



T.C.
ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KUMLU ZEMİNLERDE TEKİL JET GROUT KOLON TASARIMI

GÜLŞAH NUR KARAHAN

Eylül 2016

T.C.
ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KUMLU ZEMİNLERDE TEKİL JET GROUT KOLON TASARIMI

GÜLŞAH NUR KARAHAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

Eylül 2016

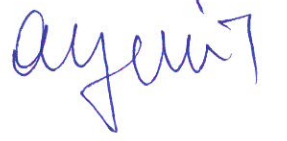
EK-C.1 Onay Sayfası Örneği

Gülşah Nur KARAHAN tarafından **Prof.Dr. Osman SİVRİKAYA** danışmanlığında hazırlanan “**Kumlu Zeminlerde Tekil Jet Grout Kolon Tasarımı**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

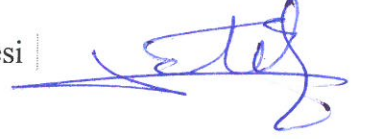
Başkan : Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye : Prof. Dr. Abdulazim YILDIZ Çukurova Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. Fatih ÖZCAN Ömer Halisdemir Üniversitesi



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/..../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/..../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gülşah Nur KARAHAN



ÖZET

KUMLU ZEMİNLERDE TEKİL JET GROUT KOLON TASARIMI

KARAHAN, Gülşah Nur
Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

Eylül 2016, 185 sayfa

Jet grout yöntemi, henüz gelişmekte olan güncel bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu sebeple daha önceden yapılmış çalışmalar ışığında uygulanmakta olup teorik bilgi eksikliği olan bir yöntemdir. Bu yüksek lisans çalışmasında, çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerdeki jet grout kolonların taşıma gücü ve oturma değerlerinin, jet grout kolonun boyuna ve zeminin sıklığına bağlı değişimi araştırılmış olup elle hesap yöntemlerinden ve nümerik model analizi yönteminden elde edilen taşıma gücü ve oturma değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca jet grout kolonların malzeme dayanımı kontrolü de yapılmıştır. İçsel sürtünme açısı 26° , 28° , 30° ve 32° olan çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m ve 20 m boylarındaki jet grout kolonların oturma değerleri yarı ampirik, ampirik ve teorik yöntemlerle bulunmuştur. Ayrıca jet grout kolonları, sonlu elemanlar yöntemi kullanan Plaxis programında eksenel simetri modelinde, Mohr Coulomb ve pekleşen zemin modelleriyle zemin ve plate eleman olarak tanımlanıp jet grout kolonlarının oturma ve taşıma gücü değerleri bulunmuştur. Elde edilen taşıma gücü ve oturma değerleri irdelenerek sonuçlar tez kapsamında sunulmuştur. Bu çalışma ile jet grout kolon parametrelerinin, zemin parametrelerinin, seçilen hesap yönteminin ve modellemenin taşıma gücü ve oturma değerlerini etkilediği görülmüştür. Jet grout kolon tasarımı yapılırken bu etkenlerin dikkatli ve doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Anahtar Sözcükler: Jet grout kolon, taşıma gücü, oturma, elle hesap yöntemi, nümerik model analizi, plaxis

SUMMARY

DESIGNING SINGULAR JET GROUTING COLUMN FOR SANDY SOIL

KARAHAN, Gülşah Nur

Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Professor Dr. Osman SİVRİKAYA

September 2016, 185 pages

Jet grouting is an up-to-date and developing soil improvement method. This method is being applied by the helps of previous studies because of the lack of theoretical knowledge. In this study, the changes of bearing capacity and degree of settlement, according to the height of grouting column and compactness of soil in the very loose or loose sandy soil, was researched. Bearing capacity and degree of settlement values that were obtained from the calculation by hand and from the numerical model analysis. Also strength of materials was controlled for the columns. Values of settlement of the columns with the diameter of 60 cm and with the heights of 9 m, 12 m, 15 m, 20 m was calculated by the half empirical, empirical and theoretical methods for the very loose and loose sandy soils which have angles of internal friction of 26° , 28° , 30° , 32° . Columns were identified as soil and plate with the models of Mohr Coulomb and Hardening Soil in axisymmetry model of Plaxis Programme. So, bearing capacity value and settlement value are obtained, and the results of examining of these values are presented in the thesis. As a result, is has been seen that the grouting column parameters, soil parameters, choosen calculation method and modelling affect the values of bearing capacity and settlement. While desingning columns, these factors should be choosen or calculated correctly.

Keywords: Jet grouting column, bearing capacity, settlement, calculation by hand, numeric model analysis, plaxis

ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında, sabit çapta, farklı boylardaki jet grout kolonların çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerdeki taşıma gücü ve oturma değerleri elle hesap yöntemiyle ve plaxiste yapılan farklı modellemeler ile elde edilmiştir. Elde edilen taşıma gücü ve oturma değerlerinin karşılaştırılıp irdelenmesi sonucunda, seçilen hesap yönteminin, modellemenin, jet grout kolon parametrelerinin ve zemin parametrelerinin jet grout kolon tasarımında etkili olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın elle hesap yöntemi ve nümerik model analizi ile yapılacak diğer jet grout kolon tasarımı çalışmalarına kaynak olması da amaçlanmıştır.

Tez çalışmam süresince gerek alanındaki bilimsel hakimiyetinden, gerek tecrübelerinden, gerekse insani desteğinden çokça faydalandığım kıymetli hocam Prof. Dr. Osman SIVİRKAYA'ya ayrıca nümerik model analiz çalışması için sonlu elemanlar programının sağlanmasında ve model analiz çalışması sırasında desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Abdülazim YILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde maddi-manevi büyük emekler sarf eden çok sevdiğim anneme ve babama, sevgisini her daim hissettiğim canım kardeşime ve tez çalışmam boyunca bana sunduğu huzurlu çalışma ortamından ve maddi-manevi desteklerinden dolayı biricik eşime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ÖN SÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xxv
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II JET GROUT YÖNTEMİ.....	4
2.1 Jet Grout Metodunun Uygulaması.....	6
2.1.1 Delgi aşaması.....	7
2.1.2 Enjeksiyon aşaması.....	8
2.2 Jet Grout Kolonu Oluşturma Yöntemleri.....	9
2.2.1 Tekli jet sistemi (JET 1).....	10
2.2.2 İkili jet sistemi (JET 2).....	11
2.2.3 Üçlü jet sistemi (JET 3).....	11
2.2.4 Süper jet.....	12
2.2.5 Jet grout sistemlerinin karşılaştırılması.....	14
2.3 Jet Grout Uygulama Ekipmanları.....	14
2.3.1 Çimento silosu.....	15
2.3.2 Enjeksiyon hazırlama ünitesi ve enjeksiyon pompası.....	16
2.3.3 Delgi makinesi.....	17
2.3.4 Monitör.....	18
2.4 Jet Grout Yönteminin Uygulama Alanları.....	19
2.5 Jet Grout Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları.....	22
BÖLÜM III JET GROUT KOLONU OLUŞTURMA PARAMETRELERİ.....	24
3.1 Enjeksiyon Basıncı.....	25
3.2 Enjeksiyon Harcı Dozajı.....	26
3.3 Dönme ve Çekme Hızı.....	27
3.4 Nozullar (Püskürtme ağızlığı).....	29
3.5 Türkiye’de Uygulanan Jet Grout Sistemleri ve İmalat Parametreleri.....	31

BÖLÜM IV JET GROUT KOLONU KALİTE KONTROL DENEYLERİ.....	36
4.1 Deneme Kolonları Yapılması ve Çap Kontrolü.....	36
4.2 Süreklilik Deneyi (Pile integrity test)	37
4.3 Karot Numune Alınması, Serbest Basınç ve Permeabilite Deneyi	40
4.4 Jet Grout Kolonu Yükleme Deneyi.....	42
4.5 Proje Kriterlerinin Kalibrasyonu.....	45
BÖLÜM V JET GROUT KOLONUN TASARIM KRİTERLERİ	46
5.1 Jet Grout Kolonun Taşıma Gücü Kontrolü.....	46
5.1.1 Jet grout kolonun teorik yaklaşımla taşıma gücü hesabı.....	46
5.2 Jet Grout Kolonun Dayanım Kontrolü.....	53
5.3 Jet Grout Kolonun Oturma Kontrolü.....	54
5.3.1 Arazi yükleme deneyi.....	56
5.3.2 Yarı ampirik ve ampirik yöntemler.....	57
5.3.2.1 Yarı ampirik yöntem.....	57
5.3.2.2 Ampirik yöntem.....	59
5.3.3 Teorik yöntem.....	59
BÖLÜM VI JET GROUT YÖNTEMİYLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI	61
6.1 Jet Grout İle Zemin İyileştirme, Kalite Kontrol Deneyleri ve Vaka Analizleri.....	61
6.2 Jet Grout Kolonlarının Serbest Basınç Dayanımları, Oturma ve Taşıma Kapasitesi Analizleri	64
6.3 Jet Grout Dayanma Yapılarının Davranışının Analizi.....	67
6.4 Jet Grout Uygulamasının Nümerik Analizi.....	68
6.5 Jet Grout Konusunda Türkiye’de Yapılan Lisansüstü Tez Çalışmaları.....	69
BÖLÜM VII ÇOK GEVŞEK VE GEVŞEK KUMLU ZEMİNLERDE TEKİL JET GROUT KOLON TASARIMI UYGULAMASI.....	72
7.1 Materyal ve Metot.....	72
7.1.1 Zemin parametrelerinin belirlenmesi.....	73
7.1.2 Zemin profili ve parametreleri.....	73
7.1.3 Jet grout kolon profili ve parametre seçimi.....	75
7.2 Elle Hesap Yöntemleri.....	76
7.2.1 Jet Grout kolonun taşıma gücü hesabı.....	76
7.2.2 Jet grout kolonun malzeme dayanımı hesabı.....	78
7.2.3 Jet grout kolonun oturma hesabı.....	81
7.2.3.1 Yarı ampirik yöntem ile oturma hesabı.....	82

7.2.3.2 Ampirik yöntem ile oturma hesabı.....	83
7.2.3.3 Teorik yöntem ile oturma hesabı.....	85
7.2.3.4 Jet grout kolonun oturma hesaplarının karşılaştırılması.....	86
7.3 Nümerik Hesap Yöntemleri.....	91
7.3.1 Sonlu elemanlar yöntemi ve Plaxis.....	91
7.3.2 Malzeme modelleri.....	92
7.3.3 Geometrik model parametrelerinin belirlenmesi ve izlenen yöntem.....	93
7.3.4 Jet grout kolonun modellenmesi ve analizi.....	97
7.3.4.1 Modelde boyut etkisi.....	107
7.3.4.2 Analiz sonuçları.....	111
BÖLÜM VIII SONUÇLAR VE ÖNERİLER	172
KAYNAKLAR	176
ÖZ GEÇMİŞ	185

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Jet grout sistemleri karşılaştırma.....	14
Çizelge 3.1. Jet grout yönteminin işletim parametreleri.....	24
Çizelge 3.2. Ortalama serbest basınç mukavemeti.....	25
Çizelge 3.3. Püskürtme gövdesinin çekme hızı ile ıslah edilen zemin arasındaki ilişki....	29
Çizelge 3.4. Nozul çapı ve enjeksiyon harcı ilişkisi.....	30
Çizelge 4.1. Zemin cinsine göre jet grout kolonun serbest basınç mukavemeti ve modülü.....	42
Çizelge 5.1. Terzaghi taşıma gücü katsayıları.....	49
Çizelge 5.2. Kazık malzemesi – δ açısı – K katsayısı arasındaki ilişki.....	51
Çizelge 5.3. C_p değerinin değişimi.....	58
Çizelge 6.1. Su - çimento oranına bağlı kolon dayanımları.....	64
Çizelge 7.1. Rölatif sıkılığa göre zeminlerin sınıflandırılması.....	72
Çizelge 7.2. D/L-Rölatif sıklık kombinasyonları.....	72
Çizelge 7.3. Literatür analizi sonunda belirlenen zemin parametreleri.....	73
Çizelge 7.4. Jet grout imalat parametreleri.....	76
Çizelge 7.5. Jet grout kolonun serbest basınç mukavemetleri ve elastisite modülleri.....	76
Çizelge 7.6. Jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması.....	77
Çizelge 7.7. Jet grout kolonlarında meydana gelen gerilme.....	79
Çizelge 7.8. Yarı ampirik yöntemle hesaplanan oturma değerlerinin karşılaştırılması....	82
Çizelge 7.9. Ampirik yöntem ile elde edilen oturma değerleri.....	84
Çizelge 7.10. Teorik yöntem ile elde edilen oturma değerlerinin karşılaştırılması.....	85
Çizelge 7.11. Mohr Coulomb modelin zemin parametre değerleri.....	94
Çizelge 7.12. Pekleşen zemin modelin zemin parametre değerleri.....	94
Çizelge 7.13. Mohr Coulomb modelinde “zemin olarak tanımlanan” jet grout kolonun parametre değerleri.....	95
Çizelge 7.14. Pekleşen zemin modelinde “zemin olarak tanımlanan” jet grout kolonun parametre değerleri.....	95
Çizelge 7.15. Eksenel simetri modelinde “plate eleman olarak tanımlanan” jet grout kolonun parametre değerleri.....	95

Çizelge 7.16. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelindeki maksimum oturma değerleri	111
Çizelge 7.17. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki maksimum oturma değerleri	111
Çizelge 7.18. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelindeki maksimum oturma değerleri.....	113
Çizelge 7.19. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki maksimum oturma değerleri.....	113
Çizelge 7.20. Mohr Coulomb (MC) modelindeki zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	124
Çizelge 7.21. Pekleşen zemin (HS) modelindeki zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	124
Çizelge 7.22. Mohr Coulomb (MC) modelindeki plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	126
Çizelge 7.23. Pekleşen Zemin (HS) modelindeki plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	126

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Jet grout oluşum şeması.....	4
Şekil 2.2. Dane dağılımına göre jet grout ve diğer enjeksiyon çeşitlerinin uygulanması...5	
Şekil 2.3. Jet grout yöntemi uygulama aşaması.....	6
Şekil 2.4. Kademeli delgi matkabı.....	7
Şekil 2.5. Kademesiz delgi matkabı.....	7
Şekil 2.6. Delgi işleminde kullanılan su.....	8
Şekil 2.7. Enjeksiyon aşaması.....	9
Şekil 2.8. Enjeksiyon sonunda jet grout uygulamasından bir görüntü.....	9
Şekil 2.9. Jet 1 uygulaması.....	10
Şekil 2.10. Jet 2 uygulaması.....	11
Şekil 2.11. Jet 3 uygulaması.....	12
Şekil 2.12. Süper jet grout tekniği.....	13
Şekil 2.13. Süper jet grout yöntemiyle oluşturulmuş kolonlar.....	13
Şekil 2.14. Jet grout ekipmanları.....	15
Şekil 2.15. Çimento Silosu.....	15
Şekil 2.16. Enjeksiyon hazırlama ünitesi.....	16
Şekil 2.17. Jet grout enjeksiyon pompası.....	17
Şekil 2.18. Jet grout delgi makinası.....	18
Şekil 2.19. Delgi makinası parçaları.....	18
Şekil 2.20. Monitör adaptör takımı.....	19
Şekil 2.21. Jet grout uygulamaları.....	21
Şekil 3.1. Jet grout kolon çapı ve enjeksiyon basıncı arasındaki ilişki.....	26
Şekil 3.2. Çeşitli zeminlerde istenilen basınç dayanımı için çimento miktarları.....	27
Şekil 3.3. Tahmini kolon çapı ile tijin çekim hızı arasındaki ilişki.....	28
Şekil 3.4. Tek delikli nozul.....	30
Şekil 3.5. Nozullar.....	30
Şekil 4.1. Jet grout deneme kolonları.....	37
Şekil 4.2. Jet grout kolonların çap kontrolü.....	37
Şekil 4.3. Süreklilik deneyi şeması.....	38
Şekil 4.4. Jet grout kolonuna yapılan süreklilik testi anı (a) ve süreklilik test cihazı (b)...39	

