İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

KİLLİ ZEMİNLERİN YÜK ALTINDA OTURMALARININ NÜMERİK ANALİZİ

Fırat TURAN

UZMANLIK TEZİ

EYLÜL 2015

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

KİLLİ ZEMİNLERİN YÜK ALTINDA OTURMALARININ NÜMERİK ANALİZİ

Fırat TURAN

UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı (Kurum)

Dr. Hakan ÇELİK

Tez Danışmanı (Üniversite)

Doç. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ

ETİK BEYAN

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fırat TURAN
01.10.2015

KİLLİ ZEMİNLERİN YÜK ALTINDA OTURMALARININ NÜMERİK ANALİZİ

(Uzmanlık Tezi)

Fırat TURAN

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

Eylül 2015

ÖZET

Kil zeminler mühendisler için oturma ve taşıma gücü gibi bir çok problem oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı, inşaat projelerinde killi zeminlerde oluşan oturmaların sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanmasıdır. Bu amaçla 400 m^3 hacimli servis deposunun killi zeminlerde oturma miktarı hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar analizi için PLAXIS bilgisayar programı kullanılmıştır. Dikdörtgen kesitli servis deposunun farklı uzunluktaki kenarları için iki farklı analiz yapılmıştır. Servis deposunun farklı kenarları altında oluşan oturma miktarları ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Taşıma Gücü, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Plaxis
Sayfa Adedi : 89 (seksendokuz)
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ

NUMERICAL ANALYSIS OF SETTLEMENT UNDER THE LOAD OF CLAYEY SOILS

(Expertise Thesis)

Fırat TURAN

ILLER BANKASI A. Ş.

October 2015

ABSTRACT

Clayey soils create problems as settlement and bearing capacity for engineers. The purpose of this work, determination of the clayey soils formed settlements in construction projects using finite element method. For this purpose, 400 m^3 volume of service water tank settlement amount was calculated in clayey soils. For the finite element method the PLAXIS computer programme was used. For the different lengths of rectengular section service water tank, two different analyzes were performed. Service water tank, settlements amount formed at different edges has been demonstrated.

Key Words : Bearing Capacity, Finite Element Method, Plaxis
Page Number : 89 (eightynine)
Supervisor : Assoc. Prof. Alper BÜYÜKKARAGÖZ

TEŞEKKÜR

Tez konumu belirlememde ve çalışmanın her aşamasında bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyen, danışmanlarım Doç. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ ve Sn. Hakan ÇELİK'e , teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, tez hazırlama sürecinde desteğini sürekli hissettiğim hocam Prof. Dr. Suat AKBULUT'a teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni destekleyen ve hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme, mesai arkadaşlarıma ve müdürlerime şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR xiii

1.GİRİŞ 1

2. KİL ZEMİNLER 3

2.1.Kil Nedir 3

2.2.Kil Zeminler ve Mineral Yapıları 3

2.3.Kil Minerallerini Belirleme Yöntemleri 5

2.4.Killerin Özgül Yüzey Alanları 6

2.5.Kil minerallerinin aktiviteleri 10

2.6.Killerin Minerallerinin Tanınması 11

2.7.Killerin Mekanik Özellikleri 12

2.7.1.Konsolidasyon ve sıkışabilirlik 12

2.7.2.Kayma mukavemeti 12

2.7.3.Killerin mühendislik özellikleri 13

3. TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜ 19

3.1.Yüzeysel Temellerde Taşıma Türleri 20

3.2.Genel Kayma Göçmesi 21

3.3.Zımbalama Göçmesi 23

3.4. Bölgesel Kayma Göçmesi 25

3.5.Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü 26

3.5.1. Terzaghi taşıma gücü hesabı 27

3.5.2. Meyerhof taşıma gücü hesabı 29

3.5.3. Hansen taşıma gücü hesabı 32

3.5.4. Vesic taşıma gücü hesabı 33

3.5.5. Genel taşıma gücü formülü 34

3.5.6. İzin verilebilir taşıma gücü 34

4. ZEMİNLERDE OTURMA 35

4.1. Ani Oturma 35

4.2. Konsolidasyon Oturması (Reolojik Model) 36

4.3. İkincil Oturma 39

5. NÜMERİK ANALİZ 41

5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi 41

5.2. Sonlu Eleman Çeşitleri 43

5.2. Sonlu Eleman Yönteminde Temel Bağlantılar 44

6. SONLU ELEMANLAR PROGRAMI 47

6.1.Plaxis Bilgisayar Programının Geçerliliği 47

6.2.Genel Modelleme Bakış Açısı 48

6.3.Input (Giriş) Prosedürleri 50

6.3.1. Geometri nesnelerinin girilmesi 50

6.3.2. Metin ve değerlerin girilmesi 50

6.3.3. Seçimlerin girişi 51

6.3.4. Yapısal giriş 53

6.4. Programı Başlatma 53

6.4.1. Genel Ayarlar 54

6.4.2. Bir Geometri Modeli Oluşturma 56

7. 400 m^3 HACİMLİ PRİZMATİK SERVİS DEPOSU 59

8. PLAXIS İLE MODELLEME 61

8.1. Kil Zemin İçin Modelleme 61

8.2. Girdiyi Oluşturma 61

8.3. Hesaplamaları Gerçekleştirme 73

8.4. Çıktı Sonuçlarını Görme 76

8.4.1. Yük-deplasman eğrisini oluşturma 77

8.5. Uzun Kenar İçin Oturma Hesabı 79

8.5.1. Hesaplamaları gerçekleştirme 79

8.5.2. Çıktı sonuçlarını görme 80

8.6. Uzun Ve Kısa Kenar İçin Sonuçların Karşılaştırılması 80

9. LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALAR 82

10. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 84

KAYNAKLAR 86

ÖZGEÇMİŞ 89

ÇİZELGELERİNLİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Kil minerallerinin sınıflandırılması..... 4

Çizelge 2.2. Özgül yüzey alanının kil mineralinin cinsi ve boyutuna bağlı değişimi 7

Çizelge 8.1. Kil tabakaları ve ara yüzlerin malzeme özellikleri 67

ŞEKİLLERİNLİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Olağan kil minerallerinin göreceli boyutları, kalınlıkları ve özgül yüzeyleri 10

Şekil 2.2. Atomik ve sembolik yapı 15

Şekil 3.1.Genel kayma göçmesi..... 21

Şekil 3.2. Genel kayma göçmesi ve yük oturma eğrisi..... 22

Şekil 3.3. Meydana gelen kayma göçmesi örneği..... 22

Şekil 3.4. Zımbalama göçmesi..... 23

Şekil 3.5. Zımbalama göçmesi ve yük oturma eğrisi..... 24

Şekil 3.7. Bölgesel kayma göçmesi örneği 25

Şekil 3.8. Bölgesel kayma göçmesi ve yük – oturma eğrisi 26

Şekil 3.9.Terzaghi taşıma kapasitesi sınır durumu 28

Şekil 3.10. Meyerhof taşıma kapasitesi sınır durum şematik gösterimi 31

Şekil 3.11. Hansen taşıma kapasitesi hesabı şematik gösterimi 33

Şekil 4.1. Kohezyonlu zeminlerin yük altında toplam oturması..... 36

Şekil 4.2. Konsolidasyonda yay modeli..... 37

Şekil 4.3. Konsolidasyon sırasında meydana gelen yük transferi..... 37

Şekil 4.4. Yük altındaki bir zemindeki konsolidasyon-zaman ilişkisi..... 38

Şekil 5.1. Sürekli Bir Sistemin Sonlu Elemanlara Ayrılması 41

Şekil 5.2. Tipik 2 Boyutlu Elemanlar 42

Şekil 6.2. Spin edits 50

Şekil 6.3. Radyo düğmeleri..... 50

Şekil 6.4. Onay Kutuları 51

Şekil 6.5. Kombinasyon kutuları 51

Şekil 6.6. Sayfa kontrol ve sekmeler 52

Şekil 6.7. Genel ayarlar - Project..... 54

Şekil 6.8. Genel ayarlar - Dimensions 54

Şekil 6.9. Input programının ana penceresi 55

Şekil 6.10. Araç çubukları 51

Şekil 8.1. Su deposunun zemine uyguladığı yük gösterimi..... 60

Şekil 8.2. Yeni proje oluşturma penceresi 61

Şekil 8.3. Genel Ayarlar Penceresi 62

Şekil 8.4. Yayılı yüklerin oklar ile gösterimi..... 64

Şekil 8.5. Yayılı yük seçim sekmesi 65

Şekil 8.6. Yayılı yük değerleri giriş kutusu 65

Şekil 8.7. Zemin Özellikleri tanımlama ekranı – General 67

Şekil 8.8. Zemin özellikleri tanımlama ekranı – Parameters..... 68

Şekil 8.9. Ağ oluşturulmuş model..... 69

Şekil 8.10. Su birim hacim ağırlığı giriş ekranı..... 70

Şekil 8.11. Temel Etrafındaki Geometride Başlangıç Gerilmeleri..... 71

Şekil 8.12. General sekmesiyle birlikte Calculations penceresi 72

Şekil 8.13. Parameters sekmesiyle birlikte Calculations penceresi 74

Şekil 8.14. Asal gerilmeler..... 75

Şekil 8.15. Curve (Eğri) oluşturma penceresi..... 77

Şekil 8.16.Temel için yük-deplasman eğrisi..... 78

Şekil 8.17. Deforme olmuş ağ (13.30m'lik kenar için) 79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
c	Kohezyon
CH	Yüksek plastisiteli kil zemin
CL	Düşük plastisiteli kil zemin
E	Elastisite modülü
$\mathbf{E_{oed}}$	Ödometre yükleme rijitliği
GS	Güvenlik sayısı
Ip	Plastisite indisi
K0	Toprak basıncı katsayısı
UU	Konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli kesme deneyi
PL	Likit limit değeri
PP	Plastik limit değeri
SP	Kötü derecelendirilmiş kum
$\mathbf{q_u}$	Serbest basınç mukavemeti
$\boldsymbol{\omega}$	Su muhtevası
$\boldsymbol{\sigma}$	Eksenel gerilme
$\boldsymbol{\varepsilon}$	Eksenel şekil değiştirme
$\boldsymbol{\theta}$	İçsel sürtünme açısı
$\boldsymbol{\gamma}$	Birim hacim ağırlığı
$\boldsymbol{\gamma_k}$	Kuru birim hacim ağırlığı
$\boldsymbol{\upsilon}$	Poisson oranı
$\boldsymbol{\sigma_x}$	Yatay gerilme
$\boldsymbol{\sigma_y}$	Düşey gerilme
$\boldsymbol{\psi}$	Dilatasyon açısı
$\boldsymbol{\gamma_{kmax}}$	Maksimum kuru birim hacim ağırlığı
$\boldsymbol{\omega_{opt}}$	Optimum su Muhtevası

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar inşa ettikleri her yapıda zeminlerle ilgili problemlerle karşılaşmışlardır. Orta çağdaki Avrupalı mimarlar ve mühendisler karmaşık ve büyük yapılardan kaynaklanan oturmaları gözlemlemişlerdir. En önemli örneklerden biri de Pisa Kulesi'dir. Tıpkı bu örnekte olduğu gibi yapının sağlamlığı kadar yapıyı taşıyan temel ve temeldeki yükü taşıyan zemin dayanımı da oldukça önemlidir.

İnşaat mühendisleri, yumuşak veya gevşek zemin koşullarında inşa edilecek yapılarda temellerim tasarımı ve yapımında pek çok problem ile karşılaşmaktadır. Bu tür zeminler üzerinde zemin taşıma kapasitesinin zayıf olması veya aşırı oturmalar nedeni ile göçmeler meydana gelebilmektedir.

Derin temel gibi pahalı çözümler yerine zemin iyileştirmesi için uygun yöntemler seçilmektedir. Mini kazıklar, zemin ankrajı, taş kolon, derin karıştırma, zemin suyunu uzaklaştırma, zemin değiştirme, katkı malzemesi, dolgu vb. gibi birçok zemin iyileştirme yöntemi vardır.

İller Bankası Anonim Şirketi, Kalkınma ve Yatırım bankası olarak uzun yıllardan beri inşaat projeleri yapmakta veya yaptırmaktadır. Hazırlanılan bu projelerin uygulanacağı zeminler farklılık göstermektedir. Projelendirme sırasında oluşabilecek problemlerin belirlenip önüne geçilebilmesi inşaat maliyeti açısından oldukça önemlidir.

Bu tezin amacı, İller Bankası A.Ş. olarak yapılan veya yaptırılan inşaat projelerinde karşılaşılan zemin türlerinde oturma sınırının ve taşıma gücünün sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS programı ile hızlı bir şekilde hesaplanarak, olası problemlerin tespit edilip proje aşamasında önlem alınabilmesidir.

Bu nedenle İlbank tarafından 1995 yılından bu yana kullanılan Prizmatik Hacimli Servis Deposu Tip Projesi ele alınmıştır. Bu proje incelenerek killi bir zeminde deponun temelinin zemine uyguladığı yük modellenmiştir..

Tip proje olarak 13,30m x 9,35m taban alanına sahip dikdörtgen 400 m^3 hacimli depo incelenmiştir.

Prizmatik servis deposunun hazne kısmının yaklaşık 520 ton ağırlığında olduğu ve zemine 42 kPa basınç uyguladığı görülmüştür.

İlk olarak projenin 9,35m uzunluğundaki kenarı dikkate alınarak depo dolu ağırlığında uygun yük PLAXİS (Finite Element Codefor Soil Rock Analysis) 2D yazılımı

kullanılarak uygulanmış ve oturmalar hesaplanmıştır. Ardından 13,30m uzunluğundaki kenarı dikkate alınarak benzer şekilde simüle edilerek oturmalar hesaplanmıştır.

Sonuçlar ışığında, içmesuyu depolarımızın killi zeminlerde oturmaları ve farklı uzunluklardaki kenarlarında oturma değişimi ve nedenleri ortaya konulmuştur.

2. KİL ZEMİNLER

2.1.Kil Nedir?

Dane çapı 0,002 mm den küçük olup, su ile birlikte kohezyon özelliği meydana gelen ve içeriğinde birden çok mineral bulunan zeminlere verilen addır. Killerin içeriğinde bulunan mineraller zeminlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini doğrudan etkilerler. Kilin içeriğinde bulunan mineral çeşidi ve miktarı kilin davranış özelliklerinin belirlenebilmesine önemli rol oynar.

Kil mineralleri esas itibariyle alüminyum hidrosilikatlarıdır. Bazı minerallerde alüminyumun yerini tamamen veya kısmen Fe veya Mg alır. Alkali mineraller veya alkali metaller kil minerallerinin esas bileşenleri olarak bulunurlar. Bazı killer tek bir kil mineralinden ibarettir. Fakat çoğu birkaç mineralin karışımıdır. Killer içinde kil minerallerine ilâveten kalsit, feldspat ve pirit gibi kil olmayan mineraller de bulunabilir.

Killer, birçok durumda geoteknik mühendisin yararına özelliklerinden dolayı aranır. Dolgu barajlarda ve atık depolarında geçirimsizliğin sağlanması, göletlerin su tutması için ve kazıldığında kendini tutamayan pelteleşebilir zeminlerde, bulamaç halinde etkin destek sağlamak amacıyla kullanılır. İri derece küçük oranda katıldığında bağlayıcı görevi yapar. Ancak genelde kil, varlığı önemli mühendislik sorunları yarattığından istenmeyen bir malzemedir (Önalp, 1997).

Kil mineralleri ile ilgili henüz kesin bir sınıflandırma olmamasına karşın, birçok araştırmacı tarafından yapısal özellikleri (fiziksel, kimyasal ve mineralojik) özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Sınıflandırma açısından sanayi mineralleri arasında en karmaşık olandır.

2.2. Kil Zeminler ve Mineral Yapıları

İnşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılan ve temel alt yapısı olan zeminler boyutlarına göre gruplandırıldığında kaba ve ince taneli olarak ikiye ayrılır. İnce taneli zemin olan killer genel olarak 2μm'den (0,002 mm) daha küçük tanelere sahiptirler. Değişik su muhtevasındaki mukavemetlerinin göstergesi olan killerin kıvamı; serbest

basınç dayanımı (q_u) veya drenajsız kayma mukavemeti ($c_u = q_u/2$) vasıtasıyla tanımlanmaktadır. Terzaghi ve Peck (1967), serbest basınç dayanımı 25 kPa'dan daha düşük kıvamdaki killerin "çok yumuşak" ve serbest basınç dayanımı 25-50 kPa arasında olan kıvamdaki killeri "yumuşak" killer olarak sınıflandırmışlardır. Genel olarak, serbest basınç dayanımı 50kPa'dan daha küçük kıvamdaki killer yumuşak kıvamlı killer olarak tanımlanmaktadır.

Birçok zeminde genelde birden fazla kil minerali bulunmaktadır.

Minerolojik kompozisyon esas olarak zemin danelerinin karakteristiklerini, boyutunu, şeklini ve; yüzeyini etkilemektedir. Sıvı fazlı içsel etkileşimli bu özellikler zeminlerde; aktiviteyi, plastisiteyi, şişmeyi, mukavemeti ve hidrolik iletkenlik davranışını etkilemektedir. Çizelge 2.1' de kil minerallerinin sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 2.1. Kil minerallerinin sınıflandırılması (Konta, 1995)

Grup İsmi	Mineroloji	İdeal Formülü
Kaolinit, Serpantinit	Kaolinit Halloysit	$AL_4\ [Si_4\ O_{10})](OH)_8$ $Mg_6\ [Si_4\ O_{10})](OH)_8$
Mika	İllit	K<2AI3[Si>6Al<2)O20](OH)4nH2O
Vermikülit	Trioktahedral vermikülit	$(MgFe^2)[Si_2Al_8O_{20}](OH)_{4n}H2O$
Simektit	Montmorillonit Beidellit Notroint Saponit	$M^+_{x+y}(Al,Fe^{2+})_{4-y}[(Si_{8-X}Al_X)\ O_{20}]$ $(OH)_{4n}H2O$ $M_XAI4[(Si_{8-X}Al_x)\ O_{20}]\ (OH)_{4n}H2O$ $(M^+_XFe^3)[(Si_{8-X}Al_x)\ O_{20}]\ (OH)_{4n}H2O$ $(M^+_XMg_6)[(Si_{8-X}Al_x)O_{20}]\ (OH)_{4n}H2O$
Peofillit Talk	Profillit Talk	$AI_4[Si_8O_{20})](OH)_4$ $Mg_6[Si_8O_{20})](OH)_4$
Klorit	Donbassit	$AI_4[Si_8O_{20})](OH)_4\ AI_4(OH)_{12}$
Paligörskit Sepiyolit	Paligorskit Sepiyolit	$Mg_5[Si_8O_{20})](OH)_2(OH_2)44H_2O$ $Mg_8[Si_{12}O_{30})](OH)_4(OH_2)_4nH_2O$

Kaolin grubu kil mineralleri; 1:1 silika:alümina minerali olarak adlandırılır. Kaolinlerin boyutları 0.05-1 μm arasında değişir ve 6 kenarlıdır. Elektrolit muhtevası ve

pH'ı düşük ve iyonların silika formasyonuna eğilim gösterdiği durumlarda, silika seyrek, alümina ise boldur ve bu durumda kaolin mineralleri oluşur.

Halloysit grubu kil mineralleri; 1:1 silika:alümina mineralidir ve kaolinden düz şekli ile ayrılmaktadır. Halloysit, feldspatın H2SO4 ile yıkanması sonucu pritin alterasyonuyla meydana gelmiştir.

Montmorillonit (Simektit) grubu kil minerali; iki tetrahedral tabaka ile bir oktahedral tabakadan oluşan çok önemli bir mineraldir. Tabakalar arasında H2O absorbe edilmiştir ve bu nedenle şişmeye yatkındır ve doğal su muhtevası çok değişebilir. Genelde daneler eşit boyutlu pul şeklindedir ve 10 μm'ye kadar çıkabilir. Yüksek pH ve elektrolit muhtevası, Na+ ve K+'a nazaran daha yüksek Mg+2 ve Ca+2 ihtiva eder.

İllit (Hidro Mika) grubu; 2:1 illit kil minerali, birçok killi zeminde bolca bulunur. Muskovit mikasına benze bir yapısı vardır ve "hidro mika" olarak adlandırılır. Pul şeklindeki partiküllerin boyutları 10 μm'ye kadar çıkabilir.

Klorit grubu; 2:1:1 minerali olarak adlandırılır. Simektitin alterasyonu, yeterli Mg+2 kristali brusit tabakasının ara su tabakasıyla yer değiştirmesine sebep olur. Klorit tabakası düşük- orta seviyedeki metamorfik kayaların kaya formudur ve kayadan türeyen birçok zeminin ama mineralidir. Genellikle şişmeye karşı hassastırlar, ancak montmorillonitten daha az aktifdirler, boyutu 1 μm'ye kadar çıkabilir. (Yüksel ,2007)

2.3. Kil Minerallerini Belirleme Yöntemleri

Kil minerallerinin tamamı Al2O3 içerdiklerinden, jeolojik oluşumu genellikle alüminyum silikatların değişik pH ortamında erimesine bağlı olup aynı birlikte oluşuma dahildir. Yer kabuğunda yaygın ve çok miktarda bulunan alkali feldspatların doğa koşullarındaki alterasyonu sonunda feldspatlar önce iyonlarına ayrışırlar. Oluşan bu kimyasal eriyiklerden, ortamın pH derecesine göre Al2O3/SiO2 oranı değişen alüminyum hidrosilikatlar oluşmaktadır. Kaolitiin meydana gelebilmesi için ortamın pH değeri 8-9, Al2O3/SiO2 oranı ise 1/3 -1/4 olmalıdır. İyonize eriyiklerden kimyasal olarak kristalleşen kaolinit grubu minerallerinin çökelmesiyle kil yatakları, montmorillonit grubu minerallerin taşınıp çökelmesi sonucu bentonit yatakları, alüminyum hidroksit bakımından

zenginleşme, minerallerin yataklaşması ile de boksit ve geniş alanlarda gördüğümüz kırmızı renkli lateritler oluşur.

Killerin ateş karşısındaki davranışları oksitlerin özellikle humus asidi tarafından uzaklaştırılması sonucu olup, bunların ileri derecede diyajenezi ile şiferton, kil taşı, şeyl yatakları ortaya çıkar. Bazı kil yatakları genellikle kristal yapı gösterirlerse de alüvyonel killi toprak oluşumlarında koloid unsurların daha çok bulunduğu görülür.

Kil mineral tiplerinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır;

- Boyama deneyleri
- Kızıl ötesi ışınlarla analiz
- Isıl analiz
- X-Işını analizi
- Diferansiyel termik analiz
- Elektron mikroskopu

Burada en yaygın olarak kullanılan X-Işını analizden bahsedilecektir. Kilde X-Işını ile kristal yapısının tanınması insanların parmak izinden tanıma işlemine benzer. Bu analiz yönteminde; kristalde atom tabakaları arasındaki uzaklık ve bu tabakalardan yansıyan ışınların şiddeti gibi 2 temel ölçü yapılır. Killer yanında başka birçok kristalli malzemenin X-Işını kırınım özellikleri saptanmış olup bu bilgiler çeşitli kuruluşlardan referans kartları bilgisayar disketi halinde sağlanabilir. Tanıma, eldeki numune verilerinin standart değerlerle karşılaştırılmasıyla yapılır. Zeminin içinde çoğunlukla birden fazla mineral bulunduğundan tanımada çıkacak sorunları en aza indirmek için numuneler üzerinde ayrıntılı ön hazırlık işlemlerin yapılması gerekmektedir (Önalp,1997).

2.4. Killerin Özgül Yüzey Alanları

Killerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, yüzey alanından önemli ölçüde etkilenmektedir. Özgül yüzey alanı, zeminin birim ağırlığının alanıdır ve genellikle m2/gr olarak ifade edilmektedir. Zeminin özgül yüzey alanı, dane boyutu dağılımı ve mineraloji tarafından kontrol edilir. Bu nedenle, zemin bileşimi ile ilgili bir sabittir ve içsel bir zemin özelliği olarak kabul edilebilir. Özgül yüzey alanının belirlenmesinde, nitrojen adsorbsiyonu, su sorpsiyonu, metilen mavisi adsorbsiyonu gibi yöntemler kullanılmaktadır. (Lutenegger ve Cerato, 2001; Cerato ve Lutenegger, 2002).

Kil mineralinin özgül yüzey alanı ve şişme potansiyeli boyutu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Çizelge 2.2'de bazı kil minerallerinin çap, kalınlık ve özgül yüzey alanı değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.2 Kil mineralinin cinsine ve boyutuna bağlı olarak özgül yüzey alanları (Holtz ve Kovacs, 1981).

Mineral Tipi	Çap (nm)	Kalınlık (nm)	SSA (m^2/gr)
Kaolinit	300-4000	50-2000	10-30
Klorit	10000	30	80
İllit	10000	30	80
Montmorillonit	10-1000	3	800

1nm = 10^{-9} m

Özgül yüzey alanındaki değişim; su tutma, plastisite ve şişme potansiyeli gibi özellikler açısından kil mineralleri arasındaki farklılıkların büyük bir kısmını açıklayabilir. Smektit kil mineralleri yüksek plastisiteye, yüksek aktiviteye ve yüksek şişme-büzülme potansiyeline sahiptir. İllit ve kaolinit gibi diğer kil mineralleri daha düşük plastisite ve şişme potansiyeline sahiptir (Yong ve Warkentin, 1975; Entwisle ve Kemp, 2003).

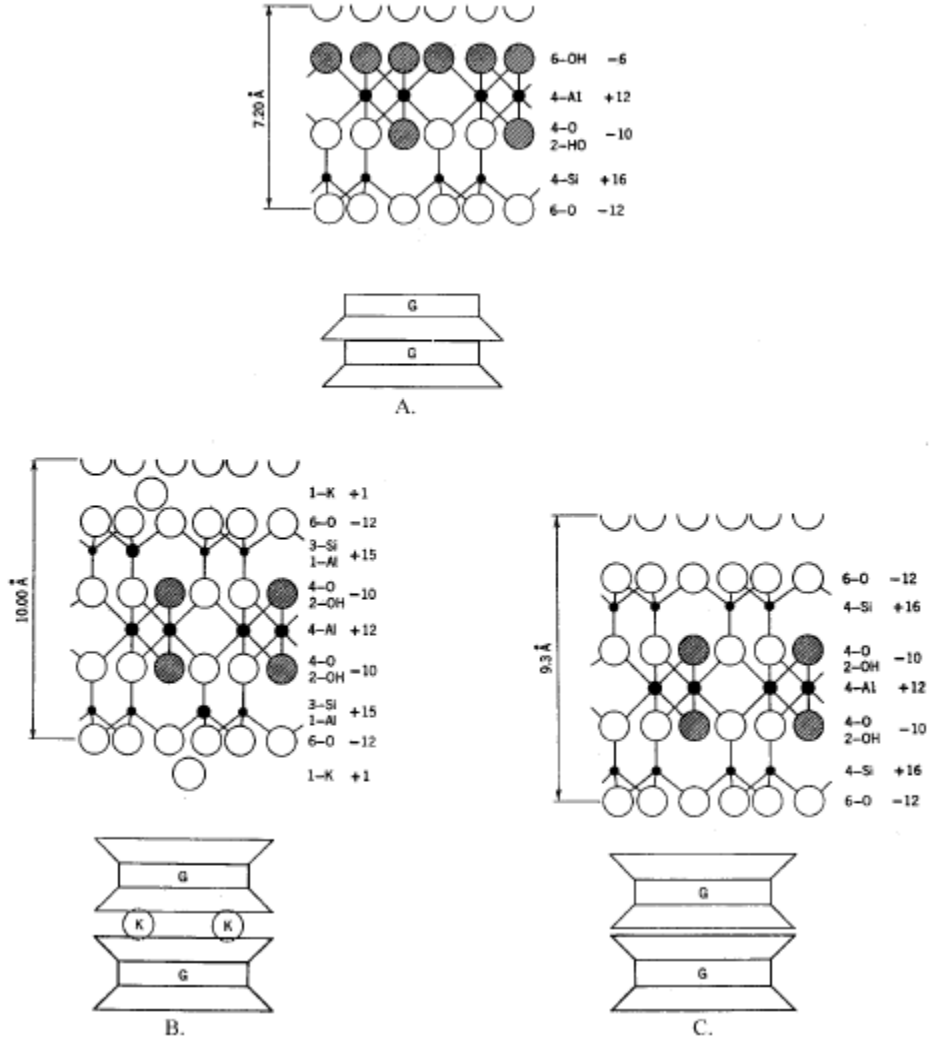
Bir zeminin yüzey alanı (SA); onun boyutu, şekli ve onu oluşturan partiküllerin mineralojisinin bir fonksiyonudur. Bir zeminin özgül yüzeyi (SSA) ise, zemin partiküllerinin her gramı için olan alan (metrekare olarak) olarak tanımlanır. Zemin danelerinin şekli önemlidir, çünkü her bir birim hacim için yüzey alanı partiküllerin şekli ile değişir. Küre şeklindeki bir dane en küçük yüzey alanına sahiptir fakat aşırı derecede ince bir disk ya da levha haline gelecek şekilde deforme edildiğinde en büyük yüzeyi gösterir (Suess, 1964). Yüzey alanı partiküllerin azalan boyutları ile artar ve bu smektit, vermikülit içeren kil fraksiyonları için özellikle doğrudur, çünkü bunların önemli derecede içsel yüzey alanları vardır (De Kimpe, 1979) (Şekil 2.1.).

Edge View	Typical Thickness (nm)	Typical Diameter (nm)	Specific Surface (km^2/kg)
Montmorillonite	3	100–1000	0.8
Illite	30	10 000	0.08
Chlorite	30	10 000	0.08
Kaolinite	50–2000	300–4000	0.015

Şekil 2.1. Kil minerallerinin boyutları-kalınlıkları-özgül yüzey alanları(Holtz ve Kovacs, 1981; Yong ve Warkentin, 1975).

Organik malzemenin, zemin malzemelerinin Katyon Değişimi Kapasitesine (CEC) ve Özgül Yüzey Alanı'na (SSA) katkılarını değerlendirmek zordur (Thompson ve diğ., 1989). Organik ve inorganik koloidler, zeminin toplam CEC ve SSA'larına katkıda bulunan CEC ve SSA'lara sahiptirler. Organik malzemenin SSA'ya katkısının nasıl olduğu çok iyi belirlenmiş değildir; bunun kısmi sebebi SSA'yı ölçmek için kullanılan yöntemlerin çeşitliliğidir.

Şekil 2.2. kaolinit, illit ve montmorillonitin atomik ve sembolik yapısını göstermektedir (Lambe ve Whitman, 1969). Kaolinitte sadece harici yüzey alanı vardır; çünkü ardarda gelen tabakalar arasındaki kuvvetli bağlar tabakalar arası şişmeyi engeller ve genellikle 10 ila 20 m2/g menzili içinde kalır. İllit, mühendislik uygulamalarında zeminde en sık rastlanılan kil mineralidir. İllitin yüzey alanı yaklaşık olarak 65 ila 100 m2/g arasındadır. İllitlerin ilksel yüzeyleri 40 ila 80 m2/g'dır ve ikincil (tabakalar arası) yüzey, değiştirilebilir tabakalar arası katyonlara bağlı olarak, 870 m2/g kadar yüksek olabilir. İlksel yüzey 50 ila 120 m2/g arasında değişebilir. İkincil özgül alan, yani kafesin genişlemesi ile ortaya çıkan, böylece kutupsal moleküllerin tabakalar arasına girebildiği alan 840 m2/g'a kadar çıkabilir.



Şekil 2.2Atomik ve sembolik yapı. A. Kaolin, B. Illit, C. Montmorillonit
(Lambe ve Whitman, 1969)

Churchman ve diğ. (1991), zeminlerin mutlak Yüzey Alanı değerlerinin ölçümünün zor olduğunu belirtmekle birlikte, önerilen değişik yöntemlerin göreceli iyi taraflarının, önemli zemin özelliklerini tahmin etmede, değişik yetenekleri açılarından değerlendirilebileceğini önerir. Bir çok çalışma, yüzey alanı ve değişik türde zemin özellikleri arasındaki ilişkileri dikkate almıştır. Bunlar, Yüzey Alanının doku ve mineralojik kompozisyonu (De Kimpe, 1979) ile ilişkileri, ve Yüzey Alanının zeminin kimyasal ve fiziksel özellikleri (Farrar vd., 1967) ile ilişkileri gibi önde gelen özellikleri ile ilişkilerini kapsar.

