



**FARKLI TEMEL TİPLERİ İÇİN BETONARME  
SİLOLARIN ZEMİNİNDE OLUŞTURDUĞU ETKİLERİN  
PLAXİS PROGRAMI İLE BELİRLENMESİ**

**Mehmet TURHAN**  
Yüksek Lisans Tezi

**BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**1. Danışman: Prof. Dr. İsmail Şükrü İPEK**

**2. Danışman: Doç. Dr. Hakan KİBAR**

**2018**

**Her hakkı saklıdır**

**T.C.**  
**İĞDIR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FARKLI TEMEL TİPLERİ İÇİN BETONARME SİLOLARIN ZEMİNİNDE  
OLUŞTURDUĞU ETKİLERİN PLAXİS PROGRAMI İLE BELİRLENMESİ**

**Mehmet TURHAN**

**BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İĞDIR**

**2018**

**Her hakkı saklıdır**

Prof. Dr. İsmail Şükrü İPEK ve Doç. Dr. Hakan KİBAR danışmanlığında Mehmet TURHAN tarafından hazırlanan bu çalışma .....tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. İsmail Şükrü İPEK

İmza:

Üye: Doç. Dr. Murat MUVAFIK

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Emrah KUŞ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ..... / ..... /2018 tarih ve 2018/ .....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

(imza)

.....

Doç. Dr. Süleyman TEMEL

Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mehmet TURHAN



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

## ÖZET

### FARKLI TEMEL TİPLERİ İÇİN BETONARME SİLOLARIN ZEMİNİNDE OLUŞTURDUĞU ETKİLERİN PLAXİS PROGRAMI İLE BELİRLENMESİ

TURHAN, Mehmet

Yüksek Lisans Tezi, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

1. Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail Şükrü İPEK,

2. Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hakan KİBAR

Haziran 2018, 85 sayfa

Bu çalışmada bir betonarme silo için iki farklı temel tipi kullanılarak silodan gelen yükler üç farklı zemin cinsine aktarılıp zeminde oluşan deformasyon ve gerilmeler plaxis programı aracılığıyla değerlendirilmiştir. Çalışmada silo yapısından temele iletilen tüm yükler hesaba katılarak temelden zemine aktarılıp, ortam yükleriyle beraber gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Beklenildiği gibi her iki temel türünde de zemin gerilmeleri ve deformasyonların yapılan analizler sonucu yüzeyden derinlere inildikçe azaldığı görülmüştür. Aynı temel tiplerinin farklı zemin türlerinde farklı gerilme deformasyon dağılımlarının olduğu tespit edilmiştir. Plaxis programında iki boyutta çalışılması temellerin şerit olarak belirtilmesi ve radye temele gelen yüklerin toplamının ring temele gelen yüklere göre fazla olması sebebiyle radye temel altında oluşan deformasyonların ve gerilmelerin daha büyük değerlere ulaşıldığı tespit edilmiştir. Ancak bu değerler temellerin şerit şeklinde programa modellenmesinden kaynaklı olması sebebiyle ortaya çıkmıştır. Radye temel ve ring temel karşılaştırılmasında zeminde oluşacak deformasyon gerilme değerlerinin analizlerde görüldüğü gibi birbirine yakın sonuçlar alınmasından dolayı ekonomiklik açısından ring temel yapımı değerlendirilebilir. Betonarme silo yapımında tercih edilecek yüzeysel temel tipi için zemin cinsi ve diğer zemin parametrelerini doğru değerlendirilerek seçim yapılmalıdır.

**Anahtar kelimeler:** Silo, Plaxis, Zemin, Oturma

## **ABSTRACT**

### **FOR THE EFFECTS OF DIFFERENT FOUNDATION'S TYPES CONSISTING OF REINFORCED CONCRETE SİLOS ON THE GROUND DETERMINED BY THE PLAXIS PROGRAM**

TURHAN, Mehmet

Master Thesis, Department of Biosystem Engineering

1<sup>st</sup> Thesis Adviser: Prof. Dr. İsmail Şükrü İPEK,

2<sup>st</sup> Thesis Adviser: Assoc. Prof. Dr. Hakan KİBAR

June 2018, 85 pages

In this study two different basic foundation's types were used for a reinforced concrete silo, the loads from the silos were transferred to three different types of grounds, and deformation and stresses in the soil were assessed through the plaxis program. In the study, all the loads transferred from the basement by silo were taken into the account and they were transferred to the basement floor. At this time, necessary calculations were made together with the environmental loads. As expected, the soil stresses and deformations of the two foundation's types were found to decrease as the depths of the analyzes from the resultant surface increased. It has been determined that the same foundation types have different stress deformation distributions in different soil types. It has been determined that deformation and stresses occurring under the radial foundation are reached to larger values because the work in two dimensions in the Plaxis program is indicated as a stripe and the sum of the radial basis loads is higher than the ring foundation loads. However, these values are derived from the fact that the bases are modeled by the program in the form of strips. The ring base construction can be evaluated in terms of economic efficiency due to the close results as seen in the analysis of the deformation tensile values to be formed at the base of the radial foundation and the ring foundation. For the superficial base type to be preferred in the construction of reinforced concrete silos, selection should be made by properly evaluating the soil type and other soil parameters.

**Keywords:** Silo, Plaxis, Soil, Subsidence

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde çeşitli malzemelerin üretilmesi ve tüketilmesinin gereği olarak büyük hacimli depolama tesislerine ihtiyaç duyulmakta ve silo yapıları çeşitli malzemeler için ihtiyaç duyulan depolama amacı ile kullanılmaktadır. Daha az bakım masrafları gerektirmesi, burkulma ve göçmeye karşı emniyetli olması ve depolanan malzeme ile ilgili çeşitli avantajlar sunması gibi sebeplerle orta ve büyük hacimli silolar betonarme olarak inşa edilmektedir. Bu çalışma, farklı zeminler üzerine inşa edilen betonarme siloların farklı şekillere sahip (ring ve radye temel) yüzeysel temellerin taşıma gücü kapasiteleri, oturma davranışları ve gerilme dağılımları ile ilgili hesaplara dayalı değerlendirmeleri içermektedir. Temellerin altındaki gerilme dağılımını Plaxis Foundation bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplar sonucu iki temel tipi ve farklı zeminlerde oluşan bu etkiler elde edilen verilerin ışığında değerlendirilmiştir.

Tez çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, çalışmalarımın her aşamasında bilgi paylaşımında bulunup destek olarak yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Hakan KİBAR ile Prof. Dr. İsmail Şükrü İPEK'e ve bölümü tercih etmemde ve çalışmalarımında yardımcı olan değerli arkadaşlarım Ziraat Mühendisi Yalçın DALAR ve Ziraat Mühendisi Ayşegül KALKAN'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet TURHAN

Haziran, 2018

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa No</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLERİN DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>3</b>
2.1. Silo Yapıları .....	3
2.1.1 Siloların yüksekliklerine göre sınıflandırılması .....	3
2.1.2. Silo yapısının bölümleri .....	5
2.1.3. Silo stok malzemesi .....	6
2.1.4. Silo stok malzemesi türleri .....	6
2.1.5. Silo stok malzemesinin mekanik türleri .....	7
2.1.6. Silo stok malzemesinin kimyasal etkileri .....	7
2.1.7. Silo stok malzemesinin sıcaklık etkisi ve silo elemanları .....	8
2.1.8. Silo tipleri ve inşası .....	10
2.1.9. Çelik ve betonarme silolar arasındaki başlıca farklar .....	13
2.2. Zeminde taşıma gücü belirleme yöntemleri .....	22
2.3. Kohezyonsuz Zeminler Üzerinde Oturma .....	27
2.4. Temeller altında oluşan gerilme dağılımı .....	29
<b>3. MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>35</b>
3.1. Silo Temeline Gelen Yüklerin Hesabı .....	35
3.1.1. Silo beton metraжі .....	36
3.1.2. Silo Donatı Metraжі .....	40
3.2. Betonarme Silodan Temel Tabanına Aktarılan Yükler .....	47
3.3. Hesaplanan Yüklerin Plaxis Programına Veri Girişinin Yapılması .....	47
3.3.1. Betonarme silo (ring temelli) yüklerinin girişı (input) .....	47
3.3.2. Plaxis programı ring temeli için hesaplama işlemleri (calculate) .....	52



3.3.3. Plaxis programı (radye temeli) veri girişi (İnput).....	53
3.3.4. Plaxis programı ile ring temeli için hesaplama işlemi (calculate).....	57
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>58</b>
4.1. Tabakalı Zemindeki Gerilme ve Deformasyon Sonuçları .....	58
4.1.1. Ring temel – tabakalı zemin plaxis programı analiz sonuçları (output) ...	58
4.1.2. Radye temel – tabakalı zemin plaxis programı analiz sonuçları (output).	61
4.2. Kaya Özellikli Zemindeki Gerilme ve Deformasyon Sonuçları .....	65
4.2.1. Ring temel – kaya zemin plaxis programı analiz sonuçları (output) .....	65
4.2.2. Radye temel – kaya zemin plaxis programı analiz sonuçlar (output).....	69
4.3. Tabakalı Zemindeki Gerilme ve Deformasyon Sonuçları .....	73
4.3.1. Ring temel – kil zemin plaxis programı analiz sonuçları (output) .....	73
4.3.2. Radye temel – kil zemin plaxis programı analiz sonuçları (output).....	77
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>82</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>83</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>86</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

<b>A</b> .....	Temelin taban alanı
<b>B</b> .....	Temelin genişliği
<b>b<sub>c</sub>, b<sub>γ</sub>, b<sub>q</sub></b> .....	Taban eğim faktörleri
<b>c</b> .....	Zeminin kohezyonu
<b>cm</b> .....	Santimetre
<b>Cc</b> .....	Eğrilik katsayısı, Sıkışma indisi
<b>Cu</b> .....	Üniformluk katsayısı
<b>Cr</b> .....	Yeniden sıkışma indisi
<b>CO</b> .....	Varyasyon katsayısı
<b>D</b> .....	Temelin derinliği
<b>Dr</b> .....	Rölatif yoğunluk
<b>d<sub>c</sub>, d<sub>γ</sub>, d<sub>q</sub></b> .....	Derinlik faktörleri
<b>e<sub>min</sub></b> .....	Minimum boşluk oranı
<b>e<sub>max</sub></b> .....	Maksimum boşluk oranı
<b>E</b> .....	Elastisite modülü
<b>F</b> .....	Kuvvet
<b>fs</b> .....	Şekil faktörü
<b>fd</b> .....	Derinlik düzeltme faktörü
<b>Gs</b> .....	Özgül ağırlık
<b>g</b> .....	Yer çekim ivmesi
<b>g<sub>c</sub>, g<sub>γ</sub>, g<sub>q</sub></b> .....	Yer eğim faktörleri
<b>H</b> .....	Temel ile rijit tabaka arasındaki katman kalınlığı
<b>i<sub>c</sub>, i<sub>γ</sub>, i<sub>q</sub></b> .....	Yük eğim faktörleri
<b>K</b> .....	Temelin rijitlik katsayısı
<b>K<sub>p</sub></b> .....	Pasif zemin basınç katsayısı
<b>kPa</b> .....	Kilopascal
<b>kN</b> .....	Kilonewton
<b>L</b> .....	Temelin uzunluğu

<b>m</b> .....	Metre
<b>mm</b> .....	Milimetre
<b>N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub></b> .....	Taşıma kapasitesi faktörleri
<b>I<sub>c</sub></b> .....	Sıkışma indisi
<b>Q</b> .....	Yük değeri
<b>q</b> .....	Temel yüzeyindeki sürşarj gerilmesi
<b>q<sub>c</sub></b> .....	Uç direnci
<b>q<sub>ö</sub></b> .....	Deneyler sonucu ölçülen taşıma gücü
<b>P<sub>p</sub></b> .....	Pasif şartlarda bir duvar üzerine etkileyen normal kuvvet
<b>s</b> .....	Oturma miktarı
<b>s<sub>c</sub>, s<sub>γ</sub>, s<sub>q</sub></b> .....	Şekil faktörleri
<b>V</b> .....	Dikey kuvvet
<b>X</b> .....	Yataydaki uzunluk
<b>Z</b> .....	Temel derinliği
<b>β</b> .....	Zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açı
<b>γ</b> .....	Zeminin su yüzeyi üzerindeki birim hacim ağırlığı
<b>γ'</b> .....	Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
<b>π</b> .....	Pi sayısı
<b>φ</b> .....	İçsel sürtünme açısı
<b>ψ</b> .....	Dilatasyon açısı
<b>Σ</b> .....	Toplam İşareti
<b>ν</b> .....	Poisson oranı
<b>θ<sub>E</sub></b> .....	Dalgalanmanın farklı ölçekleri
<b>∞</b> .....	Sonsuz
<b>ρ<sub>min</sub></b> .....	Minimum yoğunluk
<b>ρ<sub>f</sub></b> .....	Maksimum yoğunluk
<b>δ</b> .....	Toplam oturma
<b>δ<sub>a</sub></b> .....	İzin verilebilir toplam oturma
<b>δ<sub>D</sub></b> .....	Farklı oturma

$\delta_{Da}$ .....	İzin verilebilir farklı oturma
$\sigma$ .....	Normal gerilme
$\sigma_z$ .....	Düşey toplam gerilme
$r_A$ .....	Silo dış perde çapı
$r_B$ .....	Silo iç perde çapı
$H_p$ .....	Silo perde yüksekliği
$V_p$ .....	Silo perde hacmi
$A_K$ .....	Silo koni yanal alanı
$V_{KP}$ .....	Silo koni perde hacmi
$V_A$ .....	Silo temel hatlı hacmi
$V_B$ .....	Silo temel hacmi
$A_ç$ .....	Çatı alanı
$V_ç$ .....	Çimento hacmi
$\gamma_ç$ .....	Çimento birim hacim ağırlığı
$\alpha$ .....	Sömel tabanının eğimi, temele etkien bileşke kuvvetin düşeyle yaptığı açı, kama ile olan açı

### **Kısaltmalar**

<i>İTÜ</i> .....	İstanbul Teknik Üniversitesi
<i>SPT</i> .....	Standart Penetrasyon Testi
<i>TMO</i> .....	Toprak Mahsülleri Ofisi
<i>PMT</i> .....	Presiyometre Testi
<i>Ort.</i> .....	Ortalama
<i>Min.</i> .....	Minimum Değer
<i>Maks.</i> .....	Maksimum Değer
<i>LVDT</i> .....	(Linear Variable Displacement Transducer) Elektronik Doğrusal Deplasman Ölçer

## ŞEKİLLERİN DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Bunker planı ve kesiti .....	4
Şekil 2.2. Dairesel betonarme silo (Buffalo NY Silo - United States of America).....	4
Şekil 2.3. Silo kesiti ve bölümleri.....	5
Şekil 2.4. Çeşitli silo tipleri.....	10
Şekil 2.5. Mersin nervürlü klinker silosu.....	11
Şekil 2.6. Çimsa Eskişehir klinker silosu .....	12
Şekil 2.7. Ardgame klinker silo inşası.....	13
Şekil 2.8. Toprak Mahsuller Ofisi betonarme siloları.....	15
Şekil 2.9. Traçım betonarme siloları.....	16
Şekil 2.10. Farklı geometrideki temelerde şekil etkisi.....	19
Şekil 2.11. Terzaghi taşıma gücü teorisine göre rijit sürekli temel altındaki zeminde taşıma gücü yenilmesi.....	23
Şekil 2.12. Tipik bir kum için sıkışma-zaman ilişkisi.....	28
Şekil 2.13. Düşey gerilmenin derinliğe bağlı değişiminde 2:1 yaklaşımı.....	30
Şekil 2.14. Üniform yüklenmiş dikdörtgen alanın köşesi altındaki düşey gerilme için etki değeri .....	32
Şekil 2.15. Yatay düzlemler üzerindeki düşey gerilme için etki grafiği (Newmark, 1942).....	33
Şekil 3.1. Betonarme silo kesiti (ring temelli).....	35
Şekil 3.2. Silo temel planı (ring temel).....	37
Şekil 3.3. Silo temeli kesiti (ring temel).....	38
Şekil 3.4. Silo temel planı (radye temel).....	39
Şekil 3.5. Silo temeli donatı detayı (ring temel).....	41
Şekil 3.6. Silo huni donatı kesiti.....	43
Şekil 3.7. Silo huni donatı planı.....	44
Şekil 3.8. Silo perde donatı planı.....	45
Şekil 3.9. Plaxis programı bilgi giriş ekranı (ring temel).....	48
Şekil 3.10. Geometryline komutu çalıştırılması (ring temel).....	48

<b>Şekil 3.11.</b> Analiz yapılması istenen zemin tabakalarının geometrisinin oluşturulması (ring temel).....	49
<b>Şekil 3.12.</b> Zemin parametrelerinin belirlenmesi (ring temel).....	49
<b>Şekil 3.13.</b> Zemin parametrelerinin tabakalara tanımlanması.....	50
<b>Şekil 3.14.</b> Silo temeli parametrelerinin programa tanımlanması (ring temel).....	50
<b>Şekil 3.15.</b> Silodan gelen yüklerin programa veri girişi (ring temel).....	51
<b>Şekil 3.16.</b> Generate mesh komutu (ring temel).....	51
<b>Şekil 3.17.</b> Calculate ekranı (ring temel).....	52
<b>Şekil 3.18.</b> Zemin üzerindeki işlem adımları (Ring temel) .....	52
<b>Şekil 3.19.</b> Plaxis programı bilgi giriş ekranı (radye temel).....	53
<b>Şekil 3.20.</b> Geometry line komutu çalıştırılması (radye temel).....	53
<b>Şekil 3.21.</b> Analiz yapılması istenen zemin tabakalarının geometrisinin oluşturulması (radye temel).....	54
<b>Şekil 3.22.</b> Zemin parametrelerinin belirlenmesi (radye temel).....	54
<b>Şekil 3.23.</b> Zemin parametrelerinin tabakalara tanımlanması (radye temel).....	55
<b>Şekil 3.24.</b> Silo temeli parametrelerinin programa tanımlanması (radye temel)....	55
<b>Şekil 3.25.</b> Silodan gelen yüklerin programa veri girişi (radye temel).....	56
<b>Şekil 3.26.</b> Generate mesh komutu (radye temel).....	56
<b>Şekil 3.27.</b> Calculate ekranı (radye temel).....	57
<b>Şekil 4.1.</b> Tabakalı zeminde oluşan deformasyon gösterimi (ring temel) .....	58
<b>Şekil 4.2.</b> Tabakalı zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (ring temel).....	59
<b>Şekil 4.3.</b> Tabakalı zeminde oluşan toplam yerdeğiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (ring temel) .....	59
<b>Şekil 4.4.</b> Tabakalı zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (ring temel) .....	60
<b>Şekil 4.5.</b> Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (ring temel) .....	60
<b>Şekil 4.6.</b> Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (1) (ring temel) .....	61
<b>Şekil 4.7.</b> Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (ring temel) .....	61

<b>Şekil 4.8.</b> Tabakalı zeminde oluşan deformasyon gösterimi (radye temel).....	62
<b>Şekil 4.9.</b> Tabakalı zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (radye temel).....	62
<b>Şekil 4.10.</b> Tabakalı zeminde oluşan toplam yer değiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (radye temel) .....	62
<b>Şekil 4.11.</b> Tabakalı zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel) .....	63
<b>Şekil 4.12.</b> Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel) .....	64
<b>Şekil 4.13.</b> Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan deplasmanlar (1) (radye temel)	64
<b>Şekil 4.14.</b> Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (radye temel).....	65
<b>Şekil 4.15.</b> Kaya özellikli zeminde oluşan deformasyon gösterimi (ring temel).....	65
<b>Şekil 4.16.</b> Kaya özellikli zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (ring temel) .....	66
<b>Şekil 4.17.</b> Kaya özellikli zeminde oluşan toplam yer değiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (ring temel) .....	66
<b>Şekil 4.18.</b> Kaya özellikli zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (ring temel) .....	67
<b>Şekil 4.19.</b> Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (ring temel) .....	67
<b>Şekil 4.20.</b> Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (1) (ring temel) .....	68
<b>Şekil 4.21.</b> Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (ring temel) .....	69
<b>Şekil 4.22.</b> Kaya özellikli zeminde oluşan deformasyon gösterimi (radye temel)..	70
<b>Şekil 4.23.</b> Kaya özellikli zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (radye temel) .....	70
<b>Şekil 4.24.</b> Kaya özellikli zeminde oluşan toplam yer değiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (radye temel) .....	71
<b>Şekil 4.25.</b> Kaya özellikli zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel) .....	71

<b>Şekil 4.26.</b> Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel) .....	72
<b>Şekil 4.27.</b> Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (1) (radye temel) .....	72
<b>Şekil 4.28.</b> Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (radye temel) .....	73
<b>Şekil 4.29.</b> Kil özellikli zeminde oluşan deformasyon gösterimi (ring temel).....	74
<b>Şekil 4.30.</b> Kil özellikli zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (ring temel)..	74
<b>Şekil 4.31.</b> Kil özellikli zeminde oluşan toplam yer değiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (ring temel) .....	75
<b>Şekil 4.32.</b> Kil özellikli zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (ring temel) .....	75
<b>Şekil 4.33.</b> Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (ring temel) .....	76
<b>Şekil 4.34.</b> Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (1) (ring temel) .....	76
<b>Şekil 4.35.</b> Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (ring temel).....	77
<b>Şekil 4.36.</b> Kil özellikli zeminde oluşan deformasyon gösterimi (radye temel)....	78
<b>Şekil 4.37.</b> Kil özellikli zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (radye temel).....	78
<b>Şekil 4.38.</b> Kil özellikli zeminde oluşan toplam yer değiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (radye temel) .....	79
<b>Şekil 4.39.</b> Kil özellikli zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel) .....	79
<b>Şekil 4.40.</b> Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel) .....	80
<b>Şekil 4.41.</b> Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (1) (radye temel) .....	80
<b>Şekil 4.42.</b> Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (radye temel) .....	81



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Çizelge 2.1.</b> Çeşitli stok malzemelerin birim katsayıları.....	6
<b>Çizelge 3.1.</b> Nervürlü inşaat demiri ağırlıkları tablosu.....	40
<b>Çizelge 4.1.</b> Deformasyon – gerilme karşılaştırması.....	81



## 1. GİRİŞ

Günümüzde endüstri, tarımsal ve kimyasal vb. malzemelerin üretilmesi ve tüketilmesinin gereği olarak büyük hacimli depolama tesislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu depolama tesislerinde malzemeler depolanır ve depolanan bu malzemeler ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılır. Bu tesislerde yükleme ve boşaltmayı kolaylaştırmak ve bazı taneli malzemelerde gerekli havalandırmanın malzemeyi aktararak yapılabilmesi için inşa edilen özel tipte depolara **silo** adı verilir.

Silolar çeşitli malzemelerin depolanması amacı ile kullanılırlar. Taneli malzeme, çeşitli tahıl ürünleri, değişik alanlarda kullanılan maden cevheri, kum, kömür gibi ham maddeler ve çimento, kül, küspe, farin, klinker vb. endüstri ürün ve bunların artıkları olabilir. Daha az bakım-onarım masrafları gerektirmesi, burkulma ve göçmeye karşı emniyetli olması ve depolanan malzeme ile ilgili çeşitli avantajlar sunması gibi sebeplerle orta ve büyük hacimli silolar betonarme veya çelik malzemeden inşa edilirler. Siloların yer seçiminde genellikle depolanacak malzemenin elde edildiği bölgeler veya muhafaza edilen malzemenin depolanabileceği ve istendiği zaman kullanım bölgelerine kolaylıkla transfer edilebileceği bölgeler (demiryolları, limanlara yakın alanlar vb.) tercih edilmelidir. En kesit alanı yanında silonun yüksekliğinin artması ve büyük olması durumunda, yükseklikle orantılı malzemenin cidara uyguladığı basıncı veren hesap yöntemiyle aşırı basınçlar verebilmektedir. Sayısal uygulamalarda görülebileceği gibi malzemenin iç çeperle olan sürtünmesi göz önüne alınarak gerçeğe yakın değerler hesaplanabilmektedir. Siloda depolanan malzemenin denge durumunda (sükûnet durumu) olması halini de içeren bu hesap yöntemi, doldurma ve boşaltma halinde görülen aşırı basınçları da verecek şekilde düzeltilebilmektedir.

Temellerin tasarımı, taşıma gücü ve oturma şartları göz önüne alınarak yapılmaktadır. Taşıma gücü, üst yapının temele aktardığı yüklerin, temel zemininde yarattığı en yüksek gerilmeyi bir göçme meydana gelmeksizin taşıyabilmesi için, zeminde olması gereken direnç miktarıdır. Yapı temelleri, oturma veya farklı oturmalarından ötürü üst yapıda hasara neden olmayacak biçimde, oturdukları zeminin özellikleri göz önüne alınarak, zemin mekaniği ve temel inşaatı ilkelerine göre inşa edilmelidir.

Bu çalışma, farklı zeminler üzerine inşa edilen siloların farklı şekillere sahip (ring ve radye temel) yüzeysel temellerin taşıma gücü kapasiteleri, oturma davranışları ve gerilme dağılımları ile ilgili hesaplara dayalı değerlendirmeleri içermektedir. Temellerin altındaki gerilme dağılımı Plaxis Foundation bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümde konulara benzer özellikte olan literatürdeki çeşitli çalışmalar kısaca özetlenmiştir. Ayrıca taşıma gücünden, oturma hesaplarından ve oturmayı hesaplarken kullanılan gerilme dağılımından bahsedilerek literatürde kabul edilen bazı hesap yöntemlerine yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, Plaxis Foundation bilgisayar programında oluşturulan modellere yapılan siloların temellerine gelen yükler ve bu yüklerin temellere oluşturduğu gerilme miktarları program aracılığıyla hesaplanmıştır.

Dördüncü bölümde silo temeline etki eden yüklere bağlı olarak Plaxis Foundation bilgisayar programının ile temellerde oluşacak gerilme miktarları belirlenmiş olup elde edilen sonuçlar çizelge haline getirilerek sunulmuştur. Ayrıca temel yükleme analizlerinin her iki temel çeşidi ve üç farklı zemin için Plaxis Foundation bilgisayar programı yardımıyla elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Silo Yapıları

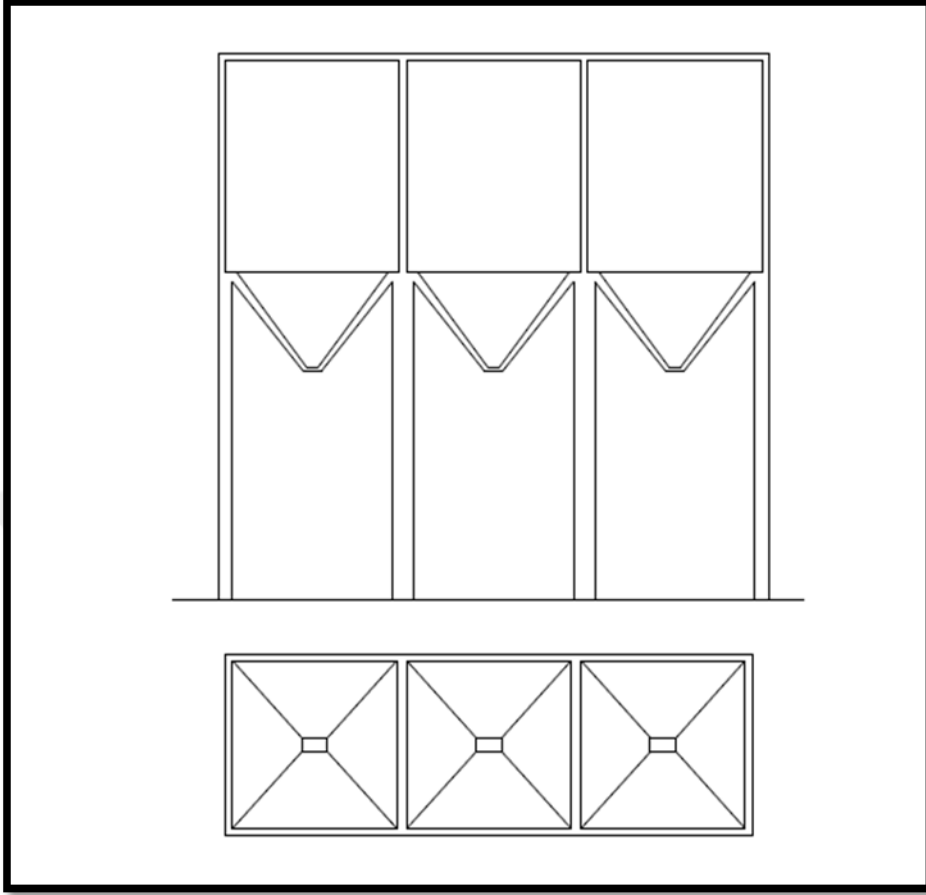
#### 2.1.1 Siloların yüksekliklerine göre sınıflandırılması

Silo çeperinde meydana gelen basınçların hesap esaslarında görülebileceği gibi, iç çeper ile malzeme arasındaki çeper sürtünme kuvveti sebebiyle silo duvarı yüksekliği ile orantılı olmamakla birlikte, yüksekliğin üstel fonksiyonu ile sabit bir değere yaklaşmaktadır. Buna sebeple silo yüksekliğinin fazla olmaması durumunda, çeper sürtünmesinden dolayı bu etki ihmal edilebileceğinden malzeme basınçları derinlikle orantılı alınabilir (Aydoğan ve Altan, 1992).

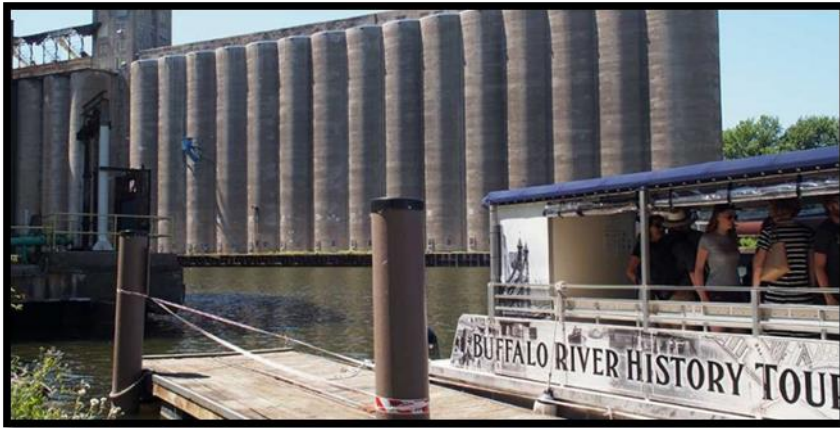
- Malzeme basınçlarının derinlikle orantılı alınabildiği silolara bunker, çeper sürtünmesinin hesaba katılması gereken yüksek silolara da silo adı verilir.
- Silolar ile bunkerleri ayıran sınır malzemenin içsel sürtünme açısına, silo çeperi ile malzeme arasındaki sürtünme katsayısına bağlıdır. Buna göre;
- $H > 1.5 \times A$  için derin silo
- $H < 1.5 \times A$  için bunker hesabı yapılabilir.

Silolanan malzemenin silodan boşaltılması için silo taban düzleminden itibaren meydana getirilmiş bulunan kesik koni veya kesik piramit vb. şeklindeki boşaltılma ağızlarına **bunker** denir. Örnek olarak kömür cevheri, kil ve kalker stok holleri verilebilir. Yükseklikleri genişliklerine göre fazla olmayan (yükseklik/genişlik  $< 1.5$ ) düşey duvarlı bir kısım ve huniden teşkil edildiği gibi sadece kolonlar üzerinde duran bir kolondan ibaret de olabilir. Bunkerlerde genellikle maden cevheri, kireçtaşı, kömür, kum, klinker, çimento, kil ve taş depolanır.

Bunker yapıları kare, dikdörtgen veya daire en kesitli tasarlanabilir. Dikdörtgen hunili bunkerlerde genellikle bir veya daha fazla malzeme boşaltma boşluğu bulunmasına karşılık daire en kesitli hunilerde bir dairesel boşaltma boşluğu bulunur.



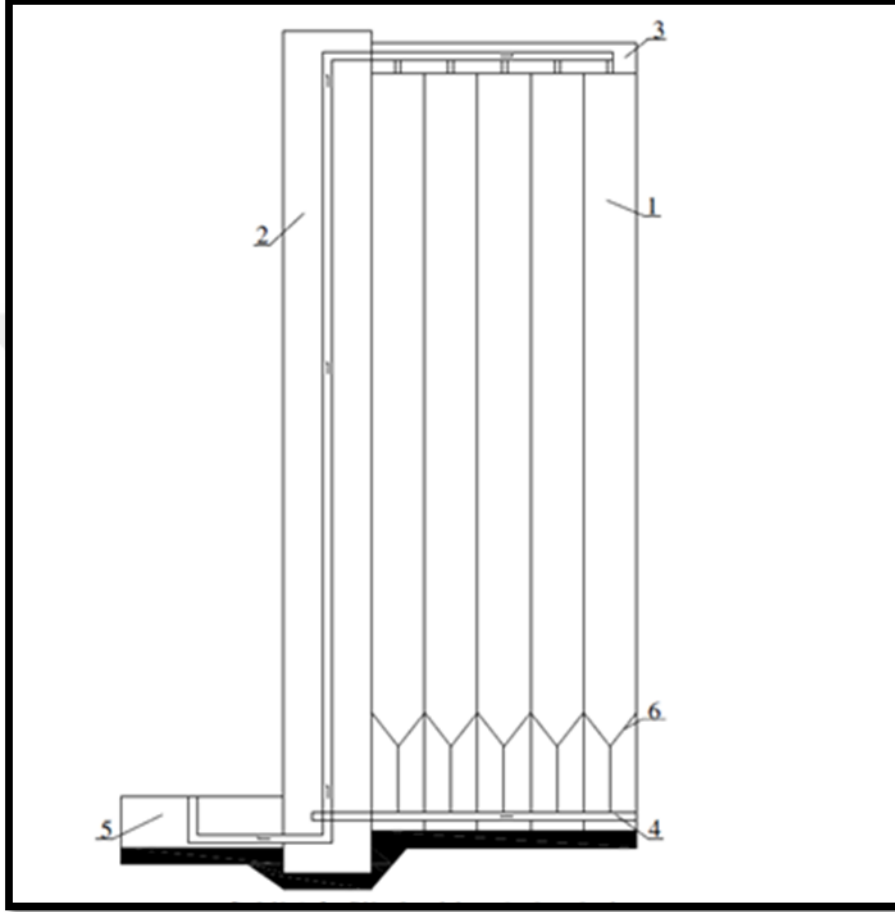
Şekil 2.1. Bunker planı ve kesiti (Aydoğan ve Altan, 1992)



Şekil 2.2. Dairesel betonarme silo (Buffalo NY Silo - United States of America)

### 2.1.2. Silo yapısının bölümleri

Şekil 2.3.'de tipik bir silo bölümleri ile gösterilmiştir (Aydoğan ve Altan, 1992).



