

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARDGERMELİ BETONARME SİLOLARIN TASARIM ESASLARI VE BİR
UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orhan YERLİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

MAYIS 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARDGERMELİ BETONARME SİLOLARIN TASARIM ESASLARI VE BİR
UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orhan YERLİ

(501111046)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Metin AYDOĞAN

MAYIS 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 50111046 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Orhan Yerli**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“Ardgermeli Betonarme Siloların Tasarım Esasları ve Bir Uygulama”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Metin AYDOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ahmet SAYGUN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim EKİZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **2 Mayıs 2013**

Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2013**

ÖNSÖZ

Bu tezi yazmamdaki amaç argermeli çimento siloları ile ilgili bir kaynak oluşturabilmek ve bu yapıların normal betonarme silolara göre daha az maliyetli olduğunu gösterebilmektir. Ülkemizde de kullanımı oldukça yaygın olan ardgermeli betonarme silolarla ilgili Türkçe kaynak yok denilecek kadar azdır.

Öncelikle bu tezimde danışmanım olmayı kabul eden, ve her konuda tezime yardımcı olan sayın Prof. Dr. Metin Aydoğan hocama, silo uygulamasını görmeme ve fotoğraflar çekebilmeme olanak sağlayıp beni Azerbaycan Bakü şantiyesine gönderen ENDEM Şirketler grubu kurucu ve yönetim kurulu başkanı sayın Naci Endem'e, tecrübesinden ve daha önce yaptığı onlarca silo projesi deneyimlerini bana aktararak tezime katkı sağlayan ENDEM şirketler grubu yönetim kurulu üyesi patronum Sayın Tamer Tunca'ya ve SAP2000 modeli oluşturmamda bana yardımcı olan iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mayıs 2013

Orhan Yerli
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Siloların Yüksekliklerine Göre Sınıflandırılması:	1
2. TANIMLAR	3
2.1 Silolar	3
2.1.1 Silo elemanları	4
2.1.2 Stok malzemesi türleri	5
2.2 Kayar Kalıp Sistemi	7
2.2.1 Kayar kalıbın kullanıldığı yerler	8
2.2.2 Kayar kalıp kurulması	9
2.3 Ardgerme Sistemi ve Avantajları.....	11
3. SİLO HESABI.....	13
3.1 Silo Yükleri	13
3.1.1 Siloda stoklanacak malzemenin özellikleri.....	13
3.1.2 Malzeme yüklerinin hesabı	13
3.1.2.1 Reimbert yöntemi.....	14
3.1.2.2 Janssen yöntemi	15
3.1.2.3 DIN 1055 yöntemi	16
3.2 Bunkerlerin Hesabı.....	17
3.2.1 Özel bunkerlerin hesabı	18
3.2.1.1 Silo bunkerinin tamamı için yapılan hesap yöntemi.....	19
3.2.1.2 Halka giriş hesabı	20
3.3 Rüzgâr Yükleri	21
3.4 Eksantrik Boşaltma Yüğü	22
3.5 Donatı Hesabında Kullanılacak Yöntemler	23
3.5.1 Taşıma gücü hesabına göre yatay donatı hesabı	24
3.5.2 Malzeme sıcaklığından dolayı	24
3.5.3 Toplam yatay donatı.....	25
4. ARDGERME SİSTEMİ VE UYGULAMA YÖNTEMİ	27
4.1 Ardgerme Sisteminin Uygulama Aşamaları	27
4.1.1 Kablo teşkili ve yerleştirilmesi	27
4.1.2 Germe işlemi	30
4.1.2.1 Ön hazırlık.....	30
4.1.2.2 Germe makinasının takılması.....	31
4.1.2.3 Germe	31
4.1.2.4 Kamalama	31
4.1.2.5 Dolgu ve betonlama	32

4.2 Ardgermede Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar ve Kısıtlamalar.....	32
4.3 Ardgerme Kayıplarının Hesaplanması	34
4.3.1 Sürtünme kayıpları	35
4.3.2 Sıkıştırıcı oturması	36
4.3.3 Uzama boyunun hesabı	37
4.3.4 Betonun rötne ve sünmesi sonucu oluşan kayıplar	37
5. SAYISAL UYGULAMA.....	41
5.1 Silo Boyutları	43
5.2 Ölü Yükler.....	44
5.2.1 Çatı ağırlığı.....	44
5.2.2 +55,50 Kotu döşemesi.....	44
5.2.3 Bunker ağırlığı.....	45
5.2.4 Silo şaft ağırlığı	46
5.3 Hareketli Yükler	48
5.3.1 Çimento ağırlığı.....	48
5.3.2 Rüzgâr yükleri	50
5.4 Silo Toplam Ağırlığı	53
5.5 Beton Gerilmeleri	56
5.6 Malzeme Basıncı	59
5.6.1 Eksantrik boşaltma yükü	59
5.6.2 Çimento basıncı.....	59
5.6.3 Bunker üzerine gelen yükler ve beton gerilmeleri	62
5.7 Ardgerme Hesapları	64
5.7.1 7C15 kabloları kayıpların hesaplanması	64
5.7.1.1 Sürtünme kayıpları;	65
5.7.1.2 Kama oturması	65
5.7.1.3 Kablo uzaması	66
5.7.1.4 Ardgerme çeliğinin uzamasından dolayı oluşan kayıplar.	66
5.7.2 13C15 kabloları kayıpların hesaplanması	66
5.7.2.5 Sürtünme kayıpları	67
5.7.2.6 Kama oturması	68
5.7.2.7 Kablo uzaması	69
5.7.2.8 Ardgerme çeliğinin uzamasından dolayı oluşan kayıplar.	69
5.7.3 Betonun rötne ve sünmesi sonucu oluşan kayıplar	69
5.8 Ardgermesiz Tasarım	78
5.9 Ardgermeli ve Ardgermesiz tasarımların karşılaştırılması	79
5.9.1 Donatı ve kablo alanı karşılaştırması	79
5.9.2 Maliyet karşılaştırması	80
5.10 Isı ve Rüzgar Donatıları	83
5.11 Deprem Yükleri.....	87
5.12 Temel Hesabı.....	91
5.12.1 Temelin rijit kabul edilmesi halinde radyal moment	91
5.13 SAP2000 Modeli	92
6. SONUÇ.....	117
KAYNAKLAR.....	119
EKLER.....	121
ÖZGEÇMİŞ	125

KISALTMALAR

UBC-97	: 1997 Uniform Building Code
ACI313-97	: America Concrete Institute 313-97
ACI 318-99	: America Concrete Institute 318-99
ASSTHO	: American Association of State Highway and Transportation Officials

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: C_q değerleri.....	21
Çizelge 4.1: Ardgerme kablo özellikleri.	29
Çizelge 4.2: μ ve k katsayıları.	35
Çizelge 4.3: SH değerleri.....	38
Çizelge 4.4: ES değerleri.	38
Çizelge 4.5: CR_c değerleri.	38
Çizelge 5.1: Bunker ağırlığı.	45
Çizelge 5.2: Silo şaft ağırlığı.	46
Çizelge 5.3: Çimento ağırlığı.	48
Çizelge 5.4: UBC97 ve ACI307-98'e göre rüzgar yükleri.	50
Çizelge 5.5: Silo toplam ağırlığı.	53
Çizelge 5.6: Beton gerilmeleri.	56
Çizelge 5.7: Çimento basıncı.	60
Çizelge 5.8: Bunker gerilmeleri.	63
Çizelge 5.9: Kablo özellikleri ve kayıplar.	70
Çizelge 5.10: ES ve CR_c değerleri.	71
Çizelge 5.11: ASSTHO ile hesaplanan ardgerme kayıpları.	71
Çizelge 5.12: ASSTHO ve CEB-FIB yönetmelikleri kayıpların karşılaştırılması.	72
Çizelge 5.13: Kablo net kuvveti.	73
Çizelge 5.14: Ardgerme yerine gerekli olan donatı.....	78
Çizelge 5.15: Ardgermeli ve ardgermesiz silo hacimleri.	81
Çizelge 5.16: Isı ve rüzgar donatıları	83
Çizelge 5.17: UBC97 Deprem yükleri.	87
Çizelge 5.18: Periyod ve Frekanslar..	97
Çizelge 5.19: Kabuk elemanların özellikleri..	100

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Azerbaycan Bakü çimento silosu .	3
Şekil 2.2: Silo elemanları.	4
Şekil 2.3: Silo şaft daralması.	7
Şekil 2.4: Kayar kalıp planı.	9
Şekil 2.5: Kayar kalıp panosu.	10
Şekil 2.6: Kayar kalıp kurulumu.	10
Şekil 2.7: Kayar kalıp modeli.	11
Şekil 3.1: Reimbert ve Janssen yöntemlerinde kullanılan silo yükleri.	14
Şekil 3.2: Silo iç kuvvetleri.	16
Şekil 3.3: Bunker iç kuvvetleri.	17
Şekil 3.4: Bunker kesiti.	18
Şekil 3.5: Bunkere etki eden düşey yük.	19
Şekil 3.6: Bunkere etki eden yatay yük.	19
Şekil 3.7: Bunkere etki eden tekil yük.	20
Şekil 3.8: Bunker girişine etki eden yükler.	21
Şekil 3.9: Donatı düzeni.	25
Şekil 4.1: Ardgerme kabloları.	27
Şekil 4.2: Ardgerme ankraj kutusu.	28
Şekil 4.3: Ankraj başlığı.	29
Şekil 4.4: Germe işlemi.	30
Şekil 4.5: Ardgerme kutusu.	30
Şekil 4.6: Germe makinasının takılması.	31
Şekil 4.7: Germe işlemi.	32
Şekil 4.8: Kamalama işlemi.	32
Şekil 4.9: Dolgu betonlama.	32
Şekil 4.10: Ardgerme kutularının yerleşim şartları.	33
Şekil 4.11: Boşluk etrafından geçen ardgerme kabloları.	34
Şekil 4.12: Ardgerme kayıpları.	36
Şekil 5.1: Hesapları yapılacak silo.	42
Şekil 5.2: Silo detayları.	43
Şekil 5.3: Yatay çimento basıncının kotlardaki değişimi.	62
Şekil 5.4: 7C15.3 Ardgerme kablosunun boyu.	64
Şekil 5.5: 7C15.3 Ardgerme kablosunun kayıpları.	66
Şekil 5.6: 13C15.3 Ardgerme kablosunun boyu.	67
Şekil 5.7: 13C15.3 Ardgerme kablosunun kayıpları.	68
Şekil 5.8: Malzeme yükleri- Ardgerme yükleri.	75
Şekil 5.9: Ardgerme kablolarının yerleşimi.	76
Şekil 5.10: Betonarme guse içine yerleştirilen ardgerme kabloları.	77
Şekil 5.11: Betonarme guse donatıları.	77
Şekil 5.12: Temel planı.	91

Şekil 5.13: Şaftta meydana gelen gerilmeler ve momentler.	93
Şekil 5.14: Silo modeli.	94
Şekil 5.15: Silo modeli iç görünümü.	95
Şekil 5.16: Silo şaftına gelen P yükü.	96
Şekil 5.17: Birinci mod şekli.	98
Şekil 5.18: İkinci mod şekli.	99
Şekil 5.19: Malzeme yüklerinden dolayı siloda oluşan yatay gerilmeler.	101
Şekil 5.20: Deprem yüklerinden dolayı siloda oluşan yatay gerilmeler..	102
Şekil 5.21: Malzeme yüklerinden dolayı siloda oluşan düşey gerilmeler..	103
Şekil 5.22: Deprem yüklerinden dolayı siloda oluşan düşey gerilmeler..	104
Şekil 5.23: Silo düşeyinde iç donatı.	105
Şekil 5.24: Silo düşeyinde dış donatı.	106
Şekil 5.25: Deprem X doğrultusunda temel alt çembersel donatısı.	107
Şekil 5.26: Deprem X doğrultusunda temel üst çembersel donatısı.	108
Şekil 5.27: Deprem X doğrultusunda temel alt etriye donatısı.	109
Şekil 5.28: Deprem X doğrultusunda temel üst etriye donatısı.	110
Şekil 5.29: Deprem Y doğrultusunda temel alt çembersel donatısı.	111
Şekil 5.30: Deprem Y doğrultusunda temel üst çembersel donatısı.	112
Şekil 5.31: Deprem Y doğrultusunda temel alt etriye donatısı.	113
Şekil 5.32: Deprem Y doğrultusunda temel üst etriye donatısı.	114

ARDGERMELİ BETONARME SİLOLARININ TASARIM ESASLARI VE BİR UYGULAMA

ÖZET

Bu tezin amacı Türkiye’de yok denilebilecek kadar az kaynak bulunan ardgermeli çimento siloları için bir kaynak oluşturabilmek ve ardgerme sisteminin betonarme silolarda uygulanmasının, silo imalatında ve maliyetinde sağladığı avantajları gösterebilmektir.

Günümüzde çeşitli malzemelerin üretilmesi ve ihtiyaç halinde kullanılabilmesi için büyük depolama alanlarına ve yapılarına ihtiyaç vardır. Bu malzemelerin depolandığı ve ihtiyaç halinde boşaltıldığı özel tipte depolara silo denir. Silolar yüksekliklerine göre iki sınıfa ayrılabilir.

$H > 1.5\sqrt{A}$ ise derin silo,

$H < 1.5\sqrt{A}$ ise sığ silo ya da bunker olarak adlandırılır.

Burada H silo yüksekliğini, A ise silo enkesit alanını göstermektedir.

Silolarda çeşitli malzemeler depolanabilir. Bunlar çeşitli tahıl ürünleri, farklı dallarda kullanılan maden cevheri, kömür, kum gibi ham maddeler ve çimento, küspe, kül, klinker, farin vb. endüstri ürün ve artıkları olabilir. Daha az bakım masrafları gerektirmesi, göçme veya burkulmaya karşı emniyetli oluşu ve depolanan malzeme açısından çeşitli avantajlar sunması sebebiyle orta ve büyük hacimli silolar öngermeli veya normal betonarme olarak inşa edilebilmektedir.

Silolar genellikle 7 bölümden oluşmaktadır. Bunlar silo çatısı, silo tavan döşemesi, silo gövdesi, silo bunker, düşey taşıyıcılar, silo temeli ve bunker kirişidir. Bu bölümlerden en önemli olanı silo gövdesidir. Silo gövdesi depolanan malzemenin yüklerine, sıcaklık farkından dolayı oluşacak yüklere, rüzgâr yüklerine ve deprem yüklerine maruz kalmaktadır.

Silo inşaatı çeşitli yöntemlerle yapılabilir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntemler kayar kalıp ve tırmanır kalıp sistemleridir. Bu yöntemlerden en hızlı olanı kayar kalıp sistemidir. Kayar kalıp sistemi betonarme perdeli yüksek yapılarda kullanılmaktadır. Bu kalıp sistemi yüksek yapıların kısa zamanda yapılmasını sağlayan, kesintisiz beton dökümü gerektiren, 24 saat çalışmanın son derecede iyi planlandığı ve organize edildiği bir sistemdir.

Silo hesabında öncelikle siloya etki eden yüklerin bulunması gerekmektedir. Bu yükler depolanan malzemenin oluşturduğu yükler, rüzgar yükleri, deprem yükleri, depolanan malzemenin ısı ile dış ortam ısı arasındaki farktan dolayı oluşan yükler ve simetrik olmayan boşaltma durumunda oluşan eksantrik boşatma yükleridir. Bu yüklerden silo tasarımında en fazla etkin olan yük, malzemenin silo gövdesinde oluşturduğu yüküdür. Malzeme yükleri yönetmeliklere göre farklılık göstermektedir. Malzeme yüklerinin bulunmasında en yaygın yöntem ACI313-97 de’de bahsedilen Janssen’s yöntemidir.

Günümüzde yüksek ve geniş silolarda ardgerme uygulanmaktadır. Ardgerme sisteminin birçok avantajı vardır. Bunlardan silolar için en önemli olanları arasında; silo gövde kalınlığının betonarme bir siloya göre daha ince yapılabilmesi, silo gövdesinde oluşacak çatlakların önlenmesi ve işçiliğinin betonarme siloya göre daha kolay olması sayılabilmektedir.

Ardgerme sistemi siloya, silo duvarında gerekli olan yatay donatının yerine ardgerme kabloların koyulup, siloya malzeme doldurulmadan önce gerilmesiyle uygulanır. Silo duvarına beton dökülmeden önce ardgerme kablolarının kılıfları bırakılmalıdır. Bu kılıflar beton döküldükten sonra, ardgerme kablolarının silo duvarı içine sürülebilmesi için delik oluşturmaktadır. Ardgerme kabloları, beton 28 günlük basınç mukavemetini kazandıktan sonra gerilmelidir. Ardgerme kabloları depolanan malzemeye karşı daha fazla dayanım sağlamakta ve uygulama için silo gövdesi içinde daha az alana ihtiyaç duymaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında uygulama örneği olarak 66 metre yüksekliğinde 22.5 metre genişliğinde bir çimento silosunun statik hesapları yapılmıştır. Bu siloda gövde kalınlığı temelden +12.636 kotuna kadar 80 cm, malzemenin dolduğu +12.636’dan +55.50 kotuna kadar 40 cm ve +55.50’den +66.00 kotuna kadar 20 cm olarak belirlenmiştir. Hesapları yapılan çimento silosunda C30 beton, S325 donatı çeliği kullanılmıştır. Ardgerme hesapları CEB-FIB model ve ASSTHO’ya göre

hesaplanmış ve kullanılan halatların özellikleri ise FREYSINET firmasının kullandığı değerlerden alınmıştır.

Çimento silosu ardgermeli ve betonarme olarak ayrı ayrı hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Ardgermeli siloda kullanılan gövde kalınlığı yeterli olurken, betonarme siloda gövde kalınlığını 20 cm artırma ihtiyacı duyulmuştur. Böylece betonarme siloda shaft kalınlıkları 100 cm ile başlayıp 60 cm'ye ve 40 cm'ye düşmektedir. Tasarlanan iki silo arasındaki beton hacmi farkı 982 m³ olmuştur.

Hesaplar sonucunda 66 metre yüksekliğinde ve 22.5 çapında bir çimento silosunu betonarme tasarlamak, ardgermeli tasarıma göre %26 daha pahalı olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda betonarme siloda kullanılması gereken donatıların çapları yüksek olacağından, uygulamasının zor olduğu ve uzun zaman alacağı tespit edilmiştir.

DESIGN PRINCIPALS OF POST-TENSIONED CEMENT SILOS AND AN APPLICATION

SUMMARY

The aim of this study is to develop a reference for designing post-tensioned concrete silos, which are too rare in Turkey, and to show the effectiveness of using post-tensioning tendons instead of rebar in terms of cost and applicability.

In this study mainly design principles of post-tensioned silos are explained and post-tensioned silo construction and reinforced concrete silo techniques were compared in terms of cost and applicability. In this summary, study on the principles of post-tensioned cement silos and application will be briefly presented.

A silo is a type of industrial structure that is used for storing bulk materials in a wide range of economic area. Silos are more commonly used for bulk storage of grain, coal, cement, carbon, woodchips, food products and sawdust. Especially in growing economies, there is improving demand for effective ways in techniques in terms of time saving, cost saving efficiency and durability to build silos so that they can function properly in a number of areas.

Silos as a civil engineering structure can be defined in two groups according to their height and area covered, as shown below;

$H > 1.5\sqrt{A}$ is a deep silo.

$H < 1.5\sqrt{A}$ is a bunker (shallow silo).

H represents the height of a silo whereas A represents a silo's area.

The physical properties of materials stored in silos and bunkers determine flowability of the material and the forces that the material applies to the silo walls and bottom. Those properties vary from one material to another. The unit weight, angle of internal friction and the coefficient of friction between the stored material and the silo wall are the most important properties for pressure computation. Some materials

can be hot when they are stored; Cement, cement clinker, and fly ash are good examples for those kinds of materials. Large volumes of hot stored material can cause serious thermal stresses on the walls, bottom and roof of the silo structure.

Concrete cement silos consist of seven parts. These are silo roof, silo slab, silo body, silo hopper, silo foundation, ring beam and downward carriers. Silo body is the most important part of any silo. Silo body resists against material loads, temperature loads caused by temperature difference between the stored material and outside, wind loads and earthquake loads.

There are different ways to build a concrete silo. Most commonly used are slip form and climbing form techniques. Between these two techniques, the faster way to build a concrete silo is using a slip form. Slip forming is a kind of construction method in which concrete is poured into a continuously moving form. Slip forming is used for tall structures (such as bridges, towers, buildings, and dams), as well as horizontal structures like roadways. Slip forming enables continuous, non-interrupted, cast-in-place "flawless" concrete structures, which have superior performance characteristics to piecewise construction using discrete form elements. Slip forming relies on the quick-setting properties of concrete, and requires a balance between quick-setting capacity and workability.

In order to determine the required reinforcement inside the silo wall, loads acting on the silo wall have to be calculated. These loads include stored material loads, wind loads, earthquake loads, temperature loads and eccentric unloading effects. To determine the horizontal reinforcement of the silo wall, material forces are of prior concern. On the other hand to determine the vertical reinforcement of the silo wall, earthquake loads need to be taken into account in the first place. There are different methods to calculate material loads. In this study, three different methods (Riembert method, DIN 1055 method and Janssen method) are referred. Janssen method is the most widely used one to calculate material loads. Silos can be constructed with either reinforced concrete or post tensioned concrete.

Studied method of "post-tensioned concrete" is the term describing a method of applying compression after pouring concrete and the curing process. The concrete is cast around plastic, steel or aluminum curved duct, to follow the area where, otherwise, tension would occur in the concrete element. A set of tendons are fished through the duct and the concrete is poured. Once the concrete has hardened, the

tendons are tensioned by hydraulic jacks that react (push) against the concrete member itself. When the tendons have stretched sufficiently, according to the design specifications, they are wedged in position and maintain tensions after the jacks are removed, transferring pressure to the concrete.

The technique of post-tensioning of a concrete silo includes placing post-tensioning strands and straining them instead of placing rebar inside the silo wall. In order to place post tensioning strands inside the silo wall, a corrugated metal sheath must be placed inside the silo wall before the concrete is poured. After the concrete is poured, metal sheath provides a hole where the strand is placed. Poured concrete has to gain its 28-day strength in order to strain the post-tension strands. Straining must be done before the material stored. Post tension strands provide more strength against stored material and require less area inside the concrete silo wall.

For the application of the method, calculations were made for the post-tensioned cement silo at *Qizildas* cement plant located in Baku, Azerbaijan. The calculated cement silo in this study is 66 meters high and 22.5 meters wide. The thickness of the silo wall is 80 cm between elevations +0.00 and +12.636, 40 cm between elevations +12.636 and +55.50, where material is stored and 20 cm between elevations +55.50 to +66.00. C30 concrete and S235 rebar were used in calculations made on the silo. To calculate the post-tensioned tendon losses, methods in CEB-FIB and ASSTHO were compared and CEB-FIB model was selected to calculate post-tension losses. The properties of post-tension tendons were taken from the FREYSINET catalog.

This silo in the current study is designed by using both reinforced concrete and post-tensioned concrete. Under the same material loads, required reinforcement and post tension tendons are calculated. The costs of silos are compared. The thickness of the silo wall is enough for the post-tensioned silo, however reinforced-concrete silo needs more thickness to place the required rebar inside the silo wall. Thus, thickness of the reinforced concrete silo wall is increased by 20 cm. New wall thickness of the reinforced concrete silo is 100 cm between elevations +0.00 and +12.636, 60 cm between elevations +12.636 and +55.50, where material stored and 40cm between elevations +55.50 and +66.00. Reinforced concrete silo design needs 989,9 m³ more concrete than post-tensioned silo design.

It is concluded that a reinforcement concrete cement silo with 66 meter high and 22.5 diameter costs %26 more than a post-tensioned concrete silo. It is found that post-

tensioned silo building technique is more effective than reinforced concrete technique in terms of cost and applicability.

1. GİRİŞ

Günümüzde çeşitli malzemelerin üretilmesi ve tüketilmesinin gereği olarak büyük hacimli depolama tesislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu depolama tesislerinde malzemeler stoklanır ve ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılır. Bu tesislerde yükleme ve boşaltmada kolaylık sağlaması için inşa edilen özel tipte depolara silo adı verilmektedir.

Silolar çeşitli malzemelerin depo edilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Çeşitli tahıl ürünleri, değişik dallarda kullanılan maden cevheri, kömür, kum gibi ham maddeler ve çimento, küspe, kül, klinker, farin vb. endüstri ürün ve artıkları olabilir. Daha az bakım masrafları gerektirmesi, göçme veya burkulmaya karşı emniyetli oluşu ve depolanan malzeme açısından çeşitli avantajlar sunması sebebiyle orta ve büyük hacimli silolar öngermeli veya normal betonarme olarak inşa edilebilmektedir.

Silo yerinin seçiminde genellikle stok dileyen malzemenin bulunduğu (elde edildiği) bölgeler veya stok edilecek malzemenin depolanabileceği ve istenildiği zaman kullanım bölgelerine kolaylıkla gönderilebileceği bölgeler (tren istasyonları, limanlara yakın bölgeler) tercih edilmektedir..

1.1 Siloların Yüksekliklerine Göre Sınıflandırılması:

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

Malzeme basınçlarının derinlikle orantılı alınabildiği silolara bunker, çeper sürtünmesinin hesaba katılması gereken yüksek silolara da silo denilmektedir. Silolar ile bunkerleri ayıran sınır malzemenin içsel sürtünme açısına, silo çeperi ile malzeme arasındaki sürtünme katsayısına bağlıdır. Buna göre;

$H > 1.5\sqrt{A}$ için derin silo,

$H < 1.5\sqrt{A}$ için bunker hesabı yapılabilmektedir.

Depolanan malzemenin silodan boşaltılması için silo taban düzleminden itibaren meydana getirilen kesik koni veya kesik piramit şeklindeki boşaltılma ağızlarına bunker denilmektedir. Örneğin; kömür cevheri, kalker ve kil stokhollerinde olduğu gibi sadece bunkerler de inşa edilebilmektedir. Yükseklikleri genişliklerine göre çok fazla olmayan (yüksekliğin genişliğe oranı <1.5) düşey duvarlı bir kısım ve huniden oluşacağı gibi sadece kolonlar üzerinde duran bir huniden de ibaret olabilir. Bunkerlerde genellikle maden cevheri, kömür, kireçtaşı, klinker, kum, kil, çimento ve taş depolanmaktadır.

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

2. TANIMLAR

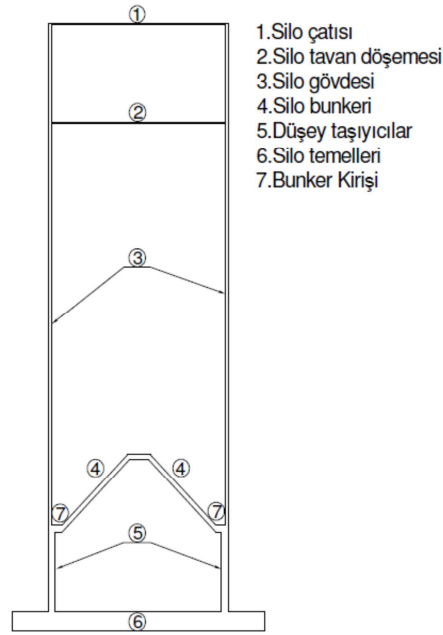
2.1 Silolar

Günümüzde çeşitli malzemelerin üretilmesi ve tüketilmesinin gereği olarak büyük hacimli depolama tesislerine ihtiyaç vardır. Bu tesislerde malzemeler stoklanır ve ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılır. Yükleme ve boşaltmada kolaylık sağlaması için inşa edilen bu özel tipte depolara silo denir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Azerbaycan Bakü Çimento Silosu

2.1.1 Silo elemanları



Şekil 2.2 : Silo Elemanları

1-)Silo Çatısı: Silo çatısı silonun üzerini kapatan ve siloyu dış etkilere karşı koruyan kapak vazifesini görür. Bu çatı genellikle üzerine gelen yağmuru tahliye edebilmesi için eğim betonu ile kaplanmaktadır. Çatı üzerine gelen yükler döşemenin ve eğim betonunun yanında, toz, kar, rüzgâr ve hareketli yük olarak ele alınmalıdır. Çatı çelik kirişler üzerine oturan prefabrike döşeme parçalarından, çelik kirişlerin üzerine yerleştirilen trapez sac ile oluşturulan kompozit, yerinde dökme betonarme kirişler veya betonarme bir kabultan oluşabilmektedir. Çatının prefabrike veya kompozit yapılması, kalıp kurulmasını gerektirmediğinden, kayar kalıp sistemi için daha uygundur.

2-)Silo Tavan Döşemesi: Silo tavan döşemesi, silo içine doldurulan malzemenin dolduğu en son kademeyi oluşturmaktadır. Silo tavan döşemesinin üzerinde çeşitli ekipmanlar bulunur. Bu döşeme çatı döşemesiyle aynı şekilde yapılabilir ancak kar, rüzgar, kum ve eğim betonundan kaynaklanan yükler hesaba katılmaz . Bu döşemede hareketli yükler daha fazla alınmalı ayrıca ekipman yükü de hesaplara katılmalıdır.

3-)Silo Gövdesi: Silonun en önemli elemanını teşkil etmektedir. Stok malzemesinin yanal basıncına ve gövde ağırlığına maruz kalmaktadır. Değişken kalınlıkta yapılabilirler ancak 15 cm den az olmamalıdır. Şaft donatısı yerleştirilirken minimum ve maksimum donatı aralıklarına dikkat edilmelidir. Pas payı, silo şaftı dış etkenlere

maruz kaldığı ve iç taraftan yüksek malzeme sürtünmesi etkisinde olduğu için silo şaftında oldukça önemlidir. Ardgerme uygulanacak bir siloda, kabloların silo şaftından çıktığı ve germe işleminin gerçekleştirileceği yerlerde ardgerme gusesi bırakılması gerekmektedir. Ardgerme kafaları bu guseler üzerine yerleştirilmektedir.

4-)Silo Bunkeri: Malzeme alma işlemi burada yapılmaktadır. Genellikle bunker inşa edilir. Bunkerin eğimi sürtünme durumuna ve akış özelliklerine bağlı olarak değişmektedir . Bunker yapılmadığı takdirde döşeme üzerine eğimli dolgu betonu yapılmaktadır.

5-)Düşey Taşıyıcı Şaft: Bu şaft malzemenin dolduğu kısımdaki şaft kalınlığına göre daha kalın bir tabaka oluşturmaktadır. Böyle olmasının en büyük avantajı , silo şaftının daraldığı yerde bunker kirişinin düşey taşıyıcı şaftın üzerine oturtularak taşınabilmesidir.Şaftın daraldığı yer Şekil 2.3'te şu şekilde görülebilir:

6-)Silo Temeli: Oransal olarak küçük temel alanlı yüksek silolarda fazla hareketli yük, salınımlara ve doldurmaya bağlı olarak değişik şekilde dağılan zemin basınçlarına neden olmaktadır. Bu sebeple izin verilmeyen oturmalar ve bunun sonucunda üst yapıda çatlakların oluşmaması için temellere özellikle önem verilmesi gerekmektedir. Zemin koşullarının iyi olması durumunda betonarme sürekli temeller ve kısıtlı temel alanı nedeniyle betonarme radye temel gerekli olur. Radye temeller kirişli ya da kirişsiz teşkil edilmektedir. Sağlam tabakaların derinde olduğu zeminlerde çoğu kez kazıklı temel en uygun çözüm olup silo yükleri doğrudan sağlam zemine aktarılmaktadır.

7-)Bunker Kirişi: Bu kiriş bunkerin silo ile birleştiği yerde bulunan oldukça büyük bir halka kiriştir. İstenildiği taktirde bunkerin ağırlığından ve üzerindeki malzemeden dolayı oluşan yatay yükler bunker kirişine koyulan donatı ile, ya da silo şaftına koyulacak ekstra donatılarla karşılanabilmektedir. Büyük silolarda bunkerden gelen yatay yüklerin şafta aktarılması, şaft üzerinde büyük gerilmelere hatta çatlaklara yol açabilir. Bu sebepten dolayı uygulamada bunker kirişine donatı koyularak yüklerin karşılanması daha uygun olmaktadır.

2.1.2 Stok malzemesi türleri

i)Silolarda depolanan malzemeler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

1. İşlenmemiş tarımsal ürünler

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

2. İşlenmiş tarımsal ürünler

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

3. Anorganik işlenmemiş hammaddeler

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

4. Endüstri ürünleri

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

ii) Stok Malzemesinin Mekanik Türleri

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

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

Toz şeklindeki stok malzemelerinde sürtünmenin yanı sıra kohezyon da ortaya çıkmaktadır..

Daneli malzemedede ise kohezyonda ortaya çıkmaz veya çok az olmaktadır.



Şekil 2.3 : Silo Şaft Daralması

2.2 Kayar Kalıp Sistemi

Kayar Kalıp Sistemi betonarme perdeli yüksek yapılarda kullanılmaktadır. Bazı kullanım koşulları ve kısıtlamaları vardır. Bu kalıp sistemi yüksek yapıların kısa zamanda yapılmasını sağlayan, kesintisiz beton dökümünü gerektiren, 24 saat çalışmanın son derecede iyi planlandığı ve organize edildiği bir sistemdir. Silindirik ve prizmatik yapılarda düşey doğrultuda hareket ederken içe doğru ve kısmen dışa doğru eğim verilebilir. Kayar kalıp sistemi hiperbolik yapılarda da kullanılabilir. Soğutma kulelerinin bazıları bu yöntemle yapılabilmektedir. Kayar kalıba bu ismin verilmesinin nedeni gerçekten kayıyor olmasından kaynaklanmamaktadır. Küçük ama sürekli olarak yapılan yükselmeler daha geniş zaman içinde kalıbın kaydığı izlemi vermektedir. Genellikle her 25cm yükselmede kalıp üzerinde bulunan deliklerden silonun şakulünde yükseldiği kontrol edilmektedir.

Kayar kalıp sistemi genel olarak aşağıda yazılı temel birimlerden oluşmaktadır (Şekil 2.4);

1. Kaldırma sistemi (hidrolik, mekanik)

a. Hidrolik güç merkezi

b. Hidrolik hortumlar

c. Krikolar

d. Tırmanma çubukları

2. Kalıp ve iskele sistemi

3. İşgücü ve malzeme taşıma sistemi.

4. Yardımcı donanım ve teçhizat.

Kayar kalıp sürekli devam eden ve 24 saat durmayan bir çalışma gerektirdiği için, çalışmanın durmasına sebep olabilecek unsurların önceden tahmin edilip giderilmesi gerekmektedir. Bu sorunlardan bazıları projede silo üzerindeki açıklıkların yerleri ve silo cidarında bırakılacak ankrajların yerlerinin önceden belirlenmesi ve aplikasyonunun silo shaftı belirtilen kota yükselmeden yapılması gerekmektedir. Kule vinçin kurulacağı yerin, kalıp üzerine demir, ankraj, daraltma kalıbı, döşeme kirişlerini ve en önemlisi beton kovanı yukarı taşıyabilecek yere kurulması ve yeterli kapasitede olması gerekmektedir. Beton temin edilen santralin yakında bulunması soğuk derz oluşturmaması bakımından önem teşkil etmektedir. Kalıp üzerindeki ağırlıklara dikkat edilmeli ve 150kg/m değeri aşılmamalıdır.

2.2.1 Kayar kalıbın kullanıldığı yerler

a-)Çimento, klinker, kırmataş, kireç, tahıl, cam siloları

b-)Köprü ayakları ve viyadükler

c-)Sanayi ve havalandırma bacaları

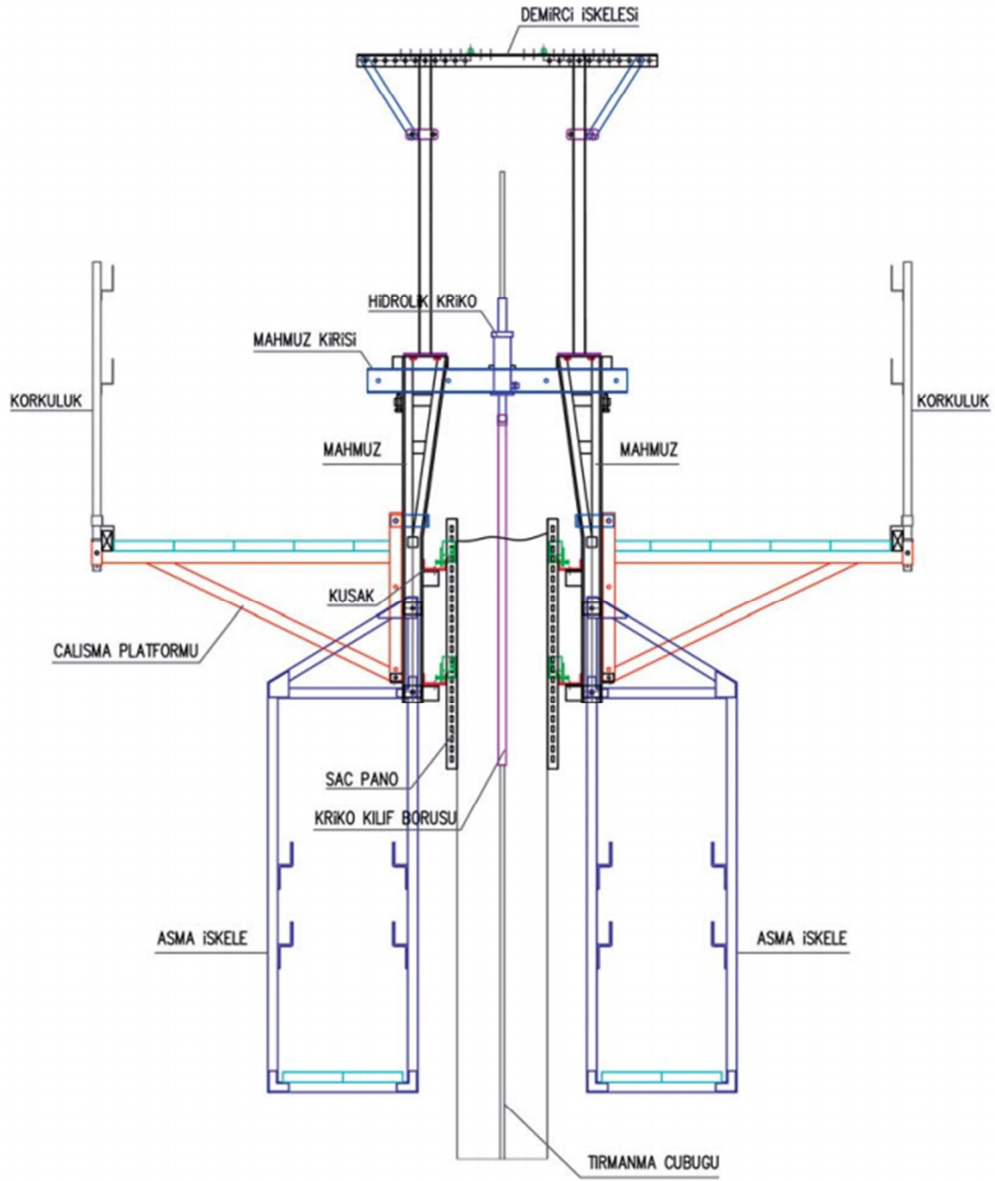
d-)Kontrol ve TV verici kuleleri

e-)Seyir kuleleri

f-)Atık su bozuşturma tankları

g-) Baraj su alma yapıları

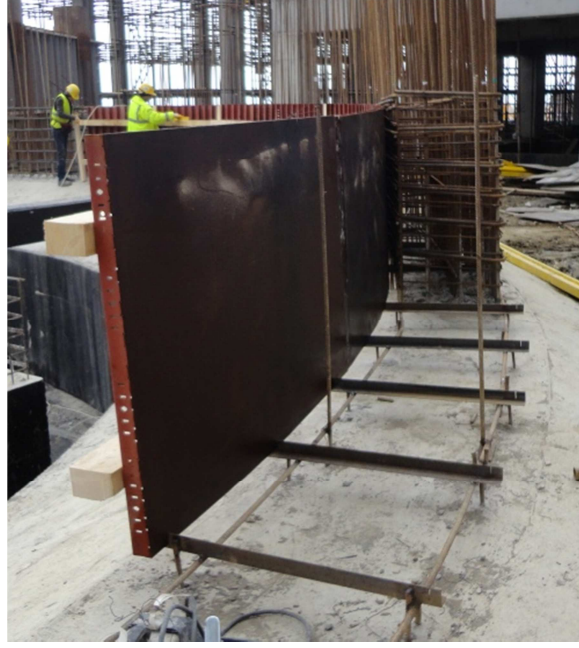
h-) Baraj şaft kaplama inşaatları



Şekil 2.4 : Kayar kalıp planı

2.2.2 Kayar kalıp kurulması

Kayar kalıp kurulmasının birinci aşaması yapının duvar kalınlığını belirleyecek ve güvence altına alacak olan köşebentlerin montajından oluşmaktadır (Şekil 2.5). Köşebent üzerinde 3 mm kalınlığında panoların gireceği kadar yarıklar oluşturulur. Köşebentler daha önceden planlanan yerlerde monte edilmiş olan demirlere yine önceden lazer optik vasıtası ile işaretlenmiş kotlara uygun olarak monte edilir. Bu şekilde kalıp tabanının aynı düzeyde kurulmuş olması sağlanır.



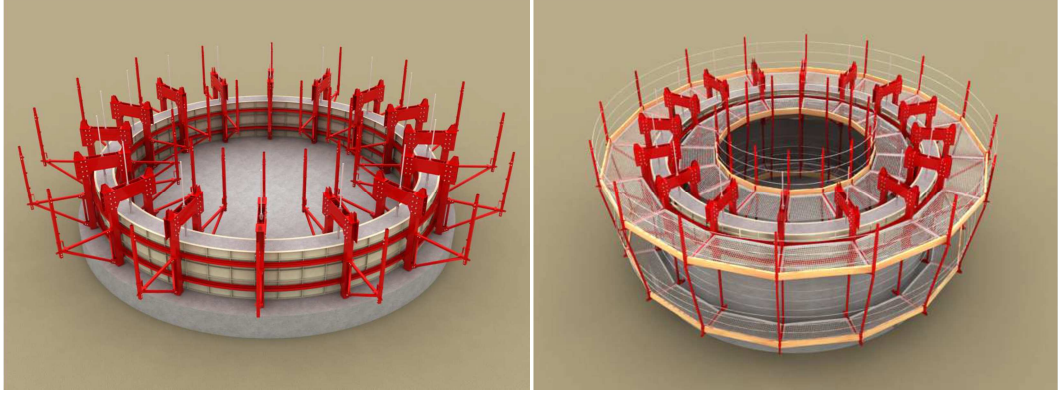
Şekil 2.5 : Kayar kalıp panosu

Köşebent montajı tamamlandıktan sonra pano montajına geçilir. Genelde pano montajına içeriden başlanır, özellikle tek gözlü yapılarda önce iç kısımlardaki kalıp montajı tamamlanır. Bu şekilde yapılmasının amacı birinci grup demirlerin dıştan yaklaşılarak montajının yapımına kolaylık sağlamaktır. Birinci grup demir montajı yapıldıktan sonra dış pano montajı tamamlanır ve panolara üstten geçecek şekilde gösterilen köşebent yarıkları aşağı doğru dönük olarak monte edilir. Bu köşebentin yarıklarının içten içe ölçüsü duvar kalınlığından 5 mm daha kısa yapılmaktadır.



Şekil 2.6 : Kayar kalıp kurulumu

Panolar yerleştirildikten sonra üzerinde çalışılacak olan kayar kalıp platformu oluşturulur (şekil 2.6). Beton kalıp arasına bu platform üzerinden dökülür. Platform zerindeki yüklerin 150kg/m yi aşmamasına dikkat edilmesi gerekir.



şekil 2.7 : Kayar kalıp modeli

Kalıp üzerinde konulan kalınlık ayar kşebentleri beton dökümü başlayıp 1. kademe priz aldıktan sonra sklerek alınır. Alt köşebentler betonun içinde kaldığı için alınamaz. Kayar kalıp bir miktar yükseltildikten sonra alt iskeleler kurulur (şekil 2.7). Bu iskeleler üzerinde kalıp altından çıkan beton yüzeyine sıva yapılır ve varsa hatalar düzeltilir. Ayrıca ilerde de bahsedeeğimiz gibi ardgermeli silolarda şaft üstünde bıraktığımız ankraj kutuları bu iskele üzerinden sklr. Kayar kalıp şaft kalınlığına bağlı olarak günde ortalama 3 metre yükselmektedir.