Geçmişte killerin Özgül Yüzey Alanını belirlemek için ağırlıklı olarak iki yaklaşım kullanılmıştır: (1) basit moleküllerin tutunması (adsorpsiyon) ile harici Yüzey Alanının ölçülmesi; yani düşük sıcaklıklarda nitrojen gibi, burada Yüzey Alanı tutunma izoterm verilerinden ve BET teorisinin (Brunauer vd., 1938) uygulanmasından türetilir, ve (2) iç yüzeylerine nitrojenin ulaşamadığı kil minerallerinin davranımının tarifi ile kutupsal sıvıların tutunması ile toplam Yüzey Alanının ölçülmesi (Tiller, 1990). Yüzey Alanını ölçmek için başka teknikler de önerilmiştir, bunlar: Su Emilmesi (Newman, 1983), Setil Pridinyum Bromid (CPB) (Greenland vd., 1964), p-Nitrofenol Tutunması (pNP) (Ristori vd., 1989), Dahili Yansıma Spektroskopisi (Mulla ve diğ., 1985) ve Metilen Mavisi Tutunması (Hang vd., 1970). Bu yöntemlerin bazıları teorik zemin yapısı denklemleri ile benzer Yüzey Alanı değerleri üretmiştir fakat bunlar zaman harcayan, ya da pahalı, özel cihazlar gerektiren yöntemlerdir. Bu yüzden, diğer daha basit, daha az doğru (hassas) ve tekrarlanabilir yöntemler daha az zaman aldıkları ve ekonomik oldukları için geliştirilmiştir.

İnce taneli zeminler yüzeylerindeki elektriksel ve kapiler kuvvetlerin etkisindedirler. Spesifik (özgül) yüzey alanı arttıkça, bu elektriksel ve kapiler kuvvetler artmakta ve bu kuvvetler ince taneli zeminlerin mühendislik davranışlarını çok güçlü bir şekilde etkilemektedirler. Özgül yüzey alanı (ÖYA) birim ağırlıktaki zeminin yüzey alanı olarak tanımlanmakta ve genellikle m2/gr cinsinden ifade edilmektedir. Zemin davranışının yüzeysel kuvvetlerin etkisinde olabilmesi için sınır özgül yüzey alan değeri 1m2/gr olarak kabul edilmektedir (Santamarina vd., 2002). Spesifik yüzey alanı kilin türüne, mineralojisine, organik kompozisyonuna ve tane boyutuna bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir.

Kil minerallerinin spesifik yüzey alanı değerleriyle de bağlantılı olan mineral boyutları, killerin dış çevreyle olan ilişkileri ve davranış özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. En büyük kil minerali olan kaolinitin kalınlığı veya kenar boyutu 1 μm olup en küçük kil minerali olan montmorillonitin kalınlığı sadece birkaç nanometredir.

2.5. Kil Minerallerinin Aktiviteleri

Aktivite bir kilin plastisite indisinin, ağırlıkça içerdiği kilin yüzdesine oranıdır (Eş. 2.1). Plastisite indisi ve kil yüzdesi arasında doğrusal bir bağıntı olduğu varsayımından

çıkılarak tanımlanan bu formülde AC kilin aktivitesi, IP plastisite indisi ve %C ağırlıkça kil boyutundaki malzeme yüzdesidir. Aktivite ile kil mineralinin türü arasında oldukça iyi bir korelasyon vardır. Kilin aktivitesi 1,25'ten büyükse kil aktif, 0,75 ile 1,25 arasında ise normal aktif; 0,75'ten küçükse aktif olmayan kil olarak sınıflandırılır ve AC büyüdükçe zeminin daha problemli olacağı kabul edilir.

$$Ac = \frac{Ip}{\%C} \qquad \text{(Eş. 2.1)}$$

2.6.Kil Minerallerinin Tanınması

Herhangi bir zeminin özellikleri zeminin fabrik yapısına, dane düzenine, çevre faktörlerine, mineralojik ve kimyasal bileşimine bağlıdır. Geoteknik mühendisliğinde bir kilin içerdiği minerallerin türü ve bunların oranlarının bulunması mekanik davranışının anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Zemin birleşiminin ve zemin danelerinin araştırılmasında kullanılan yöntemler ve teknikler şöyledir:

1- Dane dağılımı ve danelerin sınıflandırılması,
2- Mineralojik analizler öncesi ön davranış incelemesi,
3- Serbest oksijen, hidroksit, amorf bileşenler ve organik malzemelerin belirlenmesi için kimyasal analizler,
4- Silt ve kum danelerinin petrografik mikroskopla analizi,
5- Kil fazının elektron mikroskobuyla araştırılması,
6- Kristalli minerallerin X-ray analizi ile tanımlanması,
7- Bileşenlerin termal analizlerle belirlenmesi,
8- Spesifik yüzey alanının belirlenmesi,
9- Katyon değişim kapasitesi, pH ve çözülebilir tuz için analizlerin yapılmasıdır.(Olgun, 2008)

2.7. Killerin Mekanik Özellikleri

2.7.1. Konsalidasyon ve sıkışabilirlik

Zemin daneleri oldukça sert minerallerden oluştukları için bunların sıkışması küçük olmaktadır. Boşlukların tamamen su ile dolu olması durumunda (suya doygun zemin) suyun sıkışabilirliğinin çok küçük olması nedeniyle bunun zeminin sıkışmasına katkısı da ihmal edilebilecek mertebede kalacaktır. Özellikle suya doygun zeminlerde, esas olarak boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucu meydana gelmektedir. Sabit bir yük altında, boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucu zeminlerde meydana gelen hacimsel şekil değiştirmelere zemin mekaniğinde "Konsolidasyon" adı verilmektedir. Zemin içinde suyun hareket edebilme özelliklerinin değişik zeminlerde birbirinden çok farklı olduğu bilinmektedir. İnce daneli zeminlerin permeabilitesi çok düşük olduğu için, yüklenen zeminden suyun dışarı çıkması yavaş olacaktır. Buna bağlı olarak zeminin sıkışması da zamana bağlı olarak gelişecektir. Dolayısıyla zeminlerin sıkışmasının hesaplanmasında gerilme-şekil değiştirme-zaman ilişkilerinin incelenmesi gerekli olmaktadır. Bu ilişkiler deneysel olarak laboratuvarda odeometre aleti kullanılarak, kuramsal olarak ise konsolidasyon teorisi ile incelenmektedir. Hesaplamada son oturmanın büyüklüğü, oturma miktarı zamanla gidişi, oturma miktarı ve sıkışma indisi belirlenir.

> Suya doygun kil minerallerin sabit yük altında sıkışabilirliği (oturması) kaolenit < illit < montmorillonit sırasında artmaktadır. Konsolidasyon oturmasını belirlemede sıkışma indisi (Cc) ve konsolidasyon katsayısı (cv) önemli parametrelerdir. Sıkışma indisi değerleri, kaolonit için 0.19 ila 0.28, illit için 0.50 ila 1.00 ve montmorillonit için 1.0 ila 2.60 arasında değişmektedir. Belirli mineral tipi, konsolidasyon katsayısını direk olarak içerik miktarı açısından etkilememektedir. Konsolidasyon katsayısı değeri ortalama mineral tipine bakılmaksızın (0.06-90)*10-8 m2/sn arasındadır (Mitchell, 1993).

2.7.2. Kayma mukavemeti

Zeminin göçmeye karşı koyan kuvvetleri oluşturan zeminin kayma mukavemeti parametreleridir. Bir zeminin kayma mukavemeti, zemin kütlesine uygulanabilen en yüksek kayma gerilmesidir. Kayma (göçme) düzlemi boyunca kayma göçmesine sebep

olan kayma gerilmeleri o zeminin taşıyabileceği en yüksek kayma gerilmesidir, dolayısıyla da kayma mukavemetidir.

Killi zeminlerde dane yapısı ve daneleri çevreleyen elektriksel negatif yüke su moleküllerinin tutunması ve taneler arasında bir ara yüzey oluşturarak taneleri birbirine yapıştırması sebebiyle ortaya çıkan ilave bir kayma direnci parametresi vardır. Bu da klasik zemin mekaniğinde kohezyon (c), günümüz terminolojisinde görünen kohezyon olarak adlandırılır. Normal gerilme etkisi sıfır olsa bile silt ve killer gibi kohezyonlu zeminlerde bir miktar kayma mukavemeti kohezyon sebebiyle bulunur ve killerde su muhtevası ve plastisiteye bağlı olarak değişir.

Zemin danelerin birbirine sürtünmesinden kaynaklanan kayma mukavemeti, danelerin sürtünme açısına bağlı olarak gelişen kayma mukavemet açısı (ø) ile ifade edilir.

Killerin kayma mukavemeti parametreleri, kayma mukavemeti açısı (ø) ve kohezyon (*c*) olarak ifade edilir ve bu iki parametrenin (*c*, ø) etkisi hesaba katılarak kayma mukavemeti (Coulomb denklemi) aşağıdaki gibi ifade edilir (Eş. 2.2.).

$$\tau = c+\sigma \tan\phi \qquad \text{(Eş. 2.2)}$$

Suya doygun normal konsolide killerde; drenajsız durumda c = cu (drenajsız kayma mukavemeti) ve ø =0, drenajlı durumda ise c = 0 ve ø' olarak bulunur. Drenajlı yani efektif gerilmesi cinsinden kayma mukavemeti ele alındığında (efektif kayma mukavemeti açısı, ø') en büyük kaolenit, orta illit ve en düşük montmorillonit türü kil minerallerinde elde edilir (Mitchell, 1993).

2.7.3. Killerin mühendislik özellikleri

Zeminlerin sahip olduğu minerolojik yapısı ve kompozisyonu, sürüklenme şekli, birikme (sedimentasyon) yeri ve durumu, organik madde miktarı ve özellikleri, oluşum yaşı, iklim, sıkışmanın (ön konsalidasyon) tipi ve miktarı, yapısal şekli, dane dağılımı, dane şekilleri, vb. durumları ile birbirlerine olan etkisi ve ilişkisi zeminlerinmühendislik özelliklerine önemli ölçüde etki etmektedir.

Bu nedenle zeminlerin davranışı son derece karmaşıktır. Yani zeminlerin mühendislik özellikleri çok uzun jeolojik evrim sürecindeki jeolojik olaylar (oluşum yaşı, oluşum şekli, oluşum yeri, oluşum orijini, taşınma-çökelme durumu, vb.), fiziksel ve kimyasal etkiler, kompozisyon, vb. faktörlere bağlı olarak değişir. Ancak zeminlerin mühendislik özellikleri başlıca;

- Oluşum yaşı ve çimentolaşma
- Oluşum yeri ve taşınma durumu
- Su muhtevası
- Tarihsel (veya geçmiş) gerilme durumu

gibi faktörlerden etkilense de genel olarak

Yapısal faktörler

• Mineral tipi ve miktarı
• Su tutma kabiliyeti
• Dane şekli ve boyut dağılımı
• Boşluk suyu kompozisyonu

Çevresel faktörler

• Suyun mevcudiyeti ve su muhtevası
• Yoğunluğu
• Yanal ve düşey basınç ile belirlenir.

Zemin yapısının son derece kompleks oluşu ve çevresel faktörlerinde değişken olması nedeniyle zeminlerin mühendislik özelliklerini niceliksel değerlerinin yanı sıra niteliksel özellikleri ile tanımlanmaktadır. Bu nedenle zeminlerin tüm mühendislik özelliklerini ve bu özelliklere etki eden faktörleri de çok iyi bilmek gereklidir (Tunç, 2002).

Genel olarak bir zemindeki kil miktarı arttıkça daha yüksek plastisite ve daha fazla şişme ve büzülme potansiyeli, daha küçük permeabilite, daha yüksek gerçek kohezyon ve sıkışabilirlik, daha düşük kayma mukavemeti açısı oluşmaktadır. Aynı grup killerde dahi dane boyutu, kristallik derecesi, adsorbe katyon tipi su içindeki serbest elektrolitin tipi ve miktarı gibi faktörlerin killerin mühendislik özellikleri üzerine etkisi fazla olabilmektedir. Genel olarak bu faktörlerin etkisi şu sırayla azalmaktadır : kaolin<hidro mika(illit)<simektit (Mitchell, 1976).

Tüm zeminler daneler arasındaki temas noktasında doğal çimentolaşma ile mekanik ve hidrolik özelliklerini yansıtırlar. Yaşlanma prosesi çimentolaşma miktarını artırır. Doğal olarak zeminin oluşumu ne kadar eski ise çimentolaşma o kadar fazladır. Ancak zemin permeabilitesi, basınçlı suyun varlığı, vb. nedenler ile çimentolaşma miktarında azalmada söz konusudur. Zemin çökeltileri ya olduğu yerde oluşmuş veya başka bir yerde oluşup su, rüzgar, buzul, gravite, vb. etkilerle başka yerlere taşınıp çökelmişlerdir. Zeminin fiziksel özellikleri (boyut, dane şekli, yüzey yapısı, boşluk oranı, vb.) genel olarak taşınma şekline bağlıdır. Ayrıca zeminlerde tabakalanma, yoğunluk, çimentolaşma, vb. özellikler oluşum geçmişi, oluşum yeri ve taşınma durumu/şekli ile yakın ilgilidir. Yerinde oluşmuş zeminlerde yüzeysel sular ile bağlayıcı maddeler uzaklaşarak üst kısımlarda farklı alt kısımlarda farklı özellikte bir yapıya sahip olduğundan dolayı zeminin mukavemet, konsolidasyon, vb. özelliklerine etki eder. Zeminin su muhtevası ile kayma mukavemetinde önemli azalmalar, şişme ile hacim değiştirme veya şişme basıncı oluşumu, hidrostatik basınçlar ile yanal itkiler ile kayma kuvvetlerinde artış, vb. durumlar beklenmelidir. Aynı şekilde su muhtevasında azalma söz konusu ise büzülme ile hacim değiştirme, ince çatlakların (fisürlerin) oluşumu, vb. durumlar beklenmelidir (Tunç, 2002).

Killi zeminlerin önemli bazı mühendislik tanımları aşağıda verilmiştir.

Permeabilite (geçirgenlik) ;zeminin boşluklarından suyun geçebilmesi veya akmasıdır. Zeminin ihtiva ettiği suyun bünyesinden atılabilmesine dren kabiliyeti denir. Plastiklik ve sıkışma miktarı zeminin permeabilitesine etki eden en önemli hususlar iken dren kabiliyeti ise boşlukların miktarı ve birbirleriyle irtibatı, non-plastiklik ve dane çapı ile ilgilidir. İnce daneli zeminler (siltler ve özellikle killer) son derece az geçirgen hatta pratik olarak geçirimsizdir. Killi zeminlerin, dane çapının çok küçük olması nedeniyle toplam yüzey alanı çok fazladır. Bu da danelerin yüzeysel çekim kuvvetlerini artırdığından dolayı ince daneli zeminlerin su tutma kabiliyeti daha fazla dolayısıyla dren kabiliyeti daha az olmaktadır.

Plastisite ;zeminin yük altında kırılmadan (ufalanma) deformasyon yapabilme kabiliyetini ifade eder. Bu tip deformasyonlara plastik deformasyon veya kalıcı (geri dönemeyen) deformasyonlar denir. Zemin kitlesi içindeki danelerin birbiri üzerinde kayması sonucu oluşan çökmeler plastik deformasyonlara neden olur. Bu tip

deformasyonlar zeminin kayma mukavemetinin aşılması halinde olur ve önemli oturmalara neden olduklarından dolayı problem yaratırlar.

Kohezyon; zemin kitlesi içindeki danelerin birbirlerinden ayrılmaya karşı gösterdiği direnç veya birbirleri arasındaki bağ kuvveti olarak tanımlanır. Kohezyon ince malzemenin varlığından kaynaklanır ve su muhtevasına bağlı olarak önemli ölçüde değişir.

Sıkışabilirlik; yük altında zeminin hacim değiştirmeye karşı eğilimi veya duyarlılığı olarak tanımlanır. Bilindiği gibi zemin mineral daneler, su ve hava karışımıdır. Bunlardan mineral daneler ve su sıkışmayan kısımlar iken hava sıkışabilen kısımdır. Zira zemindeki su ve havanın birlikte veya sadece havanın dışarı atılması sonucu bunların bıraktığı boşluklara zemin danelerinin yerleşmesi ile zeminin hacmi azalacaktır. Zemin kitlesi içerisinden su ve havanın birlikte atılması sonucu oluşan hacim değiştirmeleri kalıcı deformasyonları yaratır. Bu kalıcı deformasyonların miktarı, zeminin sıkışabilirlik özelliğini yani duyarlılığını belirler. Zeminin bünyesinden sadece suyun atılması sonucu oluşan oturmalara "Konsalidasyon" ama sadece havanın atılması sonucu oluşan yoğunluk artmalarına "Kompaksiyon" veya sıkışma denilir. Her iki olayda da harici yükler altında hacim azalmasına neden olan kalıcı deformasyonlar oluşmakta ve zeminin yoğunluğu, kayma mukavemeti ve geçirimsizliği artmaktadır.

Hacim değiştirme; büzülme ve kabarma olaylarında olduğu gibi harici bir yükün etkisine ve/veya harici yükün kalkmasına bağlı olmadan veya bir başka deyişle yükün etkisine bağlı olmadan zeminin hacim değiştirmesi ile oluşan deformasyonlardır. Bu olay, zeminin su muhtevası değiştikçe hacminde olan değişimlerdir. Büzülme ve kabarma olayı, zemindeki ince malzeme özellikle kil miktarına bağlı olarak zeminin boşluk suyunun kapiler çekme gerilmesi yaratması veya kaybolması sonucu oluşur. Uygulama alanlarında bu tip zeminlerden kaçınmak gerekir. Eğer bu tip zeminlerden kaçınmak mümkün değilse su zeminden drenaj teknikleriyle uzaklaştırılmalıdır. Eğer zeminin WL ve IP değeri ne kadar yüksek ise büzülme ve kabarma (şişme) olayı da o kadar büyük olmaktadır.

Zeminin su tutma kabiliyeti; suyun serbest olarak zeminden dren olamaması ancak zemindeki su tablasından yüzeysel çekim ve absorbtif (emme) kuvvetleri ile suyun emilmesi olarak tariflenir. Zeminin su tutma kabiliyeti çok az olsa da havanın rutubetine ama daha ziyade kapilerite ile yeraltı suyunun emilmesine bağlıdır. Zeminin su tutma kabiliyeti su muhtevası ve suya doygunluk kavramlarından farklı olup zemin daneleri

etrafındaki su filmi ile su ceplerindeki suyun toplamının büyüklüğüne bağlı olarak değişir (Tunç, 2002). yoğunluk, çimentolaşma, vb. özellikler oluşum geçmişi, oluşum yeri ve taşınma durumu/şekli ile yakın ilgilidir. Yerinde oluşmuş zeminlerde yüzeysel sular ile bağlayıcı maddeler uzaklaşarak üst kısımlarda farklı alt kısımlarda farklı özellikte bir yapıya sahip olduğundan dolayı zeminin mukavemet, konsolidasyon, vb. özelliklerine etki eder. Zeminin su muhtevası ile kayma mukavemetinde önemli azalmalar, şişme ile hacim değiştirme veya şişme basıncı oluşumu, hidrostatik basınçlar ile yanal itkiler ile kayma kuvvetlerinde artış, vb. durumlar beklenmelidir. Aynı şekilde su muhtevasında azalma söz konusu ise büzülme ile hacim değiştirme, ince çatlakların (fisürlerin) oluşumu vb. durumlar beklenmelidir (Tunç, 2002).

3.TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜ

Binadan kaynaklanan her türlü kuvveti zemine kabul edilebilir gerilmelere çevirerek aktaran yapı elemanları temellerdir. Temeller boyutlandırılırken dikkate alınması gereken kavramlar vardır. Zeminlerde göçme ve ayrı ayrı oturma görülmeden taşıyabileceği maksimum yük miktarına zeminlerin taşıma gücü denir. Temelin taşıma gücü aşağıdaki değişkenlere bağlıdır;

- zemin türü ve özellikleri
- temel boyutları
- temel gömme derinliği
- yükün eğimi ve eksantrikliği
- titreşimler ve moment
- temelin şekli
- temel altında yer alan yer altı su seviyesi
- tabanın pürüzlülüğü (Önalp, Sert, 2010).

Temeller derinliklerine göre iki ana grupta incelenir ;

1. Yüzeysel temeller (tekil temel, sürekli temel, radye temel): Zemin yüzeyine yapıdan kaynaklanan yükleri sığ derinliklere aktaran $D_f/B \leq 1$ olması halinde temele yüzeysel (sığ) temel denir.
2. Derin temel (Kazıklar, ayaklar ve kesonlar): ($D_f/B>1$) Zeminin zayıf olup taşıma gücü aşıldığı zaman yüzeysel temeller yeterli olmazlar. Diğer yandan; bir temel taşıma gücü açısından yeterli olabilir ancak istenilenden fazla oturabilir. Bu durumda yapı yüklerini daha sağlam olan zemin tabakalarına veya kayaya aktaran ve oturmaların istenen sınırlar içinde kalmasını sağlamak için derin temeller inşa edilir (Birand 2001; 2006).

Temeller inşa edilecekleri zeminin özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Bazı zeminler sert, bazıları yumuşaktır. Sert zeminler ıslanınca yumuşayabilir, bazıları şişer ve yüzeysel temelleri kaldırabilir, bazıları göçer ve temel içine batar. İyi temel tasarımı tüm olumsuz koşul ve değişimlerde kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirecek şekilde

yapılan tasarımdır. Önemli bir yapının temel sisteminin tasarımında yapılan hatalar veya yanlış uygulamalar daha sonra ortaya çıkabilir. Bir yapı ve temeli çeşitli afetlere karşın başarıyla ayakta durabiliyorsa, ancak o zaman başarılı bir tasarım ve uygulama yapıldığı düşünülebilir (Çinicioğlu, 2005).

Temel, üst yapı yüklerini taşıyıcı zemin tabakalarına aktarırken zeminde aşırı gerilmeye sebep olmamalıdır. Bu sebeple emniyetli temel tasarımında uygun bir güvenlik sayısı uygulanmalıdır. Kullanılan güvenlik sayısı, temel zemininin kayma göçmesine ve aşırı oturmalara karşı yeterli güveni sağlamalıdır.

Nihai taşıma gücü taşıma göçmesi mekanizması ve bu göçme durumuna ulaştıran statik denge hesabı yapılarak bulunur. Tüm statik denge problemlerinde olduğu gibi göçme mekanizmasının tanımlanmasının ardından bu mekanizmaya etki eden, göçüren kuvvetlere (gerilmeler) karşı koyan kuvvetler (gerilmeler) tanımlanır.

3.1. Yüzeysel Temellerde Göçme Türleri

Yüzeysel temeller uygulanan yapısal yükleri yakın zemin tabakalarına iletirler. Yüklerin iletilmesi esnasında zeminde hem basınç hem de kayma gerilmeleri oluşur. Bu gerilmelerin büyüklükleri temel taban basıncına ve temel büyüklüğüne bağlıdır. Taban basıncının yeteri kadar büyük ve temelin yeterli boyutlarda olmaması durumunda, kayma gerilmeleri zeminin kayma basıncını aşabilir. Bu durumda, taşıma gücü problemi ortaya çıkmaktadır (Coduto, 2005).

Temelden aktarılan yüklerin zeminde oluşturduğu kayma gerilmeleri zeminin kayma mukavemetini aşarsa taşıma gücü göçmesi oluşur. Bu tür göçmeler yıkıcıdır ve mutlaka kaçınılmalıdır (Craig, 2004).

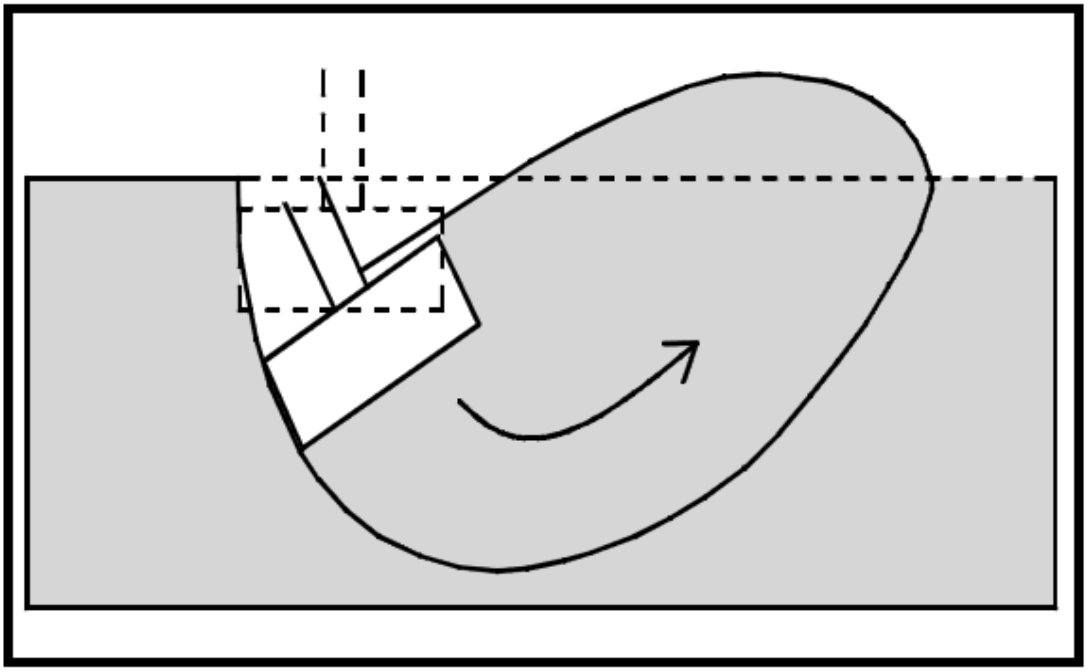
Taşıma gücü göçmelerinin çeşitleri;

1. Genel kayma göçmesi
2. Zımbalama göçmesi
3. Bölgesel (kısmi, yerel) kayma göçmesi

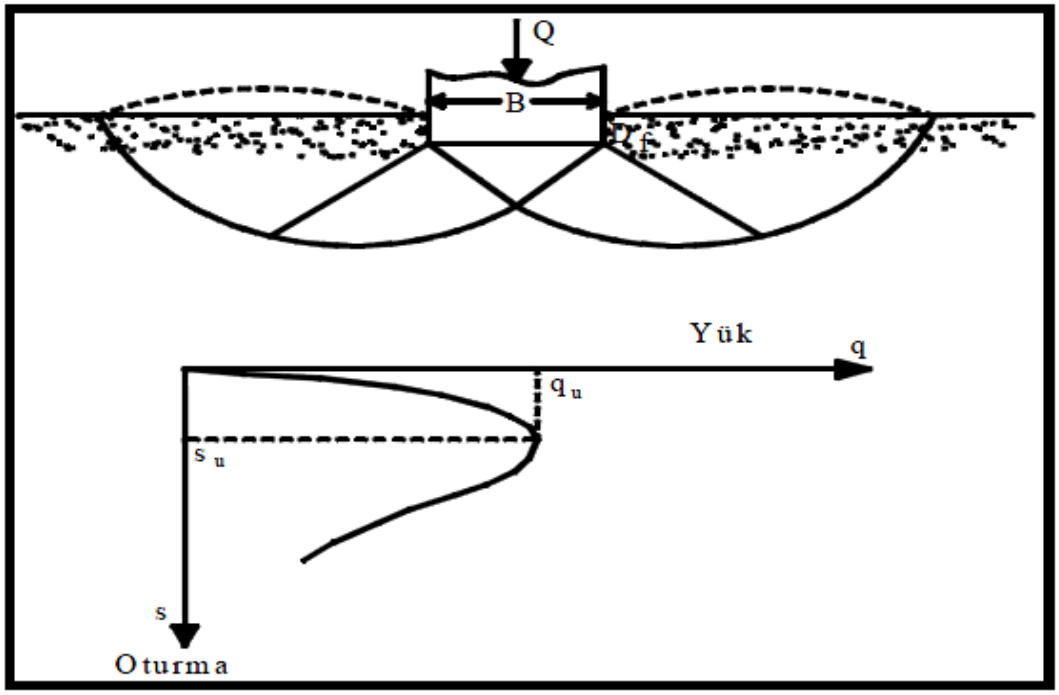
3.2. Genel Kayma Göçmesi

En yaygın göçme şeklidir. Genellikle granüler, sert kohezyonlu zeminlerde ve de orta sert kayalarda, drenajsız koşulun hakim olduğu yeteri kadar hızla yüklenen doygun normal konsolide killerde meydana gelmektedir. Yüzeyde oturan temel için sıkı kumlar (Dr>%65) ve aşırı konsolide killerde (AKO>5) yükleme boyunca temel/plaka oturmaları oldukça düşük iken taşıma yük (G) aniden belirmekte ve sistemde biriken enerji nedeniyle göçme şiddetli olabilmektedir.

Başlangıçta temele uygulanan (G) yükü arttıkça oturmalar da artmakta, göçme yüküne ulaşıldığı zaman yük sabit kalırken oturmalar artmaya devam ederek büyük değerlere ulaşılmaktadır. Temele bitişik zemin yüzeyinde açık bir biçimde oluşan kabarmalar görülmektedir. Kabarmaların temel kenarlarında görülmesine rağmen, göçme sadece bir kenarda oluşur ve buna yönelik olarak temelin döndüğü gözlenmektedir. Zemin, kayma yüzeyleri boyunca kırılarak temel göçer ve zemin yüzeyinde kırılmalar oluşur. Yük-oturma eğrisinde nihai taşıma kapasiteleri (q_u) kolayca belirlenebilir. Şekil 3.1., 3.2. ve 3.3.'de genel kayma göçmesi örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Genel kayma göçmesi (Coduto, 2005)



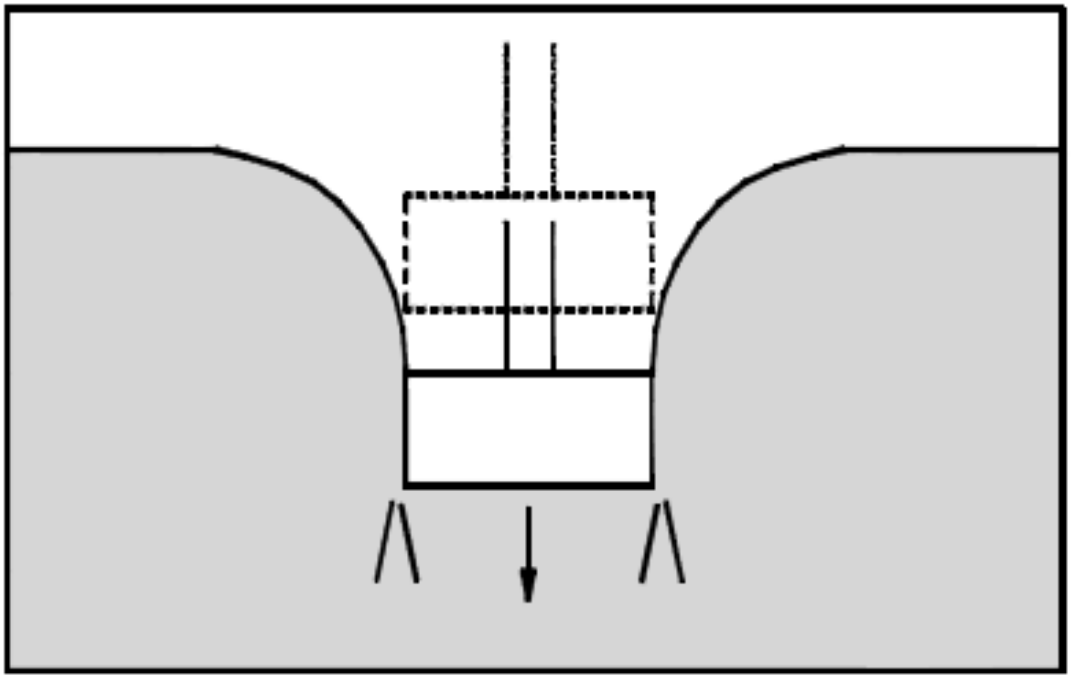
Şekil 3.2. Genel kayma göçmesi ve yük oturma eğrisi (Çinicioğlu,2005)

Şekil 3.3. Meydana gelen kayma göçmesi örneği

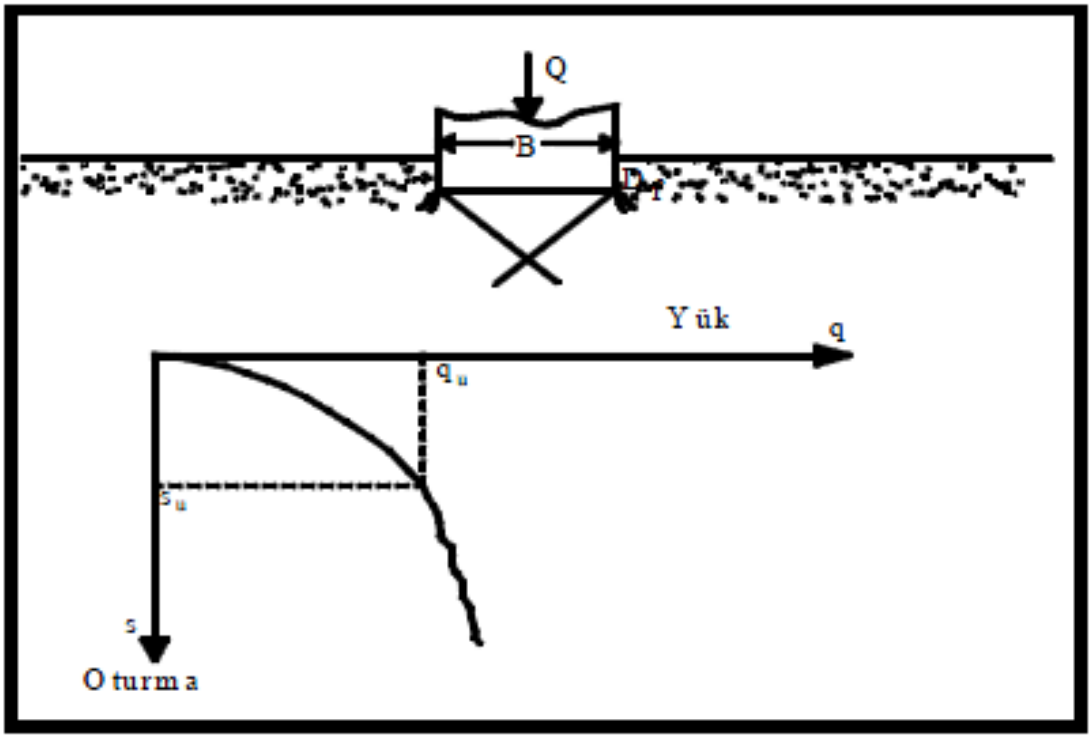
3.3. Zımbalama Göçmesi

Gevşek-çok gevşek kumlar, siltler, moloz ve dolgular ile yumuşak kil tabakalarında yavaş drenajlı koşullar altında, temel ortama bir zımba gibi girmekte, zemin yüzeyinde herhangi bir şekil değiştirme gözlenmemektedir. Oturma-yük eğrilerinde bölgesel (kısmi, yerel) kayma kırılmasına benzer olarak fakat kırılma noktası belirgin değildir. Temel yanlarında kırılma, çok az kabarma veya kabarma oluşmaz. Kırılma yüzeyleri oluşmadan bu tip zeminlerde zeminin yüksek sıkışabilirliğinden dolayı büyük oturmalar gözlenmektedir.

