

**T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**JET GROUT KOLONLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ ZEMİNLER ÜZERİNE
OTURAN PLAK TEMELLERİN TASARIM STRATEJİLERİ VE
MODELLEME TEKNİKLERİ**

Arda Burak EKMEK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2016**

Doç. Dr. Halil Murat ALĞIN danışmanlığında, Arda Burak EKMEN'in hazırladığı “**Jet grout kolonlarla güçlendirilmiş zeminler üzerine oturan plak temellerin tasarım stratejileri ve modelleme teknikleri**” konulu bu çalışma 27/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Halil Murat ALĞIN

Üye : Prof. Dr. Hanifi ÇANAKCI

Üye : Doç. Dr. Celal AĞAN

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN
Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM	9
3.1. Materyal	9
3.1.1. Plak (radye) temeller	9
3.1.2. Jet grout zemin iyileştirme yöntemi	11
3.1.2.1. Jet grout yönteminin tasarım esasları ve uygulanması	12
3.1.2.2. Jet grouting teknikleri	14
3.1.2.3. Jet grouting parametreleri	15
3.1.2.4. Jet grouting ekipmanları	16
3.2. Yöntem	18
3.2.1. Sonlu elemanlar yöntemi	18
3.2.1.1. Plaxis 3D programı	18
3.2.1.2. Abaqus programı	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	61
4.1. Plaxis 3D Programı ile Modelleme	61
4.1.1. Plaxis 3D programı ile tekil jet grout modellenmesi ve analizi	61
4.1.2. Plaxis 3D programı ile radye temelin modellenmesi ve analizi	68
4.2. Abaqus Programı ile Modelleme	69
4.2.1. Abaqus programı ile tekil jet grout kolonunun modellenmesi ve analizi	69
4.2.2. Abaqus ile jet groutlu ve jet groutsız radyenin modellenmesi ve analizi	78
4.3. Jet Grout Kolonunun ve Jet Groutlu Radyenin Tasarım Kriterleri	82
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	85
5.1. Sonuçlar	85
5.2. Öneriler	87
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	91

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

JET GROUT KOLONLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ ZEMİNLER ÜZERİNE OTURAN PLAK TEMELLERİN TASARIM STRATEJİLERİ VE MODELLEME TEKNİKLERİ

Arda Burak EK MEN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Halil Murat ALĞIN
YIL: 2016, Sayfa: 92

En güncel zemin iyileştirme metotlarından biri olan jet grout zemin iyileştirme yöntemi, avantajlarından dolayı gün geçtikçe dünya çapında popülerleşmektedir. Jet grouting yönteminin bir temel güçlendirme metodu olarak kullanılması jet grout kolonlarla güçlendirilmiş plak temellerin tasarım kriterlerini belirlemeyi bir gereklilik haline getirmiştir. Günümüzde, jet grout destekli radye tasarımında hala çeşitli belirsizlikler olduğundan yüksek güvenlik katsayıları uygulanmaktadır. Bu tez çalışmasında, jet grout kolonlarla desteklenmiş plak temellerin tasarım kriterlerini belirlemek için daha önce tanımlanmış kazıklı plak temellerin tasarım stratejileri ile beraber jet grout kolonlarının tasarım stratejileri birlikte ele alınmıştır. Jet grouting yöntemi için kullanılan ekipmanlar ve jet grouting yönteminin diğer geoteknik alanlara uygulanabilirliği bu tezde anlatılmıştır. Öncelikle, tekil bir jet grout kolonu, ön görülmüş derinlik ile geometrik varyasyon kullanılarak 3 boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu adımdan sonra, jet grout destekli plak temel, belirlenen zeminde ve derinlikte sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından ve literatürdeki verilerden yararlanarak jet grout kolonlarla güçlendirilmiş zeminler üzerine oturan plak temellerin tasarım kriterleri belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELE R: Jet grouting, Jet grout destekli plak temeller, Tasarım kriterleri

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN STRATEGIES AND MODELLING TECHNIQUES FOR JET GROUTED RAFT FOUNDATIONS.

Arda Burak EK MEN

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Halil Murat ALĖIN
Year: 2016, Page: 92**

The jet grouting as one of the latest improvement methods becomes more popular worldwide due to its some advantages. The use of jet grouting as a foundation supporting element has brought about the need to define the design strategies for jet grouted raft foundations. High safety factors are being used currently for jet grouted raft design because of various uncertainties. In this thesis, the previously defined design strategies on piled rafts and jet grout columns combined to achieve optimised design of jet grouted rafts. The equipment used for jet grouting and the applicability of jet grouting to other geotechnical areas are also explained in this thesis. Firstly, a single jet grout column has been analysed by means of three dimensional finite element analysis using the prescribed geometrical variation with depth. After this step, a jet grouted raft has been analysed by means of three dimensional finite element analysis on designated soil type and depth. Design criteria for jet grouted rafts have been defined by using analysis results and data in the literature.

KEY WORDS: Jet grouting, Jet grouted rafts, Design criteria

TEŐEKKÖR

Tez alıőmamda beni her anlamda ynlendiren, tezin konusunun seiminde ve araőtırmalarımda yardımlarını esirgemeyen danıőmanım sayın Doç. Dr. Halil Murat ALĐIN'a, ayrıca çalıőmalarım esnasında bana destek olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Veysel GÖMÜŐ'e, eőim Arő. Gör. őevin EKMEN'e ve aileme teőekkör ederim.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Radye temel çeşitleri.....	10
Şekil 3.2. Jet grout kolonlarının oluşturulması	11
Şekil 3.3. Jet grout yönteminin uygulama aşamaları.....	13
Şekil 3.4. Jet grouting tekniklerinin gösterilmesi.....	15
Şekil 3.5. Jet grout delgi makinesi	16
Şekil 3.6. Çimento silosu	17
Şekil 3.7. Plaxis 3D programı başlangıç ekranı	19
Şekil 3.8. Plaxis 3D programı genel ayarlamalar	20
Şekil 3.9. Plaxis 3D boyutlandırma ekranı	21
Şekil 3.10. Plaxis 3D programı ilk çalışma ekranı	21
Şekil 3.11. Plaxis 3D programı çalışma düzlemi oluşturma	22
Şekil 3.12. Plaxis 3D programı çalışma düzlemi giriş penceresi	22
Şekil 3.13. Plaxis 3D programı çalışma düzlemleri	23
Şekil 3.14. Plaxis 3D programı duvar çizimi butonunun konumu	23
Şekil 3.15. Plaxis 3D programı tamamlanmış bir duvarın görüntüsü	24
Şekil 3.16. Plaxis 3D programı yüzey oluşturma butonunun konumu	24
Şekil 3.17. Plaxis 3D programında oluşturulmuş yüzey.....	25
Şekil 3.18. Plaxis 3D programında geometri çizgisinin modele eklenmesi	25
Şekil 3.19. Plaxis 3D programı geometri çizgilerinin eklenmesiyle oluşan görünüm	26
Şekil 3.20. Plaxis 3D programı yük ekleme araç çubuğu	26
Şekil 3.21. Plaxis 3D programı noktasal yüklerin eklenmesi	27
Şekil 3.22. Plaxis 3D programı kazık ekleme butonu	27
Şekil 3.23. Plaxis 3D programı kazık elemanın özelliklerinin girildiği pencere	28
Şekil 3.24. Plaxis 3D programı kuyu ekleme butonunun konumu.....	28
Şekil 3.25. Plaxis 3D programı Borehole penceresi.....	29
Şekil 3.26. Plaxis 3D programı malzeme özellikleri butonu	29
Şekil 3.27. Plaxis 3D programı malzeme özellikleri penceresi	30
Şekil 3.28. Plaxis 3D programı yeni malzeme tanımlama penceresi	30
Şekil 3.29. Plaxis 3D programı 2 boyutlu mesh oluşturma butonu.....	31
Şekil 3.30. Plaxis 3D programı 2 boyutlu mesh işlemi sonrası oluşan ekran	31
Şekil 3.31. Plaxis 3D programı 3 boyutlu mesh işlemi sonrası oluşan ekran.....	32
Şekil 3.32. Plaxis 3D programı iyileştirilmiş mesh alanı	32
Şekil 3.33. Plaxis 3D programı iyileştirilmiş 3D mesh	33
Şekil 3.34. Plaxis 3D programı hesaplama sekmesi.....	33
Şekil 3.35. Plaxis 3D programı işlem adımı penceresi.....	34
Şekil 3.36. Plaxis 3D programı kazı işlemi penceresi	34
Şekil 3.37. Plaxis 3D programı kazı işlemi sonrası oluşan görünüm.....	35
Şekil 3.38. Plaxis 3D programı yük girişi penceresi	35
Şekil 3.39. Plaxis 3D programı ön görünüm inceleme butonunun konumu	36
Şekil 3.40. Plaxis 3D programı tasarım ön görünümü	36
Şekil 3.41. Plaxis 3D programı analizi başlatma	37
Şekil 3.42. Plaxis 3D programı analizin ilerleme durumu.....	37
Şekil 3.43. Plaxis 3D programı sonuç butonu.....	38
Şekil 3.44. Plaxis 3D programı	38
Şekil 3.45. Abaqus programı giriş ekranı	39
Şekil 3.46. Abaqus programı çalışma ağacı.....	40
Şekil 3.47. Abaqus programı varsayılan model	40
Şekil 3.48. Abaqus programına dışardan bir modelin aktarılması	41
Şekil 3.49. Abaqus programı model için parça oluşturma.....	41
Şekil 3.50. Abaqus programı parça oluşturma penceresi.....	42
Şekil 3.51. Abaqus programı örnek model parçası	43
Şekil 3.52. Abaqus programı parça araç çubuğu.....	43

Şekil 3.53. Abaqus programı adım oluşturma.....	44
Şekil 3.54. Abaqus programı adım oluşturma penceresi	44
Şekil 3.55. Abaqus programı yük oluşturma.....	45
Şekil 3.56. Abaqus programı yük penceresi	45
Şekil 3.57. Abaqus programı “View Cut Manager” aracı	46
Şekil 3.58. Abaqus programı yük uygulanacak yüzeyin seçimi	46
Şekil 3.59. Abaqus programı yük değeri giriş penceresi	47
Şekil 3.60. Abaqus programı yük etkililen yüzey	47
Şekil 3.61. Abaqus programı sınır koşulu oluşturma başlangıç adımı	48
Şekil 3.62. Abaqus programı sınır koşulu oluşturma penceresi.....	48
Şekil 3.63. Abaqus programı sınır koşulu yönlerini belirleme penceresi.....	49
Şekil 3.64. Abaqus programı malzeme tanımlamanın ilk adımı	50
Şekil 3.65. Abaqus programı malzeme özelliklerinin girilmesi.....	50
Şekil 3.66. Abaqus programı parça için bölüm oluşturma	51
Şekil 3.67. Abaqus programı bölümün malzeme seçimi	51
Şekil 3.68. Abaqus programı bölüm tanımlaması	52
Şekil 3.69. Abaqus programı Seeds penceresi	52
Şekil 3.70. Abaqus programı mesh işlemi yapılmış parça görüntüsü	53
Şekil 3.71. Abaqus programı parçaların aynı pencereye alınması	53
Şekil 3.72. Abaqus programı parçaların konumlandırılması	54
Şekil 3.73. Abaqus programı parçalar arası etkileşim özelliklerinin oluşturulması.....	54
Şekil 3.74. Abaqus programı yüzeyler arası sürtünmenin girilmesi	55
Şekil 3.75. Abaqus programı etkileşim tanımlama	55
Şekil 3.76. Abaqus programı etkileşim tipi menüsü.....	56
Şekil 3.77. Abaqus programı analiz için iş oluşturma.....	56
Şekil 3.78. Abaqus programı iş oluşturma penceresi	57
Şekil 3.79. Abaqus programı analiz ayarları.....	57
Şekil 3.80. Abaqus programı analizin başlatılması	58
Şekil 3.81. Abaqus programı analizin devam ettiğini gösteren uyarı.....	58
Şekil 3.82. Abaqus programı sonuçların görüntülenmesi.....	59
Şekil 3.83. Abaqus programı belirli sonuçların önizlemesi.....	59
Şekil 3.84. Abaqus programı detaylı sonuçların oluşturulması	60
Şekil 4.1. Plaxis 3D programına zemin özelliklerinin tanımlanması	63
Şekil 4.2. Plaxis 3D programı ile oluşturulan zemin modeli ve jet grout kolonu	64
Şekil 4.3. Plaxis 3D programına jet grout malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	64
Şekil 4.4. Plaxis 3D programı analiz sonrası model görünümü.....	65
Şekil 4.5. Plaxis 3D programı ilk analiz sonucu oluşan oturma değeri.....	66
Şekil 4.6. Plaxis 3D programı analiz sonuçlarına göre yük-oturma grafiği	67
Şekil 4.7. Plaxis 3D programı ile modellenen radye temel	68
Şekil 4.8. Plaxis 3D programı radye temel analiz sonucu	68
Şekil 4.9. Modoni jet grout modeli.....	69
Şekil 4.10. Abaqus programı jet grout ve zemin modeli	72
Şekil 4.11. Abaqus programı jet grout yüzeyine yük tanımlanması	72
Şekil 4.12. Abaqus programı sınır koşullarının tanımlanması.....	73
Şekil 4.13. Abaqus programı analiz işlemine başlanması	73
Şekil 4.14. Abaqus programı 0.327 MPa basınç için oluşan oturma değeri.....	74
Şekil 4.15. Abaqus programı 0.646 MPa basınç için oluşan oturma değeri.....	75
Şekil 4.16. Abaqus programı 0.845 MPa basınç için oluşan oturma değeri.....	75
Şekil 4.17. Abaqus programı 1.034 MPa basınç için oluşan oturma değeri.....	76
Şekil 4.18. Abaqus programı 1.177 MPa basınç için oluşan oturma değeri.....	76
Şekil 4.19. Abaqus programı analiz sonuçlarına göre yük-oturma grafiği.....	77
Şekil 4.20. Abaqus programında jet grout destekli radye tasarımı	78
Şekil 4.21. Abaqus programında jet grout destekli radyenin analiz sonuçları.....	79
Şekil 4.22. Abaqus programında jet grout destekli radyenin analiz sonucunun yakın görünümü	79
Şekil 4.23. Abaqus programında jet groutsız radye tasarımı	80
Şekil 4.24. Abaqus programında jet grout desteksiz radyenin analiz sonuçları	81
Şekil 4.25. Tasarım için P_L ve τ_L eğrileri.....	84
Şekil 5.1. Abaqus programı jet grout kazık altı gerilme değeri	85

Şekil 5.2. Abaqus programı kazık altındaki maksimum gerilme (MPa) 86



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1. Plaxis 3D için jet grout kolonu malzeme özellikleri (Modoni ve Bzowka, 2012)	62
Çizelge 4.2. Plaxis 3D programına tanımlanan zeminlerin elastisite modülleri	62
Çizelge 4.3. Plaxis 3D programına tanımlanan zeminlerin dilastasyon açıları	62
Çizelge 4.4. Plaxis 3D programına tanımlanan zeminlerin içsel sürtünme açıları	63
Çizelge 4.5. Abaqus için jet grout kolonu malzeme özellikleri (Modoni ve Bzowka, 2012).....	70
Çizelge 4.6. Abaqus programına tanımlanan zeminlerin elastisite modülleri	70
Çizelge 4.7. Abaqus programına tanımlanan zeminlerin dilastasyon açıları.....	71
Çizelge 4.8. Abaqus programına tanımlanan zeminlerin içsel sürtünme açıları.....	71



SİMGELER DİZİNİ

c	Kohezyon (kPa)
E	Elastisite Modülü (MPa)
S_{lim}	Jet Grout Yüzeyine Uygulanabilecek Limit Yük Değeri (kN)
S_{ra}	Jet Grout Desteksiz Radyenin Ortalama Oturması (m)
S_{ra}^{JG}	Jet Grout Destekli Radyenin Ortalama Oturması (m)
q_c	CPT Uç Direnci (MPa)
q_u	Jet Grout Destekli Materyalin Basınç Dayanımı (kN/m ²)
α_c	Jet Grout Kolonunun Kesit Alanı (m ²)
α_f	Çelik Güçlendirmenin Kesit Alanı (m ²)
ΔS_r	Jet Grout Desteksiz Radyenin Diferansiyel Oturması (m)
ΔS_r^{JG}	Jet Grout Destekli Radyenin Diferansiyel Oturması (m)
σ_c	Jet Grout Kolonundaki Düşey Gerilme (kN/m ²)
σ_f	Çelik Güçlendirmenin Basınç Dayanımı (kN/m ²)
$M_{r(max)}$	Jet Grout Desteksiz Radyenin Maksimum Eğilme Momenti (kN m/m)
$M_{r(max)}^{JG}$	Jet Grout Destekli Radyenin Maksimum Eğilme Momenti (kN m/m)
P_L	Kazık Altı Limit Düşey Gerilme (kN/m ²)
γ	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)
ν	Poison Oranı
τ_L	Jet Grout Kolonu Yanal Yüzeylerindeki Maks. Limit Düşey Gerilme (kN/m ²)
Φ	Zeminin İçsel Sürtünme Açısı (°)
Υ_{asr}	Jet Grout Destekli Radye İçin Ortalama Oturma Katsayısı
$\Upsilon_{\Delta sr}$	Jet Grout Destekli Radye İçin Diferansiyel Oturma Katsayısı
Υ_{mr}	Jet Grout Destekli Radye Maksimum Eğilme Momenti Katsayısı
Ψ	Dilatasyon Açısı (°)

1. GİRİŞ

Bir yapının inşasında elverişsiz zemin koşulları nedeniyle zemin iyileştirilmesine ihtiyaç duyulabilir. Uygulanacak zemin iyileştirme yöntemi zemin türüne, zemin üzerine inşa edilecek yapı çeşidine ve ortam şartlarına göre seçilir. Kazık uygulamalarını yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerde ve yeterince sıkı olmayan zeminlerde uygulamak hem zor hem de ekonomik olmamaktadır. Bu yüzden bu tür sorunlu durumlarda jet grout zemin iyileştirme yöntemi hızlı ve ekonomik olması sebebiyle günümüzde yaygın olarak tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir.

Jet grout, yapısal anlamda kötü olan zeminlerin ıslahı için kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemidir ve zemine kontrollü yüksek basınçla pompalanan çimento akıtma jeti ile zeminde silindirik beton-zemin kolonları oluşturarak zemini iyileştirme esasına dayanır (Yahiro, 1973). Böylece zeminlerin ve kontrolsüz dolguların iyileştirilmesi hızlı ve ekonomik olarak sağlanabilmektedir.

Jet grout zemin iyileştirme yöntemi 1970'li yılların başlarında ilk önce Japonya'da ve 1970'li yılların sonunda Avrupa ülkelerinde uygulanmaya başlanmıştır. Jet grout zemin iyileştirme yönteminin Türkiye'deki ilk uygulaması ise 1986 yılında Ayvansaray tünel aynasının zemin iyileştirilmesinde jet grout uygulamasının kullanılmasıyla gerçekleşmiştir.

Dünya genelinde jet grout kolonları ile zemin iyileştirme yöntemi benimsedikçe jet grout kolonlarının kullanım alanları da artmıştır. Kazıkların gevşek zeminlere uygulanırken getirdiği zorluklara ve dezavantajlara sahip olmayan jet grout yöntemi, yaygınlaştıkça temel sistemlerinde kazıklara bir alternatif olmaya başlamıştır. Dolayısıyla günümüzde jet grout zemin iyileştirme yönteminin kullanımının artması ile jet grout kolonlarla güçlendirilmiş radye temeller için en uygun tasarım kriterlerini belirlemek bir gereklilik haline gelmiştir (Algin, 2016). Karmaşık bir geoteknik problem olan jet grout taşıma gücü hesaplama yöntemlerinde hala çeşitli belirsizlikler olduğundan yapılan tasarımlarda ve hesaplamalarda güvenlik

katsayıları yüksek tutulduğu için yapılan çalışmalarda ekonomiklik faktörü bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Jet grout kolonlarla güçlendirilmiş zeminler üzerine oturan plak temellerin tasarımında benzer sorunlar söz konusudur. Bu tez çalışmasında, jet grout kolonlarla güçlendirilmiş zeminler üzerine oturan plak temellerin optimum tasarım kriterlerini belirlemek için geoteknik mühendisliğinde kompleks bir problem olan jet grout tasarımının sınır kriterleri ile plak temel tasarımının sınır kriterleri birlikte ele alınmıştır. Jet grout zemin iyileştirme yöntemi ve kullanım alanları, kullanılan donanımlar, jet grout kolonlarının hesap metotları ve plak temellerin tasarım esasları detaylıca incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelenerek plak temel ve bir jet grout deneme kolonu belirli zemin tabakalarında ve derinlikte 3 boyutlu olarak modellenmiş ve jet grout deneme kolonu ile plak temelin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen verilerden ve literatürdeki çalışmalardan yararlanarak jet grout kolonlarla güçlendirilmiş zeminler üzerine oturan plak temellerin optimum tasarım kriterleri belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Davis ve Poulos (1972), kazıklı plak temel tasarımı ve oturmalar üzerine çalışmalar yapmış ve kazıkların radye altında oturmayı azaltıcı eleman olarak kullanıldığını belirtmiştir.

Yahiro ve Yoshida (1973), jet grout yönteminin, kötü olan zeminlerin iyileştirilmesi için kullanılan bir metot olduğunu ve yöntemin kontrollü bir şekilde zemine yüksek basınçla pompalanan çimento akıtma jetiyle zeminde silindirik zemin-beton kolonları oluşturarak zemini iyileştirme esasına dayandığını belirtmiştir.

Nakanishi (1974), jet grout yöntemini tanımlamış ve jet grout tekniğinin Japonya'da uygulanmaya başlandığını belirtmiştir.

Burland (1977), kazıkların sünek davranış gösterdiğini varsayarak kazıkların oturmaları azalttığını belirtmiştir.

Lunardi (1977), jet grout yönteminin tasarım kriterlerini, yöntemin farklı zemin çeşitlerine göre durumunu ve yöntemdeki son teknolojik gelişmeleri incelemiştir. Yöntemin zemin iyileştirmede başarılı ve ekonomik olduğunu belirtmiş ve yöntemle ilgili deneysel çalışmaların sayısının artması gerektiği görüşünü ortaya koymuştur.

Pardfield ve Sharrock (1983), plak temellerde merkezi kazık gruplarının farklı oturmaları azalttığı yönünde yaklaşımda bulunmuştur.

Baumann (1984), farklı zemin tiplerine uygulanan jet grout kolonlarından numuneler almış ve su-çimento oranına göre ulaşılan serbest basınç değerlerinden bir çizelge oluşturmuştur.

Fleming (1992), elastik plak temelin yalnız merkezine yakın bölgeye yerleştirilecek kazık grubunun kullanımını incelemiştir.

Trevi (1994), elastisite modülüyle jet grout kolonlarının tek eksenli basınç dayanımları arasındaki bağı araştırmıştır ve yaptığı çalışmalarda siltli ve siltli kumlu zeminlerden elde edilen örnekleri kullanmıştır. Deneyle sonuçunda tek eksenli basınç mukavemeti-elastisite modülü grafiğini oluşturmuş ve jet grout kolon dayanımının elastisite modülü ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir.

Randolph (1994), uygun tasarım yapıldığı zaman elastik radyenin göreceli olarak en az düzeyde farklı oturmalar yapacağını belirtmiştir.

Randolph ve Horikoshi (1996), yaptıkları santrifüj testleri sonucunda üniform yayılı yük yüklenmiş elastik radye temel altında temel taban basıncının oluşması durumunda, radyede oluşacak oturmaların büyük ölçüde azaldığı görüşünü ortaya koymuştur.

Durgunoğlu (1998), jet grout ile zemin iyileştirmesi yapılmış bir zemin üzerine inşa edilen 4 katlı bir yapıyı zemin ile birlikte incelemiştir. Çalışmada zemin iyileştirmesi için kazıklı temel veya alternatif olarak jet grouting yönteminin kullanılması düşünülmüş, ekonomik ve hızlı olması sebebiyle jet grouting yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca çalışmada jet grout zemin iyileştirme yönteminin uygulama prosedürü ve parametrelerine değinilmiştir. Uygulama sonrası, uygulamanın kalitesini ölçmek amacıyla kolonların çapı ölçülmüş ve basınç dayanımlarını ölçmek üzere kolonlardan karot örnekler alınmıştır.

Omine (1999), çimento içerikli taş kolonlar ile iyileştirilmiş zemin tabakasına, birkaç model testi uygulamış, eğimli yükleme durumunda yatay deformasyon ve düşey oturma durumlarını ölçmüştür. Yaptığı analizler ve testler sonucunda önerdiği metodun güçlendirilmiş zeminin taşıma kapasitesinin önceden hesaplanmasında katkısı olduğunu göstermiştir.

Wong (1999), Singapur'da bulunan sanat binasının inşasında yaklaşık olarak 18000 m²'lik bir alana sahip temel kazısında yaptığı çalışmada, kazı yan yüzeylerinin jet grout kolonlar ile güçlendirilmesinin kazı ile aynı yönde olan deformasyonları

azalttığını göstermiştir. Ayrıca iyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası oluşan sehimleri grafiksel olarak kâğıda dökmüştür.

Wong ve Poh (2000), jet grout kolonlarının, bitişik yapılarda bodrum katların kazısı esnasında yan yüzeylerdeki duvarlarda hareketi önleme amacıyla kullanılmasını incelemiştir. Çalışma sonucunda jet grout kullanımı ile deformasyonların ve momentlerin azaldığı böylece bitişik yapıların kazılardan etkilenme durumunun jet grout yöntemi sayesinde azaldığını gösterilmiştir.

Durgunoğlu (2002), İzmir Sanayi Bölgesi'nde inşa edilen bir fabrikanın jet grout ile zeminin iyileştirilmesini incelemiştir. 1. derece deprem kuşağında yer alan bir bölgede bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Fabrikanın temellerinde kazıkların, yapının zemine oturan döşemelerinde ise jet grout kolonlarının kullanılması uygun görülmüştür. Zemin iyileştirmesi esnasında kalite kontrolü amaçlı jet grout kolonlarından örnekler alınarak dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, Jet 2 isimli jet grout zemin iyileştirme yönteminin kullanılması uygun görülmüştür.

Gökalp ve Düzceer (2002), Aliağa'da bulunan doğalgaz hattının temelinde uygulanan jet grout zemin iyileştirme çalışmasını araştırmıştır. Yapılan analizlerde oturma değerlerinin beklenenden çok daha yüksek çıkması sebebiyle temel altı zeminin jet grout zemin iyileştirme metodu ile iyileştirilmesine karar verilmiştir. Çalışmada hangi jet grout tekniğinin kullanılacağı ve dizayn parametreleri belirlenmiştir.

Bell (2003), jet grout kolonlarından aldığı örnekleri tek eksenli basınç deneylerine tabi tutmuş ve basınç dayanımlarını belirleyip bununla ilgili güne bağlı basınç dayanımı grafiği oluşturmuştur.

Özsoy ve Durgunoğlu (2003), sıvılaşma riskini ve etkilerini azaltmak adına yeni bir hesaplama yöntemi önermiştir. Tavsiye edilen hesap metodu, birim alanda deprem anında meydana gelecek kayma gerilmelerinin üniform bir şekilde, kolonlar ve bu

elemanları sarmalayan zemin arasında kayma parçaları oranında dağılacağı kabulünü esas almaktadır. Bu çalışmada yapılan kabullerin sonlu elemanlar yöntemiyle kontrol edilmesi önerilmiştir.

Durguoğlu (2004), jet grout kolonlarının sıvılaşma ihtimalini azaltmada kullanımını bir örnek ile incelemiştir. Belirttiği metodun 1999 depremi öncesinde kısmen uygulandığı İzmit'te bulunan Carrefour-SA ticaret merkezinin incelenmesiyle yöntemin geçerliliğinin ispatlandığını ortaya koymuştur.

Bzowka (2004), jet grout zemin iyileştirme yönteminin sayısal analizini yapmıştır. Yaptığı analizlerde jet grout kolonlarına gelen yüklerin ve meydana gelen oturmaların hesaplanabildiğini belirtmiştir. Çalışmasında problemi gerçek boyutlarıyla modellemiş ve numerik analizlerinde Mohr-Coulomb yöntemini kullanmıştır. Jet grout kolonunu ve zemin ortamını ayrı ayrı modellemiş ve analiz sonuçları ile deneysel verileri karşılaştırmıştır.

Doğu (2006), belirli yerlerde yapılan jet grout çalışmalarından numuneler alarak bu numunelerin dayanımlarının, zeminin ince dane yüzdesinden ve SPT vuruş sayısından ne kadar etkilendiğini incelemiştir. Çalışma sonucunda zemindeki ince dane yüzdesi ve SPT vuruş sayısına göre jet grout kolonlarının dayanımlarının belirlenebileceğini ortaya koymuştur. Belirlediği alanlar ile SPT vuruş sayısı ve zemindeki ince dane miktarına göre kolonların serbest basınç dayanımını gösteren bir grafik oluşturmuştur.

Sert ve Önalp (2007), Kayseri'de yapılan bir dolgu çalışmasını esas alarak oturmaların hesaplanması, izlenmesi ve jet grout kolonları aracılığıyla devam eden oturmaların azaltılması üzerine çalışmıştır.

Sert (2007), İstanbul Beylik Mandıra civarında yapılacak köprü için köprü ayağı altında meydana gelecek oturmaların optimum seviyelere getirilebileceğini yapılan numerik analizler ile göstermiştir.

Tschuchnigg ve Schweiger (2008), jet grout kolonlarının kazık veya kazıklı radye temellere bir alternatif olabileceğini ve jet grout yönteminin daha ekonomik olduğunu belirtmiştir. Jet grout tasarımı için iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile çözümün, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm kadar hassas sonuçlar vermeyeceğini ancak 3 boyutta çok sayıda jet grout kolonunun modellenmesinin karmaşık olduğunu ortaya koymuştur. Jet grout tasarımı için numerik metotların kullanımının gün geçtikçe arttığını bildirmiş ve yaptıkları sayısal analizler sonrasında yayılı yük altında bulunan jet grout kolonlarının analizlerinde iki boyutlu düzlem deformasyonu modeli ile üç boyutlu kazık modellerini kullanıp karşılaştırmasını yapmıştır.

Küsin (2009), jet grout zemin iyileştirme yöntemi ile iyileştirilen zeminlerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerini, jet grout kolonlarının dayanım duvarlarında kullanımı, birim hücre ve homojenleştirme yöntemiyle temel altında kullanımı gibi farklı uygulamalar üzerinde çalışarak yapmıştır.

Modoni ve Bzowka (2012), jet grout ile güçlendirilmiş radye temellerin analizini yapmıştır. Jet grout ve zemini sonlu elemanlar yöntemiyle modellemiş, yüke bağlı oturma grafiklerini elde etmiş ve analiz sonuçlarına göre jet grout ile güçlendirilmiş temelerde tasarım ölçütlerini araştırmıştır.

Algin (2013), jet grout kolon zemin etkileşiminin gerçekçi modellenmesini ve arayüz geometrisinin sistemin davranışa etkisini araştırmıştır. 3 boyutlu çok elektrotlu elektrik rezistivite sonuçlarını kullanarak görüntü işleme yöntemiyle elde ettiği zemin tabakaları üzerine jet grout modellemesi yapıp sonlu elemanlar yöntemi ile analizini yapmıştır. Analiz sonuçlarından elde ettiği veriler ile deneysel sonuçları birlikte ele alıp zemin-jet grout etkileşimi incelemiştir.

Sharma (2015), radye temellerin tasarımı için geoteknik analizler yapmıştır. Geoteknik parametrelerin radye temelin davranışı üzerindeki etkisini yaptığı deneyler ve analizler ile incelemiştir.

Algin (2016), jet grout ile güçlendirilmiş radye temellerin optimum tasarım kriterlerini araştırmıştır. Radye temellerin tasarım kriterleri ile jet grout kolonlarının tasarım esaslarını birlikte ele almıştır. Görüntü işleme yöntemini kullanarak elde ettiği zemin tabakalarına 3 boyutlu olarak tekil jet grout kolonunu yerleştirip sonlu elemanlar yöntemiyle bu karmaşık zemin-jet grout kolonu birleşiminin analizini yaparak jet grout destekli radyelerin optimum tasarım kriterlerini elde etmiştir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında, jet grout kolonlarla güçlendirilmiş zeminler üzerine oturan plak temellerin tasarım ilkeleri araştırıldığından çalışmanın temel materyalini jet grout zemin iyileştirme yöntemi ve radye temeller oluşturmuştur. Bu bölümde radye temellere değinilip çalışmanın en temel noktalarından birini oluşturan jet grout yönteminin tanımı, tasarımı, uygulama alanları, uygulama için gerekli ekipmanlar ve jet grout hesap yöntemleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Jet grout yönteminin plak (radye) temeller ile olan etkileşimi ve tasarım esasları ise “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde işlenmiştir.

3.1.1. Plak (radye) temeller

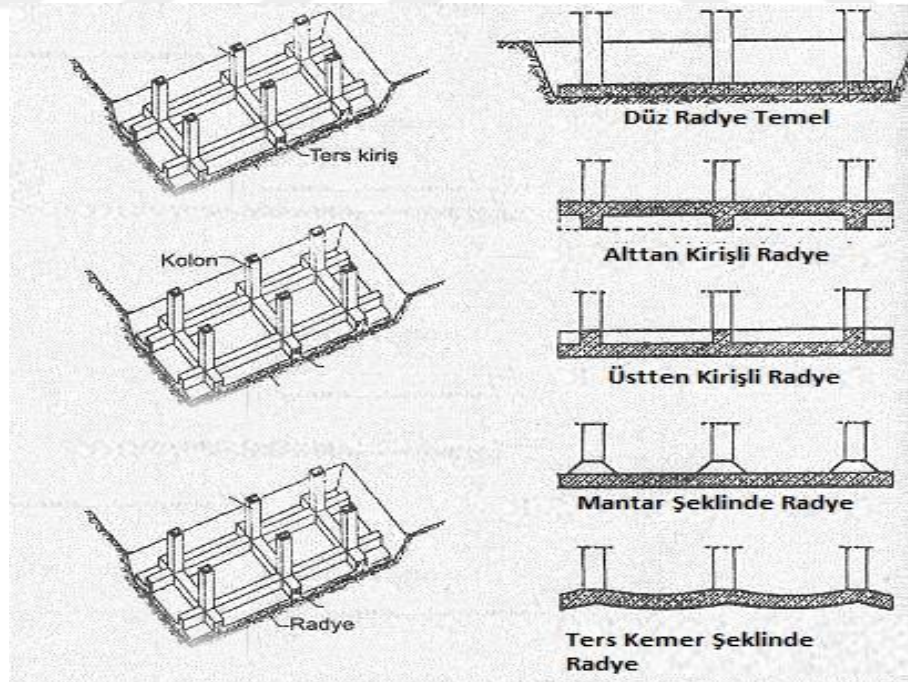
Yapıdan gelen yükleri güvenli bir biçimde zemin tabakasına aktaran yapı elemanları temel olarak nitelendirilir. Kolon, perde gibi taşıyıcı elemanlar, doğrudan zemine oturtulamazlar çünkü bu taşıyıcı elemanların dayanımı zemine göre oldukça yüksektir. Örneğin kolonların doğrudan zemine oturtulması durumunda kolon zemini zımbalar ve zemine saplanır. Zemindeki gerilmeyi düşürmek amacıyla taşıyıcı elemanların alt ucu ile zemin arasına kesit alanı taşıyıcı elemanınkinden çok daha büyük kiriş, plak vb. elemanların yerleştirilmesiyle temeller oluşturulur. Temeller sadece zeminde oluşan gerilmeyi zeminin taşıyabileceği seviyeye getirmez ayrıca taşıyıcı elemanın altında zeminde oluşacak oturmayı sınırlandırarak üst yapının zarar görmesini de önler. Gelen yükün büyüklük derecesine, zemin çeşidine, zeminin taşıma gücüne göre uyarlanmış temel çeşitleri bulunmaktadır. Duvar altı temeli, tekil temel, birleşik temel, sürekli temel ve radye temeller yüzeysel temel sınıflandırmasına girerken ayak temeller, kazıklı temeller ve keson temeller derin temel sınıfına girer.

Radye temeller, emniyet gerilmesi düşük olan zeminlerde, dolgu zeminlerde, çok sıkışabilen zeminlerde ve temele oturacak taşıyıcı elemanların birbirine çok yakın

olduğu durumlarda tercih edilen bir temel tipidir. Yapının zeminini tamamıyla kaplayan ve tersine çalışan bir döşeme üzerine oturtularak yapılır. Kirişsiz (düz) radye ve kirişli radye temel olmak üzere iki ana çeşidi vardır.

Kirişsiz düz radye temellerde, inşa edilecek yapının tüm kolonlarının altına bütün inşaat alanını örten kalın bir plak yapılır ve kolonlar plağa doğrudan oturtulur, böylece kirişsiz radye temel oluşturulmuş olur. Kirişsiz radye temelin plak kalınlığı en az 30 cm olmalıdır. Bina yüksekliği arttıkça plak kalınlığı da belirli bir oranda artış gösterir. Örneğin bazı gökdelenlerin plak kalınlıklarının 250-300 cm civarındadır.