2.3 Ardgerme Sistemi ve Avantajları

Ardgermeli beton, betonun çekmeye karşı zayıflığının üstesinden gelmek için kullanılan bir uygulama yöntemidir. şantiyede beton dökülmeden önce kesite istenilen geometride yerleştirilen kılıfların içerisinden geçirilen yüksek dayanımlı halatlar, beton dökülüp mukavemetini kazandıktan sonra gerilerek ardgerme (sonradan germe) uygulaması gerçekleştirilir. Bu sayede sabit bir basınç kuvveti uygulanan betonda çekme gerilmeleri sınırlandırılarak dış yüklere karşı önceden nlem alınmış olur. Ardgerme sisteminin avantajlarını şu şekilde sıralanabilir:

a-) Ardgermeli beton ile klasik betonarmenin 6-8 metrelik açıklık sınırları kolaylıkla aşılmaktadır. Öyle ki, bu açıklıklar için gereken kiriş derinliği ile ardgermeli betonda 15 - 20 metre ve hatta daha büyük açıklıklar geçilebilir.

b-) Kirişsiz döşemelerde ardgerme kullanarak 40-50 cm döşeme kalınlıkları ile 15-20 metrelik açıklıklar geçilebilir.

c-) Normal betonarmeye göre azalan kiriş ve döşeme derinlikleri sayesinde kat yüksekliklerinden tasarruf sağlanır. Bu sayede özellikle yüksek binalarda sınırlı bina yükseklikleri içine daha fazla kat sığdırılır.

d-) Döşemelerin incelmesiyle azalan kat yükleri binaya etkileyen deprem kuvvetlerini azaltacağından, kolon-temel elemanlarının kesitleri de küçülecektir. Bu durum mimaride rahatlık sağlayacağı gibi bina genel maliyetini de düşürecektir.

e-) Sehim ardgermeli yapıların tasarımında kontrol edilebilir bir parametredir. 5m mertebesindeki büyük konsol döşemeleri sehim problemi olmaksızın 30-40 cm kalınlıkta yapmak mümkündür.

f-) Yapı genelinde beton ve yumuşak donatı miktarının azalması, kalıp sisteminin basitleşmesi ardgerme sisteminin getirdiği ekonomik avantajdır.

h-) Ardgerme teknolojisi özellikle geniş açıklıklı ve çok katlı bina tipi yapılarda ve inşaat süresinin önem taşıdığı projelerde kısa sürelerde kalıpların alınmasına olanak vermekte dolayısıyla toplam inşaat süresinin azalmasına imkan sağlamaktadır.

g-) Havuz, su deposu, silo gibi geçirimsizliğin önem taşıdığı yapılarda ardgerme sayesinde çatlaksız olarak kabul edilebilecek tasarımlar yapılabilmektedir. Özellikle çimento gibi neme duyarlı malzemelerin depolandığı ve nemli bölgelerde inşa edilen yapılarda ardgerme geçirimsizliği sağlamakta en uygun çözüm olmaktadır.

3. SİLO HESABI

3.1 Silo Yükleri

Siloların ölü yükler, hareketli yükler, silo içinde oluşan sıcaklık farkında dolayı oluşacak yükler ve silonun zamanla oturması sonucu oluşabilecek yüklere karşı koyabilmesi gerekmektedir. Ölü yükler silonun kendi ağırlığı ve silo üzerine yerleştirilen ekipmanların ağırlığından oluşmaktadır. Hareketli yükler ise silo içinde depolanan malzemenin oluşturduğu yükleri, boşaltma durumunda oluşabilecek eksantrik boşaltma yüklerini, döşemeler üzerindeki hareketli yükleri, kar yükünü, deprem ve rüzgar yüklerini içermektedir.

3.1.1 Siloda stoklanacak malzemenin özellikleri

Stok yapılacak malzemenin özellikleri yönetmeliklere göre küçük farklılıklar gösterebilir. Bu sebepten dolayı hesaplarda, kullanılan yönetmeliğin önerdiği malzeme özelliklerinin kullanılması gerekmektedir. Stoklanacak malzeme yönetmeliklerde bahsedilen malzemelerin dışında kalırsa, bu durumda malzeme özellikleri hesaplar yapılmadan önce mutlaka tarif edilmelidir.

3.1.2 Malzeme yüklerinin hesabı

Silo cidarına etkiyen yükler üç farklı yönetmelik için incelenmiş ve günümüzde en yaygın olarak kullanılan Janssen yöntemi silo hesaplamalarında kullanılmıştır. Silo bunkerleri ACI 313-97 de belirtilen tipik bir bunker tercih edilmediği için ayrıca özel bunkerler için araştırma yapılmış ve elde edilen bilgiler hesap yöntemleri özel bunkerler kısmına eklenmiştir.

$$P_{\max} = \frac{\gamma^* D}{4\mu'} \quad (3.4)$$

$$C = \frac{D}{4\mu' k} - \frac{hs}{3} \quad (3.5)$$

$$k = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho} \quad (3.6)$$

R = Alan/Çevre

3.1.2.2 Janssen yöntemi

Y derinliğindeki birim düşey statik basınç;

$$q = \frac{\gamma R}{\mu' k} [1 - e^{-\mu' k Y / R}] \quad (3.7)$$

Y derinliğindeki birim yatay statik basınç;

$$P = q k \quad (3.8)$$

Birim şaft genişliği için düşey sürtünme kuvveti;

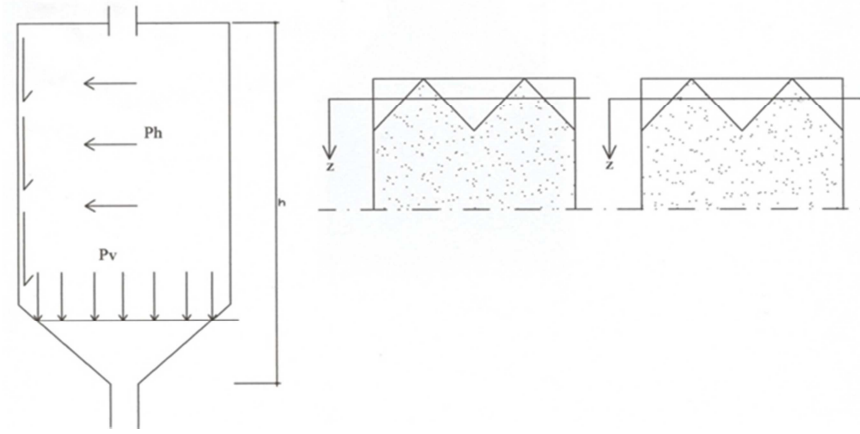
$$V = (\gamma Y - q) R$$

$$k = 1 - \sin \phi \quad (3.9)$$

Burada ϕ malzemenin içsel sürtünme açısını ifade etmektedir.

Y derinliğindeki birim düşey statik basınç hesaplanırken minimum μ' ve minimum k değerleri, Y derinliğindeki birim yatay statik basınç için minimum μ' ve maksimum k değerleri, birim şaft genişliği için düşey sürtünme kuvveti için maksimum μ' ve maksimum k değeri kullanılmaktadır.

3.1.2.3 DIN 1055 yöntemi



Şekil 3.2 : Silo iç kuvvetleri

Silo dolumu sırasında Z derinliğindeki birim düşey statik basınç;

$$P_{vf}(z) = \frac{\gamma^* A}{\lambda^* \mu^* u} \Phi(z) \quad (3.10)$$

Z derinliğindeki birim yatay statik basınç;

$$P_{hf}(z) = \frac{\gamma^* A}{\mu^* u} \Phi(z) \quad (3.11)$$

Birim şaft genişliği için düşey sürtünme kuvveti;

$$P_{wf}(z) = \frac{\gamma^* A}{u} \Phi(z) \quad (3.12)$$

$$\Phi(z) = (1 - e^{-z/z_0}) \quad (3.13)$$

$$z_0 = \frac{A}{\lambda^* \mu^* u} \quad (3.14)$$

Silo boşaltma sırasında z derinliğindeki birim düşey statik basınç;

$$P_{ve}(z) = P_{vf}(z) \quad (3.15)$$

Silo boşaltma sırasında z derinliğindeki birim yatay statik basınç;

$$P_{he}(z)=1.2 P_{hf}(z) \quad (3.16)$$

Silo boşaltma sırasında z derinliğindeki birim şaft genişliği için düşey sürtünme kuvveti:

$$P_{we}(z)=1.1 P_{wf}(z) \quad (3.17)$$

Çimento için $\lambda =0,65$ olarak alınabilir.

Beton için $\mu =0,45$ olarak alınabilir.

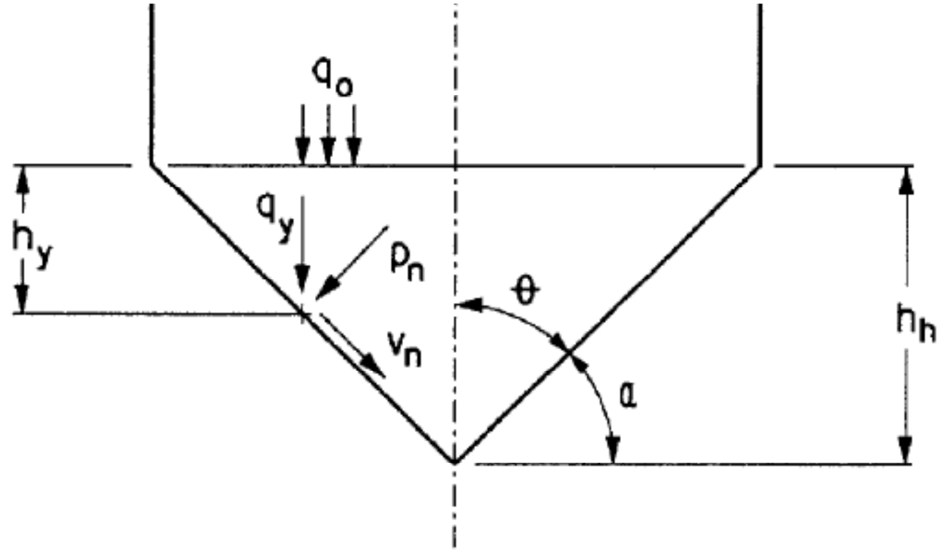
A =alan

u = çevre

3.2 Bunkerlerin Hesabı

Bunker üzerine gelen yüklerin hesap yöntemi aşağıda belirtildiği gibidir. (ACI313-97 ve Design and Construction of Silos and Bunkers by S.Safarian and C.Harris)

Bunkerler üzerine etki eden yükler:



Şekil 3.3 : Bunker iç kuvvetleri

Bunkerin h_y kadar altında malzeme yükünden dolayı oluşan basıncın hesabı

$$q_y = q_o + \gamma^* h_y \quad (3.18)$$

Bu formülde q_0 Janssen's yöntemi ile hesaplanan bunker üzerindeki derinlikteki düşey basınçtır.

Bunkerin h_y kadar altında malzeme yükünden dolayı oluşan basınç kuvveti 3.19 ve 3.20 formüllerinden büyük değeri vereni ile elde edilmektedir.

$$P_n = \frac{q_y * \tan \theta}{\tan \theta * \tan \phi'} \quad (3.19)$$

$$P_n = q_y (\sin^2 \theta + k * \cos^2 \theta) \quad (3.20)$$

Birim alan için sürtünme kuvveti:

eğer P_n 3.19 formülü ile bulunmuşsa V_n alttaki formülle bulunur

$$v_n = p_n * \tan \phi' \quad (3.21)$$

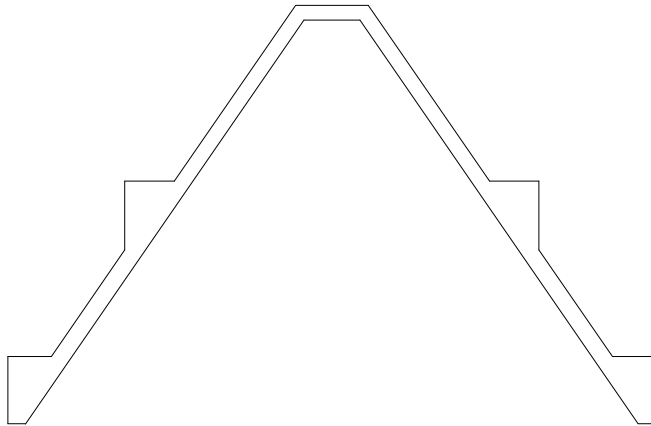
Eğer P_n 3.20 formülü ile bulunmuşsa V_n için alttaki formül kullanılır

$$v_n = q_y (1 - k) * \sin \theta * \cos \theta \quad (3.22)$$

Tasarım yükleri, bu yüklerin çelik bunkerler için 1.5 ile , betonarme bunkerler için ise 1.35 ile çarpılmasıyla bulunur.

3.2.1 Özel bunkerlerin hesabı

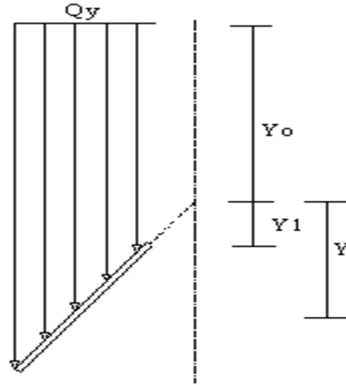
Bunkerin tamamı göz önüne alındığında Şekil 3.4'te görülen halka kirişe gelen yüklerin hesabı ile bunkerin ortasında bulunan kısma uygulanan kuvvetlerin hesabı ayrı ayrı gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Bunker kesiti

3.2.1.1 Silo bunkerinin tamamı için yapılan hesap yöntemi

a-)Trapezoidal yük etkisi



Şekil 3.5 : Bunkere etki eden düşey yük

$$Q_y = \gamma(Y_0 + Y) \quad (3.23)$$

γ = Malzeme birim hacim ağırlığı

F_M =Meridyenel kuvvet

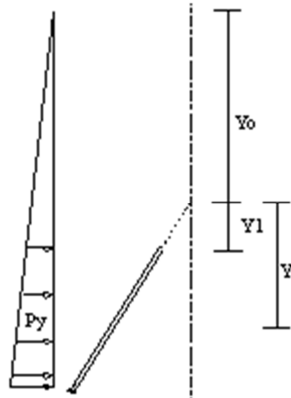
F_T =Teğetsel kuvvet

α = Koni yüzeyinin yatayla yaptığı açı

$$F_M = \frac{-\gamma \cos \alpha}{6 \sin^2 \alpha} \left[3Y_0 * Y + 2Y^2 + Y_1(3Y_0 + 2Y) \frac{1}{Y} \right] \quad (3.24)$$

$$F_T = \gamma * \cot^2 \alpha (Y_0 * Y + Y^2) \quad (3.25)$$

b-)Yanal yük etkisi



Şekil 3.6 : Bunkere etki eden yatay yük

$$P_y = \gamma \tan^2 \left(45 - \frac{\rho}{2} \right) (Y_o + Y) \quad (3.26)$$

ρ =Malzemenin içsel sürtünme açısı

$$F_T = -\gamma \tan^2 \left(45 - \frac{\rho}{2} \right) (Y^2 + Y_o * Y) \cos \alpha \quad (3.27)$$

c-)Koninin kendi ağırlığı

g = Koninin birim yüzeyinin ağırlığı

$$F_M = -\frac{g * (Y)}{2 \sin^2 \alpha} * \left(1 - \frac{(Y_1)^2}{(Y)^2} \right) \quad (3.28)$$

$$F_T = -g * (Y) * \cot^2 \alpha \quad (3.29)$$

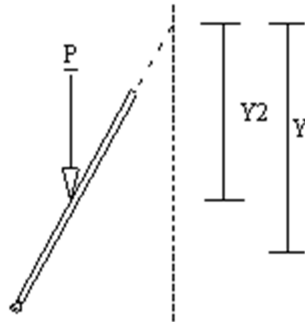
d-)Çift cidarlı bir silo için iç şaftın ağırlığı sebebiyle bunkere gelecek yükün hesabı

P = Koniye etkiyen çizgisel yük

Y_2 = Çizgisel yükün etki ettiği kotun huni tepe noktasına olan düşey uzaklığı

$$F_M = -P \frac{(Y_2)}{(Y)} * \frac{1}{\sin \alpha} \quad (3.30)$$

$$F_T = P \frac{(Y_2)}{(Y)} * \frac{1}{\sin \alpha} \quad (3.31)$$



Şekil 3.7 : Bunkere etki eden tekil yük

3.2.1.2 Halka giriş hesabı

$$F_v = F_m * \sin \alpha$$

$$F_h = F_m \cdot \cos \alpha$$

M_m = Burulma momenti

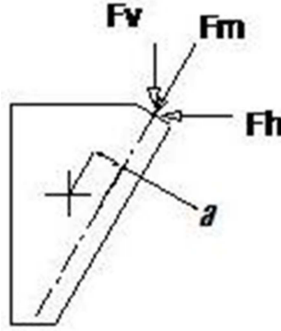
$$M_m = F_m \cdot a$$

N = Çembersel kuvvet

R = silo çember kirişinin yarıçapı

$$N = R \cdot F_h$$

α = Bunkerin yatayla yaptığı açı



Şekil 3.8 : Bunker kirişine etki eden yükler

3.3 Rüzgâr Yükleri

Rüzgâr yükleri UBC97'ye göre hesaplanmaktadır.

$$P = C_e \cdot C_q \cdot q_s \cdot I_w \quad (3.39)$$

P = tasarım rüzgâr yükü

Çizelge 3.1 : C_q değerleri

C _q Değerleri Tablosu			
YÜKSEKLİK mm	BÖLGE D	BÖLGE C	BÖLGE B
0-4572	1.39	1.06	0.62
6096	1.45	1.13	0.67
7620	1.50	1.19	0.72
9144	1.54	1.23	0.76
12192	1.62	1.31	0.84
18288	1.73	1.43	0.95
24384	1.81	1.53	1.04
30480	1.88	1.61	1.13
36576	1.93	1.67	1.20
48768	2.02	1.79	1.31
60960	2.10	1.87	1.42
91440	2.23	2.05	1.63
121920	2.34	2.19	1.80

C_q = Çizelge 3.1 den seçilecektir.

BÖLGE B: İnşaat alanının 1.66 km çevresinin en az %20 sinin binalar ya da ormanla kaplı olması durumunda kullanılmaktadır.

BÖLGE C: İnşaat alanının 1 km çevresi düzlük olması durumunda kullanılmaktadır.

BÖLGE D: Rüzgâr hızı saatte 130 Km’yi bulan inşaat alanlarında kullanılmaktadır.

q_s = 10m yükseklikteki rüzgâr basıncı

I_w = Yapı önem faktörü ek A Şekil A.1’den seçilecektir.

Rüzgârın silo şaftında oluşturduğu iç ve dış momentler üstteki hesap yönteminden farklı olarak ACI307-98’e göre hesaplanması gerekmektedir.

$$M_i(z) = 0,31pr(z)*(r(z))^2 \quad (3.40)$$

$$M_o(z) = 0.27pr(z)*(r(z))^2 \quad (3.41)$$

$r(z)$ = z yüksekliğindeki ortalama yarıçap

$$pr(z) = 0.67 (V(z))^2 G_r(z) \quad (3.43)$$

$$G_r(z) = 4.0 - 0.8 \log_{10}(3.2808*z) \quad (3.44)$$

$z < 1.0$ için;

$$G_r(z) = 4$$

$V(z)$ = z yüksekliğindeki rüzgar hızını ifade etmektedir.

3.4 Eksantrik Boşaltma Yüğü

Silo içinde depolanan çimentonun boşaltılması sırasında, boşaltma deliğinin merkezden uzaklığına bağlı olarak silo şaftına uyguladığı eksantrik boşaltma yüğü dediğimiz ekstra bir yük göz önüne alınmalıdır. Bu yükün hesaplanmasından ACI313-97 yeteri kadar bahsedilmemiştir. Eksantrik boşaltma yüğü Eurocode1-Actions on structures-Part4:Silos and Tank şartnamesinde verilen yöntemle hesaplanabilmektedir.

Eksantrik boşaltma yüğü “ p_{pe} ” aşağıdaki formül ile bulunabilmektedir. Birimi kN/m^2 ’dir.

$$p_{pe} = C_{pe} * p \quad (3.45)$$

Burada “p” ile belirtilen çimentonun silo şaftına yaptığı yatay basınçtır. Ancak bu yatay basınç 1.5 ile çarpılmamış değerdir.

Eğer $h/d > 1,2$ ise;

$$C_{pe} = 0,42C_{op} \{1 + 2E^2\} (1 - \exp(-1,5[(h/d) - 1])) \quad (3.46)$$

Eğer $h/d \leq 1,2$ ise aşağıdaki formüllerden büyük değeri vereni

$$C_{pe} = 0,272C_{op} \{h/d - 1 + E\} \quad (3.47)$$

$$C_{pe} = 0 \quad (3.48)$$

Burada;

$$E = 2e/d_c \quad (3.49)$$

$$e = \max(e_f, e_0)$$

e_f = Doldurma deliğinin merkeze maksimum uzaklığı

e_0 = Boşaltma deliğinin merkeze maksimum uzaklığı

C_{op} = Bu değer ek a şekil A.2’den alınacaktır.

3.5 Donatı Hesabında Kullanılacak Yöntemler

Silo donatıları seçilirken ACI 313-97’nin belirttiği bazı kısıtlamalar vardır. Yerinde dökme silo cidarı minimum kalınlığı 150 mm, prefabrike silo cidarının minimum kalınlığı ise 50 mm dir.

Belirlenen silo cidarın içine yerleştirilecek donatı için aksi belirtilmediği durumlarda yatay donatılar, basınç bölgesinin en altına koyulan donatı çapı ve aralığında basınç bölgesinden en az dört cidar kalınlığı kadar aşağıya devam ettirilmelidir. Örneğin; cidarı 30 cm olan bir silonun malzemeden dolayı oluşan basınç bölgesi +12.00 m kotunda bitiyor olsun. Bu durumda +12.00 kotuna yerleştirilen yatay donatılar 4x30cm=120 cm kadar aşağıya yani +10.80 kotuna kadar aynı aralıklarda devam ettirilmelidir.

Silo cidarına koyulacak yatay donatı alanı, birim yükseklikteki beton alanının 0,0025 inden az olamaz. Aynı şekilde düşey donatıların beton alanına oranı 0,0020 den az olmamalıdır.

Yatay donatılar silo cidarının dışarıya bakan yüzünde maksimum 450 mm arayla, iç tarafa bakan yüzünde ise maksimum 60 cm arayla yerleştirilmelidirler.

3.5.1 Taşıma gücü hesabına göre yatay donatı hesabı

Şaft eksenel çekme kuvveti :

$$F_u = 1,7 (P_{des}) (D/2) \quad (3.50)$$

Şeklinde ifade edilmektedir.

Gerekli Donatı :

θ : azaltma faktörü = 0,9 olmak üzere,

$$A_s = F_u / \theta f_y \quad (3.51)$$

Şeklinde yazılabilmektedir.

3.5.2 Malzeme sıcaklığından dolayı

Sıcaklık farkından dolayı şaftta oluşan moment şu şekilde ifade edilmektedir:

$$M_t = \frac{1,4 * E_c * h^2 * \alpha_t * \Delta T}{12(1-\nu)} \quad (3.52)$$

$$E_c = 7000 * \sqrt{f_c} \quad (3.53)$$

f_c : beton basınç mukavemeti

$$\alpha_t = 1 * 10^{-5}$$

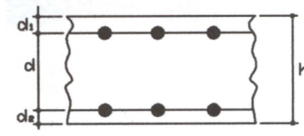
$$\Delta T = \frac{(T_{did} - T_{iç}) / h}{0,375 + h} \quad (3.54)$$

ν : Poisson oranı =0,2

Gerekli sıcaklık farkı donatısı:

$$A_{st} = \frac{Mt}{f_y(d - d'')} \quad (3.55)$$

Formülüyle hesaplanmaktadır.



Şekil 3.9 : Donatı düzeni

3.5.3 Toplam yatay donatı

Toplam $A_o = A_s + A_{st}$

İç yüzde $A_o = A_s / 2$

Dış yüzde $A_o = A_s / 2 + A_{st}$

4. ARDGERME SİSTEMİ VE UYGULAMA YÖNTEMİ

4.1 Ardgerme Sisteminin Uygulama Aşamaları

4.1.1 Kablo teşkili ve yerleştirilmesi

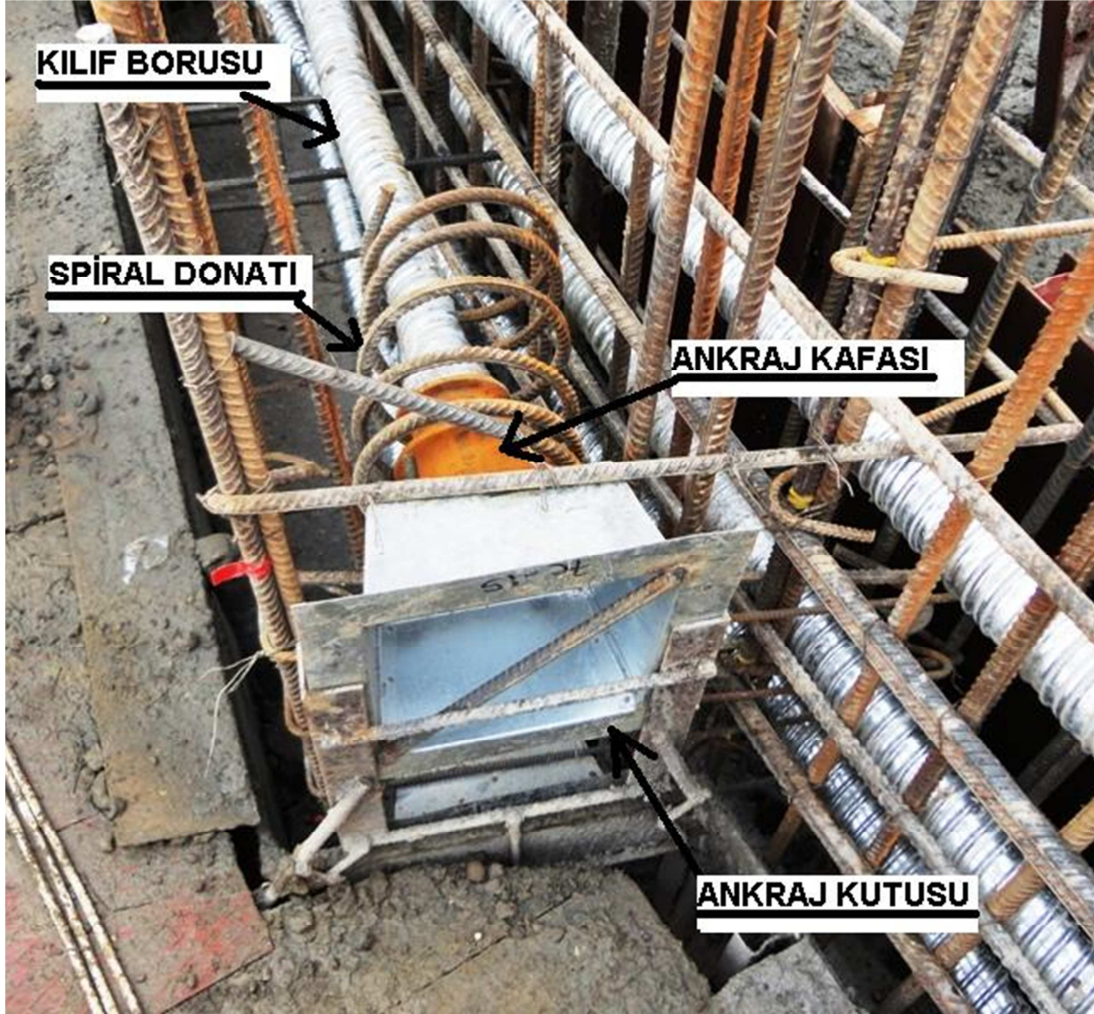
Bu iki aşamalı bir süreçtir. Birincisi boş kılıf borularının döşenmesi ve bunların donatıyla tespit edilmesi, ikincisi ise yapının betonlanmasından önce veya sonra halatların teker teker kılıf boruları içine sürülmesi yoluyla kablonun teşkil edilmesidir (Şekil4.1).

Boş kılıfların döşenmesi beton dökümünden önce yapılmalıdır. Bu kılıflar şaftın içinde boşluk oluştururlar ve beton 28 günlük mukavemetini sağladıktan sonra içerisine ardgerme halatları sürülür ve germe işlemi yapılabilir. Kılıfları şaft içine bırakmak önemlidir, zira bu kılıflar hesaplarda belirlenen aralıklara uygun olarak yerleştirilmelidir. Bu işlem oldukça hassas olmalıdır çünkü ilerde hesaplarda da göreceğimiz gibi halatlar arasındaki küçük değişiklikler büyük mukavemet farklılıklarına yol açmaktadırlar. Şaft donatıları arasına koyulmuş ardgerme kılıfları şekil 4.1 de görülmektedir.



Şekil 4.1 : Ardgerme kabloları

Ardgerme kılıfları şaft içine bırakıldığı sırada, her bir kılıfın iki ucuna ankraj kafaları koyulması ve bu kafaların beton prizini aldıktan sonra germe işleminin yapılabilmesi için gerekli olan yuvaya sahip olmaları gerekmektedir. Bu işlemi yapabilmek için ardgerme kutuları değimiz kalıplar ankraj kafalarına tutturularak kalıp içine bırakılır. Ayrıca germe işleminde oluşabilecek ezilmeleri karşılamak için ankraj kafalarının hemen arkasına spiral donatılar bırakılır (Şekil4.2).



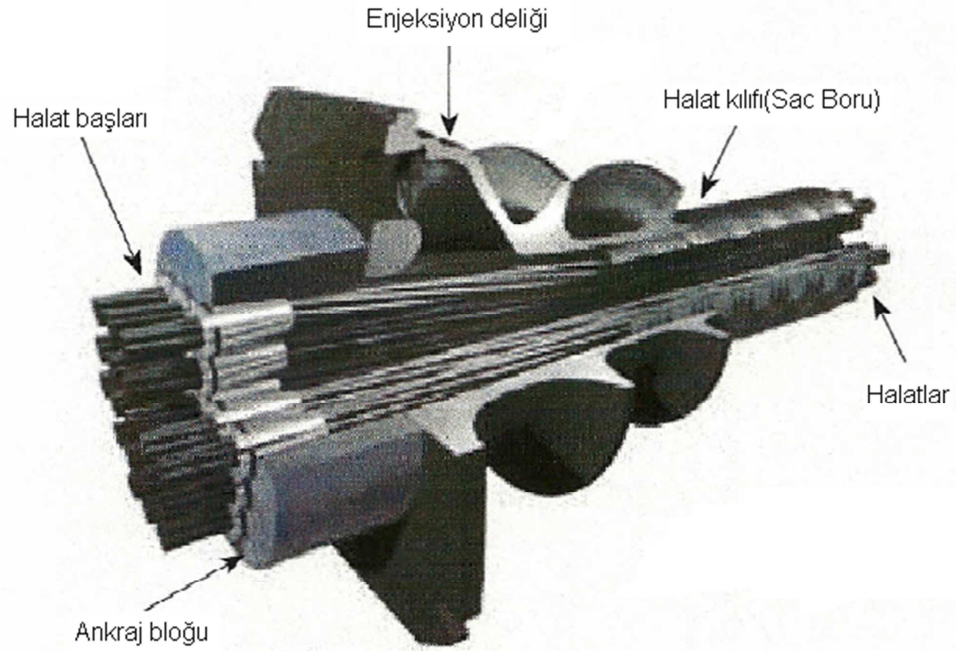
Şekil 4.2 : Ardgerme ankraj kutusu

Sürme tekniği, bir çözme aygıtı içine konulmuş halat makarasından halatı çözme ve özel bir alet yardımıyla saniyede 2 ila 6 m hızla doğrudan kılıf borusu içerisine geçirmekten ibarettir. Daha sonra halat kesilir ve kablodaki halat sayısı tamamlanıncaya kadar işlem tekrarlanmaktadır. Halatlar gerekli olan mukavemeti sağlayacak güçte olmalıdırlar ve ona göre seçilmektedir.

Çizelge 4.1 : Ardgerme kablo özellikleri

KALITE	HALAT ÇAPI	HALAT ALANI	HALAT AĞIRLIĞI	KOPMA YÜKÜ	ELASTİK LİMİT
Mpa	mm	mm ²	kg/m	kN	kN
1770	12,50	93,00	0,73	165,00	145,00
	12,90	100,00	0,78	177,00	156,00
	15,30	140,00	1,09	248,00	218,00
	15,70	150,00	1,18	265,00	234,00
1860	12,50	93,00	0,73	173,00	152,00
	12,90	100,00	0,78	186,00	164,00
	15,30	140,00	1,09	260,00	229,00
	15,70	150,00	1,18	279,00	246,00

Halatları çevreleyen kılıf borularının içerisine enjeksiyon yapılabilmesi için ankraj kafalarının üzerinde delik bulunur. Halatların çekme işlemi bittikten sonra bu delikten borunun içine enjeksiyon yapılır ve halatların gergin halde kalması sağlanır. Ankraj başlığı Şekil 4.3'te görülmektedir.

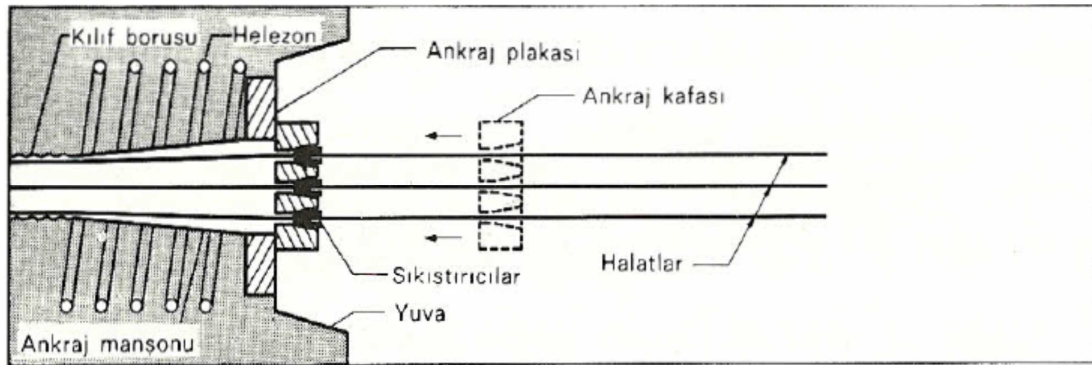


Şekil 4.3 : Ankraj başlığı

4.1.2 Germe işlemi

4.1.2.1 Ön hazırlık

Germe yuvasına bırakılan kutu kalıplar bu aşamada ya da daha önceden alınmış olmalıdır. Ankraj kafası ve sıkıştırıcılar yerleştirilir (Şekil4.4-4.5). Ankrajın çimento şerbeti ile kirlenmesini engellemek için bu işlemin mutlaka beton dökümünden sonra yapılması gerekmektedir. Kablonun hassas uzunlukta kesilmesi gerekmez, fakat yeterli uzunlukta olduğuna dikkat edilmelidir. Uzun olabilir ama kısa olmaması gerekir.



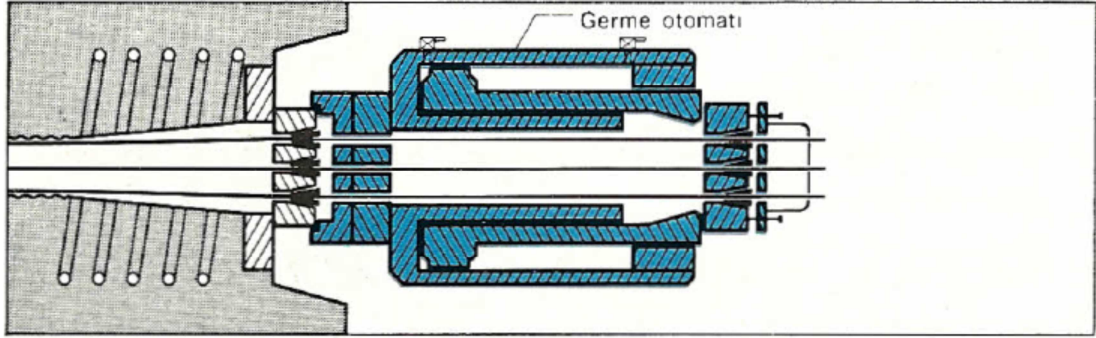
Şekil 4.4 : Germe işlemi



Şekil 4.5 : Ardgerme kutusu

4.1.2.2 Germe makinasının takılması

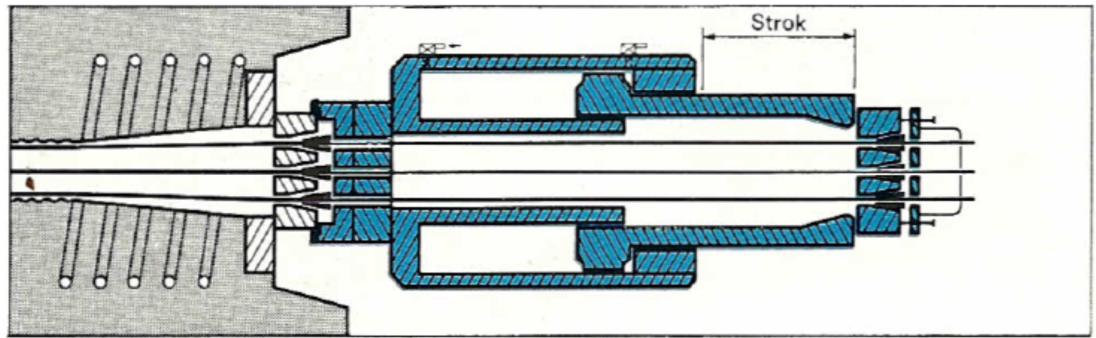
Bir gövde ve bir çekme kafasından oluşan germe otomati kabloların ucuna takılır. Takma işlemi küçük kablolu ünitelerde elle, büyük ünitelerde ise halatlarla donatılmış yardımcı bir iskeleden yararlanılarak yapılır (Şekil4.6).



Şekil 4.6 : Germe makinasının takılması

4.1.2.3 Germe

Çift etkili merkezi delikli pres yüksek basınçlı bir hidrolik pompa tarafından beslenir. Halatlar germe işleminin başlangıcında çekme başlığına tespit edilir (Şekil4.7). Manometre basıncı ve ölçülen kablo uzaması not edilir ve hesaplanan uzamalarla uyuşup uyuşmadığı kontrol edilir.



Şekil 4.7 : Germe işlemi

4.1.2.4 Kamalama

Makinanın pistonu sonuna, dışarı çıkıncaya kadar ya da istenen kuvvete ulaşılır ulaşmaz pres basıncı boşaltılır ve halatlar düzgün bir biçimde ankraj kafasına kamalanırlar(Şekil4.8). Gerekli kuvvete ulaşınca kadar germe işlemi gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

b-) İki halat arasındaki mesafe hiçbir zaman silo et kalınlığının üç katından fazla olamaz. Örneğin 40 cm kalınlığında silo şaftına sahip bir siloda, yatay olarak uygulanan ardgerme kablolarının arasındaki mesafe 120 cm'yi aşamaz.

c-) Silo şaftındaki ardgerme halatlarının arasındaki temiz açıklık, silo içine bırakılan halat grubunun kalınlığının üçte birinden ya da 15 cm den az olamaz. Örneğin; 7C15 olan bir kablo grubunun kalınlığı 6.5 cm olarak verilmiştir, bu demek oluyor ki iki 7C15 kablounun temiz açıklığı $6.5 \times 3 = 19.5$ cm den küçük olamaz.

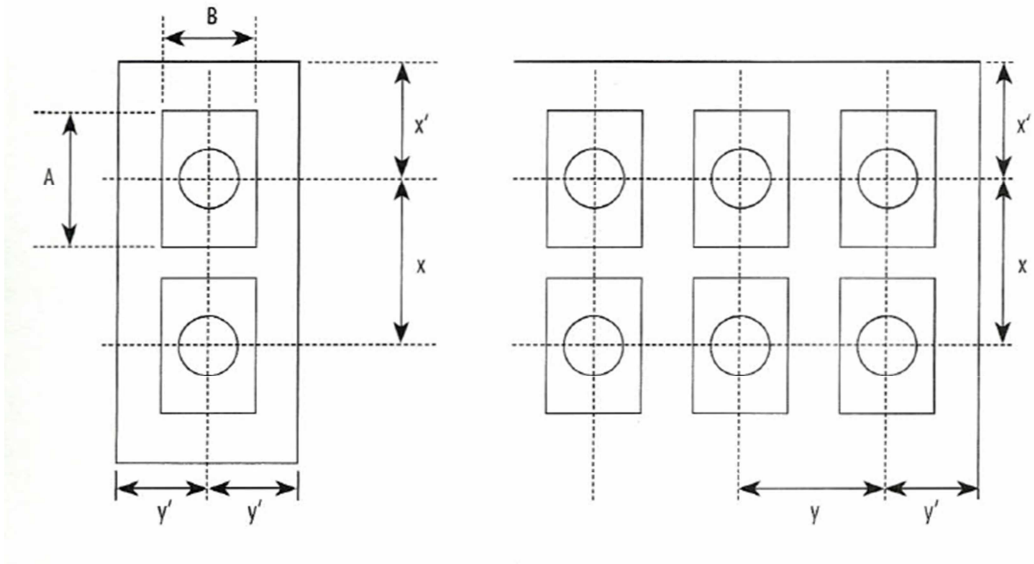
d-) Şekil 4.10'da ardgerme başlıkları arasındaki mesafeler ile ilgili bazı kısıtlamalardan bahsedilmektedir. Bu şekilde A ve B uzunlukları ardgerme kutularının uzunluklarını, x ve y uzunlukları sırasıyla x ve y doğrultularındaki iki ardgerme başlığının arasındaki mesafeyi, x' ve y' değerleri sırasıyla x ve y doğrultusunda ardgerme başlığının köşelere olan uzaklığını temsil etmektedir. Kısıtlamalar ise şöyle belirtilmektedir:

$$x \geq A + 30 \text{ mm}$$

$$y \geq B + 30 \text{ mm}$$

$$x' \geq 0,5x + \text{paspayı}$$

$$y' \geq 0,5y + \text{paspayı}$$

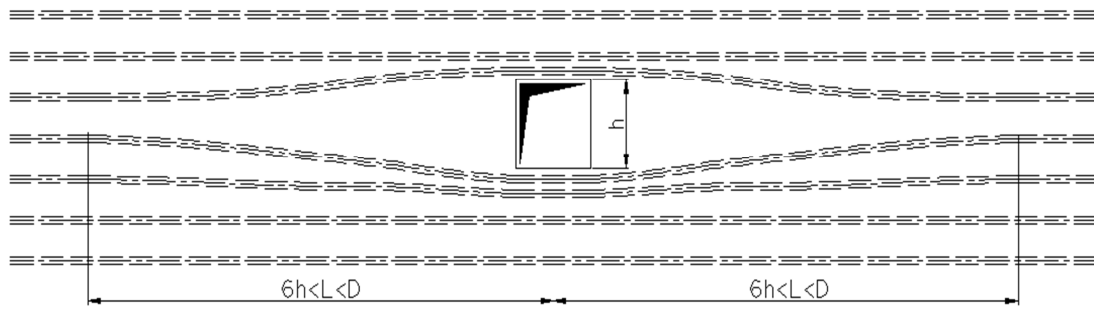


Şekil 4.10 : Ardgerme kutularının yerleşim şartları

e-) Ardgerme kabloları silo cidarı içine dış yüzeye yakın olarak yerleştirilmelidir. Böylece kabloların şaftta uygulayacağı kuvveti karşılayabilecek kalınlıkta bir beton tabakasının kabloları örtmesi sağlanmış olur.

f-) Ardgerme uygulanan silo şaftında beton gerilmelerinin aşılması çok önemlidir. İlk germe sırasında ardgerme kablolarının betonda oluşturduğu basınç gerilmeleri, betonun basınç dayanımının %60'ından fazla olamaz. Kayıplar hesaplanıp kablo gerilmelerinden çıkarıldıktan sonra beton üzerindeki servis gerilmeleri bulunur. Bu gerilmeler kullanılan betonun basınç dayanımının %45'inden fazla olamaz.