Nihai taşıma gücü değeri çizilen eğrilerin başlangıç ve bitiş teğetlerinin kesişim noktasındaki değerler alınarak hesap edilmektedir. Nihai taşıma kapasitesinin (qu) belirlenmesinde iki farklı yöntem ileri sürülmüştür. Zımbalama göçmesi örnekleri Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6' de verilmiştir.



Şekil 3.4.Zımbalama göçmesi (Coduto, 2005)



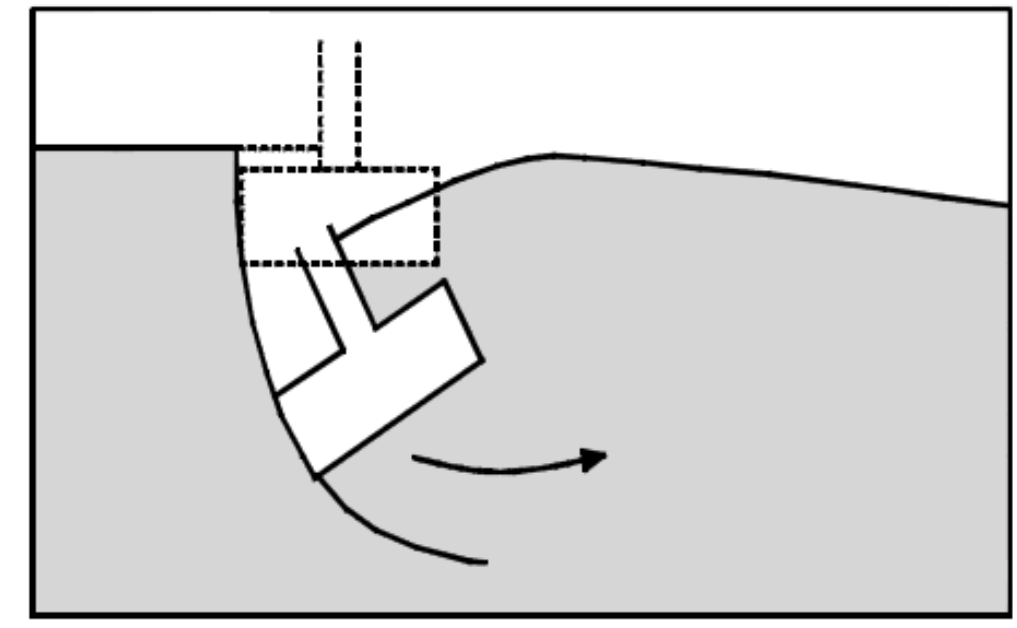
Şekil 3.5. Zımbalama göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Das, 1999)

Şekil 3.6. Zımbalama göçmesi örneği (Çinicioğlu, 2005).

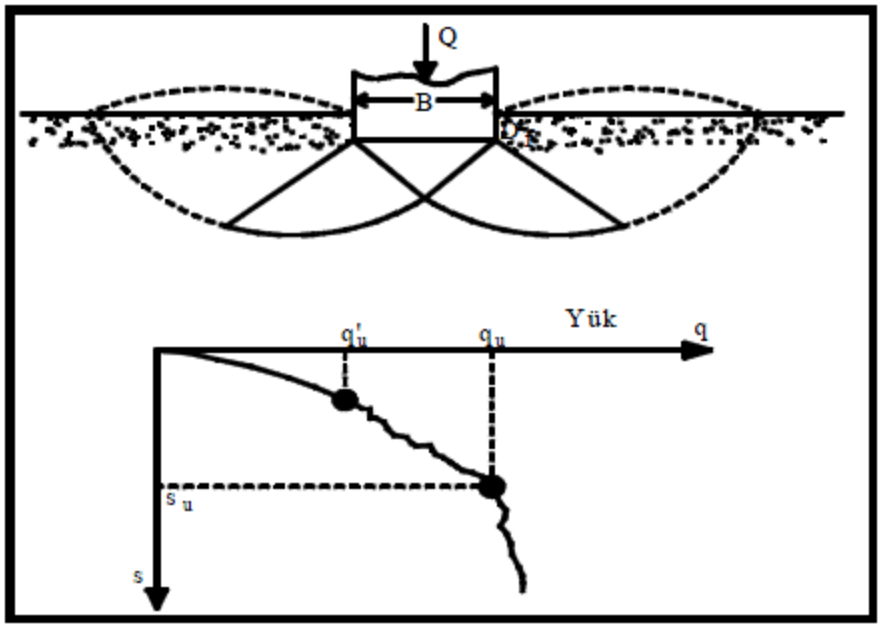
3.4. Bölgesel Kayma Göçmesi

Bölgesel kayma göçmesi bir ara durumdur. Kayma yüzeyleri temel altında iyi tanımlanmamış olup, daha sonra zemin yüzeyine yakın bir yerde belirsiz hale geçer. Orta sıkı-gevşek kumlarda veya hafif-orta aşırı konsolide killerde daha çok görülen göçme tipidir. Yük-oturma eğrisi üç bölgeden oluşmaktadır (Craig, 2004).

1. $q=q_u$ değerine kadar yük arttırılırsa, oturmalar artmakta ve q_u değeri ilk göçme yüküdür. Bu bölgede zemin daha çok düşey yönde sıkışırken çok az yanal deformasyonlar oluşur.
2. Yük arttırıldığında yük-oturma eğrisinin dik ve düzensiz arttığı gözlenmektedir. Zemin hareketleri yukarıya ve dışa doğrudur.
3. $q=q_u$ olduğunda göçme yüzeyi zemin yüzeyine yakın bir yerde ve yüklemeye devam edilirse zemin yüzeyinde kabarmalar oluşur. Yük oturma eğrisi lineer olarak artmakta fakat q_u değeri belirgin değildir. Şekil 3.7 ve 3.8 ' da bölgesel kayma göçmesi örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Bölgesel kayma göçmesi (Coduto, 2005)



Şekil 3.8. Bölgesel (kısmi, yerel) kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Craig, 2004)

3.5. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü

Yüzeysel temellerin taşıma gücü ilk kez 1973'te Terzaghi tarafından Prandtl teorisine dayanılarak belirli bir mantık içersinde açıklanmıştır. Prandtl sert çelik bir zımbanın bir diğer metal yüzeye bastırıldığında beliren plastik şekil değiştirmeyi incelemiştir. Bu yaklaşımı izleyerek zemin, temel, yük koşulları için onlarca teori ve çözüm geliştirmişse de bunların arasında süzülen Meyerhof (1951), Brinch Hansen (1961), Vesic (1975) teorileri günümüzde en çok kullanılanlardır.

Taşıma gücü aşağıda belirtilen 4 farklı metod ile çözülebilir;

- Sonlu eleman metodu
- Kayma çizgileri metodu
- Denge limiti metodu
- Gerilme limiti metodu

Kayma çizgileri metodu, Denge limiti metodu ve Gerilme limiti metodu taşıma gücünü plastisite sorunu olarak incelerken sonlu eleman metodunda yükleme ortamındaki ötelenmeleri bulabilmek mümkündür.

Kayma çizgileri ya da yüzeyleri, metodunda temel yakınında kayma gerilmeleri bir ağ biçiminde temsil edilir. Bu kayma gerilmesi çizgileri yükleme sonucunda oluşan maksimum değerleri göstermektedir. Düzlem gerilme problemlerinde iki plastik denge diferansiyel denklemi, bir de yenilme denkleminin kullanımı ile üç bilinmeyen gerilme için çözüm yapılmaktadır. Çözümlere analitik yoldan ulaşıldığı gibi sayısal, hatta çizimlerle de varılabilir.

Limit denge yaklaşımında yukarıdaki yaklaşımda gözetilen kayma yüzeyleri alanı yaklaşık yöntemlerle çözülmektedir. Kayma yüzeyi ve buradaki normal gerilmeler için çözümü basitleştirici kabuller yapılmaktadır. Bu yöntemler alt ve üst limit durum çözümleri getirir. Üst limit çözümü gerekli sınır koşullarını kinematik olarak kabul edebilir bir hız alanından hesaplar ve belirli süreksizlik yüzeyleri dışında, sürekli bir çözümdür. Alt limit çözümleri ise hiçbir yerde yenilme ihlali yapılmayan, statik açıdan kabul edilebilir gerilme alanı ve koşullarını denge durumunda sağlarlar. Her iki çözüm sonucunun çakışması eldeki problemde gerçek çözüme ulaşıldığı anlamına gelir.

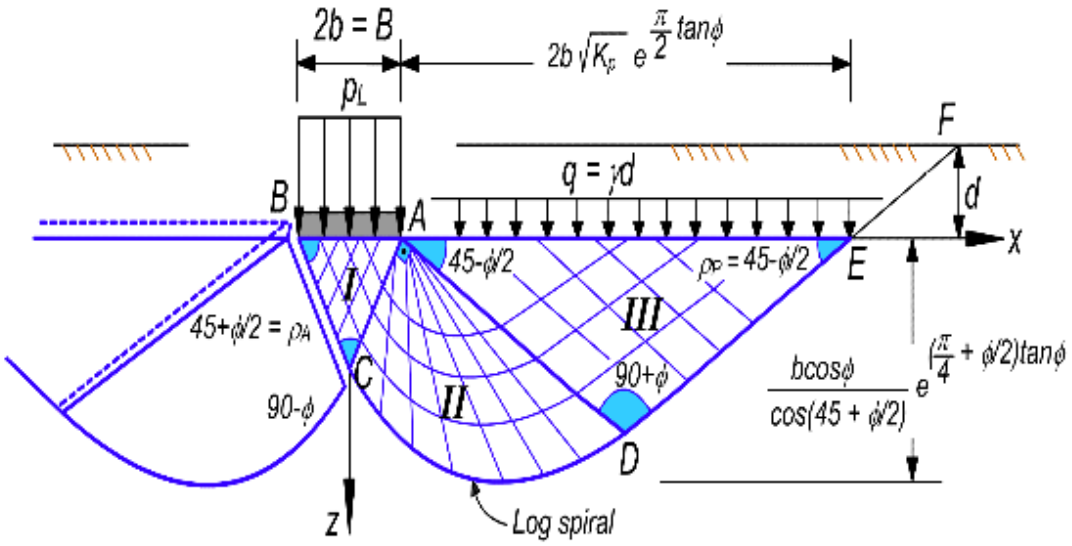
Limit gerime metodunda diğerlerinden farklı olarak normalite olarak adlandırılan zeminin idealleştirilmiş gerilme- birim boy değiştirme bağıntısı göz önüne alınır ve Drucker'in plastik limit teoremleri kullanılır.

Sonlu elemanlar metodunda ortam istenilen denli küçük parçalara ayrılıp her parça ve bölge için fiziksel ve mekanik özellikler verilebildiğinden heterojen ortam da dahil tüm süreç üzerinde kontrol sağlanmakta ve problem üst ve alt limit koşullarında çözülebilmektedir. Bu amaca uygun Abaqus, Plaxis, Crips, Diana, Lusas, Hypermesh adlarında sayısal analiz yazılımları mevcuttur (Önalp, Sert, 2010).

3.5.1. Terzaghi taşıma gücü hesabı

Temellerin taşıma gücü hesaplamaları ile ilgili ilk çalışmalardan olan ve günümüzde yaygın olarak kabul edilen formüller, Terzaghi (1943) tarafından geliştirilmiştir. Terzaghi teorisini geliştirirken, zeminin taşıma gücü limit değerine ulaştığı andaki davranışını Şekil 2.20' de gösterildiği gibi kabul etmiştir. Buna göre, hemen temelin altında kalan I. bölge, temel ile birlikte düşey yönde hareket eden kama bölümüdür. II. bölge ise, ışınsal kayma bölümünü temsil eden logaritmik spiral bir eğridir. Son olarak,

zeminin düzlemsel yüzeyler boyunca hareket ettiği doğrusal kayma bölümünü temsil eden III. Bölge gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Terzaghi taşıma kapasitesi sınır durumu (Çinicioğlu, 2005).

Terzaghi çalışmalarında, temel derinliği boyunca zeminin kayma dayanımını ihmal ederek, kayma yüzeyi üzerindeki zemini sürşarj etkisi olarak almıştır. Bu yöntem yüzeysel temeller için kabul edilebilir bulunmaktadır.

Terzaghi, taşıma kapasitesi hesaplarında çeşitli kabuller yapmıştır. Bunlar, aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Coduto, 2001).

1.Temel derinliği D olmak üzere, temel genişliği B'den daha küçük olmalıdır (Yüzeysel temel şartı D ≤ B).

2.Temel tabanı, temel ve zemin arasında kayma oluşmayacak şekilde pürüzlü olmalıdır.

3.Zemin, homojen yarı sonsuz üniform bir kütledir.

4.Taşıma gücü limit değerlerine ulaşıldığında, zeminde genel kesme kırılması oluşur.

5.Zeminde konsolidasyon oturması oluşmaz.

6.Temel zemine göre çok rijittir.

7.Temele etkiyen yükler, basınç şeklinde olup, eksantrisite mevcut değildir.

Terzaghi, ilk hesaplamalarını sürekli temeller için gerçekleştirmiştir. Devam eden süreçte, deneysel olarak elde ettiği sonuçları kullanarak, kare ve dikdörtgen temeller için de

geometrik katsayılar geliştirmiştir. Terzaghi taşıma gücü formülü, aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$q_n = c' * N_c * s_c + \sigma z' * N_q + 0{,}5 * \gamma' * B * N_\gamma \quad \text{(Eş. 3.1)}$$

Burada;

qn : Zeminin nihai taşıma gücünü

c': Temel zemininin efektif kohezyonunu

$\sigma'z$: Temel derinliğindeki efektif düşey gerilmesini

γ': Zemin efektif birim hacim ağırlığını

B : Temel genişliğini

Nc, Nq ve Nγ : İçsel sürtünme açısına bağlı terzaghi taşıma gücü faktörlerini temsil etmektedir. Terzaghi'nin taşıma gücü formülü, efektif gerilmeler için geliştirilmiş olsa da, bu formül toplam gerilme analizinde de kullanılabilir. Terzaghi taşıma gücü faktörleri olan Nc, Nq ve Nγ, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$N_c = (N_q - 1) * \cot\Phi \quad \text{(Eş. 3.2)}$$

$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right)\tan\theta}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\theta}{2}\right)} \quad \text{(Eş. 3.3)}$$

$$N_\gamma = \frac{\tan\theta}{2}\left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2} - 1\right) \quad \text{(Eş. 3.4)}$$

3.5.2. Meyerhof taşıma gücü hesabı

Meyerhof (1951,1963), Terzaghi'nin hesaplamalarına benzer bir yaklaşımla, temellerin şekil ve derinlik faktörlerini de dikkate alarak bir taşıma gücü formülü geliştirmiştir. Ayrıca, temelin düşey yüklerin yanı sıra yatay yüklerin de etkisinde olduğu durumlar için yük eğim faktörlerini içeren bir yaklaşımı da mevcuttur. Meyerhof taşıma gücü formülleri, aşağıda verildiği şekilde kullanılmaktadır;

$$q_n = c * N_c * s_c * d_c + \sigma z * N_q * s_q * d_q + 0{,}5 * \gamma * B * N_\gamma * s_\gamma * d_\gamma \quad \text{(Eş. 3.5)}$$

$$qn=c*Nc*ic*dc+ \sigma z*Nq*iq*dq+0,5*\gamma*B*N\gamma*i\gamma*d\gamma \quad \text{(Eş. 3.6)}$$

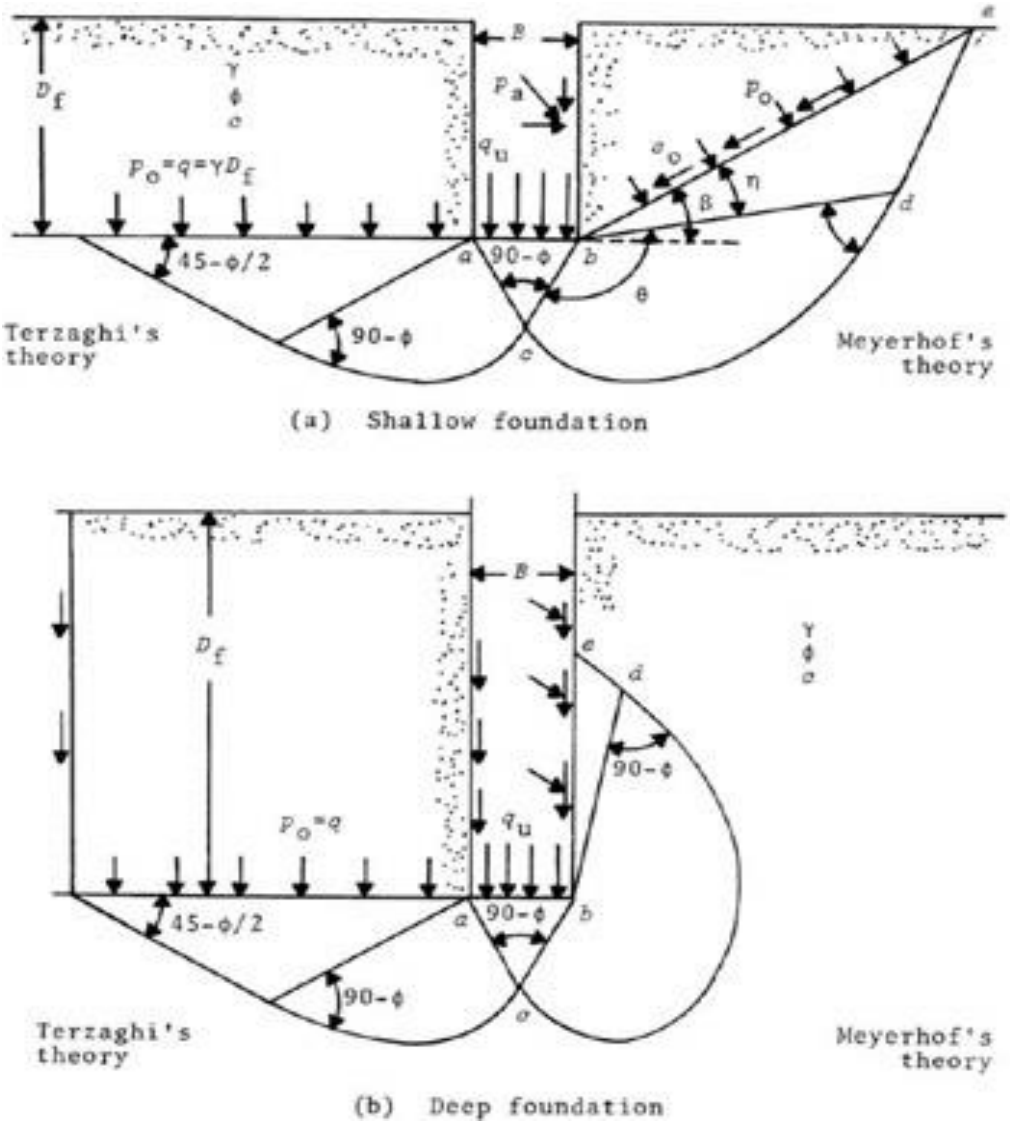
Burada, Terzaghi taşıma gücü formülüne ek olarak;

dc, dq ve dγ : Derinlik faktörleri

sc, sq ve sγ : Temel şekil faktörleri

ic, iq ve iγ : Yük eğim faktörleri kullanılmaktadır.

Meyerhof'un taşıma gücü hesaplarına esas kullandığı zemin kırılma yüzeyine ait şematik gösterim, Şekil 3.10' de verilmiştir. Buna göre, abc üçgeni temel ile hareket eden kama bölgesini, bcd ve cd logaritmik spiral çizgisi ile sınırlanmış bölge, açısal kayma bölgesini, bde üçgeni ise karışık kayma bölgesini temsil etmektedir. be çizgisinin oluşturduğu düzlem, eşdeğer serbest yüzey olarak adlandırılır (Das, 1999).



Şekil 3.10. Meyerhof taşıma kapasitesi sınır durum şematik gösterimi (Das, 1999).

Meyerhof zemini abc; elastik zon, bcd; radyal kayma zonu, bde; karışım kayma zonu, olmak üzere üç ana bölgeye ayırmıştır. Tasıma gücü faktörlerini de buna bağlı olarak tekrar hesaplamıştır.

Meyerhof taşıma gücü faktörleri olan Nc, Nq ve Nγ değerlerinin, içsel sürtünme açısına göre değişmektedir.

$$Nc = (Nq-1) * \cot\Phi \quad \text{(Eş. 3.7)}$$

$$N\gamma = (Nq-1) * \tan(1{,}4\Phi) \quad \text{(Eş. 3.8)}$$

$$Nq = \tan\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right) e^{\pi tan^{\Phi}} \quad \text{(Eş. 3.9)}$$

3.5.3. Hansen taşıma gücü hesabı

Hansen (1970), Meyerhof (1951) taşıma gücü hesabına paralellik gösteren ve ona ek olarak, yük eğim açısı faktörlerini, zemin eğim faktörlerini ve temel sapma faktörlerini dikkate alan bir formül geliştirmiştir. Burada kullanılan temel sapma faktörü i, temel tabanının yatay düzlemden η açısı kadar sapması durumunda ve zemin eğim faktörü ig de, temelin yan yüzünü destekleyen zeminde β açısı kadar bir eğim bulunması durumunda dikkate alınan değerlerdir. ii yük eğim faktörleri ise, temele etkiyen yatay ve düşey yük bulunması durumunda oluşacak bileşke yüklerin düşey eksenden kaçıklığını dikkate alan katsayılardır. Buna göre, Hansen taşıma gücü formülü aşağıdaki gibi verilmektedir (Bowles, 1996).

$$q_n=cN_cs_cd_ci_cg_cb_c+\sigma_zN_qs_qd_qi_qg_qb_q+0,5_\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \qquad \text{(Eş. 3.10)}$$

Formülde kullanılan taşıma gücü katsayıları Nc ve Nq, Meyerhof formülünde kullanılanlarla aynı şekilde hesaplanmaktadır. Farklı olarak, Nγ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$N\gamma=1,5*(Nq-1)*\tan\Phi \qquad \text{(Eş. 3.11)}$$

Burada;

bc, bq, bγ temel sapma faktörleri,

gc, gq, gγ zemin eğim faktörleri

ic, iq, iγ yük eğim faktörleri

ic', iγ' : İçsel sürtünme açısı ϕ sıfıra eşitken yük eğim faktörleri

gc' : İçsel sürtünme açısı ϕ sıfıra eşitken zemin eğim faktörü

bc' : İçsel sürtünme açısı ϕ sıfıra eşitken temel sapma faktörü

Hi : Temele etkiyen yanal yük

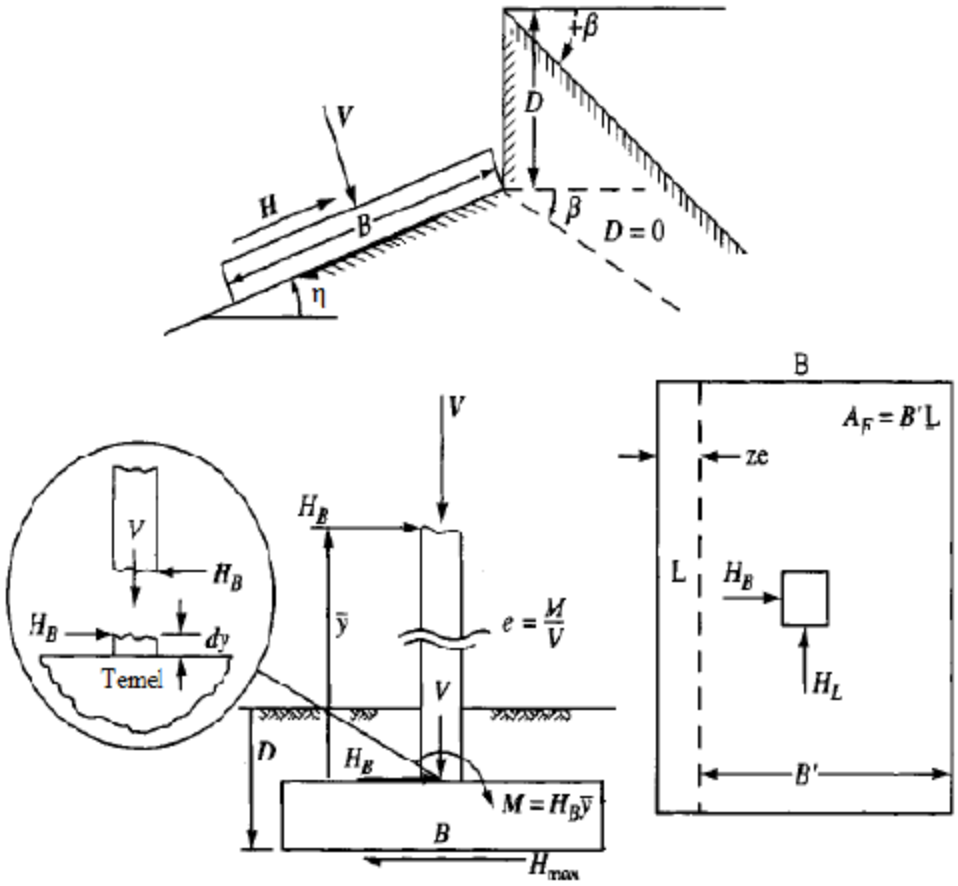
V : Temele etkiyen düşey yük

Af : Temel efektif alanı

ca : Taban adezyonu ($0,6c \leq ca \leq 1,0c$)

η : Tabanın yatayla yaptığı açı

β : Temel yüzüne bitişik zeminin yatayla yaptığı açı değerlerini temsil etmektedirler. Bu hesaplamalara esas şematik gösterim Şekil 3.11' de verilmiştir.



Şekil 3.11. Hansen taşıma kapasitesi hesabı şematik gösterimi (Bowles, 1996).

3.5.4. Vesic taşıma gücü hesabı

Vesic (1973, 1975) taşıma gücü hesaplama yöntemi, Hansen (1961) tarafından geliştirilen yönteme benzemektedir. İki yöntem arasındaki farklılıklardan biri, Nγ taşıma gücü faktörüdür. Vesic, bi temel sapma faktörleri, gi zemin eğim faktörleri ve ii yük eğim faktörlerinin hesaplanmalarında da farklı yaklaşımlar geliştirmiştir. Ayrıca, Vesic tarafından geliştirilen taşıma gücü faktörü Nγ hesaplaması aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

$$N\gamma = 2*(Nq+1)*\tan\theta \qquad \text{(Eş. 3.12)}$$

Vesic, Hansen'in aksine taşıma gücü hesaplamalarında, eksantrisite etkisini dikkate almayarak, temel boyutlarını olduğu gibi kabul etmektedir.

3.5.5. Genel taşıma gücü formülü

Çalışmaların sonunda kabul edilmiş en genel nihai tasıma gücü formülü aşağıda verilmiştir.

$q_n=cN_c(sc\ dc\ ic\ bc\ gc) + \gamma D_f\ N_q\ (sq\ dq\ iq\ bq\ gq) + 0{,}5_{\gamma}BN_{\gamma}(s\ \gamma\ d\ \gamma\ i\gamma\ b\gamma\ g\ \gamma)$ (Eş. 3.13)

3.5.6. İzin verilebilir taşıma gücü

Taşıma gücü analizlerinin çoğu izin verilebilir tasarım yöntemleri kullanılarak yapılır. Nihai taşıma gücü emniyet faktörüne bölünerek elde edilir; zemin emniyet gerilmesi olarak da adlandırılır.

$q_a = \frac{q_{nih}}{GS}$ (Eş. 3.14)

4. ZEMİNLERDE OTURMA

Herhangi bir bina, yapı veya dolgu yapıldığı zaman bunların altında bulunan zeminin, gerilme koşullarında artış meydana gelir. Bu artış sonucunda yapı altındaki zeminde sıkışmalar veya oturmalar meydan gelir. Zemin kitlesinde oluşan gerilmelerin herhangi bir sebeple geri gelmesi sonucu zeminde kabarmalar meydana gelir. Dolayısıyla yüke bağlı olarak zemin hacminde değişiklikler oluşur. Bu değişikliklerde zemin yapılarının projelendirilmesinde en etkili faktörler olmaktadır (Aytekin,2004).