Şekil 4.5. Süreklilik deneyi sinyal ölçümü sonuçları.....	39
Şekil 4.6. Jet grout kolonundan karot numune alınması.....	40
Şekil 4.7. Jet grout kolonlarından alınan karot numune örnekleri (a) ve karot numunelerinin serbest basınç mukavemetlerinin ölçümü (b)	41
Şekil 4.8. Farklı zeminlerde oluşturulan jet grout kolonu serbest basınç mukavemeti değerleri.....	41
Şekil 4.9. Deney kazığına yükün ağırlık kutusu veya platformdan reaksiyon olarak uygulanması.....	44
Şekil 4.10. Tekil kolon yükleme deneyi.....	44
Şekil 4.11. Proje kriterlerinin sahada kalibrasyon ve optimizasyonu.....	45
Şekil 5.1. Jet grout kolon uç mukavemeti ve çevresel sürtünme mukavemetini tanımlayan mekanizma.....	47
Şekil 5.2. Jet grout kolon üzerine etkiyen kuvvetlerin gösterimi.....	47
Şekil 5.3. Uç direncinin homojen zeminde derinlikle değişimi.....	50
Şekil 5.4. Efektif gerilme prensibine göre çevre sürtünmesinin hesabı.....	50
Şekil 5.5. Üst yapıdan jet grout kolonu üzerine gelen yük.....	53
Şekil 5.6. Jet grout kolonlarıyla iyileştirilen zeminlerde oluşabilecek oturmalar.....	55
Şekil 5.7. Jet grout kolonların yük transfer mekanizması.....	56
Şekil 5.8. Jet grout kolon şaftı boyunca çeşitli birim sürtünme mukavemetleri ve a_s 'nin değişimi.....	58
Şekil 6.1. İyileştirme öncesi ve sonrası sıvılaştırma potansiyelinin değerlendirilmesi.....	63
Şekil 6.2. Siltli ve siltli kumlu zeminlerde jet grout kolonun E_{JGK} ile σ_{JGK} ilişkisi.....	65
Şekil 6.3. Katkı ve matris elemanlarından oluşan kompozit zemin.....	66
Şekil 6.4. Kolon numunelerinin basınç dayanımları.....	66
Şekil 7.1. İçsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumlu zemin modeli.....	74
Şekil 7.2. İçsel sürtünme açısı 28° olan çok gevşek kumlu zemin modeli.....	74
Şekil 7.3. İçsel sürtünme açısı 30° olan gevşek kumlu zemin modeli.....	75
Şekil 7.4. İçsel sürtünme açısı 32° olan gevşek kumlu zemin modeli.....	75
Şekil 7.5. Jet grout kolonun taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 7.6. İçsel sürtünme açısı 26° kumlu zemindeki jet grout kolonda malzeme dayanımı.....	79
Şekil 7.7. İçsel sürtünme açısı 28° kumlu zemindeki jet grout kolonda malzeme dayanımı.....	80

Şekil 7.8. İçsel sürtünme açısı 30° kumlu zemindeki jet grout kolonda malzeme dayanımı.....	80
Şekil 7.9. İçsel sürtünme açısı 32° kumlu zemindeki jet grout kolonda malzeme dayanımı.....	81
Şekil 7.10. Yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleri.....	83
Şekil 7.11. Ampirik yöntem ile elde edilen oturma değerleri.....	84
Şekil 7.12. Teorik yöntemle elde edilen oturma değerleri.....	86
Şekil 7.13. İçsel sürtünme açısı 26 ° olan çok gevşek kumlu zemindeki jet grout kolon oturma değerlerinin değişimi.....	87
Şekil 7.14. İçsel sürtünme açısı 28 ° olan çok gevşek kumlu zemindeki jet grout kolon oturma değerlerinin değişimi.....	87
Şekil 7.15. İçsel sürtünme açısı 30 ° olan gevşek kumlu zemindeki jet grout kolon oturma değerlerinin değişimi.....	88
Şekil 7.16. İçsel sürtünme açısı 32 ° olan gevşek kumlu zemindeki jet grout kolon oturma değerlerinin değişimi.....	88
Şekil 7.17. 9 m boyundaki jet grout kolonun oturma değerlerinin değişimi.....	89
Şekil 7.18. 12 m boyundaki jet grout kolonun oturma değerlerinin değişimi.....	89
Şekil 7.19. 15 m boyundaki jet grout kolonun oturma değerlerinin değişimi.....	90
Şekil 7.20. 20 m boyundaki jet grout kolonun oturma değerlerinin değişimi.....	90
Şekil 7.21. Jet grout kolonun kayma mukavemeti ile serbest basınç mukavemeti ilişkisi.	97
Şekil 7.22. Jet grout kolonun içsel sürtünme açısı 26° (a), 28° (b), 30° (c) ve 32° (d) olan zeminlerde modellenmesi.....	98
Şekil 7.23. Jet grout kolonun zemin olarak (a) ve plate eleman olarak (b) tanımlandığı aksel simetri modeli	99
Şekil 7.24. Genel ayarların ve aksel simetrisinin belirlenmesi.....	99
Şekil 7.25. Zemin modelinin belirlenmesi (a) ve zemin parametrelerinin girilmesi (b)..	100
Şekil 7.26. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolon parametrelerinin girilmesi.....	101
Şekil 7.27. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolon parametrelerinin girilmesi..	102
Şekil 7.28. R_{inter} parametre değerinin belirlenmesi.....	102
Şekil 7.29. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin yük değerlerinin girilmesi.....	103
Şekil 7.30. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin iki boyutlu ağ sistemi	104

Şekil 7.31. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin yeraltı su seviyesi	104
Şekil 7.32. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin boşluk suyu basıncı.....	105
Şekil 7.33. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin efektif gerilmesi.....	105
Şekil 7.34. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun hesap aşamaları.....	106
Şekil 7.35. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun hesap aşamaları.....	106
Şekil 7.36. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin oturma değerleri.....	107
Şekil 7.37. 20 m x 20 m boyutlarındaki modelde jet grout kolonda toplam deplasmanın etki alanı.....	108
Şekil 7.38. 20 m x 25 m boyutlarındaki modelde jet grout kolonda toplam deplasmanın etki alanı.....	108
Şekil 7.39. 20 m x 30 m boyutlarındaki modelde jet grout kolonda toplam deplasmanın etki alanı.....	108
Şekil 7.40. 20 m x 20 m modelinde jet grout kolonda toplam deplasman kesiti.....	109
Şekil 7.41. 20 m x 25 m modelinde jet grout kolonda toplam deplasman kesiti.....	109
Şekil 7.42. 20 m x 30 m modelinde jet grout kolonda toplam deplasman kesiti.....	109
Şekil 7.43. 20 m x 20 m boyutlarındaki modelde jet grout kolondaki toplam deformasyon.....	110
Şekil 7.44. 20 m x 25 m boyutlarındaki modelde jet grout kolondaki toplam deformasyon.....	110
Şekil 7.45. 20 m x 30 m boyutlarındaki modelde jet grout kolondaki toplam deformasyon.....	110
Şekil 7.46. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelindeki maksimum oturma değerleri.....	112
Şekil 7.47. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki maksimum oturma değerleri.....	112
Şekil 7.48. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelindeki maksimum oturma değerleri.....	113
Şekil 7.49. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki maksimum oturma değerleri.....	114

Şekil 7.50. Modelde zemin olarak tanımlanan 9 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	114
Şekil 7.51. Modelde zemin olarak tanımlanan 12 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	115
Şekil 7.52. Modelde zemin olarak tanımlanan 15 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	115
Şekil 7.53. Modelde zemin olarak tanımlanan 20 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	116
Şekil 7.54. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 9 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	116
Şekil 7.55. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 12 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	117
Şekil 7.56. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 15 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	117
Şekil 7.57. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 20 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	118
Şekil 7.58. Mohr Coulomb zemin modelinde 9 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	119
Şekil 7.59. Mohr Coulomb zemin modelinde 12 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	119
Şekil 7.60. Mohr Coulomb zemin modelinde 15 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	120
Şekil 7.61. Mohr Coulomb zemin modelinde 20 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	120
Şekil 7.62. Pekleşen zemin modelinde 9 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	121
Şekil 7.63. Pekleşen zemin modelinde 12 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	121
Şekil 7.64. Pekleşen zemin modelinde 15 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	122
Şekil 7.65. Pekleşen zemin modelinde 20 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri.....	122
Şekil 7.66. Jet grout kolonun göçtüğü yükün bulunması.....	123
Şekil 7.67. Jet grout kolonun yük-deplasman eğrisi.....	124

Şekil 7.68. Mohr Coulomb zemin modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	125
Şekil 7.69. Pekleşen zemin modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	125
Şekil 7.70. Mohr Coulomb zemin modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	126
Şekil 7.71. Pekleşen zemin modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	127
Şekil 7.72. Modelde zemin olarak tanımlanan 9 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	128
Şekil 7.73. Modelde zemin olarak tanımlanan 12 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	128
Şekil 7.74. Modelde zemin olarak tanımlanan 15 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	129
Şekil 7.75. Modelde zemin olarak tanımlanan 20 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	129
Şekil 7.76. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 9 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	130
Şekil 7.77. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 12 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	130
Şekil 7.78. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 15 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	131
Şekil 7.79. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 20 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	131
Şekil 7.80. Mohr Coulomb zemin modelinde 9 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	132
Şekil 7.81. Mohr Coulomb zemin modelinde 12 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	133
Şekil 7.82. Mohr Coulomb zemin modelinde 15 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	133
Şekil 7.83. Mohr Coulomb zemin modelinde 20 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	134
Şekil 7.84. Pekleşen Zemin modelinde 9 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	134

Şekil 7.85. Pekleşen Zemin modelinde 12 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	135
Şekil 7.86. Pekleşen Zemin modelinde 15 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	135
Şekil 7.87. Pekleşen Zemin modelinde 20 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri.....	136
Şekil 7.88. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	137
Şekil 7.89. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	137
Şekil 7.90. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	138
Şekil 7.91. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	138
Şekil 7.92. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde oturma maksimum değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	139
Şekil 7.93. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	139
Şekil 7.94. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	140
Şekil 7.95. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	140
Şekil 7.96. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	141

- Şekil 7.97. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....141
- Şekil 7.98. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....142
- Şekil 7.99. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....142
- Şekil 7.100. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması..... 143
- Şekil 7.101. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....143
- Şekil 7.102. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....144
- Şekil 7.103. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....144
- Şekil 7.104. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....145
- Şekil 7.105. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....146
- Şekil 7.106. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....146
- Şekil 7.107. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....147

Şekil 7.108. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	147
Şekil 7.109. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	148
Şekil 7.110. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	148
Şekil 7.111. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	149
Şekil 7.112. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	149
Şekil 7.113. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	150
Şekil 7.114. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	150
Şekil 7.115. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	151
Şekil 7.116. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	151
Şekil 7.117. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	152
Şekil 7.118. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	152

Şekil 7.119. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	153
Şekil 7.120. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	154
Şekil 7.121. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	154
Şekil 7.122. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	155
Şekil 7.123. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	155
Şekil 7.124. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	156
Şekil 7.125. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	156
Şekil 7.126. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	157
Şekil 7.127. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	157
Şekil 7.128. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	158
Şekil 7.129. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	159

Şekil 7.130. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	159
Şekil 7.131. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	160
Şekil 7.132. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	160
Şekil 7.133. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	161
Şekil 7.134. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	161
Şekil 7.135. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması.....	162
Şekil 7.136. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....	163
Şekil 7.137. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....	163
Şekil 7.138. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....	164
Şekil 7.139. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....	164
Şekil 7.140. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....	165

- Şekil 7.141. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....165
- Şekil 7.142. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....166
- Şekil 7.143. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....166
- Şekil 7.144. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....167
- Şekil 7.145. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....167
- Şekil 7.146. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....168
- Şekil 7.147. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....168
- Şekil 7.148. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....169
- Şekil 7.149. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....169
- Şekil 7.150. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....170

Şekil 7.151. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması.....170



SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
A_p	Jet grout kolonun kesit alanı
a_s	Jet grout kolon gövdesince çevre sürtünmesine bağlı katsayı
A_s	Jet grout kolonun zemin içerisinde kalan yüzey alanı
c	Kohezyon
c_1	Jet grout kolonun ucundaki drenajsız kayma mukavemeti
c_2	Jet grout kolonun çevresindeki drenajsız kayma mukavemeti
C	Dalganın yayılma hızı
C_p	Ampirik katsayı
D	Jet grout kolonun çapı
D_r	Rölatif sıklık
D_f	Jet grout kolonun gömülü derinliği
EA	Eksenel rijitlik
EI	Eğilme rijitliği
E_{ur}	Programın boşaltma anında kullandığı elastisite modülü
E_{JG}	Jet grout kolonun elastisite modülü
E_{50}	Programın yükleme anında kullandığı elastisite modülü
f_s	Çevre yüzeyde birim alanda etkili olan sürtünme
g	Yer çekimi
G_s	Güvenlik katsayısı
h	Hidrostatik düşü
kg	Kilogram
K_s	Ortalama yatay toprak basıncı katsayısı
k_x	Yatay geçirgenlik
k_y	Düşey geçirgenlik
K_2	Şekil katsayısı
L	Jet grout kolon boyu
lt	Litre
m	Metre

mm	Milimetre
N_c, N_q, N_γ	Taşıma gücü faktörleri
p	Jet grout kolonun kesit çevre uzunluğu
Q	1 sn sürede bir nozuldaki çıkan enjeksiyon malzemesi miktarı
Q_{em}	Jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü
Q_{fa}	Servis yükü altında jet grout kolon gövdesince taşınan yük
Q_p	Jet grout kolon ucu tarafından taşınan toplam yük
q_p	Jet grout kolonun ucunda birim alan için uç direnci
Q_{pa}	Servis yükü altında kolon ucu tarafından taşınan yük
Q_s	Jet grout kolonun çevre sürtünmesi ile taşıyabileceği yük
Q_u	Jet grout kolonun kırılma olmadan taşıyabileceği yük
Q_{va}	Üst yapıdan gelen yük
r	Yarı çap
S_p	Jet grout kolon ucunun oturması
S_{ps}	Jet grout kolonun gövdesi boyunca taşınan yükten oturması
S_s	Jet grout kolonun elastik oturması
S_t	Jet grout kolonda oluşan toplam oturma
t	Darbeden yansıma anına kadar geçen süre
W_k	Jet grout kolonun ağırlığı
X	Yansıma derinliği
V	Enjeksiyon malzemesinin çıkış hızı
V_h	1 m ıslah edilmiş zemin hacmi
π	Pi sayısı
γ	Zeminin birim hacim ağırlığı
γ_k	Kuru doymuş birim hacim ağırlıkları
γ_d	Suya doymuş birim hacim ağırlıkları
σ	Jet grout kolonda meydana gelen gerilme
σ_{JG}	Jet grout kolonun serbest basınç mukavemeti
σ'	Seçilen derinlikte etkili olan efektif jeolojik yük
ϕ	Zeminin içsel sürtünme açısı
μ	Poisson oranı
Ψ	Dilatans açısı
Δh_e	Jet grout kolonda meydana gelen düşey deplasman
δ	Kolon malzemesi ve zemin arasındaki çevre sürtünme açısı

Kısaltmalar**Açıklama**

HS	Hardening Soil
JET 1	Tekli Jet Sistemi
JET 2	İkili Jet Sistemi
JET 3	Üçlü Jet Sistemi
JGK	Jet Grout Kolon
MC	Mohr Coulomb
MPA	Mega Paskal
ÖY	Ön Yıkama
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü

BÖLÜM I

GİRİŞ

Günümüzde nüfusun giderek artması birçok mühendislik yapısının yapılmasına neden olmuştur. Hızlı gelişen kentleşme ile birlikte inşa edilecek mühendislik yapılarının alanları da kısıtlanmıştır. Bu yapılar eski yerleşim alanlarından dere yatakları, bataklık alanları, döküm sahaları, yapay dolgu sahaları, vb. gibi zemin problemi olan alanlara kaymıştır.

Mühendislik yapılarından gelen yükler, temeller vasıtasıyla zemine iletilir. Eğer zemin istenilen taşıma gücüne sahip, oturma sınır değerlerini geçmeyecek düşey deplasmanlar yapıyor ve sıvılaşma potansiyeli içermiyorsa, iletilen yükler güvenli bir şekilde taşınacağı için herhangi bir mühendislik problemi oluşmamaktadır. Ancak, zemin yeterli taşıma gücüne sahip değilse ve oturmaları tolere edemiyorsa, böyle problemlili zeminler üzerinde ıslah çalışmaları yapılarak zeminin mühendislik özellikleri iyileştirilerek istenilen özellikler sağlanabilir. Böylece zemin, üzerine yapılması düşünülen mühendislik yapısına uygun hale getirilmiş olur.