Ardgerme kablolarının kıvrılmaya başladığı yerden boşluk merkezine uzaklık, silonun çapından büyük ve boşluk yüksekliğinin 6 katından küçük olamaz (Şekil 4.11). Örneğin 1 metre yüksekliğindeki bir boşluk etrafından geçen bir ardgerme kablosu, boşluğa en az 6 metre önceden kıvrılmaya başlamalıdır.



Şekil 4.11 : Boşluk etrafından geçen ardgerme kabloları

4.3 Ardgerme Kayıplarının Hesaplanması

Kablo ucunda uygulanan öngerme kuvveti aşağıda gösterilen etkilerle öngerme elemanı boyunca gerilme kayıplarına maruz kalmaktadır.

- a-) Kabloda ve ankrajdaki sürtünme kayıpları.
- b-) Kamalama oturması sonucu meydana gelen kayıplar.
- c-) Betonun rötre ve sünmesi
- d-) Betonun elastik kısalması

4.3.1 Sürtünme kayıpları

Bir öngerme elemanı boyunca sürtünme kayıpları Coulomb halat sürtünme yasası yardımıyla hesaplanmaktadır. Kablodaki germe kuvvetine göre, kablodan oluşan sürtünme kaybı şu şekilde ifade edilmektedir:

$$P_{(x)} = P_0 * e^{-(\mu * \alpha + k * x)} \quad (4.1)$$

Burada:

$P_{(x)}$ = Germe noktasından x uzaklığındaki öngerme kuvveti

P_0 = Germe noktasındaki öngerme kuvveti

μ = Sürtünme katsayısı

α = x açıklığı üstündeki tüm sapma açıları toplamı

k = Birim uzunluktaki istenmeyen sapmalar için sürtünme katsayısı

μ ve k sürtünme katsayıları, bir yandan öngerme çeliği ve kullanılan kılıf borusu tipine, öte yandan öngerme elemanının yapım biçimine bağlıdır. Bu katsayıları alışılmış değerleri çizelge 4.2'den alınabilir. Pratikte normal olarak ortalama değerlerin kullanımı yeterlidir, aksi halde gerilme hesabında uç değerlerin etkisini incelemek gerekecektir.

Çizelge 4.2 μ ve k katsayıları

μ Katsayısı	Değişim aralığı	Ortalama değer
Normal metal kılıf borular içindeki kablolar	0,16-0,22	0,19
Eğri olarak döşenen kılıf boruları içine yerleştirilen kablolar	0,13-0,19	0,16
k Katsayısı	Değişim aralığı	Ortalama değer
metre başına	$(0,6-1,0) * 10^{-3}$	$0,8 * 10^{-3}$

Öngerme elemanı boyunca meydana gelen sürtünme kayıplarına ek olarak germe makinası ve ankrajlarda da kayıplar olur. Bu nedenle germe işlemi sırasında manometrenin göstergesindeki kuvvet gereken değerde düzeltilmelidir. Kayıpların büyüklüğü, kablo ünitesine, ankraj tipine ve kullanılan germe makinasının biçimine göre değişir. Değerler periyodik olarak atölye testleriyle kontrol edilmelidir.

4.3.2 Sıkıştırıcı oturması

Halatların ankraj kafasına kamalanmasında sıkıştırıcılar 6mm'lik sabit bir boyda gömülürler. Bu değerler kablo ünitesinden, halat çapından ve öngerme çeliğinin niteliğinden bağımsızdır. Kablo sürtünmesi sonucu kuvvet kaybının doğrusal olduğu kabul edilirse “W” kama oturmasının etkidiği mesafe ve “ ΔP ” ankraj noktasındaki kuvvet kaybı değerleri şu şekilde bulunur:

$$w = \sqrt{\frac{\Delta I_c * E_s * A_s}{\Delta p}} \quad (4.2)$$

$$\Delta P = 2 * \Delta p * w \quad (4.3)$$

$$\Delta p = \frac{P_0 - P_L}{L} \quad (4.4)$$

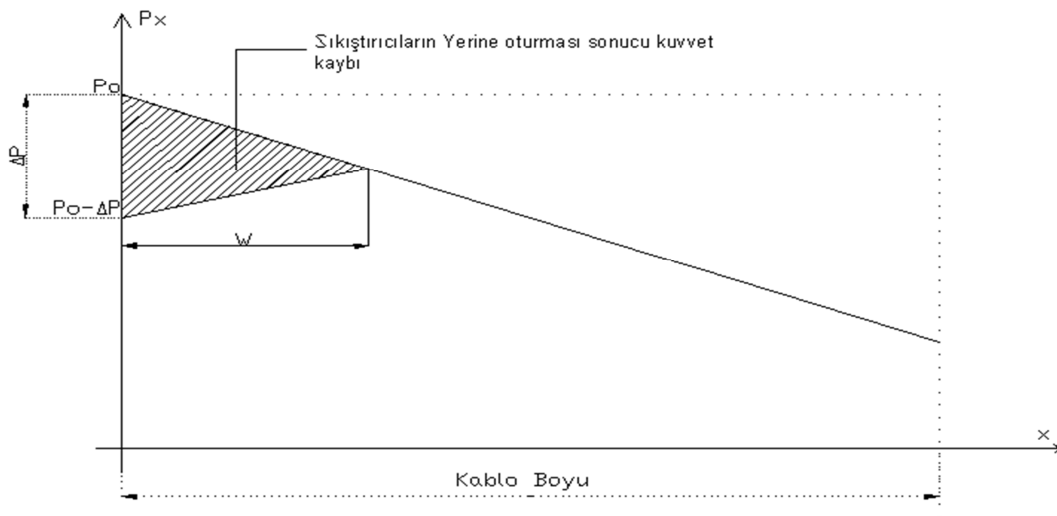
Burada:

ΔI_c = Kamalamaların oturması = 0,006 m.

E_s = Öngerme çeliğinin elastisite modülü(kN/m²)

A_s = Öngerme çeliği enkesit alanı(m²)

Δp = Bir metrede öngerme kuvveti kaybı(kN/m)



Şekil 4.12 : Ardgerme kayıpları

4.3.3 Uzama boyunun hesabı

ΔL uzama boyu aşağıdaki eşitlikle kesin olarak hesaplanabilir.

$\Delta L = \text{Çeliğin uzaması} + \text{Betonun uzaması}$

$$\Delta L = \int_0^L \frac{P_x}{E_s * A_s} dx + \int_0^L \frac{P_x}{E_c * A_c} dx \quad (4.5)$$

İkinci integral çoğu durumda ihmal edilir. Buna göre uzama boyu aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$\Delta L = \frac{P_m * L}{E_s * A_s} \quad (4.6)$$

Buradaki P_m ortalama öngerme kuvvetidir.

$$P_m = \frac{P_0 - P_x}{\mu * \alpha + k * x} \quad (4.7)$$

4.3.4 Betonun rötre ve sünmesi sonucu oluşan kayıplar

Bu hesaplar CEB/FIB şartnamesine göre oluşturulmuştur. Bu hesaplar sonucunda rötre ve sünme sonucu oluşan kayıplar yeterli bir kesinlikte elde edilebilmiştir.

$$\Delta \sigma_{pc+s} = \frac{\varepsilon_{s\infty} x E_s + \alpha x \varphi_{\infty} x (\sigma_c, po + g)}{1 - \alpha \frac{\sigma_{cpo}}{\sigma_{po}} (1 + \frac{\varphi_{\infty}}{2})}; \alpha = \frac{E_s}{E_c} \quad (4.8)$$

$$\Delta P_{c+s} = 100x \frac{\Delta \sigma_{p,c+s}}{\sigma_{po}} \quad (4.9)$$

ΔP_{c+s} = Rötre ve sünme sonucu kayıpların yüzde sonuç değeri.

$\Delta \sigma_{p,c+s}$ = Rötre ve sünme sonucu öngerme çeliğindeki gerilme kaybı.

σ_{po} = Öngerme çeliğindeki basınç gerilmesi.

σ_{cpo} = Yalnız öngerme sonucu öngerme elemanı yüksekliğindeki beton gerilmesi.

$\sigma_c, po + g$ = Öngerme zati ağırlık ve diğer sabit yükler sonucu öngerme elemanı yüksekliğindeki beton gerilmesi.

E_s =Öngerme çeliğinin elastisite modülü.

E_c = Betonun elastisite modülü.

ε_{∞} = Özel son rötre miktarı ek B şekil B.1'ten alınacak.

ϕ_{∞} = Betonun sonuç sünme sayısı ek B şekil B.2'den alınacak.

Sürtünme ve sıkıştırıcı oturması dışında kalan kayıplar için “The American Association of State Highway and Transportation Officials(AASHTO)”nun önerdiği başka bir hesap yöntemi daha vardır ve şu şekilde yazılmaktadır:

$$\Delta f_s = 0,8(SH) + 0.5(ES) + CR_c + CR_{sp} \quad (4.10)$$

Burada:

SH: Betonun büzülmesini ifade etmektedir.

Çizelge 4.3 : SH değerleri

Çevredeki bağıl nem oranı	SH(psi)
%75 - %100	5000
%25 - %75	10000
%25 altı	15000

ES: Elastik kısalmayı ifade etmektedir.

Çizelge 4.4 : ES değerleri

Serbest haldeki beton gerilmesi	ES
(psi)	(psi)
600	4000
800	5500
1000	7000

CR_c : Betonun sünmesi ifade etmektedir.

Çizelge 4.5 : CR_c değerleri

Ölü yükler altında beton basınç gerilmesi	CR_c
(psi)	(psi)
500	8000
800	13000
1200	19000

CR_{sp} : Çeliğin sünmesini ifade etmektedir.

$$CR_{sp} \cong 20,000 - 0,125(0,8SW + 0,5ES + CR_c) \quad (4.11)$$

Formüller AASHTO'dan alındığı için katsayılar ve değerler Amerikan sistemi(U.S Units)'e göre verilmiştir. Bu sebeple formüle yerleştirilecek değerler “psi” cinsinde olmalı ve formülden elde edilecek değer yine “psi” olarak bulunacağı göz önüne alınmalıdır. Buradan elde edilen değer bir kablonun alanıyla çarpılıp, bir kablodaki sürtünme ve sıkıştırıcı oturması dışında oluşan kayıplar bulunabilir. Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise alınan kablo alanının “in²” cinsinde olması gerektiğidir. Elde edilen kayıp kuvvet cinsinden olacaktır ve bu noktadan sonra elde edilen değer SI sisteme dönüştürülebilir.

5. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde Azerbaycan Bakü’de inşaa edilen 66 metre yüksekliğindeki ardgermeli bir silonun hesapları açıklanacaktır. Malzeme +16.422 kotu ile +55.50 kotu arasına dolmaktadır. Silo içine doldurulan çimentonun birim ağırlığı 16kN/m^2 ’dir. Silo içine doldurulabilecek maksimum malzeme hacmi 13840 m^3 ve malzemenin ağırlığı 22080 kN ’dur.

Silo bunkerı ters koni şekilde olacaktır. Bunker üzerinde bulunan boşluklardan, silo içinde muhafaza edilen çimentonun boşaltılması sağlanacaktır. Bunker +12.636 kotundan başlayıp +32.429 kotunda bitmektedir. Bunkerin gövde kalınlığı 50 cm’dir.

Silo gövdesinde malzemeden dolayı oluşacak gerilmeleri karşılamak için ardgerme uygulanacaktır. Ardgerme kabloları Freysinet firmasından temin edilecek ve bu firmanın önerdiği kablo özellikleri kullanılacaktır.

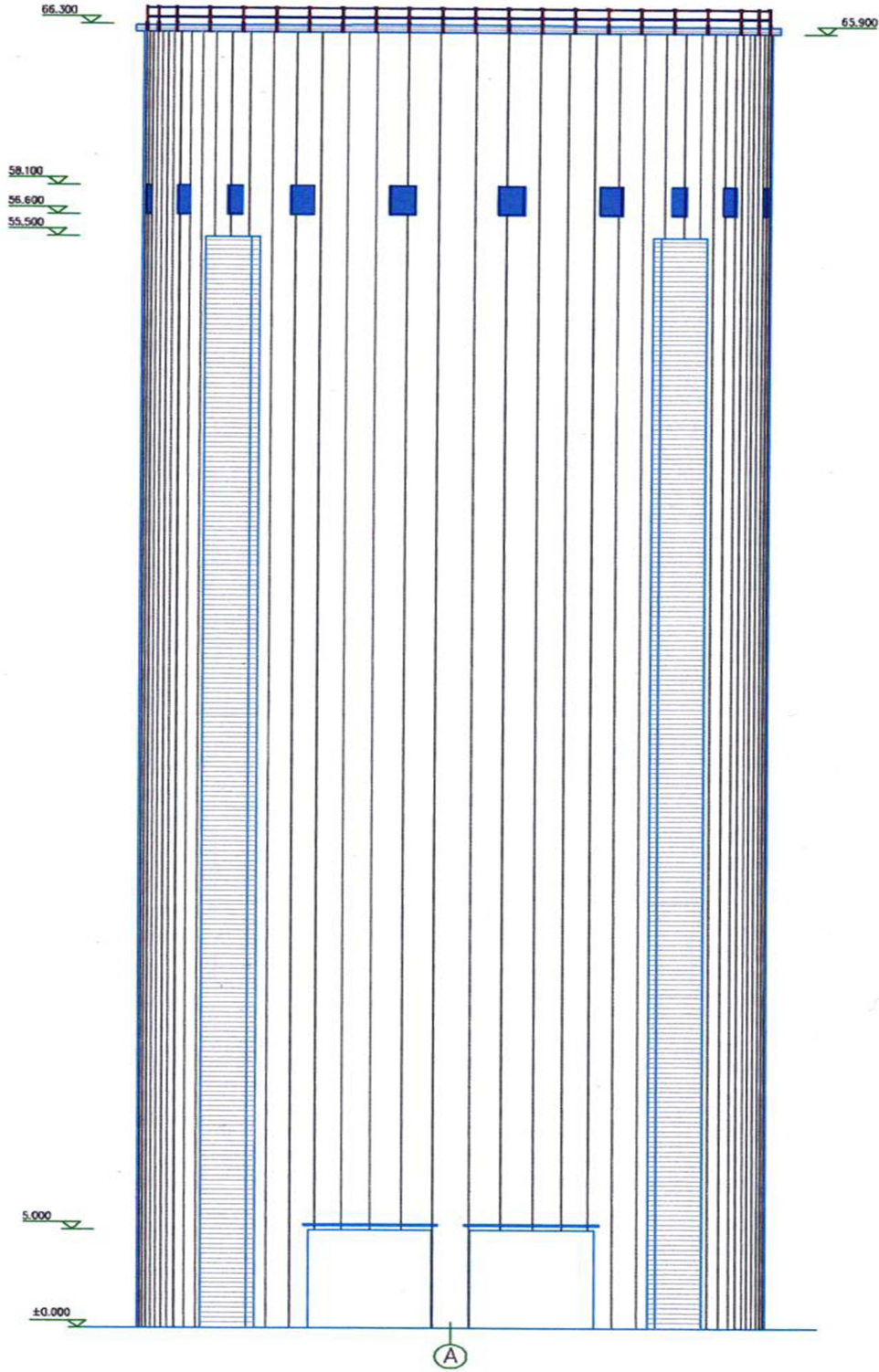
Silo gövdesinde, temelde ve döşemelerde kullanılacak beton sınıfı C30 ve inşaat demiri S420 olarak belirlenmiştir. Çelik kirişlerde kullanılan çelik ise ST37’dir. Silo gövdesi alt kısımda 80 cm, malzemenin dolduğu yerde 40 cm ve silo tavan döşemesinin başladığı yerden sonra 20 cm olarak belirlenmiştir.

Çatıda çelik kirişler üzerine gelen 10 cm kalınlığındaki prefabrik döşeme ve bu döşemenin üzerinde 10 cm yerinde dökme beton kullanılacaktır. Ayrıca merkezde 10 cm kenarlara doğru azalan eğim betonu su tahliyesi için çatı üzerine dökülecektir.

+55.50 kotunda çelik kirişler üzerine 10 cm kalınlığında prefabrik döşeme ve bu döşemenin üzerinde 10 cm yerinde dökme beton kullanılacaktır.

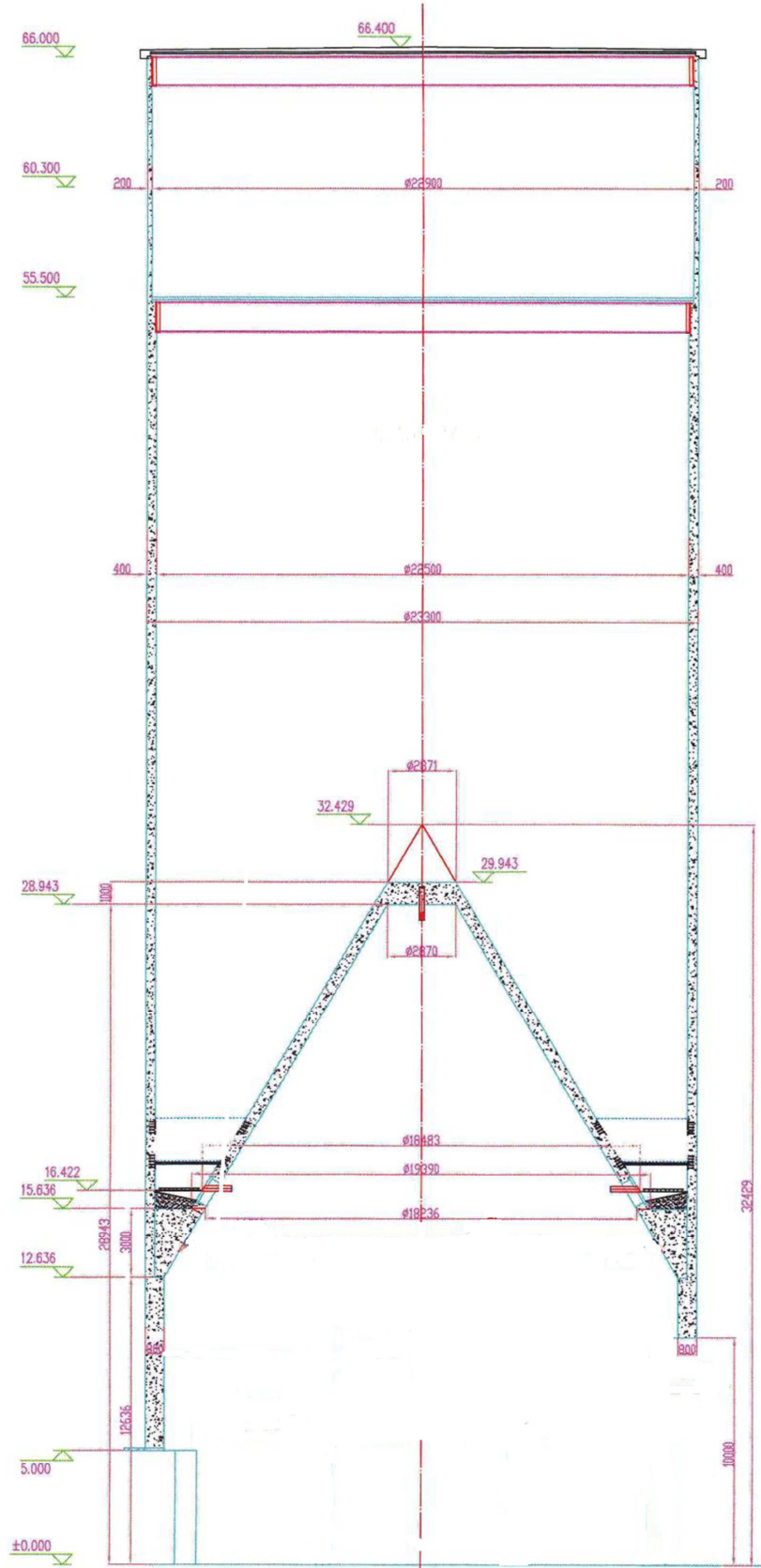
Silo temeli halka şekilde yapılacaktır. Genişliği 5 metre ve yüksekliği 3 metre olacaktır. Temel hesabı hem UBC-97’ye göre hesaplanan deprem yüklerinin silo tabanında oluşturduğu normal kuvvet ve momentler göz önüne alınarak, hem de SAP2000 programında modellenerek yapılmıştır.

Hesapları yapılacak olan silo Azerbaycan Bakü'de bulunan Qızıldaş çimento fabrikasında bulunmaktadır. Qızıldaş çimento fabrikasında bulunan bu çimento silosunun yapımı Mart 2013 itibariyle tamamlanmıştır. Çimento silosunun mimarisi Şekil 4.1 de görülmektedir.



Şekil 5.1 : Hesapları yapılacak silo

5.1 Silo Boyutları



Şekil 5.2 : Silo detayları

5.2 Ölü Yükler

5.2.1 Çatı ağırlığı

Çatıda bulunan çelik kirişler hesapları yapılmış benzer bir çimento silosundan alınmıştır. Bu kirişlerin ağırlıkları:

$$K1 \text{ kirişi: } 67896,5 \times 2 = 135793N$$

$$K2 \text{ kirişi: } 66111,9 \times 2 = 132223,8N$$

$$K3 \text{ kirişi: } 49392,9 \times 2 = 107325,4N$$

$$K4 \text{ kirişi: } 24968,9 \times 2 = 49937,8N$$

$$\text{Ara kirişler} = 22716,6N$$

$$\text{Toplam} = 447996,6N$$

Prefabrik döşeme kalınlığı 10 cmdir ve ağırlığı:

$$11.652 * \pi * 0.10 * 25.00 = 42.64 \text{ m}^3 * 25.00 \text{ kN/m}^3 = 1066.00 \text{ kN}$$

Prefabrik döşeme üzerindeki 10cm yerinde dökme beton ağırlığı:

$$11.652 * \pi * 0.10 * 25.00 = 42.64 \text{ m}^3 * 25.00 \text{ kN/m}^3 = 1066.00 \text{ kN}$$

Eğim betonu:

$$11.652 * \pi * 0.10 / 3 = 14.21 \text{ m}^3 * 25.00 \text{ kN/m}^3 = 355.30 \text{ kN}$$

Çatı saçağı:

$$11.80 * 2 * \pi * 0.30 * 0.40 = 8.897 \text{ m}^3 * 25.00 \text{ kN/m}^3 = 222.43 \text{ kN}$$

Çatıda birikebilecek toz ağırlığı:

$$11.80 * \pi * 0.50 \text{ kN/m}^3 = 218.72 \text{ kN}$$

Toplam:

$$448.00 + 1066 * 2 + 355.30 + 222.43 + 218.72 = 3376.45 \text{ kN} \approx 3380$$

5.2.2 +55,50 Kotu döşemesi

+55.50 kotu kirişleri hesaplanmış ve profilleri belirlenmiştir. Bu kirişlerin ağırlıkları:

$$K1 \text{ kirişi } 76199.0 \times 2 = 156881.40N$$

$$K2 \text{ kirişi } 74523.7 \times 2 = 146739.20N$$

$$K3 \text{ kirişı } 61878.9 \times 2 = 103683.00N$$

$$K4 \text{ kirişı } 27696.0 \times 2 = 39070.60N$$

$$\text{Ara kirişleri} = 27259.90N$$

$$\text{Total} = 473634.10N$$

Prefabrike döşeme kalınlığı 10cm'dir ve ağırlığı:

$$11.452 * \pi * 0.10 = 41.187 \text{ m}^3 * 25.00 \text{ kN/m}^3 = 1029.97 \text{ kN}$$

Prefabriek döşeme üzerindeki 10cm yerinde dökme beton ağırlığı:

$$11.452 * \pi * 0.10 = 41.187 \text{ m}^3 * 25.00 \text{ kN/m}^3 = 1029.97 \text{ kN}$$

Döşeme üzerindeki çelik platformlar ve diğer makinaların yükü 250kN olarak alınmıştır.

$$\text{Toplam: } 473.64 + 1029.97 \times 2 + 250.00 = 27835.80 \text{ kN} \approx 2800 \text{ kN}$$

5.2.3 Bunker ağırlığı

Bunkerin ağırlığı her metre için hesaplanmıştır. Bulunan toplam ağırlık bunkerin tamamının ağırlığıdır. Çizelge 5.1 de bunkerin ağırlığını göstermektedir.

Çizelge 5.1 : Bunker ağırlığı

KOT (m)	DIŞ ÇAP (m)	İÇ ÇAP (m)	DIŞ ALAN (m2)	İÇ ALAN (m2)	DIŞ HACİM (m3)	İÇ HACİM (m3)	DIŞ-İÇ HACİM (m3)	KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)
32,43	0,00		0,000		0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
32,00	0,50		0,193		0,028	0,000	0,028	0,69	0,69
31,00	1,65		2,138		0,991	0,000	0,991	24,78	25,47
30,00	2,80		6,179		3,984	0,000	3,984	99,60	125,06
29,00	3,96		12,313		9,071	0,000	9,071	226,78	351,85
28,94	4,03	2,87	12,726	6,469	0,714	0,123	0,591	14,77	366,61
28,00	5,11	3,96	20,542	12,309	15,539	8,708	6,832	170,79	537,40
27,00	6,27	5,11	30,865	20,537	25,529	16,249	9,280	232,01	769,41
26,00	7,42	6,27	43,283	30,859	36,899	25,524	11,376	284,39	1053,80
25,00	8,58	7,42	57,795	43,276	50,364	36,893	13,471	336,78	1390,58
24,00	9,73	8,58	74,401	57,787	65,924	50,357	15,567	389,17	1779,74
23,00	10,89	9,73	93,102	74,392	83,577	65,915	17,662	441,55	2221,30
22,00	12,04	10,89	113,897	93,092	103,325	83,568	19,758	493,94	2715,23
21,00	13,20	12,04	136,787	113,886	125,168	103,315	21,853	546,32	3261,56
20,00	14,35	13,20	161,771	136,775	149,105	125,156	23,948	598,71	3860,27
19,00	15,51	14,35	188,850	161,758	175,136	149,092	26,044	651,10	4511,37
18,00	16,66	15,51	218,022	188,835	203,261	175,122	28,139	703,48	5214,85

Çizelge 5.1 (devam) : Bunker ağırlığı

KOT (m)	DIŞ ÇAP (m)	İÇ ÇAP (m)	DIŞ ALAN (m ²)	İÇ ALAN (m ²)	DIŞ HACİM (m ³)	İÇ HACİM (m ³)	DIŞ-İÇ HACİM (m ³)	KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)
17,00	17,82	16,66	249,290	218,007	233,481	203,247	30,235	755,87	5970,72
16,42	22,50	17,33	397,608	235,823	185,293	131,123	54,170	1354,25	7324,97
16,03	22,50	17,78	397,608	248,337	156,260	95,127	61,133	1528,32	8853,30
16,00	22,50	17,82	397,608	249,273	11,531	7,215	4,315	107,88	8961,18
15,00	22,50	18,97	397,608	282,634	397,608	265,779	131,829	3295,72	12256,90
14,00	22,50	20,12	397,608	318,089	397,608	300,187	97,421	2435,53	14692,43
13,00	22,50	21,28	397,608	355,638	397,608	336,689	60,919	1522,97	16215,40
12,64	22,50	21,70	397,608	369,826	144,729	132,026	12,703	317,58	16532,98

5.2.4 Silo şaft ağırlığı

Silo şaftının alanı, hacmi ve ağırlığı çizelge 5.2’de her bir metre için hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2 : Silo şaft ağırlığı

KOT (m)	DIŞ ÇAP (m)	ET KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	ALAN (m ²)	HACİM (m ³)	TOPLAM HACİM (m ³)	KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)
66,00	23,30	0,20	22,90	14,514				
65,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	14,514	362,854	362,854
64,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	29,028	362,854	725,708
63,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	43,542	362,854	1088,562
62,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	58,057	362,854	1451,416
61,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	72,571	362,854	1814,270
60,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	87,085	362,854	2177,124
59,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	101,599	362,854	2539,978
58,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	116,113	362,854	2902,832
57,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	130,627	362,854	3265,686
56,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	145,142	362,854	3628,540
55,50	23,30	0,20	22,90	14,514	7,257	152,399	181,427	3809,966
55,00	23,30	0,40	22,50	28,777	14,388	166,787	359,712	4169,679
54,63	23,30	0,40	22,50	28,777	10,763	177,550	269,065	4438,744
54,00	23,30	0,40	22,50	28,777	18,014	195,564	450,360	4889,104
53,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	224,341	719,425	5608,528
52,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	253,118	719,425	6327,953
51,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	281,895	719,425	7047,378
50,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	310,672	719,425	7766,802
49,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	339,449	719,425	8486,227
48,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	368,226	719,425	9205,652
47,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	397,003	719,425	9925,077
46,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	425,780	719,425	10644,501
45,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	454,557	719,425	11363,926
44,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	483,334	719,425	12083,351
43,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	512,111	719,425	12802,775
42,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	540,888	719,425	13522,200
41,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	569,665	719,425	14241,625
40,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	598,442	719,425	14961,050

Çizelge 5.2 (devam) : Silo şaft ağırlığı

KOT (m)	DIŞ ÇAP (m)	ET KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	ALAN (m2)	HACİM (m3)	TOPLAM HACİM (m3)	KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)
39,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	627,219	719,425	15680,474
38,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	655,996	719,425	16399,899
37,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	684,773	719,425	17119,324
36,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	713,550	719,425	17838,748
35,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	742,327	719,425	18558,173
34,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	771,104	719,425	19277,598
33,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	799,881	719,425	19997,023
32,43	23,30	0,40	22,50	28,777	16,403	816,284	410,072	20407,095
32,00	23,30	0,40	22,50	28,777	12,374	828,658	309,353	20716,447
31,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	857,435	719,425	21435,872
30,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	886,212	719,425	22155,297
29,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	914,989	719,425	22874,722
28,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	943,766	719,425	23594,146
27,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	972,543	719,425	24313,571
26,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1001,320	719,425	25032,996
25,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1030,097	719,425	25752,420
24,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1058,874	719,425	26471,845
23,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1087,651	719,425	27191,270
22,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1116,428	719,425	27910,695
21,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1145,205	719,425	28630,119
20,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1173,982	719,425	29349,544
19,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1202,759	719,425	30068,969
18,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1231,536	719,425	30788,393
17,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1260,313	719,425	31507,818
16,03	23,30	0,40	22,50	28,777	27,942	1288,255	698,561	32206,380
16,00	23,30	0,40	22,50	28,777	0,835	1289,090	20,863	32227,243
15,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1317,867	719,425	32946,668
14,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1346,644	719,425	33666,092
13,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1375,421	719,425	34385,517
12,64	23,30	0,80	21,70	56,549	20,584	1396,004	514,593	34900,110
12,00	23,30	0,80	21,70	56,549	35,965	1431,969	899,124	35799,234
11,00	23,30	0,80	21,70	56,549	56,549	1488,518	1413,717	37212,950
10,00	23,30	0,80	21,70	56,549	56,549	1545,067	1413,717	38626,667
9,00	23,30	0,80	21,70	50,309	50,309	1595,375	1257,717	39884,384
8,00	23,30	0,80	21,70	50,309	50,309	1645,684	1257,717	41142,100
7,00	23,30	0,80	21,70	50,309	50,309	1695,993	1257,717	42399,817
6,00	23,30	0,80	21,70	50,309	50,309	1746,301	1257,717	43657,534
5,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	1790,370	1101,717	44759,251
4,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	1834,439	1101,717	45860,967
3,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	1878,507	1101,717	46962,684
2,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	1922,576	1101,717	48064,401
1,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	1966,645	1101,717	49166,117
0,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	2010,713	1101,717	50267,834
-0,50	23,30	0,80	21,70	44,069	22,034	2032,748	550,858	50818,692

5.3 Hareketli Yükler

5.3.1 Çimento ağırlığı

Çimento ağırlığı her kot için hesaplanmıştır. Hesaplarda çimento özgül ağırlığı 16kN/m^3 alınmıştır. Çizelge 5.3 çimento ağırlığını ve hacmini göstermektedir.

Çizelge 5.3 : Çimento ağırlığı

KOT (m)	SİLO ŞAFTI					BUNKER			ÇİMENTO SİLOSU (m2)	ÇİMENTO SİLOSU (m3)	ÇİMENTO ÖZGÜL AĞIRLIĞI (kN/m3)	KESİT ÇİMENTO AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM ÇİMENTO AĞIRLIĞI (kN)
	DIŞ ÇAP (m)	ET KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	ALAN (m2)	HACİM (m3)	DIŞ ÇAP (m)	ALAN (m2)	HACİM (m3)					
55,50	23,30	0,25	22,80	408,28									
55,00	23,30	0,40	22,50	397,61	0,00				397,61		16,00	0,00	
54,63	23,30	0,40	22,50	397,61	0,00				397,61	0,00	16,00	0,00	0,00
54,00	23,30	0,40	22,50	397,61	248,90				397,61	248,90	16,00	3982,44	3982,44
53,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	10344,17
52,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	16705,89
51,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	23067,62
50,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	29429,34
49,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	35791,07
48,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	42152,79
47,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	48514,52
46,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	54876,24
45,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	61237,97
44,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	67599,69
43,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	73961,42
42,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	80323,14
41,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	86684,87
40,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	93046,59

Çizelge 5.3 (devam) : Çimento ağırlığı

KOT	SİLO ŞAFTI					BUNKER			ÇİMENTO SİLOSU	ÇİMENTO SİLOSU	ÇİMENTO ÖZGÜL AĞIRLIĞI	KESİT ÇİMENTO AĞIRLIĞI	TOPLAM ÇİMENTO AĞIRLIĞI
	DIŞ ÇAP	ET KALINLIĞI	İÇ ÇAP	ALAN	HACİM	DIŞ ÇAP	ALAN	HACİM					
(m)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m3)	(m)	(m2)	(m3)	(m2)	(m3)	(kN/m3)	(kN)	(kN)
39,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	99408,32
38,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	105770,04
37,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	112131,77
36,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	118493,49
35,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	124855,22
34,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	131216,94
33,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61				397,61	397,61	16,00	6361,73	137578,67
32,43	23,30	0,40	22,50	397,61	226,64	0,00	0,00	0,00	397,61	226,64	16,00	3626,18	141204,85
32,00	23,30	0,40	22,50	397,61	170,97	0,50	0,19	0,03	397,42	170,94	16,00	2735,10	143939,95
31,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	1,65	2,14	0,99	395,47	396,62	16,00	6345,87	150285,82
30,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	2,80	6,18	3,98	391,43	393,62	16,00	6297,98	156583,80
29,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	3,96	12,31	9,07	385,29	388,54	16,00	6216,59	162800,39
28,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	5,11	20,54	16,25	377,07	381,35	16,00	6101,68	168902,07
27,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	6,27	30,87	25,53	366,74	372,08	16,00	5953,26	174855,33
26,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	7,42	43,28	36,90	354,33	360,71	16,00	5771,33	180626,66
25,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	8,58	57,79	50,36	339,81	347,24	16,00	5555,90	186182,56
24,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	9,73	74,40	65,92	323,21	331,68	16,00	5306,95	191489,51
23,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	10,89	93,10	83,58	304,51	314,03	16,00	5024,49	196513,99
22,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	12,04	113,90	103,33	283,71	294,28	16,00	4708,52	201222,52
21,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	13,20	136,79	125,17	260,82	272,44	16,00	4359,04	205581,56
20,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	14,35	161,77	149,10	235,84	248,50	16,00	3976,05	209557,61
19,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	15,51	188,85	175,14	208,76	222,47	16,00	3559,55	213117,16
18,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	16,66	218,02	203,26	179,59	194,35	16,00	3109,54	216226,70
17,00	23,30	0,40	22,50	397,61	397,61	17,82	249,29	233,48	148,32	164,13	16,00	2626,02	218852,73
16,03	23,30	0,40	22,50	397,61	386,08	18,94	281,65	257,61	115,95	128,46	16,00	2055,42	220908,14
16,00	23,30	0,40	22,50	397,61									
15,00	23,30	0,40	22,50	397,61									
14,00	23,30	0,40	22,50	397,61									
13,00	23,30	0,40	22,50	397,61									
12,64	23,30	0,80	21,70	369,84									

5.3.2 Rüzgâr yükleri

Rüzgâr yükleri hem UBC97 ve ACI307-98'e göre hesaplanmıştır. Ayrıca SAP2000 modeli oluşturulurken rüzgâr yükleri programa girilmiştir. Hesaplarda bulunan yükler ve momentler, şaft donatısı belirlenirken kullanılmıştır.

Çizelge 5.4 : UBC97 ve ACI307-98'e göre rüzgâr yükleri

KOT	Exposure C	C _q	q _s	DIŞ ÇAP	P	KESME KUVVETİ	TOPLAM KESME KUVVETİ	M		KOT	V _z	Gr _z	Pr _z	Mi	Mi (iç kısımda çekme)	Mo	Mo (dış kısımda çekme)
(m)			(kN/m ²)	(m)	(kN/m)	(kN)	(kN)	(kN*m)		(m)	(m/sec.)		(Pa)	(N*m)	(kN*m)	(N*m)	(kN*m)
66,00	1,90	0,80	0,60	23,30	24,43			0,00		66,00	29,62	2,13	1252,92	52715,43	52,72	45913,44	45,91
65,00	1,89	0,80	0,60	23,30	24,36	24,40	24,40	6,10		65,00	29,55	2,14	1250,15	52598,69	52,60	45811,76	45,81
64,00	1,89	0,80	0,60	23,30	24,28	24,32	48,72	42,67		64,00	29,48	2,14	1247,33	52480,07	52,48	45708,45	45,71
63,00	1,88	0,80	0,60	23,30	24,21	24,24	72,96	103,53		63,00	29,41	2,15	1244,46	52359,53	52,36	45603,46	45,60
62,00	1,88	0,80	0,60	23,30	24,13	24,17	97,13	188,59		62,00	29,34	2,15	1241,55	52236,99	52,24	45496,73	45,50
61,00	1,87	0,80	0,60	23,30	24,05	24,09	121,22	297,79		61,00	29,26	2,16	1238,59	52112,39	52,11	45388,21	45,39
60,96	1,87	0,80	0,60	23,30	24,05	0,96	122,18	302,89		60,96	29,26	2,16	1238,47	52107,36	52,11	45383,83	45,38
60,00	1,86	0,80	0,60	23,30	23,97	24,01	145,23	431,03		60,00	29,19	2,16	1235,58	51985,68	51,99	45277,85	45,28
59,00	1,86	0,80	0,60	23,30	23,89	23,93	169,16	588,25		59,00	29,11	2,17	1232,51	51856,77	51,86	45165,58	45,17
58,00	1,85	0,80	0,60	23,30	23,80	23,84	193,00	769,36		58,00	29,04	2,18	1229,40	51725,61	51,73	45051,34	45,05
57,00	1,84	0,80	0,60	23,30	23,72	23,76	216,76	974,26		57,00	28,96	2,18	1226,22	51592,11	51,59	44935,07	44,94
56,00	1,84	0,80	0,60	23,30	23,63	23,67	240,44	1202,88		56,00	28,88	2,19	1222,99	51456,20	51,46	44816,69	44,82
55,50	1,83	0,80	0,60	23,30	23,59	11,81	252,24	1327,54		55,50	28,84	2,19	1221,36	51387,31	51,39	44756,69	44,76
55,00	1,83	0,80	0,60	23,30	23,55	11,78	264,03	1456,61		55,00	28,80	2,19	1219,70	51317,79	51,32	44696,14	44,70
54,63	1,83	0,80	0,60	23,30	23,52	8,80	272,83	1557,28		54,63	28,77	2,20	1218,46	51265,37	51,27	44650,48	44,65
54,00	1,82	0,80	0,60	23,30	23,46	14,70	287,53	1731,75		54,00	28,72	2,20	1216,35	51176,80	51,18	44573,34	44,57
53,00	1,82	0,80	0,60	23,30	23,38	23,42	310,96	2028,82		53,00	28,64	2,21	1212,94	51033,13	51,03	44448,21	44,45
52,00	1,81	0,80	0,60	23,30	23,30	23,34	334,29	2351,46		52,00	28,55	2,21	1209,46	50886,68	50,89	44320,66	44,32
51,00	1,80	0,80	0,60	23,30	23,21	23,25	357,55	2697,40		51,00	28,47	2,22	1205,91	50737,36	50,74	44190,60	44,19
50,00	1,80	0,80	0,60	23,30	23,13	23,17	380,71	3066,56		50,00	28,38	2,23	1202,29	50585,04	50,59	44057,94	44,06
49,00	1,79	0,80	0,60	23,30	23,04	23,08	403,80	3458,83		49,00	28,29	2,24	1198,59	50429,63	50,43	43922,58	43,92
48,77	1,79	0,80	0,60	23,30	23,02	5,34	409,14	3554,16		48,77	28,27	2,24	1197,73	50393,12	50,39	43890,78	43,89
48,00	1,78	0,80	0,60	23,30	22,93	22,98	426,78	3874,15		48,00	28,20	2,24	1194,82	50271,00	50,27	43784,42	43,78

Çizelge 5.4 (devam) : UBC97 ve ACI307-98'e göre rüzgar yükleri

KOT	Exposure C	C _q	q _s	DIŞ ÇAP	P	KESME KUVVETİ	TOPLAM KESME KUVVETİ	M		KOT	V _z	Gr _z	Pr _z	Mi	Mi (iç kısımda çekme)	Mo	Mo (dış kısımda çekme)
(m)			(kN/m ²)	(m)	(kN/m)	(kN)	(kN)	(kN*m)		(m)	(m/sec.)		(Pa)	(N*m)	(kN*m)	(N*m)	(kN*m)
47,00	1,77	0,80	0,60	23,30	22,80	22,86	449,64	4312,39		47,00	28,11	2,25	1190,97	50109,01	50,11	43643,33	43,64
46,00	1,76	0,80	0,60	23,30	22,67	22,74	472,38	4773,44		46,00	28,02	2,26	1187,04	49943,53	49,94	43499,20	43,50
45,00	1,75	0,80	0,60	23,30	22,55	22,61	494,99	5257,15		45,00	27,92	2,26	1183,02	49774,42	49,77	43351,91	43,35
44,00	1,74	0,80	0,60	23,30	22,42	22,48	517,47	5763,41		44,00	27,83	2,27	1178,91	49601,51	49,60	43201,31	43,20
43,00	1,73	0,80	0,60	23,30	22,29	22,36	539,83	6292,09		43,00	27,73	2,28	1174,71	49424,65	49,42	43047,27	43,05
42,00	1,72	0,80	0,60	23,30	22,17	22,23	562,05	6843,06		42,00	27,63	2,29	1170,41	49243,65	49,24	42889,63	42,89
41,00	1,71	0,80	0,60	23,30	22,04	22,10	584,16	7416,20		41,00	27,53	2,30	1166,00	49058,33	49,06	42728,22	42,73
40,00	1,70	0,80	0,60	23,30	21,91	21,98	606,13	8011,37		40,00	27,42	2,31	1161,49	48868,48	48,87	42562,87	42,56
39,00	1,69	0,80	0,60	23,30	21,79	21,85	627,98	8628,46		39,00	27,31	2,31	1156,86	48673,89	48,67	42393,38	42,39
38,00	1,68	0,80	0,60	23,30	21,66	21,72	649,70	9267,34		38,00	27,21	2,32	1152,12	48474,32	48,47	42219,57	42,22
37,00	1,67	0,80	0,60	23,30	21,53	21,60	671,30	9927,87		37,00	27,09	2,33	1147,25	48269,52	48,27	42041,19	42,04
36,58	1,67	0,80	0,60	23,30	21,48	9,12	680,42	10215,75		36,58	27,05	2,34	1145,15	48181,04	48,18	41964,13	41,96
36,00	1,66	0,80	0,60	23,30	21,41	21,47	692,77	10609,93		36,00	26,98	2,34	1142,26	48059,22	48,06	41858,03	41,86
35,00	1,65	0,80	0,60	23,30	21,28	21,34	714,11	11313,40		35,00	26,86	2,35	1137,12	47843,13	47,84	41669,82	41,67
34,00	1,64	0,80	0,60	23,30	21,15	21,22	735,33	12038,16		34,00	26,74	2,36	1131,84	47620,93	47,62	41476,29	41,48
33,00	1,63	0,80	0,60	23,30	21,03	21,09	756,42	12784,06		33,00	26,62	2,37	1126,40	47392,27	47,39	41277,14	41,28
32,43	1,63	0,80	0,60	23,30	20,95	11,96	768,38	13219,93		32,43	26,55	2,38	1123,23	47258,90	47,26	41160,98	41,16
32,00	1,62	0,80	0,60	23,30	20,90	9,00	777,38	13552,58		32,00	26,49	2,38	1120,81	47156,78	47,16	41072,03	41,07
31,00	1,62	0,80	0,60	23,30	20,77	20,84	798,22	14337,42		31,00	26,37	2,39	1115,04	46914,05	46,91	40860,62	40,86
30,48	1,61	0,80	0,60	23,30	20,71	10,78	809,00	14756,60		30,48	26,30	2,40	1111,97	46784,82	46,78	40748,07	40,75
30,00	1,60	0,80	0,60	23,30	20,63	20,70	818,92	15146,02		30,00	26,23	2,41	1109,09	46663,63	46,66	40642,52	40,64
29,00	1,59	0,80	0,60	23,30	20,46	20,54	839,46	15975,25		29,00	26,10	2,42	1102,94	46405,03	46,41	40417,29	40,42
28,00	1,58	0,80	0,60	23,30	20,29	4,65	844,11	16821,00		28,00	25,96	2,43	1096,59	46137,72	46,14	40184,46	40,18
27,00	1,56	0,80	0,60	23,30	20,12	20,20	864,31	17671,32		27,00	25,81	2,44	1090,01	45861,08	45,86	39943,53	39,94
26,00	1,55	0,80	0,60	23,30	19,95	20,04	884,35	18545,70		26,00	25,66	2,46	1083,20	45574,47	45,57	39693,90	39,69
25,00	1,54	0,80	0,60	23,30	19,78	19,87	904,21	19440,02		25,00	25,51	2,47	1076,13	45277,15	45,28	39434,94	39,43
24,00	1,52	0,80	0,60	23,30	19,60	19,69	923,90	20354,12		24,00	25,35	2,48	1068,79	44968,29	44,97	39165,93	39,17