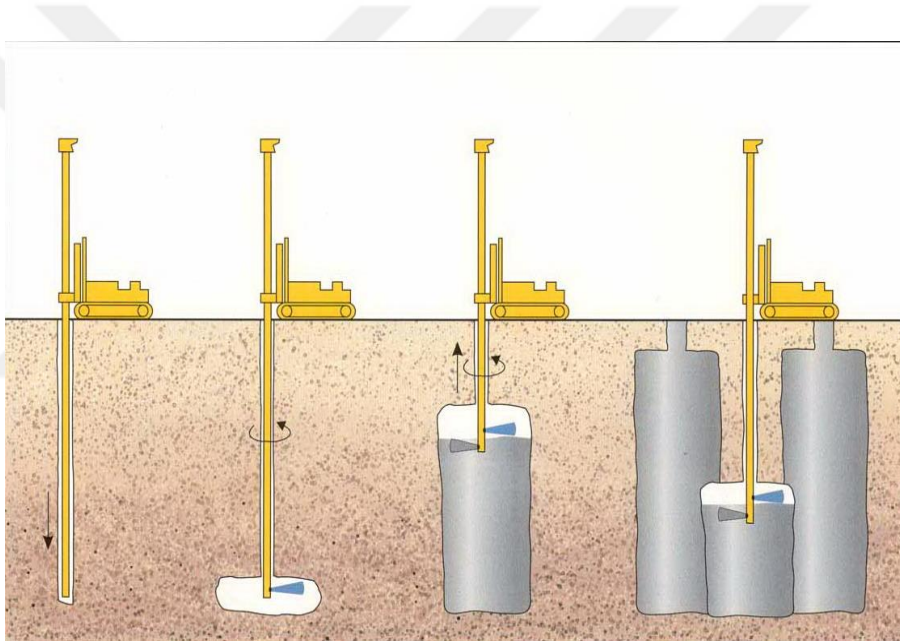
Kirişli radye temellerde, inşa edilecek yapının tüm kolonlarının altına bütün inşaat alanını örten kalın bir plak ve plak üstüne de kirişler yapıp kolonlar bu kirişler üzerine oturtulur. Bu şekilde kirişli radye temel oluşturulmuş olur. Kirişli radye temelin plak kalınlığı en az 20 cm olmalıdır. Kirişli radye temeller, alttan kirişli, üstten kirişli, mantar şeklinde radye temel ve ters kemer şeklinde radye temel olmak üzere 4 çeşittir. Şekil 3.1.'de radye temel çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Radye temel çeşitleri

3.1.2. Jet grout zemin iyileştirme yöntemi

Jet grout zemin iyileştirme yöntemi, zemine kontrollü bir şekilde yüksek basınç ile pompalanan çimento akıtma jeti aracılığıyla, zemin içerisinde silindirik beton-zemin kolonlarının oluşturulması esasına dayanan bir yöntemdir. Beton-zemin karışımı aracılığıyla oluşturulan kolonlar ile zeminlerin iyileştirilmesi sağlanır. Şekil 3.2.'de jet grout kolonlarının oluşturulma yöntemi gösterilmiştir. Jet grout zemin iyileştirme yöntemi diğer zemin iyileştirme yöntemlerine göre birçok yönden daha avantajlı olduğundan tercih edilme oranı gittikçe artmaktadır. Hem hızlı hem de ekonomik bir yöntem olması tercih edilme oranını arttıran önemli sebeplerdendir.



Şekil 3.2. Jet grout kolonlarının oluşturulması

Jet grout kolonları; dolgu, döşeme ve temel altında taşıma gücü sağlamak, köprülerde oturmayı optimum düzeye getirmek, havuz, su deposu ve su yapılarında donatı ile birlikte çekme elemanı olarak kullanılmak, kazılarda yanal zemin itkilerini almak, şev stabilitesi için zemin takviye elemanı olarak kullanılmak, sıvılaşma sonucu oluşacak yanal ve düşey deformasyonları sınırlandırmak vb. amaçlar için kullanılırlar (Durgunoğlu, 2004). Jet grout yönteminin her türlü zemine ve istenilen derinliğe uygulanabilir olması, hızlı, ekonomik, güvenilir olmasının yanı sıra mevcut olan

yapılara da uygulanabilmesi, jet grout zemin iyileştirme yöntemini ön plana çıkarmıştır.

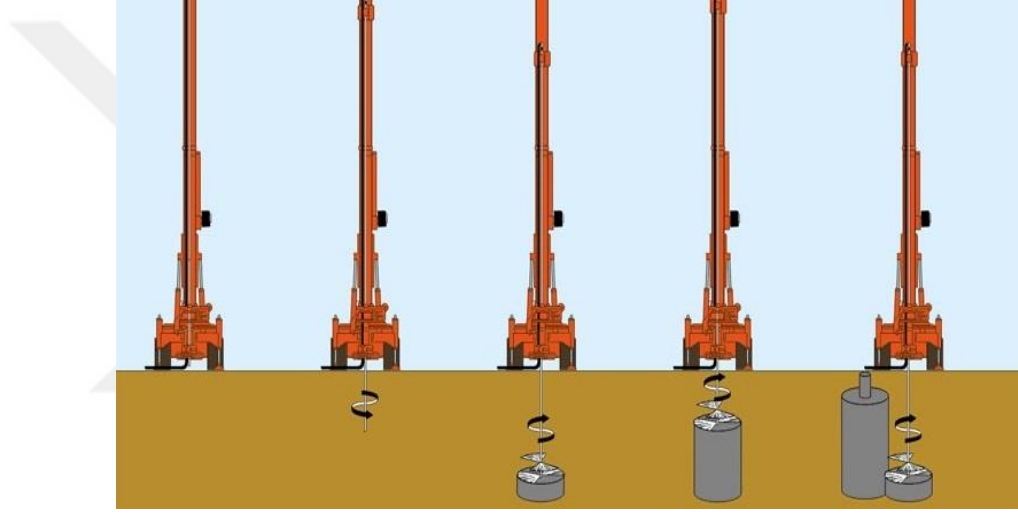
3.1.2.1. Jet grout yönteminin tasarım esasları ve uygulanması

Jet grout tasarımı arazi ortamında ulaşılan tecrübelerden faydalanılarak yapılmaktadır. Tasarımda ekonomik ve güvenli bir sonucu elde etmek için, detaylandırma iyi yapılmalı ve yöntem seçimine dikkat edilmelidir. Zemin ile ilgili tüm bilgilerin toplanması, yüklerin hesaplanması, yükleme koşullarının belirlenmesi, zeminin modellenmesi iyi bir sonuç almak için gereken önemli faktörlerdendir. Tasarımcının; zemin tipi ve parametrelerini, enjeksiyon özelliklerini, katkı malzemelerini, donatı çeşidi ve geometrisini belirlemesi gerekmektedir. Taşıyıcı olarak tasarlanan kolonların hesapları tekil kazık taşıma gücü hesap esasları ile benzer şekilde yapılır. Çimento-zemin birleşimindeki alanda, karot deneyleri ve işletme parametreleri ve zemin cinsi de dikkate alınarak güvenli tarafta kalacak biçimde bir gerilme değerine ulaşılması sağlanır. Jet grout tasarımı yapılmadan önce deneme kolonu oluşturulur ve detaylı saha araştırmasıyla beraber arazi testleri yapıp malzeme özellikleri tasarımcı tarafından belirlenir. Daha sonraki aşamada ise jet grout kolonunun değişen geometrisi dikkate alınarak tasarım yapılır ve yapılan analizler sonrası elde edilen verilerin oturma, moment arazi testlerine göre en uygun oturma miktarlarıyla karşılaştırılır.

Jet grouting yöntemi delgi ve enjeksiyon olmak üzere iki temel aşamadan oluşur. Ülkemizde uygulama için TS EN 12716 Özel Geoteknik Uygulamalar-Jet Enjeksiyon yönetmeliği dikkate alınmaktadır. Uygulamanın sorunsuz yapılabilmesi için inşaa alanı kuru tutulmalı ve kullanılacak ekipmanlar ortam şartlarına göre en uygun şekilde çalışacak duruma getirilmelidir. Çalışılacak alanın kuru kalması için çalışma alanında yüzey drenaj sistemleri kullanılmalıdır. Uygulamada öncelikle zemin küçük bir çapta sondaj tijiyle delinir. Nozzlelar oluşturulacak jet grout kolonunun en alt noktasına ulaştığında delme işlemi sona erer. Delme işleminin bitmesinden sonra tijler kendi etrafında döndürülerek yukarı çekilirken bu esnada zemine nozzlelardan yüksek basınçta grout enjekte edilir. Jet grout kolonu, ilk aşamada belirlenmiş en üst seviyeye

geldiğinde enjeksiyon işlemi bitirilir. Zeminin cinsi, nozzle çapı, jet enjeksiyon tijinin çekme hızı, enjeksiyon şerbetinin bileşimi, jet enjeksiyon tijinin içindeki akışkanın basıncı ve jet enjeksiyon tijinin içindeki akışkanın debisi, jet grout kolonunun özelliklerini belirleyen parametrelerdir.

Jet grout kolonlarının oluşturulmasında birçok etken parametre bulunduğundan herhangi bir parametrenin yanlış etki ettirilmemesi için, her aşamada titizlikle çalışılmalıdır. Şekil 3.3.'te jet grout yönteminin adım adım uygulama aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Jet grout yönteminin uygulama aşamaları

3.1.2.1.1. Jet grout yöntemi delgi aşaması

Delinecek zeminin özelliklerine bağlı olarak delme işleminin çeşidi seçilir. Delme esnasında, uç takımının soğutulması, zeminin enjeksiyona hazırlanması, delme işleminin kolaylaştırılması gibi sebeplerle çeşitli akışkanlar kullanılır. Su, hava çimento şerbeti ve bentonit şerbeti bu akışkanlara örnek olarak gösterilebilir. Tij (delme borusu) olarak yüksek basınca dayanıklı jet grout tijleri kullanılır. Uç takımı olarak ise sert karakterli zeminlerde tricone, yumuşak karakterli zeminlerde kil bitleri kullanılır. Delgi aşaması jet grouting işleminin ilk aşaması olduğundan herhangi bir hataya sebebiyet vermemek için ekipmanların hatasız çalışıp çalışmadığı, kullanılan elemanların uyumluluğu başlangıçta kontrol edilmelidir.

3.1.2.1.2. Jet grout yöntemi enjeksiyon aşaması

Mikser, pompa, su tankı, dinlendirici, çimento silosu, basınç göstergeleri, vanalar ve hortumlar jet grout enjeksiyon elemanlarını oluşturmaktadır. Belirli oranlardaki su ve çimentonun mikserde karıştırılmasıyla enjeksiyon karışımı oluşur. Su/çimento oranı uygulama yapılacak alana göre ayarlanır. Bentonit karışımı ile geçirimsizlik durumu ve ince çatlakların doldurulması sağlanır. Mikserde hazırlanmış olan enjeksiyon bileşimi önce dinlendiriciye alınır, sonra pompa yardımıyla hortumlar aracılığıyla kuyuya verilir. Hazırlanan projede belirlenmiş olan derinliğe erişildiğinde su basma ve delme işlemi sona erer. Bu işlemin ardından yüksek basınca sahip grout pompalanmaya başlanır ve böylece yüksek hıza sahip olan grout zemini parçalayarak zemine karışır. Delen ekipmanın yaptığı dönel hareket sayesinde daire kesitli kolon formunda yapılar oluşur ve böylece zeminden farklı mekanik özelliklere sahip jet grout kolonu oluşmuş olur (Melegary ve Garassino, 1997). Oluşacak kolon kesitlerinin ebatları, nozzle çaplarına ve adetlerine, grout basıncına, çekme ve dönüş hızına, zemin özelliklerine, grout basıncına ve adedine bağlıdır.

3.1.2.2. Jet grouting teknikleri

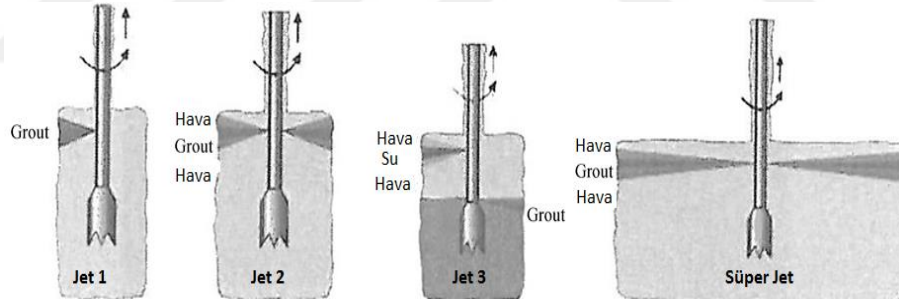
Jet 1, Jet 2, Jet 3 ve Süper Jet yöntemleri olmak üzere, kullanım şekillerine ve amaçlarına göre dört çeşit jet grouting tekniği bulunmaktadır.

Jet 1 tekniği en yaygın kullanılan ve en basit olan tekniktir. Zeminin çimentolanmasının ve parçalanmasının genel olarak grout ile sağlandığı ve sadece bir akışkanın yüksek enerji jeti halinde etki ettirildiği jet akıtma işlemidir.

Jet 2 tekniği zeminin çimentolanma durumunun ve parçalanmasının ikinci akışkan olarak hava jeti ve enerji seviyesi yüksek bir sıvı (genellikle grout) ile gerçekleştirildiği jet akıtma işlemidir. Basıncılı havanın kullanılması sürtünme kayıplarını nitekim azalttığından oluşan kolon çapları Jet 1 tekniğine göre oluşturan kolon çaplarının yaklaşık olarak 1.5 katı kadardır. Özellikle kohezyonlu zeminlerde jet 2 tekniği jet 1 tekniğine göre daha etkilidir.

Jet 3 tekniği zemin parçalanmasının yüksek enerjili bir su jetiyle, çimentolanmasının ise ayrı bir enjeksiyon bileşimiyle sağlandığı jet akıtma tekniğidir. Bu yöntem kohezyonlu zeminlerde en etkili yöntemdir ve bu teknikle jet grout kolonları 2 metreden daha fazla olan boyutlara ulaşabilir.

Süper Jet yöntemi büyük kolon çaplarını düşük maliyetle ve hızlı olarak elde edebilmek için geliştirilen yöntemlerden biridir. 3-5 metre çapa kadar ulaşan çimento-zemin karışımı kolonlar bu yöntemle elde edilebilir. Bu yöntemde tijlerin ucundaki yüksek çapa sahip nozzlelerden hava ile çimentolu harç karışımı yüksek basınçta püskürtülerek zeminin parçalanması sağlanır ve böylece zemin-çimento karışımı kolonlar elde edilir. Standart yönteme göre bu yöntemde tijlerin çekme ve dönme hızı daha azdır. Süper Jet yöntemi ile elde edilen kolon kesitlerinin normal yöntemlere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu yöntem geçirimsiz perde duvar üretimi, kazı yan yüzeylerinin desteklenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Şekil 3.4.'te Jet 1, Jet 2, Jet 3 ve Süper Jet yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Jet grouting tekniklerinin gösterilmesi

3.1.2.3. Jet grouting parametreleri

Oluşturulmak istenen kolon çapı, zemin özellikleri, kolon taşıma kapasitesi ve uygulanacak jet grouting tekniğine göre çalışma parametreleri seçilir. Enjeksiyon basıncı, dönme ve çekme hızı ve dozaj temel çalışma parametrelerdir. Üretime başlanmadan önce test kolonları imal edilir.

Enjeksiyon basıncı oluşturulmak istenen çapın elde edilmesinde en önemli parametrelerden biridir. Jet grout kolon çapı ile enjeksiyon basıncının doğrudan bir ilişkisi vardır. Basınç arttığı zaman oluşturulacak kolonun çapı da artar.

Dönme ve çekme hızı optimizasyonu, iyileştirilecek zemine ve kullanılacak jet grout tekniğine doğrudan bağlıdır.

Çalışılacak alana ve uygulanacak yönteme göre dozaj seçimi önemlidir. Doğru su/çimento oranının seçimi uygun kolon oluşturulması açısından dikkat edilmesi gereken hususlardandır.

3.1.2.4. Jet grouting ekipmanları

Delgi makinesi, çimento silosu, su deposu, enjeksiyon pompası, monitör ve mikser ünitesi temel jet grout ekipmanlarıdır.

Projede istenilen derinliğe kadar delgi yapabilen kapasiteye sahip cihaz delgi makinesidir. Şekil 3.5.'te jet grout delgi makinesi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Jet grout delgi makinesi

Pompa ünitesi, enjeksiyonu istenen çapta jet grout kolonu oluşturacak basınçta basabilen ve yüksek basınçlı pompadan oluşan ünedir. Jet grout kolonlarının oluşturulmasında uzun süreli çalışabilen pompalar kullanılır.

Mikser ünitesi, elektronik olarak istenen karışım oranında enjeksiyon karışımı hazırlayabilen mikser ve dinlendiriciden oluşan ünedir.

Çimento silosu, en az 50 ton kapasiteye sahip çimento depolayabilen ve aynı zamanda mikser ünitesini yeterli seviyede besleyebilecek ünedir. Şekil 3.6.'da çimento silosu gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Çimento silosu

Monitör, tekli sistemde enjeksiyonu jet haline getiren dairesel püskürtücüleri, ikili (hava ve enjeksiyon) sistemde enjeksiyon ve havayı aynı anda jet haline getiren püskürtücüleri, üçlü sistemde ise suyla havanın aynı anda jetlenmesi esnasında enjeksiyonun da gönderilmesini sağlayan püskürtücüleri içeren ünedir.

3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında, jet grout kolonlarla güçlendirilmiş zeminler üzerine oturan plak temellerin tasarım ilkelerini araştırmak için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan Abaqus ve Plaxis 3D programı ile oluşturulmuş modellerden elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalardan yararlanarak gerçek deney verileri, arazi testleri ve başka sonlu eleman modellerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan her iki program için de elde edilen veriler, gerçek deney verileri, arazi testleri ve başka sonlu eleman modelleri ile kıyaslanmış ve sonuçlar incelenerek en uygun sonucu veren program üzerinde ana çalışma modellenmiştir. Elde edilen verilere göre sonuçların karşılaştırılmasına bu tez çalışmasının “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde yer verilmiştir.

3.2.1. Sonlu elemanlar yöntemi

Sonlu Elemanlar Yöntemi, kısmi diferansiyel denklemler ile ifade edilen farklı mühendislik problemlerine kabul edilebilir çözümler arayan bir sayısal yöntemdir. Yöntemde ilgilenilen alan sonlu eleman birliği olarak ifade edilir. Bu yöntemle katı ve sıvı mekaniği, elektromanyetizma, akustik, biyomekanik gibi çeşitli alanlardaki problemlere çözüm bulunabilir. Sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak gerilme analizi problemleri için uygulanmıştır. Yöntem lineer ve lineer olmayan problemlere, düzgün olmayan geometrilili sistemlere ve karmaşık sınır koşullarına sahip olan sistemlere uygulanabilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminde analiz edilecek yapı davranışı daha önceden belirlenmiş elemanlara bölünür ve bu elemanlar nod adındaki noktalarda birleştirilerek bir denklem takımı oluşturur. Çok karmaşık denklem sistemleri olduğundan bu sistemlerin çözümü bilgisayar aracılığı ile yapılabilmektedir. Oluşan denklem takımının bilgisayarlar aracılığıyla çözümü ile sistem çözülmüş olur.

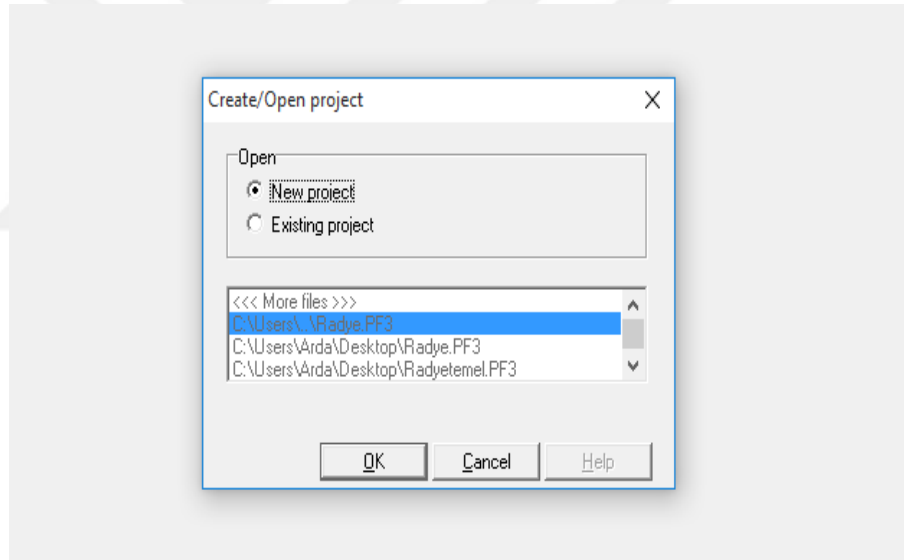
3.2.1.1. Plaxis 3D programı

Plaxis 3D programı geoteknik problemleri çözmek amacıyla, deformasyon ve stabilize analizi için geliştirilmiş sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir programdır.

Analizi yapılacak her bir proje için öncelikle geometri modeli oluşturulmalıdır. Ardından tanımlamalar yapılarak analiz işlemine hazırlanılır. Mesh işlemi ve yüklerin girilmesi tamamlandıktan sonra analiz başlatılıp sonuçların oluşması beklenir. Analiz bittikten sonra elde edilen sonuçlar irdelenir ve sonuçların doğruluğu literatürden yararlanarak doğrulanır. Analiz sonucu elde edilen sonuçların gerçek dışı olduğu kanısına varılır ise tasarım ve model tekrar kontrol edilir, sistemi çözmek için yeni bir model veya analiz metodu seçilebilir.

3.2.1.1.1. Plaxis programının kullanımı

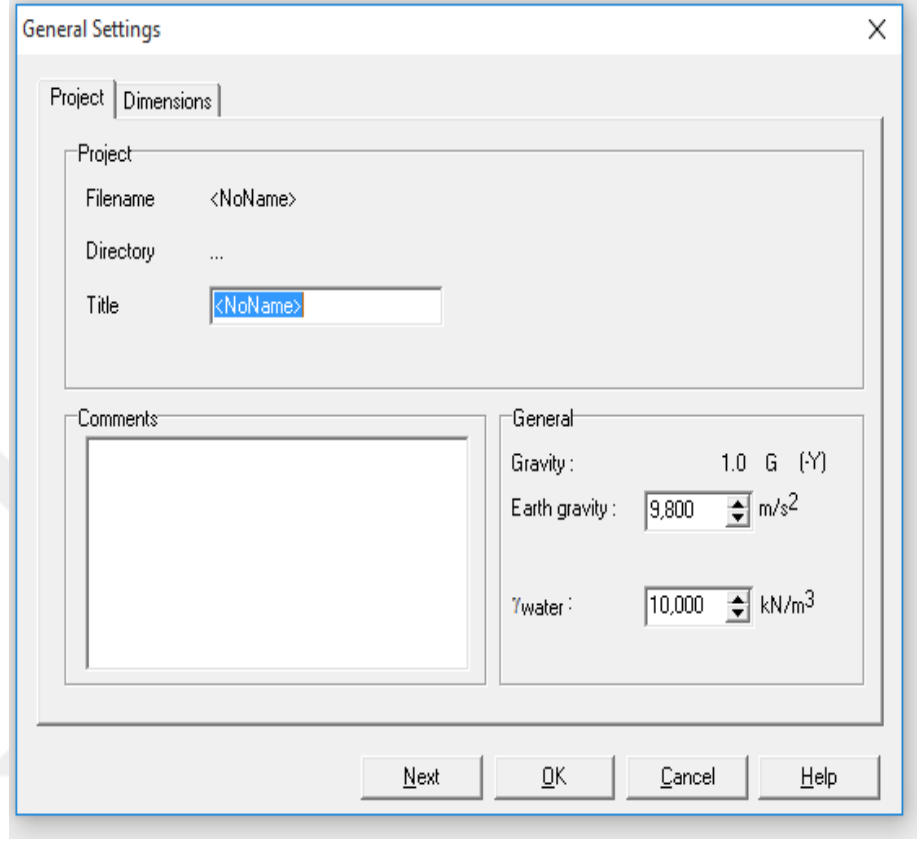
Plaxis 3D programı başlatıldığı zaman yeni bir proje oluşturulması için bir giriş ekranını kullanıcının karşısına çıkarır. Şekil 3.7.'de giriş ekranı gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Plaxis 3D programı başlangıç ekranı

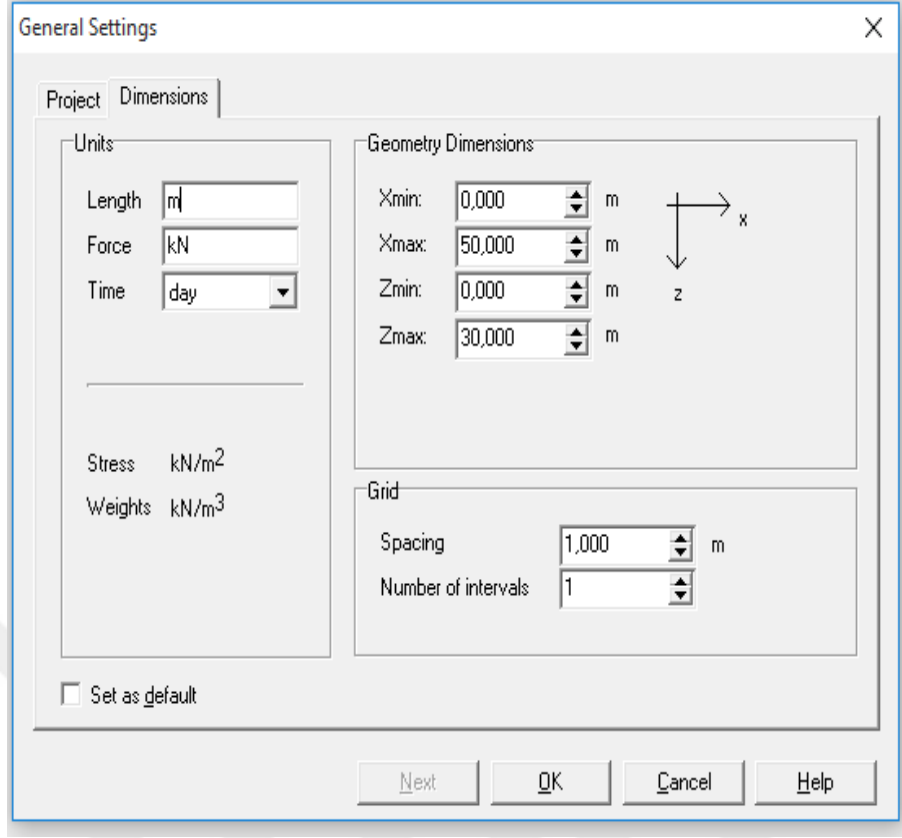
Create/Open Project menüsünde “New Project” seçilerek yeni bir proje oluşturulabilir ya da var olan üzerinde daha önce çalışılmış bir proje “Existing Project” seçeneği seçilerek daha önce çalışılan proje tekrar açılabilir ve çalışmaya kalınan yerden devam edilebilir. Yeni bir proje oluşturmak için seçilen “New Project” seçeneğini seçilip “OK” butonu tıklandığında ise program yeni bir pencere açar ve proje özelliklerini kullanıcıdan girmesini ister. Programın ilk sekmesi olan Project

sekmesinde proje adı, yer çekim ivmesi ve suyun birim hacim ağırlığı değerlerinin girilmesi istenir. Şekil 3.8.'de programın “General Settings” penceresi görülmektedir.



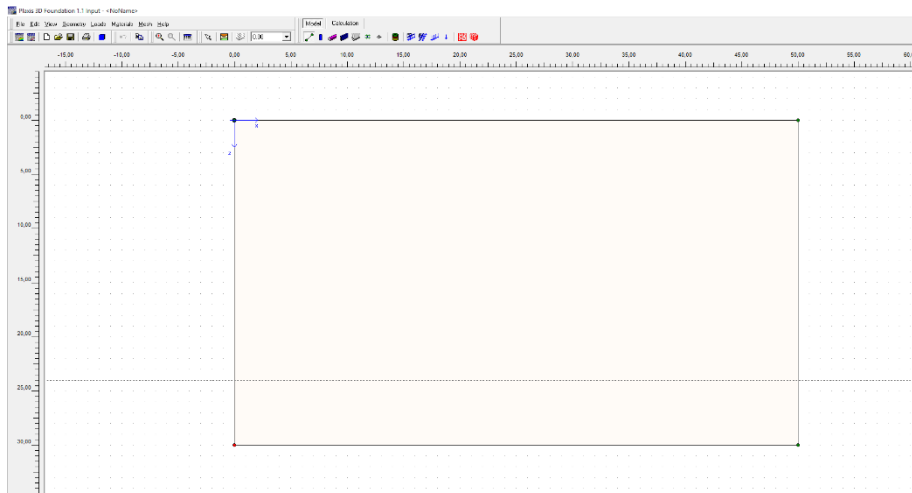
Şekil 3.8. Plaxis 3D programı genel ayarlamalar

“Dimensions” sekmesinde ise model boyutları birimler ile ilgili ayarlar bulunur. Uzunluk, kuvvet, zaman ve model boyutlarının belirlenmesi bu sekmedeki ilgili bölümlerden yapılır. Bu bölüme geçildiğinde çalışma alanının boyutlarına karar verilmiş olunmalıdır. Belirlenen alan boyutlandırmasının programa girilip onaylanması ile istenen özelliklere sahip çalışma alanı açılmış olur. Çalışma alanı oluşturulurken program x ve z yönlerinde veri girilmesini isterken aynı zamanda x ve z yönlerinin şematik gösterimini ekrana getirir. Böylece hangi yönün hangi eksene ait olduğu kolayca anlaşılabilir. Pencerenin sağ alt köşesinde bulunan help butonu ile yardım bölümüne ulaşılabilir. Şekil 3.9.'da “Dimensions” sekmesine ait özelliklerin bulunduğu pencere ekranı görülmektedir.



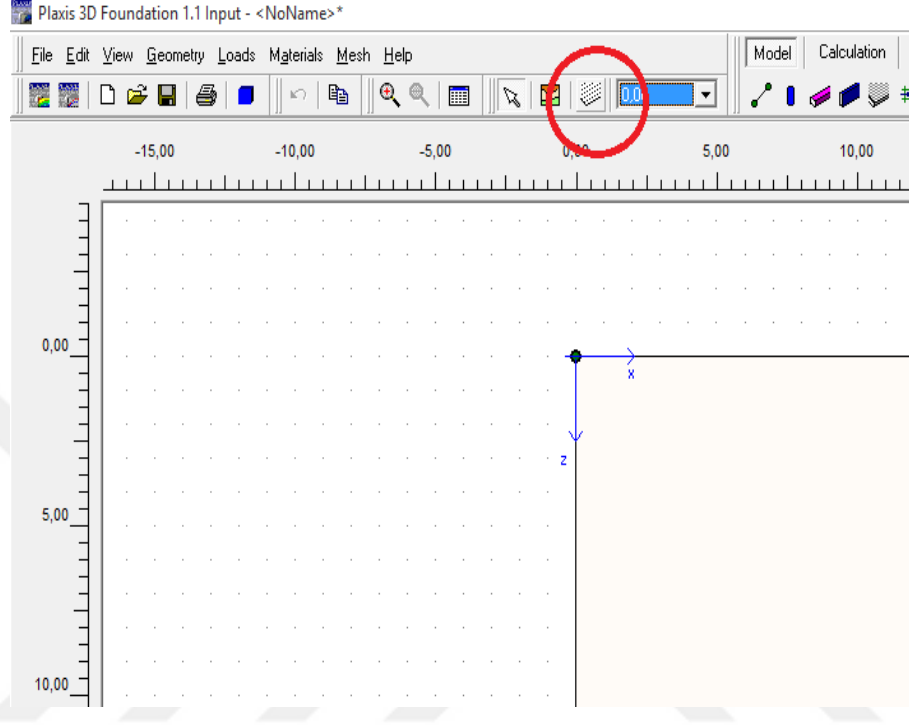
Şekil 3.9. Plaxis 3D boyutlandırma ekranı

Boyutlandırma işlemi bitirilip onaylandığında proje için çalışma ekranı ortaya çıkar. Şekil 3.10.'da proje çalışma ekranı ilk açıldığında ortaya çıkan görüntü gösterilmektedir.



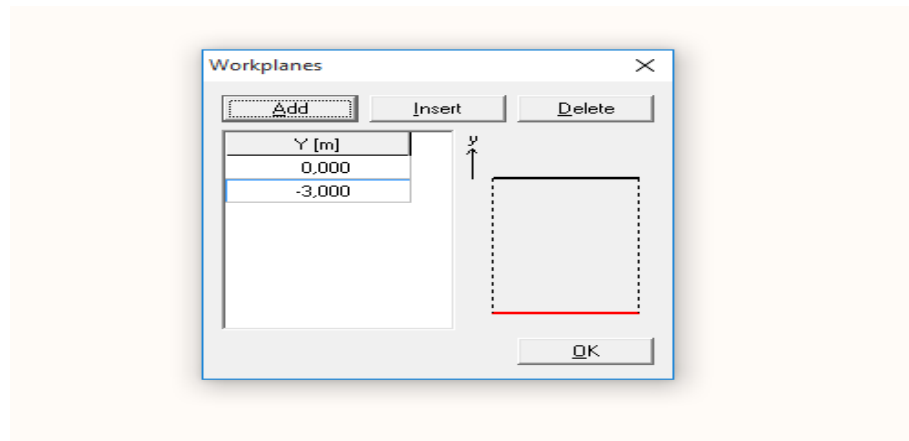
Şekil 3.10. Plaxis 3D programı ilk çalışma ekranı

Çalışma sayfası oluşturulduktan sonra butonlar yardımıyla tasarıma başlanabilir. "Workplanes" butonu ile çalışma düzlemi oluşturulabilir. Şekil 3.11.'de çalışma düzlemi butonu gösterilmiştir.



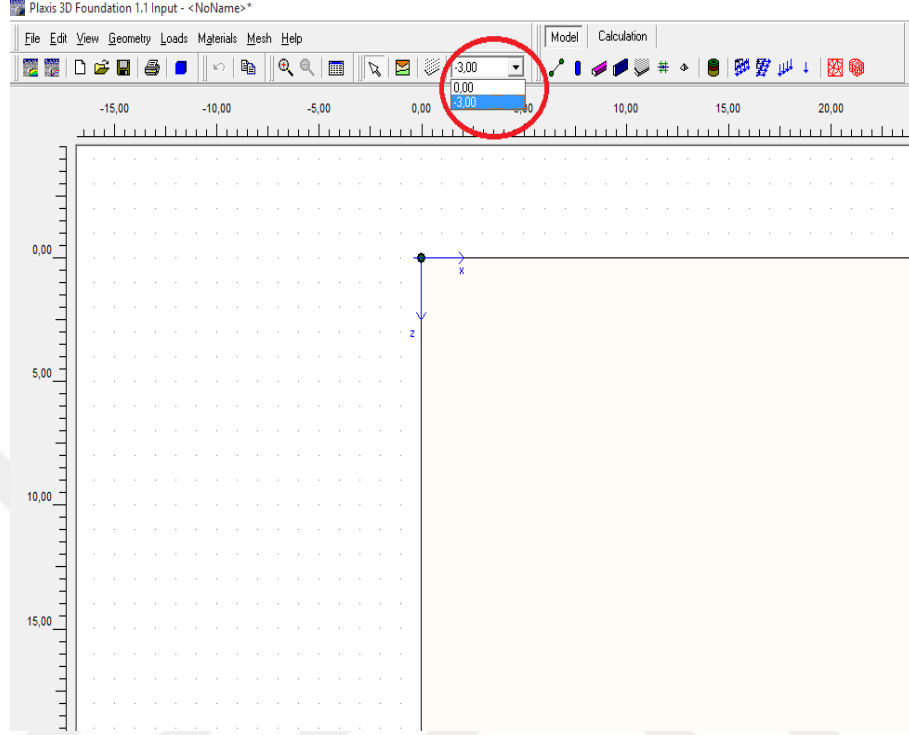
Şekil 3.11. Plaxis 3D programı çalışma düzlemi oluşturma

Çalışma düzlemi butonuna tıklandığında bir veri giriş penceresi açılır. Bu pencere Şekil 3.12.'de gösterilmiştir.



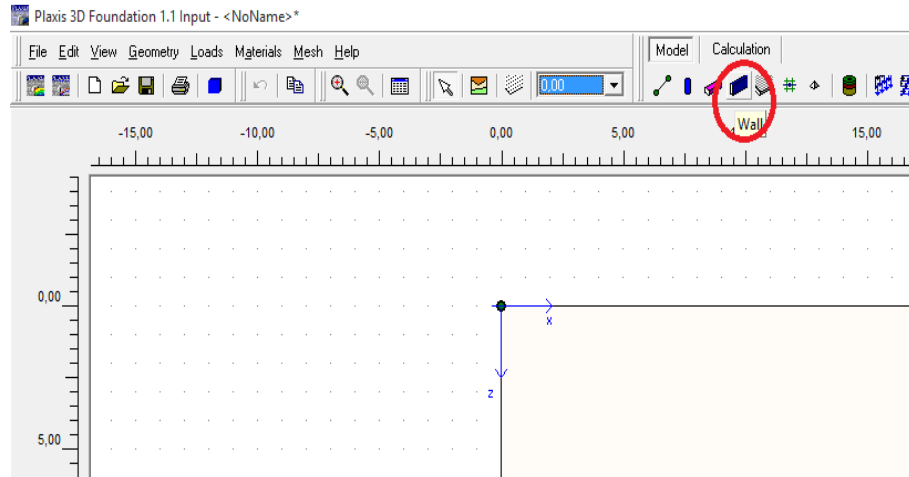
Şekil 3.12. Plaxis 3D programı çalışma düzlemi giriş penceresi

Çalışma düzlemi eklendikten sonra programın sol üst bölümünde bu çalışma düzlemleri görüntülenebilir. Şekil 3.13.'te çalışma düzlemleri gösterilmiştir.