Şekil 2.3. Silo kesiti ve bölümleri

Depolanacak malzemenin ilk döküldüğü (5) boşluğu, depolanan malzemenin çeşitli zamanlarda havalandırılması gerekirse silo hücrelerinden gelen malzemenin geçici olarak yığılmasını sağlar.

Depo malzemesi, depolanacağı silo hücrelerine iletilmek üzere silo üst seviyesine çıkartılır. Bu amaçla mekanik veya pnömatik olabilen bir elavator kullanılır ve(2) numara ile gösterilmiştir. Elavator ile yükseltile malzeme yatay doğrultuda istenilen noktaya dökülmek üzere (3) yatay bandına alınır. Bu bandın diğer ucu malzemenin depolanacağı silo hücrelerinin üstündedir. Malzemenin devamlı depolandığı silo hücreleri (1) numara ile gösterilmiştir. Kapak açıldığında boşalmayı sağlayan (6) bunkerlerdir. Altta boşaltılan malzemenin taşıma aracına veya

havalandırma aracılığıyla boşaltılıyorsa (5) taşıma boşluğuna gitmesini sağlayan (4) iletici bandı (Aydoğan ve Altan, 1992).

### 2.1.3. Silo stok malzemesi

Silolarda her türlü kohezyonsuz malzeme depolanmaktadır. Siloların projelendirilmesi, hesabı ve teşkili için siloların doldurulma, depolama ve boşaltma durumlarındaki davranışları bilinmelidir. Buradan da stok malzemesinin silo cidarlarına ve diğer silo elemanlarına olan tüm fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkisi anlaşılmaktadır.

**Çizelge 2.1.** Çeşitli stok malzemelerin birim katsayıları (Aydoğan ve Altan, 1992)

<b>Malzeme Türü</b>	<b>Birim Hacim Ağırlığı (<math>\gamma</math>) kg/m<sup>3</sup></b>	<b>İçsel Sürtünme Açısı (<math>\phi</math>), derece</b>	<b>Cidar Sürtünme Katsayısı (<math>\mu</math>)</b>
Protland Çimento	1470	28	0.40
Klinker	1470 - 1570	33	0.40 - 0.50
Kok Kömürü	600	40	0.80
Çakıl	1600 - 2000	25 - 35	0.40 - 0.45
Kum	1600 - 2000	25 - 40	0.40 - 0.70
Buğday, mısır, pirinç	740 - 990	23 - 37	0.29 - 0.47

### 2.1.4. Silo stok malzemesi türleri

Silolarda depolanan malzemeler aşağıdaki gibidir.

#### 1. İşlenmemiş tarımsal ürünler

- a) Tahıllar: Buğday, mısır, arpa
- b) Bakliyat: Fasulye, mercimek, nohut, pirinç, bulgur.
- 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, kil

## 4. Endüstri ürünleri

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

### 2.1.5. Silo stok malzemesinin mekanik türleri

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

- Toz malzeme: Dane çapı < 0.1 mm (Çimento, tahıl unları, kül vb.)
- Daneli malzeme: Dane çapı < 30 mm (Kum, tahıl, çakıl, klinker vb.)
- Parçalı malzeme: Büyük dane çaplı stok malzeme si.(Kalker, kok, kömür vb.)
- Toz şeklindeki stok malzemelerinde sürtünmenin yanı sıra kohezyon da ortaya çıkar. Daneli malzemedede ise kohezyonda oluşmaz veya çok az olur.

### 2.1.6. Silo stok malzemesinin kimyasal etkileri

Birçok stok malzemesi (yağ, asit, tuz gibi) betona etki eden maddeler de içerirler. Bu yüzden betonun geçirimsizliği sağlanarak etkilere dayanıklılığı sağlanabilir. Aksi halde beton bu etkilerden korunmalıdır. Pudra, yemek tuzu gibi su emen



malzemeler havadaki su buharı nedeniyle birbirleriyle birleşerek akışa engel olurlar. Bu gibi durumlarda da siloların havasız silo olarak inşası gerekmektedir.

#### **2.1.7. Silo stok malzemesinin sıcaklık etkisi ve silo elemanları**

Çimento ve klinker gibi malzemeler  $\sim 100$  °C' de siloya doldurulur ve zamanla silo içerisinde soğur. Bu yüzden silo elemanlarının projelendirilmesinde sıcaklık farkı göz önüne alınmalıdır. Bu sıcaklık farkından kaynaklı olarak aşırı bir moment oluşur. Bu da silo iç çeperlerindeki donatının artmasına neden olur (Aydoğan ve Altan, 1992).

Bir silo 6 elemandan oluşur. Her tip siloda bu 6 eleman bir araya getirilerek silo grupları oluşturulur.

1) Silo Çatısı: Çatı sistemi en kesit tipine bağlıdır. Silolarda tavan aynı zamanda çatı vazifesi de görür. Yatay kuvvetlere karşı küçük yer değiştirmeler yapabilecek şekilde silo duvarlarına oturtulur. Bu yer değiştirme betonun kısalması ve uzaması hallerinde ek kuvvetlerin oluşmaması bakımından da önemlidir. Çatıda çelik kiriş de kullanılabilir. Hesaplarda kar yükü, çatı kaplaması ve kendi ağırlığı da göz önüne alınır. En kesit boyutlarına bağlı olarak çelik ya da beton bir döşeme kullanılır.

2) Silo Tavan Döşemesi: Silo tavanı en kesit boyutlarına bağlı olarak çeşitli döşeme tiplerinden biri ile yapılır. Kaset, nervürlü, plak döşeme ya da çelik kirişler üzerine oturan sac levhalar ve onun üzerindeki betonlaşmış hasır çelikler silo duvarlarına ankre edilerek yük aktarımı yapılır. Silo tavanlarında makine vb. hareketli yükler silo duvarına ankre edilen çelik kirişlere yayılı yük olarak aktarılır. Ayrıca döşemedeki boşluk vasıtasıyla çimento bunkerlere boşaltılır. Delik civarı özel olarak donatılmalıdır.

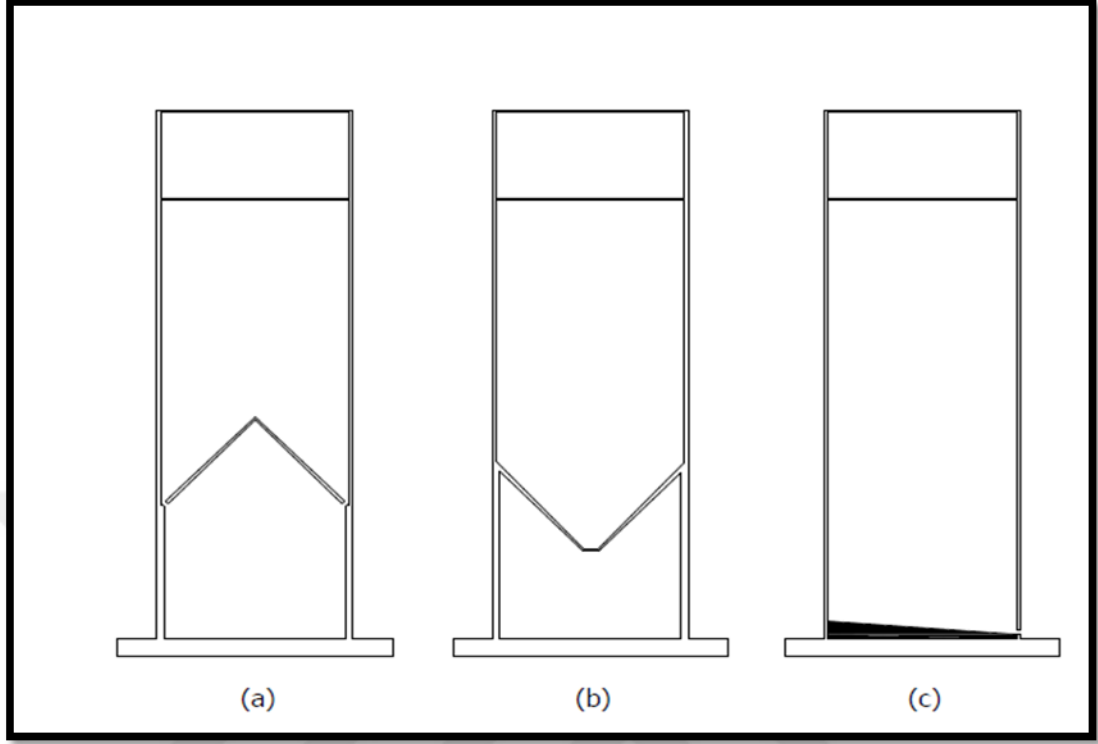
3) Silo Gövdesi: Silonun en önemli elemanıdır. Stok malzemesinin yanal basıncına ve gövde ağırlığına maruzdur. Silo gövdesi değişken kalınlıkla yapılabilir. Örneğimizde görüldüğü gibi 0-8 m arası silo çeperi 0.80 m, 8 - 50 m arası 0.40 m, 50 - 60 m arası 0.30 m'dir. Dairesel en kesitli silolarda gövdede büyük çember gerilmeler oluşur. Bu halde beton çekme gerilmesi ihmal edilerek, gerilmeler donatıyla karşılanır.

4) Silo Bunker: Malzeme alma işlemi burada yapılır. Bunkerin eğimi sürtünme durumuna ve akış özelliklerine bağlıdır. Bunker yapılmadığı takdirde döşeme üzerine eğimli dolgu betonu yapılır.

Silolarda diğer mühendislik yapılarının çoğundan farklı olarak, hareketli yükün, sabit yüke oranı çok büyük değerler almaktadır. Uzun bir süre tam dolu olan silo boşaltıldığında betonun sünmesi nedeniyle perdelerde yatay çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlakları en aza indirmek için, eğer yatay yüklerden gelen etkiler önemli değılse boyuna donatı oranı düşük tutulur. Yatay yüklerden doğan etkilerin büyük olması durumunda ise düşük boyuna donatı oranı elde etmek için perde boyutları büyütülür.

5) Silo Temeli: Oransal olarak küçük temel alanlı yüksek silolarda fazla hareketli yük, salınımlara ve doldurmaya bağılı olarak değışik şekilde dağılan zemin basınçlara neden olur. Bu sebeple müsaade edilmeyen oturmalar ve bunun sonucunda üst yapıda çatlakların oluşmaması için temellere özellikle önem verilmesi gerekir.

Zemin koşullarının iyi olması durumunda betonarme sürekli temeller ve kısıtlı temel alanı nedeniyle betonarme radye temel gerekli olmaktadır. Radye temeller kirişli ya da kirişsiz projelenmektedir. Sağlam tabakaların derinde olduğu zeminlerde çoğu kez kazıklı temel en uygun çözüm olup silo yükleri doğrudan sağlam zemine aktarılmaktadır (Aydoğan ve Altan, 1992).



**Şekil 2.4.** Çeşitli silo tipleri

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

#### **2.1.8. Silo tipleri ve inşası**

Genel itibariyle çelik veya betonarme olarak inşa edilebilen silolar yapıldığı malzemenin cinsine bağlı değişik kesitlere sahip olabilmektedirler. Silolar tekil olarak inşa edildiği gibi silo grupları halinde de inşa edilebilirler.

Betonarme silolar, dairesel, kare, dikdörtgen ya da çokgen kesitli olabilmektedirler. En uygun kesit formu dairedir. Bu kesit tipinde silo yan duvarları (silo gövdesi) enine doğrultuda sadece çekme kuvveti altında zorlanırlar. Bu nedenle kare ve dikdörtgen silolara göre gövde et kalınlıkları daha az seçilebilir. Daire kesitli silolara ön gerilme verilebilir ya da dıştan nervürlenebilir (Şekil 2.4). Genel itibariyle daire kesitli silolarda daire çapı 6 - 20 m ön germeli dairesel silolarda 20 - 40 m' dir.

Silo yükseklikleri ise 30 - 65 m arası olmaktadır. Silolar genel itibari ile kayar kalıp tekniği ile inşa edildikleri için silo yüksekliğinin seçimi kullanılacak kayar kalıp

teknğine uygun olmalıdır. Kayar kalıp ile kurulan minimum silo yüksekliği 20 m' ye tekabül eder. Geniş çaplı silolarda tırmanır kalıp tercih edilir.



**Şekil 2.5.** Mersin nervürlü klinker silosu (Babagiray, 2010)

Silo yüksekliğinin 10 m' yi geçmediği betonarme silolarda klasik kalıplama ile beton dökülebildiği gibi, yüksekliği 10 m' nin üstünde olan silolarda kayar kalıp ya da tırmanan kalıp tercih edilmesi hem inşa hızı hem de inşaat maliyeti sebebiyle gerekli olmaktadır. Yükseklik sebebiyle iskele yapımı, hem riskli hem de maliyetli olabilmektedir (Aydoğan ve Altan, 1992).

Kayar kalıplar yapı yüksekliğinden bağımsız olarak yapıya mesnetlendikleri için zemin kadar herhangi bir taşıyıcı iskeleye gerek bulunmamaktadır. İskele maliyetleri ortadan kalkmakta olup kayar kalıplarda gösterilen kalıp yüzeyi genel itibari ile 120 cm yüksekliğinde olup döşeme üzerindeki 10×10 boyutlu elemanlara tutturulmaktadır. Bu bağlanma elemanları sistemin çelik elemanlarına sabitlenmektedir. Çelik elemanları hidrolik pistonlar vasıtasıyla kalıp yüzeyi ile birlikte düşük hızla yukarıya doğru çekilerek beton dökülmektedir. Beton dökümü imalat sonuna kadar mütemediyen

devam etmektedir. Sistemin pistonları 1.5 - 2.5 m aralıklarla olup kalıp yüzeyine etki eden taze beton basınçları çelik elemanları vasıtasıyla tırmanma çubuklarına transfer edilmektedir. Tırmanma çubukları genel itibari ile 26 mm çapında olup manşonlarla boyu uzatılmaktadır. Bu çubuk en alttaki taşıyıcı duvara kadar uzanıp silo çekimi bitiminde kule vinç vasıtasıyla beton içinden sökülebilmektedir (Aydoğan ve Altan, 1992).

26 mm çapındaki tırmanma çubuğunun etrafında manto borusu bulunmaktadır. Manto borusu çapı çelik çubuğun çapından daha büyük olup çelik çubuğun birlikte betonlanmasını önler ve bütün betonlanma işlemi bittikten sonra çelik çubuğun geri alınması sağlanmış olmaktadır (Aydoğan ve Altan, 1992).



**Şekil 2.6.** Çimsa Eskişehir klinker silosu (Anonim, 2018a)



**Şekil 2.7.** Ardgame klinker silo inşası (Anonim, 2018b)

### 2.1.9. Çelik ve betonarme silolar arasındaki başlıca farklar

Betonarme Silolar	Çelik Silolar
<ul style="list-style-type: none"><li>- Genellikle Liman şehirlerine yapılır ve maliyeti yüksektir</li><li>- Yapı türünden dolayı zeminde iyileştirme gerekebilir (jet grout, fore kazık vb.)</li><li>- Maliyetinden dolayı büyük</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Genellikle iç kesimlere, hava neminin az olduğu bölgelere yapılır maliyeti betonarmeye göre düşüktür.</li><li>- Genelde yapıldığı zeminde iyileştirmeye gerek duyulmaz.</li><li>- İstenilen hacimde ve sayıda</li></ul>

hacimlerde ve az sayıda yapılır

- Hacimsel olarak büyük ve sayıca az olduğunda stoklanan malzeme çeşiti azdır

- Rutubet, nem, ısıdan çok etkilenmez

- En küçük hacimlileri 30000 – 50000 ton civarındadır (Anonim, 2015).

yapılabilir

- Hacimsel olarak küçük ve sayıca çok yapılabildiğinden stoklanan malzeme çeşiti fazlalık gösterebilir

- Rutubet, nem, ısıdan etkilenir

- En küçük hacimlileri 1250 ton civarındadır (Anonim, 2015).



TMO Genel M¼d¼rl¼g¼nden alınan Ankara G¼vercinlik betonarme silo deprem g¼çlendirilmesi ve onarımı Şekil 2.8' de verilmiştir (Anonim, 2015).



**Şekil 2.8.** Toprak Mahsuller Ofisi betonarme siloları (Tamcan, 2015)



Tekirdağ'da bulunan Traçim beton silolarının ait resimler Şekil 2.9' da verilmiştir (Anonim, 2016).



Şekil 2.9. Traçim betonarme siloları

Zeminler üzerindeki temellerin taşıma gücü, oturma profili değişimi ve temellerin altların da oluşan gerilme dağılımı geçmişten günümüze kadar araştırmalara konu olmuştur. Fakat bir yapının farklı şekil ve geometrilere sahip temellerinin altında meydana gelen üniform olmayan gerilme dağılımları ve farklı oturmaları üzerine literatürde fazla araştırma bulunmamaktadır. Temeller altındaki gerilme dağılımı, zeminin taşıma gücü parametreleri ve yapı-zemin etkileşimini araştıran önemli çalışmalar bu tez kapsamında verilmiştir. Öncelikle çalışma konularına benzer nitelikte literatürdeki bazı çalışmalar özetlenmiş, sonrasında; temelin emniyetli olarak tasarımının yapılabilmesi için bilinmesi gereken taşıma gücü kavramları, oturma hesapları ve oturmayı hesaplarken kullanılan gerilme dağılımları; bu konularda literatürde kabul edilen çeşitli teorik hesap yöntemleri açıklanmıştır.

Temel tasarımı yapılırken hem yapısal olarak hem de temelin üzerine oturduğu zemin açısından stabilite güvenilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu stabilite güvenilirliğinin sağlanması için, zeminin taşıma gücü ve oturmasına göre temel hesapları ve tasarımı yapılması gerekmektedir.

Üst yapıdan gelen ve temelin kendi kütesinden kaynaklanan yükler sebebiyle zeminde oluşan gerilmeler belirli bir zemin emniyet taşıma değerinin üstünde olmamalıdır. Aşırı gerilmeler oluşması ihtimalinde zeminde kayma gerilmesine ve aşırı oturmalara sebep olabilmektedir.

Laman ve Keskin (2004) kumlu zeminler üzerine oturan kare temellerden dolayı zemin içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme değerleri üzerine deneysel çalışma yaparak incelemiştir. Zemin tabakalarının kendi ağırlıkları ve uygulanan dış yükler, zemin içerisinde gerilmelere yol açmaktadırlar. Oluşan bu gerilmelerin dağılımının bilinmesi, birçok problemin çözümü ve projelerin tasarımında mühendisler için yol göstereceği bu sebeple, zeminde oluşan gerilme dağılımlarını incelemek amacıyla çelik profillerden üretilen bir tank içerisinde gerçekleştirilen deneylerde, gerilme değerleri basınçölçerler yardımıyla bulunmuştur. Deneyler iki farklı sıklıktaki kum zeminler üzerinde gerçekleştirilmiş ve sıklığın ilave düşey gerilme değerlerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca yapılan deneylerin, sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Plaxis paket programı ile modellenmesi yapılmış ve yapılan modellerin analiz sonuçları, deneylerden elde edilen değerler ve mevcut teorik yöntemlerle bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, kare temel altında iki farklı sıklıkta üç farklı derinlikte, aynı yükleme kademeleri için deneysel olarak ölçülen düşey gerilme değerleri verilmektedir. Sıklığın artması ile düşey gerilme değerlerinin arttığı, derinliğin artmasına bağlı olarak ise azaldığını gözlemlemiştir. Numerik, teorik ve deneysel çalışmalar sonunda, üniform yüklü rijit bir temelin tabanından z kadar derinde bulunan yatay düzlemlerdeki gerilme dağılımlarının benzer yapıda olduğu, derinliğin artmasıyla temel plakası merkezi altında hesaplanan ve ölçülen basıncın azaldığı ve kum zeminin herhangi bir noktasındaki gerilme değerinin uygulanan yük ile orantılı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Literatürde mevcut Westergaard, Boussinesq gibi pek çok teorik çözümlerde ilave düşey gerilmeler hesaplanırken, zeminin sıklık durumu göz önüne alınmamakta ve her sıklık değeri için aynı sonuçlar elde edilmektedir. Ancak bu

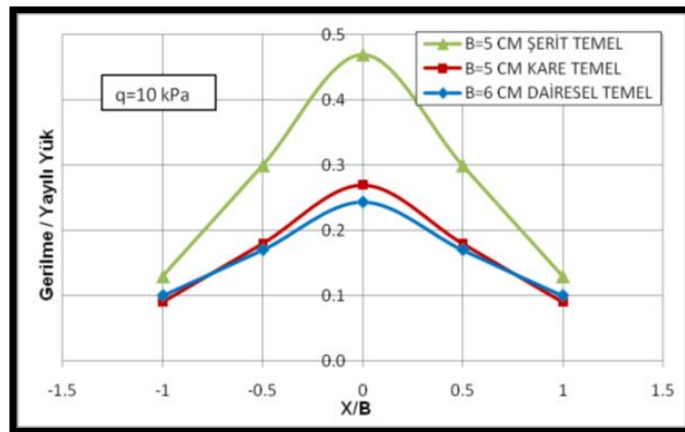
çalışmada yapılan deney sonuçlarından görülmüştür ki, sıklık değerinin artmasıyla aynı derinliklerde ve aynı yükler altında, ilave düşey gerilme değerleri önemli mertebelerde artmaktadır.

Birand (2007), yapılarda yapısal hasar oluşturan oturma limitlerine ilişkin çalışmalar hakkında bilgiler vermiş ve 0.80 m kalınlığında, 32.4 x 26.4 m boyutlarındaki bir radye temelin oturma değerleri ile ilgili örnek bir çalışma yapmıştır. Söz konusu oturma değerleri Brown, Hudson-Shephard ve “ayrık elastik eleman” yöntemleri kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmış ve hesaplanan toplam ve farklı oturmaların yapı hasarı oluşturma potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, dikdörtgen radye temeli eşdeğer daire radye temele çevirerek hesap yapan Brown yöntemiyle, elastik oturmanın toplam oturmaya oranı 0.56 olarak hesaplanmıştır. Radyenin rijitlik katsayısının (K) artması ile farklı oturmaların kritik olduğu vurgusu yapılmıştır. Bir radyenin merkezindeki oturma miktarı ile merkez köşeler arasındaki farklı oturma miktarlarını hesaplamak için bir yöntem öneren Hudson-Shephard yöntemine göre elastik oturmanın toplam oturmaya oranı 0.54 olarak; ayrık elastik eleman yöntemiyle ise, söz konusu bu değer 0.55 bulunmuştur. Ayrı ayrı hesap yapılan bu üç yöntemin de yakın değerler verdiği belirlenmiştir.

Girgin ve ark. (2008), zemine aktarılan yükler nedeniyle zemin tabakalarında oluşan deformasyonların, temel elemanının ve taşıyıcı sistemin iç kuvvetleri üzerinde bir etkisi olduğunu ve bu etkinin hesaba katılması gerektiğini belirtmişlerdir. Radye temele sahip sekiz katlı bir betonarme yapının kullanıldığı örnek bir analiz çalışması yapılmış olup rijit yapı-zemin, sabit yatak katsayısı (Winkler modeli) ve değişken yatak katsayısı (Daloğlu-Vallabhan yaklaşımı) yöntemleri kullanılarak üç farklı yapı-zemin modeli oluşturulmuş; betonarme kolon kesitlerindeki donatı oranları hesabı yapılarak yapı-zemin etkileşiminin yapısal tasarımdaki etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler karşılaştırıldığında, rijit temel-zemin birleşimi kullanılarak oluşturulan modeldeki perde ve kolonlarda, deprem yüklerinin paylaşımının diğer modellerden farklı olduğu bulunmuştur. Ayrıca, değişken yatak katsayısı kullanılarak yapılan modelde bazı kolon kesitlerindeki boyuna donatı oranları, yapı-zemin etkileşiminin rijit olduğu kabulü ile yapılan modelden elde edilen değerlerin yaklaşık üç katına ulaştığı görülmüştür. Bu nedenle de betonarme yapı tasarımında

temel sistemlerinin projelendirilmesinde, yatak katsayısının tanımlanma şeklinin önemi ortaya çıkmakta, temel tasarımının yapıdan bağımsız gerçekleştirilmesi durumunda, yalnız zeminin değil üstü yapı taşıyıcı sisteminin etkilerinin de gözden kaçabileceği anlaşılmaktadır.

Bağrıaçık ve Laman (2010), kumlu zeminler üzerine oturan farklı geometrilerdeki yüzeysel temeller sebebiyle zemin içerisinde oluşan ilave düşey gerilme davranışlarını deneysel çalışmayla araştırmışlardır. Bu amaçla deneylerde, dairesel ve kare tekil temeller ile şerit temel kullanılmış ve zemin içerisinde belirlenen derinlikteki ( $Z=1.0B$ ) yatay düzlemler boyunca ( $X=0.5B$  ve  $X=1.0B$ ) meydana gelen ilave düşey gerilme değerleri basınçölçerler ile ölçülerek, temel şeklinin gerilme davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda Şekil 2.10' de görüldüğü gibi, gerilme dağılımının daire ve kare temeller altında çok farklı olmadığı ancak daire ve kare temel ile şerit temel arasında gerilme davranışında; temel şeklindeki değişimin önemli ölçüde olduğu saptanmıştır. Uygulanan farklı yükler için, temel altında oluşan gerilme değerlerinde anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Uygulanan yüke bağlı olarak  $Z=1.0B$  derinliğinde meydana gelen düşey gerilme değerleri,  $B=5$  cm' lik şerit temelde en yüksek,  $B=6$  cm' lik dairesel temelde ise, en düşük değeri vermiştir. Ayrıca  $B=5$  cm' lik kare temelin gerilme değeri,  $B=6$  cm çaplı dairesel temelin gerilme değerlerine oldukça yakın olduğu, ancak;  $B=5$  cm' lik şerit temelden elde edilen gerilme değerinin, daire ve kare temel altında elde edilen gerilme değerlerinden %49 daha fazla olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, farklı geometrilerdeki temelerde, gerilme değerleri açısından şekil etkisinin önemli düzeylere çıkabildiği görülmüştür.



Şekil 2.10. Farklı geometrilerdeki temelerde şekil etkisi

Babagiray (2012), çalışmasında kum zemin üzerine oturan farklı şekillere sahip yüzeysel temellerin aksenel yükleme etkisi altındaki taşıma gücü ve oturma profilleri deneysel olarak incelenmiştir. Farklı şekil ve boyutlardaki altı adet temel, ağırlık merkezlerine etki eden aksenel kuvvet altında test edilmiştir. Temellerin geometrik şekillerinin; temel taşıma gücü, gerilme dağılımı ve oturma profili üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler ile test edilen temellerin analitik kapasite hesaplamaları ve yük-oturma profillerinin simülasyonu, sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Plaxis 3D Foundation yazılımı ile yapılmıştır. Deneysel elemanlarının yaptığı deplasman, genişliklerinin en az %10' una ( $s \approx \%10B \approx 40$  mm) ulaşana kadar yapılan yük-oturma grafiği simülasyonlarında, analiz sonuçları ile deneysel sonuçları arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin genel davranışları birbirlerine yakın olarak belirlenmiştir. Yapılan analiz çalışmaları sonucunda, farklı şekillere sahip temellerin taşıma gücü ve oturma potansiyelleri hesabında, Plaxis 3D Foundation yazılımının başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, elemanların taşıma gücü performansları genel olarak incelendiğinde sonuçların birbirine yakın çıktığı saptanmıştır. Deneysel seride en iyi taşıma gücü performansını boşluğu olmayan ve referans deney elemanı olarak kabul edilen kare temel göstermiştir. Kare temelin taşıma gücü, deneysel seride taşıma gücü performansı en kötü olan Küçük L temelin taşıma gücünden yaklaşık %12 daha fazla tespit edilmiştir. Boşluk büyüklüğündeki artışın taşıma gücü değerini azalttığı görülmüştür. Özellikle zemin emniyet gerilmesinin düşük olduğu zeminler üzerinde yapılan temeller içerisinde bir boşluk bırakılması kaçınılmaz ise bu boşluğun olabildiğince azaltılması taşıma gücü açısından önemli olduğu vurgulanmıştır.

Yüzey alanları eşit olan Büyük Boşluklu Kare, Büyük L ve U temelin taşıma gücü değerleri incelendiğinde; temeldeki boşluğun, simetri eksenlerinin kesişimin bölgesinde olduğu Büyük Boşluklu Kare temelin performansı, boşluğun yerinin yalnızca bir simetri ekseninde olduğu U temelin performansından yaklaşık %3, boşluğun yerinin temelin köşesinde yer aldığı Büyük L temelin performansından ise yaklaşık %6 daha iyi olduğu ifade edilmiştir. Boşluğun yerinin yalnızca bir simetri ekseninde olduğu U temelin performansı, boşluğun hiçbir simetri ekseninde yer almadığı Büyük L temelin performansından yaklaşık %3 daha iyi olduğu

belirlenmiştir. Bahsi geçen bu temellerin taşıma gücü değerlerinin yakın çıkması, temeldeki boşluğun yerinin taşıma gücü performansına etkisinin az olduğunu göstermektedir.

Bilgisayar modelinden alınan gerilme dağılımlarına bakıldığında, ortasında boşluğa sahip olan Küçük Boşluklu Kare ve Büyük Boşluklu Kare temelde, temeldeki sürekliliğin bozulduğu boşluğun etrafında gerilme yığılmaları olduğu tespit edilmiştir. “Maksimum gerilme/Ortalama gerilme” değerleri incelediğinde ise bu değerler, yine ortasında boşluğu bulunan temelerde daha büyük çıkmıştır. En büyük “Maksimum gerilme/Ortalama gerilme” değerine sahip olan Küçük Boşluklu Kare temelden alınan değer, en düşük “Maksimum gerilme/Ortalama gerilme” değerine sahip olan Küçük L temelden alınan değerden yaklaşık %30 daha büyük çıkmıştır. Bu durum, temelin ortasında yer alan boşluğun gerilme üzerinde olumsuz etkisi olduğunu göstermiştir.

Yapı temellerinde meydana gelen farklı oturmaların üst yapıya olan etkisini incelemek amacıyla en az taşıma gücüne sahip olan Küçük L şekilli deney elemanı ile referans deney elemanının gerçek boyutlardaki (B=40 m) modelleri Plaxis 3D Foundation programında oluşturulmuştur. Bu modellerin çözdürülmesi ile elde edilen en fazla farklı oturma değerine ulaşan çerçeveler SAP2000 bilgisayar programında modellenmiştir. Modeldeki kolonlara Plaxis çözümünden elde edilen yer değiştirmelerin etki etmesiyle çerçevenin kirişinde meydana gelen kesme ve moment değerleri okunmuştur. L şekilli temelden alınan çerçevenin kirişinde oluşan kesme ve moment değerleri ile Kare temelden alınan çerçevenin kirişinde oluşan kesme ve moment değerlerinin birbirlerine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışma ölçeğinde, temelin şeklinden dolayı oluşan farklı oturmaların üst yapıya olan etkisi, çok büyük farklar oluşturmadığı görülmüştür.

Yürütülen deneysel çalışma kapsamında temellerin geometrik boyutları, deneylerin gerçekleştirildiği deney düzeneğinin boyutları nedeniyle sınırlandırılmış ve en büyük temel boyutu 400 mm olarak belirlenmiştir. Sahada, daha büyük temel boyutları ile farklı şekillere sahip temel deney elemanlarının testlerinin gerçekleştirilmesi, sonuçların genelleştirilebilmesi için faydalı olacağı belirtilmiştir. Bu çalışmada yüklemeler konsantre uygulanmıştır. Eksantrik yükleme veya tersinir tekrarlanır yatay yükleme için de farklı şekillerdeki temeller test edilebileceği ifade

edilmiştir. Farklı şekillere sahip temellerin taşıma gücü ve oturma değerlerinin hesaplanması için, bilgisayar ortamında yapılan sonlu eleman modelleri ile deney sayısı artırılarak, ampirik eşitliklerin geliştirilmesi çalışmalarının son derece faydalı olacağı vurgulanmıştır.

## 2.2. Zeminde taşıma gücü belirleme yöntemleri

Konu üzerine birçok analiz yöntemi ortaya atılan; taşıma gücü günümüzde birçok araştırmanın yapıldığı yöntemdir. Ortaya atılan yöntemlerin paydaları ortak olmasına rağmen, zamanla araştırmacılar tarafından belirli kriterlerle birbirinden ayrılmıştır. Temel derinliği sıfır ( $D=0$ ) olacak şekilde yapılan taşıma gücü hesaplamalarında derinlik faktörleri ( $d$ ) dikkate alınmayacaktır. Yapılan deneylerde, eğimli olmayan yatay bir zemin yüzeyinde yer alan aynı zamanda temel tabanı yatay konumda olan model temellerin ağırlık merkezlerine düşey olarak yüklemeler uygulanmıştır. Eğimi olmayan arazi yüzeyine sahip kohezyonsuz zemin üzerindeki, temel tabanı yatay ve merkez kısmından düşey olarak yüklenmiş yüzeysel temeller dikkate alındığında; kohezyon ( $c$ ), derinlik faktörleri ( $d$ ), taban eğim faktörleri ( $b$ ), yük eğim faktörleri ( $i$ ) ve zemin eğim faktörleri ( $g$ ) taşıma gücü eşitliğinde dolayısıyla yer almayacaktır. Sonuç olarak yukarıdaki eşitliğe şekil faktörü  $s_\gamma$  ve taşıma gücü faktörü  $N_\gamma$  etki edecektir (Babagiray, 2010).