Mühendisler 1950'lere kadar tasarım projelerini taşıma gücüne göre yapmaktaydılar. Taşıma gücünün yeterli olduğu durumda temelin oturma yapmayacağını söylemişlerdir. Ancak Hough (1959) her ikisinin de beraber ele alınması gerektiğini vurgulamıştır. Mühendislik yapılarının temel tasarımında oturmanın hızı da oturma miktarı kadar önemlidir. Özellikle aşırı oturmalar, oturmanın hızlı olduğu durumlarda ve oturma hızlı olmasa bile farklı oturmalar yapısal ve/veya yapısal olmayan hasarlara yol açabilir. Toplam oturmayı oluşturan üç bileşen aşağıda verilmiştir;

$$S_t = S_i + S_c + S_s \qquad \text{(Eş.3.15)}$$

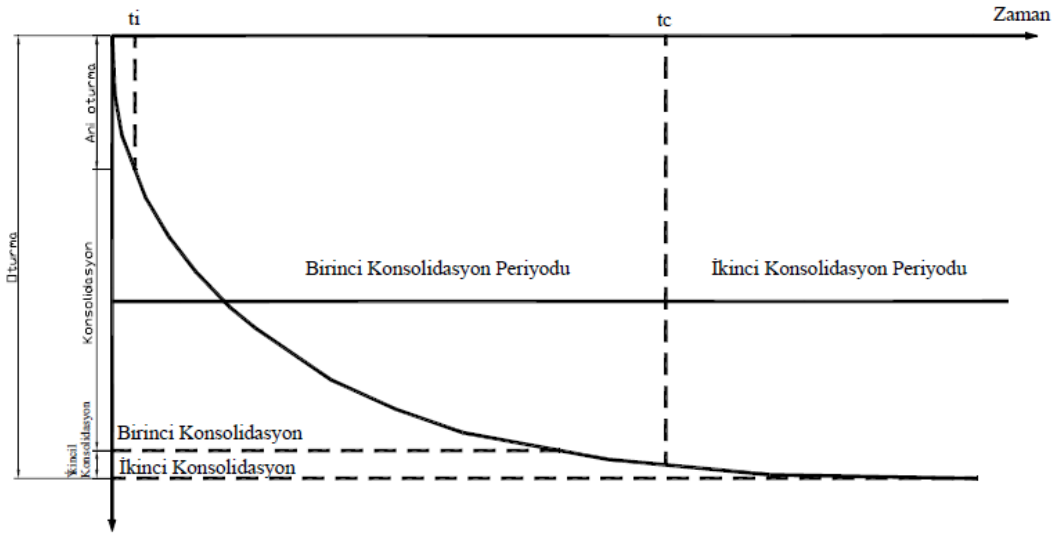
Uygulamada karşılaşılan pek çok durumda kumlardaki sıkışma henüz inşaat devam ederken meydana gelir ve oturmaların çoğu inşaat bitene kadar gerçekleşmiş olur. Ancak,bu hızlı işlemden dolayı, iri taneli malzemede çok küçük toplam oturmalar bile özellikle çabuk oturmaya duyarlı yapılarda zararlı olabilmektedir. Ancak kil gibi ince daneli malzemelerde bu durum söz konusu değildir. Yüklemeye maruz kalan bir zeminde toplam oturmanın (St), ani oturma (distorsiyon oturma) (Si), konsolidasyon oturması (zamana bağlı) (Sc) ve ikincil oturma (zamana bağlı) (Ss) olmak üzere üç bileşeni vardır.

4.1. Ani oturma

Zemin hacim şekil değiştirmesine sebep olan distorsiyon oturması genellikle temellerin kohezif zemin birikintileri üzerinde desteklendiği toplam oturmanın küçük bir kısmıdır. t=o anında gerçekleşir. (Basmacı, 2010)

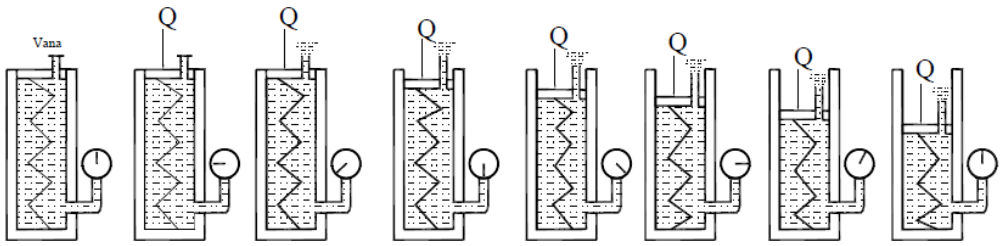
4.2. Konsolidasyon Oturması (Reolojik Model)

Konsolidasyon oturması birincil ve ikincil konsolidasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Birincil konsolidasyon ikincil konsolidasyona göre daha büyüktür ve daha hızlı gerçekleşir. İkincil konsolidasyon sonucunda ise zeminde plastik şekil değiştirme ve karmaşık kimyasal yapılar oluşur.



Şekil 4.1. Kohezyonlu zeminlerin yük altında toplam oturması (Cernica, 1995).

Killerin konsolidasyonu yay mantığı ile kolayca açıklanır. Şekil 4.2' de gösterilmiştir. Bu sistemde yay zemine karşılık gelirken, su gözeneklerde bulunan suyu, vana ise zeminin geçirgenliğini anlatmak için kullanılır. Silindire yerleştirilen basınç kompaktörü ile zemin içinde belirli bir seviyedeki hidrostatik basınç ölçülür. Piston üzerine yük yüklenerek yükün basıncı suya aktarılır. Boşluk suyu basıncı başlangıçtaki hidrostatik basınçtan büyük olduğu için aşırı hidrostatik basınç olarak adlandırılır. Killerde olduğu gibi düşük permeabiliteli zemin şartlarını oluşturmak için vana açılır ve silindir içindeki suyun dışarı çıkışına izin verilir. Suyun dışarı çıkışı sırasında hidrostatik basınç azalır ve bu basınç farkı suya aktarılır. Yay üzerine etkiyen basıncın artmasına bağlı olarak yay denge konumuna gelinceye kadar sıkışır. Denge konumuna geldiğinde yayın sıkışması ile birlikte suyun dışarı çıkışı da durur. Arazide ve laboratuvarda zeminlerin yüklenmesi durumunda kabaca nasıl davranacakları en kolay yolla bu şekilde ifade edilebilmektedir.

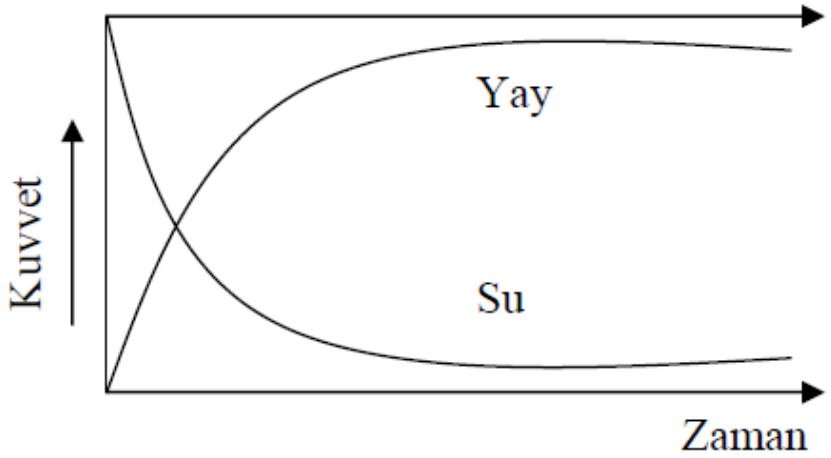


Şekil 4.2. Konsolidasyonda yay modeli (Cernica, 1995)

$$\sigma = ó + \mu \qquad \text{(Eş. 4.1)}$$

ifadesi ile zemin daneleri üzerine etkiyen basınçlar ifade edilebilir.

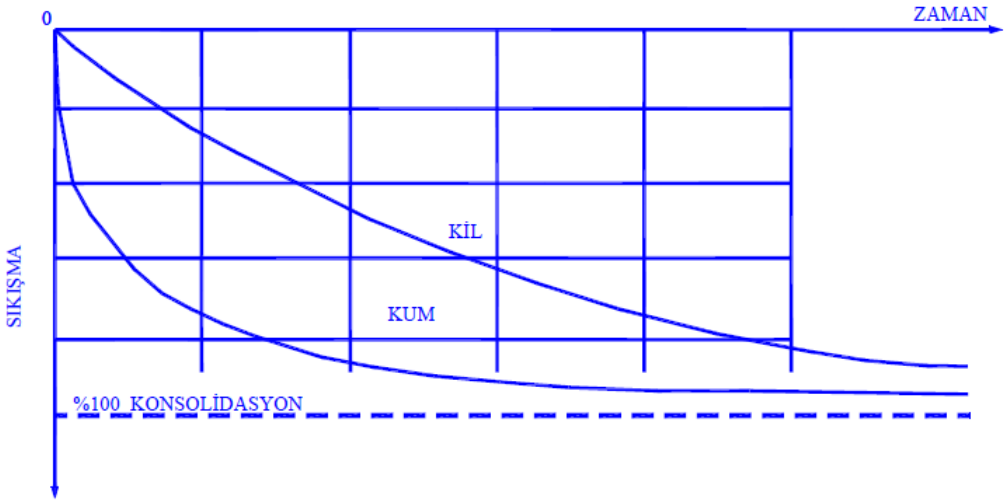
Yay analojisi ile ifade edilmeye çalışılan konsolidasyon, birincil konsolidasyon olarak adlandırılırken; bazı durumlarda kil zeminlerde aşırı hidrostatik basınç artmaya devam ederek konsolidasyonun devam etmesine olanak sağlar. Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Bu şekilde meydana gelen konsolidasyona da ikincil konsolidasyon adı verilir.



Şekil 4.3. Konsolidasyon sırasında meydana gelen yük transferi (Lambe ve Whitman, 1969).

Konsolidasyon oturması , zamana ve permeabiliteye bağlı oturmadır ve doygun veya yarı doygun silt veya killerde gerçekleşir. Bu tür zeminlerin permeabilitesi düşük olduğundan oturma yavaş gerçekleşir. Konsolidasyon oturmasının tamamlanması yıllarca

sürebilir. Kohezyonsuz zeminlerde ise permeabilte yüksek olduğundan oturma hızlı gerçekleşir. Şekil 4.4' da gösterilmiştir (Yüksel, 2007).



Şekil 4.4. Yük altındaki bir zemindeki konsolidasyon-zaman ilişkisi (Cernica, 1995)

Gerilme-birim deformasyon ilişkisinde zamanı bir faktör olarak içeren malzemeler viskoelastik malzemelerdir. Zeminler mekanik davranış açısından viskoz özellik göstermekle birlikte zeminde elastik davranış çok dar bir deformasyon aralığında oluşur. Zeminlerin doğrusal olmayan malzemeler olması sebebiyle visko-elastite teorisi değil elastik viskoplastik davranış özellikleri zemin için uygun tanımlamayı içerir. Zeminler gerilmeye maruz kaldığında şekil değişikliğine uğrar ve elastik davranış bölgesi geçildikten sonra gerilmenin kalkması durumunda deformasyonların önemli bir kısmı geri dönmeyecektir ve kalıcı deformasyon olarak zemin dokusunda değişime sebep olacaktır. Zemindeki her yük boşaltılmasından sonra geri gelmeyen deformasyonlar artmaktadır. Zeminlerin bu şekilde davranmasındaki etkenler şunlardır;

a) Zemin oluşumu sırasında aldığı gerilmeler
b) Zeminin moleküler yapısı
c) Daneler arasındaki kohezyon kuvveti veya çimentolaşma
d) Doğal yoğunluğu
e) Danelerin şekli, büyüklüğü ve dayanımları
f) Yoğunluk derecesi
g) Permeabilite (geçirimlilik) (Çinicioğlu, 2005).

4.3. İkincil Oturma

Konsolidasyon oturması boşluk suyu basıncının azalması ve buna bağlı efektif gerilme artışı ile zaman içerisinde oluşmakta ve ilave basınç etkisi boşluk suyundan tanelere nakledilince yani ilave boşluk suyu basınçları sönümlenip bu basınç zemin tarafından efektif gerilme artışı olarak algılanınca durmaktadır. İkincil sıkışma ise konsolidasyon ile başlayan sıkışmanın sabit efektif gerilme altında bir devamı eklinde oluşmakta ve sünme (krip) benzeri bir davranış sunmaktadır. İkincil sıkışma hızı, konsolidasyon hızından çok daha yavaştır (Koç ve Kayalar, 2002).

5. NÜMERİK ANALİZ

5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Karmaşık bir sistemin davranışının ne olacağına sistemi bütün olarak ele alıp karar vermek yerine onu parçalar veya elemanlar düzeyinde inceleyip ayrı ayrı davranışlar anlaşıldıktan sonra tekrar orijinal sisteme dönüp bütünün davranışına karar vermek mühendisler, bilim adamları ve hatta ekonomistler tarafından kullanılan bir yoldur.

Bazı durumlarda sistemi, sonlu sayıda iyi tanımlanmış bileşene ayırmak olanaklıdır. Bu tür problemlere ayrık problemler denir. Ancak, kimi zaman bölme işlemi tanımsız bir şekilde uzar ve problem sonsuz küçük bir parçanın matematiksel benzeşimiyle tanımlanabilir. Bu tür sistemler için sürekli terimi kullanılır. Sürekli sistemin çözümü için ise çeşitli matematiksel teknikler geliştirilmektedir.

Ayrıl problemlerdeki çözümlerin yaklaşıklığının gerçek çözüme yakınsaklığını sağlamak için mühendisler ve matematikçiler zaman içinde farklılaşarak çeşitli ayırma teknikleri geliştirmektedir. Diferansiyel denklem içeren problemlere doğrudan uygulanabilecek olan sonlu farklar yaklaşımı, çeşitli ağırlıklı kalan yöntemleri ve fonksiyonelleri belirlemek için yaklaşık teknikler ilk olarak geliştirilmiş tekniklerdir.
Sonlu elemanlar yöntemi geliştikten sonra yapı mühendisleri her bir eleman için kuvvet – deplasman ilişkilerinden yola çıkarak, tüm sisteme geçip, bilinmeyen deplasmanları elde edebilmişlerdir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanan yapı sistemleri sonlu sayıda ve sonlu uzaklıktaki düğüm noktalarında temas halinde bulunan elemanların bir birleşimi olarak incelenir. Böylece, her bir elemanın davranış denklemlerimin çözülmesi sonucunda, tüm taşıyıcı sistemin davranışı belirlenmiş olur. Sonlu Elemanlar Yönteminde çözümün gerçeğe yakınlığı ile sistemin veya ortamın bölündüğü eleman sayısı arasında bir ilişki vardır.

Sonlu elemanlar yönteminin yaklaşık bir yöntem olmasının nedenleri;

- Eleman rijitlik matrisinin yaklaşık olması,

- Süreklilik şartlarının ve denge denklemlerinin yalnızca bağlantı noktalarında sağlanması,
- Sınır şartlarının, yalnızca düğüm noktalarında sağlanması,
- Sistemin üzerinde verilen yüklerin, eşdeğer düğüm noktaları kuvvetlerine çevrilmesi olarak açıklanabilir.

Sonlu Elemanlar Yöntemini;

1. Deplasman yöntemi,
2. Kuvvet yöntemi
3. Karışık formülasyon

olmak üzere üç tipe ayırmak mümkündür. En yaygın olarak kullanılan yöntem, deplasman yöntemidir. Deplasman yönteminin uygulanmasında genelde izlenen yol şu şekilde özetlenebilir;

a)Yapı sistemi veya sürekli ortam, fiktif çizgiler ve yüzeylerle belirli sayıda elemana ayrılı. Elemanların birbirine bağlandığı köşe noktalarında düğüm noktaları adı verilir.

b)Elemanların, sınırlar üzerinde bulunan belirli sayıda düğüm noktasına temas halinde olduğu varsayılır. Her düğüm noktasında, elemanın davranışına uygun olarak tarif edilen düğüm noktası deplasmanları, problemlimin asıl bilinmeyen parametrelerini oluşturur.

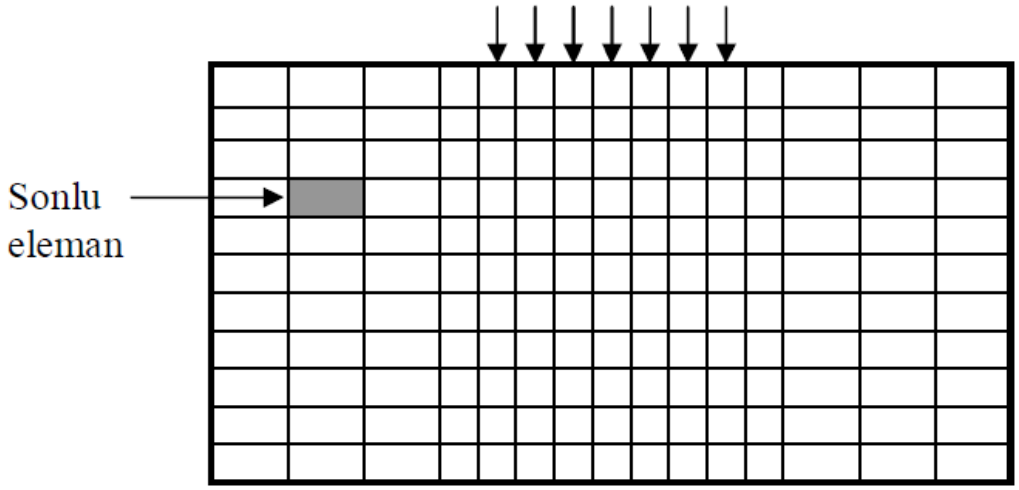
c)Eleman kendi içindeki deplasman durumunu tanımlamak üzere, düğüm noktası deplasmanları ve koordinatlarına bağlı polinom tipinde fonksiyonlar seçilir. Bu amaçla seçilecek polinomun terim sayısının düğüm noktalarının deplasman bileşenleri sayısına eşit olması gerekir. Bir sonlu elemanda düğüm noktasının deplasman bileşen sayısı ne kadar büyükse, deplasmanlar için seçilecek fonksiyonun derecesi de o kadar büyük olacaktır. Özellikle deplasmanlarda, sürekli ortamı bölmekten kaynaklanan hatalar azalacaktır. Buna karşılık, bilinmeyen sayısının artması sonucu rijitlik matrisinin boyutlarının büyümesinden dolayı hesaplamanın uzaması ve bilgisayar bellek kapasitesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, eleman büyüklükleri ve düğüm noktalarının serbestlik dereceleri dengeli bir biçimde seçilmelidir.

d)Eleman içindeki deformasyon durumu, düğüm noktalarının deplasman cinsinden tanımlayan seçilmiş deplasman fonksiyonları gerekli türevler alınarak, malzemenin elastik özellikleri ile birlikte, eleman sınırlarında her noktadaki gerilme durumunu tanımlarlar.

e) Düğüm noktalarına yoğunlaştıran dış yükler ile düğüm noktalarının deplasmanları arasındaki ilişkiyi kuran eleman rijitlik matrisleri elde edilir.

f) Eleman rijitlik matrislerinden, kodlama yöntemi ile toplam sistem rijitlik matrisine geçilir.

g) Sistem rijitlik matrisi yardımıyla, sistemin gerçek davranış denklemleri kurularak, düğüm noktalarının deplasmanları, daha sonra da sistemin şekil değiştirme ve gerilme bileşenleri elde edilir.



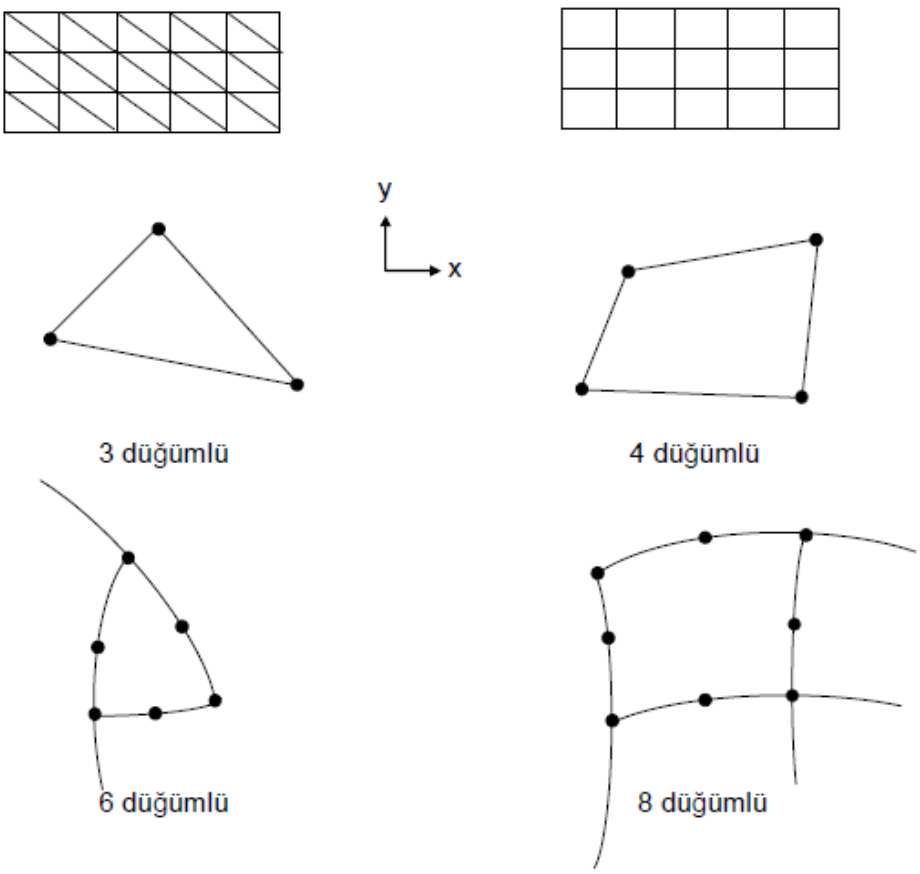
Şekil 5.1. Sürekli Bir Sistemin Sonlu Elemanlara Ayrılması (Plaxis Manual, 2007)

5.2. Sonlu Eleman Çeşitleri

Belirtildiği gibi sonlu elemanlar yöntemi uygulanmasında yapılacak ilk iş, Şekil 5.1.'deki gibi sürekli ortamı veya sistemi sonlu sayıda elemana bölmektir. Şekil 5.2'de tipik 2 boyutlu elemanlardan bazıları gösterilmiştir. Sonlu elemanlar yönteminin uygulanmasında, çeşitli sayıda düğüm noktasına sahip üçgen elemanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedenlerinden biri, bu tip elemanların, verilen geometriye kolaylıkla uyabilmesidir.

Sürekli ortamın nasıl bölüneceğine dair genel bir yöntem vermek olanaksız olmakla beraber, birkaç kural önerilebilir:

a) Sürekli ortam olabildiğince düzenli şekiller elde edilecek tarzda bölünmeli ve bir elemanın kenarı diğerinden fazla uzun olmamalıdır.
b) Gerilme yığılmalarının olabileceği bölgeler daha küçük elemanlara bölünmelidir.
c) Gerçek çözümü bilinmeyen bir problem ile ilgileniliyorsa, çözümün doğruluğuna karar verebilmek için, ayrı problem farklı sayıda eleman için çözülmeli ve eleman sayısı arttırıldığında sonuçların yakınsaklığı kontrol edilmelidir.



Şekil 5.2. Tipik 2 Boyutlu Elemanlar (Keskin, 2009)

5.3. Sonlu Elemanlar Yönteminde Temel Bağlantılar

Sonlu elemanlar yönteminde, eleman rijitlik matrisini elde etmenin bir çok yolu vardır. Bu bölümde deplasman fonksiyonlarından yola çıkılarak matrisinin elde edilmesi

için izlenecek yol ele alınmıştır. SEY yöntemi ile, bir elemanın veya sistemin rijitlik matrisinin elde edilmesinde,

$$u = [p] \{a\} \qquad \text{(Eş. 5.1)}$$

Burada, u elemanın davranışını belirleyen genel deplasman fonksiyonunu, [p] x ve y'ye bağlı deplasman sayısı kadar bileşen içeren satır vektörünü, {a} ise, katsayılar vektörünü göstermektedir.

Elemandaki şekil değiştirmeler, düğüm noktası deplasmanları cinsinden,

$$\{\Delta\} = [A] \{a\} \qquad \text{(Eş. 5.2)}$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada [Δ], elemanın düğüm noktalarındaki yer değiştirme vektörüdür. Gerilmeler ise, elastisite matrisi [A] kullanılıp, şekil değiştirmelerle ilişkilendirilerek,

$$\{a\} = [A]^{-1} \{\Delta\} \qquad \text{(Eş. 5.3)}$$

şeklinde yazılabilir. Ve Eş. 5.1. ifadesine yerleştirilirse, deplasman fonskiyonu

$$u = [p] \ [A]^{-1} \{\Delta\} \qquad \text{(Eş. 5.4)}$$

şeklinde bulunur. Şekil fonksiyonu

$$N = [p] \ [A]^{-1} \qquad \text{(Eş. 5.5)}$$

Olarak alındığında, Eş. 5.4. denkleminde N şekil fonksiyonlarını içeren satır vektörüdür.

Sonlu elemanlar yönteminde (Eş. 5.6.) ifadesi yardımı ile sistemdeki tüm düğüm noktalarının deplasmanları bulunduktan sonra, eleman bazında işlem yapılır. Her bir eleman için şekil değiştirme ve gerilmeler (Eş. 5.7.) ve (Eş. 5.8.) ifadelerinden yararlanılarak hesaplanır.

$$\{\Delta\} = [[K]^{-1} \{F\} \qquad \text{(Eş. 5.6.)}$$

$$\{\varepsilon\} = [B]\{\Delta\} \qquad \text{(Eş. 5.7.)}$$

Burada [B], eleman şekil değiştirme matrisidir. Gerilmeler ise, elastisite matrisi [D] kullanılıp, şekil değiştirmelerle ilişkilendirilerek,

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \qquad \text{(Eş. 5.8.)}$$

şeklinde yazılabilir. Sonraki adımda uygun bir varyasyonel prensip (enerjinin minimum olması prensibi vb.) kullanılarak her bir düğüm noktasındaki değerler için bir denklem takımı elde edilir:

$$\{f\} = [k]\{d\}e \qquad \text{(Eş. 5.4)}$$

Denklemde,
{f}=Eleman yük vektörü
[k]=Eleman rijitlik matrisidir.

6. PLAXIS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

PLAXIS sonlu elemanlar yöntemi ile, deformasyon, gerilme taşıma gücü gibi pek çok analizi gerçekleştirebilen bir bilgisayar programıdır.

İlk olarak 1987 yılında Hollanda'da bulunan Delft Teknik Üniversitesi tarafından yumuşak zeminlerde dolgu analizlerinin kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi için programlanmıştır. Zamanla Geoteknik mühendisliği için birçok problemi hızlı ve basit şekilde planlayabilecek hale getirilmiştir. PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), zemin –yapı ilişkisi, gerilme, konsolidasyon, oturma, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği gibi bir çok başlık için kullanılabilmekte ayrıca değişik malzemeler için sonuçlar kıyaslanabilmekte ve hızlı bir şekilde tasarımlar yapılabilmektedir.

6.1. Plaxis Bilgisayar Programının Geçerliliği

PLAXIS paket programının performans ve doğruluğunu kontrol etmek amacıyla farklı konularda seçilmiş ve analitik çözümleri bilinen problemler PLAXIS programı ile analiz edilerek bulunan sonuçlar karşılaştırılmış ve oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Çözülen bu örnekler, PLAXIS 8.2 kullanım kılavuzunda ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Ayrıca PLAXIS bilgisayar programı Delft Teknik Üniversitesi, Oxford Üniversitesi, Colorado Üniversitesi, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü gibi birçok araştırma merkezinden destek almaktadır.

6.2.Genel Modelleme Bakış Açısı

Analiz edilecek her yeni proje için öncelikle bir geometrik modeli oluşturmak önemlidir. Bir geometrik model üç boyutlu problemin iki boyutlu olarak temsil edilmesidir ve noktaları, çizgileri ve kümeleri içerir.

Bir geometri modeli alt zeminin temsili olarak belirgin zemin tabakalarına bölümlenmesini, yapısal nesneleri, inşaat aşamalarını ve yükleri içermelidir. Model yeterince büyük seçilmelidir ki model sınırları çalışılan projenin sonuçlarını etkilemesin. Geometri modelindeki üç tip bileşen aşağıda daha detaylı olarak tanımlanmıştır.

Points (Noktalar):

Noktalar çizgilerin başlangıç ve bitimlerini oluşturur. Noktalar ayrıca ankrajlar, nokta kuvvetleri, nokta rijitlikleri ve sonlu eleman ağının (mesh) yerel iyileştirilmesi (daha sık örgülü ağ) için kullanılabilir.

Lines (Çizgiler):

Çizgiler geometrinin fiziksel sınırlarını, model sınırlarını ve geometrideki süreksizlikleri (duvarlar veya kabuklar, belirgin zemin tabakalarının ayrımları veya inşaat aşamaları gibi) tanımlamak için kullanılır. Bir çizginin birkaç fonksiyonu ve ya özelliği olabilir.

Clusters (Kümeler):

Kümeler çizgilerle tamamen çevrili olan alanlardır. PLAXIS geometri çizgilerinin girdisine dayalı kümeleri otomatik olarak tanır. Küme içerisindeki zemin özellikleri homojendir. Bu yüzden kümeler zemin tabaka parçaları olarak göz önüne alınabilir. Kümelerle ilgili işlemler küme içindeki tüm elemanlara uygulanır.

Bir geometri modelinin oluşturulmasından sonra, geometri modelindeki kümeler ve çizgilerin düzenine bağlı olarak bir sonlu eleman modeli otomatik olarak oluşturulabilir. Bir sonlu eleman ağında, aşağıda tanımlandığı gibi üç tip bileşen tanımlanabilir.

Elements (Elemanlar):

Ağ oluşturulması esnasında kümeler üçgen biçimli elemanlara bölünür. 15-düğümlü elemanlar ve 6-düğümlü elemanlar arasında bir seçim yapılabilir. Güçlü olan 15-

düğümlü eleman gerilme ve göçme yüklerinin hassas hesaplanmasını sağlar. Ayrıca, 6-düğümlü elemanlar kullanılabilirlik (serviceability) durumlarının hızlı bir hesabı için uygundur. Aynı eleman dağılımı göz önüne alındığında (mesela varsayılan kaba ağ oluşturma), 15-düğümlü elemanlardan oluşan ağların 6-düğümlü elemanlardan oluşan ağlara göre açıkça daha hassas ve daha esnek olduğunun, fakat hesaplamaların da daha fazla zaman aldığının kullanıcı farkında olmalıdır. Zemini modellemede kullanılan üçgen elemanlara ek olarak, yapısal davranış ve zemin-yapı etkileşimini modellemek için uygun plak elemanları, geogrid elemanlar ve arayüz elemanları oluşturulabilir.

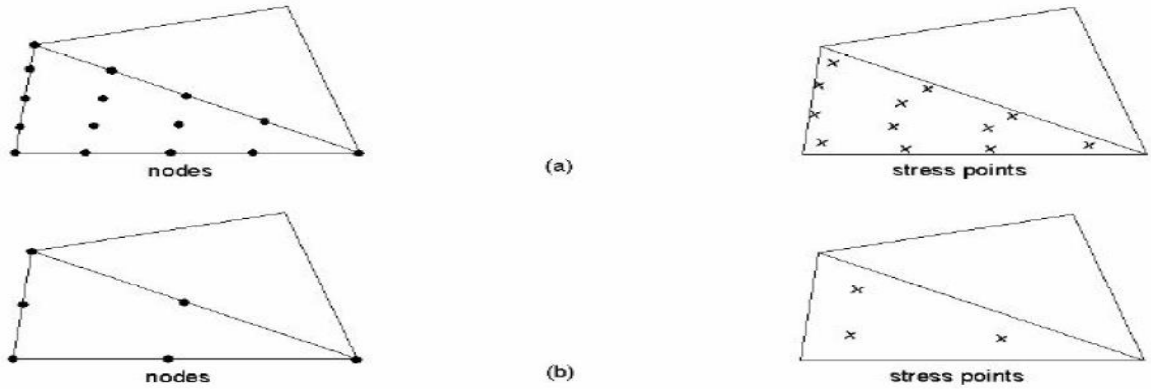
Nodes (Düğümler):

15-düğümlü eleman 15 düğüm içerir ve 6-düğümlü üçgen 6 düğümle tanımlanır. Düğümlerin elemanlar üzerindeki dağılımı Şekil 6.1 de gösterilmiştir. Bitişik elemanlar ortak düğümleri vasıtasıyla bağlanırlar.

Bir sonlu eleman hesaplaması boyunca, deplasmanlar (*ux* ve *uy*) düğümlerde hesaplanır. Yük-deplasman eğrilerinin oluşturulması için düğümler önceden seçilebilir.

Stress points (Gerilme noktaları):

Deplasmanların aksine olarak, gerilmeler ve şekil değiştirmeler düğümlerden ziyade özel Gauss birleşim noktalarında (veya gerilme noktalarında) hesaplanır. 15-düğümlü üçgen eleman Şekil 6.1a da belirtildiği gibi 12 gerilme noktası içerir ve 6-düğümlü üçgen eleman Şekil 6.1b de belirtildiği gibi 3gerilme noktası içerir. Gerilme izi ve gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının oluşturulması için gerilme noktaları önceden seçilebilir.



Şekil 6.1. Düğümler ve gerilme noktaları

6.3. Input (Giriş) Prosedürleri

PLAXIS de bilgi girişi, fare ile tıklayıp sürükleme ve klavye girişi vasıtasıyla belirlenmiştir. Genelde ayrım dört tip giriş arasında yapılabilir:

- Geometri nesnelerinin girişi (ör: zemin tabakası çizimi)
- Metin girişi (ör: proje ismini giriş)
- Değerlerin girişi (ör: zemin birim ağırlığı giriş)
- Seçimlerin girişi (ör: bir zemin modeli seçilmesi)

Fare genellikle çizim ve seçim amacıyla kullanılır, klavye ise metin ve değerleri girmek için kullanılır.

