



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**RADYE TEMELLERDE SONLU
ELEMENLAR VE ANALİTİK YÖNTEMLER
İLE TAŞIMA GÜCÜ HESABININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Hozan ÇELEBİ

**YÜKSEK LİSANS
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Hozan ÇELEBİ tarafından hazırlanan “RADYE TEMELLERDE SONLU ELEMANLAR VE ANALİTİK YÖNTEMLER İLE TAŞIMA GÜCÜ HESABININ DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması 28/08/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr.Öğr.Üyesi Veysel Süleyman YAVUZ

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN

Üye

Doç.Dr.Abdulrezzak BAKIŞ

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hozan ÇELEBİ
28/08/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RADYE TEMELLERDE SONLU ELEMANLAR VE ANALİTİK YÖNTEMLER İLE TAŞIMA GÜCÜ HESABININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Hozan ÇELEBİ

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN

2023, 96 Sayfa

Jüri

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN

Dr.Öğr.Üyesi Veysel Süleyman YAVUZ

Doç.Dr.Abdulrezzak BAKIŞ

Temellerin tasarlanmasında göz önüne alınması gereken önemli şartlardan biri taşıma gücüdür. Sınır taşıma gücü; içsel sürtünme açısı, kohezyon, zemin birim hacim ağırlığı, temel derinliği, temel şekli, yeraltı su seviyesi gibi parametrelerden etkilenmekte olup genellikle bu parametreleri değerlendiren teoriler yardımıyla hesaplanmaktadır. Günümüzde bilgisayar teknolojilerinin gelişimine paralel olarak mühendislik tasarımlarının sonlu elemanlar yöntemleri ile uygulamaları gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde saha çalışmalarında uygulanan yöntemler ve laboratuvarlarda yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler yardımı ile çok karmaşık tasarımlarda sayısal yöntemlerin kullanılması artık ihtiyaç halini almıştır. Bu tez çalışmasında, gevşek zemin birimlerine oturan temel sistemi olan radye temellerin taşıma gücü analizleri hem analitik hem de sayısal olarak yapılmıştır. Gerilme-yer değiştirme ilişkisinin elastik-plastik modeli ile incelenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sayısal yöntemler ile analitik yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri birbirleri ile kıyaslanarak benzerlikleri ve ayrıştıkları noktalar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geostudio Sigma/W; Radye Temel; Sonlu Elemanlar Yöntemi; Taşıma Gücü

ABSTRACT

MS THESIS

EVALUATION OF BEARING CAPACITY CALCULATION OF RAFT FOUNDATIONS WITH FINITE ELEMENT AND ANALYTICAL METHODS

Hozan ÇELEBİ

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Nuray ALPASLAN
2022, 96 Pages**

**Jury
Advisor: Asst. Prof. Dr. Nuray ALPASLAN
Asst. Prof. Dr. Veysel Süleyman YAVUZ
Assoc. Prof. Dr. Abdulrezzak BAKIŞ**

One of the important conditions to be considered in the design of foundations is the bearing capacity. Boundary bearing strength is affected by parameters such as angle of internal friction, cohesion, soil unit volume weight, foundation depth, foundation shape, groundwater level and is generally calculated with the help of theories evaluating these parameters. Nowadays, in parallel with the development of computer technologies, applications of engineering designs with finite element methods are becoming more and more widespread. In geotechnical engineering, with the help of methods applied in field studies and data obtained from experimental studies in laboratories, the use of numerical methods in very complex designs has become a necessity. In this thesis, the bearing capacity analysis of raft foundations resting on loose soil units is carried out both analytically and numerically. Finite element method is used to analyze the stress-displacement relationship with elastic-plastic model. The bearing capacity values obtained from numerical and analytical methods are compared with each other and their similarities and differences are discussed.

Keywords: Geostudio Sigma/W; Raft Foundation; Finite Element Method; Bearing Capacity

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresi boyunca her türlü yol gösterici olan, olumlu tavrıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimiyle çalışmama farklı açılardan bakmamı sağlayan beraber çalışmaktan ve öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyduğum saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Nuray ALPASLAN'a çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca bana desteğini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her anında yanımda olan manevi desteğini benden esirgemeyen değerli eşim Berivan ÇELEBİ'ye çok teşekkür ederim.

Hozan ÇELEBİ
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
3.1.Temeller ve Temel Zemin.....	5
3.1.1. Sığ (Yüzeysel) Temeller	5
3.1.1.1. Tekil temeller	5
3.1.1.2.Birleşik Temeller	6
3.1.2. Şerit Temeller	7
3.1.3. Radye Temeller	8
3.2.Temellerin Sağlaması Gereken Koşullar.....	9
3.2.1.Taşıma Gücü Koşulu	10
3.3.Taşıma Gücü Hesap Yöntemleri.....	14
3.3.1. Prandtl Taşıma Gücü Hesabı	14
3.3.2.Terzaghi (1943) Taşıma Gücü Hesabı	15
3.3.4.Meyerhof (1963) Taşıma Gücü Formülü	17
3.3.5.Vesic Taşıma Gücü Hesabı	19
3.3.6.Hansen Taşıma Gücü Hesabı	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
3.3.7.Genel Taşıma Gücü Formülü [TBDY-2018]	21
3.4. Sayısal Taşıma Gücü Kestirim Yöntemleri.....	22
3.4.1.De Beer Yöntemi	22
3.4.2. Brinch Hansen Yöntemi.....	22
3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	22
3.6. Geostudio 2023 Sigma/W Modülü.....	23
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	28
4.1. I. Radye Temel Modeli İçin Yapılan Analizler.....	28
4.1.1. I.Radye temel alanı 10*10 metrekare için yapılan analizler.....	29
4.1.2. I.Radye temel alanı 15*15 metrekare için yapılan analizler.....	36
4.1.3. I.Radye temel alanı 20*20 metrekare için yapılan analizler.....	42
4.1.4. I.Radye temel alanı 25*25 metrekare için yapılan analizler.....	46
4.2.II. Radye Temel Modeli İçin Yapılan Analizler.....	50
4.2.1. II.Radye temel alanı 10*10 metrekare için yapılan analizler	50

4.2.2. II.Radye temel alanı 15*15 metrekare yapılan analizler	55
4.2.3. II.Radye temel alanı 20*20 metrekare için yapılan analizler	59
4.2.4. II.Radye temel alanı 25*25 metrekare için yapılan analizler	62
4.3.Taşıma Gücü Hesaplama Yöntemleri.....	66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	86



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

B: Temel genişliği

c: Kohezyon

Df: Temel derinliği

Dr: Rölatif sıkılık

e: Boşluk oranı

Es: Elastisite modülü

Fcb, Fqb, Fyb: Eğik temel faktörleri

Fcc, Fqc, Fyc: Sıkışma faktörleri

Fcd, Fqd, Fyd: Derinlik faktörleri

Fcg, Fqg, Fyg: Eğik zemin faktörleri

Fci, Fqi, Fyi: Eğik yük faktörleri

Fcs, Fqs, Fys: Şekil Faktörleri

Gs : Kayma modülü

L: Temel uzunluğu

Nc, Nq, Ny: Taşıma gücü faktörleri

Nc', Nq', Ny': Modifiye taşıma gücü faktörleri

q: Düğüm yerdeğiştirme vektörü

Q: Düğüm kuvvet vektörü

q': Df+B/2 derinlikteki efektif gerilme

qcap: Tahmin Edilen Gerilme

q₁ : Tahmin edilen gerilme

q₂ : Tahmin edilen gerilme değerinin 0,9 Katı

qu: Nihai taşıma gücü

qu(1) : İlk nihai taşıma gücü

s: Yerdeğiştirme

so: Kayma gerilmesi

s₁: Tahmin edilen gerilme değerine karşılık gelen yerdeğiştirme

s₂: Tahmin edilen gerilme değerine karşılık gelen yerdeğiştirmenin yarısı

V: Temele etki eden düşey yük

α : Kamanın yatay eksenle yaptığı açı,

α : Yüken düşey eksenle yaptığı açı

β : Zeminin yatayda yaptığı açı
 β : Yüken düşey eksenle yaptığı açı
 γ : Birim hacim ağırlık
 γ_{sat} : Doygun birim hacim ağırlık

Kısaltmalar

LE	:Lineer elastik model
MC	:Mohr-Coulomb model
YASS	:Yeraltı su seviyesi



1.GİRİŞ

Ülkemizin depremler açısından aktif bir konumda olması, bir yapı inşasında zemin birimlerine göre seçilecek temel tipinin güvenilir belirlenebilmesi ve temel zemininin özelliklerinin yeterli düzeyde bilinmesinin önemini daha da arttırmaktadır.

Geoteknik mühendisliği çalışmaları yapıların inşa edileceği zemin tabakalarının mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ile başlamaktadır. Mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde yapılan laboratuvar deneyleri ve saha araştırmaları sonucunda belirlenen bu parametrelere bağlı olarak en uygun ve en güvenli temel tasarımı yapılmakta ve temel sistemi seçilmektedir. Temel zemini üst yapının etkisi altındaki bölgelerde gerilme ve şekil değiştirmeye uğrar. Özellikle temel inşaatı uygulamalarında üzerinde durulması gereken en önemli durum, temelin oturacağı zemine gelen yüklerin ne kadar etki oluşturacağının irdelenmesidir. Zemin üzerine etki eden bütün ek yük artışları ile birlikte bu artışlara bağlı gerilme, deformasyonlar değerlendirilmelidir. Bununla birlikte, zemin tabakalarının cinsi, yeraltı su seviyesi ve derinliğine bağlı olarak göstereceği davranışlarda önem taşımaktadır. Dolayısıyla yapı ile temel zemini arasında kuvvetlerin aktarılma biçimi, büyüklüğü, doğrultusu ve dağılımına bağlı olmayıp, aynı zamanda zemin ve yapının çok farklılık gösteren fiziksel özelliklerine de bağlıdır.

Yapı temellerinin analizinde zeminin taşıma gücü ve yapıdan kaynaklanan ek gerilmeler neticesinde zemin ortamında meydana gelen oturmalar en önemli parametrelerdir.

Temellerin tasarımında; zemin parametreleri (içsel sürtünme açısı, kohezyon, dane birim hacim ağırlığı), temel derinliği, temel şekli, temel boyutları, yapı yükü, uygulanan yükün eğimi, temel tabanının düzgün ya da pürüzlü olması gibi birçok parametre taşıma gücünün belirlenmesinde önemli rol oynarlar. Nihai taşıma kapasitesi, göçme anında temelin veya temel zeminin birim alanının taşıyabileceği gerilme değeridir.

Günümüzde bilgisayar teknolojilerinin gelişimine paralel olarak mühendislik tasarımlarının sonlu elemanlar yöntemleri ile uygulamaları gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde saha çalışmalarında uygulanan yöntemler ve laboratuvarlarda uygulanan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler yardımı ile çok karmaşık tasarımlarda sayısal yöntemlerin kullanılması artık ihtiyaç halini almıştır.

Bu tez çalışmasında, gevşek zemin birimlerine oturan yüzeysel temel sistemi olan radye temellerin taşıma gücü analizleri hem analitik hem de sayısal olarak yapılmıştır. Gerilme-yer değiştirme ilişkisinin elastik-plastik modeli ile incelenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Radye temel alanının taşıma gücü üzerindeki etkisi sonlu elemanlar yöntemini kullanan Geostudio SIGMA/W 2023 programı, geleneksel yöntemler ve sayısal yöntemler kullanılarak radye temel alanının artırılmasının taşıma gücü üzerindeki etkileri incelenmiş ve bununla beraber kullanılan yöntemler birbiriyle karşılaştırılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tezin bu bölümünde tez çalışma konusu ile ilgili önceki ve güncel çalışmalara yer verilmiş, çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Uzuner (1975), yapmış olduğu çalışmada, kum oturan yüzey ve sığ şerit temelin merkezi ve eksantrik yüklenmesi durumundaki davranışını sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiş ve zeminde meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmeler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Griffiths (1982) yapmış olduğu çalışmada, sonlu elemanlar metodunu kullanarak elasto-plastik teori ile son taşıma gücünü rijit temellerde nasıl tahmin edileceğini göstermeye çalışmış ve N_c , N_q ve N_γ taşıma gücü faktörlerini hesaplamıştır.

Manoharan ve Dasgupta (1995) yaptıkları çalışmalarında, sürekli ve daire temellerde Mohr- Coulomb yenilme modeli kullanılarak zemin davranışı ile akma ve akmama durumunda temel davranışını incelemişlerdir.

Horvath (2000), yapmış olduğu çalışmada Terzaghi, Meyerhof, Hansen ve Vesic bağıntılarından faydalanarak yüzeysel temellerin taşıma gücünün hesaplanmasında temel derinliğinin etkisini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, temel tasarımında temel derinliğinin etkili olduğu durumlarda Hansen ve Vesic bağıntılarının daha tutarlı sonuçlar verdiğini belirlemiştir.

Woodward ve Berenji (2001), yaptıkları çalışmalarında İki boyutlu sonlu eleman programı kullanılarak kohezyonlu zeminde düz rijit daire temel için analizler yapmışlar ve bu analiz sonuçlarını Terzaghi'nin teorisiyle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır.

Ghazavi ve Mokhtari (2008) yaptıkları çalışmalarında, kum zemine oturan yüzeysel temellerin taşıma gücü kapasitesini incelemiştir. Bu amaçla üç boyutlu FLAC 3D analiz programı kullanılarak zemin-temel sisteminin yükleme sonucu oluşan göçme aşamalarını değerlendirmişlerdir.

Keskin ve Laman (2012) yaptıkları çalışmada, kuma oturan yüzeysel temellerde temel boyutunun taşıma kapasitesine etkisini incelemişlerdir. Temel genişliğinin artmasıyla taşıma kapasitesi değerlerinin de arttığı sonucuna varmışlardır.

Gülşen (2013) yaptığı çalışmada, sayısal analizlerde sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan GeoStudio Sigma-W 2007 programı kullanılarak farklı zemin türleri üzerinde, farklı durumlar için analizler gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte yeraltı su seviyesinin taşıma gücü üzerindeki etkileri değerlendirmiştir.

Dağlı (2013) çalışmasında, kohezyonsuz zeminler üzerine oturan şerit temellerin taşıma gücü hesabı analitik ve sayısal yöntemler ile gerçekleştirilmiştir. Rölatif sıklık değerlerinin düşük olduğu modellerde, yüzeye oturan temel sistemlerinde analitik ve sayısal yöntemler birbiri ile uyumlu sonuçlar vermiştir. Ancak temel boyutları ve zeminin sıklığı arttığında analitik yaklaşımlar birbirleri ile uyum içindeyken sayısal yaklaşımlarda görünür bir şekilde ayrıldığı sonucuna varılmıştır.

Dağlı ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, analitik ve sayısal yöntemler kullanılarak kumlu zeminler üzerine oturan şerit temellerin taşıma gücü hesabını değerlendirmişlerdir. Bu araştırmada Mohr-Coulomb elasto-plastik zemin modeli kullanılmıştır. Araştırma sonucunda analitik ve sayısal yöntemler birbirlerine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Gergin (2019) yaptığı çalışmada, siltli kum, killi kum, düşük plastisiteli kil ve yüksek plastisiteli kil zemin tabakalarından oluşan yeraltı su seviyesi yüksek problemlili zemin birimleri üzerine oturan temel sistemlerini modellemiştir. Problemlili zeminlerde zemin özellikleri ile birlikte yeraltı su seviyesi gibi değişkenlerin esas alındığı durumlar için temel sisteminin göstereceği gerilme ve deplasman durumları etkilerini incelemiştir.

Salih ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, bir zemin profili üzerine oturan bir yapının radye temel sistemi durumunu simüle etmek için üç boyutlu sonlu eleman modelleri geliştirilmiştir. Analiz sonucunda, temel boyutu % 50 ve % 100 oranında arttıkça zemin oturmasının sırasıyla % 55,7 ve % 71,2 oranında azaldığı görülmüştür.

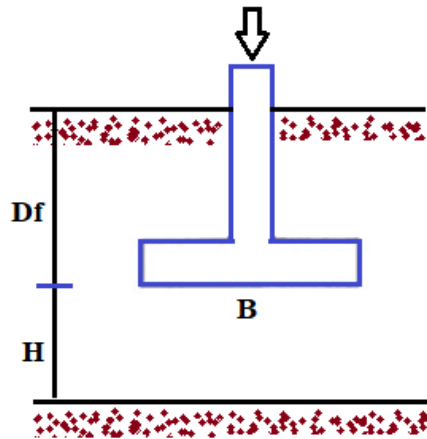
3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1.Temeller ve Temel Zemini

Yapıların yüklerini güvenli bir şekilde toplayarak zemine aktaran yapı elemanları temellerdir. Temel, yapı yüklerini zemine aktaran elemandır. Bununla birlikte yapı yüklerini temeller aracılığıyla veya doğrudan taşınması durumunda temel zemini, temel olarak tanımlanır. Temel ile temel zemini arasında karşılıklı bir etkileşim mevcuttur (Uzuner, 2019). Temel sistemleri sığ (yüzeysel) ve derin temeller olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

3.1.1. Sığ (Yüzeysel) Temeller

Sığ (yüzeysel) temeller yükü zemin yüzeyine yakın yerlerde zemine aktaran temellerdir. Özellikle yüklerin fazla olmaması ve zeminin durumu gereği bu tip temeller tercih edilir. Temel derinliğinin, temel genişliğine eşit ya da ondan küçük olduğu ($D_f \leq B$) temel sistemleridir. Bu tip temellerde yapı yükü dorudan doğruya temel tabanı ile taşıyıcı zemine aktarılır. Şekil 3.1’de B genişliğinde, L uzunluğunda ve zemin yüzeyinden itibaren D_f derinliğine oturan bir yüzeysel temel örneği görülmektedir. Zemin ve yük durumuna göre tekil, şerit veya sürekli ve radye temeller olarak sınıflandırılabilirler.

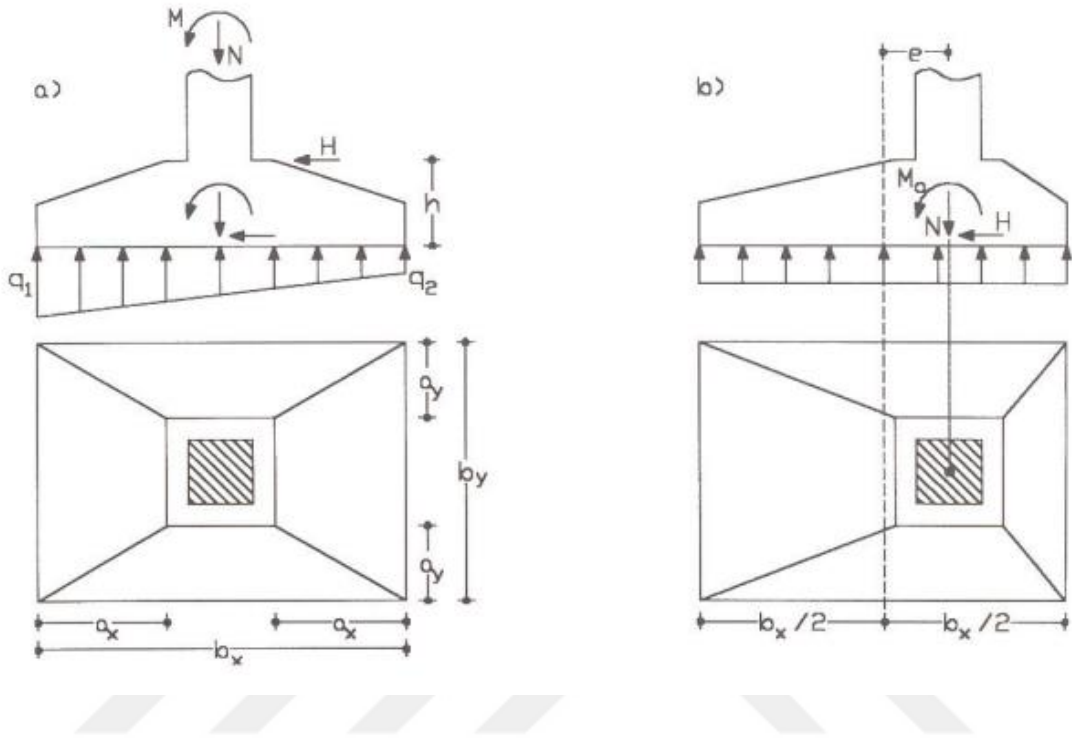


Şekil 3.1. B genişliğinde, L uzunluğunda ve zemin yüzeyinden itibaren D_f derinliğine oturan bir yüzeysel temel örneği

3.1.1.1. Tekil temeller

Binalarda, her kolonun altında yer alırlar. Betonarme olan bu tekil temel sistemi kolon yükünü daha geniş bir alana yayarak temel zeminine iletirler (Uzuner, 2006). Tekil

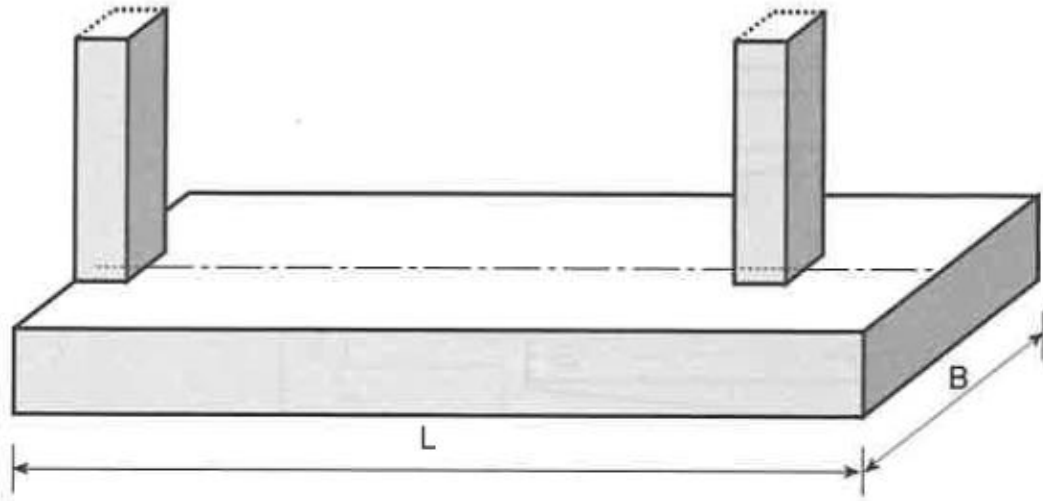
temeller zemine, genellikle kare veya dikdörtgen, nadiren de daire ya da çokgen tabanlı temeller oturtulur (Özcan, 2000). Şekil 3.2a ve Şekil 3.2b’de simetrik ve simetrik olmayan tekil temeller görülmektedir.



Şekil 3.2. Simetrik (a) ve simetrik olmayan tekil temel (b) (Celep, 2001)

3.1.1.2. Birleşik Temeller

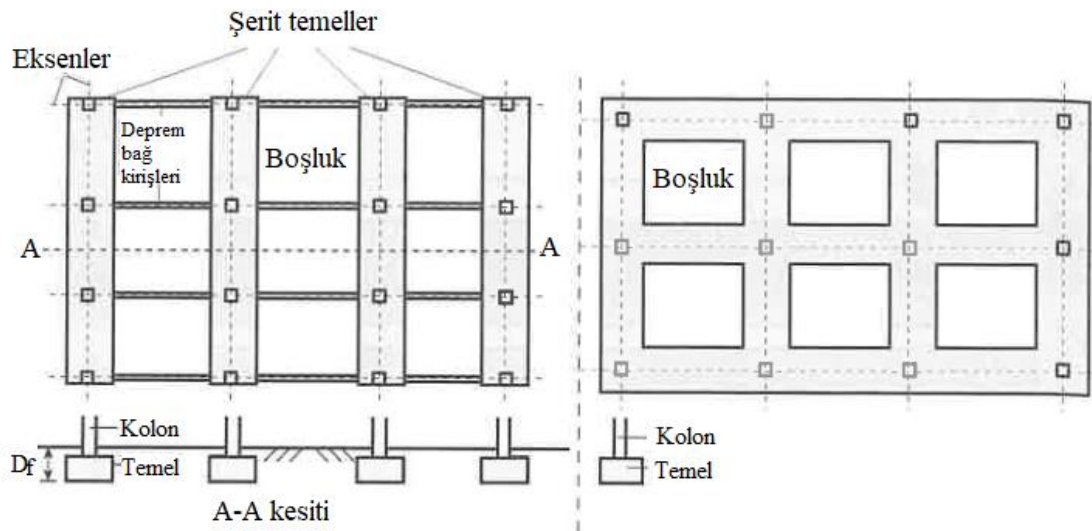
Birleşik temeller şerit temellerin bir türü olmakla birlikte, kombine veya dengelenmiş temeller olarak da adlandırılabilir. Birleşik temellerdeki kenar tekil temeller, içerideki komşu tekil temellere değişik biçimlerde birleştirilebilir. Bu birleştirme, ya iki kolon taşıyan şerit temel olarak veya iki tekil temeli bir bağ kirişi ile bağlayarak yapılabilir (Uzuner, 2019). Şekil 3.3’de Dikdörtgen taban alanlı birleşik temel görülmektedir.



Şekil 3.3. Dikdörtgen taban alanlı birleşik temel (Uzuner, 2019)

3.1.2. Şerit Temeller

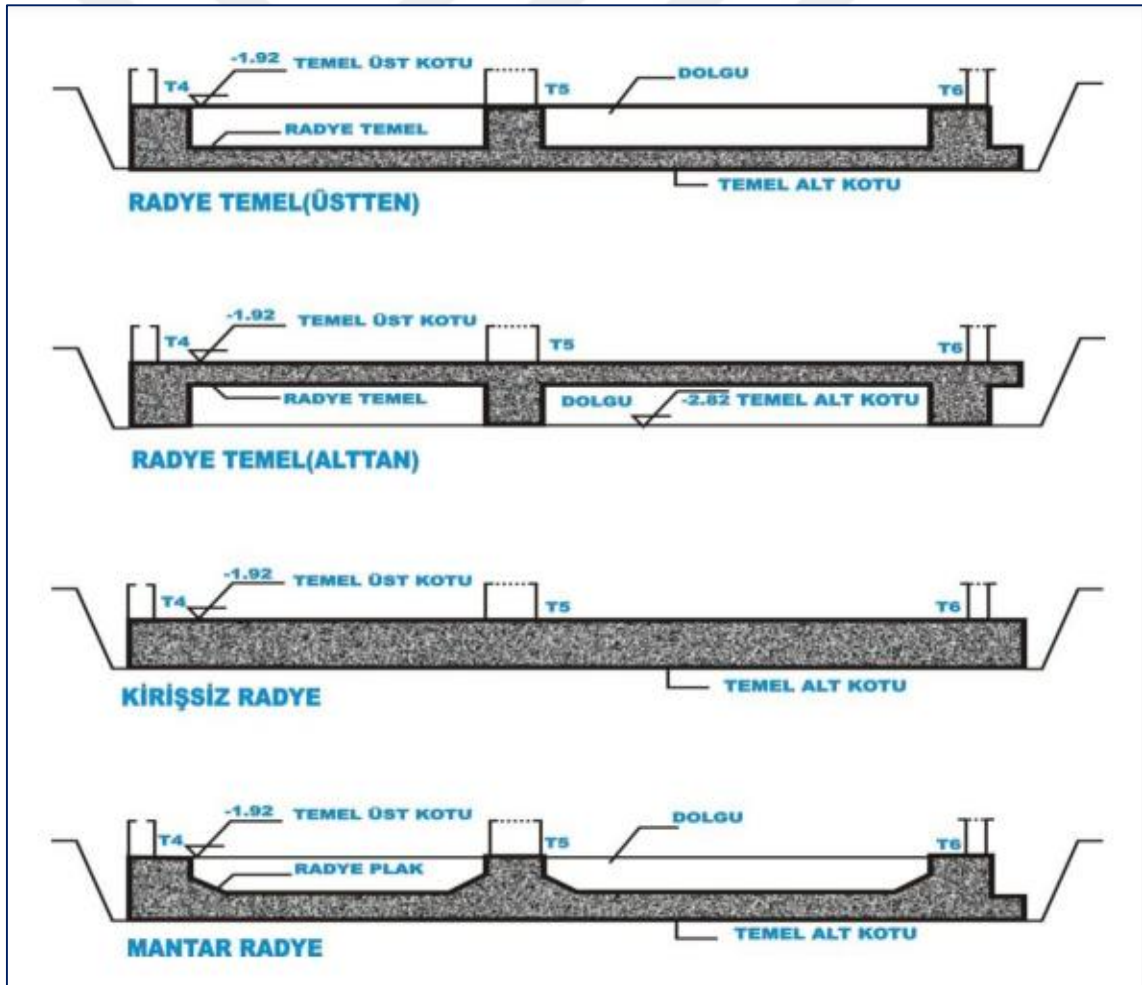
Şerit temeller mütemadi veya sürekli temel olarak da adlandırılır. Bu temeller uzunluğu genişliğinin birçok katı kadar olan şerit biçimli temellerdir (Uzuner, 2019). Yapılardaki farklı oturumları azaltmak için bu tip temeller kullanılabilir. Şekil 3.4a ve Şekil 3.4b’de bir doğrultuda ve iki doğrultuda uzanan tipik şerit temel sistemi görülmektedir.



Şekil 3.4.a) Bir doğrultuda b) İki doğrultuda uzanan tipik şerit temel sistemi (Uzuner, 2019)

3.1.3. Radye Temeller

Zeminin taşıma gücünün düşük olduğu ya da yapı yükü çok fazla olduğu durumlarda radye temel tercih edilir (Şekil 3.5). Temel zemini sıkışabilen bir zemin özelliğinde ise tekil temeller yayana birbirlerine yaklaşır, bu halde temel tabanını tamamen örten radye temeller yapılır. Böylece yüklerin ve oturmaların üniform dağılması sağlanır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de radye temel görünümüleri gösterilmiştir. Bina yükünün tamamını karşılayan temelin bunu zemine aktarması ve zeminin bu yük altında daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla bu temel tipinde zeminin taşıma gücünün, radye temelin yükü binanın oturduğu alanın tamamına yaymasından ve gelen deprem yüklerini aynı şekilde bir bütün olarak karşılamasından ötürü daha güvenli bir tarafta olduğu söylenebilir.



Şekil 3.5. Radye temel tipleri (<http://www.imo.org.tr>)



Şekil 3.6. Radye temel (<https://www.sanalsantiye.com>)



Şekil 3.7. Radye temel (<https://santiyegunlugu.com>)

3.2. Temellerin Sağlaması Gereken Koşullar

Temel sisteminin belirlenmesinde zeminin taşıma kapasitesi ile ilgili güvenilir sonuç elde edilmesi önem arz etmektedir. Temel tasarımı için taşıyıcı sistemden gelen etkiler ile birlikte temel zeminin taşıma kapasitesi de belirleyici rol oynar. Temel sistemi seçiminde taşıma gücü, oturma ve ekonomik olma koşullarının bir arada incelenmesi ve bütün bu koşulların birlikte dikkate alınması ile en uygun temel sistemi tercihi yapılır.

3.2.1. Taşıma Gücü Koşulu

Temel taşıma gücü, temelin göçmeden taşıyabileceği maksimum taban basıncı anlamında kullanılmaktadır. Temel zemininde üzerine etkiyen yükler altında kayma kırılması oluşmaması gerekmektedir ve kırılma veya göçme olayına karşı bir güvenlik şartı olması gerekir. Temel taban basıncının en büyük (maksimum) değerinin, zeminin emin taşıma gücünü (zemin emniyet gerilmesini) aşmaması vb. olarak ifade edilebilir (Uzuner, 2011). Bu koşul Eşitlik (3.1)'de verilmiştir.

$$q_{tmax} \ll q_{emin} \quad (3.1)$$

veya

$$Q_t \ll Q_{emin}$$

Burada;

q_{tmax} : Maksimum temel taban basıncı (kN/m²)

q_{emin} : Zemin emniyet gerilmesi (kN/m²)

Q_t : Temel yükü (kN)

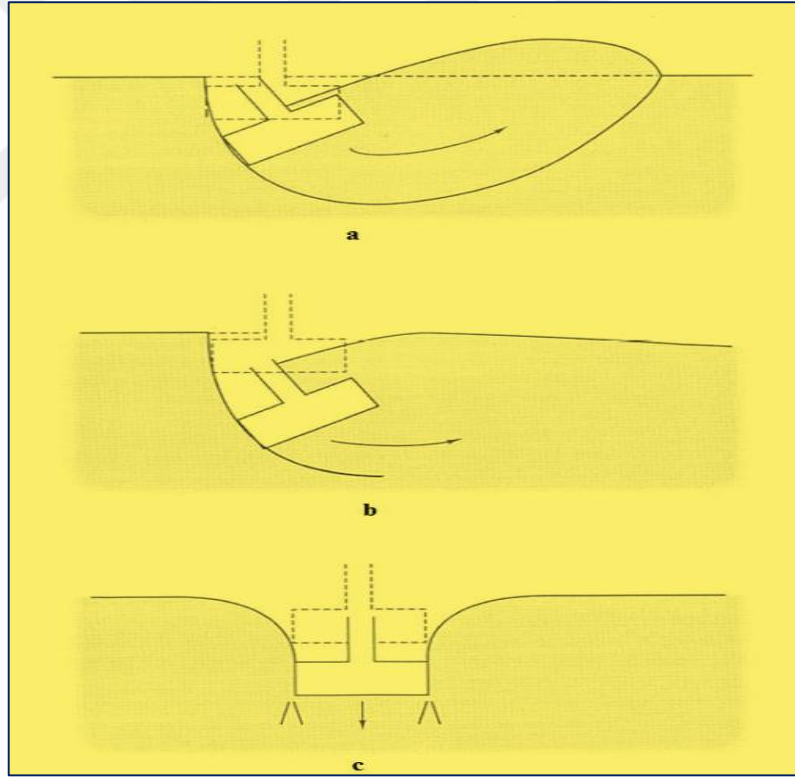
Q_{emin} : Zeminin emniyetle taşıyabileceği yüküdür (kN)

Temellerin taşıma gücü, zeminin birim hacim ağırlığına, kayma mukavemeti ve deformasyon özelliklerine, zeminin arazideki gerilme durumuna, hidrolik şartlara, temelin derinlik, büyüklük, taban şekli ve pürüzlülüğü gibi geometrik özelliklerine, temele uygulanan yük değerlerine ve inşaat metotlarına göre değişim göstermektedir (Kumbasar ve Kip, 1999). Bir temel, sıfırdan başlayarak gittikçe artan bir biçimde yüklendiğinde, başlangıçta artan yük veya basınçla oturmalar da artar. Ancak, sınır taşıma gücüne varıldığında yük artırılmasa da oturmalar devam ederek büyük değerlere ulaşır ve zemin kayma yüzeyleri boyunca kırılarak, temel göçer. Göçme anında, temelin veya temel zemininin birim alanının taşıyabileceği basınç değeri sınır taşıma gücüdür (qsınır, kN/m²).

Temelden aktarılan yüklerin zeminde oluşturduğu kayma gerilmeleri zeminin kayma mukavemetini aşması durumunda taşıma gücü göçmesi oluşur. Zeminin cinsine, sıklığına ve sertliğine veya kıvamına bağlı olarak genel kayma kırılması, yerel kayma

kırılması ve zımbalama kayma kırılması olmak üzere temel zemininde üç türlü kırılma meydana gelir (Terzaghi, 1943) (Şekil 3.8a, Şekil 3.8b ve Şekil 3.8c).

