

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çelik Hububat Silolarının Performans Analizi

Kemal FİLFİLİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

Çelik Hububat Silolarının Performans Analizi

Kemal FİLFİLİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 03/10/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çekluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. H. Murat ARSLAN (Danışman)

: Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM

: Doç. Dr. Baki BAĞRIAÇIK

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

İÇİNDEKİLER

ÖZ	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL ve METOT	7
3.1. Giriş	7
3.2. Silonun Tanımı	7
3.3. TS 12973-Silolar Standardına Göre Tanım ve Kapsam	8
3.4. Tahıl Depolamada Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar.....	11
3.5. Silolardaki Akış Şekilleri	12
3.6. Çekirdek Akımının Sorunları ve Kullanım Alanları	14
3.6.1. İstenilen akım	15
3.6.2. Silodaki Akışı Etkileyen Faktörler ve Kütle Akışı Sağlama	15
3.7. Kütle Akışı Sağlayan Huni Tasarımı.....	16
3.8. Malzeme Akışında Köprü Oluşumu.....	17
3.9. Silodaki Köprünün Mukavemeti: Malzeme Davranışı.....	18
3.10. Silolarda Sık Görülen Hatalar ve Potansiyel Tehlikeler.....	19
3.11. Silolarda Tasarım Hataları.....	19
3.12. Silolarda İnşaat Hataları ve Önleme Önerileri.....	22
3.13. Silolarda Kullanım ile İlgili Hatalar	22
3.14. Silolarda Burkulma Riskine Karşı Dayanıklılık.....	24
3.15. Silolarda Bakım Hataları ve Önleme Önerileri	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Çelik Silonun EN 1991-4 Eurocode 1 Kapsamında Tasarımı	27
4.2. Çelik Tahıl Silolarında Tasarım Sınırlamaları.....	27
4.3. Çelik Tahıl Silolarında Kullanılan Temel Tanımlar	29
4.4. Etkilerin Gösterimi	31
4.5. Silolardaki Etkilerin Sınıflandırılması.....	32
4.6. Tasarım Durumları	33
4.6.1. Silolanmış malzeme tasarımı durumu	33

4.6.2. Farklı silo geometrik durumları için tasarım durumu	35
4.6.3. Özel Tasarım Durumları.....	36
4.7. Silolanmış Malzemenin Özellikleri ve Etkileri	37
4.7.1. Genel kurallar.....	38
4.7.2. Silolanacak malzemenin test edilmesi.....	40
4.7.3. Basitleştirilmiş yaklaşım	42
4.8. Silo Dikey Duvarına Etki Eden Yükler	45
4.9. Örnek Silo Tasarımı.....	46
4.10. Düşey Silo Duvarına Etkiyen Yükler:	48
4.10.1. Boşaltma yükleri	50
4.11. Silindir Arpa Silosunun SAP2000 yardımıyla Modellenmesi.....	51
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çelik Hububat Silolarının Performans Analizi

Kemal FİLFİLİ

Danışman: Prof. Dr. H. Murat ARSLAN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Çelik silolar, tahıl depolamaya yönelik tesisler olarak kabul edilir. Siloların uzun yıllar kullanabilmemiz için tasarımı sırasında ekonomik ve güvenli olmasına özen gösterilmiştir. Silolar, oluşturuldukları malzemeye, kullanım amacına ve depolanacak malzemelere göre farklılık göstermektedir. Tahıl Silolarının Tasarımına İlişkin Eurocode esas alınarak ve tasarım kuralları uygulanarak düzenlenerek hazırlanmış olup, Türkçedeki araştırma içeriğini zenginleştirmek amacıyla tasarım stili sayısal örneklerle de netleştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmayla ilgili Türkçe dilinde kapsamlı bir referans bulunmamaktadır.

Silindirik siloların daha düşük stres ve deformasyon gösterdiğini, bu nedenle daha uygun olduklarını ve daha az yapı malzemesi gerektirdiklerini ortaya koymaktadır. Ayrıca, silindirik siloların geometrisi, içlerindeki malzemenin basıncını daha eşit bir şekilde dağıtarak yapısal stabiliteyi artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Silo, çekirdek akımı, kütleli akım, doldurma yükleri, boşaltma yükleri.

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

MSc THESIS

Performance Analysis of Steel Grain Silos

Kemal FİLFİLİ

Advisor: Prof. Dr. H. Murat ARSLAN

Department of Civil Engineering

ABSTRACT

Steel silos are modern structures designed to store and protect grain and other granular materials. Silos differ from many other structures in that their design loads can affect almost the entire economic life of the structure and they are exposed to usage loads exceeding their own weight. It is thought that this study will fill a gap since there is no comprehensive source in Turkish for the design of steel tanks, which have different characteristic features and are widely used in our country as well as all over the world. The study, based on the Eurocode, which will have legal sanction for our country after the possible future membership of the European Union, is prepared in a specification format in which the design principles and design rules of steel silos in general and grain silos, which are more common than different types in particular, are presented. An attempt was made to explain the design method and philosophy, and then to increase the understandability of the subject with numerical examples.

The analysis results show that cylindrical silos show lower stress and deformation, therefore they are more suitable and require less construction material. In addition, the geometry of cylindrical silos increases structural stability by distributing the pressure of the material inside them more evenly.

Keywords: Silo, core flow, mass flow, filling loads, dumping loads.

TEŞEKKÜR

Seminer çalışmam boyunca bana büyük emek ve özveriyle yaklaşan, her türlü desteği ve ilgisini esirgemeyen, sabrı ve hoşgörüsüyle bu tezin tamamlanmasında büyük rol oynayan danışmanım Prof. Dr. Hacı Murat Arslan'a derin şükranlarımı sunarım. Ayrıca, tez aşamasında kıymetli bilgilerini ve yapıcı eleştirilerini paylaşarak katkı sağlayan tüm bölüm hocalarıma, SAP 2000 programının kullanımı konusunda bana yardımcı olan ve her zaman desteklerini esirgemeyen değerli meslektaşım Mahmut Kadah'a da teşekkür ederim. Bu tezin tamamlanmasında emeği geçen herkese bir kez daha teşekkürlerimi sunarım.



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Etki değeri sınıflandırması	32
Çizelge 4.2. Düşey silo duvar yük hesabında malzeme karakteristik değeri	34
Çizelge 4.3. Huni duvar yük hesabında kullanılacak malzeme karakteristik değeri	34
Çizelge 4.4. Duvar sürtünme sınıflandırması	44
Çizelge 4.5. Sıklıkla kullanılan taneli malzemeler için tipik değişim katsayısı değeri	44
Çizelge 4.6. Malzeme özellikleri	45
Çizelge 4.7. Arpa ve D2 tip duvar için karakteristik değeri	48
Çizelge 4.8. Yatay basıncın derinlikle değişimi	48
Çizelge 4.9. Sürtünme çekmesinin derinlikle değişimi	49
Çizelge 4.10. Düşey basıncın derinlikle değişim	50
Çizelge 4.11. Simetrik boşaltma yükü ve boşaltma ek yükü	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çelik silo iş akış şeması	11
Şekil 3.2. Kütlesel akım ve çekirdek akımının karşılaştırılması	12
Şekil 3.3. Bütün malzemenin hareket halinde olduğu kütlesel akım	14
Şekil 3.4. Malzemenin bir kısmının hareket halinde olduğu çekirdek akımı	15
Şekil 3.5. Akım köprüsü oluşumu.....	17
Şekil 3.6. Akım köprüsü ve kritik çap.....	17
Şekil 3.7. Dairesel siloda eksantrik boşaltma esnasında yük dağılımı	20
Şekil 3.8. Kütlesel akım ve çekirdek akımında basınç dağılımı	21
Şekil 3.9. Vidalı sürücü hatasından oluşan eksantrik boşaltma	24
Şekil 4.1. Silo şekilleri ile boyutlar ve basınç isimlendirmesi	28
Şekil 4.2. Huni şekilleri.....	29
Şekil 4.3. Silolarda Akım Şekilleri	31
Şekil 4.4. Boru akım durumları.....	35
Şekil 4.5. Karışık akım durumları.....	36
Şekil 4.6. Kütlesel akım basıncı oluşma şartları	38
Şekil 4.7. Yüklerin gösterimi	49
Şekil 4.8. Doldurma durumunda silo duvarına etki eden basınçlar grafiği.....	50
Şekil 4.9. Model seçimi.....	52
Şekil 4.10. x-z planında yardımcı eksenler girişi	52
Şekil 4.11. Beton ve çeliğin özellikleri tanımı	53
Şekil 4.12. S duvarı, hunisinin kesiti ve radye temeli tanımı.....	53
Şekil 4.13. Silo kolonları tanımı.	54
Şekil 4.14. Silonun kesiti çizimi	54
Şekil 4.15. Silo gövdesi çizimi.....	55
Şekil 4.16. Silo hunisi çizimi	55
Şekil 4.17. Silo gövdesi ve hunisi	56
Şekil 4.18. Silo gövdesi kesiti	56
Şekil 4.19. 10 adet kolon çizimi.....	57
Şekil 4.20. Radye temel mesnet tanım	57
Şekil 4.21. Radye temel yay tanımı	58
Şekil 4.22. Sap 2000’de oluşturulan silo kesit görünüsü	58
Şekil 4.23. Yük tanımı yapılması	59
Şekil 4.24. Yük kombinasyonları tanımı.....	59
Şekil 4.25. Yük desenleri tanımı	60
Şekil 4.26. Phf yükünün silo iç duvarına uygulanması	61

Şekil 4.27. Phf basınç yüklemesi.	61
Şekil 4.28. Pwf yükünün silo duvarına aktarılması.....	62
Şekil 4.29. Pwf sürtünme yüklemesi.....	62
Şekil 4.30. Ppf silo duvarına uygulanması.....	63
Şekil 4.31. Ppf basınç yüklemesi.	63
Şekil 4.32. Phe yükünün silo iç duvarına uygulanması.....	64
Şekil 4.33. Phe basınç yüklemesi.	64
Şekil 4.34. Pwe yükünün silo duvarına aktarılması.	65
Şekil 4.35. Pwe sürtünme yüklemesi	65
Şekil 4.36. Ppe silo duvarına uygulanması	66
Şekil 4.37. Ppe basınç yüklemesi.	66
Şekil 4.38. Pnf silo hunisine uygulanması	67
Şekil 4.39. Pnf basınç yüklemesi.	67
Şekil 4.40. Ptf yükünün silo hunisine aktarılması.....	68
Şekil 4.41. Ptf sürtünme yüklemesi.....	68
Şekil 4.42. Pne silo hunisine uygulanması.....	69
Şekil 4.43. Pnf basınç yüklemesi.	69
Şekil 4.44. Pte yükünün silo hunisine aktarılması.	70
Şekil 4.45. Pv silo hunisine uygulanması.....	70
Şekil 4.46. Pv basınç yüklemesi.....	71
Şekil 4.47. x yönündeki deplasmanlar değişim grafiği	71
Şekil 4.48. y yönündeki deplasmanlar değişim grafiği	72
Şekil 4.49. z yönündeki deplasmanlar değişim grafiği	72
Şekil 4.50. Silo kolonlarındaki eksenel kuvvetler.....	73
Şekil 4.51. Maksimum gerilmeler değişim grafiği.....	73
Şekil 4.52. Radiye temeldeki reaksiyonlar.....	74
Şekil 4.53. Radiye temeldeki toprak basıncı değişim grafiği.....	74
Şekil 4.54. Radye temeldeki moment değişim grafiği (M11).....	75
Şekil 4.55. Radye temeldeki moment değişim grafiği (M22).....	75
Şekil 4.56. Radye temeldeki max moment değişim grafiği (Mmax)	76
Şekil 4.57. Radye temeldeki Vmax değişim grafiği.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Silo kesit alanı
C_o	: Bütün katılar için sabit olan boşaltma faktörü
C_S	: Narinlik ayar faktörü
C_{op}	: Ek yük malzeme referans faktörü
C_b	: Taban yük büyütme katsayısı
C_h	: Yatay basınç için boşaltma faktörü
C_{pe}	: Boşaltma ek yük faktörü
C_{pf}	: Doldurma ek yük faktörü
C_w	: Duvar sürtünmesi için boşaltma faktörü
E	: Akış kanalı eksantrikliğinin silo yarıçapına oranı
F	: Karakteristik huni basınç oranı
F_e	: Boşaltma esnasındaki huni basınç oranı
F_f	: Doldurmadan sonra huni basınç oranı
F_{pe}	: İnce duvarlı silo duvarında boşaltma ek yükünden dolayı oluşan yatay kuvvet
F_{pf}	: İnce duvarlı silo duvarında doldurma ek yükünden dolayı oluşan yatay kuvvet
K	: Yanal basınç oranı karakteristik değeri
K_u	: Yanal basınç oranı üst değeri
K_l	: Yanal basınç oranı alt değeri
K_m	: Yanal basınç oranı ortalama değeri
S	: Huni şekil katsayısı
U	: Silo iç çevresi
Y_j	: Janssen basınç derinlik değişim faktörü
Y_R	: Küçük eğimli silo basınç derinlik değişim faktörü
Küçük Harf Simgeler	
a	: Ortalama değerleri üst ve alt karakteristik değerlere dönüştürme katsayısı
a_K	: Yanal basınç oranı değiştirme sabiti
a_μ	: Duvar sürtünme katsayısı değiştirme sabiti
b	: Dikdörtgen silo kısa kenarı, huni basıncı için deneysel sabit
d_c	: Silo kesiti iç karakteristik boyutu
e_f	: Doldurma esnasında yığın yüzeyinin maksimum eksantrisitesi
e_i	: Doldurma durumunda oluşan eksantrisitesi
e_o	: Boşaltma kapağı eksantrisitesi
e_t	: Dolumdan sonra üst yığın maksimum eksantrisite
h_0	: Üst yığın tabanından eşdeğer yüzey altındaki derinlik

h_b	: Çıkış eşdeğer yüzeye olan mesafe
h_c	: Geçiş ile eşdeğer yüzey arasındaki düşey mesafe
h_h	: Geçiş bölgesi ile apex arasındaki huni yüksekliği
h_{tp}	: Üst yığının toplam yüksekliği
N	: Huni basınç denklem üssü
p_h	: Dikey silo duvarına etkiyen yatay basınç
p_n	: Huni duvarına etkiyen normal basınç
p_w	: Dikey duvarına etkiyen teğet sürtünme çekmesi
p_t	: Huni duvarına etkiyen teğet sürtünme çekmesi
p_v	: Silolanan malzemeye etkiyen dikey basınç
p_{he}	: Boşaltma durumundaki yatay basınç
p_{hf}	: Dolumdan sonraki yatay basınç
p_{ne}	: Huni duvarına boşaltma esnasında dik olarak etkiyen basınç
p_{nf}	: Huni duvarına doldurmadan sonra etkiyen basınç
p_p	: Ek basınç
p_{pe}	: Boşaltma durumundaki ek basınç
p_{pf}	: Doldurmadan sonraki durumundaki ek basınç
p_{pfs}	: Çevresel koordinat θ açısına göre doldurma durumundaki ek basınç
p_{pes}	: Çevresel koordinat θ açısına göre boşaltma durumundaki ek basınç
p_{te}	: Boşaltma esnasında sürtünme çekmesi
p_{tf}	: Doldurmadan sonraki durumundaki sürtünme çekmesi
p_{vf}	: Doldurmadan sonraki durumundaki dikey basınç
p_{vft}	: Geçiş bölgesinde doldurmadan sonraki durumda oluşan dikey basınç
p_{we}	: Boşaltma esnasında dikey duvara etkiyen teğet sürtünme çekmesi
p_{wf}	: Doldurmadan sonraki durumda sürtünme çekmesi
p_{vt}	: Geçiste dolumdan sonra ortalama dikey gerilme
r	: Silo yarıçapı
s	: Ek yükün etki ettiği bölge boyutu
t	: Silo duvar et kalınlığı
x	: Apexden yukarıya doğru ölçülen dikey koordinat
z	: Dolu durumda eşdeğer yüzey altındaki derinlik
z_0	: Janssen karakteristik derinliği
z_v	: Küçük eğimli silo dikey gerime değerlendirilmesinde kullanılan derinlik
z_p	: İnce duvarlı silolarda eşdeğer yüzeyin altındaki derinlik

Yunan Alfabesi Simgeler

α	: Huni için yatayla yapılan açı
β	: Huni zirve yarı açısı
γ	: Silolanan malzeme birim ağırlığı
γ_l	: Silolanan malzeme birim ağırlığının alt değeri
γ_m	: Silolanan malzeme birim ağırlığının ortalama değeri
γ_u	: Silolanan malzeme birim ağırlığının üst değeri
θ	: Çevre açısal koordinatı
μ	: Duvar sürtünme katsayısı
μ_l	: Silolanan malzeme ile silo duvarı arasındaki sürtünme katsayısının alt değeri
μ_m	: Silolanan malzeme ile silo duvarı arasındaki ortalama sürtünme katsayısı
μ_u	: Silolanan malzeme ile silo duvarı arasındaki sürtünme katsayısının üst değeri
μ_{heff}	: Hareket sürtünmesi
φ_r	: Silolanan malzeme şev açısı
φ_{wh}	: Huni duvar sürtünme açısı
$\emptyset_i$	: İç sürtünme açısı
ξ	: Azaltma katsayısı
Ψ	: Kombinasyon katsayısı
δ	: Deplasman faktör

1. GİRİŞ

Tarımsal üretimin artmasıyla birlikte, tahılların güvenli ve etkili bir şekilde depolanması ve muhafaza edilmesi daha da önem kazanmıştır. Geçmişte kullanılan ahşap depolar ve açık alanlar, artan miktarda tahılı depolamak için yetersiz kalmıştır. Bu durum, daha gelişmiş ve işlevsel çözümlere olan ihtiyacı doğurmuştur.

Teknolojinin gelişmesi ve betonarme yapıların kullanımıyla, tahıl depolarının inşaatında önemli bir adım atılmış olsa da, son yıllarda çelik yapılar öne çıkan bir malzeme haline gelmiştir. Çelik silolar, sağlamlıkları, daha düşük kütleleri ve uygulama kolaylıkları ile betonarme depolara kıyasla birçok avantaj sunmaktadır.

Çelik Siloların Avantajları

Dayanıklılık: Çelik, sağlam ve dayanıklı bir malzemedir. Bu sayede çelik silolar, deprem gibi doğal afetlere karşı daha dirençlidir.

Daha Düşük Kütle: Çelik, betonarmeye kıyasla daha hafif bir malzemedir. Bu sayede çelik siloların inşası daha az malzeme ve iş gücü gerektirir.

Uygulama Kolaylığı: Çelik silolar, modüler bir şekilde üretilebilir ve kolayca monte edilebilir. Bu sayede inşaat süresi kısılır ve maliyetler düşer.

Çelik siloların tasarımı ve analizi, özel bir uzmanlık gerektirmektedir. Bu çalışmada, silindirik çelik hububat silolarının mod birleştirme yöntemi ile deprem analizi ele alınmıştır. Bu analiz, ileride hazırlanabilecek çelik silo yönetmeliğine temel oluşturmaya da, ülkemizde bu alanda yapılabilecek çalışmalara öncülük etmektedir. Çalışmada, tasarım yükleri el ile hesaplanmış ve örnek çözümler yapılmıştır. Ayrıca, mevcut betonarme ve çelik silolar yerinde incelenip fotoğraflanmıştır. Bu bilgiler, tasarımcılara Türkçe kaynak sağlayarak, çelik silo tasarımı ve analizi konusunda bilgi birikimlerine katkıda bulunmaktadır.

Çelik silolar, tahıl depolamada kullanılan en modern ve işlevsel yapılardan biridir. Dayanıklılıkları, daha düşük kütleleri ve uygulama kolaylıkları ile birçok avantaj sunan çelik silolar, artan tahıl depolama ihtiyacını karşılamak için ideal bir çözümdür. Bu çalışmada yapılan analizler ve örnek çözümler, çelik silo tasarımı ve analizi konusunda önemli bilgiler sunarak, bu alandaki bilgi birikiminin gelişmesine katkıda bulunmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kurşunel (2001) çalışmasında, tahıldaki fazla nemi uzaklaştıran tavlama yoluyla değirmenlerdeki un kalitesinin nasıl iyileştirilebileceğini vurguladı. Konya tesislerindeki silo depolarını inceleyerek silo sayıları ile malzeme karışım oranları arasında sayısal ilişkiler kurarak ürün kalitesini artırabildiler. Tesislerde yeterli silo yoksa, işlem sürelerini kısaltmak ve uygun karıştırma oranlarına ulaşmak için seyreltme sıcaklığının artırılması önerildi.

Honer (2006) çalışmasında, hem statik hem de dinamik değerlendirmeler için SAP2000 yazılımını kullanarak bir çimento silosunu dikkatli bir şekilde analiz etti. Kapsamlı çalışmalarında sadece silo yüklerinin doğasını ve bunları hesaplama yöntemlerini ele almakla kalmadılar, aynı zamanda yapısal bütünlüğe vurgu yaparak 25 metreden yüksek silolar için modüler analizin önemini de vurguladılar. Ayrıca sıcaklık farklılıklarını da hesaba katarak silo içindeki gerilimleri ve momentleri hesaplayarak kapsamlı bir inceleme sağladılar.

Durmuş (2007) çalışmasında, kapasiteyle ilgili etki değerlendirme kategorilerine dayalı temel kavramları ve hesaplama yöntemlerini birleştirerek malzeme depolamaya yönelik silo yapılarını analiz etti. Statik koşullarda malzeme basınçlarının hesaplanmasına ilişkin bilinen teorileri karşılaştırdı ve Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya'daki düzenlemelere göre silolardaki doldurma ve boşaltma basınçlarının hesaplamalarını tartıştı.

Özel (2007) çalışmasında, çelik siloların inşasını düzenleyen herhangi bir yerli yönetmelik mevcut değildir. Özel, bu açığı kapatmak amacıyla bir çalışma yaparak, "Eurocode 1: Yapılara ilişkin eylemler - Bölüm 4: Silolar ve tanklar" yönetmeliğinde belirtilen ilkelere dayalı bir çelik silo tasarımı önerdi. Bu tasarım, hareketleri önceliklendirmek ve hesaplamak için hem teorik hem de deneysel verileri dikkate alır. Konuya daha fazla ışık tutmak amacıyla metinde, çelik tahıl silolarının tasarımında örnek silo modeli için SAP2000 programı kullanılarak yapısal analizin nasıl yapılacağına ilişkin bilgiler de yer alıyor.

Dogangün ve arkadaşları (2009) çalışmalarında, silolardaki tasarım hatalarının neden olduğu problemleri araştırmışlardır. Çalışmalarında, çeşitli ülkelerdeki çeşitli silolardaki hasarları ve olası sebeplerini belirleyerek derlemişlerdir.

Öztürk (2011) çalışmasında, fındık depolamak için tasarlanmış silindirik siloların optimizasyonunu araştırmıştır. ANSYS yazılımı ve Avrupa ile İngiliz yönetmeliklerine göre, doldurma ve boşaltma işlemleri sırasındaki gerilim ve deformasyon dinamiklerini incelemiştir. Depolama kapasiteleri ve duvar kalınlığı gibi faktörleri dikkate alarak üç farklı silo yapısını analiz etmiş ve artan duvar kalınlığının yer değiştirme ve basınç seviyelerini azalttığını bulmuştur. Araştırma, fındık depolama silolarının inşası için pratik önerilerle sonuçlanmıştır.

Özel (2011) çalışmasında, betonarme silo duvarlarına uygulanan yatay basınçları ANSYS yazılımı ve sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmiştir. Depolanan ürünlerin sabit koşullarını dikkate alarak yapılan analizler, Eurocode düzenlemeleri ve Rimbert'in teorisi ile karşılaştırılmıştır. Farklı derinlik ve eğimlere sahip silolardaki yatay basınçların tutarlılığını vurgulamış ve sayısal ile analitik yöntemlerin gücünü doğrulamıştır.

Kibar ve Öztürk (2011) çalışmalarında, tarımsal silolardaki yapısal kusurları ve çözüm önerilerini incelemişlerdir. Beş ana sorun belirlemişlerdir: tasarım, yapım, kullanım, ürün akışı ve bakım hataları. Sonlu elemanlar analizi için SAP2000, ABAQUS ve ANSYS yazılımlarının kullanılmasını önermişlerdir. Statik, dinamik ve modelleme analizlerinin önemini vurgulayarak, tasarım sırasında rüzgar, deprem ve ilave yüklerin etkilerinin dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Yerli (2013) çalışmasında, Türkiye'deki betonarme silolarının yaygınlaştığını belirtmiştir. Azerbaycan'da mevcut bir siloyu inceleyip betonarme kullanarak yeniden tasarlamayı tercih etmişlerdir. İki tasarım yaklaşımının karşılaştırılması sonucunda, ardgermeli siloların malzeme ve işçilik maliyetlerinde %26 tasarruf sağladığını ve betonarme muadillerine kıyasla inşaatının daha kolay olduğunu bulmuşlardır.

Durmuş (2013) çalışmasında, silo davranışı üzerindeki sismik etkileri ve analiz için pratik modelleri incelemiştir. Araştırma, silo duvarlarının esnekliği, stabilitesi, yumuşaklık oranları ve toprak özellikleri gibi faktörleri ele almıştır. Narinlik, temel zemin özellikleri, duvar kalınlığı ve esnekliğin, siloların sismik olaylar sırasındaki dinamik davranışını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Aydın (2013) çalışmasında, Silo tasarımı üzerine geometri analizi ve yan duvar kolon dayanımının etkilerine odaklanmıştır. Tipik olarak, silo operasyonları merkezi doldurma ve boşaltma varsayımıyla yapılır. Ancak çalışma, özellikle kullanıcı hatalarından kaynaklanan ve istatistiksel ve maliyet açısından ek değerlendirmeler gerektiren potansiyel merkezi olmayan boşaltma senaryolarının önemini vurgulamaktadır. Araştırma, malzemeyi boşaltmak için yan bölümlerin kullanılmasının yan sütunların gücünü %17'ye kadar artırabileceğini ortaya koymuştur, bu da kullanıcı hatalarını azaltma potansiyeline işaret etmektedir.

Kibar ve Özel (2013) çalışmalarında, fındık depolamak için çelik siloları incelemişlerdir. Sonlu elemanlar yöntemi ve ANSYS yazılımı kullanarak, değişen silo duvar kalınlıklarının frekans değerleri üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Üç farklı büyüklükteki silo üzerinde yapılan modal analizleri içermektedir. Duvar kalınlığının artmasının deformasyonları ve gerilmeleri azalttığını göstermişlerdir.

Yin Wang ve Jin Y. Ooi (2015) çalışmalarında, konik hazneli boşaltıcıdaki granüler akışı modellemek için ayrık elemanlar yöntemi (DEM) ve sonlu elemanlar yöntemi (FEM) Lagrangian-Eulerian (ALE) formülasyonu ile karşılaştırılmıştır. DEM tek parçacık etkileşimlerine odaklanırken, ALE-FEM makroskobik davranışı yakalar. Her iki yöntem de silonun boşaltılması sırasında duvar basıncını, akış düzenini ve hızını değerlendirir. Çalışma, ALE'nin basınç tahmininde daha iyi performans gösterdiğini, DEM'in ise parçacık ölçeği parametrelerinin büyük ölçekli davranış üzerindeki etkilerini anlamada değerli bilgiler sunduğunu ortaya koymuştur.

Kibar (2017) çalışmasında, Avrupa, Avustralya ve İngiltere standartlarına göre silo yüzeylerine etki eden dış basınç katsayılarını incelemiştir. Avrupa ve Avustralya düzenlemelerine dayalı hesaplamalar yapmış ve bunları İngiliz yönergeleriyle karşılaştırmıştır. Rüzgar yükü analizinde, özellikle silolar boşken, dış basınç katsayılarının önemine vurgu yapmıştır.

Yaldıran (2018) çalışmasında, Buğday silosu tasarımı üzerine kapsamlı bir çalışma yapmış ve ANSYS yazılımını kullanarak sıcaklık, nem, basınç ve titreşimin silonun yapısal bütünlüğüne etkilerini incelemiştir. Statik davranış, doğal frekanslar ve rezonans gibi kritik parametreleri değerlendirerek, bozulmaları dikkatlice analiz etmiştir.

Çelik ve Köse (2020) çalışmalarında, çelik tahıl depolama silolarının deprem analizi ele alınmıştır. Araştırma, siloların sismik tasarımında eksiklikler olduğunu vurgulamıştır. Deprem analizinde, sonlu elemanlar yöntemiyle birlikte ayrık elemanlar yönteminin de kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu şekilde, tahıl malzemesinin dökme formda tasarlanması ve dinamik koşullar altında tanecikler arasındaki boşlukların daha doğru bir şekilde belirlenmesiyle gerçekçi simülasyonların yapılabileceği belirtilmiştir.

ACAR (2023) çalışmasında, Eurocode 1991-4'e göre yüksek kapasiteli dikdörtgen ve silindirik çelik silolar modellenmiş ve analiz edilmiştir. Silindirik silo modellerinin dikdörtgen silo modellerine kıyasla daha az gerilme ve deformasyona maruz kaldığını, ayrıca daha az yapı malzemesi gerektirdiğini göstermiştir. Silindirik silo imalatının mümkün olmadığı durumlarda, kare kesitli siloların daha ekonomik bir çözüm sağlayabileceği belirlenmiştir.