6.3.1 Geometri nesnelerinin girilmesi

Geometri nesnelerinin oluşturulmasının temeli nokta ve çizgilerin girilmesidir. Bu ise çizim alanında fare işaretçisi vasıtası ile yapılır. Menüden veya araç çubuğundan (toolbar) birçok geometri nesnesine ulaşılabilir. Çoğu geometri nesnesini girmenin temeli bir çizgi çizme prosedürüdür. Çizim modlarının herhangi birinde çizgiler çizim alanında sol fare düğmesini tıklayarak çizilir. Bunun sonucu olarak ilk nokta oluşturulur. Fareyi hareket ettirip yine farenin sol düğmesine tıklayarak yeni bir nokta ve beraberinde önceki noktadan yeni noktaya doğru bir çizgi oluşturulur. Çizgi çizimi fare sağ düğmesine tıklayarak veya klavyeden <Esc> tuşuna basmak suretiyle sona erdirilir.

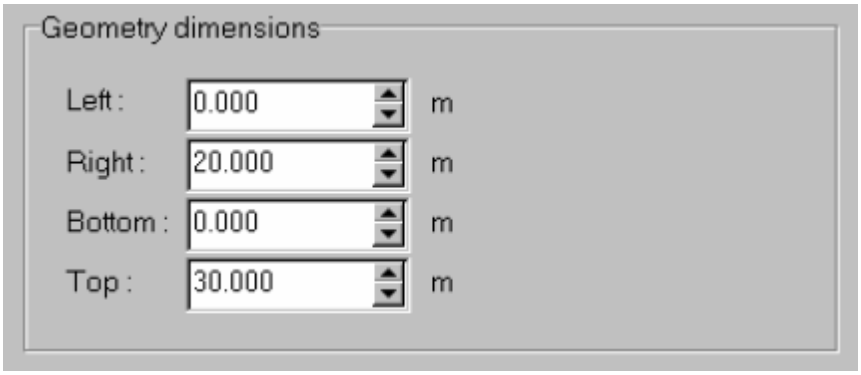
6.3.2 Metin ve değerlerin girilmesi

Herhangi bir yazılım için olduğu gibi, bazı değerlerin ve metnin girilmesi gerekir. Yazım kutularında gereken girdi belirtilir. Belirli bir nesne için çoklu yazım kutuları pencerelerde gruplandırılmıştır. İstenen metin veya değer klavyede yazılıp akabinde <Enter> tuşu veya <Tab> tuşuna basılır. Bunun sonucunda değer kabul edilir ve sonraki girdi alanı vurgulanır. Hollanda gibi bazı ülkelerde küsuratlı değerlerdeki ondalık noktası virgülle gösterilir. Yazım kutuları ve tablolarda olan gösterimin şekli işletim sisteminin ülke ayarlarına dayanır. Değerlerin girilişi bu ayarlara göre olmalıdır.

Birçok parametrenin varsayılan değerleri vardır. Bu değerler başka klavye girişi olmadan <Enter> tuşuna basılmak suretiyle kullanılabilir. Bu şekilde bir penceredeki tüm girdi alanları *OK* düğmesine ulaşılıncaya kadar girilebilir. *OK* düğmesinin tıklanmasıyla bütün değerler onaylanır ve pencere kapatılır. Alternatif olarak fareyi kullanarak diğer girdi alanının seçilmesi yeni girdi değerlerinin kabulünü netice verecektir.

Farenin sol düğmesiyle *OK* tuşuna tıklanarak girdi değerleri kabul edilir.
<Esc> tuşuna basılması veya *Cancel* düğmesine sol tıklanması girdiyi iptal edecek ve pencereyi kapatmadan önce varsayılan veya önceki değerleri geri yükleyecektir.

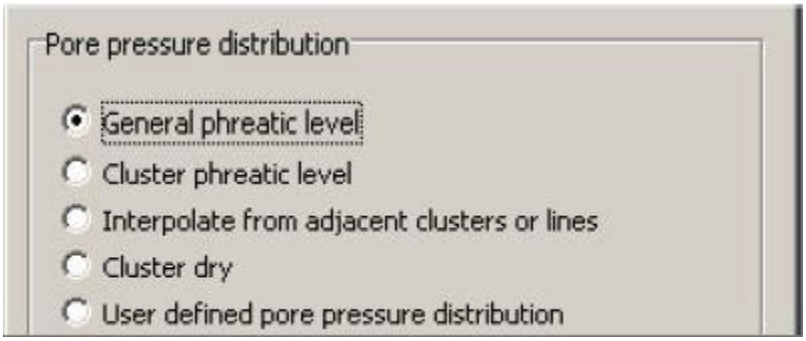
Spin edit özelliği Şekil 6.2 de gösterilmiştir. Sadece normal bir girdi alanı gibi klavye vasıtasıyla bir değer girilebilir, fakat ayrıca her bir spin edit in sağ kenarındaki veya oklarına sol tıklayarak değerini önceden tanımlı bir miktara artırmak veya azaltmak mümkündür.



Şekil 6.2. Spin edits (döner düzenleyiciler)

6.3.3 Seçimlerin girişi

Seçimler aşağıda tanımlanan radyo düğmeleri, onay kutuları (check boxes) veya kombinasyon (combo)kutuları vasıtasıyla yapılabilir.



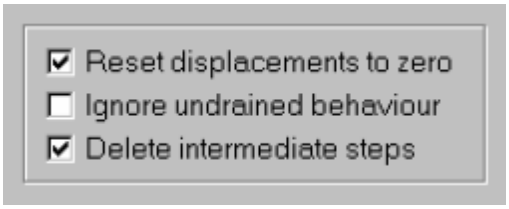
Şekil 6.3. Radyo düğmeleri

Radio buttons (Radyo düğmeleri):

Radyo düğmeli bir pencerede sadece bir madde aktif olabilir. Aktif olan seçim maddenin önünde bulunan beyaz dairenin içinde siyah bir nokta ile belirtilir. Beyaz daire içine fareyle sol düğmesiyle tıklayarak veya klavyedeki yukarı ve aşağı ok tuşlarını kullanarak seçim yapılır. Mevcut seçim diğer seçeneklerden birine değiştirildiğinde, 'eski' seçenek silinecektir. Şekil 6.3 de radyo düğmeli bir pencere örneği gösterilmiştir. Şekil 6.3 deki seçime göre *Pore pressure distribution (boşluk basıncı dağılımı),General phreatic level (Genel atmosfer basıncına açık seviye)* olarak ayarlanmıştır.

Check boxes (Onay kutuları):

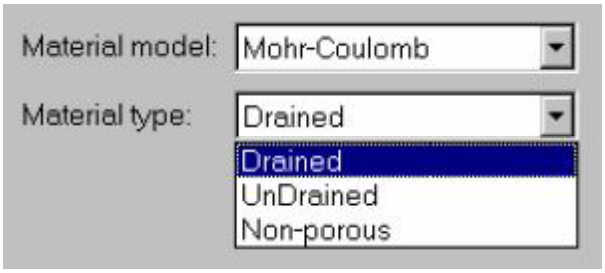
Onay kutuları olan bir pencerede birden fazla madde aynı anda seçilebilir. Seçim beyaz kare içine fare sol düğmesiyle tıklayarak veya klavyeden boşluk tuşuna basarak yapılabilir. Önceden seçilen bir maddeye yeni bir tıklama seçimi iptal edecektir. Üç onay kutulu bir örnek Şekil 6.4 de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Onay kutuları

Combo boxes (Kombo, Kombinasyon kutuları):

Bir kombo kutusu mümkün olan seçeneklerin önceden tanımlı bir listesinden bir maddeyi seçmek için kullanılır. Kombo kutulu bir pencere örneği Şekil 6.5 de gösterilmiştir. Kombo kutusunun sağ tarafında bulunan aşağı okuna sol tıklanır tıklanmaz mümkün seçenekleri gösteren bir açılır liste oluşur. Bir kombo kutusu radyo düğmeleri grubuyla aynı işlevselliğe sahiptir fakat daha az yer kaplar.



Şekil 6.5. Kombinasyon Kutuları

6.3.4 Yapısal giriş

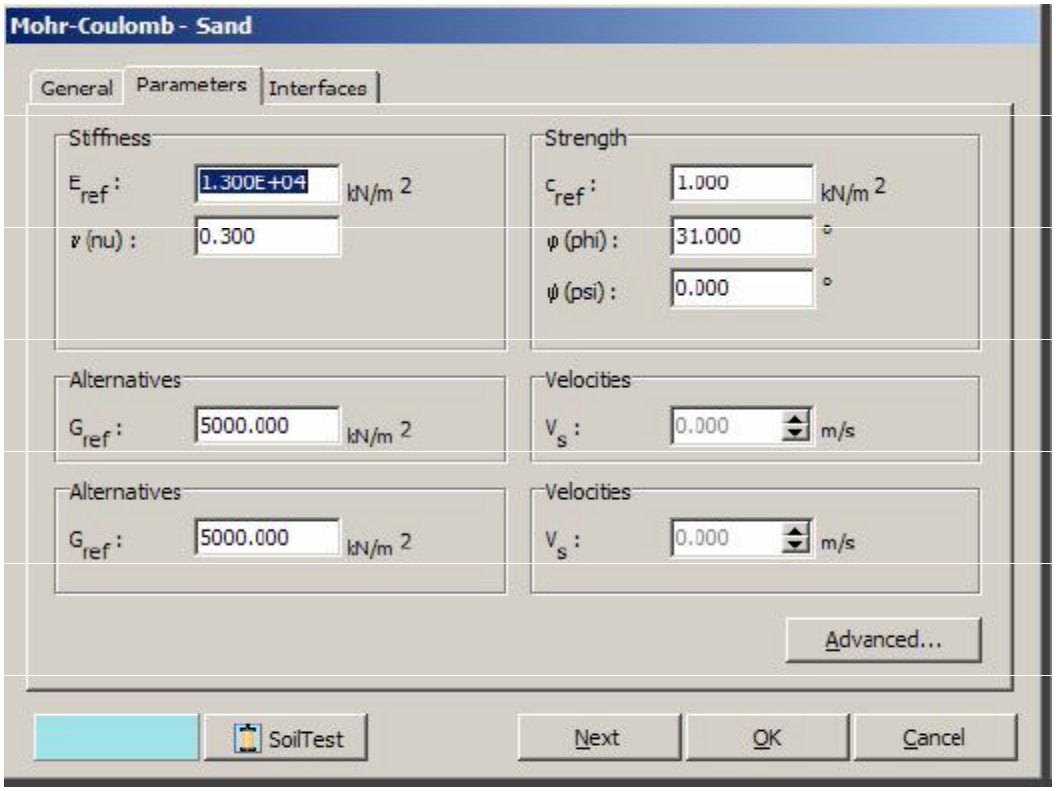
Gerekli girdi mümkün olduğunca mantıklı olacak şekilde düzenlenir. Windows ortamı ekranda bilgiyi düzenleme ve sunum için birçok yol sağlar. Sonraki kısımda Windows elemanlarına referansı kolaylaştırmak için bazı yapısal girdi türleri aşağıda tanımlanmıştır.

Sayfa kontrol ve sekmeler:

Üç sekmeli bir sayfa kontrol örneği Şekil 6.6 da gösterilmiştir. Bu şekilde *Mohr-coulomb* zemin modelinin model parametrelerinin girdisi için ikinci sekme aktiftir. Sekmeler uygun sekmeye sol tıklanarak veya klavyeden <Ctrl><Tab> tuşları kullanılarak aktifleştirilebilir.

Grup kutuları:

Grup kutuları başlıkları olan dikdörtgen kutulardır. Bunlar ortak özelliklere sahip maddeleri kümelendirmek için kullanılır. Şekil 6.6 daki aktif sekme *Stiffness (Rijitlik), Strength (Dayanım)* ve *Alternatives (alternatifler)* adlı üç grup kutusu içermektedir.



Şekil 6.6. Sayfa kontrol ve sekmeler

6.4. Programı Başlatma

Programın kılavuzun General Information (Genel Bilgiler) de tariflenen prosedürü takip ederek kurulduğu varsayılır. Data dosyalarının saklandığı ayrı bir klasör

oluşturulması tavsiye olunur. PLAXIS program grubundaki *Plaxis input* simgesine çift tıklanarak PLAXIS başlatılabilir. Kullanıcıya yeni bir problem mi tanımlayacağı yoksa daha önce tanımlanmış bir projeye mi erişmek istediği sorulur. Eğer ikinci seçenek seçilirse, program en son kullanılan projelerin dördünü listeler. Bu listeden doğrudan bir seçim yapılabilir. Bu listede ilk görünen <<more files>> maddesinin seçilmesi bir dosya istekçisini netice verir. Buradan kullanıcı daha önce tanımlanmış bir projeyi değiştirmek için seçebilir.

6.4.1 Genel ayarlar

Eğer yeni bir proje tanımlanacaksa, Şekil 6.7'de gösterilen *General settings* penceresi gösterilir. Bu pencere iki sekmeden oluşur. Birinci sekmede geçerli proje için çeşitli ayarlar verilmiştir. Burada bir dosya ismi belirtilmemiştir; bu işlem projeyi kaydederken yapılabilir.

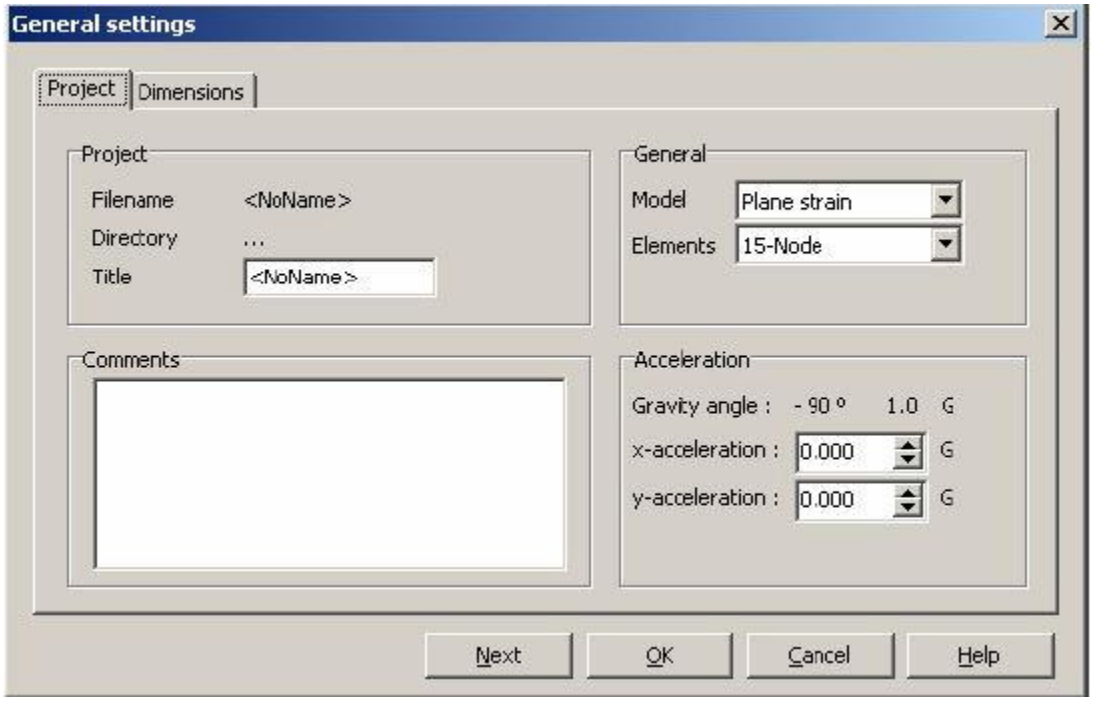
Kullanıcı proje başlığı olarak problemin kısa bir tanımını girebileceği gibi, *Comments (yorum)* kutusunda daha ileri bir tanımlama girebilir. Başlık önerilen dosya ismi olarak kullanılır ve çıktı çizimlerinde görünür.

Yorum kutusu basitçe analiz hakkında bilgi depolamak için uygun bir yerdir. Ek olarak analiz türü ve eleman türü belirtilmelidir. Opsiyonel olarak dinamik kuvvetlerin pseude-statik (eşdeğer-statik)simülasyonu için yerçekimine ek olarak ayrı bir ivme belirtilebilir.

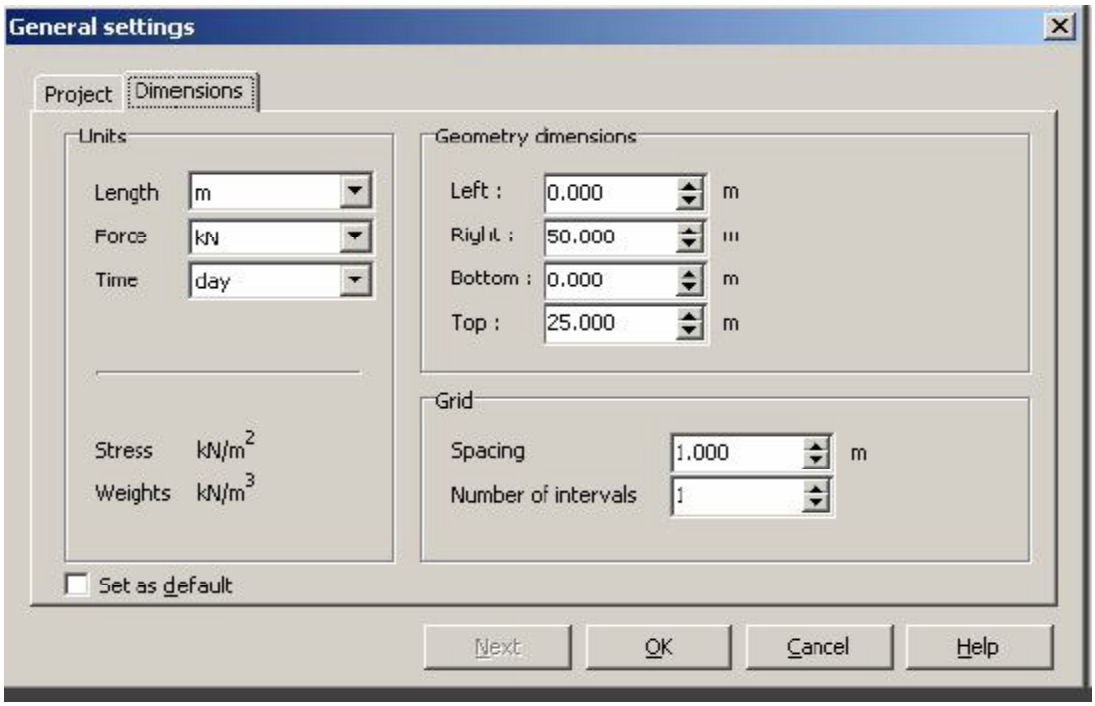
İkinci sekme Şekil 6.8'de gösterilmiştir. Temel birimler olan *Length (Uzunluk), Force (Kuvvet)* ve *Time(Zaman)*'a ek olarak çizim alanının en az boyutları verilmelidir, böylece geometri modeli çizim alanına uysun. Aksların genel sistemi şöyledir: *x*-aksı sağa doğru, *y*-aksı yukarı doğru, *z*-aksı ise kullanıcıya doğru yönelirler. PLAXIS de iki boyutlu bir model (*x*,*y*)-düzleminde oluşturulur. *z*-aksı sadece gerilme çıktıları için kullanılır. *Left (Sol)* modelin en düşük *x*-koordinatı, *Right (Sağ)* en yüksek *x*-koordinatı, *Bottom (Taban)* en düşük *y*-koordinatı ve *Top (Tepe)* ise en yüksek *y*-koordinatıdır.

Pratikte, verilen değerler sonucu ortaya çıkan çizim alanı spin edit lerde verilen değerlerden daha büyük olacaktır. Bunun sebebi kısmen PLAXIS programının boyutlara

otomatik olarak küçük bir kenar boşluğu eklemesi ve kısmen de belirtilen değerler ve ekran arasında genişlik/yükseklik oranındaki farktır.



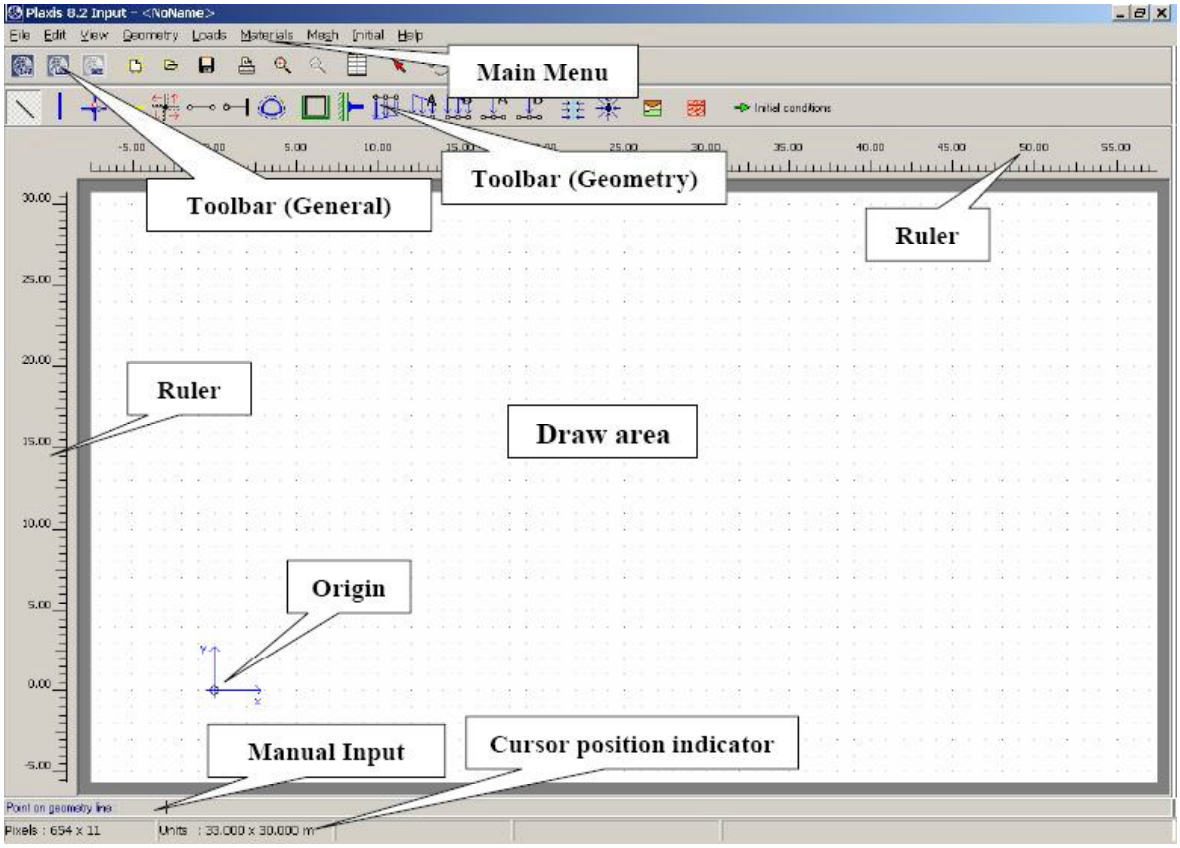
Şekil 6.7. Genel ayarlar – Project



Şekil 6.8. Genel ayarlar – Dimensions

6.4.2 Bir geometri modeli oluşturma

Genel ayarlar girilip *OK* düğmesine tıklandığında ana *Input (Girdi)* penceresi görünür. Ana pencere Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Ana pencerenin en önemli kısımları işaretlenmiş ve aşağıda kısaca açıklanmıştır.



Şekil 6.9. Input programının ana penceresi

Main menu (Ana menü):Ana menü araç çubuğundan ulaşılabilecek bütün seçenekleri ve sık kullanılmayan bazı ek seçenekleri içerir.

Tool bar (General) (Araç çubuğu - genel):Bu araç çubuğu disk operasyonları, bastırma, yakınlaştırma veya nesneleri seçme gibi genel eylemler için kullanılan düğmeleri içerir. Ayrıca PLAXIS paketinin diğer programlarını (Calculations, Output ve Curves)başlatmak için düğmeleri bulundurur.

Tool bar (Geometry) (Artaç çubuğu – geometri):

Bu araç çubuğu ise bir geometri modeli oluşturmakla ilgili eylemler için kullanılan düğmeleri içerir. Düğmeler genel olarak o şekilde sıralanmıştır ki; araç çubuğunda soldan sağa doğru düğmeler takip edilerek bitmiş bir geometri modeline ulaşılır.

Rulers (Cetveller):

Çizim alanının hem solunda hem de üstünde bulunan cetveller fiziksel koordinatlara işaret eder. Böylece geometri boyutlarının doğrudan bir görünüşü mümkün olur.

Draw area (Çizim alanı):

Çizim alanı geometri modelinin üzerinde oluşturulduğu çizim yaprağıdır. Çizim alanı aynen geleneksel bir çizim programındaki olduğu gibi kullanılabilir. Çizim alanındaki küçük noktaların oluşturduğu ızgara düzenli pozisyonlara sıçramak için kullanılabilir.

Origin (Orijin):

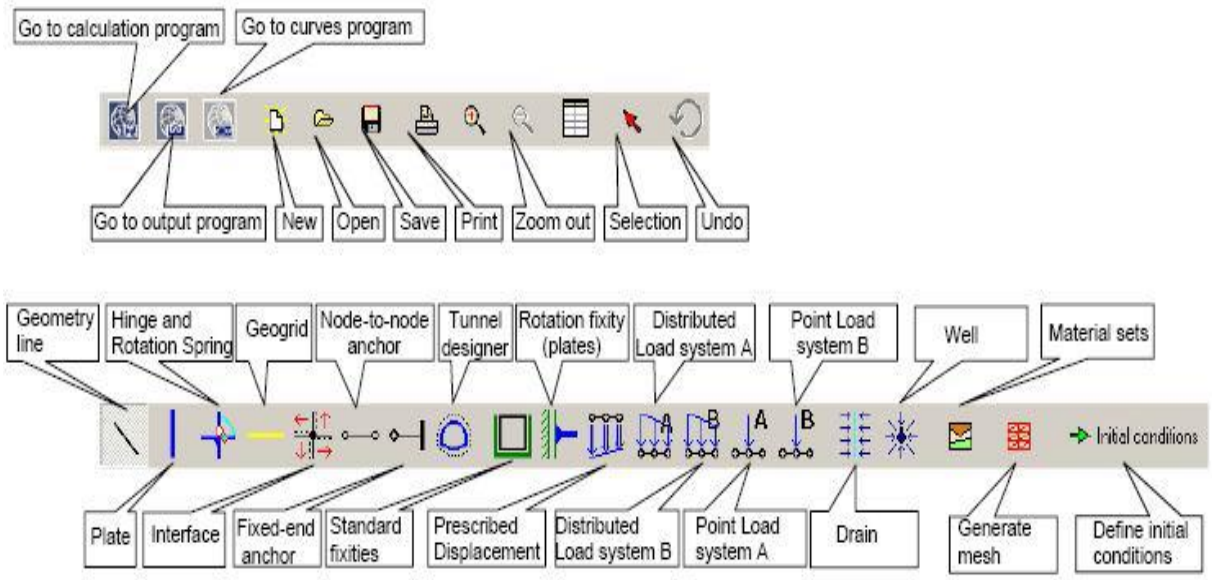
Eğer fiziksel orijin verilen boyutlar arasında ise, *x*- ve *y*-akslarını da gösteren küçük bir daire ile temsil edilir.

Manual input (Elle girme, manuel girme):

Eğer fareyle çizim istenen hassasiyeti vermiyorsa, o zaman *Manual input* (elle girme) yolu kullanılır. Burada *x*- ve *y*-koordinatları için değerler boşlukla ayrılmış ilgili değerleri yazmak suretiyle girilebilir. Elle girme ayrıca seçili bir noktaya yeni koordinat atamak veya nokta numarasını girmek suretiyle mevcut bir geometri noktasını işaretlemek için kullanılabilir.

Cursor position indicator (İmleç pozisyon göstergesi):

İmleç pozisyon göstergesi fare imlecinin hem fiziksel birimlerde hem de ekran pikseli olarak şimdiki pozisyonunu verir. Yukarıda zikredilen nesnelerin bazısı *View* menüsünden ilgili maddenin seçimini iptal ederek kaldırılabilir. Her iki araç çubuğu için de, fare imlecini ilgili düğme üzerine getirip yaklaşık bir saniye üzerinde tutmak suretiyle düğmenin ismi ve fonksiyonu gösterilir; düğmenin aşağısında küçük sarı bir kutuda bir ipucu görünecektir. Her iki araç çubuğu için ulaşılabilecek ipuçları Şekil 2.10 da gösterilmiştir. Bu Eğitim Kılavuzunda düğmeler ilgili ipuçları vasıtasıyla işaret edilecektir.



Şekil 6.10. Araç çubukları

Sırayla tercümesi:

1. Sıra: Calculation (hesaplama) programına git, Curves (Eğriler, grafik) programına git

2. Sıra: Output (çıktı) programına git, Yeni, Aç, Kaydet, Bastır, Küçült, Seçim, Geri al

3. Sıra: Geometri çizgisi, Mafsal ve Dönme yayı, Geogrid, Düğümden-düğüme ankraj, Tunel Dizayn edici, Dönme rijitliği (plaklar), Yayılı yük sistemi A, Nokta yük sistemi B, Kuyu, Malzeme ayarları

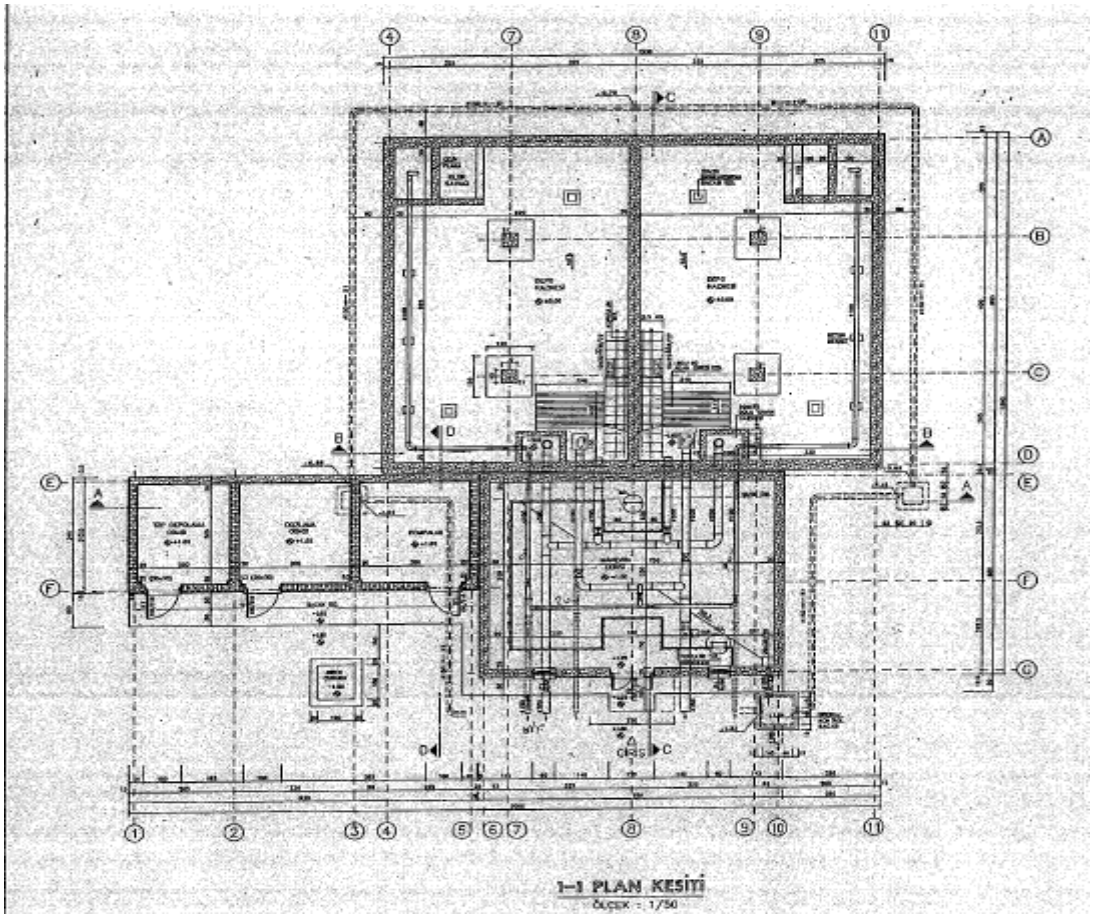
4. Sıra: Plak, Arayüz, Sabit-uçlu ankraj, Standart rijitlikler, Önceden tanımlı deplasmanlar, Yayılı Yük sistemi A, Nokta Yük sistemi A, Drenaj, Mesh (ağ) oluştur, Başlangıç koşullarını tanımla.