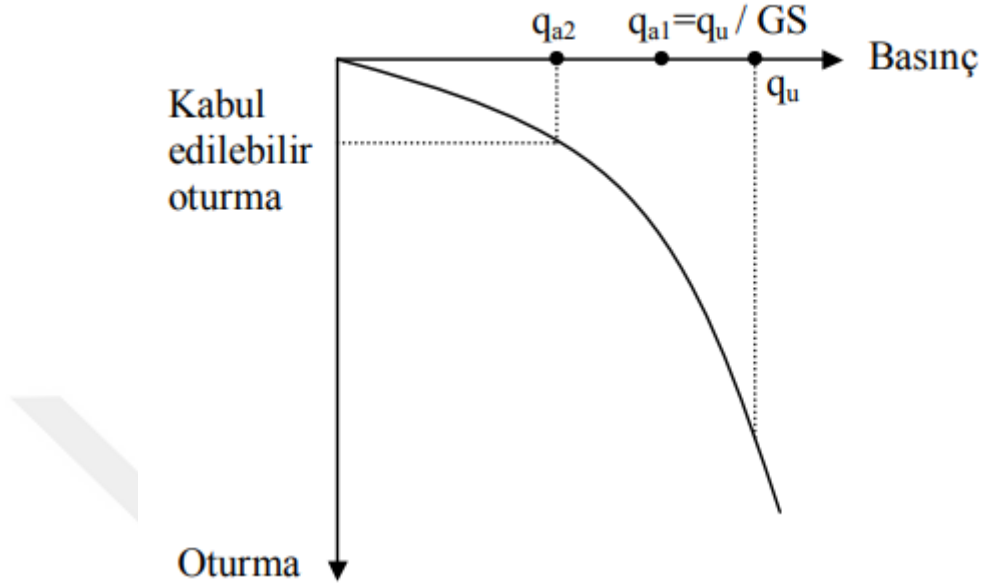
Genel kayma kırılmasında, kırılma yüzeyleri belirgin olup zemin yüzüne kadar uzanırlar. Yanlarda kabarma görülür. Yük-oturma eğrisinde kırılma noktası belirgindir. Sıkı veya sert zeminlerde görülür (De Beer, 1965 ve Terzaghi, 1943). Yerel kayma kırılmasında, kırılma yüzeyleri belirgin olmayıp, yük-oturma eğrisinde kırılma noktası belirgin değildir. Yanlarda kabarma görülür. Gevşek-orta sıkı veya yumuşak- orta sert zeminlerde görülür. Zımbalama kayma kırılmasında, temel, yanlarda kabarma ve kırılma yüzeyleri oluşmadan, büyük oturmaya uğrar. Yük-oturma eğrisinde, yerel kayma kırılmasına benzer olarak kırılma noktası belirgin değildir. Zımbalama kayma kırılması, yerel kayma kırılmasında olduğu gibi gevşek veya yumuşak zeminlerde görülür (Uzuner, 2019).



Şekil 3.8. Taşıma kapasitesi kırılma çeşitleri: a) Genel b) Yerel c) Zımbalayıcı (Coduto, 2001)

Zeminlerin taşıma gücü; yerin göçmeden, ayrı ayrı oturma yapmadan taşıyabileceği en büyük yük miktarıdır. 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 (i) Temel zemininin

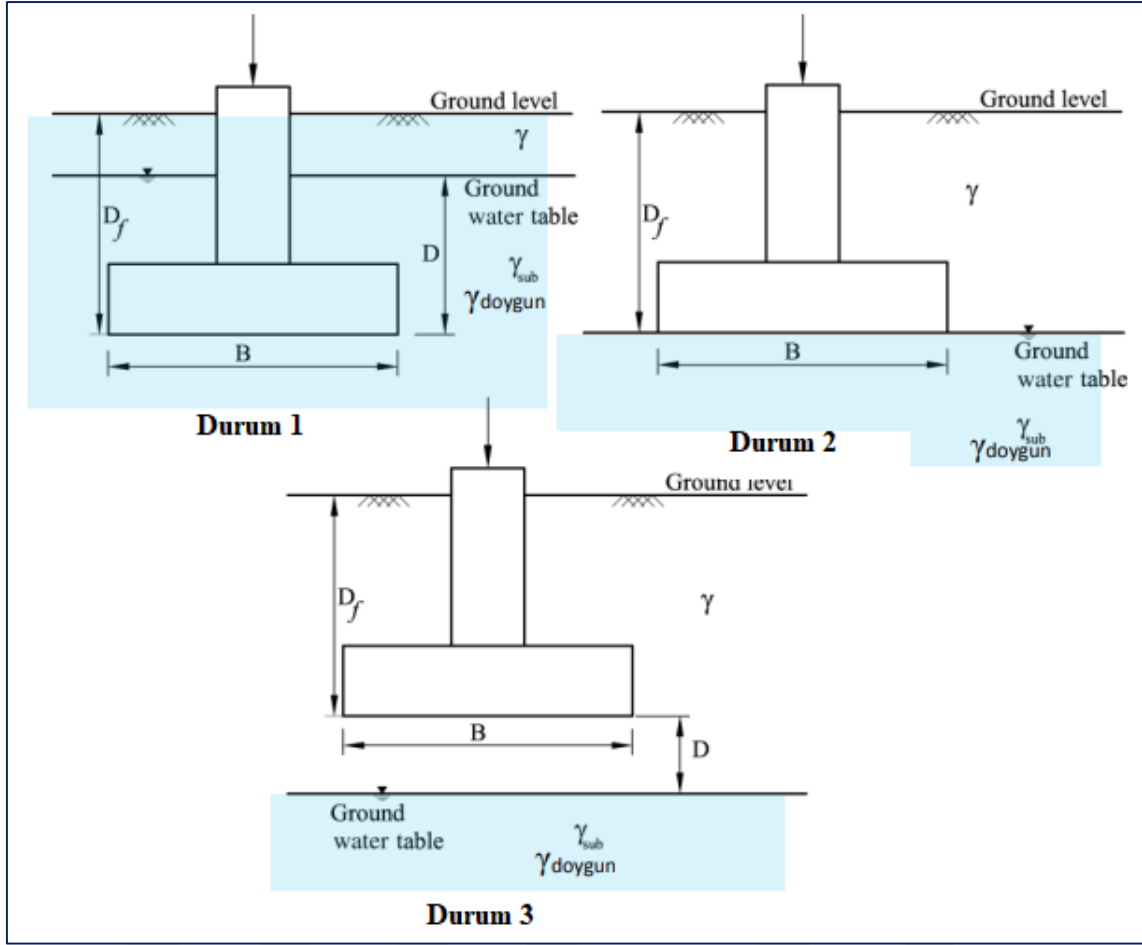
kayma göçmesine karşı (ii) Aşırı oturmalarla karşı yeterli güveni sağlamalıdır (Çinicioğlu, 2005). Şekil 3.9’da oturma ve zemin gerilmeleri arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 3.9. Taşıma gücü değerlendirmesinde oturma kriteri (Çinicioğlu, 2005)

Zeminleri problemli hale getiren en önemli etkenlerden biri de yeraltı suyudur. Zemin içerisinde oluşan su basınçları aynı zamanda stabilite ve hacimsel deformasyon problemlerinin analizinde büyük oranda etki göstermektedir. Temeli etkileyen yeraltı ve yüzey suyu son taşıma gücünü % 0 ile % 30 arasında azaltmaktadır (Önalp ve Sert, 2006).

Yeraltı suyunun varlığı; tüm zemin türleri için temel derinliği taban seviyesinde veya temelin üstünde olması durumunda nihai taşıma gücü değerini etkilemektedir. Su seviyesinin konumuna göre taşıma gücü denklemlerinde (Şekil 3.10) bazı modifikasyonların uygulanması gerekmektedir (TMMOB, 2021).



Şekil 3.10. Yeraltı suyu seviyesinin temel tabanına göre konumu
(https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/7fc012a3b4ecf92_ek.pdf)

Durum 1: YASSI temel seviyesi üzerinde ise; taşıma gücü denklemlerinde “q” ile ifade edilen örtü yükünde aşağıdaki düzeltmenin yapılması gerekir.

Bağıntının 2. terimindeki örtü yükü Eşitlik (3.2) ile ifade edilir.

$$q = \gamma_1(D_f - D) + [(\gamma_2 - \gamma_w) * (D_f - D)] \quad (3.2)$$

3. terimdeki $\gamma = \gamma_2 - \gamma_w$ olarak değiştirilmelidir.

Burada;

γ_{sat} : Zeminin doymuş birim hacim ağırlığı

γ_w : Suyun birim hacim ağırlığı, 9.81 (kN/m³) dir.

Durum 2: Bağıntının 2. terimindeki örtü yükü Eşitlik (3.3) ile ifade edilir.

$$q = \gamma_1 (D_f) \text{ Aynı kalır.} \quad (3.3)$$

3. terimdeki ise $\gamma = \gamma_2 - \gamma_w$ olarak değiştirilmelidir.

Durum 3: YASS, Df ve Df+B arasında ise; $D \leq B$ için Eşitlik (3.4) ile ifade edilir.

$$q = \gamma_1 D_f \text{ Olur değişmez.}$$

3. terimdeki

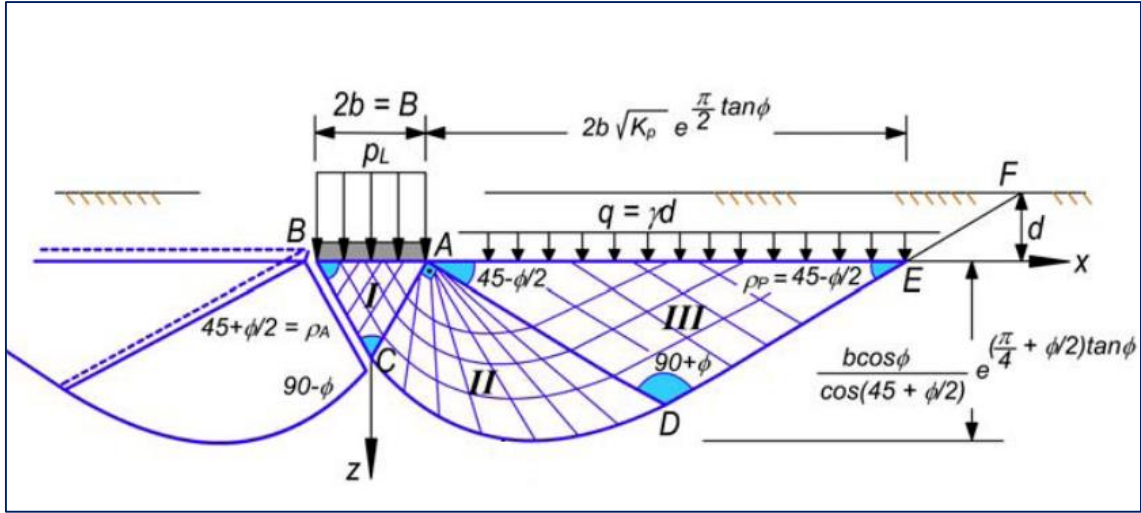
$$\gamma = (\gamma_2 - \gamma_w) + [(D_w - D_f)/B] * (\gamma_1 - (\gamma_2 - \gamma_w)) \quad (3.4)$$

Eğer D_w , D_f+B 'den büyükse ($D > B$ için); su etkisi değerlendirilmez, $\gamma_2 = \gamma_1$ olur.

3.3. Taşıma Gücü Hesap Yöntemleri

3.3.1. Prandtl Taşıma Gücü Hesabı

Taşıma gücü hesaplarının temel mekanizmasını oluşturan çalışma 1921 yılında Prandtl tarafından yapılmıştır. Prandtl temelin göçme mekanizmasını zemin yüzeyine oturmuş şerit temeli yükleyerek yorumlamıştır. Sonuçta zeminde oluşan kayma düzlemini, aktif kama (1), kama (2) ve pasif kama bölgeleri olmak üzere üç ana bölüme ayırarak isimlendirmiştir (Şekil 3.11). Aktif kama bölgesini temele etkileyen gerilmelerin bu bölgedeki zemine basınç yapması sonucu onu hareketlendirmesi ile oluştuğunu, üçüncü bölüm olan pasif kama bölgesindeki zemin kütlesini ise kendi ağırlığı ile kayma bölgesindeki bölümün kaymasına engel olmaya çalışmasıyla açıklamıştır (Prandtl, 1921). Şekil 3.11'de Prandtl'ın plastik denge teorisinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.12. Terzaghi taşıma kapasitesi sınır durum gösterimi (Çinicioğlu, 2005)

Bu kabullere dayanarak, limit denge durumuna göre Terzaghi tarafından sınır taşıma gücü Eşitlik (3.5)'deki bağıntı ile hesaplanır. Bu eşitlikte görüldüğü üzere, bir temelin taşıma gücü: temelin boyutuna, temel zemininin birim hacim ağırlığına ve kayma mukavemeti parametrelerine bağlıdır.

$$q_{\text{sınır}} = k_1 * c * N_c + \sigma'_z * N_q + k_2 * \gamma * B * N_\gamma \quad (3.5)$$

Burada;

$q_{\text{sınır}}$: Zeminin sınır taşıma gücü (kN/m²),

c : Temel zemininin kohezyonu (kN/m²),

σ'_z : Temel derinliğindeki efektif düşey gerilme,

γ : Temel zemininin birim ağırlığı (kN/m³),

B : Temel genişliği (kısa kenar veya çap, m),

N_c , N_q ve N_γ : Terzaghi taşıma gücü katsayıları (boyutsuz),

k_1 ve k_2 : Temel şekil katsayılarıdır.

3.3.3. Meyerhof (1951) Taşıma Gücü Hesabı

Meyerhof (1951) sınır taşıma gücü için Terzaghi eşitliğine benzer bir bağıntı (Eşitlik 3.6) ile, önerdiği taşıma gücü katsayılarını kullanmıştır (Bowles, 1997; Meyerhoff, 1951).

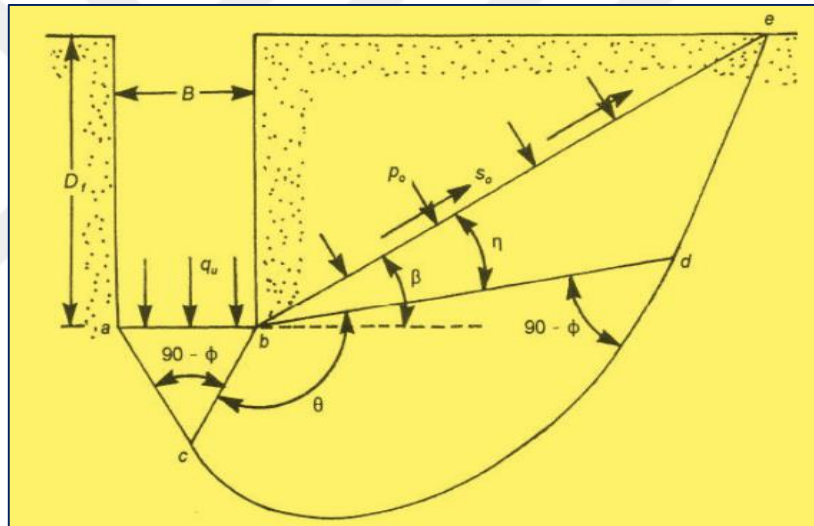
$$q_s = cN_c + qN_q + 0.5B_\gamma N_\gamma \quad (3.6)$$

Burada;

N_c, N_γ, N_q : Zeminin kayma mukavemeti açısına bağlı taşıma gücü katsayılarıdır.

3.3.4.Meyerhof (1963) Taşıma Gücü Formülü

Meyerhof bağıntılarına temelin şekline, derinliğine ve yükün yüklenme biçimine bağlı olarak; şekil faktörü (s), derinlik faktörü (d) ve eğim faktörünü (i) eklemiştir. Meyerhof'un taşıma kapasitesi düşey yüklerin yanı sıra eğimli yüklerin etkisini de ele alarak hesaplama sunar (Das,2006). Şekil 3.13'te Meyerhof taşıma kapasitesi sınır durum şematik gösterimi ve Çizelge 3.1'de İçsel sürtünme açısının (ϕ) değişen değerleri için taşıma gücü faktörlerinin aldığı değerler verilmiştir.



Şekil 3.13. Meyerhof taşıma kapasitesi sınır durum şematik gösterimi (Das, 1999)

Meyerhof yaklaşımında Terzaghi'nin kabullerine ek olarak yaptığı kabuller;

1. Temel taban seviyesinin üstündeki zeminde kayma gerçekleşir.
2. Logaritmik kayma yüzeyi zemin yüzeyine kadar devam etmektedir.
3. Temel, temelin düşey yükler ile birlikte yatay yüklerin de etkisinde olduğu durumlar için yük eğim faktörlerini içerir.

Meyerhof taşıma gücü formülüne göre dikey yük Eşitlik (3.7) ile ifade edilir.

$$q_k = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \quad (3.7)$$

Meyerhof taşıma gücü formülüne göre eğimli yükler için Eşitlik (3.8) ile ifade edilir.

$$q_k = c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot i_q \cdot d_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \quad (3.8)$$

Burada;

q_k : Temel taşıma gücü karakteristik dayanımı [kN/m^2]

B : Temel genişliği [m]

D : Temel derinliği [m]

c : Zeminin kohezyon dayanımı [kPa]

γ_1 : Temel taban seviyesi üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığı [kN/m^3]

γ_2 : Temel taban seviyesi altındaki zeminin birim hacim ağırlığı [kN/m^3]

N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayıları [birimsiz]

s_c, s_q, s_γ : Şekil faktörleri [birimsiz]

i_c, i_q, i_γ : Yük eğiklik faktörleri [birimsiz]

d_c, d_q, d_γ : Derinlik faktörleri [birimsiz]

Meyerhof taşıma gücü formülündeki taşıma gücü katsayıları Eşitlik (3.9), Eşitlik (3.10) ve Eşitlik (3.11) ile hesaplanır.

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi \quad (3.9)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.10)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(1.4 \cdot \phi) \quad (3.11)$$

Burada;

ϕ : Temel altı zeminin içsel sürtünme açısıdır [Derece]

Çizelge 3.1.İçsel sürtünme açısının (ϕ) değişen değerleri için taşıma gücü faktörlerinin aldığı değerler (Das, M. B., 1999)

	Nc	Nq	N γ		Nc	Nq	N γ
0	5.14	1	0	26	22.25	11.85	8
1	5.38	1.09	0.002	27	23.94	13.2	9.46
2	5.63	1.2	0.01	28	25.8	14.72	11.19
3	5.9	1.31	0.02	29	27.86	16.44	13.24
4	6.19	1.43	0.04	30	30.14	18.4	15.67
5	6.49	1.57	0.07	31	32.67	20.63	18.56
6	6.81	1.72	0.11	32	35.49	23.18	22.02
7	7.16	1.88	0.15	33	38.64	26.09	26.17
8	7.53	2.06	0.21	34	42.16	29.44	31.15
9	7.92	2.25	0.28	35	46.12	33.3	37.15
10	8.35	2.47	0.37	36	50.59	37.75	44.43
11	8.8	2.71	0.47	37	55.63	42.92	53.27
12	9.28	2.97	0.6	38	61.35	48.93	64.07
13	9.81	3.26	0.74	39	67.87	55.96	77.33
14	10.37	3.59	0.92	40	75.31	64.2	93.69
15	10.98	3.94	1.13	41	83.86	73.9	113.99
16	11.63	4.34	1.38	42	93.71	85.38	139.32

3.3.5.Vesic Taşıma Gücü Hesabı

Vesic (1973) kendisinden önce yapılan çalışmaları deneysel olarak kontrol edip diğer yöntemler arasındaki farklılıklardan biri, N γ taşıma gücü faktörüdür. Vesic, bi temel sapma faktörleri, gi zemin eğim faktörleri ve ii yük eğim faktörlerinin hesaplanmalarında da farklı yaklaşımlar geliştirmiştir (Çizelge 3.2). Bununla birlikte, Vesic tarafından geliştirilen taşıma gücü Eşitlik (3.12) ve taşıma gücü faktörü N γ Eşitlik (3.13) kullanılarak hesaplanır.

$$q_u = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + (\gamma D_f) \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \quad (3.12)$$

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \cdot \tan \phi \quad (3.13)$$

Çizelge 3.2. Vesic bi, gi, ii katsayıları hesap formülleri (Bowles, 1996)

Yük eğim faktörleri	Zemin eğim faktörleri
$i'_c = 1 - \frac{mH_i}{A_f c_a N_c} \quad (\phi = 0)$	$g'_c = \frac{\beta}{5.14} \quad \beta \text{ radyan}$
$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad (\phi > 0)$	$g_c = i_q - \frac{1 - i_q}{5.14 \tan \phi} \quad \phi > 0$
i_q, m aşağıda tanımlanmıştır.	
$i_q = \left[1.0 - \frac{H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^m$	$g_q = g_\gamma = (1.0 - \tan \beta)^2$
Temel sapma faktörleri	
$i_\gamma = \left[1.0 - \frac{H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^{m+1}$	$b'_c = g'_c \quad (\phi = 0)$
$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$	$b_c = 1 - \frac{2\beta}{5.14 \tan \phi}$
$m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}$	$b_q = b_\gamma = (1.0 - \eta \tan \phi)^2$

Çizelge 3.3. Hansen ve Vesic N_c, N_q, N_γ taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996)

Φ (derece)	N_c	N_q	$N_{\gamma(H)}$	$N_{\gamma(V)}$
0	5.14	1.0	0.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1	0.4
10	8.34	2.5	0.4	1.2
15	10.97	3.9	1.2	2.6
20	14.83	6.4	2.9	5.4
25	20.71	10.7	6.8	10.9
26	22.25	11.8	7.9	12.5
28	25.79	14.7	10.9	16.7
30	30.13	18.4	15.1	22.4
32	35.47	23.2	20.8	30.2
34	42.14	29.4	28.7	41.0
36	50.55	37.7	40.0	56.2
38	61.31	48.9	56.1	77.9
40	75.25	64.1	79.4	109.3
45	133.73	134.7	200.5	271.3
50	266.50	318.5	567.4	761.3

3.3.6.Genel Taşıma Gücü Formülü [TBDY-2018]

Temel taşıma gücü; Vesic taşıma gücü formülü ile benzer olmakla birlikte yalnızca N_γ değeri farklıdır TBDY (2018). Temel taşıma gücü Eşitlik (3.14) ile ifade edilir.

$$q_k = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \quad (3.14)$$

Burada;

q_k : Temel taşıma gücü karakteristik dayanımı [kN/m²]

B' : Etkin-Efektif temel genişliği [m]

D : Temel derinliği [m]

c : Zeminin kohezyon dayanımı [kPa]

γ_1 : Temel taban seviyesi üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığı [kN/m³]

γ_2 : Temel taban seviyesi altındaki zeminin birim hacim ağırlığı [kN/m³]

N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayıları [birimsiz]

s_c, s_q, s_γ : Şekil faktörleri [birimsiz]

d_c, d_q, d_γ : Derinlik faktörleri [birimsiz]

i_c, i_q, i_γ : Yük eğiklik faktörleri [birimsiz]

g_c, g_q, g_γ : Temel zemini yüzey eğimi faktörleri [birimsiz]

b_c, b_q, b_γ : Temel taban eğimi faktörleri [birimsiz]

Genel taşıma gücü formülünde yer alan taşıma gücü katsayıları Eşitlik (3.15), Eşitlik (3.16) ve Eşitlik (3.17) ile ifade edilir.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.15)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi \quad (3.16)$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \cdot \tan \phi \quad (3.17)$$

3.4. Sayısal taşıma gücü kestirim yöntemleri

Geostudio 2023 Sigma/W programından analiz sonucu elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri ile sayısal kestirim yöntemlerinin kullanılarak taşıma gücü hesabı Brinch Hansen ve DeBeer yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.4.1. De Beer Yöntemi

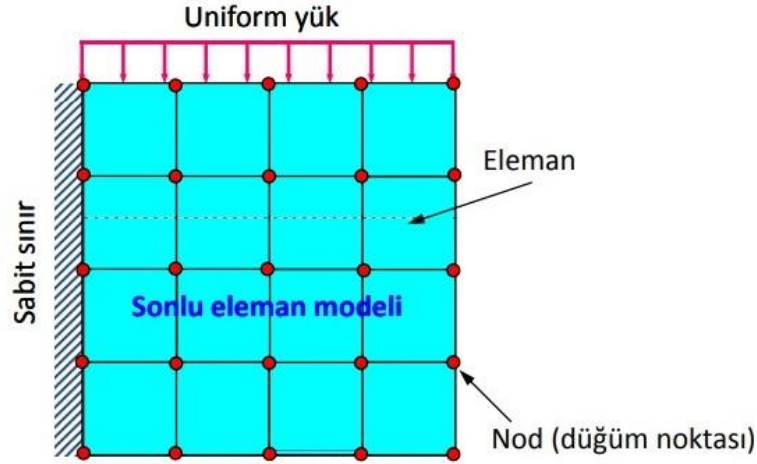
De Beer (1970) yöntemine göre, elastik bölgeye ait olan birinci doğrusal kısmın teğeti ile plastik bölgeye ait olan ikinci doğrusal kısmın teğetinin birleştirilip y ekseninde okunan değer şerit temelin altındaki zemin modeline ait taşıma gücünü verir.

3.4.2. Brinch Hansen Yöntemi

Brinch Hansen (1963) yönteminde ilk aşamada bir gerilme değeri ($q_{cap}=q_1$) belirlenir ve bu gerilme değerine karşılık gelen yerdeğiştirme değeri (s_1) okunur. İkinci aşamada s_1 değerinin yarısı alınarak ($s_2=0,5s_1$) bu değere karşılık gelen gerilme değeri (q_2) belirlenir. Sonuçta, q_2 değeri edilen ilk gerilme değerinin ($q_1=q_{cap}$) %90'ı ise q_{cap} değeri ilgili temele ait taşıma gücünü verir.

3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar Yöntemi, farklı mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Sonlu elemanlar yönteminin esaslı analiz yapılacak bölgeyi çok sayıda küçük sonlu elemanlara bölmektir (Şekil 3.14). Bir, iki veya üç boyutlu olabilen bu elemanlar düğüm ya da düğüm noktası adı verilen noktalarda birbirlerine bağlanmaktadır. Bu yöntemde kullanılan yazılımlarla çözümler kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilir. Sonsuz adet noktayı sonlu adet noktaya indirgeme bir başka değişle meshleme işlemi yapılır. Bu indirgenen noktalar düğüm noktası olarak adlandırılır. Düğüm noktalarının birleşmesi ile 2 ya da 3 boyutlu şekiller oluşmaktadır ve eleman olarak isimlendirilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi, boyutları ve şekillerinin esnekliği nedeniyle, verilen bir cismi temsil edebilir, hatta karmaşık şekilli bir cisimde daha güvenilir olabilir. Çok bağlantılı bölgeler veya köşeleri olan bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir (Nath, 1993).



Şekil 3.14. Sonlu eleman yöntemi (<https://www.sanalsantiye.com>)

Bununla birlikte analiz aşamasında, temel düğüm noktalarında birbirine bağlı ayrı elemanların bir ağı gibi modellenir. Sonlu elemanlar analizinde zemin yay olarak modellenir ve temelin düz bir plak benzeri eğilme etkisinde analizi yapılır. Her düğüm noktasındaki yaylarda oluşan tepki kuvvetleri zemin gerilmesi modeli olarak kullanılır (Nath, 1993).

3.6. Geostudio 2023 Sigma/W Modülü

Son yıllarda geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan yazılımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu paket programlar geoteknik tasarım çalışmalarında birçok kolaylık sağlamaktadır. GeoStudio geoteknik mühendisliği alanında dünyada en iyi bilinen ve yaygın olarak kabul gören ve sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan yazılım paketlerinden biridir. Belirli geoteknik konuları ele alan SIGMA/W, SEEP/W, SLOPE/W, CTRAN/W, AIR/W, TEMP/W, VADOSE/W ve QUAKE/W olmak üzere sekiz ana bileşeni vardır. Tüm bu bileşenler birbiriyle bağlantılıdır ve birinden elde edilen sonuçlar sorunların daha fazla analiz edilmesi için diğerine kolayca aktarılabilir.

Geostudio Sigma/W Modülü, zemin, kaya ve yapılardaki gerilme ve deformasyonun modellenmesi için güçlü bir sonlu elemanlar yazılım ürünüdür. SIGMA/W analizleri, basit doğrusal elastik simülasyonlardan doğrusal olmayan malzeme modelleri ile zemin-yapı etkileşimi problemlerine kadar çeşitlenebilir. SIGMA/W, hem basit hem de karmaşık analizler için kullanılabilen bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Bununla birlikte; Sigma/W modülü geoteknik yapıların gerilme ve deformasyon analizinin gerçekleştirilmesinde

boyutlu (1-D), iki boyutlu (2-D) düzlem-şekil değiştirme ve eksenel simetri problemleri çözme yeteneğine sahip sonlu elemanlar yazılımıdır. Sigma/W, hem lineer-elastik deformasyon analizi hem de elastik-plastik (Mohr-Coulomb) modele göre analiz sağlamaktadır. SIGMA/W kullanılarak aşağıdaki türde analizler gerçekleştirilebilir (Geostudio, 2022).

- ✓ In-situ Analysis
- ✓ Load/Deformation
- ✓ Volume Change
- ✓ Stress Redistribution
- ✓ Coupled Stress/ PWP and
- ✓ Dynamic Deformation

In-situ Analysis; Bu tür bir analiz, başlangıçtaki yerinde gerilme koşullarını aynı zamanda verilen sınır koşullarından gelen basınçtan ilk gözenek suyunu hesaplamak için kullanılır. Program ilk adımda “insitu analysis” ile hesaplanması gereken gravite yüklerini hesaplarken, ikinci adımda ise verilen yerdeğiştirmeye kadar temeli yükler ve buna bağlı olarak yük-yerdeğiştirme eğrisini verir. Sonraki aşamada bu eğri gerilme-yerdeğiştirme eğrisine dönüştürülür.

Load/Deformation; Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) modeli üzerinde uygulanan yükten kaynaklanan gerilme ve deformasyonları elde etmek için kullanılır.

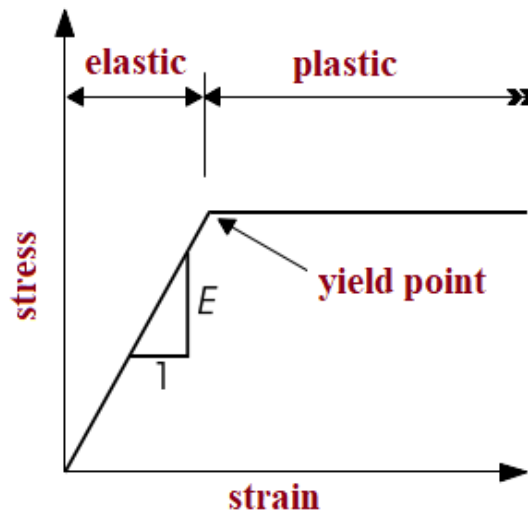
Volume Change; Zemin hacmindeki değişimi iki farklı gözenek suyu basıncı koşulunda elde etmek için kullanılır.

Coupled Stress/PWP; Bu analiz türü, stres ve gözenek suyunun bir arada bulunduğu modellerde kullanılır.

Boundary Conditions; SIGMA/W'deki sınır koşulları kuvvet ya da yerdeğiştirme veya gerilme olarak belirtilebilir. X ve Y yönlerindeki yay sınır koşulları matematiksel bir fonksiyon şeklinde veya sabit bir değere sahiptir.

Sigma/W, altı farklı malzeme modelini bünyesinde barındırır. Her bir modelin kullanımı için, davranış modelin toplam gerilme, efektif gerilmeye göre malzeme davranışlarını değerlendirmeyi sağlar. Sigma/W modülüne ait malzeme modelleri, Lineer-elastik, Anizotropik Lineer-elastik, Hiperbolik E-B, Elastik-Plastik (Mohr Coulomb veya Tresca), Soft Clay ve Modified Cam Clay olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada, yapılan analizlerde malzeme modeli olarak elastik-plastik (Mohr Coulomb) malzeme modeli seçilmiştir. SIGMA/W'deki Elastik-Plastik model elastik, mükemmel plastik bir ilişkiyi tanımlar. Bu model için tipik bir gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Mohr Coulomb modeline göre gerilmeler akma noktasına ulaşana kadar deformasyon ile doğru orantılıdır. Akma noktasından sonra gerilme-şekil değiştirme eğrisi yatay olmakla birlikte akma noktasından sonra şekil değiştirme artarken gerilme sabit kalmaktadır. Bu modelde malzeme belli bir gerilmeye kadar elastik davranış gösterirken, plastik bölgeye gelindiğinde zemin numunesinde kalıcı deformasyon meydana gelmektedir.



Şekil 3.15. Elastik-mükemmel plastik bünye ilişkisi(Geostudio, 2022)

Mohr-Coulomb modelinin formülasyonunda, Akma fonksiyonu olarak kabul edilen Mohr-Coulomb yenilme yasası Eşitlik (3.16)'de verildiği gibi asal gerilmeler, c' ve ϕ' efektif gerilme kohezyon ve içsel sürtünme açısı ile ifade edilir. Bununla birlikte; dilatasyon açısı kayma veya makaslama yenilmesi için Eşitlik (3.17)'de görüldüğü şekilde ifade edilir.

$$\mathbf{f}_s(\sigma) = (\sigma_1 - \sigma_3) - (\sigma_1 + \sigma_3)\sin\phi' - 2c'\cos\phi' \quad (3.18)$$

$$\mathbf{g}_s(\sigma) = (\sigma_1 - \sigma_3) - (\sigma_1 + \sigma_3)\sin\Psi \quad (3.19)$$

Burada;

σ_1 ve σ_3 : Asal gerilmeler

c' : Efektif kohezyon

ϕ' : Efektif içsel sürtünme açısı

Ψ : Dilatasyon açısıdır.

İsteğe bağlı bir gerilim kriteri ve plastik potansiyel Eşitlik (3.18) ve Eşitlik (3.19) ile ifade edilir.

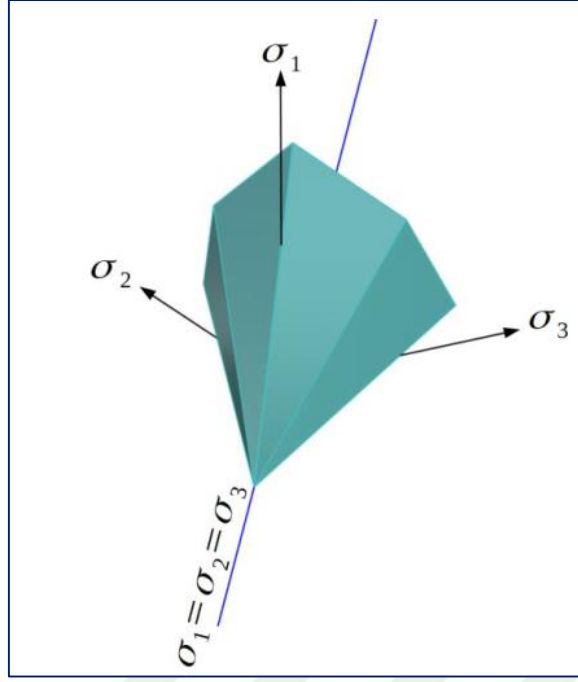
$$\mathbf{f}_t(\sigma) = \sigma_t - \sigma_3 = 0 \quad (3.20)$$

$$\mathbf{g}_t(\sigma) = -\sigma_3 \quad (3.21)$$

Burada;

σ_t : Çekme veya gerilme dayanımıdır.

Şekil 3.16'da Mohr-Coulomb kırılma yüzeyinin 3D asal gerilme uzayında görünümü verilmiştir. Mohr Coulomb akma fonksiyonu gerilme uzayında sabittir ve plastik gerilmeler olduğunda boyut olarak değişmez. Sonuç olarak, model genellikle elastik-mükemmel plastik olarak tanımlanmaktadır (Geostudio, 2022).



Şekil 3.16. Mohr-Coulomb kırılma yüzeyinin 3D asal gerilme uzayında görünümü(Geostudio, 2022)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Geostudio 2023 yazılımının Sigma/W Modülü ile gevşek zemin birimlerine oturan radye temellerin gerilme ve deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. İki boyutlu (2-D) düzlem-şekil değiştirme ve eksenel simetri problemleri değerlendirilerek yorumlanmıştır. Gerilme-yer değiştirme ilişkisinin elastik-plastik modeli ile incelenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Tez çalışmasının ikinci aşamasında, iki ayrı radye temel modeli için, temel genişliğinin taşıma gücüne etkisini araştırmak amacıyla, analitik yöntemler (Terzaghi, Meyerhof, Vesic ve TBDY (2018)) ve programdan elde edilen gerilme-yerdeğiştirme eğrileri yardımı ile sayısal yöntemler olan (Brinch Hansen ve DeBeer) ile taşıma gücü hesaplamaları yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Sayısal yöntemler ile analitik yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri birbirleri ile kıyaslanarak benzerlikleri ve ayrışıklıkları noktalar tartışılmıştır. I. radye temel modeli için, kohezyon değerlerinin 0.09, 0.18, 0.14, 0.15, 0.17; içsel sürtünme açısı değerleri; 7, 8, 9, 11, 10 derece ve II. radye temel modeli için kohezyon değerlerinin 7.73; 7.23; 7.73; 7.53 içsel sürtünme açısı değerleri; 23.7, 26.71, 22.10, 28.7 derece ve temel boyutlarının 10*10; 15*15; 20*20 ve 25*25 m² olduğu durumlar için analizler gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte temel alanının taşıma gücüne etkisini belirlemek için temel boyutlarının 10*10, 15*15, 20*20 ve 25*25 m² olduğu durumlar için analizler gerçekleştirilmiş ve temel alanının taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır.