3. MATERYAL ve METOT

3.1. Giriş

Bu tez çalışmasının temel amacı, Eurocode'a dayalı çelik silo tasarımı konusundaki bilgi eksikliğini Türkiye'de gidermeye katkıda bulunmaktır. Mevcut şartnameler, konunun felsefesine fazla değinmeden sadece tasarım, yapım ve kullanım için asgari kurallar belirlemektedir. Bu nedenle, tez çalışmasında konuyla ilgili ayrıntılı açıklamalardan kaçınılmıştır. Yurt dışındaki silo yönetmelikleri, yüklerin nasıl hesaplanması gerektiğine dair kurallar içerse de, bu kuralların dayandığı bilimsel temeller ve mühendislik prensipleri yeterince açıklanmamıştır. Bu eksikliği gidermek için, tez çalışmasında aşağıdaki konulara odaklanılmıştır:

Eurocode'a Dayalı Çelik Silo Tasarımının Temel İlkeleri: Tez çalışmasında, Eurocode'a dayalı çelik silo tasarımı için gerekli temel ilkeler ve teorik bilgiler detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Bu bilgiler, silolara etki eden farklı yüklerin (rüzgar, kar, deprem, vb.) analizi ve bu yüklere karşı silonun davranışının incelenmesini içerir.

Yük Hesaplama Yöntemlerinin Detaylandırılması: Yurt dışı silo yönetmeliklerinde yer alan yük hesaplama yöntemleri, bilimsel temelleri ve mühendislik prensipleri göz önünde bulundurularak detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Bu sayede, mühendislerin bu yöntemleri bilinçli bir şekilde kullanmalarına ve silolar için güvenli ve ekonomik tasarımlar üretmelerine yardımcı olunacaktır.

Türkiye'ye Özgü Uygulamalar ve Örnek Tasarımlar: Tez çalışmasında, Türkiye'deki silo tasarım uygulamalarına ve bu uygulamalarla ilgili karşılaşılan sorunlara da değinilecektir. Ayrıca, Eurocode'a dayalı çelik silo tasarımı ilkelerinin Türkiye'deki uygulamalara nasıl uyarlanabileceğine dair örnek tasarımlar da sunulacaktır.

Bu çalışmanın, Türkiye'de çelik silo tasarımı konusundaki bilgi birikime önemli bir katkı sağlayacağı ve daha güvenli ve ekonomik silo tasarımlarının yapılmasına yardımcı olacağı öngörülmektedir.

3.2. Silonun Tanımı

Silolar, tarım ürünlerinin ve endüstriyel hammaddelerin depolanması için kullanılan özel yapılardır. Bu yapılar, ürünlerin bozulmadan korunmasını ve uzun süre saklanmasını sağlayarak gıda kayıplarının önüne geçer.

Farklı Malzemeler için Uygunluk: Silolar, buğday, arpa, mısır, yulaf, çavdar, pirinç gibi tahılların yanı sıra yem, çimento, tuz, cevher ve kömür gibi homojen kuru malzemeleri depolamak için kullanılabilir.

Dayanıklı Yapı: Silolar, genellikle çelik konstrüksiyondan yapılır ve betonarme, ahşap veya nadir durumlarda alüminyum gibi farklı malzemelerden de üretilebilir. Dayanıklı olmaları için dairesel

kesitli olarak tasarlanırlar, ancak yapım kolaylığı için dikdörtgen veya çokgen kesitli silolar da tercih edilebilir. Uzun Ömürlü Depolama: Silolar, ürünlerin uygun koşullarda depolanmasını sağlayarak bozulmalarını önler ve uzun süreli saklanmalarını mümkün kılar. Bu sayede gıda kayıplarının önüne geçilir ve ürünlerin besin değeri korunur.

Gıda Kayıplarını Önler: Silolar, ürünlerin uygun koşullarda depolanmasını sağlayarak bozulmalarını önler ve gıda kayıplarının önüne geçer.

Ürün Kalitesini Korur: Silolar, ürünlerin nem, sıcaklık ve haşerelelerden korunmasını sağlayarak ürünlerin besin değerinin ve kalitesinin korunmasına yardımcı olur.

Verimli Depolama: Silolar, ürünlerin kompakt bir şekilde depolanmasını sağlayarak depolama

alanından tasarruf sağlar. Otomasyon Olanakları: Silolar, yükleme, boşaltma ve havalandırma gibi işlemlerin otomasyona tabi tutulmasına olanak sağlayarak iş gücünden tasarruf ve iş verimliliğinin artmasına katkıda bulunur. Silolar, tarım ve endüstri için vazgeçilmez öneme sahip yapılardır. Gıda kayıplarını önleme, ürün kalitesini koruma, depolama alanından tasarruf ve iş verimliliği gibi birçok fayda sağlayarak tarımsal üretim ve endüstriyel faaliyetlere önemli katkılarda bulunurlar.

3.3. TS 12973-Silolar Standardına Göre Tanım ve Kapsam

Bu bölümde, TS 12973-Silolar-Tahıl Depolama-Şartlar ve Tarifler standardına göre tahıl depolamanın tanımı ve kapsamı ele alınacaktır. Ayrıca, silonun tanımı ve tipik bir silonun parçaları hakkında bilgi verilecek ve bu bilginin önemi açıklanacaktır.

Tahıl depolama, hasat edilen tahılların uygun koşullarda saklanarak uzun süreli olarak korunmasını ve gerektiğinde kullanılabilir hale getirilmesini kapsayan bir işlemdir. Bu işlem, tahılların bozulmadan, besin değerlerini kaybetmeden ve miktarlarında bir azalma olmadan muhafaza edilmesini sağlar.

Tahılların depolama öncesi hazırlanması: Hasattan sonra tahılların temizlenmesi, kurutulması ve haşerelelerden arındırılması işlemleri.

Uygun depolama koşullarının sağlanması: Tahılların depolanacağı siloların nem, sıcaklık ve havalandırma gibi faktörlerin kontrol altında tutulması.

Depolama sırasında tahılların izlenmesi: Tahılların durumunun düzenli olarak kontrol edilerek bozulma belirtilerinin takip edilmesi.

Depolama sonrası tahılların işlenmesi: Tahılların değirmenlere taşınması ve un veya yem gibi ürünlere dönüştürülmesi.

Silo, tahılların depolanması için özel olarak tasarlanmış, genellikle silindirik şekilli yapılardır. Silolar, betondan, çelikten veya ahşap gibi farklı malzemelerden inşa edilebilir.

Depolama haznesi: Tahılların depolandığı ana bölümdür.

Yükleme sistemi: Tahılların siloya taşınması için kullanılan sistemdir.

Boşaltma sistemi: Tahılların silodan çıkarılması için kullanılan sistemdir.

Havalandırma sistemi: Depolama haznesindeki nemin ve sıcaklığın kontrol altında tutulmasını sağlayan sistemdir.

Kontrol sistemi: Depolama koşullarının izlenmesi ve kontrol edilmesi için kullanılan sistemdir.

Silo tanımı ve parçalarının anlaşılması, tahıl depolamanın temel prensiplerini kavramak için önemlidir. Bu bilgi, sağlıklı ve güvenli bir tahıl depolama sistemi kurulmasına ve işletilmesine yardımcı olur. Ayrıca, siloların farklı parçalarının işlevlerini ve nasıl çalıştıklarını bilmek, olası problemlerin önceden teşhis edilmesine ve çözülmesine katkıda bulunur.

Tahıl depolama, gıda güvenliği ve tarımsal üretim için kritik öneme sahiptir. TS 12973 standardı, tahıl depolamanın güvenli ve etkin bir şekilde yapılmasını sağlamak için gerekli çerçeveyi sunmaktadır. Silolar ve parçaları hakkında bilgi edinmek, bu standardın uygulanmasında ve tahıl depolamanın başarıyla gerçekleştirilmesinde önemli rol oynar.

Çelik silo (dikey kapalı depo):

Tahıl siloları, buğday, arpa, mısır ve baklagiller gibi tahılların uzun süre değer kaybı olmadan depolanmasını sağlayan özel yapılardır. Bu yapılar, ürünlerin giriş-çıkış ve kontrolünü kolaylaştırmak için tasarlanmıştır ve gıda güvenliği ve tarımsal üretim için kritik öneme sahiptir.

Kamyon Kaldırma Sistemi: Kamyonları belirli bir açıyla kaldırarak tahılların kolayca boşaltılmasını sağlayan sistem.

Silo Giriş Ünitesi: Ürünlerin siloya boşaltıldığı ve alt konveyörlere aktarıldığı ünite.

Makine Dairesi: Elevatör boruları, pnömatik cihazlar, kompresörler ve seperatörler gibi ekipmanların bulunduğu bölüm.

Kontrol Bölümü: Silo cihazlarının otomatik veya yarı otomatik olarak kontrol edildiği bölüm.

Alt Konveyör: Tremiye dökülen ürünü kuyuda depolamak veya elevatöre taşımak için kullanılan cihaz.

Asansör: Tremiden gelen ürünü silo kuyusuna taşıyan cihazdır.

Silo İçi Kantar: Silo kuyularına giren ve çıkan ürün miktarını ölçen cihazdır.

Silo İçi Akış Boruları: Ürünleri silo içinde taşıyan borulardır.

Üst Konveyör: Elevatörden gelen ürünü silo kuyusuna taşıyan cihazdır.

Silo Kuyusu: Tahılların depolandığı dikey yapıdır.

Toz Toplama Sistemi: Ürünün akışı sırasında oluşan tozu toplayan ve çevreye zarar vermesini önleyen sistemdir.

Sıcaklık İzleme Sistemi: Silo kuyusundaki ürünün sıcaklığını sürekli ölçen sistemdir.

Sıcaklık Sensörü: Silo kuyusundaki ürünün farklı derinliklerdeki sıcaklığını ölçen sensörlerdir.

Sıcaklık Göstergesi: Silo kuyusundaki ürünün sıcaklığını gösteren cihaz.

Havalandırma Fanı: Silo kuyusundaki ürünün sıcaklık değişimlerinden korunmasını sağlayan fan.

Soğutma Cihazı: Silo kuyusundaki ürünün sıcaklık ve nem değişimlerinden korunmasını sağlayan soğutma sistemi.

Otomatik İlaçlama Cihazı: Silo kuyusundaki ürünün zararlılarla kontamine olması durumunda otomatik olarak ilaçlama yapan cihaz.

Teslimat Tankı: Ürünlerin karayolu veya demiryolu araçlarına yüklenmek üzere depolandığı ünite.

Ölçek: Silolara giren ve çıkan ürün miktarını ölçen tartım cihazı.

Hacim Ölçüm Cihazı: Silo yüklenen ürünün miktarını kontrol eden cihaz.

Hububat ve diğer tahıl ürünlerinde bulunan yabancı maddeleri, zayıf taneleri, istenmeyen tohumları ve taneleri ayırmak veya tahılları boyutlarına göre sınıflandırmak için kullanılan bir cihazdır. Silolarda Çalışma Prensibi

Kamyon Kamyon veya tır römorklarıyla siloya getirilen tahıl, ilk aşamada gerekli testlerden geçer. Bu testlerde tahılın tane çapı ve nem oranı gibi özellikleri kontrol edilir. Ardından tahıl, teraziye alınarak ağırlığı belirlenir. Tartım işleminin ardından tahıl:

Demiryolu ile taşınıyorsa: Demiryolu raylarının altındaki tramvay alanına boşaltılır. Burada araç kaldırıcı tarafından kaldırılan araç içindeki malzeme, römork vasıtasıyla alt konveyörlere aktarılır.

Kamyon veya tır römorkuyla taşınıyorsa: Doğrudan alt konveyörlere dökülür.

Alt konveyör: Gelen malzemeyi elevatöre alır. Elevatör sayesinde tahıl, silo kuyusunda depolanmak üzere yukarı taşınır.

Silo Kuyusu: Elevatöre gelen malzemeyi üst konveyörlere aktarır.

Üst konveyörler malzemeyi kuyuya iletir.

Kuyu içerisinde bulunan kapak sayesinde malzeme serbest düşüşle kuyuya yerleştirilir.

Silo Kuyusu Sensörleri:

Kuyudaki sıcaklığı ve içeride yükselen malzeme miktarını algılar.

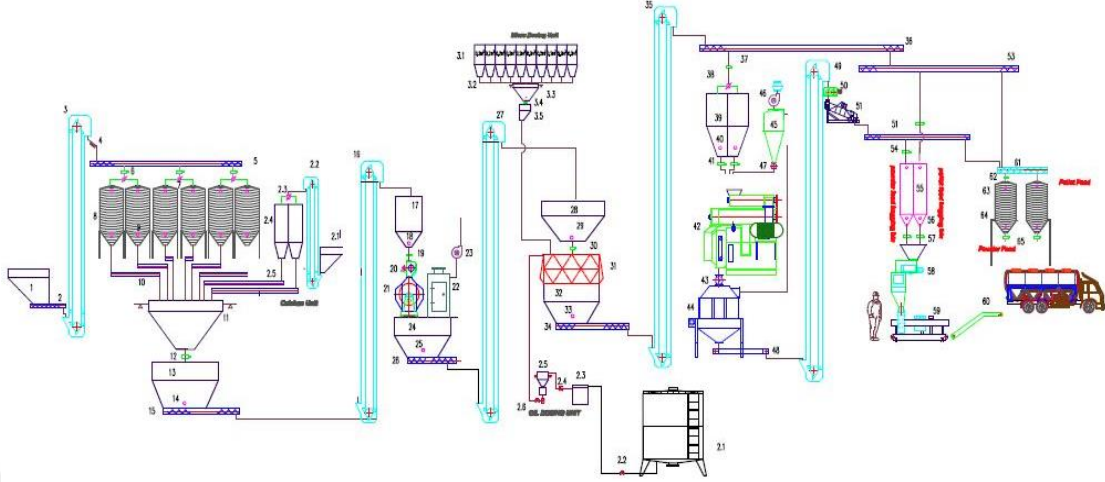
Bu bilgiler sayesinde silo doluluk oranı ve tahılın durumu hakkında bilgi edinilir.

Havalandırma Sistemi:

Sıcaklık ve nem değişimlerinden kaynaklanan hasarları önlemek için kuyuya emme veya basınçla hava verir.

Soğutma Sistemi:

Ürün yığına soğutulmuş hava sağlayarak tahılın kalitesini korumaya yardımcı olur.



Şekil 3.1. Çelik silo iş akış şeması

3.4. Tahıl Depolamada Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar

Tahılların uzun süreli ve güvenli bir şekilde depolanması için bazı temel kurallara uymak önemlidir. Bu kurallar, tahılların bozulmasını önler, besin değerini korur ve gıda kayıplarını en aza indirir.

Çatı Eğim Açısı: Daha yüksek doluluk oranı için 30° çatı eğimi tercih edilmelidir. Bu açı, silo ağzına kadar doldurulsa dahi çatıda tahıl yükü oluşmasını ve boşluk kalmasını sağlar. Bu boşluk sayesinde tahılın silo çatısıyla teması önlenir ve silo içi ile dış yüzey arasındaki sıcaklık farkı azalır. Bu da yoğuşma oluşumunu engeller.

Havalandırma: Doğal hava sirkülasyonu sağlayan havalandırma bacaları, silo içerisindeki sıcak ve nemli havanın dışarı atılmasını sağlayarak yoğuşma oluşumunu önler ve tahılın havalandırılmasına yardımcı olur. Bu sayede tahılın nem oranı kontrol altında tutulur ve küf oluşumu engellenir.

Malzeme Seçimi: Silo duvarlarını oluşturan çelik levhaların birleştirilmesinde kullanılan vidalar, malzemenin akışkanlığını bozmamak için yuvarlak başlı olmalıdır.

Doldurma: Silo geniş bir hortumla doldurulmalı ve dolum sırasında malzemenin kesitin her noktasında eşit şekilde yükselmesi sağlanmalıdır.

Boşaltma: Huninin yüksek eğimi, tam boşaltmanın sağlanmasına yardımcı olur. Kütle akışı sağlandığı takdirde silo alttan boşaltıldığında herhangi bir ayrılma olmayacak, siloya ilk giren malzeme ilk olarak dışarı çıkacak ve sürekli olarak homojen malzeme alınacaktır.

Hasar Önleme: Hazneler ve konveyörler tahıl hasarını önleyecek şekilde tasarlanmalıdır.

Sıcak ve nemli hava, silo içerisinde yoğuşma riskini artırır.

Doğal havalandırma sistemleri, tahılın havalandırılması için daha ekonomik bir çözümdür.

Kütle akışı yerine çekirdek akışı meydana gelirse, tahıllar homojen şekilde dağılmaz ve silo ilk önce büyük tahıllarla boşalır.



Şekil 3.2. Kütlesel akım ve çekirdek akımının karşılaştırılması

3.5. Silolardaki Akış Şekilleri

Uygun Silolar, tahıl ve diğer dökme malzemelerin depolanması için kullanılır önemli yapılardır. Ancak, uygun tasarım yapılmadığı takdirde silolarda akış problemleri oluşabilir. Bu problemler, ürünlerin bozulmasına, silo duvarlarında hasara ve hatta silo yıkılmasına bile yol açabilir. Silolarda görülebilecek akış problemleri şunlardır:

Huni akışı: Malzeme, silonun sadece merkezinden akar ve kenarlarda ölü bölgeler oluşur. Bu durum, ürünlerde küflenme ve bozulmalara neden olabilir.

Borulama: Malzeme, silonun merkezinden aşağı doğru dar bir boru şeklinde akar. Bu durum, akışın tıkanmasına ve silonun boşaltılamayabilirliğine yol açabilir.

Kemerlenme: Malzeme, silonun çıkış deliğinde kemer oluşturarak akışı engeller. Bu durum, silo duvarlarında aşırı basınç oluşmasına ve silo yıkılmasına neden olabilir.

Akış problemlerinin önlenmesi için:

Uygun silo tasarımı: Silonun geometrisi, depolanacak malzemenin akış özelliklerine göre tasarlanmalıdır.

Huni şekli: Silonun alt kısmında bir huni oluşturularak malzemenin akışının yönlendirilmesi sağlanabilir.

Akış yardımcıları: Titreşim motorları veya hava kanalları gibi akış yardımcıları kullanılarak malzemenin akışı kolaylaştırılabilir.

Deneyim ve bilgi: Silo tasarımı ve akış problemlerinin çözümü, deneyimli mühendisler ve uzmanlar tarafından yapılmalıdır.

Akış problemlerinin yanı sıra, silolarda dikkate alınması gereken diğer önemli faktörler şunlardır:

Akış köprüsü oluşumu: Malzeme, silonun çıkış deliğinin üzerinde bir köprü oluşturarak akışı engelleyebilir.

Besleme (tedarik): Malzeme, siloya nasıl beslenir? Besleme sistemi, akış problemlerine yol açmamalıdır. Silolarda akış problemlerinin önlenmesi için detaylı bir tasarım ve analiz yapılması önemlidir. Akış problemleri, silo güvenliğini ve ürünlerin kalitesini tehdit edebilecek ciddi sorunlara yol açabilir. Bu nedenle, siloların tasarımı ve işletilmesi konusunda uzman kişilerden yardım almak önemlidir.

Kütle akışı, silo tabanından malzeme alınmaya başladığında silo içindeki tüm kütlenin birlikte hareket etmesiyle oluşan bir akış türüdür (Şekil 3.4). Bu akış tipi, birçok avantajı nedeniyle tercih edilir: Avantajlar:

İlk giren ilk çıkar (FIFO): Siloya ilk giren malzeme ilk boşaltılır, bu da stok takibi ve malzeme tazeliğini korumak için önemlidir.

Ayrılma az: Farklı yoğunluklara sahip malzeme parçacıkları homojen bir şekilde karışır kalır.

Sabit akış ve iyi kontrol edilebilir deşarj kapasitesi: Akış hızı kolayca kontrol edilebilir ve tahmin edilebilir.

Duvarlarda bozulma ve çürüme riski az: Malzeme silo duvarlarına yapışmaz ve bozulma riski düşüktür.

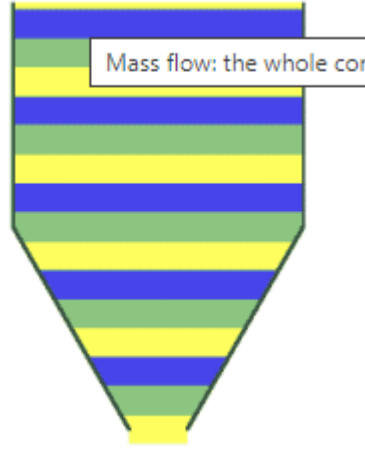
Homojen akış: Belirli bir bileşime sahip akışkan ve homojen malzeme akışı sağlar.

Dezavantajlar:

Silo sallanması ve aşınma: Bazı durumlarda aşındırıcı malzeme kullanıldığında siloda sallanma ve silo duvarlarının aşınması gibi sorunlar oluşabilir.

Yavaş akış hızı: Silo içi hız nispeten yavaş olabilir, bu da bazı durumlarda sorun yaratabilir.

Genel olarak kütle akışı, birçok avantajı ve az sayıda dezavantajı olan bir akış türüdür. FIFO prensibine uyması, ayrışmayı önlemesi ve homojen akış sağlaması nedeniyle özellikle hassas malzemelerin depolanması ve taşınması için idealdir.



Şekil 3.3. Bütün malzemenin hareket halinde olduğu kütleli akım

3.6. Çekirdek Akımının Sorunları ve Kullanım Alanları

Çekirdek akışı, malzeme silo kesitinin orta kısmından akar ve kenarlarda ölü bölgeler oluşmasına neden olur. Bu durum, çeşitli sorunlara yol açabilir:

1. Malzeme Bozulması: Siloda belirli miktarda malzeme varken yeniden dolum yapılırsa, ölü bölgelerde kalan malzeme bozulabilir ve çürüyebilir.
2. Malzeme Kirlenmesi: Siloda birden fazla malzeme depolanıyorsa, ölü bölgelerde kalan malzemeler karışabilir ve kirlenme meydana gelebilir.
3. Akış Tıkanması: Bazı durumlarda ölü bölgeler büyüyebilir ve "fare deliği" adı verilen dar bir kanaldan akış devam edebilir. Bu durum ilerlerse, tüm akış durma riski oluşabilir.
4. Kontrollü Olmayan Akış: Ölü bölgelerdeki malzemelerin ani çökmesi, kontrolsüz akışa ve buna bağlı olarak önemli dinamik kuvvetlere yol açabilir.

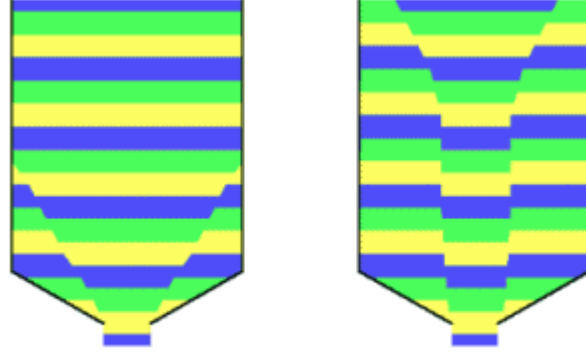
Çekirdek akışının kullanılabilceği durumlar:

İri taneli malzemeler: Çekirdek akışı, serbest akışın sağlanabildiği ve çürüme ve bozulma riskinin olmadığı iri taneli malzemeler için uygundur.

Homojen malzemeler: Tek tip malzemenin depolandığı silolarda çekirdek akışı kullanılabilir.

Düşük dolum oranları: Siloda sürekli yüksek seviyede malzeme bulundurulmadığı durumlarda çekirdek akışı kullanılabilir.

Genel olarak çekirdek akışı, ölü bölgelerden kaynaklanan sorunlar nedeniyle tercih edilmez. Mümkünse, serbest akışı ve homojen malzeme karışımını sağlayan alternatif akış modelleri tercih edilmelidir.



Şekil 3.4. Malzemenin bir kısmının hareket halinde olduğu çekirdek akımı

3.6.1. İstenilen akım

Sunulan açıklamalardan da anlaşılacağı üzere, kütle akışı, sahip olduğu avantajlar nedeniyle hemen hemen tüm silo tasarımlarında tercih edilen akış türüdür. Bu nedenle, siloların tasarım aşamasında kütle akışını sağlayacak şekilde planlama yapılması büyük önem taşımaktadır.

3.6.2. Silodaki Akışı Etkileyen Faktörler ve Kütle Akışı Sağlama

Silolarda malzeme akışı, çeşitli parametrelerden etkilenir. Bu parametreler ve etkileri şunlardır:

1. Huni Eğim Açısı:
Yüksek eğimli huniler, malzeme akışını kolaylaştırır ve kütle akışını teşvik eder.
Düşük eğimli hunilerde ise tıkanma ve ölü bölgeler oluşma riski artar.
2. Malzeme-Silo Duvarı Sürtünmesi:
Düşük sürtünme katsayısına sahip pürüzsüz silo duvarları, malzeme akışını kolaylaştırır.
Yüksek sürtünme katsayısına sahip pürüzlü silo duvarları ise akışı zorlaştırır ve tıkanma riskini artırır.
3. Huni Şekli:
Konik huniler, dikdörtgen veya kare hunilere göre daha iyi akış sağlar ve kütle akışını teşvik eder.
Silindirik hunilerde ise köşelerde ölü bölgeler oluşabilir.
4. Malzemenin İç Sürtünme Açısı:
Düşük iç sürtünme açısına sahip akışkan malzemeler, yüksek iç sürtünme açısına sahip malzemelere göre daha kolay akar.

Yüksek iç sürtünme açısına sahip malzemelerde tıkanma ve ölü bölgeler oluşma riski artar.

Mümkünse, yüksek eğimli ve pürüzsüz yüzeyle konik huniler kullanılmalıdır.

Silo duvarları pürüzsüz ve dik olmalı, köşeler yuvarlatılmış olmalıdır.

Huni ağzı kanal şeklinde olmalı ve dikdörtgen veya yuvarlak ağızlara göre tercih edilmelidir.

Bu önlemlerin alınmasıyla silo akışının optimize edilmesi ve kütle akışının sağlanması mümkün hale gelir.

3.7. Kütle Akışı Sağlayan Huni Tasarımı

Kütle akışı sağlayan bir huni tasarlamak için aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

1. Malzeme ve Duvar Sürtünme Katsayılarını Ölçülmesi:

İlk adım, depolanacak malzemenin iç sürtünme açısını ve duvar ile malzeme arasındaki sürtünme katsayısını doğru bir şekilde ölçmektir. Bu değerler, huni tasarımının temelini oluşturacaktır.

2. Uygun Huni Şeklini Seçilmesi:

Ölçülen sürtünme katsayılarını kullanarak, grafikler ve hesaplamalar yardımıyla en uygun huni şekli belirlenir. Konik, piramitsel veya silindirik gibi farklı huni geometrileri mevcuttur.

3. Kütle Akış Açısını Hesaplanması:

Seçilen huni şekline göre kütle akış açısı hesaplanır. Bu açı, malzemenin huniden akmaya başlayacağı eğimi temsil eder.

4. Pratik Çözümler Denenmesi:

Hesaplamalar sonucunda pratik bir çözüm bulunamazsa, kaplama, yüzey kaplama veya düşük sürtünme katsayılı farklı bir malzeme kullanarak huni tasarımı optimize edilebilir.

5. Titreşim veya Havalandırma.

Yukarıdaki çözümler mümkün değilse, titreşim veya havalandırma gibi alternatif yöntemler kullanılarak kütle akışı sağlanabilir.

Nadir durumlarda, tüm yöntemler tükendiyse ve kütle akışı sağlanamıyorsa, huni yapımından vazgeçilerek farklı bir deşarj yöntemi tercih edilebilir.

Huni tasarımı, mühendislik hesaplamaları ve deneysel veriler ışığında yapılmalıdır.

Malzeme ve duvar sürtünme katsayıları, huni geometrisinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir.

Pratik çözümler her zaman öncelikli olarak değerlendirilmelidir.

Titreşim ve havalandırma gibi alternatif yöntemler, son çare olarak kullanılabilir.

Gerekirse huni yapımından vazgeçilerek farklı deşarj yöntemleri tercih edilebilir.

3.8. Malzeme Akışında Köprü Oluşumu

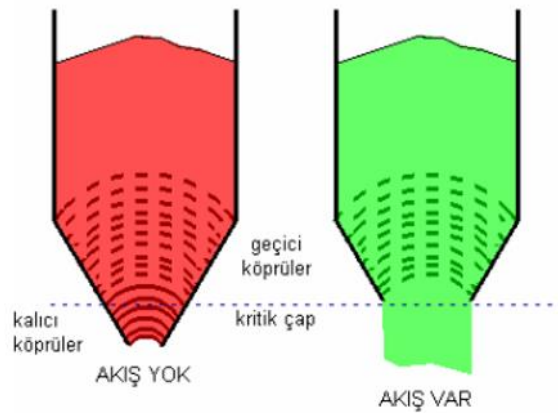
Malzemelerin serbestçe akması (kohezyonsuz olması) yerçekimi etkisiyle akış köprülerinin oluşmasını engeller. Kum, bunun iyi bir örneğidir; nemli olmayan, yuvarlak ve yaklaşık olarak aynı büyüklükte tanelere sahiptir. Fakat akış özelliklerini belirlemede sadece malzemenin türü yeterli değildir, diğer faktörler de önemli rol oynar. Birçok malzeme yapışkan olduğundan taneler birbirine yapışır ve serbest akışı engeller. Silo içinde akış sırasında sürekli akış köprüleri oluşur. Ancak sorun, akışa ihtiyaç duyulduğunda köprülerin yıkılmamasıdır. Köprülerin yıkılıp yıkılmayacağı aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

Malzeme özellikleri: Malzemenin tanelerinin boyutu, şekli, yoğunluğu ve yapışkanlığı köprü oluşumunu ve yıkılmasını etkiler.