Terzaghi (1943), yaptığı çalışmalardan sonra birçok araştırmacı tarafından da konu üzerine geniş kapsamlı çalışmalar devam ettirilmiştir. En çok kullanılan taşıma gücü yöntemleri Meyerhof (1951; 1963), Hansen (1961; 1970) ve Vesic (1973; 1975) tarafından geliştirilen yöntemlerdir. Yapılan çalışmalarda genel olarak Terzaghi' nin kullandığı genel ifadelerin üzerinde çeşitli etki faktörleri eklenmek suretiyle değişiklik yapmışlardır. Taşıma gücü hesaplarında kullanılan en genel formül denklem 2.1'de verilmiştir (Kumbasar, 1999).

$$q_u = cN_{cs}d_c i_c b_c g_c + \gamma DN_{qs}d_q i_q b_q g_q + 0.5\gamma BN_{\gamma s}d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma \quad (2.1)$$

Zemin ve temel özellikleri en basit haliyle dikkate alınmak üzere, taşıma gücü kapasitesi ( $q_u$ ) için kullanılacak denklem 2.2' de görülmektedir:

$$q_u = 0.5 \gamma B N \gamma_s \gamma \quad (2.2)$$

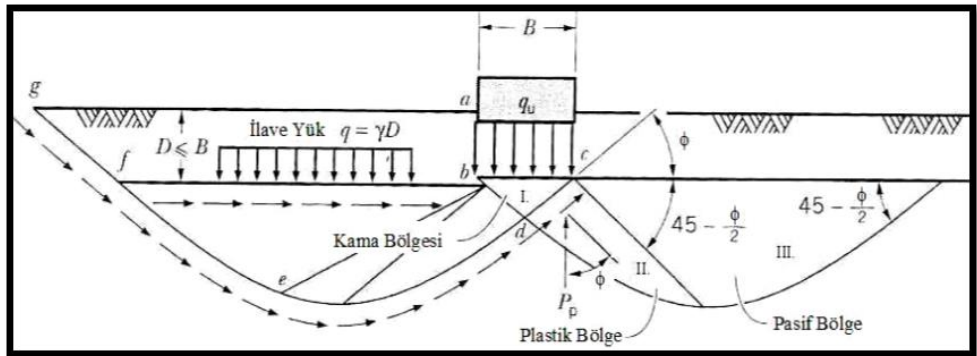
Terzaghi (1943) yaptığı çalışmalarda taşıma gücü kapasitesini hesaplamak için teori geliştiren ilk araştırmacılar arasında yer almaktadır. Çok fazla sayıda çalışmalarda bulunan sınır denge yönteminden en yaygın olan Terzaghi yöntemi, çeşitli varsayımlar içerir. Varsayıma göre, zemine kıyasla çok rijit olan temelin bulunduğu derinlik, genişliğinden küçük veya eşittir ( $D \leq B$ ). Moment yükleri mevcut olmayan temelin ağırlık merkezine gelen yük düşey uygulanır (Coduto, 2005).

Terzaghi'ye göre birim genişlikte ve sonsuz uzunlukta olduğu varsayılan temel tabanını, kayma oluşmayacak şekilde pürüzlü kabul etmiştir. Şekil 2.11'te temelin üzerinde  $|gf|$  olan kısmın kayma dayanımını ihmal edilip, sadece ek bir ilave sürşarj ( $q = \gamma D$ ) yükünün var olduğu kabul etmiştir (Cernica, 1995). Coduto, (2005) Şekil 2.11'de gösterildiği üzere üç bölgeyi dikkate almıştır:

I. Aktif bir üçgen bölge olan Kama bölgesi temelin hemen altında kalır ve temel ile birlikte aşağı doğru hareket eder,

II. Kamamın her bir kenarından uzanan ve Terzaghi'nin kayma düzlemlerinin şeklini logaritmik spiral kabul ettiği plastik bölge,

III. Zeminin düzlemsel yüzeyler boyunca kaydığı dış parça, yani pasif bölgedir. Teoriye göre, zemin yüzeyi ve D derinliği arasındaki zeminlerin kayma dayanımı yoktur, sadece ilave yük (sürşarj yükü) olarak görev yapar.



**Şekil 2.11.** Terzaghi taşıma gücü teorisine göre rijit sürekli temel altındaki zeminde taşıma gücü yenilmesi (Cernica, 1995)



Pasif kuvvetler ile kohezyonu da içeren kamada  $\Sigma F_y = 0$ 'dan denklem 2.3 elde edilmiştir. Terzaghi,  $P_p$  değerini kohezyonun, üstüne gelen yükün ve bdef dörtgenindeki zemin ağırlığının birleşimi olarak hesaba katarak; aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır. (Cernica, 1995)

$$q_u B = 2 P_p + B c \tan \Phi \quad (2.3)$$

Sürekli temeller için denklem 2.4, kare temeller için denklem 2.5, dairesel temeller için ise Denklem 2.6 geliştirilmiştir (Cernica, 1995).

$$q_u = c N_c + \gamma D N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \quad (2.4)$$

$$q_u = 1.3c N_c + \gamma D N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma \quad (2.5)$$

$$q_u = 1.3c N_c + \gamma D N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma \quad (2.6)$$

Taşıma kapasitesi faktörleri yukarıdaki yer alan denklemlerde, aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunmaktadır.

$$N_c = \cot \Phi \quad (2.7)$$

$$N_c = \cot \Phi \left[ \frac{a^2}{2 \cos^2 \left( 45 + \frac{\Phi}{2} \right)} - 1 \right] \quad (2.8)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \tan \Phi \left( \frac{K_{p\gamma}}{\sin^2 \Phi} - 1 \right) \quad (2.9)$$

$$a = e^{\left( \frac{3\pi}{4} - \frac{\Phi}{2} \right) \tan \Phi} \quad (2.10)$$

$$K_{p\gamma} = 3 \tan^2 \left[ 45 + \left( \frac{\Phi + 33}{2} \right) \right] \quad (2.11)$$

Taşıma gücü yöntemlerinde, araştırmacıların zamanla geliştirdikleri eşitliklerden de görüleceği gibi, temel veya zemin yapısındaki özelliklerden dolayı değişiklikler olmuştur. Meyerhof (1951; 1963) ise çalışmalarında, Terzaghi' nin taşıma gücü ifadesi esas olmak üzere; şekil ve derinlik faktörlerini de hesaba katmıştır. Uygulanan yük dik ise denklem 2.12 kullanılmaktadır (Cernica, 1995).

$$q_u = cN_c s_c d_c + \gamma D N_q s_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad (2.12)$$

Taşıma kapasitesi faktörleri yukarıdaki yer alan denklemlerde, aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunmaktadır.

$$N_q = e^{\pi \tan \Phi} \tan^2 (45 + \Phi/2) \quad (2.13)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \Phi \quad (2.14)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1,4\Phi) \quad (2.15)$$

Zemine ait içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) değeri için elde edilecek derinlik ( $d_c$ ) ve şekil ( $s_c$ ) faktörleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$s_c = 1 + 0,2 K_p B/L \quad (2.16)$$

$$d_c = 1 + 0,2 \sqrt{K_p} (D/B) \quad (2.17)$$

Elde edilecek şekil ve derinlik faktörleri; içsel sürtünme açısı  $\phi \geq 10^\circ$  olursa; aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0,1 K_p B/L \quad (2.18)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \sqrt{K_p} (D/B) \quad (2.19)$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \Phi/2) \quad (2.20)$$

Hansen (1961; 1970), denklemleri bir anlamda Meyerhof denklemlerinin uzantısı gibidir ve  $N_c$  ile  $N_q$  faktörleri Meyerhof denklemleri ile aynıdır (Coduto, 2005). Ancak, Hansen'in önerdiği  $N_\gamma$  faktörü Meyerhof'un önerdiğinden farklıdır. Yalnızca, içsel sürtünme açısının ( $\phi$ )  $35^\circ$  olduğu durumda birbirlerine eşit olurlar. Hansen'in taşıma gücü faktörlerinden  $N_\gamma$ , denklem 2.21'de verilmiştir (Coduto, 2005).

$$N_\gamma = 1,50 (N_q - 1) \tan \Phi \quad (2.21)$$

Vesic (1973; 1975), Terzaghi'nin esas formülünü kullanmak üzere yük eğim faktörü (i), şekil faktörü(s), taban eğimi faktörü (b), derinlik faktörü (d) ve zemin eğimi faktörü (g) ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Vesic'in çalışması sonucunda geliştirdiği formül, Terzaghi denkleminde iyi bir alternatif olmuştur. Bu yaklaşım, çok daha geniş yükleme aralığına ve geometri koşullarına uygulanabilmektedir. Şekil faktörleri ( $s_\gamma$ ) için geliştirilen Denklem 2.22 aşağıda verilmiştir (Coduto, 2005).

$$s_\gamma = 1 - 0,4 (B/L) \quad (2.22)$$

Taşıma kapasitesi parametreleri için geliştirilen denklemler (denklem 2.23, 2.24 ve 2.25) aşağıda verilmiştir.

$$N_q = e^{\pi \tan \Phi} \tan^2 (45 + \Phi/2) \quad (2.23)$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \Phi \quad (2.24)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \Phi \quad (2.25)$$

### 2.3. Kohezyonsuz Zeminler Üzerinde Oturma

Zemin hacminin azalmasının sonucunda oturma, ortaya çıkar. Zemin hacmindeki bu azalmanın üç ana sebebi vardır. Bunlar; hava ve suyun zemin boşluklarından kaçması, zemin parçalarının sıkışması, boşluklardaki su ve havanın sıkışması olarak açıklanabilir (Cernica, 1995).

Geçmiş tarihlerde mühendislerin birçoğu taşıma gücü yenilmesine karşı emniyetli tasarlanan herhangi bir temelin, aşırı oturma yapmayacağını varsaymışlardır. Ancak yapılan araştırmalar sonucunda, temel tasarımında karşılaşılan oturma problemlerinin en az taşıma gücü problemleri kadar önemli olduğunu gerçeğini ortaya koymuştur. Özellikle, temel genişliği büyük olduğu zaman oturma genellikle yüzeysel temellerin tasarımına hâkim olmakta ve taşıma gücü analizi ikinci planda kalmaktadır.

Tasarımı yapılan temellerin belirli oturma şartlarını karşılamaları gerekmektedir. Denklem 2.26'da görüldüğü gibi toplam oturma ( $\delta$ ), izin verilebilir toplam oturmaya ( $\delta_a$ ) eşit veya daha küçük olmalıdır. Farklı oturma açısından bakacak olursak, Denklem 2.27'de verildiği gibi farklı oturma ( $\delta_D$ ), izin verilebilir farklı oturmaya ( $\delta_{Da}$ ) eşit veya daha küçük olmalıdır. Sonuç olarak, tasarım bu şartların ikisini de karşılamalıdır (Coduto, 2005).

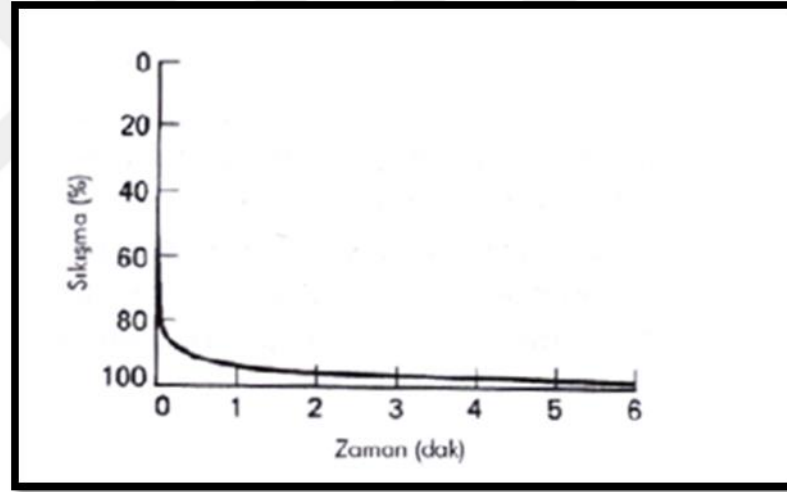
$$\delta \leq \delta_a \quad (2.26)$$

$$\delta_D \leq \delta_{Da} \quad (2.27)$$

Toplam oturma değeri, yapıya ait tüm temelerde aynı olacak şekilde tasarlanır. Bu sebeple, teoride farklı oturma olmamalıdır. Ancak, gerçek uygulamada yine de farklı

oturmalar meydana gelmektedir. Farklı oturmalar; zemin profilindeki değişmeler, yapısal yüklerdeki değişmeler ve temelin yalnızca taşıma gücüne göre tasarlanması gibi sebeplerden dolayı oluşabilir (Anonim, 2007). Toplam oturmaların ( $\delta$ ) yanında farklı oturmalar ( $\delta_D$ ) ve açısal deformasyonlar ( $\delta_D/L$ ) da oldukça önemlidir.

Granüler zeminlerde deplasman, yüksek permeabiliteye bağlı olarak çok kısa bir sürede meydana gelmektedir. Havanın veya suyun zemin gözeneklerinden kaçması çok kolaydır. Pratikte karşılaşılan birçok durumda kumlardaki sıkışma henüz yapı inşaatı devam ederken meydana gelir ve oturmaların çoğu inşaat bitimine kadar gerçekleşmiş olur. Ancak, bu hızlı oturmadan dolayı, granüler zeminde çok küçük toplam oturmalar bile özellikle çabuk oturmaya duyarlı yapılarda zararlı olabilmektedir. Kumlar için zamana bağlı sıkışma ilişkisi Şekil 2.12' de görülmektedir.



**Şekil 2.12.** Tipik bir kum için sıkışma-zaman ilişkisi

Zeminin farklı yükler altındaki davranışını ve oturmalarını öğrenmek amacıyla killi ve siltli içeriğe sahip zeminlere yapılan konsolidasyon deneyini, çakıllı ve kumlu zeminlerde yapmak zordur. Çünkü kumlu zeminler örselenmeye çok duyarlıdır ve numune örselenmesinin deney sonuçları üzerinde önemli etkileri vardır. Çakıllı zeminlerde ise, benzer örselenme sorunlarına ek olarak tane boylarının iri olması sebebiyle daha büyük numunelere ve daha geniş konsolidometreye ihtiyaç duyulmaktadır.

Kohezyonsuz zeminlerde oluşan oturmalar; konik penetrasyon deneyi (CPT), standart penetrasyon deneyi (SPT) ve presiometre deneyi (PMT) gibi deneyler ile elde edilen değerler kullanılarak hesaplanmaktadır.

Schmertmann (1978), yönteminde Konik penetrasyon deneyi (CPT) sonuçlarından yararlanılarak, kumlu zeminlerde yüzeysel temellerin oturma değerlerini hesaplamak için geliştirilmiştir. Bu yöntemde, hesaplanan oturma değerinin gerçeğe yaklaşması için eşdeğer Elastisite modülü ( $E_s$ ) kullanılır.  $E_s$  tasarım değeri dolaylı olarak zemindeki yanal deformasyonları da yansıtır. Araştırmacı,  $E_s$  ile CPT sonuçlarından elde edilen uç direnci ( $q_c$ ) arasında amprik bağıntılar geliştirmiştir. CPT derinliğe bağlı sürekli bir  $q_c$  grafiği verdiği için, analizde  $E_s$  derinliğin bir fonksiyonu olarak modellenir. Bu yöntem, yüzeysel temeller için geliştirilmiş olduğu için radye temellerde de kullanılabilir. Ancak, radye temellerin etki derinlikleri daha büyüktür bu sebeple bu derinliklerdeki eşdeğer modül değerleri de daha büyük değerler verir. Sonuç olarak, bu yöntemle yapılan radye temellerin oturma değerleri daha fazla çıkmaktadır (Coduto, 2005).

#### 2.4. Temeller altında oluşan gerilme dağılımı

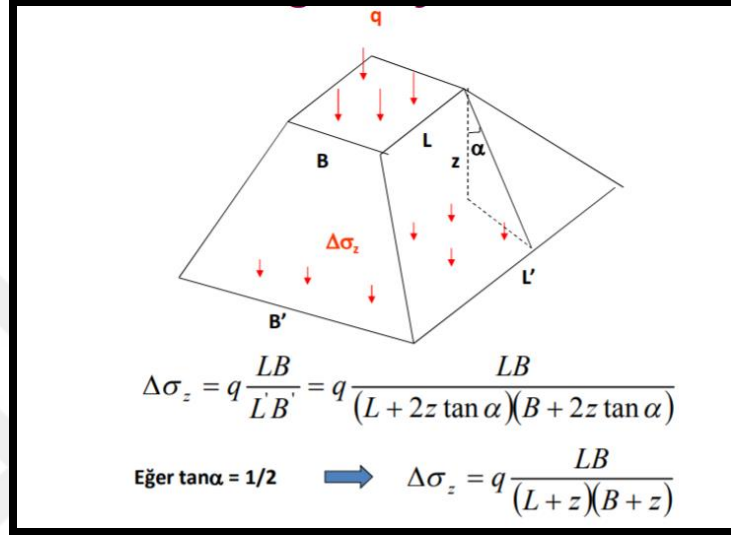
Temel hesapları yapılırken zemindeki oluşacak gerilme değerleri ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyulur. Zemin üzerine etkiyen yerçekimi kuvveti ve yapı temelleri gibi dış yükler nedeniyle zemindeki gerilmeler oluşur. Zeminde normal gerilim ( $\sigma$ )' e ve kayma gerilmesinin ( $\tau$ ) her ikisi de bulunabilir. Kendi ağırlığı sebebiyle zemin meydana gelen geostatik düşey toplam gerilme ( $\sigma_z$ ) denklem 2.28' deki gibi hesaplanır.

$$\sigma_z = \Sigma \gamma H \quad (2.28)$$

Herhangi bir dış yük tesir ettiğinde zeminde oluşan gerilme değerlerinde, yükün etkidiği alanın altında daha fazla olacak şekilde değişmeler meydana gelir. Bu gerilme değişmelerinin şiddetinin ve dağılımının bilinmesi temellerin projelendirilmesi bakımından gereklidir. Bu bilgilere baz alınarak oturmalar değerleri hesaplanır.

Yükleme yapılan bir alanda derinliğe bağlı olarak gerilme dağılımını hesaplamada kullanılan en basit yöntemlerden biri 2'ye 1 (2:1) yöntemidir. Bu yöntem,

üzerine yük etkileyen alanın derinlikle birlikte sistematik olarak genişlediği varsayımına dayalı amprik bir yaklaşımdır. Aynı düşey yük giderek genişleyen alana dağılacağı için birim gerilme Şekil 2.13' te görüldüğü gibi azalacaktır.



Şekil 2.13. Düşey gerilmenin derinliğe bağlı değişiminde 2:1 yaklaşımı

Z derinliğinde temel alanı her bir tarafta z/2 kadar genişlemiştir. O halde z derinliğindeki genişlik B+z ve bu derinlikteki gerilme denklem 2.29' daki gibidir (bağıntıdaki  $\sigma_0$  yüzey veya temas gerilmesidir) .

$$\sigma_z = \frac{\text{yük}}{(B+z) \times 1} = \frac{\sigma_0(B \times 1)}{(B+z) \times 1} \quad (2.29)$$

Benzerlik kuralına göre, genişliği B ve uzunluğu L olan bir sömelin z derinliğindeki alanı Şekil 2.13' te görüldüğü gibi (B+z)(L+z)' ye eşittir. z derinliğindeki gerilme Denklem 2.30'daki gibidir.

$$\Delta\sigma_z = \frac{\text{yük}}{(B+z)(L+z)} = \frac{\sigma_0(BL)}{(B+z)(L+z)} \quad (2.30)$$

Zemin içindeki gerilmelerin, temel mühendisleri tarafından hesaplanırken elastisite teorisi kullanılmaktadır. Teorinin kullanılabilmesi için zeminin, en azından düşey gerilmelerin hesabında, elastik olma şartı yoktur. Sadece gerilmelerin birim

deformasyona oranı sabit olmalıdır. İlave edilen gerilmeler, yenilme değerinin altında olduğu sürece birim deformasyonlar ile gerilmeler yaklaşık olarak orantılı olacaktır (Holtz and Kovacs, 2010).

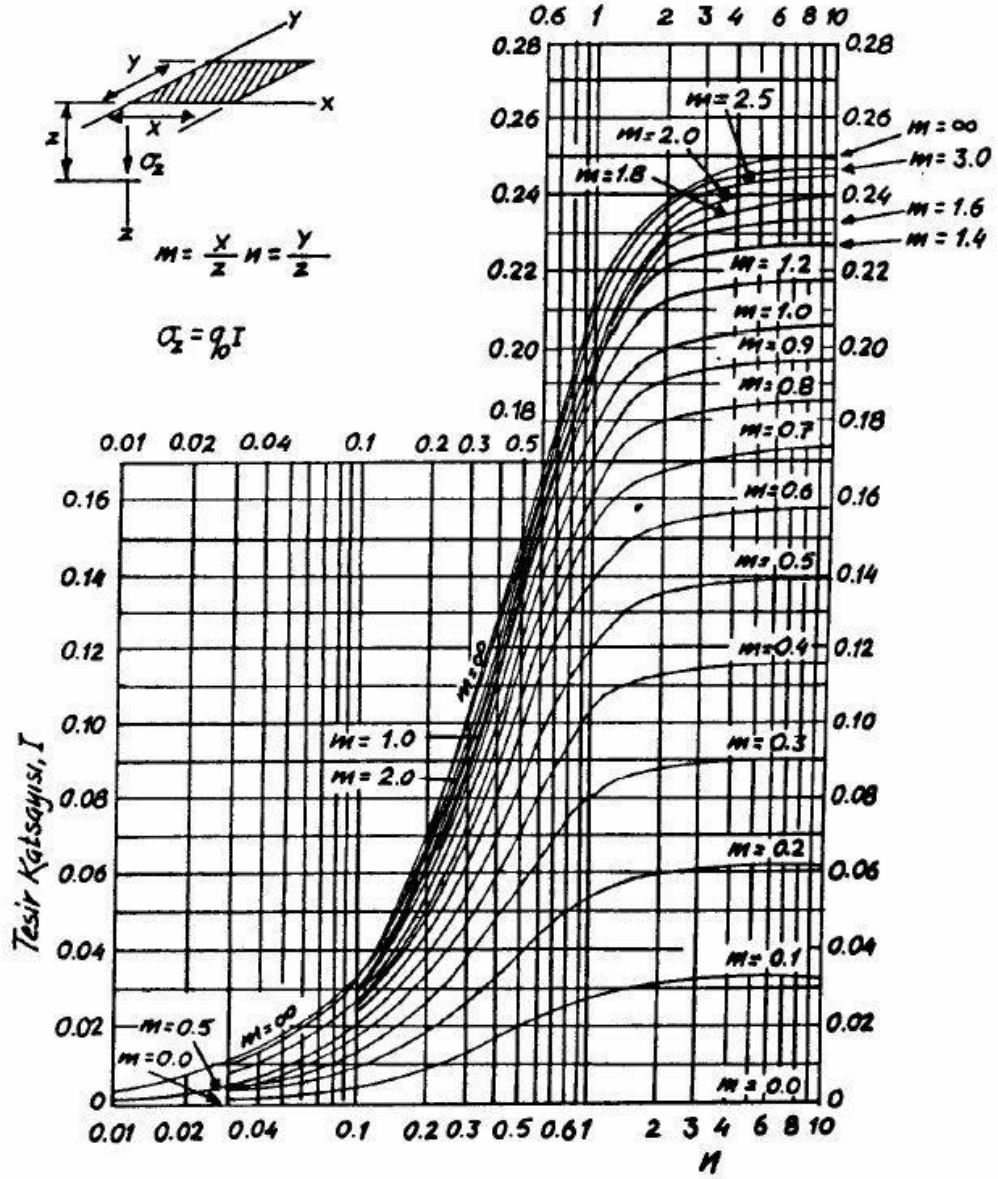
Zemin içindeki tabakalarda oluşan gerilme artışları, çok defa yapı ağırlığının neden olduğu temel taban basınçlarından doğar. Zemin içindeki noktalarda basınç artışları hesaplanırken, temele etkileyen tesirlerden doğan taban basıncının üniform veya lineer olarak değiştiği kabul edilir. Temel taban basınçları sebebiyle zemin içinde oluşan basınçların hesabında zemin için, yarı sonsuz homojen (noktadan noktaya özellikler aynı), izotrop (bir noktadan geçen bütün doğrultularda özellikler aynı) ve elastik varsayımı yapılır ve Hooke kanunu geçerli olmaktadır (Kumbasar ve Kip, 1999). Temel üzerine etkileyen nokta kuvvet tesiri için, Boussinesq formülünde düşey gerilme denklem 2.31' de verilmiştir.

$$\sigma_z = q_0 I \quad (2.31)$$

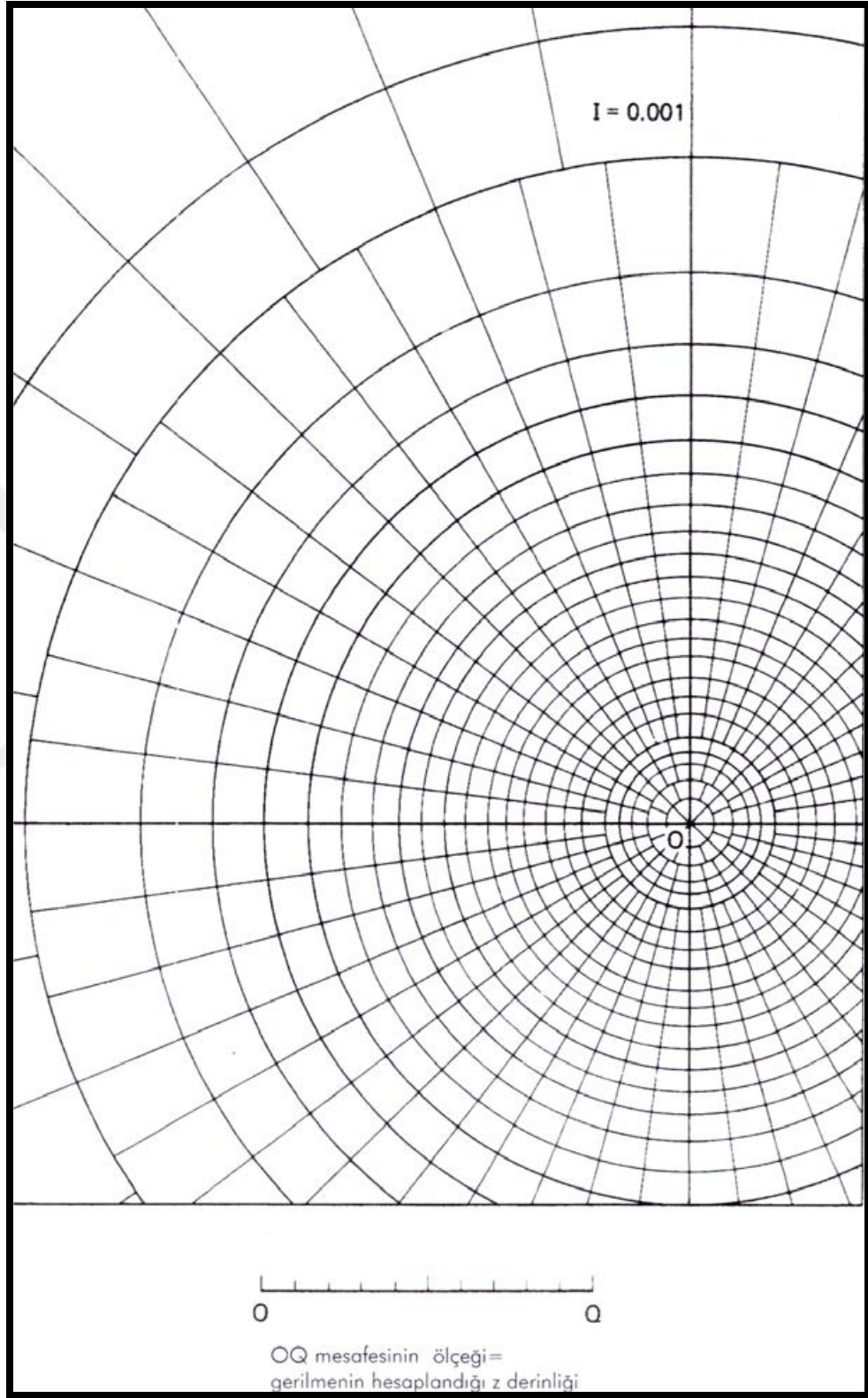
İstenilen derinlikteki düşey basıncı elde etmek için, Çizelge 2.1' de verilmiş olan  $m$  ve  $n$  değerleri hesaplanır ve yine aynı şekildeki abaktan  $I$  değeri okunur. Son olarak denklem 2.31'deki bağıntı kullanılarak üniform şekilde yüklenmiş dikdörtgen alanın köşesi altındaki düşey gerilme elde edilir.

Bu çalışmada irdelenen düzensiz şekilli temellerin olduğu durumlarda, yüklenen alanın içindeki veya dışındaki değişik noktalarda düşey gerilmeleri hesaplama ihtiyacı doğabilmektedir. Newmark (1942), düşey gerilmelerin (hatta yatay ve kesme gerilmelerinin) hesaplanmasına imkân veren etki abakları geliştirmiştir. Şekil 2.15'te görülen abak Newmark tarafından Boussinesq teorisine göre hazırlanmıştır. Abaktakiler bir dörtgen aynı yüzey alanına sahiptir (abaktaki şekil, ortası  $O$  noktası olan ve dışı doğru yükselen bir çukur olarak düşünülmesi).





Şekil 2.14. Üniorm yüklenmiş dikdörtgen alanın köşesi altındaki düşey gerilme için etki değeri (Holtz and Kovacs, 2010)



Şekil 2.15. Yatay düzlemler üzerindeki düşey gerilme için etki grafiği (Newmark, 1942)

Her ebattaki temeller için kullanılabilen abaklar derinliğe göre ölçeklendirilmiştir. Abaktaki OQ çizgisi, zemin yüzeyinden düşey gerilme  $\sigma_v$ 'nin hesaplanacağı z derinliğine olan mesafeyi temsil eder ve ayrıca yüklenen alanın çizilmesinde ölçek olarak kullanılır. Yüklenen alanın ölçekli olarak ve düşey gerilmenin hesaplanacağı nokta, abağın merkezine gelecek şekilde çizilip, temelin içerisinde kalan dörtgenlerin sayılması ile düşey gerilme hesaplanır. İstenilen derinlikteki düşey gerilmeyi bulmak için, alanların sayısı abak üzerinde belirtilen etki değeri (I) ve temas basıncı ile çarpılır (Holtz and Kovacs, 2010).

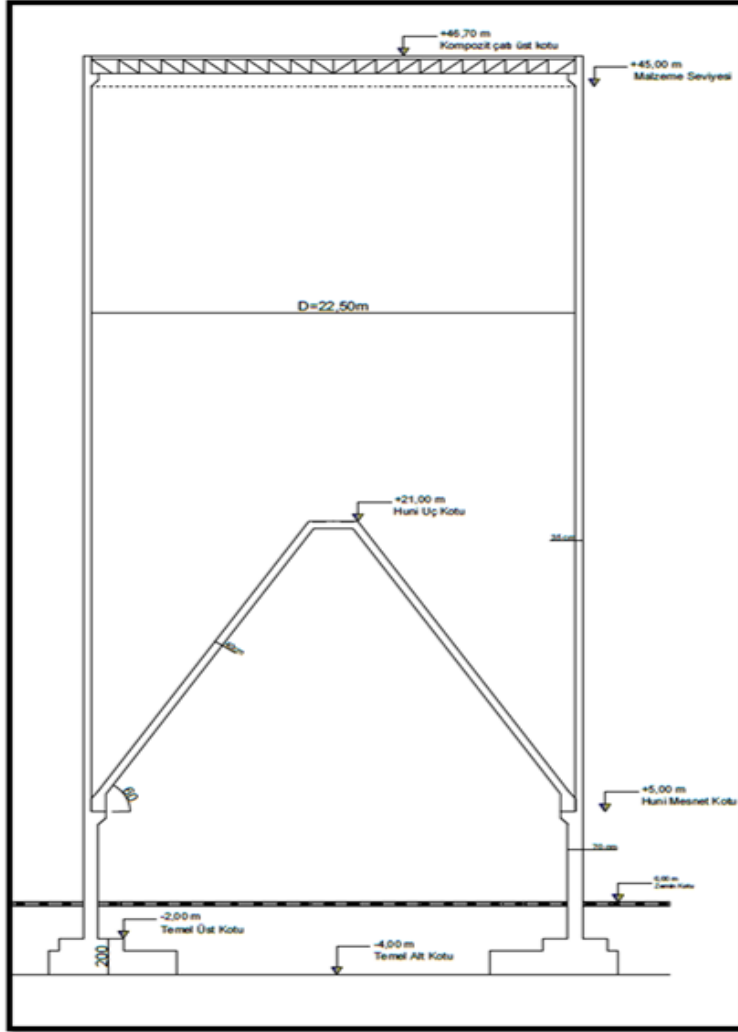


### 3. MATERYAL VE METOT

Plaxis hesaplamalarında modelleme olarak 45 m yüksekliğinde ve 22.5 m çapında projesi mevcut olan betonarme silo kullanılmıştır (Anonim, 2015). Plaxis programında 3 farklı zemin (kum ve kil karışımı tabakalı zemin, kaya zemin, kil zemin) üzerine betonarme silo yükleri hem ring temelli hem de radye temelli olacak şekilde hesaplanarak programa veriler girilmiştir. Silo yapısının temele etkiyeceği yüklerin hesabı aşağıdaki gibidir.