4.1. I. Radye Temel Modeli İçin Yapılan Analizler

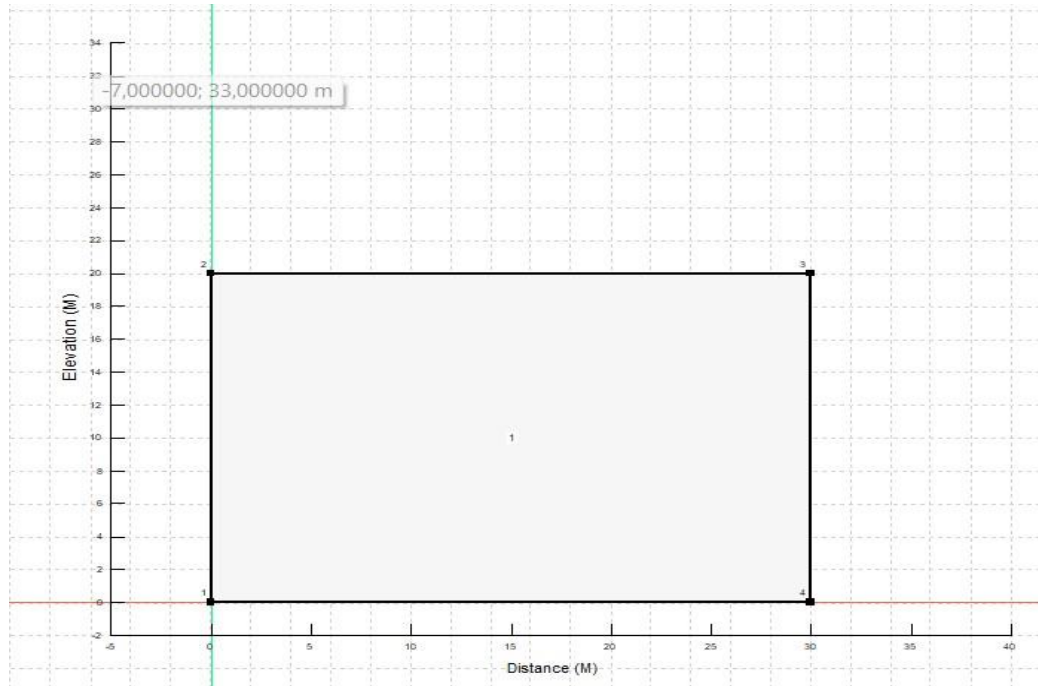
I. radye temel modeli için, yapılan analizde z+5 katlı betonarme bir binanın (Şekil 4.1) temele aktardığı yük 2 t/m² olarak hesaplanmış olup veriler sahada yapılan sondaj çalışması ve laboratuvar deneyleri ile geoteknik raporlardan elde edilmiştir. Zeminde, çakıllı killi siltli kum malzeme hâkim olmakla birlikte, yeraltı su seviyesine 3.5 metrede rastlanılmıştır.



Şekil 4.1. I. radye temel modeli

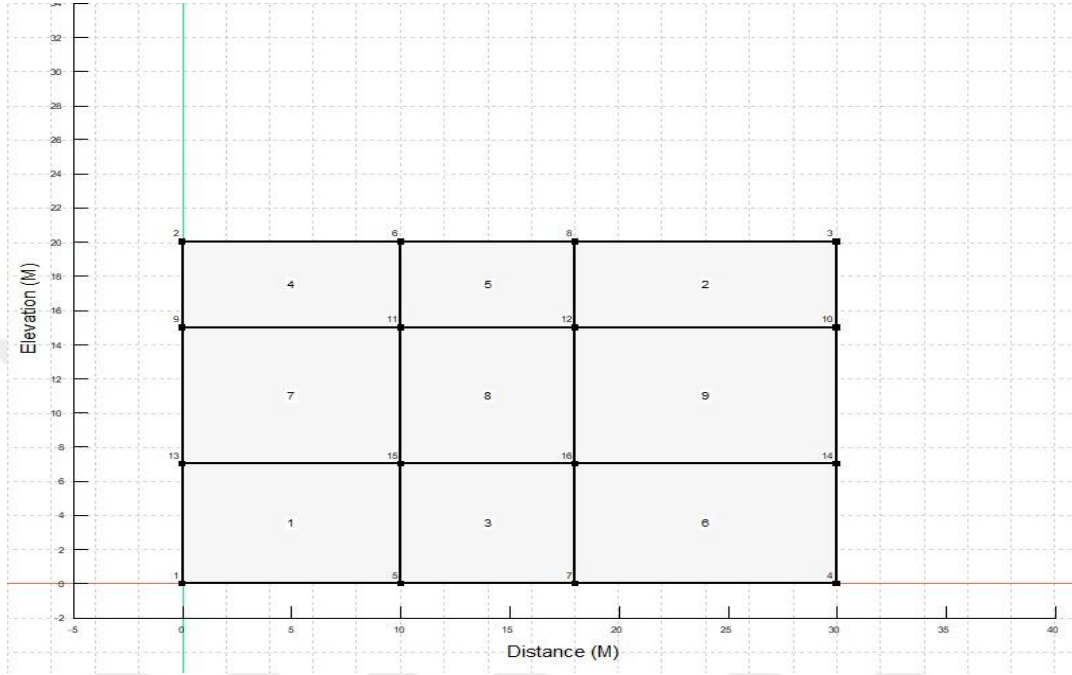
4.1.1. Radye temel 10*10 metrekare alan için yapılan analizler

Geostudio Sigma/W Modülü programında, yük ve deformasyon yöntemi seçildikten sonra, ilk adım olarak geometrik sınırlar belirlenmelidir. Şekil 4.2’de yapılacak analiz öncesindeki sınırları belirlenmiş model görülmektedir.



Şekil.4.2. Analiz edilecek modelin sınır koşullarını belirleme

Analiz edilecek modeli bölgelere ayırabilmek için sınır koşullar belirlendikten sonra bölgelere ayırma komutu seçilmiştir. Şekil 4.3’de görüldüğü üzere, bölgelere ayırmaktaki amaç yapılacak analizin hassasiyetini arttırmaktır. Bölgelere ayrılırken dikkat edilmesi gereken husus temel genişliğine göre sınırın belirlenmesidir.



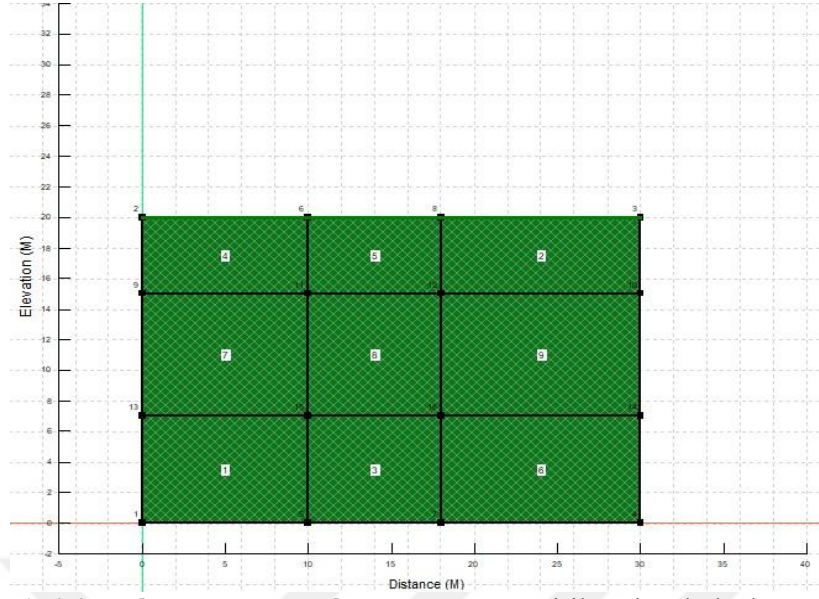
Şekil.4.3. Modelin bölgelere ayrılması

Bölgelerin oluşturulmasından sonra her bölge için malzeme özellikleri tanımlanmıştır (Şekil 4.4). Belirlenen her bölge için malzeme özellikleri için girilen değerler elastisite modülü, poisson oranı, zemin birim hacim ağırlığı ve içsel sürtünme açısıdır. Çizelge 4.1’de malzeme tanımında kullanılan parametrelere ait değerler verilmiştir.

Çizelge 4.1. I. radye temel modeli için analiz edilecek malzeme parametreleri

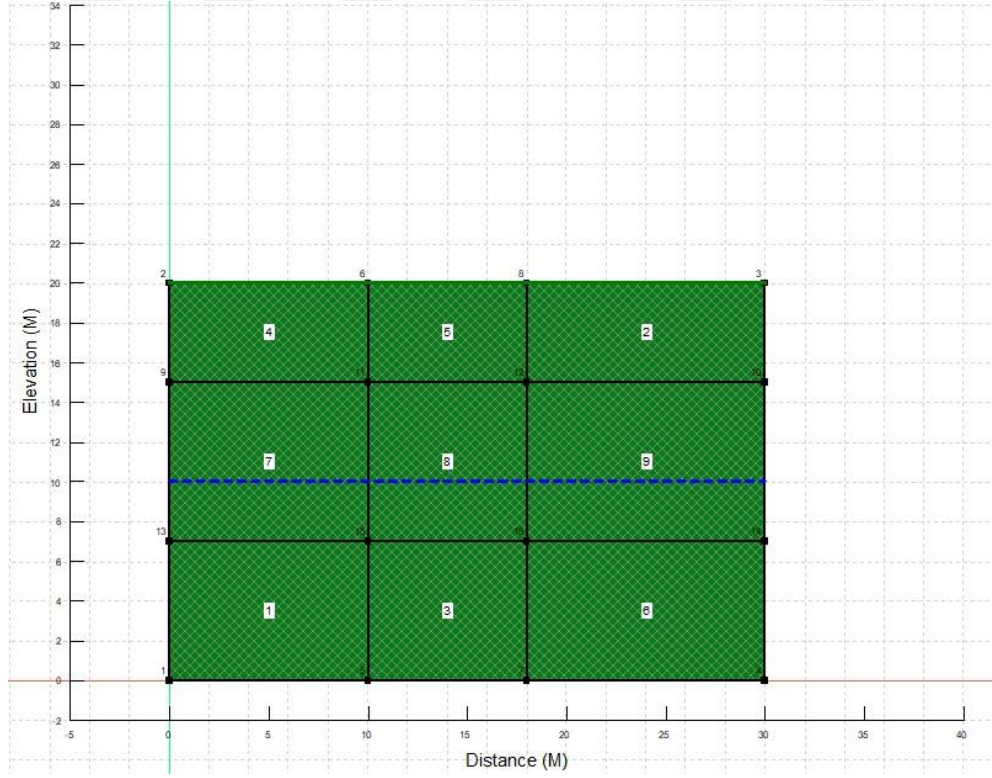
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Kohezyon (kPa)	İçsel sürtünme açısı (°)	Elastisite modülü (kPa)	Poisson Oranı
19.5	0.09	7	4769	0.346
19.4	0.18	8	4819	0.463
19.6	0.14	9	4631	0.359
18.7	0.15	11	5111	0.471
18.5	0.17	10	6015	0.334

İçsel sürtünme açısı 30°’den az olduğu için dilatasyon açısı değeri 0 olarak alınmıştır.



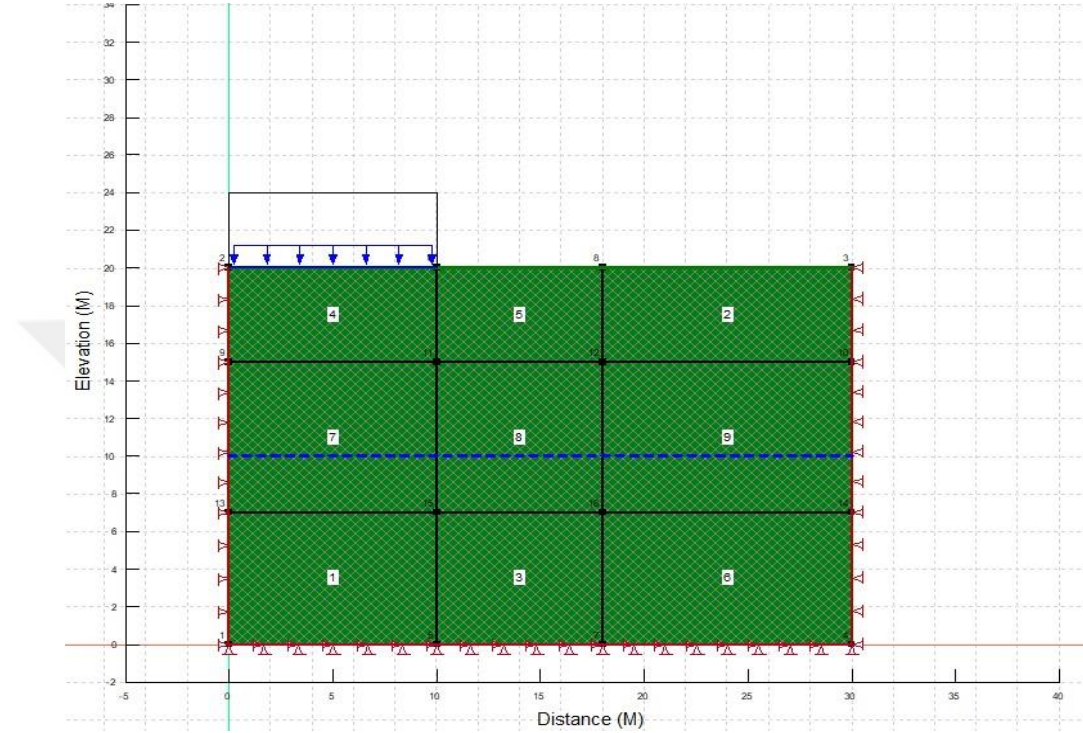
Şekil 4.4. Malzeme parametrelerinin programa girilmesi ve bölgelere tanımlanması

Çalışma sahasında bulunan yeraltı su seviyesi model üzerinde Şekil 4.5’de olduğu gibi 3.5 metrede girilmiştir.



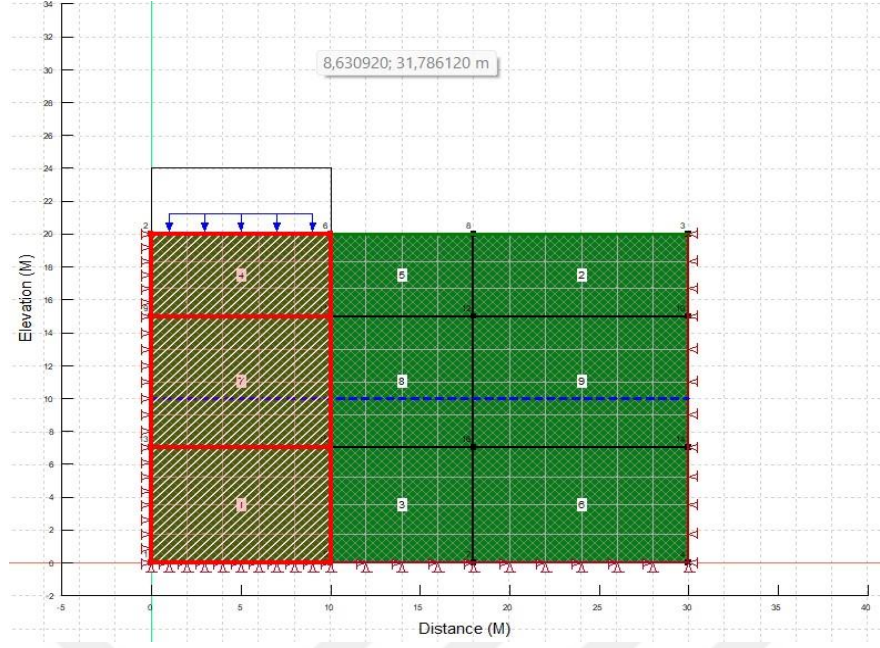
Şekil.4.5. Analiz edilecek model için yeraltı su seviyesinin belirlenmesi

Bölgeler oluşturulduktan sonra, temel yükünün geleceği alan belirlenmiş ve zemin yanıl yük sınır koşulları uygulanmıştır. Temel yükü belirlenen sınırlar içinde yayılı yük olarak gösterilmiştir. Şekil 4.6'da analiz edilecek model için temel yükü ve yanıl yük sınır koşulları gösterilmiştir.



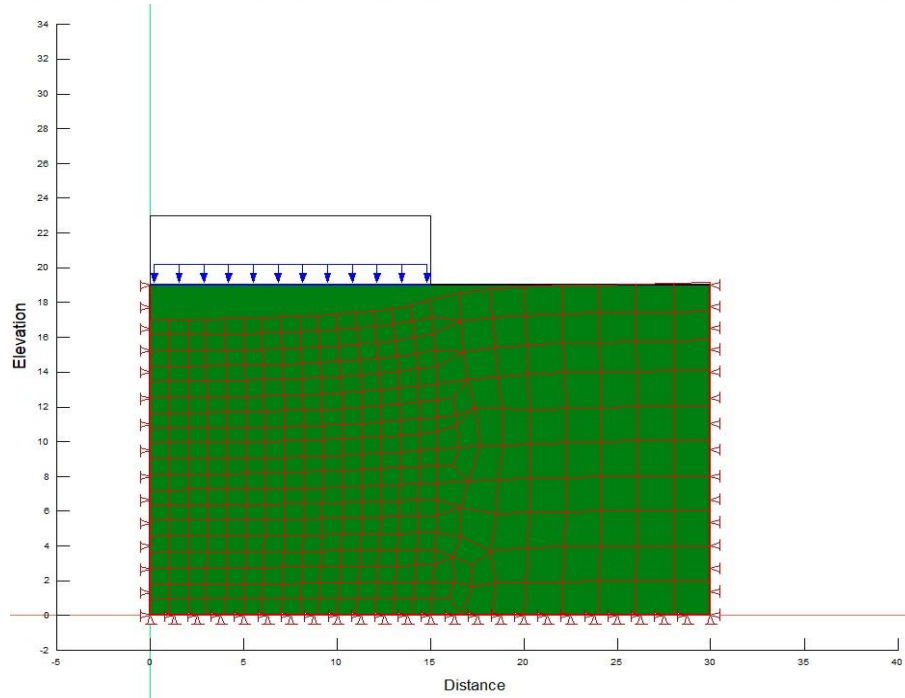
Şekil 4.6. Temel yükü ve yanıl yüklerin gösterilmesi

Analizde kullanılacak eleman tipi ve sonlu eleman ağı seçimi aşamasında, mesh algoritmasının girilmesi ve temel yükünün yüklendiği alanın daha detaylı analiz edilebilmesi için ızgara aralıklarının boyutları daha küçük karesel noktalara bölünmüştür. Şekil 4.7'de analiz edilecek model için oluşturulan sonlu elemanlar ağı gösterilmiştir.



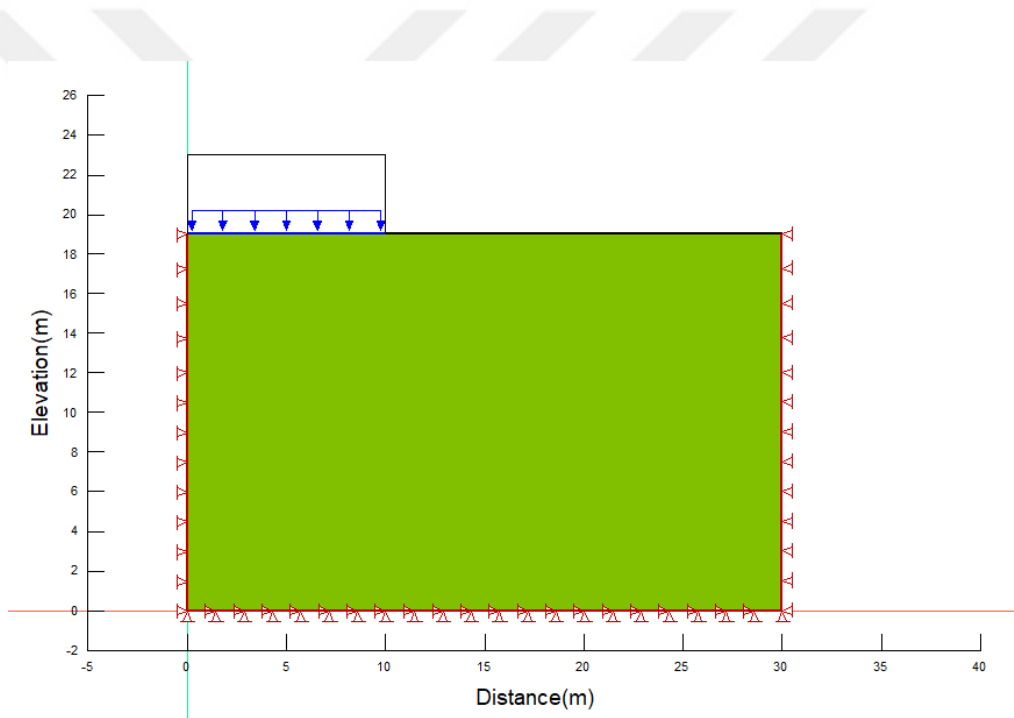
Şekil 4.7. Mesh algoritmasının oluşturulması

Şekil 4.8’de analizlerin sonucunda elde edilen modelde vektörel olarak zemindeki bozulmalar görülmektedir.

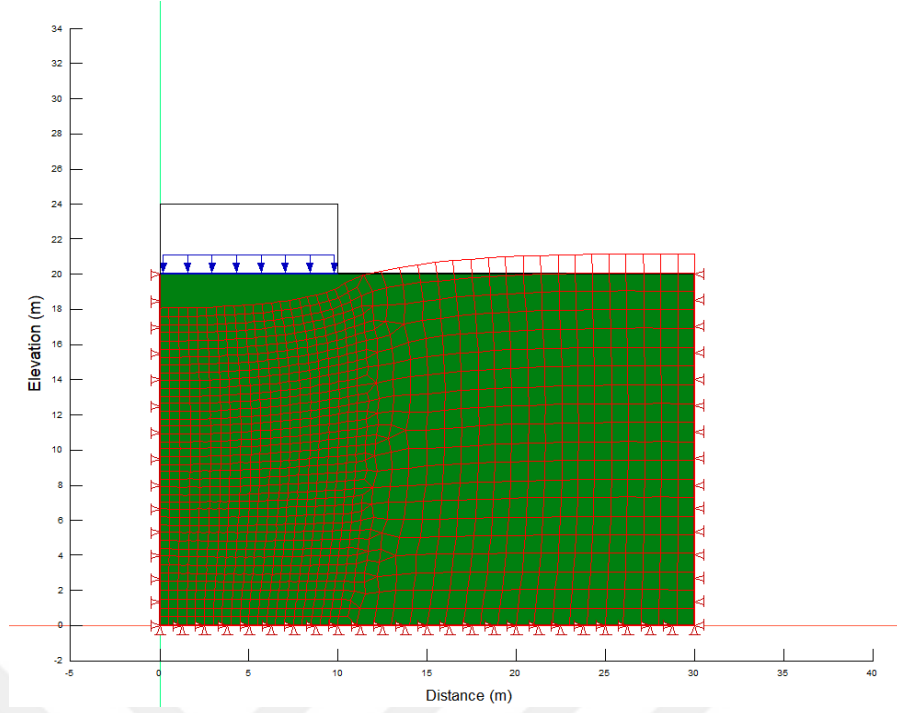


Şekil 4.8. Analiz sonucu zeminde oluşan bozulmanın ızgara olarak görülmesi

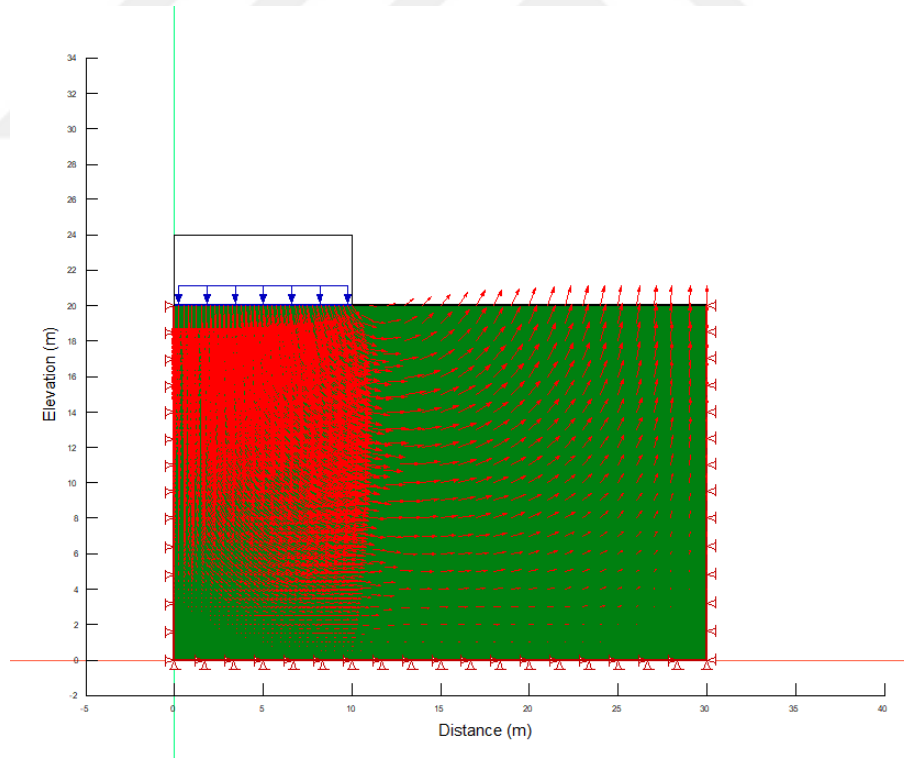
Radye temel alanı 10*10 metrekaare alan için yapılan analizlerde, Şekil 4.9’de zeminin geometrik sınır değerleri belirleme, yanal yükler ve temel yüklerinin tanımlanması, Şekil 4.10’da analizler sonucu elde edilen temel yükü altındaki zemindeki bozulma hali ve Şekil 4.11’da temel yükü altındaki zeminin üzerine gelen yükü zemine nasıl dağıttığını görülmektedir. Şekil 4.12’de Temel altındaki zeminde oluşan bozulmanın daha net görülebilmesi için renkli diyagramlar ile gösterimi verilmiştir. Temel altındaki bozulmalar temel yükünden uzaklaştıkça etkisini azaltmıştır. Bununla birlikte aktarılan yükte, ciddi düşüşler olduğu görülmüştür (Şekil 4.12). İki boyutlu (2B) görünümde radye temel genişliği 10 metre olan bu analizde Şekil 4.12 bize zemindeki oturmayı ve nasıl bir oturma olduğunu göstermektedir. Radye temel alanı arttıkça, oturma miktarı ve zemindeki bozulma değişimleri yapılan analizler sonucu tespit edilecektir.



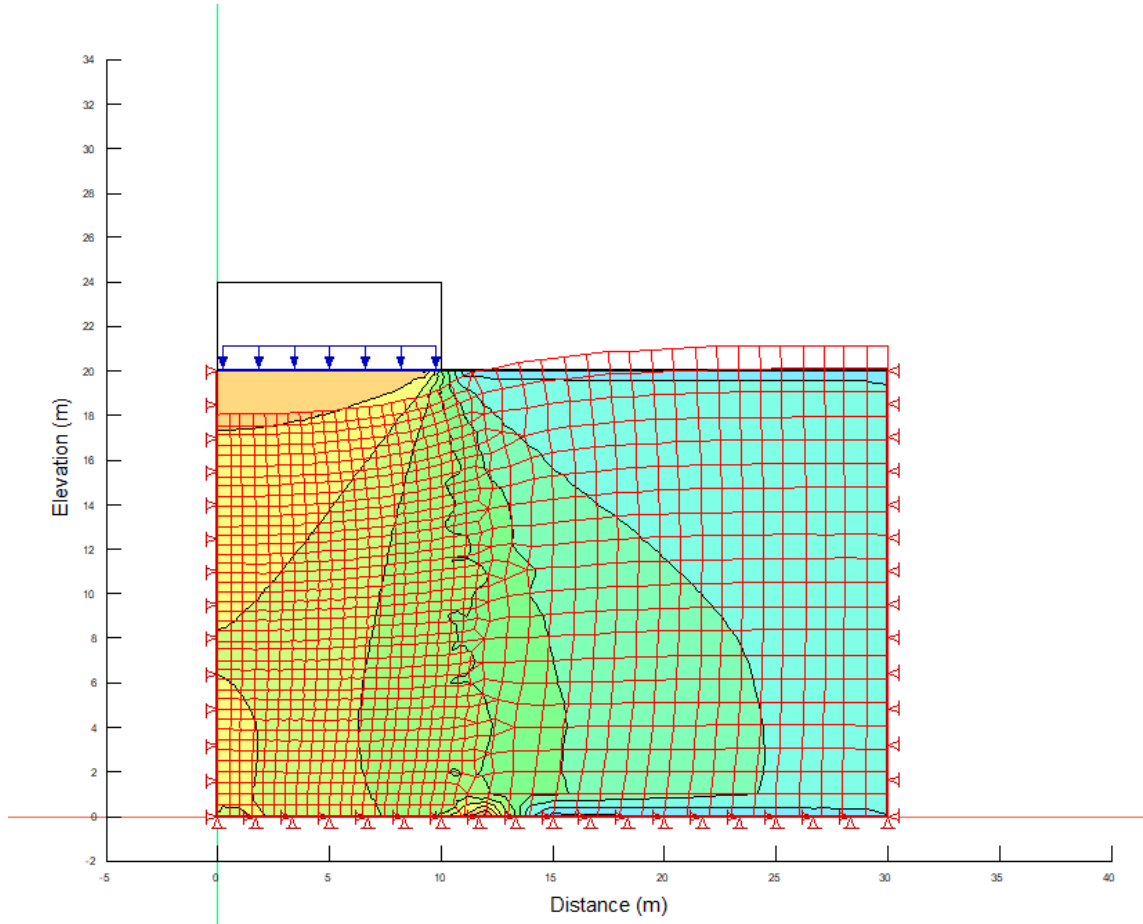
Şekil 4.9. Zeminin geometrik sınır değerleri belirleme, yanal yükler ve temel yüklerinin tanımlanması



Şekil 4.10. Analizler sonucu elde edilen temel yükü altındaki zemindeki bozulma hali

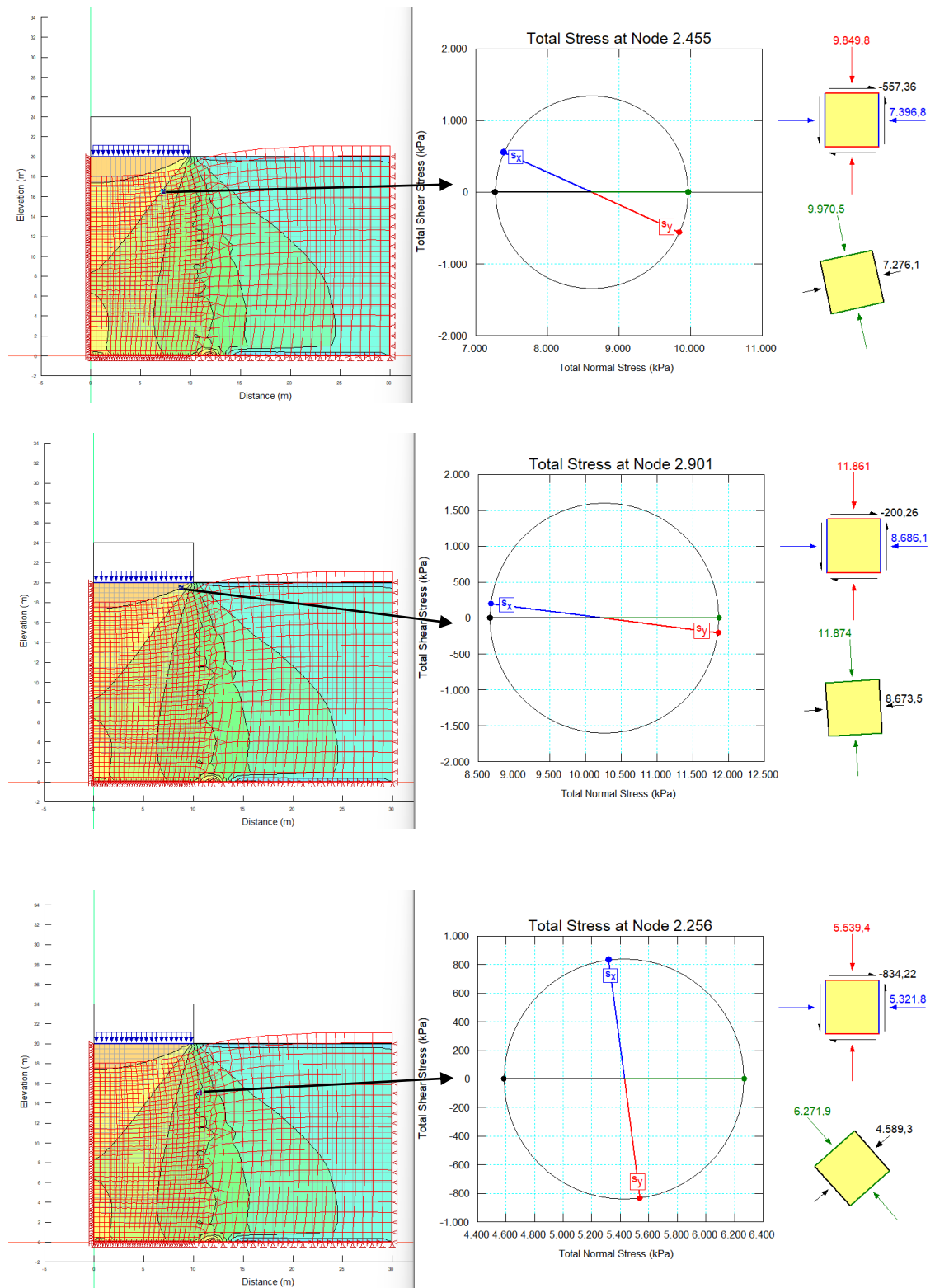


Şekil 4.11. Temel yükü altında olan zeminin üzerine gelen yükün vektörel dağılımı

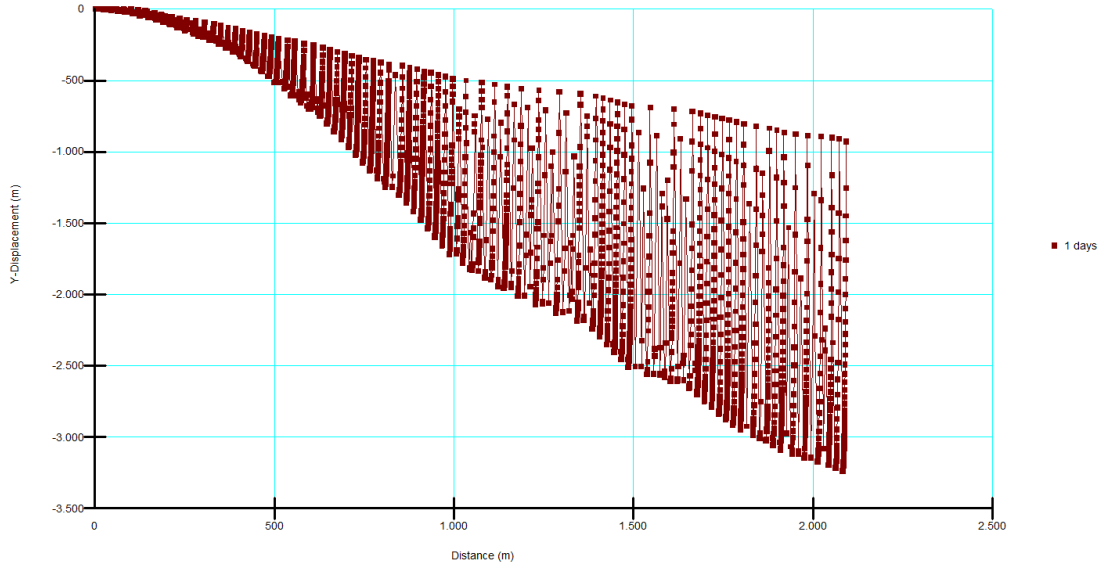


Şekil 4.12. Temel altındaki zeminde oluşan bozulmanın renkli diyagramlar ile gösterimi

Geostudio Sigma/W Modülü programında, bir noktadaki gerilme durumunu bir başka değişle uygulanan gerilmelerin makul olup olmadığını kontrol etmenin bir başka yöntemi de Mohr daire diyagramlarıdır. Mohr Çemberi grafiksel olarak toplam gerilme, efektif gerilme veya efektif gerilmenin büyüklüğü ve yönünü göstermektedir. Mohr daireleri bir elemandaki düğümlerde veya Gauss bölgelerinde görülmekle birlikte toplam gerilmeler veya efektif gerilmeler cinsinden olabilir. Bir noktadaki stres durumu Şekil 4.13'te Mohr dairesi diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 4.13'te mahr daire diyagramlarında 2.455, 2.091 ve 2.256 düğüm noktalarındaki toplam gerilme değerleri verilmiştir. Deformasyonların fazla olması sebebiyle yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.14'te düşeyde oluşan yerdeğiştirme ve mesafe grafiğinde oluşan oturma miktarı görülmektedir. Bir başka değişle, belli uzaklıklarda meydana gelen oturmanın büyüklüğü ve eğilimi analizi verilmiştir.