Akış koşulları: Malzeme akış hızı, titreşim ve hava akımı gibi faktörler de köprü oluşumunu ve yıkılmasını etkileyebilir.



Şekil 3.5. Akım köprüsü oluşumu



Şekil 3.6. Akım köprüsü ve kritik çap

3.9. Silodaki Köprünün Mukavemeti: Malzeme Davranışı

Silodaki malzeme, üstteki malzemenin ağırlığıyla sıkıştırılır ve bu da malzemeye basınç uygular. Bu basınç sayesinde malzeme mukavemet kazanır. Bu durum, kuru kumdan bir kartopu yapmaya çalışmakla benzer. Kumun yeterince basınç görmeden dağılacığı gibi, silo içindeki malzeme de basınç olmadan mukavemet gösteremez.

Siloda depolanan malzemenin mukavemetini etkileyen faktörler şunlardır:

Malzeme Bileşimi: Farklı malzemeler, farklı basınç dayanımına sahiptir. Örneğin, kum, çimentodan daha az basınç dayanımına sahiptir.

Tane Büyüklüğü ve Granülometri: Daha küçük taneli ve homojen dağılımlı malzemeler, daha yüksek mukavemet gösterir.

Malzemeye Etki Eden Basınç: Basınç arttıkça, malzemenin mukavemeti de artar.

Nem: Nemli malzemeler, kuru malzemelere göre daha az mukavemet gösterir.

Sıcaklık: Sıcaklık arttıkça, malzemenin mukavemeti azalabilir.

Bu faktörlerden sıcaklık, köprü mukavemetini hesaplamada özellikle önemlidir. Köprünün mukavemetini hesaplamak için öncelikle malzemenin mukavemetinin gerilime bağlı olarak nasıl değiştiği ölçülmelidir. Bu da, değerlerin yerinde ölçülüp belirlenmesinin önemini gösterir. Ayrıca, bu değerler zamanla değişebileceğinden, düzenli olarak takip edilmesi gerekir.

Silodaki malzeme, basınç sayesinde mukavemet kazanır.

Mukavemeti etkileyen faktörler arasında malzeme bileşimi, tane büyüklüğü, basınç, nem ve sıcaklık yer alır.

Köprünün mukavemetini hesaplamak için malzemenin mukavemetinin gerilime bağlı olarak ölçülmesi ve bu değerlerin yerinde ve düzenli olarak takip edilmesi gerekir.

Köprüye etki eden kuvvet

Malzemenin silodan dışarı akması için, tanelerin bağlanmasından kaynaklanan mukavemetin aşılması gerekmektedir. Silo kapatıldığında oluşan akış köprülerinin mukavemeti, silo ağzı açıldığında oluşan yer çekimi kuvvetinden az ise kalıcı köprüler oluşmayacak ve akış sorunsuz bir şekilde devam edecektir. Bu nedenle özgül ağırlığı düşük olan malzemelerin akış köprüleri oluşturma olasılığı daha yüksektir.

Kalıcı akım köprülerinin oluşup oluşmaması aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Malzemenin özgül ağırlığı
- Silonun şekli
- Duvarın sürtünme katsayısı
- Malzemenin iç sürtünme açısı

- Malzeme uyumu

Bu parametreler biliniyorsa veya ölçülebilirse huninin kritik çapı hesaplanabilir. Akım köprüsü oluşumunu önlemek için seçilecek çap değerinin kritik çaptan büyük olması gerekmektedir.

3.10. Silolarda Sık Görülen Hatalar ve Potansiyel Tehlikeler

Silolar, diğer endüstriyel yapılara kıyasla daha sık arıza yaşayan yapılardır. Bu durum, Jenkyn ve Goodwill (1987) tarafından yapılan bir çalışmada da doğrulanmıştır. Silolarda görülen arızalar, tam çökme gibi yıkıcı sonuçlara yol açabileceği gibi, betonarme gövdede çatlaklar, çelik elemanlarda çentik veya deformasyon gibi daha az belirgin hasarlara da neden olabilir.

İkinci kategorideki, yani çatlak, çentik veya deformasyon gibi daha az belirgin hasarlar, ilk bakışta operasyonel veya güvenlik açısından sorun oluşturmaz. Çünkü bu hasarlar fark edilmeyebilir. Bu nedenle, bu tür hasarlar genellikle göz ardı edilir.

Ancak görünürde bir sorun olmasa bile, bu hasarlar zamanla büyük problemlere yol açabilir. Küçük çatlaklar büyüyebilir, deformasyonlar daha da artabilir ve eninde sonunda silo çökebilir. Bu durum, hem maddi kayıplara hem de can kayıplarına yol açabilir.

Silolar, diğer yapılara kıyasla daha sık arızaya maruz kalır.

Arızalar, tam çökme veya çatlak, çentik ve deformasyon gibi daha az belirgin hasarlar şeklinde olabilir.

Görünürde bir sorun olmasa bile, küçük hasarlar zamanla büyük problemlere yol açabilir.

Bu nedenle, siloların düzenli olarak denetlenmesi ve hasarların erkenden tespit edilmesi çok önemlidir. Siloların tasarımı ve yapımı, arıza riskini en aza indirecek şekilde yapılmalıdır.

Silolar, yük altında nasıl davrandıklarını anlamak için düzenli olarak gerilim testlerine tabi tutulmalıdır.

Silolarda kullanılan malzemeler, yüksek mukavemete sahip olmalıdır.

Silolar, uzmanlar tarafından düzenli olarak denetlenmelidir.

3.11. Silolarda Tasarım Hataları

Silolar, özel bir mühendislik tecrübesi gerektiren yapılardır. Tasarımcılar sadece teorik bilgiye değil, aynı zamanda imalat ve uygulamada da deneyime sahip olmalıdır. Bu deneyim, siloda depolanacak malzemenin akışkanlık özelliklerini, akış kanalı geometrisini, statik basınç dağılımını, fare deliği oluşumunu, spontan titreşimleri ve dinamik etkileri anlamayı kapsar.

Tasarımda ayrıca göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli faktörler şunlardır:

Üretimden kaynaklanan yükler: Elemanların üretiminden kaynaklanan homojen olmayan yükler, ısı yükler ve boyut uyumsuzlukları da tasarımda dikkate alınmalıdır.

Bilgi eksikliği: Tasarımcılar, eksik bilgilere, standartlarda yer alan önerilere ve "her zaman böyle yapıldı" zihniyetine karşı dikkatli olmalıdır.

Yük kombinasyonları: Tasarım kriterleri belirlendikten sonra (silo kapasitesi, yapı malzemesi, inşaat yeri vb.), tasarımcının yük kombinasyonları, yüklerin zemine ve birincil ve ikincil yapısal elemanlara nasıl iletildiği konusunda bilgi sahibi olması gerekir.

Elemanların etkileşimi: Yüklerin yapısal elemanlar üzerindeki etkileri ve elemanların göreceli esneklikleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Üretim ve uygulama: Tasarımdaki en kritik unsurun nasıl üretileceği ve tasarımdan beklenenlerin ne kadarının gerçekleşebileceği de dikkatle değerlendirilmelidir.

Silo tasarımında sıklıkla göz ardı edilen ve kritik önem taşıyan 5 konu:

Akışkanlık özellikleri: Depolanacak malzemenin akışkanlık özelliklerinin tam olarak anlaşılması ve tasarımın buna göre yapılması.

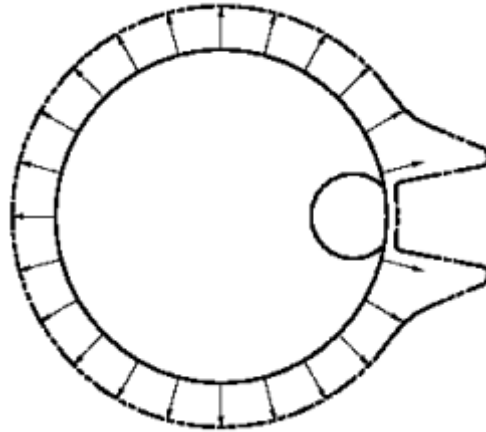
Fare deliği oluşumu: Fare deliği oluşumunun önlenmesi için gerekli önlemlerin alınması.

Spontan titreşim: Spontan titreşime yol açabilecek faktörlerin belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması.

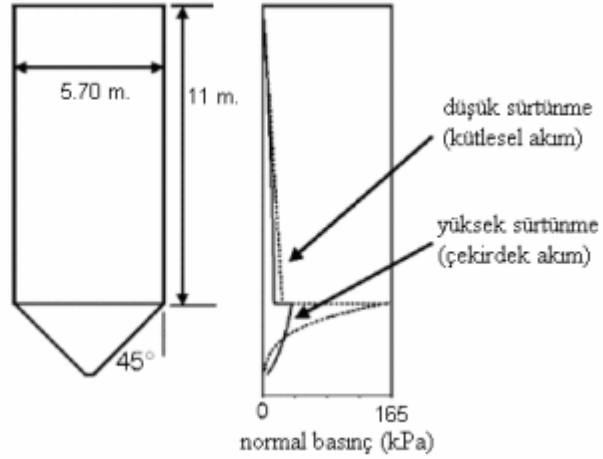
Dinamik etkiler: Deprem, rüzgar ve kar yükü gibi dinamik etkilerin göz önünde bulundurulması.

Üretim ve uygulama hataları: Üretim ve uygulama aşamasında oluşabilecek hataların önlenmesi için gerekli kontrollerin yapılması.

Siloların güvenli ve uzun ömürlü olması için tasarım aşamasında tüm bu faktörlerin dikkatlice değerlendirilmesi ve deneyimli mühendisler tarafından yapılması hayati önem taşımaktadır.



Şekil 3.7. Dairesel siloda eksantrik boşaltma esnasında yük dağılımı



Şekil 3.8. Kütlesel akım ve çekirdek akımında basınç dağılımı

Çelik Silolarda Termal Genleşme ve Nemlenme Nedeniyle Oluşan Gerilmeler

Çelik silolar, gün boyunca güneş ışığı ve hava sıcaklığına maruz kalarak genişler ve geceleri soğuyarak küçülür. Bu termal genleşme ve daralma döngüsü, siloda depolanan malzemenin de davranışını etkiler.

Boşaltma yapılmadığı takdirde:

Genleşme: Gün boyunca, siloda depolanan kohezyonsuz malzeme genleşme nedeniyle çökecektir. Bu çökme, malzemenin eski durumuna dönmesini imkansız hale getirir ve silo duvarlarında sıkışma ve ilave gerilmeler oluşmasına neden olur.

Sürekli tekrarlamaya: Bu olay sürekli tekrarlanırsa, termal genleşme olarak adlandırılan bir durum ortaya çıkar.

Nemlenme: Silolanan malzemede bulunan nemin taneler tarafından emilmesi de benzer bir duruma yol açar. Özellikle kütle akışı gerçekleşmediği ve siloda bir miktar malzemenin kaldığı durumlarda, nem veya bozulmadan kaynaklanan genleşme taneler arasında taşınarak genleşmeye neden olur. Genişleyen malzeme silo içerisinde yukarıya çıkamadığı için duvarda ilave yanal kuvvetlerin oluşmasına neden olur.

Çelik silolarda termal genleşme ve nemlenme, silo duvarlarında ilave gerilmeler ve yanal kuvvetler oluşmasına neden olarak yapısal problemlere yol açabilir. Bu problemlerin önlenmesi için siloların düzenli olarak boşaltılması ve havalandırılması önemlidir.

Siloların tasarımı ve yapımı, termal genleşme ve nemlenmenin etkilerini en aza indirecek şekilde yapılmalıdır.

Silolarda kullanılan malzemeler, termal genleşmeye ve nemlenmeye karşı dayanıklı olmalıdır. Silolar, uzmanlar tarafından düzenli olarak denetlenmelidir.

3.12. Silolarda İnşaat Hataları ve Önleme Önerileri

Silolarda inşaat sırasında yapılan hatalar hem mali kayıplara hem de can kayıplarına yol açabilecek ciddi sonuçlara yol açabilir. Bu hatalar iki ana kategoriye ayrılabilir:

1. Yanlış Malzeme Kullanımı:

Tasarımın Doğru Uygulanması: Tasarımda öngörülen malzemelerin ve detayların inşaat sırasında titizlikle uygulanması çok önemlidir. Cıvata çapı, uzunluğu, mukavemeti, donatı çapı, aralığı, et kalınlığı ve malzemesi gibi unsurların kontrol altında tutulması hayati önem taşır.

Deneyimli Ekip: Silo tasarımı ve inşası, bu konuda deneyimli ve işini ciddiye alan kişiler ve kurumlar tarafından yapılmalıdır.

Proje Uyumluluğu: İnşaat sırasında projenin tüm gerekliliklerine uyulduğundan emin olunmalıdır.

2. İnşaat Hataları:

Kısmi Temel Oturması: Siloların yüksek ağırlık merkezleri nedeniyle, temelin kısmen oturması son derece tehlikeli ve yıkıcı olabilir. Bu nedenle, temel tasarımı deneyimli mühendisler tarafından yapılmalı ve sıkı bir kontrol süreci uygulanmalıdır.

Tasarımda Değişiklik: Yetkisiz kişiler tarafından yapılan tasarım değişiklikleri, özellikle akış şeklini etkileyebilecek değişiklikler, ciddi sorunlara yol açabilir. İmalat aşamasında yapılacak tüm değişiklikler, tasarımcı ve üretici arasında mutabık olunarak yapılmalıdır.

Deneyimli ve yetkili bir ekip tarafından tasarım ve inşaat yapılması, Tasarımın tüm aşamalarında titiz bir kontrol mekanizmasının uygulanması, Kullanılan malzemelerin ve detayların projeye uygun olması, İmalat aşamasında yapılacak değişikliklerin tasarımcı ve üretici arasında mutabık olunarak yapılması, Temel tasarımının deneyimli mühendisler tarafından yapılması ve sıkı bir kontrol süreci uygulanması, Özellikle akış şeklini etkileyebilecek tasarım değişikliklerine temkinli yaklaşılması, gibi önlemler alınmalıdır. Siloların düzenli olarak denetlenmesi ve bakımı yapılmalıdır.

Silolarda depolanacak malzemelerin özellikleri ve yük dağılımları dikkate alınmalıdır.

3.13. Silolarda Kullanım ile İlgili Hatalar

Silolar, çeşitli faktörlerden dolayı dinamik etkilere maruz kalabilir. Bu etkenler, silo duvarlarında ve diğer bileşenlerde hasara yol açabilir. En önemli dinamik etkenlerden bazıları şunlardır:

1. Akış Özelliklerinde Değişiklikler:

Ani Akış Kesintileri: Siloda depolanan malzemenin akış özelliklerinde ani değişiklikler, kemerlenme veya fare deliği oluşumuna yol açabilir. Bu durumlar, kendiliğinden ortadan kalksa bile, zamanla ciddi hasarlara yol açabilir.

Kemerlenme: Silo içerisindeki malzemenin akışının engellenmesi sonucu silo duvarlarında ve diğer bileşenlerde gerilmeler oluşabilir. Bu gerilmeler, zamanla duvarlarda çatlaklara ve deformasyona yol açabilir.

Fare Deliği Oluşumu: Siloda depolanan malzemenin silonun bir köşesine veya kenarına birikmesi sonucu silo duvarlarında delikler oluşabilir. Bu delikler, malzeme sızıntısına ve duvarlarda hasara yol açabilir.

2. Titreşimler:

Kendiliğinden Oluşan Titreşimler: Silolarda, malzemenin akışı, hava akımı veya diğer faktörlerden dolayı kendiliğinden oluşan titreşimler oluşabilir. Bu titreşimler, silo duvarlarında ve diğer bileşenlerde yorgunluk ve hasara yol açabilir.

Harici Titreşimler: Deprem, patlama veya makine titreşimleri gibi harici faktörler de silolarda dinamik etkilere neden olabilir.

3. Patlamalar:

Toz ve Yanıcı Gazlar: Silolarda depolanan bazı malzemeler, toz veya yanıcı gazlar açığa çıkarabilir. Bu toz ve gazlar, uygun havalandırma sağlanmadığı takdirde patlama riski oluşturabilir. Patlamalar, silo duvarlarında ve diğer bileşenlerde ciddi hasara yol açabilir.

Silolarda depolanacak malzemelerin özellikleri ve yük dağılımları dikkate alınmalıdır.

Silo iç yüzeyinin düzenli olarak incelenmesi ve aşınma, çatlaksız ve deformasyon gibi hasarlar kontrol edilmelidir.

Cıvatalı bağlantılar, vida delikleri ve silo duvarı gibi kritik bölgeler titizlikle kontrol edilmelidir.

Olası patlama riskini önlemek için toz ve yanıcı gazlar ortamdan uzak tutulmalıdır.

Silolarda titreşim önleyici sistemler kullanılabilir.

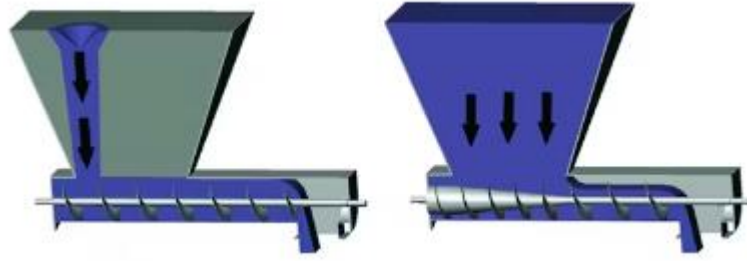
Gerekirse, silolarda patlama önleme sistemleri kurulmalıdır.

Silolarda dinamik etkilere karşı gerekli önlemlerin alınması, hem silo güvenliğini hem de insan ve mal güvenliğini sağlamak için kritik önem taşımaktadır.

Siloların uzmanlar tarafından düzenli olarak denetlenmesi ve raporlanması önemlidir.

Personel, silo güvenliği ve kullanım prosedürleri konusunda eğitim almalıdır.

Silolarda kullanılan ekipmanlar düzenli olarak kontrol edilmeli ve bakımı yapılmalıdır.



Şekil 3.9. Vidalı sürücü hatasından oluşan eksantrik boşaltma

3.14. Silolarda Burkulma Riskine Karşı Dayanıklılık

Malzeme içeren silolar, burkulma riskine karşı boş silolara ve gaz veya sıvı içeren tanklara göre daha dayanıklıdır. Bunun sebebi, silolarda burkulma sırasında oluşan basınç dağılımının farklı olmasıdır.

Boş Silolar ve Malzeme İçeren Silolar Arasındaki Fark:

Boş Silolar: Boş silolarda burkulma sırasında silo duvarı içe veya dışa doğru bükülebilir. Bu durumda herhangi bir malzeme olmadığı için basınç oluşmaz ve burkulma riski yüksektir.

Malzeme İçeren Silolar: Malzeme içeren silolarda ise durum farklıdır. Silo duvarı içe doğru bükülürse, malzemenin dışarıya doğru uyguladığı basınç artar ve bu da burulma etkisini azaltır. Dışa doğru burkulmalarda ise yırtılma meydana gelebilir ve bir miktar malzeme dışarı çıkarak basınç dağılımı rahatlar.

Gaz veya sıvı içeren tanklarda ise burkulma sırasında içerideki hidrostatik basınç sabit kalır. Bu da burkulma etkisini artırır ve tanklarda burkulma riski daha yüksektir.

3.15. Silolarda Bakım Hataları ve Önleme Önerileri

Siloların uzun ömürlü ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için düzenli ve doğru şekilde bakımı yapılmalıdır. Bakım hataları, silo duvarlarında hasara, çökmelere ve hatta patlamalara yol açabilir. Bu nedenle, silolarda en sık yapılan bakım hatalarını ve önleme önerilerini incelemek önemlidir.

Düzenli Bakım: Bu tür bakım, silo duvarlarında ve diğer bileşenlerde gözle görülür hasar olup olmadığını kontrol etmeyi içerir. Akışı kolaylaştıran kaplamalar, çatı girişleri, boşaltıcılar ve dolgu sistemleri gibi elemanların da düzenli olarak kontrol edilmesi ve gerektiğinde onarılması veya yenilenmesi gerekir.

Detaylı Bakım: Bu tür bakım, enerjinin açığa çıktığı ve deformasyon ve gerilimlerin oluşabileceği kritik noktaların detaylı incelemesini içerir. Çentikler, çatlaklar, deformasyonlar ve silonun eğilmesi gibi durumlar dikkatlice kontrol edilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Yanlış Önlemler Almak: Tehlikeli bir durum fark edildiğinde, panik yapmadan ve uzman yardımına başvurmadan önce sorunun kaynağını belirlemek ve doğru önlemleri almak önemlidir. Bazen silo seviyesini düşürmek gibi yanlış önlemler sorunu daha da büyütebilir.

Rutin Denetimleri Atlamak: Düzenli denetimler, olası hasarların erken teşhisine ve gerekli önlemlerin zamanında alınmasına olanak sağlayarak silo güvenliğini önemli ölçüde artırır.

Uzman Yardımı Almamak: Siloda herhangi bir hasar veya anormal durumla karşılaşıldığında, sorunun kaynağını ve çözümünü belirlemek için mutlaka bir uzmandan yardım alınmalıdır.

Aşındırıcı malzemelerin depolandığı ve nemli veya aşındırıcı atmosfer koşullarında kullanılan silolarda pas ve korozyon riski artar. Bu durumda, silo duvarlarının incelmesi ve çökme riski oluşabilir. Korozyonu önlemek için genellikle kaplamalı çelik kullanılır. Kaplama ve ilgili detaylar hakkında bilgi için ilgili uzmanlara danışılması gerekir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çelik Silonun EN 1991-4 Eurocode 1 Kapsamında Tasarımı

Bu bölümde, çelik tahıl silolarının tasarımı için EN 1991-4 Eurocode 1: Binaların Proje Tasarımı ve Etkileri standardının "Çelik siloların tasarımına yönelik yöntemler" başlıklı 4. Bölümünde yer alan "Silo ve Tank Etkileri" ilkelerine dayalı bir yaklaşım sunulacaktır. Çalışmanın odak noktası Çelik Tahıl Silolarının Tasarım Esasları olduğundan, bu özel duruma özel bir önem verilecektir. Ülkemizde çelik silo tasarımı ile ilgili yeterli sayıda çalışma bulunmadığından, bu çalışmada çeşitli yabancı kaynaklardan da yararlanılmıştır. Bu bölümde, granül malzemelerin modern koruma ve depolama alanları olan siloların temel prensipleri ve siloların yol açtığı etkiler ele alınacaktır. Silolardaki etkilerin kapsamı, sadece silolanmış malzemenin etkileri ile sınırlı kalmayacak, bunun yanı sıra termal etkiler, temel çökmesi ve rüzgar gibi çeşitli etkenler de göz önünde bulundurulacaktır.

4.2. Çelik Tahıl Silolarında Tasarım Sınırlamaları

Detaylı anlatımların yapılacağı sonraki bölümlere geçmeden önce bu çalışmada tasarımı anlatılacak olan silolara getirilen sınırlamaların yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Silo kesitleri Şekil 4.1'de gösterildiği gibi daire, kare, dikdörtgen veya düzgün altıgenlerle sınırlıdır. Oluşacak etkiler dikkate alınarak, efektte küçük değişikliklere neden olacak farklı bölümler de kullanılabilir.

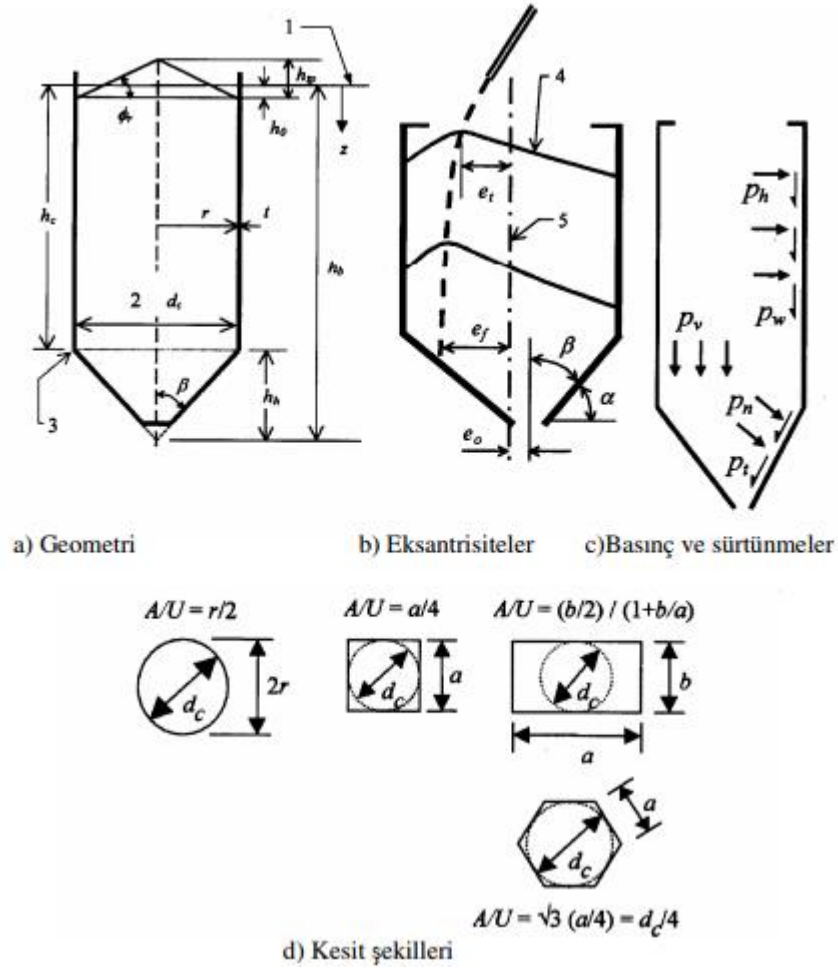
Aşağıdaki koşulların karşılanması gerekir:

h_b , besleme hunisinin tepe noktası ile eşdeğer yüzey arasındaki yüksekliktir ve d_c , silo kesitinin iç karakteristik boyutudur (Şekil 4.1a).

- $h_b/d_c < 10$
- $h_b < 100$ m
- $d_c < 60$ m
- Silonun (varil) dikey duvarlı kısmı ile haznenin kesişimi olan geçiş yatay bir düzlemde olmalıdır.
- Silo içerisinde başka herhangi bir yapı (payanda, kiriş, karışım tüpleri vb.) bulunmamalıdır.
- Her silo belirli bir malzeme özelliği aralığına göre tasarlanabilir.
- Silolanan malzeme kendiliğinden yer çekimiyle akabilmelidir.
- Silolanan malzemenin maksimum tane çapı $0,03 d_c$ olmalıdır.

- Doldurma sırasında meydana gelen atalet etkisi veya darbe yükü ihmal edilebilir düzeyde olmalıdır.
- Boşaltma cihazları kullanılıyorsa düzgün ve merkezi malzeme akışı engellenmemelidir.
- Yalnızca kesik koni, kesik piramit ve kama şeklindeki huniler kullanılmalıdır (Şekil 4.2).

Bu çalışmada deprem, çarpışma, patlama ve şok etkilerine karşı tasarımdan bahsedilmemiştir.