#### 3.1. Silo Temeline Gelen Yüklerin Hesabı

Hesaplamalarda kullanılacak silo kesiti Şekil 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3.1. Betonarme silo kesiti (ring temelli)

### 3.1.1. Silo beton metraji

Hesaplarda kullanılan silonun beton metraji aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Beton birim hacim ağırlığı = 2.50 t/m<sup>3</sup>

Silo Perde Metraji:

$$Dış \ Çap_{rA} = 23.2 / 2 = 11.60 \text{ m}$$

$$İç \ Çap_{rB} = 22.5 / 2 = 11.25 \text{ m}$$

$$H_p = 46.70 - 5.00 = 41.70 \text{ m}$$

$$V_P = \pi(11.60^2 - 11.25^2) \times 41.70$$

$$V_P = 1047.70 \text{ m}^3 \text{ (Silo perdesi beton hacmi)}$$

Silo Koni Metraji:

$$\text{Koni yanal alan (A}_K) = \pi \times R \times \sqrt{(H^2 + R^2)}$$

$$A_K = \pi \times 10.55 \times \sqrt{(16^2 + 10.55^2)}$$

$$A_K = 635.20 \text{ m}^2$$

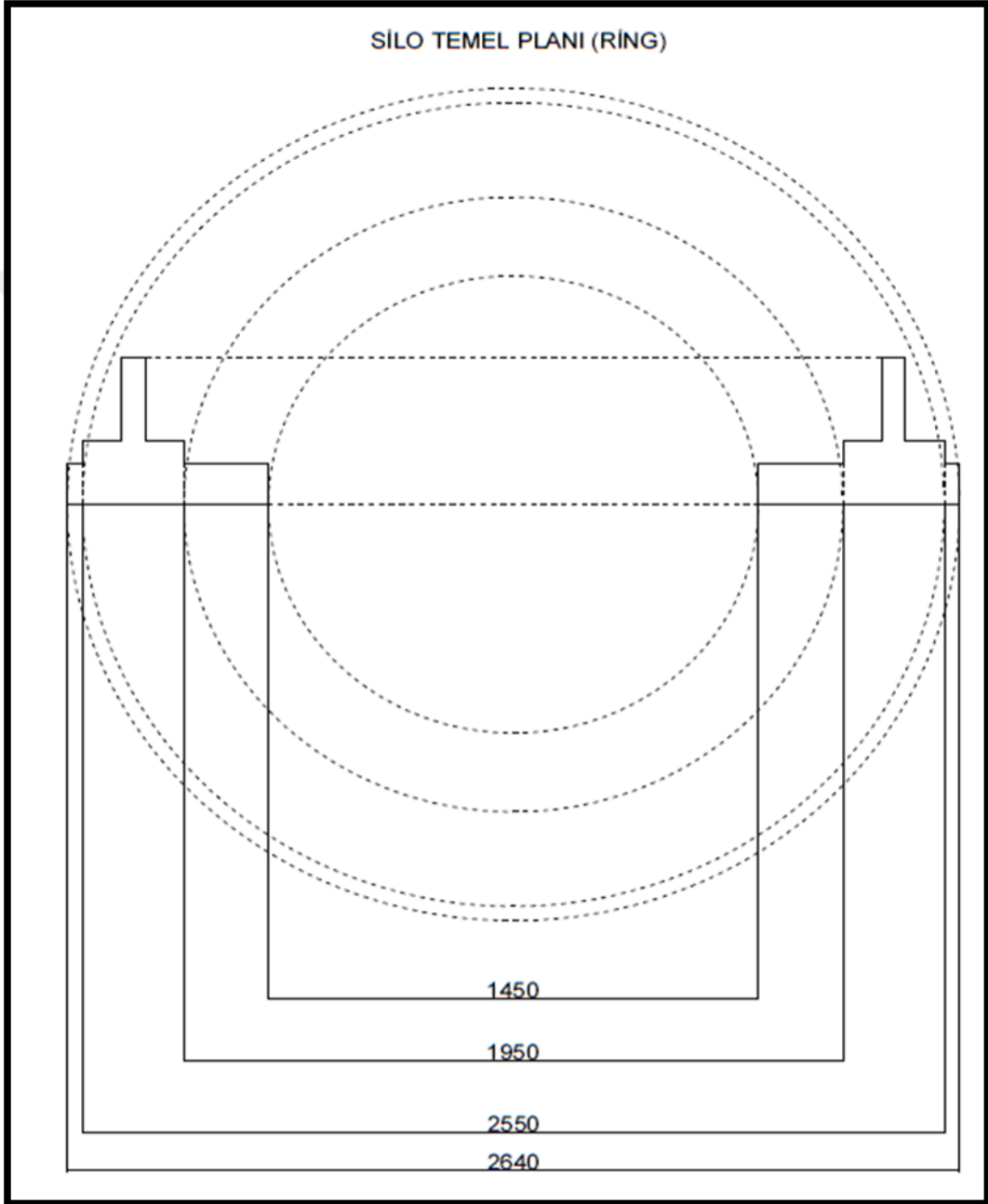
$$V_{KP} = A_K \times h$$

$$V_{KP} = 635.20 \times 0.40$$

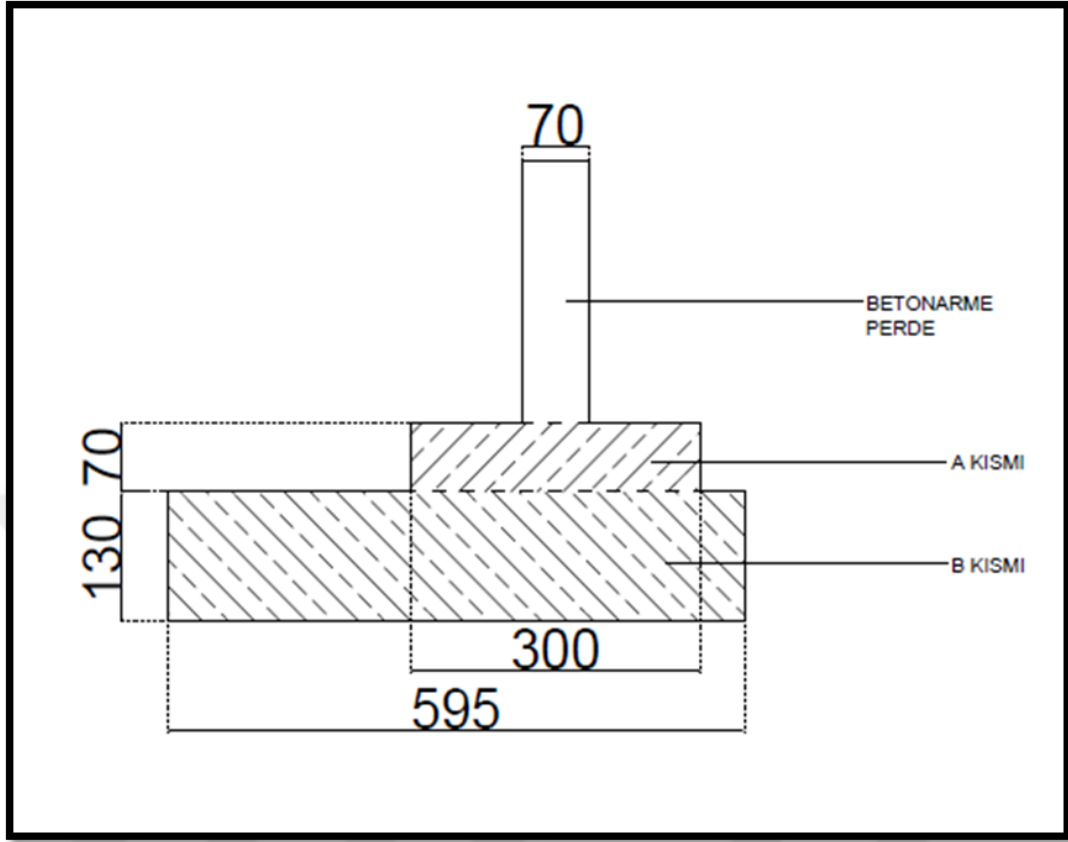
$$V_{KP} = 254 \text{ m}^3 \text{ (Silo konisi beton hacmi)}$$

Silo Temel Metraji:

Ring Temel: Şekil 3.2' de ring temel planı ve Şekil 3.3' te temel kesiti verilmiştir.



Şekil 3.2. Silonun temel planı (ring temel)



**Şekil 3.3.** Silo temel kesiti (ring temel) (ölçüler cm cinsinden)

Hatıl Kısmı ( $V_A$ ):

Şekil 3.3.' te

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = \pi \times (25.50/2)^2 - \pi \times (19.50/2)^2$$

$$A = 212.06 \text{ m}^2$$

$$V_A = A \times h_A$$

$$V_A = 212.06 \times 0.7$$

$$V_A = 148.44 \text{ m}^3 \text{ (Hatıl beton hacmi)}$$

Ampatman Kısmı ( $V_B$ ):

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = \pi \times (26.40/2)^2 - \pi \times (14.50/2)^2$$

$$A = 382.26 \text{ m}^2$$

$$V_B = A \times h_B$$

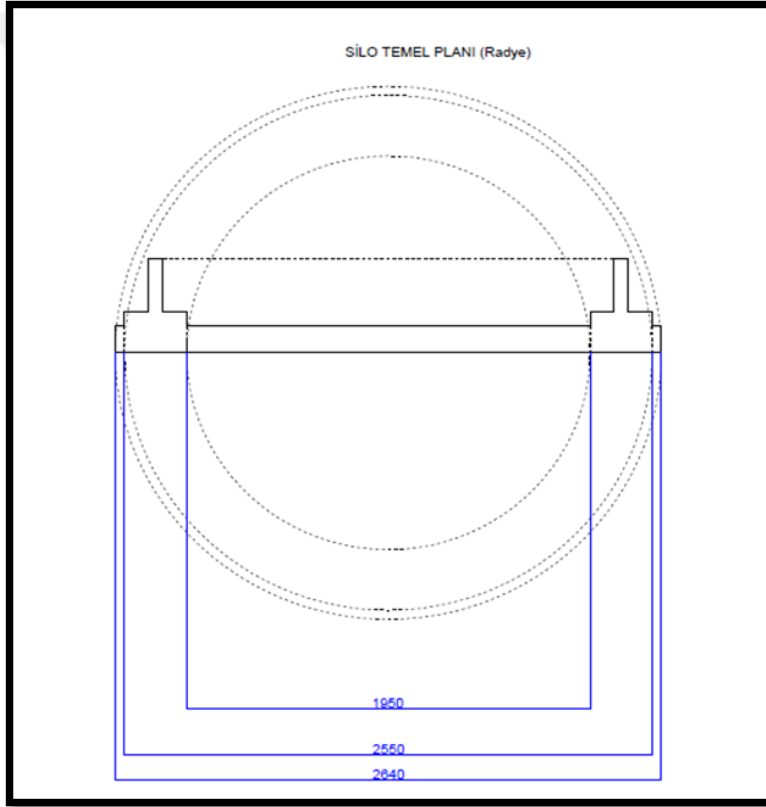
$$V_B = 382.26 \times 1.30$$

$$V_B = 496.94 \text{ m}^3 \text{ (Ampatman beton hacmi)}$$

$$\text{Toplam Temel Beton Hacmi} = V_A + V_B = 148.44 + 496.94 = 645.38 \text{ m}^3 \text{ (Ring Temel)}$$

$$\text{Toplam Beton Ağırlığı: } (645.38 + 1047.70 + 254.00) \times 2.50 = 4867.70 \text{ t (Ring Temelli Silo)}$$

Radye Temel: Şekil 3.4' te radye temel planı verilmiştir.



Şekil 3.4. Silo temel planı (radye temel)

Hacim hesaplamalarında radye temele ait bölümlerden A kısmı aynı miktarda çıkacaktır, B kısmında bulunan temel değişecektir.

$$V_B = A \times h_B$$

$$V_B = (\pi \times (26.40/2)^2) \times 1.30$$

$$V_B = 711.60 \text{ m}^3$$



Toplam Temel Beton Hacmi =  $V_A + V_B = 148,44 + 711,60 = 793,82 \text{ m}^3$  (Radye Temel)

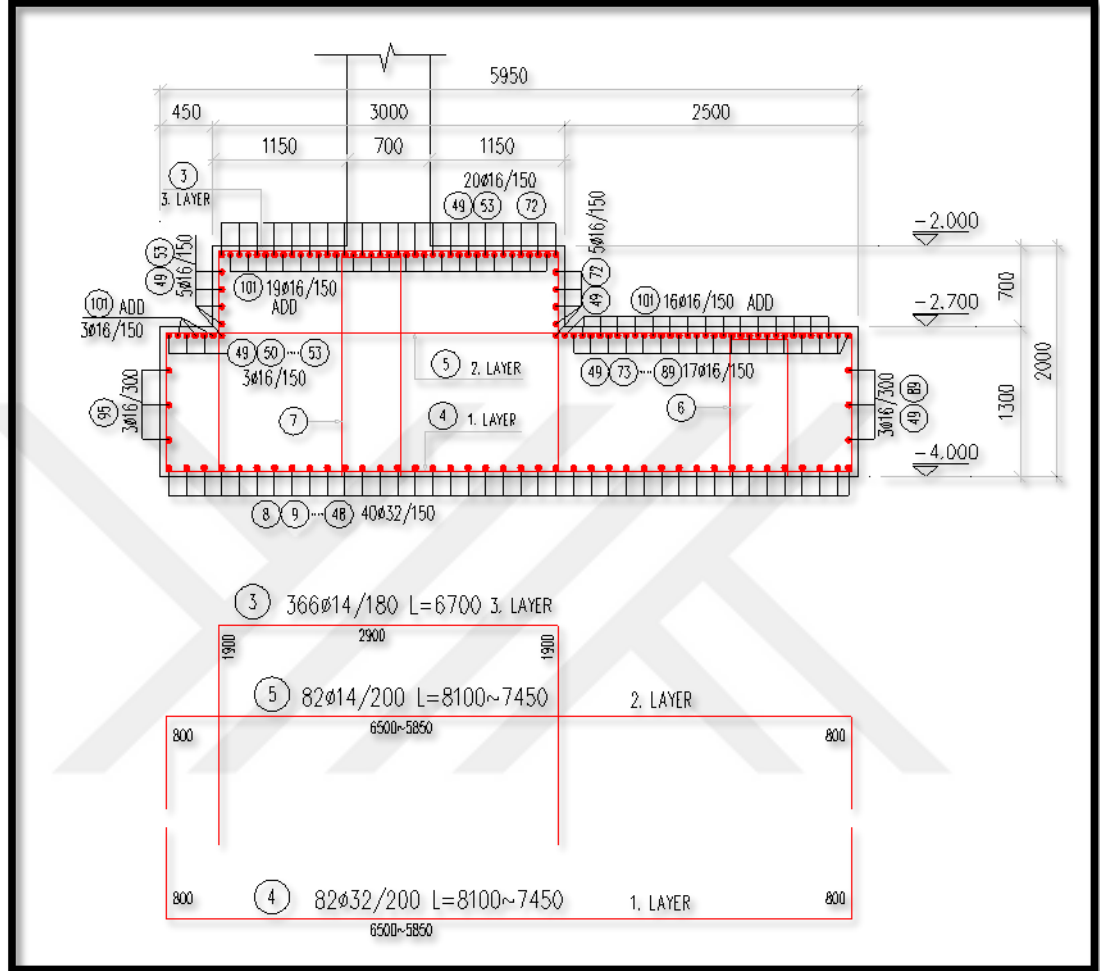
Toplam Beton Ağırlığı:  $(793,82 + 1047,70 + 254,00) \times 2,50 = 5238,80 \text{ t}$  (Radye Temelli Silo)

### 3.1.2. Silo Donatı Metraji

Betonarme yapılarda kullanılan nervürlü inşaat demirlerinin çaplarına göre ağırlıkları Çizelge 3.1 ' de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Nervürlü inşaat demiri ağırlıkları tablosu

Nervürlü inşaat demiri kiloları		
Çap	1 m/kg	12 m
8	0.395	4.74
10	0.617	7.40
12	0.888	10.66
14	1.208	14.50
16	1.578	18.94
18	1.988	23.86
20	2.466	29.59
22	2.948	35.81
24	3.551	42.61
25	3.853	46.24
26	4.163	49.96
28	4.834	58.01
30	5.549	66.59
32	6.313	75.76
34	7.127	85.52
36	7.990	95.88
38	8.903	106.84



Şekil 3.5. Silo temeli donatı detayı (ring temel) (Anonim, 2015)

### Silo temel donatısı

#### Ring temel

Üst Donatılar:

48 Ø 16 L= 62,25 m N= 1,55 t

366 Ø 14 L= 6,70 m N= 2,97 t

82 Ø 14 L= 8,10 m N= 0,80 t

Alt Donatılar:

40 Ø 32 L= 62,25 m N= 15,71 t

82 Ø 14 L= 8,10 m N= 0,80 t

### **Radye temel**

Üst Donatılar:

176 Ø 16 L= 14,90 m N= 4,14 t

132 Ø 14 L= 14,90 m N= 2,38 t

3 Ø 16 L= 82,90 m N= 0,39 t

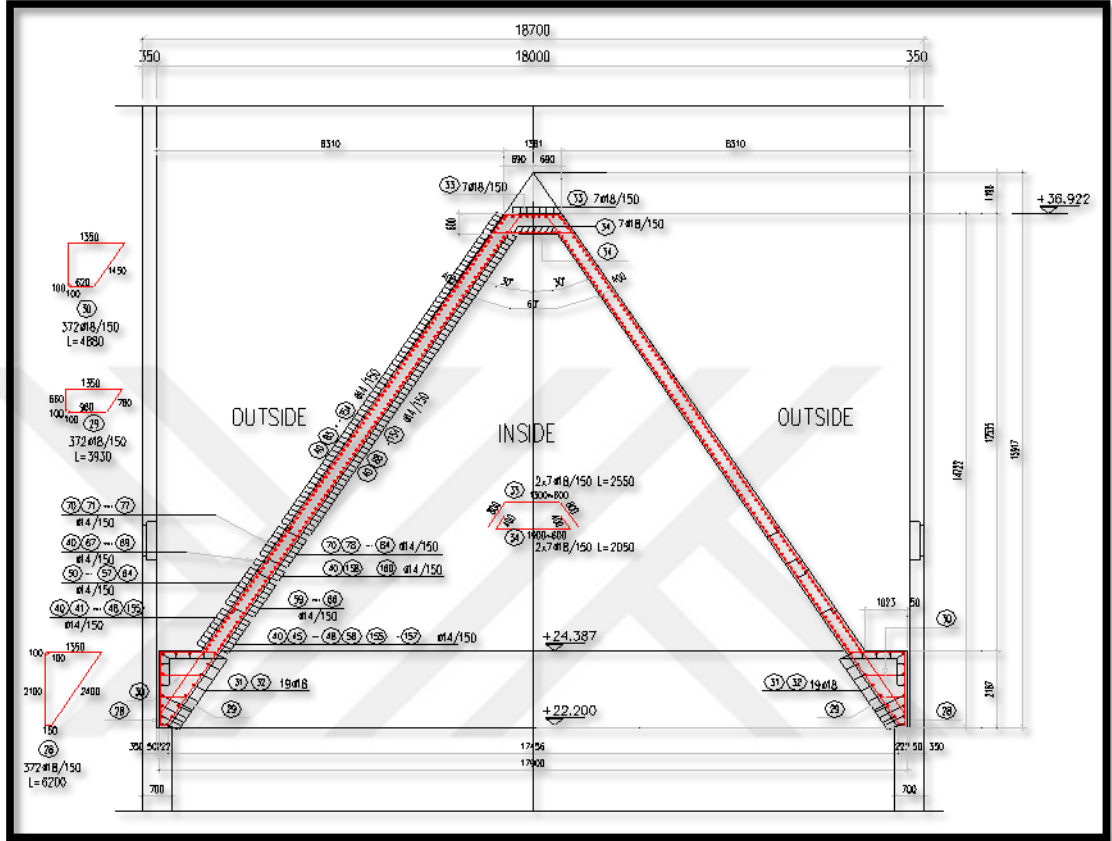
30 Ø 16 L= 77,90 m N= 3,69 t

Alt Donatılar:

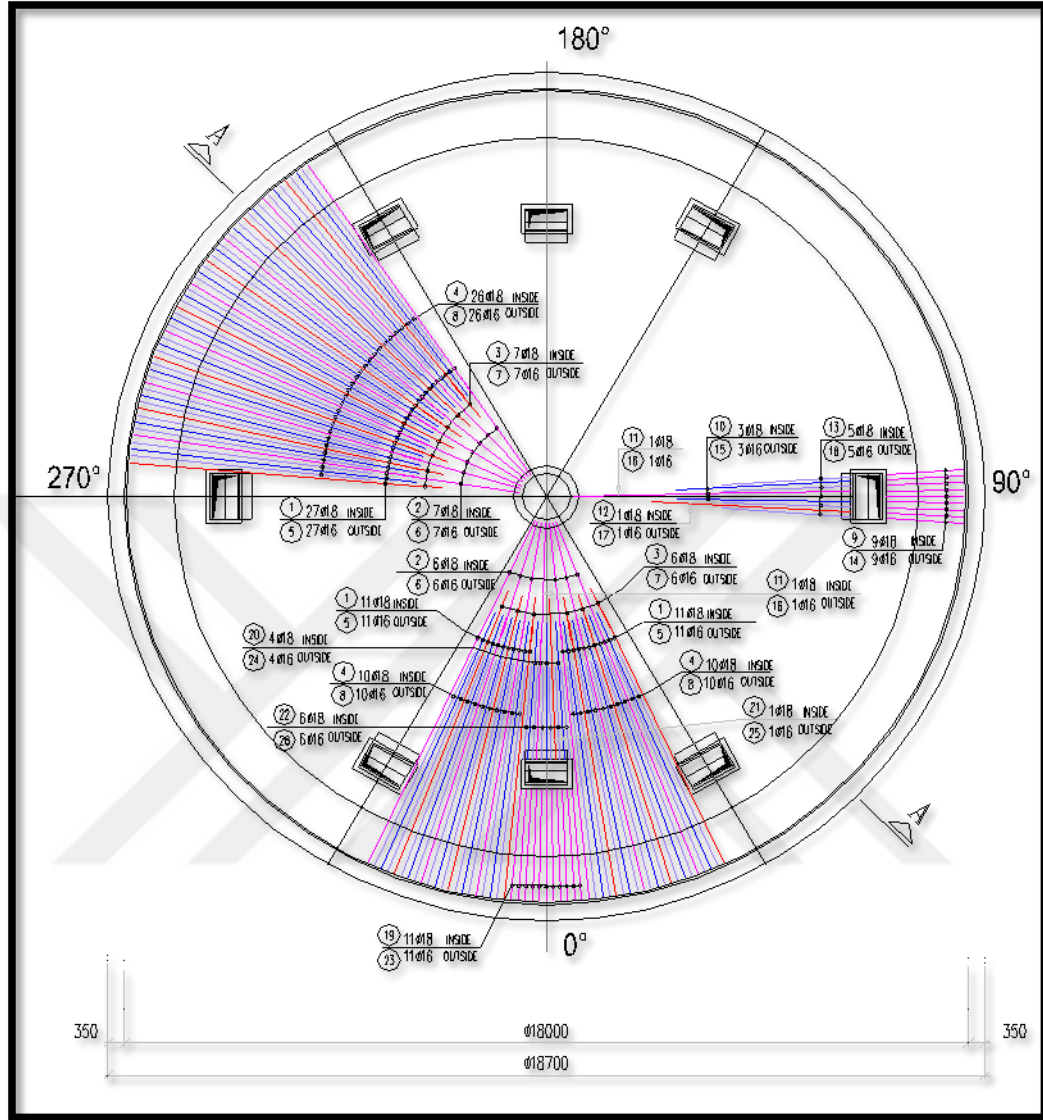
132 Ø 32 L= 14,90 m N= 12,41 t

132 Ø 14 L= 14,90 m N= 2,38 t

Huni Donatısı: Şekil 3.6’ da silo yapısına ait huni kesiti ve Şekil 3.7’ de huni planı verilmiştir.



Şekil 3.6. Silo huni donatı kesiti (Anonim, 2015)



Şekil 3.7. Silo huni donatı planı (Anonim, 2015)

200 Ø 14 L= 31.50 m N= 7.64 t

14 Ø 18 L= 1.80 m N= 0.05 t

19 Ø 18 L= 63.14 m N=2.40 t

372 Ø 18 L= 6.20 m N= 4.61 t

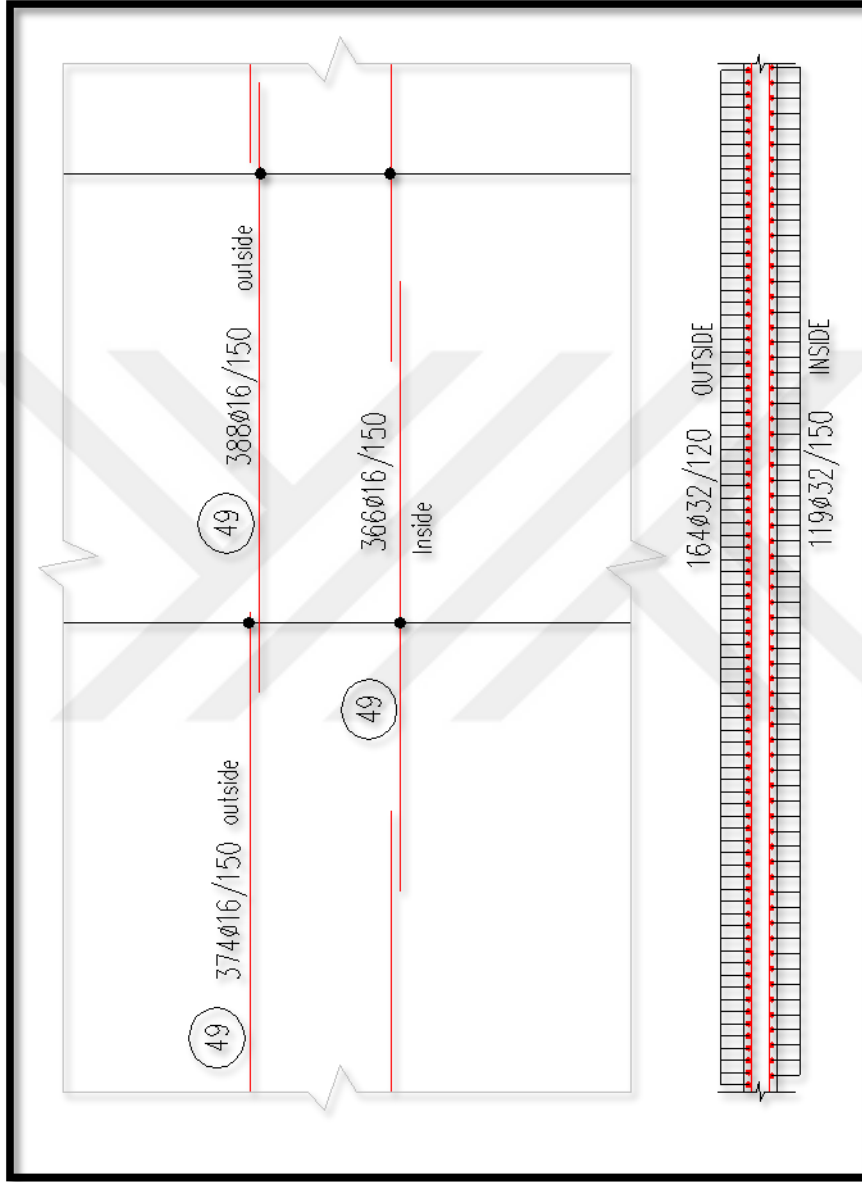
372 Ø 18 L= 4.88 m N=3.63 t

156 Ø 18 L= 12 m N=3.74 t

42 Ø 18 L= 6 m N=0.50 t

42 Ø 16 L= 6 m N=0.39 t

Silo Perdesi: Şekil 3.8' de silo yapısına ait perde kesiti verilmektedir.



Şekil 3.8. Silo perde donatı planı (Anonim, 2015)

164 Ø 32 L= 54,70 m N= 59,71 t

119 Ø 32 L= 54,70 m N= 41,07 t

388 Ø 32 L= 155 m N= 379,48 t

366 Ø 32 L= 155 m N=357,96 t

Toplam Donatı Ağırlığı: 883,01 t (Ring Temelli)

Toplam Donatı Ağırlığı: 886,60 t (Radye Temeli)

Silo Çatı Ağırlıkları:

Çatı malzemesi olarak kenetli çatı malzemesi kullanılmıştır.

Taş Yünü = 7,50 kg/m<sup>2</sup> (özümlü ağırlığı = 150 kg/m<sup>3</sup> 5 cm kullanıldığındaki m<sup>2</sup> ağırlığı bulunmuştur)

Kenet Levhası = 15 kg/m<sup>2</sup>

Toplam Yük = 0,0225 t/m<sup>2</sup>

Çatı Alanı (A<sub>ç</sub>) = π x r<sup>2</sup> = π x 11,60<sup>2</sup>

A<sub>ç</sub> = 422,73 m<sup>2</sup>

Çatı Yüğü = A<sub>ç</sub> x 22,50 = 9,50 t

TS 498'e göre Kar + Buz Yüğü

Kar yüğü = 184 kg/m<sup>2</sup> (4. Bölgeye göre alınarak en maksimum rakımda düşünülerek standartta belirtildiği şekilde %15 artırılmıştır)

Buz yüğü = 21 kg/m<sup>2</sup> (standartta belirtildiği şekilde 3 cm kalınlıkta alınmıştır)

Kar + Buz Yüğü = 0,205 t/m<sup>2</sup>

Toplam Yük = 0,205 x A<sub>ç</sub> = 205 x 422,73 = 86,65 t

Silo İçinde Depolanacak Çimento Ağırlığı:

Çimento Hacmi (V<sub>ç</sub>) = Silo iç hacmi – Silo Hunisi hacmi

Çimento Hacmi (V<sub>ç</sub>) = π x r<sup>2</sup> x h - π x r<sup>2</sup> x h/3

V<sub>ç</sub> = π x 11,25<sup>2</sup> x 40 - π x 11,25<sup>2</sup> x 16/3

V<sub>ç</sub> = 13783,70 m<sup>3</sup>

Çimento birim hacim ağırlığı (γ<sub>ç</sub>) = 3,10 t/m<sup>3</sup>

Çimento Ağırlığı = V<sub>ç</sub> x γ<sub>ç</sub> = 3,10 x 13783,70 = 42729,47 t

### 3.2. Betonarme Silodan Temel Tabanına Aktarılan Yükler

Statik Yükler:

Beton = 4867,70 t (Ring temelli silo) / 5238,80 t (Radye temelli silo)

Donatı = 883,01 t (Ring temelli silo) / 886,60 t (Radye temelli silo)

Çatı = 8,50 t

Toplam = 5759,21 t (Ring temelli silo) / 6133,90 t (Radye temelli silo)

Yapıda sürekli bulunmayan yükler:

Kar + Buz = 86,65 t

Çimento = 42729,47 t

Toplam = 48575,33 t (Ring temelli silo) / 48950,02 t (Radye temelli silo)

Plaxis Programında Kullanılacak Yüklerin Tanımlanması:

Ring Temel Tabanı;

Toplam Yük = 48575,33 t

Silo Ring Temel Alanı = 382,26 m<sup>2</sup>

Temel altında zemine aktarılan yük = 48575,33 / 382,26 = 127,07 t/m<sup>2</sup>

Programda kullanılacak değer = 127,07 \* 9,81 = **1246,55 kN/m<sup>2</sup>** (Ring temelli silo için)

---

Radye Temel Tabanı;

Toplam Yük = 48950,02 t

Silo Radye Temel Alanı = 547,38 m<sup>2</sup>

Temel altında zemine aktarılan yük = 48950,02 / 547,38 = 85,22 t/m<sup>2</sup>

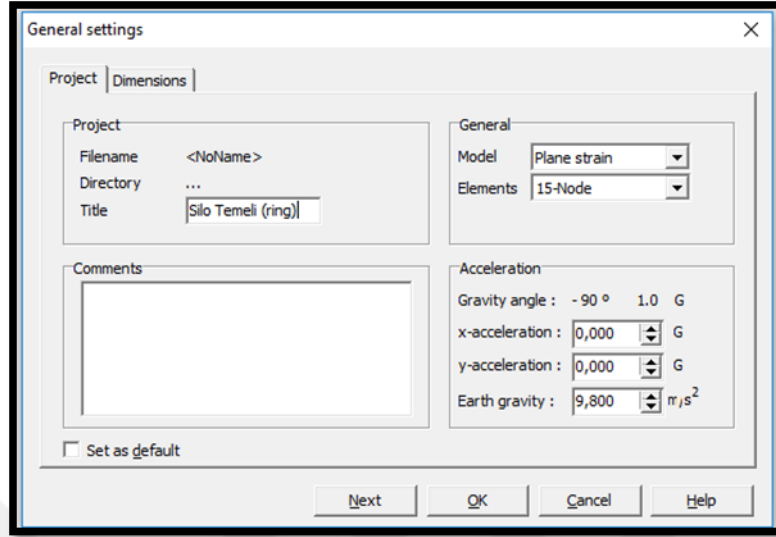
Programda kullanılacak değer = 85,22 \* 9,81 = **836 kN/m<sup>2</sup>** (Radye temelli silo için)

### 3.3. Hesaplanan Yüklerin Plaxis Programına Veri Girişinin Yapılması

#### 3.3.1. Betonarme silo (ring temelli) yüklerinin girişi (input)

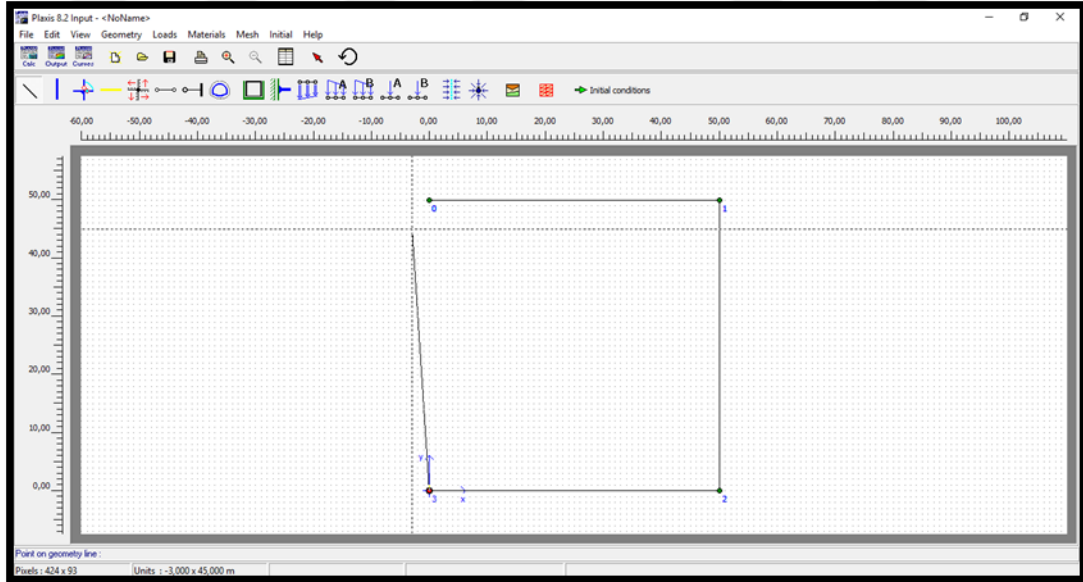
Plaxis programına girilerek İnpıt bölümünden yapılan çalışma ile ilgili bilgi girişi yapılır. Bu ekranda yapılan işin adı, ölçü birimi vb. bilgiler girilir (Şekil 3.9).