Priebe (1991)'e göre zemin iyileştirilmesi ile mevcut zeminin;

- Kayma mukavemeti artar,
- Gerilme-deformasyon modülü artar,
- Sıkışabilirliği azalır,
- Şişme ve büzülme potansiyeli kontrol altına alınır,
- Permeabilitesi azalır,
- Çevre koşullarına bağlı olarak fiziksel ve kimyasal değişimleri önlenir,
- Sıvılaşma potansiyeli azalır.

Mühendislik yapısının yapılacağı zeminin problemlili bir zemin olması durumunda geoteknik mühendisinin zemin ıslahı için vereceği karar; zemin çeşidi, yapı ömrü ve maliyetle doğrudan ilişkilidir.

Teknoloji geliştikçe, yeni zemin iyileştirme yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bunlardan biri olan jet grout yöntemi, güncel bir yöntemdir. Bu yöntem, diğer iyileştirme yöntemlerine göre imalat süresinin kısa olması, maliyetinin daha düşük olması ve killi veya siltli kumlu zeminler gibi geniş aralıkta, farklı türdeki zeminlerde uygulanabildiği için tercih edilmektedir. Bu yöntemle zeminin taşıma kapasitesinin ve elastisite modülünün arttırılması; geçirgenliğinin ve sıvılaşma potansiyelinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte jet grout yönteminin ve teknolojisinin gelişme aşamasında olması nedeniyle yöntemin mühendislik tasarımında kullanılacak teorileri henüz kesinleşmemiştir. Bu yüzden benzer koşullarda yapılmış olan jet grout uygulamalarına ve uygulama sırasında yerinde yapılan incelemelere dayalı tasarım yapılmaktadır.

Günümüzde sık karşılaşılan şişme, çökme ve dispersif özelliği gibi bazı problemlere sahip zeminler bulunmaktadır. Problemlı zeminler şunlardır:

- Yumuşak killer,
- şişebilen killer,
- Organik zeminler,
- Dispersif zeminler,
- Lős zeminler,
- Alüvyon zeminler.

Lős zeminler rüzgar etkisiyle taşınıp depolanan, silt boyutunda danelere ve büyük boşluk oranına sahip olan, birim hacim ağırlığı düşük, geçirgenliği yüksek, suya doygun olmayan ve ıslandığında çökerek fazla miktarda oturma yapabilen zeminlerdir.

Alüvyon zeminler, nehir ve akarsular tarafından taşınan kil, silt, kum ve çakıl gibi zeminlerin bir yerde birikmesiyle oluşmaktadır.

Çok gevşek ve gevşek kumlu zeminler ise lős ve alüvyon zeminlerin özelliklerine sahip olan, içerisinde az miktarda ince daneli zemin (kil, silt) bulunduran kumlu zeminlerdir.

Tezin amacı, farklı sıklıktaki kumlu zeminlerde ($Dr=10$, $Dr=14$, $Dr=20$, $Dr=34$) aynı çapta (60 cm), farklı boylardaki (9 m, 12 m, 15 m ve 20 m) tekil jet grout kolonlarının

taşıma gücü ve oturma değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Jet grout kolonlarının taşıma gücü değerleri, kazıklarda olduğu gibi teorik yöntemlerle hesaplanıp kolonların malzeme dayanımı kontrolü yapılmıştır. Oturma değerleri ise yarı ampirik-ampirik ve teorik yöntemlerle hesaplanmıştır. Ayrıca tekil jet grout kolonlarının nümerik modellenmesi yapıp sonuçlar, elle hesap yöntemleriyle elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasında Bölüm 2’de jet grout yöntemine genel bir bakış, jet grout metodunun uygulaması, jet grout kolonu oluşturma yöntemleri, jet grout uygulama ekipmanları, jet grout yönteminin uygulama alanları, jet grout yönteminin avantajları ve dezavantajları gibi konular incelenmiştir.

Bölüm 3’de enjeksiyon basıncı, dönme ve çekme hızları, dozaj, nozullar gibi jet grout kolonu oluşturma parametreleri incelenmiştir.

Bölüm 4’de jet grout kolonu kalite kontrol deneyleri olan deneme kolonlarının yapılması ve çap kontrolü, süreklilik deneyi, karot numune alınması ve serbest basınç deneyi, permeabilite, jet grout kolonu yükleme deneyi, proje kriterlerinin kalibrasyonu konuları ele alınmıştır.

Bölüm 5’de jet grout kolonu tasarım kriterleri olan taşıma gücü ve oturma analizleri incelenmiştir.

Bölüm 6’da jet grout yöntemiyle ilgili literatür taraması yapılmıştır.

Bölüm 7’de tez kapsamında yapılan sayısal uygulama hakkında bilgi verilmiştir ve nümerik yöntemlerle jet grout kolonların modellenmesi yapılmıştır.

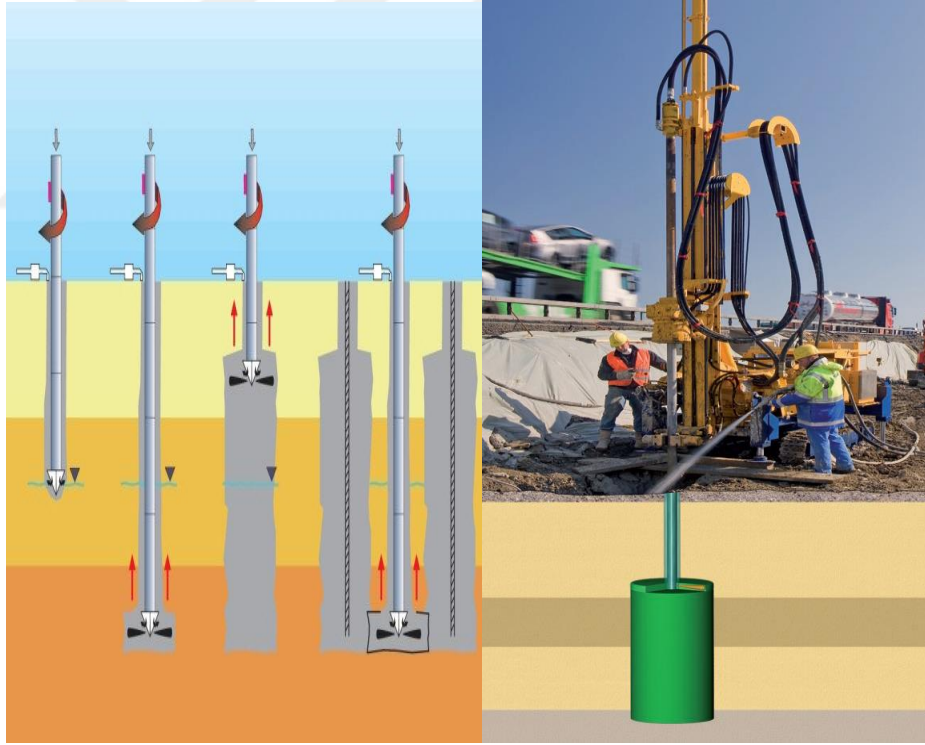
Bölüm 8’de elle hesap yöntemlerinden ve nümerik model analizinden elde edilen jet grout kolonların taşıma gücü ve oturma değerleri irdelenip ulaşılan sonuçlar verilmiştir.

BÖLÜM II

JET GROUT YÖNTEMİ

Mevcut zeminin önce özel delgi makinesi ile delinmesi ve oldukça yüksek basınçta (400 ~ 500) bar çimento şerbetinin jetlenip, zeminin yerinde parçalanarak karıştırılması ve kullanılan özel tij ve monitörün belirli bir hızda döndürülerek yukarı çekilmesi suretiyle yerinde silindirik kolon teşkil edilmektedir. Bu inşa metodu jet grout yöntemi olarak adlandırılır (Durgunoğlu, 2004). TS EN 12716 (2002) bu konuyla ilgili olarak “ Jet enjeksiyon işlemi, zeminin veya zayıf kayacın parçalanması ve çimento şerbeti ile karışması kısmi yer değiştirmeyi kapsar.” demektedir.

Jet grout oluşum şeması, Şekil 2.1’de verilmiştir.



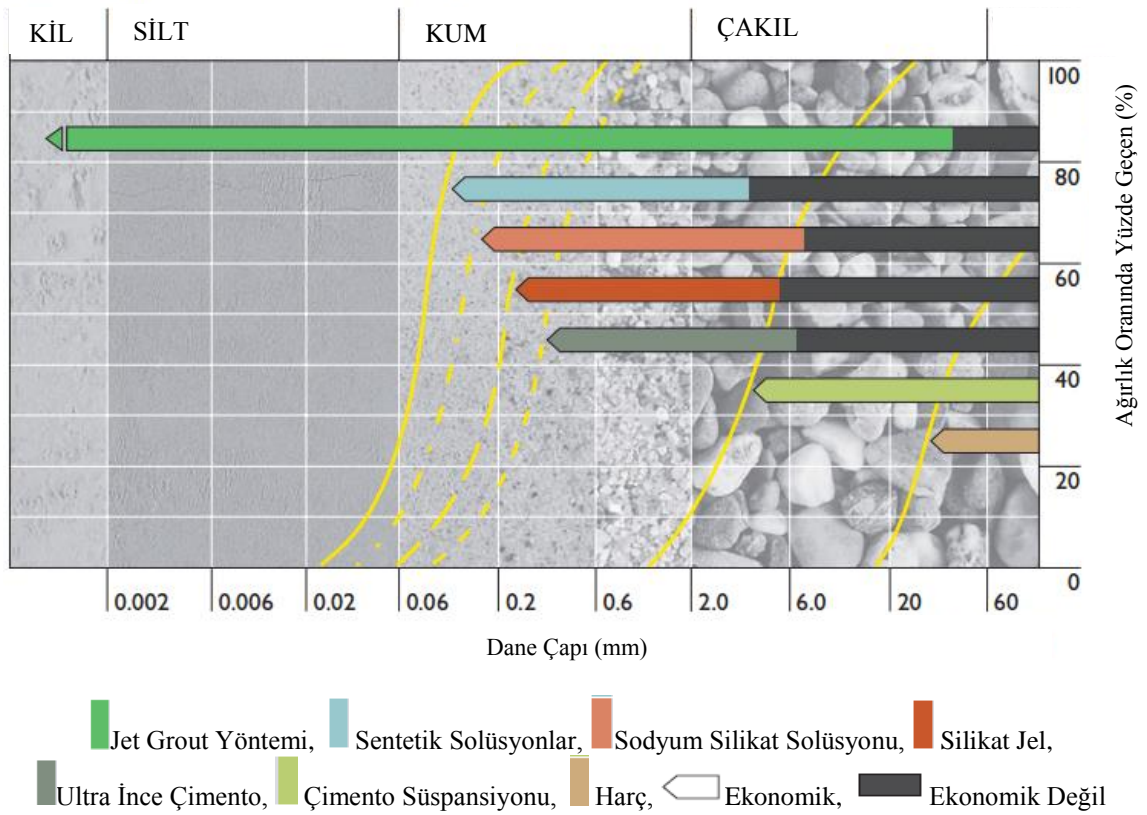
Şekil 2.1. Jet grout oluşum şeması (URL-1, 2016; URL-2, 2016)

Jet grout yöntemini, diğer klasik enjeksiyon yöntemlerinden ayıran önemli özelliklerden biri, jet grout uygulaması sonucunda çimento şerbeti ile zeminin yer değiştirip yeni

kompozit bir malzeme oluşturmasıdır. Klasik enjeksiyon yöntemleri zemin özelliğini büyük çapta değiştirememektedir.

Jet grout yöntemi, hemen her tür zayıf zemin tiplerinde ve kum, çakıl, kil gibi doğal zemin elemanlarının oluşturduğu kombinasyonlarda diğer iyileştirme yöntemlerinden daha hızlı, güvenilir, kalıcı ve ekonomik bir çözüm alternatifi olmakla beraber, diğer klasik enjeksiyon sistemlerinden en önemli farkı, uygulamadan önce gerekli malzemenin miktarı ile iyileştirilmiş zeminin taşıma gücü, deformasyon modülü ve geçirirliği gibi çeşitli zemin parametrelerinin bilinmesi ve dolayısıyla içe başlamadan maliyetin belirlenebilmesidir. Yapım sırasında enjeksiyon hızı, açısı, tijn dönme ve geri çekiliş hızı, nozul çapı ve sayısı gibi parametrelerin değiştirilmesi ile çeşitli iyileştirilmiş zemin şekilleri elde etmek mümkün olmaktadır (Xanthakos vd., 1994).

Diğer enjeksiyon yöntemleri ve jet grout yönteminin uygulandığı zemin çeşidi aralığı Şekil 2.2’de verilmiştir.

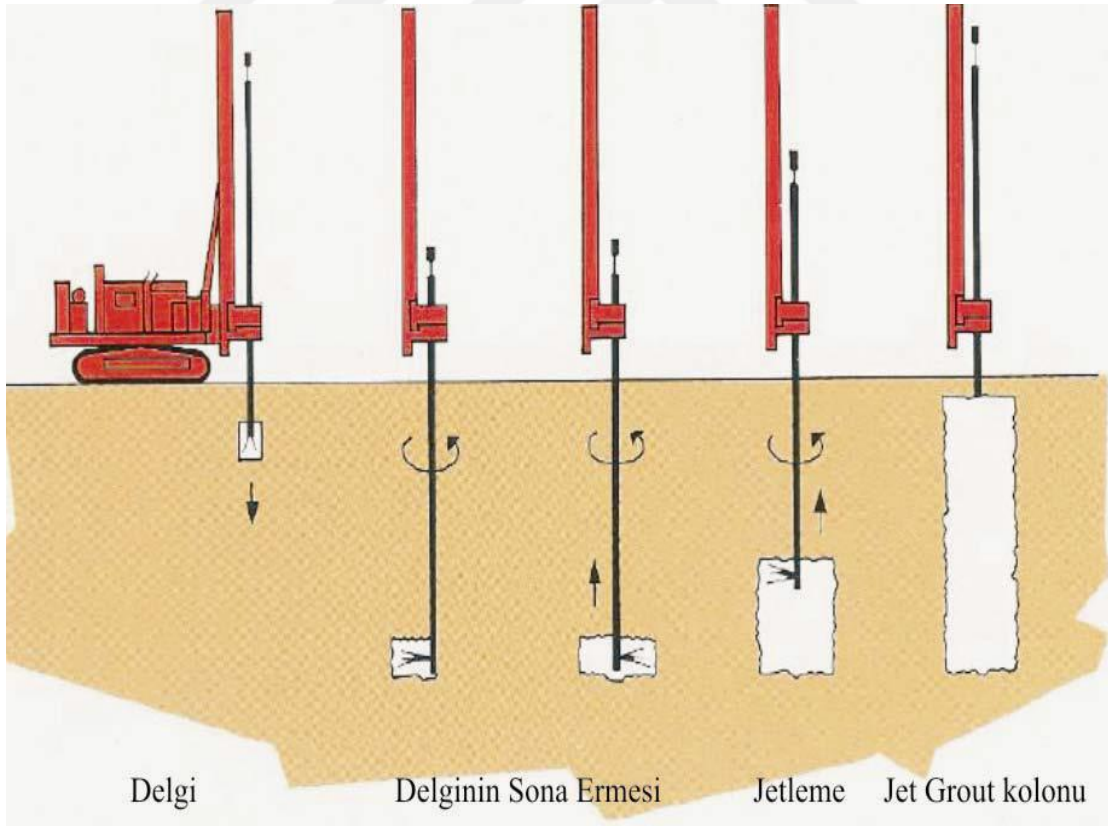


Şekil 2.2. Dane dağılımına göre jet grout ve diğer enjeksiyon çeşitlerinin uygulanması (URL-2, 2016)

2.1 Jet Grout Metodunun Uygulaması

Jet grout metodunun uygulanmasında, “delgi” ve “enjeksiyon” olmak üzere iki aşama bulunmaktadır. Uygulama için Türkiye’de “TS EN 12716 Özel Geoteknik Uygulamalar – Jet Enjeksiyon” yönetmeliği esas alınmaktadır. Öncelikle inşaat sahası ve yolları, makine ve personelin verimli çalışarak planlanan günlük imalat miktarlarının yapılabilmesi ve imalat kalitesine ulaşılabilmesi için düzgün ve kuru tutulmalıdır. Delgi makinesi, paletli vinç, beton mikseri, beton pompası ve ağır iş makinelerinin batmadan çalışmalarına imkan sağlayacak biçimde düzenlenmesi gerekir. Çalışma sahasında uygun yüzey drenaj sistemi tesis edilerek platformun kuru kalması sağlanmalıdır (Küsin, 2009).