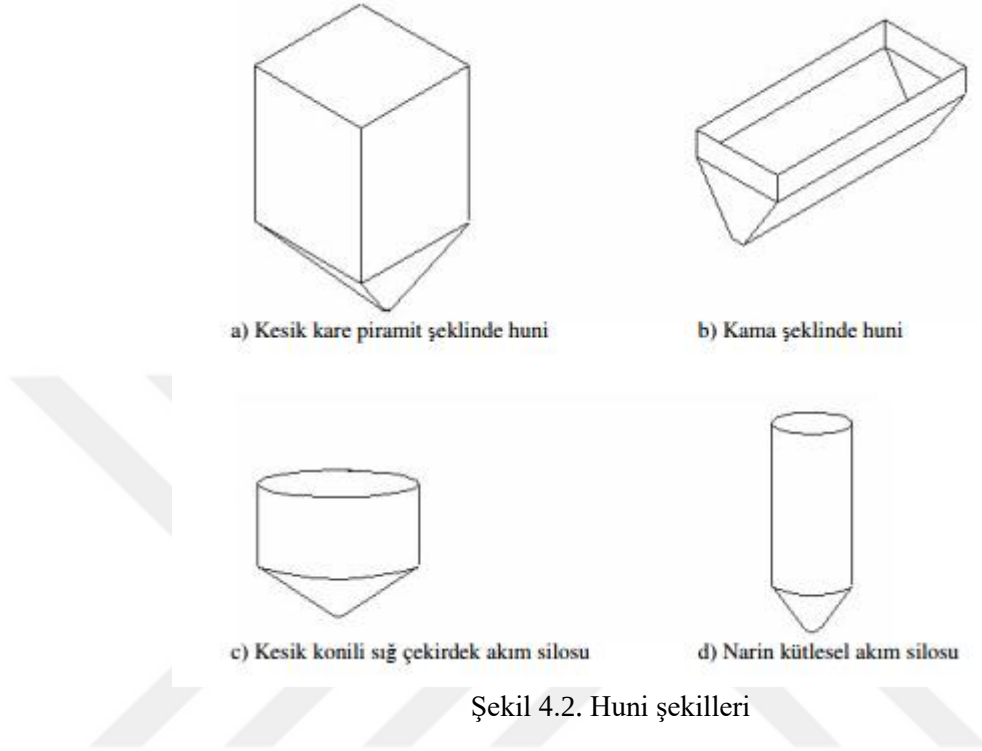


Şekil 4.1. Silo şekilleri ile boyutlar ve basınç isimlendirmesi

Şekil anahtarı:

1. Ortalama doldurma düzlemi (eşdeğer yüzey)
2. İç ölçü
3. Geçiş
4. Dolu durum için yüzey profile

5. Silo ekseni



Silo duvarında işletme sırasında oluşabilecek deformasyonların ilerleyen bölümlerde bahsedilecek olan yükleri etkilemesine izin verilmemekte ve hesaplamalarda silo katısı nedeniyle silonun stabilitesi artırılmamaktadır.

4.3. Çelik Tahl Silolarında Kullanılan Temel Tanımlar

Bu bölümde, çelik tahl siloları ile ilgili ilerleyen bölümlerde kullanılacak bazı temel terimlerin tanımları sunulmuştur. Bu tanımların, konunun daha iyi anlaşılmasına yardımcı olması amaçlanmaktadır.

Kohezyon: Silolanmış katı malzemenin, yıkım eksenindeki normal gerilme sıfır olduğunda sahip olduğu kayma dayanımıdır.

Silo Kesiti İç Karakteristik Boyutu (d_c): Silo kesiti içerisine çizilebilecek en büyük dairenin çapıdır.

Eksantrik Dolum: Dolum esnasında malzemenin üst kısmındaki istifin silo merkez hattına denk gelmemesi durumudur.

Ortalama Doldurma Düzlemi (Eşdeğer Yüzey): Silolanan malzemeye aynı hacmi veren hayali yatay yüzeydir (Şekil 4.1).

Akış Düzeni: Silo yaklaşık olarak dolu olduğunda iyi oluşturulmuş malzeme akış düzeni (Şekil 4.3).

Akış Türleri:

Çekirdek Akışı: Tanecikli malzemenin huni ağzı üzerinden kanal şeklinde akmasıyla oluşan formun adıdır.

Karışık Akış: Akış kanalının huninin düşey duvarlı bölümü ile kesişmesi sonucu oluşan akış.

Boru Akışı: Granüler malzemenin üzerinde yükselmesiyle oluşan akış.

Kütle Akışı: Boşaltma sırasında silodaki tüm malzemelerin hareket halinde olması durumu.

Tam Dolu Durum: Yapının tasarım ömrü boyunca silo halindeki katı maddenin çalışma koşulları altında maksimum ölçüde doldurulabileceği durumdur ve silo için tasarım durumunu gösterir.

Hazne: Eğimli duvarlı silo tabanı

Granüler Katı: Birçok ayrı, bağımsız parçacıktan oluşan siloda depolanan katı malzeme.

Sığ Bunker: Silo doldurulduktan sonra duvar sürtünmesinin etkinleştirilemediği bunker

İnce Silo: $h_c/d_c \geq 2,0$ olan veya bölüm 4.6.2'deki ek gereksinimleri karşılayan silo.

Sığ Silo: $0,4 < h_c/d_c \leq 1,0$ koşulunu sağlayan silo tipidir. Veya $h_c/d_c \leq 0,4$ koşulu karşılanıyorsa ve huni sığsa; Aksi halde düz tabanlı bir silodur.

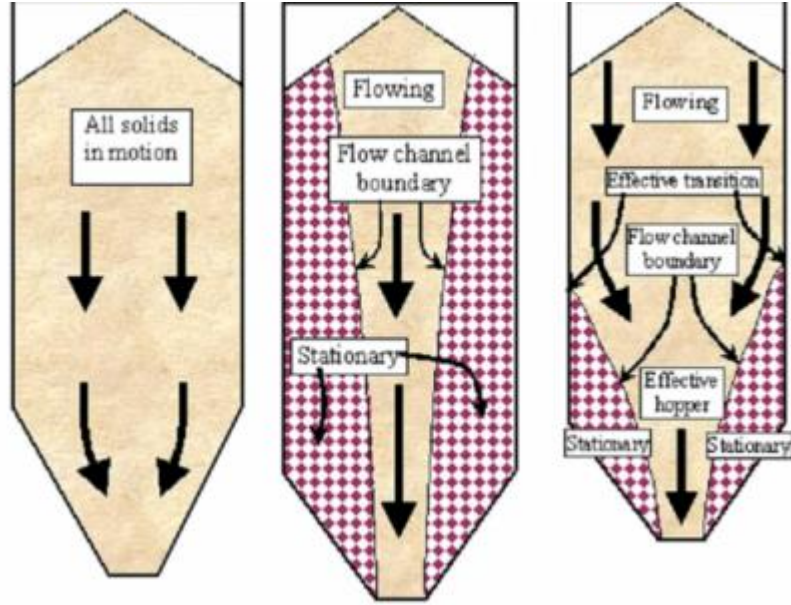
Ek Yük: Dikey silo duvarının belirli bir alanına etki eden yerel yük.

İnce Duvarlı Dairesel Silo: Çap/et kalınlığı oranı (d_c/t) 200'den büyük olan dairesel silo

Çekme: Silo dikey duvarına ve hazne duvarına paralel birim alana etki eden sırasıyla dikey ve eğimli kuvvet.

Basınç: Dikey veya eğimli silo duvarına birim alan başına etki eden kuvvet.

Geçiş: Huni ile düşey duvarın kesişme noktalarından oluşan yatay düzlemdeki daire.



Şekil 4.3. Silolarda Akım Şekilleri

4.4. Etkilerin Gösterimi

Silolarda oluşan etkileri ve bu etkilerin hesaplanma yöntemini açıklamaktadır. Silolar üzerindeki etkiler, silonun yapısına, depolanan malzemenin özelliklerine ve deşarj akımının türüne bağlıdır.

Temel Prensipler: Etkileri Belirleyen Faktörler:

- Silonun yapısı
- Depolanan malzemenin özellikleri
- Deşarj akımının türü
- Akış tipi
- Doldurma ve boşaltma eksantrikliği
- Yükleme Tipleri: Simetrik yükler:
 - Dikey silo duvarına etki eden yatay basınç (p_h)
 - Eğimli huni duvarına etki eden normal basınç (p_n)
 - Dikey ve eğimli hazne duvarına etki eden teğetsel sürtünme kuvvetleri (p_w ve p_t)
 - Silolanmış malzemeye etki eden düşey basınç (p_v)
- Simetrik olmayan ek yükler:
 - Doldurma ve boşaltmadaki küçük eksantrikliklerden dolayı oluşan lokal ek yük (p_H)
 - Doldurma ve/veya boşaltmadaki büyük dışmerkezliklerden dolayı oluşan simetrik olmayan yatay basınç ve duvar sürtünmesi (p_w)

C Duvar Yükü Artış Katsayısı: Diğer olası negatif ek yükleri hesaba katmak için kullanılır.

Darbe değeri sınıfı 2 ve 3 olan silolarda sadece boşaltmadan kaynaklanan negatif ek yükler için kullanılır.

Darbe değeri sınıfı 1 olan silolarda hem boşaltmadan kaynaklanan negatif ek yükleri hem de depolanan malzemenin özelliklerindeki değişiklikleri dikkate almak için kullanılır.

Pratikte simetrik etkiler C katsayısı ile büyütülerek dikkate alınır. Silolardaki etkilerin karakteristik değerlerinin 1 yıllık referans aralığı içerisinde aşılma olasılığı EN1990'dan %2 olarak alınmıştır.

4.5. Silolardaki Etkilerin Sınıflandırılması

Silolarda oluşan etkilerin Eurocode 1-4 standardına göre nasıl sınıflandırıldığını açıklamaktadır. Etki değeri sınıfları, farklı silo yapılarının tasarlanmasına ve çökme riskini azaltmaya yardımcı olmak için oluşturulmuştur.

Silolanmış Malzemedan Kaynaklanan Yükler: Değişken Darbe Etkisi olarak sınıflandırılır.

Simetrik Yükler: Değişken Sabit Etkili Etkiler olarak sınıflandırılır.

Doldurma ve Boşaltmadan Kaynaklanan İlave Yükler: Değişken Serbest Etkiler olarak sınıflandırılır.

Doldurma ve Boşaltmadan Kaynaklanan Eksantrik Yükler: Değişken Sabit Etkili Etkiler olarak sınıflandırılır.

PNömatik Taşıma Sistemlerinden Kaynaklanan Gaz Basıncı: Değişken Sabit Etkili Etki olarak sınıflandırılır.

Olası Toz Patlama Yükleri: Kaza Etkisi olarak sınıflandırılır. (Tahıl silolarında yaygın değildir.)

Etki Değeri Sınıfları:

Etki Değeri Sınıfı 1 (EDS 1): Basitleştirilmiş hesaplama yöntemleri kullanılabilir.

Etki Değeri Sınıfı 2 (EDS 2): Daha karmaşık hesaplama yöntemleri gereklidir.

Etki Değeri Sınıfı 3 (EDS 3): En karmaşık hesaplama yöntemleri gereklidir

Çizelge 4.1. Etki değer sınıflandırması

Etki Değer Sınıfı	Tanımı
Etki Değer Sınıfı 3	10.000 tonun üzerindeki kapasiteler 1.000 tonun üzerindeki kapasite ve ya eksantrik boşaltma, $e_0/d_c > 0,25$ ya da yığın üst eksantrisitesi $e_1/d_c > 0,25$ olan sığ silo
Etki Değer Sınıfı 2	Diğer sınıflara girmeyen silolar
Etki Değer Sınıfı 1	100 tonun altındaki kapasiteler

İngiliz Malzeme Taşıma Kurulu'nun (British Materials Handling Board) siloları nasıl sınıflandırdığını açıklamaktadır. Sınıflandırma, depolama kapasitesine, tasarım yöntemine ve boşaltma deliği dışmerkezliğine göre yapılmaktadır.

Sınıf 1: 100 tondan az malzeme depolayan küçük silolar. Genellikle fazla sağlamlaştırılmış basit yapılardır.

Sınıf 2: 100 ile 1.000 ton arası malzemeleri depolamak için kullanılan silolar. Basit el hesaplamalarıyla tasarlanabilirler. Basınç tahmini ve akışkanlığa dikkat edilmesi gerekir.

Sınıf 3: Kapasitesi 1.000 tonun üzerinde olan büyük silolar. Karmaşık sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak tasarlanmaları gerekir.

Sınıf 4: Boşaltma deliği dışmerkezliği (e_o) silo çapının (d_c) %25'ini aşan silolar.

4.6. Tasarım Durumları

Dört temel adımdan oluşan tasarım aşamaları şu şekilde olabilir.

1. Depolanacak malzemenin mukavemet ve akıcılık özellikleri belirlenmelidir.
2. Belirlenen her kritik yük için yük kombinasyonları belirlenmelidir. Tahmini kapasiteye göre yaklaşık silo boyutlarına karar verilmelidir. Sabit ve öngörülebilir akış koşulları korunmalıdır.
3. Depolanan malzemeden dolayı siloda oluşan kuvvetler hesaplanmalıdır. Rüzgar, deprem ve diğer ekipmanların termal etkileri hesaplanmalıdır.
4. Malzeme tasarımı ve detaylandırma yapılmalıdır.

Tasarım aşamasına gelmeden önce siloya etkiyen yüklerin hesaplanması gerekmektedir. Yükler, diğer etkilerin yanı sıra akış tipine, depolanan malzemenin bazı fiziksel özelliklerine ve silo geometrisine bağlı olarak değişir. Yapısal tasarım en azından silo geometrisine ve akış düzenine bağlıdır.

Avrupa standartları (Eurocode 1: Bölüm: 4), silo ve hazne duvarlarına etki eden kuvvetlerin hesaplama yöntemini ve basitleştirilmiş fonksiyonel tasarım prosedürlerini içerir. Eurocode'da (Eurocode 3: bölüm 4.1) silo tasarımıyla ilgili ayrıntılı bilgi verilmesine rağmen bu çalışma henüz tamamlanmamıştır.

4.6.1. Silolanmış malzeme tasarımı durumu

Silolarda depolanan malzemelerden kaynaklanan yüklerin nasıl hesaplanacağını açıklamaktadır. Hesaplamalar sırasında silonun dolu durumu, doldurma ve boşaltma yükleri ve farklı sınır durumları dikkate alınmalıdır.

Hesaplama Prensipleri:

Dolu Durum: Siloda depolanan malzemenin ağırlığından kaynaklanan yükler hesaplanırken silonun dolu olduğu varsayılır.

Doldurma ve Boşaltma Yükleri: Doldurma ve boşaltma sırasında oluşan dinamik yükler, taşıma kapasitesi ve kullanılabilirlik sınır durumları için ayrı ayrı hesaplanır.

- Sınır Durumları: Farklı sınır durumları için aşağıdaki maksimum yükler belirlenir:
- Dikey silo duvarındaki maksimum basınç
- Dikey silo duvarında maksimum sürtünme kuvveti
- Silonun tabanındaki maksimum dikey basınç
- Haznedeki maksimum yük

Yük Hesaplamaları:

Tüm yük hesaplamalarında birim ağırlığın üst karakteristik değeri (γ) kullanılır.

Her sınır durumu için uyumlu malzeme değerleri (μ , K , ϕ_i) kullanılarak hesaplama yapılır.

Bu malzeme değerleri, her yükün yalnızca bir silolanmış katıya karşılık gelmesini sağlar.

Çizelge 4.2 ve 4.3’de sırasıyla düşey silo duvarı ve huni için silolanan malzeme yük hesabında maksimum değer oluşturacak olan karakteristik değer grupları verilmektedir

Çizelge 4.2. Düşey silo duvar yük hesabında kullanarak malzeme karakteristiği değerleri

Amaç	Kullanılacak karakteristik değer		
	Duvar sürtünme katsayısı μ^*	Yanal basınç oranı K	İç sürtünme açısı ϕ_i
Düşey silo duvarı	Alt	Üst	alt
Dik duvardaki maksimum normal basınç	Alt	Üst	alt
Düşey duvardaki maksimum sürtünme çekmesi	Üst	Üst	Alt
Hunideki/tabandaki maksimum düşey yük	Alt	Alt	Üst

Çizelge 4.3. Huni duvar yük hesabında kullanılacak malzeme karakteristiği değerleri

Amaç	Duvar sürtünme katsayısı μ	Yanal basınç oranı K	İç sürtünme açısı ϕ_i
Huni			
Doldurmadaki maksimum huni basıncı	Alt (huni için)	Alt	Alt
Boşaltmadaki maksimum huni	Alt (huni için)	Üst	Üst

4.6.2. Farklı silo geometrik durumları için tasarım durumu

Farklı silo geometrik durumları, silo üzerinde farklı yük dağılımlarına neden olur. Bu nedenle, tasarımda bu farklı yük dağılımları dikkate alınmalıdır.

Dolum Durumu:

Dolum sırasında, siloda eksantrik birikim oluşabilir. Bu durum, farklı dolum yoğunluklarına ve simetrik olmayan basınçlara neden olur.

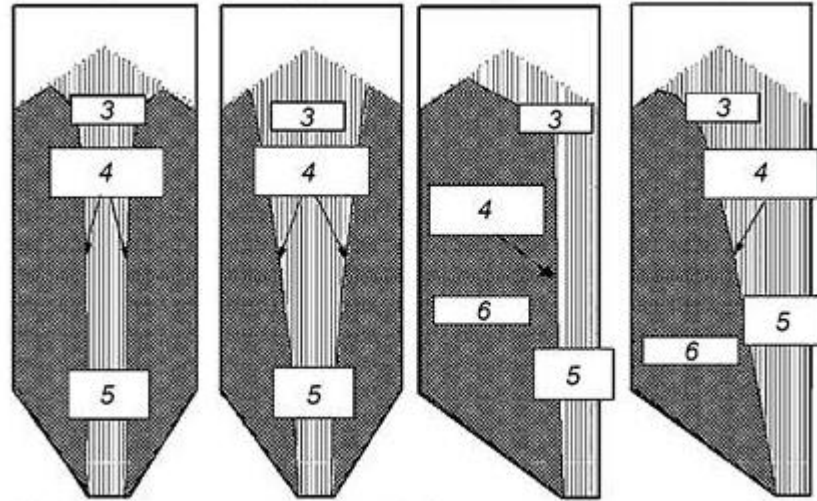
Basınç hesaplaması, dışmerkezliğin maksimum olduğu duruma göre yapılmalıdır. (Bölüm 4.8.1.1, Dikey duvarlarda dolgu yükleri)

Boşaltma Durumu:

Boşaltma sırasında oluşan akış şekli tasarımda dikkate alınmalıdır.

Boru akışının meydana geldiği ve borunun tamamen malzeme içinde kaldığı durumlarda tahliye basınçları ihmal edilebilir. (Şekil 4.4a ve b)

Bu koşullar, merkezi olarak boşaltma yapan sıg silolarda ve yukarıdan mekanik olarak boşaltma yapan silolarda karşılanır.

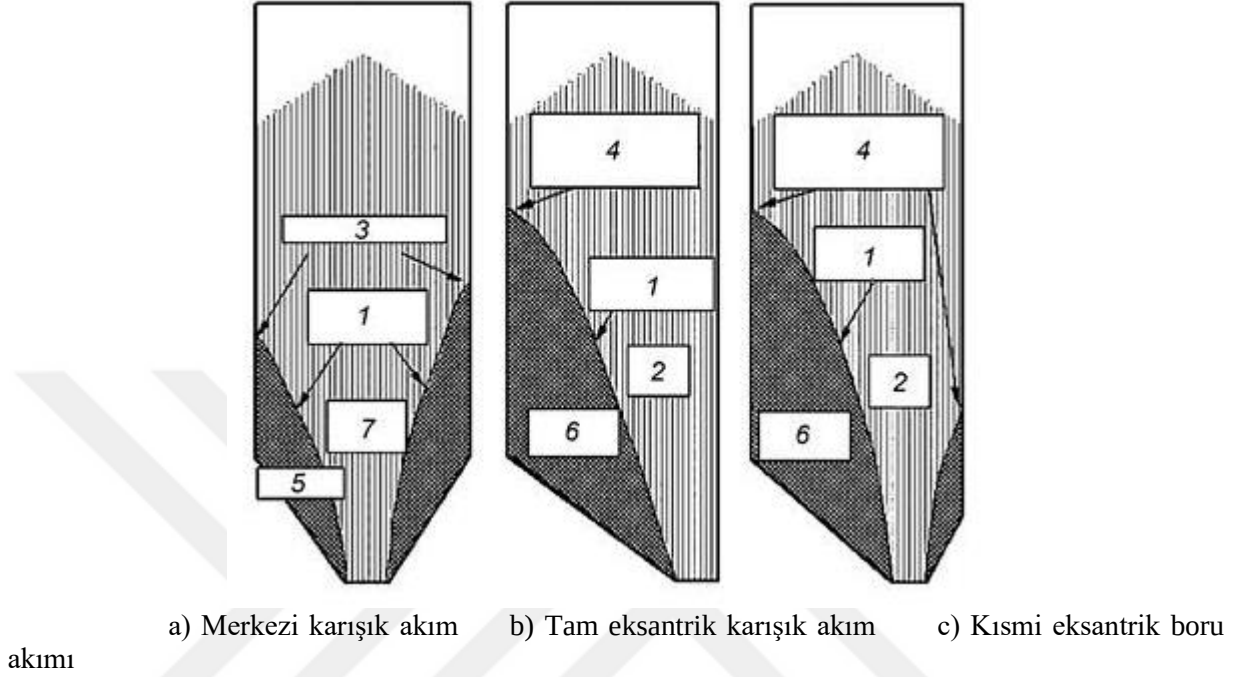


Şekil anahtarı:

1. İç boru akımı
2. Eksantrik boru akımı
3. Akım bölgesi
4. Akım kanalı sınırı
5. Akan boru
6. Ölü bölge (hareketsiz bölüm)

Şekil 4.4. Boru akım durumları

Boru akımı ya da karışık akımın silo duvarıyla kısmi olarak temasta olduğu akım durumlarında oluşacak simetrik olmayan basınçlar değerlendirmeye alınmalıdır (şekil 4.5b ve c).



- Şekil anahtarı:
1. Akım kanalı sınırı
 2. Akım bölgesi
 3. Etkin taşınma
 4. Silo çevresinde değişen etkin taşınma
 5. Ölü bölge
 6. Ölü bölge
 7. Etkin huni

Şekil 4.5. Karışık akım durumları

4.6.3. Özel Tasarım Durumları

Kullanılabilirlik sınır durumuna göre silo tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken unsurları açıklamaktadır. Bu sınır durumu, silonun normal kullanım koşullarında güvenli ve işlevsel kalmasını garantilemeyi amaçlar.

Çatlak Genişliği: Çatlak genişliği, silonun içine su girmeyecek şekilde olmalıdır.

Simetrik Olmayan Yükler: Cıvatalı veya perçinli metal silolarda simetrik olmayan yüklerin silo üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır. (Bölüm 4.8.1.1)

Yorulma Etkisi: Ortalama olarak günde en az bir kez doldurulup boşaltılan silolarda veya siloda titreşim varsa yorulma etkisi dikkate alınmalıdır. (Tahıl silolarında genellikle geçerli değildir.)

Montaj ve Taşıma Yükleri: Prefabrik silolarda montaj, taşıma ve diğer durumlarda maruz kalabilecek yükler de dikkate alınmalıdır.

Menhol ve Erişim Kapakları: Silo yüzeyinde bırakılan menhol ve erişim kapaklarının tasarımında, kapağın yanındaki duvara etkiyen maksimum ek yükler iki katına çıkarılarak kapak ve kapak destek tasarımı yapılmalıdır.

Dış Etkiler: Çatıda olabilecek filtre ve taşıma sistemlerine ilişkin yükler dış etki olarak değerlendirilmelidir.

Pnömatik Taşıma Sistemleri ve Vibratörler: Siloya akuple olarak pnömatik taşıma sistemleri veya vibratörler kullanılıyorsa yorulma limit durumuna göre tasarım yapılmalıdır.

Kaplama: Yapının silo duvarını korumak veya akış özelliklerini değiştirmek veya silolanmış malzemeyi korumak amacıyla kaplanması durumunda bunun siloda yaratacağı akış değişikliği ve getireceğı ek yük değişiklikleri dikkate alınmalıdır.

4.7. Silolanmış Malzemenin Özellikleri ve Etkileri

Silolarda depolanan malzemelerin özellikleri, silo üzerindeki etkileri önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, tasarımda aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır:

Malzeme Özellikleri: Depolanacak malzemelerin alt ve üst aralıktaki özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Bu özellikler arasında yoğunluk, akışkanlık, tane boyutu ve iç sürtünme açısı yer alır.

Yüzey Sürtünmesi: Silolanmış malzeme ile silo duvarı arasındaki yüzey sürtünmesi, silo duvarına etki eden kuvvetleri ve basıncı etkiler.

Silo Geometrisi: Silonun şekli ve boyutları, akış paternini ve silo duvarına etki eden kuvvetleri etkiler.

Doldurma ve Boşaltma Yöntemleri: Doldurma ve boşaltma sırasında kullanılan yöntemler, silo duvarına etki eden dinamik kuvvetleri etkiler.

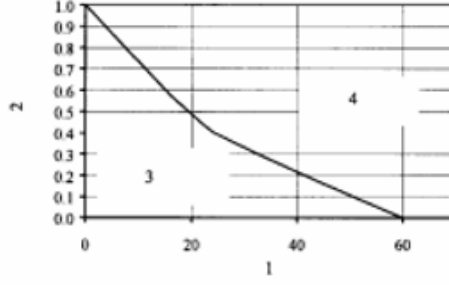
Akış Tipinin Belirlenmesi:

Siloda oluşacak akış tipi, silo tasarımında önemli bir rol oynar. Akış tipi, Şekil 4.6'da verilen grafikler kullanılarak belirlenebilir. Ancak bu grafikler, iç sürtünme açısını ihmal ettikleri için fonksiyonel tasarımlarda kullanılamaz.

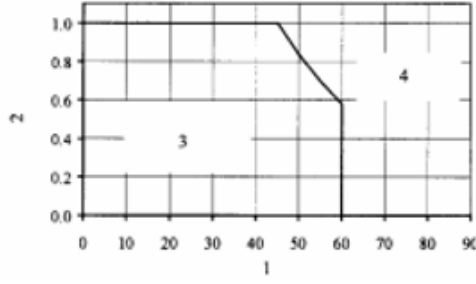
Silolanmış malzeme, silo duvarının sağlamlığını doğrudan etkilemez.

Silolanmış malzeme, silo kesitlerinde dikkate alınan yüklerde herhangi bir değişikliğe neden olmaz.

Kullanım sırasında oluşabilecek duvar deformasyonları ve silolanan malzeme içerisindeki basınç değişiklikleri göz ardı edilmemelidir.



a) Kesik koni huniler



b) Kama huniler

Şekil anahtarı:

1. Huni apeks yarı açısı, β°
2. Huni duvarı sürtünme katsayısı μ_h
3. Kütlesel akım basıncı risk bölgesi
4. Çekirdek akım bölgesi

Şekil 4.6. Kütlesel akım basıncı oluşma şartları

4.7.1. Genel kurallar

Malzeme Özellikleri: Malzeme özellikleri, standartlarda verilen ilgili tablolardan veya deneylerle belirlenebilir.

Test Değerlerinin Yorumlanması: Yük hesabında kullanılacak test değerleri, tasarım kurallarına ve ruhuna uygun şekilde yorumlanmalıdır. Bu yorumlamada aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

Ölçülen değerler sabit değildir ve gerilim seviyesine ve deformasyon moduna bağlı olarak değişebilir.

Zaman içerisinde değişiklikler olabilir.

Test numunesinin kırılmalılığı veya sünekliği, Malzemenin test aparatına ve siloya yerleştirilme şekli.

Duvar Sürtünmesi: Duvar sürtünmesini etkileyebilecek faktörler şunlardır:

- Tahıllar ile duvar ve nem arasında olası korozyon veya kimyasal reaksiyon
- Duvar sürtünmesini artırabilecek aşınma ve sürtünme
- Duvarın cilalanması ve cilalanması
- Duvarda kaygan kalıntıların birikmesi

Malzeme Özelliklerini Belirlemede Test Yöntemleri: Malzeme özelliklerinin testlerle belirlenmesinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Test edilen numune silolanacak malzemenin özelliklerini temsil etmelidir.
- Test yöntemi ve yaklaşımı uygun şekilde seçilmelidir.
- Test sonucu diğer test sonuçlarıyla tutarlı olmalıdır.
- Test değerleri silonun ömrü boyunca silolanabilecek tüm malzemeleri kapsamalıdır.

Alt ve Üst Karakteristik Değerlerin Seçimi: Hesaplanan yüke göre alt ve üst karakteristik değerlerin seçiminde deneyimlerden ve laboratuvar değerlerinden elde edilen güvenilir rakamlar kullanılmalıdır.

Katıların Özellikleri: Tasarımda kullanılacak katıların özelliklerine ilişkin değerler kullanılırken bileşim, üretim yöntemi, tane büyüklüğü ve nem içeriği gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

Granül Malzemenin Akış Özellikleri: Silolanacak granül malzemenin akış özelliklerinin iyi bilinmesi veya belirlenmesi gerekmektedir. İlgili değerler ya hazırlanan tablolardan alınır ya da deneylerle belirlenir. Deney yoluyla tespit yapılırken, test edilen numunenin silolanacak malzemeyi temsil edebilecek özelliklere sahip olması çok önemlidir.

Ortalama Değerlerin Belirlenmesi: Ortalama değerlere karar verilirken bileşim, sınıflandırma, sıcaklık, yaş vb. gibi ikincil unsurlar da dikkate alınmalıdır.

Silolanacak granül malzemenin akış özelliklerinin iyi bilinmesi veya belirlenmesi gerekmektedir. İlgili değerler ya hazırlanan tablolardan alınır ya da deneylerle belirlenir. Deney yoluyla tespit yapılırken, test edilen numunenin silolanacak malzemeyi temsil edebilecek özelliklere sahip olması çok önemlidir. Ortalama değerlere karar verilirken bileşim, sınıflandırma, sıcaklık, yaş vb. dikkate alınır. ikincil unsurlar da dikkate alınmalıdır.