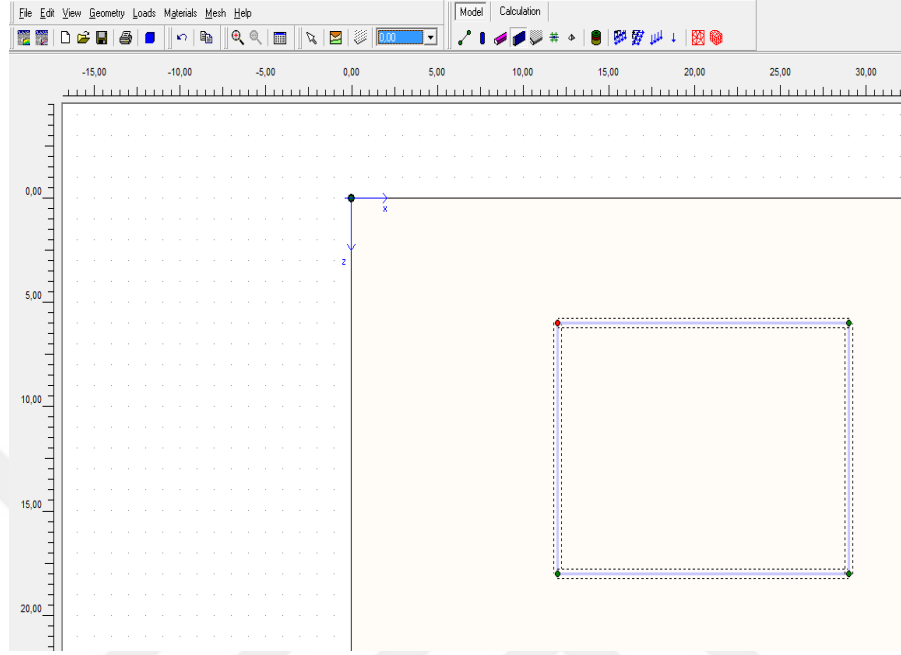
Şekil 3.13. Plaxis 3D programı çalışma düzlemleri

Çalışma düzlemleri oluşturulduktan sonra tasarım için gerekli çizimler yapılabilir. Şekil 3.14.'te duvar çiziminin araç çubuğundaki yeri gösterilmektedir.



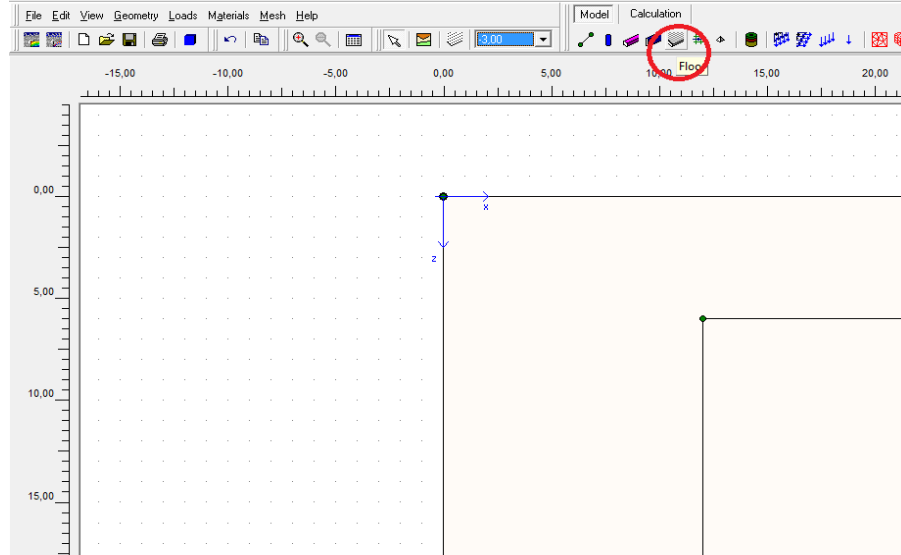
Şekil 3.14. Plaxis 3D programı duvar çizimi butonunun konumu

Duvar çizimi yapabilmek için gerekli işlemler tamamlandıktan sonra Şekil 3.15.’teki gibi bir görünüm elde edilir.



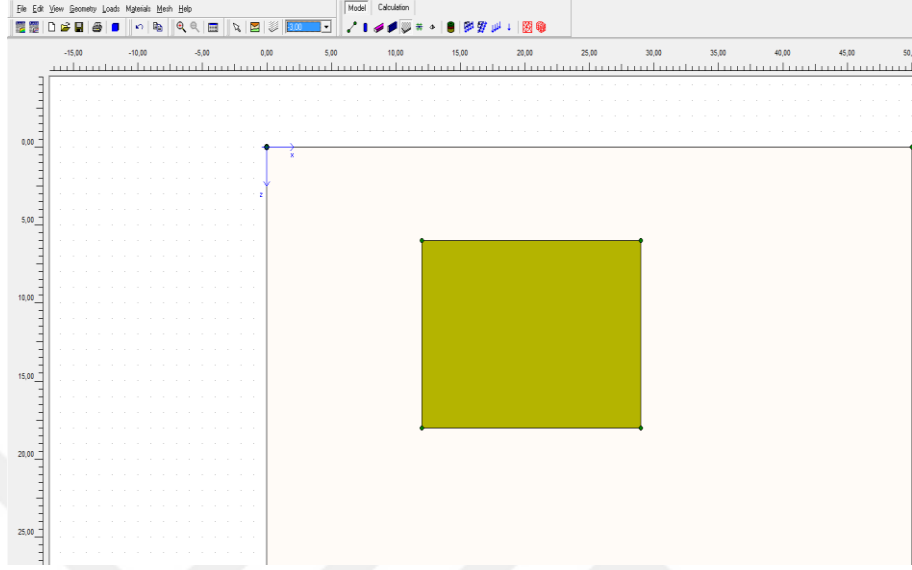
Şekil 3.15. Plaxis 3D programı tamamlanmış bir duvarın görüntüsü

Yüzey atama işlemi için Şekil 3.16.’da gösterilen “Floor” butonu kullanılabilir. Bu butona tıklanıp yüzey atanacak alan seçilmelidir.



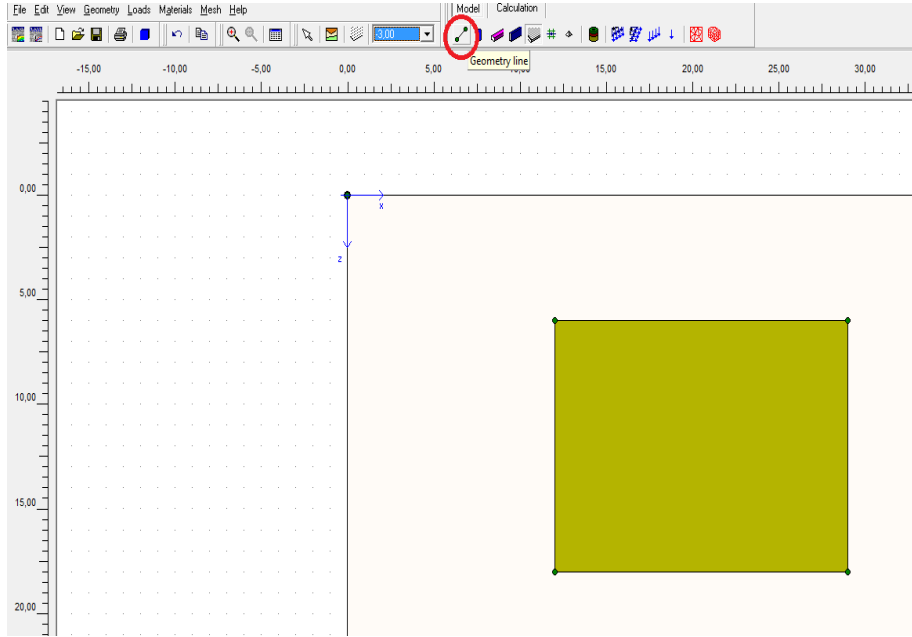
Şekil 3.16. Plaxis 3D programı yüzey oluşturma butonunun konumu

Yüzey eklendikten sonra programın ara yüzünde Şekil 3.17.'deki gibi bir görünüm oluşur.



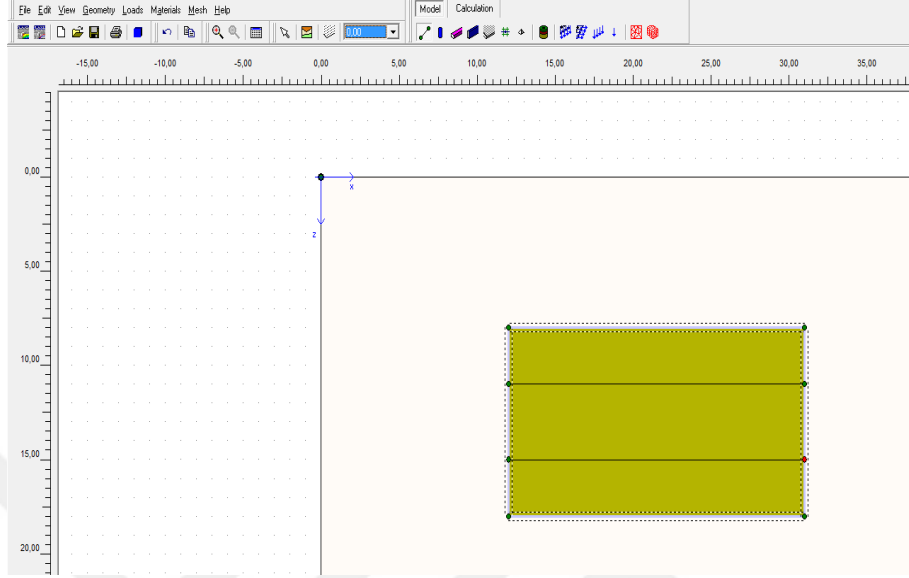
Şekil 3.17. Plaxis 3D programında oluşturulmuş yüzey

Programda yüzeye noktasal yük etkitebilmek için geometri çizgileri eklenmelidir. Şekil 3.18.'de geometri çizgisinin eklenmesi gösterilmiştir.



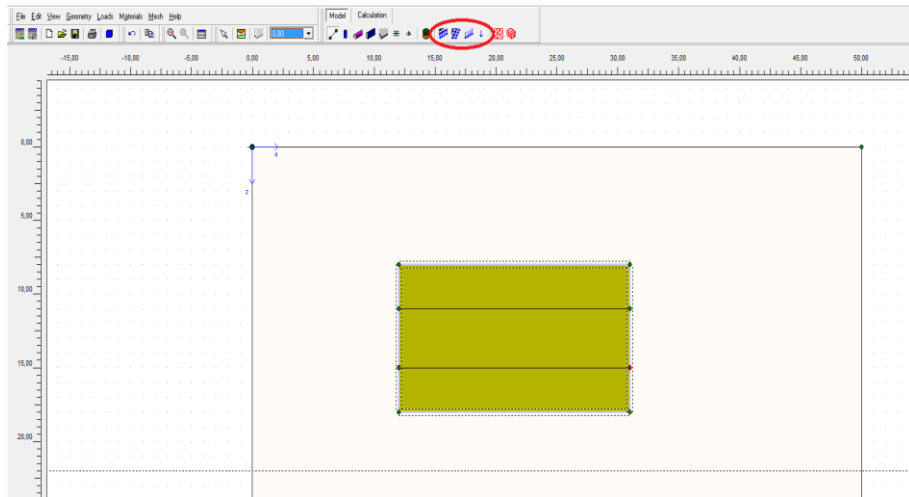
Şekil 3.18. Plaxis 3D programında geometri çizgisinin modele eklenmesi

Geometri çizgileri eklendikten sonra programda Şekil 3.19.'daki gibi bir görüntü oluşur.



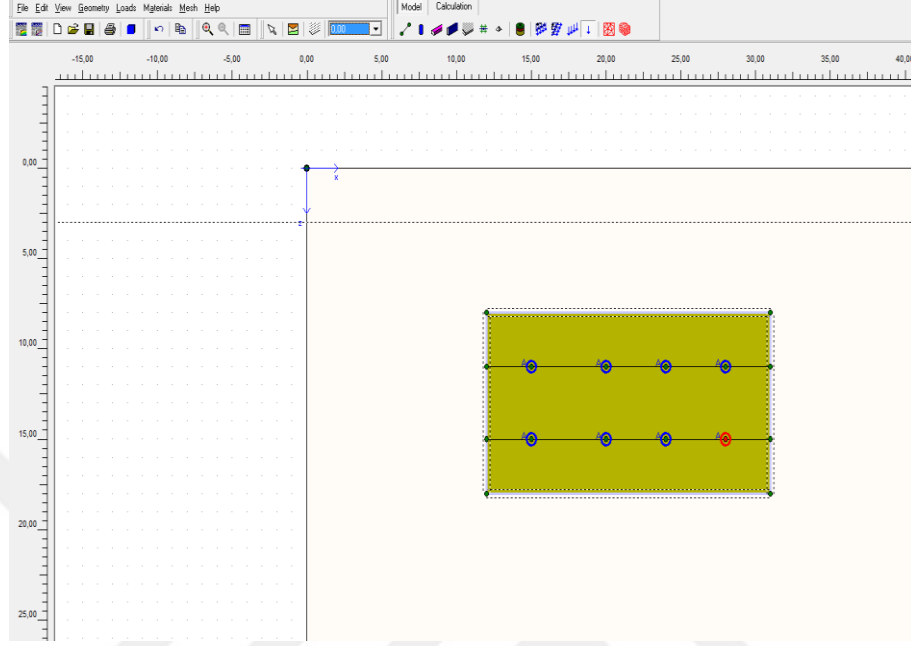
Şekil 3.19. Plaxis 3D programı geometri çizgilerinin eklenmesiyle oluşan görüntü

Geometri çizgileri programa eklendikten sonra çizgiler üzerinde istenilen yere noktasal yük ataması yapılabilir. Üst menüden yayılı yük, noktasal yük gibi seçeneklerden tasarım için uygun olan yük seçimi yapılır. Şekil 3.20.'de yük ekleme araç çubuğu gösterilmiştir.



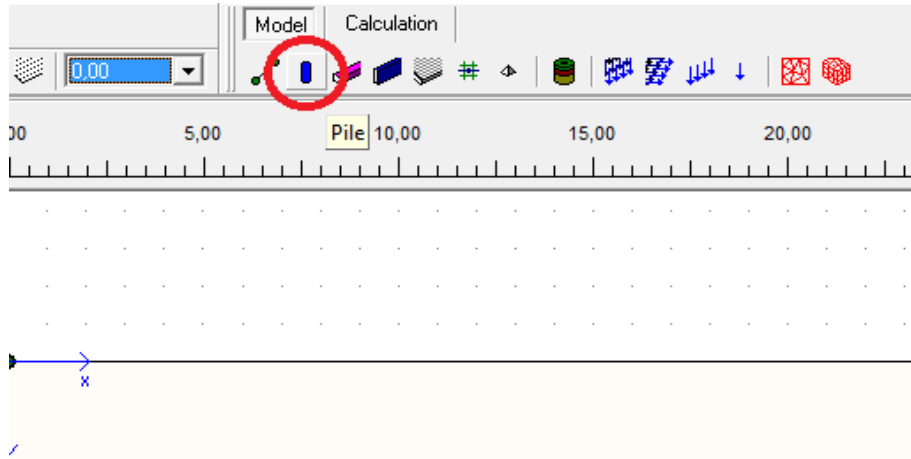
Şekil 3.20. Plaxis 3D programı yük ekleme araç çubuğu

Yük ekleme araç çubuğundan noktasal yük seçilip eklendiğinde Şekil 3.21.'deki gibi bir görünüm elde edilir.



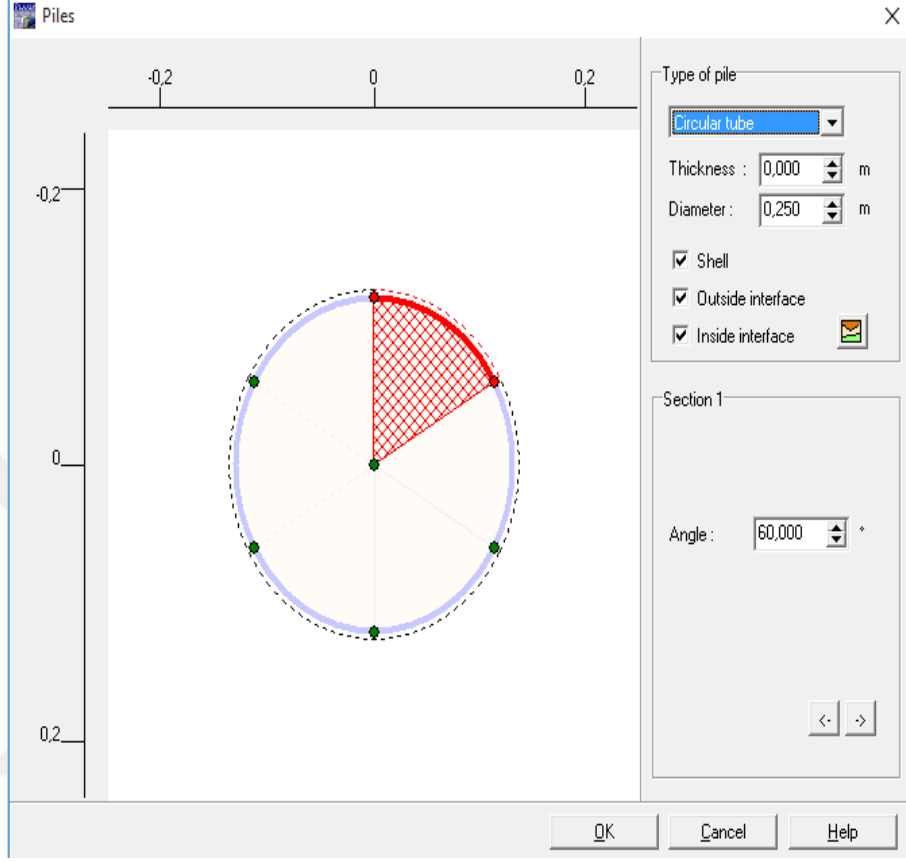
Şekil 3.21. Plaxis 3D programı noktasal yüklerin eklenmesi

Noktasal yük dışında yayılı yük, çizgisel yük gibi çeşitli yükler araç çubuğunda bulunmaktadır ve benzer şekilde tasarıma eklenebilir. Kazıklı bir sistem üzerinde çalışılıyor ise programda tasarıma kazık eklenebilir. Şekil 3.22.'de kazık eklemek için gerekli butonun konumu gösterilmiştir.



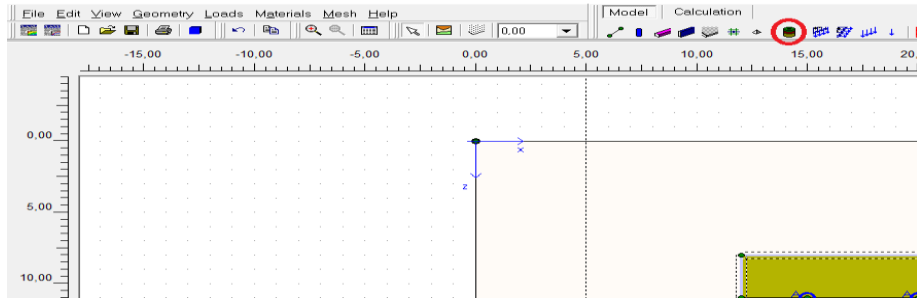
Şekil 3.22. Plaxis 3D programı kazık ekleme butonu

Kazık eklemek için “Pile” butonu tıklandığında kazık özelliklerinin girilmesi için Şekil 3.23.’teki gibi bir pencere açılır.



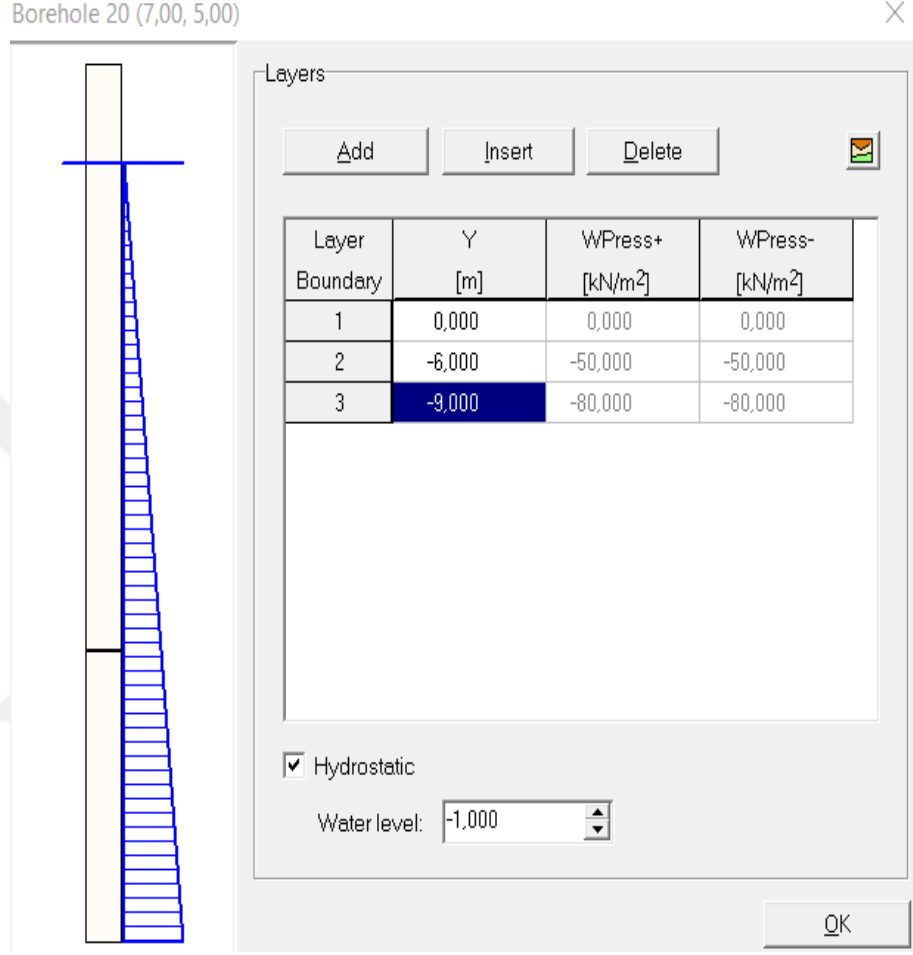
Şekil 3.23. Plaxis 3D programı kazık elemanın özelliklerinin girildiği pencere

Programda malzeme özelliklerini atamak ve yer altı suyu seviyesini belirtmek için kuyu eklenmelidir. “Borehole” butonu ile kuyu ekleme işlemi yapılabilir. Şekil 3.24.’te ilgili butonun konumu gösterilmiştir.



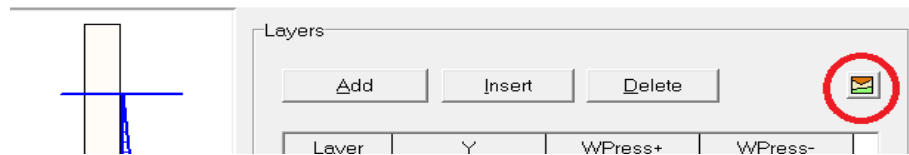
Şekil 3.24. Plaxis 3D programı kuyu ekleme butonunun konumu

“Borehole” butonuna tıklandıktan sonra kuyunun yerleştirilmesi istenilen yere tıklanır. Bu aşamadan sonra malzeme tanımlamak ve yer altı suyu seviyesini programa girmek için Şekil 3.25.’teki gibi bir pencere ekrana gelir.



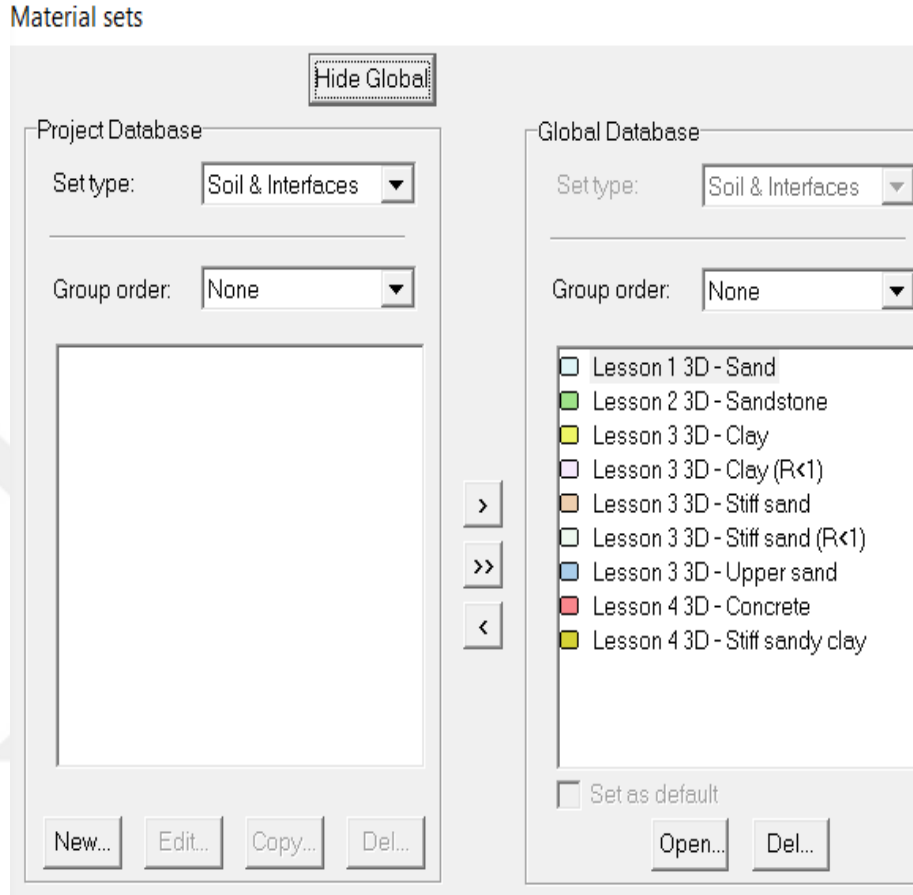
Şekil 3.25. Plaxis 3D programı Borehole penceresi

“Add” butonu ile yeni katman eklenebilirken, “Insert” butonu ile araya katman atılabilir. “Delete” butonu katman silme işlemini gerçekleştirir. Atanacak malzemeleri görüntüleyebilmek için Şekil 3.26.’da gösterilen butona tıklanmalıdır.



Şekil 3.26. Plaxis 3D programı malzeme özellikleri butonu

Malzeme özelliklerini tanımlamak için ilgili butona tıklandığında, Şekil 3.27.'deki gibi atanabilecek malzemelerin görüntülediği bir pencere açılır.



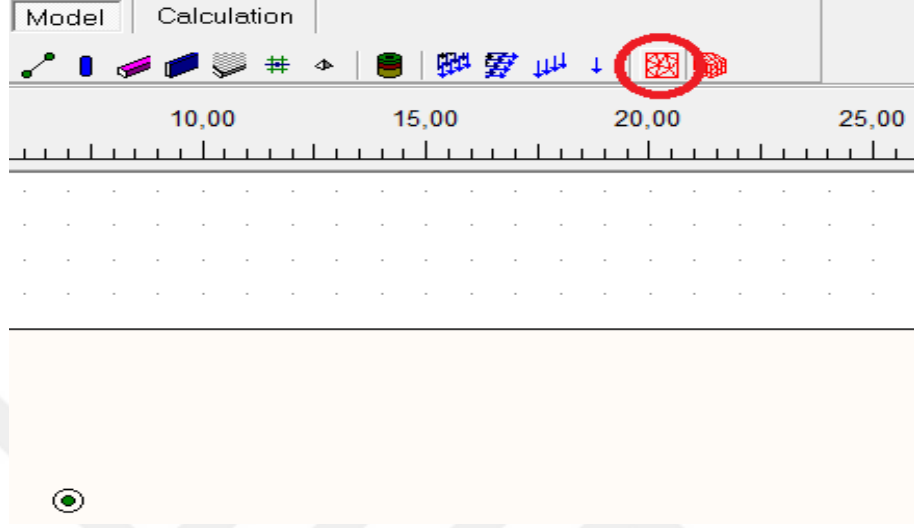
Şekil 3.27. Plaxis 3D programı malzeme özellikleri penceresi

Sürükle bırak yöntemiyle istenilen malzemeler, malzeme alanına atanır. Hazır malzemelerin dışında bir malzeme kullanılmak isteniyor ise “New” butonu aracılığıyla yeni bir malzeme tanımlaması yapılır. Şekil 3.28.'de yeni malzeme oluşturma penceresi görülmektedir.



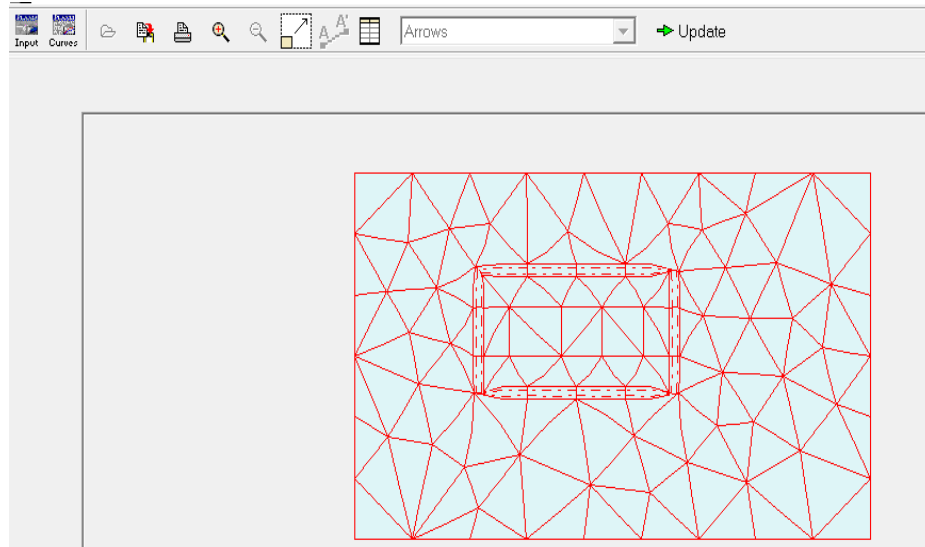
Şekil 3.28. Plaxis 3D programı yeni malzeme tanımlama penceresi

Tüm malzeme tanımlama işlemleri bittikten sonra mesh işlemi yapılır. İlk olarak 2 boyutlu ardından 3 boyutlu mesh yapılmalıdır. Şekil 3.29.'da 2 boyutlu mesh butonu gösterilmiştir.



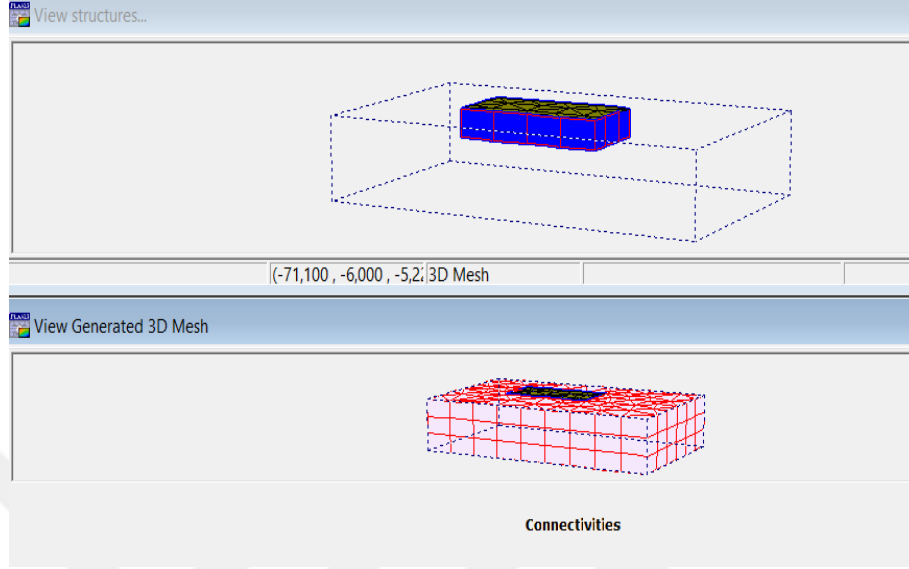
Şekil 3.29. Plaxis 3D programı 2 boyutlu mesh oluşturma butonu

İlgili butona tıklandıktan sonra program 2 boyutta mesh işlemine başlar ve kısa bir sürede bitirir. Şekil 3.30.'da 2 boyutlu mesh işlemi bittiğinde oluşan ekran gösterilmiştir.



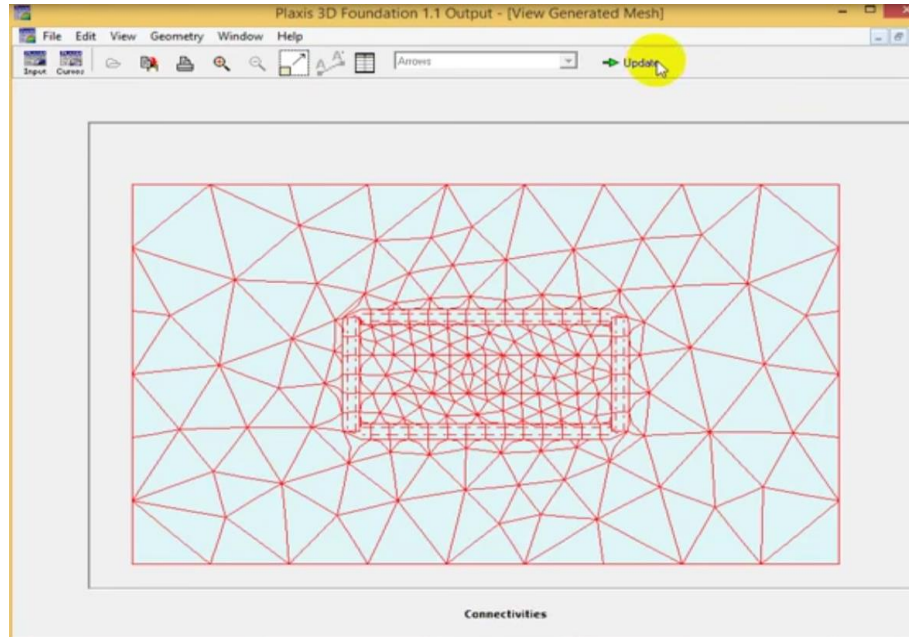
Şekil 3.30. Plaxis 3D programı 2 boyutlu mesh işlemi sonrası oluşan ekran

2 boyutlu mesh oluştuktan sonra 3 boyutlu mesh butonuna tıklanarak 3D mesh yapılır. Şekil 3.31.'de 3 boyutlu mesh işlemi bittiğinde oluşan ekran gösterilmiştir.



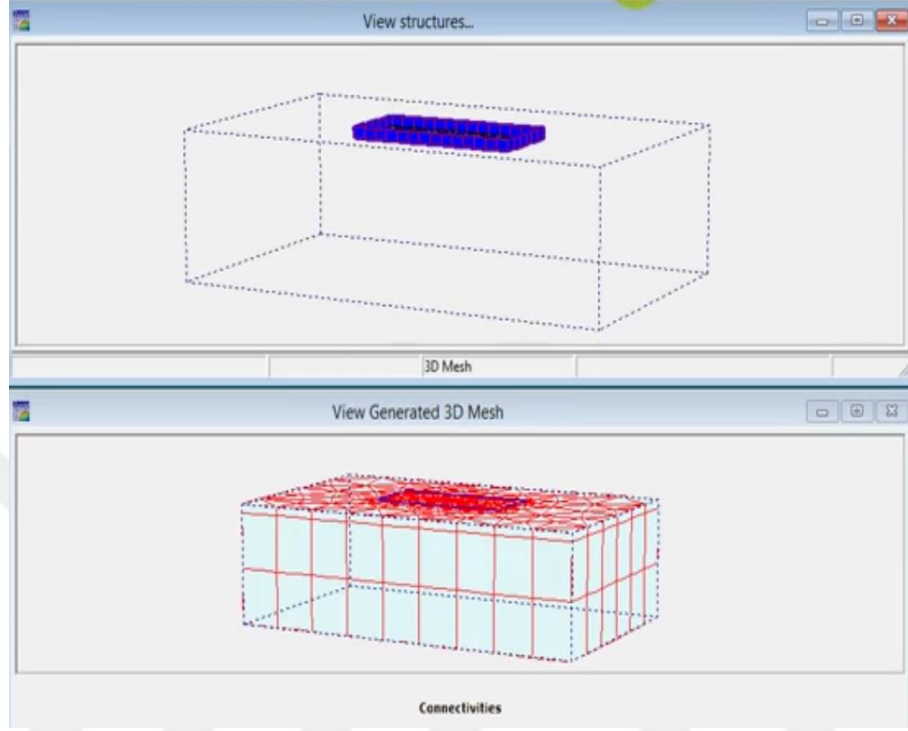
Şekil 3.31. Plaxis 3D programı 3 boyutlu mesh işlemi sonrası oluşan ekran

Eğer mesh yetersiz ise “Refine cluster” seçeneği ile mesh sıkılaştırması yapılabilir. Şekil 3.32.'de iyileştirilmiş mesh alanı gösterilmiştir.



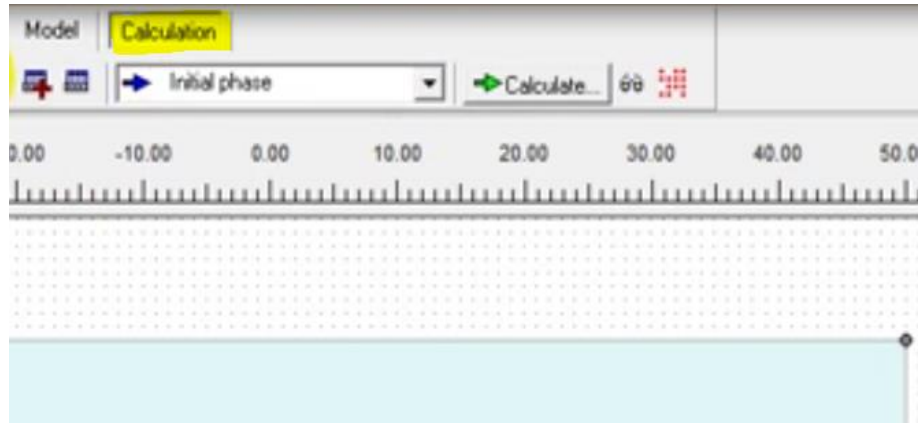
Şekil 3.32. Plaxis 3D programı iyileştirilmiş mesh alanı

Mesh iyileştirmesi yapıldıktan sonra tekrar 3 boyutlu mesh işlemi yapılır. Şekil 3.33.'te 3 boyutlu mesh işlemi gösterilmiştir.