Çizelge 5.4 (devam) : UBC97 ve ACI307-98'e göre rüzgar yükleri

KOT	Exposure C	C _q	q _s	DIŞ ÇAP	P	KESME KUVVETİ	TOPLAM KESME KUVVETİ	M		KOT	V _z	Gr _z	Pr _z	Mi	Mi (iç kısımda çekme)	Mo	Mo (dış kısımda çekme)
(m)			(kN/m ²)	(m)	(kN/m)	(kN)	(kN)	(kN*m)		(m)	(m/sec.)		(Pa)	(N*m)	(kN*m)	(N*m)	(kN*m)
23,00	1,51	0,80	0,60	23,30	19,39	19,49	943,40	21287,82		23,00	25,18	2,50	1061,15	44646,98	44,65	38886,08	38,89
22,00	1,49	0,80	0,60	23,30	19,18	19,28	962,68	22240,91		22,00	25,01	2,51	1053,20	44312,18	44,31	38594,48	38,59
21,00	1,47	0,80	0,60	23,30	18,96	5,70	981,75	23214,74		21,00	24,83	2,53	1044,89	43962,71	43,96	38290,10	38,29
20,00	1,46	0,80	0,60	23,30	18,75	5,45	1000,60	24204,19		20,00	24,64	2,55	1036,20	43597,23	43,60	37971,78	37,97
19,00	1,44	0,80	0,60	23,30	18,54	18,65	1019,25	25210,82		19,00	24,45	2,56	1027,10	43214,21	43,21	37638,19	37,64
18,00	1,42	0,80	0,60	23,30	18,32	18,43	1037,68	26239,34		18,00	24,25	2,58	1017,54	42811,89	42,81	37287,77	37,29
17,00	1,40	0,80	0,60	23,30	18,07	3,38	1055,88	27287,40		17,00	24,04	2,60	1007,47	42388,20	42,39	36918,75	36,92
16,03	1,39	0,80	0,60	23,30	17,82	17,42	1073,30	28317,71		16,03	23,82	2,62	997,15	41954,06	41,95	36540,63	36,54
16,00	1,38	0,80	0,60	23,30	17,81	0,52	1073,82	28348,96		16,00	23,81	2,62	996,83	41940,73	41,94	36529,02	36,53
15,00	1,37	0,80	0,60	23,30	17,56	12,35	1091,50	29429,12		15,00	23,58	2,65	985,56	41466,62	41,47	36116,09	36,12
14,00	1,35	0,80	0,60	23,30	17,31	17,43	1108,93	30528,07		14,00	23,33	2,67	973,58	40962,47	40,96	35676,99	35,68
13,00	1,33	0,80	0,60	23,30	17,05	17,18	1126,11	31645,65		13,00	23,06	2,70	960,79	40424,13	40,42	35208,12	35,21
12,64	1,32	0,80	0,60	23,30	16,96	6,19	1132,30	32057,69		12,64	22,96	2,71	955,91	40218,74	40,22	35029,22	35,03
12,00	1,30	0,80	0,60	23,30	16,78	7,33	1143,04	32779,15		12,00	22,78	2,72	947,06	39846,55	39,85	34705,06	34,71
11,00	1,28	0,80	0,60	23,30	16,45	16,62	1159,65	33928,18		11,00	22,48	2,75	932,25	39223,41	39,22	34162,32	34,16
10,00	1,25	0,80	0,60	23,30	16,11	16,28	1175,93	35096,05		10,00	22,15	2,79	916,16	38546,68	38,55	33572,92	33,57
9,00	1,23	0,80	0,60	23,30	15,77	15,94	1191,87	36280,04		9,00	21,79	2,82	898,56	37805,97	37,81	32927,78	32,93
8,00	1,20	0,80	0,60	23,30	15,43	15,60	1207,47	37479,79		8,00	21,40	2,86	879,10	36987,41	36,99	32214,84	32,21
7,00	1,17	0,80	0,60	23,30	14,99	15,21	1222,68	38694,97		7,00	20,97	2,91	857,35	36071,92	36,07	31417,48	31,42
6,00	1,13	0,80	0,60	23,30	14,48	14,73	1237,42	39925,14		6,00	20,47	2,96	832,63	35032,17	35,03	30511,89	30,51
5,00	1,08	0,80	0,60	23,30	13,89	14,18	1251,60	41169,79		5,00	19,91	3,03	803,98	33826,79	33,83	29462,04	29,46
4,00	1,06	0,80	0,60	23,30	13,63	13,76	1265,36	42428,37		4,00	19,23	3,11	769,80	32388,58	32,39	28209,41	28,21
3,00	1,06	0,80	0,60	23,30	13,63	13,63	1278,99	43700,58		3,00	18,40	3,21	727,20	30596,24	30,60	26648,34	26,65
2,00	1,06	0,80	0,60	23,30	13,63	13,63	1292,63	44986,39		2,00	17,29	3,35	670,03	28191,00	28,19	24553,45	24,55
1,00	1,06	0,80	0,60	23,30	13,63	13,63	1306,26	46285,83		1,00	15,54	3,59	580,18	24410,34	24,41	21260,62	21,26
0,00	1,06	0,80	0,60	23,30	13,63	13,63	1319,89	47598,91		0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

5.4 Silo Toplam Ağırlığı

Silonun toplam ağırlığı, çimento ağırlığı, silo şaftının ağırlığı, ardgerme için silo şaftında oluşturulan guselerin ağırlığı ve döşeme ağırlıklarından oluşur. Silonun toplam ağırlığının belirlenmesi hem şaft gerilmelerinin bulunmasında hem de deprem yüklerinin hesabında kullanılacaktır.

Çizelge 5.5 : Silo toplam ağırlığı

KOT (m)	DIŞ ÇAP (m)	ET KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	ALAN (m ²)	HACİM (m ³)	TOPLAM HACİM (m ³)	KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)	ARDGERME GUSESİ (kN)	DÖŞEME AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)	ÇİMENTO AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)
66,00	23,30	0,20	22,90	14,514					0,00	3380,00	3380,00	3380,00		3380,00	3380,00
65,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	14,514	362,854	362,854	0,00		362,85	3742,85		362,85	3742,85
64,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	29,028	362,854	725,708	0,00		362,85	4105,71		362,85	4105,71
63,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	43,542	362,854	1088,562	0,00		362,85	4468,56		362,85	4468,56
62,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	58,057	362,854	1451,416	0,00		362,85	4831,42		362,85	4831,42
61,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	72,571	362,854	1814,270	0,00		362,85	5194,27		362,85	5194,27
60,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	87,085	362,854	2177,124	0,00		362,85	5557,12		362,85	5557,12
59,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	101,599	362,854	2539,978	0,00		362,85	5919,98		362,85	5919,98
58,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	116,113	362,854	2902,832	0,00		362,85	6282,83		362,85	6282,83
57,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	130,627	362,854	3265,686	0,00		362,85	6645,69		362,85	6645,69
56,00	23,30	0,20	22,90	14,514	14,514	145,142	362,854	3628,540	0,00		362,85	7008,54		362,85	7008,54
55,50	23,30	0,20	22,90	14,514	7,257	152,399	181,427	3809,966	0,00	2800,00	2981,43	9989,97		2981,43	9989,97
55,00	23,30	0,40	22,50	28,777	14,388	166,787	359,712	4169,679	41,25		400,96	10390,93		400,96	10390,93
54,63	23,30	0,40	22,50	28,777	10,763	177,550	269,065	4438,744	30,86		299,92	10690,85	0,00	299,92	10690,85
54,00	23,30	0,40	22,50	28,777	18,014	195,564	450,360	4889,104	51,64		502,00	11192,85	3982,44	4484,44	15175,29
53,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	224,341	719,425	5608,528	82,50		801,92	11994,78	6361,73	7163,65	22338,94
52,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	253,118	719,425	6327,953	82,50		801,92	12796,70	6361,73	7163,65	29502,59
51,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	281,895	719,425	7047,378	82,50		801,92	13598,63	6361,73	7163,65	36666,24
50,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	310,672	719,425	7766,802	82,50		801,92	14400,55	6361,73	7163,65	43829,89
49,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	339,449	719,425	8486,227	82,50		801,92	15202,48	6361,73	7163,65	50993,54
48,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	368,226	719,425	9205,652	82,50		801,92	16004,40	6361,73	7163,65	58157,19

Çizelge 5.5 (devam) : Silo toplam ağırlığı

KOT (m)	DIŞ ÇAP (m)	ET KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	ALAN (m2)	HACİM (m3)	TOPLAM HACİM (m3)	KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)	ARDGERME GÜSESİ (kN)	DÖŞEME AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)	ÇİMENTO AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)
47,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	397,003	719,425	9925,077	82,50		801,92	16806,33	6361,73	7163,65	65320,84
46,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	425,780	719,425	10644,501	82,50		801,92	17608,25	6361,73	7163,65	72484,49
45,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	454,557	719,425	11363,926	82,50		801,92	18410,18	6361,73	7163,65	79648,14
44,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	483,334	719,425	12083,351	82,50		801,92	19212,10	6361,73	7163,65	86811,79
43,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	512,111	719,425	12802,775	82,50		801,92	20014,03	6361,73	7163,65	93975,44
42,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	540,888	719,425	13522,200	82,50		801,92	20815,95	6361,73	7163,65	101139,09
41,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	569,665	719,425	14241,625	82,50		801,92	21617,87	6361,73	7163,65	108302,74
40,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	598,442	719,425	14961,050	82,50		801,92	22419,80	6361,73	7163,65	115466,39
39,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	627,219	719,425	15680,474	82,50		801,92	23221,72	6361,73	7163,65	122630,04
38,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	655,996	719,425	16399,899	82,50		801,92	24023,65	6361,73	7163,65	129793,69
37,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	684,773	719,425	17119,324	82,50		801,92	24825,57	6361,73	7163,65	136957,34
36,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	713,550	719,425	17838,748	82,50		801,92	25627,50	6361,73	7163,65	144120,99
35,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	742,327	719,425	18558,173	82,50		801,92	26429,42	6361,73	7163,65	151284,64
34,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	771,104	719,425	19277,598	82,50		801,92	27231,35	6361,73	7163,65	158448,29
33,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	799,881	719,425	19997,023	82,50		801,92	28033,27	6361,73	7163,65	165611,94
32,43	23,30	0,40	22,50	28,777	16,403	816,284	410,072	20407,095	47,03		457,10	28490,37	3626,18	4083,28	169695,22
32,00	23,30	0,40	22,50	28,777	12,374	828,658	309,353	20716,447	35,48		344,83	28835,20	2735,10	3079,93	172775,15
31,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	857,435	719,425	21435,872	82,50		801,92	29637,12	6345,87	7147,79	179922,94
30,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	886,212	719,425	22155,297	82,50		801,92	30439,05	6297,98	7099,91	187022,85
29,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	914,989	719,425	22874,722	82,50		801,92	31240,97	6216,59	7018,51	194041,36
28,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	943,766	719,425	23594,146	82,50		801,92	32042,90	6101,68	6903,60	200944,96
27,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	972,543	719,425	24313,571	82,50		801,92	32844,82	5953,26	6755,19	207700,15
26,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1001,320	719,425	25032,996	82,50		801,92	33646,75	5771,33	6573,26	214273,41
25,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1030,097	719,425	25752,420	82,50		801,92	34448,67	5555,90	6357,82	220631,23
24,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1058,874	719,425	26471,845	82,50		801,92	35250,60	5306,95	6108,87	226740,10

Çizelge 5.5 (devam) : Silo toplam ağırlığı

KOT (m)	DIŞ ÇAP (m)	ET KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	ALAN (m ²)	HACİM (m ³)	TOPLAM HACİM (m ³)	KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)	ARDGERME GÜSESİ (kN)	DÖŞEME AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)	ÇİMENTO AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM KESİT AĞIRLIĞI (kN)	TOPLAM AĞIRLIK (kN)
23,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1087,651	719,425	27191,270	82,50		801,92	36052,52	5024,49	5826,41	232566,51
22,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1116,428	719,425	27910,695	82,50		801,92	36854,44	4708,52	5510,45	238076,96
21,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1145,205	719,425	28630,119	82,50		801,92	37656,37	4359,04	5160,97	243237,93
20,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1173,982	719,425	29349,544	82,50		801,92	38458,29	3976,05	4777,98	248015,90
19,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1202,759	719,425	30068,969	82,50		801,92	39260,22	3559,55	4361,48	252377,38
18,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1231,536	719,425	30788,393	82,50		801,92	40062,14	3109,54	3911,47	256288,85
17,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1260,313	719,425	31507,818	82,50		801,92	40864,07	2626,02	3427,95	259716,79
16,03	23,30	0,40	22,50	28,777	27,942	1288,255	698,561	32206,380	80,11		778,67	41642,74	2055,42	2834,09	262550,88
16,00	23,30	0,40	22,50	28,777	0,835	1289,090	20,863	32227,243	2,39		23,26	41665,99	0,00	23,26	262574,14
15,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1317,867	719,425	32946,668	82,50		801,92	42467,92	0,00	801,92	263376,06
14,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1346,644	719,425	33666,092	82,50		801,92	43269,84	0,00	801,92	264177,99
13,00	23,30	0,40	22,50	28,777	28,777	1375,421	719,425	34385,517	82,50		801,92	44071,77	0,00	801,92	264979,91
12,64	23,30	0,80	21,70	56,549	20,584	1396,004	514,593	34900,110	30,03	16532,98	17077,60	61149,37	0,00	17077,60	282057,52
12,00	23,30	0,80	21,70	56,549	35,965	1431,969	899,124	35799,234	52,47		951,59	62100,96	0,00	951,59	283009,11
11,00	23,30	0,80	21,70	56,549	56,549	1488,518	1413,717	37212,950	82,50		1496,22	63597,18	0,00	1496,22	284505,33
10,00	23,30	0,80	21,70	56,549	56,549	1545,067	1413,717	38626,667	82,50		1496,22	65093,40	0,00	1496,22	286001,54
9,00	23,30	0,80	21,70	50,309	50,309	1595,375	1257,717	39884,384	82,50		1340,22	66433,61	0,00	1340,22	287341,76
8,00	23,30	0,80	21,70	50,309	50,309	1645,684	1257,717	41142,100	82,50		1340,22	67773,83	0,00	1340,22	288681,98
7,00	23,30	0,80	21,70	50,309	50,309	1695,993	1257,717	42399,817	82,50		1340,22	69114,05	0,00	1340,22	290022,19
6,00	23,30	0,80	21,70	50,309	50,309	1746,301	1257,717	43657,534	82,50		1340,22	70454,26	0,00	1340,22	291362,41
5,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	1790,370	1101,717	44759,251	82,50		1184,22	71638,48	0,00	1184,22	292546,63
4,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	1834,439	1101,717	45860,967	82,50		1184,22	72822,70	0,00	1184,22	293730,84
3,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	1878,507	1101,717	46962,684	82,50		1184,22	74006,91	0,00	1184,22	294915,06
2,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	1922,576	1101,717	48064,401	82,50		1184,22	75191,13	0,00	1184,22	296099,28
1,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	1966,645	1101,717	49166,117	82,50		1184,22	76375,35	0,00	1184,22	297283,49
0,00	23,30	0,80	21,70	44,069	44,069	2010,713	1101,717	50267,834	82,50		1184,22	77559,56	0,00	1184,22	298467,71

5.5 Beton Gerilmeleri

Silonun boş ver dolu durumları için hesaplanan, silo şaftında oluşan beton gerilmeleri hesaplanmıştır. Bu gerilmeleri bulurken kullanılan yükler ACI313-97’de belirtilen yük artırım katsayılarıyla çarpılmıştır. ACI313-97 ölü yükler için 1.4, hareketli yükler için 1.7 katsayılarıyla çarpılarak büyütülmesi gerektiğini öngörür.

Çizelge 5.6 : Beton gerilmeleri

KOT	TOPLAM AĞIRLIK	KESİTTE ARTTIRILMAMIŞ SÜRTÜNME YÜKÜ	TOPLAM ARTTIRILMAMIŞ SÜRTÜNME YÜKÜ	ÖLÜ YÜK + SÜRTÜNME YÜKÜ	BOŞ SİLO 1.4ÖLÜ YÜK	1.4ÖLÜ YÜK +1.7 SÜRTÜNME	BETON GERİLMESİ BOŞ SİLO	BETON GERİLMESİ DOLU SİLO	BETON GERİLMESİ DOLU SİLO	BETON GERİLMESİ BOŞ SİLO
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m2)	(kN/m2)	(psi)	(psi)
54,63	10690,85			10690,85	14967,19	14967,19	520,11	520,11	75,42	75,42
54,00	15175,29	1,37	96,89	11289,74	15669,99	15834,70	544,53	550,26	79,79	78,96
53,00	22338,94	28,00	1979,33	13974,11	16792,69	20157,55	583,55	700,47	101,57	84,61
52,00	29502,59	51,23	3621,27	16417,97	17915,38	24071,54	622,56	836,49	121,29	90,27
51,00	36666,24	78,66	5559,89	19158,52	19038,08	28489,89	661,57	990,02	143,55	95,93
50,00	43829,89	109,99	7774,83	22175,38	20160,77	33377,98	700,59	1159,88	168,18	101,59
49,00	50993,54	144,97	10247,12	25449,59	21283,47	38703,57	739,60	1344,95	195,02	107,24
48,00	58157,19	183,33	12959,09	28963,49	22406,16	44436,61	778,61	1544,17	223,90	112,90
47,00	65320,84	224,86	15894,29	32700,62	23528,86	50549,16	817,63	1756,58	254,70	118,56
46,00	72484,49	269,32	19037,41	36645,66	24651,55	57015,14	856,64	1981,28	287,28	124,21
45,00	79648,14	316,53	22374,16	40784,34	25774,25	63810,32	895,65	2217,41	321,52	129,87
44,00	86811,79	366,29	25891,26	45103,36	26896,94	70912,08	934,67	2464,19	357,31	135,53
43,00	93975,44	418,42	29576,32	49590,35	28019,64	78299,39	973,68	2720,90	394,53	141,18
42,00	101139,09	472,77	33417,83	54233,78	29142,33	85952,64	1012,70	2986,85	433,09	146,84
41,00	108302,74	529,17	37405,03	59022,91	30265,02	93853,58	1051,71	3261,41	472,90	152,50
40,00	115466,39	587,50	41527,93	63947,73	31387,72	101985,21	1090,72	3543,98	513,88	158,15
39,00	122630,04	647,62	45777,22	68998,94	32510,41	110331,69	1129,74	3834,02	555,93	163,81
38,00	129793,69	709,40	50144,21	74167,86	33633,11	118878,27	1168,75	4131,02	599,00	169,47

Çizelge 5.6 (devam) : Beton gerilmeleri

KOT	TOPLAM AĞIRLIK	KESİTTE ARTTIRILMAMIŞ SÜRTÜNME YÜKÜ	TOPLAM ARTTIRILMAMIŞ SÜRTÜNME YÜKÜ	ÖLÜ YÜK + SÜRTÜNME YÜKÜ	BOŞ SİLO 1.4ÖLÜ YÜK	1.4ÖLÜ YÜK +1.7 SÜRTÜNME	BETON GERİLMESİ BOŞ SİLO	BETON GERİLMESİ DOLU SİLO	BETON GERİLMESİ DOLU SİLO	BETON GERİLMESİ BOŞ SİLO
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m2)	(kN/m2)	(psi)	(psi)
37,00	136957,34	772,73	54620,84	79446,41	34755,80	127611,23	1207,76	4434,49	643,00	175,13
36,00	144120,99	837,50	59199,57	84827,06	35878,50	136517,76	1246,78	4743,99	687,88	180,78
35,00	151284,64	903,62	63873,39	90302,81	37001,19	145585,95	1285,79	5059,11	733,57	186,44
34,00	158448,29	971,00	68635,78	95867,13	38123,89	154804,71	1324,80	5379,46	780,02	192,10
33,00	165611,94	1039,54	73480,66	101513,93	39246,58	164163,70	1363,82	5704,69	827,18	197,75
32,43	169695,22	1079,10	76276,96	104767,33	39886,52	169557,35	1386,06	5892,12	854,36	200,98
32,00	172775,15	1095,16	77412,44	106247,64	40369,28	171970,43	1402,83	5975,97	866,52	203,41
31,00	179922,94	1128,65	79779,82	109416,94	41491,97	177117,67	1441,85	6154,84	892,45	209,07
30,00	187022,85	1156,22	81728,35	112167,40	42614,67	181552,86	1480,86	6308,96	914,80	214,72
29,00	194041,36	1177,07	83201,85	114442,82	43737,36	185180,50	1519,87	6435,02	933,08	220,38
28,00	200944,96	1190,37	84142,09	116184,99	44860,05	187901,61	1558,89	6529,58	946,79	226,04
27,00	207700,15	1195,28	84489,43	117334,25	45982,75	189614,77	1597,90	6589,11	955,42	231,70
26,00	214273,41	1190,95	9012,21	42658,95	47105,44	62426,19	1636,91	2169,31	314,55	237,35
25,00	220631,23	1176,54	9012,21	43460,88	48228,14	63548,89	1675,93	2208,32	320,21	243,01
24,00	226740,10	1151,23	9012,21	44262,80	49350,83	64671,58	1714,94	2247,34	325,86	248,67
23,00	232566,51	1114,24	9012,21	45064,73	50473,53	65794,28	1753,95	2286,35	331,52	254,32
22,00	238076,96	1064,91	9012,21	45866,65	51596,22	66916,97	1792,97	2325,36	337,18	259,98
21,00	243237,93	1002,65	9012,21	46668,57	52718,92	68039,67	1831,98	2364,38	342,83	265,64
20,00	248015,90	927,03	9012,21	47470,50	53841,61	69162,36	1871,00	2403,39	348,49	271,29
19,00	252377,38	837,73	9012,21	48272,42	54964,31	70285,06	1910,01	2442,40	354,15	276,95
18,00	256288,85	734,61	9012,21	49074,35	56087,00	71407,75	1949,02	2481,42	359,81	282,61
17,00	259716,79	617,58	9012,21	49876,27	57209,70	72530,44	1988,04	2520,43	365,46	288,27
16,03	262550,88	490,62	9012,21	50654,94	58299,83	73620,58	2025,92	2558,31	370,96	293,76
16,00	262574,14			50678,20	58332,39	73653,14	2027,05	2559,45	371,12	293,92
15,00	263376,06			51480,12	59455,08	74775,83	2066,06	2598,46	376,78	299,58
14,00	264177,99			52282,05	60577,78	75898,53	2105,08	2637,47	382,43	305,24

Çizelge 5.6 (devam) : Beton gerilmeleri

KOT	TOPLAM AĞIRLIK	KESİTTE ARTTIRILMAMIŞ SÜRTÜNME YÜKÜ	TOPLAM ARTTIRILMAMIŞ SÜRTÜNME YÜKÜ	ÖLÜ YÜK + SÜRTÜNME YÜKÜ	BOŞ SİLO 1.4ÖLÜ YÜK	1.4ÖLÜ YÜK +1.7 SÜRTÜNME	BETON GERİLMESİ BOŞ SİLO	BETON GERİLMESİ DOLU SİLO	BETON GERİLMESİ DOLU SİLO	BETON GERİLMESİ BOŞ SİLO
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m2)	(kN/m2)	(psi)	(psi)
13,00	264979,91			53083,97	61700,47	77021,22	2144,09	2676,49	388,09	310,89
12,64	282057,52			70161,58	85609,12	100929,87	1513,90	1784,83	258,80	219,52
12,00	283009,11			283009,11	86941,35	396212,75	1537,46	7006,58	1015,95	222,93
11,00	284505,33			284505,33	89036,05	398307,46	1574,50	7043,62	1021,33	228,30
10,00	286001,54			286001,54	91130,76	400402,16	1611,55	7080,66	1026,70	233,67
9,00	287341,76			287341,76	93007,06	402278,46	1848,73	7996,21	1159,45	268,07
8,00	288681,98			288681,98	94883,36	404154,77	1886,02	8033,50	1164,86	273,47
7,00	290022,19			290022,19	96759,67	406031,07	1923,32	8070,80	1170,27	278,88
6,00	291362,41			291362,41	98635,97	407907,37	1960,62	8108,09	1175,67	284,29
5,00	292546,63			292546,63	100293,87	409565,28	2275,85	9293,80	1347,60	330,00
4,00	293730,84			293730,84	101951,78	411223,18	2313,48	9331,42	1353,06	335,45
3,00	294915,06			294915,06	103609,68	412881,08	2351,10	9369,04	1358,51	340,91
2,00	296099,28			296099,28	105267,58	414538,99	2388,72	9406,66	1363,97	346,36
1,00	297283,49			297283,49	106925,49	416196,89	2426,34	9444,28	1369,42	351,82
0,00	298467,71			298467,71	108583,39	417854,79	2463,96	9481,90	1374,88	357,27
-0,50	299059,82			299059,82	109412,34	418683,74	2482,77	9500,71	1377,60	360,00

İlerde ardgerme hesaplarında kullanabilmek için beton gerilmeleri hem kN hem psi cinsinden hesaplanmıştır.

5.6 Malzeme Basıncı

5.6.1 Eksantrik boşaltma yükü

Bu yük ancak doldurma ve boşaltma delikleri silo merkezinden uzakta olduğunda ortaya çıkar.

$$h = 38.56 \text{ m}$$

$$d = 22.50 \text{ m}$$

$$h/d = 38,56 / 22,50 = 1,715$$

$$e_f = 9.50 \text{ m}$$

$$e_0 = 9.242 \text{ m}$$

$$e = 9.50 \text{ m}$$

$$C_{op} = 0,5$$

$$E = 2e/d = 2 * 9.50 / 22.50 = 0,844$$

h/d 1,2 den büyük olduğu için C_{pe} bulunmasında 5.1 formülü kullanılmalıdır.

$$C_{pe} = 0,42 C_{op} \{1 + 2E^2\} (1 - \exp(-1,5[(h/d) - 1])) \quad (5.1)$$

$$= 0,42 * 0,5 * \{1 + 2 * (0,844)^2\} (1 - \exp(-1,5[(1,715) - 1]))$$

$$= 0,33515$$

Bulunan C_{pe} değeri, çimentonun silo shaftına yaptığı yatay basınç bulunduğundan sonra bu değerle çarpılarak tekrar yatay basınçla toplanacaktır. Silonun yatay basıncı “p” dir. Eksantrik boşaltma yükü eklenmiş çimento silo yatay basıncı ise;

$$p = p + p * C_{pe} \quad (5.2)$$

5.6.2 Çimento basıncı

Silo içine doldurulan çimentonun, silo shaftına uyguladığı basınç Janssen yöntemi ile hesaplanmıştır. Hesapların yapılabilmesi için gerekli olan değerler ACI313-97 şartnamesinde verilen ve ayrıca bölüm 3.1”Siloda Stoklanacak Malzemenin

Özellikleri” de belirtilen değerler alınmıştır. Eksantrik boşaltma yükü hesaplara dâhil edilmiştir.

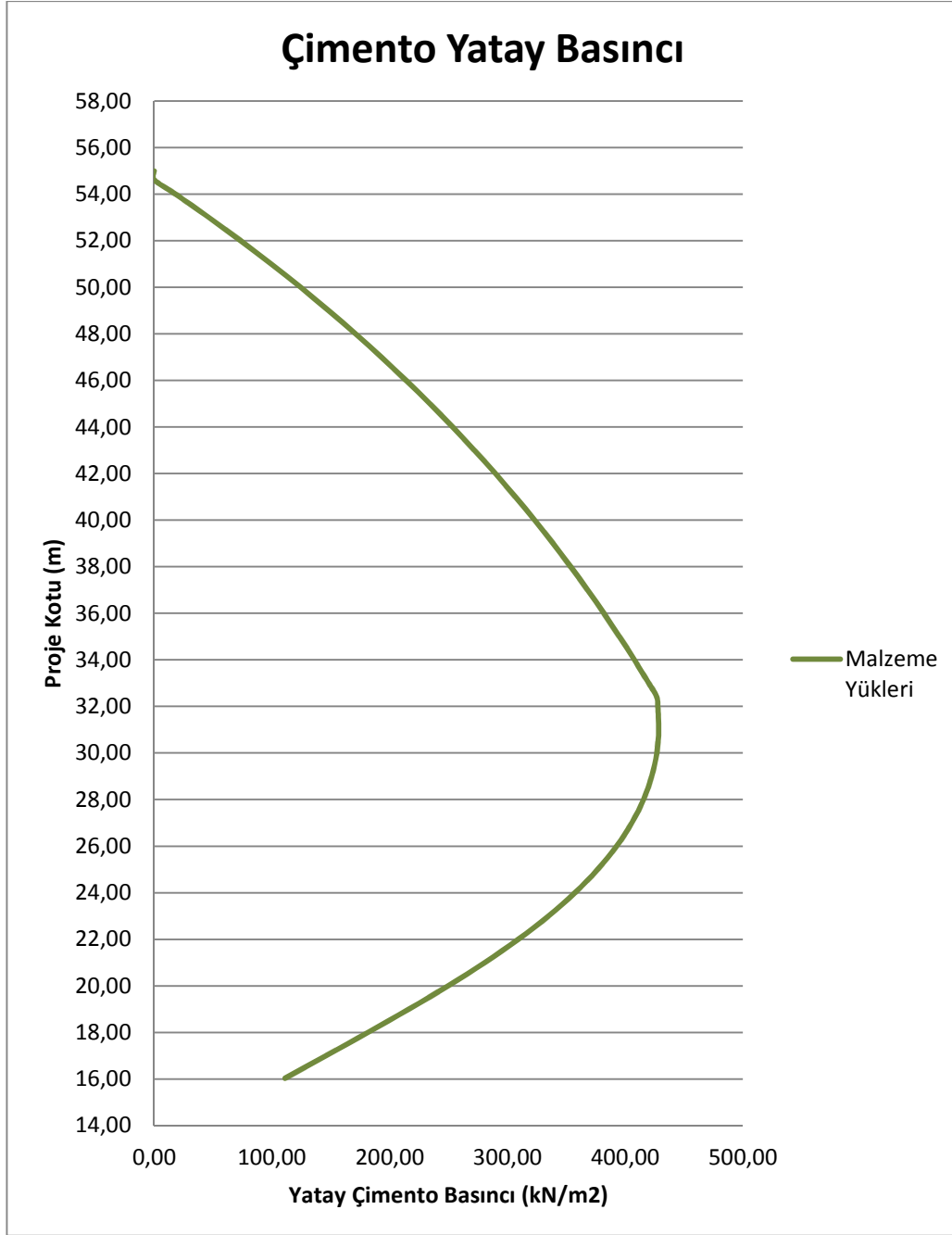
Malzeme basınçları +32,43 kotu olan bunkerin başladığı yere kadar artarak devam ediyor, ancak bunkerin başlamasıyla beraber hidrolik yarıçapındaki değişiklik silo şaftından oluşan yatay çimento basıncında azalmaya sebep olur. Silo şaftı tasarımında istenildiği takdirde bu azalma göz önüne alınmayabilir. Ardgerme hesaplarında malzeme basıncındaki bu azalma göz önüne alınmayacaktır ve +32,43 kotundaki maksimum malzeme basıncı alt kotlar içinde geçerli olacaktır. Malzeme basıncının silo kotu ile değişimi aşağıdaki grafikte görülebilir.

Çizelge 5.7 : Çimento Basıncı

KOT	ŞAFT			BUNKER			BİRİM AĞIRLIK	R	Y	q	p	V	YÜK ARTIRIM KATSAYISI	DİZAYN YÜKLERİ (Kn/m2)					
	İÇ ÇAP	ALAN	HACİM	DIŞ ÇAP	ALAN	HACİM								q	p	V	Ecc.	P	1.7 P
55,00	22,50	397,61	0,00				16,00	5,63									0,00	0,00	0,00
54,63	22,50	397,61	0,00				16,00	5,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54,00	22,50	397,61	248,90				16,00	5,63	0,63	9,91	5,86	1,46	1,50	14,86	8,80	2,19	1,97	10,76	18,30
53,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	1,63	25,28	14,92	29,87	1,50	37,92	22,38	44,80	5,00	27,37	46,54
52,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	2,63	40,11	23,60	54,65	1,50	60,17	35,39	81,97	7,91	43,30	73,61
51,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	3,63	54,43	31,92	83,90	1,50	81,65	47,87	125,85	10,70	58,57	99,57
50,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	4,63	68,25	39,89	117,32	1,50	102,37	59,84	175,99	13,37	73,21	124,45
49,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	5,63	81,58	47,54	154,63	1,50	122,38	71,31	231,95	15,93	87,24	148,31
48,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	6,63	94,45	54,87	195,56	1,50	141,68	82,30	293,33	18,39	100,69	171,18
47,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	7,63	106,87	61,90	239,85	1,50	160,31	92,85	359,77	20,75	113,59	193,11
46,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	8,63	118,86	68,64	287,28	1,50	178,29	102,95	430,92	23,00	125,96	214,13
45,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	9,63	130,43	75,09	337,63	1,50	195,64	112,64	506,45	25,17	137,81	234,28
44,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	10,63	141,59	81,29	390,71	1,50	212,38	121,93	586,06	27,24	149,17	253,60
43,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	11,63	152,36	87,22	446,31	1,50	228,54	130,84	669,47	29,23	160,07	272,12
42,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	12,63	162,76	92,92	504,28	1,50	244,14	139,37	756,42	31,14	170,51	289,87
41,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	13,63	172,79	98,37	564,45	1,50	259,19	147,56	846,68	32,97	180,53	306,90
40,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	14,63	182,48	103,60	626,67	1,50	273,71	155,40	940,00	34,72	190,13	323,22

Çizelge 5.7 (devam) : Çimento Basıncı

KOT	ŞAFT			BUNKER			BİRİM AĞIRLIK	R	Y	q	p	V	YÜK ARTIRIM KATSAYISI	DİZAYN YÜKLERİ (Kn/m2)					
	İÇ ÇAP	ALAN	HACİM	DIŞ ÇAP	ALAN	HACİM								q	p	V	Ecc.	P	1.7 P
39,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	15,63	191,82	108,62	690,79	1,50	287,73	162,93	1036,18	36,40	199,33	338,86
38,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	16,63	200,84	113,43	756,69	1,50	301,26	170,14	1135,03	38,01	208,15	353,86
37,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	17,63	209,54	118,04	824,24	1,50	314,31	177,05	1236,36	39,56	216,61	368,24
36,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	18,63	217,94	122,45	893,34	1,50	326,91	183,68	1340,00	41,04	224,72	382,03
35,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	19,63	226,05	126,69	963,87	1,50	339,07	190,03	1445,80	42,46	232,50	395,24
34,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	20,63	233,87	130,75	1035,73	1,50	350,81	196,13	1553,60	43,82	239,95	407,91
33,00	22,50	397,61	397,61				16,00	5,63	21,63	241,42	134,64	1108,84	1,50	362,13	201,97	1663,26	45,13	247,09	420,06
32,43	22,50	397,61	226,64	0,00	0,00	0,00	16,00	5,63	22,20	245,60	136,79	1151,04	1,50	368,41	205,19	1726,56	45,85	251,03	426,76
32,00	22,50	397,61	170,97	0,50	0,19	0,03	16,00	5,50	22,63	246,76	137,13	1168,17	1,50	370,15	205,70	1752,26	45,96	251,66	427,82
31,00	22,50	397,61	397,61	1,65	2,14	0,99	16,00	5,21	23,63	248,56	137,38	1203,90	1,50	372,84	206,07	1805,85	46,04	252,12	428,60
30,00	22,50	397,61	397,61	2,80	6,18	3,98	16,00	4,92	24,63	249,04	136,85	1233,30	1,50	373,55	205,27	1849,95	45,86	251,13	426,93
29,00	22,50	397,61	397,61	3,96	12,31	9,07	16,00	4,64	25,63	248,08	135,48	1255,54	1,50	372,13	203,22	1883,30	45,41	248,62	422,66
28,00	22,50	397,61	397,61	5,11	20,54	16,25	16,00	4,35	26,63	245,59	133,23	1269,72	1,50	368,39	199,84	1904,59	44,65	244,49	415,64
27,00	22,50	397,61	397,61	6,27	30,87	25,53	16,00	4,06	27,63	241,44	130,05	1274,97	1,50	362,16	195,07	1912,45	43,59	238,66	405,72
26,00	22,50	397,61	397,61	7,42	43,28	36,90	16,00	3,77	28,63	235,51	125,90	1270,35	1,50	353,27	188,85	1905,53	42,20	231,05	392,78
25,00	22,50	397,61	397,61	8,58	57,79	50,36	16,00	3,48	29,63	227,69	120,75	1254,98	1,50	341,54	181,12	1882,47	40,47	221,59	376,71
24,00	22,50	397,61	397,61	9,73	74,40	65,92	16,00	3,19	30,63	217,87	114,57	1227,97	1,50	326,81	171,86	1841,96	38,40	210,26	357,44
23,00	22,50	397,61	397,61	10,89	93,10	83,58	16,00	2,90	31,63	205,96	107,37	1188,53	1,50	308,94	161,05	1782,79	35,98	197,04	334,97
22,00	22,50	397,61	397,61	12,04	113,90	103,33	16,00	2,61	32,63	191,91	99,16	1135,90	1,50	287,87	148,75	1703,85	33,24	181,98	309,37
21,00	22,50	397,61	397,61	13,20	136,79	125,17	16,00	2,33	33,63	175,74	90,02	1069,49	1,50	263,60	135,03	1604,24	30,17	165,20	280,84
20,00	22,50	397,61	397,61	14,35	161,77	149,10	16,00	2,04	34,63	157,52	80,04	988,83	1,50	236,29	120,06	1483,24	26,83	146,88	249,70
19,00	22,50	397,61	397,61	15,51	188,85	175,14	16,00	1,75	35,63	137,49	69,38	893,58	1,50	206,24	104,07	1340,38	23,25	127,32	216,45
18,00	22,50	397,61	397,61	16,66	218,02	203,26	16,00	1,46	36,63	116,00	58,24	783,58	1,50	174,01	87,36	1175,37	19,52	106,87	181,68
17,00	22,50	397,61	397,61	17,82	249,29	233,48	16,00	1,17	37,63	93,53	46,82	658,75	1,50	140,30	70,23	988,13	15,69	85,92	146,06
16,03	22,50	397,61	386,08	18,94	281,65	257,61	16,00	0,89	38,60	71,25	35,63	523,32	1,50	106,87	53,44	784,99	11,94	65,38	111,15
16,00	22,50	397,61																	
15,00	22,50	397,61																	
14,00	22,50	397,61																	
13,00	22,50	397,61																	
12,64	22,50	397,61																	



Şekil 5.3 Yatay çimento basıncının düşey dağılımı

5.6.3 Bunker üzerine gelen yükler ve beton gerilmeleri

Tasarlanan bunker özel bir bunker olduğundan, özel bunkerler kısmında belirtilen formüller geçerli olacaktır. Bu formüller ile bunkerin her bir metrelik kısmındaki gerilmeler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Çizelge 5.8 : Bunker gerilmeleri

	ÖLÜ YÜK		ÖLÜ YÜK P		TOPLAM ÖLÜ YÜK		ÇİMENTO AĞIRLIĞINDAN GELEN YÜK					TOPLAM	
KOT	Fm	Ft	Fm	Ft	Fm	Ft	Pz	Z	Py	Fm	Ft	Fm	Ft
(m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
35,000													
34,000													
33,000													
32,430													
32,000													
31,000													
30,000													
29,943							394,928	98,732	-2595,935	0,000	-163,632	0,000	-163,632
29,000							410,016	102,504	-4815,006	-218,447	-234,324	-218,447	-234,324
28,943	-16,446	-16,733	-27,800	27,800	-44,246	11,067	410,928	102,732	-4968,678	-230,345	-238,749	-274,592	-227,682
28,000	-29,123	-21,259	-21,881	21,881	-51,004	0,622	426,016	106,504	-7813,802	-416,542	-314,471	-467,546	-313,849
27,000	-41,190	-26,059	-17,851	17,851	-59,041	-8,209	442,016	110,504	-11411,383	-602,677	-399,951	-661,717	-408,159
26,000	-52,490	-30,859	-15,074	15,074	-67,564	-15,785	458,016	114,504	-15540,729	-785,750	-490,764	-853,314	-506,549
25,000	-63,332	-35,659	-13,045	13,045	-76,377	-22,614	474,016	118,504	-20134,819	-969,869	-586,911	-1046,246	-609,525
24,000	-73,880	-40,459	-11,497	11,497	-85,377	-28,962	490,016	122,504	-25126,632	-1157,193	-688,391	-1242,570	-717,353
23,000	-84,226	-45,259	-10,278	10,278	-94,504	-34,981	506,016	126,504	-30449,147	-1348,965	-795,204	-1443,469	-830,185
22,000	-94,429	-50,059	-9,292	9,292	-103,722	-40,767	522,016	130,504	-36035,345	-1545,951	-907,351	-1649,673	-948,118
21,000	-104,527	-54,859	-8,479	8,479	-113,007	-46,380	538,016	134,504	-41818,203	-1748,649	-1024,831	-1861,656	-1071,211
20,000	-114,545	-59,659	-7,797	7,797	-122,342	-51,862	554,016	138,504	-47730,702	-1957,397	-1147,644	-2079,739	-1199,506
19,000	-124,500	-64,459	-7,217	7,217	-131,717	-57,243	570,016	142,504	-53705,821	-2172,431	-1275,791	-2304,148	-1333,034
18,000	-134,407	-69,259	-6,716	6,716	-141,123	-62,543	586,016	146,504	-59676,540	-2393,923	-1409,271	-2535,046	-1471,814
17,000	-144,273	-74,059	-6,281	6,281	-150,554	-67,778	602,016	150,504	-65575,837	-2622,001	-1548,084	-2772,555	-1615,862
16,029	-153,822	-78,720	-5,909	5,909	-159,732	-72,811	617,552	154,388	-71172,196	-2849,857	-1687,976	-3009,588	-1760,786
16,000													
15,000													
14,000													
13,000													

Burada bulunan gerilmeler yatay ve düşey doğrultuda betonarme bunker üzerindeki gerilmeleri temsil etmektedir. Bu gerilmeler aynı zamanda SAP2000 programından alınabilir. Bu gerilmelerden faydalanılarak bunker ve halka kirişin donatıları hesaplanacaktır.