Ortalama değerler formülünden karakteristik değerlerin elde edilmesi 4.1-4.6. İlgili dönüşüm faktörleri a kullanılarak yapılmalıdır. Dönüşüm faktörlerine karar verirken malzemelerin silonun ömrü boyunca meydana getirdiği değişimler dikkate alınmalı, ayrıştırma ve numune alma hataları dikkate alınmalıdır.

-Eurocode1:Bölüm 4 göre :

$$\text{Yanal basınç oranı üst karakteristik değeri, } K = a_K K_m \quad \dots(4.1)$$

$$\text{Yanal basınç oranı alt karakteristik değeri, } K = K_m/a_K \quad \dots(4.2)$$

$$\text{Duvar sürtünme katsayısı üst karakteristik değeri, } \mu = a_\mu \mu_m \quad \dots(4.3)$$

$$\text{Duvar sürtünme katsayısı alt karakteristik değeri, } \mu = \mu_m / a_\mu \quad \dots(4.4)$$

$$\text{İç sürtünme açısı üst karakteristik değeri, } \varphi = a_\varphi \varphi_m \quad \dots(4.5)$$

$$\text{İç sürtünme açısı alt karakteristik değeri, } \varphi = \varphi_{im} / a_{\varphi} \quad \dots(4.6)$$

Darbe değeri sınıfı 1 olan siloların hesabında alt ve üst karakteristik değerleri yerine sadece ortalama değerler kullanılabilir.

Yeterli deneysel veri mevcut ise ilgili özelliğin standart sapması bulunarak istatistiksel yöntemler kullanılarak dönüşüm faktörleri hesaplanmalıdır.

Dönüşüm faktörü en az %75 oranında yalnızca bir ikincil unsurdan etkileniyorsa bulunan faktörün %10 oranında arttırılması gerekir.

4.7.2. Silolanacak malzemenin test edilmesi

Birim ağırlık, γ

Silodaki malzemenin dolum sonrası maruz kalacağı maksimum yatay dolum basıncı p_{hfb} hesaplanarak Ek A'da belirtilen yöntemle hesaplanan p_{hfb} gerilimi altında ilgili test gerçekleştirilir. Dikey silo duvarının tabanındaki maksimum dikey gerilmeyi (p_{vf}) veren uygun denklem 4.14 veya 4.74 kullanılır. Testlerle aksi kanıtlanmadıkça dönüşüm faktörü a 1,10'dan az olmamalıdır.

Duvar sürtünme katsayısı, μ_m

Silodaki malzemenin dolum sonrasında maruz kalacağı maksimum düşey gerilme hesaplanarak Ek A'da belirtilen yöntemle hesaplanan gerilme altında ilgili test gerçekleştirilir. Dikey silo duvarının tabanındaki maksimum gerilmeyi veren uygun denklem 4.12 veya 4.67 kullanılır. Ortalama değer ve standart sapmanın testlerle bulunması tavsiye edilir. Testlerle aksi kanıtlanmadıkça dönüşüm faktörü a 1,10'dan az olmamalıdır.

İç sürtünme açısı, φ_i

İlk yüklemede kırılma anındaki kesme kuvveti olan iç sürtünme açısı φ_i yükleniyor

Gerilmenin normal gerilmeye oranının artan fonksiyonu olarak ifade edilir, malzemenin dolum sonrası maruz kalacağı maksimum düşey gerilme hesaplanır ve bu gerilme altında Ek A'da belirtilen yöntemle yapılır. Uygun denklem 4.14 veya dikey silo duvarının tabanında maksimum gerilmeyi veren 4.74 kullanılır.

Ortalama değer ve standart sapmanın testlerle bulunması tavsiye edilir. Testlerle aksi kanıtlanmadıkça dönüşüm faktörü a 1,10'dan az olmamalıdır.

Yanal Basınç Oranı, K

Ortalama yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı olarak ifade edilen yanal basınç oranı K , malzemenin dolum sonrasında maruz kalacağı maksimum düşey gerilme hesaplanarak Ek A'da belirtilen yöntemle hesaplanan gerilme altında yapılır.

Dikey silo duvarının tabanındaki maksimum pvf gerilmesini veren uygun denklem 4.14 veya 4.74 kullanılır. Ortalama değerin ve standart sapmanın testlerle bulunması tavsiye edilir. Testlerle aksi kanıtlanmadıkça dönüşüm faktörü a 1,10'dan az olmamalıdır. Alternatif olarak ortalama yanal basınç denklem 4.7'den hesaplanabilir:

$$K_m = 1.1 (1 - \sin \phi_m) \quad \dots(4.7)$$

Buradaki 1,1 katsayısı, neredeyse sıfır duvar sürtünmesi olan durum ile duvar sürtünmesi olan durum arasındaki farkı hesaba katmak için eklenmiştir.

Uyum, c

Ek A'da belirtilen yöntemle hesaplanan gerilme altında yapılır. Dikey silo duvarının tabanındaki maksimum gerilmeyi veren uygun denklem 4.14 veya 4.74 kullanılır.

Silo boşaltma sırasında, silo duvarı ve malzemenin etkileşimi gibi çeşitli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörleri hesaba katmak için boşaltma faktörleri kullanılır. Boşaltma faktörleri ikiye ayrılır:

1. C Faktörleri:

Boşaltma Tipine Göre Farklılık Gösterir: C faktörleri, silonun boşaltma şekline (örneğin kütle akışı veya çekirdek akışı) göre değişir.

Simetrik Etkileri Hesaplar: C faktörleri, silonun şekli ve malzemenin homojenliği gibi simetrik etkileri hesaba katar. Bu etkiler, depolanan malzemeden bağımsızdır.

2. C_{op} Faktörü:

Simetrik Olmayan Etkileri Hesaplar: C_{op} faktörü, silonun şekli veya malzemenin homojensizliği gibi simetrik olmayan etkileri hesaba katar. Bu etkiler, silolanan malzemeye bağlıdır.

Belirlenmesi Z_{or} : C_{op} faktörünün belirlenmesi oldukça zordur ve genel kabul görmüş bir test yöntemi henüz geliştirilmemiştir.

Bazı Katılar için Tablo E1'de Değerler Mevcut: Bazı katılar için C_{op} faktörünün değerleri Tablo E1'de bulunabilir. Bu tabloda listelenmeyen katılar için denklem 4.8 kullanılabilir

Yaklaşık olarak da hesaplanabilir.

$$C_{op} = 3,5 a_{\mu} + 2,5 a_{\kappa} - 6,2$$

Eurocode1: Bölüm 3 (4.8)

4.7.3. Basitleştirilmiş yaklaşım

Bu tabloda, farklı duvar tipleri için duvar sürtünme sınıflandırması sunulmaktadır. Bu sınıflar, yüzey pürüzlülüğü yerine duvar sürtünmesi hakkında genel bir fikir vermektedir. Gerçekte, duvar sürtünme katsayısı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki oldukça zayıftır. Bu nedenle, tabloda verilen değerler sadece referans amaçlı kullanılmalıdır.

Bu tabloda, duvar sürtünme sınıfına göre deney yapılmadan bilinen ortalama değişim katsayısı değerleri sunulmaktadır. Bu değerler, alt ve üst karakteristik değerlerin hesaplanmasında kullanılabilir. Hesaplama yöntemi, bölüm 4.7.3.1'de açıklanmaktadır.

Tablolarda yer alan değerler ortalama değerlerdir ve her uygulama için geçerli olmayabilir.

Detaylı bilgi için deneysel çalışmalar yapılması ve duvar sürtünme katsayısının doğru şekilde belirlenmesi önemlidir. Bölüm 4.7.3.1'de açıklanan yöntem, sadece ortalama değişim katsayısı değerlerinin kullanılabilir olduğu durumlarda uygulanabilir.

Standart Sapma: Karakteristik değerin ortalamadan ne kadar sapacağını gösteren bir ölçüdür. Bu çalışmada standart sapma 1,28 olarak kabul edilir.

Normal Dağılım: Bu yöntemde, yüklerin normal dağılım gösterdiği varsayılır. Bu varsayım, istatistiksel verilerden üst ve alt sınır değerlerini hesaplamamızı sağlar.

Karakteristik Değerlerin Belirlenmesi: Testler ve analizler yoluyla siloya etki eden yüklerin karakteristik değerleri belirlenir.

Standart Sapmanın Hesaplanması: Standart sapma, 1,28 olarak kabul edilir.

Üst ve Alt Sınır Değerlerinin Hesaplanması: Normal dağılım tablosunu kullanarak karakteristik değerin üst ve alt sınır değerleri hesaplanır.

Örnek: Karakteristik değeri 100 kN olan bir yük için, üst ve alt sınır değerlerini hesaplayalım:

$$\text{Üst sınır değeri: } 100 \text{ kN} + (1,28 * 100 \text{ kN}) = 128 \text{ kN}$$

$$\text{Alt sınır değeri: } 100 \text{ kN} - (1,28 * 100 \text{ kN}) = 72 \text{ kN}$$

Bu yöntem, silo tasarımında kullanılacak yüklerin değişkenliğini hesaplamak için basit ve pratik bir araç sunar. Hesaplanan üst ve alt sınır değerleri, silonun en olumsuz yükleme koşullarına karşı dayanıklılığını test etmek için kullanılabilir.

Bu yöntem, normal dağılımın geçerli olduğu varsayımlarına dayanmaktadır. Gerçekte, yükler farklı bir dağılım gösterebilir. Bu durumda, daha karmaşık istatistiksel yöntemler kullanılması gerekebilir.

x herhangi bir özelliği temsil etmek üzere,

*: ortalama değer

δ : değişim katsayısı

x_u : üst karakteristik değer, $x_{0,90}$

$$x_{0,90} = * (1 + 1,28 \delta) \quad \dots(4.9)$$

x_l : alt karakteristik değer, $x_{0,10}$

$$x_{0,10} = * (1 - 1,28 \delta) \quad \dots(4.10)$$

Çeviri faktörü a_x aşağıdaki denklem yoluyla bulunabilir:

$$a_x = \sqrt{\frac{1+1,28\delta}{1-1,28\delta}} \sim 1 + 1,28 \delta + \delta^2 \quad \dots(4.11)$$

Çizelge 4.4. duvar sürtünme sınıflandırması

Kategori	Tanım	Tipik duvar malzemesi
D1	Düşük sürtünmeli-kaygan	Soğuk çekilmiş paslanmaz çelik Parlatılmış paslanmaz çelik Düşük sürtünme için tasarlanmış kaplanmış yüzey Parlatılmış alüminyum
D2	Orta derece sürtünmeli-düzgün	Yumuşak karbon çeliği (cıvatalı veya perçinli silo) Çekilmiş paslanmaz çelik Galvaniz kaplı karbon çeliği Oksitlenmiş alüminyum Korozyon veya aşınmaya karşı kaplanmış yüzey
D3	Yüksek sürtünmeli-pürüzlü	Beton Paslanmış karbon çeliği Aşınmaya dayanıklı çelik Seramik
D4	Düzensiz	Yatay oluklu duvar Yatay nervürlü çelik Standart olmayan düzensiz duvarlar

Çizelge 4.5. Sıklıkla kullanılan taneli malzemeler için tipik değişim katsayısı değerleri

Taneli Malzeme	Değişim katsayısı, δ				
	Yanal basınç katsayısı, (K)	İç sürtünme açısı, (ϕ)	Duvar sürtünme katsayısı, (μ)		
			Tip D1	Tip D2	Tip D3
Agrega	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Çimento	0,14	0,16	0,05	0,09	0,05
Kömür	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Uçucu kül	0,14	0,12	0,05	0,05	0,05
Un	0,08	0,05	0,11	0,11	0,11
Buğday	0,08	0,09	0,11	0,11	0,11
Şeker	0,14	0,14	0,05	0,05	0,05
Kum	0,08	0,07	0,11	0,11	0,11

Çizelge 4.6. Malzeme özellikleri

Daneli malzeme türü	Birim ağırlık, γ		Şev açısı ϕ_r	İç sürtünme açısı ϕ_i		Yanal basınç oranı K		Duvar sürtünme katsayısı ($\mu = \tan \phi_w$)				Ek yük malzeme referans faktörü Cop
	γ_t	γ_u		ϕ_{im}	ϕ_f	Km	aK	Duvar tipi D1	Duvar tipi D2	Duvar tipi D3	a_p	
	Alt	Üst	*	ortalama	faktör	ortalama	faktör	ortalama	ortalama	ortalama	faktör	
	kN/m ³	kN/m ³	derece	* derece								
Varsayılan malzeme	6	22	40	35	1,3	0,5	1,5	0,32	0,39	0,5	1,4	1
Agrega	17	18	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4
Alümin	10	12	36	30	1,22	0,54	1,2	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Arpa *	7	8	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5
Çimento	13	16	36	30	1,22	0,54	1,2	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Klinker	15	18	47	40	1,2	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7
Kok	6,5	8	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6
Un	6,5	7	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6
Sönmüş kireç	6	8	34	27	1,26	0,58	1,2	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6
Patates	6	8	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5
Kum	14	16	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4
Şeker *	8	9,5	38	32	1,19	0,5	1,2	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4
Buğday *	7,5	9	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5

4.8. Silo Dikey Duvarına Etki Eden Yükler

Silolara etki eden yüklerin belirlenmesi, silonun güvenli ve işlevsel bir şekilde tasarlanması için kritik önem taşır. Bu yükler, silonun narinlik durumuna göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

Hassas Silolar:

$$h_c/d_c \geq 2,0$$

Bu kategorideki silolarda, dikey duvarlar yüksek basınçlara maruz kalabilir.

Tasarımda bu yüksek basınçlar dikkate alınmalıdır.

Orta Derecede Hassas Silolar:

$$1,0 < h_c/d_c < 2,0$$

Bu kategorideki silolarda, dikey duvarlara uygulanan basınçlar hassas silolara göre daha düşüktür.

Ancak, yine de tasarımda dikkate alınmalıdır.

Sığ Silolar:

$$0,4 < h_c/d_c \leq 1,0$$

Bu kategorideki silolarda, dikey duvarlara uygulanan basınçlar daha da düşüktür.

Tasarımda bu düşük basınçlar dikkate alınmalıdır.

Tutma Siloları:

$$h_c/d_c \leq 0,4$$

Bu kategorideki silolarda, dikey duvarlara uygulanan basınçlar en düşüktür.

Taban düz kabul edilir.

Yükleme Kombinasyonları:

Düşey duvara etki eden yüklerin belirlenmesinde, sabit yük (simetrik yük) ve serbest yük (ilave yük) aynı anda etki edebileceği varsayılır. Doldurma ve boşaltma sırasında dışmerkezliliklerin büyük olması durumunda, yeni yükleme kombinasyonları belirlenerek bu yüklerin simetrik olduğu ve ek yüklerle birlikte hareket etmediği varsayılır.

Boru Akışı:

Siloda iç boru akışının olacağı kesin ise tasarımda sadece dolum yükü ve (gerekliyse) dolum ek yükü dikkate alınabilir.

4.9. Örnek Silo Tasarımı

Bu bölümde şekilsel olarak gösterilen düz tabanlı buğday silosunun kapasitesine bağlı olarak yük tesirleri hesaplanacaktır. Hesaplanan yükler, SAP2000 kullanılarak oluşturulan modele yapılacaktır. Düz tabanlı buğday Silindir silonun yük hesapları yönetmeliğe uygun şekilde yapılacaktır. Tasarım yükleri altında yapılan sonlu eleman analizinin sonuçları sunulacaktır. Bu çalışmada, büyük bir depolama kapasitesine sahip bir silonun modellemesi yapılacak ve yönetmelikte belirtilen yük hesaplarının detaylı bir biçimde sunulması amaçlanacaktır. Depolama malzemesi olarak buğday seçilerek $h_c = 20$ m ve $d_c = 6$ m boyutlarında bir düz tabanlı çelik dairesel silonun tasarımı yapılacaktır.

Silo kapasitesini hesaplamak için silindirin hacminin belirlenmesi gerekmektedir. Arpa ortalama birim hacim ağırlığı ise $\gamma = 7$ kN/m³ olarak EN 1991-4:2006 Tablo E. 1 (Çizelge 4.5)' den alınmıştır.

$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 = 113,04 \text{ m}^2 \\ r &= 6 \text{ m} \\ V &= \pi r^2 h = \pi \times 3^2 \times 20 = 2938 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Arpa silosunun kapasitesi,

$W = V \times \gamma = 2056$ tonf olduğu için EN 1991-4:2006 Tablo 2.1'e göre hesaplamalar EDS-2 standardına göre gerçekleştirilecektir. Doldurma ve boşaltma ek yükleri hesaplanacak ve parametrelerin alt, üst ve ortalama değerleri dikkate alınacaktır.

Geometrik koşullar:

$$h_c/d_c = 26/10 = 2,66 < 10$$

$$h_c = 26 \text{ m} < 100 \text{ m}$$

$$d_c = 10 \text{ m} < 60 \text{ m}$$

Silonun narinliği:

$$h_c/d_c = 2,66 \geq 2,0 \text{ olduğu için narin silo olarak değerlendirilecektir.}$$

Silo kapasitesine göre etki değerlendirme sınıfı belirlenecektir.

Arpa silo kapasitesi 100tonf üzerinde olduğu için EDS-2 olarak hesaplama yapılacaktır.

Arpa için Çizelge 4.6'dan aşağıdaki değerler alınmıştır.

$$\phi_r = 34^\circ, \text{ şev açısı,}$$

$$\phi_{im} = 30^\circ, \text{ ortalama iç sürtünme açısı,}$$

$$a_\phi = 1,12 \text{ katsayısı,}$$

$$K_m = 0,54 \text{ ortalama yanal basınç oranı,}$$

$$a_K = 1,11 \text{ katsayısı,}$$

$$\mu = \tan \phi_w \text{ Duvar sürtünme katsayısı,}$$

$$a_\mu = 1,16 \text{ katsayısı,}$$

$$C_{op} = 0,5 \text{ ek yük katı referans katsayısı,}$$

Bu silo için duvar malzemesi (Çizelge 4.4) galvaniz kaplı karbon çeliği olarak (D2) olarak seçilmiştir. D2 için $\mu = 0,38$ 'dir

Alt ve üst karakteristik değerler hesaplanmalıdır.

Örnek olarak:

$$\text{Duvar sürtünme katsayısı üst karakteristik değeri, } \mu_{\bar{u}} = a_\mu \cdot \mu_m = 1,16 \times 0,38 = 0,44$$

$$\text{Duvar sürtünme katsayısı alt karakteristik değeri, } \mu_a = \mu_m / a_\mu = 0,38 / 1,16 = 0,33$$

Karakteristik değerler Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Arpa ve D2 tip duvar için karaktersitik değerler

K A R A K T E R İ S T İ K D E Ğ E R L E R								
Duvar sürtünme katsayısı			Yanal basınç oranı			İç sürtünme açısı		
μ (alt)	μ_m	μ (üst)	K (alt)	K_m	K (üst)	φ_i (alt)	φ_{im}	φ_i (üst)
0.28	0.33	0.38	0.53	0.59	0.66	24.56	28	31.92

4.10. Düşey Silo Duvarına Etkiyen Yükler:

Öncelikle, simetrik doldurma yüklerinin hesaplanması Bölüm 4.6.1.1'de açıklandığı şekilde gerçekleştirilecektir.

Doldurma durumunda dik basınç, $P_{hf}(z)$:

$$\frac{A}{U} = \frac{r}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ m}$$

$$z_0 = \frac{1}{K\mu} \frac{A}{U} = \frac{1}{(0,6)(0,33)} \cdot 1,5 = 7,576 \text{ m}$$

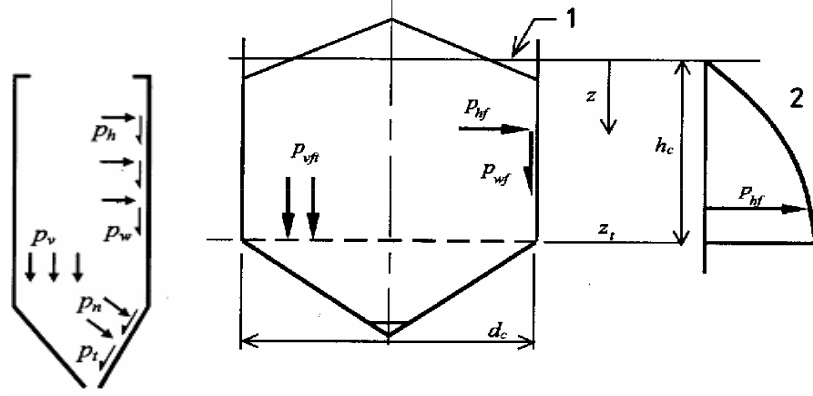
$$P_{h0} = \gamma K z_0 = (9)(0,6)(7,576) = 40.909 \text{ kN/m}^2$$

$$Y_J(z = 20) = 1 - e^{-\frac{z}{z_0}} = 1 - e^{-\frac{20}{7,576}} = 0,929$$

$$P_{hf}(z = 20) = P_{h0} Y_J(z = 20) = 40,909 \cdot 0,929 = 37.99 \text{ kN/m}^2$$

Çizelge 4.8. Yatay Basıncın Derinlikle Değişimi

z	$z_0 = A / K \mu U \text{ (m)}$	$p_{h0} = \gamma K z_0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$	$Y_J(z) = 1 - e^{-z/z_0}$	$p_{hf}(z) = p_{h0} Y_J(z) \text{ (kN/m}^2\text{)}$
0	13.53	71.429	0.000	0.00
2	13.53	71.429	0.137	9.82
4	13.53	71.429	0.256	18.28
6	13.53	71.429	0.358	25.59
8	13.53	71.429	0.446	31.89
10	13.53	71.429	0.523	37.32
12	13.53	71.429	0.588	42.01
14	13.53	71.429	0.645	46.05
16	13.53	71.429	0.694	49.54
18	13.53	71.429	0.736	52.55
20	13.53	71.429	0.772	55.14
22	13.53	71.429	0.803	57.38
24	13.53	71.429	0.830	59.31
26	13.53	71.429	0.854	60.98



Şekil 4.7. Yüklerin gösterimi

Sürtünme çekmesi, $p_{wf}(z)$:

Çizelge 3.3'e göre maksimum yatay basıncın hesaplanması için μ , K , ϕ_i 'nin sırayla üst, üst ve alt karakteristik değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılır.

$$z_0 = 9,968 \text{ m}$$

$$p_{ho} = \gamma K z_0 = 8 (0,66) (9.968) = 52.632 \text{ kN/m}^2$$

$$Y_J(z) = 1 - e^{-z/z_0} = 1 - e^{-26/9.968} = 0,926 \text{ ve}$$

Maksimum değeri aşağıdaki şekilde hesaplanan ve derinlikle orantılı olarak artan sürtünme çekmesi değerleri Çizelge 5.3'te sunulmuştur.

$$p_{wf}(z) = \mu p_{ho} Y_J(z) = 0,38 (52.632)(0.926) = 18.527 \text{ kN/m}^2 \text{ bulunur.}$$

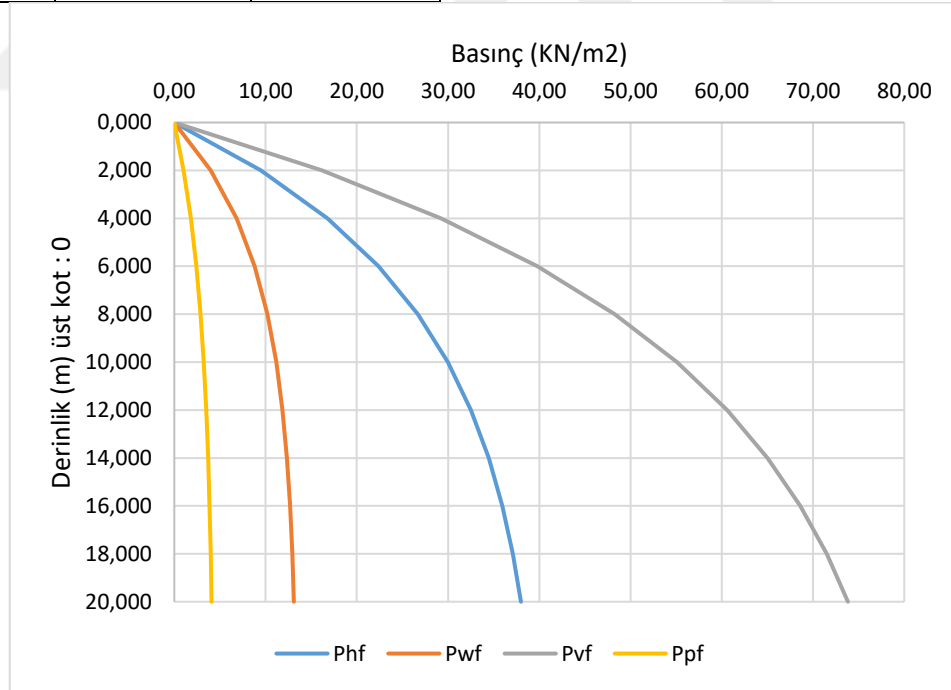
Çizelge 4.9. Sürtünme çekmesinin derinlikle değişimi

z	$z_0 = A / K$ $\mu U \text{ (m)}$	$p_{ho} = \gamma K z_0$ $\text{(kN/m}^2\text{)}$	$Y_J(z) = 1 - e^{-z/z_0}$ -	$p_{wf}(z) = \mu$ $p_{ho} Y_J(z)$ $\text{(kN/m}^2\text{)}$
0	9.968	52.632	0.000	0.000
2	9.968	52.632	0.182	3.636
4	9.968	52.632	0.331	6.611
6	9.968	52.632	0.452	9.045
8	9.968	52.632	0.552	11.036
10	9.968	52.632	0.633	12.666
12	9.968	52.632	0.700	13.999
14	9.968	52.632	0.755	15.090
16	9.968	52.632	0.799	15.983
18	9.968	52.632	0.836	16.713
20	9.968	52.632	0.866	17.311
22	9.968	52.632	0.890	17.799
24	9.968	52.632	0.910	18.200
26	9.968	52.632	0.926	18.527

Simetrik dolum yüklerine ilave olarak, doldurma ek yüklerinin hesaplanması Bölüm 4.6.1.1'de belirtilen yöntemle gerçekleştirilecektir. İnce duvarlı silolarda ($d_c/t > 200$) doldurma ek yükü, P_{pfs} , Denklem 4.18'e göre hesaplanacaktır. Doldurma ek basıncının referans değeri ise P_{pf} , Denklem 4.13'te verilmiştir. C_{pf} 'nin hesaplanması Denklem 4.14 kullanılarak yapılacaktır.

Çizelge 4.10. Düşey basıncın derinlikle değişim.

Z (m)	Yj	P_{vf} (kN/m ²)
0	0.000	0.000
2	0.194	16.192
4	0.350	29.243
6	0.476	39.764
8	0.578	48.244
10	0.660	55.079
12	0.726	60.589
14	0.779	65.030
16	0.822	68.610
18	0.856	71.495
20	0.884	73.821



Şekil 4.8. Doldurma durumunda silo duvarına etki eden basınçlar grafiği

4.10.1. Boşaltma yükleri

İlk olarak, simetrik boşaltma yükleri Bölüm 4.6.1.2'de açıklandığı şekilde hesaplanacaktır. Simetrik boşaltma basıncı P_{he} ve duvar sürtünmesi P_{we} , Denklem 4.21 ve 4.22'de belirtildiği gibi

hesaplanır. Burada, EDS-2 olan örnek silo için, yatay basınç için boşaltma faktörü C_h , 1,15 ve duvar sürtünmesi için boşaltma faktörü C_w , 1,0 kabul edilecektir. Ayrıca, doldurma ve boşaltma işlemlerinin merkezi olarak yapıldığı varsayılarak eksantriklik sıfır olarak kabul edilecektir.

Boşaltma durumunda en kritik değer olan dikey basınç:

$$P_{he} = C_h P_{hf} = (1,15)(37,99) = 43.688 \text{ kN/m}^2$$

Boşaltma durumunda en kritik değer olan sürtünme çekmesi:

$$P_{we} = C_w P_{wf} = (1,0)(13,1) = 14,410 \text{ kN/m}^2$$

Boşaltma esnasında dikey basınç ve sürtünme çekmesindeki değişimler Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Simetrik boşaltma yükü ve boşaltma ek yükü

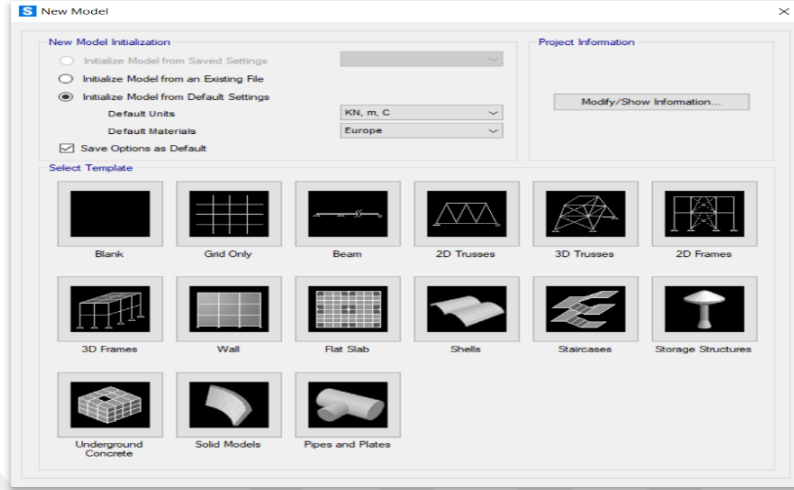
Z (m)	Yj	P_{hf}	P_{he} (kN/m ²)
0	0.000	0.000	0.000
2	0.232	9.492	10.916
4	0.410	16.782	19.299
6	0.547	22.380	25.737
8	0.652	26.679	30.681
10	0.733	29.981	34.478
12	0.795	32.516	37.394
14	0.842	34.464	39.633
16	0.879	35.959	41.353
18	0.907	37.108	42.674
20	0.929	37.990	43.688

4.11. Silindir Arpa Silosunun SAP2000 yardımıyla Modellenmesi

Bu bölümde, narin silonun 3D sonlu elemanlar analizi ve tasarımı için kullanılan Sap 2000 programı yardımıyla nasıl modelleneceğine dair temel bilgiler verilecektir.