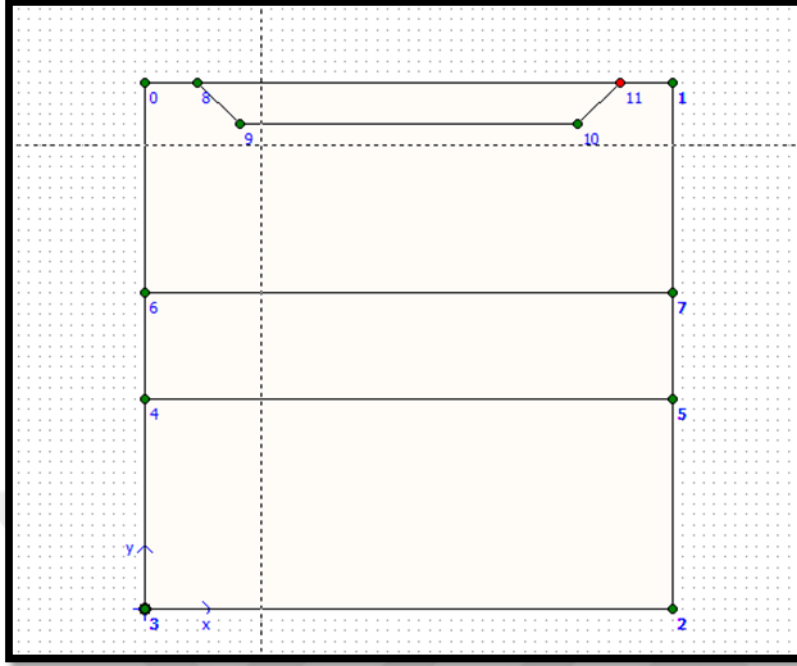


**Şekil 3.9.** Plaxis programı bilgi giriş ekranı (ring temel)

Geometry line butonu ile zemin tabakaları oluşturulur. Bu komutla yapının oturacağı ve temel altında oluşacak gerilme soğanını içerisine alan zemin tabakası oluşturulur (Şekil 3.10 ve 3.11).

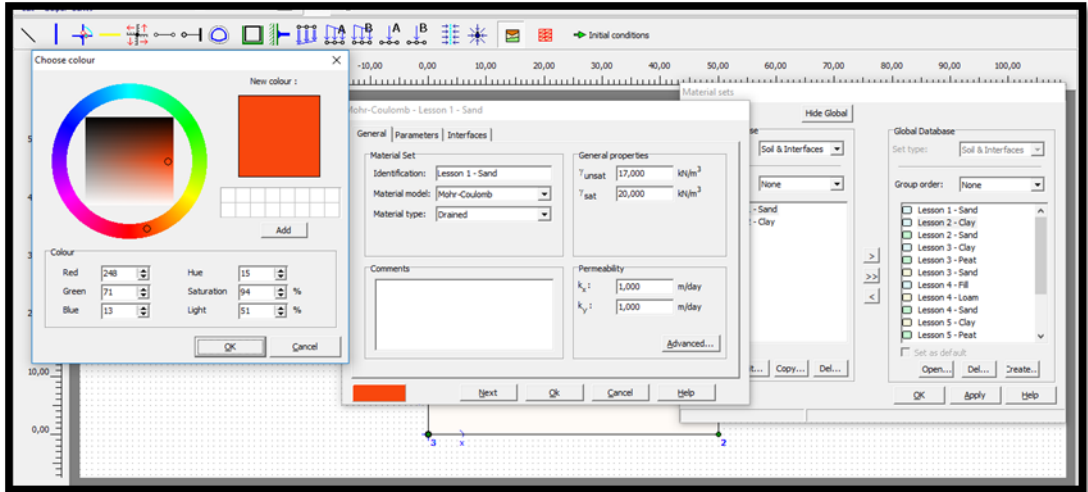


**Şekil 3.10.** Geometry line komutunun çalıştırılması (ring temel)

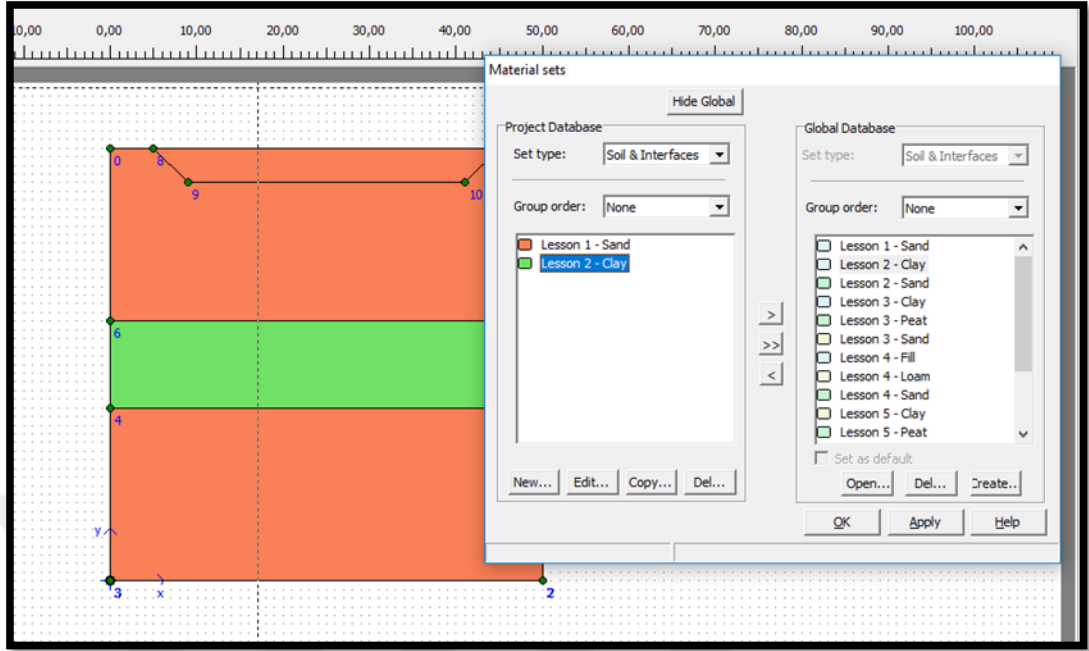


Şekil 3.11. Analiz yapılmak istenen zemin tabakalarının geometrisinin oluşturulması (ring temel)

Material set butonu ile tabakalardaki zemin parametreleri seçilir. Bu komutla modellemede oluşturulan zeminin parametrik özellikleri girilerek görsel olarak istenilen renk seçimi yapılır (Şekil 3.12 ve 3.13).

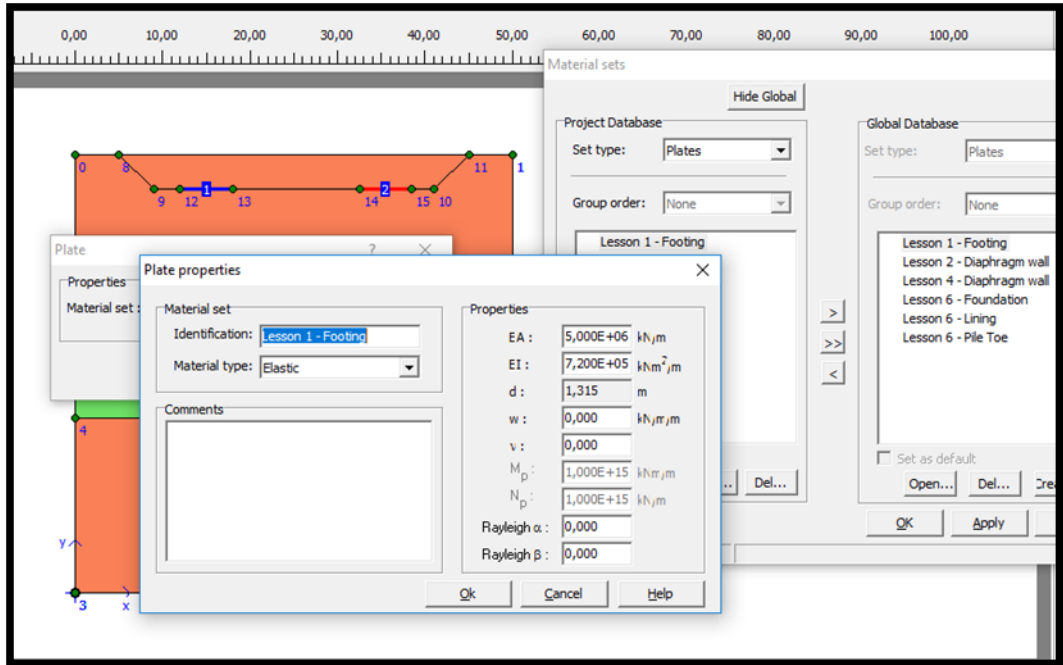


Şekil 3.12. Zemin parametrelerinin belirlenmesi (ring temel)



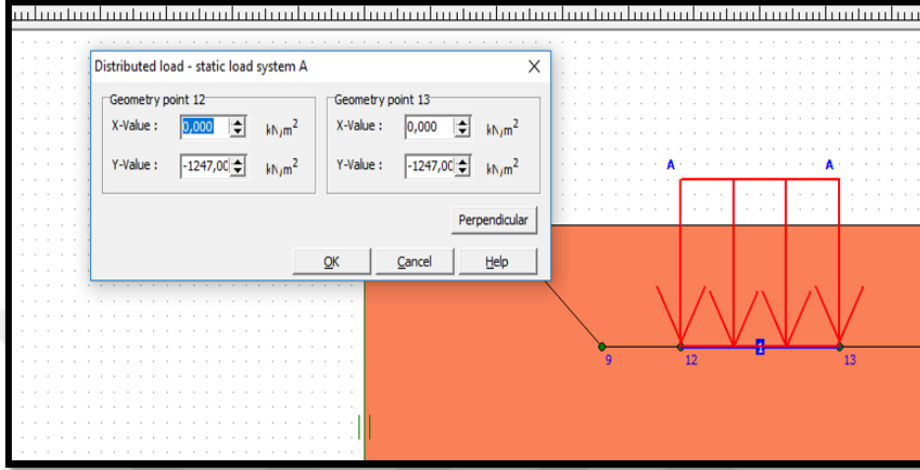
Şekil 3.13. Zemin parametrelerinin tabakalara tanımlanması

Silo yüklerinin zemine aktaracak ring temeller oluşturulan modelde yerleri belirlenerek malzeme özellikleri belirtilir (Şekil 3.14).



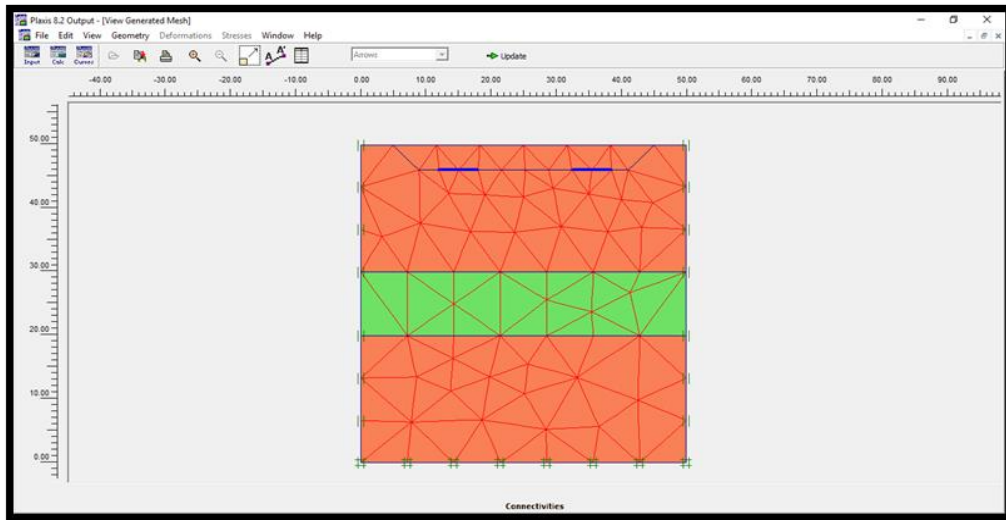
Şekil 3.14. Silo temeli parametrelerinin programa tanımlanması (ring temel)

Silo temeli üzerine yapıdan gelen yüklerin toplamı temel alanına göre hesaplanarak yükleme yapılır. Bu bölümünde hesaplanan yükler programa girilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Silodan gelen yüklerin programa veri girişi (ring temel)

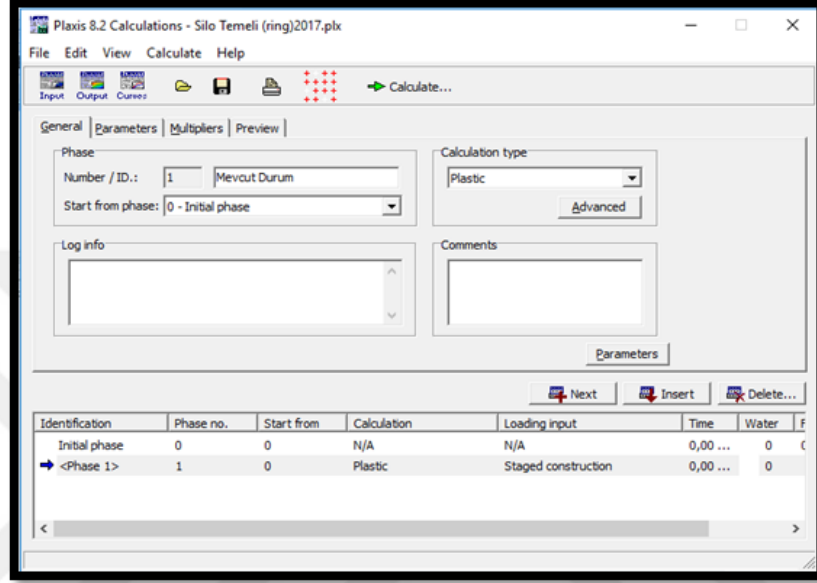
Zemin parametreleri ve yapı yükleri tanımlandıktan sonra Generate Mesh butonuna basılır ve sistem tamamlanır. Daha sonra Calculate aşamasına geçirilerek hesaplama başlatılır (Şekil 3.16).



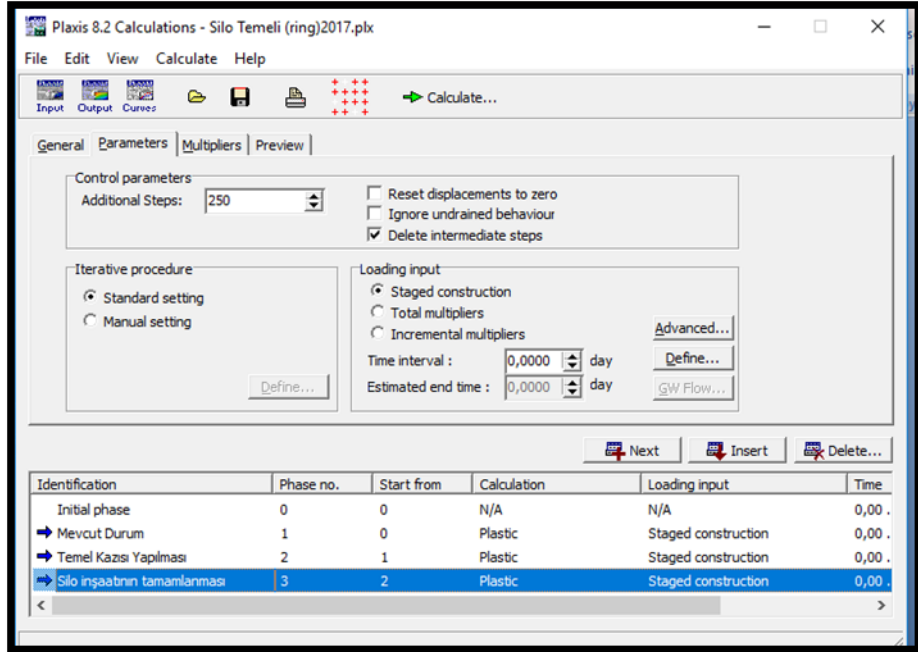
Şekil 3.16. Generate mesh komutu (ring temel)

### 3.3.2. Plaxis programı ring temeli için hesaplama işlemi (calculate)

Calculate işlemleri için girilen zemin ile ilgili gerçekleşecek işlemler sırayla sisteme girilir. Geometrisi oluşturulan modelde sırasıyla kazı, temeller ve yükleme yapılarak analiz edilmiştir (Şekil 3.17 ve 3.18).



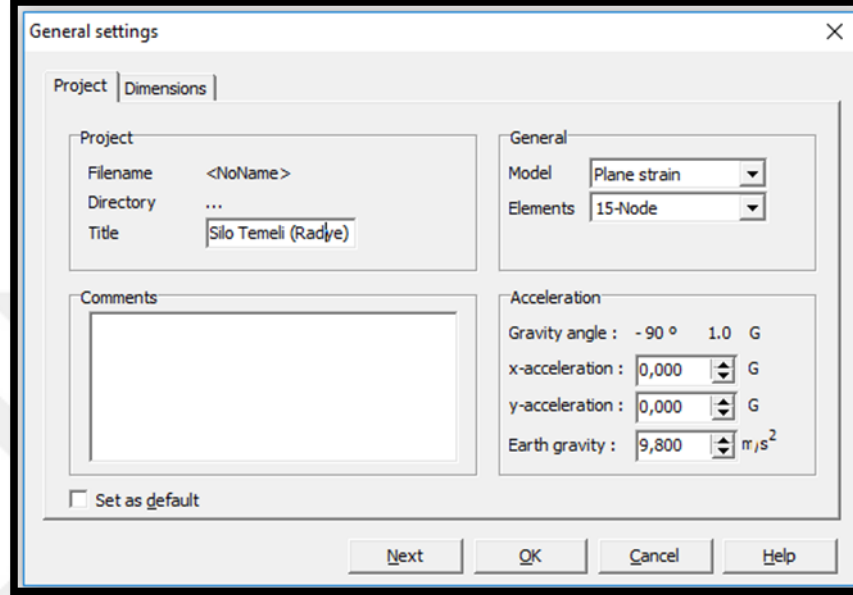
Şekil 3.17. Calculate ekranı (ring temel)



Şekil 3.18. Zemin üzerindeki işlem adımları (ring temel)

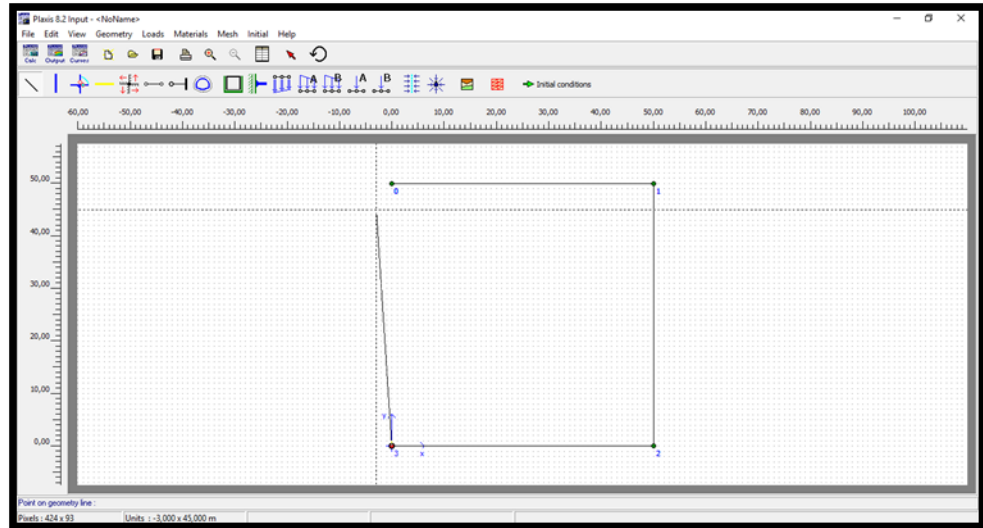
### 3.3.3. Plaxis programı (radye temeli) veri girişi (İnput)

Plaxis programına girilerek İnput bölümünden yapılacak olan çalışma ile ilgili bilgi girişi yapılır (Şekil 3.19).

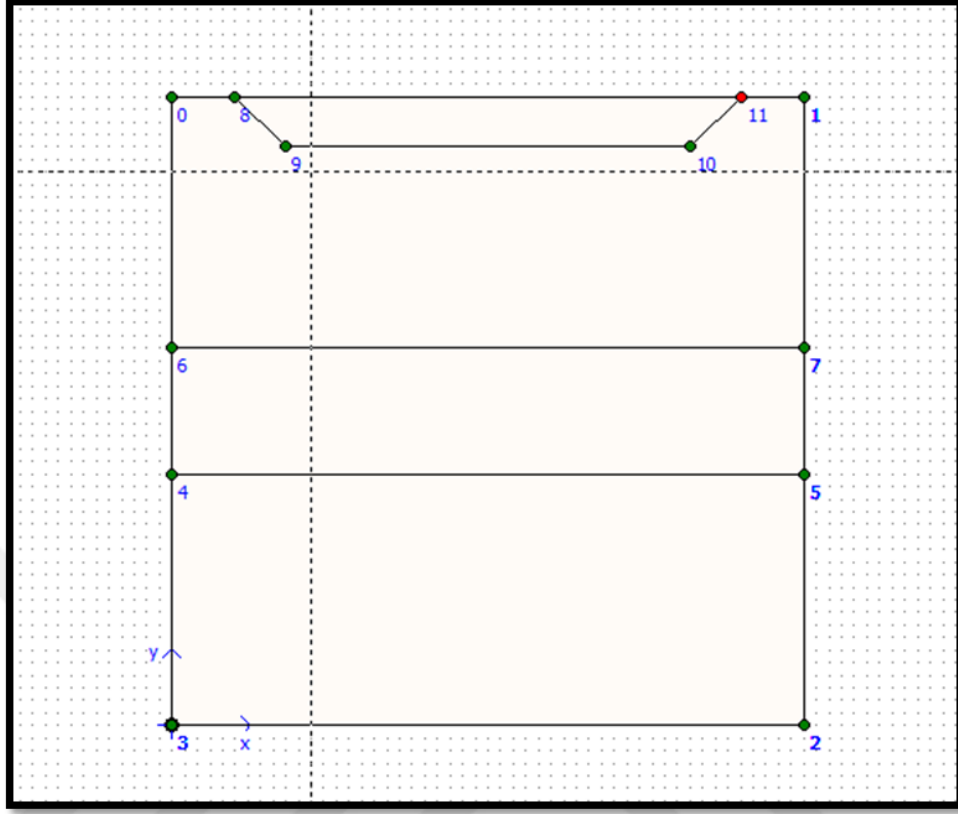


Şekil 3.19. Plaxis programı bilgi giriş ekranı (radye temel)

Geometry line butonu ile zemin tabakaları oluşturulur (Şekil 3.20 ve 3.21).

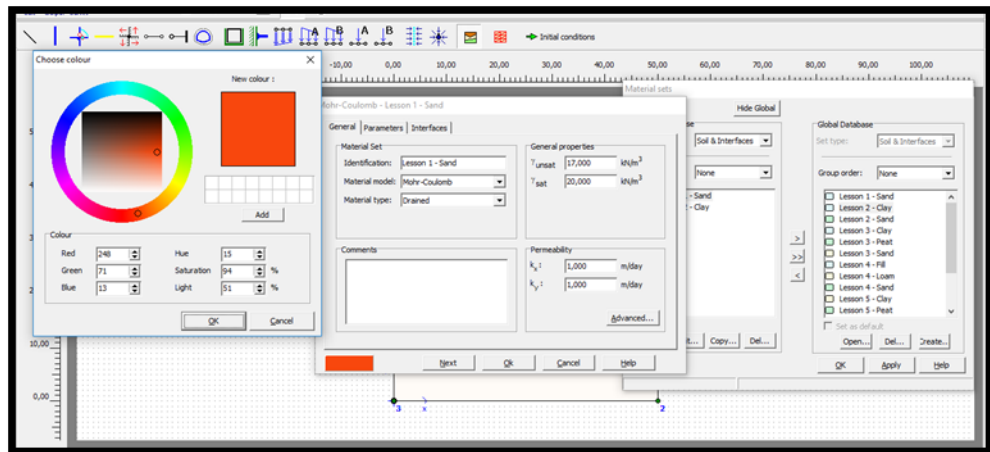


Şekil 3.20. Geometry line komutunun çalıştırılması (radye temel)

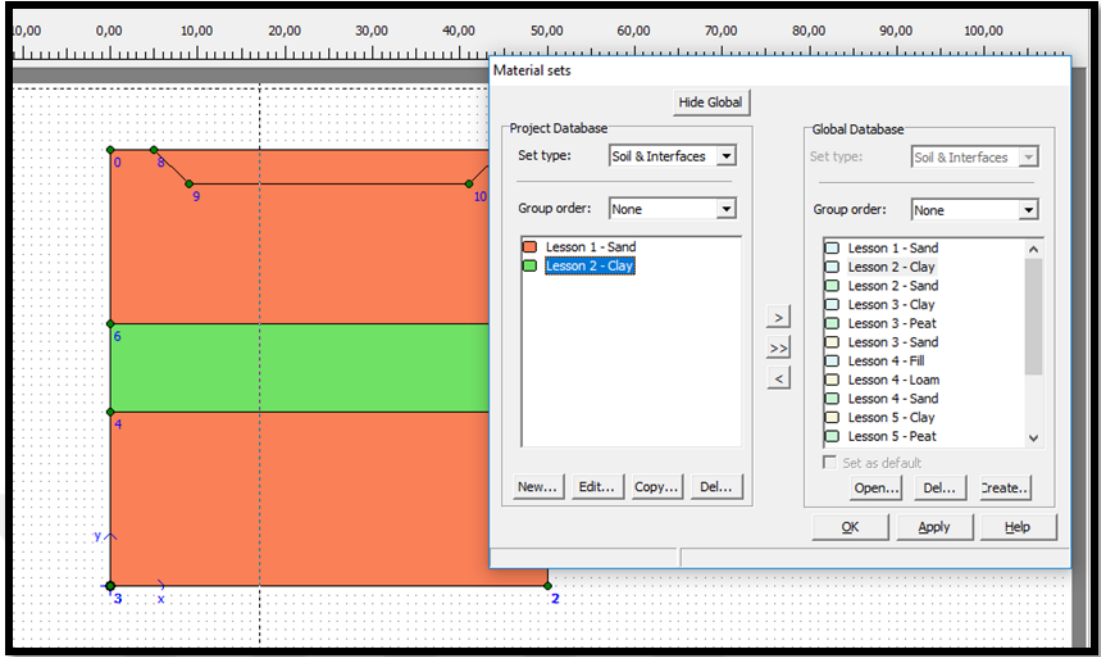


Şekil 3.21. Analiz yapılması istenen zemin tabakalarının geometrisinin oluşturulması (radye temel)

Material set butonu ile tabakalardaki zemin parametreleri seçilir (Şekil 3.22 ve 3.23).

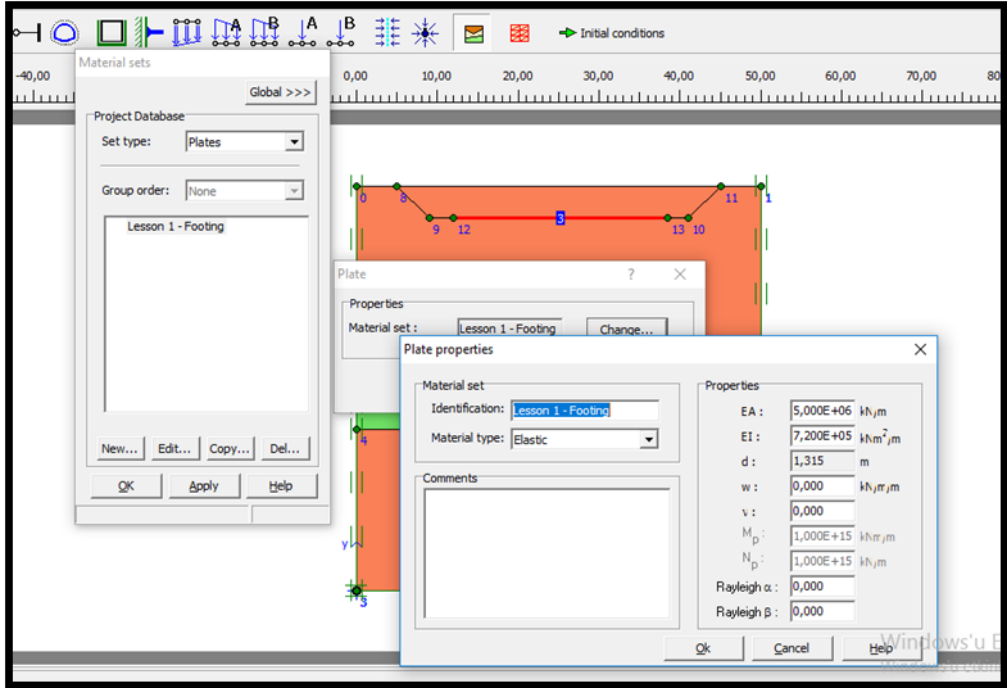


Şekil 3.22. Zemin parametrelerinin belirlenmesi (radye temel)



Şekil 3.23. Zemin parametrelerinin tabakalara tanımlanması (radye temel)

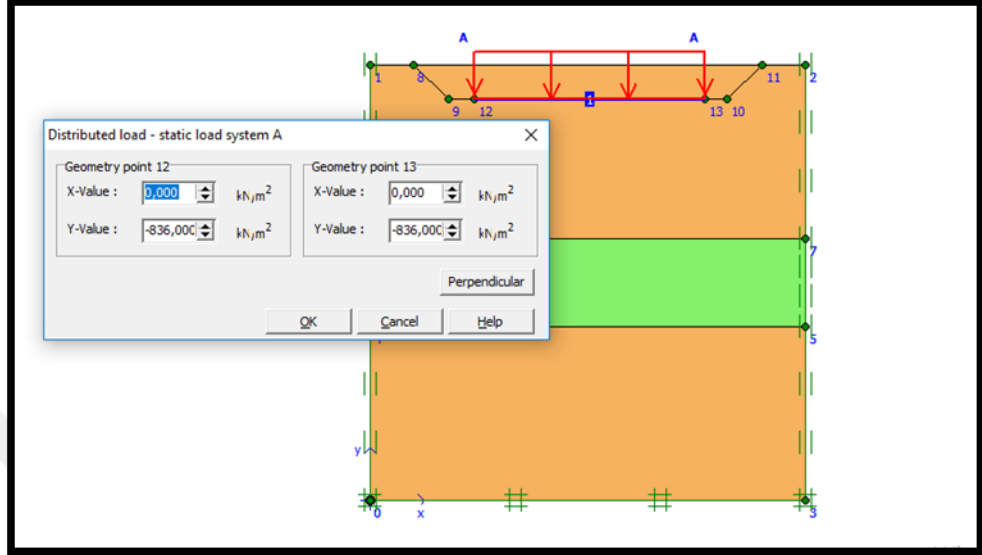
Silo yüklerinin zemine aktaracak ring temeller, oluşturulan modelde konumlandırılarak malzeme özellikleri belirtilir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Silo temeli parametrelerinin programa tanımlanması (radye temel)

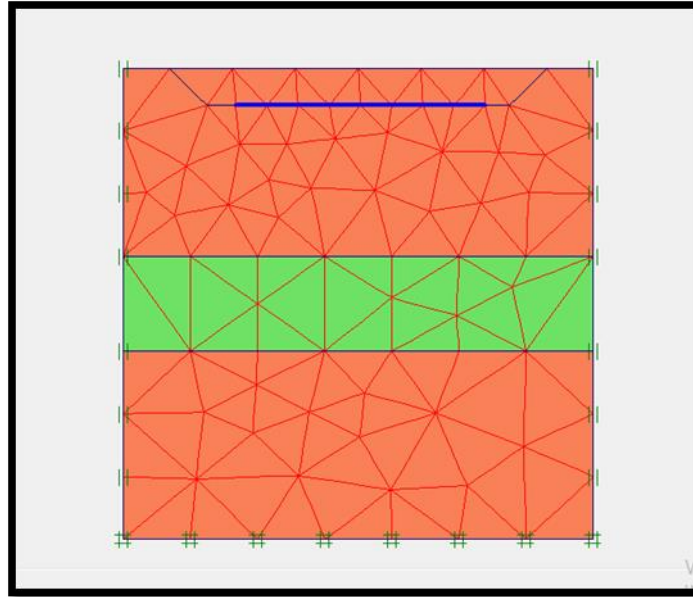


Silo temeli üzerine silo yapısından gelen yükler toplamı temel alanına göre hesaplanarak yükleme yapılır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Silodan gelen yüklerin programa veri girişi (radye temel)

