalıdır.

Appendix E

Silolanmış Hayvan Yemi Sızıntısının Yapısı

Tabii malzemeden sızan asit miktarının derecesi pH 3.7'den 5.5 arasındadır.

Laktik asit	% 5
Asetik asit	% 1 1/2
Butirik asit	% 1/2
Süfat asit SO ₃	% 0,1

Appendix F

Silo Duvarları için Eğilme Katsayısı

F. 1. Silo Duvarlarına Yapılan Basınç :

Kullanım halinde silo duvarlarındaki aksaklıklara ilişkin olarak özellikle hassas olan $f_{crit} = K_1 \frac{E_t}{n}$ bağıntısındaki K_1 değerine dikkatinizi çekeriz. Normal olarak K_1 belirlenirken yan baskıların dikkate alınması yönünde bir tavsiye yapılmamaktadır.

F. 2. İçsel Emme Durumunda Bükülme :

Bağıntıda yer alan p_{crit} değeri üst ve alt sınır seviyesi değerlerinin arasında yer alır. Üst sınır seviyesi (Bakınız F.3 (2)) silindirik kısımlara uygulanmakta bunun duvarları membran (diyafram) gerilme kuvveti elastikiyeti geliştirmekte silindirin üst ve alt kısımlarına baskı yaparak dairevi bir şekil almaktadır.

Aşağıdaki ifadeyi kullanarak kuvvetlendirici halkaların ve silo duvarlarının bükülme kuvvetinin alt sınır değerini N/m² olarak belirlemek mümkündür.

$$p_{crit} = \frac{E_t^3}{4 r^3 (1-u^2)} + \frac{3 EI}{r^3 S}$$

F. 3. Referanslar :

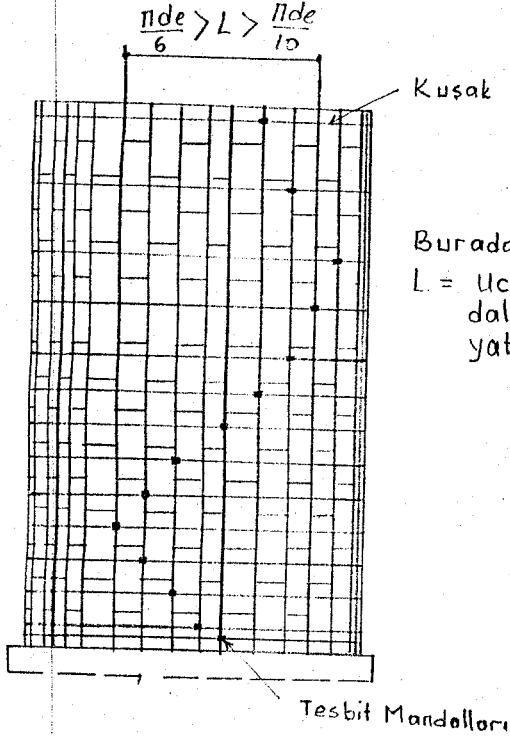
Silindirlerin bükülme durumuna ilişkin olarak Royal (Kraliyet) Hava Cemiyeti Yayınlarından rehber olarak yararlanılabilir. (Notlar 04.01.01 ve 04.09.01)

Buna ek olarak aşağıda belirtilenlerden de bilgi edinilebilir :

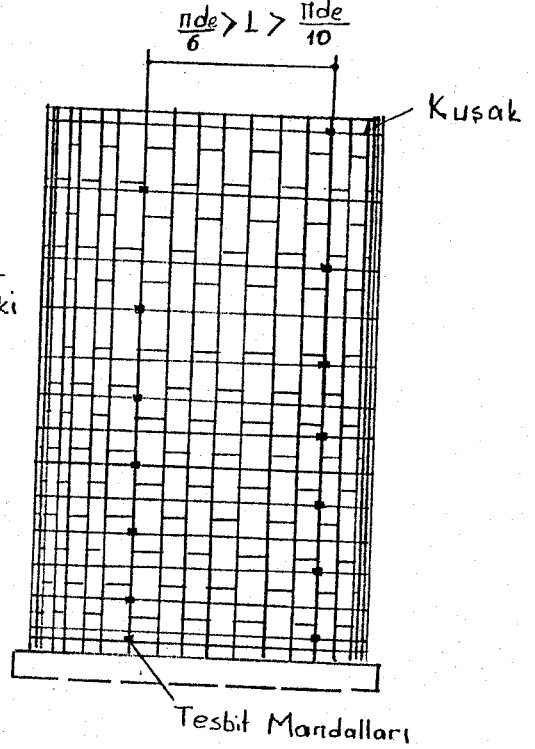
(1) Gerard. G. ve Becker, H. "Bünyesel İstikrar El Kitabı : Kısım III, Eğik levha ve elemanların bükülmesi" N.A.C.A. Teknik Not 3783, 1957.

(2) Sturm, R.G. "İki Duvarlı Silindrielerin Yıkılma Kuvveti Konusunda Bir Araştırma" Eng. Exp. Sta., İllinois Üniversitesi Bülteni No. 329, 1941.

(3) Saunders, H. E. ve Windenburg, D. S. "İnce Silindirik Kovanların Dış Basıncı Altındaki Kuvveti", Trans, A.S.M.E.



Burada;
 $L =$ uc tesbit mandalları arasındaki yatay mesafe



Tesbit Mandallarının Zik zak olarak Sıralanması

Not : b genel olarak kapıya bağlantılı çemberler içindir, a diğer çemberler için.