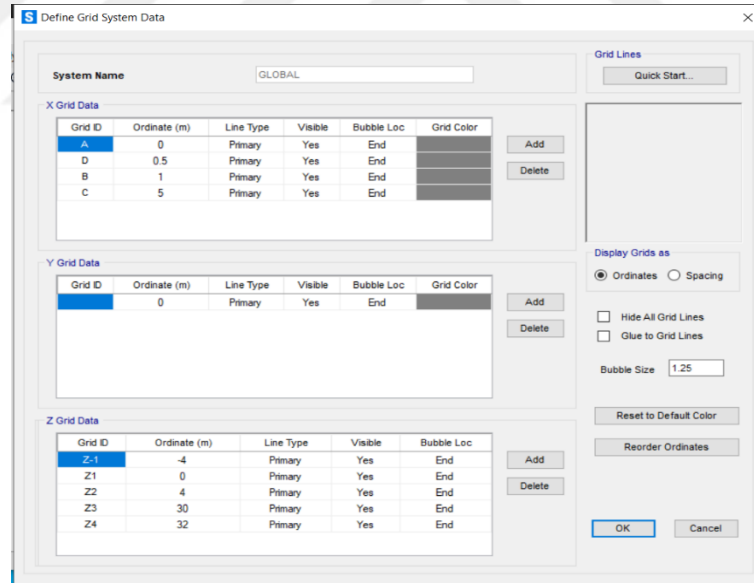
Bölüm 6.3 ile 6.4'te yükleri hesaplanan silindir arpa silosunun SAP2000 programında sonlu eleman modellemesi gerçekleştirilecektir. Silonun boyutları, silo gövdesi yüksekliği 26m ve çapı 10m'dir. Silo hunisinin yüksekliği 4 m olup, boşaltma ağzının çapı 2 m'dir. Silonun en üst kısmında, ortasında 0,5 m çapında bir doldurma boşluğu bulunan bir kapak mevcuttur.

SAP2000'de öncelikle geometrik model oluşturulur ve bu program açıldıktan sonra program penceresinin sag alt kısmında bulunan birim kN, m seçilmiştir ve Fille/New model/Blank seçilmiştir.



Şekil 4.9. Model seçimi

Programın ana ekranında farenin sağ tuşuna tıklayarak Edit Grid Data /Modify/Show System seçilmiş, Silo kesitinin çizilmesi için x-z planında yardımcı eksenler eklenmiştir.



Şekil 4.10. x-z planında yardımcı eksenler girişi

Silo çizimi yapılmadan önce bu çalışmada kullanılan çelik ve betonun özellikleri belirlenecek olup ayrıca silo duvarı, hunisi, kolonları ve radye temelinin özellikleri de belirlenecektir.

Material Property Data - Beton

General Data

Material Name and Display Color: Beton (Yellow)

Material Type: Concrete

Material Grade: Beton

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2.5485

Mass per Unit Volume: 0.2599

Units: Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 2906191.1

Poisson, U: 0.167

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.000E-05

Shear Modulus, G: 1245154.7

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 3059.1486

Expected Concrete Compressive Strength: 3059.1486

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Material Property Data - Çelik

General Data

Material Name and Display Color: Çelik (Pink)

Material Type: Steel

Material Grade: Çelik

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.849

Mass per Unit Volume: 0.8004

Units: Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 21414040.

Poisson, U: 0.3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 8236169.

Other Properties For Steel Materials

Minimum Yield Stress, F_y : 28042.195

Minimum Tensile Stress, F_u : 43847.8

Expected Yield Stress, F_{ye} : 30846.415

Expected Tensile Stress, F_{ue} : 48232.58

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 4.11. Beton ve çeliğin özellikleri tanımı:

Önce beton ve çeliğin özellikleri tanımlanmak için Define/Materials.../Add New Materials seçilerek malzemeye ilişkin şekil 5.5'teki kullanılan malzemeler belirlenmiştir.

Shell Section Data - Silo givdesi

Section Name: Silo givdesi

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: Red

Type

☒ Shell - Thin

☐ Shell - Thick

☐ Plate - Thin

☐ Plate Thick

☐ Membrane

☐ Shell - Layered/Nonlinear

Thickness

Membrane: 0.3

Bending: 0.3

Material

Material Name: Çelik

Material Angle: 0

Time Dependent Properties

Set Time Dependent Properties...

Concrete Shell Section Design Parameters

Modify/Show Shell Design Parameters...

Stiffness Modifiers

Set Modifiers...

Temp Dependent Properties

Thermal Properties...

OK Cancel

Shell Section Data - Hun

Section Name: Hun

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: Red

Type

☒ Shell - Thin

☐ Shell - Thick

☐ Plate - Thin

☐ Plate Thick

☐ Membrane

☐ Shell - Layered/Nonlinear

Thickness

Membrane: 0.3

Bending: 0.3

Material

Material Name: Çelik

Material Angle: 0

Time Dependent Properties

Set Time Dependent Properties...

Concrete Shell Section Design Parameters

Modify/Show Shell Design Parameters...

Stiffness Modifiers

Set Modifiers...

Temp Dependent Properties

Thermal Properties...

OK Cancel

Shell Section Data - Radye

Section Name: Radye

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: Green

Type

☐ Shell - Thin

☐ Shell - Thick

☒ Plate - Thin

☐ Plate Thick

☐ Membrane

☐ Shell - Layered/Nonlinear

Thickness

Membrane: 0.6

Bending: 0.6

Material

Material Name: Beton

Material Angle: 0

Time Dependent Properties

Set Time Dependent Properties...

Concrete Shell Section Design Parameters

Modify/Show Shell Design Parameters...

Stiffness Modifiers

Set Modifiers...

Temp Dependent Properties

Thermal Properties...

OK Cancel

Şekil 4.12. S duvarı, hunisinin kesiti ve radye temeli tanımı

Silo duvarı, hunisinin kesiti ve radye temeli tanımlanmak için Define menüsünden section properties/Area sections seçilip Şekil 5.5'teki gibi kesitler eklenmiştir.

Silo kolonları tanımlanmak için Define/section properties/frame sections menüsünden şekil 6-.5'teki gibi kolon kesiti eklenmiştir.

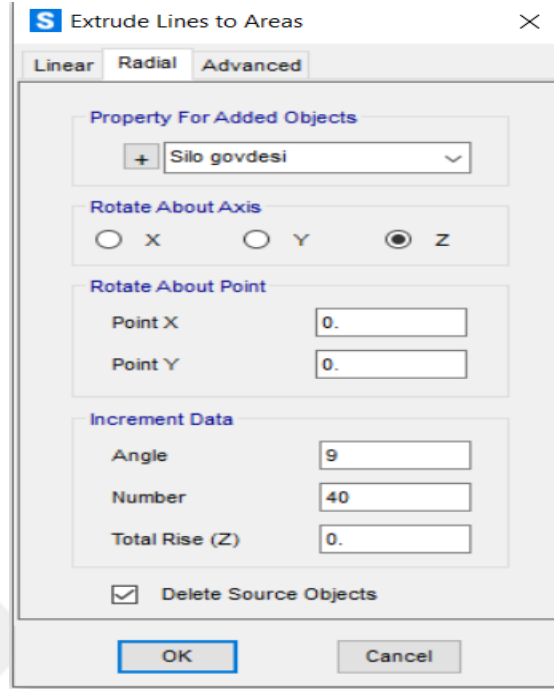


Şekil 4.13. Silo kolonları tanımı.

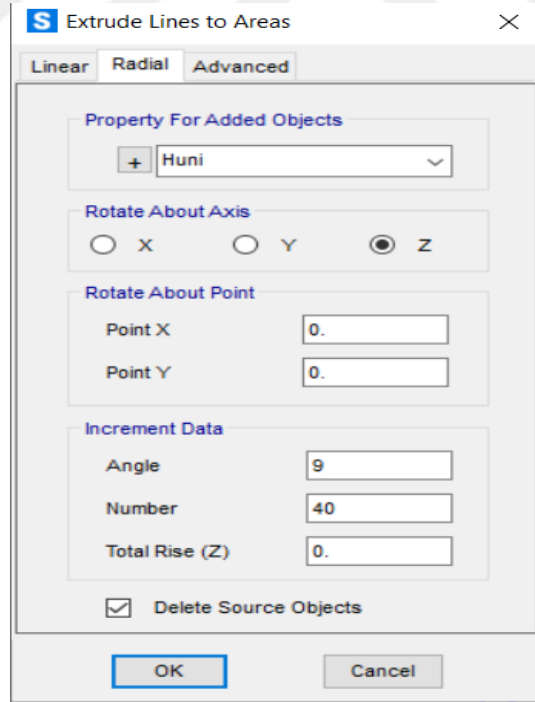
Malzeme özellikleri ve silo kesitleri belirlendikten sonra x-z planında silo kesiti çizilecektir. Programın ana ekranından Set x-z View komutu tıklayarak Draw/ Drawframe/ Cable/ Tendon'dan silonun kesitinin yarısının dış sınırlarını temsil eden çizgiler çizilir.



Şekil 4.14. Silonun kesiti çizimi



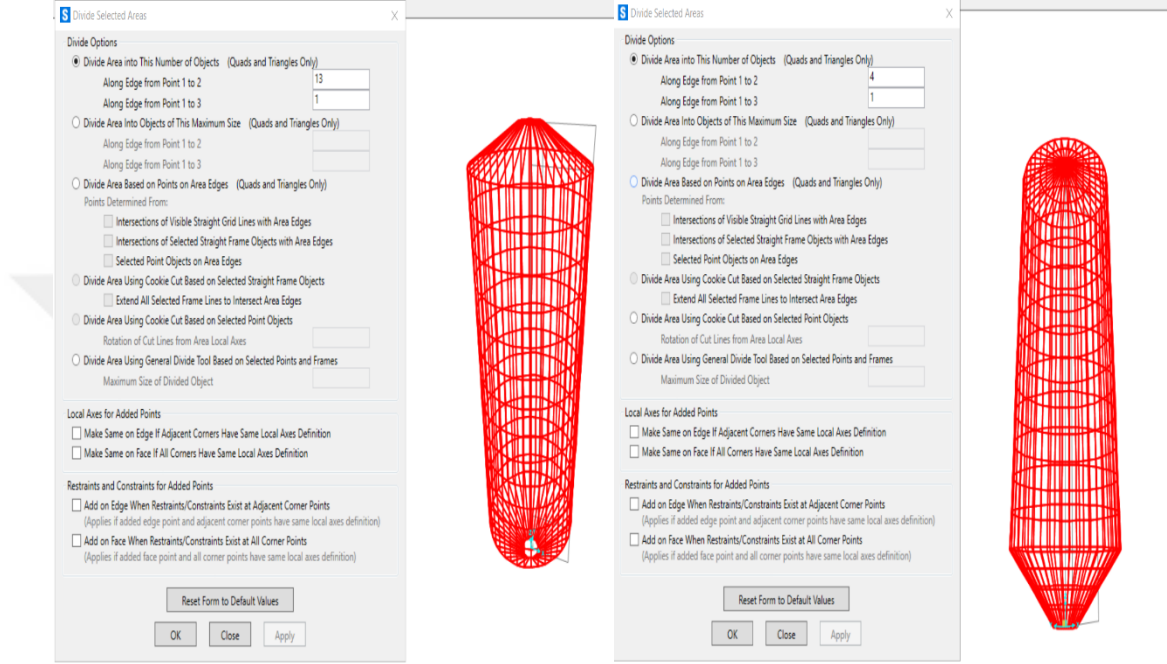
Şekil 4.15. Silo gövdesi çizimi



Şekil 4.16. Silo hunisi çizimi

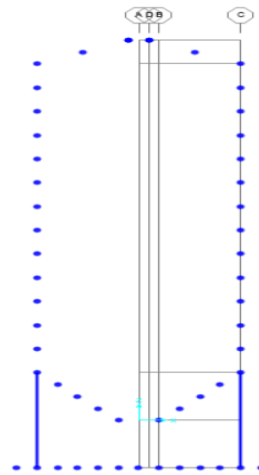
Silonun tamamen çizilebilmesi için silo gövdesini temsil eden çizgi belirlenip Edite / Extrude / Extrude Lines to Areas'den Şekil A'daki gibi silo duvarı 40 parçaya bölünmüş yatay üç boyutlu olarak çizilir.

Silo gövdesi dikey olarak 13 parçaya bölmek için silo gövdesinin tamamı seçilir ve Edit / Edit Areas/Divide Areas'den Şekil 5.5'teki gibi gerekli veriler girilir.Aynı adımlar kullanılarak huni 4 bölüme, çatı ise 2 bölüme ayrılır.



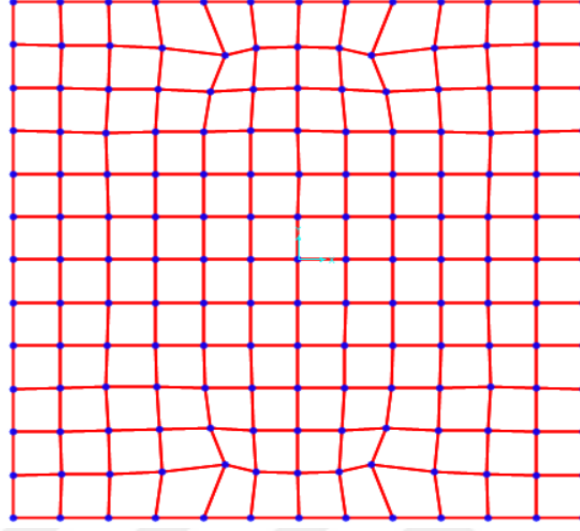
Şekil 4.17. Silo gövdesi ve hunisi bölünümü

Silo çizildikten sonra silo geçiş bölgesi ile radye temel arasındaki 8 metre yüksekliğindeki kolonlar çizilecek. Bunun için silo geçiş bölgesinden 8 metre uzakta bir nokta seçip Draw/Draw Frame/Cable Tendon komutu kullanılarak bir kolon çizilir.



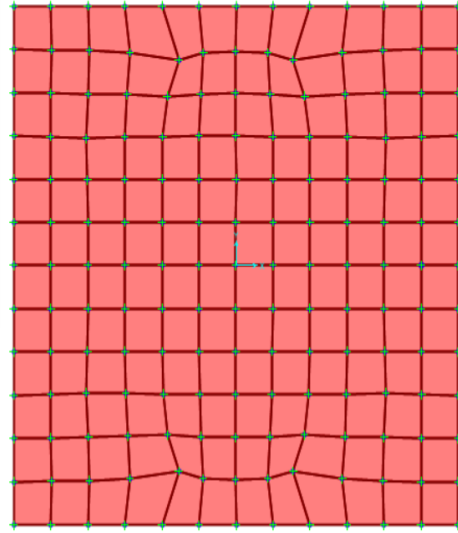
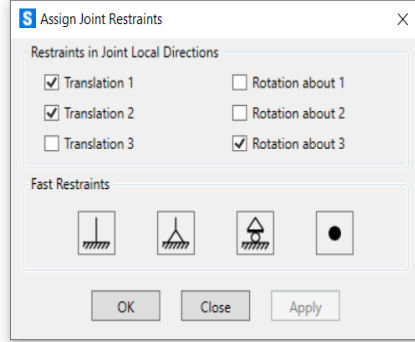
Şekil 4.18. Silo gövdesi kesiti

10 adet kolon çizmek için çizilen kolon seçilir ve Edit / Replicate komutu kullanılarak silo geçiş bölgesi



Şekil 4.19. 10 adet kolon çizimi

Radye temel tanımlanmak için 0 ekseninin tabanından başlıyor ve z eksenini -4 olarak ayarlanmıştı ve Draw/Draw Rectangular Area Element komutu kullanılarak x-y planında z = -4 seviyesinde radye temel çizilir. Çizilen radye temel seçilir ve Edit/Divide Areas komutu kullanılır.



Şekil 4.20. Radye temel mesnet tanım 1

Radye temel tabanına mesnet tanımlamak için radye temel elemanları seçilip Assign /Joint Radye temel tabanına yay tanımlamak için radye temel elemanları seçilip Assign/Area/Area Springs komutu kullanılarak yay tanımlanır.

S Assign Springs to Area Object Face

Spring Type

☒ Simple

Spring Stiffness per Unit Area: 20000 tonf/m/m²

Simple Spring Resists: Tension and Compression

☐ Link Property

Local 2 Axis Angle from Default Orientation:

Spring Location (Area Object Face)

Area Object Face: Bottom

Area Object Edge Number:

Spring Tension Direction

☒ Parallel to Area Object Local Axis

☐ Normal to Specified Area Object Face

☐ User Specified Direction Vector

Coordinate System:

Local 1 Component:

Local 2 Component:

Local 3 Component:

Options

☐ Add to Existing Springs

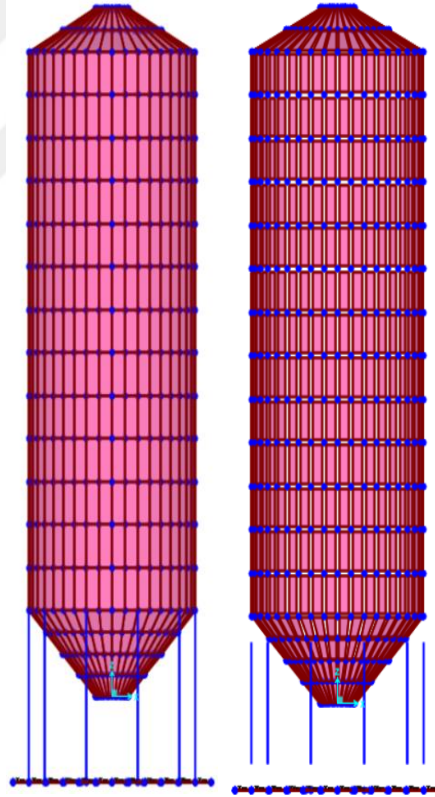
☒ Replace Existing Springs

☐ Delete Existing Springs

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.21. Radye temel yay tanımı

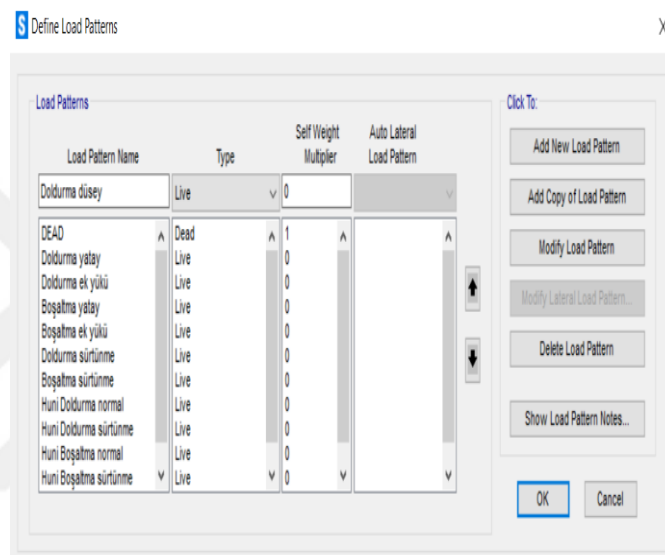


Şekil 4.22. Sap 2000’de oluşturulan silo kesit görünüşü

Sekil 6.13’te View/Set 3-D View menüsü kullanılarak ve açılan menüde plan, elevation ve aperture açıları sıfır “0” girilerek elde edilen silo kesit görünüşü verilmektedir. Burada dikey silo gövdesinin 40 yatay parçaya, çatı ve huni bölümlerinin ise sırasıyla 2 ve 4 parçaya bölündüğü

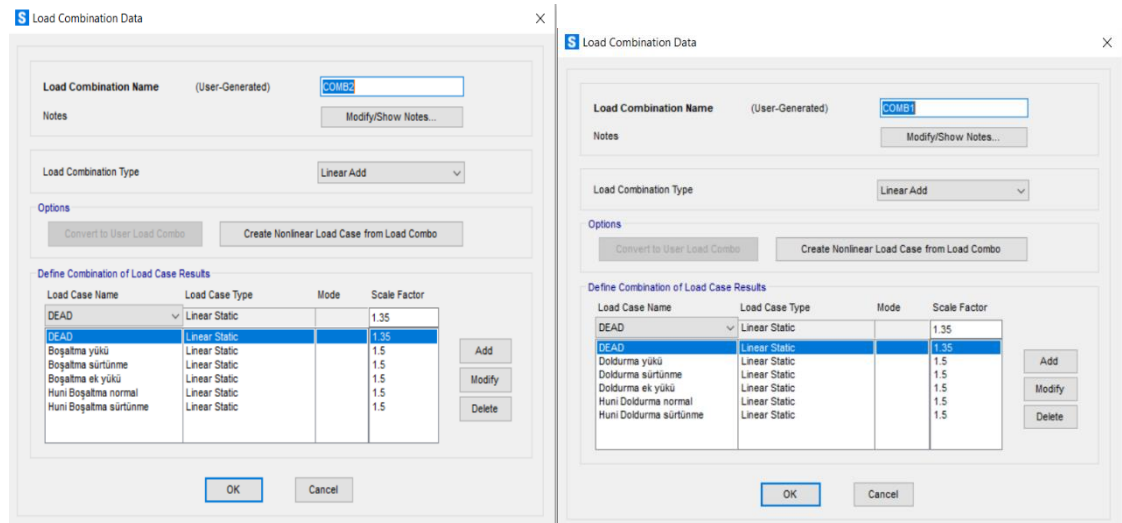
görülmektedir. Açısal olarak silonun planda her biri 9° olan 40 parçaya bölündüğü daha önce belirtilmiştir.

Silo SAP 2000 programında çizilip tanımlandıktan sonra bu çalışmanın odağı silo tasarlamak yerine sonlu elemanlar modelinin oluşturulması ve siloda depolanan malzemelerden kaynaklanan yüklerin nasıl hesaplanıp yükleneceği üzerinde olacaktır. Bu nedenle siloyu etkileyecek deprem, rüzgar, kar ve sıcaklık gibi yükler hesaplamaya dahil edilmemektedir.



Şekil 4.23. Yük tanımlı yapılması

Yine tasarımda kullanılacak tüm yükler Define menüsü, Load Patterns ve Add New Load Patterns butonu kullanılarak ölü ve hareketli gibi türleri belirtilerek tanımlanır.

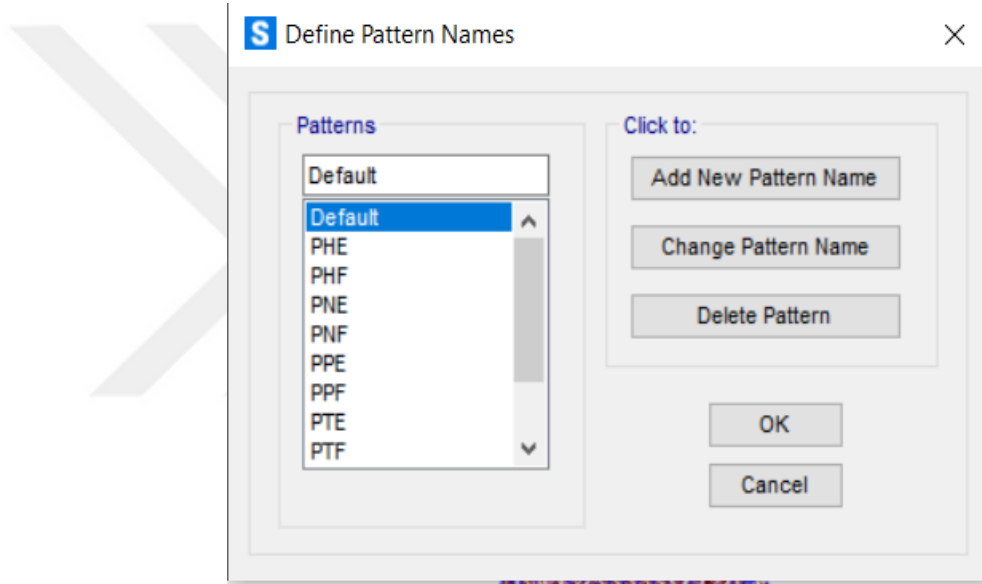


Şekil 4.24. Yük kombinasyonları tanımlı yapılması

Mevcut malzeme yükleri kullanılarak, doldurma ve boşaltma durumu için yük kombinasyonları oluşturulacaktır. SAP2000 programında yük kombinasyonları tanımlanabilmek için Define / Load Combinations , Add New Combo seçilmiştir aşağıda verilen kombinasyonlar tanımlanmıştır.

Silo duvarı ve hunisinin yüksekliğe bağlı değişken yayılı yükleme yapabilmek için öncelikle depolanan malzemeden kaynaklanan yüklerinin tanımlarının yapılması ve yükleme denklemlerinin yazılması gereklidir.

Öncelikle depolanan malzemeden kaynaklanan yükleri tanımlamak için Define / Joint Patterns / Add New Pattern Name komutu kullanılarak yük desenleri eklenir.



Şekil 4.25. Yük desenleri tanımlama

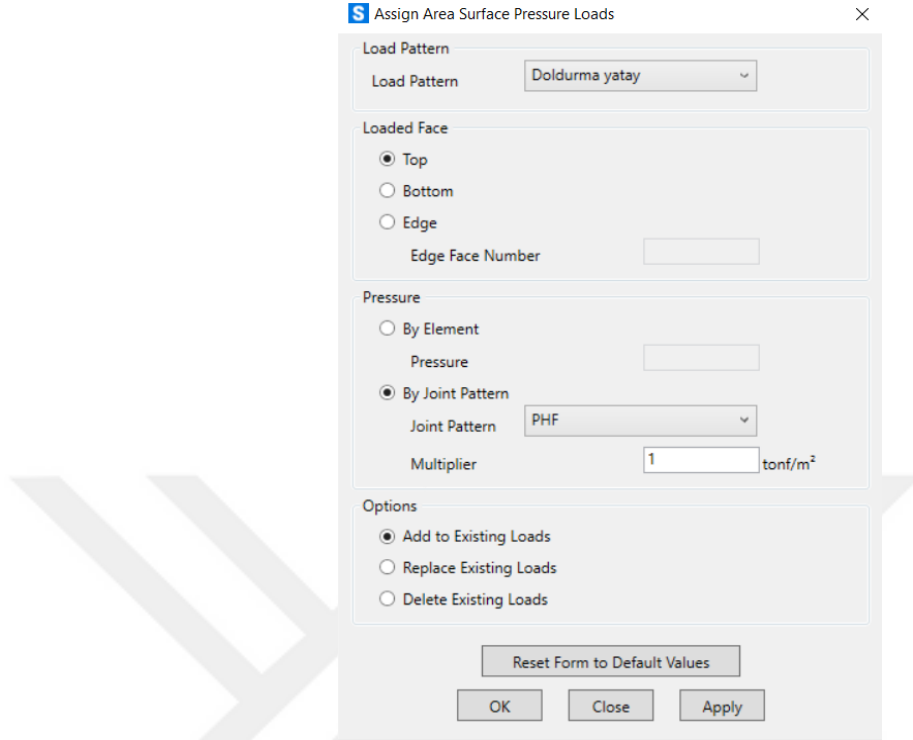
Hesaplanan her bir yükü tanımlamak için silo gövdesinin elmanları seçilir ve Assign / Joint Patterns Data komutu kullanılarak P_{hf} , P_{wf} , P_{pf} , P_{he} , P_{we} ve P_{pe} yükleme denklemleri girilir.

Aynı adımlar kullanılarak silo hunisinin elmanları seçilir ve Assign / Joint Patterns Data komutu kullanılarak P_{nf} , P_{tf} , P_{ne} ve P_{te} yükleme denklemleri girilir.