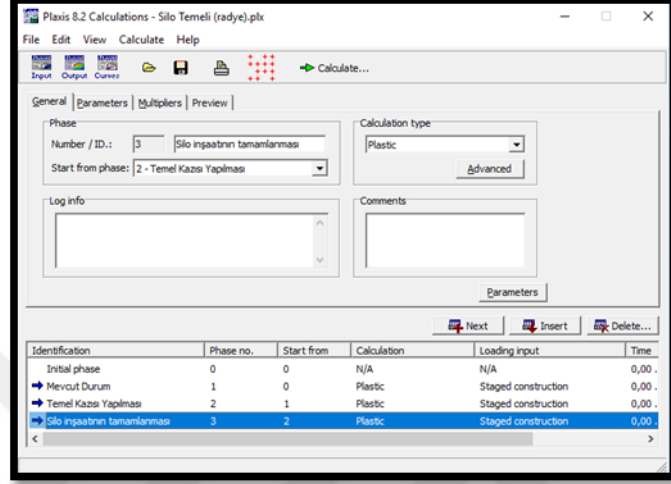
Zemin parametreleri ve yapı yükleri tanımlandıktan sonra Generate Mesh butonuna basılarak sistem tamamlanır. Daha sonra Calculate aşamasına geçirilerek hesaplama başlatılır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. Generate mesh komutu (radye temel)

### 3.3.4. Plaxis programı ile ring temeli için hesaplama işlemi (calculate)

Calculate bölümü için zeminde gerçekleşecek işlemler sırayla sisteme girilerek hesaplama yapılır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Calculate ekranı (radye temel)

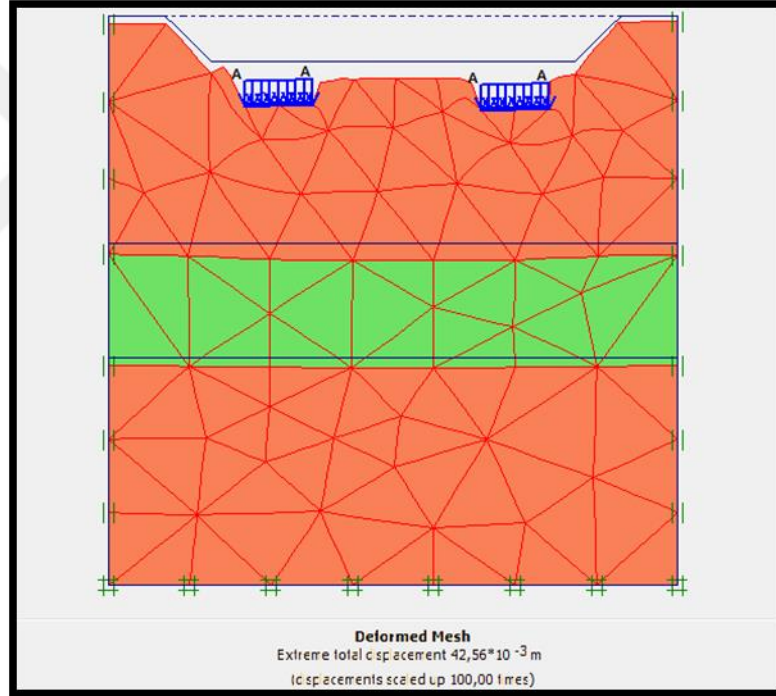
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Silo yapısının iki farklı temel tipi kullanılarak üç farklı zemin cinsinde meydana getirdiği gerilme ve deformasyonların Plaxis programı ile yapılan analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

### 4.1. Tabakalı Zemindeki Gerilme ve Deformasyon Sonuçları

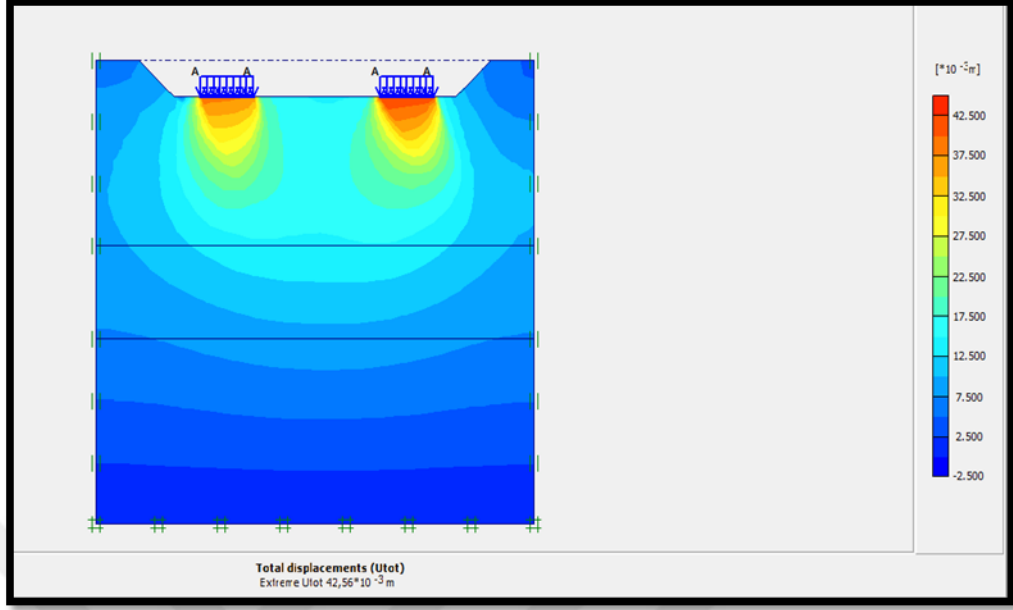
#### 4.1.1. Ring temel – tabakalı zemin plaxis programı analiz sonuçları (output)

Tabakalı zemine oturan ring temel–zemin etkileşimi sonuçlarında; zeminde düşey yönde oluşan toplam deformasyon yaklaşık 4.2 cm olarak bulunmuştur (Şekil 4.1).



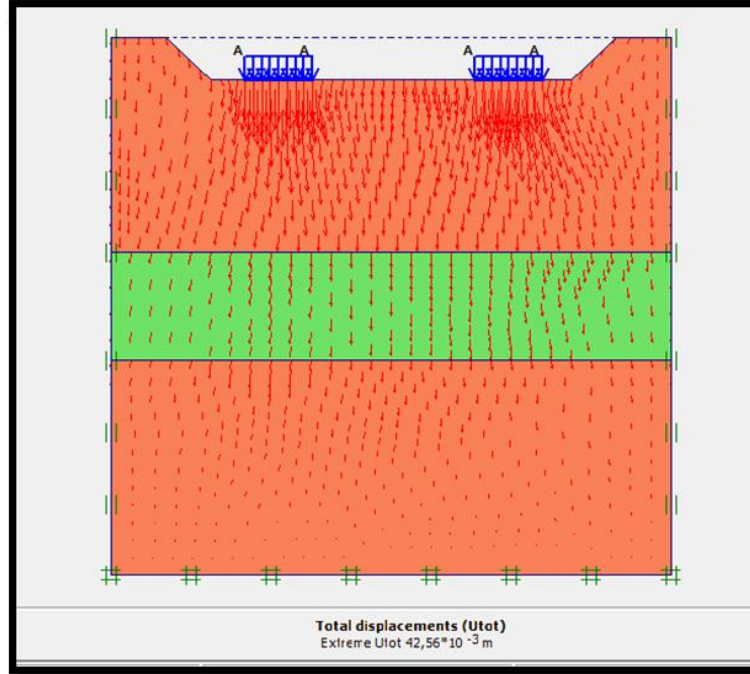
Şekil 4.1. Tabakalı zeminde oluşan deformasyon gösterimi (ring temel)

Tabakalı zemin yapısı olduğunda ve ring temel uygulamasında analizler sonucunda zemindeki deformasyonlar temel altlarında meydana gelmiştir (Şekil 4.2).



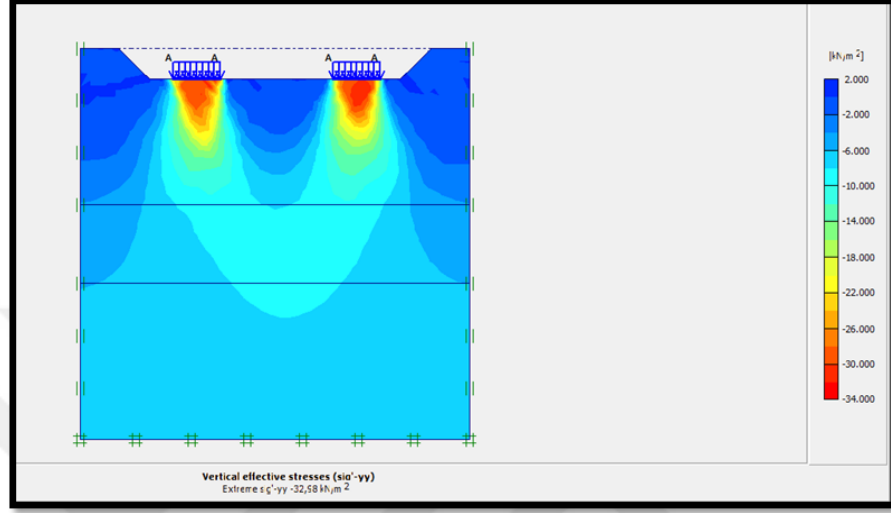
**Şekil 4.2.** Tabakalı zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (ring temel)

Temel altından derinlere inildikçe meydana gelen deformasyon miktarının azalış gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.3).

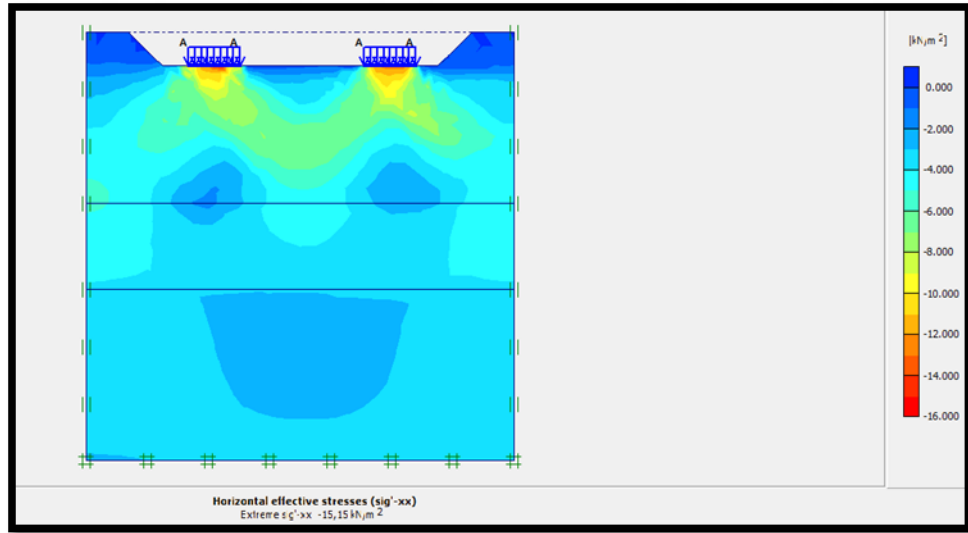


**Şekil 4.3.** Zeminde oluşan toplam yer değiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (ring temel) – tabakalı zemin

Silo ring temeline tabakalı zemin uygulaması yapıldığında dikey yönde meydana gelen maksimum gerilme değeri  $32.58 \text{ kN/m}^2$ , yatay yönde ki maksimum gerilme değeri ise  $15.15 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.4 ve 4.5).

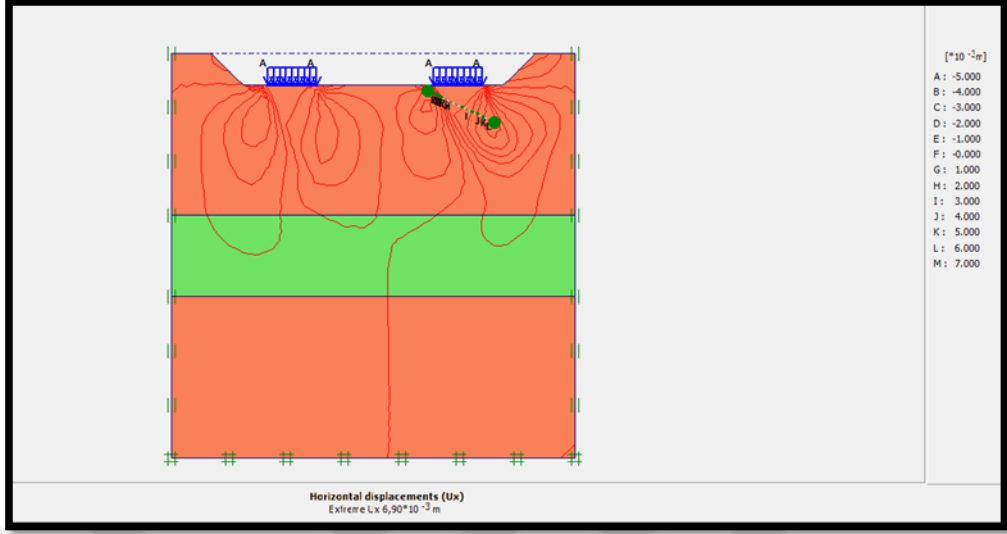


Şekil 4.4. Tabakalı zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımının gösterimi (ring temel)

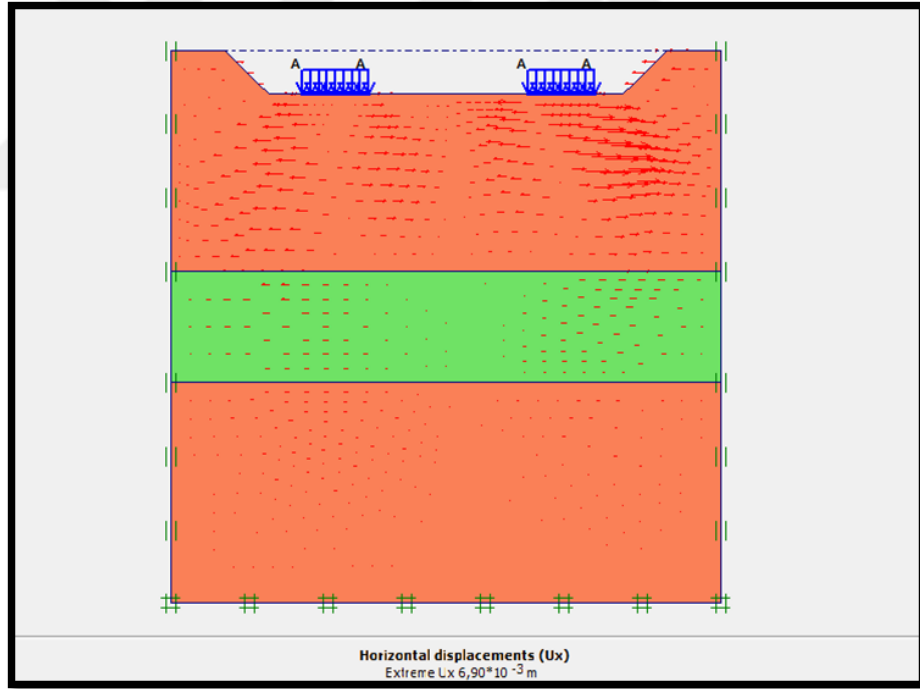


Şekil 4.5. Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımının gösterimi (ring temel)

Silo ring temelinin tabakalı zeminde oluşturduğu yatay yönde oluşan maksimum deformasyon değeri  $0.6 \text{ cm}$  olarak bulunmuştur (Şekil 4.6 ve 4.7).



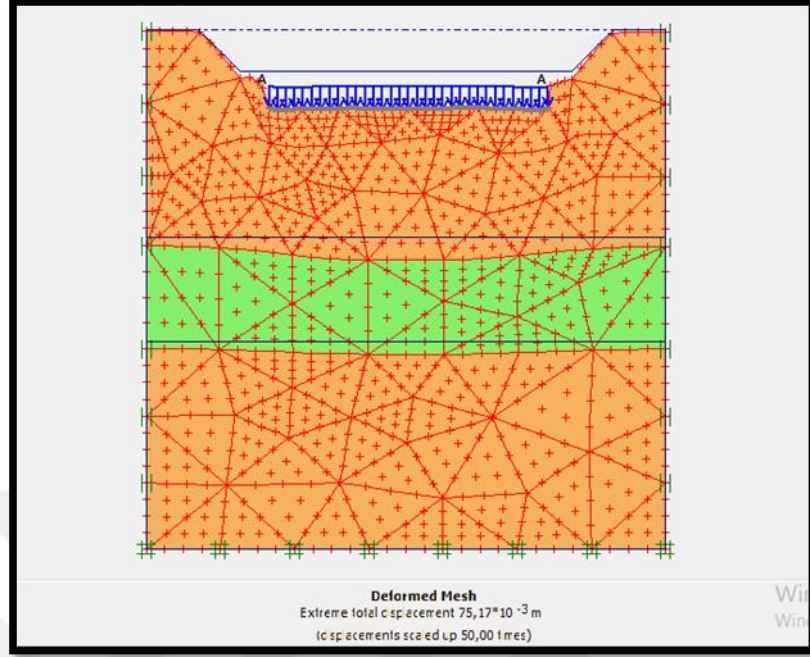
Şekil 4.6. Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (1) (ring temel)



Şekil 4.7. Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (ring temel)

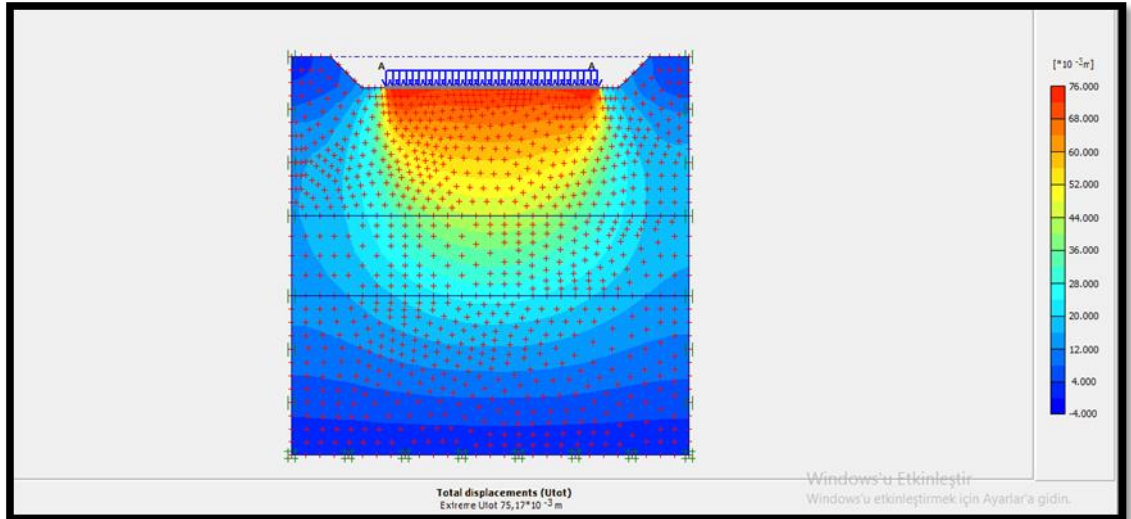
#### 4.1.2. Radye temel – tabakalı zemin plaxis programı analiz sonuçları (output)

Tabakalı zemine oturan radye temel – zemin etkileşimi sonuçlarında; toplam deformasyon yaklaşık 7.5 cm olarak bulunmuştur (Şekil 4.8).



**Şekil 4.8.** Tabakalı zeminde oluşan deformasyon gösterimi (radye temel)

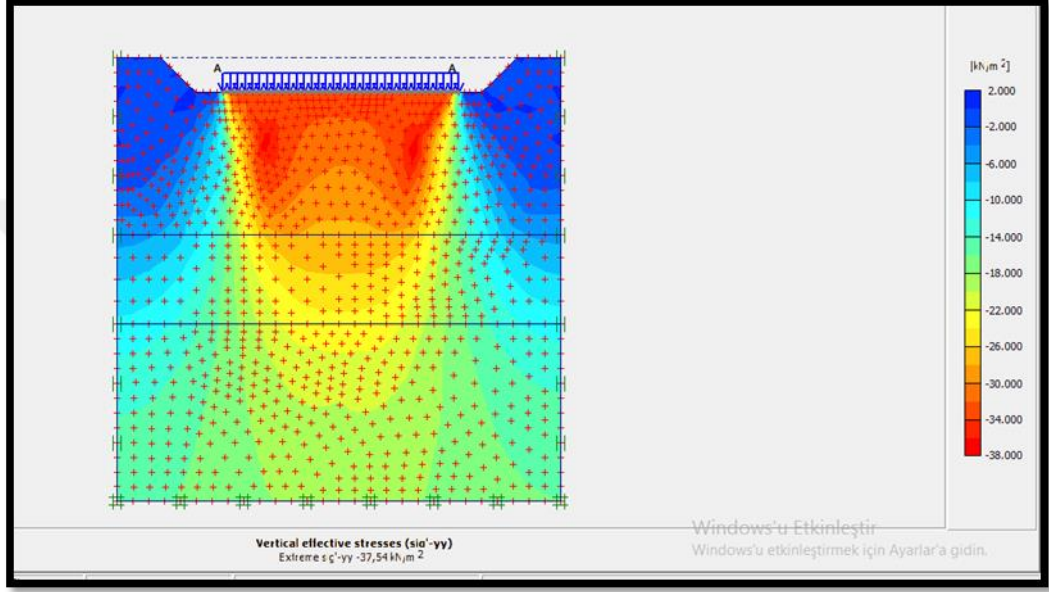
Analiz sonucunda, deformasyonlar çoğunlukla zeminde yüzeyden derine doğru inildikçe temel altında meydana geldiği Şekil 4.9'da tespit edilmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde, oluşan deformasyonlar temel altından derinlere inildikçe, temelden gelen yükün azalması ile birlikte deformasyon miktarının da azaldığı görülmektedir.



**Şekil 4.9.** Tabakalı zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (radye temel)



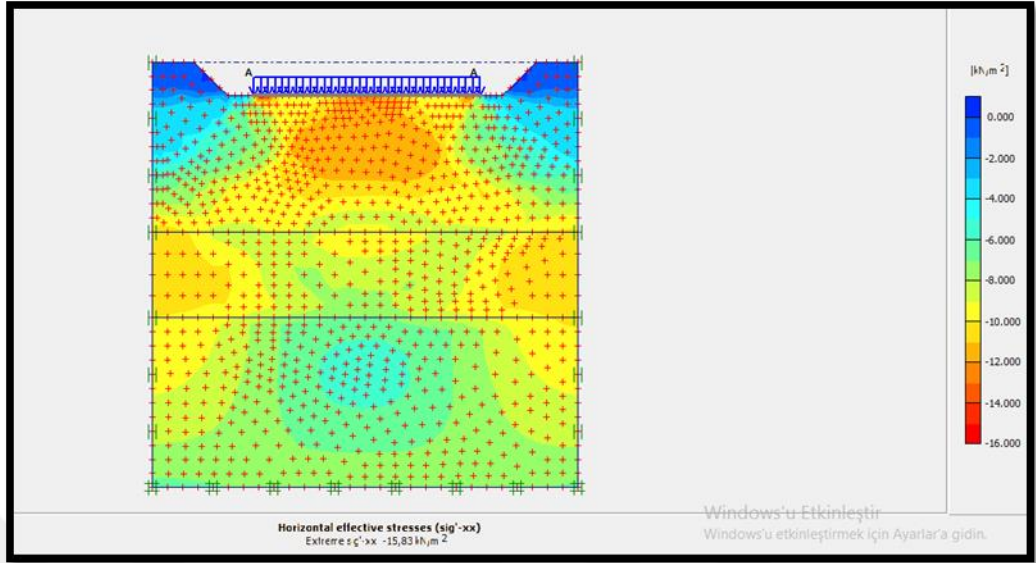
Silo radye temelinin tabakalı zeminde dikey yönde oluşturduğu maksimum gerilme değeri  $37.54 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.11). Temel yükünün iletiği bölgelerde gerilmenin daha yüksek, temel yüzeyinden derinlere inildikçe bu değer azaldığı görülmektedir. Bu azalışın ana nedeni, temel yükünün belirli bir noktadan sonra etkisinin yavaş yavaş azalması gösterilebilir.



**Şekil 4.11.** Tabakalı zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel)

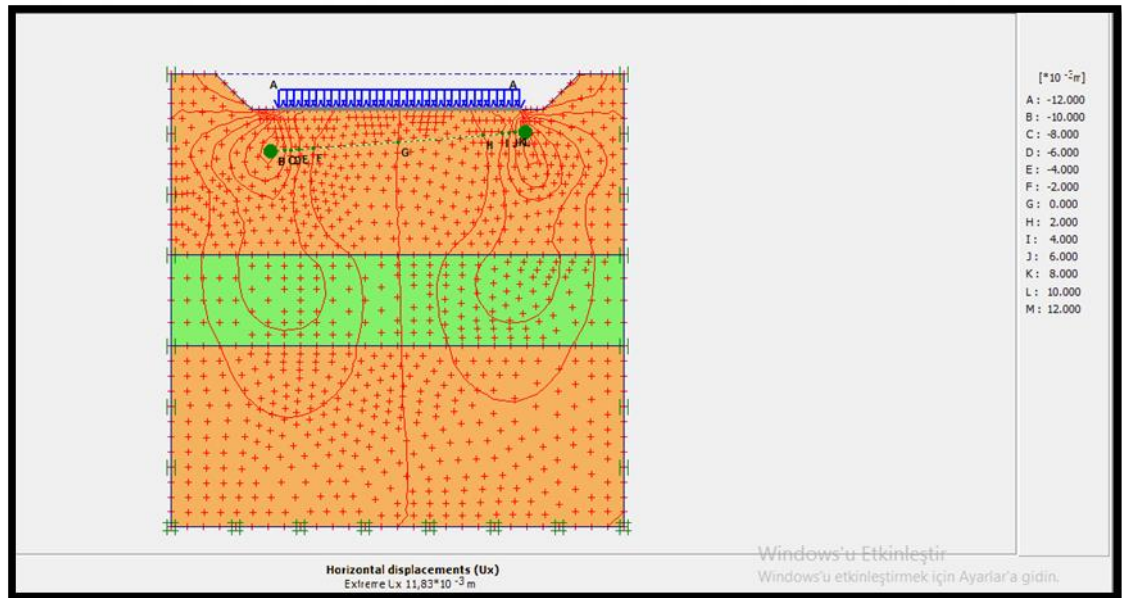
Tabakalı zeminde silo yapısında radye temel uygulaması yapıldığında yatay yönde oluşan maksimum gerilme değeri  $15.83 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.12). Yatay yöndeki gerilme değerinin, temelin etki alanı dışına doğru çıkılması ile birlikte azaldığı saptanmıştır. Dolayısıyla temel etki alanı bölgesinde zeminin bu gerilme değerlerini karşılayabilecek sağlamlıkta olması gerekmektedir.



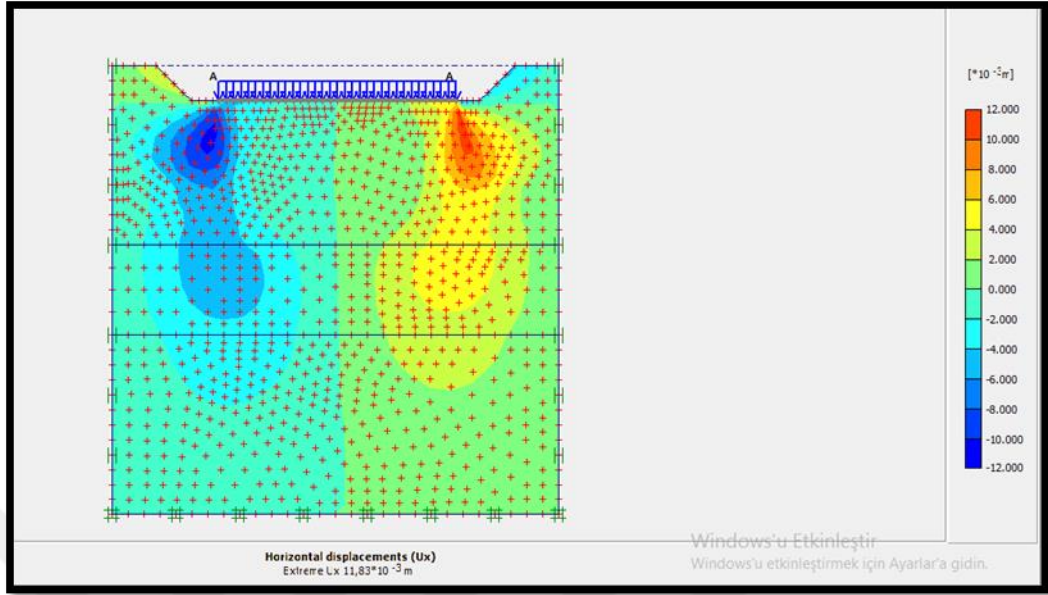


Şekil 4.12. Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel)

Silo tarafında iletilen yükleri karşılamada radye temel ve tabakalı zemin etkileşiminde yatay yönde meydana gelebilecek maksimum deformasyon değeri 1.1 cm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.13 ve 4.14).



Şekil 4.13. Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan deplasmanlar (1) (radye temel)

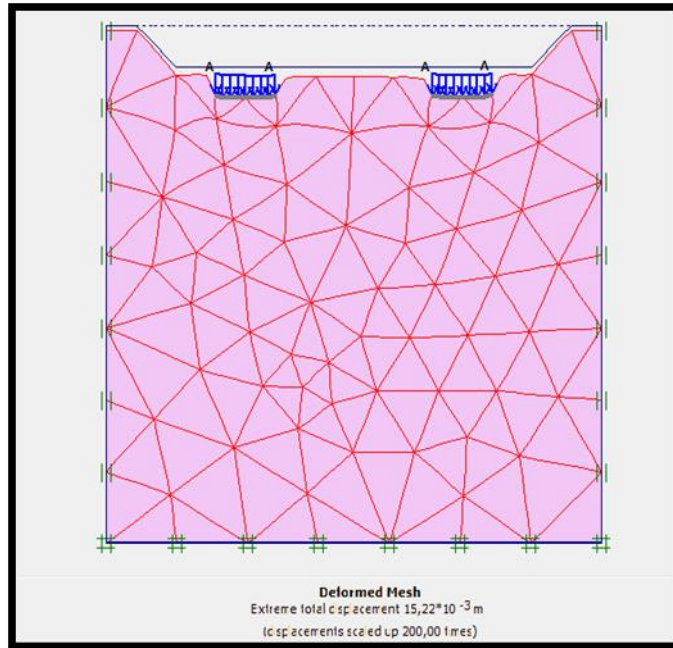


Şekil 4.14. Tabakalı zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (radye temel)

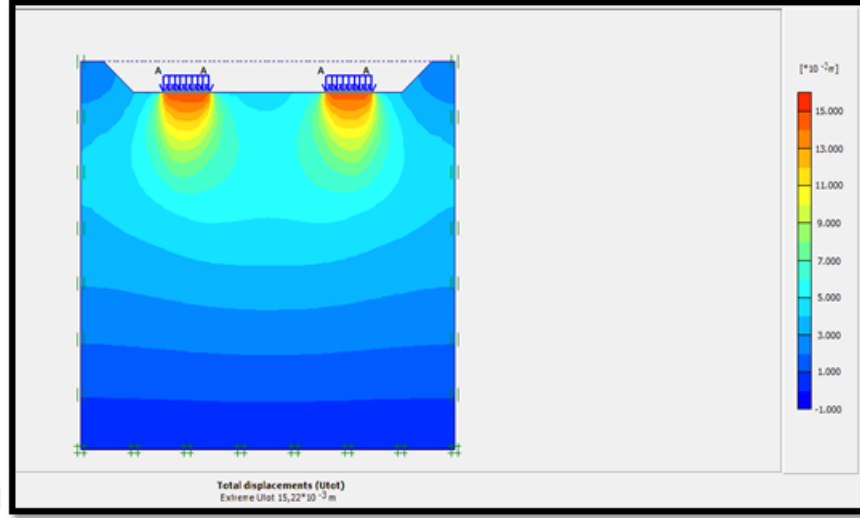
## 4.2. Kaya Özellikli Zemindeki Gerilme ve Deformasyon Sonuçları

### 4.2.1. Ring temel – kaya zemin plaxis programı analiz sonuçları (output)

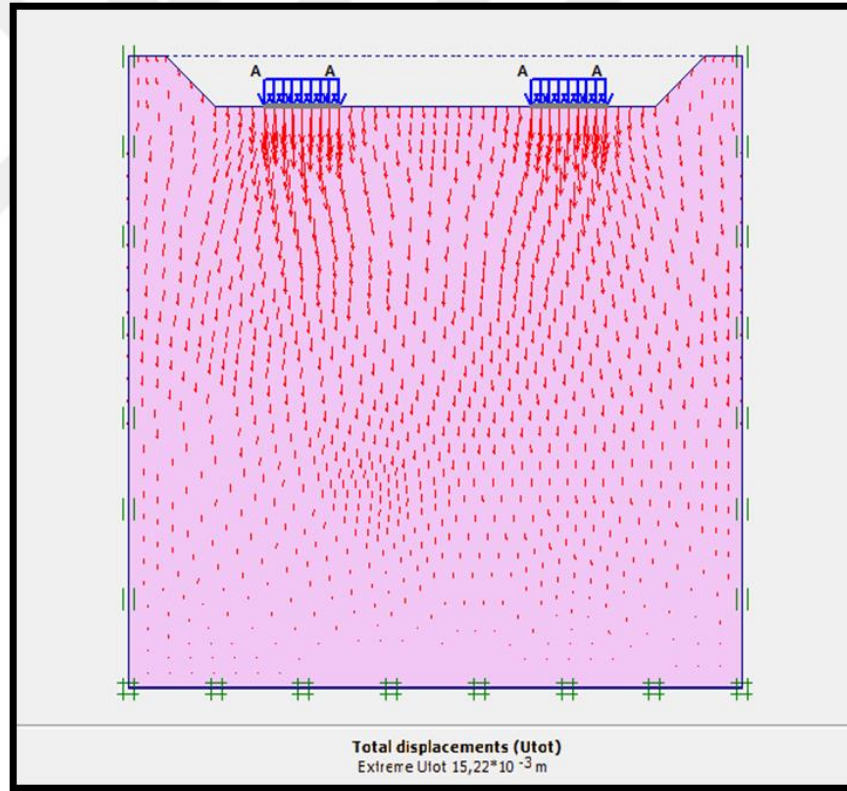
Kaya zemine oturan ring temel – zemin etkileşimi sonuçlarında; toplam deformasyon yaklaşık 1.5 cm olarak bulunmuştur (Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17).