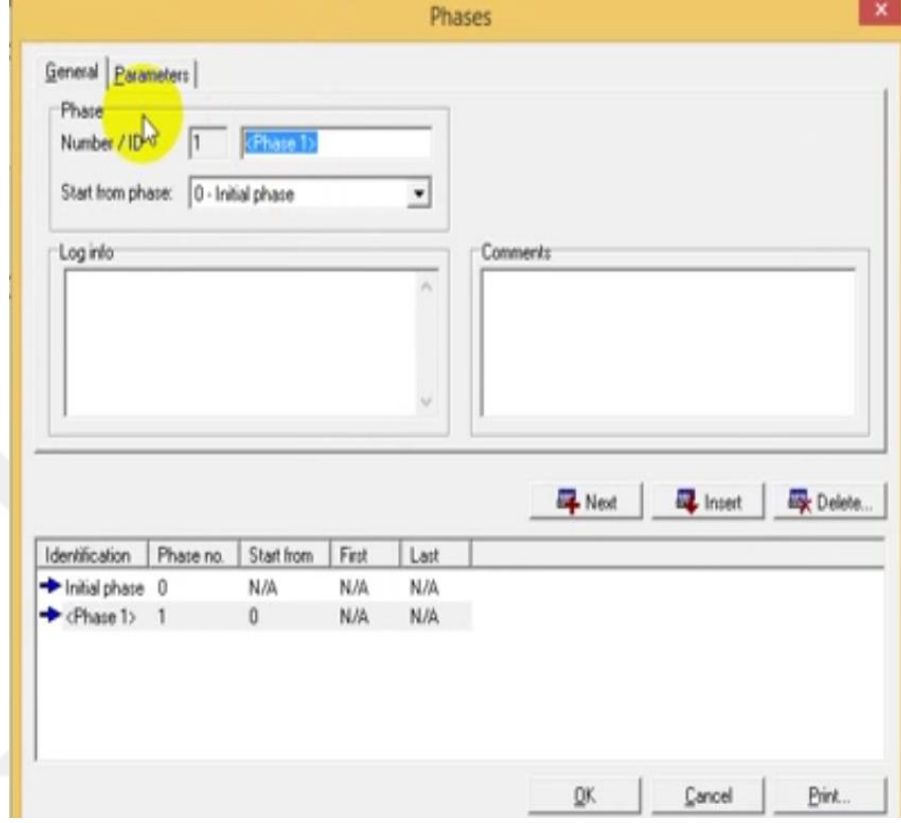
Şekil 3.33. Plaxis 3D programı iyileştirilmiş 3D mesh

3 boyutlu mesh işlemi bittikten sonra hesaplama bölümüne geçilebilir. Bunun için “Calculation” sekmesi seçilmelidir. Şekil 3.34.'te hesaplama sekmesi gösterilmiştir.



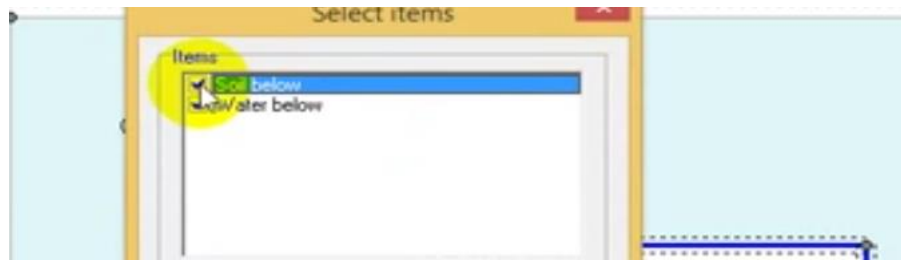
Şekil 3.34. Plaxis 3D programı hesaplama sekmesi

Hesaplama sekmesine geçildiğinde işlem adımları oluşturmalıdır. Şekil 3.35.'te hesap adımı oluşturma penceresi gösterilmiştir.



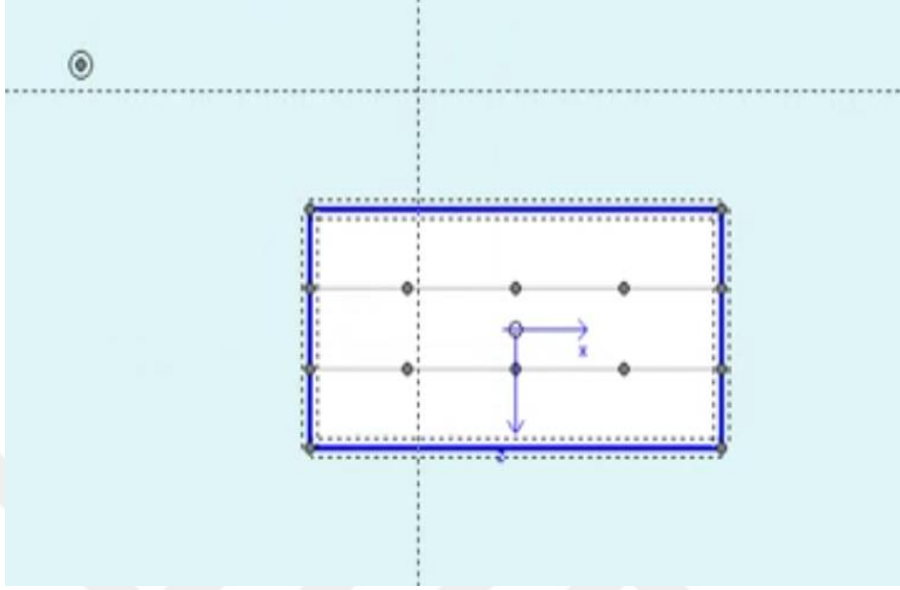
Şekil 3.35. Plaxis 3D programı işlem adımı penceresi

Uygulanacak işlemler için adımlar oluşturulur, örneğin önce kazı ardından yükleme yapılacaksa kazı ve yükleme adımları oluşturulup kazı adımında kazı işlemleri yapılır, yükleme bölümünde ise yükler eklenir. Kazı işleminde kazılacak alan seçildiğinde Şekil 3.36.'daki gibi bir pencere oluşur.



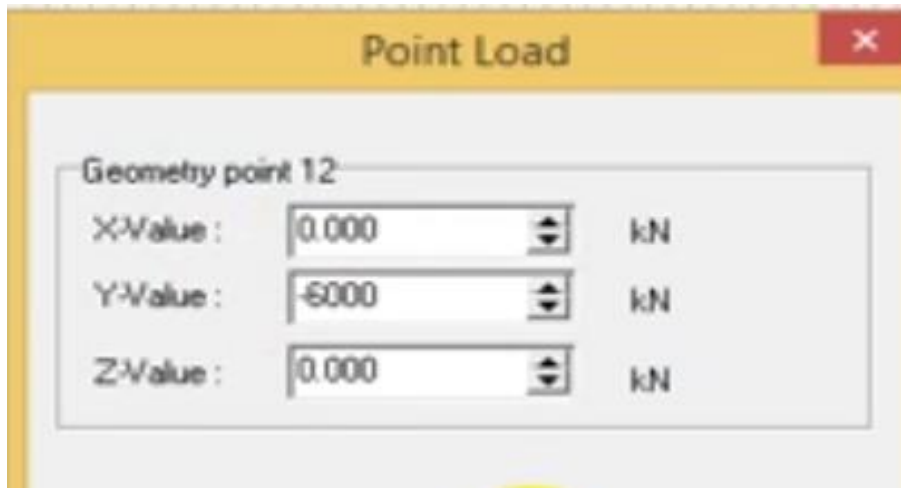
Şekil 3.36. Plaxis 3D programı kazı işlemi penceresi

İşaretili seçimler kaldırılarak kazı işlemi yapılır. Şekil 3.37.'de kazı işlemi sonrası oluşan görünüm gösterilmiştir.



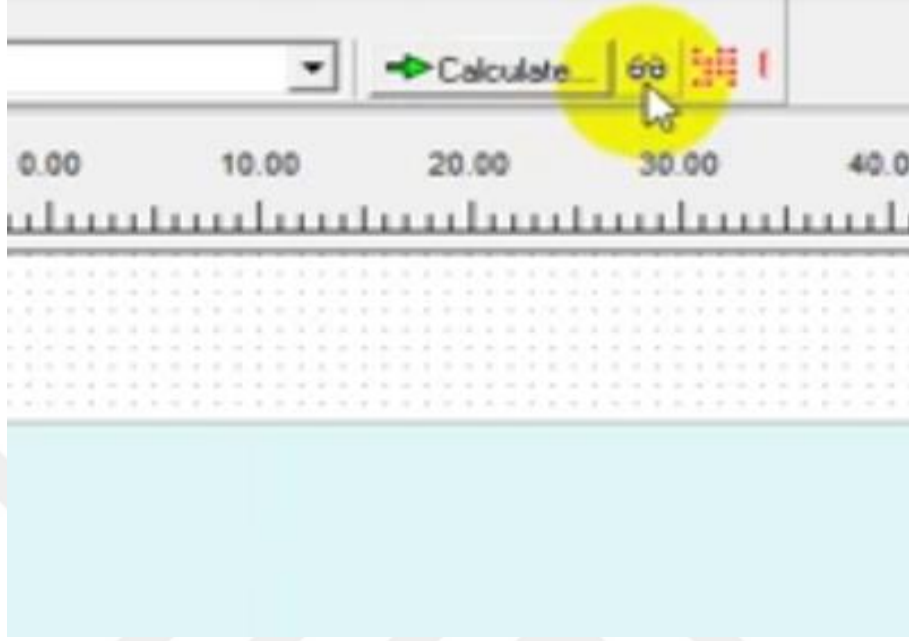
Şekil 3.37. Plaxis 3D programı kazı işlemi sonrası oluşan görünüm

Tasarım bölümünde tanımlanan noktasal yük değerlerini programa girmek için ise oluşturulan yükleme adımına geçilir ve tanımlı yüklerin üzerine çift tıklama yapılarak açılan yük penceresine gerekli veri girişi yapılır. Şekil 3.38.'de yük giriş penceresi gösterilmiştir.



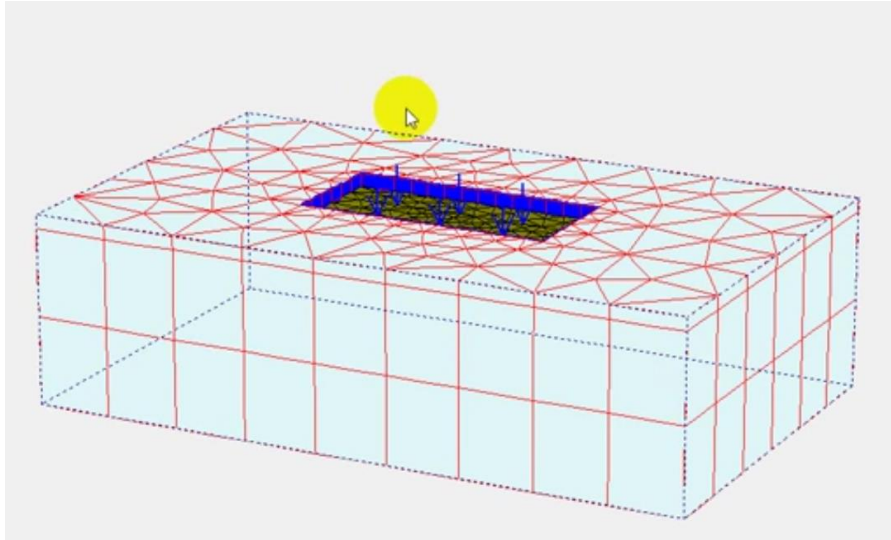
Şekil 3.38. Plaxis 3D programı yük girişi penceresi

Yük girme işlemi tamamlandıktan sonra analiz öncesi modelin ön görünümüne bakılabilir. Şekil 3.39.'da ön görünüm inceleme butonu gösterilmiştir.



Şekil 3.39. Plaxis 3D programı ön görünüm inceleme butonunun konumu

Ön görünümü inceleme butonuna tıklandığında tasarıma göre Şekil 3.40.'taki gibi bir görünüm elde edilir.



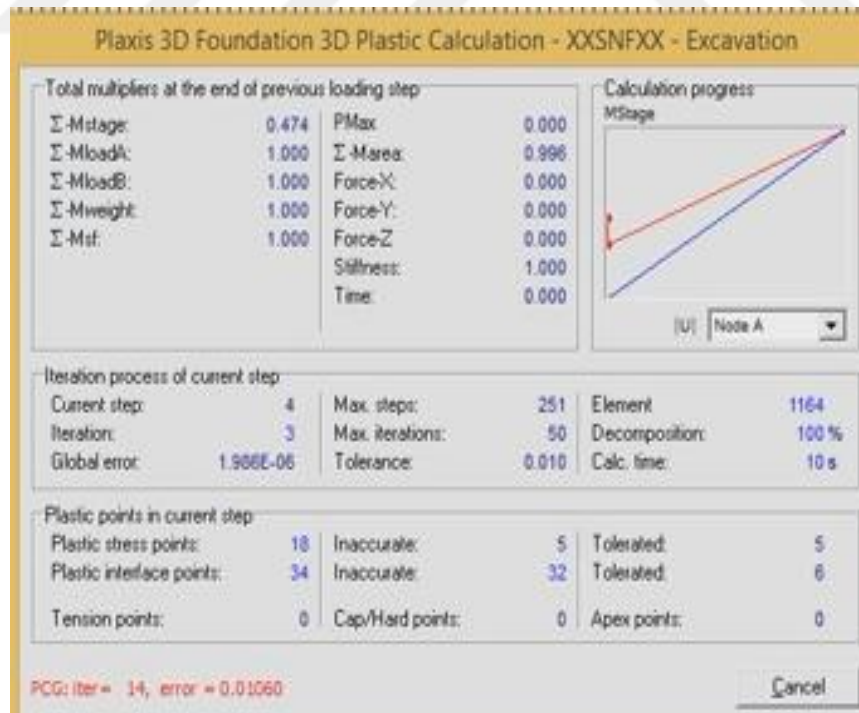
Şekil 3.40. Plaxis 3D programı tasarım ön görünümü

İncelenen tasarımda bir problem görülüyor ise analizi başlatmak için Şekil 3.41.'de görülen hesapla anlamına gelen "Calculate" butonuna tıklanmalıdır.



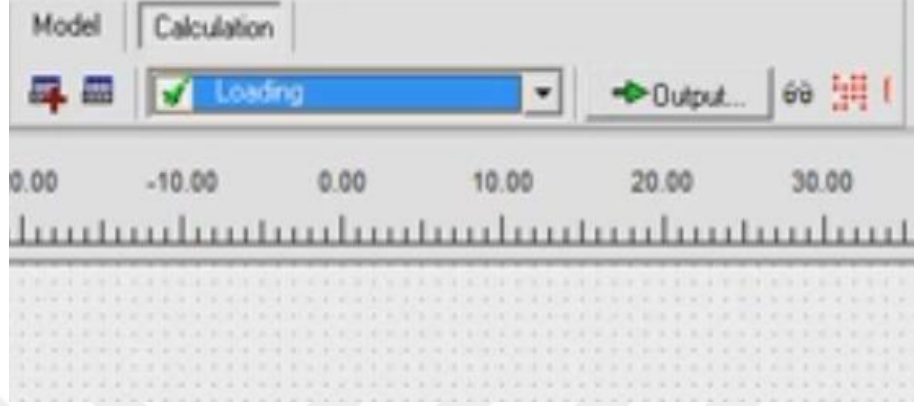
Şekil 3.41. Plaxis 3D programı analizi başlatma

"Calculate" butonuna tıklanmasının ardından program analiz işlemine başlar. Mesh sayısı, uygulanan yükün değeri, bilgisayarın işlemci hızı, problemin karmaşıklığı ve çözüm yöntemi gibi çeşitli parametrelere göre analiz süresi değişiklik gösterir. Analiz başladığında ilerleme çubuğu Şekil 3.42.'deki gibi görünür.



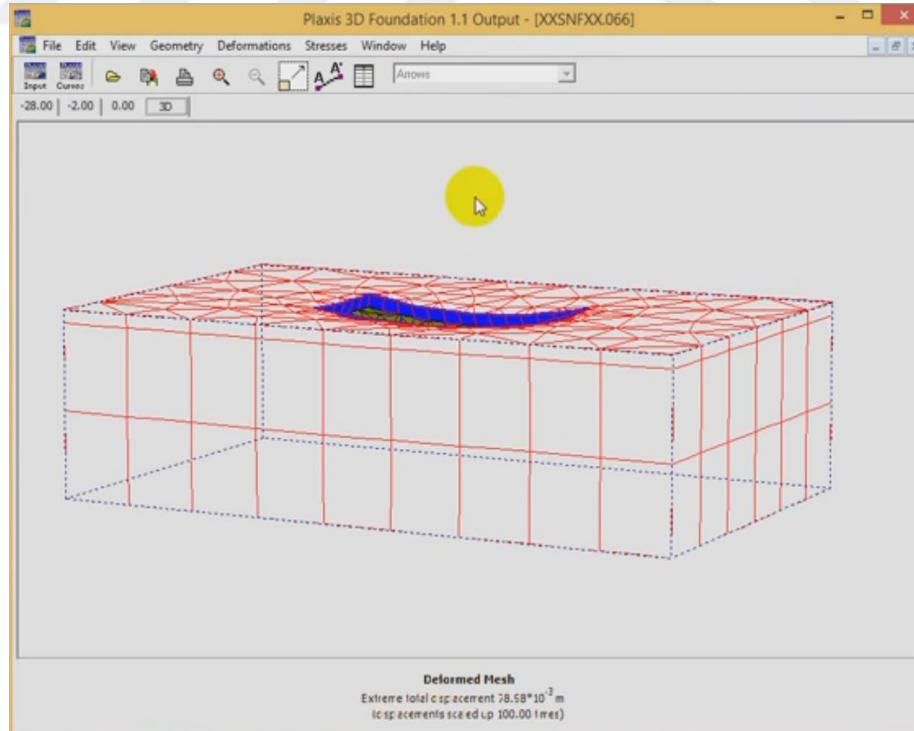
Şekil 3.42. Plaxis 3D programı analizinin ilerleme durumu

Analiz başarıyla tamamlandığında hesap adımları yeşil onay işaretlerine sahip olur ve hespla butonu Şekil 3.43.'de gösterildiği gibi "Output" isminde sonuçların verilmesini sağlayan bir butona dönüşür.



Şekil 3.43. Plaxis 3D programı sonuç butonu

Analiz sonuçlarını görmek için "Output" butonuna tıklanır ve tıklama sonrasında Şekil 3.44.'teki gibi sonuçların gösterildiği bir pencere görüntülenir.



Şekil 3.44. Plaxis 3D programı

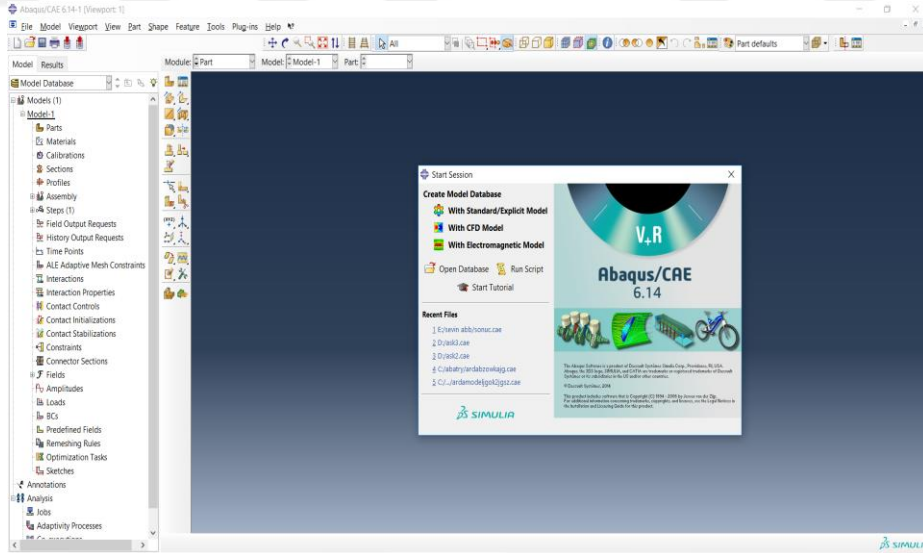
Sonuçlar detaylandırılarak incelenebilir. Oturma, gerilme gibi sonuçlar grafiklendirilerek elde edilebilir. Ayrıca sonuçlar tablo formatında bir excel dosyasına aktarılıp hangi noktada ne kadar gerilme ve oturma olduğu detaylıca incelenebilir.

3.2.1.2. Abaqus programı

Abaqus programının ilk sürümü 1978 yılında ortaya çıkmıştır. Program sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bir mühendislik yazılımıdır. Savunma, havacılık, otomotiv, yapı tasarımı gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Kullanıcı tarafından istenildiği gibi özelleştirilebilmesi, akademik çalışmalarda çok sık kullanılmasını sağlamıştır.

3.2.1.2.1. Abaqus programının kullanımı

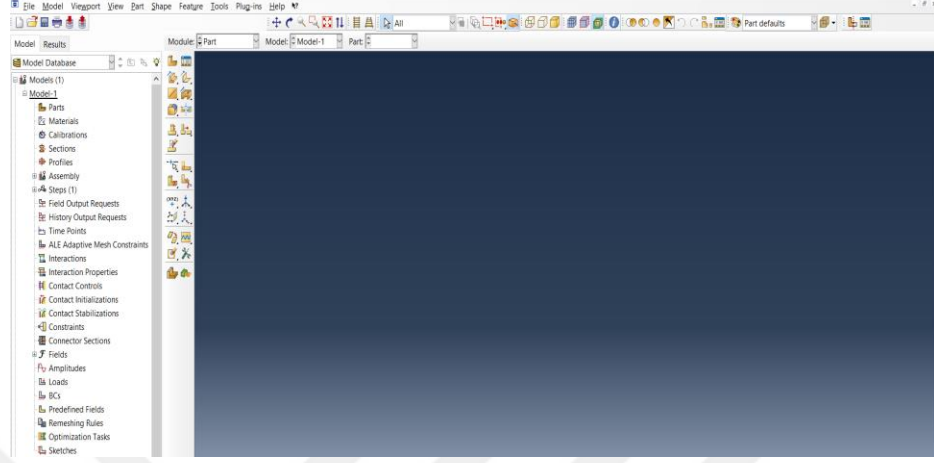
Abaqus programı ilk açıldığında Şekil 3.45.'teki gibi bir karşılama ekranını kullanıcı karşısına çıkarır.



Şekil 3.45. Abaqus programı giriş ekranı

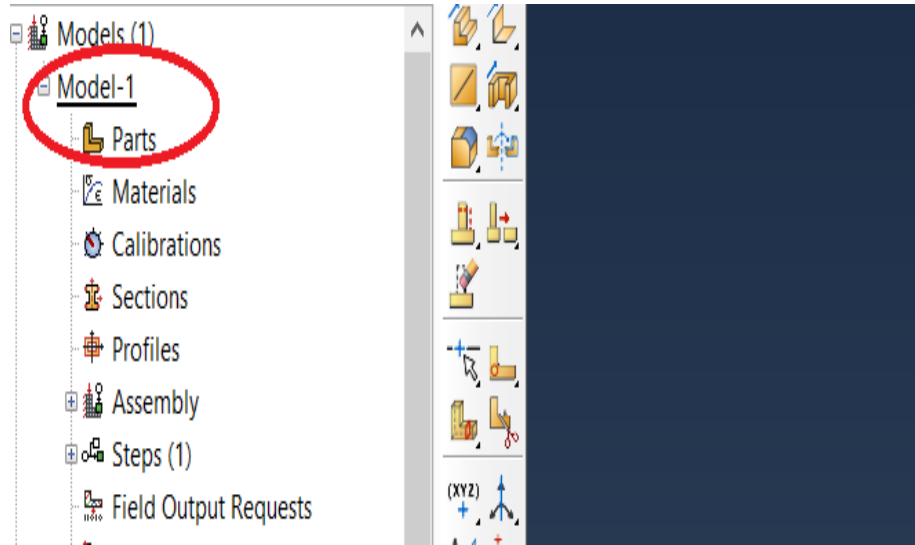
Başlangıç ekranında son açılan dosyaları tekrar kısayoldan açmak için bir alan bulunur. Bu alandan son dosyalara hızlıca ulaşılabilir ya da var olan bir dosya açılabilir. Ayrıca yeni bir çalışma alanı da bu başlangıç ekranından oluşturulabilir.

Programın sol tarafında bir çalışma ağacı görüntülenir. Bu ağaç üzerinden birçok komut gerçekleştirilebilir. Şekil 3.46.'da çalışma ağacı görülmektedir.



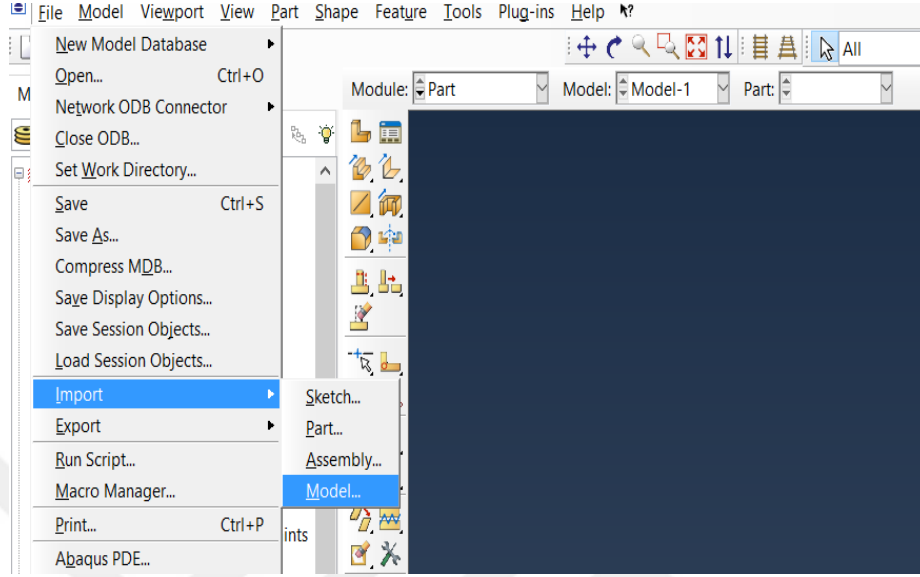
Şekil 3.46. Abaqus programı çalışma ağacı

Abaqus programı ilk açıldığında varsayılan olarak “Model-1” adında boş bir model açılır ve yapılan çalışma bu modelin altında devam eder. Ancak kullanıcı isterse bu modeli silip baştan bir model oluşturabilir ya da import etme yöntemi ile dışardan bir modeli Abaqus programı içine aktarabilir. Şekil 3.47.'de program içinde bulunan varsayılan model gösterilmiştir.



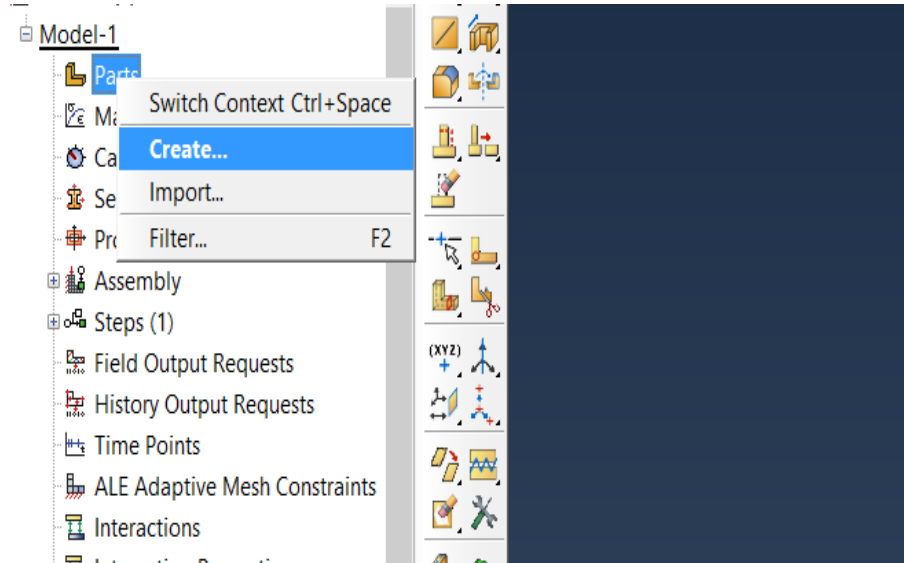
Şekil 3.47. Abaqus programı varsayılan model

Bir modeli program içine aktarmak için “Import” komutu kullanılır. Şekil 3.48.’de bu komutun programdaki konumu gösterilmiştir.



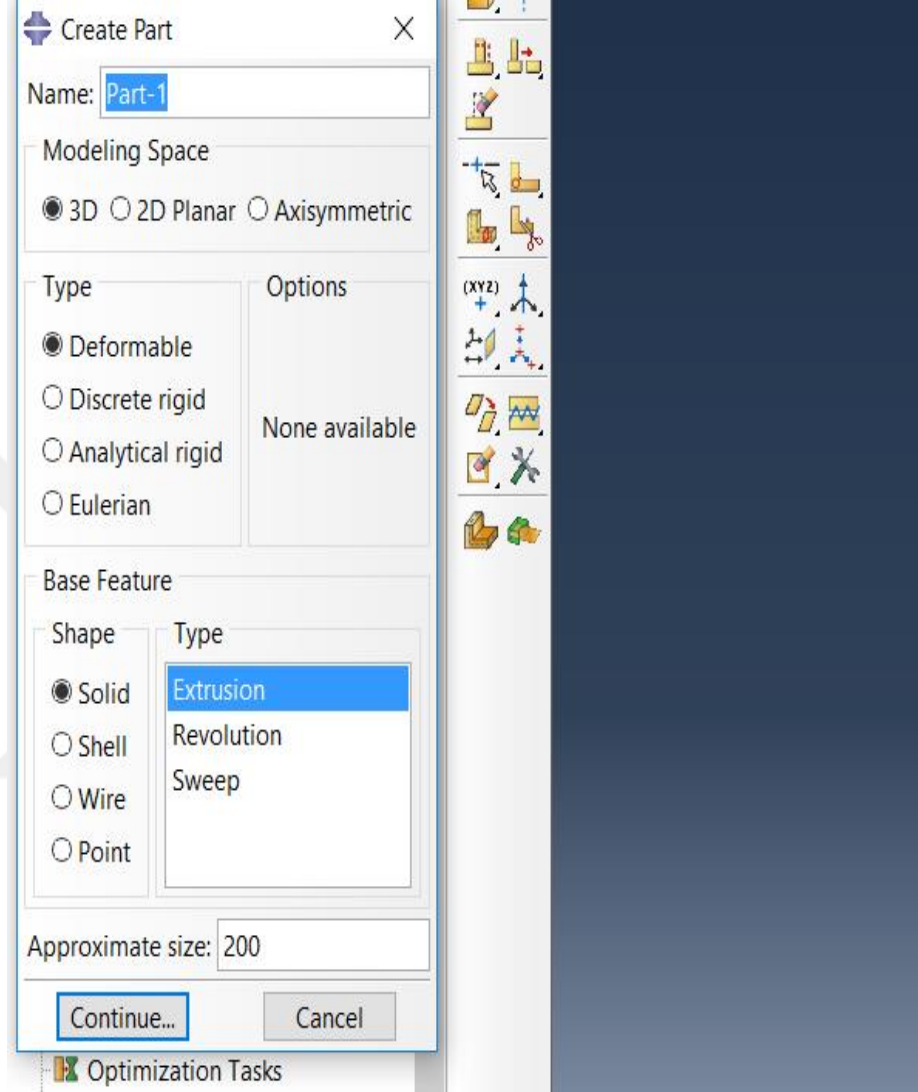
Şekil 3.48. Abaqus programına dışardan bir modelin aktarılması

Başka bir programda çizilen model programa aktarılabilirdiği gibi programın kendi model oluşturma menüsü de bulunmaktadır. 2 veya 3 boyutlu olarak çizimler yapılabilir. Şekil 3.49.’da model için parça oluşturma gösterilmiştir.



Şekil 3.49. Abaqus programı model için parça oluşturma

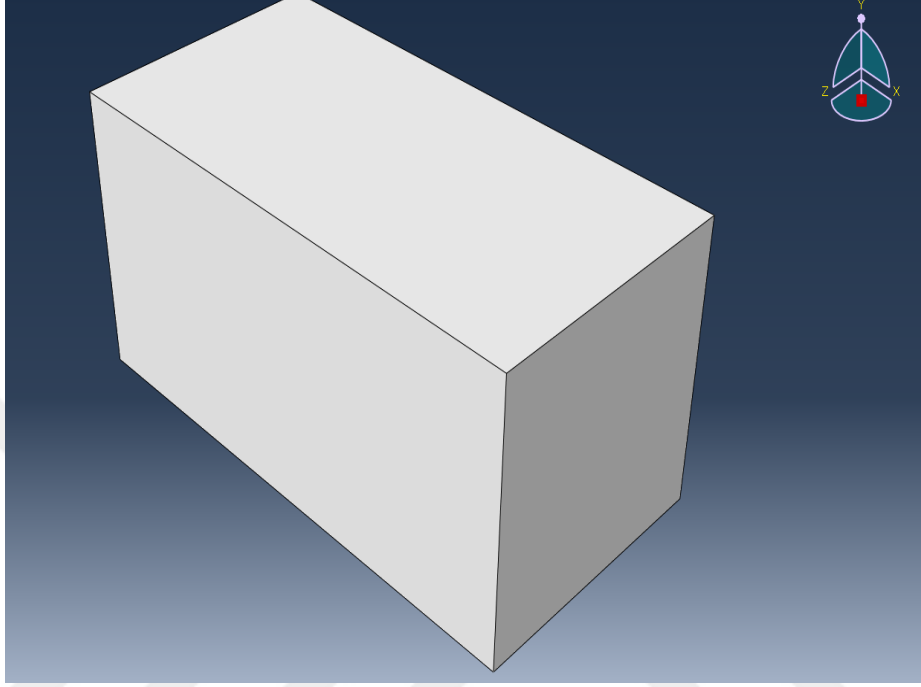
Programda model için bir parça oluşturulmak istenildiğinde part bölümündeki “Create” kısmına tıklanır. Bu aşamadan sonra Şekil 3.50.’deki gibi bir pencere açılır.



Şekil 3.50. Abaqus programı parça oluşturma penceresi

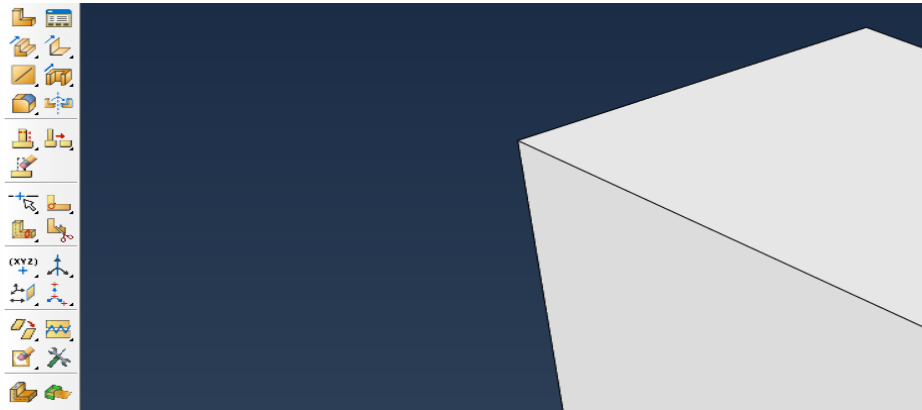
Açılan pencerede modelin 3 boyutlu mu 2 boyutlu mu ya da eksenel simetri metodu ile çözülecek biçimde mi modelleneceği kullanıcıya sorulur. Ayrıca oluşturulacak parçanın tipi ve özelliklerinin kullanıcı tarafından belirlenmesi gerektiğinden programdaki pencerede bu alanlarla ilgili bölümler de bulunmaktadır. Oluşturulacak parçanın katı model mi, kabuk eleman mı, çizgisel mi, noktasal mı olacağı bu pencerede sorulur. Ayrıca modelin oluşturulma şekli de yine bu pencereden belirlenmektedir.

Kullanıcı tarafından seçilen yöntem ile programda model için parça oluşturulur. Şekil 3.51.'de katı modelleme metodu ile Abaqus programında oluşturulmuş bir parça görülmektedir.



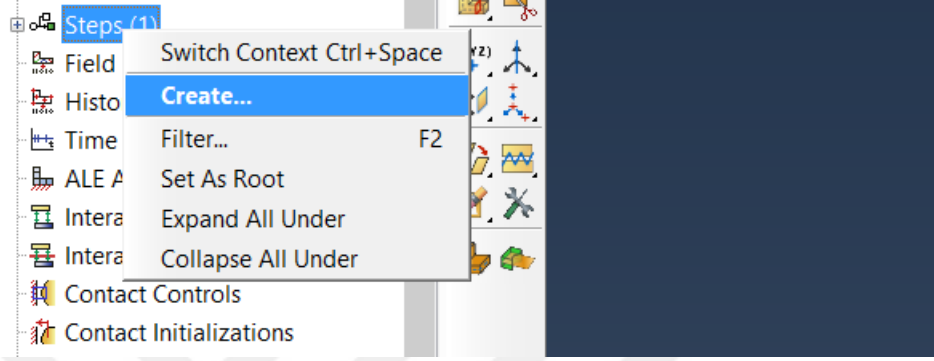
Şekil 3.51. Abaqus programı örnek model parçası

Model için bir parça oluşturulduğunda program “Part” menüsüne geçer ve oluşturulan parça ile ilgili araç çubuğu sol bölümde görüntülenir. Şekil 3.52.'de ilgili araç çubuğu gösterilmiştir.