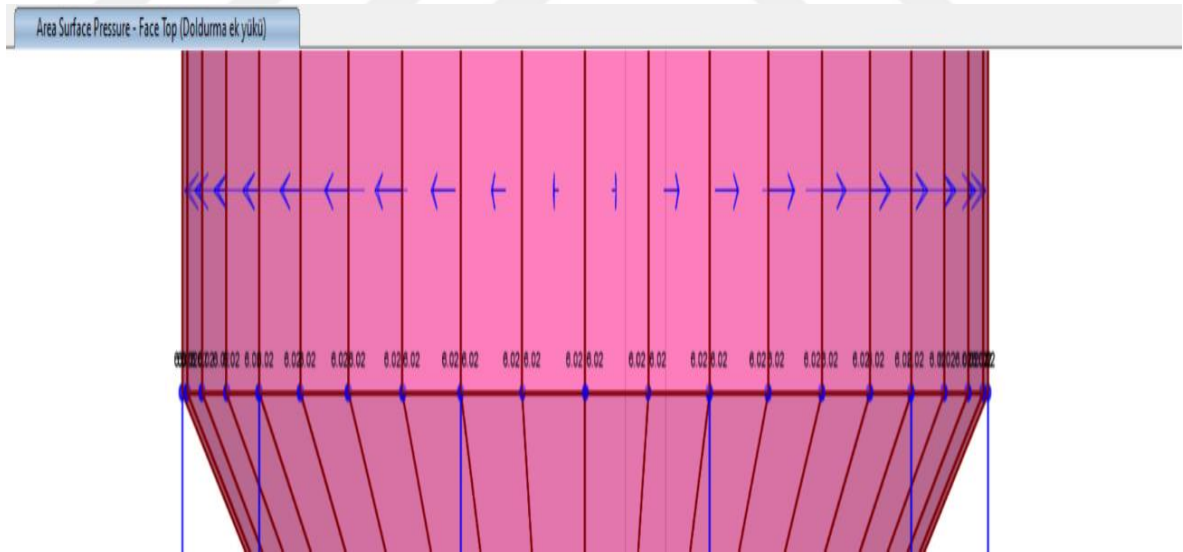
Yükleme denklemleri girildikten sonra yine silo gövdesinin elmanları seçilir ve Assign / Area loads / Surface pressuers (All) komutu kullanılarak her yük ayrı ayrı eklenir.

Aynı şekilde silo hunisi üzerinde de yükler tanımlanır.

Doldurma ve boşaltma durumunda hesaplanan duvar yükleri silo iç duvar yüzeyine uygulanacaktır. Doldurma durumunda silo iç duvarına P_{hf} yükü Şekil 6.13'de gösterildiği üzere basınç yükü olarak yüklenmiştir.



Şekil 4.26. P_{hf} yükünün silo iç duvarına uygulanması



Şekil 4.27. P_{hf} basınç yüklemesi.

Silo iç duvarına sürtünme yükü P_{wf} , Şekil 4.27’de gösterildiği gibi yüklenecektir. Yükleme doğrultusu vektörel olarak Edge 2 yönünde tanımlanmıştır.

S Assign Area Surface Pressure Loads [X]

Load Pattern
Load Pattern: Doldurma sürtünme

Loaded Face
☐ Top
☐ Bottom
☒ Edge
Edge Face Number: 2

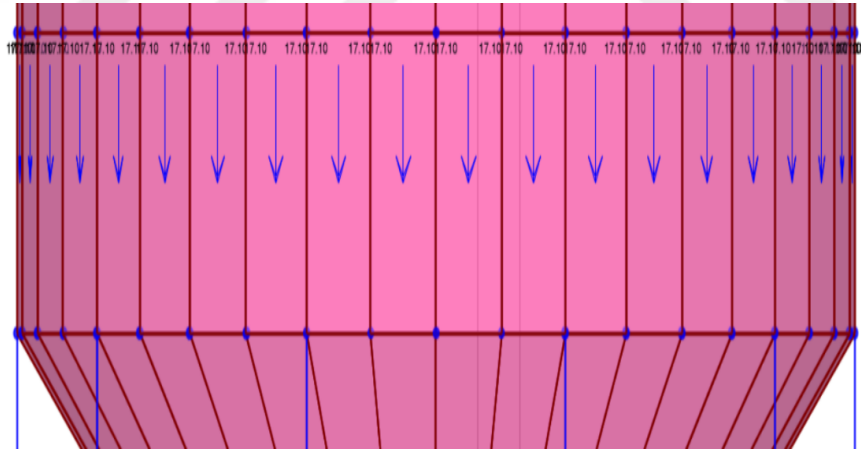
Pressure
☐ By Element
☒ By Joint Pattern
Pressure:
Joint Pattern: PWF
Multiplier: 1 tonf/m²

Options
☒ Add to Existing Loads
☐ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.28. P_{wf} yükünün silo duvarına aktarılması.



Şekil 4.29. P_{wf} sürtünme yüklemesi

Doldurma ek yükü P_{pf} yükü Şekil 4.29'de gösterildiği üzere basınç yükü olarak yüklenmiştir.

S Assign Area Surface Pressure Loads

Load Pattern
Load Pattern: Doldurma ek yükü

Loaded Face
☒ Top
☐ Bottom
☐ Edge
 Edge Face Number:

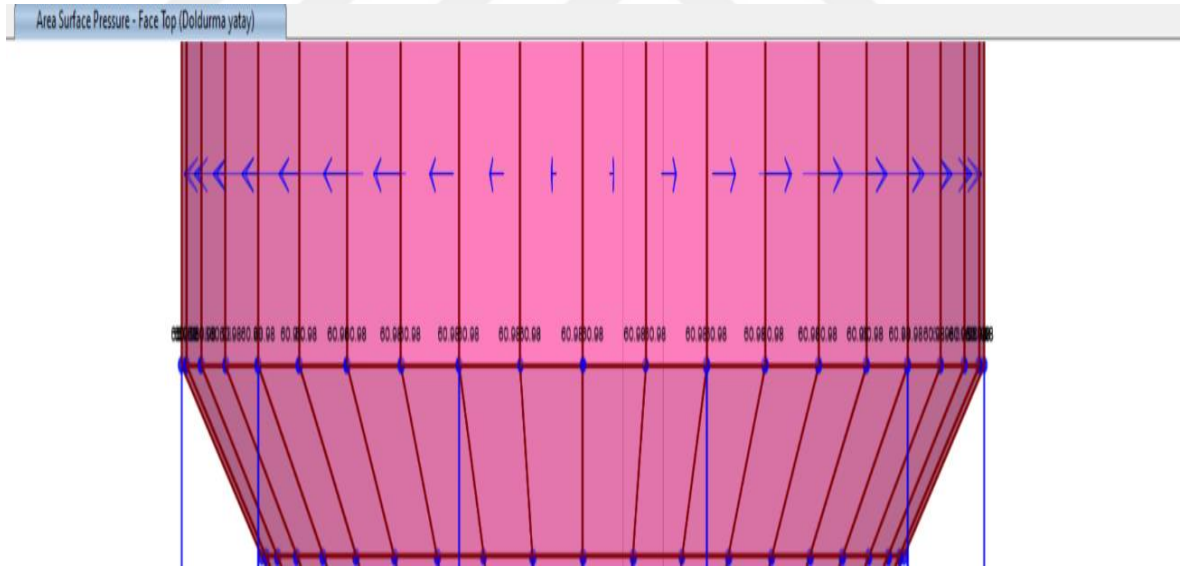
Pressure
☐ By Element
 Pressure:
☒ By Joint Pattern
 Joint Pattern: PPF
 Multiplier: 1 tonf/m²

Options
☒ Add to Existing Loads
☐ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.30. P_{pf} silo duvarına uygulanması



Şekil 4.31. Ppf basınç yükleme.

Boşaltma durumunda silo iç duvarına P_{he} yükü Şekil 4.31’de gösterildiği üzere basınç yükü olarak yüklenmiştir.

S Assign Area Surface Pressure Loads ×

Load Pattern
Load Pattern: Boğaltma yatay

Loaded Face
☒ Top
☐ Bottom
☐ Edge
 Edge Face Number:

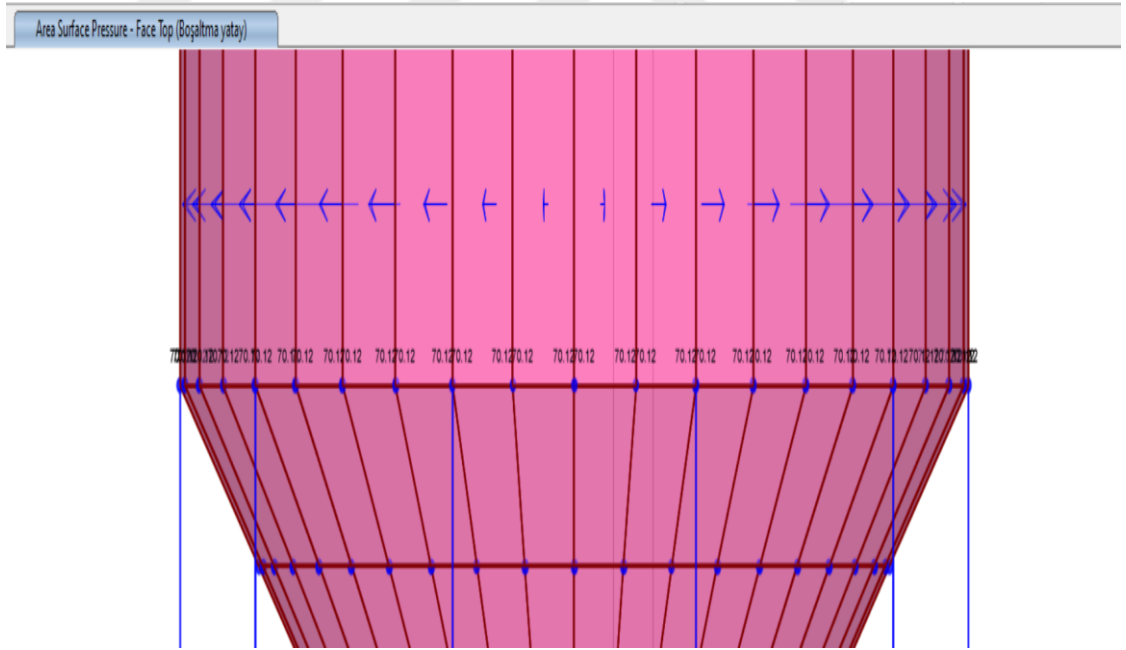
Pressure
☐ By Element
 Pressure:
☒ By Joint Pattern
 Joint Pattern: PHE
 Multiplier: 1 tonf/m²

Options
☒ Add to Existing Loads
☐ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.32. P_{he} yükünün silo iç duvarına uygulanması



Şekil 4.33. P_{he} basınç yüklemesi.

Silo iç duvarına sürtünme yükü P_{we} , Şekil 4.33’de gösterildiği gibi yüklenecektir. Yükleme doğrultusu Edge 2 yönünde tanımlanmıştır.

S Assign Area Surface Pressure Loads

Load Pattern
Load Pattern: Boğaltma sürtünme

Loaded Face
☐ Top
☐ Bottom
☒ Edge
Edge Face Number: 2

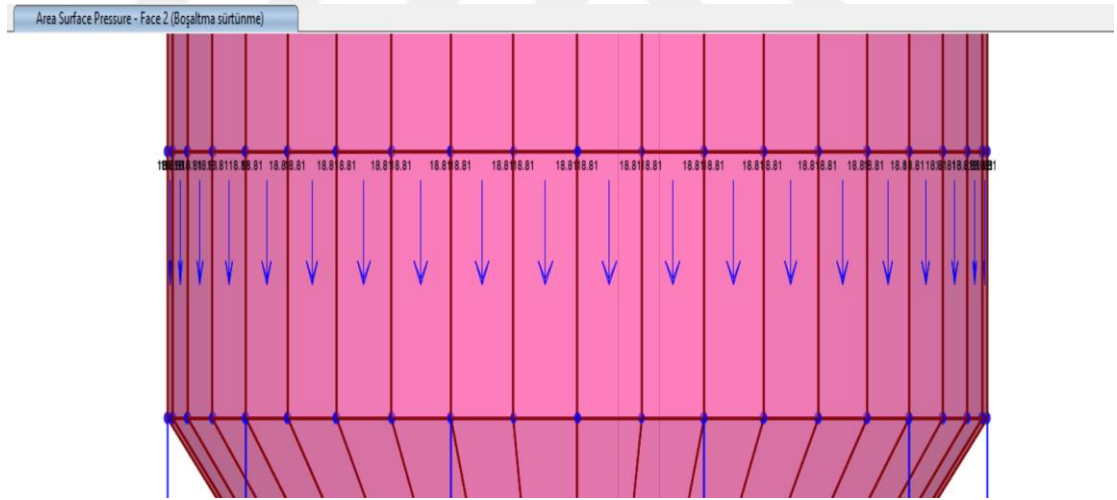
Pressure
☐ By Element
☒ By Joint Pattern
Pressure:
Joint Pattern: PWE
Multiplier: 1 tonf/m²

Options
☒ Add to Existing Loads
☐ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.34. P_{we} yükünün silo duvarına aktarılması.



Şekil 4.35. P_{we} sürtünme yükleme

Boğaltma ek yükü P_{pe} yükü Şekil 4.35’de gösterildiği üzere basınç yükü olarak yüklenmiştir.

S Assign Area Surface Pressure Loads

Load Pattern
Load Pattern: Boşaltma ek yükü

Loaded Face
☒ Top
☐ Bottom
☐ Edge
 Edge Face Number:

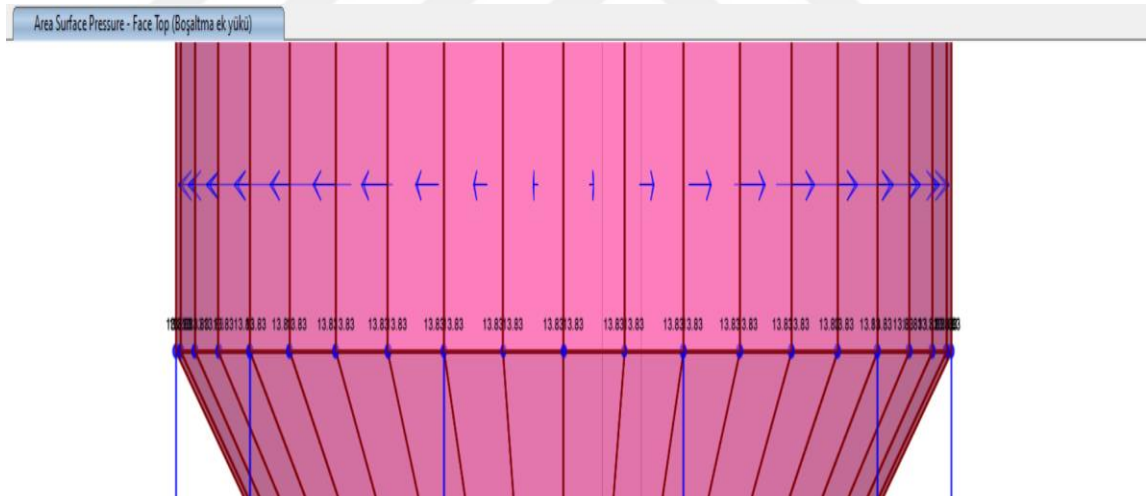
Pressure
☐ By Element
 Pressure:
☒ By Joint Pattern
 Joint Pattern: PPE
 Multiplier: 1 tonf/m²

Options
☒ Add to Existing Loads
☐ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.36. P_{pe} silo duvarına uygulanması



Şekil 4.37. P_{pe} basınç yüklemesi.

Doldurma durumunda silo hunisine P_{nf} basınç yükü, Şekil 4.37a’da gösterildiği gibi basınç yükü olarak yüklenmiştir.

S Assign Area Surface Pressure Loads

Load Pattern
Load Pattern: Huni Doldurma normal

Loaded Face
☒ Top
☐ Bottom
☐ Edge
 Edge Face Number:

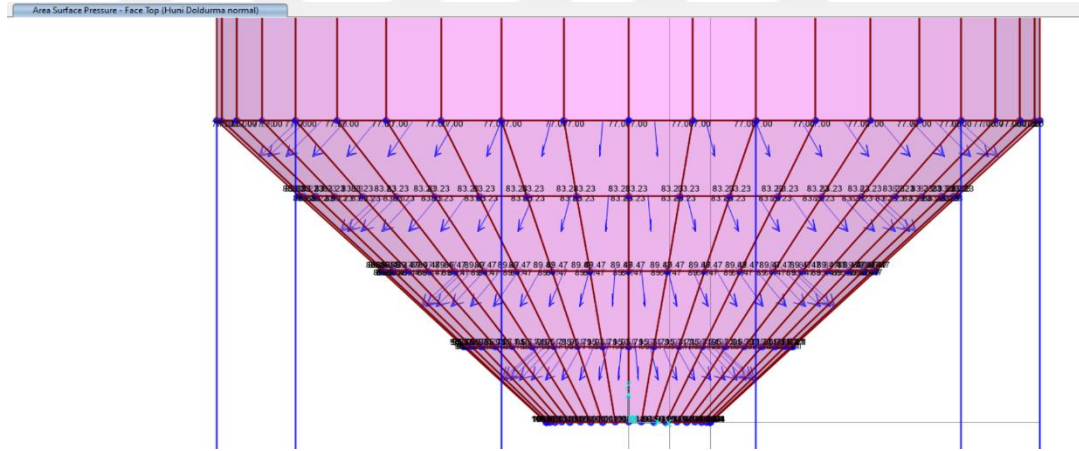
Pressure
☐ By Element
 Pressure:
☒ By Joint Pattern
 Joint Pattern: PNF
 Multiplier: 1 tonf/m²

Options
☒ Add to Existing Loads
☐ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.38. P_{nf} silo hunisine uygulanması



Şekil 4.39. P_{nf} basınç yükleme.

Silo hunisine sürtünme yükü P_{tf} , Şekil 4.39’de gösterildiği gibi yüklenecektir. Yükleme doğrultusu Edge 2 yönünde tanımlanmıştır.

S Assign Area Surface Pressure Loads

Load Pattern
Load Pattern: Huni Doldurma sürtünme

Loaded Face
☐ Top
☐ Bottom
☒ Edge
 Edge Face Number: 2

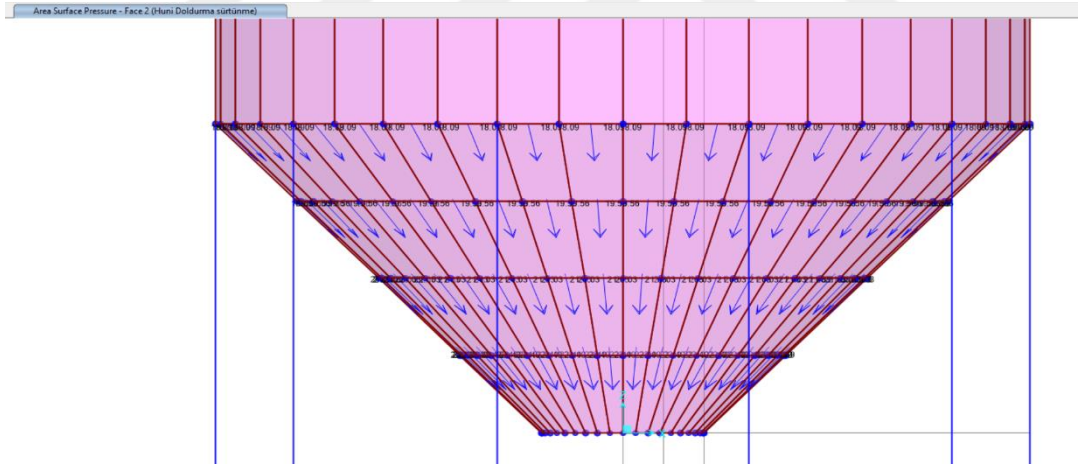
Pressure
☐ By Element
☒ By Joint Pattern
 Pressure:
 Joint Pattern: PTF
 Multiplier: 1 tonf/m²

Options
☒ Add to Existing Loads
☐ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.40. P_{tf} yükünün silo hunisine aktarılması.



Şekil 4.41. P_{tf} sürtünme yükleme

Boşaltma durumunda silo hunisine P_{ne} basınç yükü, Şekil 4.41’da gösterildiği gibi basınç yükü olarak yüklenmiştir.

S Assign Area Surface Pressure Loads

Load Pattern
Load Pattern: Huni Boğaltma normal

Loaded Face
☒ Top
☐ Bottom
☐ Edge
 Edge Face Number:

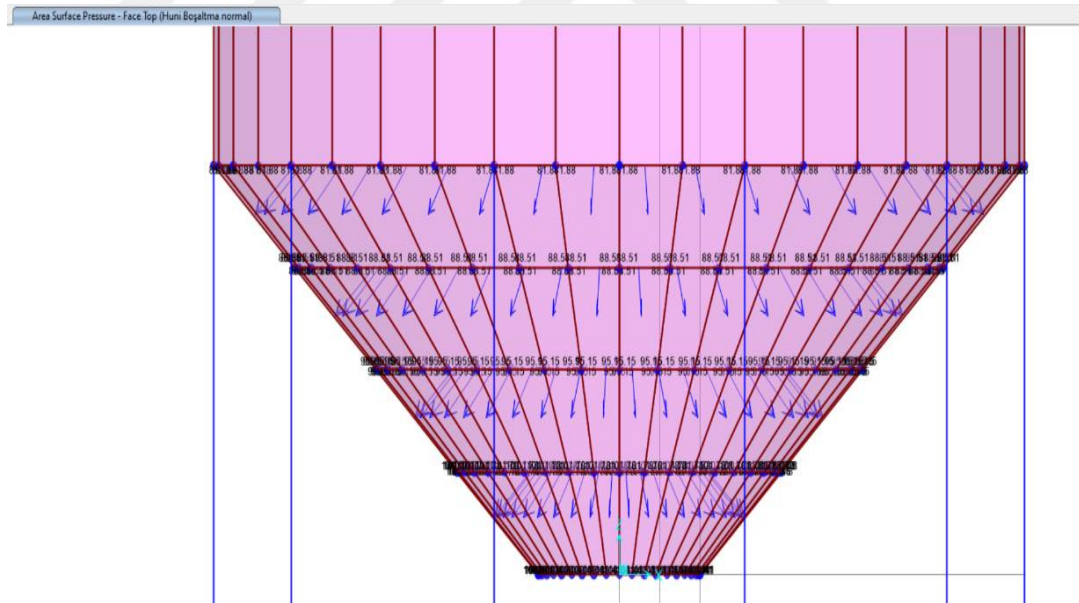
Pressure
☐ By Element
☒ By Joint Pattern
 Pressure:
 Joint Pattern: PNE
 Multiplier: 1 tonf/m²

Options
☒ Add to Existing Loads
☐ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.42. P_{ne} silo hunisine uygulanması



Şekil 4.43. P_{nf} basınç yüklemesi.

Silo hunisine sürtünme yükü P_{te} , Şekil 4.43'de gösterildiği gibi yüklenecektir. Yükleme doğrultusu Edge 2 yönünde tanımlanmıştır.

S Assign Area Surface Pressure Loads

Load Pattern:

Loaded Face:
☐ Top
☐ Bottom
☒ Edge
Edge Face Number:

Pressure:
☐ By Element
☒ By Joint Pattern
Pressure:
Joint Pattern:
Multiplier: tonf/m²

Options:
☒ Add to Existing Loads
☐ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values
OK Close Apply

Şekil 4.44. P_{te} yükünün silo hunisine aktarılması.

Silo hunisine düşey basınç tanımlanmak için tüm huni elemanlarını seçilir ve Assign menüsünden Area Loads / Uniform (Shell) tıklayarak P_v tanımlanır.

S Assign Area Uniform Loads

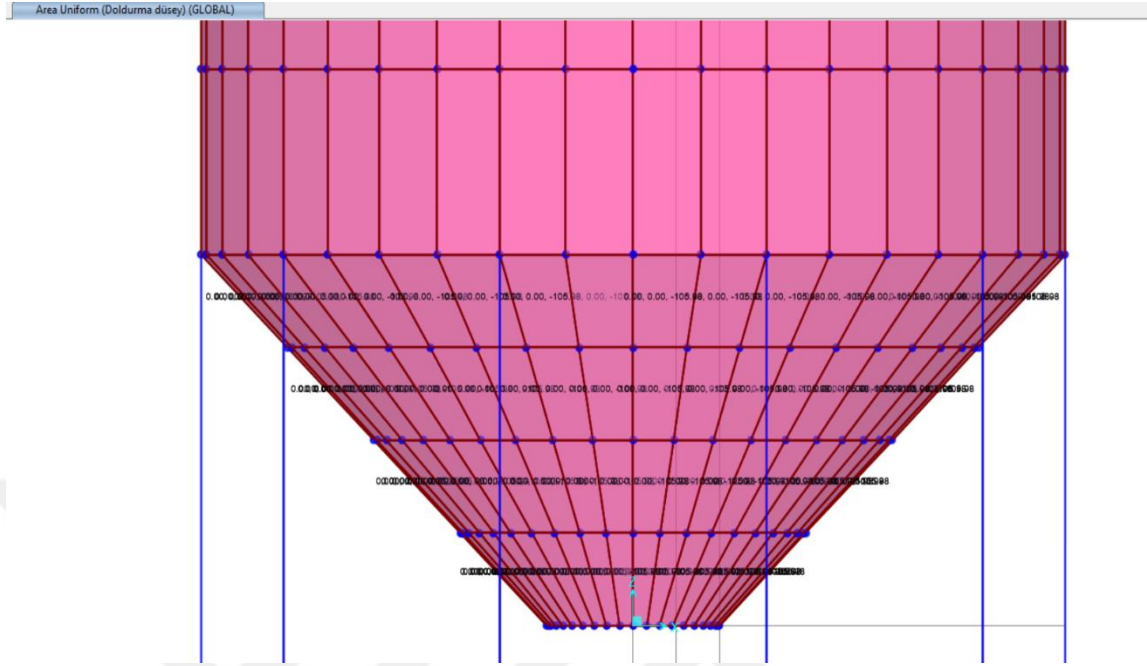
General:
Load Pattern:
Coordinate System:
Load Direction:

Uniform Load:
Load: tonf/m²

Options:
☒ Add to Existing Loads
☐ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

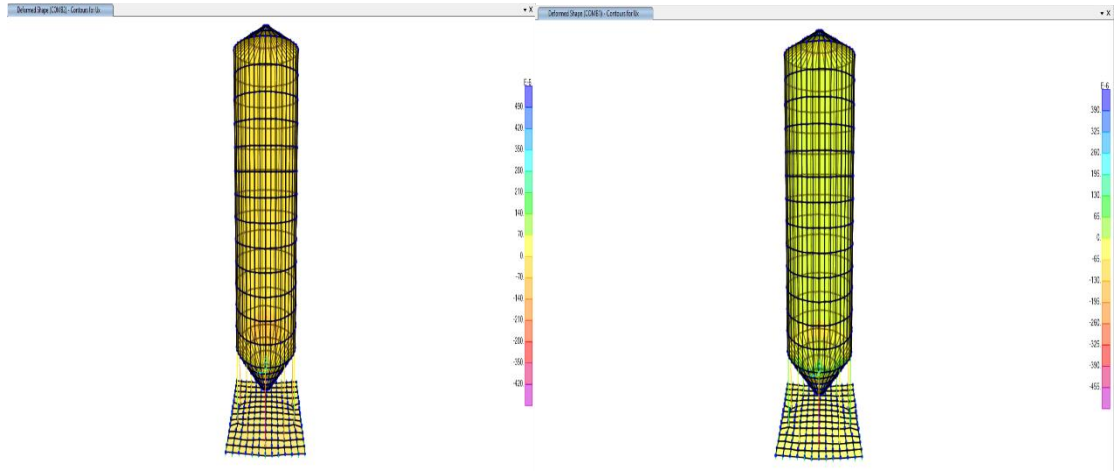
Reset Form to Default Values
OK Close Apply

Şekil 4.45. P_v silo hunisine uygulanması



Şekil 4.46. Pv basınç yüklemesi.

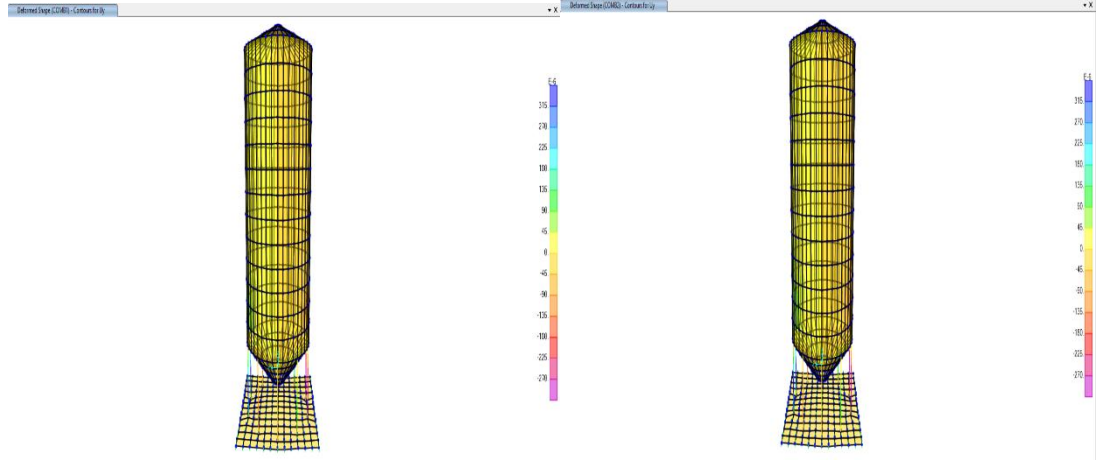
Tanımlanan yükleme durumlarına göre modelde son kontroller yapılarak analiz yaptırılmıştır. Analyze/Set Analysis Cases to Run seçilerek analiz edilir.