6.1. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamızın amacı, betonarme siloların projelendirilmesinde projeciye yardımcı olabilecek bir eser kazandırmaktır. Bu nedenle yaptığımız çalışmalar sonucu, bir silonun projelendirilmesinde gözönüne alınması gereken hususları şöyle sıralayabiliriz;

- Silonun yapılacağı yerin iyi seçilmesi, ulaşım olanakları, yükleme ve boşaltma tesisleri gibi ek tesislerin yerlerinin iyi belirlenmesi gerekir.

- Silonun yapılacağı yerin zemin etüdüleri iyi yapılmalıdır. Birim alana gelen düşey yük fazla olduğundan zemin emniyet gerilmesinin iyi belirlenmesi gerekir. Aksi takdirde ya fazla israf yapılır ya da emniyetsiz bir temel yapılmış olacaktır. Ayrıca silolar yüksek yapı olduklarından yatay yüklere, dolayısıyla devrilmeye karşı hassas yapılardır. Bu nedenle Temel tipinin seçimi önem kazanmaktadır.

- Siloda depolanacak malzemenin karakteristik özelliklerinden faydalanarak silonun tabanına ve cidarlarına gelecek yüklerin hesabını çeşitli şartname ve yönetmeliklerde belirlenen hesap esaslarına göre yapılmalıdır. Bu şartnameler genellikle Reimbert ve Janssen'in hesap yöntemlerini esas almaktadır. Bu sebepten aralarında hesap yöntemi bakımından bir ayrıcalık yoktur. Fakat her memleketin kendi şartlarına göre bazı yapım ve kullanım esasları vardır. Bu sebepten dolayı projeci silonun yapılacağı yerin şartlarına uygun memleketin şartnamesinden yararlanmalıdır. Siloların yapım esasları diğer betonarme inşaatların yapım esaslarına uygun olarak yapılmalıdır.

Siloların kullanım amaçları itibarı ile içindeki malzemeleri tabiatın etkilerinden koruyacağından silo duvarları ve tavanı, tabanı gayet iyi bir şekilde inşa edilmiştir.

Şöyleki; malzeme neme karşı hassas bir malzeme olabilir, (çimento, tahıl vs.) veya malzeme büyük oranda nem ihtiva etmiş olabilir. Bu sebeple betonun nem geçirirliği önlenmelidir. Özellikle betonun ek yerlerine dikkat edilmelidir. Çok hassas durumlarda önerilmeli betonarme silo yapımına gidilmelidir.

Silolarda doldurma ve boşaltma esnasında oluşan gaz sıkışmasına karşı pünomatik tedbirler alınmalı, silonun içindeki gazın basıncını devamlı kontrol altında tutabilecek bir sistem yapılmalıdır. Silo duvarlarının iç ve dış yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı iyi belirlenmelidir. Bu bazı malzemelerde 400°C varabilmektedir. Bu durumda sıcaklık hesabı önem taşımaktadır.

Memleketimizde bir silo şartnamesi bulunmaması bu konuda çalışma yapan mühendisleri oldukça zor duruma düşürmektedir. Projelendirilmede yabancı şartname ve kaynaklardan yararlanılmaktadır. Bu durum aynı konuda değişik hesap ve inşaa yöntemlerinin kullanımına sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak yapımda ve kontrollükta çeşitli anlaşmazlıklara düşülmektedir.

Bu nedenle memleketimizde bu konuda bir şartname hazırlanması acil zorunlu olmuştur. Hazırlanacak şartname projeyi yapan ve kontrol edene yardımcı olacaktır. Ayrıca yapımcıyla gerek projeci gerekse kontrollük arasında bir yönetmelik niteliği taşıyabilmelidir. Bu gibi durumlarda ortaya çıkan anlaşmazlıklar böyle bir şartnamenin ışığı altında giderilebilir, aynı zamanda memleketimizde boşluğu hissedilen bir şartnamede kazandırılmış olacaktır.

K A Y N A K L A R

1. REIMBERT A. UND M. "SİLOS" Berechnung, Betrieb und Ausführung unter besonderer Berücksichtigung der silolagerung Landwirtschaftlicher guter Januar 1975
2. PATERSON, W.S. "A Selective Bibliography on The design of hoppers and silos" CIRIA Bibliography 1. 1970
3. REYNOLD E.C. And STEEDMAN C.S. "Reinforced concrete designer's Handbook 9 Edition 1981
4. CELESUN H. "Betonarme" İ.D.M.M.A. yayınları 1980
5. GEDİZ H.S. "Pratik Betonarme" Ankara, 1973
6. Sofarion S.S. and Harris EC. "Book on silo design, now in preparation"
7. Beton Kalender TEİL II 1976
8. ACI. standart Recommended Practice for Design and construction of concrete Bins, Silos and bunker for storing granular materials (ACI 313 - 77)
9. BSI Specification for cylindrical forage tower silos and recommendations for their use (BS 5061 : 1974)
10. VSL. Öngerme Teknik Bülten, Yapı Sis. A.Ş. İstanbul
11. Commentary on Recommended Practice for Design and construction of concrete Bins, Silos, and bunker for storing Granüler Materials (ACI. 313 - 77)
12. T.S. 500 Betonarme Yapıların Yapım ve Hesap Kuralları 1985

Ö Z G E Ç M İ Ş

M. Cahit TURHAN 1960 yılında Trabzon'da doğdu, İlk öğrenimini Kavala köyünde yaptı. Orta öğrenimini Trabzon Atatürk Ortaokulunda, Lise öğrenimini Trabzon Lisesinde tamamladı. Yüksek öğrenimini K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği bölümünde yaptı.

1982 - 1983 yıllarında Askerlik görevini yaptıktan sonra 1984 yılında K.Ü. İnşaat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitime başladı. 1986 yılında Yüksek Lisans Eğitimi tamamladı.