Jet grout uygulamasında öncelikle küçük çaptaki tij, jet grout kolonun belirlendiği seviyeye kadar zemini delerek iner. Sonrasında tijdeki nozullardan yüksek basınçlı çimento şerbeti püskürtülerek tij döndürülerek yukarı çekilir ve belirlenen en üst seviyeye ulaştığında enjeksiyon işlemi sona erer (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Jet grout yöntemi uygulama aşaması (Küçükali, 2008)

2.1.1 Delgi aşaması

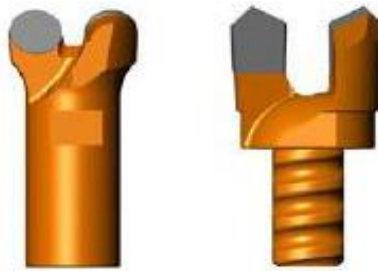
Delme işleminin çeşidi, delinecek zeminin özelliklerine bağlı olarak seçilir. İlk etapta zemin özel ataşmanlı delgi makineleriyle öngörülen derinliğe kadar delinir. Delgi sırasında kuyu ağzının, yer altı su seviyesi üzerinde olması çalışabilme açısından tercih edilir (Askay, 2002).

Delme işleminin kolaylaştırılması, uç takımının soğutulması ve zeminin enjeksiyona hazırlanması amacıyla delgi sırasında su, hava, bentonit süspansiyonu veya çimento-su karışımı gibi çeşitli akışkanlar kullanılmaktadır. Uç takım olarak, yumuşak karakterli zeminlerde genellikle kil bitleri, sert karakterlerde ise tricone bitler ve bloklu zeminlerde delik dibi tabanca bitleri kullanılmaktadır. Delme borusu (tij) olarak da bağlantı manşonlarında 600-700 bar basınca dayanıklı sızdırmazlık elemanları (keçe) kullanılan yüksek basınca dayanıklı özel imal edilmiş delgi tijleri kullanılmaktadır (Askay 2002).

Şekil 2.4'te alüvyonlu zeminlerde su ve hava ile delgide kullanılan kademeli matkap, Şekil 2.5'te yumuşak zeminlerde kullanılan kademesiz delgi matkabı görülmektedir (Küsin, 2009).



Şekil 2.4. Kademeli delgi matkabı (Melegary ve Garassino, 1997)



Şekil 2.5. Kademesiz delgi matkabı (Melegary ve Garassino, 1997)

Jet grout uygulamasında delgi işleminde kullanılan su, Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Delgi işleminde kullanılan su (Kimpritis, 2013)

2.1.2 Enjeksiyon aşaması

Enjeksiyon karışımı, belirli orandaki suyun ve çimentonun karıştırıcıda birleştirilmesiyle oluşur. Uygulama alanına göre, su/çimento oranı ayarlanır, fazla miktarda hacim dolacaksa, pompanın basmasının mümkün olduğu oranda (%25 kadar) kum katılır (Küsin, 2009).

Geçirimsizlik ve ince çatlakların doldurulması bentonit karışımı ile sağlanır. Karıştırıcıda hazırlanan enjeksiyon karışımı, dinlendiriciye alınır ve oradan pompa vasıtasıyla hortumlar ile kuyuya verilir. Delme işlemi tamamlandığında su/çimento karışımından oluşan çimento şerbeti oldukça büyük basınçla zemine verilirken delgi borusu yukarıya doğru çekilir. Böylece yüksek hızlı enjeksiyon karışımı zemini aşındırır ve yapısını bozarak çimentoya karışır ve böylece dairesel bir kolonun zeminde oluşmasını sağlar. Delgi borusu dönme hareketi, önceden belirlenmiş ve sabit bir hızla çekme hareketi ile birleşince düşey kolonlardan oluşan bir yapı oluşturur (Xanthakos vd., 1994).

Basıncı enjeksiyon esnasında, delici takımın etrafından dışarıya belirli bir miktar zemin materyali taşması uygun görülür. Bu durum groutla karıştırılan zemin içinde aşırı basınç oluşmadığına işaret eder. Çünkü aşırı basınç oluşması halinde, basıncın fazlası delme borusu çapı ile delinen delik çapı farkından oluşan boşluktan dışarı kaçır. Basıncı enjeksiyon esnasında taşan materyal miktarı zeminin geçirgenliğine ve türüne bağlıdır.

Bu miktar, killi zeminlerde daha fazla, kumlu-çakıllı zeminlerde daha az olacaktır, ortalama olarak enjekte edilen miktarın %10'u alınabilir (Xanthakos vd., 1994).

Jet grout uygulamasında enjeksiyon işlemi Şekil 2.7'de verilmektedir. Şekil 2.8'de ise enjeksiyon sonunda, jet grout uygulamasından bir görüntü yer almaktadır.



Şekil 2.7. Enjeksiyon aşaması (Çınar, 2014)



Şekil 2.8. Enjeksiyon sonunda jet grout uygulamasından bir görüntü (Çınar, 2014)

2.2 Jet Grout Kolonu Oluşturma Yöntemleri

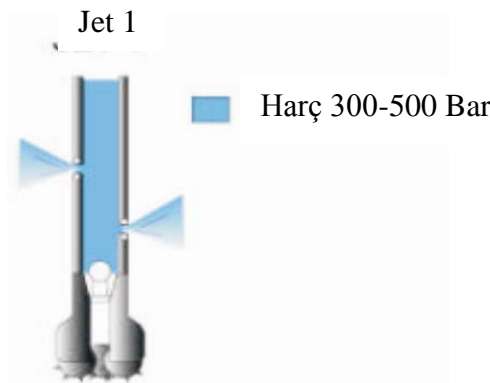
Jet grout uygulama teknikleri zemin çeşidine, uygulanacak alana ve istenilen jet grout kolon kriterlerine (jet grout kolonun mukavemeti, jet grout kolonun çapı vb.) göre değişebilmektedir.

2.2.1 Tekli jet sistemi (Jet 1)

En basit jet grout yöntemidir. Bir veya birden fazla 2-3 mm, 2-4 mm arasında değişen çaplardaki püskürtme ağızlığı (nozül) monitörün etrafında bulunur. Hazırlanmış olan harç, 300-500 bar arasında yüksek basınçta ağızlıklardan (nozullardan) püskürtülür. Böylece zemin kesilerek, oluşan boşluklar harç ile doldurulur. Monitörün çekilmesi ve kendi etrafında belirli hızlarda döndürülmesi ile aşındırılan zemin ve enjekte edilen harç sayesinde zemin-çimento karışımı meydana getirilir (Melegary ve Garassino, 1997). TS EN 12716 (2002) tekli jet sistemini “Zeminin parçalanma ve çimentolanmasının, genellikle çimento şerbeti ile sağlandığı ve tek bir akışkanın yüksek enerji jeti şeklinde uygulandığı jet enjeksiyon işlemi” olarak tanımlamaktadır.

Hava kullanılmadığı için yatay imalat yapılacak uygulamalarda özellikle tünel inşaatlarındaki uygulamalarda ve sıvılaşma potansiyeli olan zemin koşullarında çoğunlukla tercih edilir (Melegary ve Garassino, 1997).

Tek akışkanlı yöntemde yüzeye alınan artık malzeme, diğer jet grout sistemlerine göre daha az olmaktadır. Kolon tip elemanlar ise kohezyonlu zeminlerde 40-80 cm, kohezyonsuz zeminlerde (granüler zeminlerde) 50-120 cm çapa kadar oluşturabilmektedir. Granüler zeminlerde mukavemeti en yüksek elemanlar, tek akışkanlı sistem ile oluşturmaktadır. Zemindeki boşluk oranları ise diğer iki sistem ile yapılanlara göre daha az olmaktadır (Melegary ve Garassino, 1997) (Şekil 2.9).

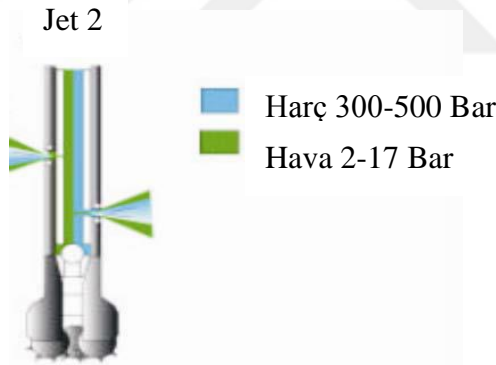


Şekil 2.9. Jet 1 uygulaması (Küçükali, 2008)

2.2.2 İkili jet sistemi (Jet 2)

Çift akışkanlı sistem, tek akışkanlı sisteme göre daha ileri ve karmaşık bir sistemdir. Çimento harcının bir hava jeti içinde püskürtülmesi ile zeminin parçalanması sağlanır. Monitör yani püskürtme gövdesi, iç içe geçmiş iki üniteden oluşmaktadır (Şekil 2.10). En içteki ünite harç püskürtme, en dıştaki ünite hava püskürtme işlevini yerine getirmektedir. Basınçlı hava, enjeksiyon sırasında sürtünmeden dolayı oluşan kinetik enerji kayıplarında önemli bir düşüş sağlar (Burke vd., 2000). TS EN 12716 (2002) ikili jet sistemini “Zeminin parçalanması ve çimentolanmasının ikinci bir akışkan olarak hava jeti, yüksek enerjili bir sıvıyla (genellikle çimento şerbeti) gerçekleştirildiği jet enjeksiyon sistemi” olarak tanımlamaktadır.

Elde edilen zemin-çimento kolon çapları jet 1 yöntemi ile elde edilen kolon çaplarından %60-80 oranında daha büyük olabilmektedir. Sistemde püskürtülen harcın basıncı 300-500 bar arasında, kullanılan hava basıncı ise 2-17 bar arasında değişmektedir. Kolon çapları ise 80-140 cm'ye kadar ulaşabilmektedir (Burke vd., 2000).



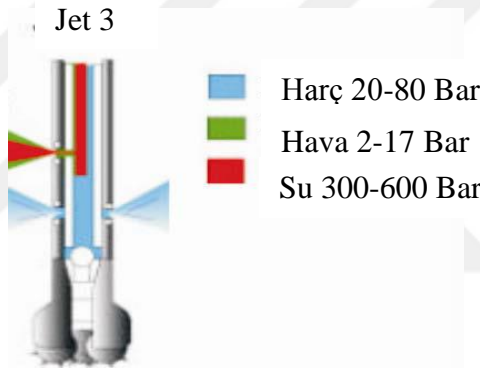
Şekil 2.10. Jet 2 uygulaması (Küçükali, 2008)

Bu sistem genellikle sızdırmazlık için cut-off veya perde inşasında ve çöp alanları ile sıvılaşma potansiyeline sahip alanların ıslahında kullanılmaktadır (Burke vd. 2000).

2.2.3 Üçlü jet sistemi (Jet 3)

Delgide su ile hava, dolguda ise enjeksiyon şerbetinin kullanıldığı bu yöntemde sistem aynı merkezli, iç içe üç borudan oluşmaktadır (Şekil 2.11). 300 ile 600 bar arası değişen basınçlı su, en iç borudan basılır. 2 ile 17 bar arası basınçlı hava ortadaki borudan

verilmektedir. Su ve hava, jet 2 yönteminde olduğu gibi nozullardan zemine girer. Dıştaki borundan gelen enjeksiyon şerbetinin basıncı 20 ile 80 bar arasında değişmektedir. Hava + su basıncı ile önü açılan enjeksiyon şerbeti daha uzaklara kadar zemine nüfuz edebilir. Bu şekilde uygun zemin koşullarında 2000 mm üzeri jet grout kolon oluşturmak mümkün olabilmektedir. Bu yöntemle imal edilen kolonlarda zemin çimento karışımı malzeme içerisine giren hava ve fazla su nedeniyle, çaptaki büyümeye karşı kolonların dayanımında bir miktar azalma söz konusu olmaktadır (Croce ve Flora, 2000). TS EN 12716 (2002) üçlü jet sistemini “Zeminin parçalanmasının hava jeti destekli yüksek enerjili su jeti ile sağlandığı, çimentolanmasının ise eş zamanlı olarak ayrı bir enjeksiyon karışımı jeti ile elde edildiği jet enjeksiyon işlemidir.” şeklinde tanımlamaktadır. Özel durumlarda, su yerine diğer uygun sıvılar veya süspansiyonlar kullanılabilir (TS EN 12716, 2002).



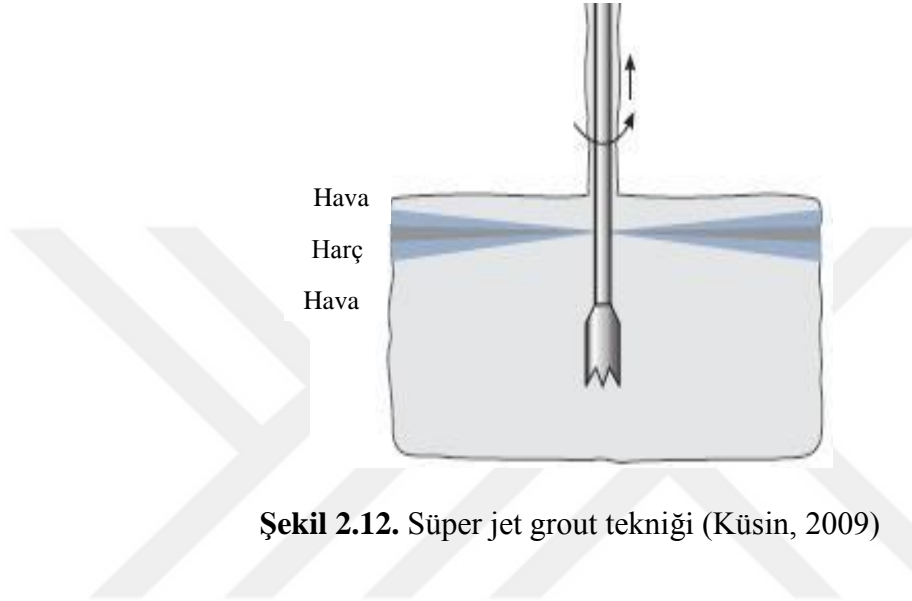
Şekil 2.11. Jet 3 uygulaması (Küçükali, 2008)

2.2.4 Süper jet sistemi

Jet grout yöntemiyle daha geniş alanları hızlı ve düşük maliyetle iyileştirmek için süper jet grout yöntemi geliştirilmiştir. Süper jet grout kolonları oluşturulurken, büyük çapa sahip tijler kullanılarak çimentolu harç ve hava karışımı yüksek basınçta uygulanır (Şekil 2.12). Bu yöntemle 3-5 m çapa kadar süper jet grout kolonları oluşturulabilir (Şekil 2.13).

Süper jet grout yönteminde diğer yöntemlere göre, tijler daha yavaş döner ve daha yavaş yukarı çekilir.

Süper jet grout kolonları imalatında işletim parametreleri olarak 3 – 4 devir / dakika dönüş hızı, 7 mm/dakika çekme hızı, 40 MPa enjeksiyon basıncı ile 4 m çapa kadar ulaşılabildiği görülmektedir. Süper jet grout yöntemiyle oluşturulan kolonlarda, kolon kesitlerinin büyüdüğü görülmektedir. Bu yöntem yatay zemin suyu kontrolünde, sıvılaşabilir tabaka stabilizasyonunda, geçirimsiz perde duvar imalatında, kazı yan yüzleri desteklenmesinde kullanılmaktadır (Bell vd., 2003).