Şekil 4.47. x yönündeki deplasmanlar değişim grafiği

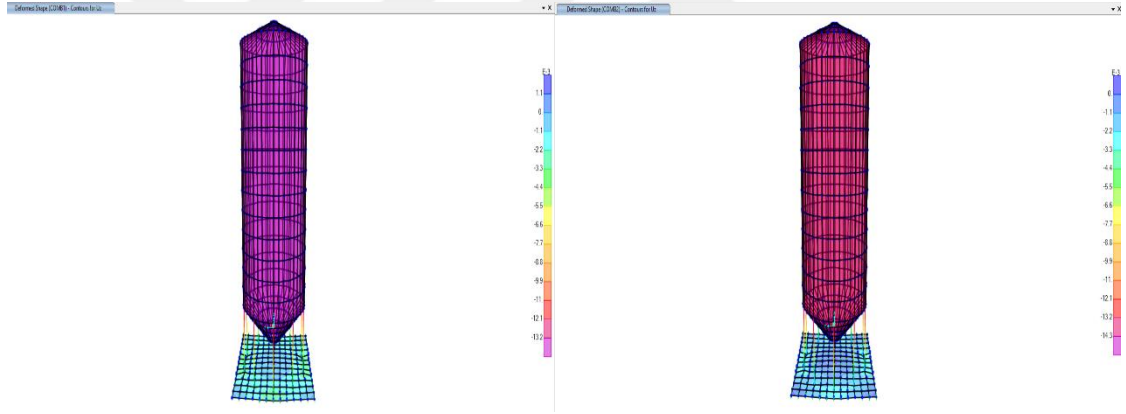
1. ve 2. yük kombinasyonlarından kaynaklanan x yönündeki deplasman değişimleri Şekil 5.21'de görülmektedir.

Şekil 4.47 1. ve 2. yük kombinasyonlarından kaynaklanan y yönündeki deplasman değişimleri görülmektedir.



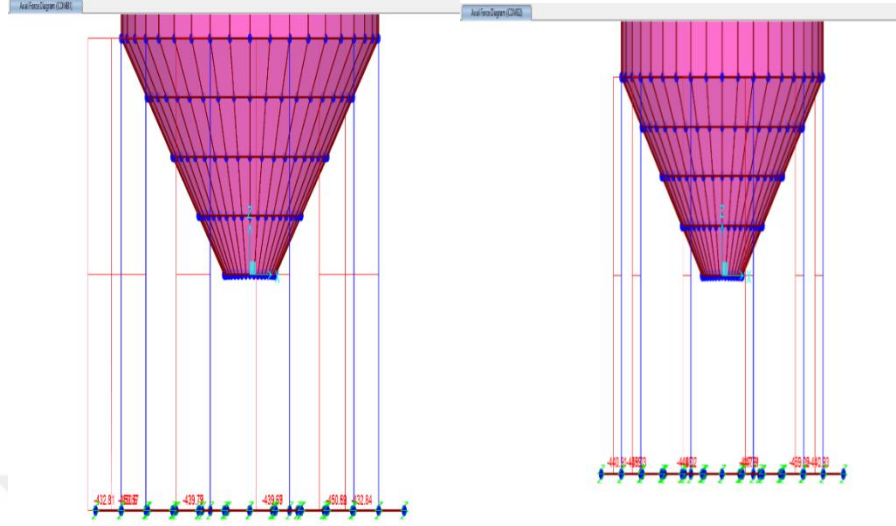
Şekil 4.48. y yönündeki deplasmanlar değişim grafiği

Şekil 4.41 1. ve 2. yük kombinasyonlarından kaynaklanan z yönündeki deplasman değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.49. z yönündeki deplasmanlar değişim grafiği

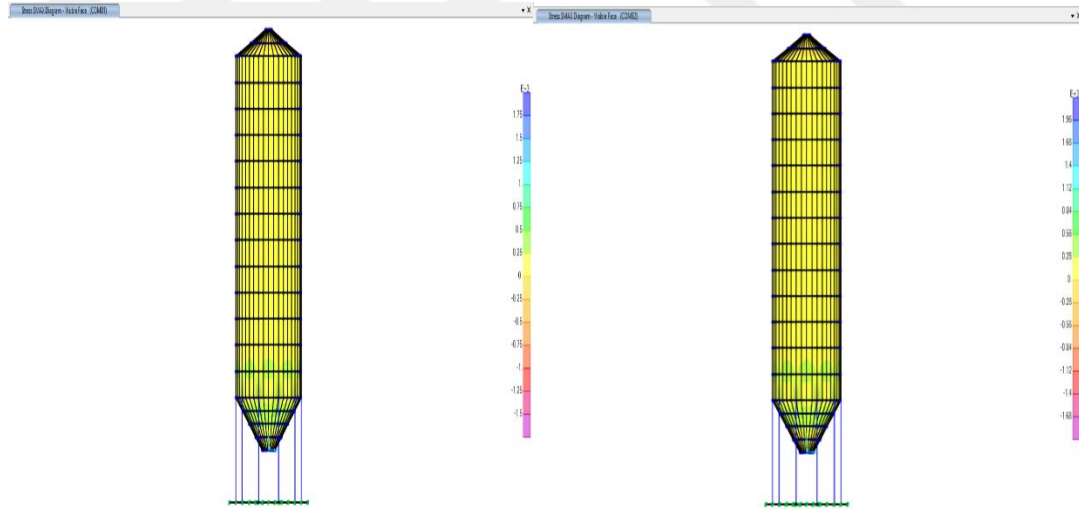
Yapılan analiz sonucunda elde edilen veriler, Şekil 4.49'de görüldüğü gibi silo duvarında ve hunide meydana gelen deplasmanların değerlerini ve değişimlerini göstermektedir. Bu deplasmanlar X ve Y yönlerinde incelenmiştir. silo duvarında meydana gelen deplasman 4,35mm , silo hunisinde ise 5,83mm görülmektedir.Eurocode EN 1993-4-1 silindir silolar için deplasman sınırı narin silo duvar kalınlığının 10 katı olduğundan $3 \text{ mm} \times 10 = 30 \text{ mm}$ elde edilir; Bu sınır çok yüksek. silo duvarında meydana gelen 4,35mm'lik deplasman tamamen kabul edilebilir bir deplasmandır.



Şekil 4.50. Silo kolonlarındaki Eksenel kuvvetler

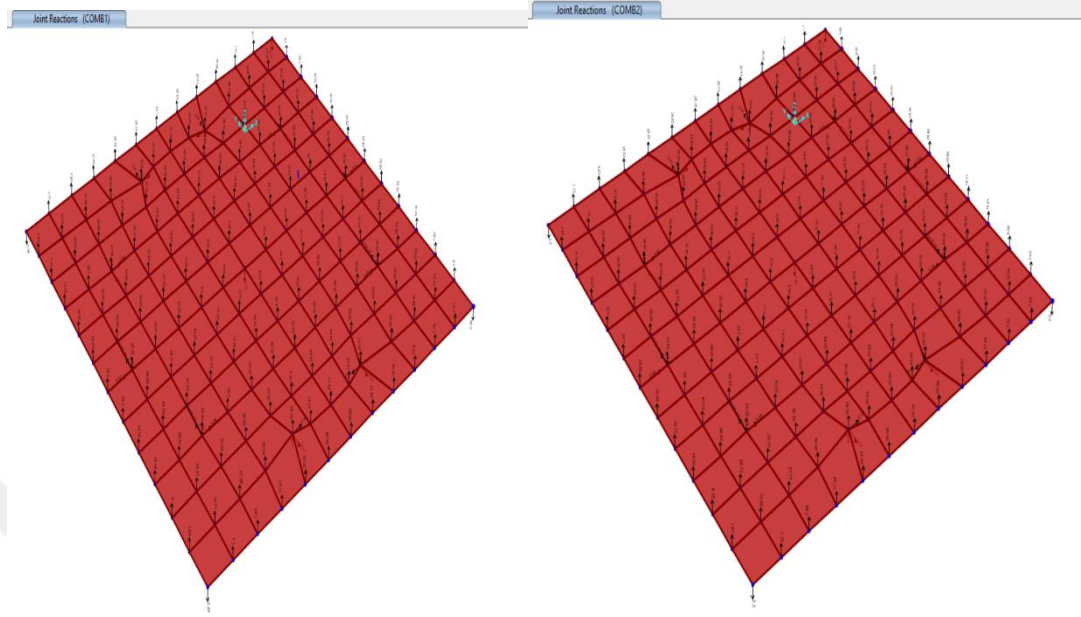
Silo kolonlarındaki 1. ve 2. yük kombinasyonlarından oluşan Eksenel kuvvetler Şekil 4.50’de görülmektedir.

Silo yük kombinezonlarından kaynaklanan Maksimum gerilmeler Şekil 4.51’de görülmektedir.



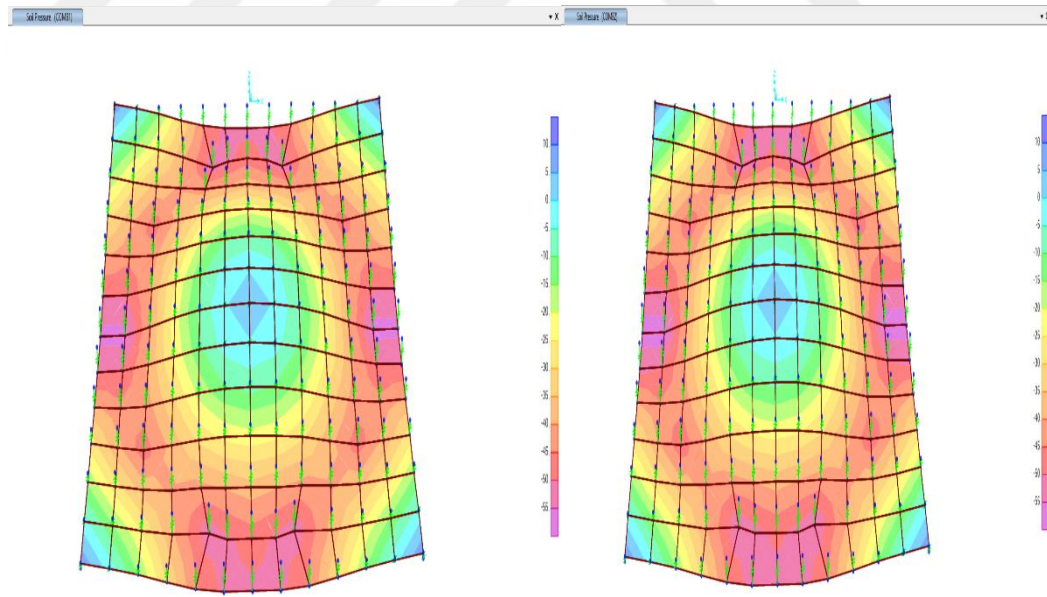
Şekil 4.51. Maksimum gerilmeler değişim grafiği

Radye temeldeki 1. ve 2. yük kombinasyonlarından kaynaklanan reaksiyonları Şekil 4.51’de görülmektedir.



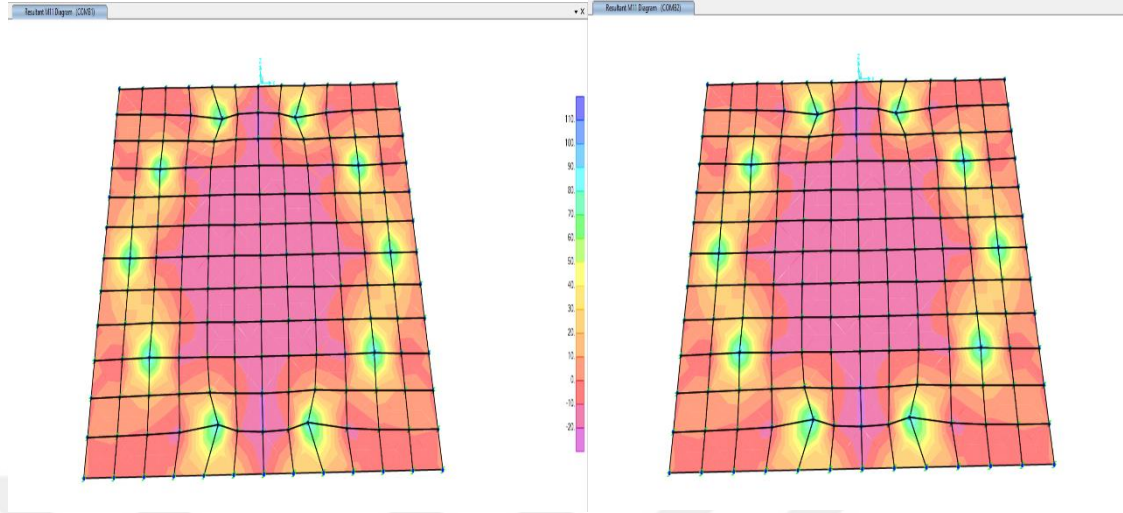
Şekil 4.52. Radye temeldeki reaksiyonlar

Radye temeldeki 1. ve 2. yük kombinasyonlarından kaynaklanan toprak basıncı değişimleri Şekil 4.52’de görülmektedir.



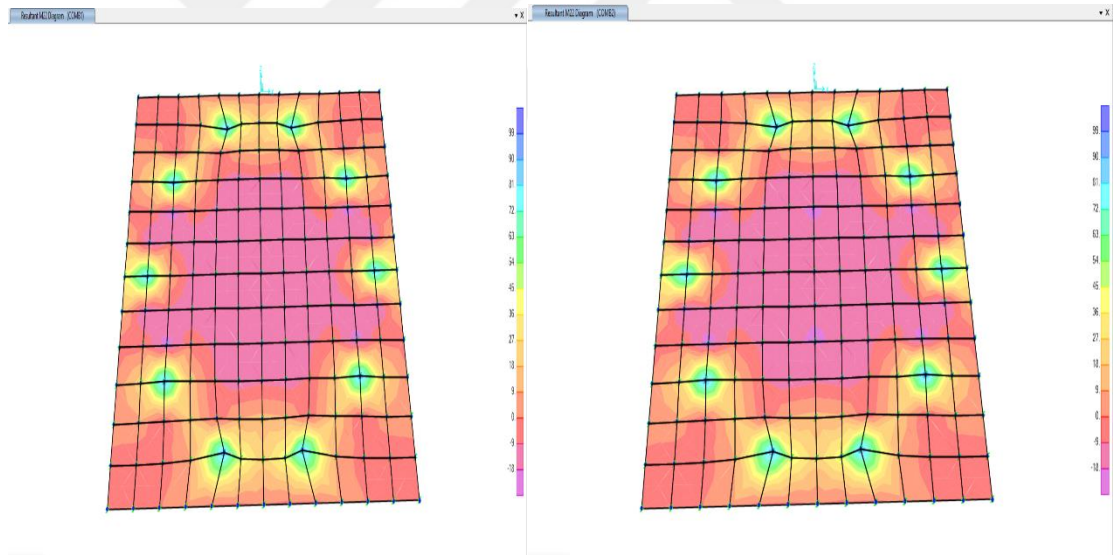
Şekil 4.53. Radye temeldeki toprak basıncı değişim grafiği

Radye temeldeki 1. ve 2. yük kombinasyonlarından kaynaklanan M11 moment değişimleri Şekil 4.53’de görülmektedir.



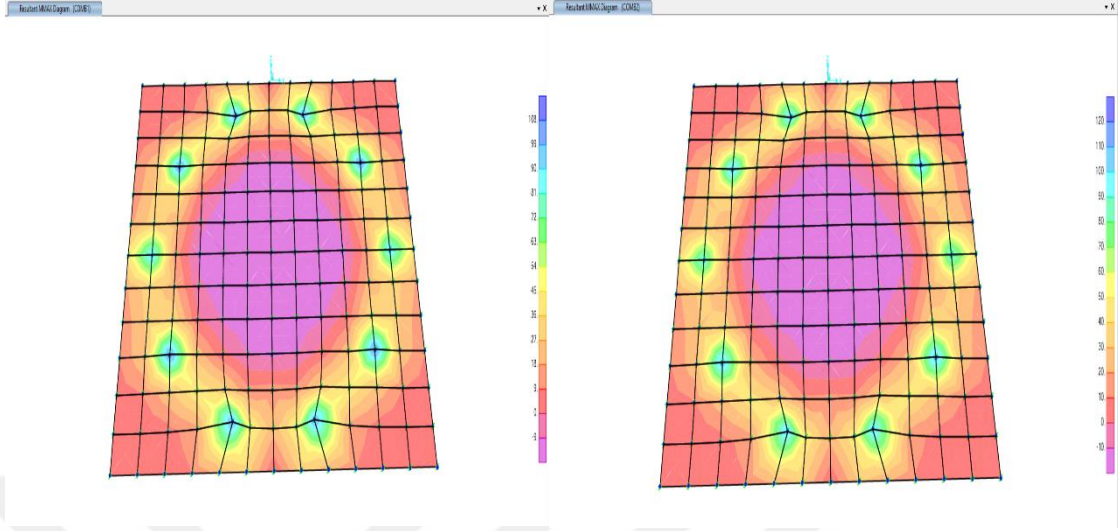
Şekil 4.54. Radye temeldeki moment değişim grafiği (M11).

Radye temeldeki 1. ve 2. yük kombinasyonlarından kaynaklanan M22 moment değişimleri Şekil 4.54’de görülmektedir.

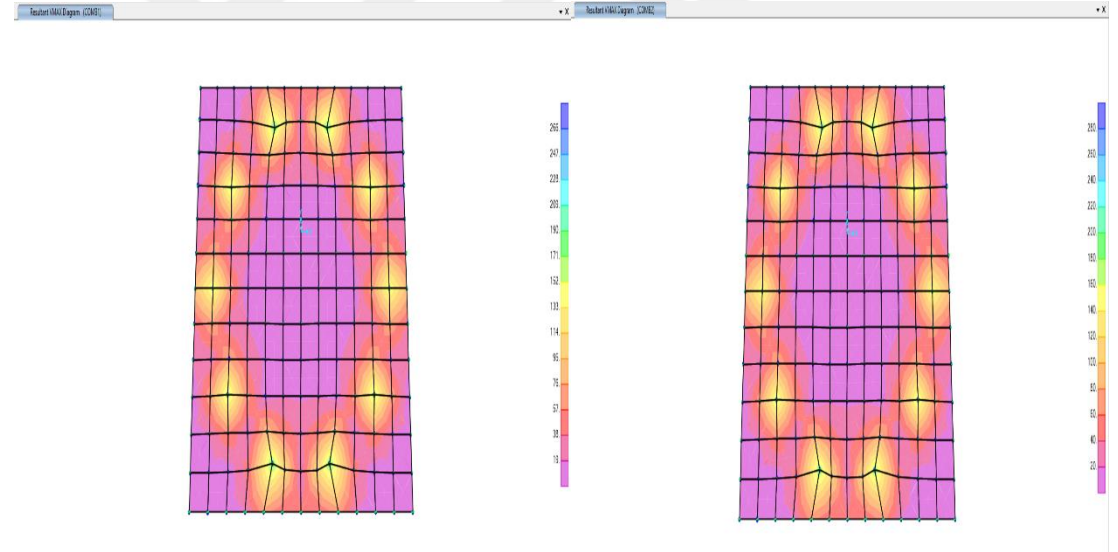


Şekil 4.55. Radye temeldeki moment değişim grafiği (M22).

Radye temeldeki 1. ve 2. yük kombinasyonlarından kaynaklanan max moment değişimleri Şekil 4.55’de görülmektedir.



Şekil 4.56. Radye temeldeki max moment değişim grafiği (Mmax)
 Radye temeldeki 1. ve 2. yük kombinasyonlarından kaynaklanan Vmax değişimleri Şekil 4.56'de görülmektedir.



Şekil 4.57. Radye temeldeki Vmax değişim grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, silindir çelik hububat silolarının mod birleştirme yöntemi analizi yapılmıştır. Sıvı depolama tankları hakkında yürürlükte bulunan bir yönetmelik bulunmasına rağmen hububat depolama tankları-silolar için yürürlükte bulunan bir yönetmelik bulunmamaktadır bu nedenle örnek bir silindir çelik hububat silo modeli için tasarım parametreleri ve yükler, Avrupa'da geçerli olan Eurocode 1 (EN 1991-4) yönetmeliği ve Türkçeye çevrilmiş hali olan TS EN 1991-4:2006-07 kullanılarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, SAP2000 yapı analizi programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile silo statik analizi gerçekleştirilmiştir. Konunun somutlaştırılmasını teminen pratikte karşılaşılması muhtemel sayısal örneğe yer verilerek tasarım yükleri elle hesaplanmış, silo depolama malzemesi nedeniyle oluşabilecek tüm yükler detaylı olarak hesaplanmış ve bunların sonlu elemanlar modeline nasıl uygulanacağı adım adım anlatılmıştır., üç boyutlu dogrusal olmayan statik ve dinamik analiz yapabilen, genel amaçlı bir sonlu eleman programı olan Sap2000 kullanılarak örnek çözümleme yapılmıştır. Bunlardan yola çıkarak silo sisteminin ve silolardaki işleyişin nasıl olduğu anlatılmış, literatür çalışmasından elde edilen verilerle birleştirilerek silo tasarım ve kullanım hataları ile bunların neden olabileceği muhtemel sonuçlardan bahsedilmiştir.

Bu çalışmada tahıl ve gıda maddelerinin büyük miktarlarda uzun süre depolanmasında siloların önemi anlatılmış, bu tesislerin gıda güvenliğinin sağlanmasındaki önemi ve bunları üreten ve tüketen ülkelere ithalat ve ihracatta önemi anlatılmıştır.

Beton silolar ile çelik silolar arasındaki farklar da ele alınarak, çelik siloların faydaları ve nedenleri anlatılmıştır.

Çelik silolar, beton silolara göre çok yer tasarrufu sağlaması, büyük yapılar olması, hızlı inşaata sahip olması ve çok daha hafif yapılar olması gibi pek çok avantaja sahip olması nedeniyle özellikle tercih edilmektedir.

Siloların genel olarak bölümleri ve bileşenleri de anlatılarak, silonun şekli ve yapısının silo boşaltma işlemi sırasında oluşan tahıl akış tipinin belirlenmesini, genel olarak silolarda depolama teknolojisini nasıl doğrudan etkilediği ve en önemli noktalar arasında yer almıştır.

Her siloda bulunması gereken cihazlar belirtilmiş ve silolarda genel olarak meydana gelen en önemli arızalar konuşulmuştur.

Bu çalışma, Türkçe kaynak olduğundan tasarımcılar için önemli bir kaynak oluşturabilir. Bu çalışmanın ülkemizde özellikle çelik silolar konusunda yapılabilecek araştırma veya çalışmalara kaynak teşkil etmesi açısından önemli olduğu düşünülebilir.

Bu çalışmada silonan malzemeden kaynaklanan yüklerin hesaplanması ve buna bağlı olarak ortaya çıkan gerilmelerin hesaplanmasına odaklanılmış olup deprem, rüzgar, kar, sıcaklık gibi yükler hesaplanırken dikkate alınmamıştır. Bu nedenle deprem, rüzgar, kar, sıcaklık gibi yüklerin hesaplanması ve analizlerde dikkate alınması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Aydın, E., 2013, Silo yan sacı direğinin (stiffener) geometrisinin ve mukavemetinin optimizasyonu Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Arıkan, S., 2006, Dörtlü grup siloların iç basınç tesirleri altında sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Blight, G.E., 1985. Temperature changes effect pressures in steel bins, International Journal Bulk Solids Storage in Silos, 1 (3), 1-7.
- Blight, G.E., 1987. Measurements on full size silo Part 1: Temperatures and Strains, Bulk Handling, 7 (6), 781-786.
- Blight, G.E., 1990a. Defects in accepted methods of estimating design loadings for silos, Proc. Institution Cir. Engrs. 88 (1), 1015-1036.
- Blight, G.E., 1990b. Temperature surcharge pressures in reinforced concrete silos, Powder Handling and Processing, 2 (4), 303-305.
- Blight, G.E., 1992a. Temperature-induced loadings on silo walls, Structural Engineering Review, 1, 61-71.
- Blight, G.E., 1992b. Design implications of measured pressures and strains in silos, Journal of Structural Engineering, 118(10), 2729-2742.
- Craik, D.J. and Miller, B.F. ,The flow properties of powders under humid condition, Journal of Pharmacology, (10), 136-144.
- Chase, G.G., 2006. Solids notes, The Department of Chemical Engineering, ABD.
- Ceyhan, C., 2010, Betonarme siloların projelendirilmesinde kullanılan yönetmeliklerin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çağlı, S., 2005. Katı yığınların akış özelliklerinin belirlenmesi ve silo tasarımı, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik.,A.İ., Köse, M.M., 2020, Çelik tahıl depolama silolarının sismik analizi üzerine genel bir değerlendirme ve yeni analiz yaklaşımları, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8 (2),501-520.
- ÇYTHYE (2018), Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapımına dair esaslar. Ankara.
- Durmuş, A., 2007, Silolar konusunda bazı teoriler ve stok yapılarının tasarımına ilişkin genel bir yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Durmuş, A., 2013, Betonarme silindirik siloların stok malzemesi-yapı-zemin etkileşimleri dikkate alınarak deprem davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Eurocode 0, (EN 1990), 2002, Basic of structural design, european committee for standardisation, Brussels.
- Eurocode 1, (EN 1991-4), 2006, Basis of design and actions on structures part 4:actions in silo and tanks, European Committee for Standardisation, Brussels.
- Eurocode 3, (EN 1993-1-6), 2006, Design of steel structures part 4-1: silos, European Committee for Standardisation, Brussels.
- Fitzpatrick, J.J., Iqbal, T., Delaney, C., Twomey, T. and Keogh, M.K., 2004, Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat content, *Journal of Food Engineering*, (64), 435-444.
- Ganesan, V., Rosentrater, K.A. and Muthukumarappan, K., 2008, Flowability and handling characteristics of bulk solids and powders - a review with implications for DDGS, *Biosystems Engineering*, 425-435.
- Hüner, İ., 2006, Çimento silosunun statik ve dinamik analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kibar, H., Öztürk, T., 2011, Tarımsal ürün silolarında yapısal sorunlar , *GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28 (2), 85-96.
- Kibar, H., 2011, Tombul fındık depolamasında tane özelliklerine bağlı olarak anyss programıyla optimum silo tasarımı, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Kibar, H., Öztürk, T., 2016, Depolama yapılarında duvar basınçlarının belirlenmesinde kuramsal yaklaşımlar , *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (4), 51- 63.
- Kibar, H., Öztürk, T., 2013, Çelik konstrüksiyonlu tombul fındık silosunun sonlu eleman yöntemi ile modal analizi, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50 (3), 267- 276.
- Kibar, H., 2017, Farklı standartlara göre silo yüzeyindeki dış basınç katsayılarının belirlenmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2), 107-114.
- Kurşunel, A.L., 2016, Un fabrikalarında tavlama ve tav siloları üzerine yapılan bir araştırma, *Selçuk Teknik Online Dergisi*,1 (3),1-8.
- Moreyra, R. and Peleg, M., Effect of equilibrium water activity on the bulk properties of selected food powder,. *Journal of Food Science*, 46 (6),1918-1922.
- Özel, K., 2007, Çelik hububat silolarının tasarım esasları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özel, E., 2011, Betonarme silolarda cidar-malzeme etkileşimi dikkate alınarak elde edilen yatay basınçların analitik ve sayısal yöntemlerle karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Öztürk, T., Kibar, H., Esen, B., 2008, Taneli tarımsal ürünler için akış profilleri ve silolamada karşılaşılan sorunlar, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (2), 61-67.
- Prescott, J.K. and Barnum, R.A., 2000, On powder flowability, *Pharmaceutical Technology*, 60-84.

- Rotter, J.M., 2001, Guide for the Economic Design of Circular Metal Silos, Spon Press, 235.
- Rotter, J.M., 2009. Silos and tanks in research and practice: state of the art and curren challenges, Proceedings of the International Association for Shell and Spatial,65- 76.
- Yaldıran, F., 2018, Bir buğday silosunun ansys programı kullanılarak analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- TS EN 1991-4:2006-07, 2006, Yapılar üzerindeki etkiler - bölüm 4: silolar ve tanklar (Eurocode 1), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Turhan, M.C., 1986, Betonarme ve öngerilmeli beton siloların projelendirme esasları, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Zhao, Y., 2001. Stability and strength of steel silo transition junctions, Ph.D. Thesis, The Hong Kong Polytechnic University Department of Civil and Structural Engineering, Hong Kong, 439.
- Acar, A., 2023, Dikdörtgen çelik tahıl siloların sonlu elemanlar analizi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin ERBAKAN Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.



ÖZGEÇMİŞ

Kemal FİLFİLİ, ilk okul, ortaokul ve lise eğitimini Halep’te tamamladı ve 2012 yılında Liseden mezun oldu. 2012 yılında Halep Üniversitesi’nde İnşaat Mühendisliği okumaya başladı ve 2016 yılına kadar eğitim aldı, Daha sonra eğitimine Çukurova Üniversitesi’nde devam etti ve 2021 yılında mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi’nde Yüksek Lisans eğitimine başladı.