5.7 Ardgerme Hesapları

5.7.1 7C15 kabloları kayıpların hesaplanması

Kablo tipi :Freyssinet 7C15.3

Kalite :1860Mpa

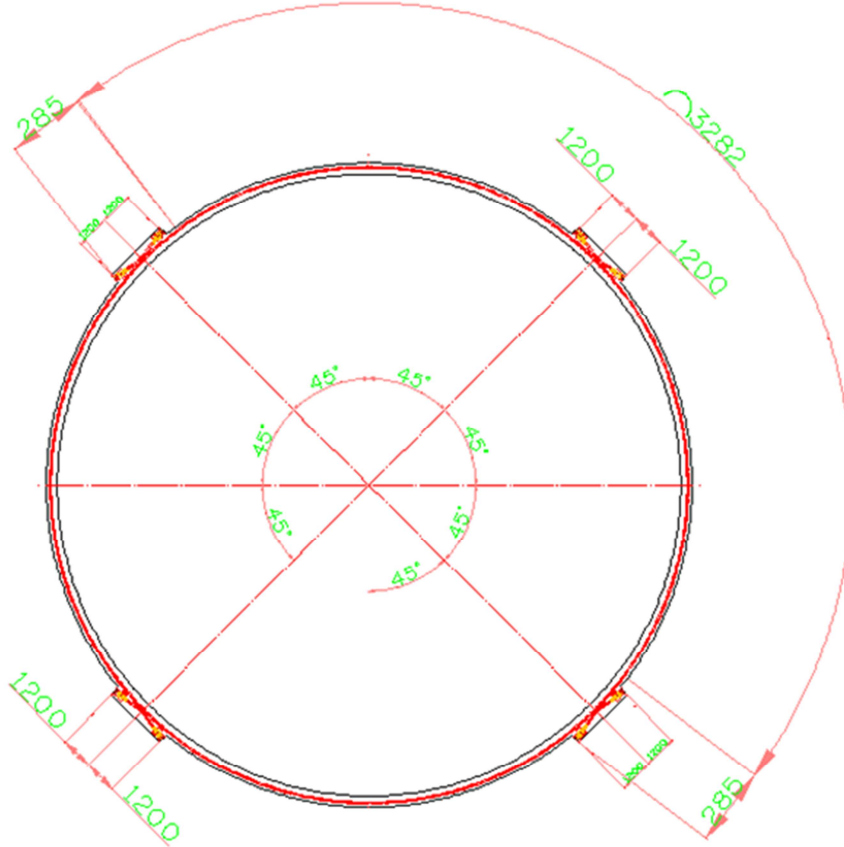
Kablo kesit alanı(A_s) :140x 7= 980mm²

Çelik kopma dayanımı(F_{pk}) :260x7=1820kN

Elastik Limit (F_p) : 229x7=1603Kn

Çeliğin elastisite modülüsü(E_s) : 1,95x10⁸

İlk germe kuvveti (P_{pj}) $\leq F_{pk} \times 0,7 = 0,7 \times 1855 = 1274,0 \text{Kn}$



Şekil 5.4 : 7C15.3 Ardgerme kablosunun boyu

Kablonun iki ucundan 35cmlik ekstra kablo boyu bırakılır.

Bir kablo uzunluğu: 32,82m+2,85m+2,85m+0,35m+0,35m=39,22m

5.7.1.1 Sürtünme kayıpları;

$$k = 0,0008$$

$$\mu = 0,19$$

$$L = 39,223m$$

$$\alpha = 1,57rad$$

$$P_{(x)} = P_0 * e^{-(\mu*\alpha+k*x)} \quad (5.3)$$

$$P_{(x)} = P_0 * e^{-(\mu*\alpha+k*x)} = 1274 * e^{-(0,0008*19,61+0,19*1,57)} = 930,69kN$$

5.7.1.2 Kama oturması

$$w = \sqrt{\frac{\Delta I_c * E_s * A_s}{\Delta p}} \quad (5.4)$$

$$\Delta P = 2x\Delta p x w \quad (5.5)$$

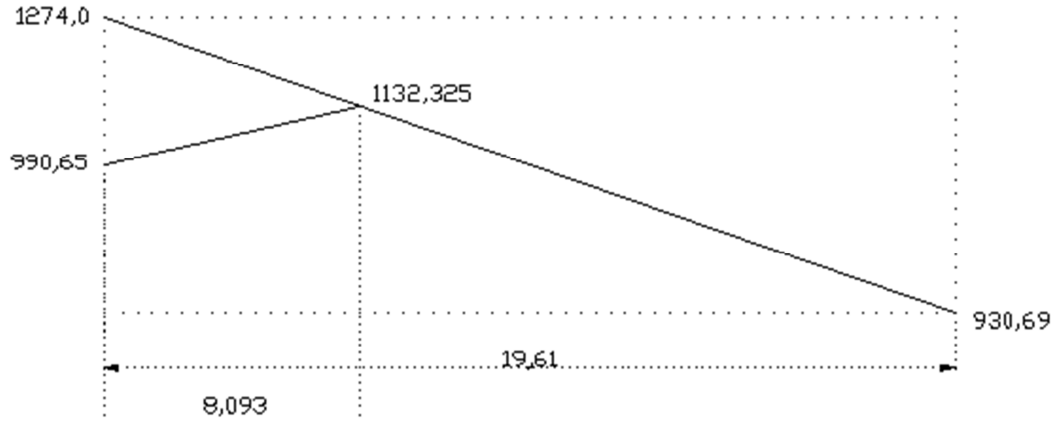
$$\Delta I_c = 0,006$$

$$\Delta p = \frac{1274 - 930,69}{19,61} = 17,51kN / m$$

$$w = \sqrt{\frac{0,006x1,95x10^8 x980x10^{-6}}{17,51}} = 8,093m$$

$$\Delta P = 2x17,51x8,093 = 283,351kN$$

$$P_{pj} - \Delta P = 990,649 kN$$



Şekil 5.5 : 7C15.3 Ardgerme kablosundaki kayıplar

$$P_{ortalama} = \left(\frac{1158,32 + 1216,16}{2} \times 3,30 + \frac{1216,16 + 930,69}{2} \times 16,31 \right) / 19,61 = 1102,35 \text{ kN}$$

5.7.1.3 Kablo uzaması

$$\Delta L = \frac{P_m \cdot L}{E_s \cdot A_s} \quad (5.6)$$

$$P_m = \frac{P_o - P_x}{\mu \alpha + kx} \quad (5.7)$$

$$P_m = \frac{1274 - 930,69}{0,19 \cdot 1,57 + 39,223 \cdot 0,0008} = 1041,34 \text{ kN}$$

$$\Delta L = \frac{1041,34 \cdot 39,223}{1,95 \cdot 10^8 \cdot 980 \cdot 10^{-6}} = 0,214 \text{ m}$$

5.7.1.4 Ardgerme çeliğinin uzamasından dolayı oluşan kayıplar.

İlk germe kuvvetinin %70'i kadar germe yapıldığında, ardgerme çeliğindeki uzama kaybı germe kuvvetinin %2,5'i olarak kabul edilir.

$$= 0,025 \cdot 1274 = 31,85 \text{ kN} / \text{m}^2$$

5.7.2 13C15 kabloları kayıpların hesaplanması

Kablo tipi : Freyssinet 13C15.3

Kalite : 1860 Mpa

Kablo kesit alanı (A_s) : 140 × 13 = 1820 mm²

Çelik kopma dayanımı(F_{pk}) : $260 \times 13 = 3380 \text{ kN}$

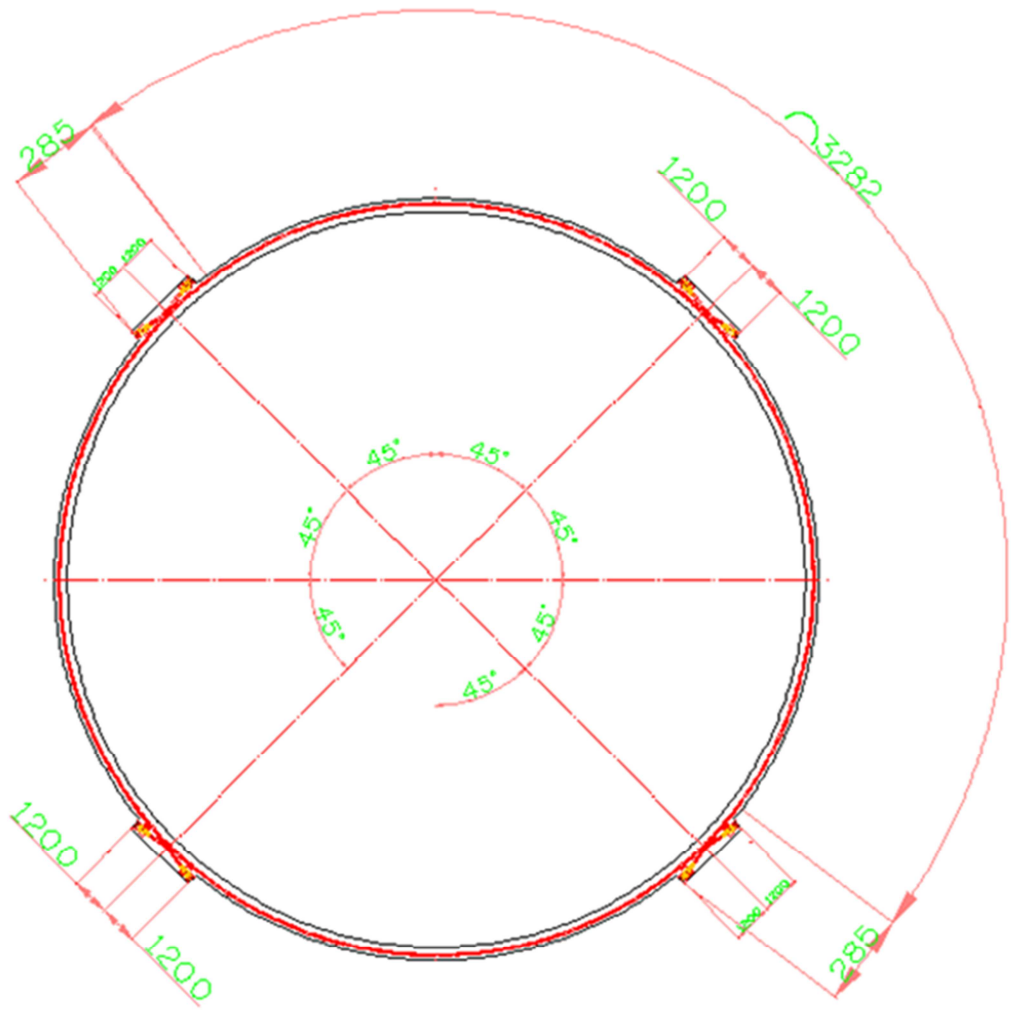
Elastik Limit (F_p) : $229 \times 13 = 2977 \text{ Kn}$

Çeliğin elastisite modülüsü(E_s) : $1,95 \times 10^8$

İlk germe kuvveti (P_{pj}) $< F_{pk} \times 0,7 = 0,7 \times 3380 = 2366 \text{ Kn}$

Kablonun iki ucundan 35cmlik ekstra kablo boyu bırakılır.

Bir kablo uzunluğu: $32,82\text{m} + 2,85\text{m} + 2,85\text{m} + 0,35\text{m} + 0,35\text{m} = 39,22\text{m}$



Şekil 5.6 : 13C15.3Ardgerme kablusunun boyu

5.7.2.5 Sürtünme kayıpları

$$k = 0,0008$$

$$\mu = 0,19$$

$$L = 39,223m$$

$$\alpha = 1,57rad$$

$$P_{(x)} = P_0 * e^{-(\mu * \alpha + k * x)} \quad (5.8)$$

$$P_{(x)} = P_0 * e^{-(\mu * \alpha + k * x)} = 2366 * e^{-(0,0008 * 19,61 + 0,19 * 1,57)} = 1728,43kN$$

5.7.2.6 Kama oturması

$$w = \sqrt{\frac{\Delta I_c * E_s * A_s}{\Delta p}} \quad (5.9)$$

$$\Delta P = 2x\Delta p x w \quad (5.10)$$

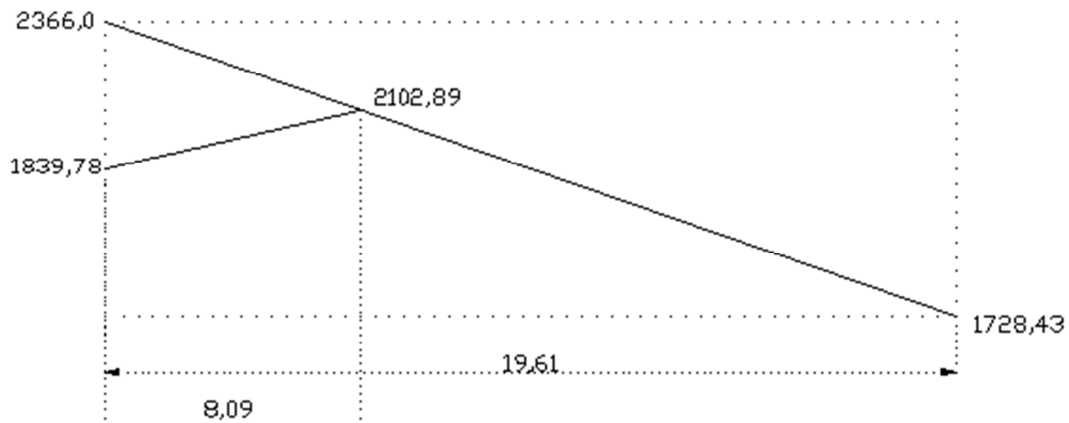
$$\Delta I_c = 0,006$$

$$\Delta p = \frac{2366 - 1728,43}{19,61} = 32,51kN / m$$

$$w = \sqrt{\frac{0,006 * 1,95 * 10^8 * 1820 * 10^{-6}}{32,51}} = 8,09m$$

$$\Delta P = 2 * 32,51 * 8,09 = 526,22kN$$

$$P_{pj} - \Delta P = 1839,78kN$$



Şekil 5.7 : 13C15.3 Ardgerme kablosundaki kayıplar

5.7.2.7 Kablo uzaması

$$\Delta L = \frac{P_m * L}{E_s * A_s} \quad (5.11)$$

$$P_m = \frac{P_o - P_x}{\mu \alpha + kx} \quad (5.12)$$

$$P_m = \frac{2366 - 1728,43}{0,19 * 1,57 + 39,223 * 0,0008} = 1933,15 kN$$

$$\Delta L = \frac{1933,9 * 39,223}{1,95 * 10^8 * 1820 * 10^{-6}} = 0,214 m$$

7C15,3 ve 13C15,3 kablolarındaki uzamaların aynı olması gerekmektedir ve hesaplarda uzama boylarının aynı olduğu görülmüştür.

5.7.2.8 Ardgerme çeliğinin uzamasından dolayı oluşan kayıplar.

İlk germe kuvvetinin %70'i kadar germe yapıldığında, ardgerme çeliğindeki uzama kaybı germe kuvvetinin %2,5'i olarak kabul edilir.

$$= 0,025 * 2366 = 59,15 kN / m^2$$

5.7.3 Betonun rötre ve sünmesi sonucu oluşan kayıplar

$$\Delta P_{c+s} = 100x \frac{\Delta \sigma_{p,c+s}}{\sigma_{po}} \quad (5.13)$$

$$\Delta \sigma_{p,c+s} = \frac{\varepsilon_{s\infty} x E_s + \alpha x \varphi_{\infty} x (\sigma_c, p_o + g)}{1 - \alpha \frac{\sigma_{cpo}}{\sigma_{po}} (1 + \frac{\varphi_{\infty}}{2})}; \alpha = \frac{E_s}{E_c} \quad (5.14)$$

$$\alpha = \frac{195000}{32000} = 6,09375$$

$$\varepsilon_{s\infty} = -0,22 \times 10^{-3}$$

$$\varphi_{\infty} = 2$$

$$\sigma_{cpo} = \frac{1274}{980 \times 10^{-6}}$$

σ_{cpo} = Bu değer kablo aralığına göre değişiklik gösterecektir.

Bu hesaplar 7C15.3 ve 13C15.3 kabloları için silonun her bir metresi için hesaplanmış olup excel dosyasına aktarılmıştır. Ayrıca üst tarafta hesapları yapılan sürtünme, kamalama ve oturma kayıpları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Bu kayıplar aynı zamanda ASSHTO yönetmeliği kullanılarak da hesaplanmış ve kayıpların birbirine yakınlığı kontrol edilmiştir. Kablo özellikleri 13C15.3 ve 7C15.3 için tabloda gösterilmiş ve bu değerler üzerinden sürtünme, uzama ve kamalama kayıpları CEB-FIB ve ASSHTO için ortak hesaplanmıştır. Kıyaslama yapılan kayıplar sürtünme, uzama ve kamalama kaybı dışında kalan kayıplar için yapılmıştır. Bu kayıplar göreceli olduğu için farklı yönetmeliklerde farklı yöntemlerle hesaplanabilmektedir.

Çizelge 5.9 : Kablo özellikleri ve kayıplar

Kablo tipi=		13C15.3	7C15.3
As(mm ²)=	140	1820	980
F kırılma(kN)=	260	3380	1820
F akma(kN)=	229	2977	1603
13C15.3(adet)=	13		
7C15.3(adet)=	7		
Tendonun uzunluğu(m)=	39,223		
Simetri eksenine göre uzunluk(m)=	19,61		
Germe kuvveti(Kn)=		2366,00	1274,000
sürtünme kaybı(kN)=		1728,43	930,691
$\Delta p(kN/m)$ =		32,51	17,506
Kamalama kaybı $\Delta L(m)$ =	0,006		
$\Delta P(kN)$ =		526,22	283,351
w=		8,09	8,093
Port(kN)=		2047,21	1102,346
Et kalınlığı:	0,4		
	Port(KN)=	2047,21	1102,346

Ardgerme hesaplarında kullanılan kabloların özellikleri, ilk germe kuvveti ve önceki bölümlerde hesapları yapılan çeşitli kayıpların değerleri Çizelge 5.9’da gösterilmiştir. ASSHTO ile hesaplanan ardgerme kablolarında, sürtünme, uzama ve kamalama kaybı dışında oluşan kayıplar aşağıdaki excelde özetlenmiştir. Bu hesaplarda nem oranı %75 kabul edilmiştir. Beton gerilmeleri daha önce hesaplanan çizelge 4.6’dan alınmıştır. Burada;

$$SH = 1000psi$$

ES ve CR_c = Beton gerilmelerine göre çizelge 5.10 da ortalama değerler alınmıştır.

Çizelge 5.10 : ES ve CR_c değerleri

Çevredeki bağıl nem oranı	SH	Serbest haldeki beton gerilmesi	ES
	(psi)	(psi)	(psi)
%75 - %100	5000	600	4000
%25 - %75	10000	800	5500
%25 altı	15000	1000	7000

Çizelge 5.11 : ASSHTO ile hesaplanan ardgerme kayıpları

Kot	Bağıl Nem	Serbest Haldeki Beton gerilmesi		Ölü Yükler Altında Beton Gerilmesi		SH	ES	CR _c	CR _{sp}	Δfs	
(m)	(%)	(kN)	(psi)	(kN)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(p)	(kN)
55,5	75,0	963,6	139,7	963,6	139,7	10000,0	931,5	2235,6	18662,3	29363,6	130,6
55,0	75,0	505,5	73,3	505,5	73,3	10000,0	488,7	1172,8	18822,9	28240,0	125,6
54,6	75,0	520,1	75,4	520,1	75,4	10000,0	502,8	1206,7	18817,7	28275,8	125,8
54,0	75,0	544,5	79,0	550,3	79,8	10000,0	526,4	1276,6	18807,5	28347,3	126,1
53,0	75,0	583,5	84,6	700,5	101,6	10000,0	564,1	1625,1	18761,6	28668,8	127,5
52,0	75,0	622,6	90,3	836,5	121,3	10000,0	601,8	1940,6	18719,8	28961,4	128,8
51,0	75,0	661,6	95,9	990,0	143,6	10000,0	639,5	2296,9	18672,9	29289,5	130,3
50,0	75,0	700,6	101,6	1159,9	168,2	10000,0	677,2	2690,9	18621,3	29650,9	131,9
49,0	75,0	739,6	107,2	1344,9	195,0	10000,0	714,9	3120,3	18565,3	30043,0	133,6
48,0	75,0	778,6	112,9	1544,2	223,9	10000,0	752,7	3582,5	18505,1	30464,0	135,5
47,0	75,0	817,6	118,6	1756,6	254,7	10000,0	790,4	4075,3	18441,2	30911,7	137,5
46,0	75,0	856,6	124,2	1981,3	287,3	10000,0	828,1	4596,6	18373,7	31384,3	139,6
45,0	75,0	895,7	129,9	2217,4	321,5	10000,0	865,8	5144,4	18302,8	31880,1	141,8
44,0	75,0	934,7	135,5	2464,2	357,3	10000,0	903,5	5716,9	18228,9	32397,6	144,1
43,0	75,0	973,7	141,2	2720,9	394,5	10000,0	941,2	6312,5	18152,1	32935,2	146,5
42,0	75,0	1012,7	146,8	2986,9	433,1	10000,0	978,9	6929,5	18072,6	33491,6	149,0
41,0	75,0	1051,7	152,5	3261,4	472,9	10000,0	1016,7	7566,5	17990,7	34065,4	151,5
40,0	75,0	1090,7	158,2	3544,0	513,9	10000,0	1054,4	8222,0	17906,3	34655,6	154,2
39,0	75,0	1129,7	163,8	3834,0	555,9	10000,0	1092,1	8894,9	17819,9	35260,9	156,8
38,0	75,0	1168,8	169,5	4131,0	599,0	10000,0	1129,8	9584,0	17731,4	35880,3	159,6
37,0	75,0	1207,8	175,1	4434,5	643,0	10000,0	1167,5	10288,0	17641,0	36512,8	162,4
36,0	75,0	1246,8	180,8	4744,0	687,9	10000,0	1205,2	11006,1	17548,9	37157,6	165,3
35,0	75,0	1285,8	186,4	5059,1	733,6	10000,0	1242,9	11737,1	17455,2	37813,8	168,2
34,0	75,0	1324,8	192,1	5379,5	780,0	10000,0	1280,6	12480,4	17359,9	38480,6	171,2
33,0	75,0	1363,8	197,8	5704,7	827,2	10000,0	1318,4	13234,9	17263,2	39157,3	174,2
32,4	75,0	1386,1	201,0	5892,1	854,4	10000,0	1339,9	13669,7	17207,5	39547,2	175,9
32,0	75,0	1402,8	203,4	5976,0	866,5	10000,0	1356,1	13864,3	17182,2	39724,5	176,7
31,0	75,0	1441,8	209,1	6154,8	892,5	10000,0	1393,8	14279,2	17128,0	40104,1	178,4
30,0	75,0	1480,9	214,7	6309,0	914,8	10000,0	1431,5	14636,8	17080,9	40433,5	179,9
29,0	75,0	1519,9	220,4	6435,0	933,1	10000,0	1469,2	14929,2	17042,0	40705,9	181,1
28,0	75,0	1558,9	226,0	6529,6	946,8	10000,0	1506,9	15148,6	17012,2	40914,3	182,0
27,0	75,0	1597,9	231,7	6589,1	955,4	10000,0	1544,6	15286,7	16992,6	41051,7	182,6
26,0	75,0	1636,9	237,4	2169,3	314,5	10000,0	1582,3	5032,8	18272,0	32096,0	142,8
25,0	75,0	1675,9	243,0	2208,3	320,2	10000,0	1620,1	5123,3	18258,3	32191,7	143,2
24,0	75,0	1714,9	248,7	2247,3	325,9	10000,0	1657,8	5213,8	18244,7	32287,4	143,6
23,0	75,0	1754,0	254,3	2286,4	331,5	10000,0	1695,5	5304,3	18231,0	32383,1	144,0
22,0	75,0	1793,0	260,0	2325,4	337,2	10000,0	1733,2	5394,8	18217,3	32478,8	144,5
21,0	75,0	1832,0	265,6	2364,4	342,8	10000,0	1770,9	5485,4	18203,6	32574,5	144,9
20,0	75,0	1871,0	271,3	2403,4	348,5	10000,0	1808,6	5575,9	18190,0	32670,2	145,3
19,0	75,0	1910,0	277,0	2442,4	354,1	10000,0	1846,3	5666,4	18176,3	32765,9	145,7
18,0	75,0	1949,0	282,6	2481,4	359,8	10000,0	1884,1	5756,9	18162,6	32861,6	146,2
17,0	75,0	1988,0	288,3	2520,4	365,5	10000,0	1921,8	5847,4	18149,0	32957,3	146,6
16,0	75,0	2025,9	293,8	2558,3	371,0	10000,0	1958,4	5935,3	18135,7	33050,2	147,0
16,0	75,0	2027,0	293,9	2559,4	371,1	10000,0	1959,5	5937,9	18135,3	33052,9	147,0
15,0	75,0	2066,1	299,6	2598,5	376,8	10000,0	1997,2	6028,4	18121,6	33148,6	147,5
14,0	75,0	2105,1	305,2	2637,5	382,4	10000,0	2034,9	6118,9	18108,0	33244,3	147,9

CEB-FIB'e göre yapılan hesap ile ASSHTO ile yapılan, rötre, sünme ve büzülme kayıpları çizelge 5.12 de karşılaştırılmıştır. CEB-FIB'e göre hesaplanan kayıplar ardgerme kablolarının kayıplardan sonraki son kuvvetini bulmakta kullanılmıştır.

Çizelge 5.12 : ASSHTO ve CEB-FIB yönetmeliklerinde kayıpların karşılaştırılması(KN)

Proje kotu	ASSHTO ile hesaplanan kayıplar	CEB-FIB'e göre hesaplanan kayıplar
55.50	130.62	0.00
55.00	125.62	0.00
54.63	125.78	0.00
54.00	126.10	0.00
53.00	127.52	8.76
52.00	128.83	8.76
51.00	130.29	8.76
50.00	131.89	91.12
49.00	133.64	91.12
48.00	135.51	91.12
47.00	137.50	91.12
46.00	139.60	91.12
45.00	141.81	141.84
44.00	144.11	141.84
43.00	146.50	141.84
42.00	148.98	141.84
41.00	151.53	141.84
40.00	154.16	141.84
39.00	156.85	178.23
38.00	159.60	178.23
37.00	162.42	178.23
36.00	165.29	178.23
35.00	168.20	205.21
34.00	171.17	205.21
33.00	174.18	205.21
32.43	175.91	205.21
32.00	176.70	205.21
31.00	178.39	205.21
30.00	179.86	205.21
29.00	181.07	205.21
28.00	182.00	205.21
27.00	182.61	205.21
26.00	142.77	205.21
25.00	143.20	205.21
24.00	143.62	205.21
23.00	144.05	205.21
22.00	144.47	205.21
21.00	144.90	205.21
20.00	145.32	205.21
19.00	145.75	205.21
18.00	146.18	205.21
17.00	146.60	205.21
16.03	147.01	205.21
16.00	147.03	205.21
15.00	147.45	205.21
14.00	147.88	205.21

Sürtünme, sıkıştırıcı oturması, kablo uzaması ve bu kayıplar dışında kalan çizelge 12 de karşılaştırılan, CEB-FIB ve ASSHTO yönetmelikleri için farklı hesaplanan kayıpların hepsi toplanıp, kablonun ilk germe kuvvetinden çıkarılmalıdır. Bu kısımdan sonra hesaplarda CEB-FIB ile hesapladığımız kayıplar kullanılmıştır.

Çizelge 5.13 : Net kablo kuvveti

Kablo	Kot	Aralık(m)	ΔP_{c+s} (Sünme ve Büzülme kaybı)	Δp (Kablo uzamasından dolayı kayıplar)	Bütün Kayıplardan sonra Kablo Kuvveti	Kablo demetinin kuvveti (KN/m)	Malzeme Basıncı (KN)
7C15	54.626	1.000	0.000	31.85	1070.496	1070.496	110.400
7C15	54.000	1.000	0.000	31.85	1070.496	1070.496	306.789
7C15	53.000	1.000	0.000	31.85	1070.496	1070.496	609.945
7C15	52.000	1.000	0.000	31.85	1070.496	1070.496	900.578
7C15	51.000	0.630	8.760	31.85	1061.736	1685.294	1179.205
7C15	50.000	0.630	8.760	31.85	1061.736	1685.294	1446.322
13C15	49.000	0.630	91.123	59.15	1896.941	3011.017	1702.404
13C15	48.000	0.630	91.123	59.15	1896.941	3011.017	1947.907
13C15	47.000	0.630	91.123	59.15	1896.941	3011.017	2183.268
13C15	46.000	0.630	91.123	59.15	1896.941	3011.017	2408.907
13C15	45.000	0.630	91.123	59.15	1896.941	3011.017	2625.225
13C15	44.000	0.630	91.123	59.15	1896.941	3011.017	2832.606
13C15	43.000	0.480	141.841	59.15	1846.222	3846.296	3031.421
13C15	42.000	0.480	141.841	59.15	1846.222	3846.296	3222.022
13C15	41.000	0.480	141.841	59.15	1846.222	3846.296	3404.750
13C15	40.000	0.480	141.841	59.15	1846.222	3846.296	3579.929
13C15	39.000	0.480	141.841	59.15	1846.222	3846.296	3747.872
13C15	38.000	0.410	178.228	59.15	1809.835	4414.232	3908.876
13C15	37.000	0.410	178.228	59.15	1809.835	4414.232	4063.230
13C15	36.000	0.410	178.228	59.15	1809.835	4414.232	4211.207
13C15	35.000	0.410	178.228	59.15	1809.835	4414.232	4353.072
13C15	34.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4489.076
13C15	33.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4619.461
13C15	32.429	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4691.481
13C15	32.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4702.749
13C15	31.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	30.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	29.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	28.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	27.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	26.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	25.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	24.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	23.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	22.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	21.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	20.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	19.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	18.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	17.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	16.029	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	16.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	15.000	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138
13C15	14.822	0.370	205.212	59.15	1782.851	4818.517	4711.138

Çizelge 5.13'te kayıplardan sonra kalan net kablo kuvveti verilmiştir. Her metrede bulunan kablo adedine göre, metrede oluşan ardgerme kuvveti bulunmuştur. Bu kuvvet malzemeden dolayı oluşan kuvvet ile karşılaştırılmıştır.

Malzeme kuvvetinin bulunması;

$$F = 1.7P * \left(\frac{D+t}{2} \right) \quad (5.15)$$

Bu formülde verilen P değeri Çizelge 4.7'den alınacaktır.

$$D = \text{İç çap} = 22.5 \text{ m}$$

$$T = \text{şaft kalınlığı} = 0,40 \text{ m}$$

Kablo demetinin kuvveti;

Bu kuvvet bir metrede bulunan kabloların oluşturduğu toplam ardgerme kuvvetidir. Bir metre için bulunmasının sebebi çimentonun silo şaftında oluşturduğu eksenel çekme kuvvetinin her bir metre için hesaplanmış olmasıdır.

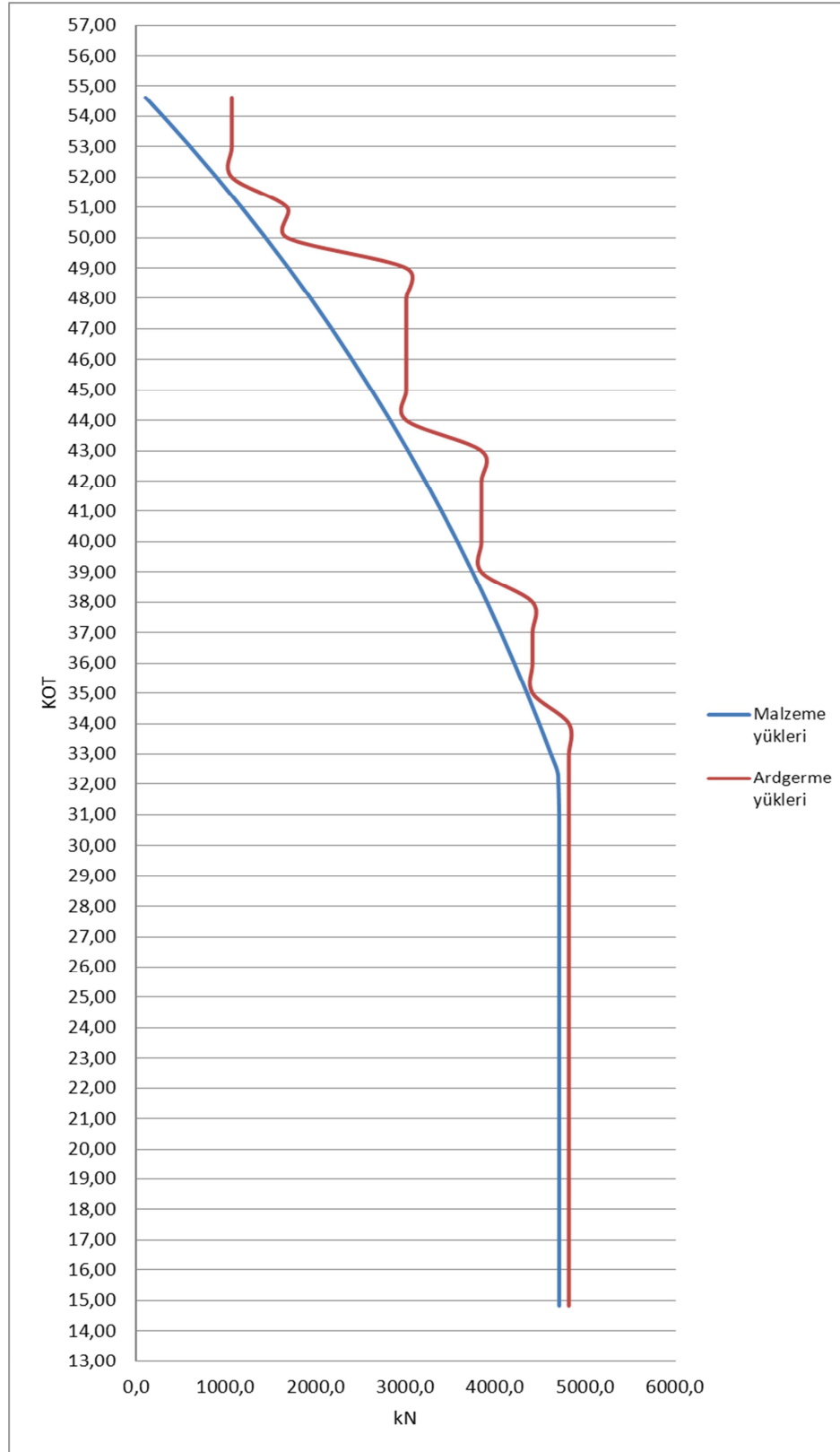
$$F_{ardgerme} = F_{kablo} * \left(\frac{\text{Bir metre}}{\text{Ardgerme aralan}} \right) \quad (5.16)$$

Örneğin +33,00 ile 34,00 kotu arasındaki ardgerme kuvvetini bulmak için;

$$F_{ardgerme} = 1782,851 * \left(\frac{1}{0,37} \right) = 4818,517 \text{ kN}$$

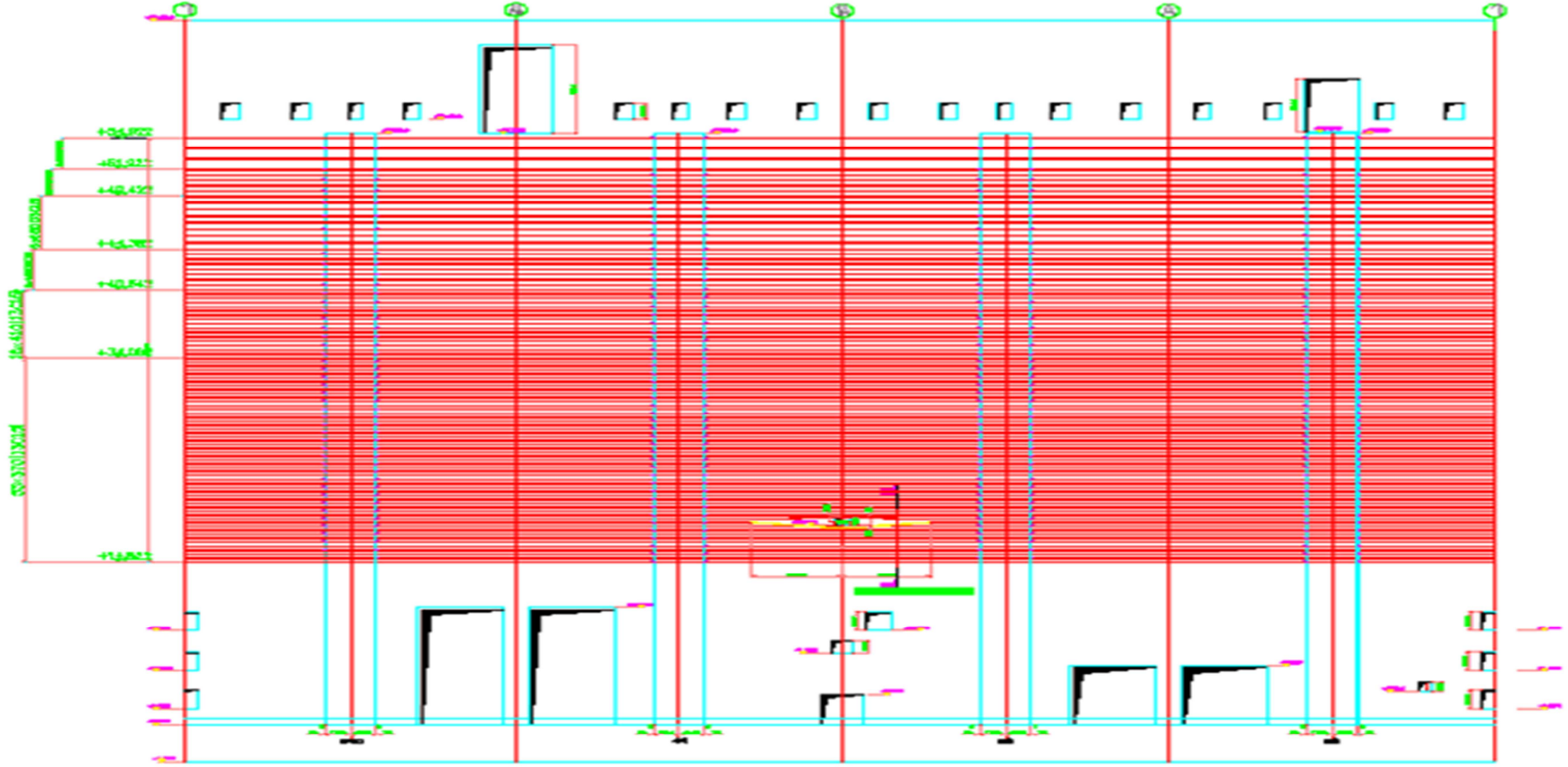
Bir metre için bulunan ardgerme kablolarının kuvveti, çimentonun silo şaftında oluşturduğu kuvvetten fazla olması gerekmektedir. Malzeme yükleri +31,00 kotuna kadar artarak gelmiş ve bu kottan sonra sabit kabul edilmiştir. Unutulmamalıdır ki, ardgerme kabloları ile sadece çimentonun silo şaftına uyguladığı kuvvetler karşılanmıştır. Silo şaftına etki eden rüzgâr, ardgerme sistemi uygulanmasından dolayı silo şaftında oluşan kalıcı basınç ve ısı farklılıklarından dolayı oluşan momentler için silo şaftına donatı yerleştirilmesi gerekmektedir. Genellikle silo şaftına koyulacak olan minimum donatılar bu kuvvetleri karşılamakta yeterli olmaktadır ancak fazla rüzgârlı ve ısı farkının çok olduğu durumlarda ekstra donatı koymaya ihtiyaç vardır. Şekil 4.8'de ardgerme kuvveti ile çimentonun silo şaftında

oluşturduğu kuvvetler karşılaştırılmıştır. Tekrar ifade etmek gerekirse bu malzeme yüklerinin ardgerme yüklerinden fazla olmaması gerekmektedir ve bu sağlanmıştır.



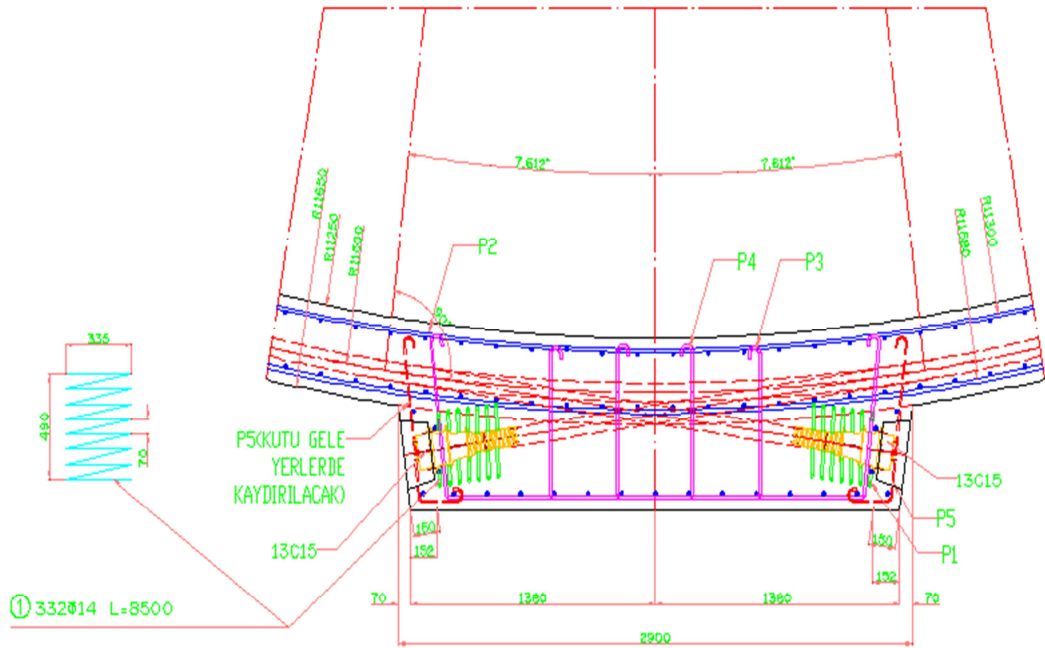
Şekil 5.8 : Malzeme yükleri- Ardgerme yükü

Siloya yerleştirilen ardgerme kabloları şekil 5.9 da görülmektedir.



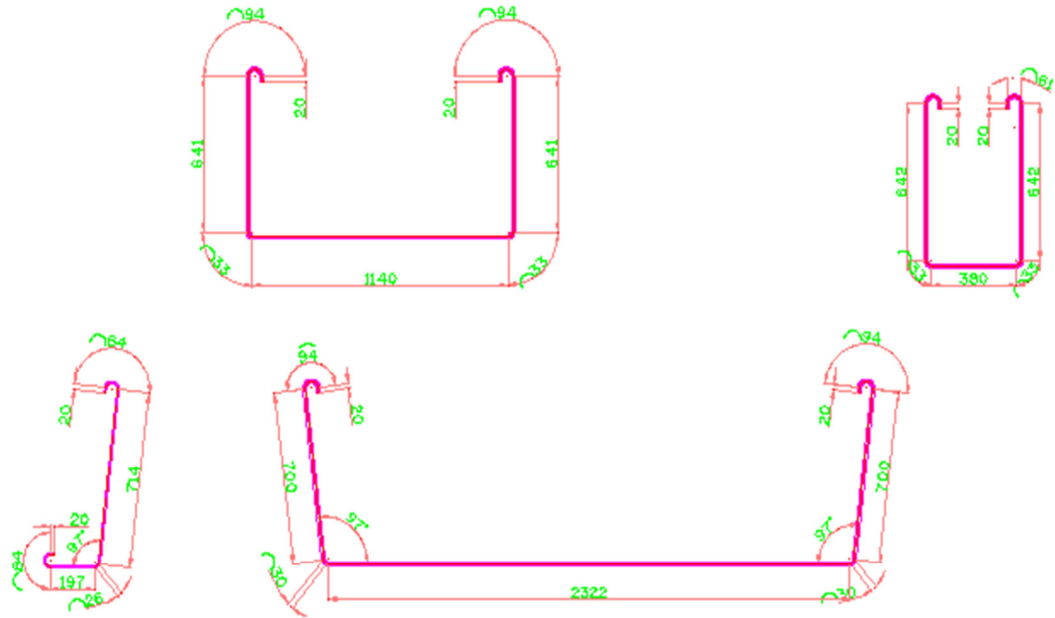
Şekil 5.9 : Ardgerme Kabloların Yerleşimi

Ardgerme kabloların betonarme guseler içine yerleşim planı şekil 5.10 da görülebilir.