7. MODELLEMESİ YAPILAN 400 m^3HACİMLİ PRİZMATİK SERVİS DEPOSU

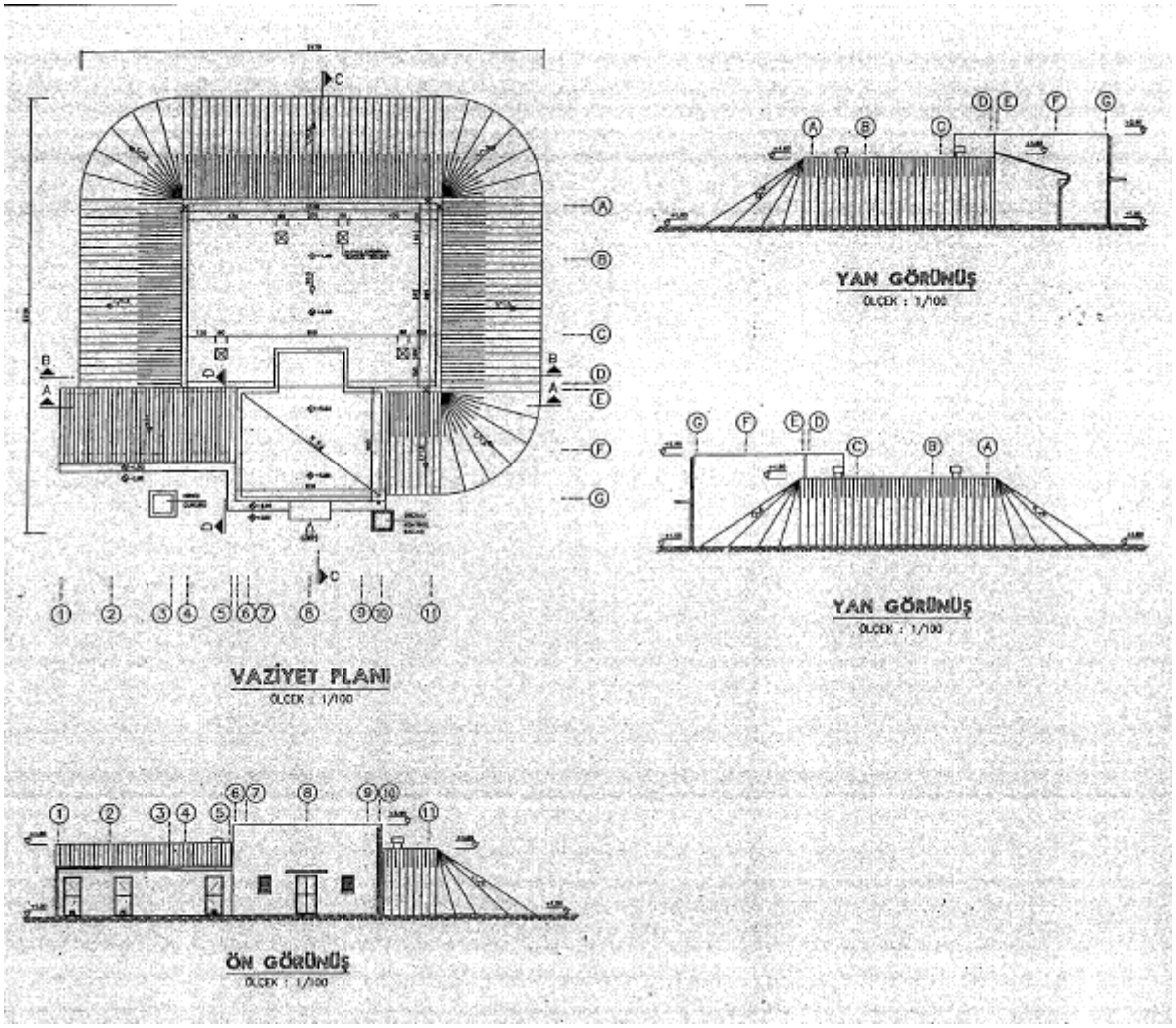
SEY ile modellemede İlbank A.Ş. tarafından 1995 yılında Temelsu Uluslararası Mühendislik A.Ş. proje firmasına hazırlattırılarak günümüze kadar kullanılan Prizmatik Servis Deposu kullanılacaktır.

400 m^3hacimli prizmatik servis deposu incelendiğinde;

- Hazne kısmının 13,30 metre x 9,35 metre ebatlarında olduğu,
- Prizmatik su deposunun dolu olarak 400 ton su ağırlığı, 20 ton donatı ağırlığı, 100 ton beton ağırlığı olmak üzere; yaklaşık 520 ton ağırlığında olduğu,
- Yan duvarlara uygulanan su basıncının dış duvar dolguları ile dengelendiği bu nedenle sadece dikey eksende ki oturmalar dikkate alınması gerektiği, belirlenmiş ve tasarımlar bu hususlar dikkate alınarak yapılacaktır.



Şekil 7.1. 400 $m^{3\prime}$lük Prizmatik Servis Deposu Planı



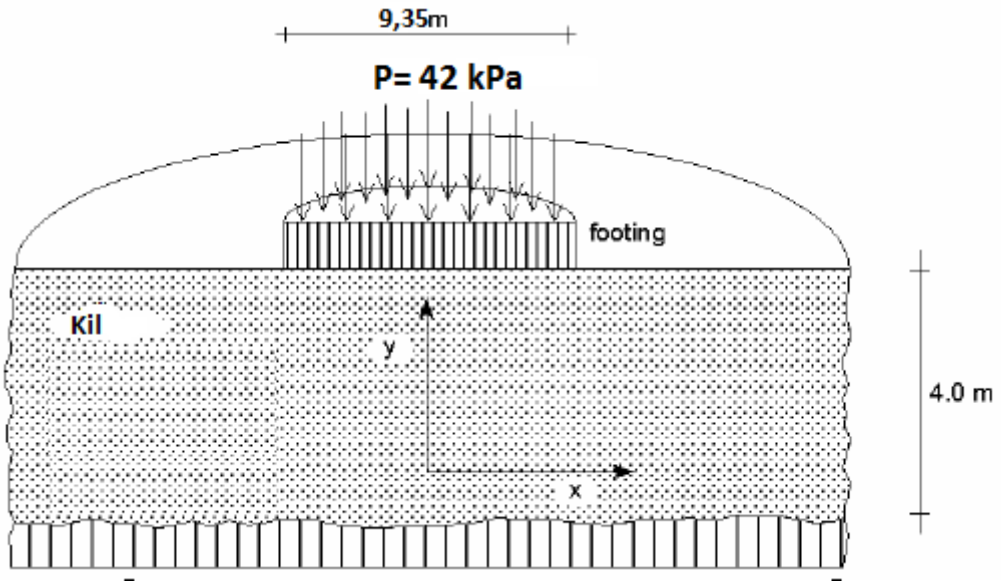
Şekil 7.2. 400 $\boldsymbol{m^{3\prime}}$lük Prizmatik Servis Deposu Görünüşleri. (Temelsu proje, 1995)

8. PLAXIS İLE MODELLEME

Plaxis ile tip projeyi taban alanına uyguladığı yük miktarı olarak ele alıp, killi zeminlerde oluşturduğu oturma miktarını ve dikdörtgen bir temelin farklı uzunluklarındaki kenarları altında oluşan oturma farklılıklarını görmüş olacağız.

8.1 Kil Zemin İçin Modelleme

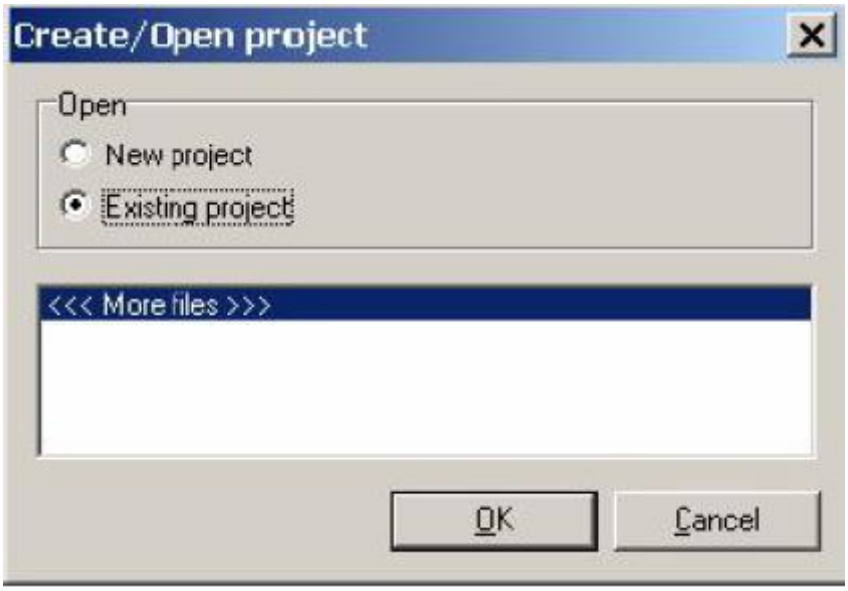
Şekil8.1' deki duruma göre zeminin ilk 4m lik kısmının v=0,350 E=1,000E+04 kN/m^2 özelliklerinde olan kil olduğu, altında ise çok derinlere uzanan rijit bir kaya tabakası olduğu düşünülerek modellenmiştir. Temele uygulanan yük sebebiyle zeminde oluşan gerilme ve deplasmanlar bulunmuştur.



Şekil 8.1. Su deposunun zemine uyguladığı yük gösterimi.

8.2. Girdiyi Oluşturma

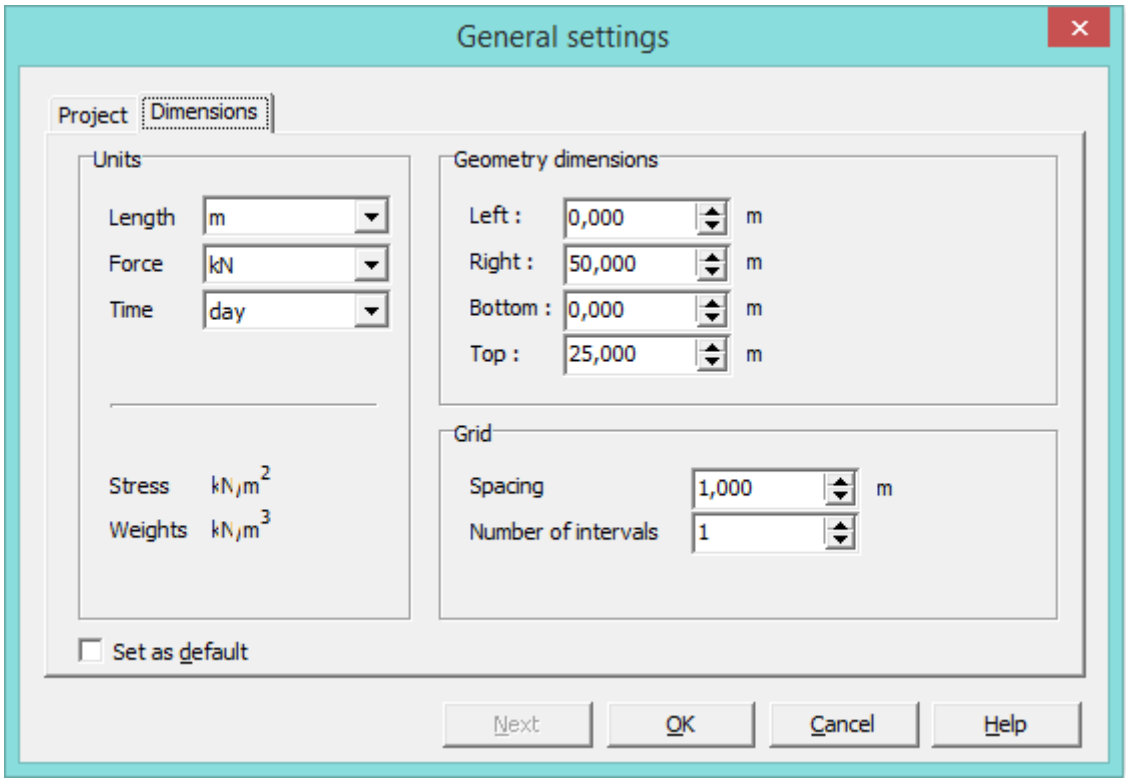
Plaxis programında girdiyi oluşturabilmek için aşağıdaki adımlar takip edilmelidir; Input program simgesine çift tıklayarak PLAXIS programı başlatılır. Bir *Create/Open Project* diyalog kutusu görünecektir. Burada existing project (mevcut proje) veya create' a new one (yeni bir proje oluştur) seçeneklerinden birini seçebiliriz. Şekil 8.2'de gösterilen *New Project (Yeni proje)* seçilir ve *OK* düğmesine tıklanır.



Şekil 8.2. Yeni proje oluşturma penceresi.

General settings (Genel ayarlar)

Her analizdeki ilk adım sonlu eleman modelinin temel parametrelerini ayarlamaktır. Bu iş Şekil 8.3'de gösterilen *General settings* penceresinde yapılır. Bu ayarlar problemin tanımını, analizin türünü, temel eleman türlerini, temel birimleri ve çizim alanının büyüklüğünü içerir.



Şekil 8.3. Genel Ayarlar Penceresi.

Temel hesaplaması için uygun ayarlar;

- *Project* sekmesinde, *Title* kutusu içine "400 metreküplük depo" girilir ve *Comments (yorumlar)* kutusu içine *"Dikdörtgen bir temelin oturması"* yazılır.
- *General (genel)* kutusu içine analizin türü (*model*) ve temel eleman türü (*Elements*) beliritilir. Bu ders dikdörtgen bir temelle ilgili oluğu için *Model* kombo kutusundan *Axisymmetry (eksenel simetri)*seçildi ve *Elements (Elemanlar)* kombo kutusundan *15-node (15-düğümlü)* seçildi.
- *Acceleration (İvme)* kutusu düşey doğrultuda (aşağı doğru) -90° lik sabit bir yerçekimi açısını işaret eder. Normal yerçekimine ek olarak eşdeğer-dinamik analiz için bağımsız ivme bileşenleri girilebilir. Bu değerler bu çalışma için sıfır olarak bırakılır. Sekme yaprağının aşağısındaki *Next (sonraki)* düğmesine tıklayın ve *Dimensions (Boyutlar)* sekmesine geçilir.

Dimensions sekmesinde, *Units (birimler)* kutusundaki varsayılan değerler korunmuştur. (Length-*Uzunluk* birimi=m; *Force-Kuvvet* birimi=kN; *Time-Zaman* birimi=gün).

- *Geometry dimensions* kutusunda gerekli çizim alanının büyüklüğü girilmelidir. Oluşturulacak geometrinin üst ve alt koordinat değerleri girildiğinde PLAXIS küçük bir kenar boşluğu ekleyecek, böylece bu geometri çizim alanı içine iyi bir şekilde uyacaktır. *Left (sol), Right (sağ), Bottom (alt)*ve *Top (üst)* yazım kutuları içine sırasıyla 0.0, 5.0, 0.0 ve 4.0 değerlerini girilir.
- *Grid* kutusu grid boşluklarını ayarlamak için gerekli değerleri içerir. Bu grid ekran üzerinde referans olarak kullanılabilecek bir noktalar matrisini sağlar. Ayrıca geometrinin oluşturulması esnasında düzenli noktalara sıçramak için kullanılabilir. Noktalar arasındaki mesafe *Spacing* değeriyle belirlenir. Bundan öte sıçrama noktalarının ara boşlukları *Number of intervals (aralıksayısı)* değeri vasıtasıyla daha küçük aralıklara bölünebilir. Spacing için 1.0 ve intervals için 1girilir.
- Ayarları kabul etmek için *OK* düğmesine tıklayın. Şimdi geometrinin çizilebileceği çizim alanı görünür.

Geometri Contour (Geometri konturu, çevre çizgisi):

Genel ayarlar tamamlandığında çizim alanı orijin işareti ve aks sisteminin doğrultusuyla birlikte görünür. x-ekseni sağa doğru ve y-ekseni yukarı doğru yönelmiştir. Bir geometri çizim alanının içinde herhangi bir yerde oluşturulabilir. Nesneleri oluşturmak

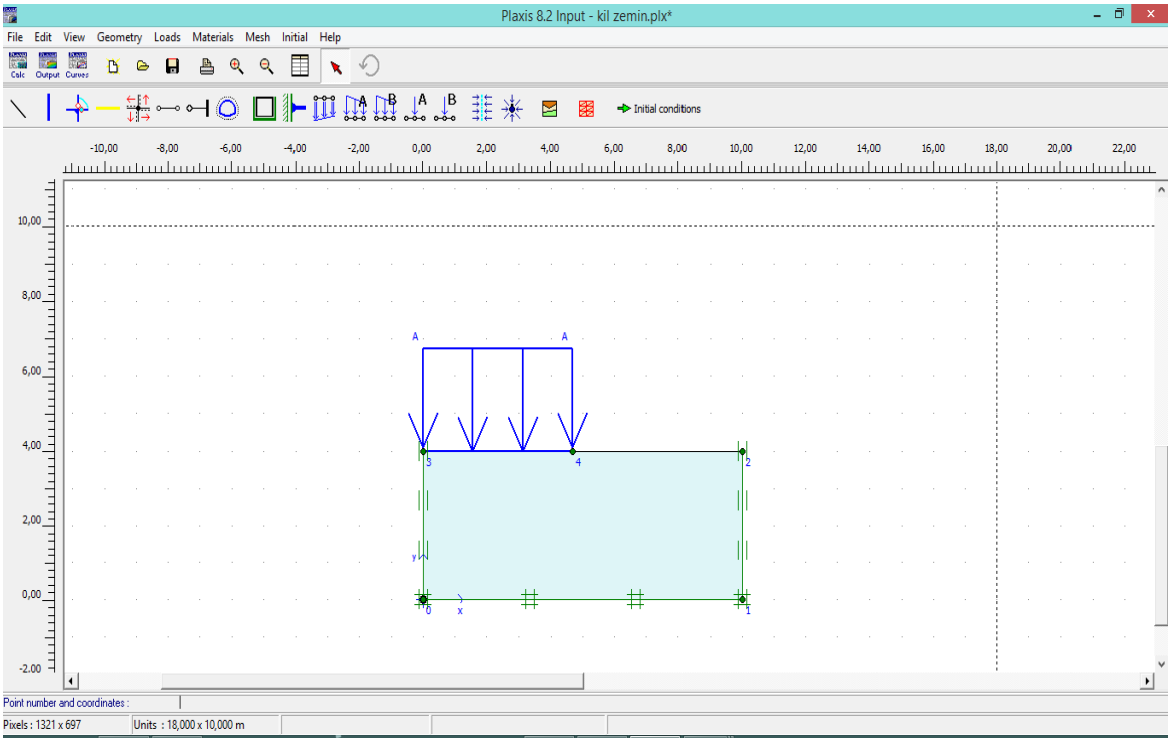
için araç çubuğundaki düğmelerden veya *Geometry* menüsündeki seçeneklerden birini kullanabiliriz. Yeni bir proje için *Geometry line* düğmesi daima aktiftir. Aksi takdirde bu seçenek ikinci araç çubuğundan veya *Geometri* menüsünden seçilebilir.

Boundary Conditions (Sınır Koşulları):

Sınır koşulları ikinci araç çubuğunun orta kısmında ve *Loads* menüsünde bulunabilir. Deformasyon problemleri için iki tip sınır koşulu vardır: Ön tanımlı deplasmanlar ve ön tanımlı kuvvetler (yükler). Prensip olarak her doğrultuda bütün sınırların bir sınır koşulu olmalıdır. Yani, belli bir sınıra hiçbir açık sınır koşulu verilmezse (serbest bir sınır), ön tanımlı kuvvetin sıfıra eşit olduğu ve serbest bir deplasman yapan doğal koşullar uygulanır. Geometrinin deplasmanlarının belirsiz olduğu bir durumdan sakınmak için, geometrinin bazı noktaları ön tanımlı deplasmanlara sahip olmalıdır. Ön tanımlı deplasmanların en basit formu mesnetlenme (sıfır deplasman), fakat sıfır-olmayan öntanımlı deplasmanlar da verilebilir. Bu problemde rijit temelin oturması kil tabakasının tepesinde sıfır-olmayan öntanımlı deplasmanlar yoluyla simüle edilmiştir.

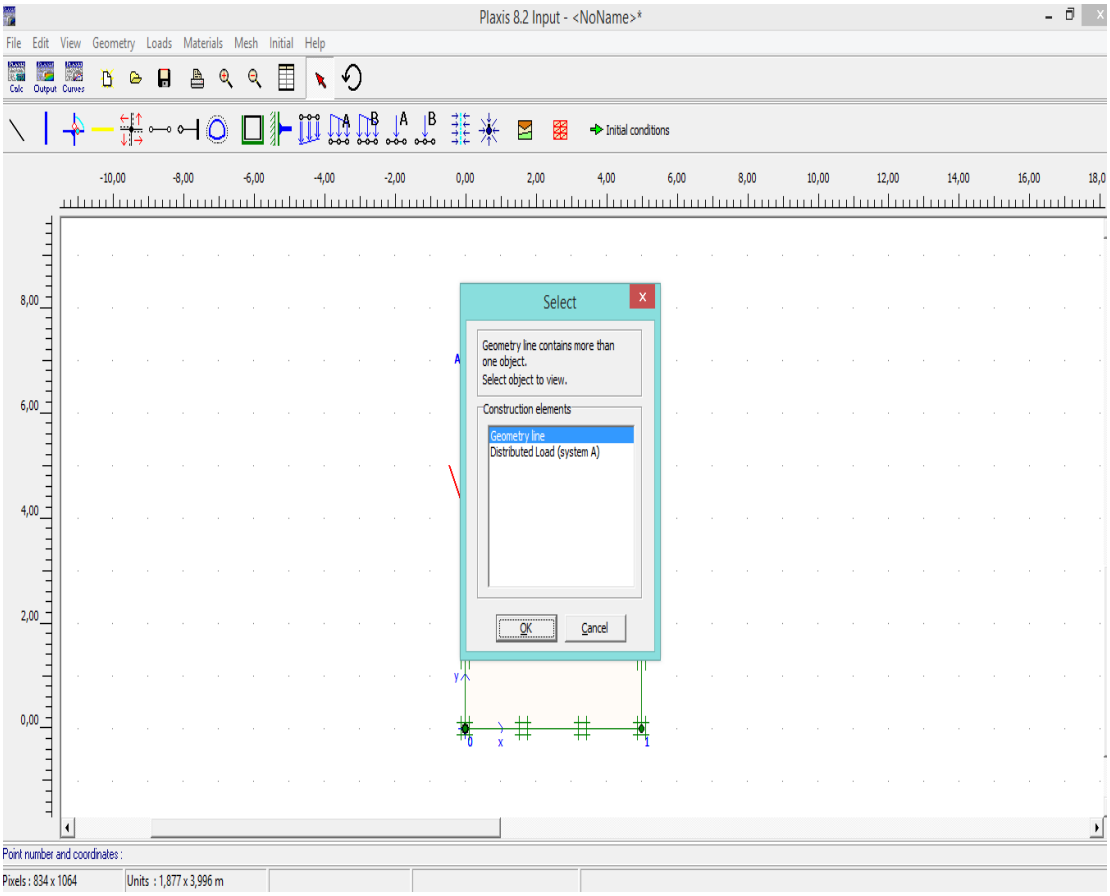
Bu çalışma için sınır koşullarını oluşturmak için, Standart sınır koşullarını ayarlamak için araç çubuğunda *Standart fixities* düğmesinden veya *Loads* menüsünden *Standart fixities* seçeneğini seçilir.

Temelimiz simetrik olduğundan tam ortasından ikiye ayırıp yarısı ile çalışma yapmamız yeterli olacaktır. Araç çubuğundan *Distrubuted Loads (Yayılı Yükler)* düğmesini veya *Loads* menüsünden ilgili seçeneği seçilir. Yayılı Yükler seçildikten sonra Prizmatik servis depomuzun öncelikle 9,35 m olan kenarı eksenel simetriden ötürü 4,68m olarak Şekil 8.4'de gösterildiği gibi geometrinin başlangıç konumundan başlayan ve hareket doğrultusunu işaret eden bir grup oklar olarak görünürler.



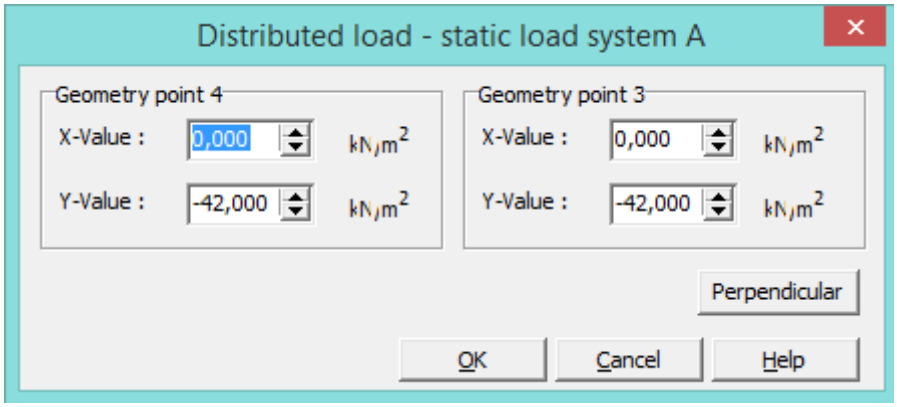
Şekil 8.4. Yayılı yüklerin oklar ile gösterimi.

Yayılı yük değerini istediğimiz gibi ayarlayabilmek için; yayılı yükün üzerinde bulunduğu Geometri Çizgisine iki kez tıklanır, açılan pencerede Şekil 8.5'de gösterildiği gibi Distrubuted Loads seçilir.



Şekil 8.5. Yayılı yük seçim sekmesi.

Ardından Prizmatik servis depomuz için Şekil 8.6'da belirtildiği gibi $42^{kN}/_{m^2}$ değeri girilir. Bu kısımda önemli olan husus yükün yönünün y eksenine göre - olarak girilmesidir.



Şekil 8.6. Yayılı yük değerleri giriş kutusu.

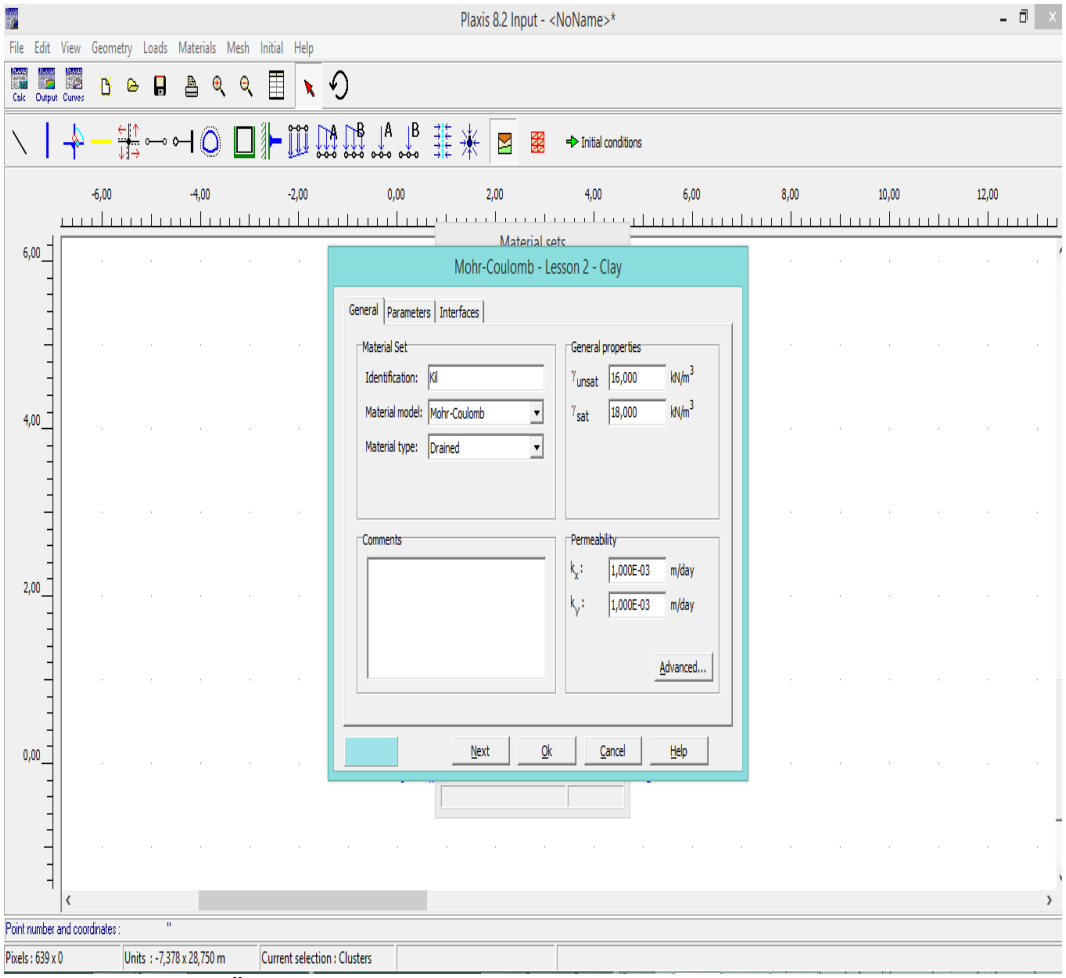
Material data sets (Malzeme veri setleri):

Zeminin davranışını simüle etmek için uygun bir zemin modeli ve uygun malzeme parametreleri geometriye atanmalıdır. PLAXIS de zemin özellikleri malzeme veri setlerinde toplanır ve çeşitli veri setleri malzeme veritabanında depolanır. Veritabanından alınan bir veri seti bir veya daha fazla kümeye atanabilir. Yapılar için (duvarlar, plaklar, ankrajlar, geogridler vb. gibi) sistem benzerdir, fakat farklı yapı türlerinin farklı parametreleri ve bu yüzden farklı türde veri setleri vardır.

PLAXIS *Soil & Interfaces (Zemin & Arayüzler), Plates (Plaklar), Anchors (Ankrajlar) ve Geogridler* için malzeme veri setlerini ayırır. Malzeme veri setlerinin oluşturulması genel olarak sınır koşullarının girilmesinden sonra yapılır. Ağ (mesh) oluşturulmadan önce bütün malzeme veri setleri tanımlanmalı ve bütün kümeler (clusters) ve yapılara uygun veri setleri atanmış olmalıdır.

Araç çubuğundan *Material Sets (malzeme setleri)* düğmesini seçilir ve *Material Sets* penceresinin alt kenarındaki *New* düğmesine tıklanır. Yeni bir *dialog* kutusu üç sekmesiyle birlikte görünecek: *General*, *Parameters* ve *Interfaces*(Şekil 8.7 - 8.8).