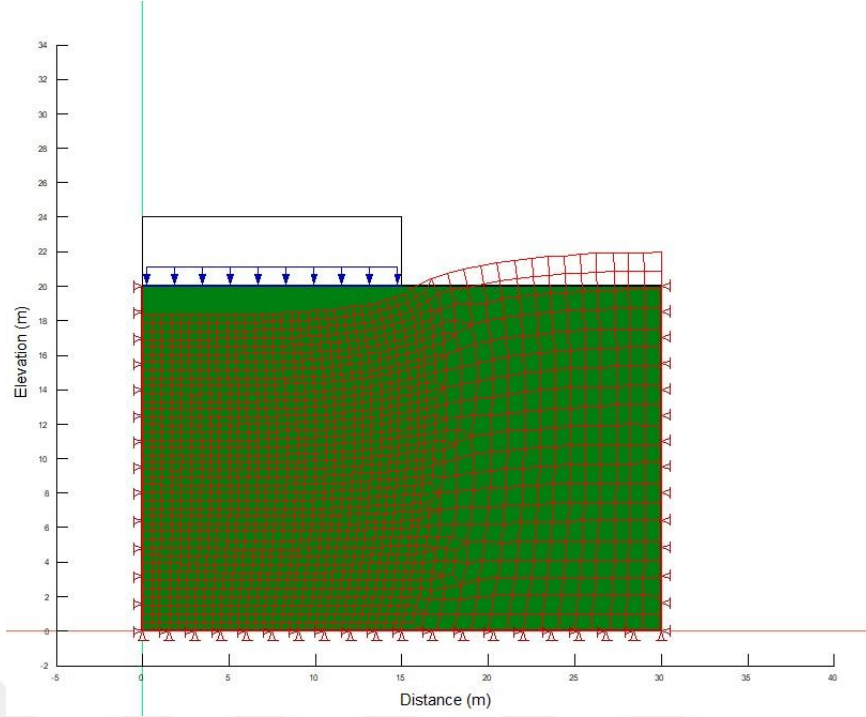
Şekil 4.13. Mohr daire diyagramlarında elemanların gerilme değerlerinin gösterimi



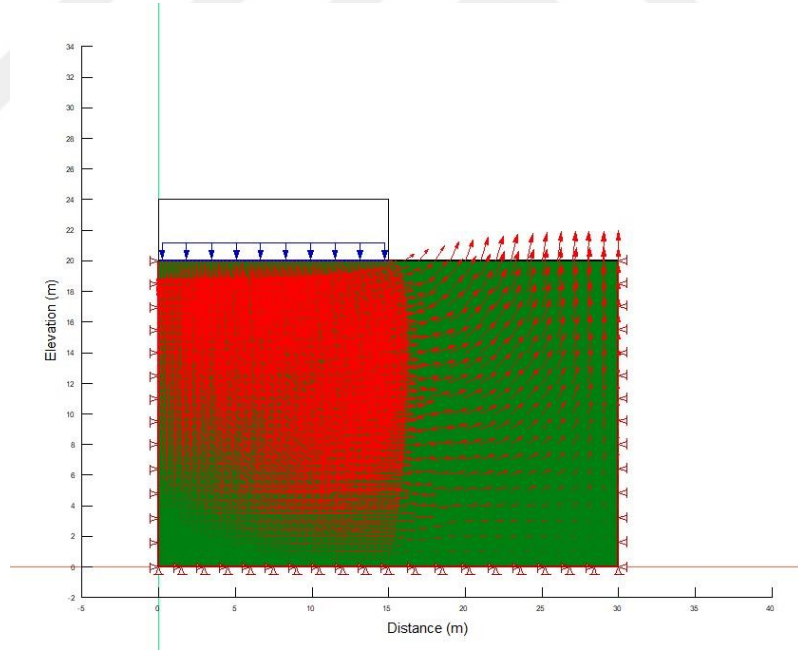
Şekil 4.14. Düşeyde oluşan yer değiştirme ve mesafe grafiğinde oluşan oturma miktarı

4.1.2. I. Radye temel 15*15 metrekare alan için yapılan analizler

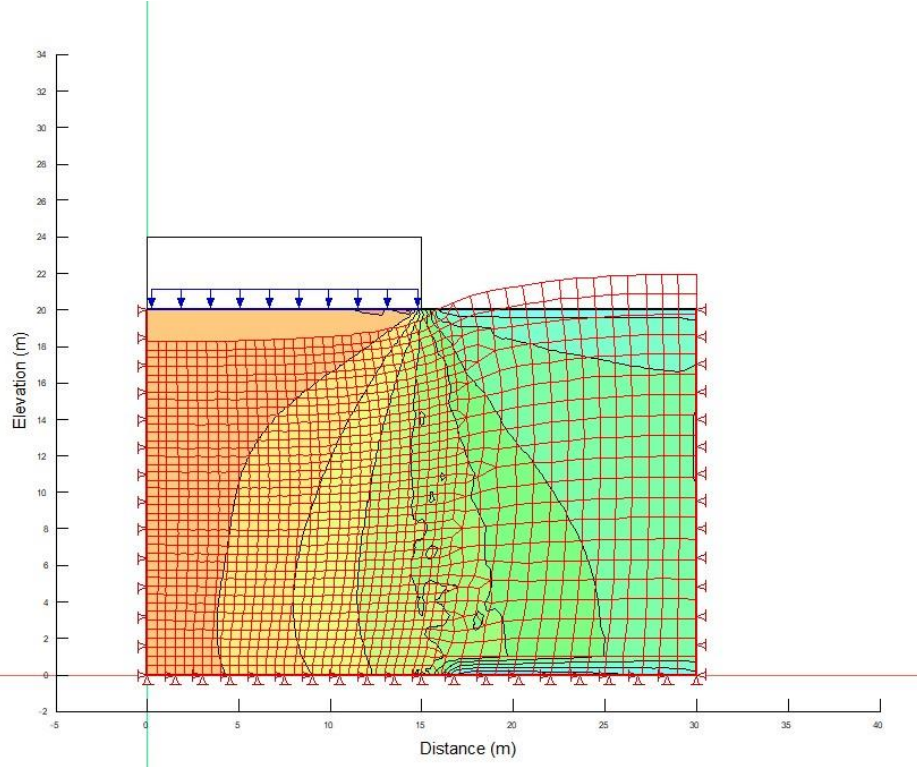
Radye temel alanının 15*15 metrekare olması durumunda yapılan analizlerde, Şekil 4.15'te zeminin geometrik sınır değerleri belirleme, yanal yükler ve temel yüklerinin tanımlanması, Şekil 4.16'da analizler sonucu elde edilen temel yükü altındaki zemindeki bozulma hali ve temel yükü altındaki zeminin üzerine gelen yükü zemine nasıl dağıttığını görülmektedir. Şekil 4.17'de temel altındaki zeminde oluşan bozulmanın daha net görülebilmesi için renkli diyagramlar ile gösterimi verilmiştir. Temel altındaki bozulmalar temel yükünden uzaklaştıkça etkisini azaltmıştır. Bununla birlikte aktarılan yükte, ciddi düşüşler olduğu görülmüştür (Şekil 4.18). Bir noktadaki stres durumu Şekil 4.18'de Mohr dairesi diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 4.18'de mohr daire diyagramlarında 4.026, 2.869 ve 1.319 düğüm noktalarındaki toplam gerilme değerleri verilmiştir. Deformasyonların fazla olması sebebiyle yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir. Radye temel genişliği 15 metre olan bu analizde, üstteki yapı aynen olduğu şekilde korunmuş olup radye temelde ampatman bırakılarak temel alanı büyütülmüştür. Temel alanının büyümesi ile yapının tamamı göz önüne alındığında zemine aktarmış olduğu yük bir miktar artmıştır. Ancak, Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 19'da görüldüğü üzere, radye temel genişliğinin artması gelen yükü daha geniş bir alana aktardığı için daha dengeli bir oturma gözlenmiştir.



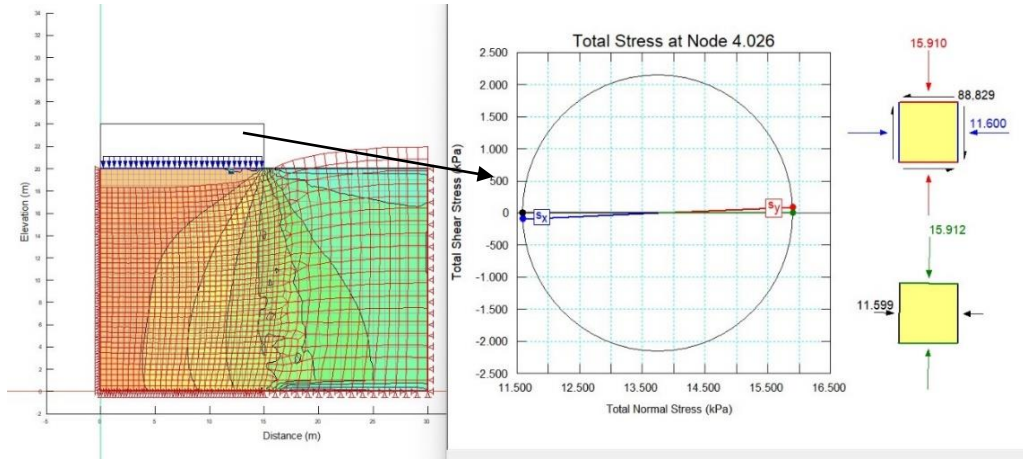
Şekil 4.15. Zeminin geometrik sınır değerleri belirleme, yanal yükler ve temel yüklerinin tanımlanması

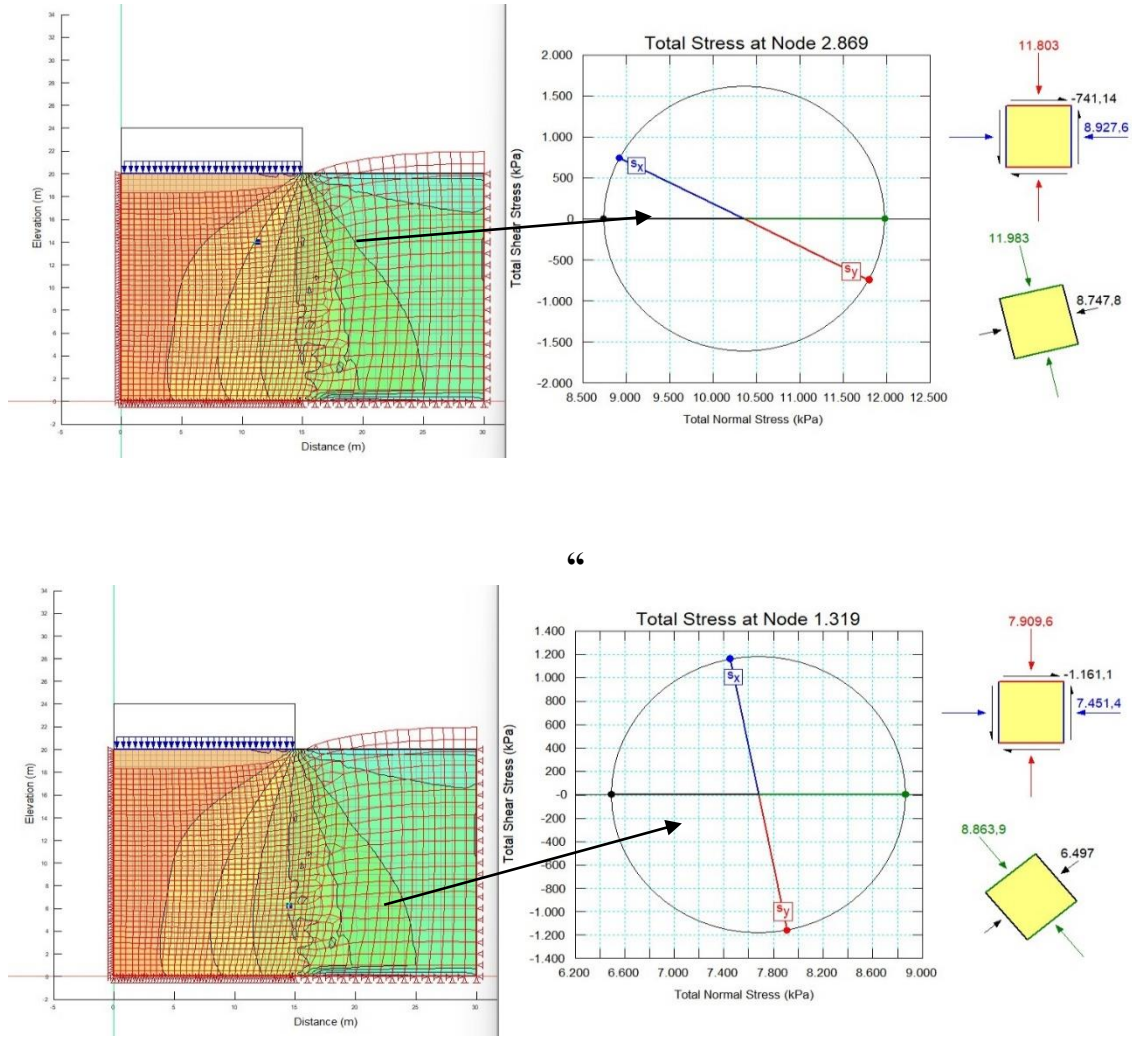


Şekil 4.16. Analizler sonucu elde edilen temel yükü altındaki zemindeki bozulma hali vektörel gösterimi

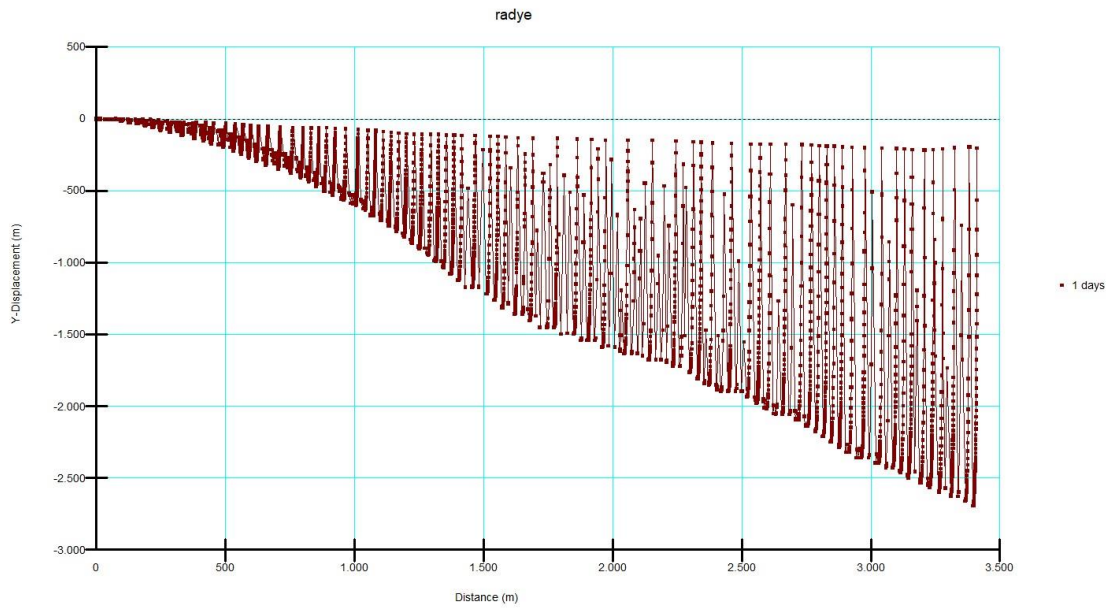


Şekil 4.17 Zeminde oluşan bozulmanın renkli diyagramlar gösterimi





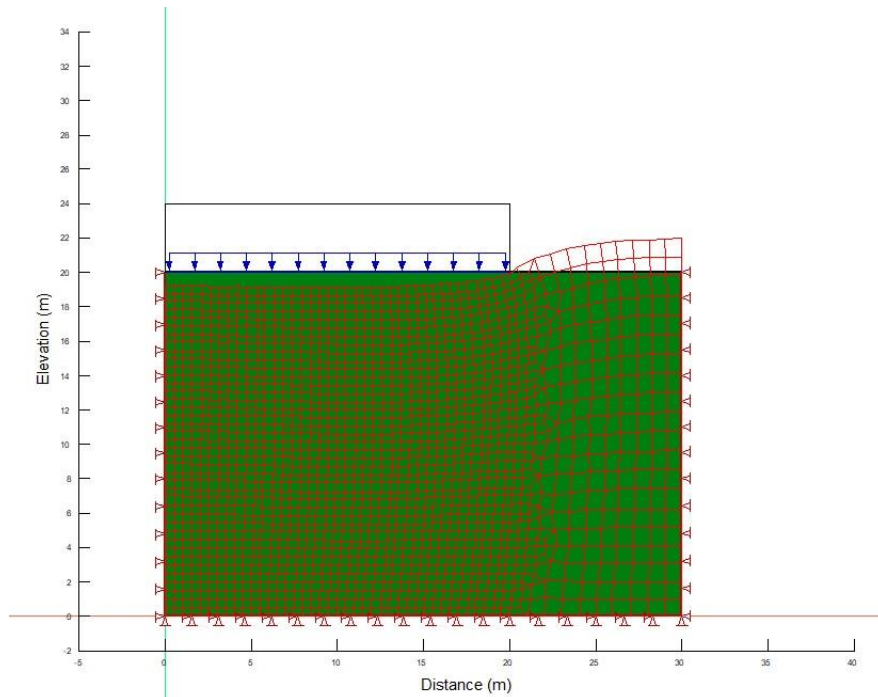
Şekil 4.18. Mohr daire diyagramlarında elemanların gerilme değerlerinin gösterimi



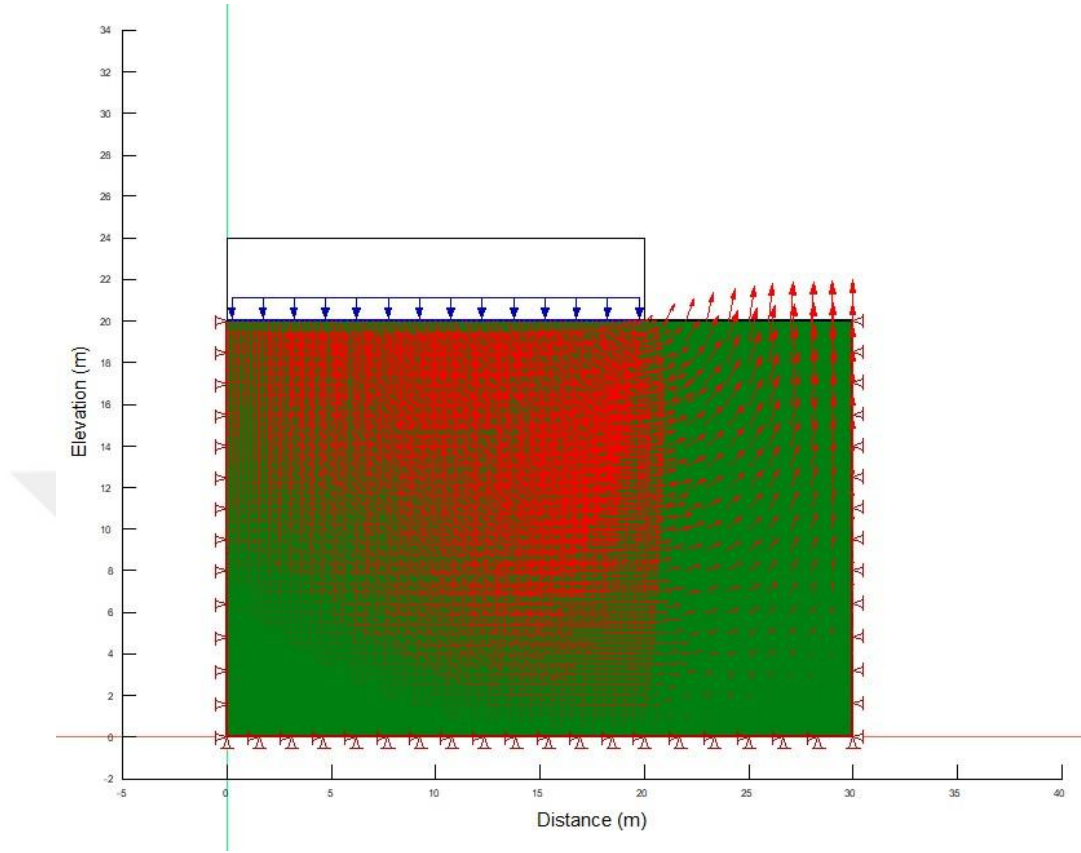
Şekil 4.19. Düşeyde oluşan yer değiştirme ve mesafe grafiğinden oluşan oturma miktarı

4.1.3. I. Radye temel 20*20 metrekaire alan için yapılan analizler

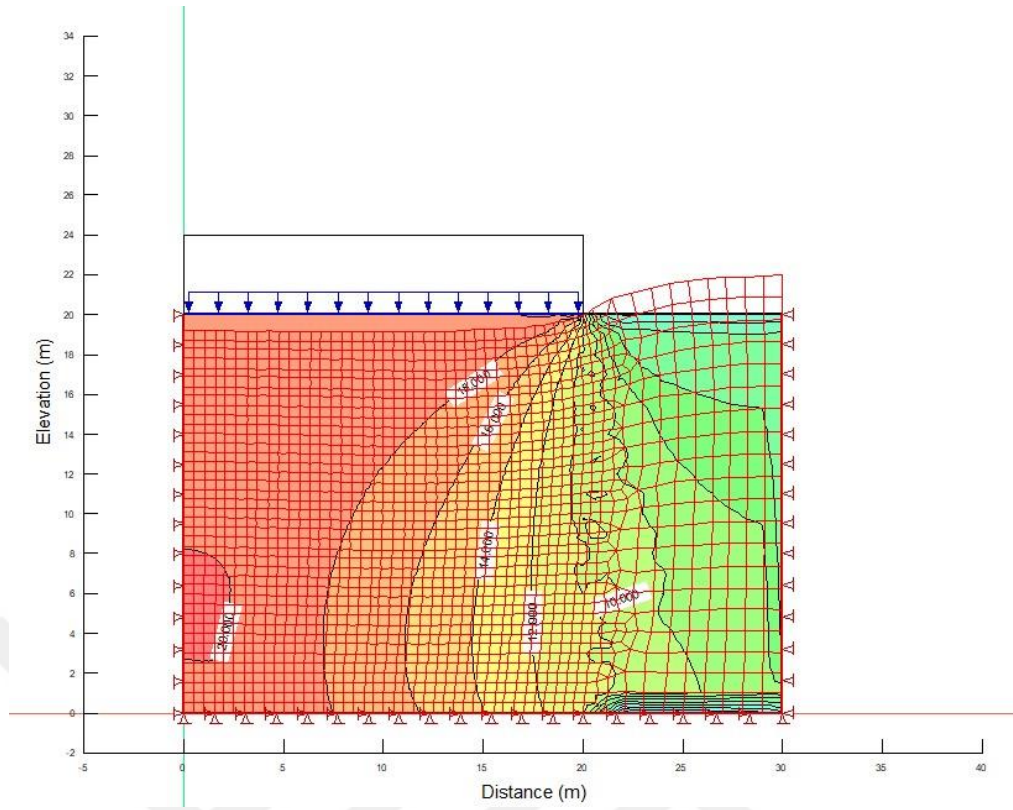
Radye temel alanının 20*20 metrekaire olması durumunda yapılan analizlerde, Şekil 4.20’de zeminin geometrik sınır değerleri belirleme, yanal yükler ve temel yüklerinin tanımlanması, Şekil 4.21’de analizler sonucu elde edilen temel yükü altındaki zemindeki bozulma hali ve temel yükü altındaki zeminin üzerine gelen yükü zemine nasıl dağıttığını görülmektedir. Şekil 4.22’de temel altındaki zeminde oluşan bozulmanın daha net görülebilmesi için renkli diyagramlar ile gösterimi verilmiştir. Temel altındaki bozulmalar temel yükünden uzaklaştıkça etkisini azaltmıştır. Bununla birlikte aktarılan yükte, ciddi düşüşler olduğu görülmüştür (Şekil 4.22). Bir noktadaki stres durumu Şekil 4.23’de Mohr dairesi diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 4.23’de mohr daire diyagramlarında 4.307, 4.472 ve 2.838 düğüm noktalarındaki toplam gerilme değerleri verilmiştir. Deformasyonların fazla olması sebebiyle yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir. Radye temel genişliği 20 metre olan bu analizde radye alanı arttığı için toplam yüke ek olarak artan radye yükü eklenmiştir. Fakat radye temel alanının artması hem oturma miktarına hem de oturma biçimine olumlu bir şekilde etki etmiştir (Şekil 4.24). Analiz alanımızın geometrik sınırlarının sınırlı tutulmasının etkisi, geometrik olarak oluşturulan grafik ve şekillerde de görülmektedir. Analiz alanımızın sınırlı tutulmasının kabarma miktarını temelin kenar uzunlukları arttıkça daha belirgin bir şekilde ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir.



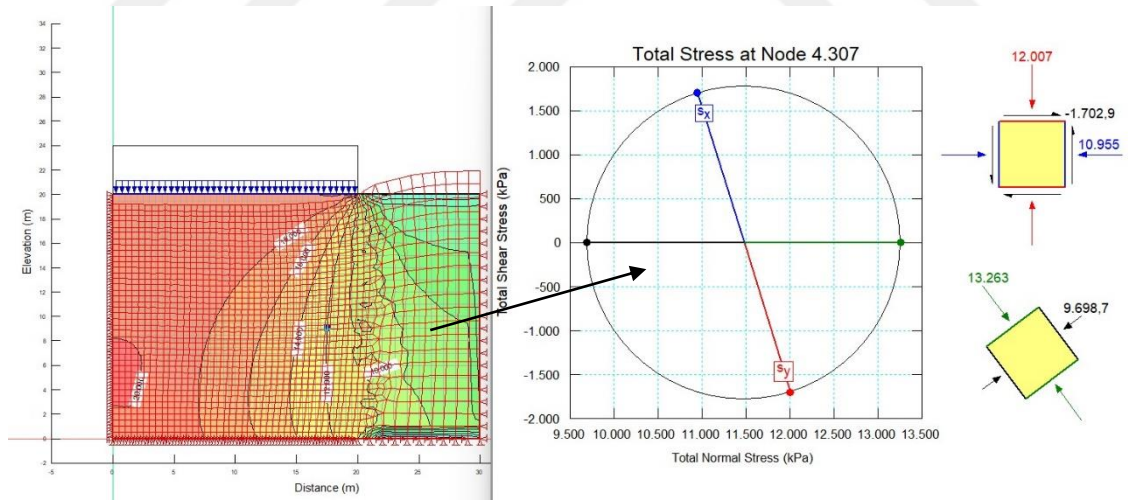
Şekil 4.20. Yapılan analiz sonucu elde edilen modelde temel yükü altında zemindeki bozulma hali

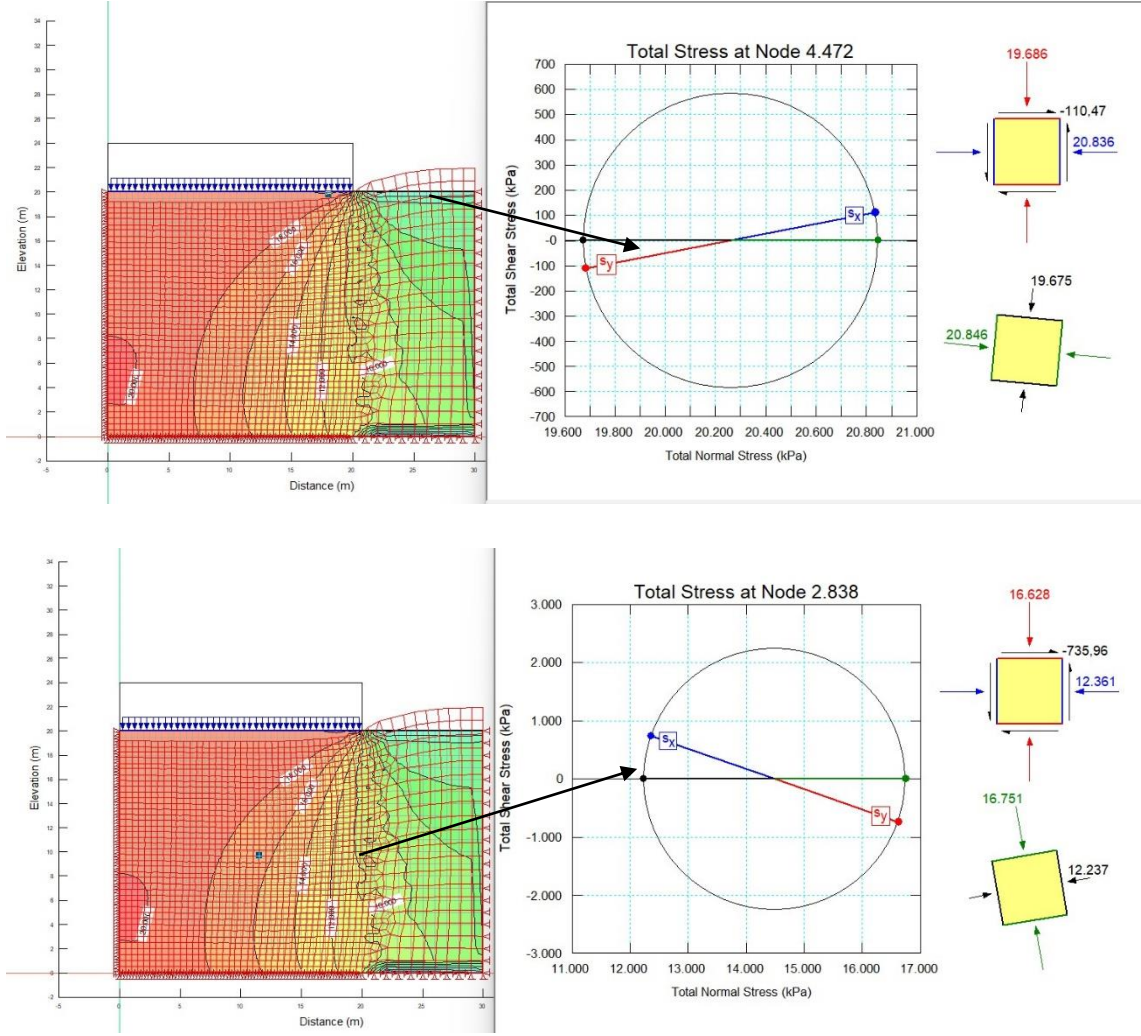


Şekil 4.21. Temel yükü altında olan zeminin üzerine gelen yükün zemine dağılımı

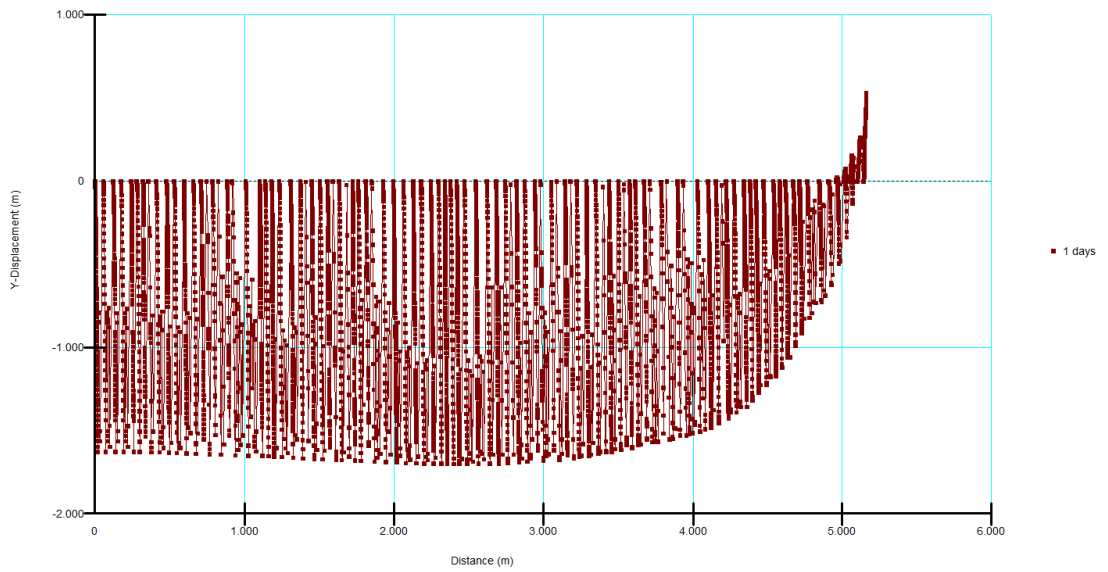


Şekil 4.22. Zeminde oluşan bozulmanın renkli diyagramlar gösterimi





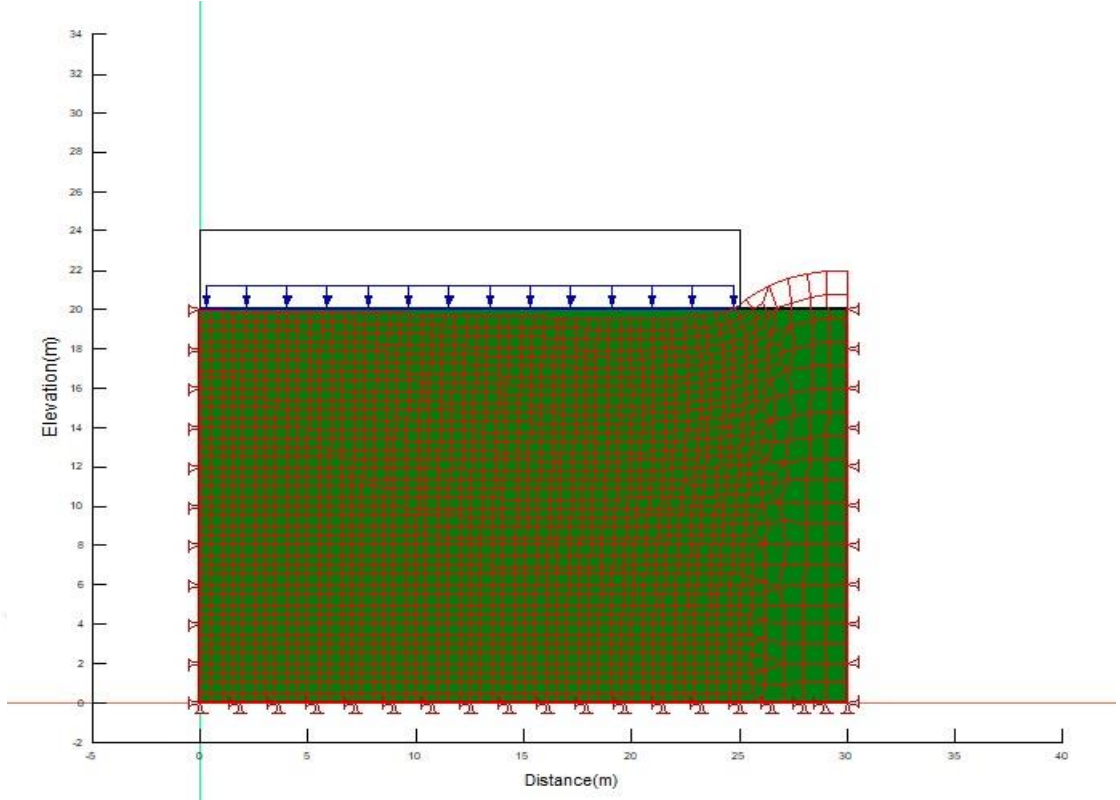
Şekil 4.23. Mohr daire diyagramlarında elemanların gerilme değerlerinin gösterimi