Şekil 2.12. Süper jet grout tekniği (Küsin, 2009)



Şekil 2.13. Süper jet grout yöntemiyle oluşturulmuş kolonlar (URL-3, 2016)

2.2.5 Jet grout sistemlerinin karşılaştırılması

Farklı jet grout sistemlerinin zemin cinsi, kolon çapı ve basınç dayanımlarının karşılaştırılması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Jet grout sistemleri karşılaştırma (Sağlamer, 2006)

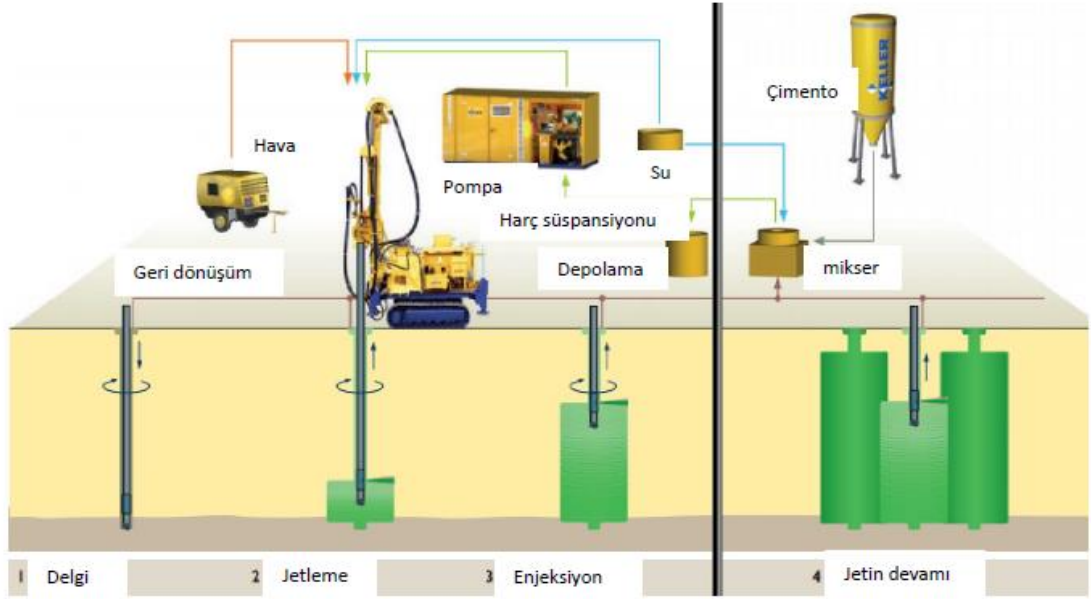
Jet Türü	Zemin Cinsi	Kolon Çapı	JG Kolon Dayanımı
Jet 1	Kum ve Çakıl Kil	60 cm - 90 cm (110 cm’ye kadar) 60 cm - 90 cm	70 - 250 kg/cm ² 20 - 100 kg/cm ²
Jet 2	Kum ve Çakıl Kil	60 cm - 180 cm (300 cm’ye kadar) 90 cm - 150 cm	35 - 140 kg/cm ² 10 - 70 kg/cm ²
Jet 3	Kum ve Çakıl Kil	150 cm - 240 cm 90 cm - 180 cm	35 - 105 kg/cm ² 10 - 50 kg/cm ²

Jet 1 sisteminde kolon çapı, jet 2 ve jet 3’e göre daha küçük çapta elde edilmesine rağmen jet grout kolonun dayanımı daha yüksektir. Jet grout kolon oluşumunda jet 2’de havanın, jet 3’de su ve havanın, çimento harç malzemesi ile karışması jet grout kolonun dayanımının düşmesine, çapın ise büyümesine sebep olmaktadır.

2.3 Jet Grout Uygulama Ekipmanları

Jet grout uygulaması için kullanılan sistem ekipmanları şöyledir (Şekil 2.14).

- Çimento silosu
- Enjeksiyon hazırlama ünitesi
- Enjeksiyon pompası
- Su Pompası
- Hava kompresörü (seçilen sisteme göre)
- Delici Makine
- Monitör



Şekil 2.14. Jet grout ekipmanları (URL-2, 2016)

2.3.1 Çimento silosu

Dökme çimento depolayabilen ve jet grout mikser ünitesini yeterli düzeyde besleyecek çimento silosu ve konveyörüdür. Dökme çimento depolama miktarı en az 50 ton olan çimento silosu Şekil 2.15’de verilmiştir.



Şekil 2.15. Çimento silosu (Küsin, 2009)

2.3.2 Enjeksiyon hazırlama ünitesi ve enjeksiyon pompası

TS EN 12716 (2002)'ye göre farklı sistemler için jet enjeksiyon hazırlama ve enjeksiyon tesisi aşağıdakileri kapsar:

- Tekli sistem: Çimento ve diğer malzemeler için depo, koloidal karışım tesisi, karıştırıcı tank, yüksek basınçlı enjeksiyon pompası.
- Çiftli (hava) sistem: Tekli sistemdekilere ek olarak bir hava kompresörü
- Çiftli (su) sistem: Tekli sisteme ek olarak bir yüksek basınçlı su pompası ve bir enjeksiyon şerbeti pompası
- Üçlü sistem: İkili sisteme (su) ek olarak bir hava kompresörü

Enjeksiyon hazırlama ünitesi, mikser ve dinlendirme kazanlarından oluşan, jet grout projesine göre istenilen oranda su/çimento katıp çimento enjeksiyonunu hazırlayan karıştırıcıdır.

Hazırlanan çimento enjeksiyonu, mikser kazanından dinlendirme kazanına aktarılır ve enjeksiyon pompası tarafından emilerek yüksek basınçla zemine gönderilir. Pompa ünitesini beslemeye yeterli kapasitedeki enjeksiyon hazırlama ünitesi Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Enjeksiyon hazırlama ünitesi (Doğanışık, 2010)

Enjeksiyon karışımını, istenen çapta jet grout kolonu teşkil edebilecek basınçta basabilecek yüksek basınçlı pompadan oluşan pompa ünitesidir. Jet grout kolonlarının yapımında 60 MPa 150 – 450 lt/dk arasında çimento harcı basabilen ve 8 saate kadar sürekli çalışabilen pompalar kullanılmaktadır (Kauschinger vd., 1992) (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Jet grout enjeksiyon pompası (Durgunoğlu, 2008)

2.3.3 Delgi makinesi

Jet grout kolonunu, uygulama projesi derinliğince teşkil edebilecek kapasiteye sahip delgiyi gerçekleştiren makinedir (Şekil 2.18).

Delgi makineleri;

- Hidrolik sistemlerden oluşmuş,
- Ağır saha koşullarında maksimum hareket yetisini paletlerle hareket ederek sağlayan,
- Yüksek tork ve baskı gücüne sahip araçlardır.

Önceden belirlenen dönme ve aktarma hızlarında ilerlemek için jet enjeksiyon tiji, monitör ve diğer gereçlerle donatılmıştır (TS EN 12716, 2002).

Delgi de rotary yöntemi kohezyonlu zeminlerde kullanılırken, darbeleri yöntem kohezyonsuz zeminlerde kullanılır. Delgi makina parçaları Şekil 2.19’da gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Jet grout delgi makinası (Kaymakçı, 2014)



Şekil 2.19. Delgi makinası parçaları (Küçükali, 2008)

2.3.4 Monitör

Monitör adaptör takımı; delgi makinesine bağlı bulunan su başlığı ve tij sisteminin son halkasını oluşturur. Jet grout kolonu oluşturulması için enjeksiyonun son çıkış noktasında bulunan ekipmandır. Bu ekipmanın en uç noktasına da delgi ucu takılmaktadır. Monitör jet grout kolonu oluşturma yöntemlerine göre tıpkı su başlığı ve tijlerde olduğu gibi tek, çift veya üç cidardan oluşabilmektedir. Şekil 2.20’de tek cidarlı monitör gösterilmiştir (Doğanışık, 2010).

Monitör, aşağıda verilen özellikleri kapsar (TS EN 12716, 2002):

- Tekli sistem için, enjeksiyon şerbetini jet haline getiren bir ya da daha fazla dairesel püskürtücü. Bu püskürtücüler aynı seviyede ya da değişik seviyelerde, karşılıklı çalışmaya imkân sağlayan açılarda bulunabilir.
- İkili (hava) sistem için, hava ve enjeksiyon şerbetinin eş zamanlı jet haline getirilme işlemi için bir ya da daha çok çift püskürtücü (aynı seviyede ya da değişik seviyelerde, karşılıklı çalışmaya imkan sağlayan açılarda). Hava püskürtücüsü, dairesel şerbet püskürtücüsünün çevresini bir halka şeklinde sarar.
- İkili (su) sistem için, suyun jet haline getirilmesi için bir ya da daha fazla püskürtücü ve çimento karışımını yollamak için bir ya da daha fazla daha derine yerleştirilen püskürtücü.
- Üçlü sistem için, su ve havanın eş zamanlı jetlenmesi işleminde bir ya da daha fazla çift püskürtücü ve enjeksiyon şerbetinin gönderilmesini sağlayan daha derine yerleştirilmiş bir ya da daha fazla normal püskürtücü.



Şekil 2.20. Monitör adaptör takımı (Doğanışık, 2010)

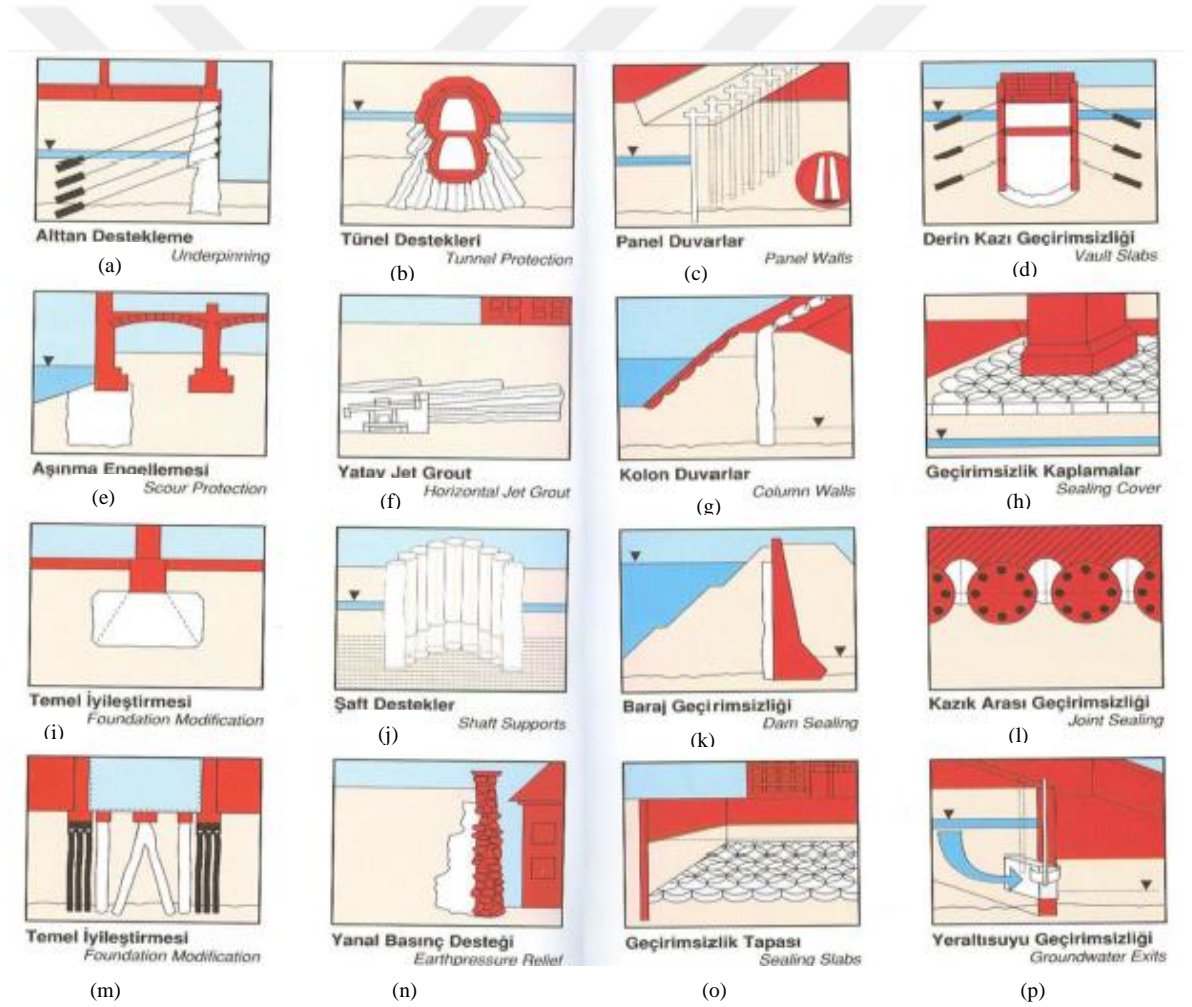
2.4 Jet Grout Yönteminin Uygulama Alanları

Günümüzde hızlı gelişen ve çeşitli ihtiyaçlardan doğan yapılaşma sonucu jet grout yönteminin de uygulama alanları artmıştır. Jet grout kolonların çeşitli maksatlarla kullanımları, aşağıda sıralanmaktadır (Durgunoğlu, 2004).

- Temel altında, düşey yükler için basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deformasyon kontrolü (Şekil 2.21i, Şekil 2.21m)
- Döşeme altında düşey ve özellikle yüksek yayılı yükler altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deformasyon kontrolü (Şekil 2.21a)
- Dolgu altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deformasyon kontrolü
- Köprülerde yaklaşım dolguları altında düşey dolgu yüklerinin taşınması, dolgu altında oturma kontrolü ve kenar ayak kazıklarına negatif çeper sürtünmesi intikalinin önlenmesi
- Havuzlarda, yeraltı su depolarında ve su yapılarında, donatı ile teçhiz edilerek çekme elemanı olarak
- Kazılarda, ağırlık tipi istinat yapısı teşkili ile yanal zemin itkilerinin alınması (Şekil 2.21n)
- Kazılarda donatı ile teçhiz edilerek düşey eğilmeye maruz iksa elemanı olarak (Şekil 2.21d)
- Kazılarda ve ankrajlı istinat yapılarında özel donatı ile ankraj elemanı olarak
- Geçirimli ve yer altı su seviyesinin yüksek olduğu zeminlerdeki kazılarda taşıyıcı elemanlar arasında batardo kapama elemanı olarak (Şekil 2.21l, Şekil 2.21p)
- Yumuşak zeminlerdeki kazılarda kazı öncesi kazı taban seviyesi altında teşkil edilen payanda elemanı olarak
- Kazı tabanından kazıya gelecek yeraltı suyunun kontrolü için tıkaç elemanı olarak (Şekil 2.21o)
- Şevlerde stabilitenin sağlanması için zemin takviye elemanı olarak veya ağırlık batardosu teşkili ile
- Yumuşak zeminde açılan yüzeye yakın tünellerde tünel üstündeki zeminin iyileştirmesi amacı ile
- Yumuşak zeminde açılan tünellerde tünel içinde ve ayna önünden yapılarak, kazı öncesi tünel kesiti üzerinde taşıyıcı bir şemsiye oluşturulması amacı ile (Şekil 2.21b, Şekil 2.21f)
- Önemli ve ağır yapılarda sıvılaşma güvenlik sayısı düşük olan yerlerde kazıklı temellere gelecek yatay yüklerin ve oluşacak deformasyonların kontrolü için, kazıklarla birlikte

- Sıvılaşma sonucu oluşacak zemin yanal ve düşey deformasyonlarının sınırlandırılması için yapı etrafında veya altında kapama elemanları olarak (Şekil 2.21h)
- Sıvılaşma riskine karşı güvenlik sayısının artırılması, zeminde oluşan kayma gerilmelerinin bir kısmının taşınarak deprem sonucu oluşabilecek düşey ve yanal deformasyonların sınırlandırılması
- Geçirimsizlik perdeleri (Şekil 2.21c, Şekil 2.21g, Şekil 2.21j)
- Aşınma engellenmesi (Şekil 2.21e)
- Baraj gövdesinin desteklenmesinde ve geçirimsizliğinde

Şekil 2.21’de jet enjeksiyon uygulamalarına ait şematik çizimler verilmiştir.



Şekil 2.21. Jet grout uygulamaları (Tachir, 2015)

2.5 Jet Grout Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Jet grout tekniğinin yararları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Melegary ve Garassino, 1997):

- Hemen hemen tüm zemin çeşitlerinde uygulanabilir.
- Küçük çaplı bir deliğin (100 mm) zeminde delinmesi ile büyük çaplı kolonlar (500 ~ 3000 mm) imal edilebilmektedir.
- Çevre kirliliğine yol açmadan zeminlerin stabilizasyonuna yardımcı olur.
- Temel takviyesinde, yapının deformasyonu çok az olur.
- Diğer metotlara göre, daha hızlı ve güvenli imalat yapılmasını sağlar.
- Gerekli geçirimsizlik ve yapısal mukavemet tasarlanabilir.
- Hassas yapılara zarar verecek titreşim üretilmediğinden, bu yapıların yakınında imalat yapılabilir.
- Çok sınırlı alanlarda çalışma imkanı verir.
- Yüksek riskli inşaatlarda can güvenliği sağlanır.
- Kolonlar istenilen derinlikten istenilen derinliğe kadar imal edilir.
- Taban kabarmasının önlenmesi veya tünel yapımında geçirimsizliğin zemin yüzünden sağlanması gibi problemlerin ekonomik çözümünde elverişlidir.
- Arazi şartlarına göre, inşaat süresini %30 ~ %60 kısaltır.