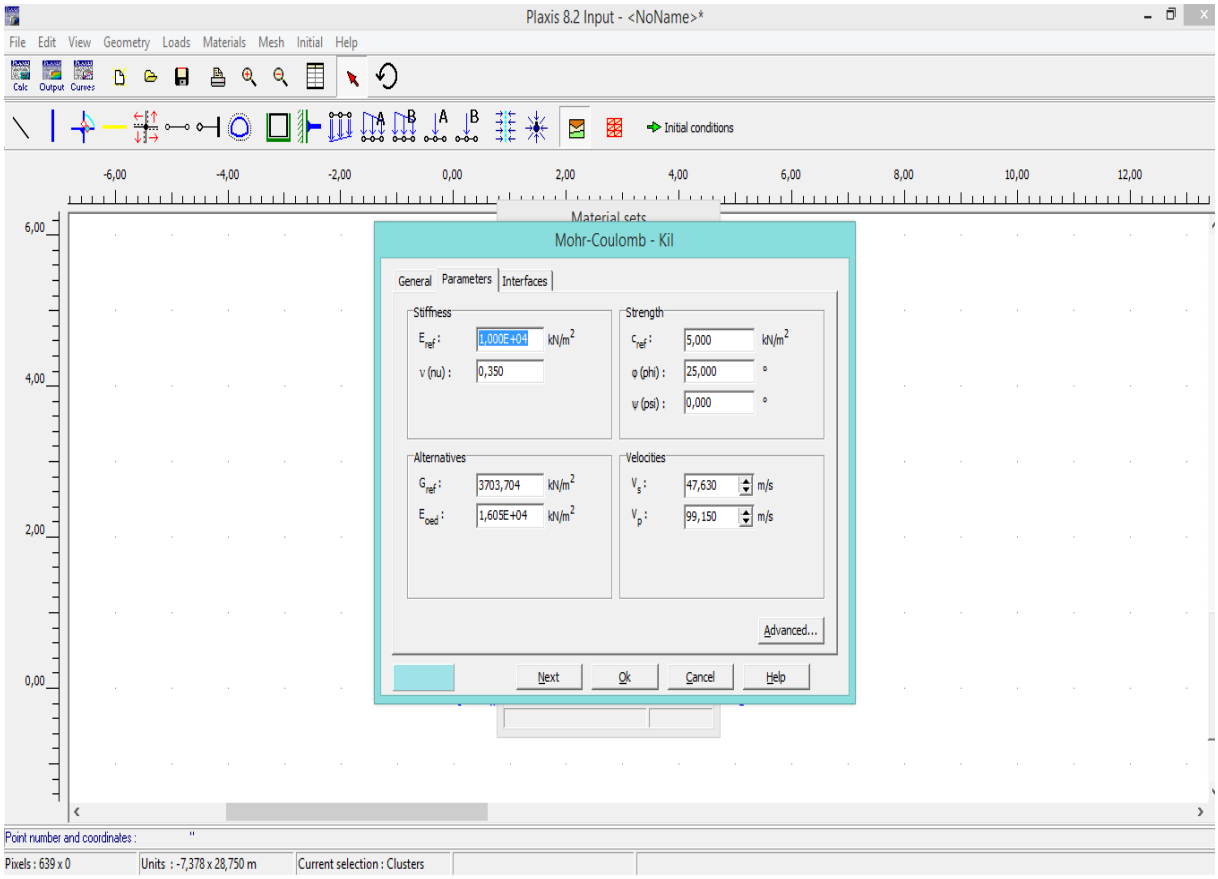
Bu kısımda belirlediğimiz zemin parametreleri ile zemin tanımlar. Killi Zeminler için çalıştığımızdan bu kısımda kil bir zeminin özellikleri tanımlanır. *General properties* kutusuna ve *Permeability* kutusuna Çizelge8.1 de listelenen malzeme özelliklerine göre uygun değerler girilir.



Şekil 8.7. Zemin Özellikleri tanımlama ekranı – General.

Çizelge8.1.Kil tabakaları ve ara yüzlerin malzeme özellikleri

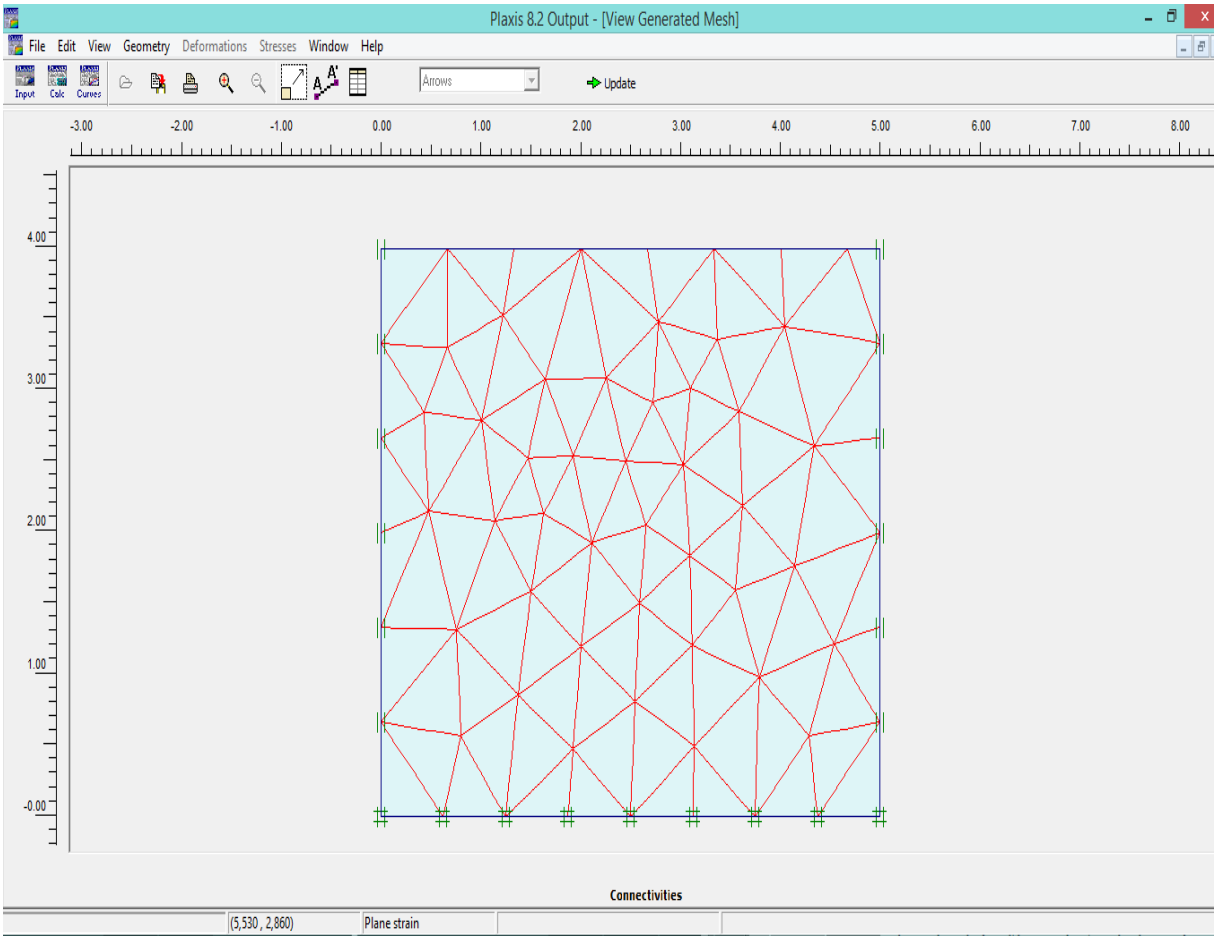
Parametre	İsim	Kil Tabaka	Birim
Malzeme modeli	Model	Mohr- Coulomb	-
Malzeme davranış tipi	Type	Drene	-
Yer altı suyu seviyesi üstü birim hacim ağırlığı	γ_{unsat}	16	kN/m^3
Yer altı suyu seviyesi altı birim hacim ağırlığı	γ_{sat}	18	kN/m^3
Yatay yönde geçirimlilik	k_x	0.001	m/day
Düşey yönde geçirimlilik	k_y	0.001	m/day
Young modülü	E_{ref}	10000	kN/m^3
Poisson oranı	v	10000	-
Kohezyon sabiti	c_{ref}	0.35	kN/m^2
Sürtünme açısı	φ	5.0	^{o}
Dilatancy açısı	Ψ	25	^{o}
Dayanım azaltma faktörü	R_{inter}	0.67	-



Şekil 8.8. Zemin özellikleri tanımlama ekranı – Parameters.

Mesh Generation(Ağ Oluşturma)

Geometri modeli tamamlandığında, sonlu eleman modeli (veya mesh) oluşturulabilir. PLAXIS tam otomatik bir ağ oluşturma prosedürünü mümkün kılar. Burada geometri temel eleman türlerine ve eğer uygunsa uyumlu yapısal elemanlar bölünür.



Şekil 8.9. Ağ oluşturulmuş model.

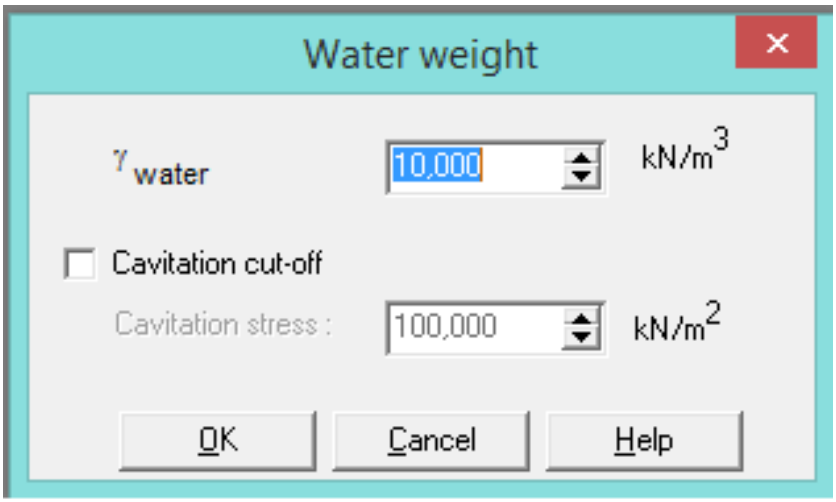
Ağ oluşturulması geometri modelindeki noktaların ve çizgilerin konumlarının tam hesaplamasını yapar, böylece tabakaların, yüklerin ve yapıların tam konumları sonlu eleman ağında hesaplanır. Ağ oluşturulması işlemi en uygun üçgenlerin araştırıldığı ve biçimsiz bir ağı netice veren sağlam bir üçgenleme prensibi temeline oturur. Biçimsiz ağlar düzenli eleman kalıplarından oluşmaz. Ancak bu ağların sayısal performansı düzenli eleman sıralarıyla oluşturulan düzgün biçimli ağlardan daha iyidir. Ağ oluşturmanın kendisine ek olarak girdi datasının (özellikler, sınır koşulları, malzeme setleri vs.) geometri modelinden (noktalar, çizgiler ve kümeler) sonlu eleman ağına (elemanlar, düğümler ve gerilme noktaları) dönüşümü yapılır.

Initial Conditions (Başlangıç Koşulları)

Ağ oluşturulduğunda sonlu eleman modeli tamamlanmıştır. Fakat hesaplamalara (Calculations)başlamadan önce, başlangıç koşulları oluşturulmalıdır. Başlangıç koşulları, genelde, başlangıç yeraltı suyu koşulları, başlangıç geometri yapılandırması ve başlangıç efektif gerilme durumlarından oluşur. Şimdiki temel projesinde kil tabakası kurudur,

dolayısıyla yeraltı suyu koşullarını girmeye ihtiyaç yoktur. Fakat analiz *K0 prosedürü* vasıtasıyla başlangıç efektif gerilmelerinin oluşturulmasını gerektirir.

Araç çubuğunda *Initial conditions* düğmesine tıklanır veya *Initial* menüsünden *Initial conditions* seçeneği seçilir. Önce suyun birim ağırlığının varsayılan değerini Şekil 8.10'da görüldüğü gibi (10 kN/m^3) gösteren küçük bir pencere görünür. Varsayılan değeri kabul etmek için *OK* tıklanır. Yeraltı suyu koşulları modu görünür. Araç çubuğunun ve geometri zeminin geometri girdi moduna göre değiştiğine dikkat edilir.



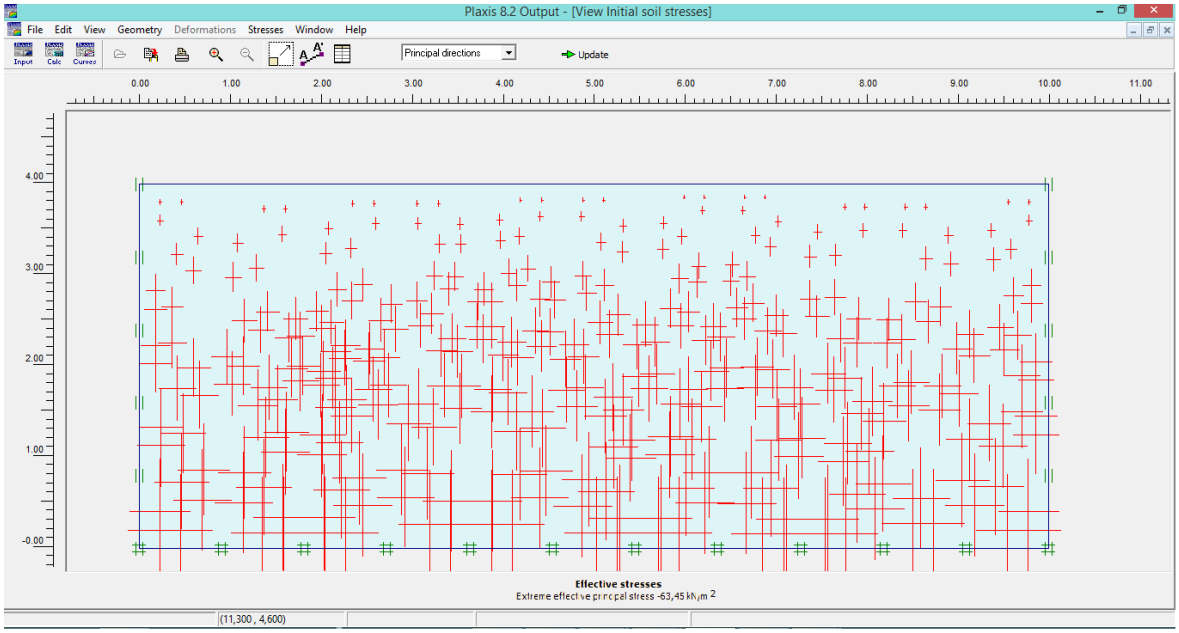
Şekil 8.10. Su birim hacim ağırlığı giriş ekranı.

Şekil Şimdiki proje su basınçlarını içermediği için geçiş anahtarının sağ tarafına tıklayarak geometri konfigürasyon moduna devam edilir (*Başlangıç gerilmeleri ve geometri konfigürasyonu*).Yeraltı suyu seviyesi otomatik olarak geometrinin tabanına yerleştirilir.

Araç çubuğunda *Generate initial stresses* düğmesine (kımızı artılar) basılır veya *Generate* menüsünden *Initial stresses* seçeneği seçilir. *K0 prosedürü* diyalog kutusu görünür.

Zemin ağırlığı için toplam çarpanı, *ΣMweight*, 1.0 olarak tutulur. Bunun anlamı; başlangıç gerilmelerinin oluşturulması için tüm zemin ağırlığı uygulanır. PLAXIS

tarafından önerilen varsayılan *K0* değeri kabul edilir ve *OK* tıklanır. Şekil 8.11'de gösterildiği gibi temel etrafında oluşan başlangıç gerilmeleri + ile gösterilir.



Şekil 8.11.Temel Etrafındaki Geometride Başlangıç Gerilmeleri

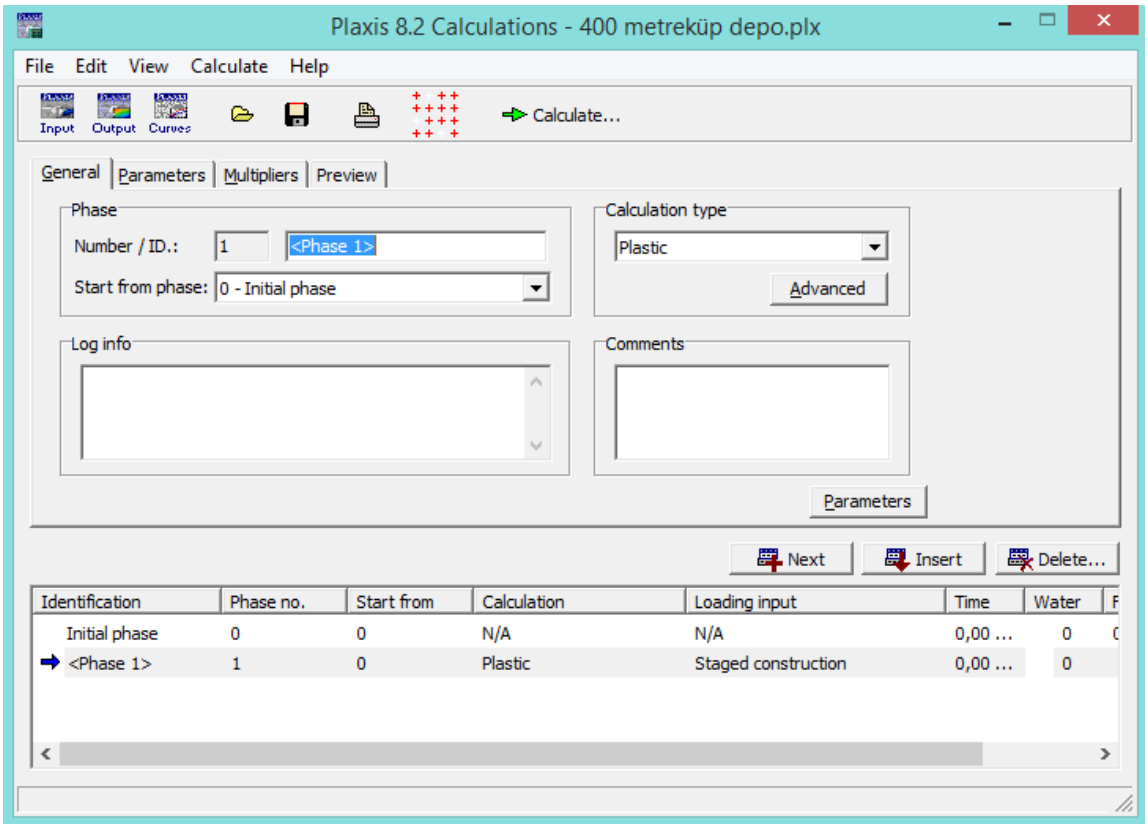
Ağ oluşturulmasından elde edilen sonuç tatminkar olmasa bile geometri girişine dönmek için *Update* düğmesi kullanılmalıdır. Varsayılan olarak, ağın *Global coarseness (Global kabalık)* ayarı *Coarse (kaba)* olarak ayarlıdır. Bu ise birçok durumda ilk yaklaşım için yeterlidir. *Global coarseness* ayarı *Mesh* menüsünde değiştirilebilir.

Ağı global veya yerel olarak iyileştirmek için ek seçenekler de mevcuttur. Bu girdi aşamasında hala geometrinin parçalarında değişiklik yapmak veya geometri nesnesi eklemek mümkündür. Eğer bu aşamada değişiklikler yapılırsa, o zaman sonlu eleman ağı yeniden oluşturulmalıdır.

Eğer gerekliyse, global veya yerel iyileştirme (refinement) yapılarak ağ optimize edilebilir. Ağ iyileştirilmesi diğer bazı derslerde nazara alınır. Burada şimdiki sonlu eleman ağının kabul edilmesi önerilir.

8.3. Hesaplamaları Gerçekleştirme

Calculate düğmesine tıklayıp girdi verisini kaydettikten sonra, Input programı kapanır ve Calculations (Hesaplamalar) programı başlar. Calculations programı hesaplama aşamalarını tanımlamak ve yürütmek için kullanılabilir. Ayrıca çıktı sonuçlarının görülebilmesi için, hesaplanmış aşamaları seçmek için kullanılabilir. *Calculations* penceresi, Şekil 8.12 da gösterildiği gibi, bir menü, bir araç çubuğu, bir grup sekme ve hesaplama aşamalarının bir listesinden oluşur.



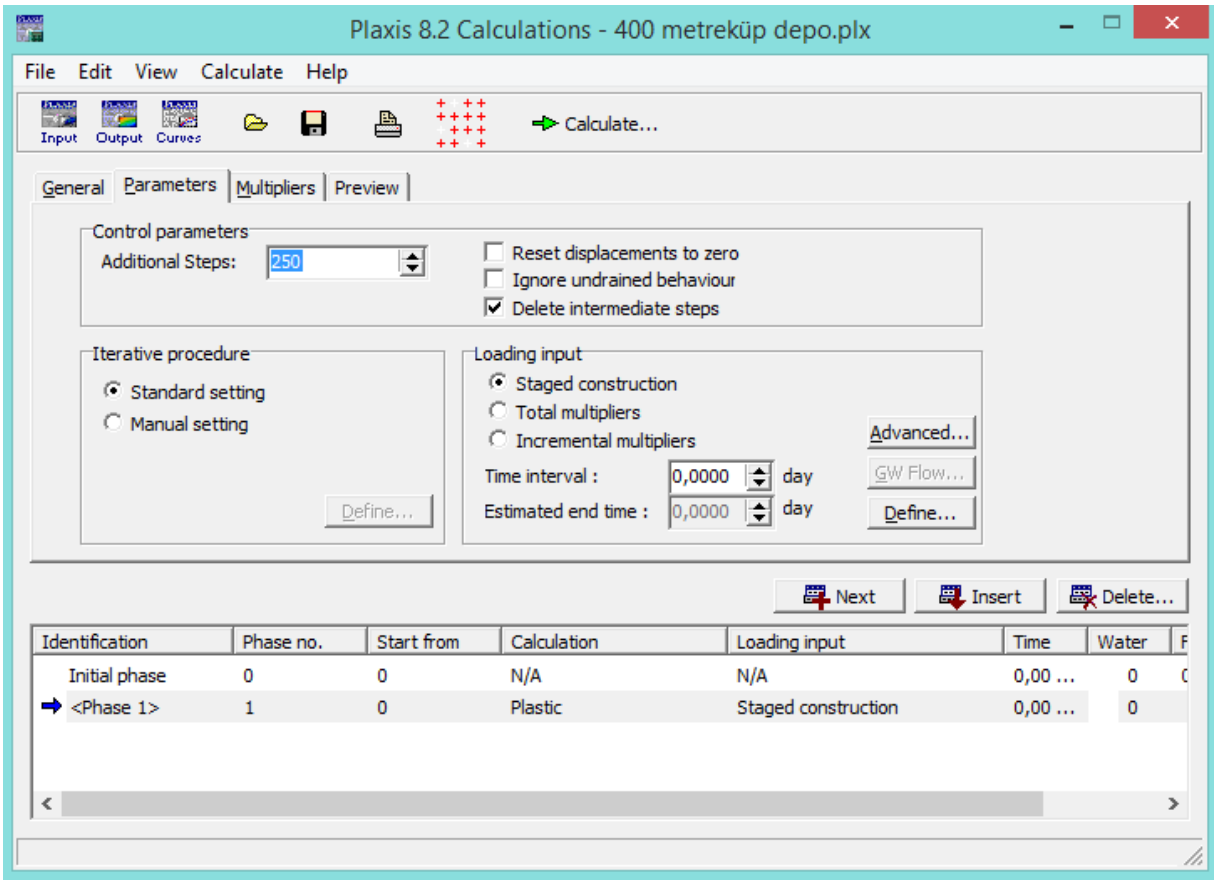
Şekil 8.12 General sekmesiyle birlikte Calculations penceresi.

Sekme yaprakları (*General, Parameters ve Multipliers*) bir hesaplama aşamasını tanımlamak için kullanılır. Bu aşama yükleme, inşaat veya kazı aşaması, bir konsolidasyon periyodu veya bir güvenlik analizi olabilir. Her proje için çoklu hesaplama aşamaları tanımlanabilir. Tüm tanımlı hesaplama aşamaları pencerenin alt kısmındaki listede görünür. *Preview (Önizleme)* sekmesi geometrinin güncel durumunu göstermek için kullanılabilir. Bir önizleme sadece seçili aşamanın hesaplanmasından sonra mümkündür. Calculations programı yeni bir projenin girilmesinden sonra doğrudan başlatıldığında, ilk hesaplama aşaması otomatik olarak girilir. Bu analizde temelin oturmasını simüle etmek

için plastik bir hesaplama gereklidir. PLAXIS otomatik yükün adım adım girilmesi için Load Advancement (Yük İlerlemesi) denilen kullanışlı bir prosedüre sahiptir. Bu prosedür çoğu pratik uygulamalar için kullanılabilir. Plastik hesaplamaların içerisinde, temelin girintisini simüle etmek için ön tanımlı deplasmanlar aktifleştirilir.

Hesaplama aşamalarını tanımlamak için şu adımlar takip edilir:

- *Phase ID* kutusuna (opsiyonel olarak) şimdiki hesap aşaması için uygun bir isim yazılır (mesela"Girinti") ve bu aşamanın başlayacağı aşamayı seçilir (bu durumda hesaplama sadece Aşama *0 –Initial phase*).
- *General sekmesine* tıklayın, *Calculation type (Hesaplama türü)* kombo kutusundan *Plastic* seçilir.
- *Parameter* düğmesine veya *Parameter* sekmesine tıklanır. *Parameter* sekme yaprağı Şekil 8.13'de gösterildiği gibi hesap kontrol parametrelerini içerir.
- Maksimum *Additional steps (Ek adımlar)* sayısı için varsayılan değeri (250) korunur ve *Iterative prosedure (Tekrarlı prosedür)* kutusundan *Standart setting* seçilir.

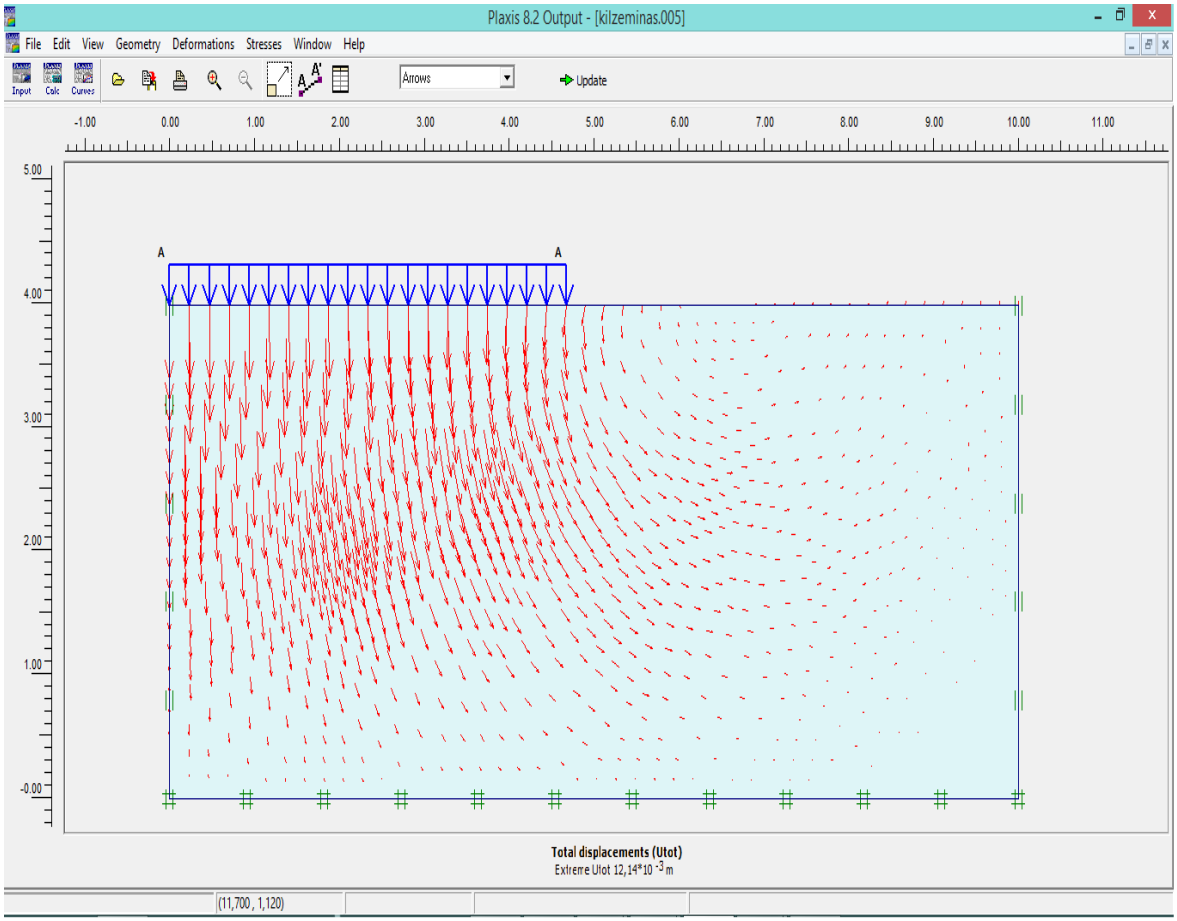


Şekil 8.13 Parameters sekmesiyle birlikte Calculations penceresi.

- *Loading input (Yükleme girişi)* kutusundan *Staged Construction (Aşamalı İnşaat)* seçilir.
- *Define (Tanımla)* düğmesine tıklanılır. Şuanki aktif geometri konfigürasyonunu gösteren *Staged Construction* penceresi görünür.
- *Öntanımlı deplasmanlar* üst çizgisine çift tıklayarak seçilir. Böylece bir diyalog kutusu görünür.
- *Öntanımlı Deplasmanlar* diyalog kutusunda öntanımlı deplasmanın büyüklüğü ve yönü belirtilir.
- Şimdi *Calculations* penceresinin *Parameters* sekmesine dönmek için *Update* düğmesine tıklanılır.

İlk hesaplamaya başlamadan önce, daha sonra yük deplasman eğrileri veya gerilme-şekil değiştirme diyagramları oluşturmak için düğümler ve gerilme noktaları seçilmesi tavsiye edilir. Bunu yapmak için şu adımlar takip edilir:

- Araç çubuğunda *Select points for Curves* düğmesine tıklanılır, bunun sonucunda sonlu eleman modelindeki tüm düğüm noktalarını gösteren bir pencere açılır.
- Sol üst köşedeki düğümü seçilir. Seçilen düğüm 'A' ile gösterilecektir. Calculations penceresine geri dönmek için *Update* düğmesine tılanılır.
- *Calculations* penceresinde *Calculate (Hesapla)* düğmesine tıklanılır. Böylece hesaplama süreci başlatılacaktır. Mavi okla işaretlenmiş olarak, yürütülmek için seçilen tüm hesap aşamaları(bu durumda sadece bir aşama) prensip olarak *Start from phase (aşama …dan başla)*parametresiyle kontrol edilen sırada yürütülür.
- *Stresses* menüsünden *Effective stresses* seçilir. Çizim efektif gerilmeleri asal gerilmeler olarak, doğrultuları ve göreli büyüklüklerinin bildirimiyle birlikte gösterir (bak Şekil 8.14). Gerilme ve deplasmanların çizimi *Geometry* menüsünden ulaşılabildiği üzere geometrik özelliklerle birleştirilebilir.



Şekil 8.14 Asal gerilmeler.

8.4.Çıktı Sonuçlarını Görme

Hesaplama bittiğinde sonuçlar Output programında değerlendirilebilir. *Output* penceresinde bütün geometrideki, en kesitlerdeki ve eğer uygulanmışsa yapısal elemanlardaki deplasmanlar ve gerilmeleri görebilirsiniz. Ayrıca sayısal sonuçlara da sekmeli formda ulaşılabilir. Temel analizinin sonuçlarını görmek için şu adımları takip edin:

Calculations penceresindeki son hesap aşamasına tıklayın. Ek olarak, araç çubuğundaki *Output* düğmesine tıklayın. sonuç olarak Output programı çalışır ve seçilen hesap aşamasının sonundaki deforme olmuş ağı (deformasyonların görülmelerini kesinleştirmek için belli ölçekte büyütülmüştür) maksimum deplasman işaretiyle birlikte gösterir (Şekil 8.14).

Deformations menüsünden *Total displacements* seçin. Bütün düğümlerin toplam deplasmanlarını oklar şeklinde ve göreli büyüklüklerine işaret ederek gösterir.

Araç çubuğundaki presentation (sunum) kombo kutusunda şimdi *Arrows* okunmaktadır. Bukombo kutusundan *Shadings* seçin. Çizim toplam deplasmanların renkli gölgelendirilmesini gösterir. Renk sınırlarında deplasman değerleriyle birlikte bir indeks gösterilir.

Araç çubuğundaki presentation kombo kutusundan *Contours* seçin. Çizim etiketlenmiş olan toplam deplasmanların kontur çizgilerini gösterir. Etiketlere ilişkin deplasman değerleriyle birlikte bir indeks gösterilir.