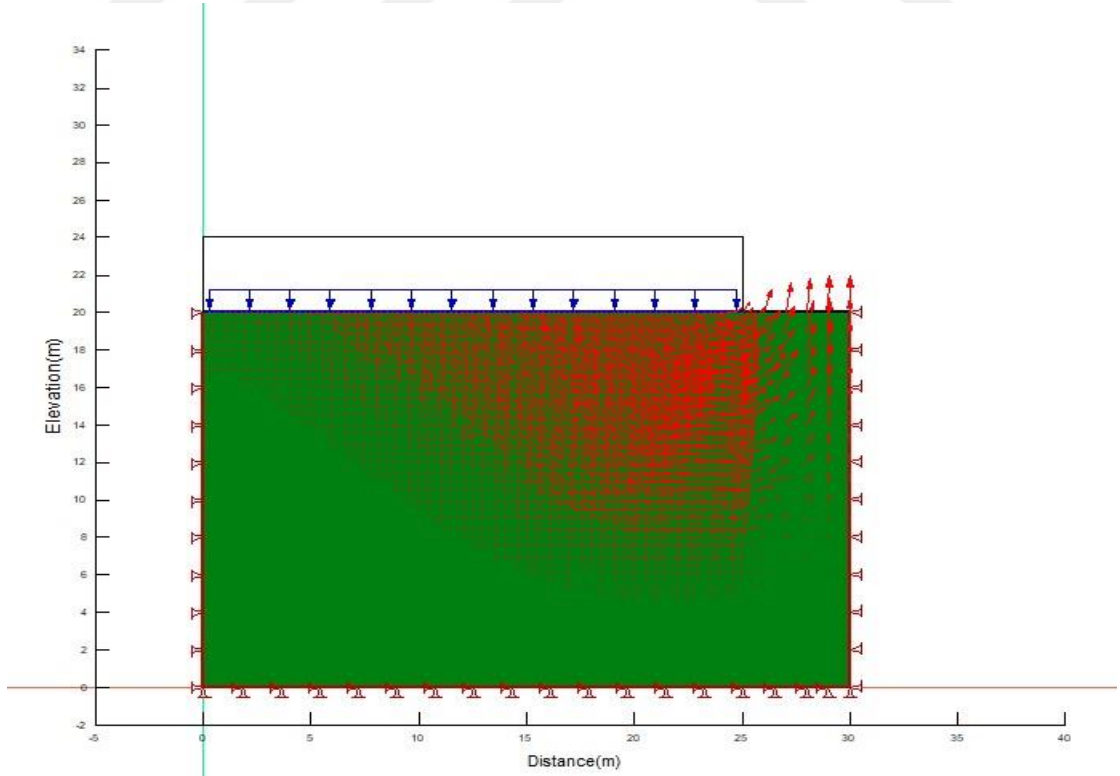
Şekil 4.24. Düşeyde oluşan yer değiştirme ve mesafe grafiğinden oluşan oturma miktarı

4.1.4.I. Radye temel 25*25 metrekare alan için yapılan analizler

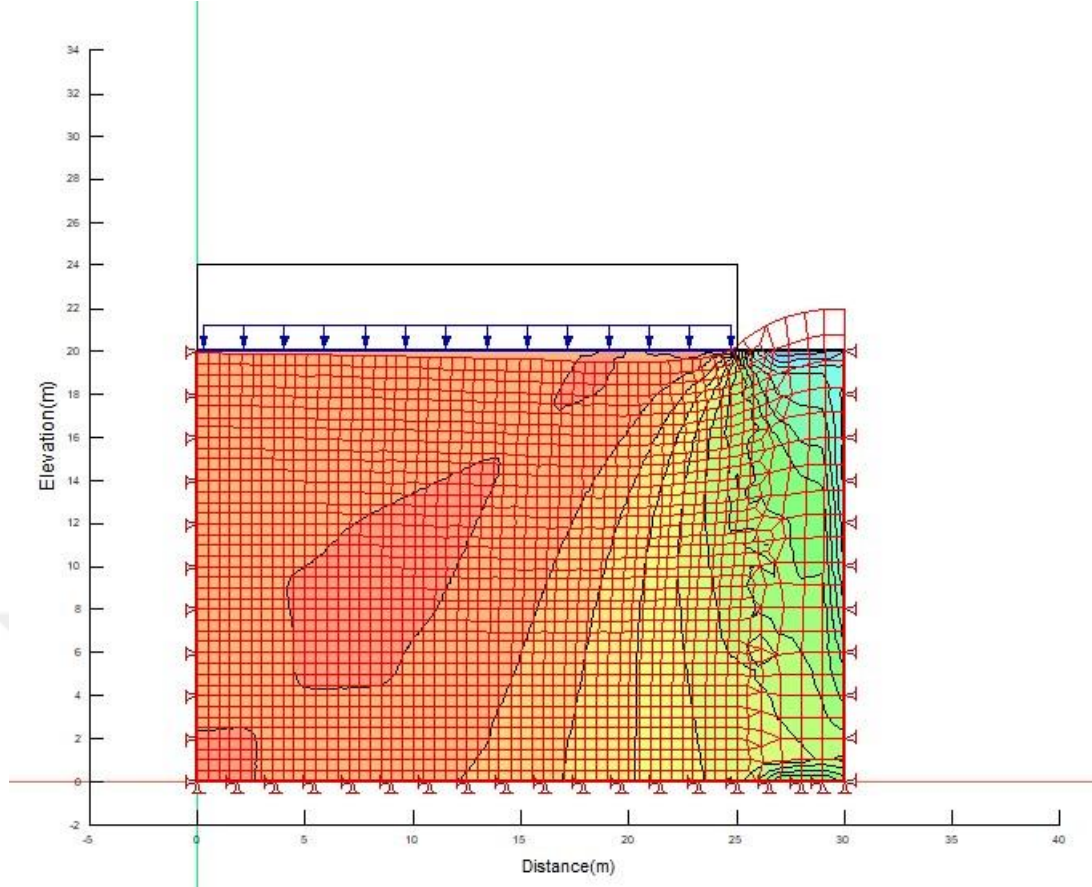
Radye temel alanının 25*25 metrekare olması durumunda yapılan analizlerde, Şekil 4.25’de zeminin geometrik sınır değerleri belirleme, yanal yükler ve temel yüklerinin tanımlanması, Şekil 4.26’da analizler sonucu elde edilen temel yükü altındaki zemindeki bozulma hali ve temel yükü altındaki zeminin üzerine gelen yükü zemine nasıl dağıttığını görülmektedir. Şekil 4.27’de temel altındaki zeminde oluşan bozulmanın daha net görülebilmesi için renkli diyagramlar ile gösterimi verilmiştir. Temel altındaki bozulmalar temel yükünden uzaklaştıkça etkisini azaltmıştır. Bununla birlikte aktarılan yükte, ciddi düşüşler olduğu görülmüştür (Şekil 4.27). Bir noktadaki stres durumu Şekil 4.28’de Mohr dairesi diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 4.28’de mohr daire diyagramlarında 4.756, 4.378 ve 5.470 düğüm noktalarındaki toplam gerilme değerleri verilmiştir. Bu analizde de yine, deformasyonların fazla olması sebebiyle yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.29’da düşeyde oluşan yer değiştirme ve mesafe grafiğinde oluşan oturma miktarı görülmektedir. Radye temel genişliği 25 metre için yapılan analiz incelendiğinde, geometrik sınırlarımızın sabit kalması ve sınırlı olması sebebiyle temel altında olmayan zeminde yukarıdaki diğer analizlere oranla kabarma miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Yerdeğiştirme ve mesafe grafiği incelendiğinde, yukarıdaki diğer analizlerde de bahsettiğimiz üzere radye temel alanının artması ve kendisiyle beraber getirdiği yük miktarı göze alındığında temel genişliği yük artışına rağmen olumlu bir etki bırakmaktadır. Ancak kabarma miktarı gözle görülür bir şekilde daha fazladır. Bunun sebebi analiz yapmak için geometrik sınırlarımızın olmasıdır. Analiz sonucunda elde edilen modellerde, açık bir şekilde oluşan kabarmanın temel kenar uzunluğunun artmasıyla daha fazla arttığı görülmektedir.



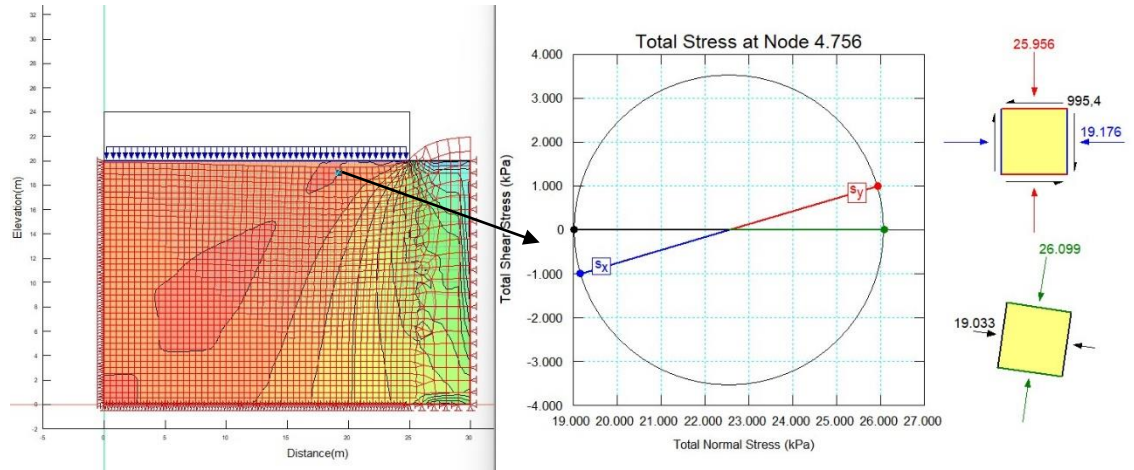
Şekil 4.25. Yapılan analiz sonucu elde edilen modelde temel yükü altında zemindeki bozulma hali

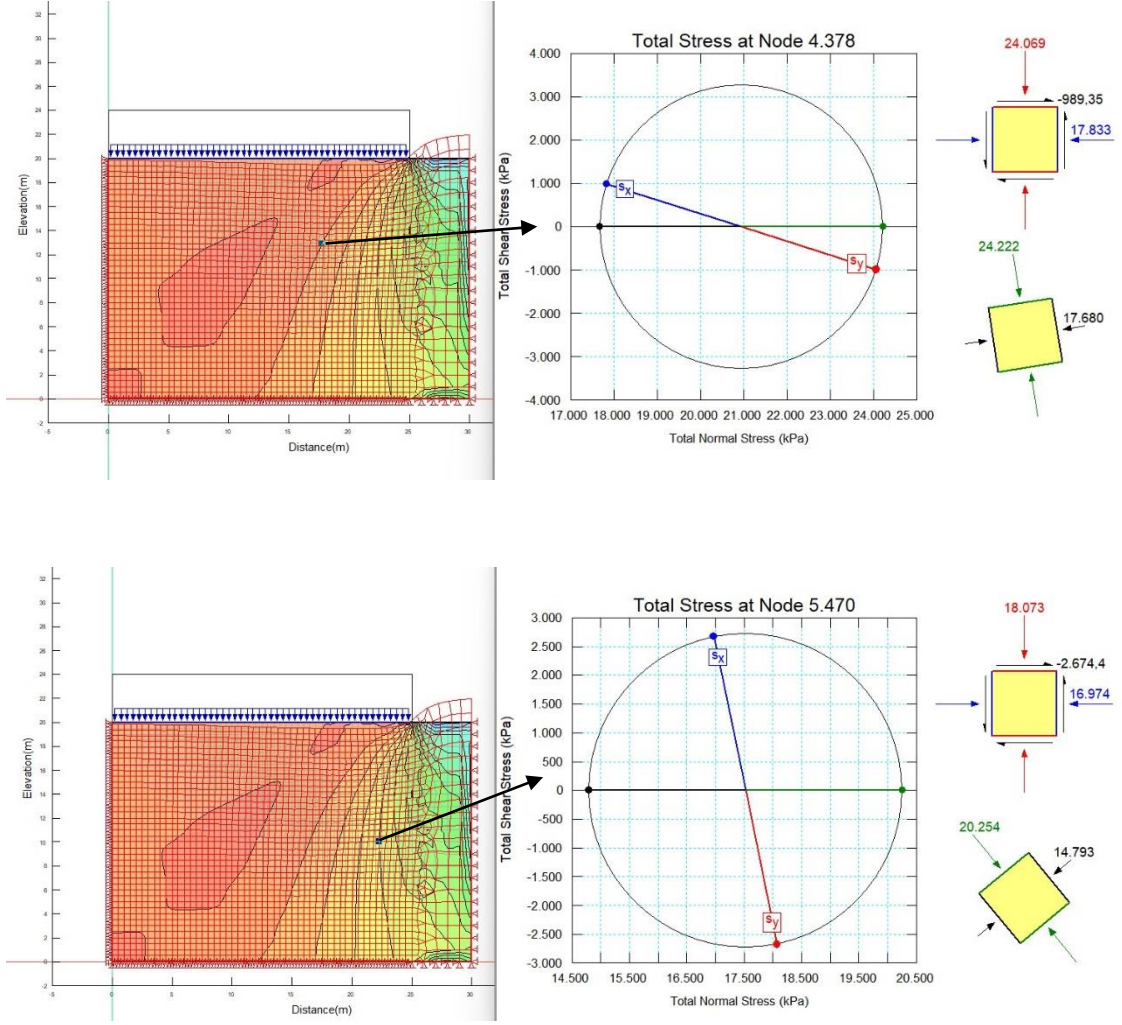


Şekil 26. Temel yükü altında olan zeminin üzerine gelen yükün zemine dağılımı

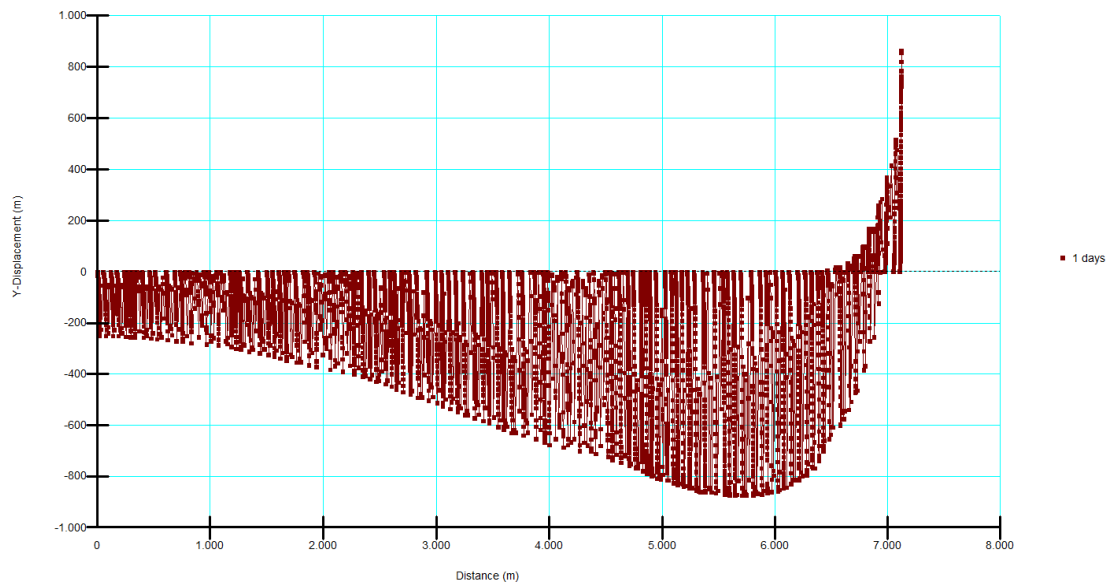


Şekil 4.27. Zeminde oluşan bozulmanın renkli diyagramlar gösterimi





Şekil 4.28. Mohr daire diyagramlarında elemanların gerilme değerlerinin gösterimi



Şekil 4.29. Düşeyde oluşan yer değiştirme ve mesafe grafiğinde oluşan oturma miktarı

4.2.II. Radye Temel Modeli İçin Yapılan Analizler

II. radye temel modeli için yapılan analizde, z+5 katlı betonarme bir binanın (Şekil 4.30) temele aktardığı yük 2 t/m^2 olarak hesaplanmış olup veriler sahada yapılan sondaj çalışması ve laboratuvar deneyleri ile geoteknik raporlardan elde edilmiştir. Zeminde, çakıllı kum malzeme hâkim olmakla birlikte, yeraltı su seviyesine 9 metrede rastlanılmıştır.



Şekil 4.30. II. radye temel modeli

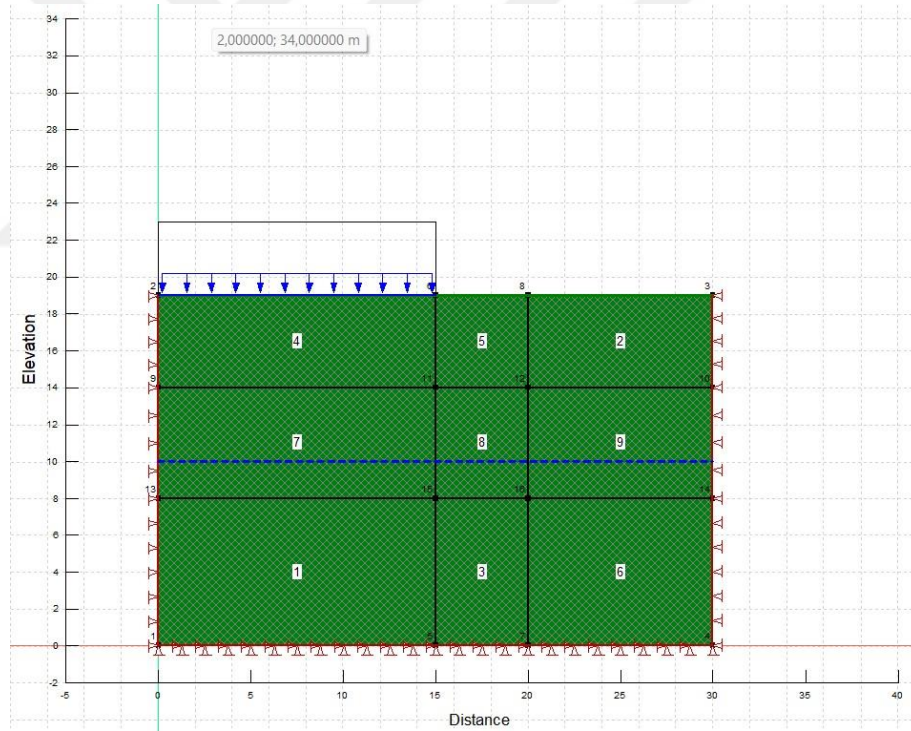
4.2.1. II. Radye temel 10*10 metrekare alan için yapılan analizler

II. radye temel modeli için yapılan analizde, Şekil 4.31’de temel altındaki zemin sınırları yanal yükler ve temel yükü verilerinden oluşturulan model, Şekil 4.32’de temel sınırlarının bulunduğu zemin tabakasının ızgara aralıkları sıklaştırılarak elde edilen analiz modeli, Şekil 4.33’de yapılan analiz sonucu elde edilen modelde temel yükü altında zemindeki bozulma hali, Şekil 4.34’de, temel yükü altında olan zeminin üzerine gelen yükün zemine dağılımı ve Şekil 4.35’de zeminde oluşan bozulmanın renkli diyagramlar ile analiz edilmiş model gösterimi görülmektedir. Bir noktadaki stres durumu Şekil 4.36’da Mohr dairesi diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 4.36’da mohr daire diyagramlarında 2.899, 2.420 ve 1.758 düğüm noktalarındaki toplam gerilme değerleri

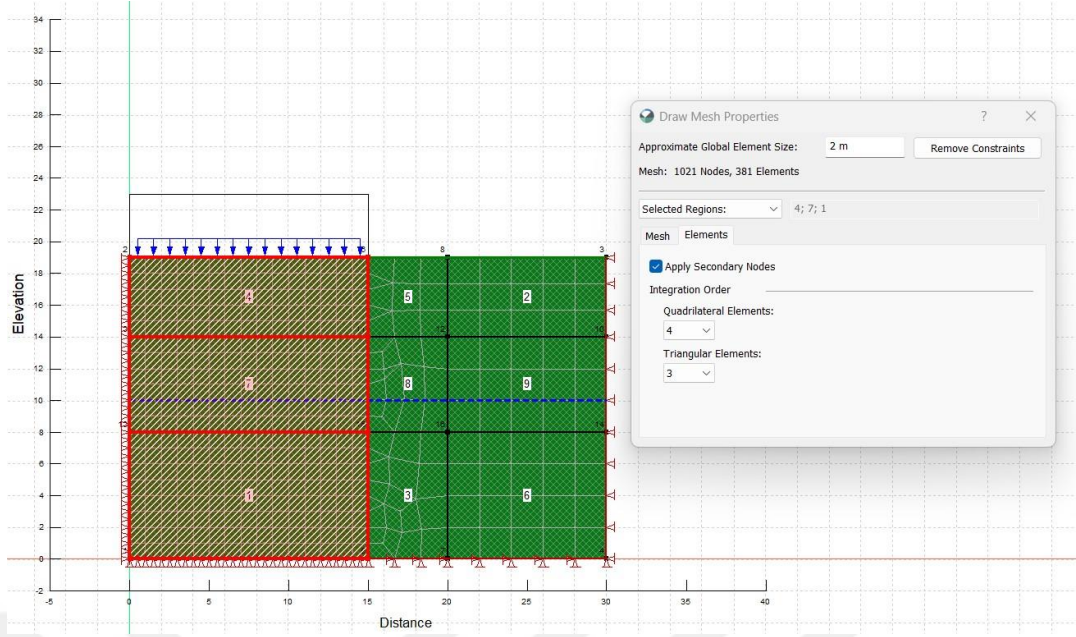
verilmiştir. Çizelge 4.2’de malzeme tanımında kullanılan parametrelere ait değerler verilmiştir. Radye temel alanı 10*10 metrekare olan bu analizde yerdeğiştirme ve mesafe grafiği bize zemindeki oturma hakkında bilgi vermektedir (Şekil 4.37).

Çizelge 4.2. II. radye temel modeli analiz edilecek malzeme parametreleri

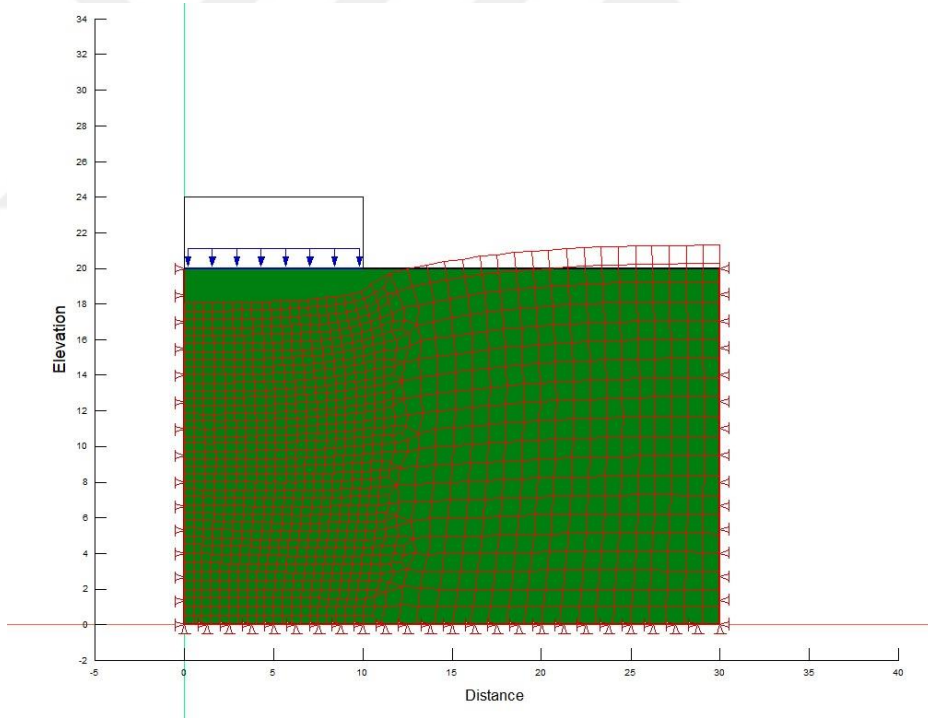
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Kohezyon (kPa)	İçsel sürtünme açısı (°)	Elastisite modülü (kPa)	Poisson Oranı
17.5	7.73	23.7	2356	0.30
17.3	7.23	26.71	7660	0.37
17.2	7.73	22.10	1969	0.33
17.6	7.53	28.7	6458	0.39



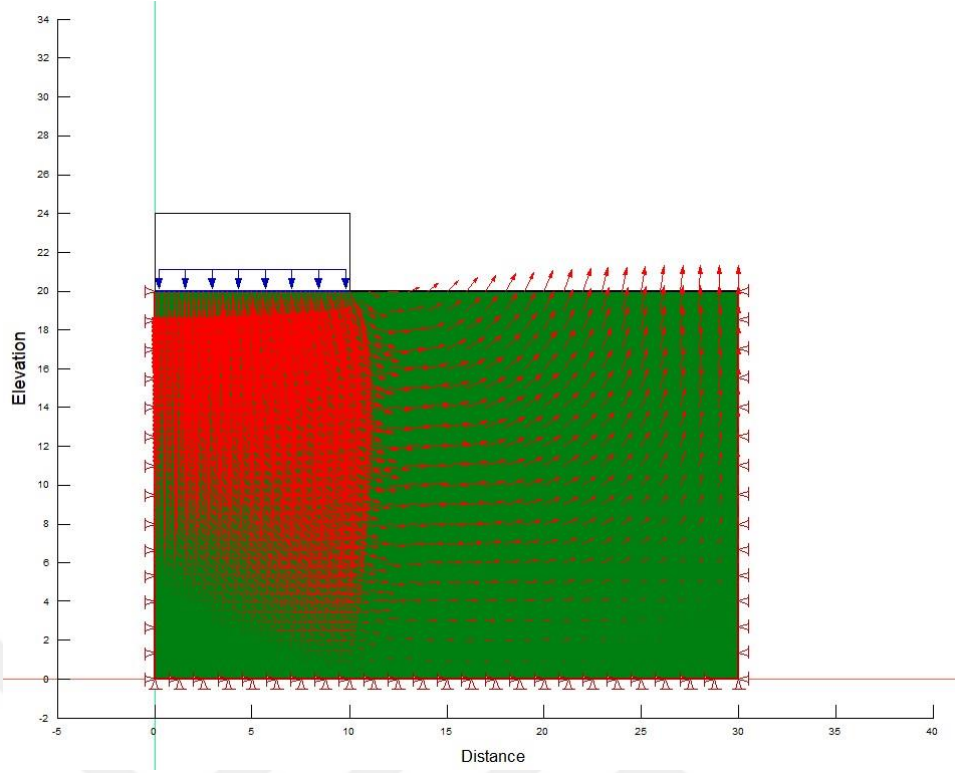
Şekil 4.31. Temel altındaki zemin sınırları yanal yükler ve temel yükü verilerinden oluşturulan model



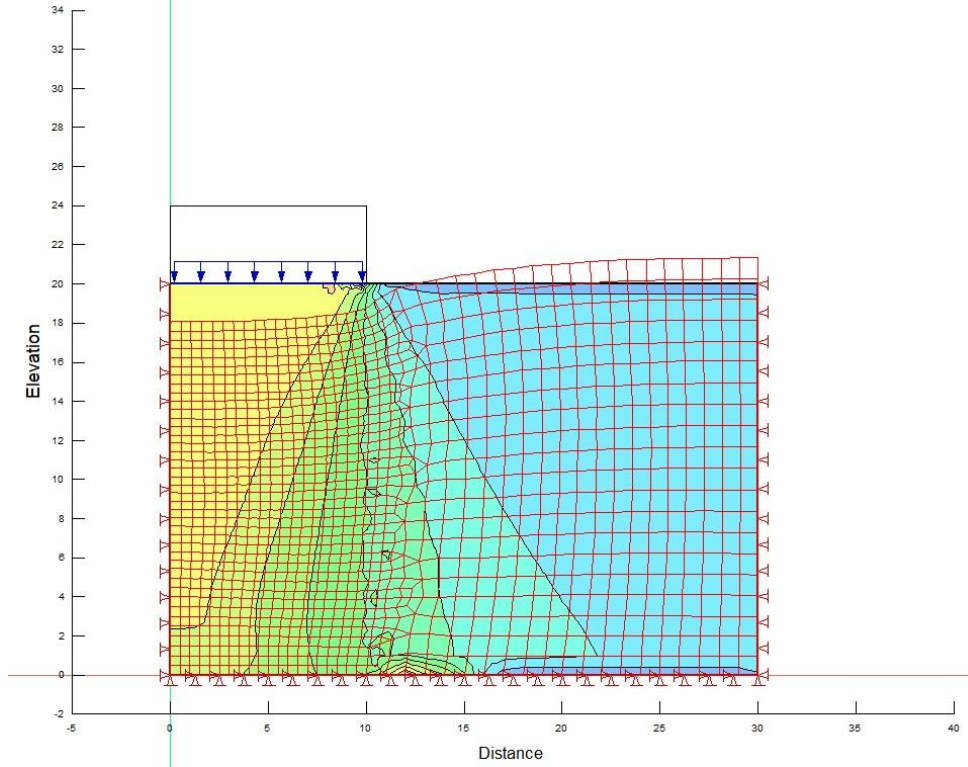
Şekil 4.32. Temel sınırlarının bulunduğu zemin tabakasının ızgara aralıkları sıklaştırılarak elde edilen analiz modeli



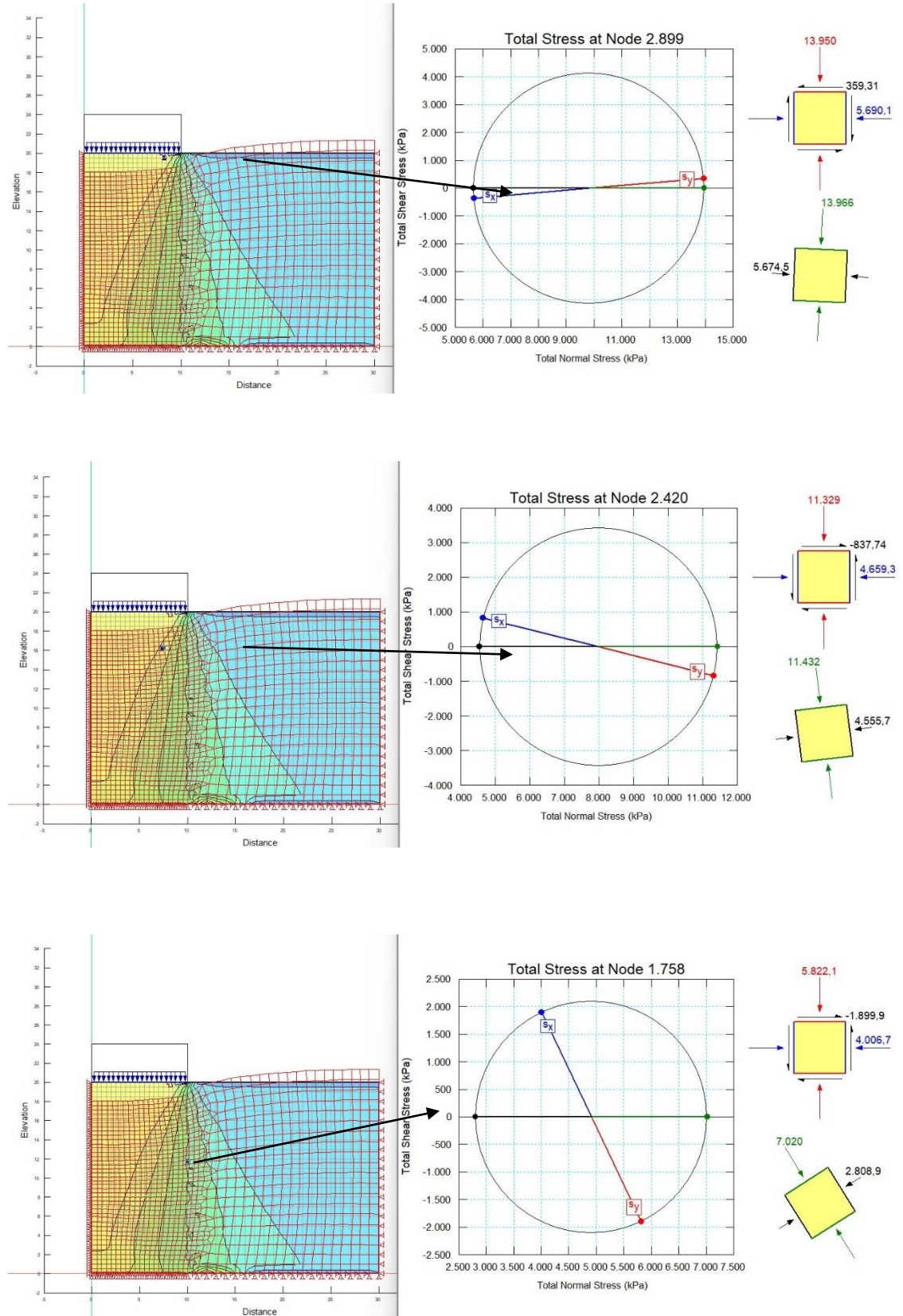
Şekil 4.33.Yapılan analiz sonucu elde edilen modelde temel yükü altında zemindeki bozulma hali



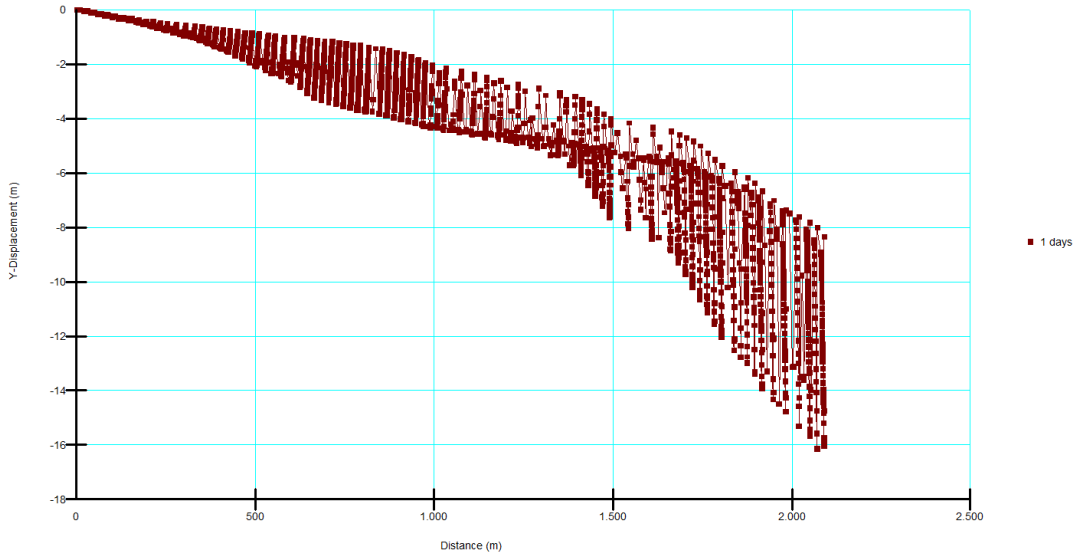
Şekil 4.34. Temel yükü altında olan zeminin üzerine gelen yükün zemine dağılımı