Şekil 5.10 : Betonarme guse içine yerleştirilen ardgerme kabloları.

Betonarme guseye koyulan donatı ise şekil 5.11’de görülmektedir.



Şekil 5.11 : Betonarme guse donatıları

5.8 Ardgermesiz Tasarım

Ardgerme yapılmadığı bir durumda aynı siloyu aynı yükler altında silo şaftına donatı koyularak karşılanmaya çalışılmıştır. Çizelge 5.14 ardgerme kabloları yerine kullanılması gereken donatı alanını göstermektedir.

Çizelge 5.14 : Ardgerme yerine gerekli olan donatı

KOT (m)	ÇİMENTO BASINCI			
	MALZEME BASINCI (kN/m ²)	KALICI BASINÇ (kN/m ²)	F kN/m	GEREKLİ DONATI (cm ² /m)
55,00	0,000	110,400	110,400	3,06
54,63	0,000	110,400	110,400	3,06
54,00	17,152	110,400	306,789	8,49
53,00	43,628	110,400	609,945	16,89
52,00	69,011	110,400	900,578	24,93
51,00	93,345	110,400	1179,205	32,65
50,00	116,674	110,400	1446,322	40,04
49,00	139,040	110,400	1702,404	47,13
48,00	160,481	110,400	1947,907	53,93
47,00	181,037	110,400	2183,268	60,44
46,00	200,743	110,400	2408,907	66,69
45,00	219,635	110,400	2625,225	72,68
44,00	237,747	110,400	2832,606	78,42
43,00	255,111	110,400	3031,421	83,93
42,00	271,757	110,400	3222,022	89,20
41,00	287,716	110,400	3404,750	94,26
40,00	303,016	110,400	3579,929	99,11
39,00	317,683	110,400	3747,872	103,76
38,00	331,745	110,400	3908,876	108,22
37,00	345,225	110,400	4063,230	112,49
36,00	358,149	110,400	4211,207	116,59
35,00	370,539	110,400	4353,072	120,52
34,00	382,417	110,400	4489,076	124,28
33,00	393,804	110,400	4619,461	127,89
32,43	400,084	110,400	4691,356	129,88
32,00	401,078	110,400	4702,748	130,20
31,00	401,811	110,400	4711,135	130,43
30,00	400,246	110,400	4693,215	129,93
29,00	396,242	110,400	4647,373	128,66
28,00	389,659	110,400	4572,001	126,58
27,00	380,363	110,400	4465,555	123,63
26,00	368,230	110,400	4326,639	119,79
25,00	353,163	110,400	4154,118	115,01
24,00	335,099	110,400	3947,283	109,28
23,00	314,032	110,400	3706,063	102,60
22,00	290,034	110,400	3431,295	95,00
21,00	263,286	110,400	3125,026	86,52
20,00	234,097	110,400	2790,808	77,26
19,00	202,920	110,400	2433,833	67,38
18,00	170,329	110,400	2060,669	57,05
17,00	136,933	110,400	1678,283	46,46
16,00	104,203	110,400	1303,529	36,09

Çoğu zaman silolarda yatay donatının alt kısımlara doğru azalmasına izin verilmez. Ardgerme hesaplarında yapıldığı gibi silo shaftında donatı koyulacağı zaman kuvvetin maksimum olduğu kısımdaki gerekli olan donatı miktarı, malzemenin dolduğu en alt kota kadar devam ettirilir. Çizelge 5.14'te görüldüğü gibi +31,00 kotundan sonra donatılar azalmaya başlamıştır. Bu donatıları azaltmak yerine +31,00 kotu ve altında 130,43 cm² donatı koyulmaya devam edilmelidir. Burada dikkat edilmelidir ki +31,00 kotu ve sonrasında gerekli olan donatı miktarının beton alanına oranı

$$= \frac{130,43}{40 \cdot 100} \cdot 100 = \%3,26$$

olmuştur. Bu değer çok yüksek olduğu için silo shaftının kalınlığının artırılması gerekmektedir. Aynı siloyu ardgermesiz dizayn etmek için shaft kalınlığını 40 cm'den 60cm'ye çıkarırsak donatı oranı:

$$= \frac{130,43}{60 \cdot 100} \cdot 100 = \%2,17$$

olacaktır. Bu değer kabul edilebilir.

5.9 Ardgermeli ve Ardgermesiz tasarımların karşılaştırılması

5.9.1 Donatı ve kablo alanı karşılaştırması

Ardgermeli tasarımda silo shaftına koyulacak olan kablolar şu şekilde verilmektedir;

56 adet 13C15 +14,822 → +35,232

9 adet 13C15 +35,232 → +38,922

11 adet 13C15 +38,922 → +44,202

8 adet 13C15 +44,202 → +49,242

5 adet 7C15 +49,242 → +52,392

2 adet 7C15 +52,392 → +54,392

Toplam 13C15 sıra sayısı: 84

Toplam 13C15 kablo sayısı: 2*84=168

Toplam 7C15 sıra sayısı: 7

Toplam 7C15 kablo sayısı: 2*7=14

13C15 kablusunda 13 adet, 7C15 kablusunda 7 adet kablo bulunmaktadır. Bu kabloların her birinin alanı 1.4 cm^2 'dir.

Toplam kablo sayısı: $168*13+14*7=2282$ kablo

Toplam kablo alanı: $2282*1,4\text{cm}^2=3194,8\text{cm}^2$

Ardgermesiz tasarımda kullanılan donatı alanlarının toplamı= 3500cm^2

Ancak doğru bir karşılaştırma yapılabilmesi için ardgermesiz tasarımda +31,00 kotundan sonra donatıları azaltmamamız gerekmektedir. Ayrıca ACI313-97'ye göre malzeme basıncının bittiği yerden sonra 3*t kadar donatı devam ettirilmeli yani 14.882 kotuna kadar donatı konulmalıdır.

Donatı azaltılması yapılmadığı durumda donatı alanları toplamı= $4165,6 \text{ cm}^2$

Donatılı tasarım ardgermeli tasarıma göre %30 daha fazla donatı alanına ihtiyaç duymuştur. Ancak unutulmamalıdır ki ardgermesiz siloda şaft kalılığı artırılmalıdır.

5.9.2 Maliyet karşılaştırması

1860 Mpa 140 mm^2 ardgerme kablusunun bir metresinin ağırlığı 1,09 kg olarak FREYSSINET şirketinin kataloğundan alınmıştır.

2282 adet boyu 32.82 m olan ardgerme kablusunun ağırlığı;

$$= 2282 * 32,82 * 1,09 = 81635,81\text{kg}$$

FREYSAŞ firmasının 81635,81 kg ardgerme kablusu için verdiği teklif ankraj başları dahil 2,69 euro/kg'dır. Ardgerme için gerekli olan ve ardgerme uygulayacak firmanın yükümlülüğünde olup fiyata dahil edilen işlemler şöyle sıralanabilir;

a-)Ardgerme ankrajları, kamaları, kılıfları, manşonları, bağlantı cıvataları gibi tüm aksesuarların temini.

b-)Ardgerme işinin yapımı için kullanılacak ekipmanların temini.

c-)Tüm malzemelerin şantiyeye teslimi.

d-)Kılıf montajı hizmeti, halat montajı, germe ve enjeksiyon işlerinin iş programına uygun olarak yapılması.

e-)Ardgerme çelik halatlarının temini.

f-)Enjeksiyon sırasında kullanılacak katkı malzemesinin temini ve şantiyeye nakliyesi.

Bütün bu maddelerin dahil olduğu maliyet;

$$= 81635,81kg * 2,16euro / kg = 176333,35euro \text{ olmaktadır.}$$

Ardgermesiz tasarım için donatı hacmi;

$$= 0,41656cm^2 * (\frac{22,5}{2} + \frac{0,4}{2}) * \pi * 2 = 29,968m^3$$

$$\text{Donatı ağırlığı; } 29,968m^3 * 7,85 = 235,251t$$

Arttırılan şaft kalınlığından dolayı ihtiyaç duyulan ilave beton miktarı;

Çizelge 5.15 : Ardgermeli ve Ardgermesiz silo şaft hacmi

ARDGERME UYGULANAN SİLO						ARDGERME UYGULANMAYAN SİLO				
KOT (m)	DIŞ ÇAP (m)	ET KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	ALAN (m2)	HACİM (m3)	DIŞ ÇAP (m)	ET KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	ALAN (m2)	HACİM (m3)
66,00	23,30	0,20	22,90	14,51		23,70	0,40	22,90	29,28	
65,00	23,30	0,20	22,90	14,51	14,51	23,70	0,40	22,90	29,28	29,28
64,00	23,30	0,20	22,90	14,51	14,51	23,70	0,40	22,90	29,28	29,28
63,00	23,30	0,20	22,90	14,51	14,51	23,70	0,40	22,90	29,28	29,28
62,00	23,30	0,20	22,90	14,51	14,51	23,70	0,40	22,90	29,28	29,28
61,00	23,30	0,20	22,90	14,51	14,51	23,70	0,40	22,90	29,28	29,28
60,00	23,30	0,20	22,90	14,51	14,51	23,70	0,40	22,90	29,28	29,28
59,00	23,30	0,20	22,90	14,51	14,51	23,70	0,40	22,90	29,28	29,28
58,00	23,30	0,20	22,90	14,51	14,51	23,70	0,40	22,90	29,28	29,28
57,00	23,30	0,20	22,90	14,51	14,51	23,70	0,40	22,90	29,28	29,28
56,00	23,30	0,20	22,90	14,51	14,51	23,70	0,40	22,90	29,28	29,28
55,50	23,30	0,20	22,90	14,51	7,26	23,70	0,40	22,90	29,28	14,64
55,00	23,30	0,40	22,50	28,78	14,39	23,70	0,60	22,50	43,54	21,77
54,63	23,30	0,40	22,50	28,78	10,76	23,70	0,60	22,50	43,54	16,28
54,00	23,30	0,40	22,50	28,78	18,01	23,70	0,60	22,50	43,54	27,26
53,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
52,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
51,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
50,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
49,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
48,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
47,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
46,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
45,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
44,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
43,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
42,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
41,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54

Çizelge 5.15 (devam) : Ardgermeli ve Ardgermesiz silo şaft hacmi

ARDGERME UYGULANAN SİLO						ARDGERME UYGULANMAYAN SİLO				
KOT (m)	DIŞ ÇAP (m)	ET KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	ALAN (m2)	HACİM (m3)	DIŞ ÇAP (m)	ET KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	ALAN (m2)	HACİM (m3)
40,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
39,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
38,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
37,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
36,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
35,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
34,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
33,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
32,43	23,30	0,40	22,50	28,78	16,40	23,70	0,60	22,50	43,54	24,82
32,00	23,30	0,40	22,50	28,78	12,37	23,70	0,60	22,50	43,54	18,72
31,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
30,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
29,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
28,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
27,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
26,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
25,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
24,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
23,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
22,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
21,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
20,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
19,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
18,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
17,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
16,03	23,30	0,40	22,50	28,78	27,94	23,70	0,60	22,50	43,54	42,28
16,00	23,30	0,40	22,50	28,78	0,83	23,70	0,60	22,50	43,54	1,26
15,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
14,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
13,00	23,30	0,40	22,50	28,78	28,78	23,70	0,60	22,50	43,54	43,54
12,64	23,30	0,80	21,70	56,55	20,58	23,70	1,00	21,70	71,31	25,96
12,00	23,30	0,80	21,70	56,55	35,96	23,70	1,00	21,70	71,31	45,36
11,00	23,30	0,80	21,70	56,55	56,55	23,70	1,00	21,70	71,31	71,31
10,00	23,30	0,80	21,70	56,55	56,55	23,70	1,00	21,70	71,31	71,31
9,00	23,30	0,80	21,70	50,31	50,31	23,70	1,00	21,70	65,07	65,07
8,00	23,30	0,80	21,70	50,31	50,31	23,70	1,00	21,70	65,07	65,07
7,00	23,30	0,80	21,70	50,31	50,31	23,70	1,00	21,70	65,07	65,07
6,00	23,30	0,80	21,70	50,31	50,31	23,70	1,00	21,70	65,07	65,07
5,00	23,30	0,80	21,70	44,07	44,07	23,70	1,00	21,70	58,83	58,83
4,00	23,30	0,80	21,70	44,07	44,07	23,70	1,00	21,70	58,83	58,83
3,00	23,30	0,80	21,70	44,07	44,07	23,70	1,00	21,70	58,83	58,83
2,00	23,30	0,80	21,70	44,07	44,07	23,70	1,00	21,70	58,83	58,83
1,00	23,30	0,80	21,70	44,07	44,07	23,70	1,00	21,70	58,83	58,83
0,00	23,30	0,80	21,70	44,07	44,07	23,70	1,00	21,70	58,83	58,83
-0,50	23,30	0,80	21,70	44,07	22,03	23,70	1,00	21,70	58,83	29,42
TOPLAM					2032,748	3014,65				

Fiyatı;

İnşaat demiri birim fiyatı işçilik ve müteahhit karı dahil 1727 TL/ton ve bir metreküp C30 beton 106,2 TL olarak ele alırsak maliyet;

$$(235,251 * 1727 \text{ TL}) + [(3014,65 - 2032,748) * 106,2] = 510556,47 \text{ TL}$$

Ardgerme maliyeti: **176333,34€ → 405566,7 TL**

Donatı ve Kalınlığı artırılan Şaftın maliyeti: **510556,47 TL**

5.10 Isı ve Rüzgar Donatıları

Isı ve rüzgar yüklerinin silo şaftında oluşturduğu kuvvet ve momentlerden dolayı koyulması gereken donatı argerme kablolarıyla karşılanmamaktadır. Bu kuvvet ve momentler için silo şaftına donatı koyulması gerekmektedir. Isı ve rüzgar yükleri daha önce hesaplanmıştır. Bu yüklere göre koyulan donatı çizelge 5.16 te hesaplanmıştır.

Çizelge 5.16 : Isı ve Rüzgâr donatıları

KOT	DİŞ ÇAP	ŞAFT KALINLIĞI	İÇ ÇAP	Mi	Mo	RUZGAR		ISI DONATISI	DİŞ MİNİMUM DONATI	İÇ MİNİMUM DONATI	KOT	ISI VE RUZGAR İÇİN GEREKLİ DONATI	DİŞ DONATI		İÇ DONATI	
						DİŞ RÜZGAR DONATISI	İÇ RÜZGAR DONATISI						Φ/m	(cm ² /m)	Φ/m	(cm ² /m)
66.00	23.30	0.20	22.90	52.715	45.913	4.17	3.63	GEREKMİYOR	3.00	2.00	66.00	4.17	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
65.00	23.30	0.20	22.90	52.599	45.812	4.16	3.62	GEREKMİYOR	3.00	2.00	65.00	4.16	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
64.00	23.30	0.20	22.90	52.480	45.708	4.15	3.62	GEREKMİYOR	3.00	2.00	64.00	4.15	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
63.00	23.30	0.20	22.90	52.360	45.603	4.14	3.61	GEREKMİYOR	3.00	2.00	63.00	4.14	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
62.00	23.30	0.20	22.90	52.237	45.497	4.13	3.60	GEREKMİYOR	3.00	2.00	62.00	4.13	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
61.00	23.30	0.20	22.90	52.112	45.388	4.12	3.59	GEREKMİYOR	3.00	2.00	61.00	4.12	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524

Çizelge 5.16 (devam) : Isı ve Rüzgâr donatıları

KOT	DİŞ ÇAP	ŞAFT KALINLIĞI	İÇ ÇAP	Mi	Mo	RUZGAR		ISI DONATISI	DİŞ MİNİMUM DONATI	İÇ MİNİMUM DONATI	KOT	ISI VE RUZGAR İÇİN GEREKLİ DONATI	DİŞ DONATI		İÇ DONATI	
						DİŞ RÜZGAR DONATISI	İÇ RÜZGAR DONATISI									
(m)	(m)	(m)	(m)	(kN*m)	(kN*m)	(cm2/m)	(cm2/m)	(cm2/m)	(cm2/m)	(cm2/m)	(m)	(cm2/m)	Φ/m	(cm2/m)	Φ/m	(cm2/m)
60.00	23.30	0.20	22.90	51.986	45.278	4.11	3.58	GEREKMİYOR	3.00	2.00	60.00	4.11	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
59.00	23.30	0.20	22.90	51.857	45.166	4.10	3.57	GEREKMİYOR	3.00	2.00	59.00	4.10	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
58.00	23.30	0.20	22.90	51.726	45.051	4.09	3.56	GEREKMİYOR	3.00	2.00	58.00	4.09	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
57.00	23.30	0.20	22.90	51.592	44.935	4.08	3.55	GEREKMİYOR	3.00	2.00	57.00	4.08	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
56.00	23.30	0.20	22.90	51.456	44.817	4.07	3.55	GEREKMİYOR	3.00	2.00	56.00	4.07	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
55.50	23.30	0.20	22.90	51.387	44.757	4.06	3.54	GEREKMİYOR	3.00	2.00	55.50	4.06	Φ12/250	4.524	Φ12/250	4.524
55.00	23.30	0.40	22.50	51.318	44.696	4.06	3.54	9.97	6.00	4.00	55.00	14.03	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
54.63	23.30	0.40	22.50	51.265	44.650	3.94	3.53	9.97	6.00	4.00	54.63	13.91	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
54.00	23.30	0.40	22.50	51.177	44.573	4.05	3.53	9.97	6.00	4.00	54.00	14.02	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
53.00	23.30	0.40	22.50	51.033	44.448	4.04	3.52	9.97	6.00	4.00	53.00	14.01	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
52.00	23.30	0.40	22.50	50.887	44.321	4.03	3.51	9.97	6.00	4.00	52.00	13.99	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
51.00	23.30	0.40	22.50	50.737	44.191	4.01	3.50	9.97	6.00	4.00	51.00	13.98	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
50.00	23.30	0.40	22.50	50.585	44.058	4.00	3.49	9.97	6.00	4.00	50.00	13.97	ø16/200	10.053	ø16/200	10.053
49.00	23.30	0.40	22.50	50.430	43.923	3.99	3.47	9.97	6.00	4.00	49.00	13.96	ø16/200	10.053	ø16/200	10.053
48.00	23.30	0.40	22.50	50.271	43.784	3.98	3.46	9.97	6.00	4.00	48.00	13.95	ø16/200	10.053	ø16/200	10.053
47.00	23.30	0.40	22.50	50.109	43.643	3.96	3.45	9.97	6.00	4.00	47.00	13.93	ø16/200	10.053	ø16/200	10.053
46.00	23.30	0.40	22.50	49.944	43.499	3.95	3.44	9.97	6.00	4.00	46.00	13.92	ø16/200	10.053	ø16/200	10.053
45.00	23.30	0.40	22.50	49.774	43.352	3.94	3.43	9.97	6.00	4.00	45.00	13.91	ø16/200	10.053	ø16/200	10.053
44.00	23.30	0.40	22.50	49.602	43.201	3.92	3.42	9.97	6.00	4.00	44.00	13.89	ø16/200	10.053	ø16/200	10.053
43.00	23.30	0.40	22.50	49.425	43.047	3.91	3.41	9.97	6.00	4.00	43.00	13.88	ø16/200	10.053	ø16/200	10.053
42.00	23.30	0.40	22.50	49.244	42.890	3.90	3.39	9.97	6.00	4.00	42.00	13.86	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
41.00	23.30	0.40	22.50	49.058	42.728	3.88	3.38	9.97	6.00	4.00	41.00	13.85	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
40.00	23.30	0.40	22.50	48.868	42.563	3.87	3.37	9.97	6.00	4.00	40.00	13.83	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723

Çizelge 5.16 (devam) : Isı ve Rüzgâr donatıları

KOT (m)	DİŞ ÇAP (m)	ŞAFT KALINLIĞI (m)	İÇ ÇAP (m)	Mi (kN*m)	Mo (kN*m)	RUZGAR		ISI DONATISI (cm2/m)	DİŞ MİNİMUM DONATI (cm2/m)	İÇ MİNİMUM DONATI (cm2/m)	KOT (m)	ISI VE RUZGAR İÇİN GEREKLİ DONATI (cm2/m)	DİŞ DONATI		İÇ DONATI	
						DİŞ RÜZGAR DONATISI (cm2/m)	İÇ RÜZGAR DONATISI (cm2/m)						Φ/m	(cm2/m)	Φ/m	(cm2/m)
39.00	23.30	0.40	22.50	48.674	42.393	3.85	3.35	9.97	6.00	4.00	39.00	13.82	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
38.00	23.30	0.40	22.50	48.474	42.220	3.83	3.34	9.97	6.00	4.00	38.00	13.80	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
37.00	23.30	0.40	22.50	48.270	42.041	3.82	3.33	9.97	6.00	4.00	37.00	13.79	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
36.00	23.30	0.40	22.50	48.059	41.858	3.80	3.31	9.97	6.00	4.00	36.00	13.77	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
35.00	23.30	0.40	22.50	47.843	41.670	3.78	3.30	9.97	6.00	4.00	35.00	13.75	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
34.00	23.30	0.40	22.50	47.621	41.476	3.77	3.28	9.97	6.00	4.00	34.00	13.74	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
33.00	23.30	0.40	22.50	47.392	41.277	3.75	3.27	9.97	6.00	4.00	33.00	13.72	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
32.43	23.30	0.40	22.50	47.259	41.161	3.74	3.26	9.97	6.00	4.00	32.43	13.71	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
32.00	23.30	0.40	22.50	47.157	41.072	3.73	3.25	9.97	6.00	4.00	32.00	13.70	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
31.00	23.30	0.40	22.50	46.914	40.861	3.71	3.23	9.97	6.00	4.00	31.00	13.68	ø18/200	12.723	ø18/200	12.723
30.00	23.30	0.40	22.50	46.664	40.643	3.69	3.21	9.97	6.00	4.00	30.00	13.66	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
29.00	23.30	0.40	22.50	46.405	40.417	3.67	3.20	9.97	6.00	4.00	29.00	13.64	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
28.00	23.30	0.40	22.50	46.138	40.184	3.65	3.18	9.97	6.00	4.00	28.00	13.62	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
27.00	23.30	0.40	22.50	45.861	39.944	3.63	3.16	9.97	6.00	4.00	27.00	13.60	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
26.00	23.30	0.40	22.50	45.574	39.694	3.61	3.14	9.97	6.00	4.00	26.00	13.57	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
25.00	23.30	0.40	22.50	45.277	39.435	3.58	3.12	9.97	6.00	4.00	25.00	13.55	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
24.00	23.30	0.40	22.50	44.968	39.166	3.56	3.10	9.97	6.00	4.00	24.00	13.53	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
23.00	23.30	0.40	22.50	44.647	38.886	3.53	3.08	9.97	6.00	4.00	23.00	13.50	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
22.00	23.30	0.40	22.50	44.312	38.594	3.51	3.05	9.97	6.00	4.00	22.00	13.47	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
21.00	23.30	0.40	22.50	43.963	38.290	3.48	3.03	9.97	6.00	4.00	21.00	13.45	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
20.00	23.30	0.40	22.50	43.597	37.972	3.45	3.00	9.97	6.00	4.00	20.00	13.42	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
19.00	23.30	0.40	22.50	43.214	37.638	3.42	2.98	9.97	6.00	4.00	19.00	13.39	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708

Çizelge 5.16 (devam) : Isı ve Rüzgâr donatıları

KOT	DİŞ ÇAP	ŞAFT KALINLIĞI	İÇ ÇAP	Mi	Mo	RUZGAR		ISI DONATISI	DİŞ MİNİMUM DONATI	İÇ MİNİMUM DONATI	KOT	ISI VE RUZGAR İÇİN GEREKLİ DONATI	DİŞ DONATI		İÇ DONATI	
						DİŞ RÜZGAR DONATISI	İÇ RÜZGAR DONATISI						Φ/m	(cm2/m)	Φ/m	(cm2/m)
(m)	(m)	(m)	(m)	(kN*m)	(kN*m)	(cm2/m)	(cm2/m)	(cm2/m)	(cm2/m)	(cm2/m)	(m)	(cm2/m)				
18.00	23.30	0.40	22.50	42.812	37.288	3.39	2.95	9.97	6.00	4.00	18.00	13.36	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
17.00	23.30	0.40	22.50	42.388	36.919	3.35	2.92	9.97	6.00	4.00	17.00	13.32	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
16.03	23.30	0.40	22.50	41.954	36.541	3.32	2.89	9.97	6.00	4.00	16.00	13.29	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
16.00	23.30	0.40	22.50	41.941	36.529	3.32	2.89	9.97	6.00	4.00	16.00	13.29	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
15.00	23.30	0.40	22.50	41.467	36.116	3.28	2.86	9.97	6.00	4.00	15.00	13.25	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
14.00	23.30	0.40	22.50	40.962	35.677	3.24	2.82	9.97	6.00	4.00	14.00	13.21	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
13.00	23.30	0.40	22.50	40.424	35.208	3.20	2.79	9.97	6.00	4.00	13.00	13.17	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
12.64	23.30	0.80	21.70	40.219	35.029	3.18	2.77	GEREKMİYOR	12.00	8.00	12.64	3.18	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
12.00	23.30	0.80	21.70	39.847	34.705	3.15	2.75	GEREKMİYOR	12.00	8.00	12.00	3.15	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
11.00	23.30	0.80	21.70	39.223	34.162	3.10	2.70	GEREKMİYOR	12.00	8.00	11.00	3.10	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
10.00	23.30	0.80	21.70	38.547	33.573	3.05	2.66	GEREKMİYOR	12.00	8.00	10.00	3.05	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
9.00	23.30	0.80	21.70	37.806	32.928	2.99	2.60	GEREKMİYOR	12.00	8.00	9.00	2.99	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
8.00	23.30	0.80	21.70	36.987	32.215	2.93	2.55	GEREKMİYOR	12.00	8.00	8.00	2.93	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
7.00	23.30	0.80	21.70	36.072	31.417	2.85	2.49	GEREKMİYOR	12.00	8.00	7.00	2.85	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
6.00	23.30	0.80	21.70	35.032	30.512	2.77	2.41	GEREKMİYOR	12.00	8.00	6.00	2.77	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
5.00	23.30	0.80	21.70	33.827	29.462	2.68	2.33	GEREKMİYOR	12.00	8.00	5.00	2.68	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
4.00	23.30	0.80	21.70	32.389	28.209	2.56	2.23	GEREKMİYOR	12.00	8.00	4.00	2.56	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
3.00	23.30	0.80	21.70	30.596	26.648	2.42	2.11	GEREKMİYOR	12.00	8.00	3.00	2.42	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
2.00	23.30	0.80	21.70	28.191	24.553	2.23	1.94	GEREKMİYOR	12.00	8.00	2.00	2.23	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
1.00	23.30	0.80	21.70	24.410	21.261	1.93	1.68	GEREKMİYOR	12.00	8.00	1.00	1.93	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
0.00	23.30	0.80	21.70	0.000	0.000	0.00	0.00	GEREKMİYOR	12.00	8.00	0.00	0.00	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708
-0.50	23.30	0.80	21.70	0.000	0.000	0.00	0.00	GEREKMİYOR	12.00	8.00	-0.50	0.00	ø20/200	15.708	ø20/200	15.708

Düşey donatılar için rüzgâr yükleri SAP2000 programına girilmiştir. Düşey donatılar SAP2000 programından alınacaktır

5.11 Deprem Yükleri

UBC97'ye göre taban kesme kuvveti bulunmuş ve bu kuvvet her bir metreye dağıtılmıştır (Çizelge 5.17). Silo temeli rijit kabul edildiği durumda, silo temeline etkiyen momentler buradan elde edilmiştir. Zemin sınıfı S_C ve deprem bölgesi $Z=0,25$ olarak seçilmiştir. Taban kesme kuvveti;

$$V = 0,56 * C_a * I * W \quad (4.17)$$

Silo dolu halde $V = 0,56 * 0,285 * 1 * 25487,189 = 40678,559kN$

Silo boş halde $V = 0,56 * 0,285 * 1 * 78151,673 = 12473,007kN$

Çizelge 5.17 : UBC97 Deprem yükleri

								DOLU				BOŞ	
KOT	ÖLÜ YÜK	ÇİMENTO	TOPLAM	0,8*ÇİMENTO	DEPREM TOPLAM	wihi	F _x	Q	M	wihi	F _x	Q	M
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		(kN)	(kN)	(kN*m)		(kN)	(kN)	(kN*m)
66.00	3380.000	0.000	3380.000	0.000	3380.000	224770.000	1055.977	1055.977	0.000	224770.000	1326.045	1326.045	0
65.00	362.854	0.000	362.854	0.000	362.854	23766.934	111.658	1167.635	1111.806	23766.934	140.215	1466.259	1396.152
64.00	362.854	0.000	362.854	0.000	362.854	23404.080	109.953	1277.588	2334.417	23404.080	138.074	1604.333	2931.448
63.00	362.854	0.000	362.854	0.000	362.854	23041.226	108.248	1385.836	3666.129	23041.226	135.933	1740.266	4603.748
62.00	362.854	0.000	362.854	0.000	362.854	22678.372	106.544	1492.380	5105.237	22678.372	133.792	1874.059	6410.911
61.00	362.854	0.000	362.854	0.000	362.854	22315.518	104.839	1597.219	6650.037	22315.518	131.652	2005.711	8350.795
60.00	362.854	0.000	362.854	0.000	362.854	21952.664	103.134	1700.353	8298.823	21952.664	129.511	2135.222	10421.262
59.00	362.854	0.000	362.854	0.000	362.854	21589.810	101.430	1801.783	10049.891	21589.810	127.370	2262.592	12620.169
58.00	362.854	0.000	362.854	0.000	362.854	21226.956	99.725	1901.508	11901.536	21226.956	125.230	2387.822	14945.376
57.00	362.854	0.000	362.854	0.000	362.854	20864.102	98.020	1999.528	13852.055	20864.102	123.089	2510.911	17394.742
56.00	362.854	0.000	362.854	0.000	362.854	20501.248	96.316	2095.844	15899.740	20501.248	120.948	2631.859	19966.127
55.50	2981.427	0.000	2981.427	0.000	2981.427	166959.911	784.383	2880.227	17143.758	166959.911	984.991	3616.850	21528.305

Çizelge 5.17 (devam) : UBC97 Deprem yükleri

								DOLU				BOŞ	
KOT	ÖLÜ YÜK	ÇİMENTO	TOPLAM	0,8*ÇİMENTO	DEPREM TOPLAM	wihi	Fx	Q	M	wihi	Fx	Q	M
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		(kN)	(kN)	(kN*m)		(kN)	(kN)	(kN*m)
55.00	400.962	0.000	400.962	0.000	400.962	22253.411	104.547	2984.774	18610.008	22253.411	131.285	3748.135	23369.551
54.63	299.920	0.000	299.920	0.000	299.920	16533.381	77.674	3062.448	19740.839	16533.381	97.540	3845.675	24789.594
54.00	502.005	3982.440	4484.445	3185.952	3687.957	200993.646	944.275	4006.723	21953.490	27359.266	161.408	4007.083	27247.507
53.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	315184.808	1480.749	5487.472	26700.587	42902.972	253.109	4260.192	31381.144
52.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	309293.503	1453.071	6940.543	32914.595	42101.048	248.378	4508.569	35765.525
51.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	303402.198	1425.393	8365.936	40567.834	41299.123	243.647	4752.216	40395.918
50.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	297510.893	1397.716	9763.652	49632.628	40497.198	238.916	4991.132	45267.592
49.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	291619.588	1370.038	11133.691	60081.300	39695.274	234.185	5225.317	50375.816
48.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	285728.284	1342.361	12476.052	71886.171	38893.349	229.454	5454.771	55715.860
47.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	279836.979	1314.683	13790.735	85019.564	38091.424	224.723	5679.493	61282.992
46.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	273945.674	1287.006	15077.741	99453.802	37289.499	219.992	5899.485	67072.481
45.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	268054.369	1259.328	16337.069	115161.207	36487.575	215.261	6114.746	73079.596
44.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	262163.064	1231.651	17568.720	132114.101	35685.650	210.530	6325.276	79299.607
43.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	256271.760	1203.973	18772.693	150284.807	34883.725	205.799	6531.074	85727.782
42.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	250380.455	1176.296	19948.988	169645.647	34081.801	201.068	6732.142	92359.390
41.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	244489.150	1148.618	21097.606	190168.945	33279.876	196.337	6928.479	99189.700
40.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	238597.845	1120.941	22218.547	211827.021	32477.951	191.606	7120.084	106213.982
39.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	232706.540	1093.263	23311.810	234592.200	31676.026	186.875	7306.959	113427.504
38.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	226815.235	1065.585	24377.395	258436.802	30874.102	182.144	7489.103	120825.535
37.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	220923.931	1037.908	25415.303	283333.151	30072.177	177.413	7666.516	128403.344
36.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	215032.626	1010.230	26425.533	309253.570	29270.252	172.682	7839.197	136156.200
35.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	209141.321	982.553	27408.086	336170.380	28468.327	167.951	8007.148	144079.373
34.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	203250.016	954.875	28362.962	364055.903	27666.403	163.220	8170.368	152168.131

Çizelge 5.17 (devam) : UBC97 Deprem yükleri

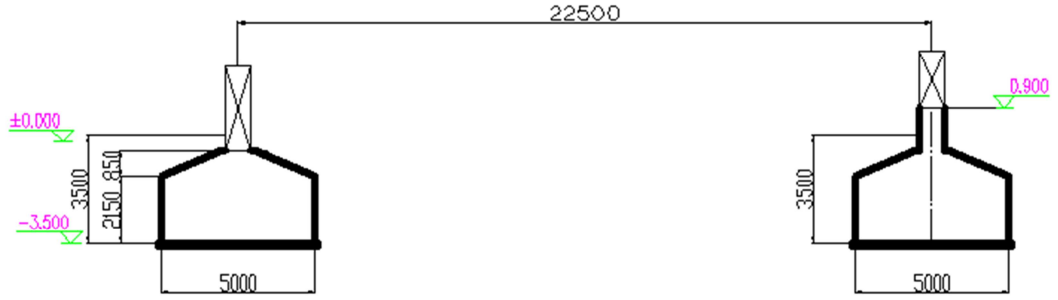
KOT	ÖLÜ YÜK	ÇİMENTO	TOPLAM	0,8*ÇİMENTO	DEPREM TOPLAM	wihi	Fx	Q	M	wihi	Fx	Q	M
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		(kN)	(kN)	(kN*m)		(kN)	(kN)	(kN*m)
33.00	801.925	6361.725	7163.650	5089.380	5891.305	197358.711	927.198	29290.159	392882.464	26864.478	158.489	8328.856	160417.743
32.43	457.10	3626.18	4083.28	2900.95	3358.04	110580.38	519.51	29809.67	409725.92	15052.21	88.80	8417.66	165190.50
32.00	344.83	2735.10	3079.93	2188.08	2532.91	82319.49	386.74	30196.41	422627.22	11206.90	66.12	8483.77	168824.31
31.00	801.92	6345.87	7147.79	5076.69	5878.62	185176.51	869.97	31066.37	453258.61	25260.63	149.03	8632.80	177382.59
30.00	801.92	6297.98	7099.91	5038.39	5840.31	178129.47	836.86	31903.23	484743.42	24458.70	144.30	8777.10	186087.54
29.00	801.92	6216.59	7018.51	4973.27	5775.19	170368.20	800.40	32703.63	517046.85	23656.78	139.56	8916.66	194934.42
28.00	801.92	6101.68	6903.60	4881.34	5683.27	161973.13	760.96	33464.58	550130.95	22854.85	134.83	9051.49	203918.50
27.00	801.92	5953.26	6755.19	4762.61	5564.53	153024.68	718.91	34183.50	583954.99	22052.93	130.10	9181.60	213035.04
26.00	801.92	5771.33	6573.26	4617.07	5418.99	143603.29	674.65	34858.15	618475.82	21251.01	125.37	9306.97	222279.33
25.00	801.92	5555.90	6357.82	4444.72	5246.64	133789.36	628.55	35486.70	653648.24	20449.08	120.64	9427.61	231646.61
24.00	801.92	5306.95	6108.87	4245.56	5047.48	123663.34	580.97	36067.67	689425.43	19647.16	115.91	9543.52	241132.18
23.00	801.92	5024.49	5826.41	4019.59	4821.52	113305.63	532.31	36599.99	725759.26	18845.23	111.18	9654.70	250731.29
22.00	801.92	4708.52	5510.45	3766.82	4568.74	102796.68	482.94	37082.93	762600.71	18043.31	106.45	9761.15	260439.21
21.00	801.92	4359.04	5160.97	3487.23	4289.16	92216.90	433.24	37516.17	799900.26	17241.38	101.72	9862.86	270251.21
20.00	801.92	3976.05	4777.98	3180.84	3982.77	81646.71	383.58	37899.74	837608.22	16439.46	96.99	9959.85	280162.57
19.00	801.92	3559.55	4361.48	2847.64	3649.57	71166.55	334.34	38234.09	875675.13	15637.53	92.25	10052.10	290168.54
18.00	801.92	3109.54	3911.47	2487.63	3289.56	60856.83	285.91	38520.00	914052.17	14835.61	87.52	10139.63	300264.40
17.00	801.92	2626.02	3427.95	2100.82	2902.74	50797.99	238.65	38758.65	952691.49	14033.68	82.79	10222.42	310445.43
16.03	778.67	2055.42	2834.09	1644.34	2423.00	40049.84	188.16	38946.80	990417.49	12870.62	75.93	10298.35	320408.26
16.00	23.26	0.00	23.26	0.00	23.26	383.72	1.80	38948.60	991546.97	383.72	2.26	10300.61	320706.94
15.00	801.92	0.00	801.92	0.00	801.92	12429.83	58.40	39007.00	1030524.77	12429.83	73.33	10373.94	331044.22
14.00	801.92	0.00	801.92	0.00	801.92	11627.91	54.63	39061.63	1069559.09	11627.91	68.60	10442.54	341452.47
13.00	801.92	0.00	801.92	0.00	801.92	10825.98	50.86	39112.49	1108646.15	10825.98	63.87	10506.41	351926.94

Çizelge 5.17 (devam) : UBC97 Deprem yükleri

								DOLU				BOŞ	
KOT	ÖLÜ YÜK	ÇİMENTO	TOPLAM	0,8*ÇİMENTO	DEPREM TOPLAM	wihi	Fx	Q	M	wihi	Fx	Q	M
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		(kN)	(kN)	(kN*m)		(kN)	(kN)	(kN*m)
12.64	17077.60	0.00	17077.60	0.00	17077.60	224331.40	1053.92	40166.41	1123074.90	224331.40	1323.46	11829.87	355992.15
12.00	951.59	0.00	951.59	0.00	951.59	11894.92	55.88	40222.29	1148638.51	11894.92	70.17	11900.04	363538.26
11.00	1496.22	0.00	1496.22	0.00	1496.22	17206.49	80.84	40303.12	1188901.22	17206.49	101.51	12001.55	375489.06
10.00	1496.22	0.00	1496.22	0.00	1496.22	15710.28	73.81	40376.93	1229241.24	15710.28	92.68	12094.24	387536.95
9.00	1340.22	0.00	1340.22	0.00	1340.22	12732.06	59.82	40436.75	1269648.08	12732.06	75.11	12169.35	399668.75
8.00	1340.22	0.00	1340.22	0.00	1340.22	11391.84	53.52	40490.27	1310111.59	11391.84	67.21	12236.56	411871.70
7.00	1340.22	0.00	1340.22	0.00	1340.22	10051.63	47.22	40537.49	1350625.47	10051.63	59.30	12295.86	424137.91
6.00	1340.22	0.00	1340.22	0.00	1340.22	8711.41	40.93	40578.42	1391183.42	8711.41	51.39	12347.25	436459.47
5.00	1184.22	0.00	1184.22	0.00	1184.22	6513.19	30.60	40609.02	1431777.14	6513.19	38.42	12385.68	448825.93
4.00	1184.22	0.00	1184.22	0.00	1184.22	5328.98	25.04	40634.05	1472398.67	5328.98	31.44	12417.12	461227.33
3.00	1184.22	0.00	1184.22	0.00	1184.22	4144.76	19.47	40653.52	1513042.46	4144.76	24.45	12441.57	473656.67
2.00	1184.22	0.00	1184.22	0.00	1184.22	2960.54	13.91	40667.43	1553702.93	2960.54	17.47	12459.03	486106.97
1.00	1184.22	0.00	1184.22	0.00	1184.22	1776.33	8.35	40675.78	1594374.54	1776.33	10.48	12469.51	498571.25
0.00	1184.22	0.00	1184.22	0.00	1184.22	592.11	2.78	40678.56	1635051.71	592.11	3.49	12473.01	511042.51
-0.50	592.11	0.00	592.11	0.00	592.11	0.00	0.00	40678.56	1655390.99	0.00	0.00	12473.01	517279.01

UBC97'e göre yapılan hesapta silonun dolu olduğu halde temeline gelen deprem momenti 1655390,987kNm'dir. Silo boş olduğu durumda silo temeline uygulanan deprem momenti ise 517279,011kNm'dir. Bu momentler kullanılarak temel donatıları belirlenecektir.

5.12 Temel Hesabı



Şekil 5.12 : Temel planı

5.12.1 Temelin rijit kabul edilmesi halinde radyal moment

$$h = 300 \text{ cm} = 3,0 \text{ m}$$

$$d = 290 \text{ cm} = 2,9 \text{ m}$$

$$b_w = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

Temele gelen yükler

Yapı düşey yükü: 29905,98 ton

Temelin öz ağırlığı: 5301,44 ton

Yatay yük: 4067,86 ton (Temel tabanından 2.2 m üstünden)

Deprem momenti: 165539,099 tonm

Temelin atalet momenti ve alanı:

$$I_{\text{temel}} = \pi * (13,75^4 - 8,75^4) / 4 = 23469,9 \text{ m}^4$$

$$A_{\text{temel}} = \pi * (13,75^2 - 8,75^2) = 353,429 \text{ m}^2$$

Tasarım yükleri:

$$M_d = 165539,099 + 4067,86 * 3 = 177742,68 \text{ ton*m}$$

$$N_d = 29905,98 + 5301,44 = 35207,42 \text{ ton}$$

Temel altı gerilmeleri:

$$\text{Dış uçta: } \sigma_1 = (35207,42 / 353,43) + (177742,68 / 23469,9) * 13,75 = 203,75 \text{ ton / m}^2$$

$$\text{Aksaltında: } \sigma_2 = (35207,42 / 353,43) + (177742,68 / 23469,9) * 11,25 = 184,81 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{İç uçta: } \sigma_3 = (35207,42/353,43) + (177742,68/23469,9) * 8,75 = 165,88 \text{ ton / m}^2$$

Tasarım momentleri:

$$(\text{Dış taraf}) M_1 = [(203,75 * 2,5^2)/2] + [(203,75 - 184,81) * 2,5^2 / 3] = 676,18 \text{ ton*m}$$

$$(\text{İç taraf}) M_2 = [(165,88 * 2,5^2)/2] + [(184,81 - 165,88) * 2,5^2 / 3] = 557,81 \text{ ton*m}$$

$$M_d = 676,18 \text{ ton*m/m} = 6761,8 \text{ kN*m/m}$$

$$K = b_w * d^2 / M_d \quad (5.18)$$

$$K = (1 * 2,9^2) / 6761,8 = 124,4 * 10^{-5}$$

$$\text{Seçilen; } K = 124,4 * 10^{-5} \rightarrow k_s = 2,85$$

$$A_s = k_s * M_d / d \quad (5.19)$$

$$A_s = (2,85 * 6761,8) / 2,9 = 6645,21 \text{ mm}^2 = 66,45 \text{ cm}^2$$

konulan donatı;

$$16 \phi 26 = 85 \text{ cm}^2 > 66,45 \text{ cm}^2 \text{ (1 m genişlik için)}$$

5.13 SAP2000 Modeli

Hesapları yapılan silo sap2000 programında modellenmiştir. Bu modelde siloya girilen yükler daha önce hesaplanan p,q,v yükleri, deprem yükleri (UBC97), ısı yükleri ve rüzgar yükleridir. Bu yükler sap2000 programında şu sembollerle gösterilmektedir:

DL: Ölü yükler

P: Yatay çimento basıncı

q: Düşey çimento basıncı

V: Düşey sürtünme yükü

SPECX : Dinamik deprem yükü x yönünde

SPECY: Dinamik deprem yükü y yönünde

T: Isı yükleri

Modelde kullanılacak yük kombinasyonları ACI318 ve ACI313'ten alınmıştır bu kombinasyonlar şu şekildedir;

$$1.2DL + 1.6LL$$

0.9DL+SPECX

0.9DL+SPECY

1.2DL+SPECX+LL

1.2DL+SPECY+LL

1.4DL+1.4T+1.7LL

Grafiklerde belirtilen açıklamalarda;

Ast1-top face: Yatay dış donatı

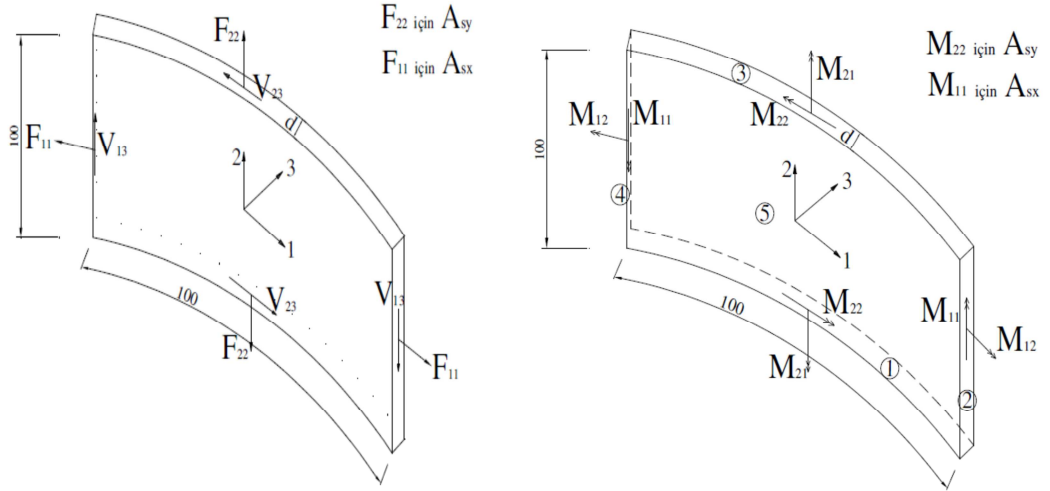
Ast1-bot face: Yatay iç donatı

Ast2-top face: Düşey dış donatı

Ast2-bot face: Düşey iç donatı

ifade etmektedir.