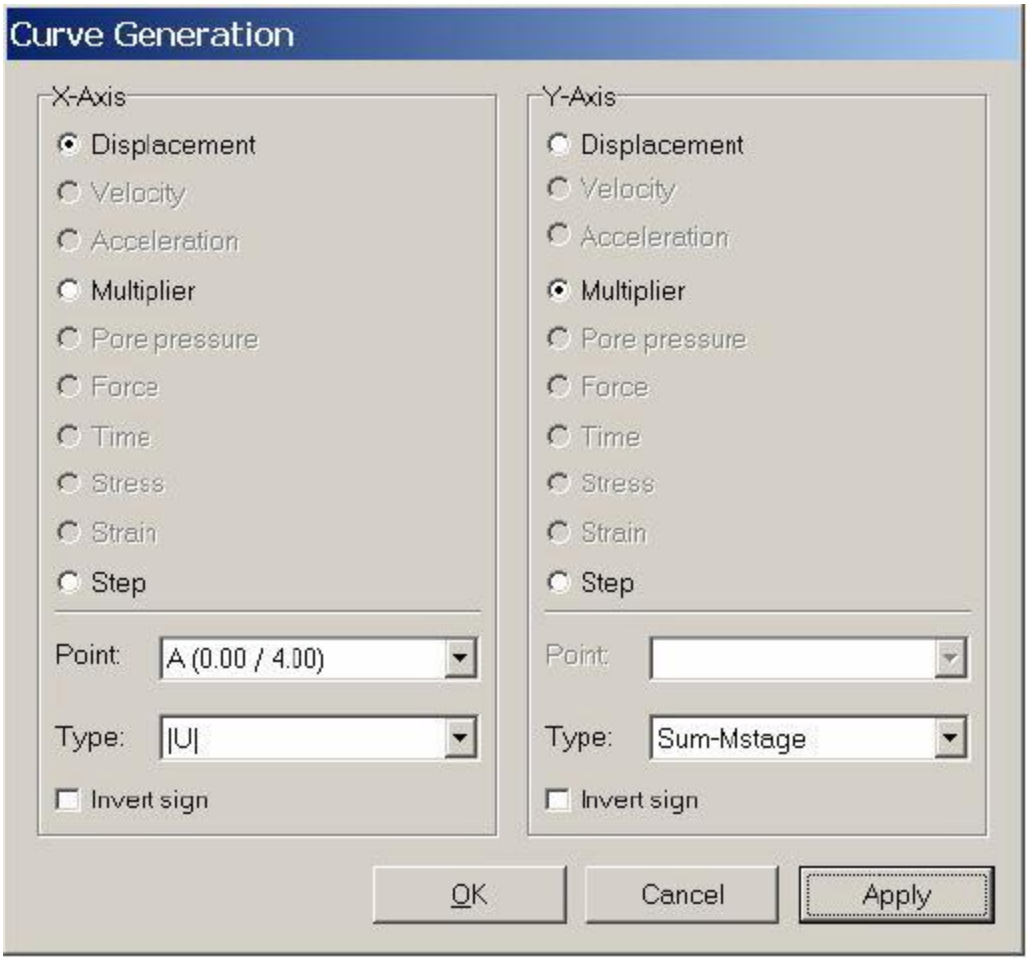
Calculations aşaması sona erdiğinde Kil zeminde en büyük deformasyon değerinin Şekil 8.14'de 12,14 x 10^{-3} m olduğu görülüyor.

Araç çubuğundaki *Table (Tablo)* düğmesine tıklayın. İçinde bir tablonun gösterildiği yeni bir pencere açılır. Bu Tablo tüm elemanların her bir gerilme noktasındaki Kartezyen gerilmelerin değerlerini gösterir.

8.4.1. Yük-deplasman eğrisini oluşturma

En son hesap adımının sonucuna ek olarak, çoğu kez yük-deplasman eğrisini görmek faydalıdır. Bu yüzden PLAXIS programındaki dördüncü program kullanılır.
Şekil 3.17 de verilen yük-deplasman eğrisini oluşturmak için şu adımları takip edilir:
Araç çubuğundaki *Go to Curves program* düğmesine tıklayın. Böylece Curves (Eğriler) programı başlar.

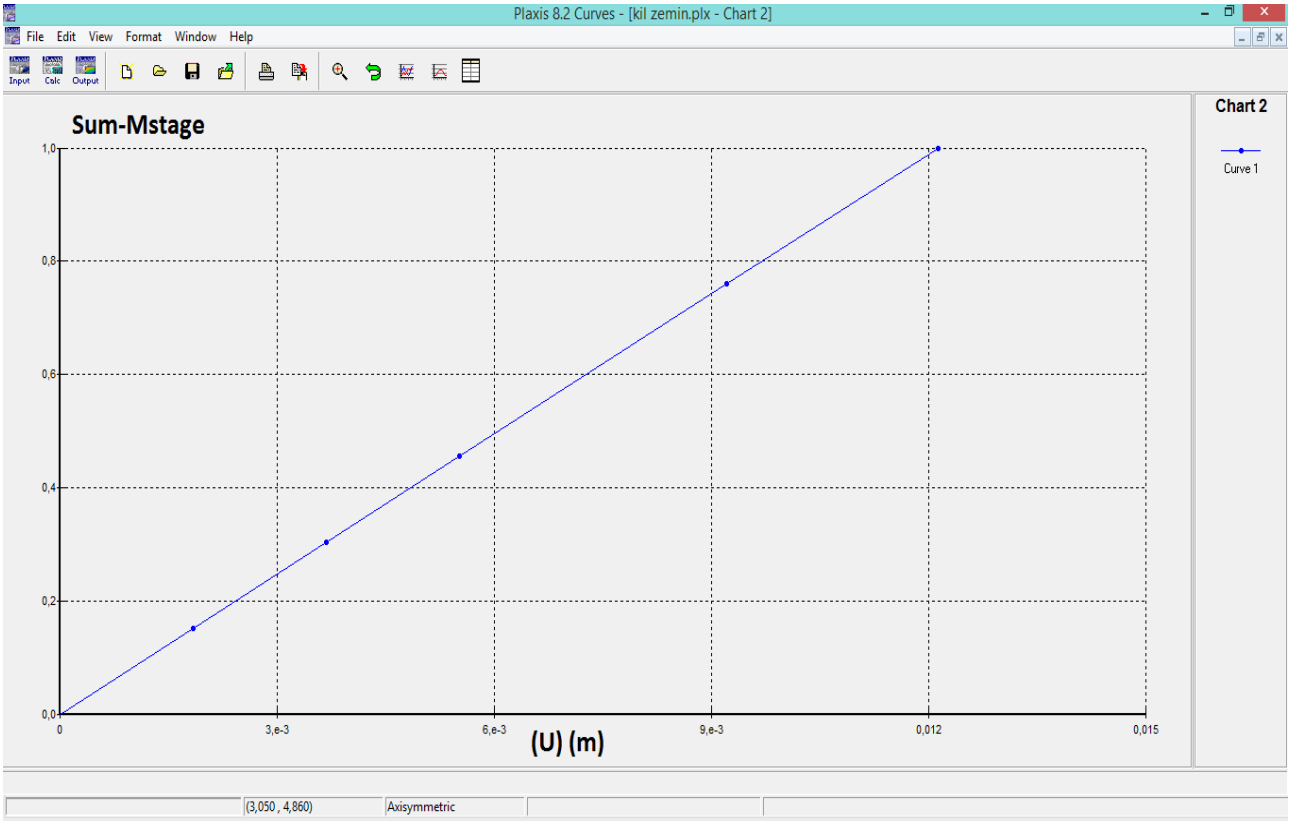
- *Create/Open Project* diyalog kutusundan *New chart (Yeni grafik)* seçilir.
- En son temel projesinin dosya ismini seçin ve *Open* düğmesine tıklanır.



Şekil 8.15. Curve (Eğri) oluşturma penceresi.

İki kolondan (*x*-ekseni ve *y*-ekseni) oluşan bir *Curve generation* penceresi çoktan seçmeli radyo düğmeleri ve her kolon için iki kombo kutusuyla birlikte görünür. Her eksen için seçimlerin kombinasyonu eksenler boyunca hangi değerin çizileceğini belirler.

- *X-ekseni* için *Displacement (Deplasman)* radyo düğmesini seçin, *Point* kombo kutusundan *A(0.00/4.00)* ve *Type (Tür)* kombo kutusundan *Uy* seçilir. Ayrıca *Invert sign* onay kutusunu seçin. Böylece *x*-ekseninde A noktasının düşey deplasmanı çizilir (mesela temelin merkezindeki).
- *Y-ekseni* için *Multiplier (Çarpan)* radyo düğmesini seçin ve *Type (Tür)* kombo kutusundan *ΣMstage (Sum-Mstage)* seçilir. Böylece y-ekseninde çizilecek olan uygulanmış belirli değişikliklerin miktarıdır. Değer 0 dan 1 doğru değişecektir. Yani ön tanımlı yükün (42 kN/m^2) %100 ü uygulanmış ve ön tanımlı nihai duruma tamamen ulaşılmıştır.
- Girdiyi kabul etmek için *OK* düğmesine tıklanır ve yük-deplasman eğrisini oluşturun. Sonuç olarak Şekil 3.17 deki eğri *Curves* penceresinde çizilir.



Şekil 8.16 Temel için yük-deplasman eğrisi.

8.5. Uzun Kenar İçin Oturma Hesabı

Temele uygulanan yük sebebiyle zeminde oluşan gerilme ve deplasmanları Prizmatik Servis Depomuzun uzun kenarı için bulacağız.

Uzun kenar için oturma hesapladığımızda, zemin tipi, yayılı yük miktarı sabit kalır. Ancak, kenar 13,30 olduğundan yayılı yük uzunluğu x ekseni doğrultusunda 6,65 m olarak alınacaktır.

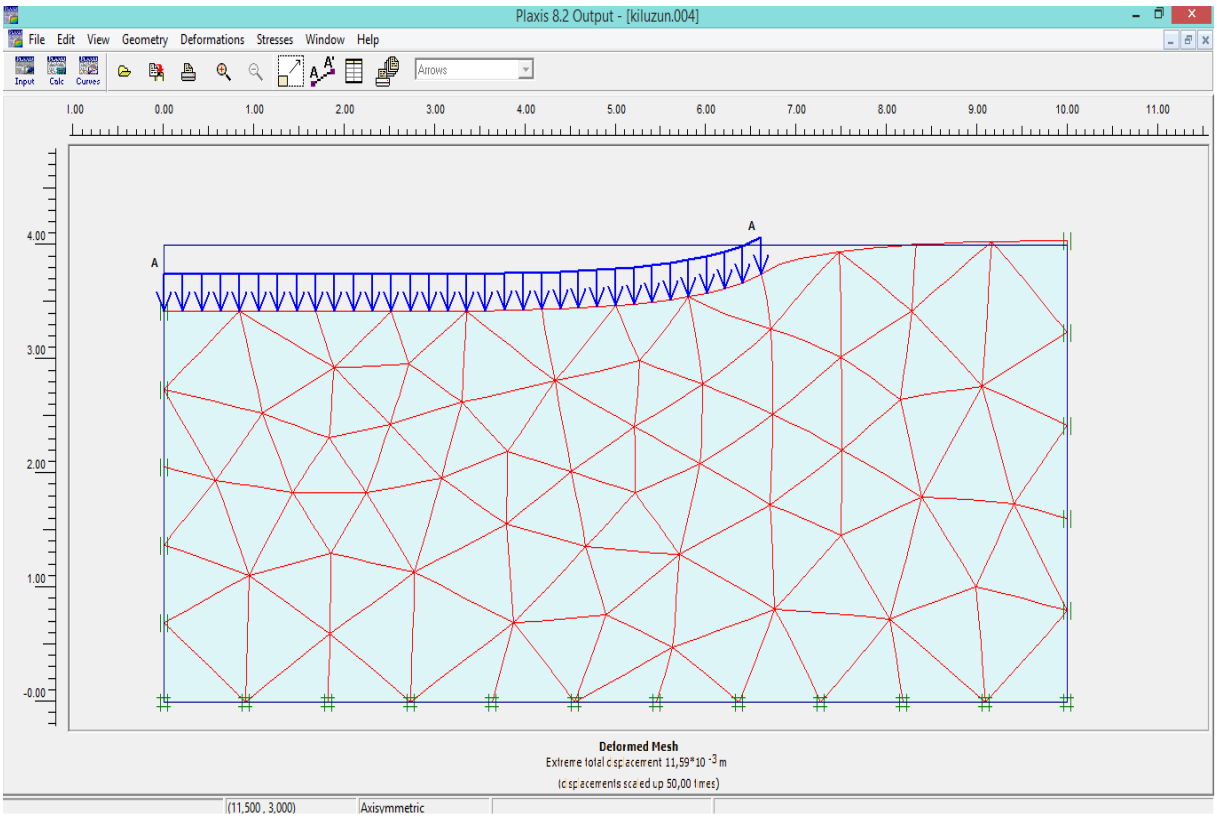
8.5.1Hesaplamaları gerçekleştirme

Kısa kenar için daha önce uyguladığımız sıra ile modelleme yapıldıktan sonra hesaplama sona erdiğinde, hesap aşamalarının listesi güncellenir ve ilgili *Log info* not kutusunda bir mesaj görünür. *Log info* not kutusu hesaplamanın başarılı bir şekilde sona erip ermediğini gösterir.

8.5.2Çıktı sonuçlarını görme

Output penceresinde bütün geometrideki, en kesitlerdeki ve eğer uygulanmışsa yapısal elemanlardaki deplasmanlar ve gerilmeleri görebilirsiniz. Ayrıca sayısal sonuçlara da sekmeli formda ulaşılabilir.

Zemin modelimizi tamamlayıp analizi bitirdiğimizde ve Calculations aşaması sona erdiğinde Kil zeminde en büyük deformasyon değerinin Şekil 8.17'de 11,59 x 10^{-3} m olduğu görülüyor.



Şekil 8.17. Deforme olmuş ağ (13.30m'lik kenar için).

8.6. Uzun ve Kısa Kenar İçin Sonuçların Karşılaştırılması

Şekil 8.1.'deki duruma göre zeminin ilk 4m'lik kısmının kil olduğu altında ise çok derinlere uzanan rijit bir kaya tabakası olduğu düşünülerek modellenen temele uygulanan yük sebebiyle zeminde oluşan gerilme ve deplasmanlar;

- Tip servis depomuzun 9,35m olan kısa kenarı dikkate alınarak modelleme yapıldığında toplam deplasmanın 12,14 x 10^{-3} m olduğu görülmüştür (Şekil 8.14).

- 10,30m olan uzun kenarı dikkate alınarak modelleme yapıldığında toplam deplasmanın 11,59 x 10^{-3} m olduğu görülmüştür.

Bu durum dikkate alınarak yayılı yüklü dikdörtgen tasarımlarımızda kısa kenarın daha fazla oturma gösterdiği görüldüğünden, kısa kenar için modelleme yapmamız oturma sınırını kontrol etmekte yeterli olacaktır.

9. LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALAR

Temel Yetimoğlu (1998) çalışmasında 1 metrelik sıkıştırılmış kum zemin için laboratuar ortamında deneyler yaparak bir deformasyon grafiği oluşturmuştur. Aynı deneyleri doğru parametreler kullanarak sonlu elemanlar yöntemi (DACSAR Programı) ile modellemiş ve bulduğu deformasyon grafiklerinin birbiri ile uyumlu olduğunu görmüştür.

Defossez ve Richard (2002) çalışmalarında kompaksiyon etkisini incelemişlerdi. Makinelerin oluşturduğu yükten kaynaklı kompaksiyonların arazide ve laboratuarda yapılan deney sonuçları ile sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan değerlerin birbiri ile uyumlu olduğunu görmüşlerdi.

Huat ve Mohammed (2006) yaptıkları çalışmada radye, mütemadi ve kabuk temellerin taşıma gücü bakımından karşılatırdılar. Sonlu elemanlar yöntemi (Plaxis) ile bulunan sonuçların laboratuarda bulunan sonuçlarla benzer olduğu ve shell footing(kabul temellerin) taşıma gücünün fazla olduğu sonucuna ulaştılar.

Demir ve diğ. (2007) temeller altına yapılan değişken derinlikteki dolguların taşıma gücüne etkisine araştırılmıştır. Dolgu altında yumuşak kil zemin bulunduğu düşünülerek yapılan modellemede sonlu elemanlar yöntemi için Plaxis programı kullanılmış ve Hamed ve diğ. (1986) tarafından yapılan araştırma sonuçları ile kıyaslanarak sayısal analiz sonuçlarının oldukça benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Keleşoğlu ve Çinicioğlu (2005) yumuşak zemin üzerine dolgu yapılarak bu dolgunun kazıklı ve kazıksız olduğu durumlar için arazi deneyleri yapmışlardır. Yaklaşık 9 metre yumuşak kil üzerine 2300 santimetre kalınlığındaki dolgu zemin için oluşan yanal etkiler ve kazıklar üzerindeki ilave yüklerin yapısal bir hasar oluşturup oluşturmayacağı sonlu elemanlar yöntemi ile de incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan Plaxis programıyla buldukları deplasman ve ilave boşluk suyu basıncı ile arazide buldukları deplasman ve ilave boşluk suyu basınç değerlerinin uyumlu olduğu sonucuna varmışlardır.

Moayed ve Janbaz (2008) çalışmalarında killi zeminler üzerinde plaka yükleme metodu deneylerini kullanarak zemin yatak katsayısının bulunması için sonlu elemanlar yöntemi ile (Plaxis) model oluşturulmuştur. Mohr- Coulomb modellemesi kullanılarak Terzaghi 1955. tarafından verilen denklemle kıyaslama yapılmıştır. Kıyaslama sonucunda Terzaghi formulüne göre %33 oranında daha fazla olduğu saptanmıştır.

Serdar Doğan (2009) yaptığı çalışmada dolgu zeminler sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Doğal zemin üzerinde Poisson oranı değiştirilerek deformasyon (mm) değerlerindeki değişimler gözlenmiştir. Ayrıca arazide yapılan plaka yükleme deneyi ile sayısal analiz arasındaki sonuçlar kıyaslanmıştır. Kil zemin üzerinde yapılan deformasyon ve oturma değerleri arazideki oturma ve deformasyon değerleri ile uyumluluk göstermiştir.

Ou vd. (2007) yaptıkları çalışmada kil zeminlerde ve derin kazılarda duvar sehimlerinin ve oturmanın bir problem oluşturduğu ve yapılara zarar verdiği durumlar göz önüne alınarak, duvar sehimleri ve oturmadan kaynaklı zararların jejet gorut veya derin kompaksiyon yöntemi ile iyileştirilmesi 3B sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Duvar deformasyonları ve oturmalarda arazi çalışmaları ile sonlu elemanlar yöntemi kullanımının birbirine benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada öncelikle kil zeminler, temellerde taşıma gücü ve zeminlerde oturma hakkında literatür taraması yapılmıştır. Ardından Sonlu Elemanlar Yöntemi hakkında bilgi verildikten sonra İller Bankası A.Ş. tarafından kullanılan 400 $\boldsymbol{m^3}$ **hacimli** Prizmatik Servis Deposu projesi incelenerek, bu proje kapsamında depo tam dolu iken zemine iletilen yük hesaplanmıştır.

Tüm bu aşamalardan sonra Plaxis programı kullanımı anlatılarak kil zeminler üzerindeki radye temel modeli için sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Önce 13,30x9,35 m boyutunda 520 ton ağırlığındaki deponun, 4 m kalınlığındaki kil zemin üzerinde oturduğu düşünülerek modellenmeye başlanmıştır.

Plaxis 2D kullanıldığından iki boyutlu analiz yapılmıştır. Bu iki boyutlu analiz yapılırken öncelikle radye temelin 9,35m olan kısa kenarı dikkate alınmıştır. Ardından aynı modelleme 13,30m uzunluğunda olan kenar dikkate alınarak yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- İller Bankası A.Ş.'nce kullanılan Prizmatik Servis Depolarında 400-3000m^3 aralığında yer alan projeler için hacim değiştiğinde temel alanı da aynı oranda değiştiğinden ortalama yük 40-45kpa aralığında olmaktadır.
- Tez içerisinde özellikleri tanımlanan kil zemin için 400 $\boldsymbol{m^3}$hacimli servis deposu modellendiğinde, radye temelin 9,35m olan hazne kenarı için maksimum oturmanın 12,14 x 10^{-3} m olduğu görülmüştür.
- Aynı zemin için 400 $\boldsymbol{m^3}$hacimli servis deposunun 13,30m olan hazne kenarı için yapılan modellemede maksimum oturmanın 11,59 x 10^{-3} m olduğu görülmüştür.
- Bu analizden de anlaşılacağı üzere kısa kenarın altında oturmalar daha fazla olacaktır. Bu nedenle hesaplamalarımızda oturma ve taşıma gücü limitlerini kontrol ederken kısa kenar için hesap yapmamız yeterli olacaktır.
- İçme suyu depoları yüksek yerlere konumlandığından zeminlerde yer altı suyuna nadiren rastlanmaktadır. Bu nedenle bu çalışma içerisinde yer altı suyu dikkate alınmamıştır. Ancak, İller Bankasınca yapılan farklı sanat yapıları için yer altı su seviyesi dikkate alınarak yer altı su seviyesi oturma ilişkisi araştırılabilir.

- Bu çalışmada kil zeminler için analiz yapılmış olup, farklı projelerde kullanılmak üzere farklı zeminler içinde detaylı modellemeler yapılarak her türlü zeminde yapı için oturma oranları belirlenip yapıya ait temel sistem tasarımı hızlı ve pratik şekilde öngörülebilir.
- Ayrıca PLAXIS programı içerisinde bulunan Plate özelliklerinden temel üzerinde değişiklikler yapılarak farklı temel tiplerindeki oturma durumları incelenerek temel tipi oturma ilişkisi araştırılabilir.

İller Bankası Anonim Şirketi yatırım ve kalkınma bankası olarak uzun yıllardır Belediye ve Özel idarelere teknik ve mali destek vermekte olup, birçok yapım inşaatı projesi yapmakta veya yaptırmaktadır. Bu tez çalışması dikkate alınarak İller Bankası Anonim Şirketince hazırlanılacak yapım inşaatı projelerinde kil zeminlerinin yapı üzerinde oluşturacağı etkiler proje aşamasında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hızlı ve doğru bir şekilde görülebilecektir. Ayrıca, Bankamızca hali hazırda kullanılan sanat yapılarına ait tip projeler zemin dayanımı bakımından değerlendirilebilecek olup, uygulama sırasında ortaya çıkabilecek problemlerin önüne geçilebilecektir.

KAYNAKLAR

Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekaniği. Teknik Yayınevi, 2.Baskı, 624 s., Ankara.

Birand, A., 2001. Kazıklı Temeller. Teknik Yayınevi, 433 s, Ankara.

Birand, A., 2006. Sığ (Yüzeysel) Temeller. Teknik Yayınevi, 276 s, Ankara.

Bowles, J.E., 1996. Foundation Analysis and Design. MCGRAW- HIIL Book Company, 1173 s, USA.

Brunauer, S., Emmett, P.H., and Teller, E., "Adsorption of Gases in Multi-Molecular Layers", Journal of the American Chemical Society 60, 309-319, 1938.

Cernica, J. N., 1995. Geotechnical Engineering: Foundation Desing. John Wileyand Sons Inc, 486 p, Canada.

Churchman, G.J. and Burke, C.M., "Properties of Subsoils in Relation to Various Measures of Surface Area and Water Content", Journal of Soil Science 42, 463-478, 1991.

Coduto, P.D., 2001. Foundation Design: Principal and Practices (Second Edition). Prentice Hall, 883 p, New Jersey.

Coduto,D. P., 2005. Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar. Çevirenler. Mollamahmutoğlu, M., ve Kayabalı, K. Gazi Kitapevi, 816s, Ankara. 102

Craig, R. F., 2004. Craig's Soil Mechanics. Spon Press Taylor and Francis Group, 447 p, Londan and New York.

Çinicioğlu, S. F., 2005. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı. Seminer, 1-25, İMO İstanbul Şubesi.

Das, B.M., Shin, E.C., Omar, M.T.,1994, The Bearing Capacity Of Surface Strip Foundations On Geogrid-Reinforced Sand And Clay – A Comparative Study. Geotechnical And Geological Engineering, 12, 1-14.

Das, M. B., 1999. Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement. CRC Press, 365 p, USA.

De Kimpe, C.R., Laverdiere, M.R. and Martel, Y.A. "Surface Area and Exchange Capacity of Clay in Relation to the Mineralogical Composition of Gleysolic Soils", Canadian Journal of Soil Science 59 (4), 341-347, 1979.

Farrar, D. and Coleman, J., "The Correlation of Surface Area with Other Properties of Nineteen British Clay Soils", Journal of Soil Science 18, 118-124, 1967.

Gabr M.A. and Hart H., 2000. Elastic Modulus of Geogrid Reinforced Sand sing Plate Load Tests, Technical Note. Geotechnical Testing Journal.

Greenland, D.J. and Quirk, J.P. “Determination of the Total Specific Surface Areas of Soils By Adsorption of Cetyl Pyridium Bromide”, Journal of Soil Science 15, 178-191, 1964.

Hang, P.T. and Brindley, G.W., “Methylene Blue Absorption by Clay Minerals Determination of Surface Areas and Cation Exchange Capacities”, Clays and Clay Minerals” 18, 203-212, 1970.

Holtz, R.D., 2001. Geosynthetics For Soil Reinforcement. 9th Spencer J. Buchanan Lecture, 1-19. 103

.

Keskin, M.S., 2009. Güçlendirilmiş Kumlu Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Deneysel ve Teorik Analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 410 s, Adana.

Kılıç, H., 2000. Yumuşak Zeminler Üzerine Oturan Dolgu Barajlarda Deformasyonların Deneysel ve Nümerik Yöntemlerle Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 278 s, İstanbul.

Koç M., Kayalar A. Ş., 2002. İzmir Zeminlerindeki Sekonder Sıkışma Değerlendirmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, 21-22 Ekim, İstanbul

Konta, J., 1995. Clay and Man: Clay Raw Materials in the Service of Man. Applied Clay Science 10, page 275–353.

Lambe T S., Whitman R., 1969. Soil Mechanics. John Wiley and Sons, Inc. New York.

Lutenegger, A.J. and Cerato, A.B., “ Surface Area and Engineering Properties of Fine-Grained Soils De la Surface et des Propriétés d’ingénierie des Soils Fins”, University of Massachusetts, Amherst, MA, USA,2002.

Mitchell, J.K., 1976. Fundamentals of Soil Behaviour. John Wiley, New York.

Olgun M., 2008. Farklı Konsantrasyonlardaki Kimyasallarla Konsolide Edilmiş Kil Zeminlerin Kayma Mukavemeti ve Konsolidasyon Davranışlarının İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 340 s., Konya.

Önalp, A., 2007. Geoteknik Bilgisi-I, 3. Baskı. Birsen Yayınevi, 442 s, İstanbul.

Önalp, A., Sert, S., 2010. Geoteknik Bilgisi-III, Bina Temelleri. 2.baskı, Birsen Yayınevi,426 s, İstanbul.

Plaxis, 2002. User Manual. 2D version8, (Editedby BRINKGREEVE, R.J.B.), Delft University of Technology and PLAXISb.v., The Netherlands.

Ristori, G.G., Sparvoli, E., Landi, L. and Martelloni, C., “Measurement of Specific Surface Areas of Soils by p-Nitrophenol Adsorption”, Clay Science (4), 521-532, 1989.

Santamarina, J.C., Klein, K.A., Wang, Y.H. and Prencke, E., 2002. Spesific Surface: Determination and Relevance. Canadian Geotechnical Journal, 39, 233-241, Canada.

Shin E., Das B., Puri S., Yen S., Cook E.,1993. Bearing Capacity of Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Clay. Tech. Note, American Society for Testing and Materials, 534-541.

Terzaghi, K., Peck, R. B., 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc, 407 p, New York.

Tiller, K.G. and Smith, L.H., "Limitations of EGME Retention to Estimate Surface Area of Soils", Australian Journal of Soil Science 28, 1-26, 1990.

Tunç, A., 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları. Atlas Yayın Dağıtım, 912 s, İstanbul.

Yıldız A., 2002. Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Yong, R.N. and Warkentin, B.P., 1975. Soil Properties and Behaviour, Elsevier Scientific Publishing Co., New York.

Yetimoğlu, T., "Bearing capacity of footings on vibratory compacted sand" , Teknik Dergi, 9, 1587-1600, (1998).

Defossez, P., Richard G., "Models of Soil Compaction Due to Traffic and Their Evaluation", Soil & Tillage Research, 67, 41–64, (2007).

Bujang B., K., Huat B., and Mohammed A., T.,"Finite Element Study Using FE Code (PLAXIS) on the Geotechnical Behavior of Shell Footings", Journal of Computer Science, 2 (1), 104-108, (2006).

Demir, A., Örnek, M., Mısır, G., Laman, M., YILDIZ, A.," Stabilize Granüler Dolgu ile İyileştirilen Yumuşak Kil Zeminlere Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 1. Özel Konulu Sempozyum, 145-150, (2007).

Keleşoğlu, M., K., Çinicioğlu, S., F., "Dolgu Yüklerinden Kaynaklanan Deplasmanlar Arazi ölçümleri ve Sonlu Elemanlar Analizleri", II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, 420-428, (2005).

Moayed, R., Z., Janbaz M., "Foundation Size Effect on Modulus of Subgrade Reaction in Clayey Soil", Ejge, 13, 1-8, (2008).

Doğan S., 2009. SONLU ELEMANLAR METODU İLE DOLGU ZEMİN MODELLEMESİ, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

OU C.Y., TENG F.C., WANG I. W. 2007. "Analysis and Design of Partial Ground İmprovement in Deep Excavations", Computers and Geotechnics 35 576 – 584.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :TURAN Fırat

Uyruğu :T.C.

Doğum tarihi ve yeri :23.03.1988 - ERZURUM

Medeni hali :Bekar

Telefon :0533 620 67 71

Faks :0442 235 50 71

e-mail :firatt@ilbank.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Ön Lisans	Atatürk Üniversitesi Adalet Bölümü	2015
Lisans	Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü	2015
Lisans	Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	2011
Lise	Adnan Menderes Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-	İller Bankası A.Ş. Erzurum Bölge Müd.	Tek. Uzm. Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kayak yapmak

Yüzme

Kitap okumak

Nlp

İLBANK A.Ş. Uzmanlık TeziBiçimsel Değerlendirme Formu		
Uzman Yardımcısının Adı Soyadı:		**Evet**
Kapak		
1	Tez Başlığı tutanaktaki başlıkla aynıdır.	EVET
2	Kapaktaki ay ve yıl savunmaya girilen tarihle tutarlıdır.	EVET
3	Kapak formatı kılavuzdaki kapak formatına uygundur.	EVET
4	Kapakta yazılan tüm yazılar doğru olarak verilmiştir.	EVET
Özet/Abstract		
5	Kılavuza uygundur.	EVET
6	Ay ve yıl savunmaya girilen tarihle tutarlıdır.	EVET
7	Özet; tek sayfa, tek satır aralığı, tek paragraf kuralına uygun olarak yazılmıştır.	EVET
8	Bilim kodu, sayfa adedi, anahtar kelimeler ve danışman(lar) yazılmıştır.	EVET
İçindekiler		
9	Sayfa numaraları tam verilmiştir.	EVET
10	Şekil, Çizelge vb. listeleri verilmiş ve sıralaması doğrudur.	EVET
11	Özet, Abstract, Giriş, Sonuçlar vb. bölümler vardır.	EVET
12	Yazım hataları kontrolü yapılmıştır.	EVET
Giriş		
13	Hazırlanan tezin önemini anlatmaktadır.	EVET
14	İkinci ve Üçüncü dereceden başlık içermemeli kuralına uyulmuştur.	EVET
Kaynaklar		
15	Kaynakların tamamına metin içinde atıf yapılmıştır.	EVET
16	Kaynak formatı Kılavuzdaki kaynak formatına uygun olarak hazırlanmıştır.	EVET
17	Atıf formatı kılavuzdaki atıf formatına uygundur.	EVET
Genel Değerlendirme		
18	Etik Beyan açıklaması okunmuş, uyulmuş ve imzalanmıştır.	EVET
19	Kabul/Onay sayfası kılavuzdaki formata uygun olarak düzenlenmiştir.	EVET
20	Kabul /Onay sayfasında belirtilen oy birliği/oy çokluğu seçeneklerinden uygun olanı savunmayla tutarlı olacak şekilde belirlenmiştir.	EVET
21	Sayfa kenar boşlukları ve sayfa numaraları kılavuzdaki formata uygundur.	EVET
22	Paragraf boşlukları ve metin satır aralığı kılavuzdaki formata göre düzenlenmiştir.	EVET
23	Başlıkların yazımı kılavuzdaki başlık formatlarına uygundur.	EVET
24	Yazı tipi ve boyutu kılavuzdaki yazı tipi ve boyutu formatına uygundur.	EVET
25	Şekil, Çizelge vb. açıklama ve numaralandırmaları kılavuzdaki formata uygundur.	EVET
26	Tezin son kontrolü danışman tarafından yapılmıştır.	EVET
Bu tezin tarafımdan "Tez yazım kuralları" okunarak dikkatlice hazırlanmış olduğunu ve doğabilecek her türlü olumsuzluktan sorumlu olacağımı kabul ederim. **Uzman Yrd İmzası**		

İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