Şekil 4.35. Zeminde oluşan bozulmanın renkli diyagramlar gösterimi



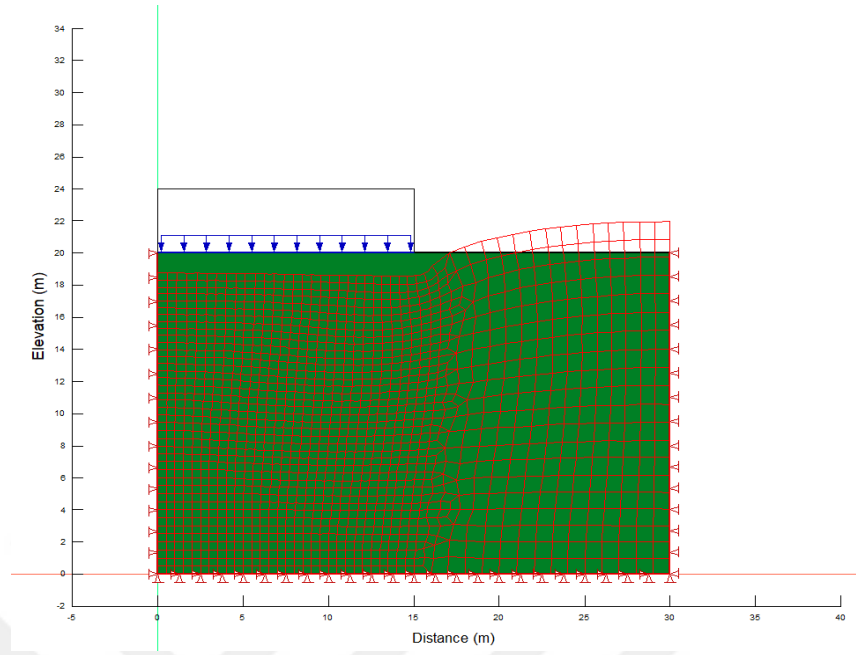
Şekil 4.36. Mohr daire diyagramlarında elemanların gerilme değerlerinin gösterimi



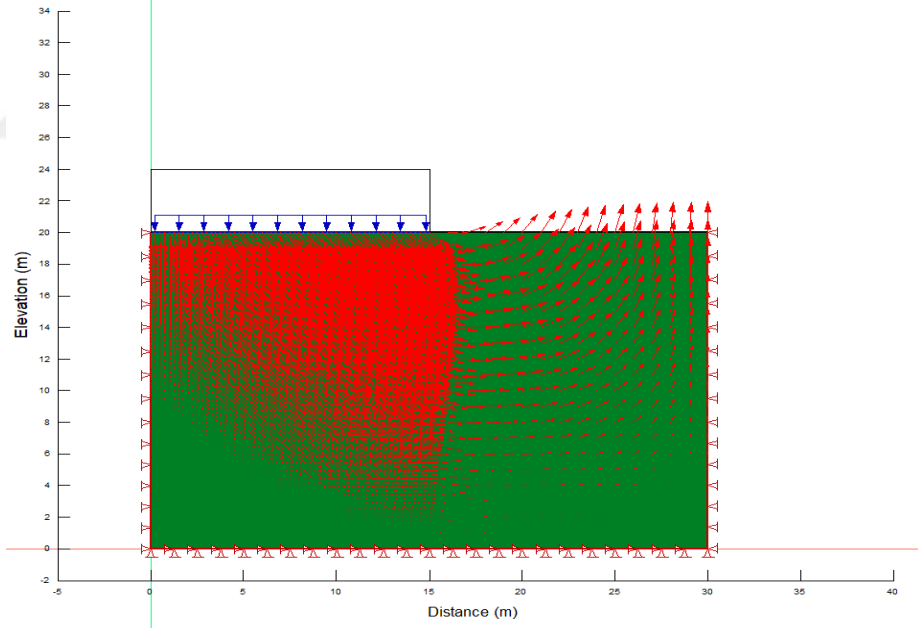
Şekil 4.37. Düşeyde oluşan yer değiştirme ve mesafe grafiğinden oluşan oturma miktarı

4.2.2. II.Radye temel 15*15 metrekare alan için yapılan analizler

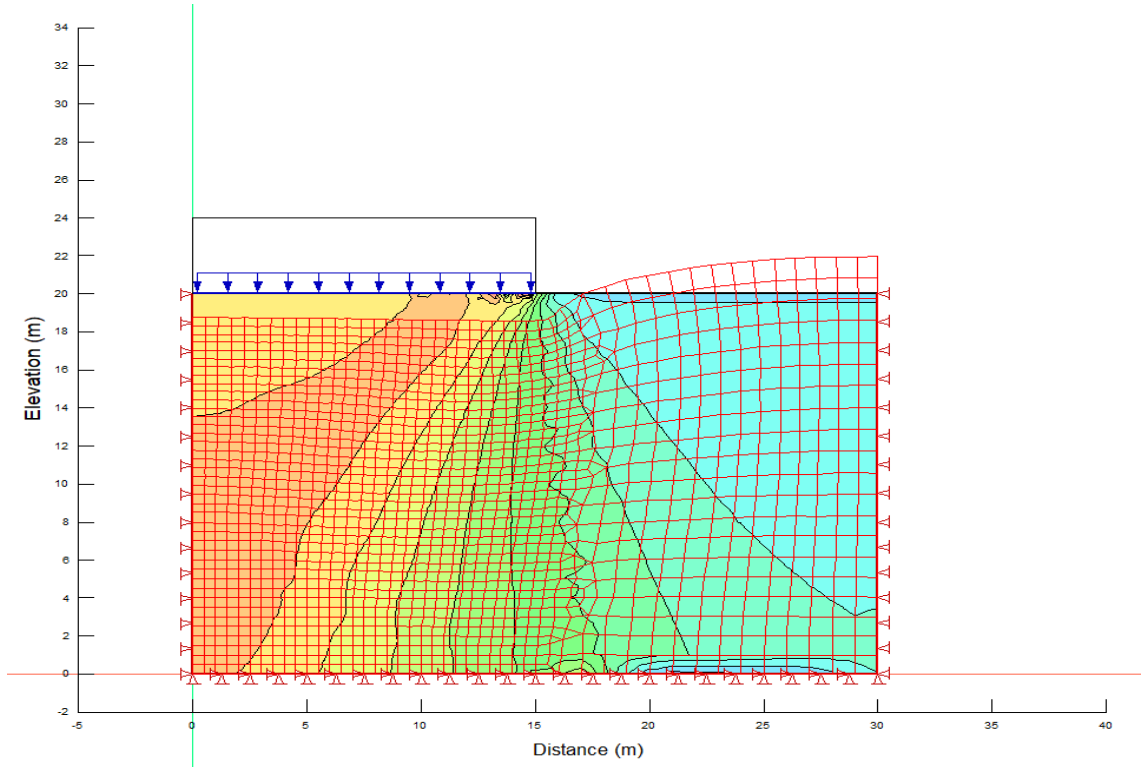
Radye temel alanının 15*15 metrekare olması durumunda yapılan analizlerde, Şekil 4.38'de zeminin geometrik sınır değerleri belirleme, yanal yükler ve temel yüklerinin tanımlanması, Şekil 4.39'da analizler sonucu elde edilen temel yükü altındaki zemindeki bozulma hali ve temel yükü altındaki zeminin üzerine gelen yükü zemine nasıl dağıttığı görülmektedir. Şekil 4.40'de temel altındaki zeminde oluşan bozulmanın daha net görülebilmesi için renkli diyagramlar ile gösterimi verilmiştir. Temel altındaki bozulmalar temel yükünden uzaklaştıkça etkisini azaltmıştır. Bununla birlikte aktarılan yükte, ciddi düşüşler olduğu görülmüştür (Şekil 4.40). Bir noktadaki stres durumu Şekil 4.41'de Mohr dairesi diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 4.41'de mohr daire diyagramlarında 3.986, 3.930 ve 2.882 düğüm noktalarındaki toplam gerilme değerleri verilmiştir. Deformasyonların fazla olması sebebiyle yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir. Radye temel genişliği 15 metre olan bu analizde üstteki yapı aynen olduğu şekilde korunmuş olup radye temelde ampatman bırakılarak temel alanı büyütülmüştür. Temel alanının büyümesi yapının tamamı göz önüne alındığında zemine aktarmış olduğu yük bir miktar artmıştır. Fakat elde edilen modellerde ve yerdeğiştirme- mesafe grafiğinde (Şekil 4.42) görüldüğü üzere, radye temel genişliğinin artması gelen yükü daha geniş bir alana aktardığı için daha dengeli bir oturma gözlenmiştir. Zeminde oluşan bozulmalar temelin oturduğu alanın sınırlarını olduğu gibi aşağı katmanlara aktarmaktadır. Bununla birlikte, yüzeyde oluşan kabarma miktarında sınırlı olan analiz alanı sebebiyle gözle görülür bir artış görülmektedir.



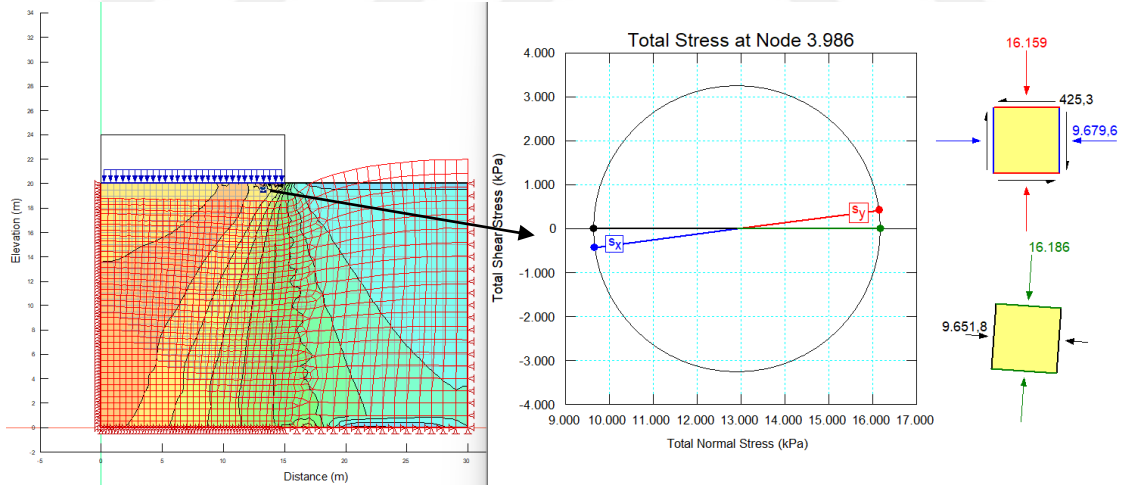
Şekil 4.38. Yapılan analiz sonucu elde edilen modelde temel yükü altında zemindeki bozulma hali

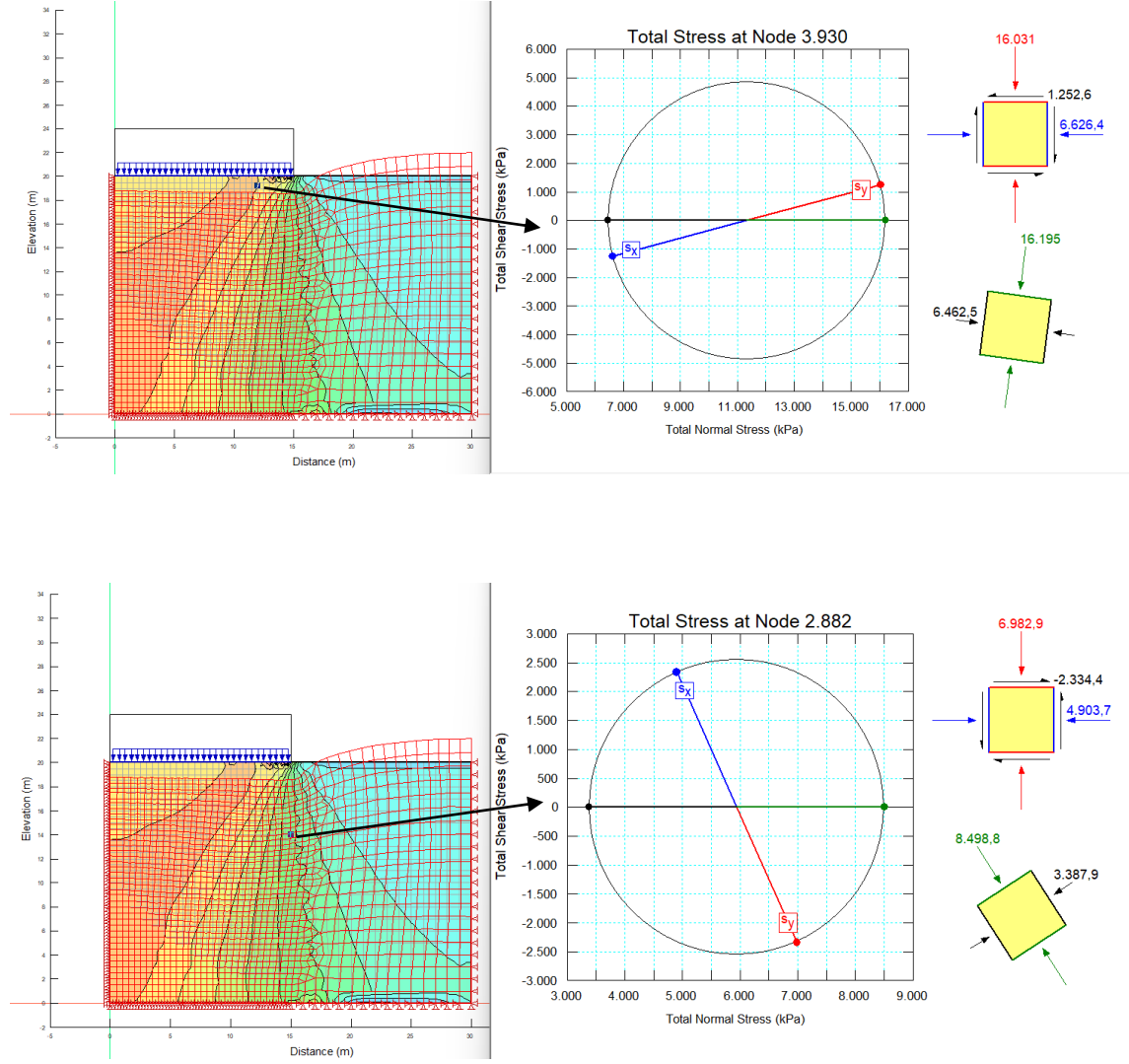


Şekil 4.39. Temel yükü altında olan zeminin üzerine gelen yükün zemine dağılımı

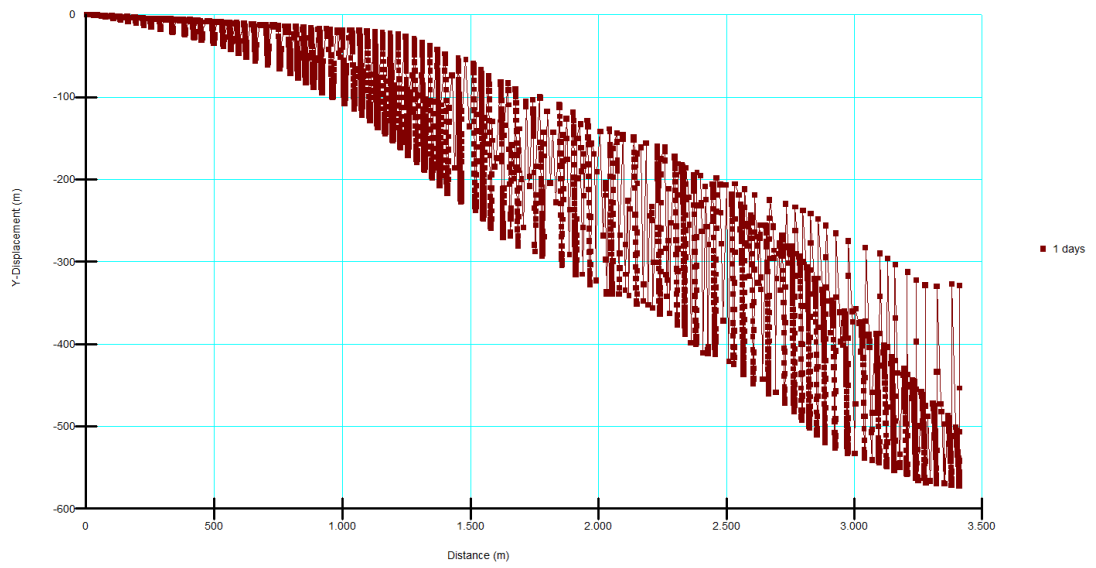


Şekil 4.40. Zeminde oluşan bozulmanın renkli diyagramlar gösterimi





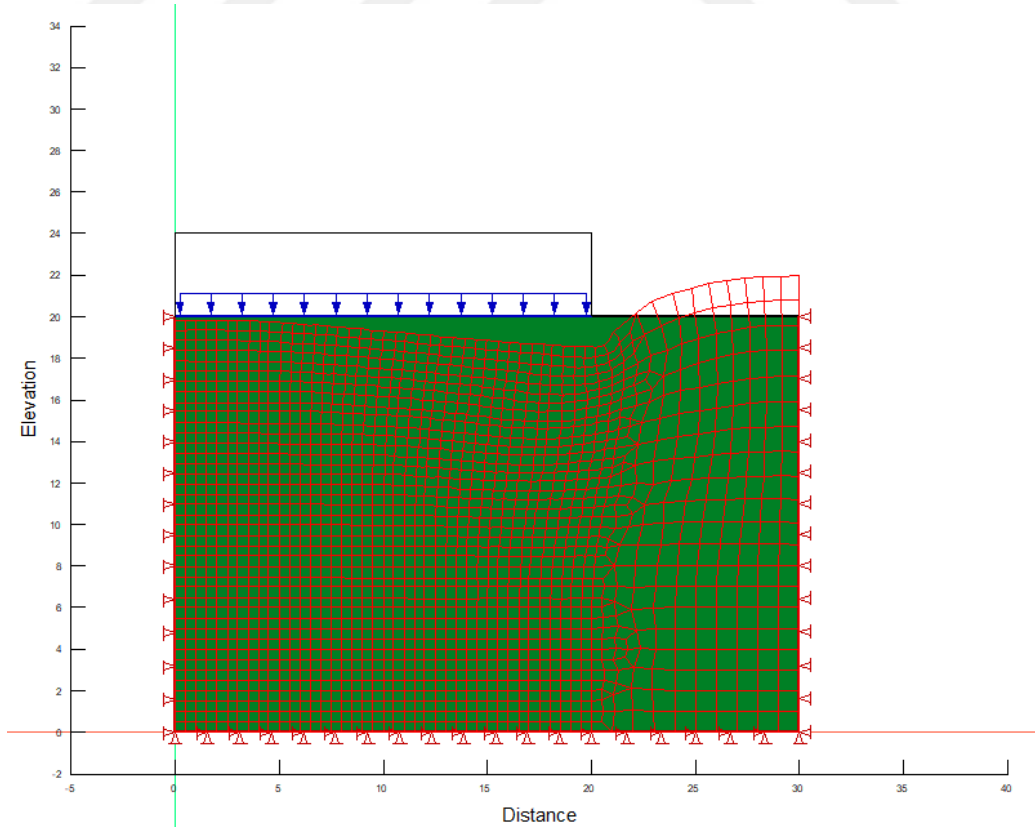
Şekil 4.41. Mohr daire diyagramlarında elemanların gerilme değerlerinin gösterimi



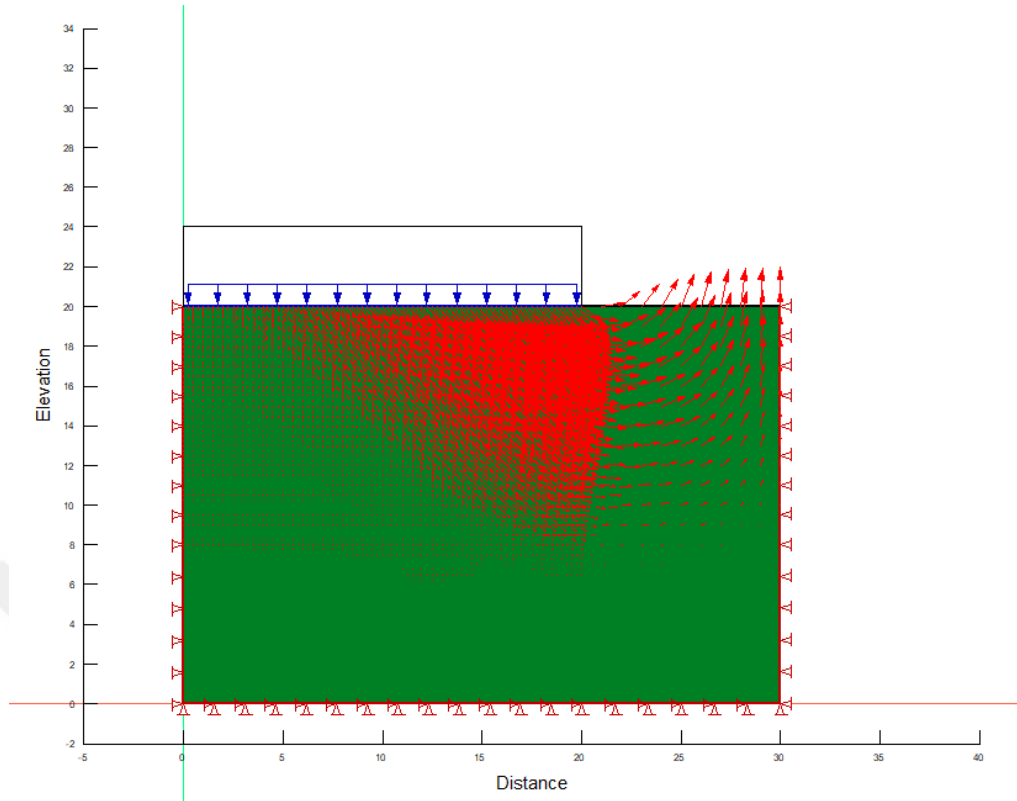
Şekil 4.42. Düşeyde oluşan yer değiştirme ve mesafe grafiğinden oluşan oturma miktarı

4.2.3. II. Radye temel 20*20 metrekare alan için yapılan analizler

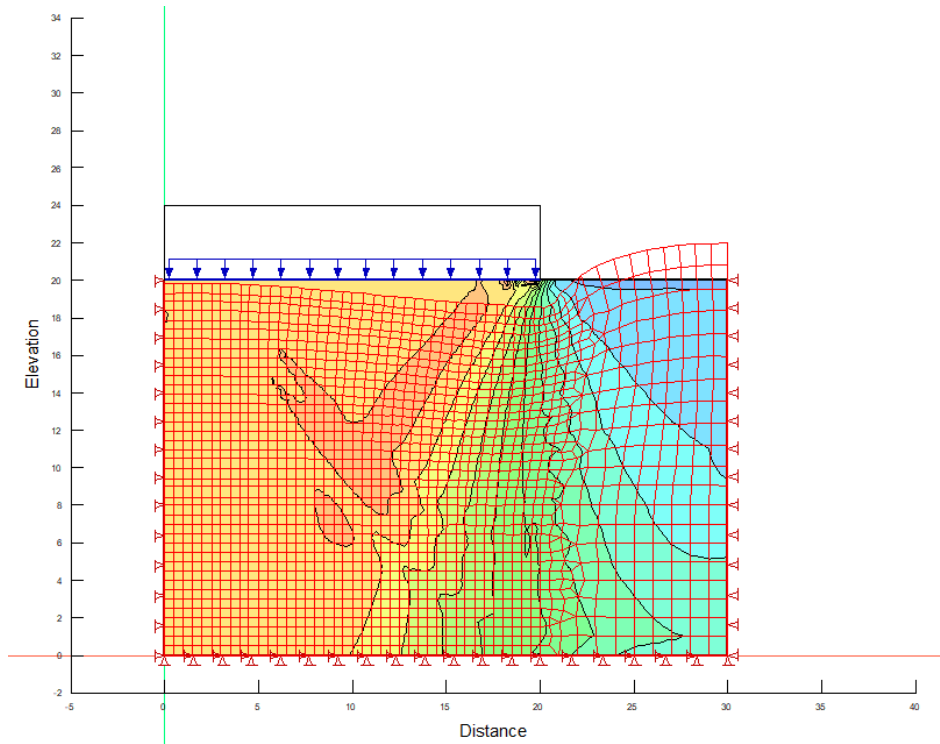
Radye temel genişliğinin 20 metre olması durumunda yapılan analizlerde, Şekil 4.43'te zeminin geometrik sınır değerleri belirleme, yanal yükler ve temel yüklerinin tanımlanması, Şekil 4.44'de analizler sonucu elde edilen temel yükü altındaki zemindeki bozulma hali ve temel yükü altındaki zeminin üzerine gelen yükü zemine nasıl dağıttığını görülmektedir. Şekil 4.45'te temel altındaki zeminde oluşan bozulmanın daha net görülebilmesi için renkli diyagramlar ile gösterimi verilmiştir. Bir noktadaki stres durumu Şekil 4.46'da Mohr dairesi diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 4.46'da mohr daire diyagramlarında 4.470, 3.644 ve 4.322 düğüm noktalarındaki toplam gerilme değerleri verilmiştir. Deformasyonların fazla olması sebebiyle yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir. Radye temel genişliği 20 metre olan bu analizde radye alanı arttığı için total yüke ek olarak artan radye yükü eklenmiştir. Fakat radye temel alanının artması hem oturma miktarına hem de oturma biçimine (Şekil 4.47) olumlu bir şekilde etki etmiştir. Analiz alanımızın geometrik sınırlarının sınırlı tutulması oluşturulan grafik ve şekillerde etkisini göstermiştir.



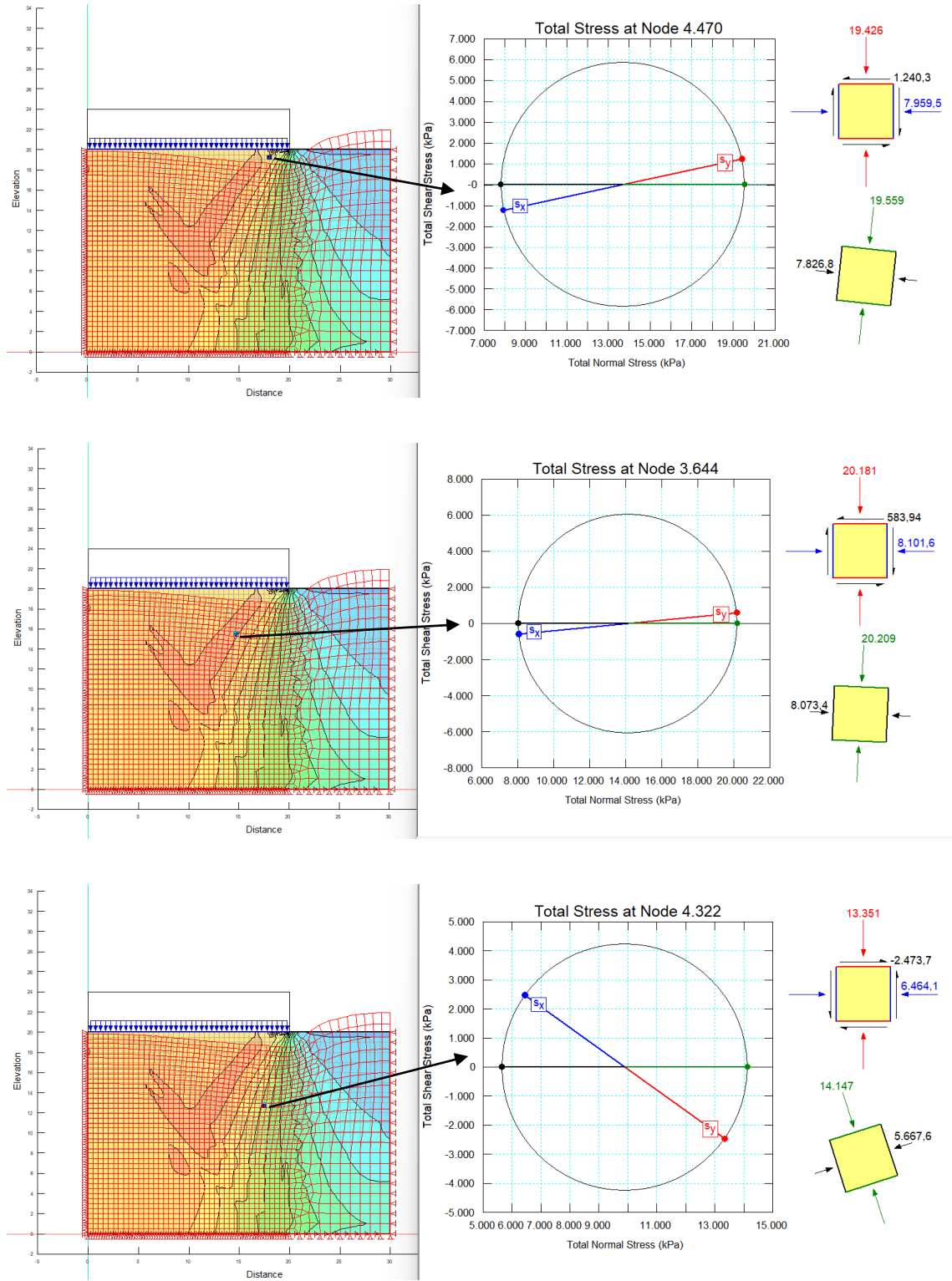
Şekil 4.43. Yapılan analiz sonucu elde edilen modelde temel yükü altında zemindeki bozulma hali



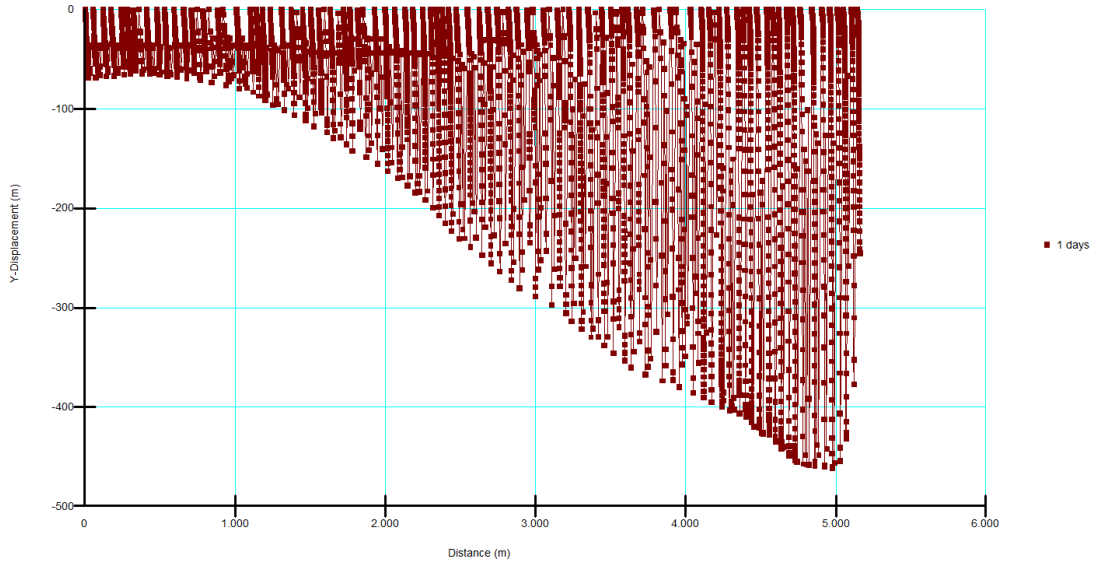
Şekil 4.44. Temel yükü altında olan zeminin üzerine gelen yükün zemine dağılımı



Şekil 4.45. Zeminde oluşan bozulmanın renkli diyagramlar gösterimi



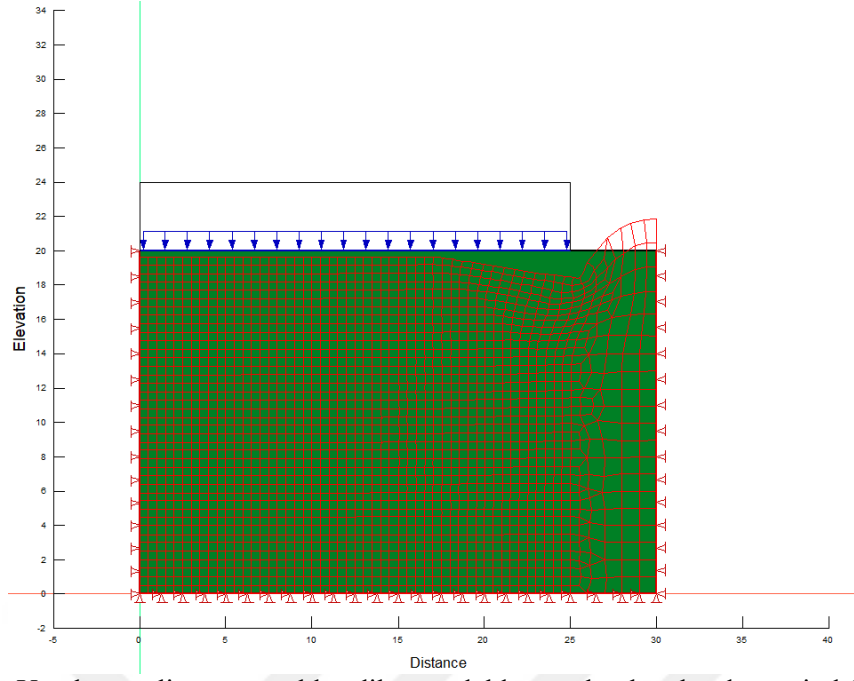
Şekil 4.46. Mohr daire diyagramlarında elemanların gerilme değerlerinin gösterimi



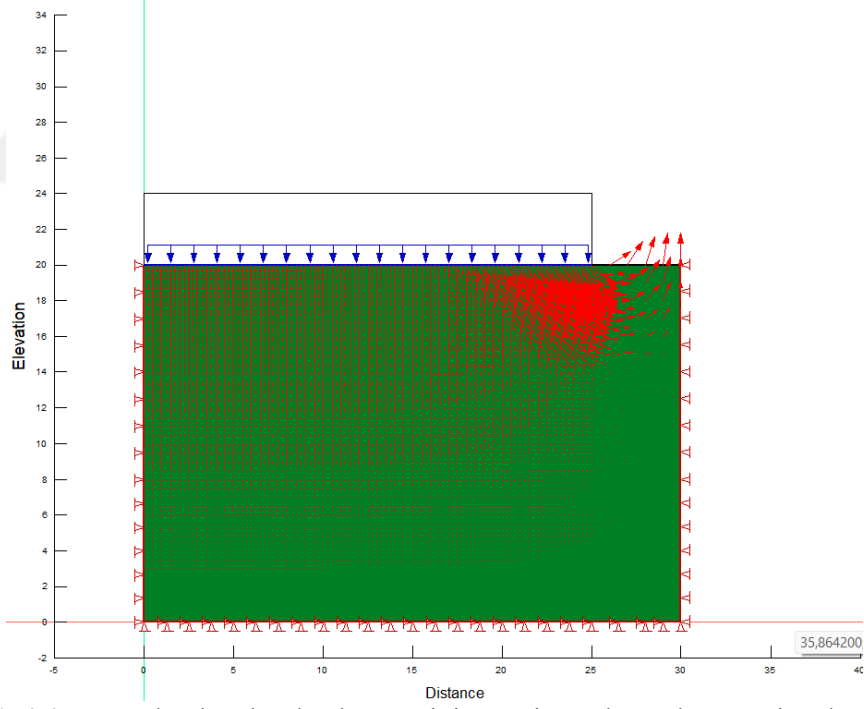
Şekil 4.47. Düşeyde oluşan yer değiştirme ve mesafe grafiğinden oluşan oturma miktarı

4.2.4. II. Radye temel 25*25 metrekare alan için yapılan analizler

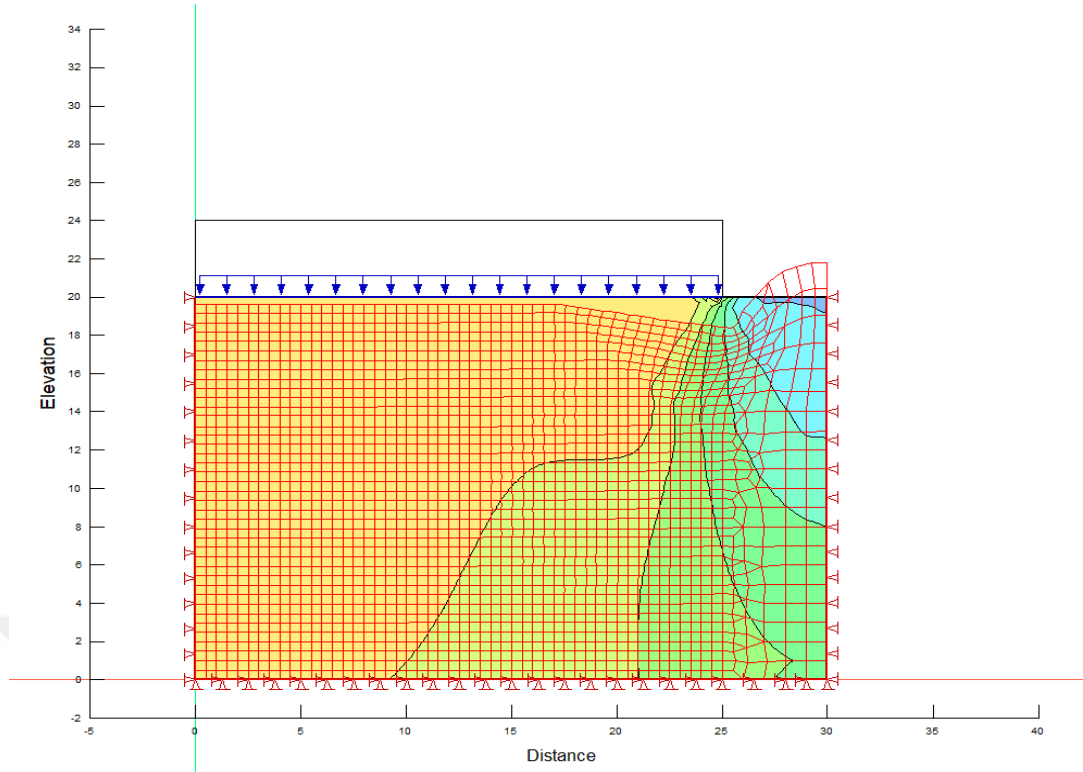
Radye temel genişliğinin 25 metre olması durumunda yapılan analizlerde, Şekil 4.48’de zeminin geometrik sınır değerleri belirleme, yanal yükler ve temel yüklerinin tanımlanması, Şekil 4.49’da analizler sonucu elde edilen temel yükü altındaki zemindeki bozulma hali ve temel yükü altındaki zeminin üzerine gelen yükü zemine nasıl dağıttığını görülmektedir. Şekil 4.50’de temel altındaki zeminde oluşan bozulmanın daha net görülebilmesi için renkli diyagramlar ile gösterimi verilmiştir. Bir noktadaki stres durumu Şekil 4.51’de Mohr dairesi diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 4.51’de mohr daire diyagramlarında 5.801, 5.794 ve 6.025 düğüm noktalarındaki toplam gerilme değerleri verilmiştir. 25 metrelik radye temel genişliği için yapılan analiz incelendiğinde geometrik sınırlarımızın sabit kalması ve sınırlı olması sebebiyle temel altında olmayan zeminde yukarıdaki diğer analizlere oranla kabarma miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Yerdeğiştirme ve mesafe grafiği incelendiğinde (Şekil 4.52) yukarıdaki diğer analizlerde bahsettiğimiz radye temel alanının artması ve kendisiyle beraber getirdiği yük miktarı göz önüne alındığında temel genişliği yük arttırmasına rağmen olumlu bir etki bırakmaktadır.