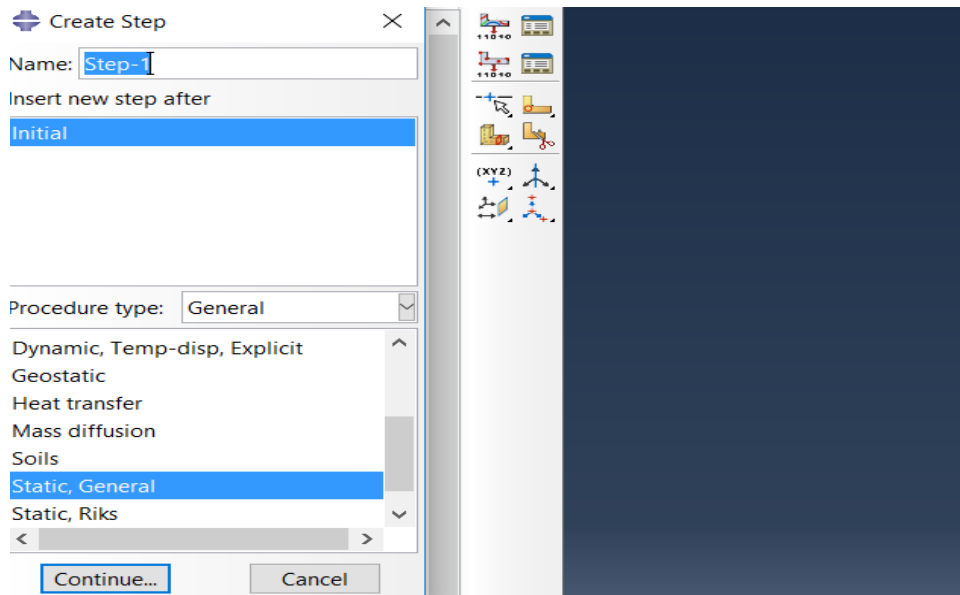
Şekil 3.52. Abaqus programı parça araç çubuğu

Programda model belirlenip tasarlandıktan sonra programın analiz yapabilmesi için adım tanımlaması yapmak gerekmektedir. Programda başlangıç adımı varsayılan olarak oluşturulmuştur. Başlangıçtan sonra yapılacak işlemler için adım tanımlaması yapılır, örneğin yük etkitilecek ise o işlem için yükleme adımı oluşturulur ve bu adımda ilgili işlemler yapılır. Şekil 3.53.'de adım oluşturma gösterilmiştir.



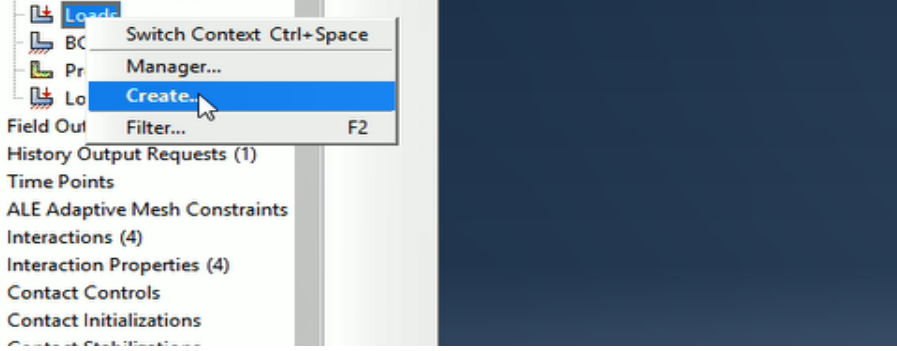
Şekil 3.53. Abaqus programı adım oluşturma

Adım oluşturma için imleç, sol menüdeki ağaçta “Steps” üzerindeyken fareye sağ tıklanır ve “Create” seçeneği seçilir. Bu işlemten sonra Şekil 3.54.’teki gibi oluşturulan adımı tanımlamak için bir pencere açılır.



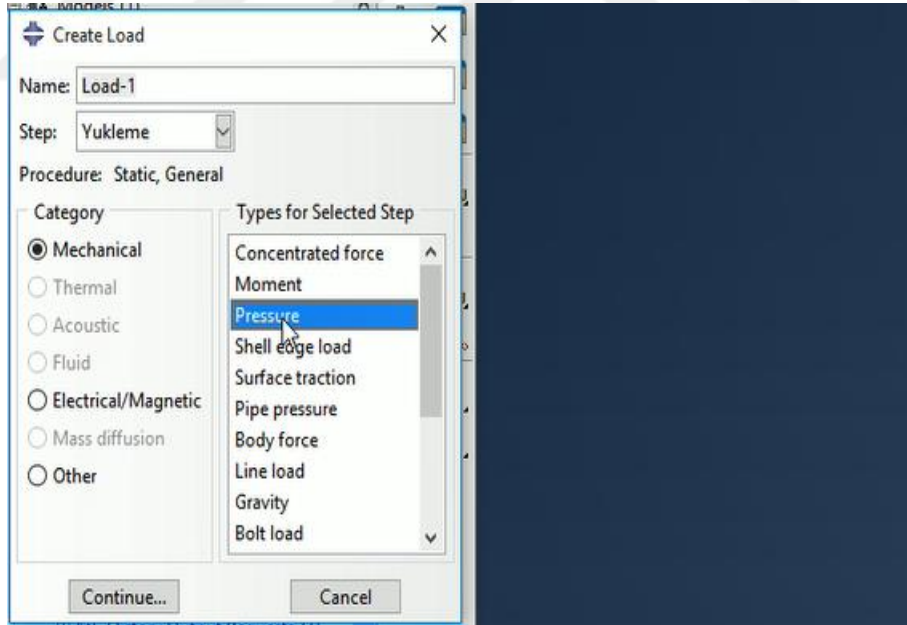
Şekil 3.54. Abaqus programı adım oluşturma penceresi

Adım oluşturulduktan sonra yük tanımlama bölümüne geçilebilir. Şekil 3.55.'te yük tanımlama işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.55. Abaqus programı yük oluşturma

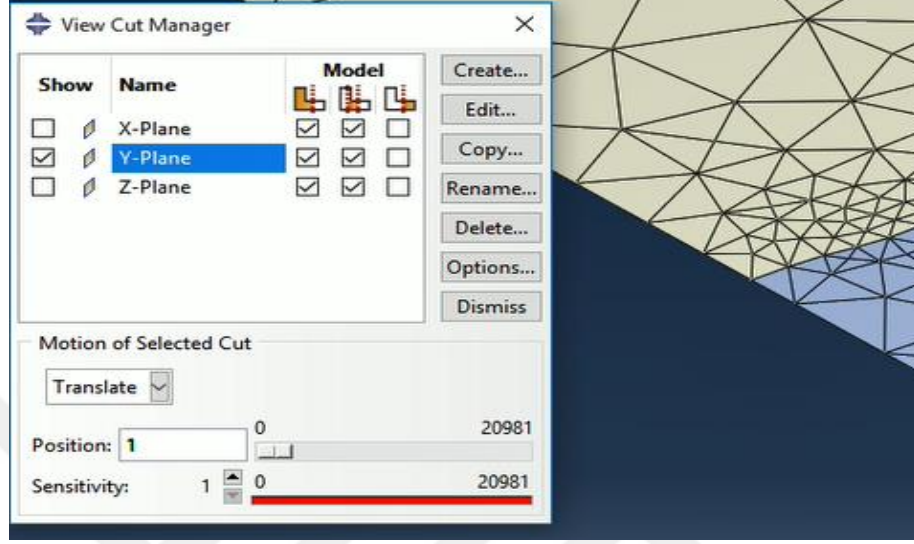
Program ağacındaki “Loads” bölümünde “Create” işlemi ile yük oluşturmak için ilk adım atılır. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra Şekil 3.56.'daki gibi bir pencere program tarafından ekrana getirilir.



Şekil 3.56. Abaqus programı yük penceresi

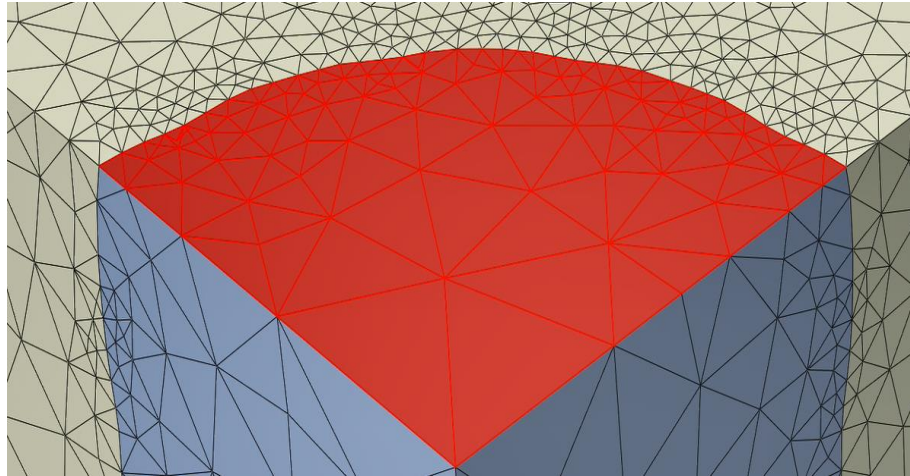
Ekrana gelen yük penceresinde yük tipinin ve kategorisinin seçimi yapılır ve uygulanacak yükün hangi adıma uygulanacağı seçilir.

Yük için gerekli veriler girilip yük penceresi onaylanarak kapatıldığında program yükün nereye uygulanacağını sorar ve seçilmesini ister. Şekil 3.57.'de yük uygulanacak yüzeyin seçimi için kullanılan araç gösterilmiştir.



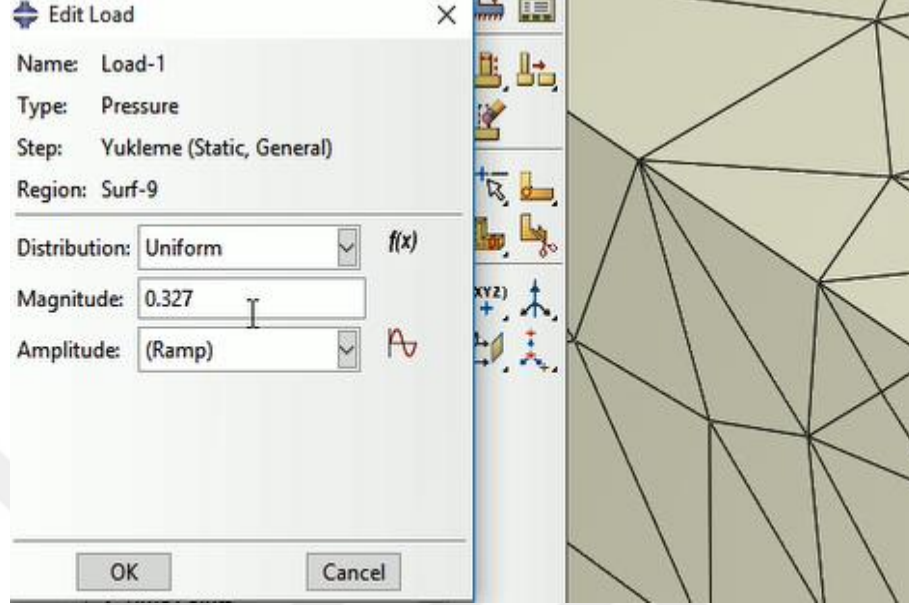
Şekil 3.57. Abaqus programı “View Cut Manager” aracı

“View Cut Manager” aracı ile 3 boyutta seçilmek istenen yüzey daha kolay seçim yapılabilmesi için istenildiği şekilde görüntüyü değiştirebilir. Böylece yüzey seçim işlemi kolaylaşır. Şekil 3.58.'de yük uygulanacak yüzeyin seçilmiş haldeki durumu gösterilmiştir.



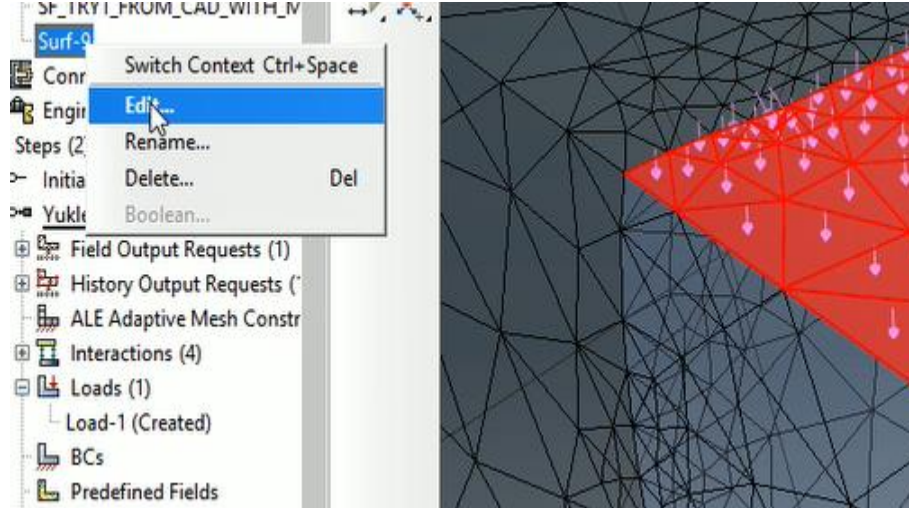
Şekil 3.58. Abaqus programı yük uygulanacak yüzeyin seçimi

Yüzey seçim işlemi gerçekleştirildikten sonra Şekil 3.59.'daki gibi yük değerinin girildiği bir pencere program tarafından ekrana getirilir.



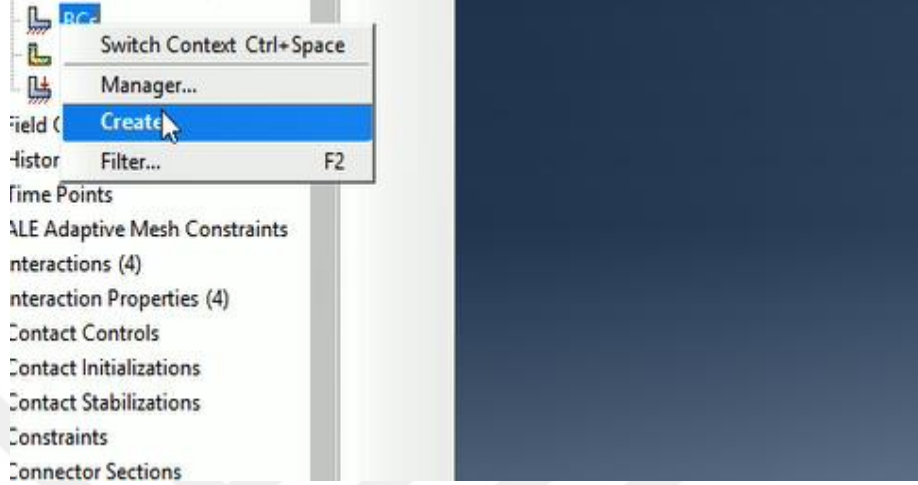
Şekil 3.59. Abaqus programı yük değeri giriş penceresi

Yük girişi çalışılan birime göre yapılır. Oluşturulan yüzeye etkitilen yük, yük penceresinin onaylanarak kapatılmasıyla belirlenmiş olur. Yükün etki ettiği yüzey düzenlenebilir. Şekil 3.60.'ta yükün etki ettiği yüzeyin düzenlenmesi gösterilmiştir.



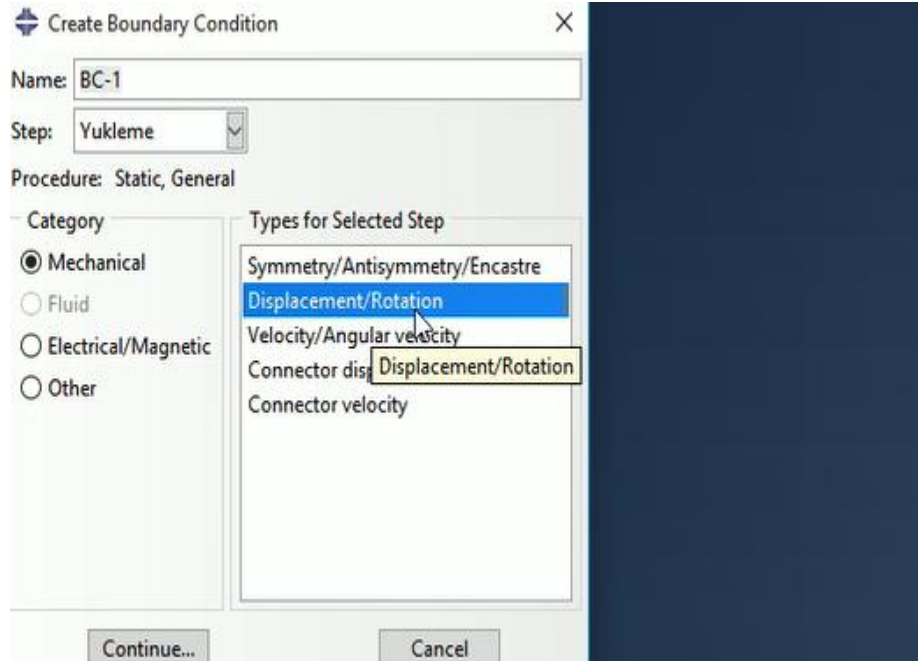
Şekil 3.60. Abaqus programı yük etkitilen yüzey

Yük tanımlama işlemleri bittikten sonra programda çözülecek model için sınır koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Sınır koşullarının belirlenmesi Şekil 3.61.'de görülmektedir.



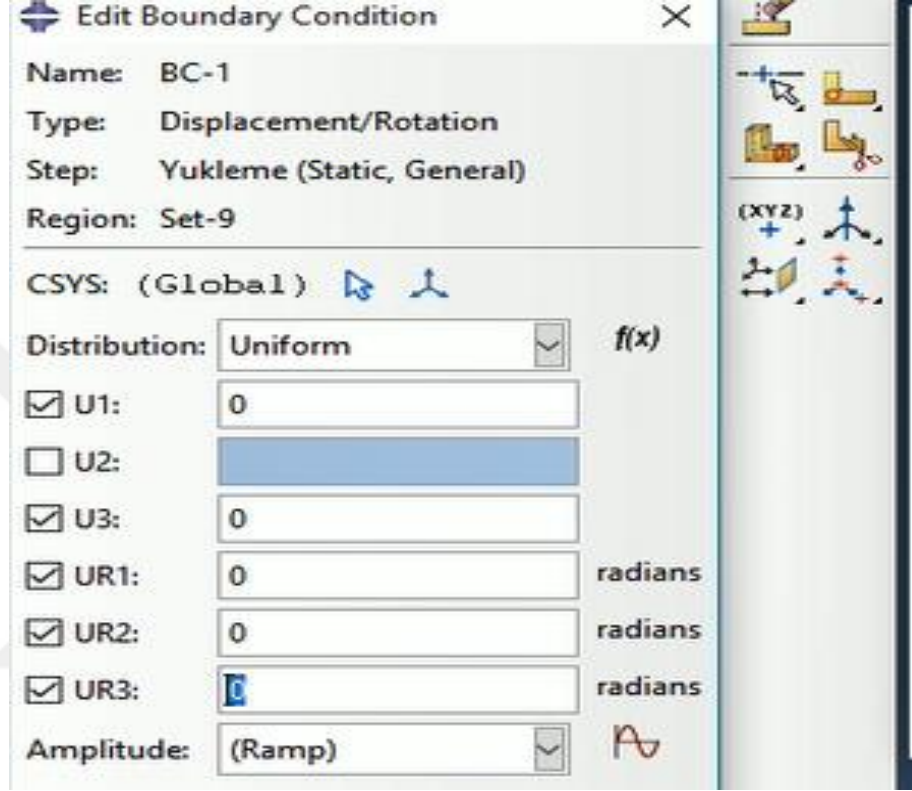
Şekil 3.61. Abaqus programı sınır koşulu oluşturma başlangıç adımı

“Create” seçeneği ile sınır koşulu oluşturma işlemine başlandığında Şekil 3.62.'deki gibi bir sınır koşulu penceresi ekrana gelir.



Şekil 3.62. Abaqus programı sınır koşulu oluşturma penceresi

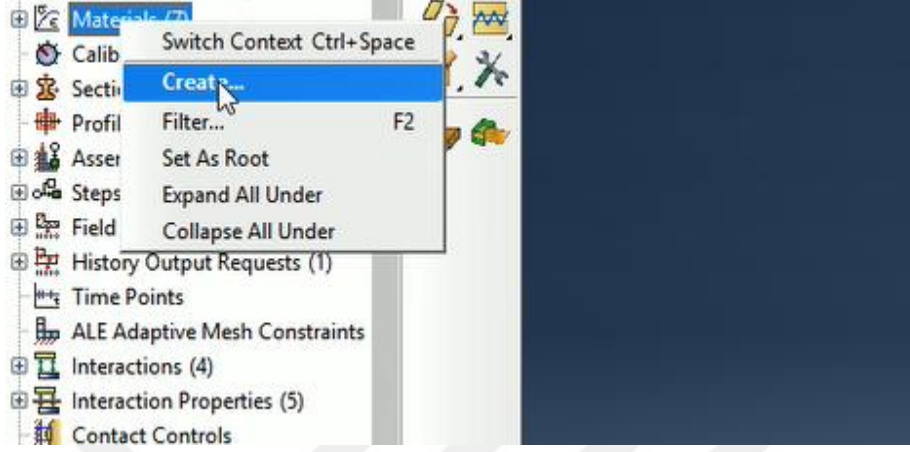
Çalışılan tasarıma göre sınır koşullarının tipi belirlendikten sonra hangi yüzeylere sınır koşulunun uygulanacağı program tarafından sorulur ve kullanıcı tarafından seçilir. Seçim işleminin ardından hangi yönde sınır koşullarının uygulanacağı ile ilgili Şekil 3.63.'teki gibi bir pencere ekrana gelir.



Şekil 3.63. Abaqus programı sınır koşulu yönlerini belirleme penceresi

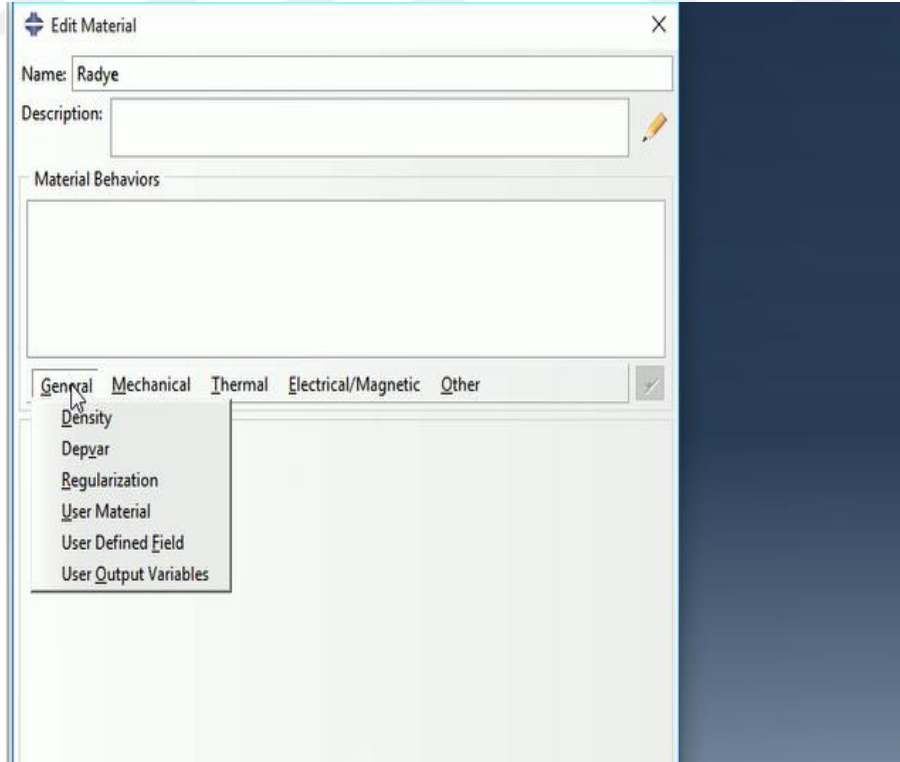
Her istenilen yüzey için sınır koşulları benzer şekilde tamamlanır. Sınır koşulları tanımlandıktan sonra program ağacından kontrol edilebilir. Modelde bulunan parçaların malzeme özelliklerinin tanımlanması ise belirli birkaç adım ile yapılır. Eğer oluşturulan parçalar import (içe aktarma) yöntemi ile Abaqus programına alınmamış Abaqus programında oluşturulmuş ise parçalar için materyal, bölüm ve bölüm tanımlaması yapılmalıdır. Ancak model başka bir programda tasarlanıp import (içe aktarma) yöntemiyle programa alınmış ise parçalar incelenmelidir, eğer bölüm ve bölüm tanımlaması yapılmışsa sadece materyal düzenlemesi veya oluşturması işlemi yapılarak tasarıma devam edilir. Abaqus programında oluşturulmuş bir parça için ilk önce materyal oluşturma işlemi gerçekleştirilir.

Şekil 3.64.'te materyal oluşturma işleminin ilk adımı gösterilmiştir. “Create” seçeneği ile yeni materyal tanımlaması için ilk adım gerçekleştirilmiş olur.



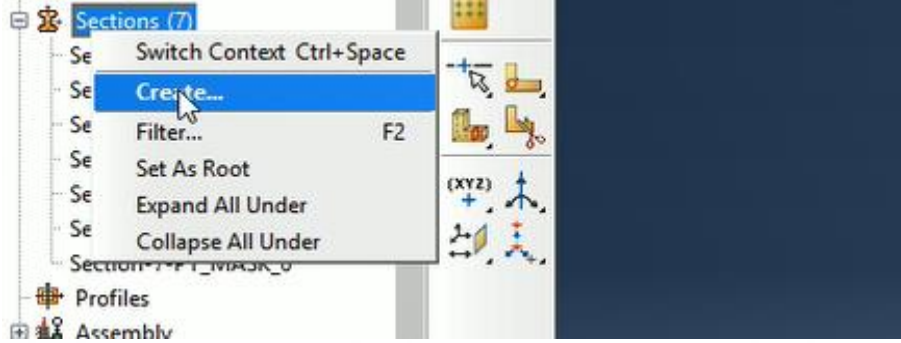
Şekil 3.64. Abaqus programı malzeme tanımlamanın ilk adımı

İlk adımdan sonra malzeme özelliklerinin girilebileceği Şekil 3.65.'teki gibi bir pencere program ekranına gelir.



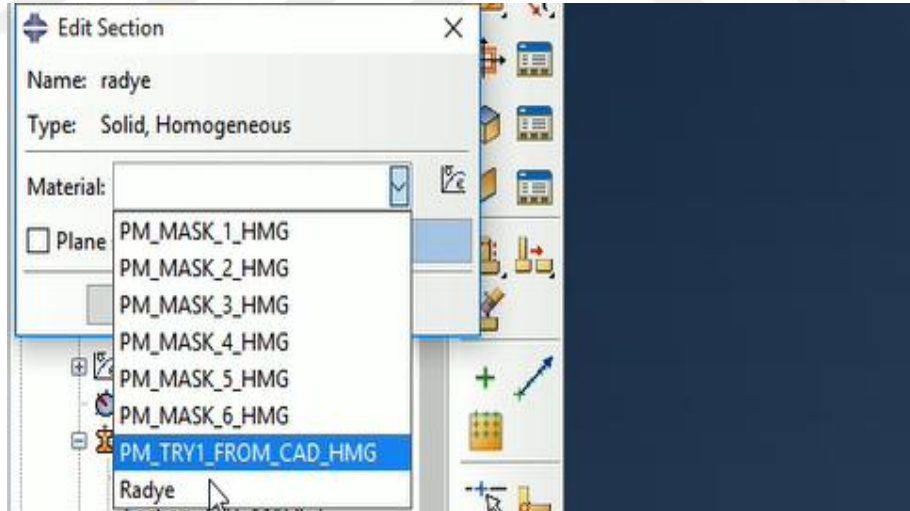
Şekil 3.65. Abaqus programı malzeme özelliklerinin girilmesi

Malzeme özellikleri tanımlandıktan sonra parça için bölüm oluşturulur. Programın sol tarafındaki ağaçtan “Sections” bölümünden yapılan “Create” işlemi ile malzeme için Şekil 3.66.’daki gibi bölüm tanımlaması yapılır.



Şekil 3.66. Abaqus programı parça için bölüm oluşturma

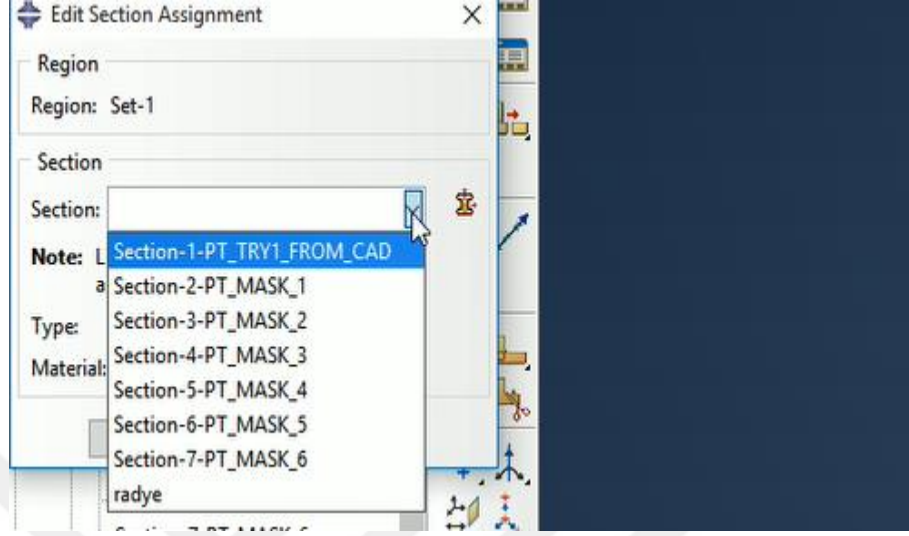
Bu adımdan sonra oluşturulan bölümün malzeme seçimi için Şekil 3.67.’deki gibi bir ekran kullanıcı karşısına çıkar ve oluşturulan bölümün malzeme tanımlaması yapılır.



Şekil 3.67. Abaqus programı bölümün malzeme seçimi

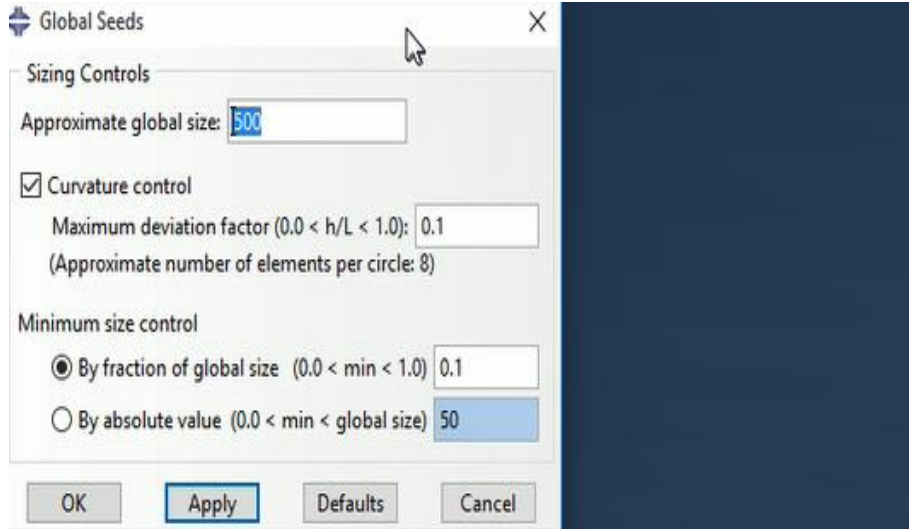
Bölüm oluşturup malzeme tanımlaması yapıldıktan sonra, kullanılacak parçaya son olarak bölüm tanımlaması yapılarak parçanın malzeme tanımlama işlemi bitirilir. Bir parçaya bölüm tanımlaması yapılması için program ağacından ilgili parça bulunur. “Section Assignment” bölümünden “Create” seçeneği seçilerek bölüm tanımlama

işleminin ilk adımı gerçekleştirilmiş olur. Bu adımdan sonra bölüm tanımlamasının yapılabileceği Şekil 3.68.'deki gibi bir pencere program ekranına gelir.



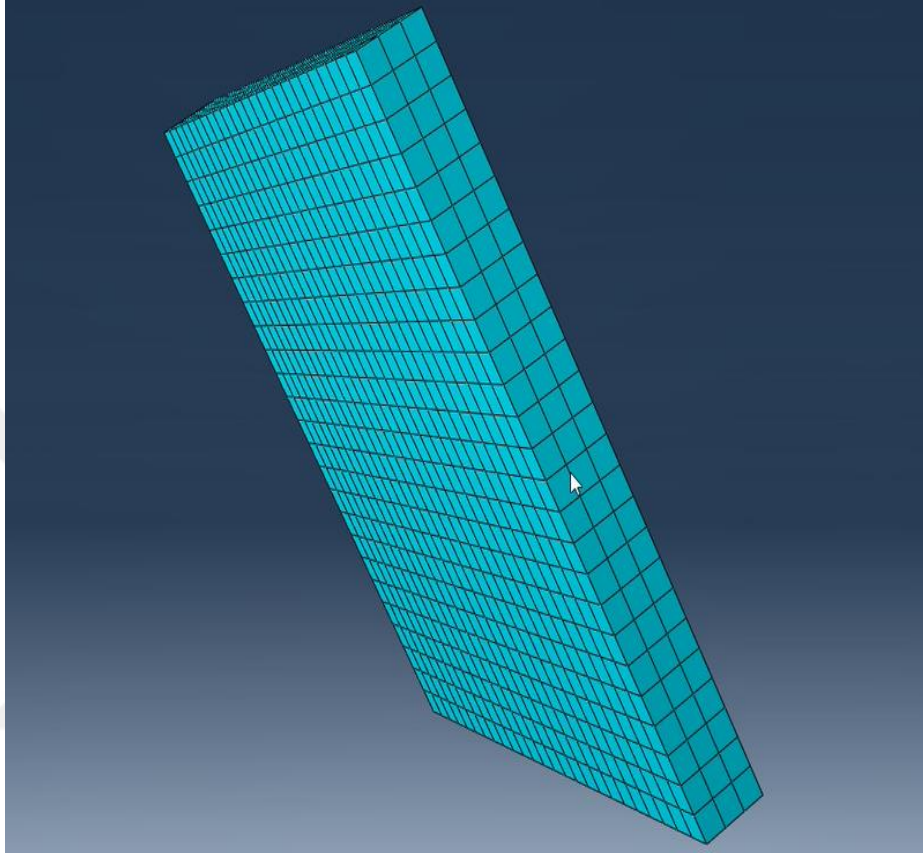
Şekil 3.68. Abaqus programı bölüm tanımlaması

Abaqus programında oluşturulan bir parçanın analizinin sağlıklı yapılması için mesh işleminin yapılması gerekmektedir. Bunun için ilk olarak mesh modülüne geçilip “Seed” menüsünden “Part” seçeneği seçilir. Bu seçenek seçildiğinde Şekil 3.69.'daki gibi bir onay penceresi açılır ve istenilen değerler girilerek onaylama yapılır.



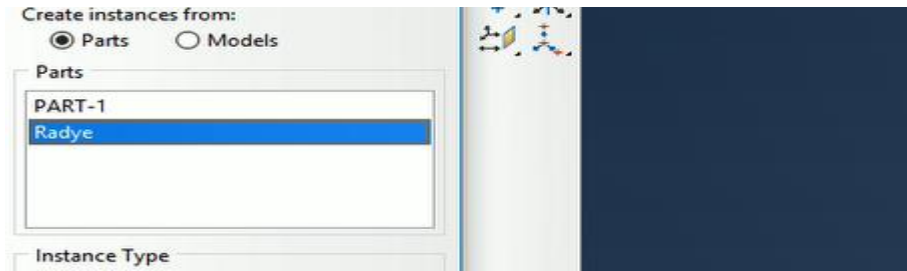
Şekil 3.69. Abaqus programı Seeds penceresi

Bu işlemin ardından üst araç çubuğundan “Mesh” ve ardından “Part” seçeneği seçilip onaylandığında parçada mesh işlemi gerçekleştirilmiş olur. Şekil 3.70.’te mesh işlemi gerçekleştirilmiş parça görülmektedir.



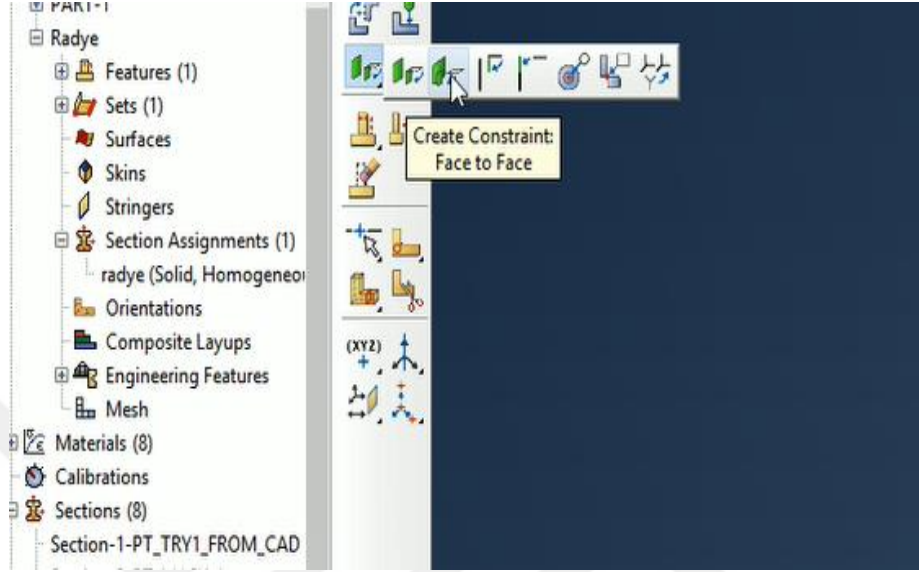
Şekil 3.70. Abaqus programı mesh işlemi yapılmış parça görüntüsü

Bazı durumlarda oluşturulan ayrı parçalar Abaqus programında birleştirilmek istenir. Bu durumda program ağacındaki “Instances” bölümünde “Create” seçeneği seçilir. Eklenmek istenen parçalar Şekil 3.71.’deki gibi seçilir.