Sap2000 programında kabul edilen gerilme ve momentlerin yön doğrultuları;

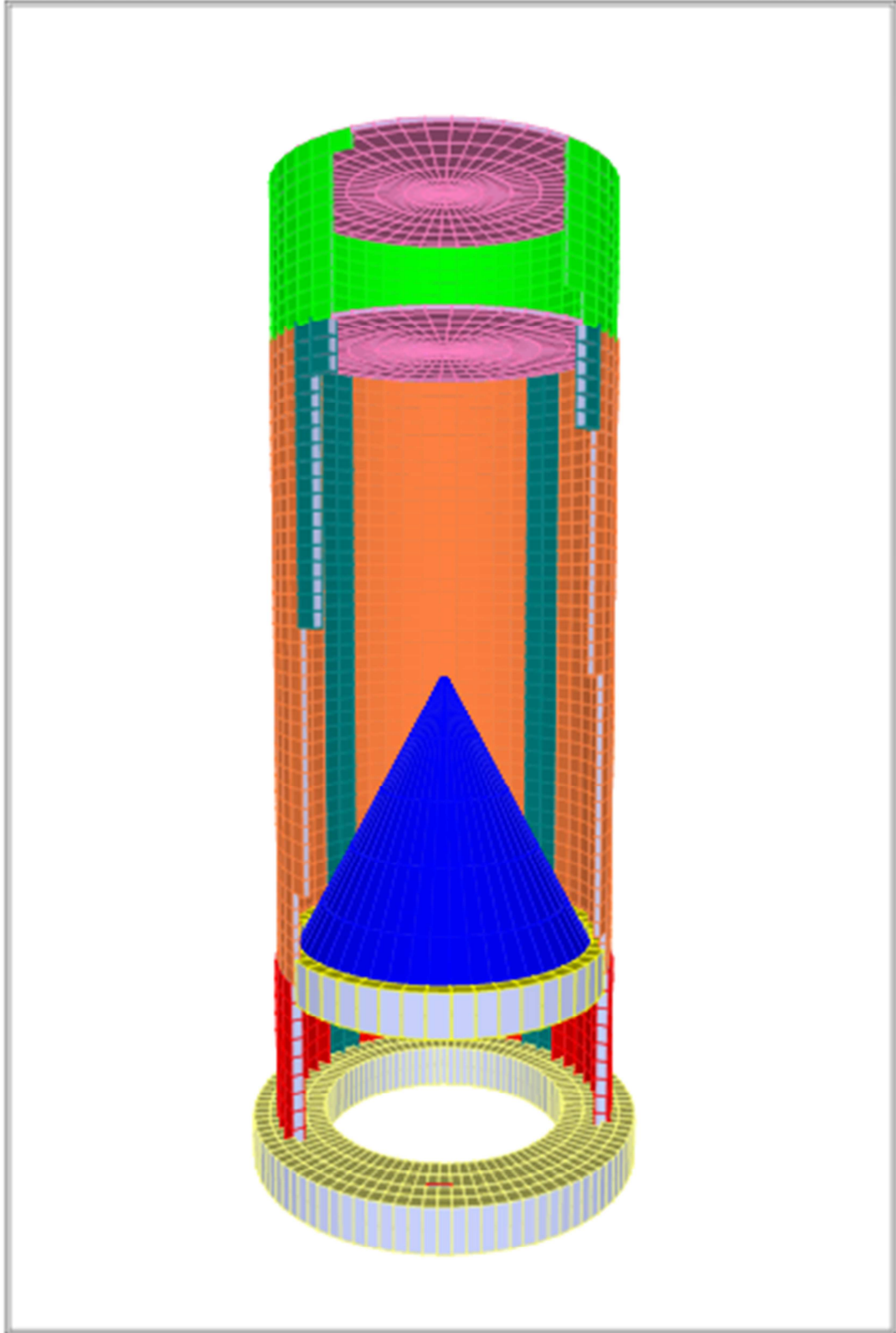


Şekil 5.13 : Şaftta meydana gelen gerilmeler ve momentler



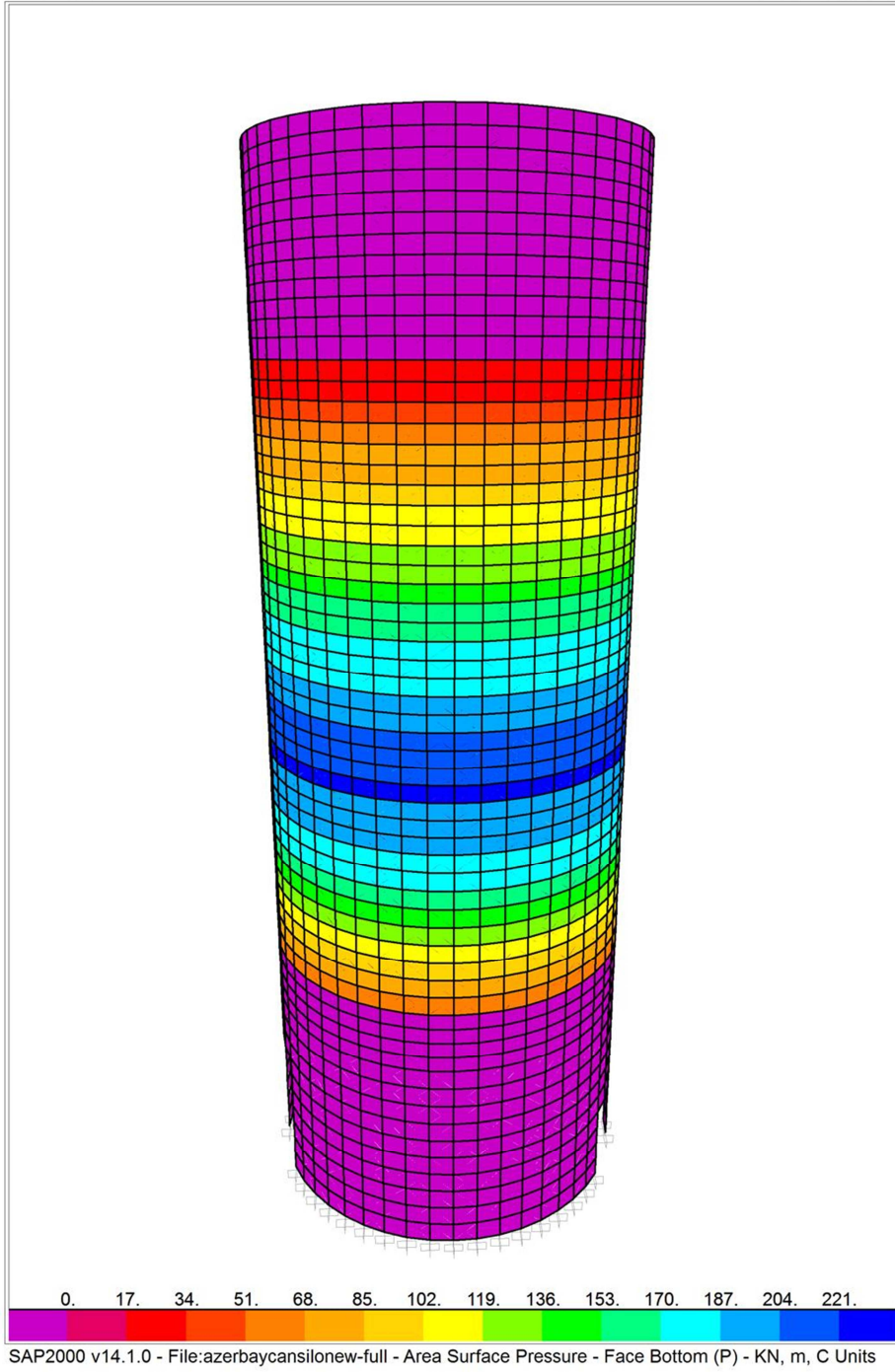
SAP2000 v15.0.0 - File:azerbaycansilonew-full-shell - 3-D View - KN, m, C Units

Şekil 5.14 : Silo Modeli



SAP2000 v15.0.0 - File:azerbaycansilonew-full-shell - 3-D View - KN, m, C Units

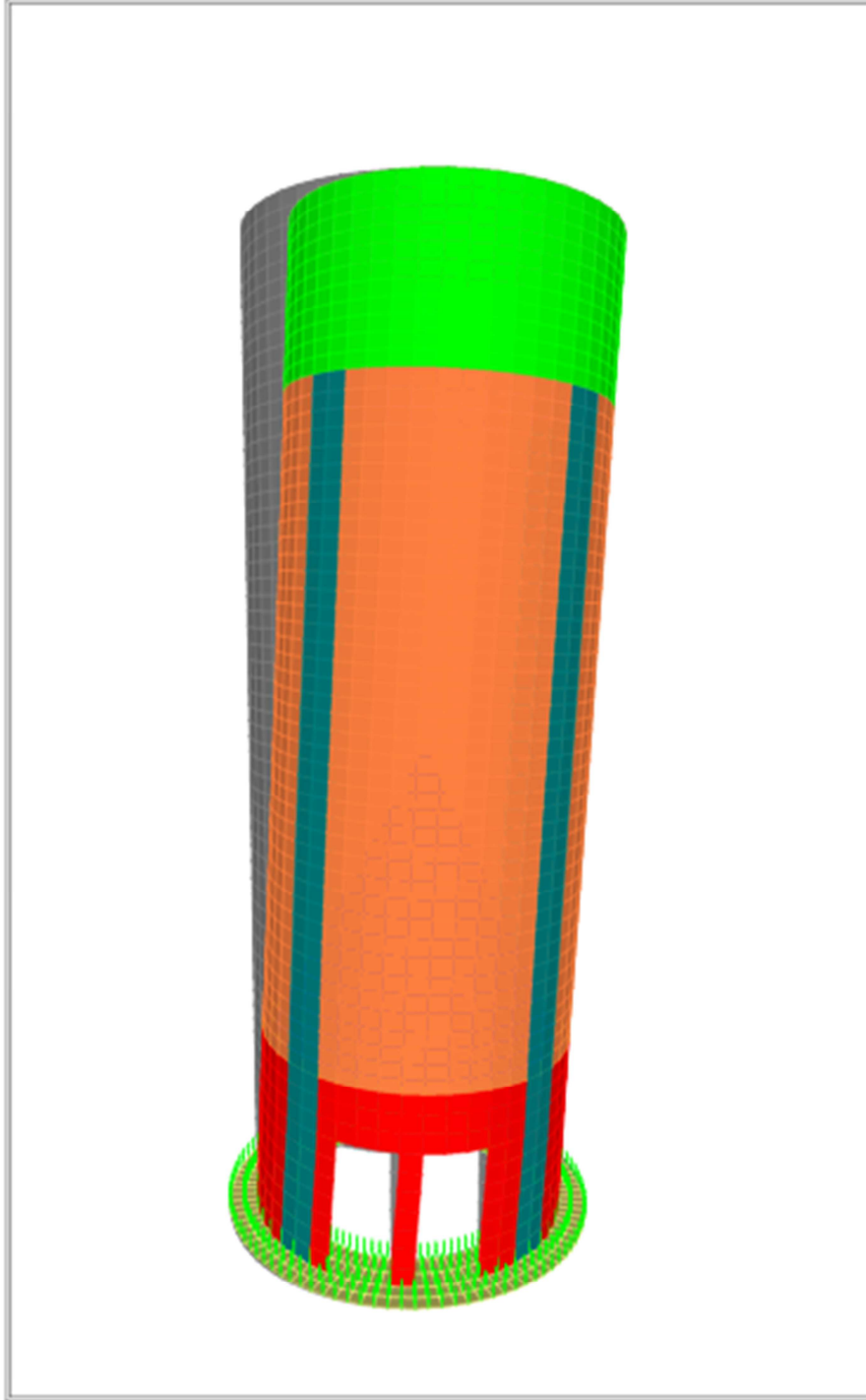
Şekil 5.15 : Silo Modeli İç Görünümü



Şekil 5.16 : Silo Şaftına girilen P yükü

Çizelge 5.17 : Periyod ve Frekanslar

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.888048	1.1261	7.0753	50.06
MODAL	Mode	2	0.884689	1.1303	7.1021	50.44
MODAL	Mode	3	0.497117	2.0116	12.639	159.75
MODAL	Mode	4	0.458638	2.1804	13.7	187.68
MODAL	Mode	5	0.43853	2.2803	14.328	205.29
MODAL	Mode	6	0.436789	2.2894	14.385	206.93
MODAL	Mode	7	0.377699	2.6476	16.635	276.74
MODAL	Mode	8	0.377356	2.65	16.651	277.24
MODAL	Mode	9	0.343225	2.9135	18.306	335.12
MODAL	Mode	10	0.314618	3.1785	19.971	398.84
MODAL	Mode	11	0.285911	3.4976	21.976	482.95
MODAL	Mode	12	0.23529	4.2501	26.704	713.1
MODAL	Mode	13	0.235196	4.2518	26.715	713.68
MODAL	Mode	14	0.226104	4.4227	27.789	772.22
MODAL	Mode	15	0.222935	4.4856	28.184	794.33
MODAL	Mode	16	0.219919	4.5471	28.57	816.27
MODAL	Mode	17	0.21991	4.5473	28.572	816.34
MODAL	Mode	18	0.21782	4.5909	28.846	832.08
MODAL	Mode	19	0.217486	4.598	28.89	834.64
MODAL	Mode	20	0.214636	4.659	29.274	856.95
MODAL	Mode	21	0.21414	4.6698	29.341	860.92
MODAL	Mode	22	0.202341	4.9422	31.053	964.26
MODAL	Mode	23	0.183663	5.4447	34.21	1170.3
MODAL	Mode	24	0.183649	5.4452	34.213	1170.5
MODAL	Mode	25	0.173461	5.765	36.222	1312.1
MODAL	Mode	26	0.171972	5.8149	36.536	1334.9
MODAL	Mode	27	0.168784	5.9247	37.226	1385.8
MODAL	Mode	28	0.162081	6.1697	38.766	1502.8
MODAL	Mode	29	0.153855	6.4996	40.838	1667.8
MODAL	Mode	30	0.151874	6.5844	41.371	1711.6



SAP2000 v15.0.0 - File:azerbaycansilonev-full-shell - Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - T = 0.88805; f = 1.12607 -

Şekil 5.17 : Birinci mod şekli



SAP2000 v15.0.0 - File:azerbaycansilonew-full-shell - Deformed Shape (MODAL) - Mode 2 - T = 0.88469; f = 1.13034

Şekil 5.18 : İkinci mod şekli

Hesaplarda görülmüştür ki yatay donatıların hesaplanmasında kullanılan en büyük yatay gerilmeler silo içine doldurulan malzemenin oluşturduğu yüklerden kaynaklanmaktadır. Düşey donatıların hesaplanmasında en büyük düşey gerilmeler deprem yüklerinde meydana gelmektedir.

Şekil 5.19’da silo içine doldurulan malzemedan dolayı silo gövdesinde oluşan yatay gerilmeler görülmekte, şekil 5.20’de ise deprem yükleri altında silo gövdesinde oluşan gerilmeler gösterilmektedir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi malzeme yüklerinden dolayı oluşan yatay gerilmeler deprem yükleri altında oluşan yatay gerilmelerden daha büyüktür.

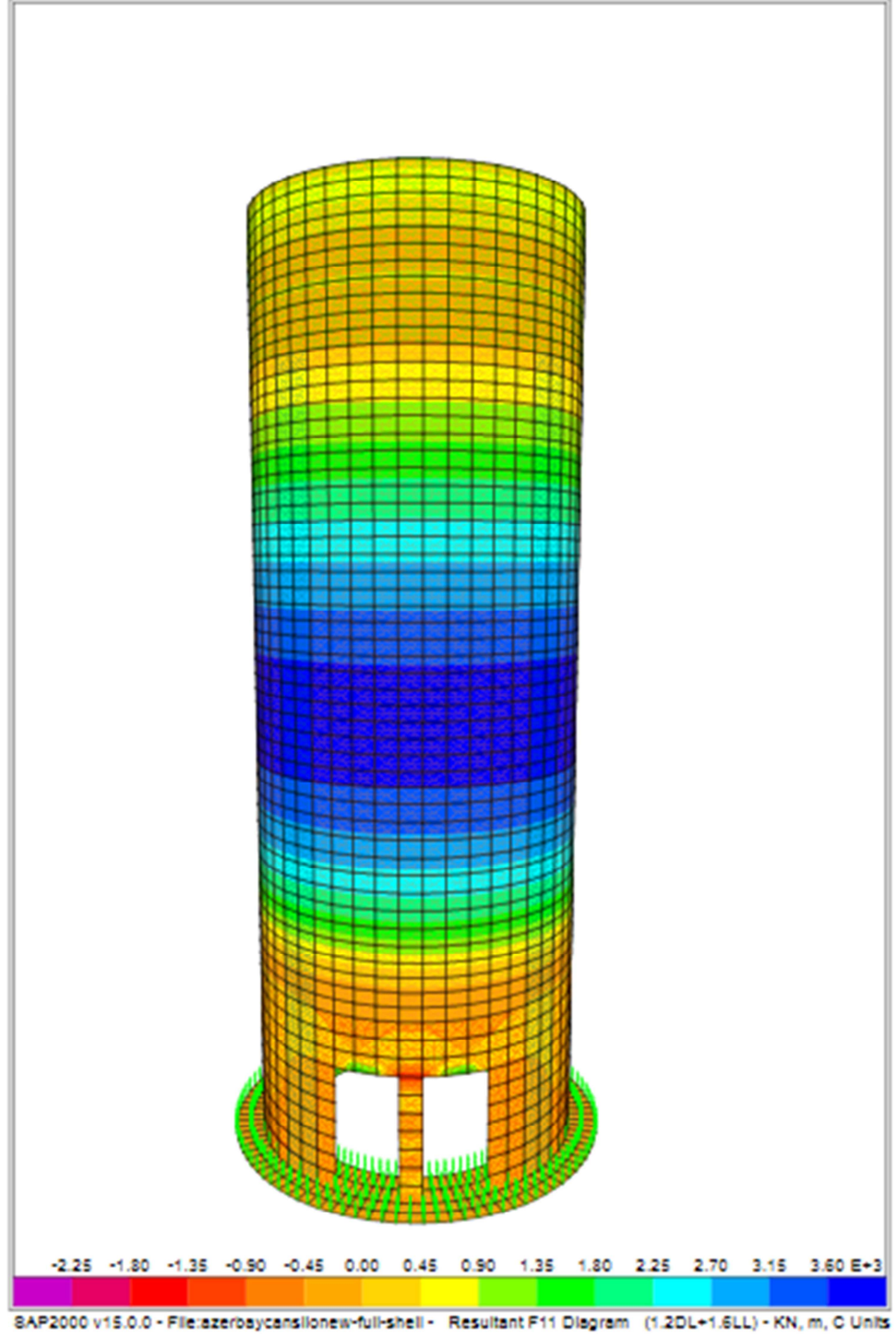
Şekil 5.21’de silo içine doldurulan malzemedan dolayı silo gövdesinde oluşan düşey gerilmeler görülmektedir. Bu gerilmelerin silo gövdesinin bir çok noktasında negatif olmasının sebebi silonun kendi ağırlığından dolayı oluşan basınç gerilmeleridir. Şekil 5.22’de deprem yükleri altında silo gövdesinde oluşan düşey gerilmeler görülmektedir ve genellikle değerleri sıfırdan büyüktür. Bu iki şekilden anlaşılacağı gibi düşey donatıların seçiminde etkili yük deprem yüküdür.

Yatay donatılar, silo içine doldurulan malzemenin oluşturduğu yüklerden elde edilmiş ve hesaplanmıştır. Düşey yükler SAP2000 programında girilen deprem yükleri sonucunda elde edilmiştir. Şekil 5.23 silo gövdesindeki düşey iç donatıları, şekil 5.24 silo gövdesindeki düşey dış donatılarını göstermektedir.

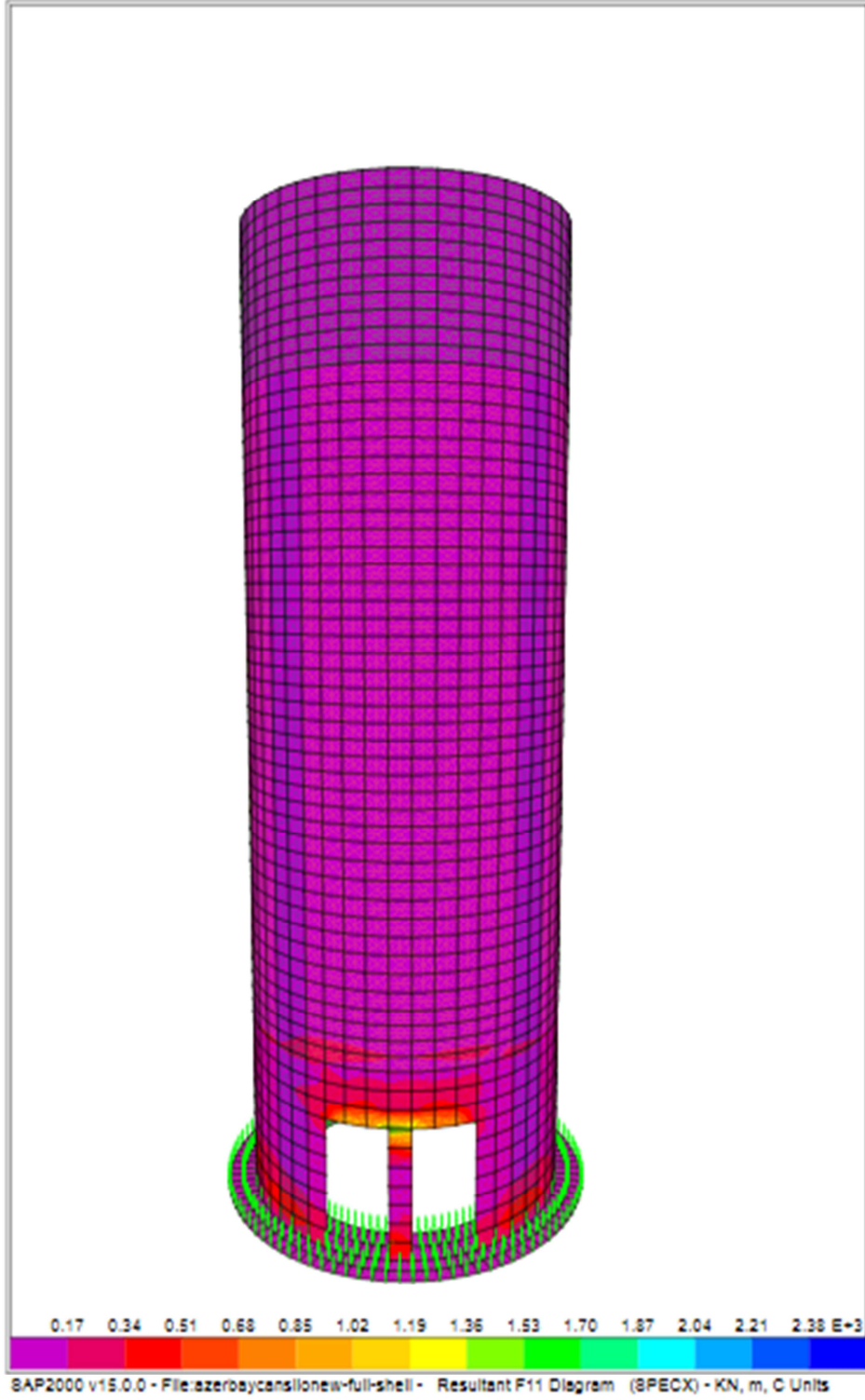
Silo modelinde kullanılan kabuk elemanların özellikleri çizelge 5.19’da görülebilir.

Çizelge 5.18 Kabuk elemanların özellikleri

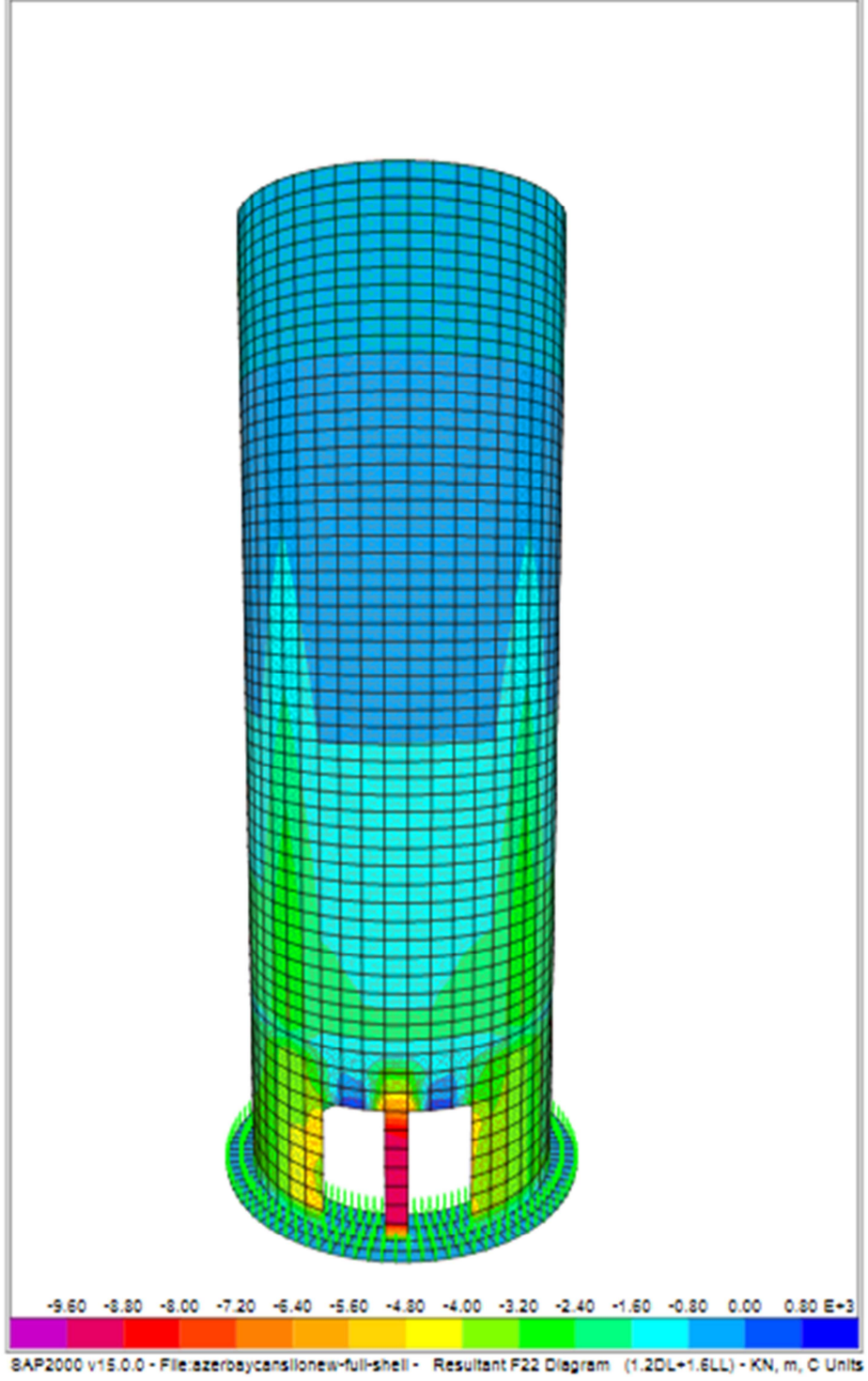
TABLE: Area Section Properties							
Section	Material	MatAngle	AreaType	Type	DrillDOF	Thickness	BendThick
Text	Text	Degrees	Text	Text	Yes/No	m	m
110	C30	0	Shell	Shell-Thin	Yes	1,1	1,1
160	C30	0	Shell	Shell-Thick	Yes	1,6	1,6
20	C30	0	Shell	Shell-Thin	Yes	0,2	0,2
20 SLAB	C30	0	Shell	Shell-Thin	Yes	0,2	0,2
40	C30	0	Shell	Shell-Thin	Yes	0,4	0,4
50	C30	0	Shell	Shell-Thin	Yes	0,5	0,5
70	C30	0	Shell	Shell-Thin	Yes	0,7	0,7
80	C30	0	Shell	Shell-Thin	Yes	0,8	0,8
GUSSET	C30	0	Shell	Shell-Thin	Yes	3	3
temel	C30	0	Shell	Shell-Thin	Yes	3	3



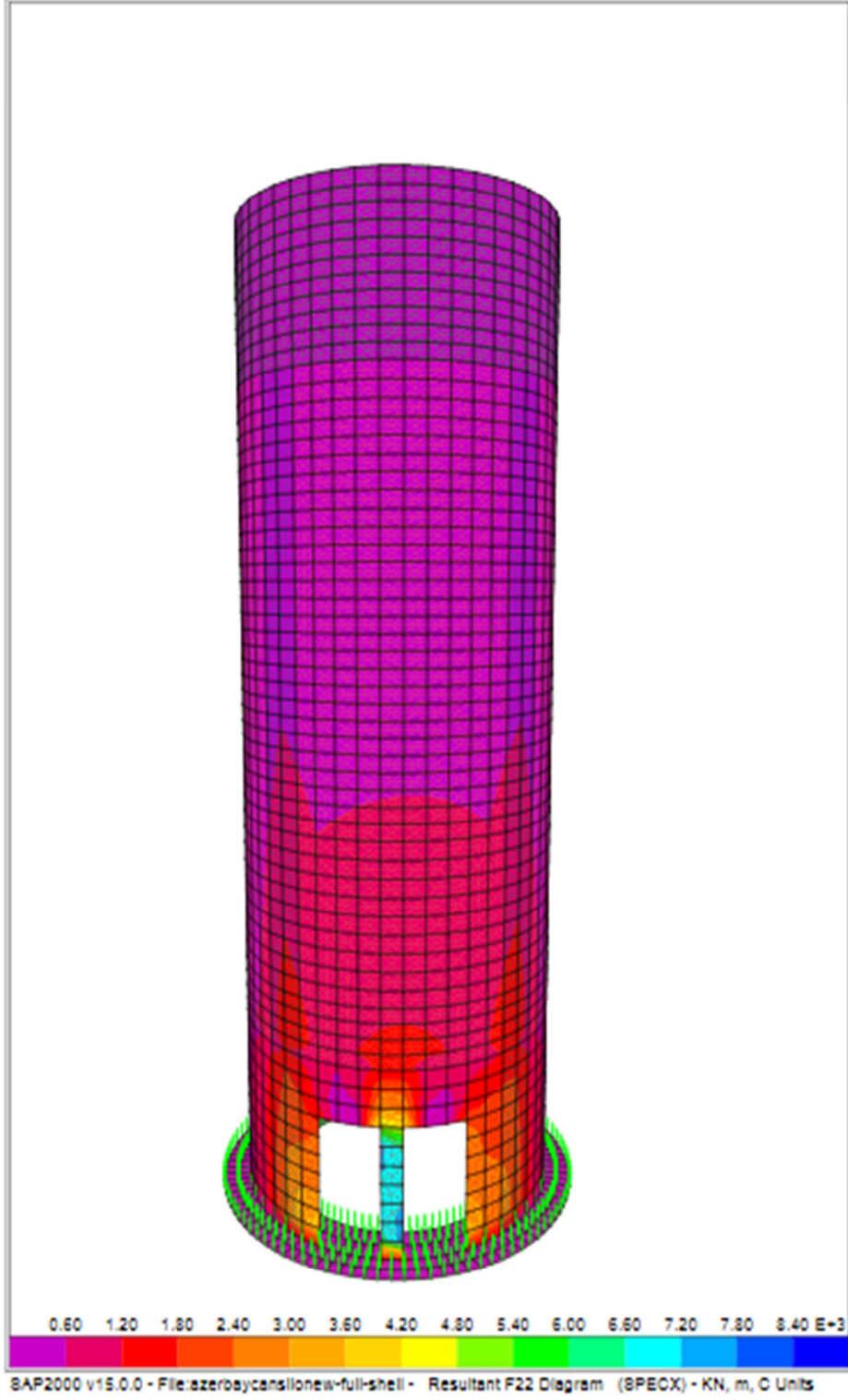
Şekil 5.19 : Malzeme yüklerinden dolayı silo gövdesinde oluşan yatay gerilmeler.



Şekil 5.20 : Deprem yüklerinden dolayı silo gövdesinde oluşan yatay gerilmeler

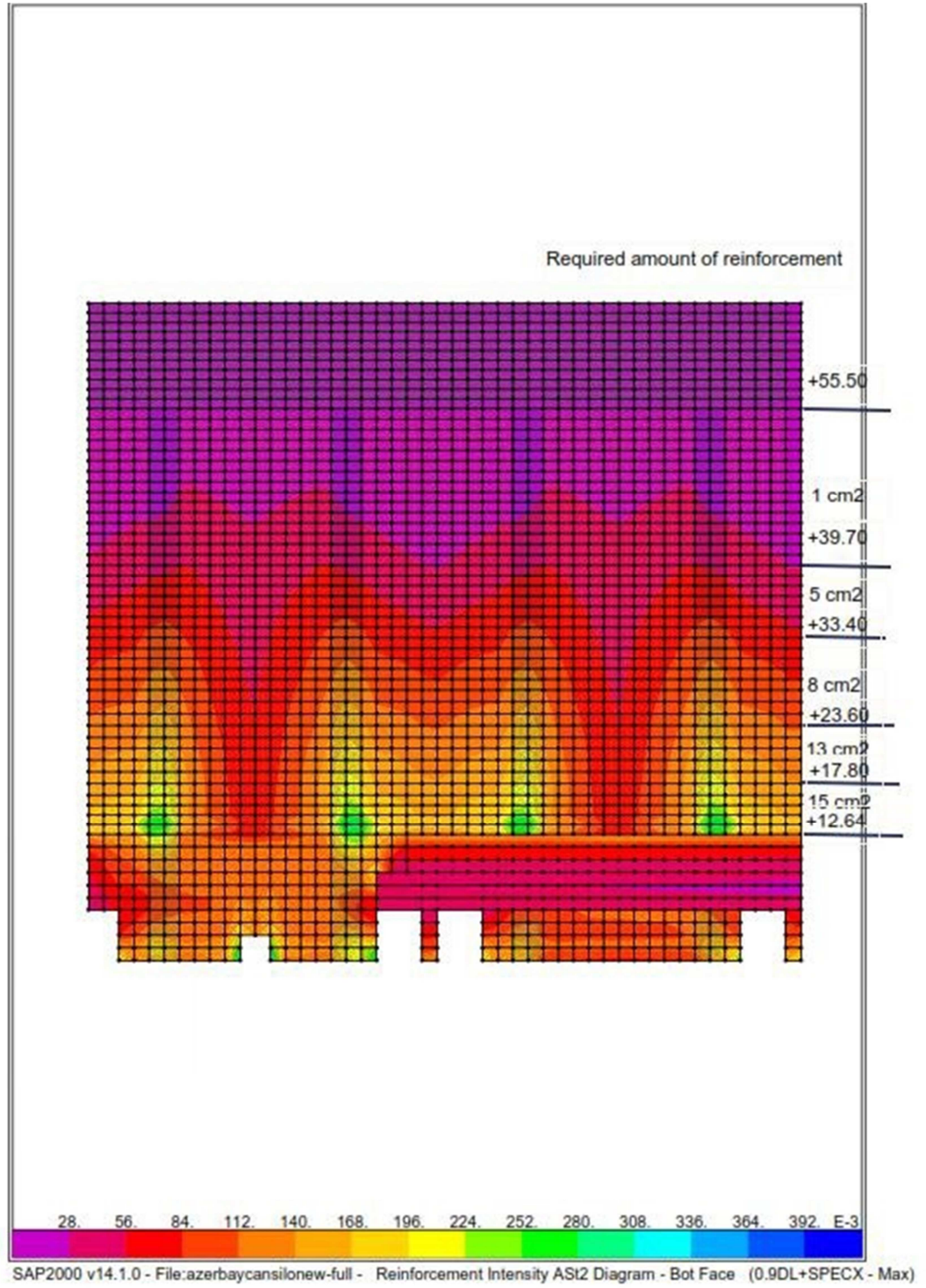


Şekil 5.21 : Malzeme yüklerinden dolayı silo gövdesinde oluşan düşey gerilmeler.

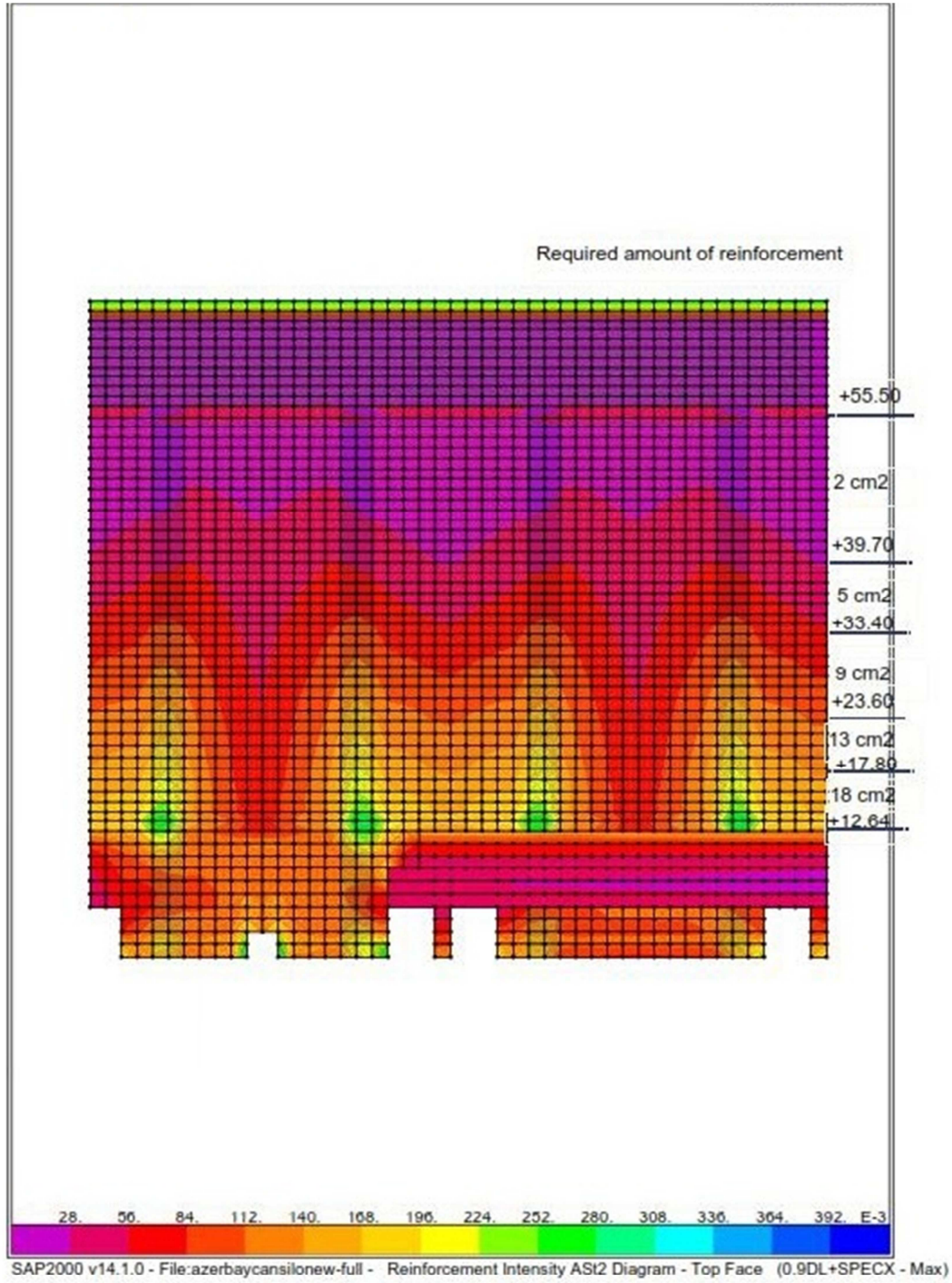


Şekil 5.22 : Deprem yüklerinden dolayı silo gövdesinde oluşan düşey gerilmeler.