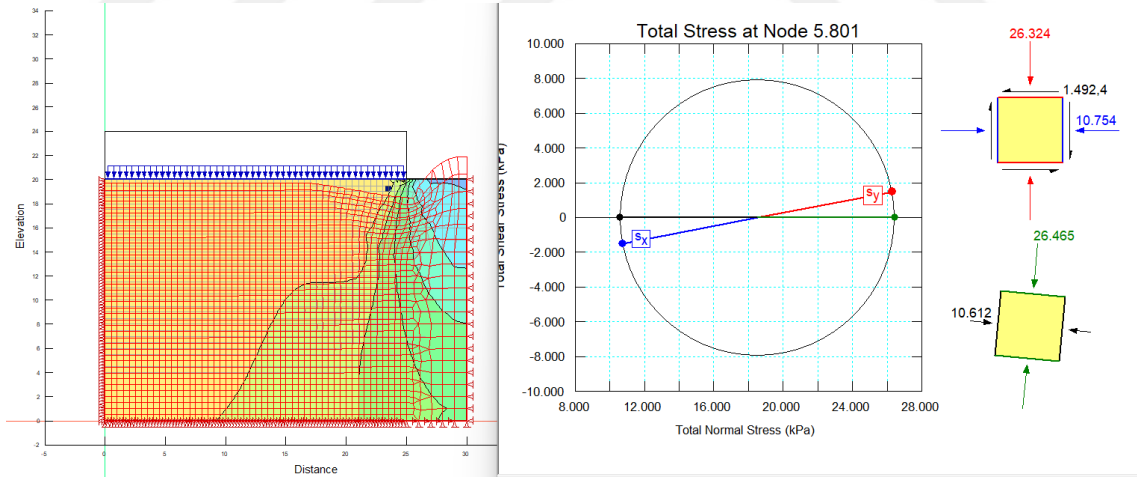
Şekil 4.48. Yapılan analiz sonucu elde edilen modelde temel yükü altında zemindeki bozulma hali

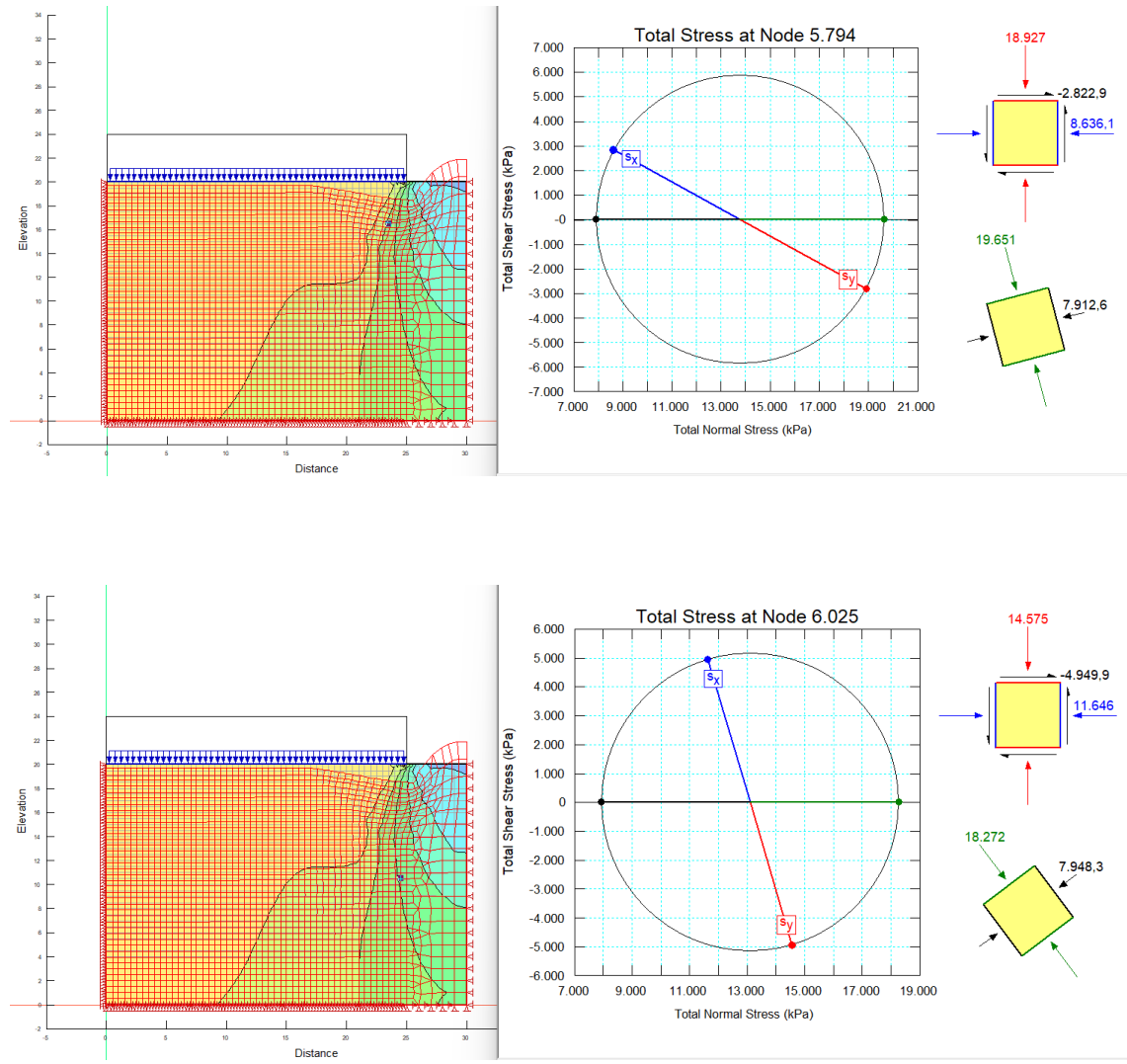


Şekil 4.49. Temel yükü altında olan zeminin üzerine gelen yükün zemine dağılımı

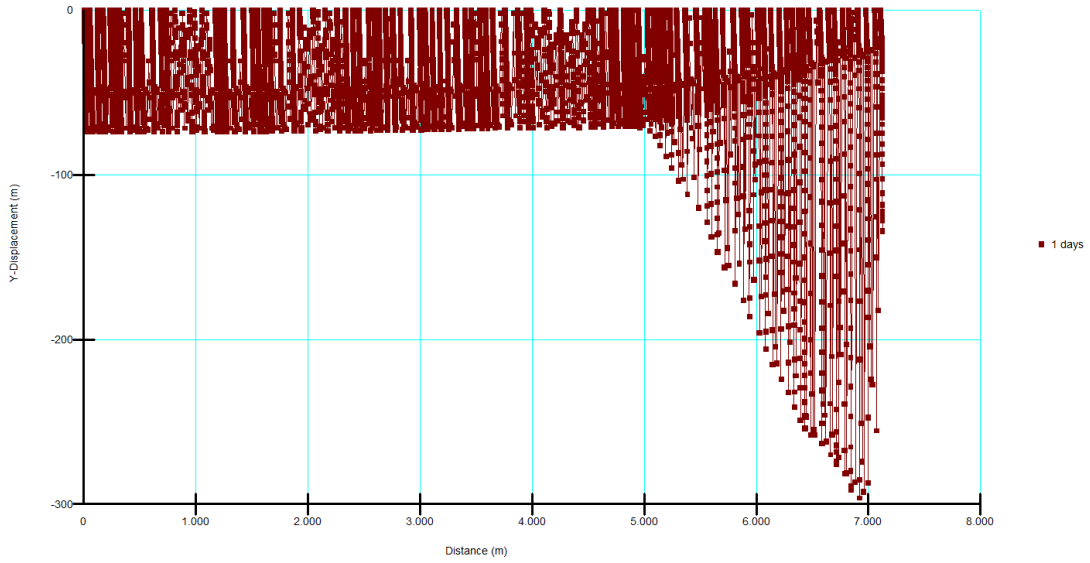


Şekil 4.50. Zeminde oluşan bozulmanın renkli diyagramlar gösterimi





Şekil 4.51. Mohr daire diyagramlarında elemanların gerilme değerlerinin gösterimi



Şekil 4.52. Düşeyde oluşan yerdeğiştirme ve mesafe grafiğinden oluşan oturma miktarı

4.3. Taşıma gücü hesaplama yöntemleri

Taşıma gücünün analitik yöntemlerle hesaplanmasında, Terzaghi, Meyerhof, Vesic ve TBDY (2018) taşıma gücü hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. Bu hesaplamalarda, I. Radye temel modeli ve II. Radye temel modeli için, 10, 15, 20 ve 25 metre temel boyutları kullanılarak taşıma gücü hesaplaması yapılmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılan zemin ve temel parametreleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çizelge 4.4'te Terzaghi taşıma gücü analizinde kullanılan radye temel parametreleri, Çizelge 4.5'de Meyerhof taşıma gücü analizinde kullanılan radye temel parametreleri, Çizelge 4.6'da Vesic taşıma gücü analizinde kullanılan radye temel parametreleri ve Çizelge 4.7'de TBDY (2018)'e göre taşıma gücü analizinde kullanılan radye temel parametreleri verilmiştir. Çizelge 4.8'de analitik yöntemler (Terzaghi, Meyerhof, Vesic ve TBDY (2018)) ile I. ve II. Radye temel modellerinde 10 m, 15 m, 20 m ve 25 m temel boyutları için hesaplanan taşıma gücü değerleri verilmiştir. Çizelge 4.8, Şekil 4.53 ve Şekil 4.54'te görüldüğü üzere analitik yöntemler ile yapılan taşıma gücü analizlerinde Terzaghi, Meyerhof ve Vesic hesaplama yöntemlerinden elde edilen sonuçlar birbirlerini desteklemektedir. Ancak TBDY (2018) hesaplama yönteminden elde edilen taşıma gücü değerleri diğer üç yönteme göre daha yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte I. Radye temel ve II. Radye temel modellerinde temel alanının artması ile hesaplanan taşıma gücü değerlerinin de buna paralel artışı görülmüştür. I. Radye temel modelinde zemin biriminde kil malzemenin hâkim olması ve içsel sürtünme açısının düşük olması nedeniyle daha küçük taşıma gücü değerleri elde edilmiştir. II. Radye temel modelinde ise zemin birimi olarak çakıllı kum malzemenin

hakim olması ve içsel sürtünme açısının yüksek olması nedeniyle daha yüksek taşıma gücü değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. Taşıma gücü analizlerinde kullanılan radye temel ve zemin parametreleri

Parametreler	Birim hacim ağırlık (γ)(gr/cm ³)	Temel genişliği (B)(m)	Temel uzunluğu (L)(m)	Kohezyon (c)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)
I.Radye temel modeli	1.92	10	10	0.15	9
II.Radye temel modeli	1.74	10	10	7.56	25

Çizelge 4.4. Terzaghi Taşıma gücü analizinde kullanılan radye temel parametreleri

Terzaghi taşıma gücü					
Parametreler	Taşıma Gücü Katsayıları			Temel şekil faktörleri	
	Nc	Nq	Ny	K ₁	K ₂
I.Radye Temel Modeli	9.09	2.44	0.44	1.2	0.40
II. Radye Temel Modeli	25.13	12.72	8.34	1.2	0.40

Çizelge 4.5. Meyerhof taşıma gücü analizinde kullanılan radye temel parametreleri

Meyerhof taşıma gücü									
Parametreler	Taşıma Gücü Katsayıları			Şekil faktörleri			Derinlik faktörleri		
	Nc	Nq	Ny	sc	sq	sy	dc	dq	dy
I.Radye Temel Modeli	7.92	2.25	0.28	1.27	1.14	1.14	1.07	1.03	1.03
II.Radye Temel Modeli	20.72	10.66	6.765	1.49	1.25	1.25	1.09	1.05	1.05

Çizelge 4.6. Vesic taşıma gücü analizinde kullanılan radye temel parametreleri

Vesic taşıma gücü															
Parametreler	Şekil faktörleri			Derinlik faktörleri			Zemin eğim faktörleri			Yük eğim faktörleri			Temel sapma faktörleri		
	<i>sc</i>	<i>sq</i>	<i>sy</i>	<i>dc</i>	<i>dq</i>	<i>dy</i>	<i>gc</i>	<i>gq</i>	<i>gy</i>	<i>ic</i>	<i>iq</i>	<i>iy</i>	<i>bc</i>	<i>bq</i>	<i>by</i>
I.Radye Temel Modeli	1.26	1.15	0.6	1.33	1.08	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
II.Radye Temel Modeli	1.52	1.47	0.6	1.03	1.16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Çizelge 4.7. TBDY (2018) taşıma gücü analizinde kullanılan radye temel parametreleri

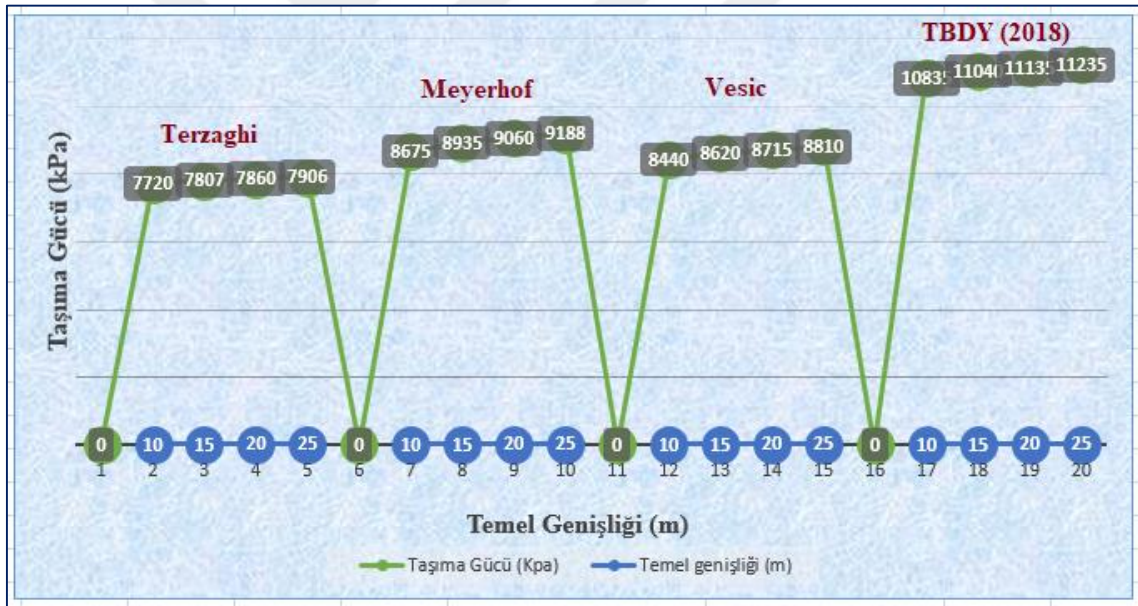
TBDY-2018 Taşıma Gücü Hesabı															
Parametreler	Şekil faktörleri			Derinlik faktörleri			Zemin eğim faktörleri			Yük eğim faktörleri			Temel sapma faktörleri		
	<i>sc</i>	<i>sq</i>	<i>sy</i>	<i>dc</i>	<i>dq</i>	<i>dy</i>	<i>gc</i>	<i>gq</i>	<i>gy</i>	<i>ic</i>	<i>iq</i>	<i>iy</i>	<i>bc</i>	<i>bq</i>	<i>by</i>
I.Radye Temel Modeli	1.26	1.15	0.6	1.33	1.08	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
II.Radye Temel Modeli	1.52	1.47	0.6	1.03	1.16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Çizelge 4.8. I. ve II. Radye temel modellerinin analitik yöntemler ile hesaplanan taşıma gücü değerleri

I.Radye temel modeli taşıma gücü değerleri (kPa)				
Temel genişliği (m)	10	15	20	25
Terzaghi	108	109	111	114
Meyerhof	113	118	123	129
Vesic	134	143	152	162
TBDY-2018	270	275	285	295
II.Radye temel modeli taşıma gücü değerleri (kPa)				
Temel genişliği (m)	10	15	20	25
Terzaghi	7720	7807	7860	7906
Meyerhof	8675	8935	9060	9188
Vesic	8440	8620	8715	8810
TBDY-2018	10835	11040	11135	11235



Şekil 4.53. I.Radye temel modeli analitik yöntemler ile hesaplanan taşıma gücü değerleri grafiği



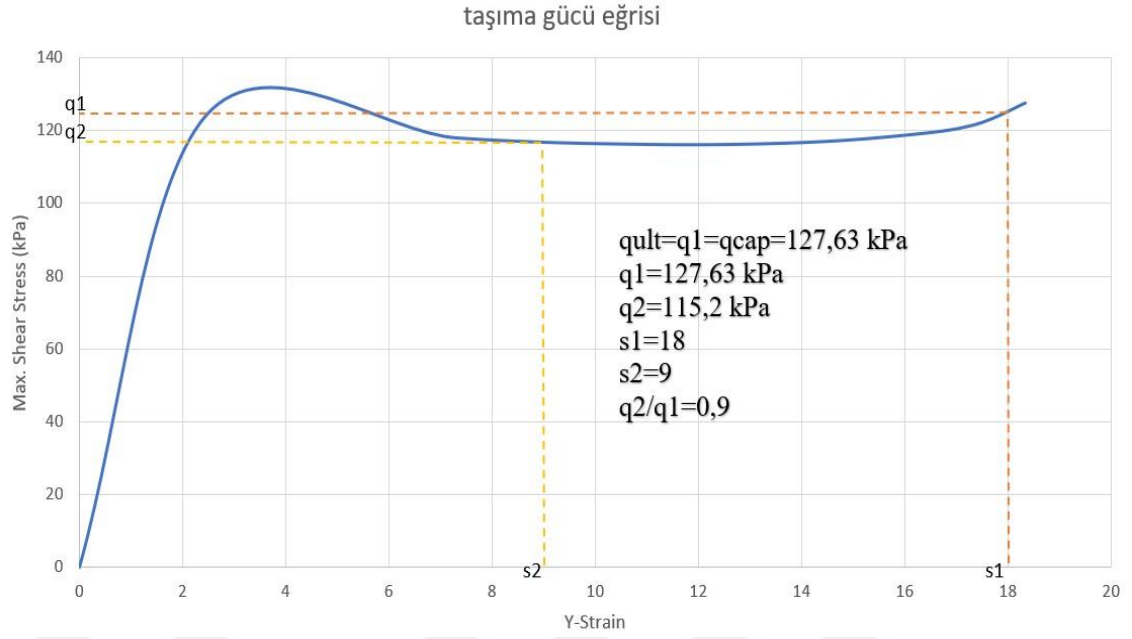
Şekil 4.54. II.Radye temel modeli analitik yöntemler ile hesaplanan taşıma gücü değerleri grafiği

Taşıma gücünün hesaplanmasının ikinci aşamasında sayısal (kestirim) (Brich Hansen ve DeBeer) yöntemleri kullanılmıştır. Bu hesaplamalarda, I. Radye temel modeli ve II. Radye temel modeli için, 10, 15, 20 ve 25 metre temel boyutları kullanılarak taşıma gücü hesaplaması yapılmıştır. Çizelge 4.9’da Brich Hansen ve DeBeer yöntemleri ile I. Radye temel modelinde içsel sürtünme açısının 9^0 , II. Radye temel modelinde içsel sürtünme açısının 25^0 olduğu durumlarda 10 m, 15 m, 20 m ve 25 m temel boyutları için hesaplanan taşıma gücü değerleri verilmiştir. Çizelge 4.9, Şekil 4.55, Şekil 4.56, Şekil 4.57 ve Şekil

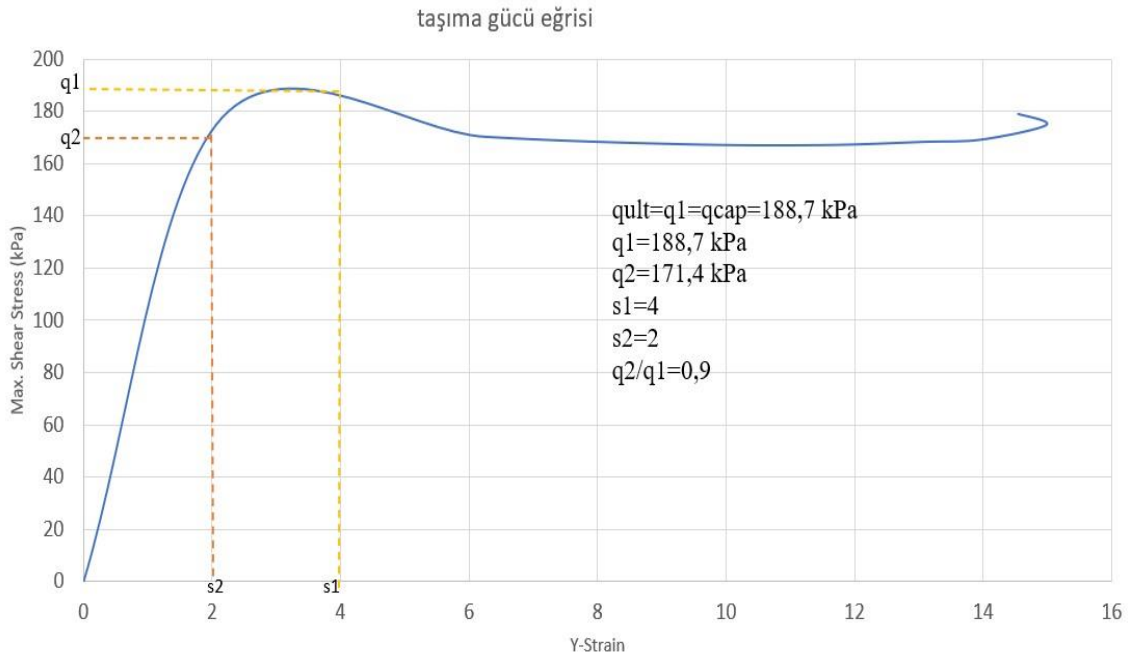
4.58, Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.64, Şekil 4.65, Şekil 4.66, Şekil 4.67, Şekil 4.68, Şekil 4.69, Şekil 4.70’de görüldüğü üzere analitik ve sayısal (kestirim) hesaplama yöntemleri kullanılarak yapılan analizlerde elde edilen taşıma gücü değerlerinde sonuçlar birbirlerini desteklemektedir. Bununla birlikte I.Radye temel modelinde temel alanının artması ile hesaplanan taşıma gücü değerlerinin de buna paralel artışı görülmüştür. Bununla birlikte II.Radye temel modelinde yine I.Radye temelinde olduğu gibi, temel genişliği ve uzunluğunun artması ile hesaplanan taşıma gücü değerlerinin de buna paralel artışı görülmüştür.

Çizelge 4.9. I. ve II. Radye temel modellerinin sayısal yöntemler ile hesaplanan taşıma gücü değerleri

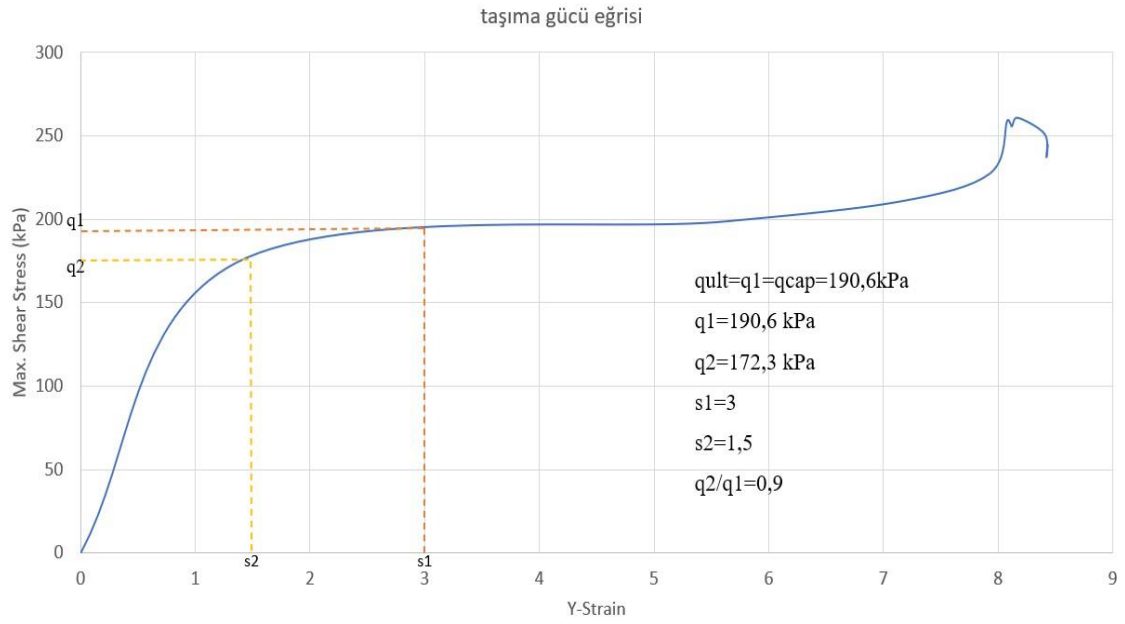
I.Radye temel modeli taşıma gücü değerleri (kPa)				
Temel boyutları (m) BxL	10x10	15x15	20x20	25x25
Brinch Hansen	127.63	188.7	190.6	352.4
DeBeer	133	192	192	355
II.Radye temel modeli taşıma gücü değerleri (kPa)				
Temel boyutları (m) BxL	10x10	15x15	20x20	25x25
Brinch Hansen	47.6	405	550	658
DeBeer				



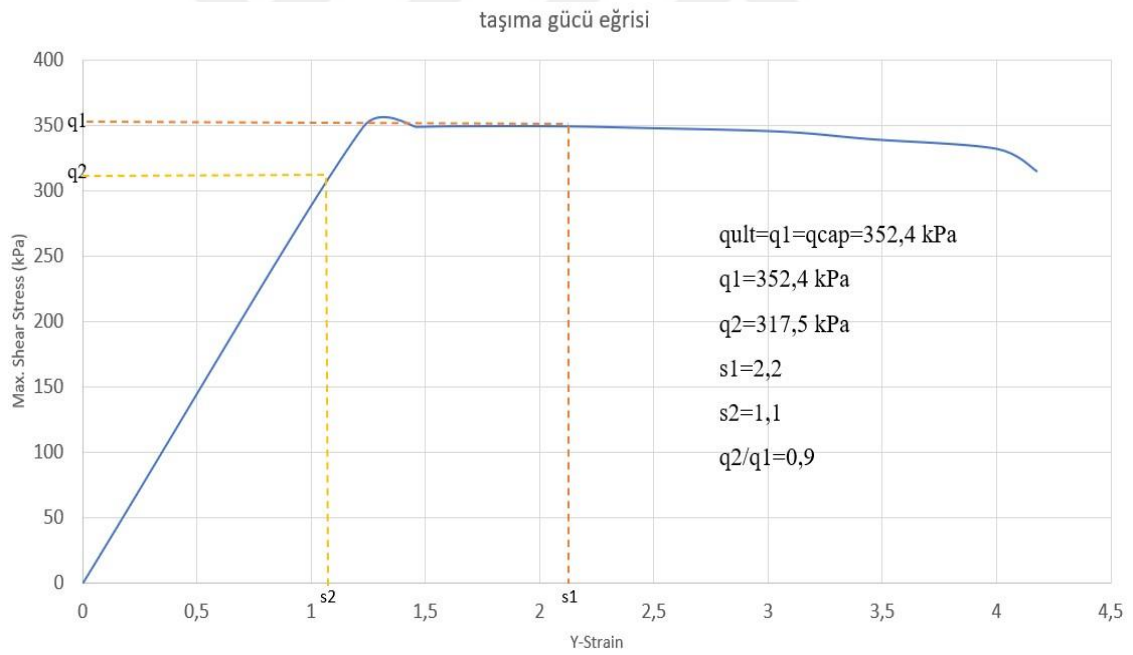
Şekil 4.55. I.Radye temel modeli 10x10 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 9^\circ$ olduğu durum için Brinch Hansen yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



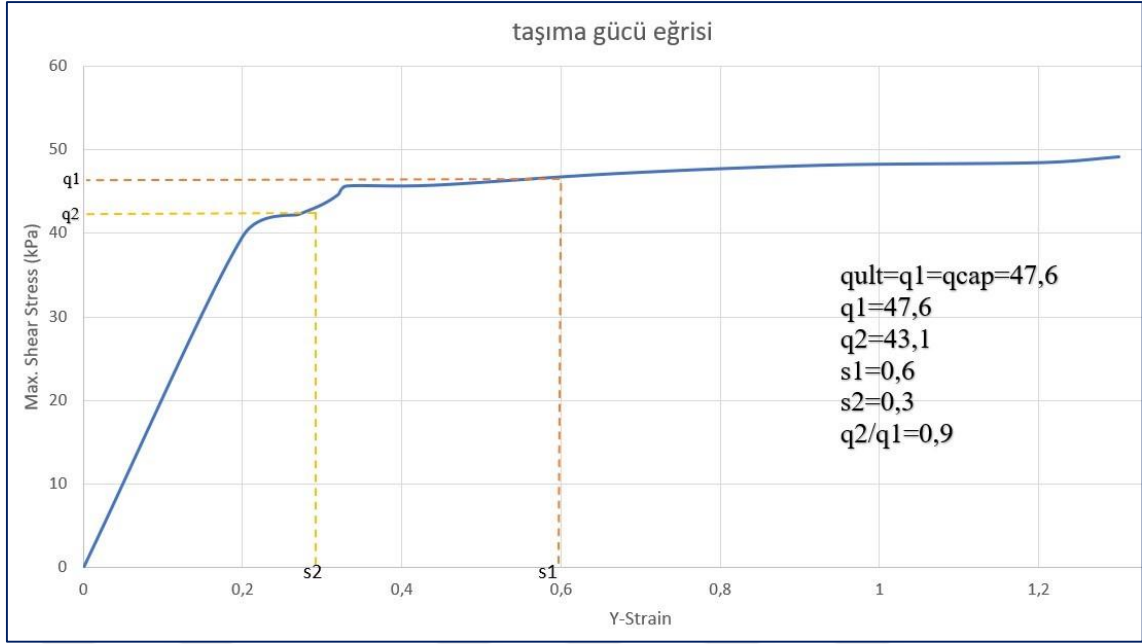
Şekil 4.56. I.Radye temel modeli 15x15 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 9^\circ$ olduğu durum için Brinch Hansen yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



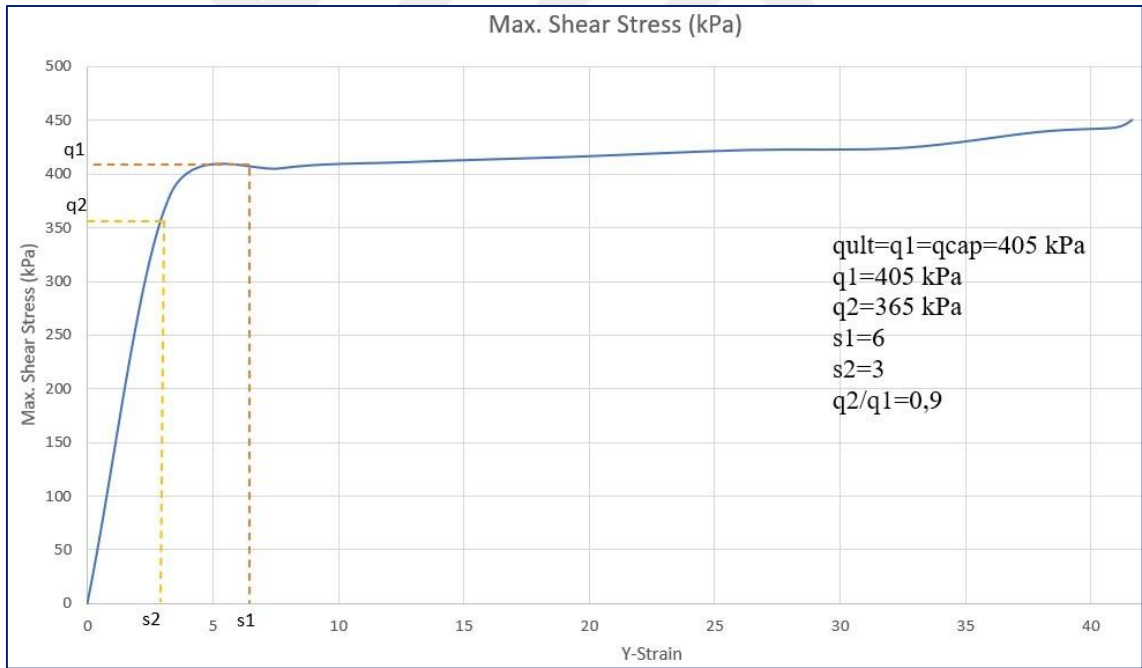
Şekil 4.57. I.Radye temel modeli 20x20 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi=9^\circ$ olduğu durum için Brinch Hansen yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