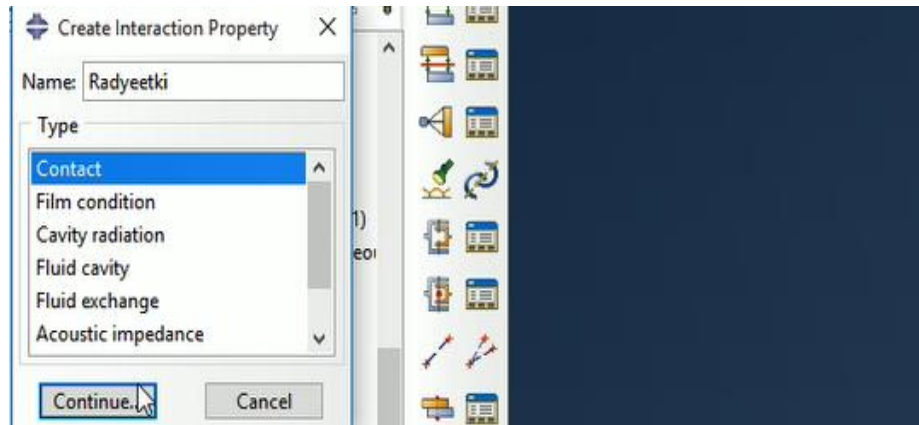
Şekil 3.71. Abaqus programı parçaların aynı pencereye alınması

Aynı çalışma penceresinde görünen fakat bitişik olmayan parçaları birleştirmek için “Face to Face” isimli konumlandırma kullanılabilir. Şekil 3.72.’de bu konumlandırma gösterilmiştir.



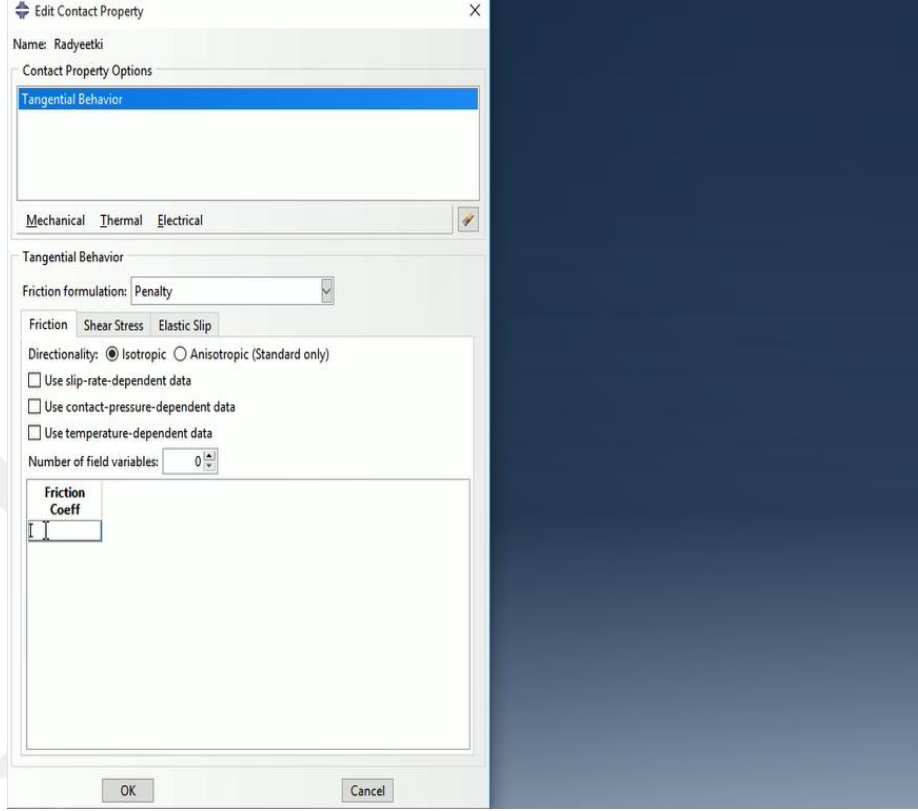
Şekil 3.72. Abaqus programı parçaların konumlandırılması

Bazı durumlarda parçalar arası yük aktarımının sağlıklı yapılabilmesi için üst üste konulan parçaların arasında bir etkileşim tanımlamak gerekebilir ve parçaların yüzeylerinin arasındaki sürtünmelerin programa girilmesine ihtiyaç duyulabilir. Bunun için öncelikle program ağacından “Interactions Properties” bölümünden Şekil 3.73.’teki gibi etkileşim özelliği oluşturmak gerekir.



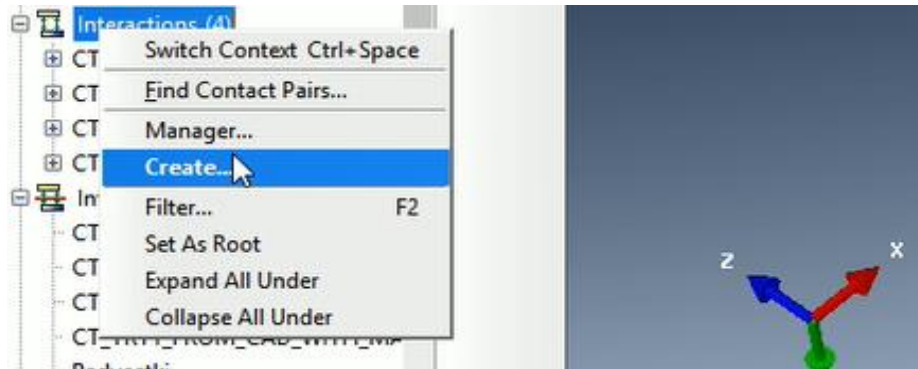
Şekil 3.73. Abaqus programı parçalar arası etkileşim özelliklerinin oluşturulması

Bir sonraki adımda yüzeyler arası sürtünme penceresi ekrana gelir. Şekil 3.74.'teki gibi yüzeyler arası sürtünme verileri programa girilir.



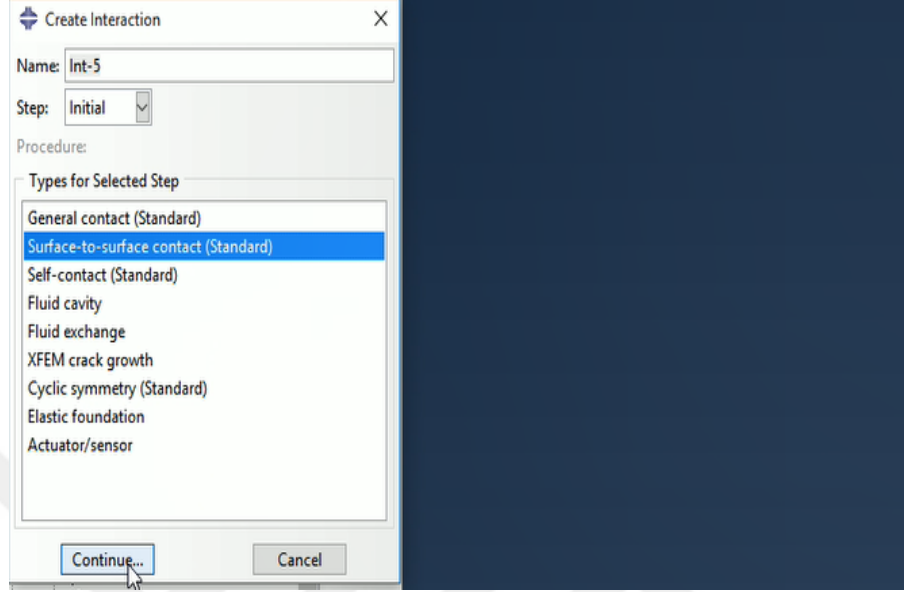
Şekil 3.74. Abaqus programı yüzeyler arası sürtünmenin girilmesi

Daha sonra “Interactions” bölümünden “Create” seçeneği ile etkileşim tanımlamak için Şekil 3.75.'teki gibi adım atılır.



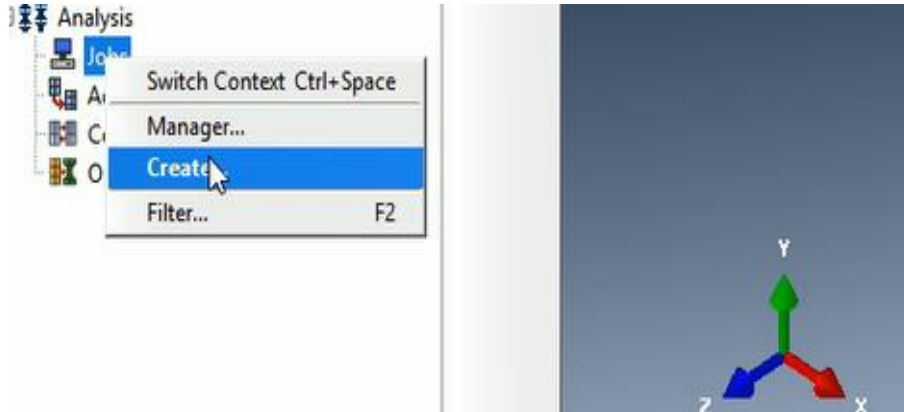
Şekil 3.75. Abaqus programı etkileşim tanımlama

Bu adımdan sonra Abaqus programı kullanıcı karşısına Şekil 3.76.'daki gibi bir etkileşim menüsü çıkarır.



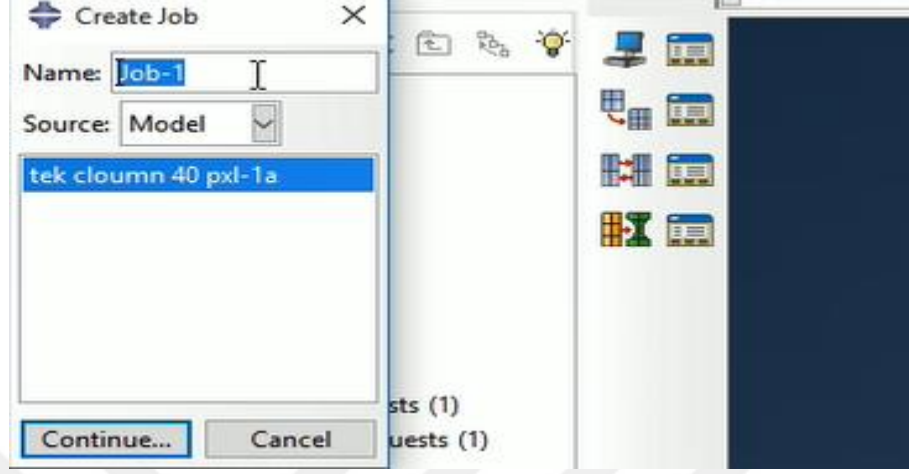
Şekil 3.76. Abaqus programı etkileşim tipi menüsü

İki yüzeyin birleştirilmesi için “Surface to surface contact” seçeneği uygundur. Bu seçenek seçildikten sonra program kullanıcıdan etkileşim içinde olan yüzeylerin seçilmesini ister. Bütün işlemler tamamlandıktan sonra analiz başlatma adımına geçilebilir. Bir analizi başlatabilmek için öncelikle programda Şekil 3.77.'deki gibi bir “Job” oluşturulmalıdır.



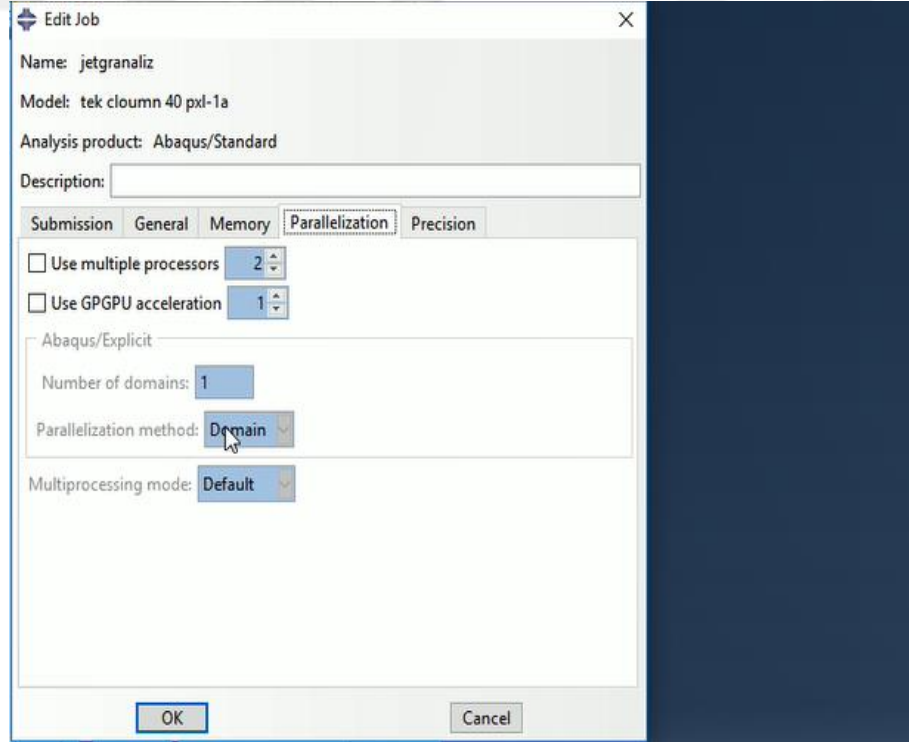
Şekil 3.77. Abaqus programı analiz için iş oluşturma

Programa iş oluştur komutu verildikten sonra programda Şekil 3.78.'deki gibi bir pencere ekrana gelir.



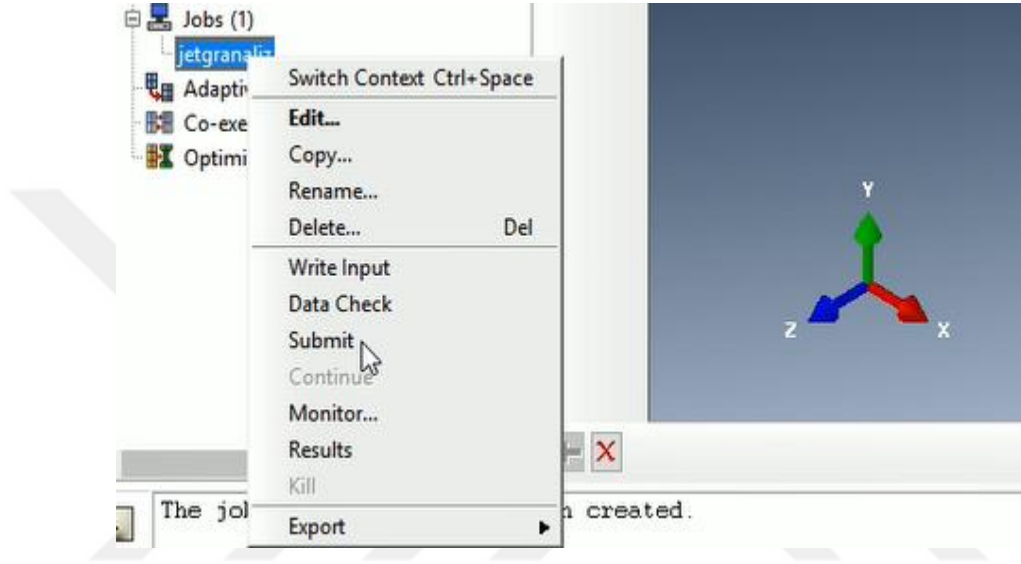
Şekil 3.78. Abaqus programı iş oluşturma penceresi

Bu adımdan sonra ise analiz için gerekli ayarların yapıldığı Şekil 3.79.'daki gibi bir pencere ekrana gelir.



Şekil 3.79. Abaqus programı analiz ayarları

Analiz ayarlarının yapıldığı pencerede kullanıcının istediği tarzda bir analiz oluşturması için birçok seçenek bulunur. Kullanıcı kendi tasarımı için en uygun olan ayarları seçmelidir. Kullanıcı bilgisayarı destekliyorsa aynı anda birçok işlemci çekirdeği kullanma ve analizi hızlandırma seçenekleri daha hızlı sonuç almak açısından tercih edilebilir. Şekil 3.80.'de gösterildiği gibi “Submit” komutuyla analiz başlatılabilir.



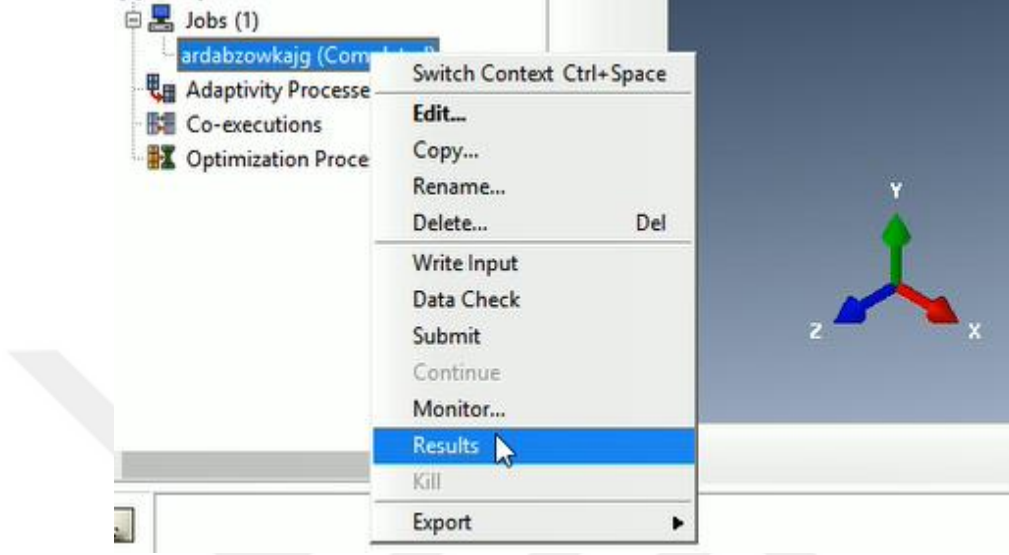
Şekil 3.80. Abaqus programı analizin başlatılması

Analiz başarıyla başlatılırsa Şekil 3.81.'deki gibi analiz iş dosyasının yanında analizin sürdüğünü belirten “Running” uyarısı görüntülenir.



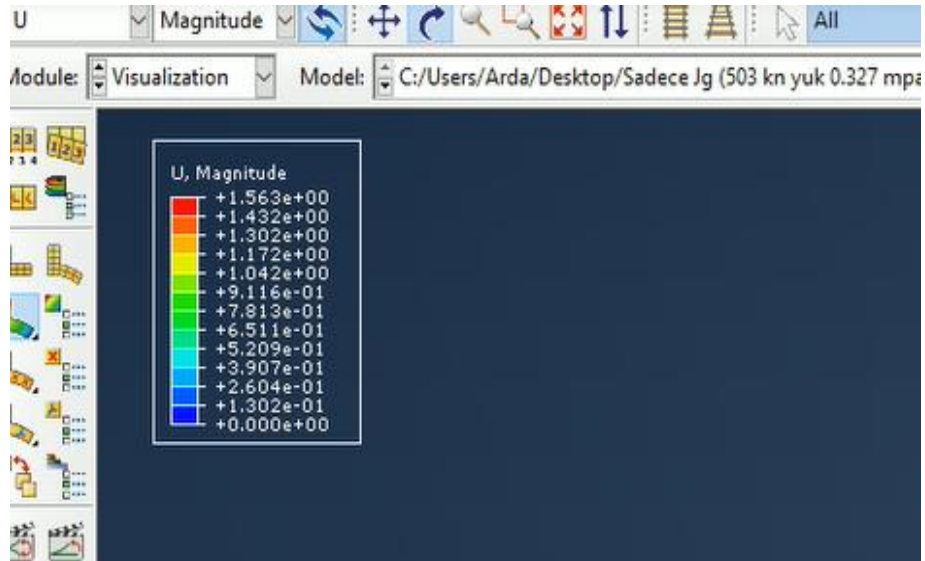
Şekil 3.81. Abaqus programı analizin devam ettiğini gösteren uyarı

Analiz bittiği zaman analiz iş dosyasının yanında analizin bittiğini gösteren “Completed” seçeneği Şekil 3.82.’deki gibi görünür. Sonuçlara ulaşmak için “Results” seçeneği seçilir.



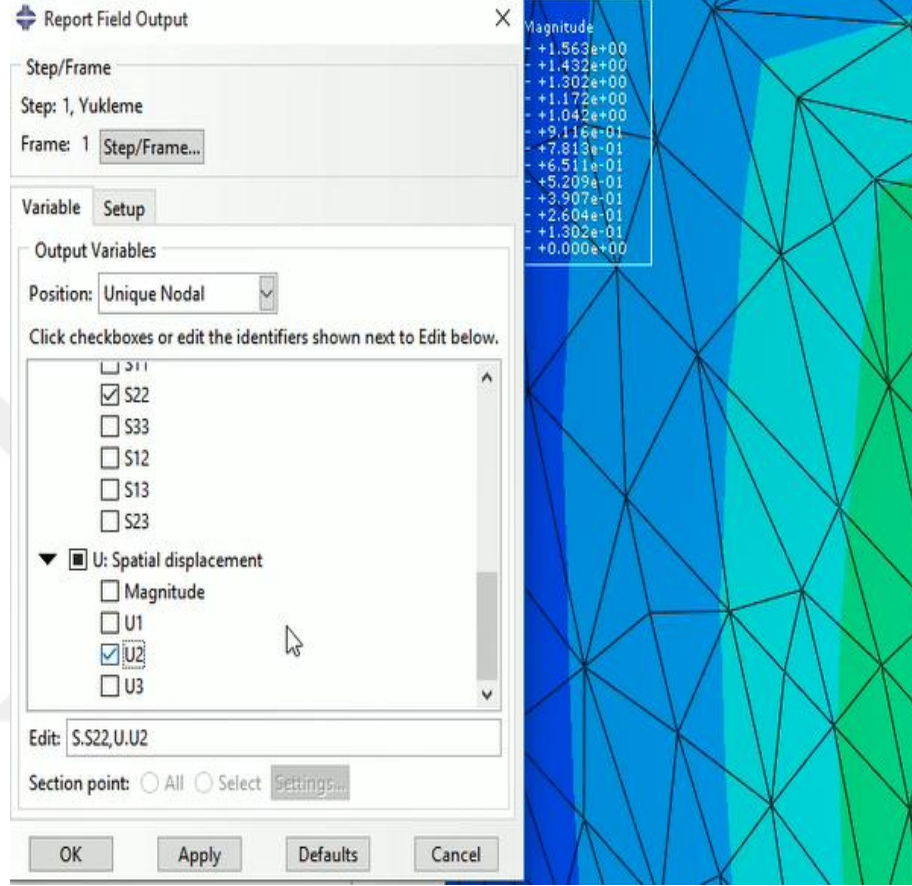
Şekil 3.82. Abaqus programı sonuçların görüntülenmesi

İlk aşamada ekranda sonuçların belirli bir bölümü Şekil 3.83.’teki gibi görüntülenebilir.



Şekil 3.83. Abaqus programı belirli sonuçların önizlemesi

Abaqus programında detaylı sonuçlara ve tüm noktadaki istenilen değerlere ulaşılabilir. “Report” bölümünden Şekil 3.84.’teki gibi detaylı sonuçlara, dosyaya aktarma yoluyla ulaşılabilir.



Şekil 3.84. Abaqus programı detaylı sonuçların oluşturulması

Detaylı sonuçların bir dosyada oluşturulması komutu verildiğinde program tüm istenilen sonuçları detaylı olarak dosyaya döker ve bu dosya not defteri veya benzeri bir uygulama ile görüntülenerek tüm sonuçların okunması sağlanır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, jet grout kolonlarla güçlendirilmiş zeminler üzerine oturan plak temellerin tasarım ilkeleri araştırılmıştır. Tekil bir jet grout deneme kolonu, plak temel ve tekil jet grout kolonunun üstüne oturan plak temel belirlenen zeminde ve derinlikte 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Zemin özellikleri ve tekil jet grout kolonunun çapı, biçimi ve yapısı Modoni ve Bzowka'nın (2012) çalışması esas alınarak tasarlanmıştır. Modellenen jet grout deneme kolonunun ve plak temelin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapmak için Plaxis 3D ve Abaqus olmak üzere iki ayrı program kullanılmıştır.

Modellenen jet grout deneme kolonunun her iki programdaki analiz sonuçları Modoni ve Bzowka'nın (2012) ve Algin'in (2016) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Abaqus programında elde edilen verilerin Plaxis 3D programına göre, Modoni ve Bzowka (2012) ve Algin'in (2016) sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Bu sebeple tasarım esasları belirlenirken ve sonuçlar değerlendirilirken Abaqus programından elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu bölümde Abaqus ve Plaxis 3D ile yapılan modellemeler, elde edilen bulgular ve sonuçlar detaylı olarak anlatılmıştır.

4.1. Plaxis 3D Programı ile Modelleme

Jet grout kolonu ve radye temel ilk olarak Plaxis 3D programı ile modellenip analizi yapılmıştır.

4.1.1. Plaxis 3D programı ile tekil jet grout modellemesi ve analizi

Plaxis 3D programı ile tekil jet grout kolonunun modellemesi yapılmadan önce jet grout kolonu ve zemin parametreleri belirlenmiştir. Plaxis 3D programında geometrisi değişen bir kolon tasarlanamadığından, silindir geometrisinde ve derinliğe bağlı çapı değişmeyen bir kolon oluşturulmuştur. Oluşturulan kolonun çapı 1 m olarak belirlenmiştir. Jet grout kolonunun malzeme tanımlaması ise Modoni ve Bzowka'nın

(2012) çalışmasındaki deneme kolonunun Mohr Coulomb modeli özellikleri kullanılarak programa girilmiştir. Çizelge 4.1.'de kullanılan jet grout kolonunun malzeme özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Plaxis 3D için jet grout kolonu malzeme özellikleri (Modoni ve Bzowka, 2012)

Malzeme	γ (kN/m ³)	E (MPa)	ν	Φ (°)	c (kPa)	Ψ (°)
Jet Grout (Mohr Coulomb)	25	3200	0.19	0	4000	0

Jet grout kolonunun bulunduğu zemin özellikleri de Modoni ve Bzowka'nın (2012) çalışmasındaki değerler kullanılarak elde edilmiştir. 9 farklı zemin tipi programa tanımlanmıştır. Tanımlanan zemin tiplerinin elastisite modülleri Çizelge 4.2.'deki gibidir.

Çizelge 4.2. Plaxis 3D programına tanımlanan zeminlerin elastisite modülleri

Zemin Tipi	E (MPa)	Derinlik (m)
Zemin 1	102,66	0,528
Zemin 2	133,12	1,66
Zemin 3	55,87	3,33
Zemin 4	50,70	4,99
Zemin 5	57,50	6,64
Zemin 6	80,46	8,3
Zemin 7	102,09	9,96
Zemin 8	74,80	11,62
Zemin 9	88,669	13,28

Plaxis 3D'ye girilen zemin tiplerinin dilatasyon açıları Çizelge 4.3.'teki gibidir.

Çizelge 4.3. Plaxis 3D programına tanımlanan zeminlerin dilatasyon açıları

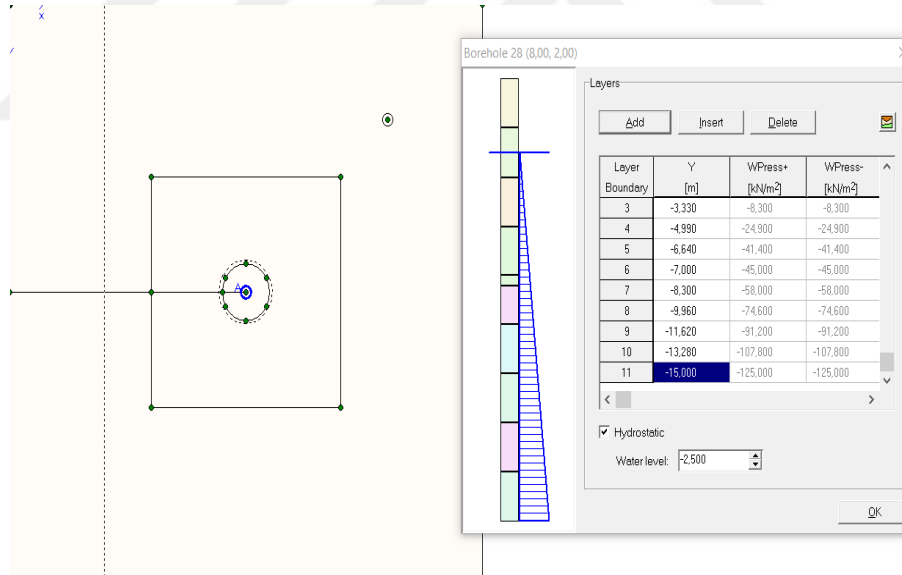
Zemin Tipi	Ψ (°)	Derinlik (m)
Zemin 1	5,5	0,528
Zemin 2	8,84	1,66
Zemin 3	10,66	3,33
Zemin 4	16,19	4,99
Zemin 5	23,42	6,64
Zemin 6	26,24	8,3
Zemin 7	27,99	9,96
Zemin 8	27,14	11,62
Zemin 9	28,07	13,28

Plaxis 3D programına tanımlanan zemin tiplerinin içsel sürtünme açıları Çizelge 4.4.'teki gibidir.

Çizelge 4.4. Plaxis 3D programına tanımlanan zeminlerin içsel sürtünme açıları

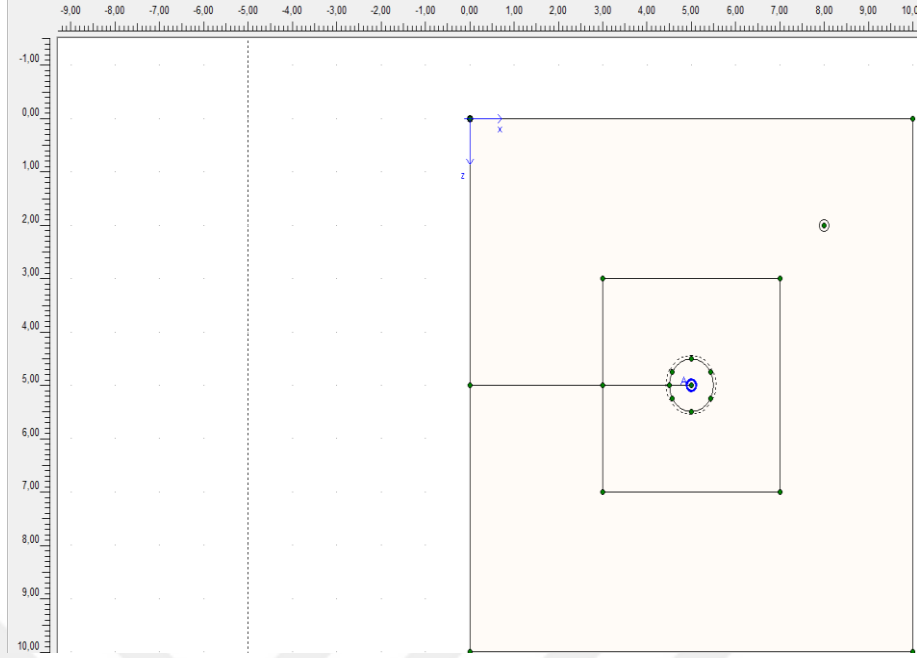
Zemin Tipi	Φ (°)	Derinlik (m)
Zemin 1	5,5	0,528
Zemin 2	8,84	1,66
Zemin 3	10,66	3,33
Zemin 4	16,19	4,99
Zemin 5	23,42	6,64
Zemin 6	26,24	8,3
Zemin 7	27,99	9,96
Zemin 8	27,14	11,62
Zemin 9	28,07	13,28

Çizelgelerde belirtilen jet grout ve zemin özellikleri Şekil 4.1.'deki gibi Plaxis 3D programına tanımlanmıştır.



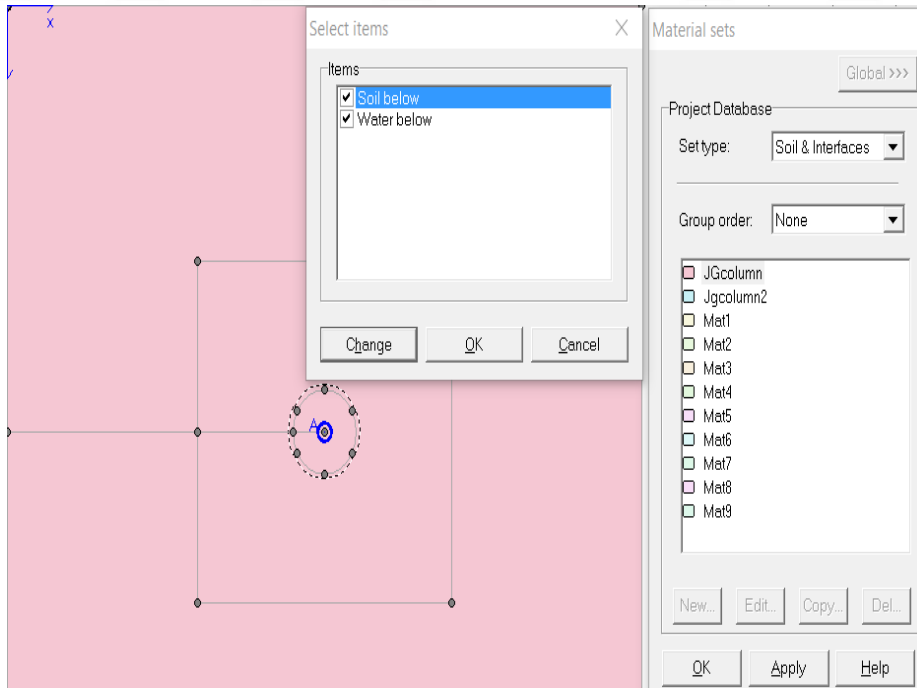
Şekil 4.1. Plaxis 3D programına zemin özelliklerinin tanımlanması

Programda oluşturulan jet grout kolonunun çapı 1 m olarak alınmıştır. Zemin derinliği 15 m ve zeminin bulunduğu alan 10 m x 10 m boyutundadır. Yer altı suyu seviyesi 2,5 m olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.2.'de oluşturulan zemin modeli ve jet grout kolonu görülmektedir.



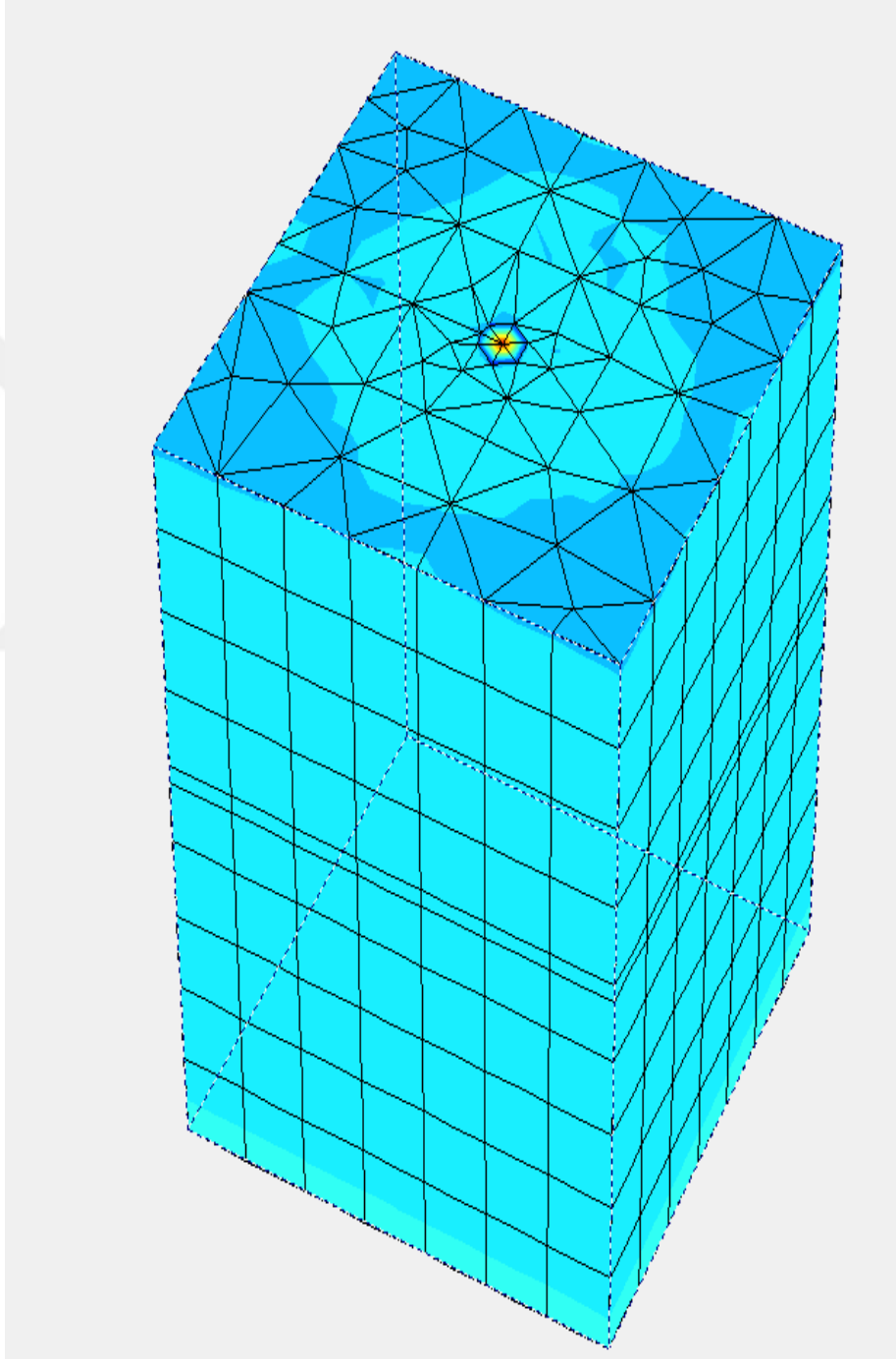
Şekil 4.2. Plaxis 3D programı ile oluşturulan zemin modeli ve jet grout kolonu

Belirlenen jet grout malzeme özellikleri Şekil 4.3.'te gösterildiği gibi jet grout kolonuna tanımlanmıştır.