Jet grout tekniğinin sınırlamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Melegary ve Garassino, 1997):

- Enjeksiyon akışı enjeksiyon noktasından yüzeye kadar izlenmelidir. Eğer enjeksiyon yolunda bir tıkanıklık var ise bu zeminde şişmeye ve neticesinde kolonların oluşmamasına neden olur.
- Zemin cinsine göre kolon çapları farklı olabilir.
- Çok yüksek basınçlar zeminin taşıma gücünü azaltıp istenmeyen oturmalara neden olabilir.
- İki akışkanlı ve üç akışkanlı sistemlerde maksimum 10° ~ 20° arasındaki değerlerde eğiklik oluşturulabilmektedir. Bu sınırlamanın oluşumundaki neden ise, zemindeki örselenen malzemenin püskürtülen hava ile dışarıya alınmasını sağlamaktır.

- İki akışkanlı ve üç akışkanlı yöntemlerde yataklanma oluşabilmekte, düşük geçirgenliğe sahip zeminlerde oluşturulan elemanlar düşük mukavemet değerlerine sahip olabilmektedir. Bu tarz zeminlerde su, ıslah edilen zeminden tahliye edilemediğinden yüksek oranda su/çimento oranı elde edilebilmekte ve tek akışkanlı sisteme göre düşük elastisite modüllü, düşük mukavemete sahip kolonlar imal edilmektedir.
- Tam olarak basit bir tasarım yöntemi geliştirilememiştir ve bundan dolayı deneyim önem kazanmaktadır.
- Bazı zamanlar kolon çapları istenildiğinden büyük olabilmekte bu da ekonomik açıdan sorunlar yaratmaktadır.



BÖLÜM III

JET GROUT KOLONU OLUŞTURMA PARAMETRELERİ

Jet grout imalat parametreleri, genellikle benzer zeminlerde daha önceden yapılmış çalışmalar esas alınarak belirlenir (Lee, 2005). Enjeksiyon basıncı, su/çimento oranı, tijin dönme ve çekme hızı, püskürtme ağızlığının (nozül) sayısı ve çapı, tek akışkanlı jet grout kolon imalatını gerçekleştirmek için gerekli olan parametrelerdir. Tek akışkanlı jet grout yöntemine ilave olarak iki akışkanlı jet grout yönteminde hava akış oranı ve hava basıncı parametrelerinin de belirlenmesi gerekir. Üç akışkanlı jet grout yönteminde ise iki akışkanlı jet grout yöntemine ek olarak su jeti püskürtme ağızlığının sayısı ve çapı, su basıncı gibi parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Çizelge 3.1’de tek akışkanlı, çift akışkanlı ve üç akışkanlı jet grout sistemleri için gerekli işletim parametreleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Jet grout yönteminin işletim parametreleri (Xanthakos, 1994)

PARAMETRELER			JET GROUT SİSTEMLERİ		
			TEK AKIŞKANLI	ÇİFT AKIŞKANLI	ÜÇ AKIŞKANLI
ENJEKSİYON BASINCI	Su	(Bar)	ÖY(200-300)	ÖY(200-300)	300-500
	Enjeksiyon Harcı	(Bar)	300-600	300-600	400-600
	Sıkıştırılmış Hava	(Bar)	Yok	8-12	8-13
AKIŞ ORANLARI	Su	(lt/dk)	ÖY	ÖY	70-100
	Enjeksiyon Harcı	(lt/dk)	60-150	100-150	150-250
	Sıkıştırılmış Hava	(lt/dk)	Yok	10-30000	10-30000
PÜSKÜRTME AĞIZLIĞININ (NOZUL) BÜYÜKLÜĞÜ	Su	(mm)	ÖY(1.6-2.4)	ÖY(1.6-2.4)	1.8-2.5
	Enjeksiyon Harcı	(mm)	1.6-3	2-4	3.5-6
PÜSKÜRTME AĞIZLIĞININ (NOZUL) SAYISI	Su	adet	ÖY(1)	ÖY(1)	1-2
	Enjeksiyon Harcı	adet	2-6	1-2	1
TİJİN DÖNME HIZI		(Devir/dk)	10-30	10-30	10-30
TİJİN BİR ADIM İÇİN ÇEKİLME SÜRESİ (4 cm)		sn.	8-15	10-20	15-25
KOLON ÇAPI	Çakıllı/Kumlu Zeminler	(m)	0.6-1	1-2	1.5-2.5
	Killi Zeminler	(m)	0.5-1	1-1.5	1-2
SU/ÇİMENTO ORANI		W/C	0.8:1-2:1		
ISLAH EDİLEN ZEMİNİN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI		kg/m ³	400-800	400-800	400-800
ZEMİNİN MUKAVEMETİ	Çakıllı/Kumlu Zeminler	kg/cm ²	100-300	75-250	75-250
	Killi Zeminler	kg/cm ²	15-100	15-85	15-75

NOT:ÖY=Ön Yıkama

Ön jet enjeksiyonu, su ve/veya diğer akışkan jetinden ibaret bir ön parçalanma safhasıyla, bir elemanın jet enjeksiyonunun yapıldığı metottur. Ön jet enjeksiyonu, aynı zamanda, yaygın olarak, ön yıkama ve ön kesme olarak da bilinir (TS EN 12716, 2002).

Çeşitli zemin tiplerinde uygulanan jet grout kolonlarının mukavemet değerlerinin, imalat parametreleriyle değişim aralığı aşağıdaki Çizelge 3.2’de verilmiştir (Stoel, 2001).

Çizelge 3.2. Ortalama serbest basınç mukavemeti (Stoel, 2001).

Zemin Tipi	Serbest Basınç Mukavemeti σ_{JGK} (MPa)	
	Alt Limit	Üst Limit
Organik Zemin	1	6
Kil	3	7
Silt	5	15
Kum	10	40
Çakıl	10	40

Jet grout yönteminin fizibilitesini ve parametrelerini etkileyen faktörler, aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Cippo ve Tornaghi, 1985):

- Zemin profili ve hidrojeolojik bilgiler
- Zeminin kohezyon ve yoğunluk değerleri ve bunların temin edilmesi için yapılan CPT ve SPT sonuçları
- Kohezyonsuz zeminlerin su muhtevası ve dane çapı dağılımı; kohezyonlu zeminlerde Atterberg limitleri
- Enjeksiyon karışımı ve zemin – enjeksiyon karışımının permeabilite, mukavemet vb. özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılan deney sonuçları
- İmal edilen kolonların kontrolleri için yapılan arazi deneyleri ve kontrol sonuçları

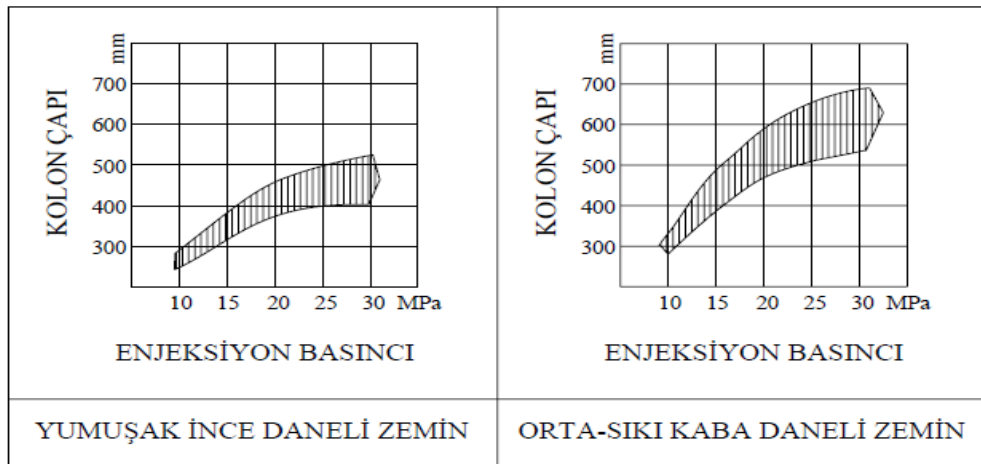
3.1 Enjeksiyon Basıncı

Hedeflenen kolon çapının elde edilmesinde en önemli parametre, enjeksiyon basıncıdır. Genellikle enjeksiyon basıncındaki artış ile kolon çapında artış sağlanır. Her zaman kullanılan enerjideki artış, istenilen kolon çapı artışını meydana getirmeyebilir. Bunun nedeni, kohezyon ve yapım süresidir. Zeminin kohezyonu azalır, kaba dane oranı arttıkça kolon çapı artmaktadır (Kutzner, 1996; Melegary ve Garassino, 1997).

Enjeksiyon basıncının pompadan çıktığında %5 ile %10'u arasının hortumlarda, sürme borusunda ve püskürtme ağzında kaybedileceği dikkat edilmesi gereken hususlardandır. Enjeksiyon basıncı şu şekilde sınıflandırılır (Melegary ve Garassino, 1997):

- Düşük: 200-250 bar arasında basınç
- Orta: 300-400 bar arasında basınç
- Yüksek: 400-700 bar arasında basınç

Farklı zeminlerde jet grout kolon çapı ve enjeksiyon basıncı arasındaki ilişki Şekil 3.1'de verilmiştir.

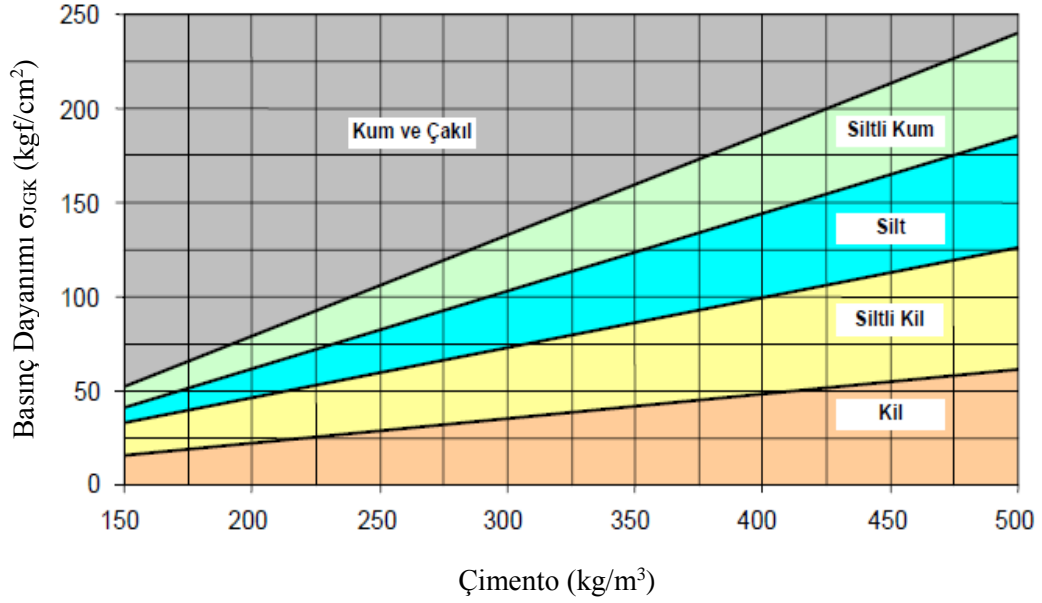


Şekil 3.1. Jet grout kolon çapı ve enjeksiyon basıncı arasındaki ilişki (Xanthakos, 1994)

3.2 Enjeksiyon Harcı Dozajı

Enjeksiyon harcının; su/çimento oranı 1, özgül yoğunluğu $1410-1570 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. Farklı zeminlerde 1 m^3 enjeksiyon harcındaki çimento miktarı 350-700 kg arasında değişmekle beraber, ortalama olarak 450 kg kullanılır. Enjeksiyon harcına çimento ağırlığının % 0.03 - % 0.04 ü aralığında katkı eklenerek zeminin iyileştirme düzeyi artırılabilir.

Çeşitli zeminlerde elde edilmek istenilen jet grout kolon basınç değeri için Şekil 3.2'deki abak kullanılarak, gereken çimento miktarı belirlenebilir.



Şekil 3.2. Çeşitli zeminlerde istenilen basınç dayanımı için çimento miktarları (Öz, 2015)

Organik içerikli zeminlerde çimento dozajı 450 kg/m^3 den 700 kg/m^3 'e çıkartılabilmektedir. Bunun sebebi kullanılan çimentonun bir kısmının organik ortamda yer alan ve çimentonun bağlayıcılığını ortadan kaldıran asitlerin nötrleştirilmesinde harcanmasıdır. Jet grout yöntemi sayesinde ıslah edilmiş hacim, bitişindeki işlem görmemiş zeminin özelliklerini de iyileştirmektedir. Jet grout yönteminin bu ikinci etkisi sayesinde, ıslah edilmiş zeminin SPT değerleri doğal zemininkine (ve diğer ıslah metotlarının neticesinde oluşan sonuca) göre % 20 - 25 civarında daha yükselmektedir (Melegary ve Garassino, 1997).

3.3 Dönme ve Çekme Hızı

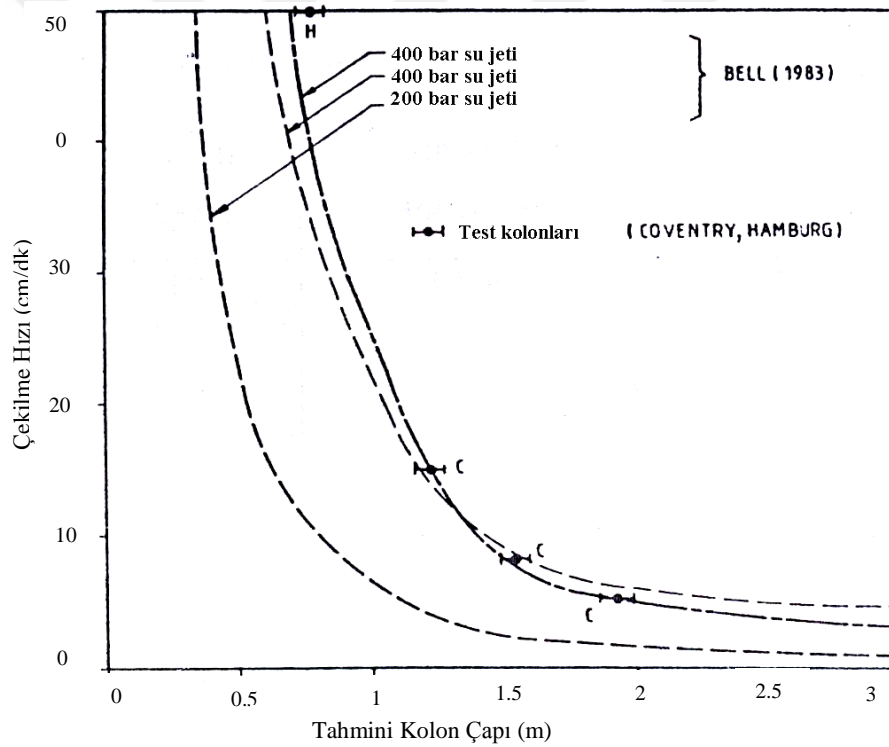
İstenilen özellik ve çapta jet grout kolon elde etmek ve zemin ile enjeksiyon harcının düzgün bir şekilde karışması için tijin yavaş bir şekilde dönmesi ve homojen bir karışım elde edilebilecek hızda çekilmesi gerekmektedir. Bu yüzden tijin dönme ve çekme hızı jet grout uygulamasında kullanılan önemli bir parametredir.

Dönüş hızı genellikle 10 – 20 devir/dk değerleri arasında değişir, bazı özel durumlarda 30 devir/dk'ye kadar çıkabilir. Takım çekme işlemi, kademeli çekme ve sürekli çekme şeklinde olabilir. Bu iki ayrı tip çekme metodu, genellikle delici makinenin imal

yöntemine bağılı olarak seçilir. Bazı makinelerde sadece kademeli, bazılarında ise hem kademeli, hem sürekli çekme düzeneği bulunmaktadır. Kademeli çekmede, her kademedede 4cm. ilerleme ve her kademedede 6 – 10 sn. bekleme en iyi neticeyi sağlamıştır (Melegary ve Garassino, 1997).

Kohezyonlu zeminlerde yapılan uygulamada iyi bir karşım meydana getirebilmek ve zemini etkili bir şekilde parçalayabilmek için daha fazla zamana ihtiyaç duyulur (Okyay, 1987). Ayrıca dönme ve çekme hızı zemin cinsiyile ve ıslah edilmesi için belirlenen jet 1, jet 2, jet 3 sistemleriyle sıkı ilişkili olduğundan, jet 2 ve jet 3 sistemlerinin uygulanması halinde daha fazla alan ıslah edileceği için daha fazla süreye ihtiyaç duyulacaktır.