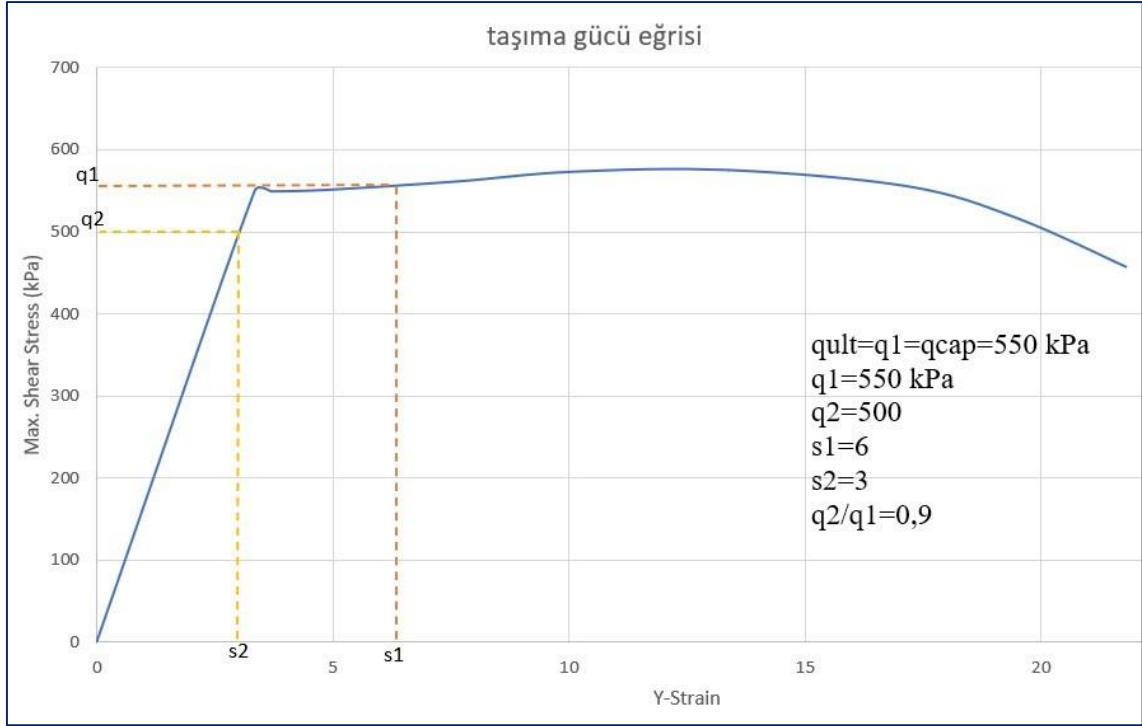
Şekil 4.58. I.Radye temel modeli 25x25 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi=9^\circ$ olduğu durum için Brinch Hansen yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



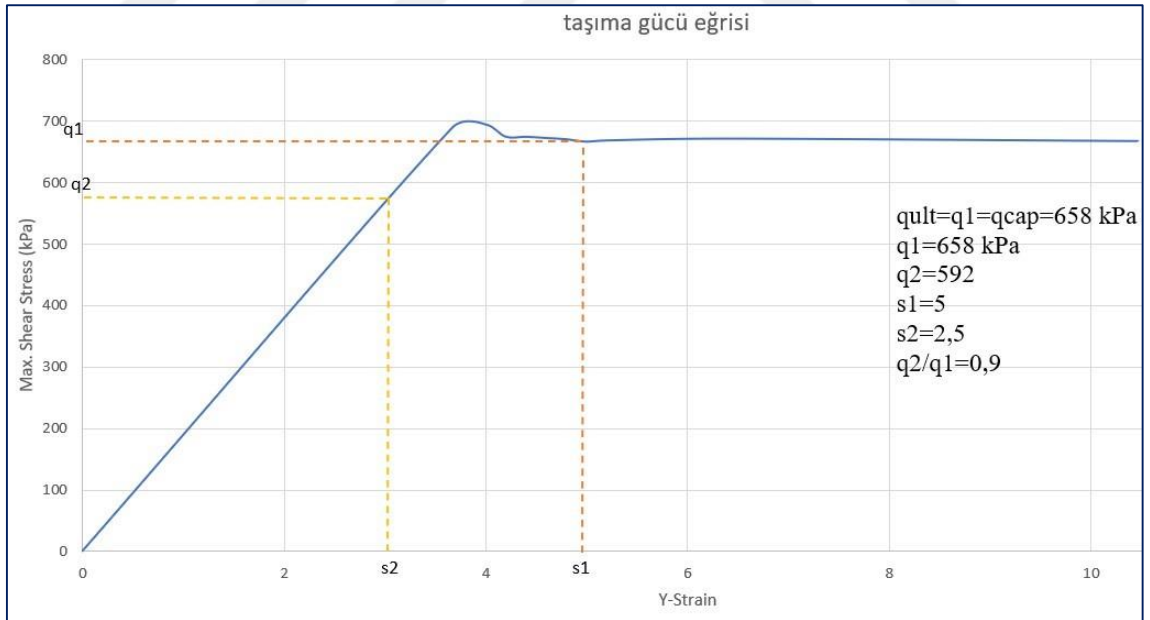
Şekil 4.59. II.Radye temel modeli 10x10 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi=25^\circ$ olduğu durum için Brinch Hansen yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



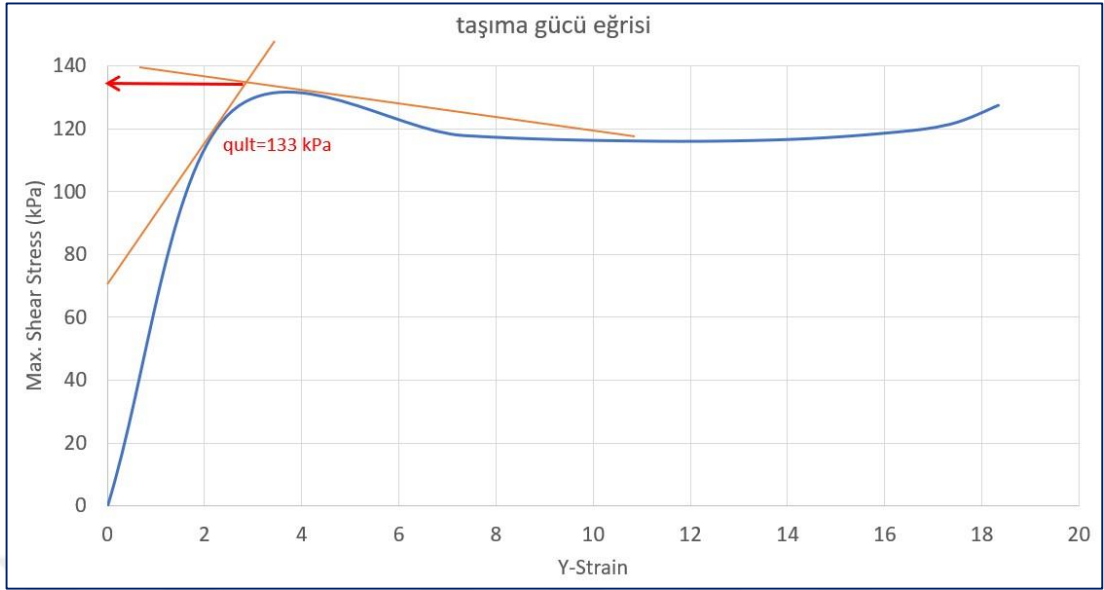
Şekil 4.60. II.Radye temel modeli 15x15 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi=25^\circ$ olduğu durum için Brinch Hansen yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



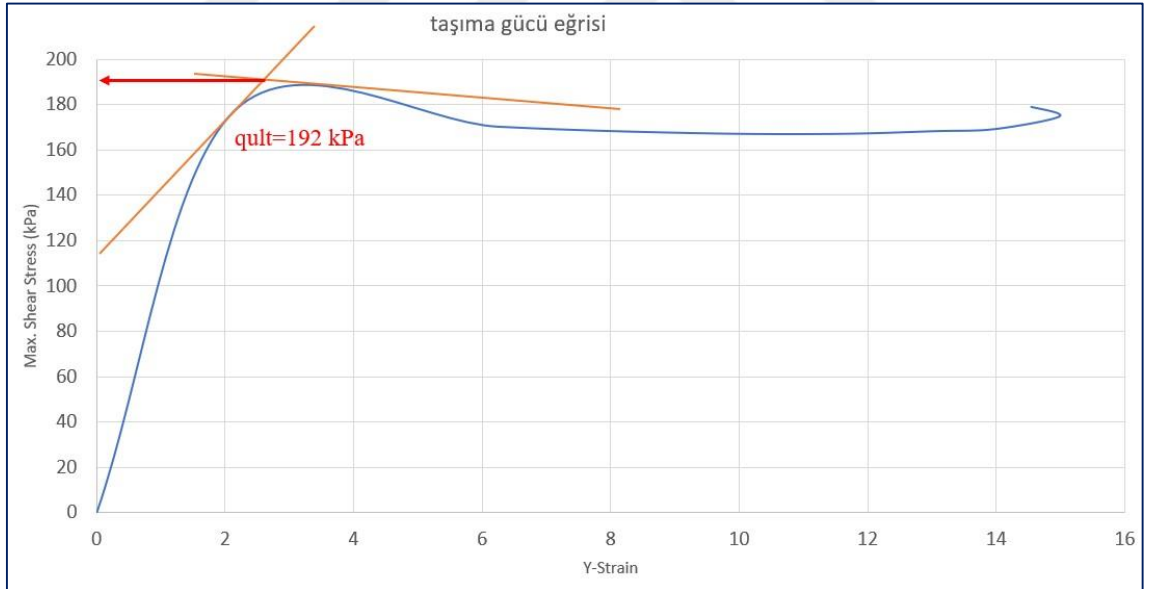
Şekil 4.61. II.Radye temel modeli 20x20 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 25^\circ$ olduğu durum için Brinch Hansen yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



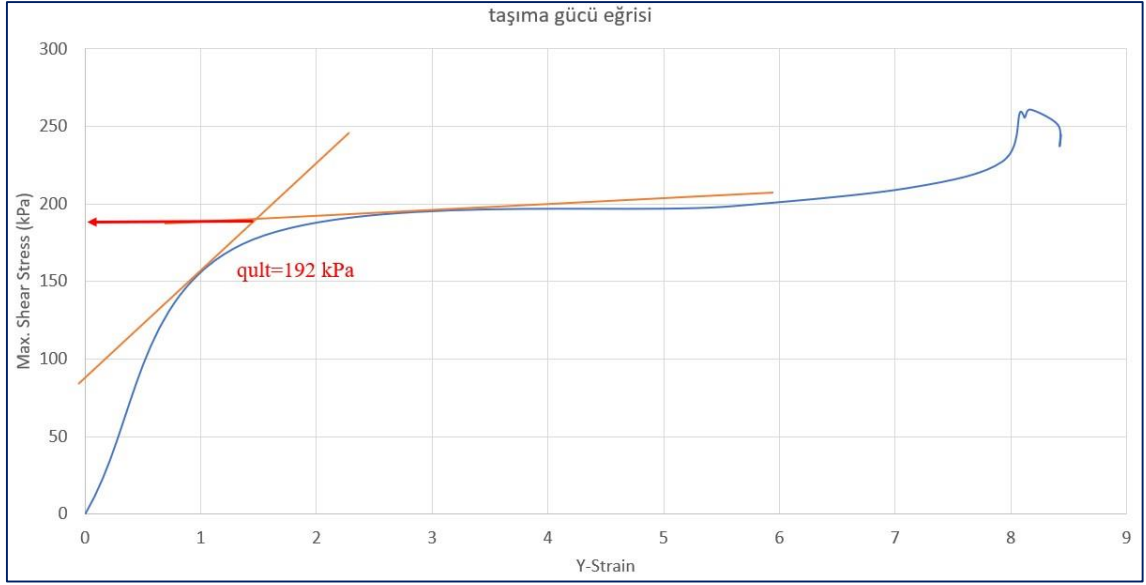
Şekil 4.62. II.Radye temel modeli 25x25 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 25^\circ$ olduğu durum için Brinch Hansen yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



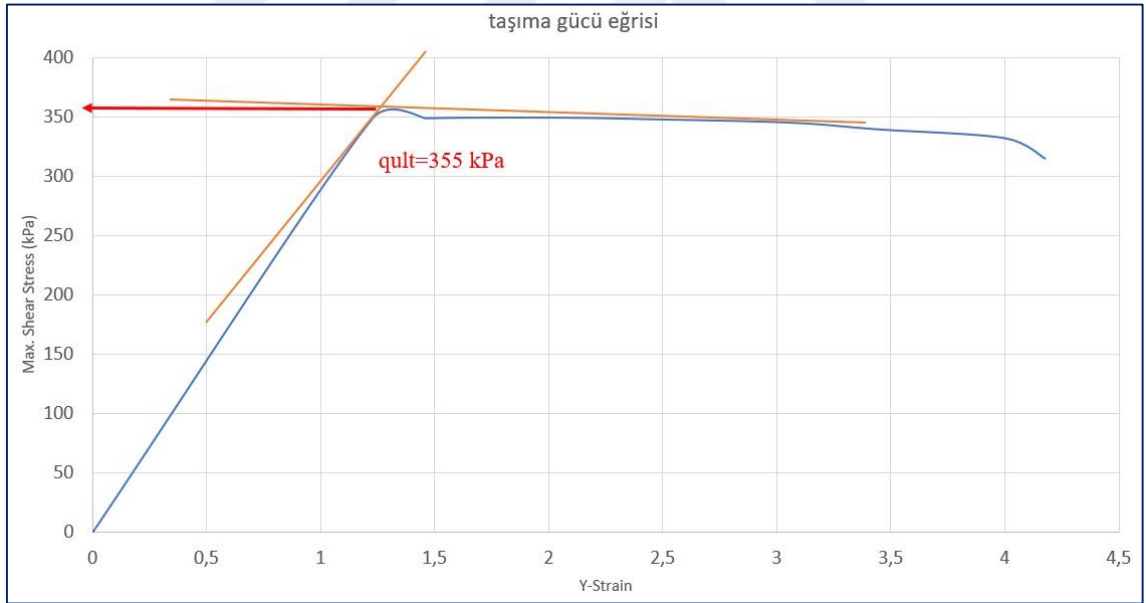
Şekil 4.63. I.Radye temel modeli 10x10 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 9^\circ$ olduğu durum için DeBeer yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



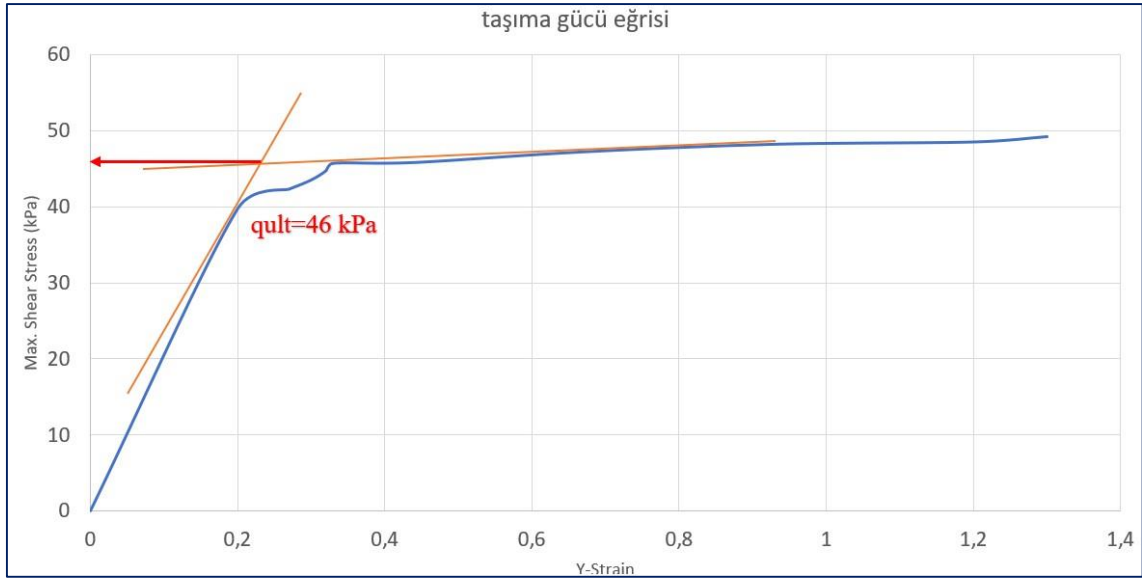
Şekil 4.64. I.Radye temel modeli 15x15 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 9^\circ$ olduğu durum için DeBeer yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



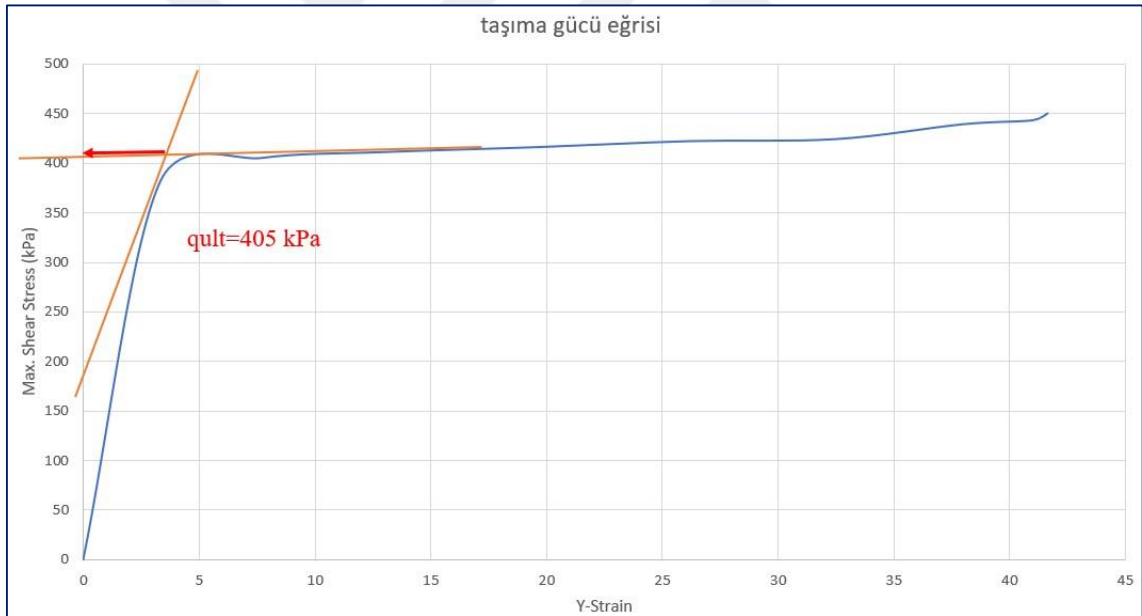
Şekil 4.65. I.Radye temel modeli 20x20 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 9^\circ$ olduğu durum için DeBeer yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



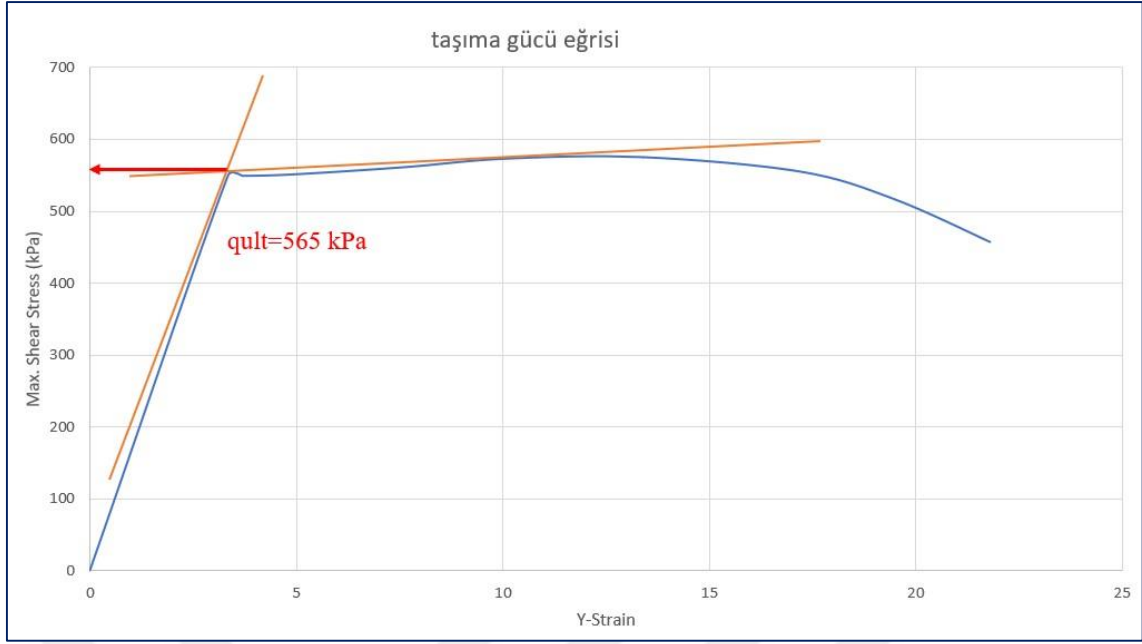
Şekil 4.66. I.Radye temel modeli 25x25 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 9^\circ$ olduğu durum için DeBeer yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



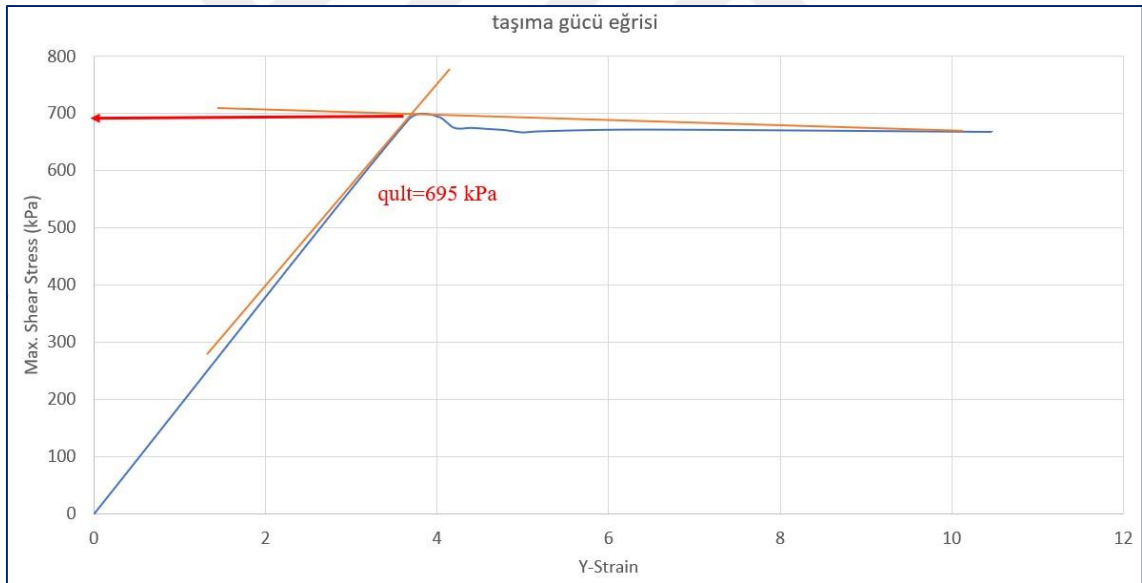
Şekil 4.67. II.Radye temel modeli 10x10 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 25^\circ$ olduğu durum için DeBeer yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



Şekil 4.68. II.Radye temel modeli 15x15 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 25^\circ$ olduğu durum için DeBeer yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



Şekil 4.69. II.Radye temel modeli 20x20 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 25^\circ$ olduğu durum için DeBeer yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği



Şekil 4.70. II.Radye temel modeli 25x25 temel boyutları ve içsel sürtünme açısının $\phi = 25^\circ$ olduğu durum için DeBeer yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değeri grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Geostudio 2023 yazılımının Sigma/W Modülü ile gevşek zemin birimlerine oturan radye temellerin gerilme ve deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. İki boyutlu (2-D) düzlem-şekil değiştirme ve eksenel simetri problemleri değerlendirilerek yorumlanmıştır. Gerilme-yer değiştirme ilişkisinin elastik-plastik modeli ile incelenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Tez çalışmasının ikinci aşamasında, iki ayrı radye temel modeli için, temel genişliğinin taşıma gücüne etkisini araştırmak amacıyla, analitik yöntemler (Terzaghi, Meyerhof, Vesic ve TBDY (2018)) ve programdan elde edilen gerilme-yerdeğiştirme eğrileri yardımı ile sayısal yöntemler olan (Brinch Hansen ve DeBeer) ile taşıma gücü hesaplamaları yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Sayısal yöntemler ile analitik yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri birbirleri ile kıyaslanarak benzerlikleri ve ayrışıkları noktalar tartışılmıştır. I. radye temel modeli için, kohezyon değerlerinin 0.09, 0.18, 0.14, 0.15, 0.17; içsel sürtünme açısı değerleri; 7, 8, 9, 11, 10 derece ve temel boyutlarının 10*10; 15*15; 20*20 ve 25*25 m ve II. radye temel modeli için kohezyon değerlerinin 7.73; 7.23; 7.73; 7.53 içsel sürtünme açısı değerleri; 23.7, 26.71, 22.10, 28.7 derece ve temel boyutlarının 10*10; 15*15; 20*20 ve 25*25 m olduğu durumlar için analizler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1-) Geostudio 2023 yazılımının Sigma/W Modülü kullanılarak, I. radye temel modelinde radye temel alanını 10*10 metrekare olduğu durum için yapılan analizlerde temel altındaki bozulmalar temel yükünden uzaklaştıkça etkisini azaltmıştır. Bununla birlikte aktarılan yükte, ciddi düşüşler olduğu görülmüştür.

2-) Geostudio 2023 yazılımının Sigma/W Modülü kullanılarak, I. radye temel modelinde radye temel alanının 15*15 metrekare olduğu durum için yapılan analizlerde, üstteki yapı aynen olduğu şekilde korunmuş olup radye temelde ampattır bırakılarak temel alanı büyütülmüştür. Temel alanının büyümesi ile yapının tamamı göz önüne alındığında zemine aktarmış olduğu yük bir miktar artmıştır. Radye temel alanının artması gelen yükü daha geniş bir alana aktardığı için daha dengeli bir oturma gözlenmiştir.

3-) Geostudio 2023 yazılımının Sigma/W Modülü kullanılarak, I. radye temel modelinde radye temel alanının 20*20 metrekare olduğu durum için yapılan analizlerde, temel alanının artmasının olumlu bir etki olduğu gelen yükün daha geniş bir alana yayılması nedeniyle oturma miktarı ve zemin bozulmalarının daha az olduğu görülmektedir.

4-) Geostudio 2023 yazılımının Sigma/W Modülü kullanılarak, I. radye temel modelinde radye temel alanının 25*25 metrekare olduğu durum için yapılan analiz incelendiğinde geometrik sınırlarımızın sabit kalması ve sınırlı olması sebebiyle temel altında olmayan zeminde yukarıdaki diğer analizlere oranla kabarma miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla radye temel alanının artması ve kendisiyle beraber getirdiği yük miktarı göz önüne alındığında temel genişliği yük arttırmasına rağmen olumlu bir etki bırakmaktadır.

5-) Geostudio 2023 yazılımının Sigma/W Modülü kullanılarak, II. radye temel modelinde radye temel alanının 10*10 metrekare olduğu durum için yapılan analizlerde, farklı zemin birimlerine hakim olması ve taşıma gücünün farklılaşması sebebiyle farklı sonuçlar elde edilmiştir.

6-) Geostudio 2023 yazılımının Sigma/W Modülü kullanılarak, II. radye temel modelinde radye temel alanının 15*15 metrekare olduğu durum için yapılan analizlerde, radye temel alanının 10*10 m² olduğu duruma göre yapıdan gelen yüklerin daha geniş bir alana aktarılması oturma miktarına ve zemindeki bozulmaya olumlu etki ettiği görülmüştür.

7-) Geostudio 2023 yazılımının Sigma/W Modülü kullanılarak, II. radye temel modelinde radye temel alanının 20*20 metrekare olduğu durum için yapılan analizlerde, temel alanının artmasıyla oturma miktarı ve zemindeki bozulmalar 15*15 m² veya 10*10 m² radye temel alanlarına oranla daha olumlu verilerdir.

8-) Geostudio 2023 yazılımının Sigma/W Modülü kullanılarak, II. radye temel modelinde radye temel alanının 25*25 metrekare olduğu durum için yapılan analiz incelendiğinde analiz yapmak için geometrik sınırlarımızın olması sebebiyle radye temel kenar uzunluklarının artması sebebiyle yüzeysel kabarma miktarı gözle görülür bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

9-) Analitik yöntemler ile yapılan taşıma gücü analizlerinde Terzaghi, Meyerhof ve Vesic hesaplama yöntemlerinden elde edilen sonuçlar birbirlerini desteklemektedir. Ancak TBDY (2018) hesaplama yönteminden elde edilen taşıma gücü değerleri diğer üç yöntemle göre daha yüksek çıkmıştır.

10-) I. Radye temel ve II. Radye temel modellerinde temel alanının artması ile hesaplanan taşıma gücü değerlerinin de buna paralel artışı görülmüştür. Bu sonuç dikkate alındığında radye temel tasarımı yapılırken ampatman bırakılması radye temel alanının bina taban alanından daha büyük olması yapının oturması ve taşıma gücüne olumlu katkı sağlayacaktır.

11-) Kullandığımız zemin değerlerinin taşıma gücüne ve oturma miktarına olan etkisi çok açık bir şekilde görülmektedir. I.Radye temelin oturduğu zemin hem yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması hem de zemin parametrelerinin (içsel sürtünme açısı, kohezyon, poisson oranı, birim hacim ağırlık) daha düşük olması taşıma gücünün daha az bir değer çıkmasına ve oturma miktarının daha fazla olmasına sebep olduğu belirlenmiştir.

12-) Genel olarak analitik ve sayısal (kestirim) hesaplama yöntemleri kullanılarak yapılan analizlerde elde edilen taşıma gücü değerlerinde sonuçlar birbirlerini desteklemektedir.

KAYNAKLAR

- Alpan I., 1964, “Estimating the Settlements of Foundations on Sands” *Civil Engineering and Public Works Review* 59: 1415 – 1418
- ASTM-D1586-11 2011, “Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils” *American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA*
- Bell, F.G., 1998, *Environmental Geology*, Blackwell, 594p.
- Bowles, J. E., 1997, *Foundation Analysis and Design*. McGraw - Hill, Singapore
- Bowles, J. E., 1996, “Foundation Analysis and Design” 5th edition, *The McGraw-Hill Companies, Inc.*, London.
- Braja M. Das., 2006, ‘*Principles of Geotechnical Engineering*’, Six Edition
- Cernica, J.N., 1994, *Geotechnical Engineering Foundation Desing*, Jonh Wiley & Sons, Inc., New York, 488 pp.
- Çinicioğlu, S. F., 2005, *Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı*, Seminer İnşaat Mühendisleri Odası.
- Dağlı, E., 2013, *Calculation of Bearing Capacity of Cohesionless Soils By Numerical and Analytical Methods; Zonguldak Bulent Ecevit Univ. Institute of Science*, Master’s Thesis in Turkish, Turkey, 2013; pp 130.
- Dağlı, E, Çapar Ö,M, A. Sünbül, A,B., 2015, *Analitik ve sayısal yöntemler ile kumlu zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesi. 6. Geoteknik Sempozyumu 26-27 Kasım 2015, Çukurova Üniversitesi, Adana*
- De Beer, E., 1970, *Experimental determination on the shape factors and the bearing capacity factors of sand. Geotechnique*; 20 (4): 387-411.
- Geostudio,, 2022, *Stress-Strain Modeling with Geostudio*, Copyright © 2022 Seequent Limited, The Bentley Subsurface Company. All rights reserved.

- Ghazavai, M., and Eghbali, A.H., 2013, New geometric average method for calculation of ultimate bearing capacity of shallow foundations on stratified sands. *ASCE International Journal of Geomechanics*; 13 (2): 101-108.
- Feyzullah, G., 2013, Doygun ve Doygun Olmayan Zemin Mekaniği Kavramları İle Sığ Temellerin Taşıma Gücü. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2013
- Griffiths D.V., 1982, Computation of Bearing Capacity Factors Using Finite Elements.
- Hansen B. J., 1961, A general formula for bearing capacity. Danish. *Geotechnical Institute, Bulletin* No. 11: 38–46.
- Hansen B. J., 1963, Discussion of Hyperbolic Stress-Strain Response: Cohesive Soils, *J of S.Mech & Found. Div*, 89 (4): 241-242.
- Keskin, S., Laman M., Uğur, S. ve Bildik S., 2012, Kuma oturan yüzeysel temellerde temel boyutunun taşıma kapasitesine etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 37-45
- Manoharan, N. ve Dasgupta, S.P., 1995, Bearing Capacity of Surface Footings by Finite Elements. *Computers and Structures*; 54 (4): 563-586.
- Meyerhof, G. G., 1951, The ultimate bearing capacity of foundations. *Geotechnique*, 2, 301-332.
- Meyerhof, G. G., 1957, “Discussion on Research on Determining the Density of Sands by Penetration Testing” *Proc. 4th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg.*, Vol. 1: 110 Microzonation, *Kluwer Academic Publishers*, netherlans
- Meyerhof G G., 1963, Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations, *Can. Geotec. J.*, 1 (1): 16-26.
- Meyerhof G. G., 1976, “Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations” *JGED*, *ASCE*, 102(GT3): 195 – 228
- Nath, B., 1993, (Çev. D. Günay) Mühendisler için Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri, *Sakarya Ün. Matbaası*, Adapazarı.

Önalp, A. ve Sert, S., 2006, Geoteknik Bilgisi 3 Bina Temelleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 375 s. Özcan, K., 2000. Yapı, 8.Baskı, *Bilim Yayınları*, Ankara, 345 s.

Özaydın, K., 2000, Zemin Mekaniği, *Birsen Yayınevi*, 2000.

Özcan, K., 2000, Yapı, 8.Baskı, *Bilim Yayınları*, Ankara, 345 s.

Peck R. B., Hanson W. E. Thornburn T. H., 1974, “Foundation Engineering” *John Wiley & Sons*, New York

Prandtl, L., 1921, Über Die Eindringungs-Festigkeit Plastischer Baustoffe Und Die Festigkeit Von Schneiden, *Z. Ang. Math. Mech.*, 1(1), 15

Sharma, P., 1997, Environmental and Engineering Geophysics, *Cambridge University Press*, England

Skempton A. W., 1951, The bearing capacity of clays. *Proc. Build. and Res. Cong., London*, 1951, 1, 180–189. Ultimate bearing capacity of foundations : Geotech. v.2. s: 301-332

TMMOB., 2021, Toprak Zeminlerde Sığ Temellerin Taşıma Gücü Hesap Cetveli Kullanım Kılavuzu

Uzuner, B.A., 1975, Centrally and Eccentrically Loaded Strip Foundations on Sand, Ph.D. Thesis, *Strathclyde University*, 149 p, Glasgow, Scotland

Uzuner, B.A., 2016, Temel Mühendisliğine Giriş (6. Baskı). Trabzon: *Derya Kitabevi*.

Uzuner, B.A., 2019, Temel Mühendisliğine Giriş. *Derya Kitabevi*, 7. Basım Trabzon, 187-219

Vesic, A., 1973, Analysis of ultimate loads of shallow foundations *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*; 99 (SM-1): 45-73.

Vesic, A.S., 1977, Design of Pile Foundations, *Washington, DC*, United States

Watcharasawe, K., Kitiyodom, P., Jongpradist, P., 2015, Numerical Analyses of Piled Raft Foundation in Soft Soil Using 3D-FEM, *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 46, 1, ISSN 0046-5828

Woodward P,K, Berenji A.P 2001, Advanced numerical investigation of Terzaghi's

Wulandari P, S., Tjandra D, 2015, Analysis of Piled Raft Foundation on Soft Soil Using PLAXIS 2D, *Procedia Engineering*, Volume 125, 2015, Pages 363-367, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.083>

Yıldırım H. ve Tonyalı İ., 2011, Zemin İnceleme Yöntemlerini Kullanan Taşıma Gücü Analiz Metodlarının İncelenmesi. 4.*Geoteknik Sempozyumu*, 1-2 Aralık, Adana, 1-12

URL-1.http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/58961680c96a304_ek.pdf 11 Kasım 2013

URL-2:<https://www.sanalsantiye.com>

URL-3: <https://www.santiyegunlugu.com>