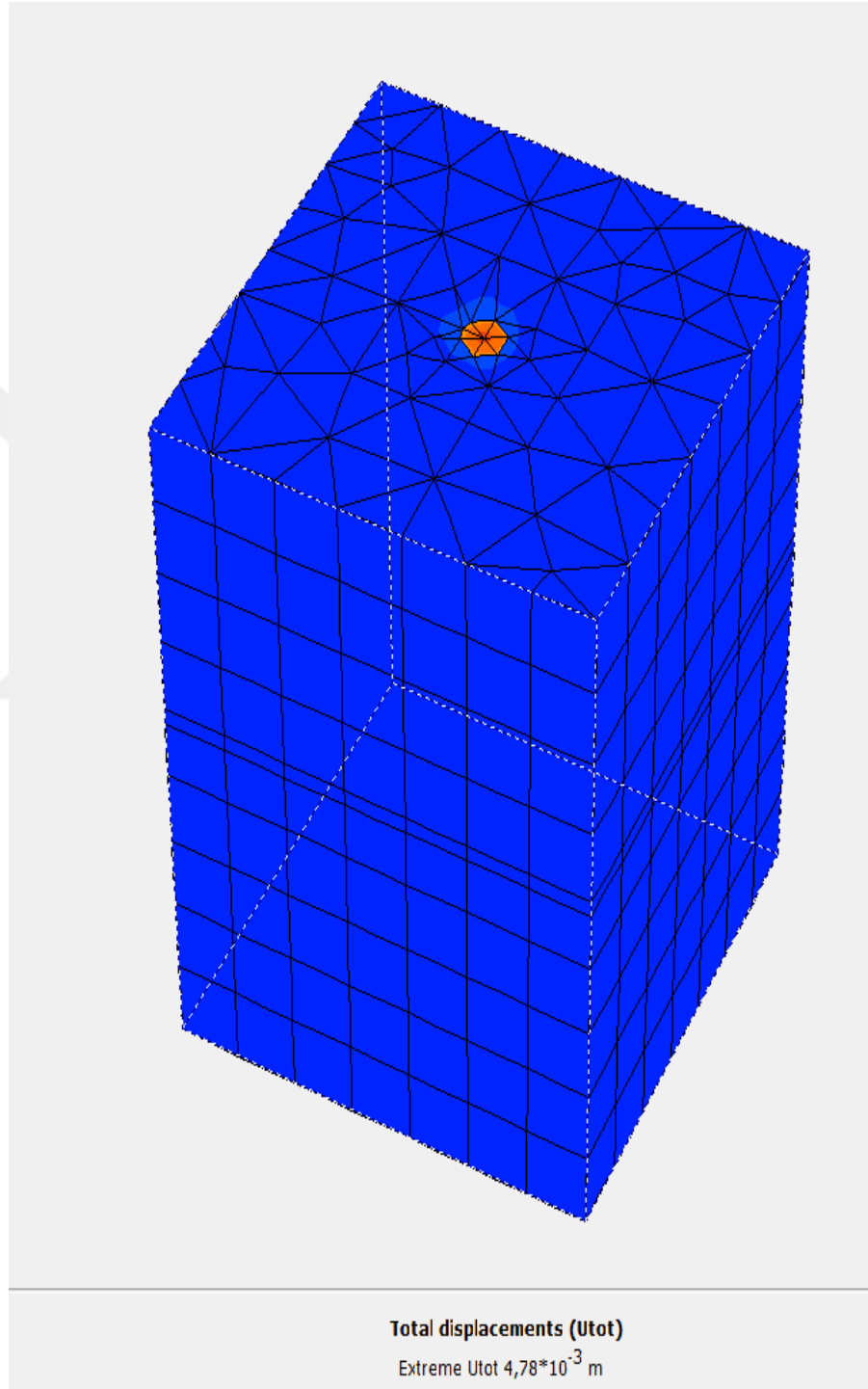
Şekil 4.3. Plaxis 3D programına jet grout malzeme özelliklerinin tanımlanması

2 boyutlu ve 3 boyutlu mesh işlemi tamamlandıktan sonra jet grout kolonu üzerine ilk aşamada 503 kN değerinde yük tanımlanmıştır. Yük tanımlama işleminden sonra analiz başlatılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Analiz sonrası Şekil 4.4.'teki gibi bir görünüm oluşmuştur.



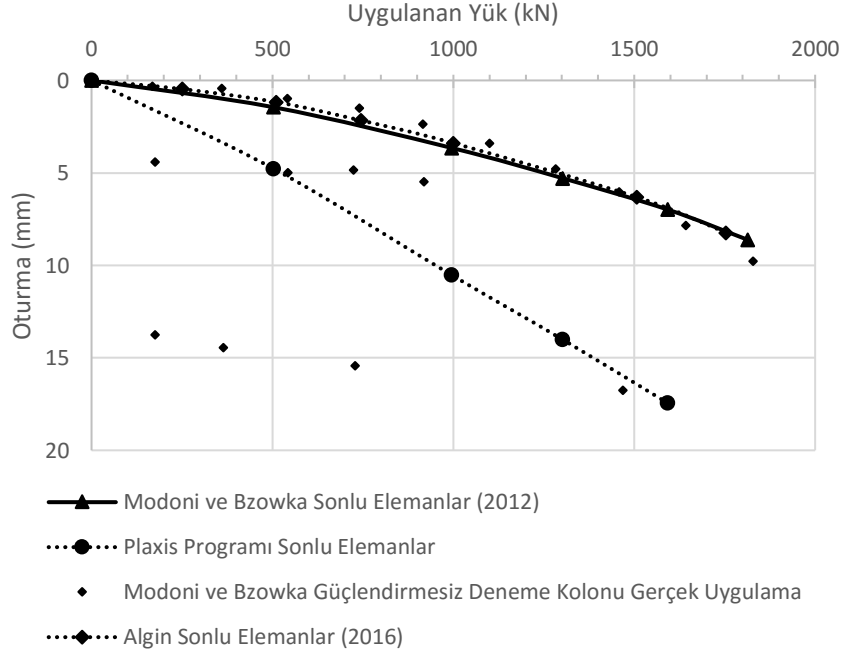
Şekil 4.4. Plaxis 3D programı analiz sonrası model görünümü

503 kN değerinde uygulanan yüke karşılık oluşan maksimum oturma 4,78 mm olarak analiz sonuçlarında kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.5.'te analiz sonucu oluşan oturma gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Plaxis 3D programı ilk analiz sonucu oluşan oturma değeri

Bu adımdan sonra 995, 1302 ve 1593 kN değerlerinde yükler jet grout kolonuna uygulanmış ve uygulanan her yüke karşılık belirli oturma değerleri oluşmuştur. Bu değerlere göre yük-oturma grafiği oluşturulmuş ve Modoni ve Bzowka (2012), Algin (2016) çalışmalarındaki sonlu elemanlar analizi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yük-oturma grafiği Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.

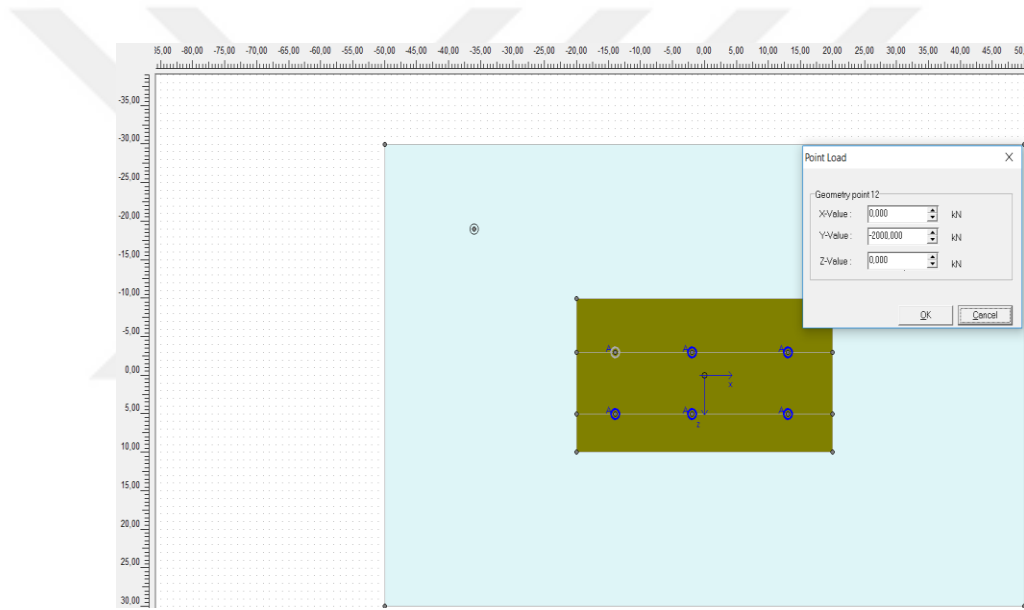


Şekil 4.6. Plaxis 3D programı analiz sonuçlarına göre yük-oturma grafiği

Grafik incelendiğinde elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalara yakın olduğu ancak verilerin tatmin edici düzeyde uyuşmadığı görülmüştür. Plaxis programında jet grout kolonunun değişen geometri ile modellenememesi, zeminler arası sürtünmenin gerçek anlamda tanımlanamaması gibi faktörler verilerin literatürdeki çalışmalara tatmin edici düzeyde uyuşmamasına sebep olmuştur. Bu yüzden aynı modelin Plaxis 3D programına göre çok daha gerçekçi modellemelerin yapılabildiği Abaqus programında tasarlanıp analiz edilmesine karar verilmiştir. Bölüm 4.2.1'de Abaqus programı ile yapılan analiz sonuçları literatürdeki çalışmalar ve Plaxis 3D verileri ile karşılaştırılıp programın gerçeğe yakın değer verip vermediği yorumlanmıştır.

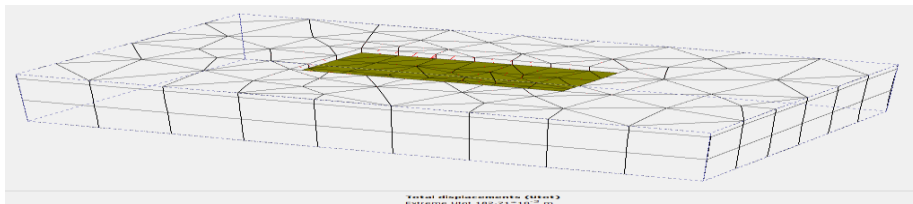
4.1.2. Plaxis 3D programı ile radye temelin modellenmesi ve analizi

Plaxis 3D programı ile jet grout kolonu analizi tatmin edici sonuçlar vermemesine rağmen Plaxis 3D ile sonuçların karşılaştırılması açısından radye temel modellenmesi de yapılmış ve analiz edilmiştir. Ancak Bölüm 4.2.1’de belirtildiği gibi Abaqus programı ile yapılan analizin gerçeğe çok daha yakın değerler verip literatürdeki çalışmaların verileriyle uyuşmasından dolayı sonuçların yorumlanması ve tasarım kriterlerinin belirlenmesinde Abaqus programından elde edilen veriler kullanılmıştır. Şekil 4.7.’de gösterildiği gibi 2000 kN değerinde tekil yüklerin yüklendiği 40 m x 25 m boyutlarında radye modellenmiştir.



Şekil 4.7. Plaxis 3D programı ile modellenen radye temel

Modellenen radye analiz edilmiştir ve analiz sonucunda 182.71 mm değerinde oturma olduğu Şekil 4.8.’deki gibi gözlemlenmiştir.



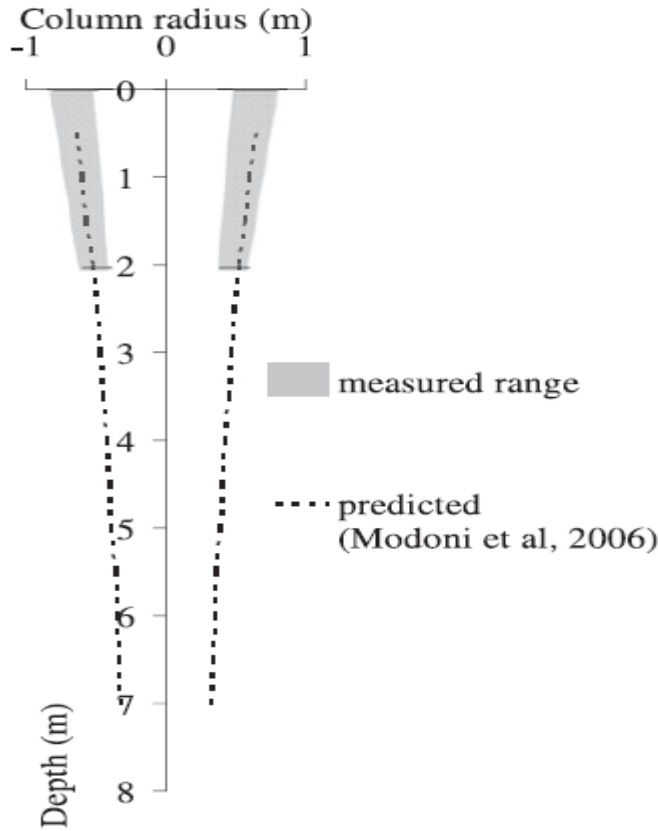
Şekil 4.8. Plaxis 3D programı radye temel analiz sonucu

4.2. Abaqus Programı ile Modelleme

Plaxis 3D programının istenilen sonuçları vermemesinden sonra hem iki program arası sonuçları karşılaştırmak hem de daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek amacıyla Abaqus programında jet grout ve radye temel modellemesi yapılmıştır.

4.2.1. Abaqus programı ile tekil jet grout kolonunun modellenmesi ve analizi

Abaqus programı ile tekil jet grout kolonunun modellenmesi yapılmadan önce jet grout kolonu ve zemin parametreleri belirlenmiştir. Abaqus programında Plaxis 3D programının aksine geometrisi değişen kolon tasarlanabildiğinden, Şekil 4.9.'da gösterilen Modoni'nin (2006) jet grout modeli Abaqus programında modellenmiştir.



Şekil 4.9. Modoni jet grout modeli

Model simetrik olduğundan kolaylık sağlaması için, jet grout ve zemin modelinin ¼'lük bölümü modellenmiştir. Oluşturulan kolonun çapı 1.4 m olarak belirlenmiştir. Jet grout kolonunun malzeme tanımlaması ise Modoni ve Bzowka'nın (2012) çalışmasındaki deneme kolonunun Mohr Coulomb modeli özellikleri kullanılarak programa girilmiştir. Çizelge 4.5.'te kullanılan jet grout kolonunun malzeme özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Abaqus için jet grout kolonu malzeme özellikleri (Modoni ve Bzowka, 2012)

Malzeme	γ (kN/m ³)	E (MPa)	ν	Φ (°)	c (kPa)	Ψ (°)
Jet Grout (Mohr Coulomb)	25	3200	0.19	0	4000	0

Jet grout kolonunun bulunduğu zemin özellikleri de Modoni ve Bzowka'nın (2012) çalışmasındaki değerler kullanılarak elde edilmiştir. 9 farklı zemin tipi programa tanımlanmıştır. Tanımlanan zemin tiplerinin elastisite modülleri Çizelge 4.6.'daki gibidir.

Çizelge 4.6. Abaqus programına tanımlanan zeminlerin elastisite modülleri

Zemin Tipi	E (MPa)	Derinlik (m)
Zemin 1	102,66	0,528
Zemin 2	133,12	1,66
Zemin 3	55,87	3,33
Zemin 4	50,70	4,99
Zemin 5	57,50	6,64
Zemin 6	80,46	8,3
Zemin 7	102,09	9,96
Zemin 8	74,80	11,62
Zemin 9	88,669	13,28

Abaqus programına tanımlanan zemin tiplerinin dilatasyon açıları Çizelge 4.7.'deki gibidir. Modoni ve Bzowka'nın (2012) çalışmasındaki değerler kullanılarak elde edilmiştir. 9 farklı zemin tipi programa tanımlanmıştır. Hassas ve gerçekçi bir çözüm yapılabilmesi için girilen değerler yuvarlanmadan girilmiştir. Elastisite modülü ve içsel sürtünme açılarını programa tanımlarken aynı hassasiyet gösterilerek veri girişi yapılmıştır.

Çizelge 4.7. Abaqus programına tanımlanan zeminlerin dilastasyon açıları

Zemin Tipi	Ψ (°)	Derinlik (m)
Zemin 1	5,5	0,528
Zemin 2	8,84	1,66
Zemin 3	10,66	3,33
Zemin 4	16,19	4,99
Zemin 5	23,42	6,64
Zemin 6	26,24	8,3
Zemin 7	27,99	9,96
Zemin 8	27,14	11,62
Zemin 9	28,07	13,28

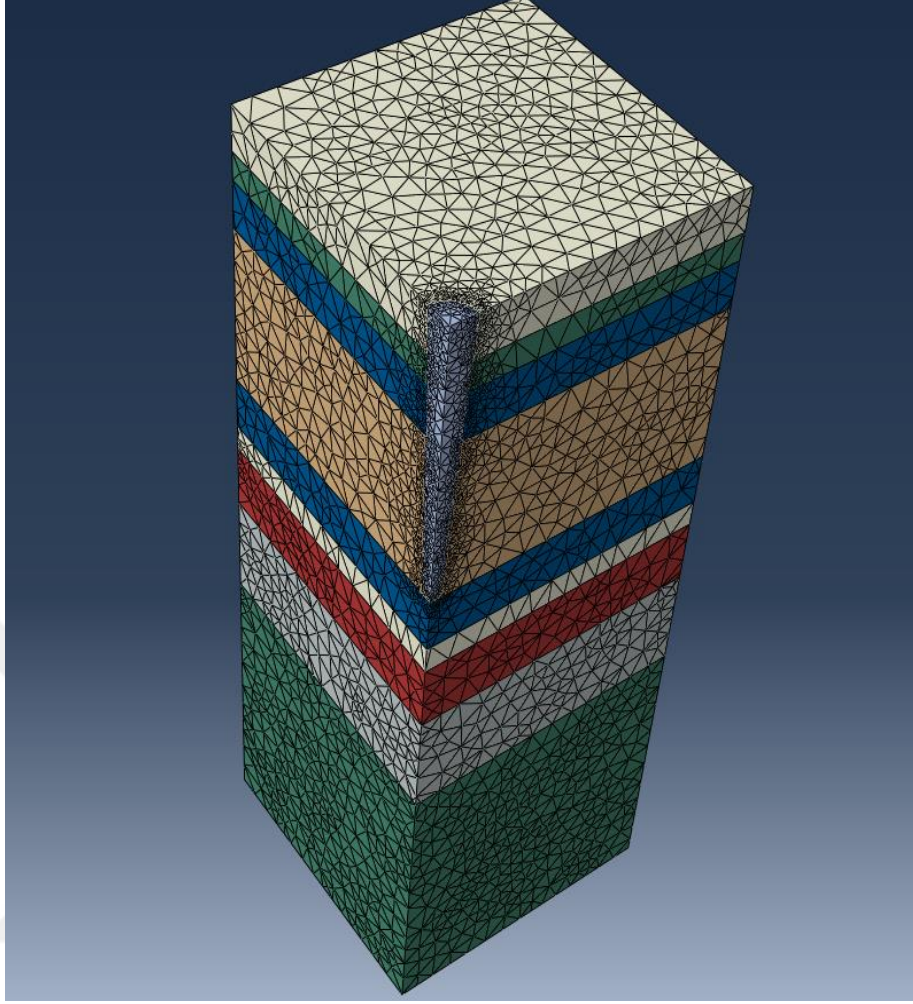
Abaqus programına tanımlanan zemin tiplerinin içsel sürtünme açıları Çizelge 4.8.'deki gibidir.

Çizelge 4.8. Abaqus programına tanımlanan zeminlerin içsel sürtünme açıları

Zemin Tipi	Φ (°)	Derinlik (m)
Zemin 1	5,5	0,528
Zemin 2	8,84	1,66
Zemin 3	10,66	3,33
Zemin 4	16,19	4,99
Zemin 5	23,42	6,64
Zemin 6	26,24	8,3
Zemin 7	27,99	9,96
Zemin 8	27,14	11,62
Zemin 9	28,07	13,28

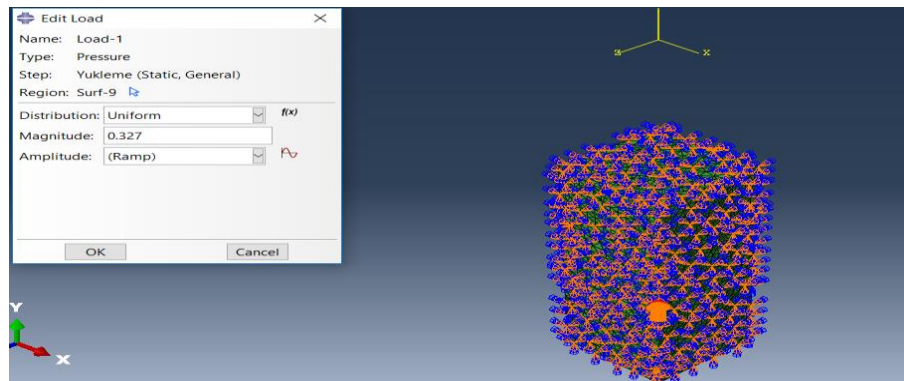
Çizelgelerde belirtilen malzeme özellikleri ve jet grout parametreleri Abaqus programına tanımlanmıştır. Plaxis 3D programından farklı olarak Abaqus'te jet grout kolonu ve zemin arasında etkileşim tanımlanmış ve etkileşim sürtünme katsayısı 0.7 olarak alınmıştır. Bu değer 28 derecelik arayüz sürtünme açısına denktir (Algin, 2016).

Programda oluşturulan jet grout kolonunun çapı 1.4 m olarak Modoni (2006) modeliyle aynı alınmıştır. Zemin derinliği 21 m ve zeminin bulunduğu alan 15 m x 15m boyutundadır. Şekil 4.10.'da oluşturulan zemin modeli ve jet grout kolonu görülmektedir.



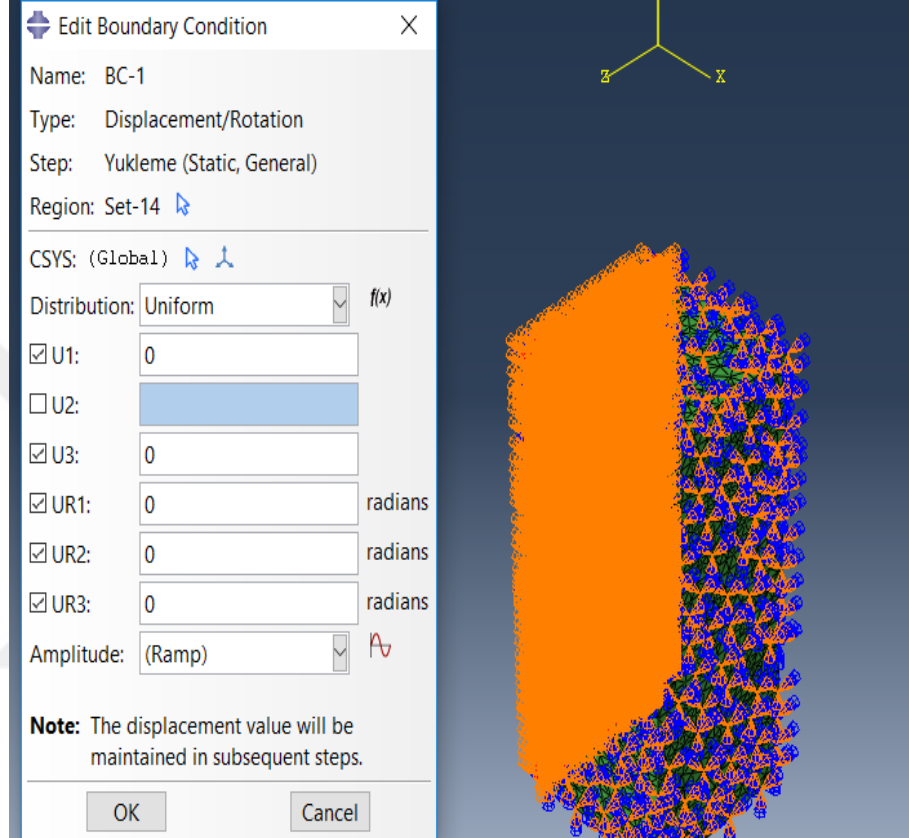
Şekil 4.10. Abaqus programı jet grout ve zemin modeli

Şekil 4.11.'de Abaqus programında jet grout yüzeyine 503 kN değerine denk tanımlanan basıncın tanımlanması gösterilmiştir.



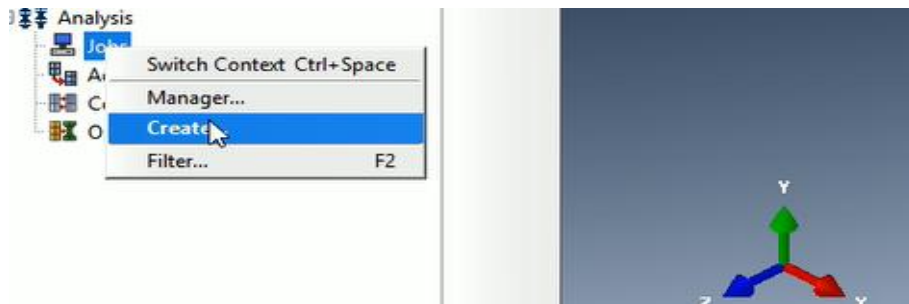
Şekil 4.11. Abaqus programı jet grout yüzeyine yük tanımlanması

Yük işlemleri tanımlandıktan sonra sınır koşulları belirlenmiştir. Jet grout kolonunun temas etmediği yüzeylerde tamamen dönme ve yer değiştirme sabitlenirken jet grout kolonunun temas ettiği yüzeylerde düşey yönde yer değiştirmeye izin verilmiştir. Şekil 4.12.'de sınır koşullarının tanımlanması gösterilmiştir.



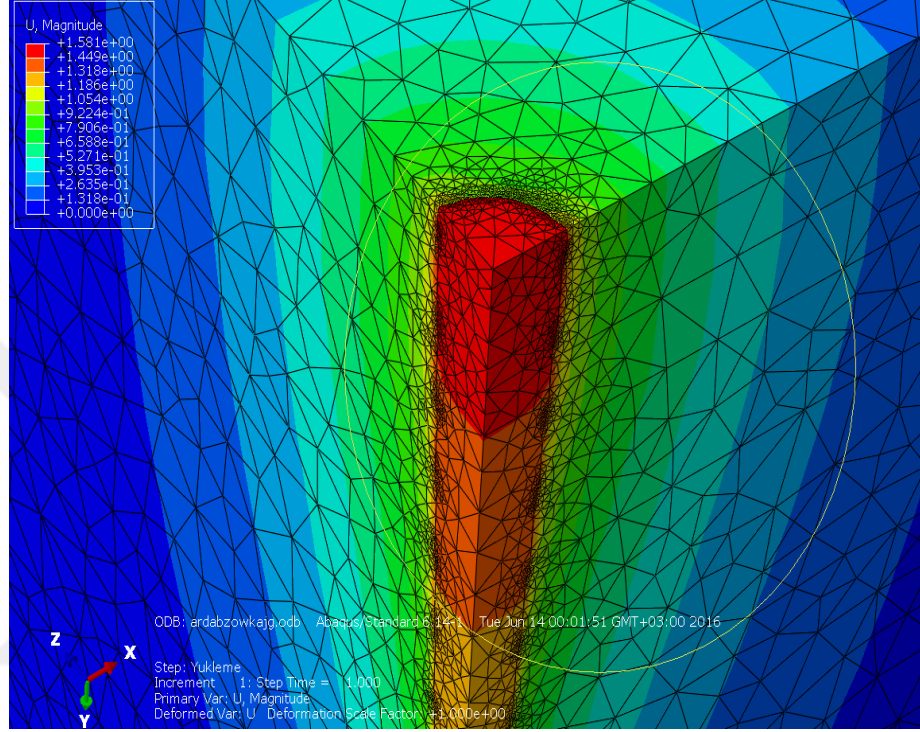
Şekil 4.12. Abaqus programı sınır koşullarının tanımlanması

Gerekli tüm tanımlamalar yapıldıktan sonra analiz işlemine geçilmiştir. Şekil 4.13.'te analiz işlemine başlama durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Abaqus programı analiz işlemine başlanması

Analiz işlemi bittikten sonra sonuç ekranı açılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Jet grout yüzeyine 503 kN değerinde uygulanan yüke karşılık gelen 0.327 MPa basınç uygulanması sonucu oluşan oturma değerinin gösterildiği Şekil 4.14.'teki gibi bir görünüm elde edilmiştir.

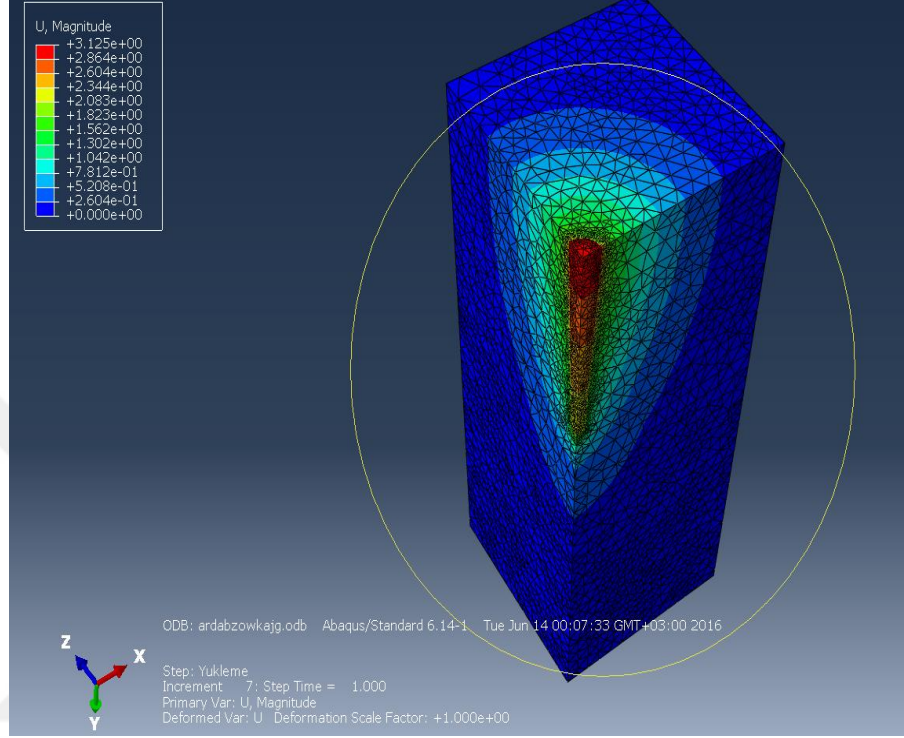


Şekil 4.14. Abaqus programı 0.327 MPa basınç için oluşan oturma değeri

Jet grout kolonunun yüzeyine 503 kN değerinde uygulanan yüke karşılık gelen 0.327 MPa basınç uygulanması sonucu Şekil 4.14.'te görüldüğü gibi 1.581 mm değerinde oturma değeri oluşmuştur. Bu değer Algin'in (2016), Modoni ve Bzowka'nın (2012) çalışmalarında elde ettiği sonlu elemanlar oturma sonucu ile çok büyük ölçüde uyumuştur.

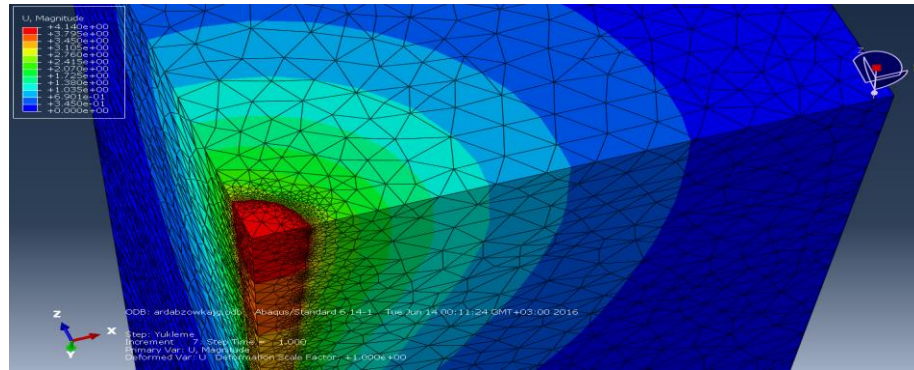
Bu adımdan sonra 995, 1302, 1593 ve 1814 kN değerlerinde yüklere karşılık gelen 0.646, 0.845, 1.034 ve 1.17 MPa değerlerinde basınçlar jet grout kolonuna uygulanmış ve uygulanan her basınç değerine karşılık belirli oturma değerleri oluşmuştur. Uygulanan basıncın değiştirildiği her adımdan sonra yeni bir analiz başlatılmıştır. Analiz süresinin çok uzamaması için yapılan analizlerde kullanılan bilgisayarın 8 çekirdeğinin de aktif çalışması sağlanmıştır.

Jet grout kolonunun yüzeyine, 995 kN değerinde uygulanan yüke karşılık gelen 0.646 MPa basınç uygulanması sonucu Şekil 4.15.'te görülen 3.125 mm oturma değeri oluşmuştur.



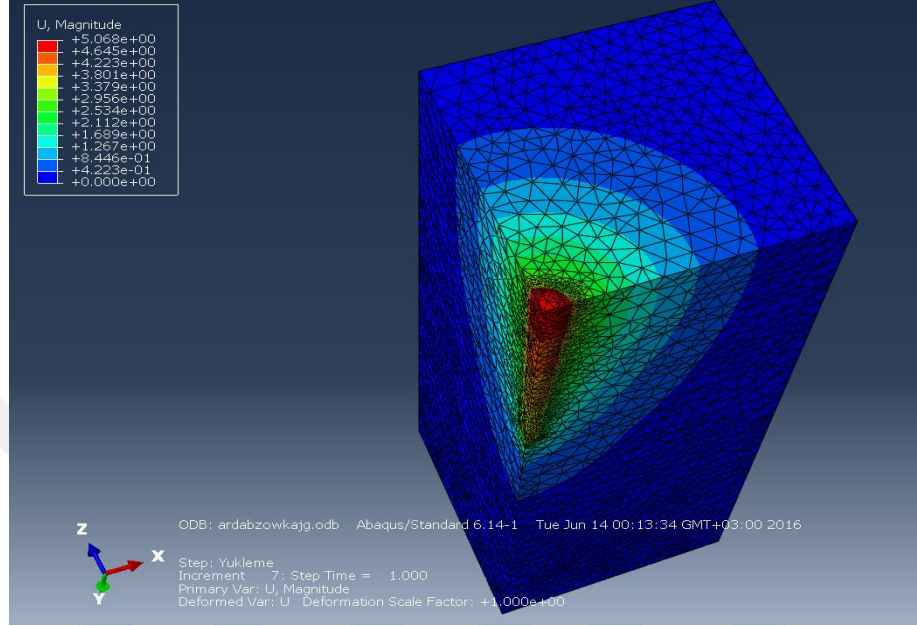
Şekil 4.15. Abaqus programı 0.646 MPa basınç için oluşan oturma değeri

Jet grout kolonunun yüzeyine, 1302 kN değerinde uygulanan yüke karşılık gelen 0.845 MPa basınç uygulanması sonucu Şekil 4.16.'da görülen 4.14 mm oturma değeri oluşmuştur.



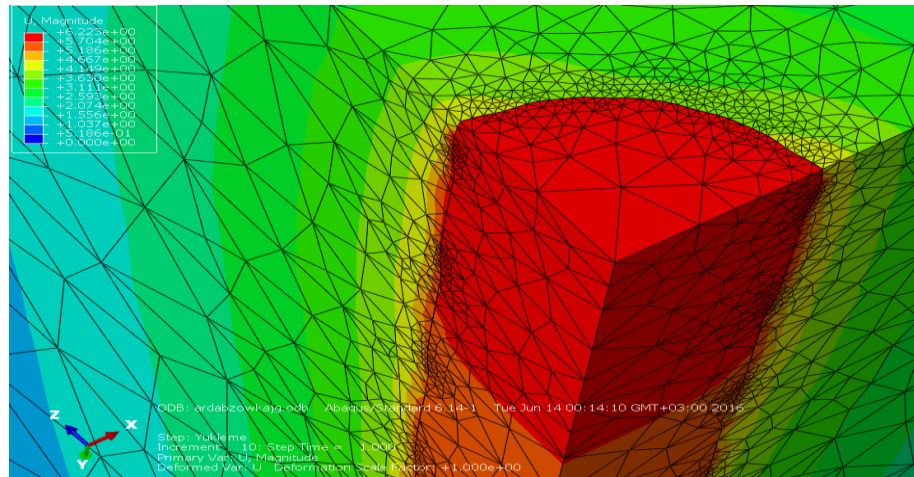
Şekil 4.16. Abaqus programı 0.845 MPa basınç için oluşan oturma değeri

Jet grout kolonunun yüzeyine, 1592 kN değerinde uygulanan yüke karşılık gelen 1.034 MPa basınç uygulanması sonucu Şekil 4.17.'de görülen 5.068 mm oturma değeri oluşmuştur.