Şekil 3.3’de tahmini kolon çapı ile tijin çekme hızı arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 3.3. Tahmini kolon çapı ile tijin çekim hızı arasındaki ilişki (Moseley, 1993)

Çizelge 3.3’de püskürtme gövdesinin çekme hızı ile ıslah edilen zemin arasındaki ilişki farklı kaynakların verilerine göre özetlenmiştir.

Çizelge 3.3. Püskürtme gövdesinin çekme hızı ile ıslah edilen zemin arasındaki ilişki (Erdil, 2008)

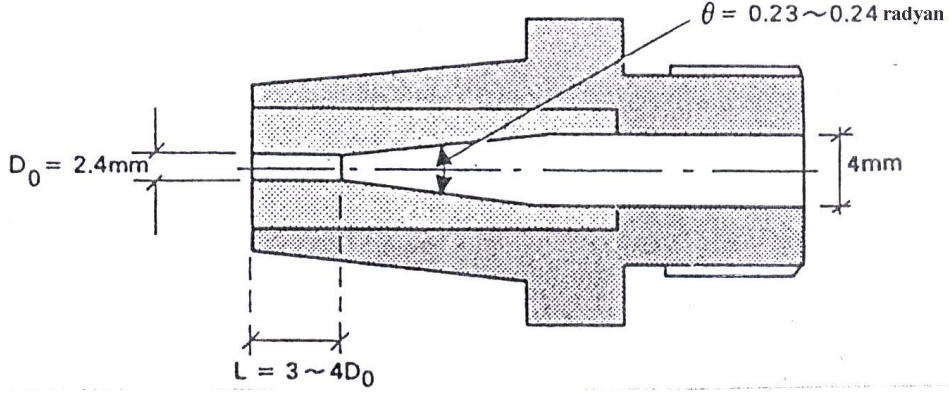
Zemin	Enjeksiyon Basıncı (MPa)	Çekme Hızı (cm/dk)	Islah Edilen Hacim (m ³ /m)	Kaynak
Yumuşak Kaya	39.3 – 48.9	2.3 – 9.4	0.1 – 0.2	Yahiro vd. (1975)
Sıkı Kum ve Çakıl	39.3 – 48.9	3 – 11.7	0.1 – 0.2	Yahiro vd. (1975)
	34.5 – 41.4	30.5	0.3 – 1.8	ENR (1986)
Orta Sıkı ve Çakıl	39.3 - 48.9	13.2 – 23.1	0.2 – 0.2	Yahiro vd. (1975)
	20 - 40	9.9 - 50	0.1 – 1.8	Welsh vd. (1986)
	38.6	91.4	0.2	ENR (1986)
	30.3	39.9	0.3	Aschieri vd. (1973)
	39.3 – 48.9	50 – 119.9	0.1 – 0.6	Yahiro ve Yoshida (1973)
Gevşek Kum	5.5 – 6.9	39.9 – 59.9	0.2 - 1	Broid vd. (1981)
	39.3 – 48.9	23.1 – 28.7	0.2 – 0.2	Yahiro vd. (1975)
Kil ve Silt	39.3 – 48.9	31 – 38.6	0.2 – 0.3	Yahiro vd. (1975)
	20 - 40	9.9 – 42.2	0.1 – 1.5	Welsh vd. (1986)
	30.3	39.9	0.3	Aschieri vd. (1973)
	5.5 – 6.9	39.9 – 59.9	0.1 – 0.4	Yahiro ve Yoshida (1973)
				Broid vd. (1981)

3.4 Nozullar (Püskürtme Ağzılığı)

Jet grout kolonu oluşturma parametrelerinden biri de nozullardır. Enjeksiyon harcı belirli bir basınç ile nozullardan püskürtüldüğü için nozul çapı ve sayısı önemlidir. Doğru bir uygulama için, nozul sayısına ve çapına dikkat edilmelidir.

Nozullar enjeksiyon tijinin uç kısmında yer alan monitörün üzerinde bulunurlar. Nozul sayısı, kullanılan jet enjeksiyonu uygulamasına göre değişmektedir. Örneğin tek akışkanlı jet uygulamasında bir ya da iki nozul varken, iki akışkanlı jet uygulamasında genellikle bir tane nozul vardır. Enjeksiyon harcının yayılması, nozul çapı küçüldükçe artmaktadır. Nozul sayısı az ise enerji kaybı da az olmaktadır (Melegary ve Garassino, 1997; Okyay, 1987; Shibazaki vd., 1982).

Nozul çapları 1.5-8 mm arasında değişmektedir. Şekil 3.4’de tek delikli nozul formunun şematik çizimi gösterilmiştir. Şekil 3.5’de tek delikli nozul resmi verilmiştir.



Şekil 3.4. Tek delikli nozul (Shibazaki, 1982)



Şekil 3.5. Nozullar (Çınar, 2014)

Enjeksiyon harcının debisi ve enerjisi ile enjeksiyon basıncı arasındaki bağı, nozullar sağlamaktadır. Enjeksiyon harcının yayılması, nozul çapı küçüldükçe artmaktadır (Küçükali, 2008). Bu ilişki Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Nozul çapı ve enjeksiyon harcı ilişkisi (Melegary vd., 1997)

SU/ÇİMENTO = 1				ENJEKSİYON ÖZGÜL AĞIRLIĞI = 1.52							
Nozul Çapları (mm)	1.4	1.6	1.8	2	2.4	2.8	3	3.2	3.5	4	4.5
NOZULLARDAN ENJEKSİYONUN ÇIKIŞI											
BASINÇ	lt/dk	lt/dk	lt/dk	lt/dk	lt/dk	lt/dk	lt/dk	lt/dk	lt/dk	lt/dk	lt/dk
300	18	24	30	37	53	73	83	95	114	148	188
350	20	26	32	40	58	79	90	103	123	160	203
400	21	27	35	43	62	84	96	110	131	171	217
450	22	29	37	45	65	89	102	116	139	182	230
500	23	31	45	48	69	94	108	123	147	192	242
550	25	32	48	50	72	98	113	129	154	201	254
600	26	34	69	52	76	103	118	134	161	210	266

3.5 Türkiye’de Uygulanan Jet Grout Sistemleri ve İmalat Parametreleri

Jet grout yöntemi, henüz gelişmekte olan bir yöntem olduğundan teorik bilgi eksikliği sebebiyle yönetmeliklerde de detaylı bilgiye ulaşılamamaktadır. Bu yöntemin özgünlüğü sebebiyle üzerinde yapılan çalışmalar önem arz etmektedir. Ülkemizde yaygın olarak uygulanan jet grout yöntemi, tekli (jet 1) ve ikili jet (jet 2) sistemleridir. Ancak en çok tercih edileni tekli jet (jet 1) sistemidir ve yaygın olarak 0.6 m ve 0.8 m jet grout kolonlar imal edilmektedir (FKG, 2016). Zemin koşullarına, uygulama amacına ve maliyete göre tercih edilen jet sistemi ve parametreleri değişebilmektedir.

Kohezyonlu zeminlerde tekli jet (jet 1) sisteminde yaygın olarak kullanılan imalat parametreleri şöyledir (FKG, 2016):

- Çimento dozajı: 450 kg/m³
- Su / Çimento oranı: 1
- Nozul sayısı: 2 (Kohezyonlu zeminlerde yapılan iyileştirme işleminde zorluk yaşıyorsa çift nozul yerine tek nozul kullanılmaktadır)
- Nozul çapı: 2 mm (1.6 mm-2 mm)
- Enjeksiyon basıncı: 400 bar (200-300 barda ön yıkama yapılması önerilmektedir)

Kohezyonsuz zeminlerde tekli jet (jet 1) sisteminde yaygın olarak kullanılan imalat parametreleri şöyledir (FKG, 2016):

- Çimento dozajı: 450 kg/m³
- Su / Çimento oranı: 1
- Nozul sayısı: 2
- Nozul çapı: 2.5 mm (2.5 mm-3 mm)
- Enjeksiyon basıncı: 450 bar (400 bar-500 bar)

Belirlenen başlangıç imalat parametrelerine göre, diğer imalat parametrelerinin hesabı yapılır. Çimento miktarının ve hacminin, tijin çekme hızının hesabı şöyle yapılmaktadır:

- Öncelikle 1 m ıslah edilmiş zemin hacmi (V_h), Eşitlik (3.1) ile bulunabilmektedir.

$$V_h = \pi * r^2 * h \quad (3.1)$$

- 1 m ıslah edilmiş zemindeki çimento miktarı (W_a); ıslah edilecek hacim ile kullanılacak çimento dozunun çarpımı ile belirlenmektedir (Eşitlik 3.2).

$$W_a = V_h * \rho_{çd} \quad (3.2)$$

- Çimento özgül ağırlığı 2.93 kg/lt'ye denk geldiğinden dolayı grout içerisindeki çimento hacmi, çimento ağırlığının çimento özgül yoğunluğuna bölümüyle bulunmaktadır (Eşitlik 3.3).

$$V_ç = \frac{W_ç}{\rho_ç} \quad (3.3)$$

- Ağırlık olarak su / çimento oranı 1'e eşit olduğundan suyun ağırlığı çimentonun ağırlığı kadar olur. Ve suyun özgül yoğunluğu 1kg/lt olduğundan dolayı suyun hacmi suyun ağırlığı kadardır (Eşitlik 3.4).

$$V_{su} = W_{su} \quad (3.4)$$

- Dolayısıyla 1 m jet grout kolon içerisindeki grout hacmi çimento hacmiyle suyun hacminin toplamı olarak bulunmaktadır (Eşitlik 3.5).

$$V_G = V_ç + V_{su} \quad (3.5)$$

- Tij çekme hızının belirlenmesi için 1 dakikalık sürede 1m'lik uzunluktan çıkan enjeksiyon miktarının bilinmesi gerekmektedir. Jet huzmesindeki nozuldan enjeksiyon malzemesinin çıkış hızı Eşitlik (3.6) ile hesaplanmaktadır.

$$v = \sqrt{2 * g * h} \quad (3.6)$$

Burada, h hidrostatik düşü, g yerçekimi ivmesidir.

- Hidrostatik düşü (h) Eşitlik (3.7) ile hesaplanmaktadır.

$$h = \frac{\text{enjeksiyon basıncı}}{\text{grout özgül ağırlığı}} \quad (3.7)$$

- Grout özgül ağırlığı, grout ağırlığının grout hacmine bölümü olarak alınmaktadır (Eşitlik 3.8).

$$\gamma_G = \frac{W_G}{V_G} \quad (3.8)$$

- Enjeksiyon malzemesinin çıkış hızı hesaplandıktan sonra 1sn sürede bir nozuldan çıkan enjeksiyon malzemesi miktarı (Q), Eşitlik (3.9) ile hesaplanmaktadır.

$$Q = v \cdot A \quad (3.9)$$

- 1m kolon teşkili için gerekli süre ise 1m kolonda bulunan enjeksiyon malzemesi hacminin 1sn sürede bir nozuldan fişkıran enjeksiyon malzemesi miktarına bölümüyle hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.10).

$$t = \frac{V_G}{Q} \quad (3.10)$$

60 cm çapında gevşek kumlu zeminde tekli jet (jet 1) sistemiyle oluşturulacak jet grout kolonun çimento miktarının, karışımın hacminin ve tijin çekme hızının hesabı aşağıdaki örnekteki gibi yapılmaktadır. Başlangıç parametreleri şöyledir:

- Çimento dozajı: 450 kg/m³
- Su / Çimento oranı: 1
- Nozul sayısı: 2
- Nozul çapı: 2.5 mm
- Enjeksiyon basıncı: 450 bar

olarak alındığında 1 m ıslah edilmiş zemin hacmi Eşitlik (3.1) ile hesaplanmıştır.

$$V_h = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot (0.3)^2 \cdot 1 = 0.28 \text{ m}^3$$

1 m ıslah edilmiş zemindeki çimento miktarı W_c , Eşitlik (3.2) ile,

$450 \text{ kg/m}^3 * 0.28 \text{ m}^3 = 126 \text{ kg}$ olarak hesaplanmıştır.

Çimento özgül yoğunluğu 2.93 kg/lt 'ye denk geldiğinden dolayı grout içerisindeki çimento hacmi $V_{\text{ç}}$ Eşitlik (3.3) ile,

$$\frac{126 \text{ kg}}{2.93 \text{ kg/lt}} = 43 \text{ lt}$$
 olarak bulunmuştur.

Su / çimento oranı 1'e eşit ve suyun özgül yoğunluğu 1 kg/m^3 olduğundan dolayı suyun hacmi V_{su} Eşitlik (3.4) ile,

$$\frac{126 \text{ kg}}{1 \text{ kg/lt}} = 126 \text{ lt}$$
 olarak bulunmuştur.

1 m jet grout kolon içerisindeki grout hacmi V_G Eşitlik (3.5) ile,

$$126 + 43 = 169 \text{ lt}$$
 'dir.

Grout özgül ağırlığı γ_G Eşitlik (3.8) ile,

$$\frac{252 \text{ kg}}{169 \text{ lt}} = 1.49 \text{ kg/lt}$$
 olarak bulunmuştur.

Hidrostatik düşü (h) Eşitlik (3.7) ile hesaplanmıştır.

$$h = \frac{\text{enjeksiyon basıncı}}{\text{grout özgül ağırlığı}} = \frac{450}{1.49} = 3020 \text{ m}$$

Enjeksiyon malzemesinin çıkış hızı v , Eşitlik (3.6) ile hesaplanmıştır.

$$v = \sqrt{2 * 9.81 * 3020} = 243 \text{ m/sn}$$

Enjeksiyon malzemesi miktarı Q , Eşitlik (3.9) ile hesaplanmıştır.

$$Q = 2430 * (\frac{2 * (\pi * 0.025^2 / 4)}{)) = 2.39 \text{ lt/sn.}$$

1m kolon teşkili için gerekli süre (t) ise Eşitlik (3.10) ile,

$$\frac{169}{2,37} = 71.31 = 1.19 \text{ dk} \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$



BÖLÜM IV

JET GROUT KOLONU KALİTE KONTROL DENEYLERİ

Tasarımı gerçekleştirilmiş jet grout kolonlarının, tasarım kriterlerine uygun olarak imal edilmesini sağlamak ve imal edilen kolonların kalitesi denetlemek amacıyla uygulama sahasında bir dizi deneyler yapılmaktadır. Bu deneylerin bir kısmı imalatlar öncesi, bir kısmı ise imalat süresi içerisinde belirli dönemlerde gerçekleştirilebilirler (TS EN-12716, 2002).

Jet grout yönteminin çok geniş bir kullanım alanı olduğu göz önüne alınarak, kalite kontrol ve denetim ölçütleri, her alan için ayrı olarak (temel takviyesi amaçlı kolonlarda permeabilite testi, geçirimsizlik perdesi kolonlarında yükleme deneyi yapılmasına gerek olmaması, vb.) belirlenmelidir (Essler ve Yoshida, 2004).

4.1 Deneme Kolonları Yapılması ve Çap Kontrolü

Proje uygulanmaya başlanmadan önce iyileştirme yapılacak zemin sahasında, jet grout kolonlarının istenilen özellikleri sağlaması için deneme kolonları oluşturulur. Deneme kolonları oluşturulurken aynı jet grout tekniği kullanılarak enjeksiyon basıncı, dozajı, tijn dönme ve çekme hızı, nozul çapı ve sayısı değiştirilir. Eğer jet grout uygulaması yapılacak saha geniş ise saha belli bölgelere ayrılır ve her bölgede ayrı deneme kolonu kümeleri oluşturulur. Jet grout kolonları oluşturulduktan belirli bir priz süresi geçtikten sonra, belirli bir derinlikte etrafı kazılır. Derinlik boyunca çap ve kolon sürekliliği kontrol edilir.

Farklı zemin tabakalaşmalarında, özellikle ince daneli zeminlerde seçilen parametreler altında en küçük çap oluşacağından, tasarım bu çap baz alınarak yapılabilir (Durgunoğlu, 2004).

Japonya'da uygulanmaya başlayan ve Collision-Jet adı verilen iki ayrı nozuldan çıkan şerbetin tijn den belirli bir mesafede bir noktada kesişmesi haline tekabül eden sistemde, jet enerjisi tijn den o mesafede tamamen son bulduğundan her zeminde üniform bir çap elde edilmektedir. Bu teknolojinin uygulamasına ülkemizde henüz başlanmamıştır (Yinekara vd., 1996).