Şekil 4.15. Kaya özellikli zeminde oluşan deformasyon (ring temel)

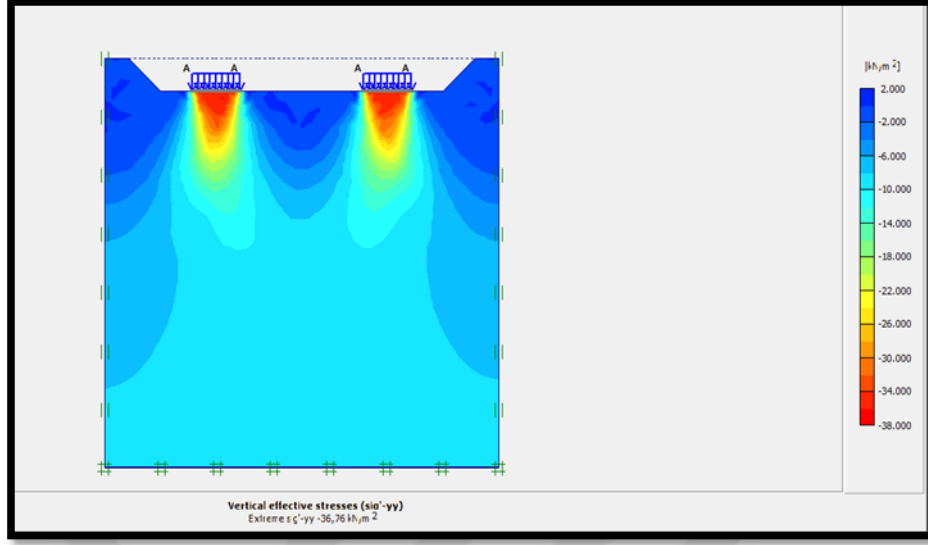


Şekil 4.16. Kaya özellikli zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (ring temel)



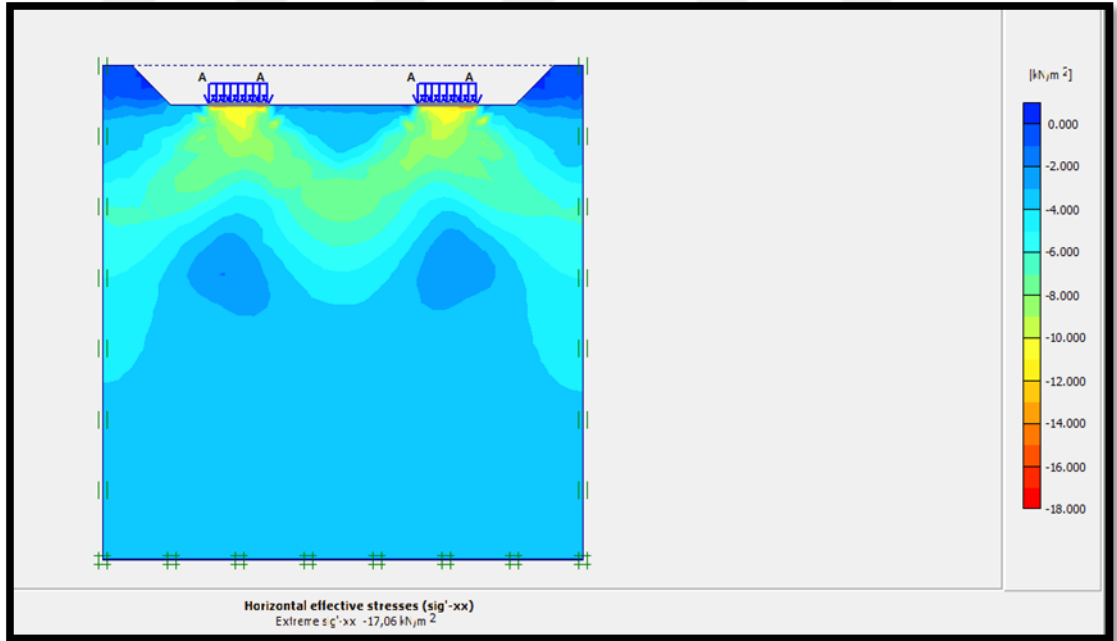
Şekil 4.17. Kaya özellikli zeminde oluşan toplam yer değiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (ring temel)

Silo ring temelinin kaya zeminde oluşturduğu dikey yönde oluşan maksimum gerilme değeri  $36.76 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.18).



**Şekil 4.18.** Kaya özellikli zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (ring temel)

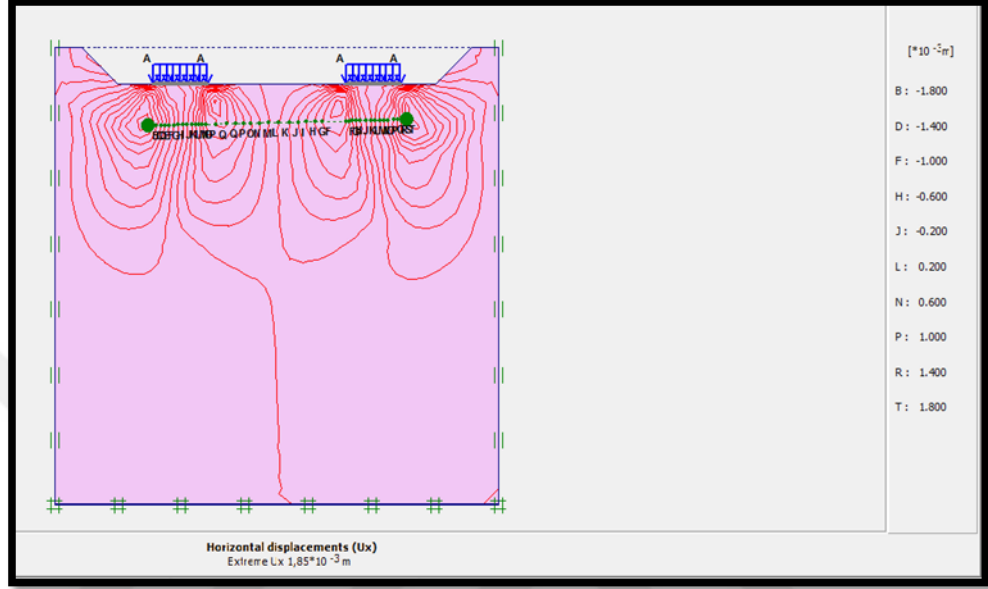
Silo ring temelinin kaya zeminde iletilen yüke bağlı olarak oluşturduğu yatay yöndeki maksimum gerilme değeri  $17.06 \text{ kN/m}^2$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.19).



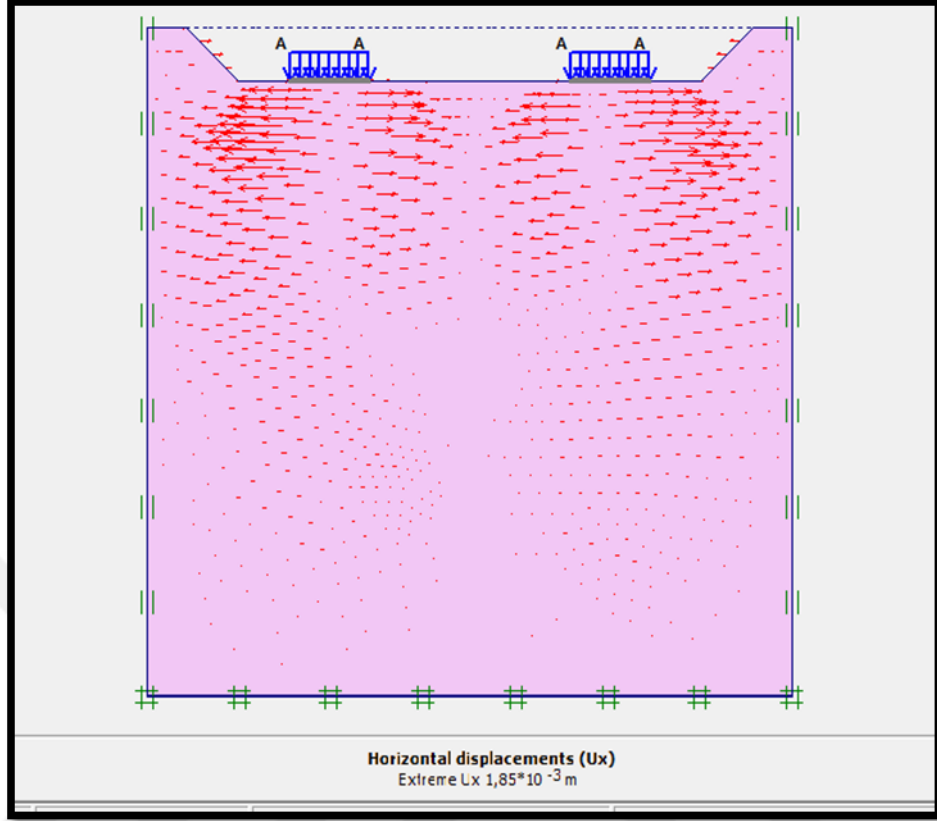
**Şekil 4.19.** Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (ring temel)

Silo yapısından iletilen yük nedeniyle ring temelinin kaya zeminde oluşturduğu yatay yöndeki maksimum deformasyon miktarı  $0.1 \text{ cm}$  olarak belirlenmiştir (Şekil 4.20)

ve 4.21). Deformasyon değerleri belirli bir derinliğe kadar değişkenlik göstermiş olup bu noktadan sonra herhangi bir değişime neden olmadığı Şekil 4. 20 ve 4.21' in incelenmesiyle de görülebilmektedir.



Şekil 4.20. Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (1) (ring temel)

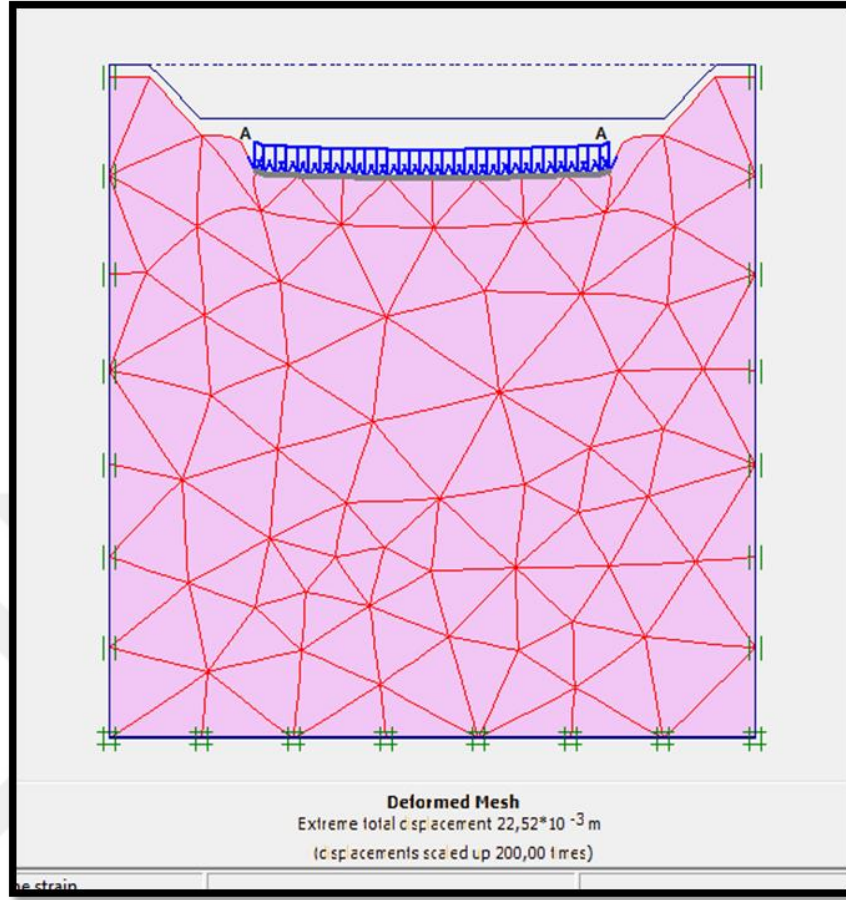


Şekil 4.21. Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (ring temel)

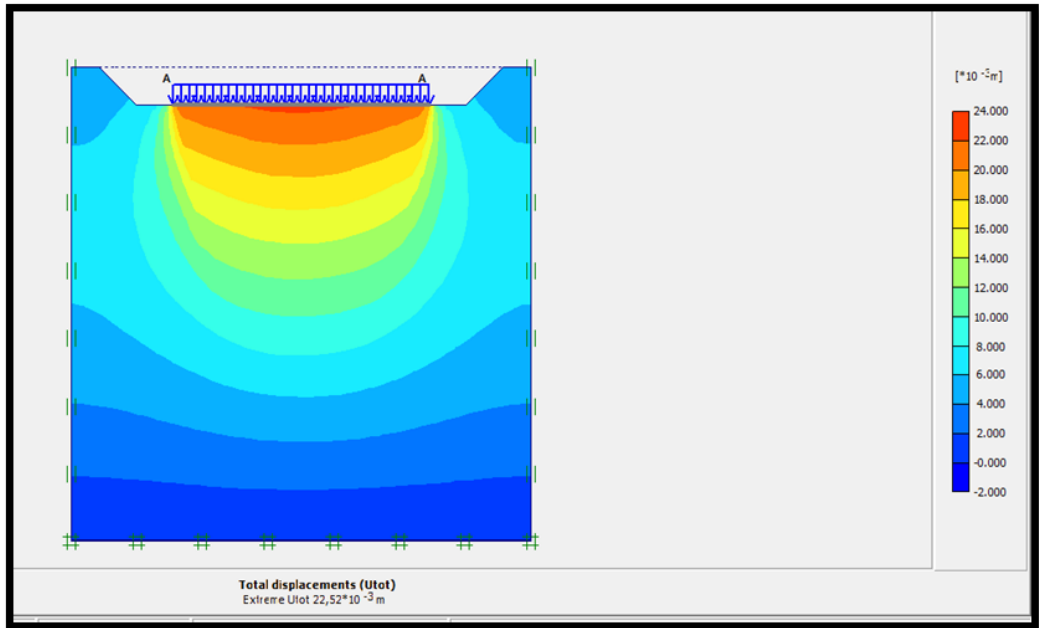
#### 4.2.2. Radye temel – kaya zemin plaxis programı analiz sonuçlar (output)

Kaya zemine oturan radye temel – zemin etkileşimi sonuçlarında; toplam deformasyon yaklaşık 2,2 cm olarak bulunmuştur. Kaya zeminde oluşan deformasyon miktarı diğer zeminlere göre daha az olmaktadır. (Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24)

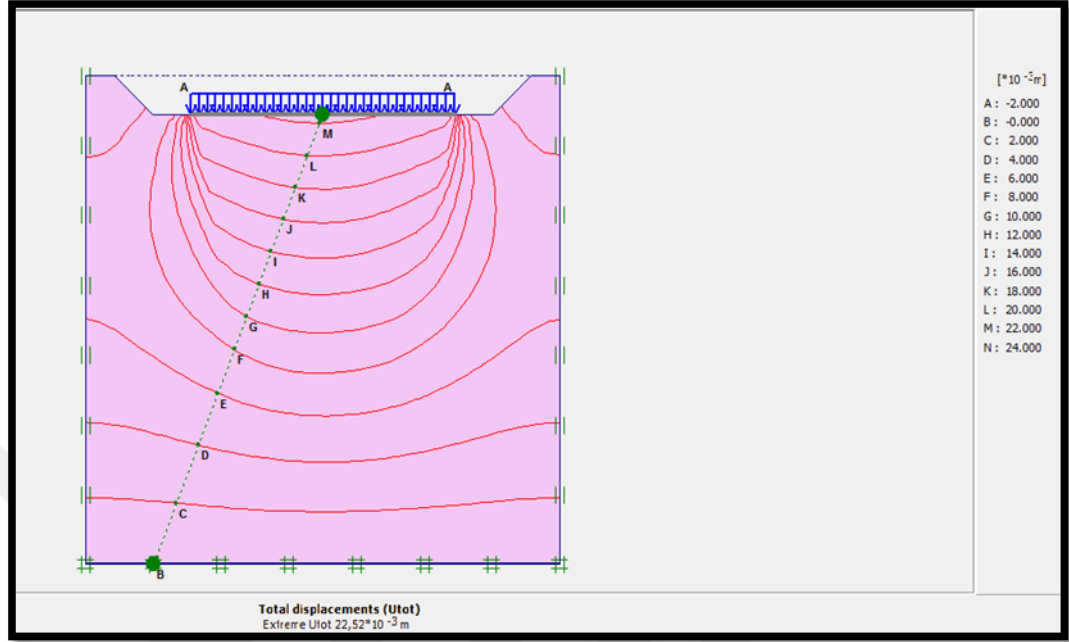




Şekil 4.22. Kaya özellikli zeminde oluşan deformasyon gösterimi (radye temel)

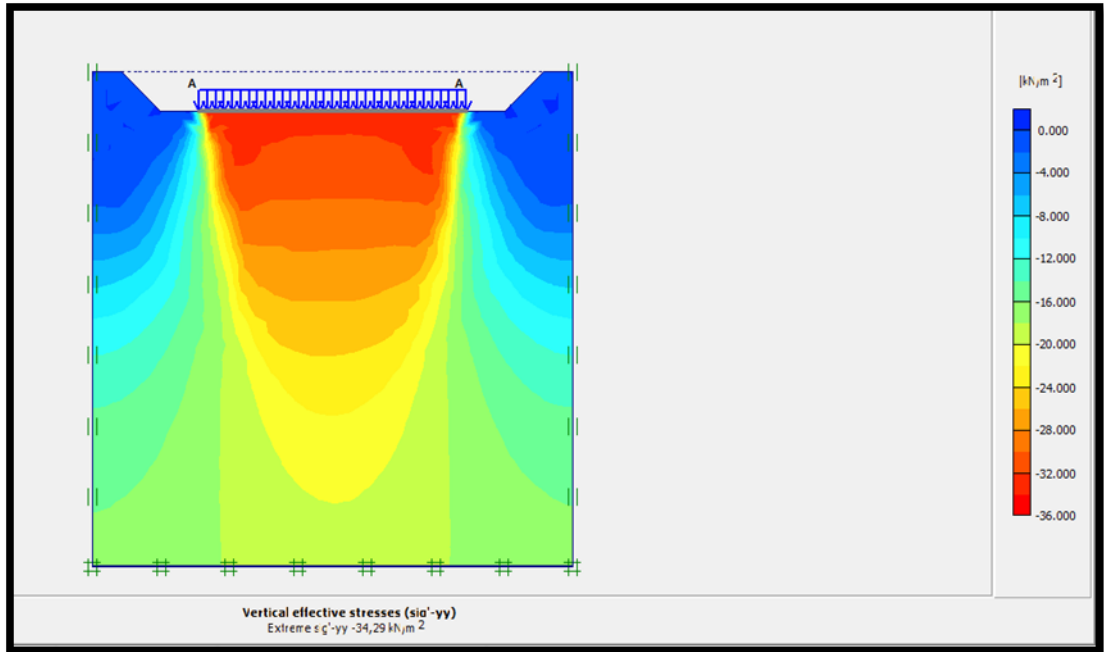


Şekil 4.23. Kaya özellikli zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (radye temel)



Şekil 4.24. Kaya özellikli zeminde oluşan toplam yer değiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (radye temel)

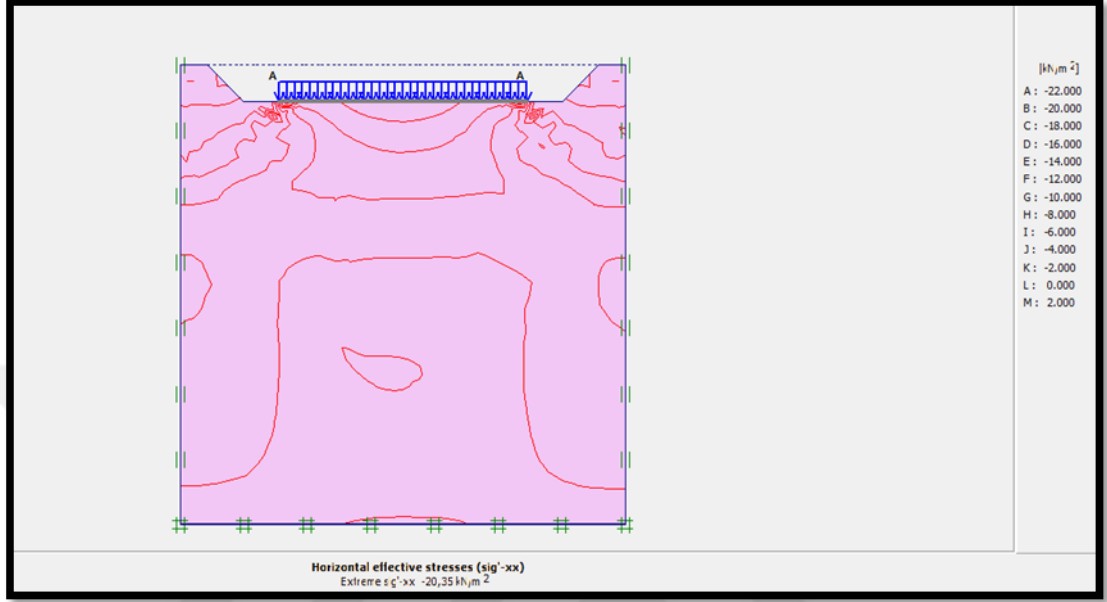
Silo radye temelinin kaya zeminde dikey yönde oluşturduğu maksimum gerilme değeri  $34.29 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Kaya özellikli zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel)

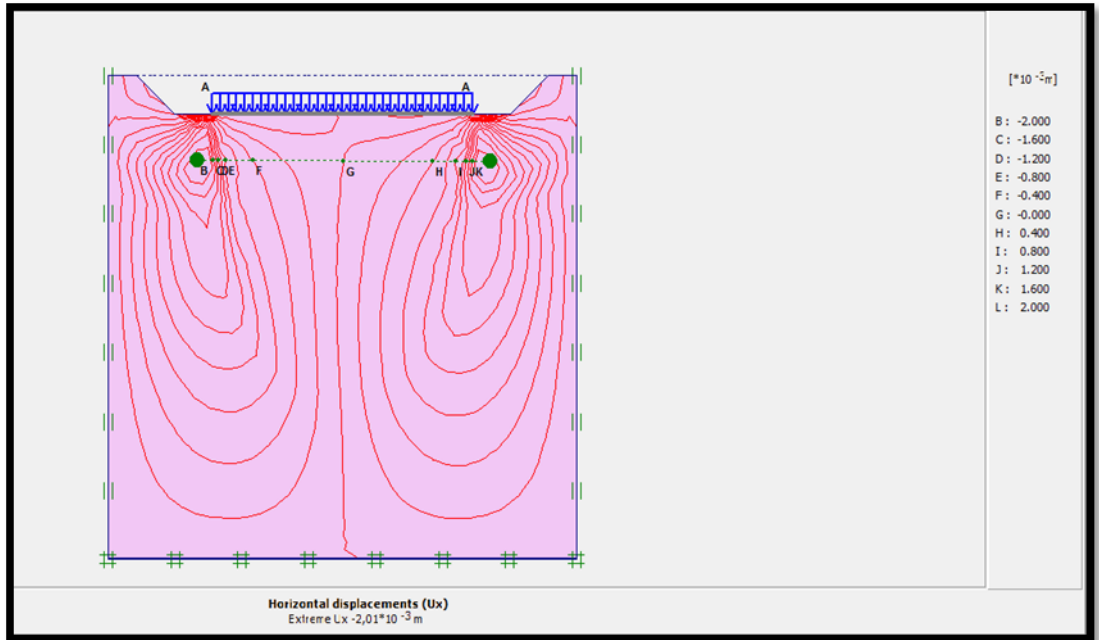


Silo radye temelinin kaya zeminde oluşturduğu yatay yönde oluşan maksimum gerilme değeri  $20.35 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.26).

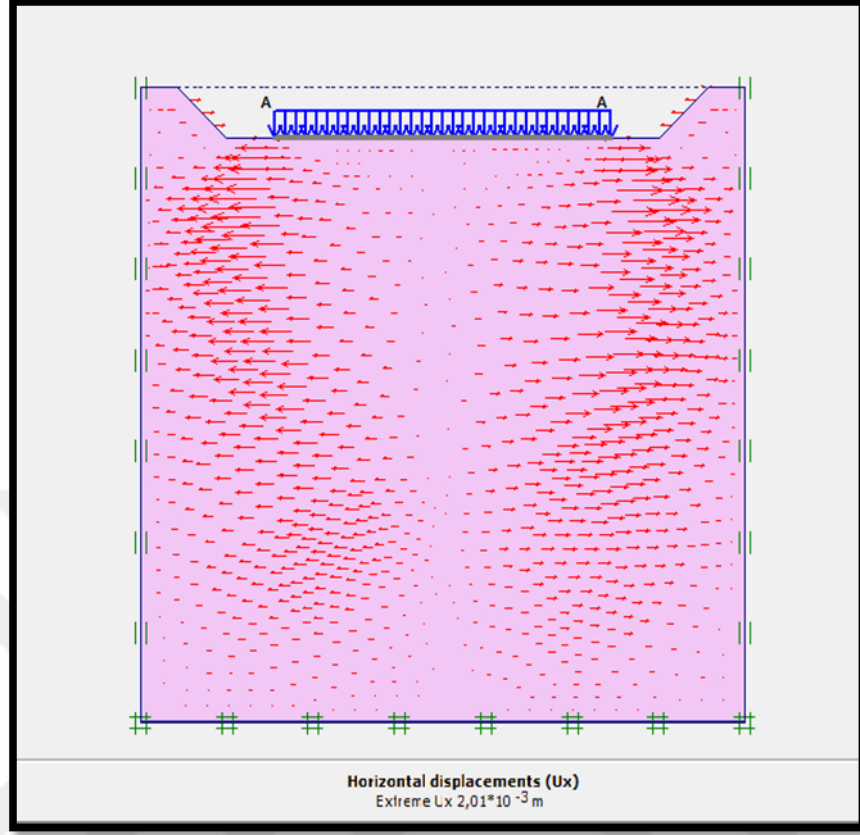


Şekil 4.26. Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel)

Silo radye temelinin kaya zeminde oluşturduğu yatay yönde oluşan maksimum deformasyon değeri  $0.20,2 \text{ cm}$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.27 ve 4.28).



Şekil 4.27. Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (1) (radye temel)

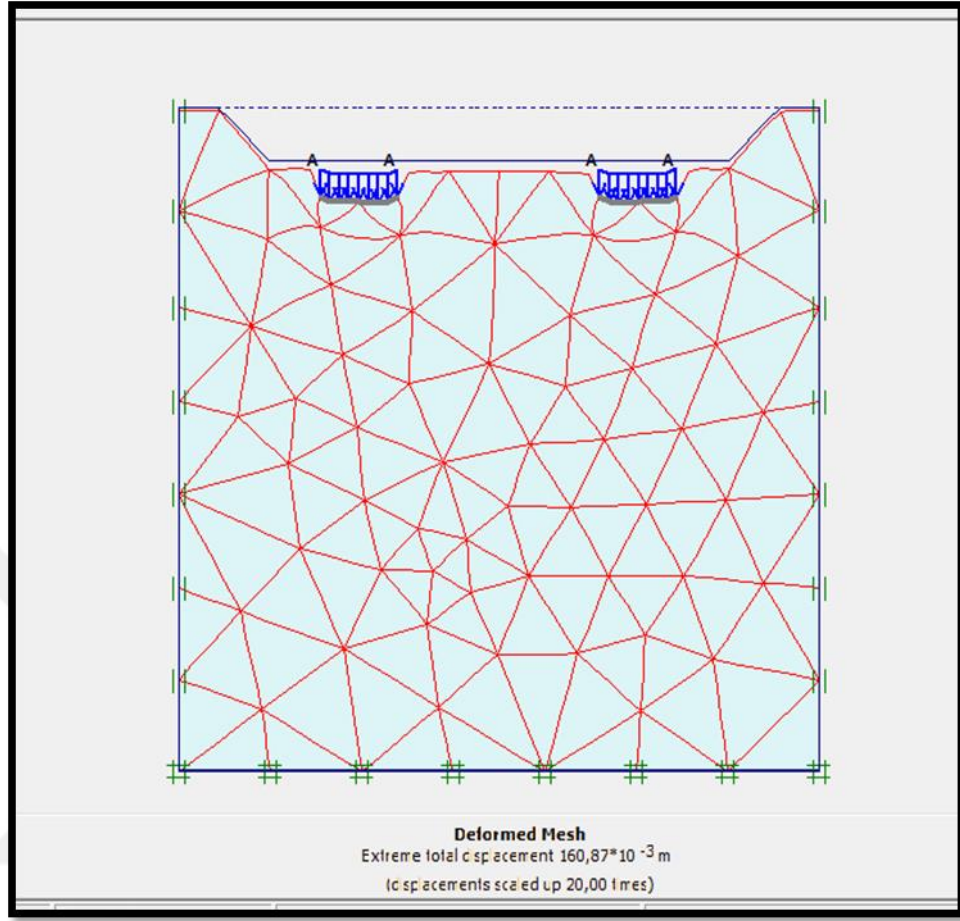


Şekil 4.28. Kaya özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (radye temel) zemin

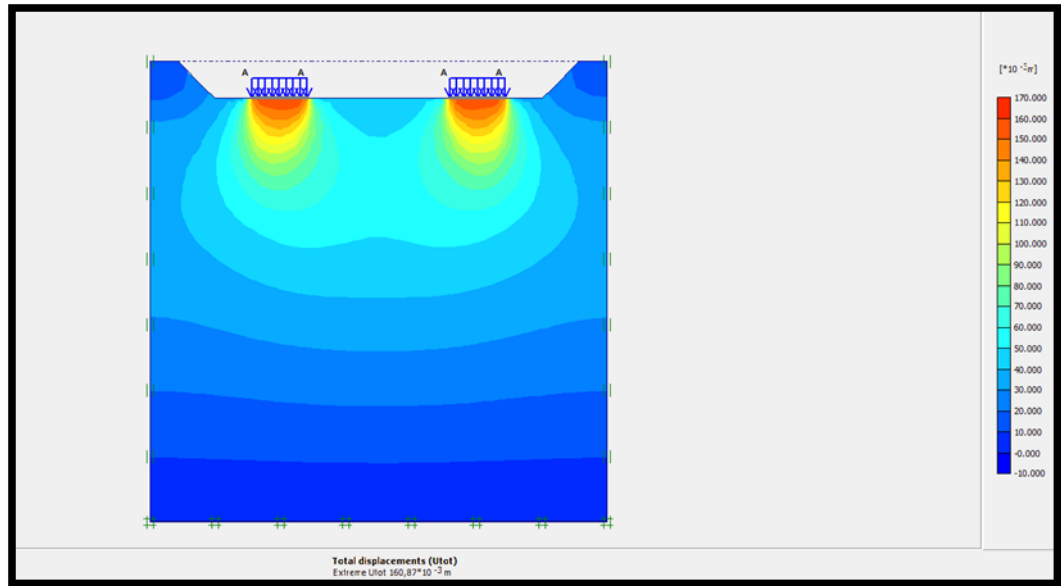
### 4.3. Tabakalı Zemindeki Gerilme ve Deformasyon Sonuçları

#### 4.3.1. Ring temel – kil zemin plaxis programı analiz sonuçları (output)

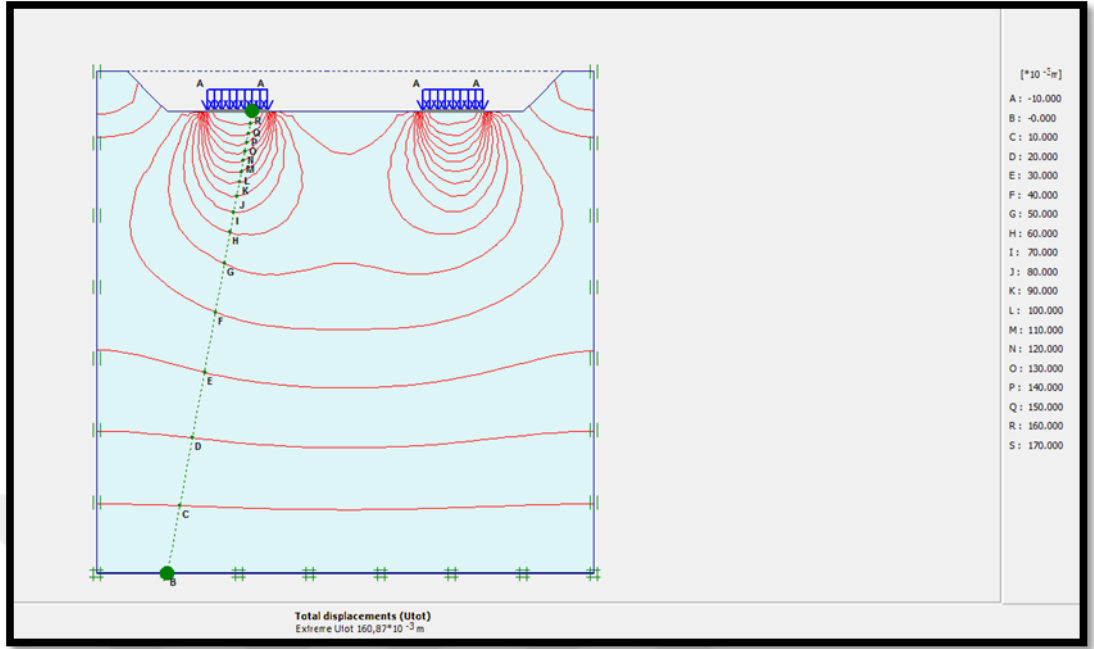
Kil zemine oturan ring temel – zemin etkileşimi sonuçlarında; toplam deformasyon yaklaşık 16 cm olarak hesaplanmıştır. Kil zeminde zamanla oluşan konsolidasyon oturmaları sebebiyle zeminde meydana gelen deplasmanlar diğer zeminlere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Böyle bir deplasman değerinin meydana gelmemesi için zeminde iyileştirme projelerinin yapılması gerekmektedir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Kil özellikli zeminde oluşan deformasyon gösterimi (ring temel)

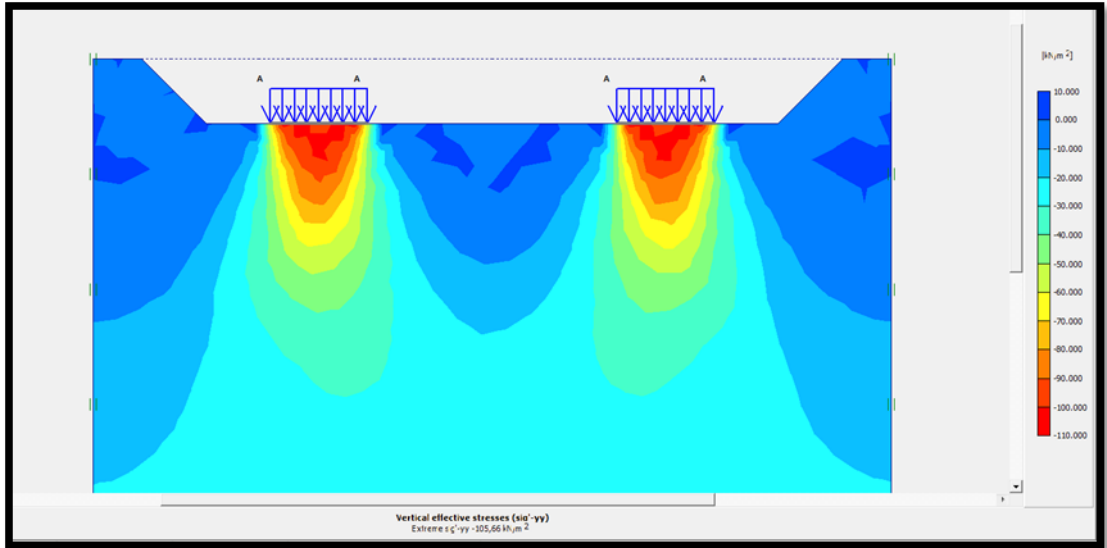


Şekil 4.30. Kil özellikli zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (ring temel)



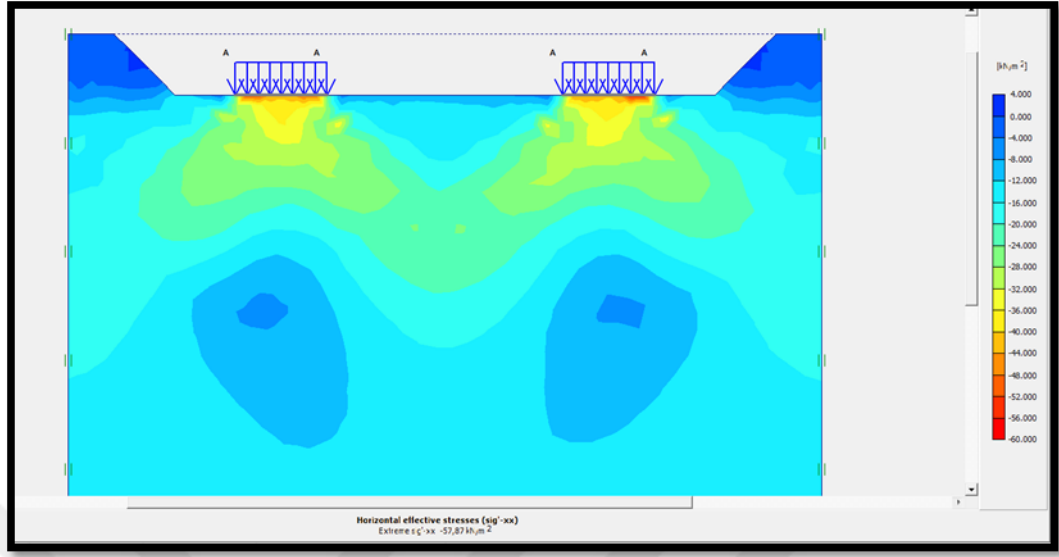
Şekil 4.31. Kil özellikli zeminde oluşan toplam yer değiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (ring temel)

Silo ring temelinin kil zeminde oluşturduğu dikey yönde oluşan maksimum gerilme değeri  $105,66 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.32).