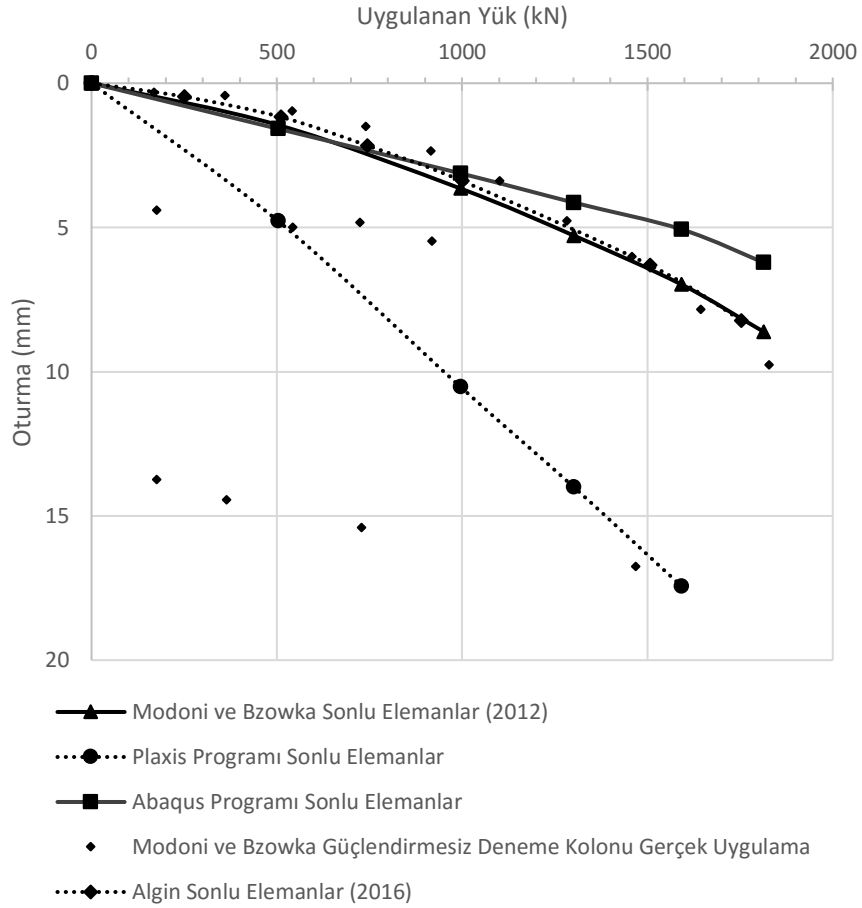
Şekil 4.17. Abaqus programı 1.034 MPa basınç için oluşan oturma değeri

Jet grout kolonunun yüzeyine, 1813 kN değerinde uygulanan yüke karşılık gelen 1.177 MPa basınç uygulanması sonucu Şekil 4.18.'de görülen 6.223 mm oturma değeri oluşmuştur.



Şekil 4.18. Abaqus programı 1.177 MPa basınç için oluşan oturma değeri

Elde edilen bu değerlere göre yük-oturma grafiği oluşturulup Modoni ve Bzowka (2012), Algin'in (2016) alışmalarındaki sonlu elemanlar analizi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Abaqus programında analiz sonrası elde edilen yük-oturma grafiği Şekil 4.19.'da gösterilmiştir.



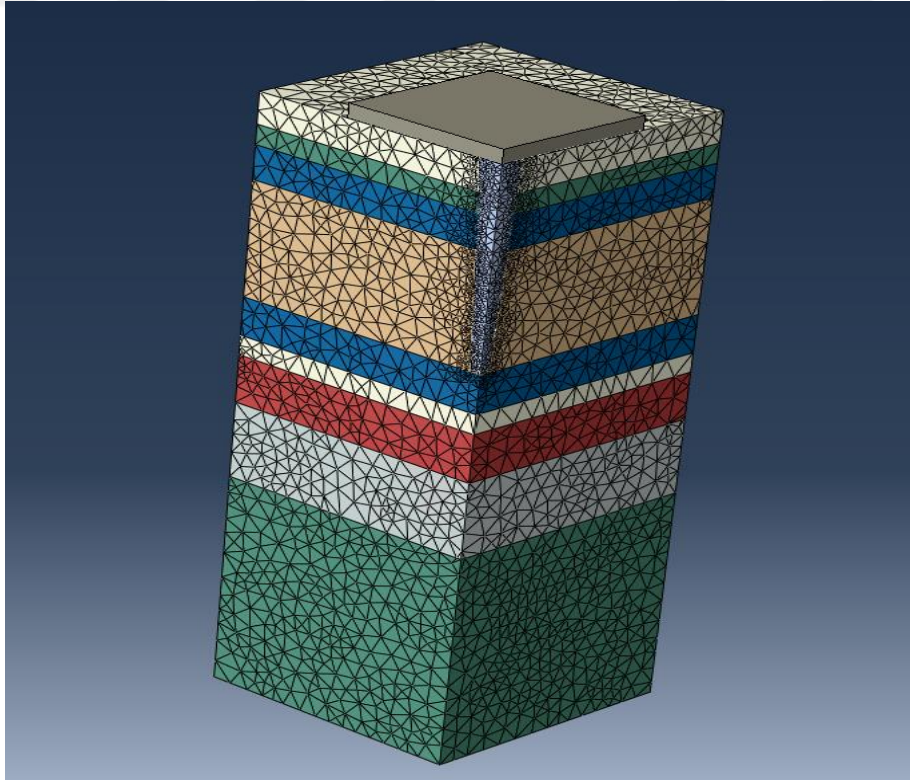
Şekil 4.19. Abaqus programı analiz sonuçlarına göre yük-oturma grafiği

Abaqus programından elde edilen sonuçlara göre oluşturulan grafik incelendiğinde elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalara oldukça yakın olduğu ve verilerin tatmin edici düzeyde olduğu grlmştir. Bu sonuçtan yola çıkılarak Abaqus ile yapılacak diğer analizlerin sonucunun da tutarlı olacağı düşünüldüğünden, jet grout üzerinde yer alacak radye temel in Abaqus programında analiz edilip jet grout ve radye temel tasarım kriterlerinin Abaqus programından elde edilen oturma, gerilme gibi verilere göre belirlenmesine karar verilmiştir.

4.2.2. Abaqus ile jet groutlu ve jet groutsız radyenin modellenmesi ve analizi

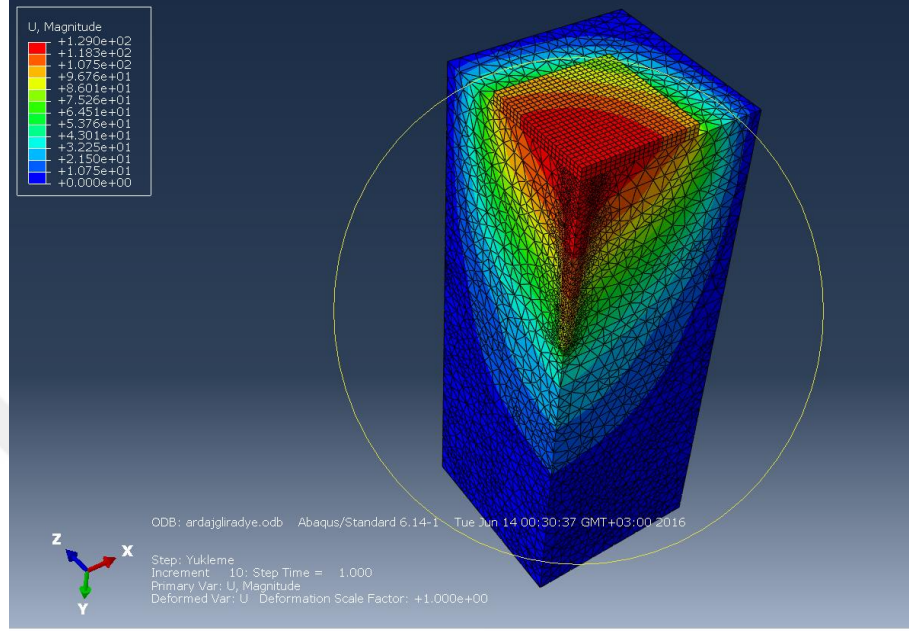
Abaqus programı ile jet grout kolonu analizi tutarlı sonuçlar verdiğiinden Bölüm 4.2.1’de tasarlanan zemin ve jet grouttan oluşan sistemin üzerine radye temel modellemesi yapılmış, yük etkilmiş ve analiz edilmiştir. Daha sonra jet grout kaldırılarak aynı zemin tabakaları üzerine sadece radye temel koyulup aynı yük ile analiz yapılarak jet grout ile desteklenen radye (plak) temelin oturma durumu jet grout ile desteklenmeyen radye temelin oturma durumuyla karşılaştırılmıştır. Radye temel ile zemin arasında etkileşim ve sürtünme (Penalty yöntemi ile) tanımlanmıştır. Ayrıca Plaxis 3D programından farklı olarak; jet grout kolonu ile zeminler arası etkileşim tanımlanarak radyenin yastık kalınlığı, aralık, uzunluk, eğilme momenti, düşey gerilmeler, ortalama oturma ve diferansiyel oturmanın tasarım faktörlerine olan etkisi araştırılmıştır.

Şekil 4.20.’de Bölüm 4.2.1’de tasarlanan jet grout ve zemin modeli üzerine yerleştirilmiş 10 m x 10 m boyutlarında ve 50 cm kalınlığa sahip, üzerine 2 MPa basınç uygulanan radye görülmektedir.



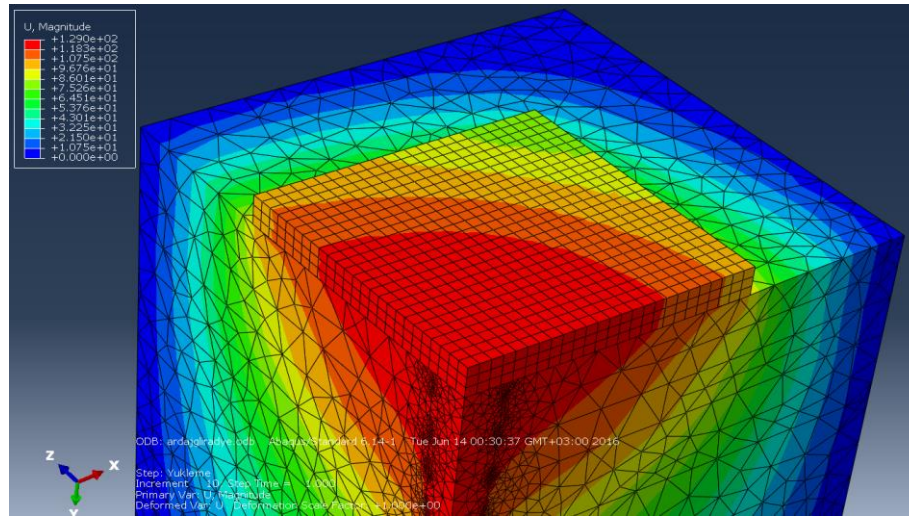
Şekil 4.20. Abaqus programında jet grout destekli radye tasarımı

Şekil 4.20.'de gösterilen jet grout kolonu üzerinde konumlandırılmış radye temel modelinin analizi yapılmış ve maksimum oturma değerinin Şekil 4.21.'de görüldüğü gibi 129 mm olduğu belirlenmiştir.



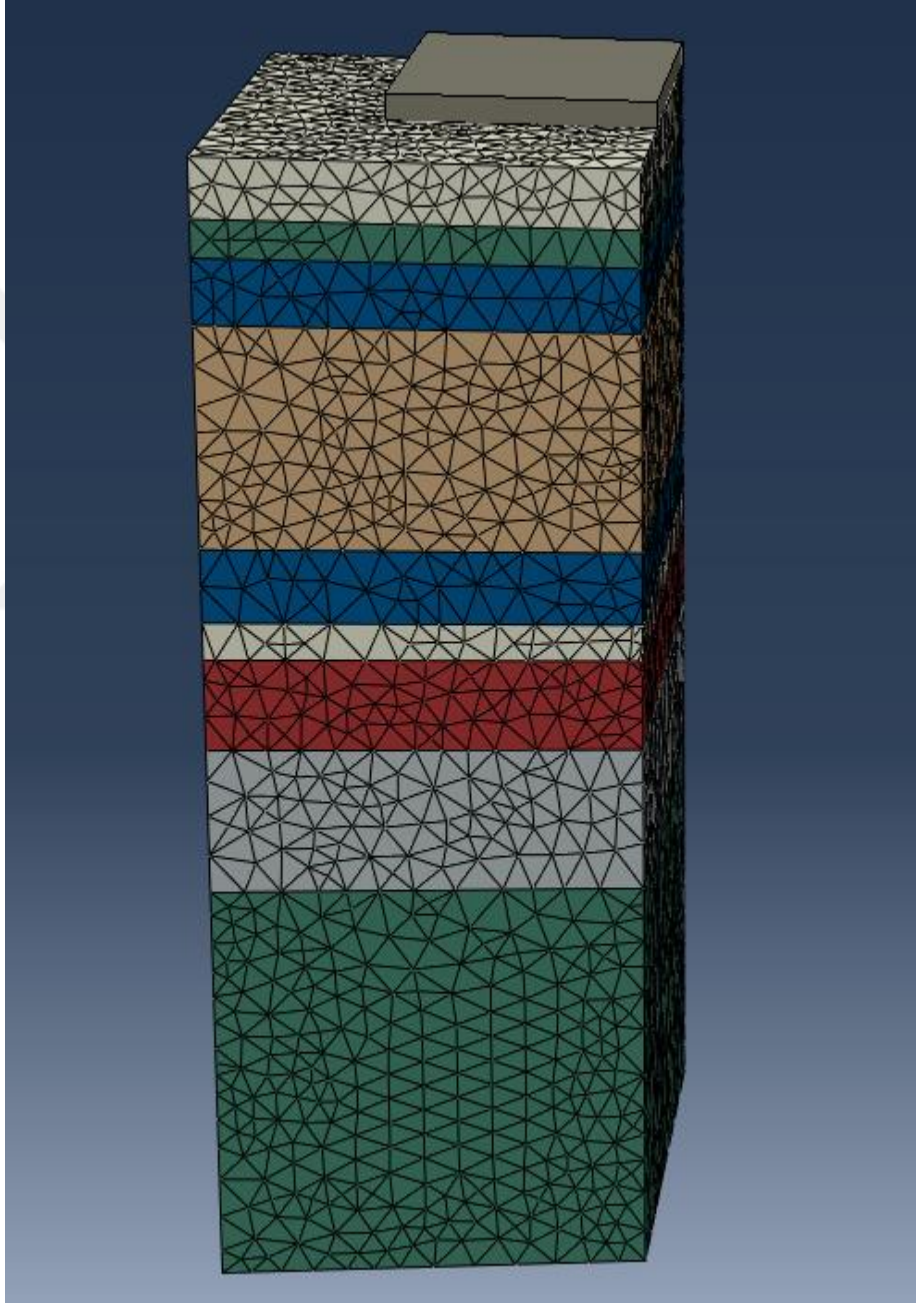
Şekil 4.21. Abaqus programında jet grout destekli radyenin analiz sonuçları

Şekil 4.22.'de ise analizi yapılan Şekil 4.21.'de gösterilen modelin yakın görünümü gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Abaqus programında jet grout destekli radyenin analiz sonucunun yakın görünümü

Şekil 4.23.'te Bölüm 4.2.1'de tasarlanan zemin modelinin jet grout kolonu kaldırılarak elde edilen ve sadece zemin tabakasından oluşan alan üzerine yerleştirilmiş 10 m x 10 m boyutlarında ve 50 cm kalınlığa sahip, üzerine 2 MPa basınç uygulanan radye görülmektedir. Jet grout kolonunun kaldırılmasının amacı jet grout kolonunun oturmaya etkisini araştırmaktır.



Şekil 4.23. Abaqus programında jet groutsuz radye tasarımı

4.3. Jet Grout Kolonunun ve Jet Groutlu Radyenin Tasarım Kriterleri

Bu tez çalışmasında oluşturulan jet grout, radye ve jet grout destekli radye modellerinin Abaqus sonlu elemanlar programıyla yapılan analizlerinin sonuçları Bölüm 4.2.1. ve 4.2.2.'de gösterildiği gibi Algin (2016) ve Modoni ve Bzowka (2012) ile uyumluluk göstermiştir. Bu sebeple Algin'in (2016) çalışmasında kullandığı jet grout ve jet grout destekli radye tasarım kriterlerinin bu tez çalışmasında kullanılması uygundur. Bu tez çalışmasında Abaqus programında oluşturulan Bölüm 4.2.1. ve 4.2.2.'deki modellerin analiz sonuçları Algin'in (2016) belirlediği jet grout ve jet grout destekli radye tasarım kriterleri ve denklemleriyle kontrol edilmiştir. Analiz sonuçlarının Algin'in (2016) denklemlerine uygulanıp yorumlanmasına "Sonuçlar ve Öneriler" bölümünde değinilmiştir.

Kazıksız radye parametrelerinden yararlanarak ortalama oturma, diferansiyel oturma ve eğilme momenti için denklemler tanımlanmıştır (Reul ve Randolph, 2004). Bu tanımlı denklemlerin jet grout destekli radye tasarımı için Denklem 4.1, Denklem 4,2 ve Denklem 4.3'teki gibi kullanılması uygundur (Algin, 2016).

$$S_{ra}^{JG} \leq Y_{asr} S_{ra} \quad (4.1)$$

$$\Delta S_r^{JG} \leq Y_{\Delta sr} \Delta S_r \quad (4.2)$$

$$M_{r(max)}^{JG} \leq Y_{Mr} M_{r(max)} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan S_{ra}^{JG} , jet grout destekli radyenin ortalama oturmasını (m), Y_{asr} , jet grout destekli radye için ortalama oturma katsayısını, S_{ra} , jet grout desteksiz radyenin ortalama oturmasını (m) ΔS_r^{JG} , jet grout destekli radyenin diferansiyel oturmasını (m) $Y_{\Delta sr}$, jet grout destekli radye için diferansiyel oturma katsayısını, ΔS_r , jet grout desteksiz radyenin diferansiyel oturmasını (m), $M_{r(max)}^{JG}$, jet grout destekli radyenin maksimum eğilme momentini (kN m/m), Y_{Mr} , jet grout destekli radye için maksimum eğilme momenti katsayısını, $M_{r(max)}$, jet grout desteksiz radyenin maksimum eğilme momentini (kN m/m) ifade etmektedir.

Genelde bir temelin limit şartları yapabileceği maksimum oturma değeriyle tanımlanır. Ancak bu çalışmadaki modellerde bu tanım yetersiz kalmaktadır. Literatürdeki bazı çalışmalarda jet grout destekli radye için maksimum oturma limitinin jet grout ana çapının % 5'i olduğu ifade edilmiştir (Modoni ve Bzowka, 2012). Ayrıca limit değer literatürde temel genişliğinin % 0.5'i olarak ifade edilmiştir (Eurocode 7, 2004). Bu çalışmada radye için 10 m temel genişliği kullanıldığından limit oturma 50 mm olarak bulunur. Bu değer Algin'in (2016) çalışmasındaki değer ile de uyumludur.

Genellikle diferansiyel oturma için kazıklı radyelerde maksimum diferansiyel oturma ve dikdörtgen radyenin genişliği oranı kullanılır. Bu oran 0.001'den küçük olmalıdır (Reul ve Randolph, 2004).

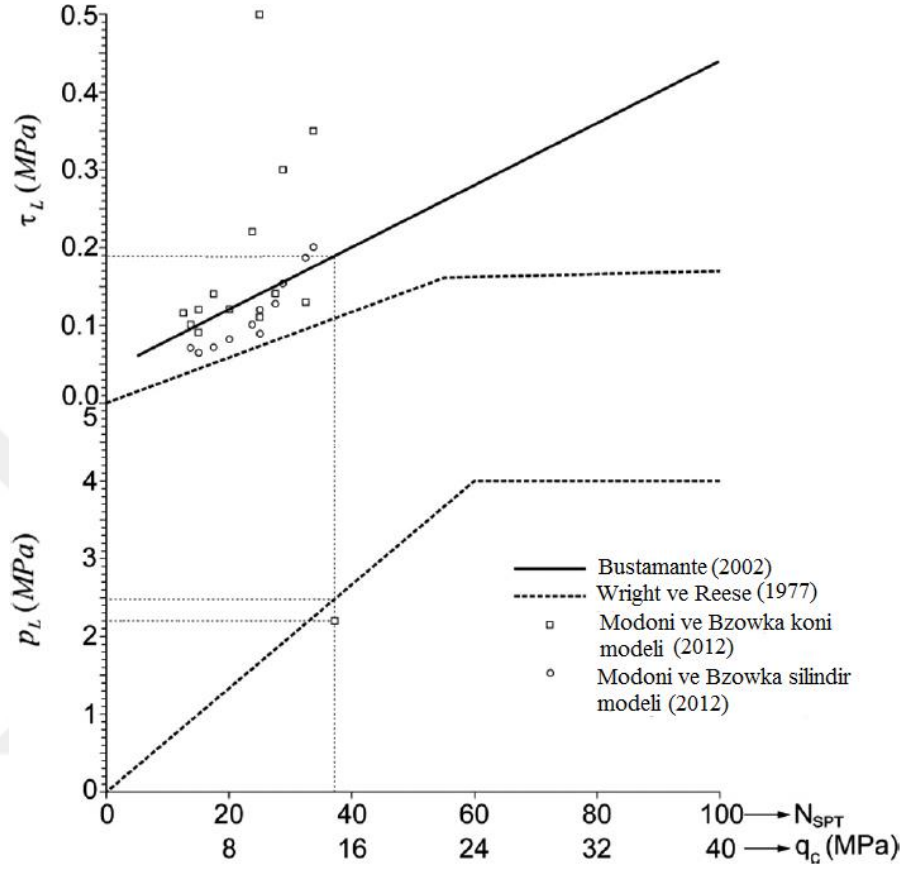
Jet grout tasarımı için ise Modoni ve Bzowka (2012) Denklem 4.4'ü tanımlamıştır.

$$S_{lim} = \sigma_c \alpha_c + \sigma_f \alpha_f \quad (4.4)$$

Denklemden tanımlanan S_{lim} , jet grout yüzeyine uygulanabilecek limit yük değerini (kN), σ_c jet grout kolonundaki düşey yöndeki gerilmeyi (kN/m²), α_c , jet grout kolonunun kesit alanını (m²), σ_f , çelik güçlendiriminin basınç dayanımını (kN/m²), α_f , çelik güçlendiriminin kesit alanını (m²), ifade etmektedir.

Ayrıca Modoni ve Bzowka (2012) çalışmalarında kazık altı limit düşey gerilme değerini ifade eden p_L (kN/m²) değerini 2.2 MPa ve jet grout yanal yüzeylerinde oluşabilecek maksimum limit düşey gerilme değerini ifade eden τ_L (kN/m²) değerini 0.189 MPa, jet grout destekli materyalin basınç dayanımını ifade eden q_u değerini yaptığı analizler sonucu 8 MPa olarak kabul etmiştir. Bu değerler 1.3 güvenlik katsayısına bölünerek tasarım değerlerine ulaşılır (Eurocode 7,2004). Şekil 4.25.'te Modoni ve Bzowka'nın (2012) Wright ve Reese (1977) eğrisi ile uyumlu olan CPT uç

direnci q_c 'ye karşılık gelen kazık altı limit düşey gerilme değeri p_L ve maksimum limit düşey gerilme değeri τ_L ile ilgili grafiği gösterilmiştir.

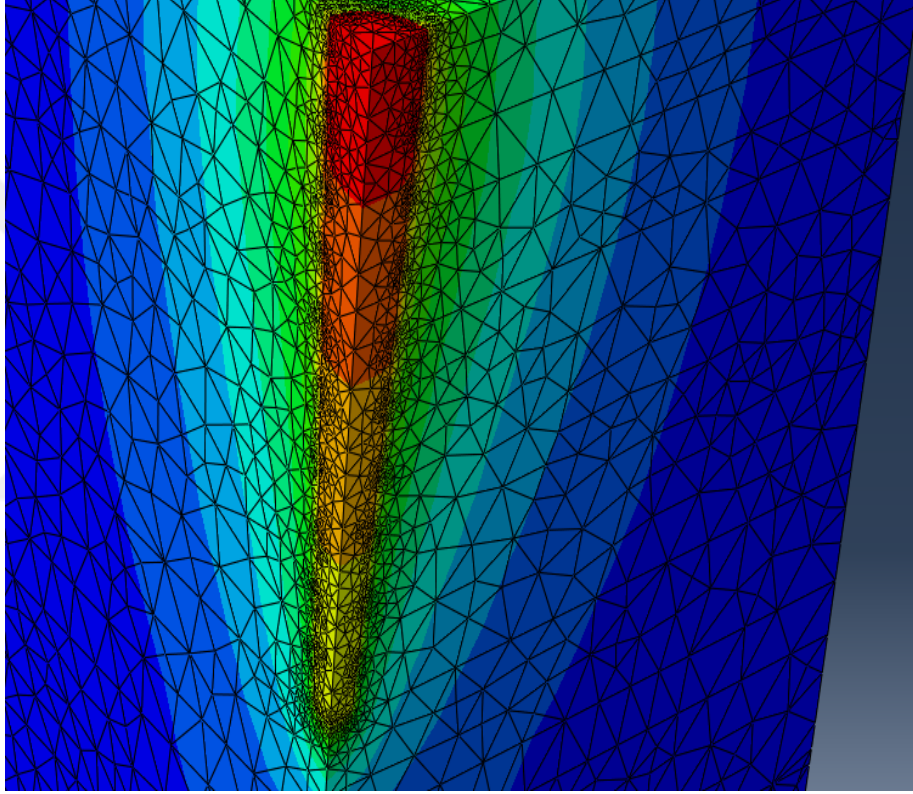


Şekil 4.25. Tasarım için p_L ve τ_L eğrileri

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Bölüm 4’te tanımlanan denklemler ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.1.’de jet grout kazık altı değerinin programdan okunması gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Abaqus programı jet grout kazık altı gerilme değeri

Şekil 5.2.’de jet grout yüzeyine 1.177 MPa basınç uygulandığında kazık altındaki noktadan okunan düşey gerilme verilmiştir.

abaqus.rpt - Not Defteri

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım	
		12347		1	-1.14112
		12348		1	-1.12614
		12349		1	-2.56506
		12350		1	-1.05322
		12351		1	-1.18306
		12352		1	-884.997E-03
		12353		1	-1.00182
		12354		1	-1.06576
		12355		1	-960.040E-03
		12356		1	-868.944E-03
		12357		1	-1.01163
		12358		1	-887.344E-03
		12359		1	-717.712E-03
		12360		1	-907.907E-03

Şekil 5.2. Abaqus programı kazık altındaki maksimum gerilme (MPa)

Şekil 5.2.'de görüldüğü gibi kazık altındaki gerilme (MPa) kazık altı limit düşey gerilme değerini ifade eden $p_L = 1.69$ MPa 'den küçüktür ve denklem sağlanmıştır.

Jet grout yüzeylerinde oluşabilecek maksimum limit düşey gerilme değerleri de $((\tau = \sigma_{cüst} \alpha_{cüst} - \sigma_{calt} \alpha_{calt}) / \alpha_c)$ Şekil 5.2.'de gösterilen değerlere göre hesaplanmış ve tüm değerler $\tau_L = 0.145$ MPa sınır tasarım değerinden küçük çıkmıştır, böylece denklem sağlanmıştır.

Denklem 4.4.'e göre S_{lim} değeri bu çalışma için elde edilen verilere göre 2.1 Mpa $(N/mm^2) * \pi * 700 \text{ mm}^2 = 3231.06$ kN'dur. Çalışmada jet grout yüzeyine maksimum 1813 kN değerine karşılık gelecek basınç etkilmiştir. Bu sebeple bu çalışma için Denklem 4.4. sağlanmış ve sınır değerler içinde kalmıştır. Ayrıca 2.1 Mpa olarak Şekil 5.2.'de bir kısmı gösterilen düşey gerilme değerlerine göre hesaplanmış jet grout kolonundaki en yüksek düşey gerilme olan σ_c değerinin, 1.3 güvenlik katsayısına bölünerek elde edilen 6.153 değerindeki jet grout destekli materyalin basınç dayanımı olan q_u değerini aşmadığını ve böylece güçlendirmeye ihtiyaç duyulmadığını göstermiştir.

Bölüm 4.2.2’de jet grout destekli radyenin oturma değeri 129 mm jet grout desteksiz radye temelin oturma değeri ise 139 mm olarak gösterilmiştir. Bu değerler Denklem 4.1’de yerine yazıldığında Y_{asr} katsayısı 1’den küçük çıkmakta ve bu değer Algin’in (2016) çalışması ile uyuşmaktadır. Yapılan analizler sonucunda jet grout kolonlarının radye temeli desteklemesi ile meydana gelen oturmaların azaldığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuç literatürdeki benzer çalışmaları da destekler niteliktedir. Bölüm 4.3’te verilen jet groutlu radye sınır oturma değeri 50 mm’dir. Bu değer radye temelin alt bölümünün tümünün jet grout kolonları ile desteklenmesi durumunda geçerlidir. Bu çalışmadaki analizde radye tekil jet grout kolonu üzerinden olduğundan Bölüm 4.2.2’de 129 mm olarak elde edilen oturma değerinin sınırların dışına çıkıldığı anlamına gelmemektedir.

Sonuç olarak jet grout destekli radyelerin optimum tasarımı; alt zeminin koşulları, jet grout kolonunun özellikleri, aralığı ve boyutları, radye temel yastık kalınlığı ve genişliğine bağlıdır. Bu çalışmada literatürde 2 boyutta aksenal simetri kullanılarak oluşturulan ve analiz edilen jet grout ve jet grout destekli radye modelleri, 3 boyutlu olarak modellenip tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. 3 boyutta modellemeden tutarlı sonuçların alınması, bu tür çalışmalar için modellerin daha gerçekçi olarak 3 boyutta tasarlanıp analiz edilebileceğini göstermiştir.

5.2. Öneriler

Tasarım parametreleri uygulanmadan ve jet grout deneme kolonu oluşturmadan yapılan jet grout/jet grout destekli radye temel tasarımları ekonomik ve güvenli olmamaktadır. Bu sebeple jet grouting çalışması yapılacağı zaman, bu tez çalışmasındaki gibi modelleme ve analizler yapılmalı, tekil deneme jet grout kolonu oluşturulmalı ve elde edilen analiz sonuçlarına göre uygulama yapılmalıdır. Analiz sonuçlarına göre elde edilen değerler tasarım için yetersiz ise baştan projelendirme yapılmalı, yeterli ise gereksiz malzeme kullanımından kaçınılarak ekonomik ve güvenli projelendirme yapılarak uygulamaya geçilmelidir.

KAYNAKLAR

- ALGIN, H. M., 2013. Jet grout kolon zemin etkileşiminin gerçekçi modellenmesi ve arayüz geometrisinin sistemin davranışa etkisi. 5. Geoteknik Sempozyumu, 5-7 Aralık, Adana, s.1-10.
- ALGIN, H. M., 2016. Optimised design of jet-grouted raft using response surface method. *Computers And Geotechnics*, 74: 56-73.
- BAUMANN, V., 1984. Das soilcrete - verfahren in der baupraxis. *Vortrage der Baugrundtagung*, 1: 49 – 83.
- BURLAND, J. B., LONGWORTH T.I. and MOORE, D.F.A., 1977. A study of ground movement and progressive failure caused by a deep excavation in Oxford Clay. *Géotechnique*, 27: 557-591.
- BUSTAMANTE, M., 2002. Les colonnes de jet grouting. Report Of The Seminar Pathologies Des Sols Et Des Foundations, France, s. 1-11.
- BELL, R., CLEMENTE C., JOSE, L.M., GULARTE, G., FRANCIS, B., LOPEZ, Z. and ROBERTO, A., 2003. Superjet grouting reduces foundation settlement for la rosita power plant in mexicalli. Mexico, New Orleans, s. 354 – 364.
- BZOWKA, J., 2004. Computational model for jet grouting pile - soil interaction. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 26: 3–4.
- BS-EN-1994-1., 2004. Eurocode 7-Geotechnical design. Brussels, Belgium, European Committee for Standardization, s. 1-168.
- DAVIS, E. H. and POULOS, H.G., 1972. Rate of settlement under two and three dimensional conditions, *Geo*, 1: 95-114.
- DOĞU, O., YILDIRIM, H. ve DURGUNOĞLU, A. T., 2006. Zeminin ince dane oranı ve spt vuruş sayısının jet grout kolonların mukavemetine etkisi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On birinci Ulusal Kongresi*, Trabzon, s.13-16.
- DURGUNOĞLU, H. T., KULAÇ, H. F., ORUÇ, K., ÖGE, C.E. ve EKER, F.Ş., 1998. Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirme üzerine bir uygulama. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 15-18.

- DURGUNOĞLU, H.T., KULAÇ, H.F., ORUÇ, K., YILDIZ, R., ALTUGU, T. ve EMREM, C.A., 2002. Sıvılaşmaya karşı jet grout yöntemi ile zemin ıslahına ait bir vaka analizi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, s. 1-8.
- DURGUNOĞLU, H. T., KULAÇ, H. F., ORUÇ, K., YILDIZ, R., SICKLING, J., BOYS, I. E., ALTUGU, T. ve EMREM C., 2003. A case history of ground treatment with jet grouting against liquefaction for a cigarette factory in turkey. Grouting and Grout Treatment, New Orleans, s. 1-9.
- DURGUNOĞLU, H. T., 2004. Yüksek modüllü kolonların temel mühendisliğinde kullanımı. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 1-11.
- GÖKALP, A. ve DÜZCEER, R., 2002. Ground improvement by jet grouting technique for foundations of a natural gas combined cycle power plant in turkey. Ninth International Conference & Exhibition on Piling and Deep Foundations, DFI, 12-14 Ekim, Nice, France, s. 1-22.
- HORIKOSHI, K. and RANDOLPH, M.F., 1996. Centrifuge modelling of piled raft foundations on clay. Geotechnique 46: 741-752.
- KÜSİN, C., 2009. Jet grout yöntemi ile iyileştirilen zeminlerin sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 157s.
- LUNARDI, P., 1977. Ground improvement by means of jet-grouting ground improvement. ISSMFE Thomas Telford, 2: 65 - 86.
- MELEGARY, C. and GARASSINO, A.L., 1997. Seminar on jet grouting. CI-Premier Pte. Ltd., Singapore s.2-7.
- MODONI, G., CROCE, P. and MONGIOVI, L., 2006. Theoretical modelling of jet grouting. Geotechnique, 56: 335-47.
- MODONI, G. and BZOWKA, J., 2012. Analysis of foundations reinforced with jet grouting. J Geotech Geoenviron, 138: 1442-54.
- NAKANISHI, M., ARAKI, K. and SHIROKI M., 1974. Japanese patent. Chem-abstr, 74:56-997.

- OMINE, K., OCHIAI, H. and BOLTON, M.D., 1999. Homogenization method for numerical analysis of improved ground with cement – treated soil columns. Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization, 108: 2-54.
- ÖZSOY, B. ve DURGUNOĞLU, H. T., 2003. Sıvılaştırma etkilerinin yüksek kayma modüllü zemin-çimento karışımı kolonlarla azaltılması. 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, s.1-9.
- PARDFIELD, C. J. and SHARROCK, M. J. 1983. Settlement of structures on clay soils. Ciria, 1: 1-27.
- REUL, O. and RANDOLPH, MF., 2004. Design strategies for piled rafts subjected to nonuniform vertical loading. J Geotech Geoenviron, 130: 1–13.
- SERT, S. ve ÖNALP, A., 2007. Turba üzerine yapılmış rijit platformun oturmaları ve kontrolü. ZMTM 1. Özel Konulu Teori ve Uygulamada Zemin - Yapı Etkileşimi Sempozyumu, İstanbul, s.181–185.
- SHARMA, N., DEKA, J., GOGOI A., BORPUZARI, D. and HUSSAIN, B. 2015. Structural design of raft foundation based on geotechnical analysis. Journal of Civil Engineering and Environmental Technology, 2: 31-36.
- TREVI, K., 1994. Columnar treatment. illustrative report, Cesena, 1: 1-25.
- TSCHUCHNIGG, F. and SCHWEIGER, H.F., 2008. Comparison of different models for analysing foundations on jet grout columns proc. 12th int. conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics, 1: 3149-3157.
- WRIGHT, SJ. and REESE, LC., 1977. Construction of drilled shafts and design for axial loading. Drilled Shaft Design And Construction Guidelines Manual, 100: 1-23.
- WONG, K.S., LI, J.C., GOH, A.T.C., POH, K.B. and OISHI, E., 1999. Effect of jet grouting on performance of deep excavation in soft clay. Proceedings of the 5th International Symposium on Field Measurements in Geomechanics- FMGM99, 1: 279-284.
- WONG, J.G. and POH, T.Y., 2000. Effects of jet grouting on adjacent ground and structures. J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1: 247-256.
- YAHIRO, T. and YOSHIDA, H., 1973. Induction grouting method utilizing high speed water jet. in proc. VIII. Int Conf Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, s.402–4.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Arda Burak EKMEN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Merkez / Siirt 24.11.1988
Telefon : 0544 321 35 44
E-mail : ardaburakekmen@harran.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe / İl	Bitirme Yılı
Lise	: Siirt Atatürk Anadolu Lisesi	Merkez / Siirt	2006
Üniversite	: Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	Merkez / Hatay	2013
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Merkez / Şanlıurfa	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014	Naz Yapı Denetim	Kontrol Mühendisi
2015	Harran Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Geoteknik

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

ALGIN, H. M. ve **EKMEN, A. B.**, Natm Tüneli İle Kazıklı Köprü Temel Etkileşiminin Üç Boyutlu Sayısal Analizi, 6. Geoteknik Sempozyumu, 26-27 Kasım 2015, Çukurova Üniversitesi, Adana