Silo düşey donatıları;



Şekil 5.23 : Silo düşeyinde iç donatı



Şekil 5.24 : Silo düşeyinde dış donatı

+66.00 - +55.50 Kotları arası gerekli iç düşey donatı: minimum donatı

+66.00 - +55.50 Kotları arası gerekli dış düşey donatı: minimum donatı

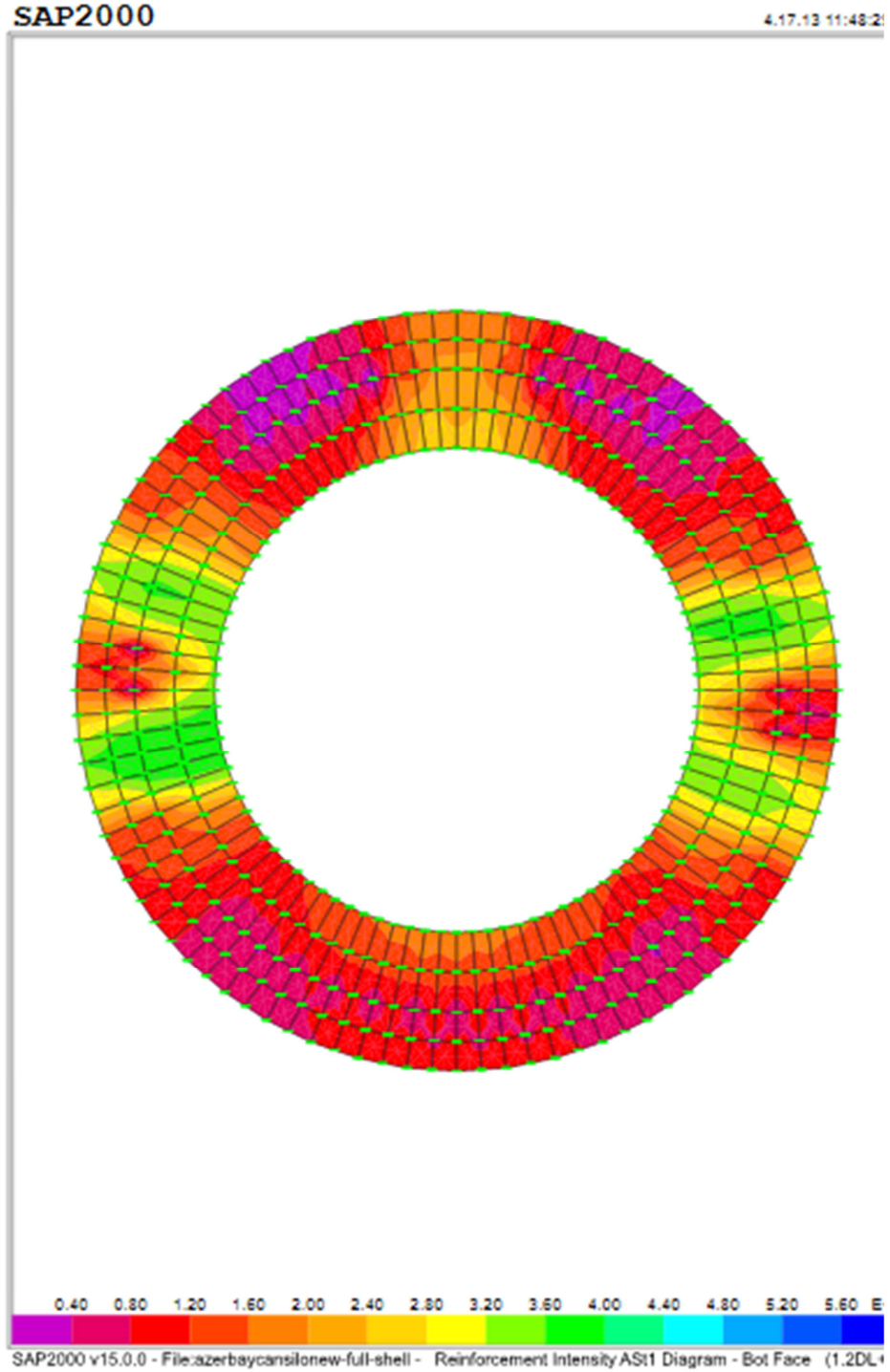
+55.50 - +12.64 Kotları arası gerekli dış düşey donatı: 18cm²

+55.50 - +12.64 Kotları arası gerekli iç düşey donatı: 15cm²

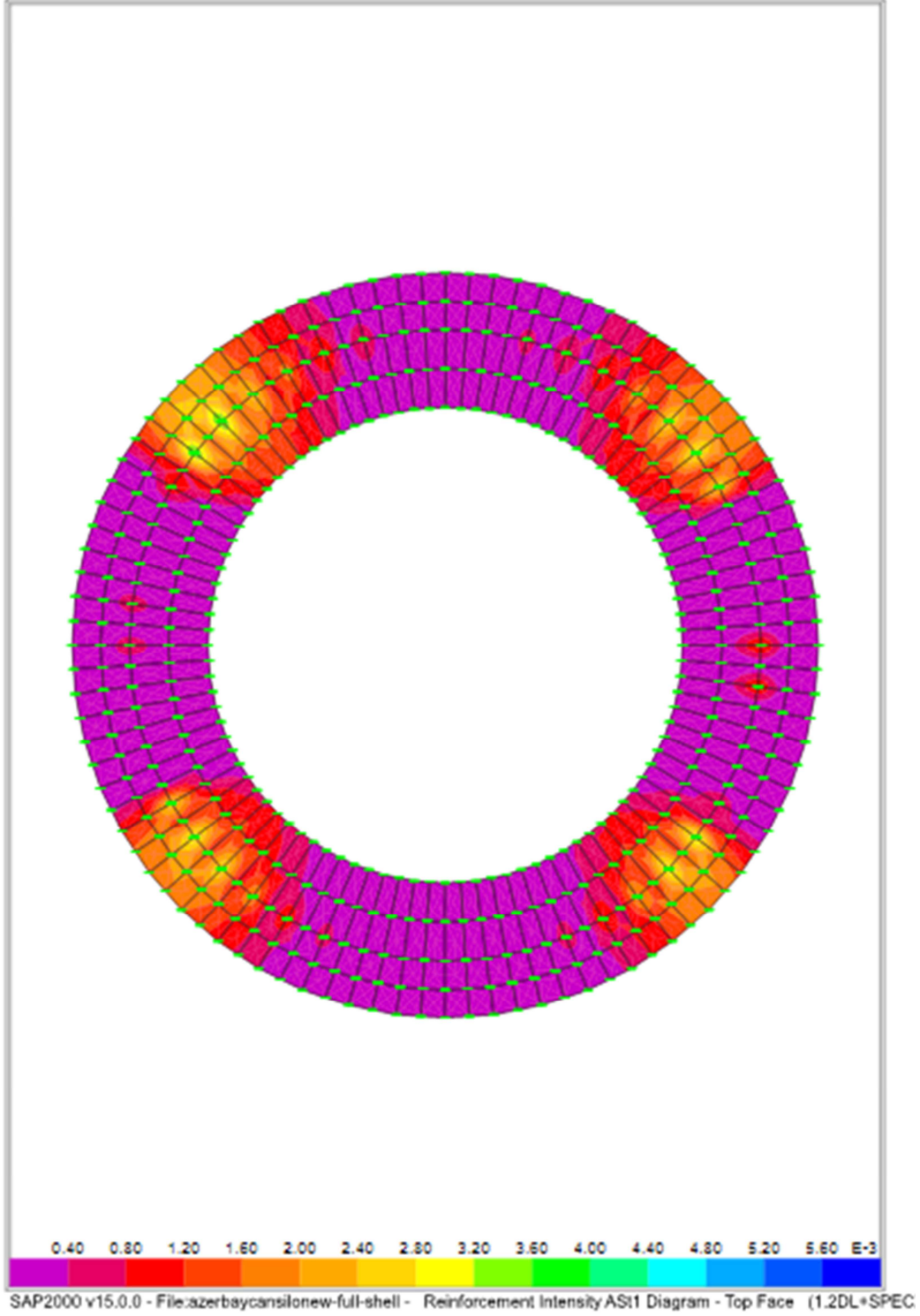
+12,64 - +0,00 Kotları arası gerekli dış düşey donatı: 12cm²

+12,64 - +0,00 Kotları arası gerekli iç düşey donatı: 10cm²

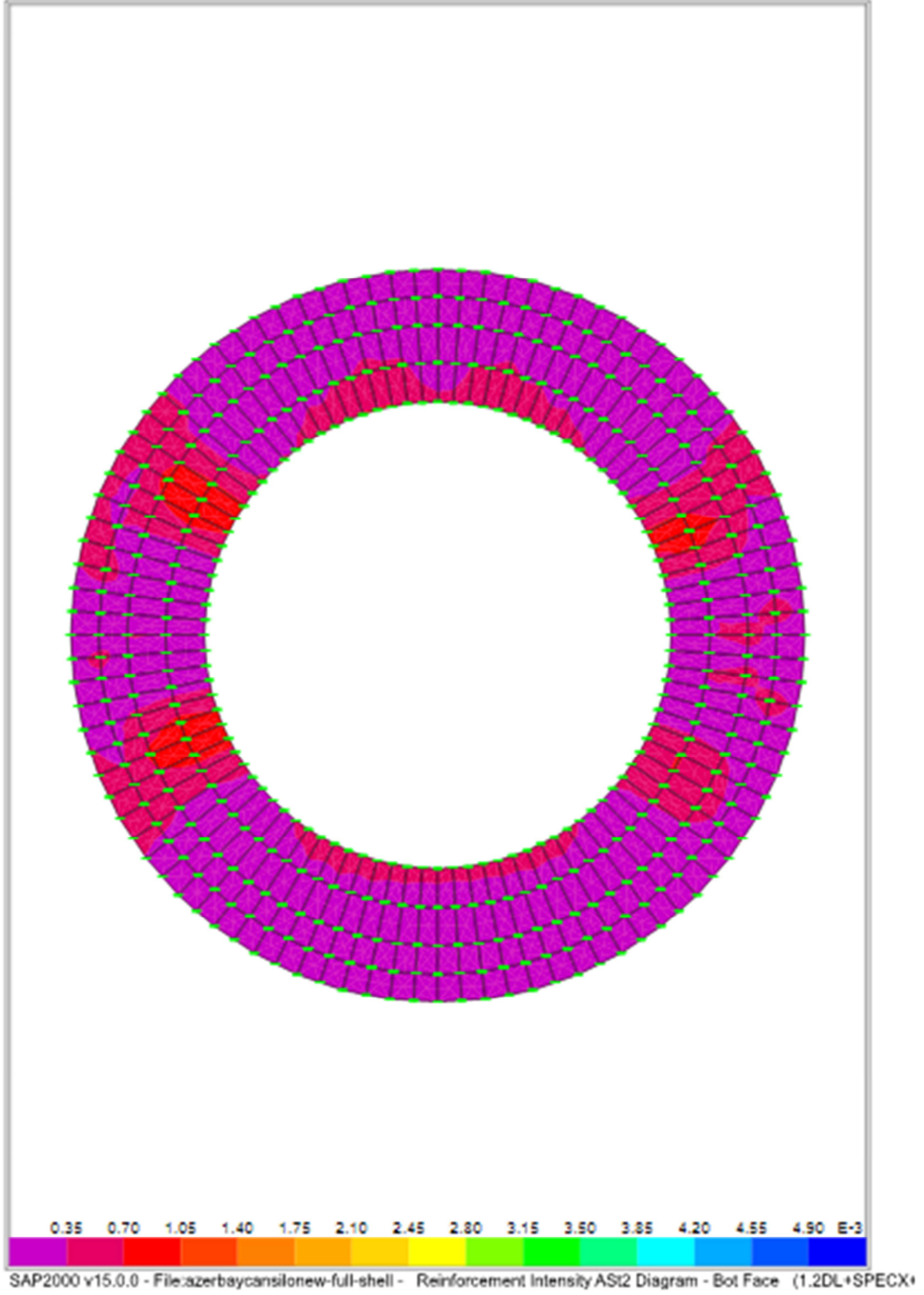
Silo temeli shell eleman olarak tanımlanmıştır ve zemin yatak katsayısı 150000kN/m³ olarak shell elemanlara girilmiştir. Temelde gerekli olan donatılar gösterilmiştir.



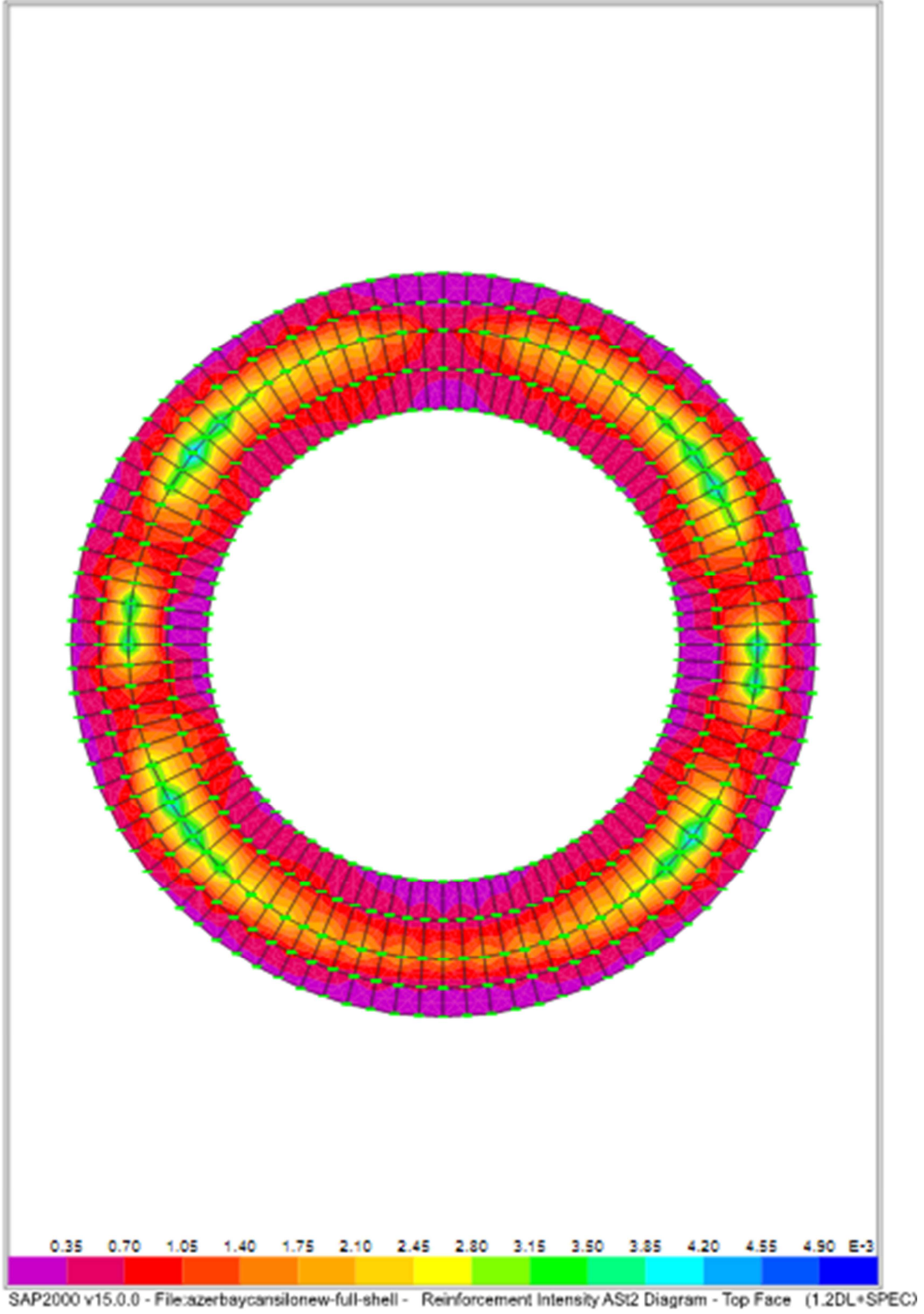
Şekil 5.25 : Deprem X doğrultusunda Temel alt çembersel donatı



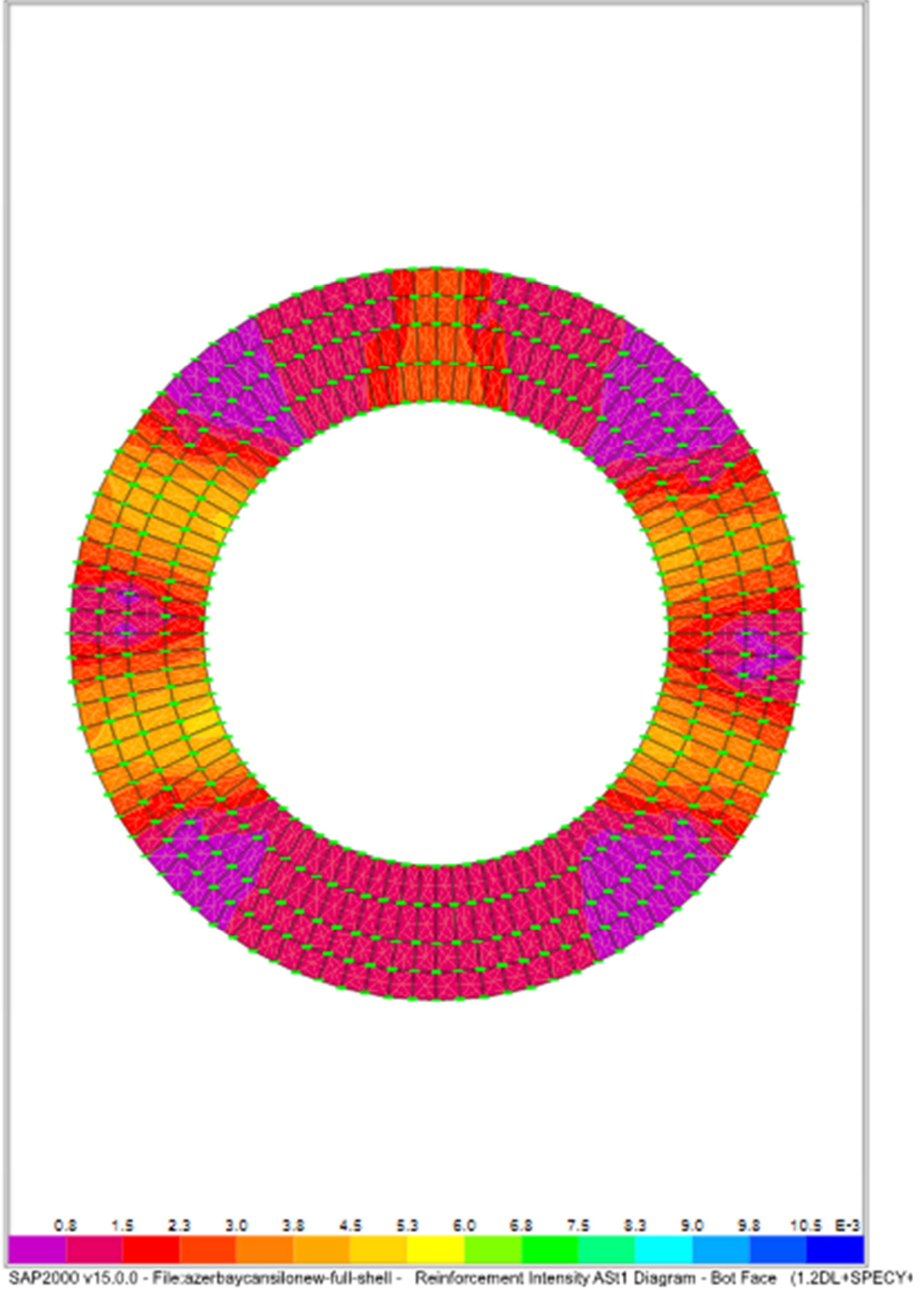
Şekil 5.26 : Deprem X doğrultusunda Temel üst çembersel donatı



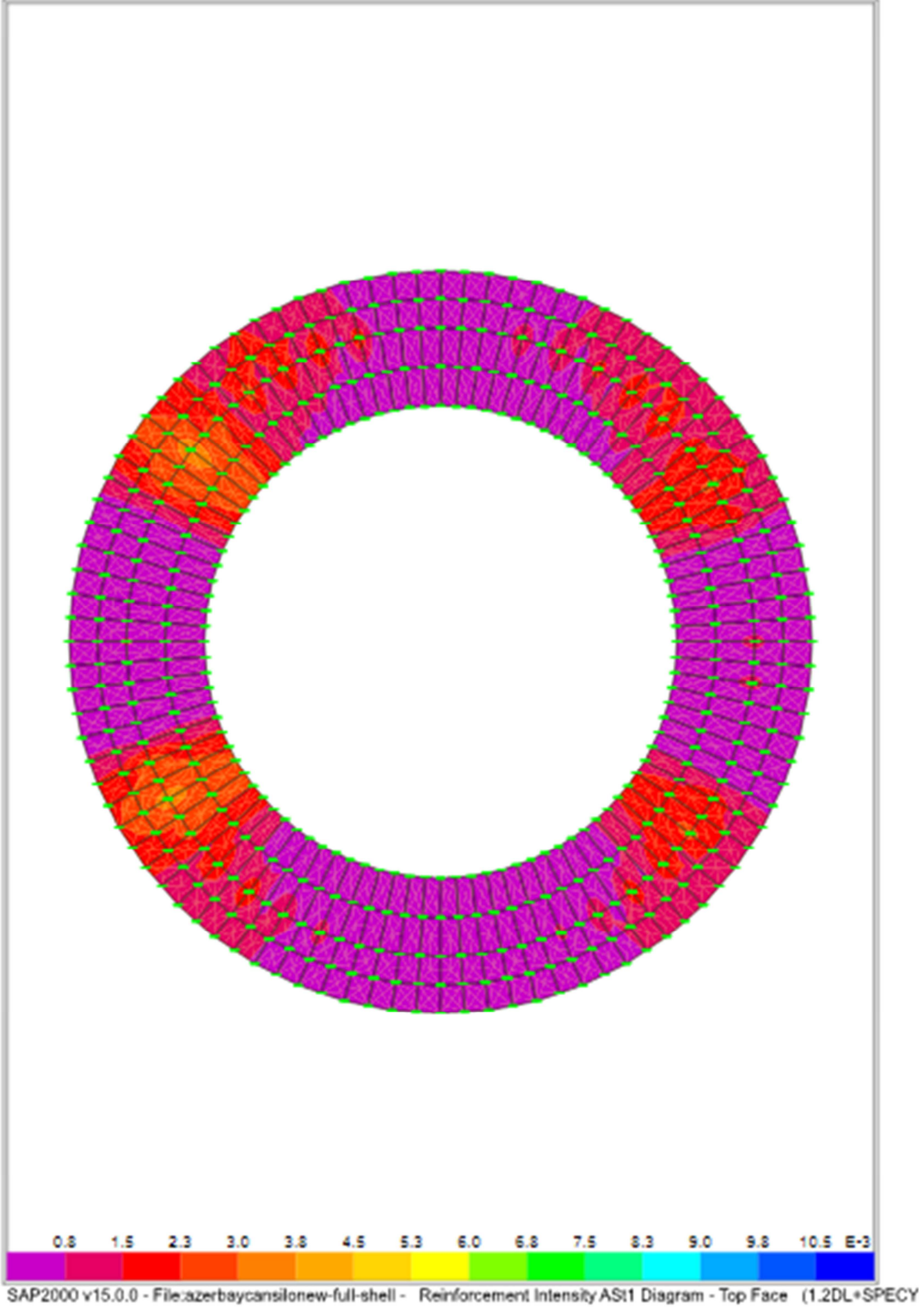
Şekil 5.27 : Deprem X doğrultusunda Temel alt donatısı



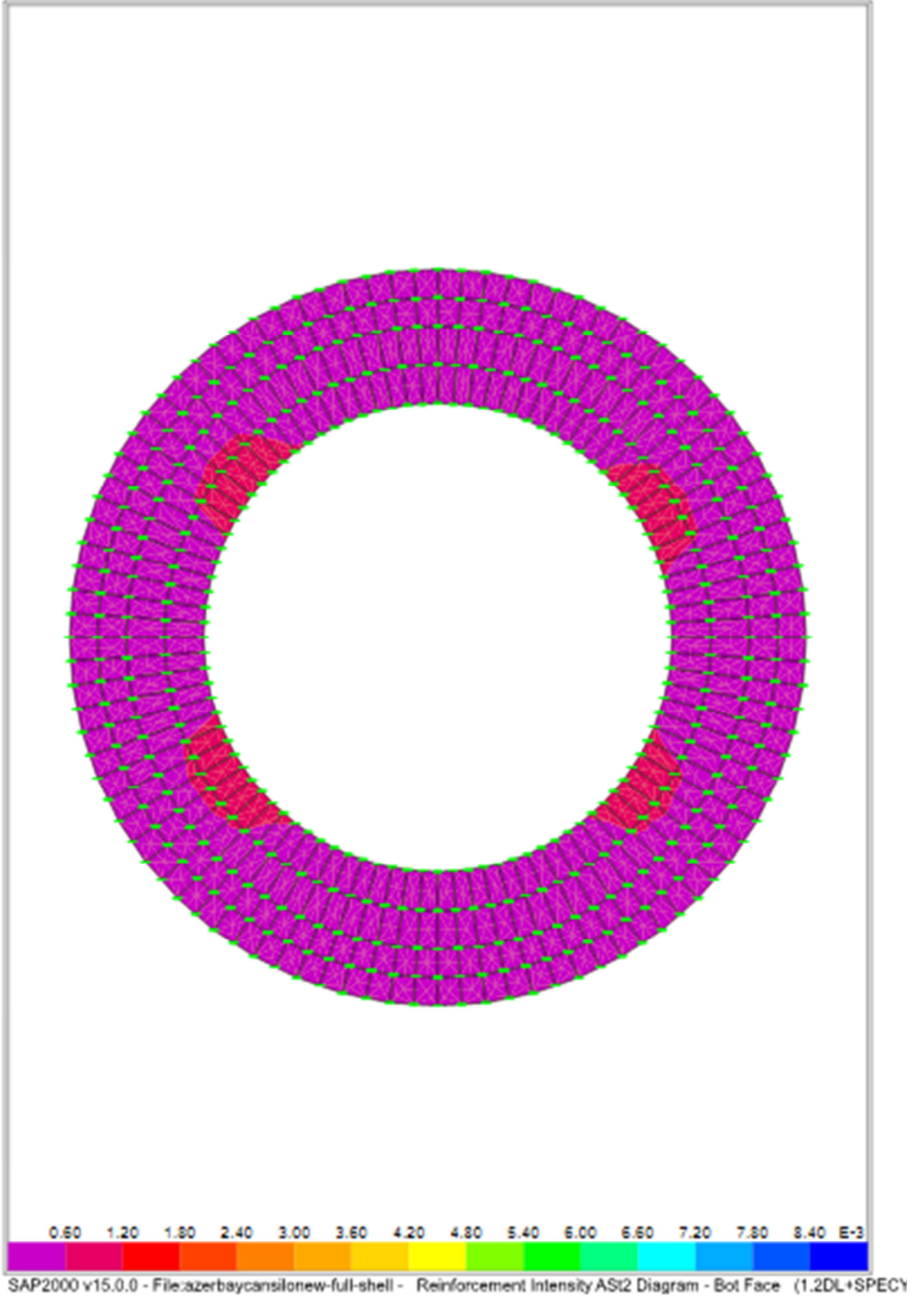
Şekil 5.28 : Deprem X doğrultusunda Temel üst donatısı



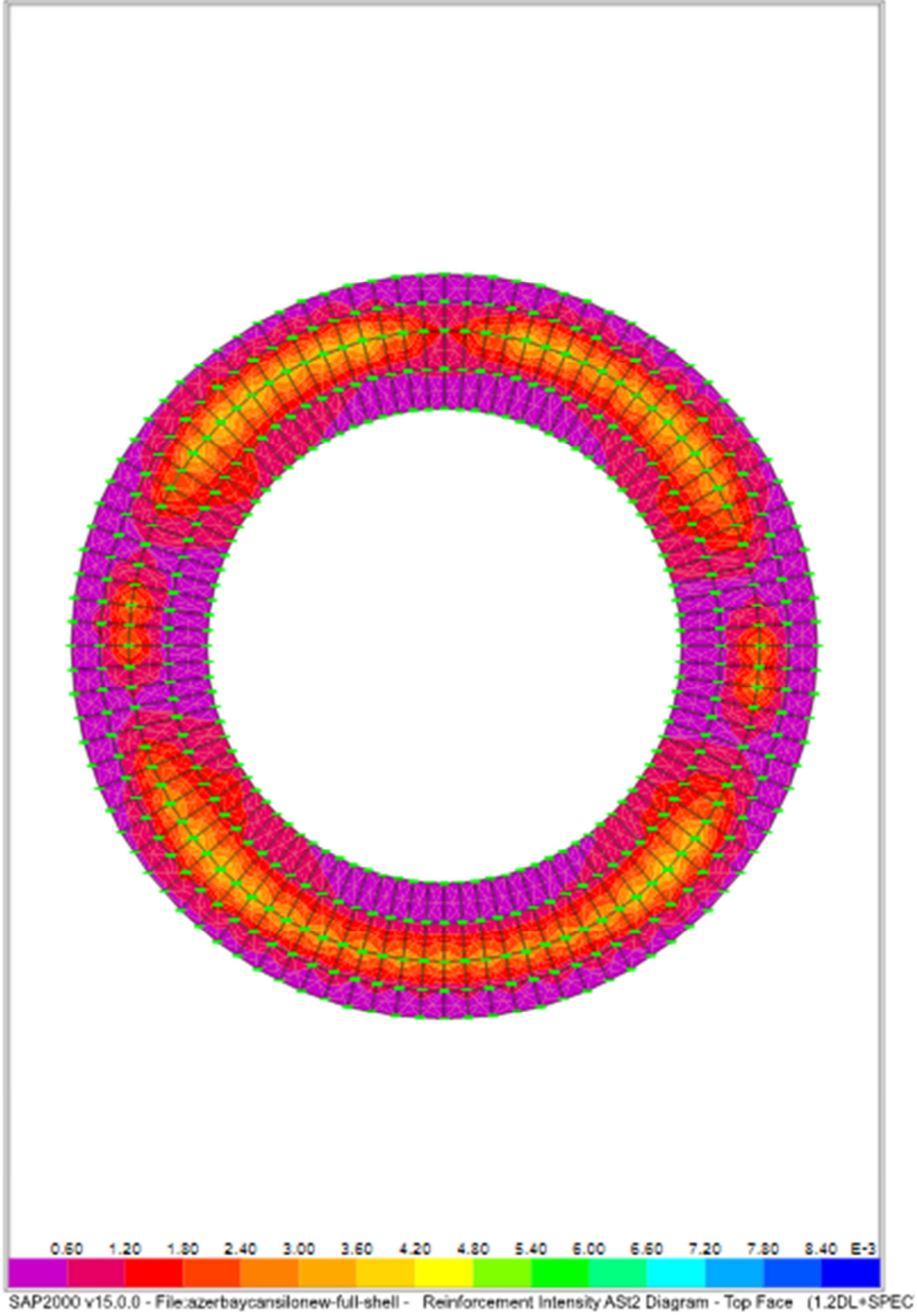
Şəkil 5.29 : Deprem Y doğrultusunda Temel alt çəmbərsel donatı



Şekil 5.30 : Deprem Y doğrultusunda Temel üst çembersel donatı



Şekil 5.31 : Deprem Y doğrultusunda Temel alt donatısı



Şekil 5.32 : Deprem Y doğrultusunda Temel üst donatısı

X ve Y yönünde deprem yükleri altında gerekli alt çembersel donatı 47cm^2

X ve Y yönünde deprem yükleri altında gerekli alt etriye donatısı 12cm^2

X ve Y yönünde deprem yükleri altında gerekli üst çembersel donatı 30cm^2

X ve Y yönünde deprem yükleri altında gerekli üst etriye donatısı 40cm^2

6. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında siloda ardgermeli bir silonun tasarım ilkeleri verilmiş, bu tür bir silonun imalatında kayar kalıp kullanmanın üstünlükleri açıklanmaya çalışılmıştır. Tasarımda izlenen yolu açıklaması amacıyla halen Azerbaycan'da uygulanmakta olan ardgermeli bir silonun hesabı verilmiştir. Aynı silo betornarme olarakta hesaplanmış ve maliyeti karşılatırılmıştır.

Uygulama olarak ardgermeli betornarme bir çimento silosunun statik hesapları yapılmış ve bu silo için gerekli ardgerme kablo miktarı, donatı miktarı ve beton miktarları bulunmuştur. Aynı silo ardgerme uygulanmadığı durum için tekrar hesaplanmıştır. Bu durumda görülmüştürki silo şaftında her metre için bırakılması gereken donatı miktarı +31,00 kotundan sonra 130cm² mertebesi civarındadır. Şaft kalınlığının 40m olduğu göz önüne alınırsa, bir metre şaft yüksekliği için silo içinde bulunan donatının oranının %3.5 civarında olduğu görülmüştür. Bu değerin %1.5 ile %2 arasında bir değerde kalması gerekmektedir. Bu sebeble donatı alanını azaltamayacağımız için silo şaftın kalınlığını artırma yoluna gidilmiştir.

Örnek olarak tasarımı anlatılan ardgermeli silonun, şaft kalınlıkları 80 cm ile başlayıp çimentonun dolduğu yerde 40 cm ye düşmekte ve +55.50 kotundan sonra 20 cm ile +66.00 kotuna kadar devam etmektedir. Ancak ardgermesiz silo tasarımında çimentonun dolduğu yerdeki silo şaftını 40 cm'den 60 cm'ye çıkarılması gerektiği için, silo şaftı dışa doğru +0.00 kotundan +66.00 kotuna kadar 20 cm kalınlaştırılmıştır. Böylece ardgermesiz silo tasarımında silo şaft kalınlığı 100cm ile başlayıp çimentonun dolduğu yerde 60 cm olarak +55.50 kotuna kadar devam etmekte ardından 40 cm'ye düşmektedir. Ardgermeli silo tasarımında kullanılan beton hacmi ile ardgermesiz silo tasarımında kullanılan beton hacmi arasındaki fark 982m³ olarak hesaplanmıştır.

Ardgermeli ve ardgermesiz silo tasarımında hesaplarla elde edilen gerekli ardgerme kablosu miktarı, donatı miktarı ve beton miktarı karşılaştırılmıştır. Ardgermeli siloda ardgerme kablolarının, ankraj kafalarının, germe işleminin ve bütün argerme işçiliği

toplam maliyeti 405566 TL olarak hesaplanmıştır. Ardgermesiz siloda gerekli donatı miktarı ve şaftın kalınlaştırılması için gereken maliyet 510556 TL dir. Burda görülmüştürki ardgermeli silo ardgermesiz siloya göre 104989 TL daha ucuza yapılabilir. Bu aynı zamanda ardgermesiz silonun ardgermeli siloya göre %26 daha pahalı olduğunu göstermektedir.

Tasarımı yapılan ardgermesiz siloda kullanılacak donatı çapı 32 mm ye kadar çıkmaktadır ve bu kalınlıktaki demirin bükülmesi ve yerleştirilmesi oldukça zor olacaktır. Ardgermeli siloda, ardgerme kablolarının donatıya göre çok daha seyrek yerleştiriliyor olması imalat açısından büyük kolaylık sağlamaktadır ve aynı zamanda işin daha çabuk bitmesine olanak sağlamaktadır.

Sonuç olarak ardgermeli bir silonun ardgermesiz bir siloya göre daha ekonomik ve işçiliğinin daha kolay olduğu görülmüştür. Ardgermesiz bir silo tasarımında şaft kalınlığının ardgermeliye göre önemli bir oranda artacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin bu çalışmadaki ardgermesiz betonarme silo şaftı beton hacmi ardgermeliye göre %50 fazla bulunmuştur.

KAYNAKLAR

ACI 313-97, American Concrete Institute, Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials (1997).

ACI318-2008, American Concrete Institute, Building Code Requirements for Structural Concrete (2008).

CEB-FIB, Model Code 1990

Prof.Dr.Nahit KUMBASAR, Prof.Dr.Metin AYDOGAN, Prof.Dr.Melike ALTAN
Betonarme Silo ve Bunkerler (1992).

Prof.Dr. Nahit KUMBASAR, Prof.Dr.Zekai CELEP (2005). Betonarme yapılar

SARGIS, S. Safarian and ERNEST C. Harris (1985). Design and Construction of Silos and Bunkers

UBC-97, Uniform Building Code (1997)

FREYSSINET, Katalog 2013

EKLER

EK A: UBC-97 Çizelgeleri

EK B: Ardgerme Çizelgeleri

EK A

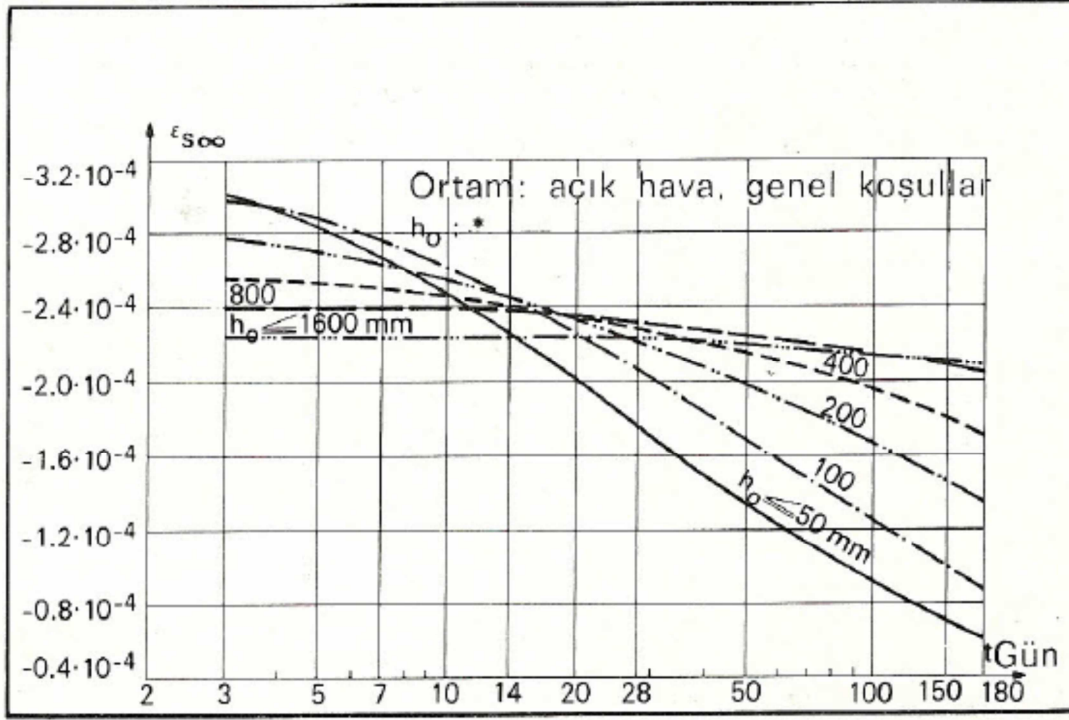
OCCUPANCY CATEGORY	OCCUPANCY OR FUNCTIONS OF STRUCTURE	SEISMIC IMPORTANCE FACTOR, I	SEISMIC IMPORTANCE ¹ FACTOR, I_p	WIND IMPORTANCE FACTOR, I_w
1. Essential facilities ²	Group I, Division 1 Occupancies having surgery and emergency treatment areas Fire and police stations Garages and shelters for emergency vehicles and emergency aircraft Structures and shelters in emergency-preparedness centers Aviation control towers Structures and equipment in government communication centers and other facilities required for emergency response Standby power-generating equipment for Category 1 facilities Tanks or other structures containing housing or supporting water or other fire-suppression material or equipment required for the protection of Category 1, 2 or 3 structures	1.25	1.50	1.15
2. Hazardous facilities	Group H, Divisions 1, 2, 6 and 7 Occupancies and structures therein housing or supporting toxic or explosive chemicals or substances Nonbuilding structures housing, supporting or containing quantities of toxic or explosive substances that, if contained within a building, would cause that building to be classified as a Group H, Division 1, 2 or 7 Occupancy	1.25	1.50	1.15
3. Special occupancy structures ³	Group A, Divisions 1, 2 and 2.1 Occupancies Buildings housing Group E, Divisions 1 and 3 Occupancies with a capacity greater than 300 students Buildings housing Group B Occupancies used for college or adult education with a capacity greater than 500 students Group I, Divisions 1 and 2 Occupancies with 50 or more resident incapacitated patients, but not included in Category 1 Group I, Division 3 Occupancies All structures with an occupancy greater than 5,000 persons Structures and equipment in power-generating stations, and other public utility facilities not included in Category 1 or Category 2 above, and required for continued operation	1.00	1.00	1.00
4. Standard occupancy structures ³	All structures housing occupancies or having functions not listed in Category 1, 2 or 3 and Group U Occupancy towers	1.00	1.00	1.00
5. Miscellaneous structures	Group U Occupancies except for towers	1.00	1.00	1.00

Şekil A.1 : Yapı önem faktörü I_w

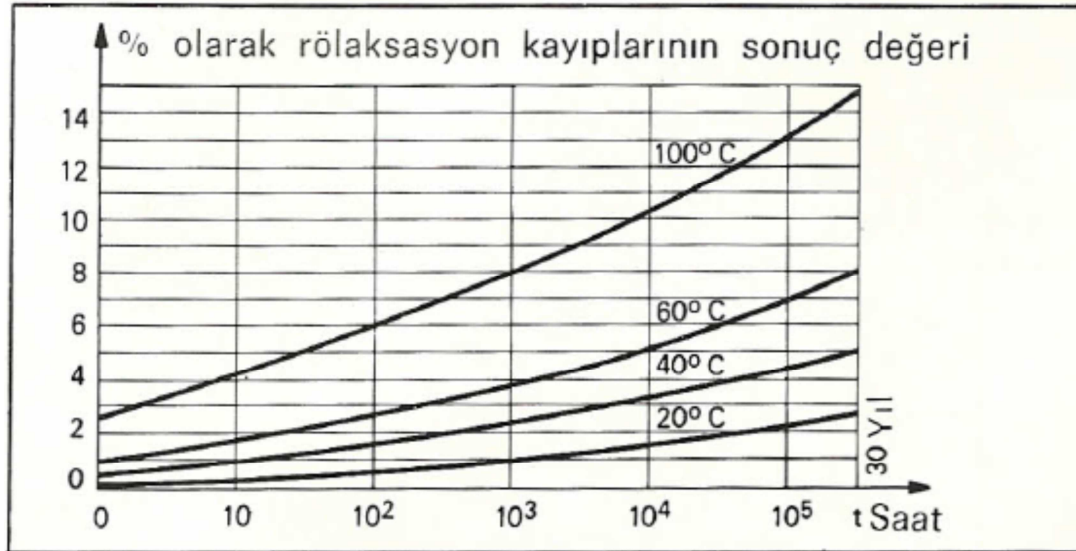
STRUCTURE OR PART THEREOF	DESCRIPTION	C _q FACTOR
1. Primary frames and systems	Method 1 (Normal force method) Walls: Windward wall Leeward wall Roofs ¹ : Wind perpendicular to ridge Leeward roof or flat roof Windward roof less than 2:12 (16.7%) Slope 2:12 (16.7%) to less than 9:12 (75%) Slope 9:12 (75%) to 12:12 (100%) Slope > 12:12 (100%) Wind parallel to ridge and flat roofs	0.8 inward 0.5 outward 0.7 outward 0.7 outward 0.9 outward or 0.3 inward 0.4 inward 0.7 inward 0.7 outward
	Method 2 (Projected area method) On vertical projected area Structures 40 feet (12 192 mm) or less in height Structures over 40 feet (12 192 mm) in height On horizontal projected area ¹	1.3 horizontal any direction 1.4 horizontal any direction 0.7 upward
2. Elements and components not in areas of discontinuity ²	Wall elements All structures Enclosed and unenclosed structures Partially enclosed structures Parapets walls	1.2 inward 1.2 outward 1.6 outward 1.3 inward or outward
	Roof elements ³ Enclosed and unenclosed structures Slope < 7:12 (58.3%) Slope 7:12 (58.3%) to 12:12 (100%) Partially enclosed structures Slope < 2:12 (16.7%) Slope 2:12 (16.7%) to 7:12 (58.3%) Slope > 7:12 (58.3%) to 12:12 (100%)	1.3 outward 1.3 outward or inward 1.7 outward 1.6 outward or 0.8 inward 1.7 outward or inward
3. Elements and components in areas of discontinuities ^{2,4,5}	Wall corners ⁶ Roof eaves, rakes or ridges without overhangs ⁶ Slope < 2:12 (16.7%) Slope 2:12 (16.7%) to 7:12 (58.3%) Slope > 7:12 (58.3%) to 12:12 (100%) For slopes less than 2:12 (16.7%) Overhangs at roof eaves, rakes or ridges, and canopies	1.5 outward or 1.2 inward 2.3 upward 2.6 outward 1.6 outward 0.5 added to values above
4. Chimneys, tanks and solid towers	Square or rectangular Hexagonal or octagonal Round or elliptical	1.4 any direction 1.1 any direction 0.8 any direction
5. Open-frame towers ^{7,8}	Square and rectangular Diagonal Normal Triangular	4.0 3.6 3.2
6. Tower accessories (such as ladders, conduit, lights and elevators)	Cylindrical members 2 inches (51 mm) or less in diameter Over 2 inches (51 mm) in diameter Flat or angular members	1.0 0.8 1.3
7. Signs, flagpoles, lightpoles, minor structures ⁸		1.4 any direction

Şekil A.2 : C_q değerleri

EK B



Şekil B.1 : h_0 etkin yüksekliğinin fonksiyonu olarak betonun son rötre miktarı.



Şekil B.2 : Rölaksasyon kayıplarının sonuç değeri.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Orhan Yerli

Doğum Yeri ve Tarihi: 01.01.1989 ANKARA

Adres: Girne sokak Didem polat apartmanı No 13/13 Gayrettepe/İstanbul

E-Posta: orhan_yerli@hotmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi ve SUNY University of Buffalo

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

2011 Ekim – Halen ENDEM İnşaat Proje Mühendisi