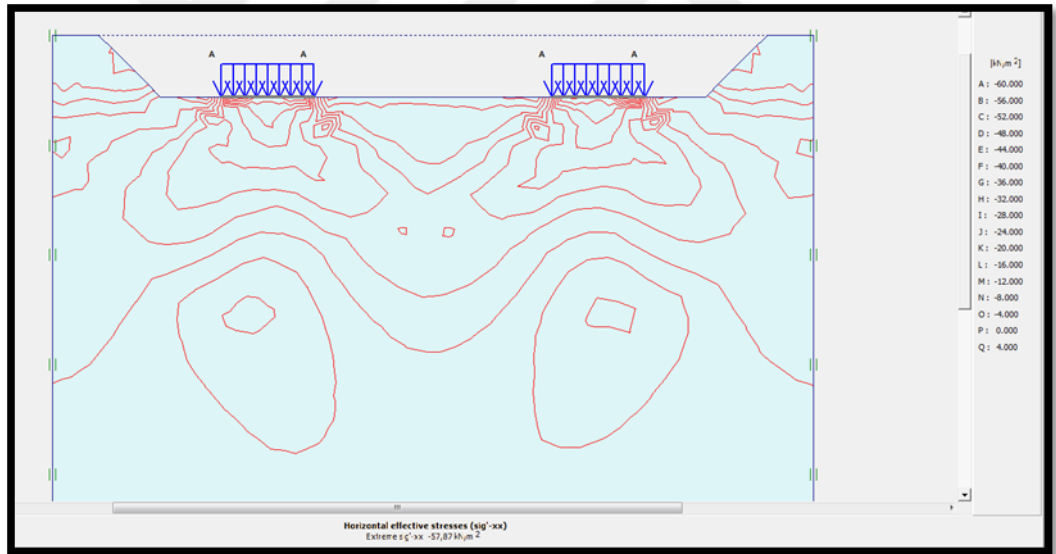


Şekil 4.32. Kil özellikli zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (ring temel)

Silo ring temelinin kil zeminde oluşturduğu yatay yönde oluşan maksimum gerilme değeri  $57,87 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil. 4.33).

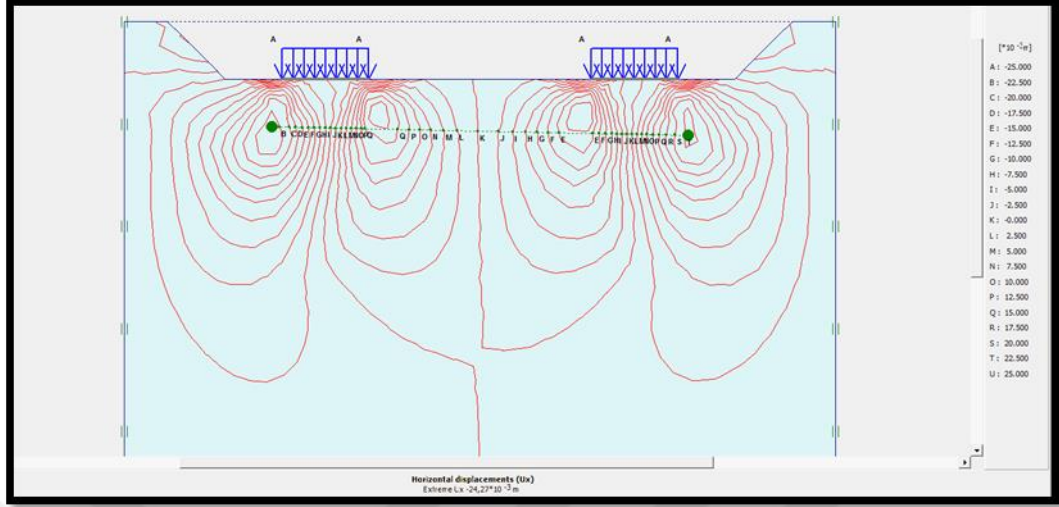


Şekil 4.33. Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (ring temel)



Şekil 4.34. Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (1) (ring temel)

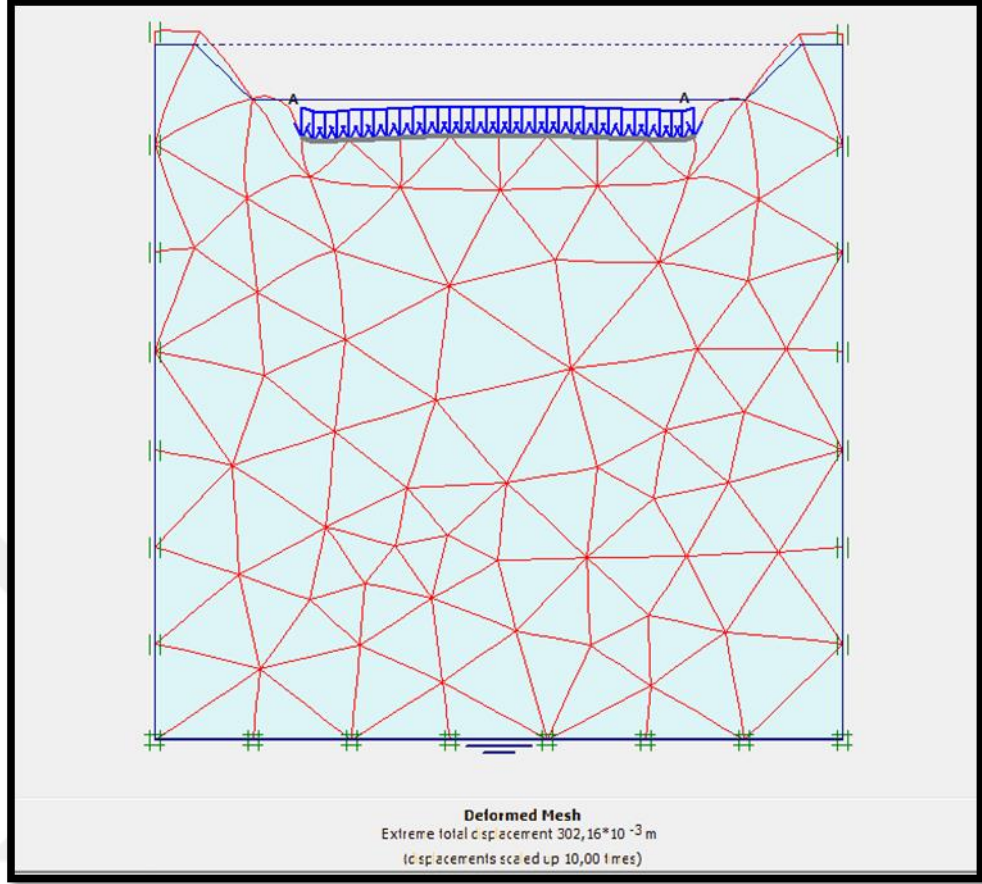
Silo ring temelinin kil zeminde oluşturduğu yatay yönde oluşan maksimum deformasyon değeri 2,4 cm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.35).



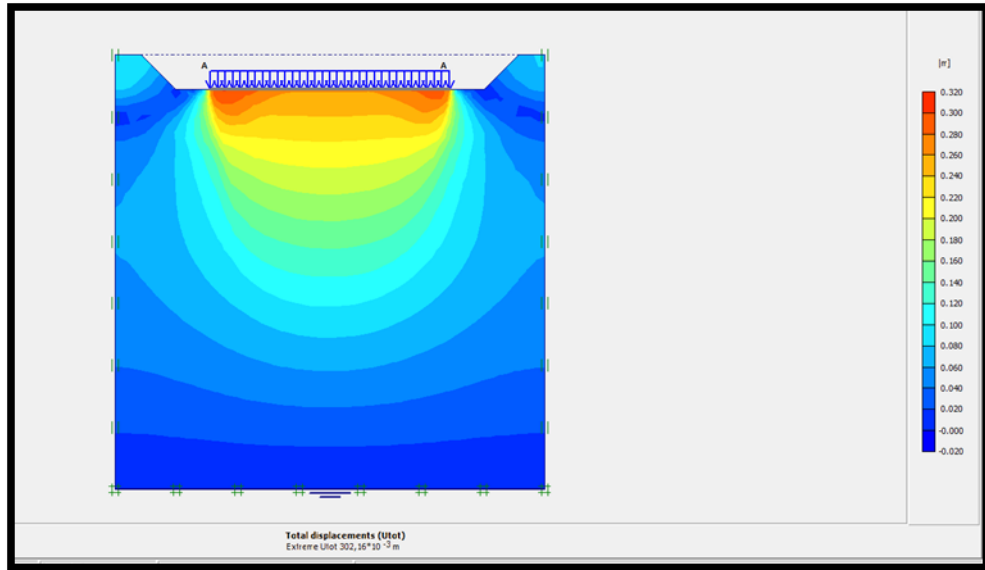
**Şekil 4.35.** Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (ring temel)

#### 4.3.2. Radye temel – kil zemin plaxis programı analiz sonuçları (output)

Kil zemine oturan radye temel – zemin etkileşimi sonuçlarında; toplam deformasyon yaklaşık 30 cm olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.36). Kil zeminde konsolidasyon oturmaları sebebiyle meydana gelen bu deplasman değerinin kabul edilebilir oturma değerlerine getirebilmek için zemin iyileştirme projeleri hazırlanması gerekmektedir.

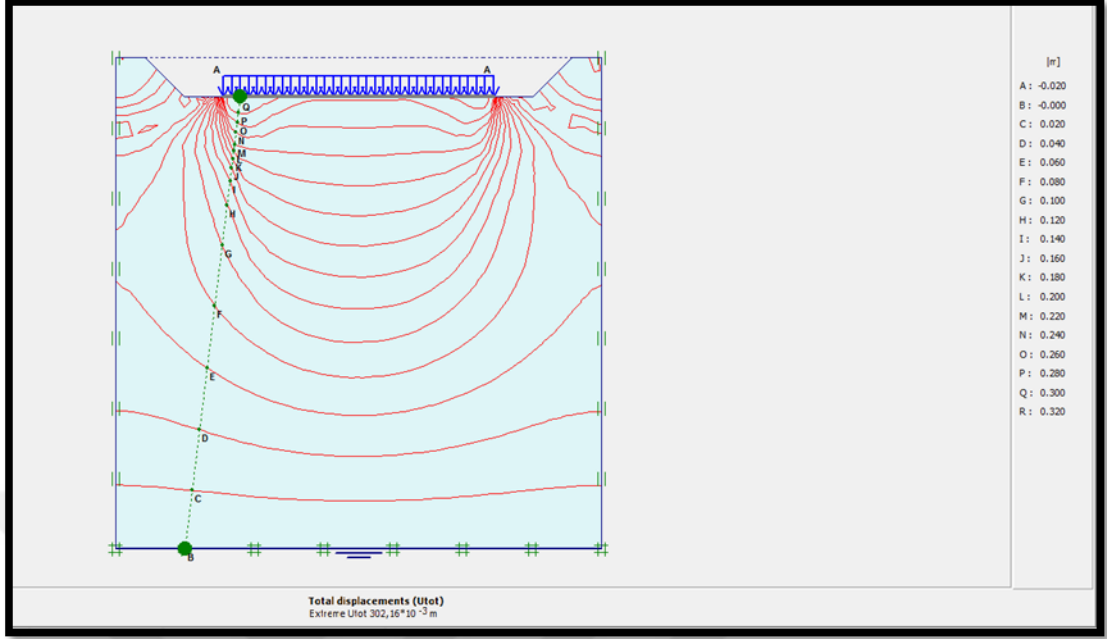


Şekil 4.36. Kil özellikli zeminde oluşan deformasyon gösterimi (radye temel)



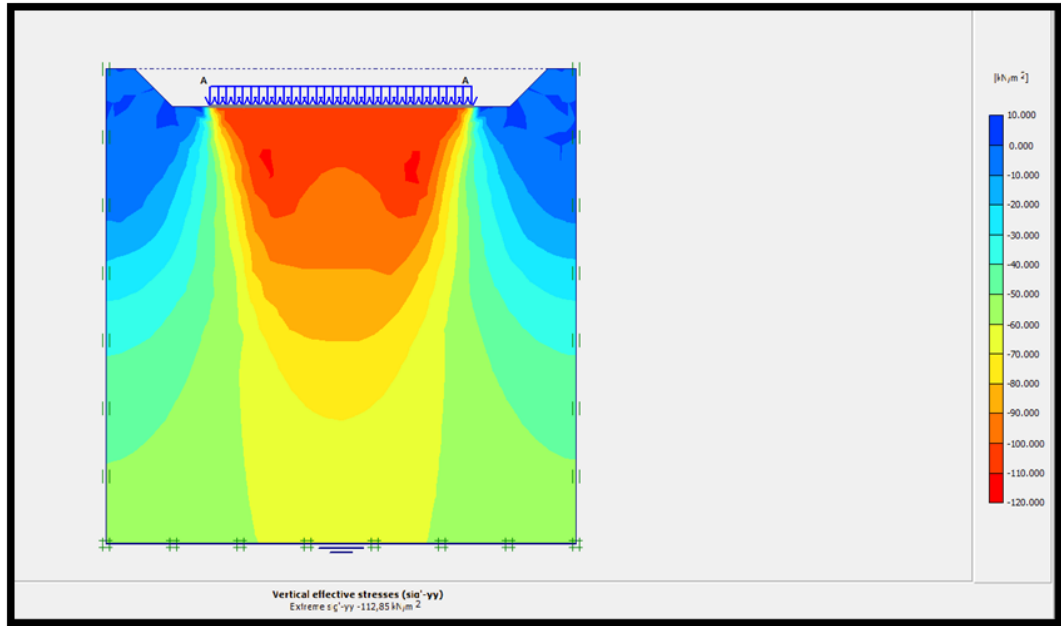
Şekil 4.37. Kil özellikli zeminde oluşan deformasyonların dağılımı (radye temel)





Şekil 4.38. Kil özellikli zeminde oluşan toplam yer değiştirmelerin yönlerini belirten gösterim (radye temel)

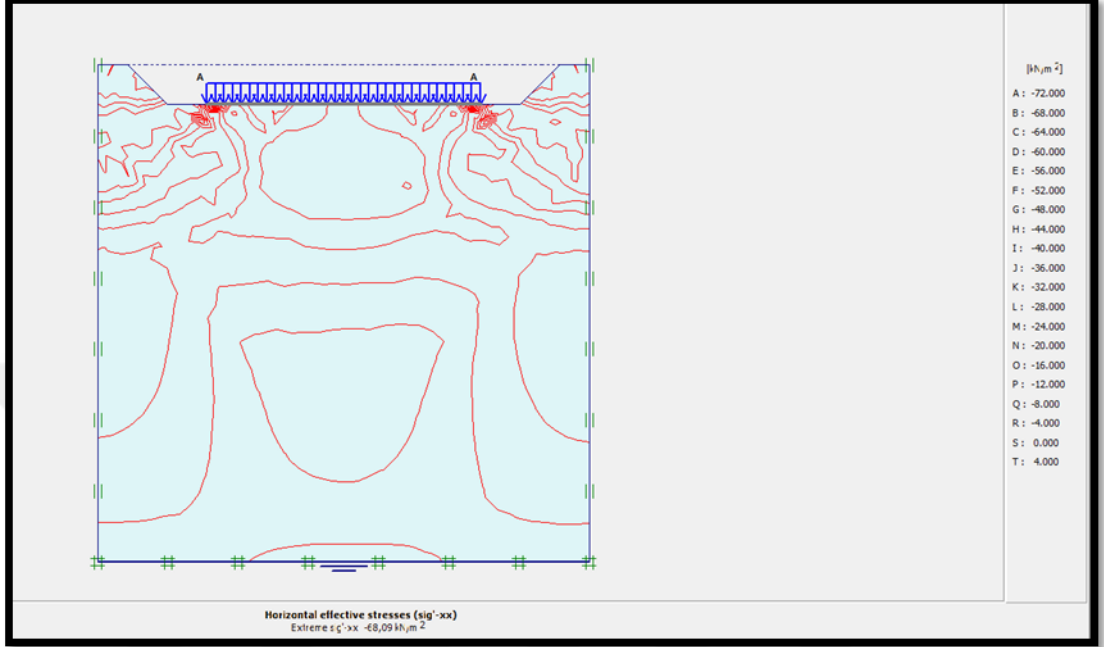
Silo radye temelinin kil zeminde oluşturduğu düşey yönde oluşan maksimum gerilme değeri 112,85 kN/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.39). Kil zeminin yapısından dolayı temel altında oluşan gerilmelerin diğer zeminlere göre derinliklere inildikçe değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.39. Kil özellikli zeminde dikey yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel)

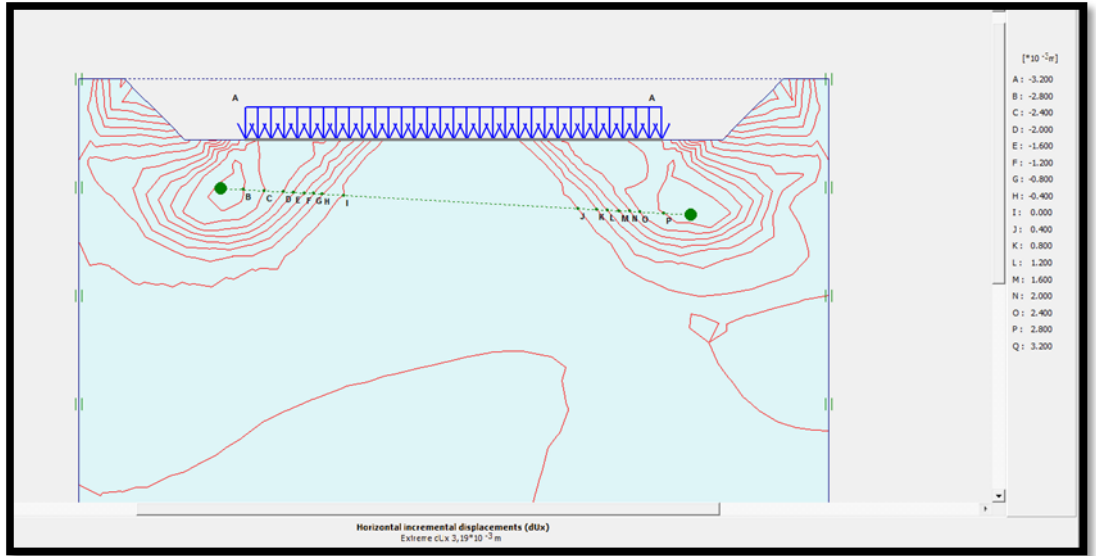


Silo radye temelının kil zeminde oluşturduğu yatay yönde oluşan maksimum gerilme değeri 68,09 kN/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.40).

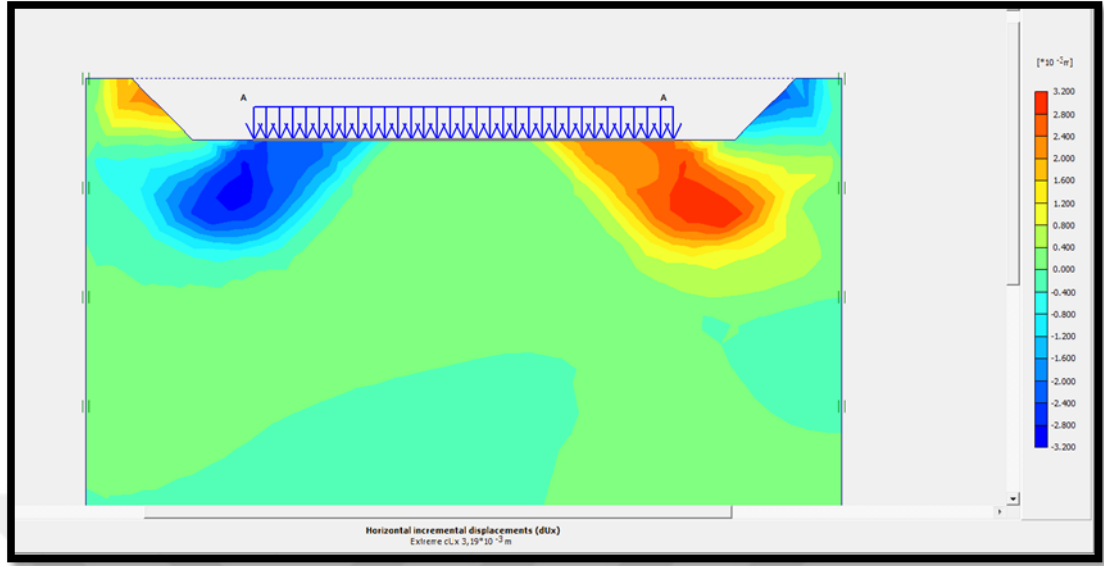


Şekil 4.40. Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan gerilme dağılımı gösterimi (radye temel)

Silo radye temelının kil zeminde oluşturduğu yatay yönde oluşan maksimum deformasyon değeri 0,3 cm olarak hesaplanmıştır. (Şekil 4.41 ve 4.42)



Şekil 4.41. Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (1) (radye temel)



**Şekil 4.42.** Kil özellikli zeminde yatay yönde oluşan deplasmanların gösterimi (2) (radye temel)

Analizler için kullanılan aynı betonarme siloya ait iki farklı temel tipinin farklı zemin cinslerinde oluşturdukları deformasyon ve gerilme değerleri plaxis programı ile hesaplanarak aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1.** Deformasyon – gerilme karşılaştırması

Zemin Cinsi	Temel Tipi	Dikeyde maksimum deformasyon (cm)	Dikeyde maksimum gerilme (kN/m <sup>2</sup> )	Yatayda maksimum deformasyon (cm)	Yatayda maksimum gerilme (kN/m <sup>2</sup> )
Tabakalı zemin (Kum + Kil)	Ring Temel	4.5	32.58	0.6	15.15
	Radye Temel	7.5	37.54	1.1	15.83
Kaya Zemin	Ring Temel	1.5	36.76	0.1	17.06
	Radye Temel	2.2	34.29	0.2	20.35
Kil Zemin	Ring Temel	16	105.66	2.4	57.87
	Radye Temel	30	112.85	0.3	68.09

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Betonarme silo için iki farklı temel tipi uygulaması ile silodan gelen yükler üç farklı zemin cinsine aktarılarak zeminde oluşabilecek deformasyon ve gerilmeler Plaxis programı aracılığıyla belirlenerek Çizelge 4.1.' de verilmiştir. Çalışmada silo yapısından temele iletilen tüm yükler hesaba katılarak temelden zemine aktarılıp, ortam yükleriyle beraber gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Kum ve kil karışımı tabakalı zemin ile kaya zeminde normal değerlerde oturma – gerilme ile karşılaşılmış olsa da; kil malzeme içeren zeminde kabul edilebilir dışında bir oturma - gerilme değerleriyle karşılaşılmıştır. Bu tip zeminlerde yapılacak (çalışmada bulunan betonarme silo ebatlarında) bir yapı için zemin güçlendirilmesi gerekmekte olduğu görülmüştür. Ayrıca silo yapısının oturma alanında bulunan ve ring temelde yüklemeye yapılmayan zemin bölümünde, çevresindeki temellerden gelen yüklerin temel altında oluşturacağı deformasyon ve gerilmeleri karşılamada olumlu etki oluşturabileceği düşünülmektedir.

Beklenildiği gibi her iki temel türünde de zemin gerilmelerinin yapılan analizler sonucu yüzeyden derinlere inildikçe azaldığı görülmüştür. Aynı temel tiplerinin farklı zemin türlerinde farklı gerilme deformasyon dağılımlarım olduğu tespit edilmiştir

Sonuç olarak betonarme silo yapılarında kullanılacak iki temel tipinden ring ve radye temel karşılaştırıldığında, plaxis programında yapılan hesaplamalarda temel altında oluşan deformasyonların ve gerilmelerin ring temelde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak plaxis programında iki boyutta çalışılması ve radye temele gelen yüklerin toplamının kesit uzunluğundan kaynaklı fazla olması sebebiyle böyle bir sonuçla karşılaşılmıştır.

Radye temel ve ring temel karşılaştırılmasında zeminde oluşacak deformasyon gerilme değerlerinin analizlerde görüldüğü gibi birbirine yakın sonuçlar alınmasından dolayı ekonomiklik açısından ring temel yapımı değerlendirilebilir. Betonarme silo yapımında tercih edilecek yüzeysel temel tipi için zemin cinsi ve diğer zemin parametrelerini doğru değerlendirilerek seçim yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/03/20070306-3.htm> Erişim Tarihi (15.05.2017).
- Anonim, 2015. Tem Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti. Betonarme Silo Hesap ve Yapım Kuralları. <https://dokumen.tips/documents/betonarme-silo-yapim-ve-hesap-kurallari-ek-i.html> Erişim Tarihi (20.12.2016).
- Anonim, 2018a. SF İnşaat Ltd. Şti. <http://www.sfinsa.com/tamamlanan-projeler> Erişim Tarihi (18.02.2018)
- Anonim, 2018b. Kınacı Mimarlık Müh. Ltd. Şti., [http://www.kinaci.com.tr/proje\\_incele.php?id=MTI2](http://www.kinaci.com.tr/proje_incele.php?id=MTI2) Erişim Tarihi (18.02.2018)
- Aydoğan, M., Altan, M.,1992. **Betonarme silolar ve bunkerler (Ders Notları)**. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Babagiray, G., 2010. **Kohezyonsuz Zeminler Üzerindeki Yüzeysel Temeller İçin Taşıma Gücü Belirleme Yöntemlerinin ve Rijit Tabaka Etkisinin İncelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-5.
- Babagiray, S., 2012. **Değişik Şekillerdeki Temellerin Gerilme Dağılımı İle Oturma Profillerinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, 83-86.
- Bağrıaçık, B., Laman, M., 2010. Yüzeysel Temel Geometrisinin Zeminlerde Oluşan Gerilmelere Etkisinin Araştırılması. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 1(2), 150-166.
- Birand, A., 2006. **Sığ (Yüzeysel) Temeller**. Teknik Yayınevi Mühendislik Mimarlık Yayınları, Ankara, 26.

- Birand, A., 2007. İnşaat Mühendisleri Odası. Temel Zemin Etkileşmesi; Oturma ve Yapı Hasarları. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10809.pdf> Erişim Tarihi (20.02.2017).
- Cernica, J.N., 1996. *Geotechnical Engineering Soil Mechanics*. John Wiley and Sons, ABD, 410-455.
- Coduto, D.P., 2005. *Temel Tasarımı:İlkeler ve Uygulamalar*, Murat Mollamahmutoğlu, Kamil Kayabalı. Gazi Kitabevi, Ankara, 52-333.
- Hansen, J.B., 1961. *A General Formula For Bearing Capacity*. International Edition 38.
- Hansen, J.B., 1970. *A Revised and extended Formula for Bearing Capacity*. Danish Geotech-Inst.Bulletion 28.
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D., 2010. *Geoteknik Mühendisliğine Giriş*, Kamil Kayabalı. Gazi Kitabevi, Ankara 250-316.
- Girgin, S.C., Mısır, S., Özden, G., Kahraman, S., 2008. Yapı-Zemin Etkileşiminin Yapısal Tasarımdaki Rolü. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1: 25-37.
- Kumbasar, V., Kip, F., 1999. *Zemin Mekaniği Problemleri*. Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 212-360.
- Laman, M., Keskin, M.S., 2004. Kumlu Zeminlere Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 431, 52-57.
- Meyerhof, 1951. G.G.Meyerhof The ultimate bearing capacity of foundations. *Géotechnique*, 2(1), 301-332.
- Meyerhof, 1963, G. Some recent research on the bearing capacity of foundations, *Canadian Geotechnical Journal*, 1 (1), 16-26.
- Newmark, N.M., 1942. Influence Charts for Computation of Stresses in Elastic Foundations, *University of Illinois Bulletin*, 338, 12-16.
- Schmertmann, J. H. 1978. Guidelines for Cone Penetration Test, Performance and desing. Federal Highway Administration Report, FHWA-TS 78-209.

Tamcan, Z., 2015. Sözlü Görüşme, *Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü*, Ankara (21.12.2015).

Terzaghi K., 1943, *Theoretical Soil Mechanics*, J. Wiley, New York, 28.

Vesic, A.S., 1973, *Analysis of ultimate loads of shallow foundations*, ***Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division***, 99 (1), 45-76.

Vesic, A.S., 1975. Bearing capacity of shallow foundations, ***Foundation Engineering Handbook***, 1 (3), 12-20



## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet TURHAN, 29.06.1990 tarihinde Ankara'da doğdu. Eğitim hayatına 1996 yılında Şenlik İlköğretim Okulunda başlayarak 2004 yılında burada tamamladı. 2004 yılında Hasan Ali Yücel Anadolu Öğretmen Lisesinde orta öğrenimine başlayarak 2008 yılında tamamladı. 2008 yılında Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yerleşerek 2012 yılında mezun oldu. 2012 yılından itibaren sırasıyla; özel şirket, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Iğdır İl Müdürlüğü, Milli Eğitim Bakanlığı Iğdır İl Müdürlüğü kurumlarında İnşaat Mühendisi olarak görev yaptı. 2015 Mayıs ayında TEİAŞ Genel Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak göreve başlayıp halen burada görev yapmaktadır. 2014 yılında Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başladı, halen yüksek lisans eğitimine burada devam etmektedir.