Şekil 4.1’de jet grout deneme kolonlarına, Şekil 4.2’de ise Yunanistan’da ofis merkezi inşasında ve Selanik metrosunda bir proje kapsamında imal edilmiş jet grout kolonların çap kontrolüne ait resimler gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Jet grout deneme kolonları (Malinin vd., 2010)



Şekil 4.2. Jet grout kolonların çap kontrolü (Kimpritis, 2013)

4.2 Süreklilik Deneyi (Pile integrity test)

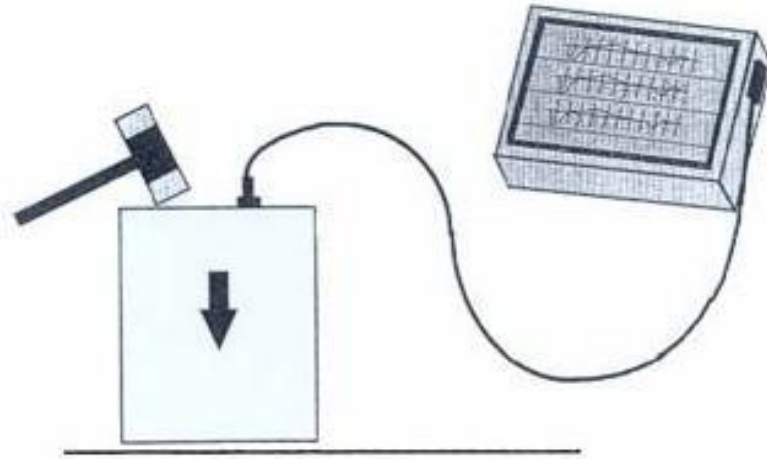
Uygulanan jet grout kolonların boyları, kazıklardakine benzer şekilde, ülkemizde de yaygın olarak kullanılan integrity deneyi ile tespit edilebilmektedir (Durgunoğlu, 2004).

Çap ve boy sürekliliğinin denetlenmesi için uygulanan kolon süreklilik deneyinde kolonların üst ucundan küçük bir çekiç darbesi verilmektedir. Bu darbenin ivme sinyali, kazık üstüne geçici olarak yapıştırılan bir akselometre ile algılanarak sayısallaştırılıp bilgisayarda kaydedilir (Şekil 4.3). Kolondaki şekil/malzeme değişikliklerinden ve kolon ucundan yansıyan sinyaller de algılanarak, hız sinyali olarak kaydedilir. Bu sinyal hıza bağlı bir değişken olup geçen zamanın tam olarak bilinmesinden faydalanılarak, alınan yansımaların yerini tespit için sinyal, derinliğe bağlı bir fonksiyona dönüştürülmektedir. Bu dönüşümde bilinmesi gereken dalganın yayılma hızı olup beton / jet grout kolon için ortalama $C=3000-4500$ m/sn.'dir. Yansıma derinliği X , Eşitlik (4.1) ile bulunabilmektedir (Rausche vd., 1988).

$$X = \left(\frac{1}{2}\right).C.t \quad (4.1)$$

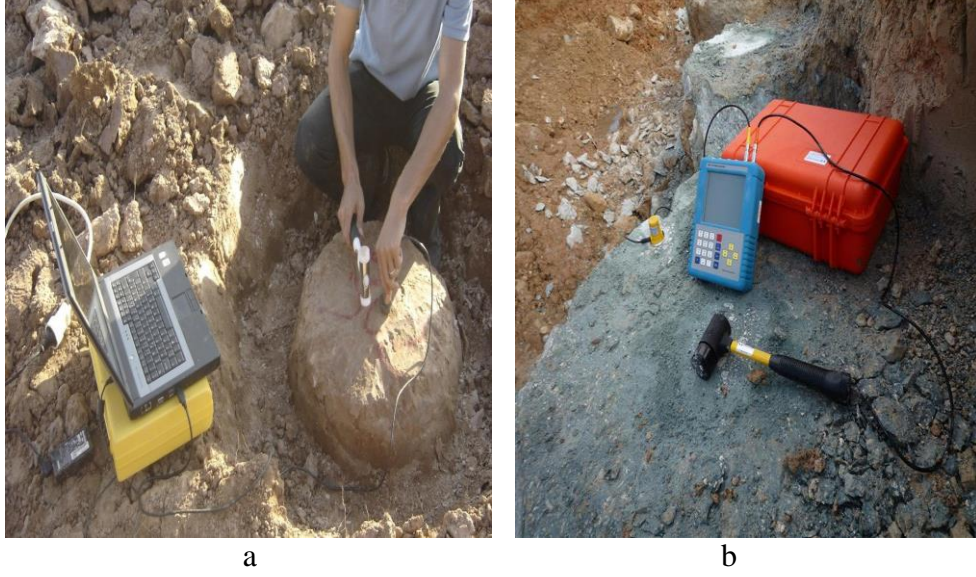
Burada t darbeden yansıma anına kadar geçen süre, C dalganın yayılma hızıdır.

Bu şekilde derinliğe bağlı sayısallaştırılmış hız sinyali grafiği yorumlanarak, kolonun olası boy ve uç şekli değişiklikleri anlaşılabilir.



Şekil 4.3. Süreklilik deneyi şeması (Küsin, 2009)

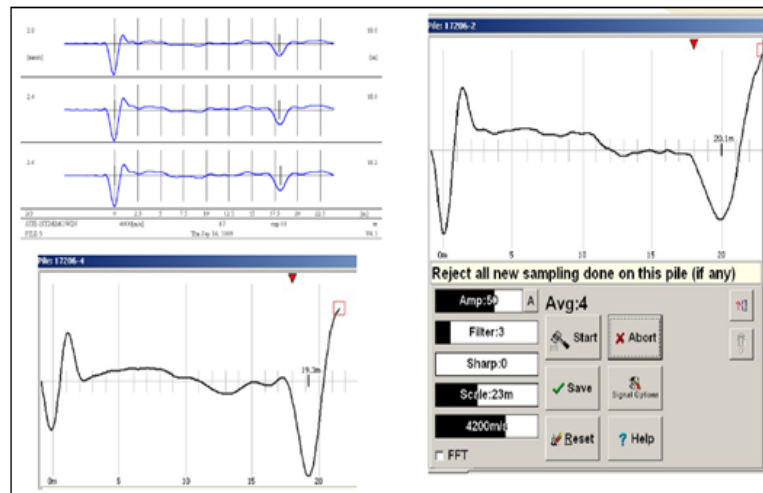
Şekil 4.4'de jet grout kolonuna yapılan süreklilik testi anı ve süreklilik test cihazı gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Jet grout kolonuna yapılan süreklilik testi anı (a) ve süreklilik test cihazı (b) (URL-3, 2016; Yıldız, 2016)

Yansımalar kolon ile zemin arasındaki pürüzlü yüzeyden ve kolondaki süreksizlikten meydana gelmektedir. Kolon derinliği boyunca ilerleyen ve yansımakta olan bütün dalgalar birbiriyle iç içe geçmiş halde olacaktır (Şekil 4.5).

Kolon sürekliliği açısından elde edilen sinyal, kalitatif ve kantitatif olarak değerlendirilmektedir. Hız-zaman reflektogramlarının görsel değerlendirilmesi kalitatif değerlendirmedir. Kazık-zemin etkileşimi, kütle ve yaylarla modellenen ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak nümerik analiz yapılmaktadır. Bu da kantitatif değerlendirmedir.



Şekil 4.5. Süreklilik deneyi sinyal ölçümü sonuçları (Öz, 2015)

4.3 Karot Numune Alınması, Serbest Basınç ve Permeabilite Deneyi

Kolonlardan arazide alınan silindirik numuneler üzerinde laboratuvarında yapılan serbest basınç deneyi ile jet grout elemanının basınç dayanımı elde edilir. Numuneler, uygulama esnasında kolon yaşıken piston numune alıcı ile alınır. Prizini almış kolon üzerinde ise karot numune alınır (Durgunoğlu vd., 2003).

Serbest basınç deneyinde tercihen deformasyonlarda ölçülerek, elastisite (deformasyon) modülü E_{JG} tayin edilir (Sağlamer vd., 2002).

Karot numuneleri, kolonun imal tarihinden 28 gün sonra, TS 10465'e (Beton Deney Metotları - Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini Yönetmeliği) uygun şekilde alınmalıdır (Küsin, 2009).

Şekil 4.6'da rastgele seçilen jet grout kolonlarından karot numune alınması, Şekil 4.7'de serbest basınç dayanım deneyi yapılması için laboratuvara gönderilen karot numuneler ve basınç mukavemetinin ölçülmesi gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Jet grout kolonundan karot numune alınması (Doğanışık, 2010)

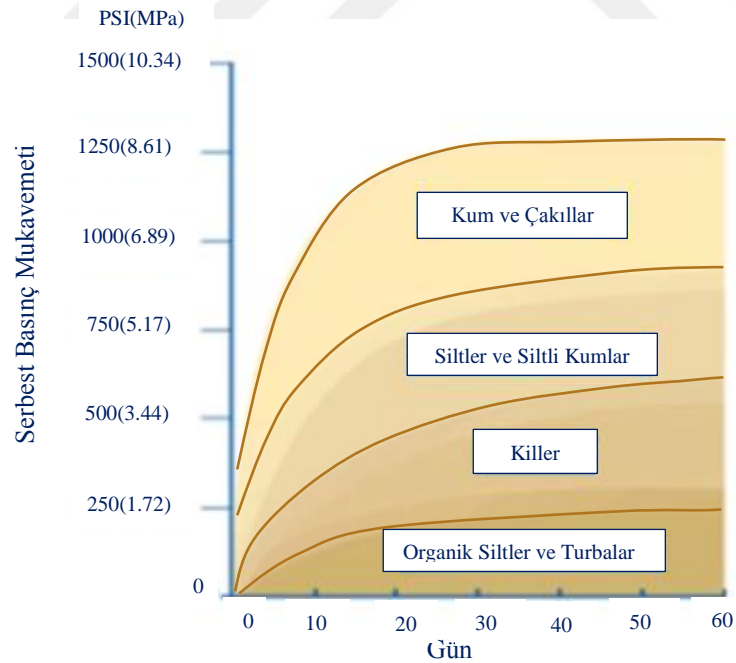


a

b

Şekil 4.7. Jet grout kolonlarından alınan karot numune örnekleri (a) ve karot numunelerinin serbest basınç mukavemetlerinin ölçümü (b) (Küçükali, 2008)

Farklı zeminlerde oluşturulan jet grout kolonlarının serbest basınç mukavemetindeki zamana bağlı değişim aralığı Şekil 4.8’deki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Farklı zeminlerde oluşturulan jet grout kolonu serbest basınç mukavemeti değerleri (Burke, 2004)

Şekil 4.8’de farklı zemin profillerinde oluşturulan jet grout kolonlarının serbest basınç mukavemeti değişimlerini gösteren grafiğe göre, başlangıçta ve nihai durumda jet grout

kolonların serbest basınç mukavemetleri kum ve çakıl zeminlerde, siltli ve killi zeminlere göre daha yüksektir.

Oluşan jet grout kolonun mekanik özellikleri, serbest basınç mukavemeti σ_{JGK} (MPa), deformasyon modülü E_{JGK} (MPa) ve diğer uygulama parametreleri ile birlikte mevcut zeminin cinsi ve su-çimento oranı ile kontrol edilmektedir (Durgunoğlu, 2004). Çizelge 4.1’de çeşitli zeminler için serbest basınç mukavemeti ve elastisite modülü ilişkisi özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Zemin cinsine göre jet grout kolonun serbest basınç mukavemeti ve modülü (Durgunoğlu, 2004)

Zemin Cinsi	Serbest Basınç Mukavemeti, σ_{JGK} MPa	Modül Oranı(*), E_{JGK}/σ_{JGK}
Kil	2-5	150
Silt	3-7	200
Kum	7-14	600
Çakıl	12-18	900

(*)%40 gerileme seviyesine tekabül eden modül

Eşitlik 4.2’de verildiği şekilde, serbest basınç mukavemetine bağlı elastisite modülleri (E_{JGK}) bulunabilmektedir (Özsoy ve Durgunoğlu, 2003).

$$E_{JGK} = 4730 \sqrt{\sigma_{JGK}} \quad (4.2)$$

Jet grout kolonları geçirimsizliği sağlayacak durumlarda da uygulandığı için permeabilite deneyinin de yapılması gerekmektedir. Jet enjeksiyonlu yapının sızdırmazlığının, pompa deneyleri ve/veya piezometrik ölçümlerle belirlenmesi gerekir (TS EN 12716, 2002).

4.4 Jet Grout Kolonu Yükleme Deneyi

İmal edilen jet grout kolonlarının düşey yük taşıma kapasitelerinin kontrol edilmesi ve gerçek kapasitenin proje aşamasında öngörülen kapasiteyi emniyetli bir şekilde sağladığının doğrulanması amacıyla jet grout kolon yükleme deneyleri yapılmaktadır (Durgunoğlu vd., 2002).

Yükleme deneyi için bir adet basınç kolonu ile iki adet çekme kolonu olarak kullanılacak kolonlar imal edilmelidir. Deney doğrultusunda basınç kolonuna statik eksenel basınç yükü yüklenerek yük - oturma, yük - zaman ve oturma - zaman grafikleri hazırlanır. Jet grout kolonun toplam taşıma kapasitesi, kolonun çeperi ve ucu tarafından taşınan toplam kapasitesidir. Deney yükü için ise jet grout kolonun toplam kapasitesinin 1.5 katı dikkate alınmalıdır. Deneme kolonları, göçene kadar veya maksimum kabul edilebilir oturma meydana gelene kadar yüklenir. Göçme yükü;

- Yük daha fazla artmadığı halde oturma devam etmesi halindeki yük
- Kolon çapının %10'u kadar bir toplam oturmaya yol açan yük tanımlamalarından birisine göre seçilir (Küsin, 2009).

Yükleme deneyi düzeneği kurulduktan sonra standart yükleme, tekrarlı yükleme, sabit zaman aralıklarıyla yükleme, sabit penetrasyon oranı ile yükleme, sabit oturma artımlarında yükleme ve hızlı yükleme gibi farklı yükleme yöntemleri kullanılarak deney gerçekleştirilebilir (ASTM D1143, 1994).

Yükleme deneyinde kolonda maksimum yüklemeye meydana gelen deformasyon, servis yükünde meydana gelen deformasyonun 1.5 katını geçmemesi, deney yükü kaldırıldıktan sonra meydana gelen kalıcı deformasyonun ise toplam deformasyonun %50'sini geçmemesi ve kolon başlığında ölçülen toplam oturma değerinin 10 mm'yi geçmemesi gerekmektedir (Düzceer, 2004).

Jet grout kolon yüklemeye deneyinde kullanılan ekipmanlar şunlardır:

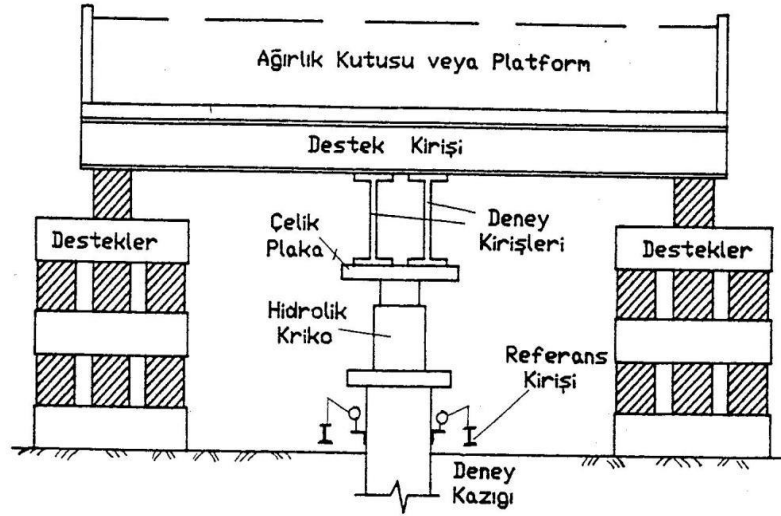
- Hidrolik pompa ve kroki
- Reaksiyon kirişleri
- Ölçüm düzeneği
- Manometre

Jet grout kolon yüklemeye deneyinde izlenecek prosedür şöyledir:

- Dokümantasyon
- Test kolonunun çakılması

- Çekme, basınç ve referans kolonlarının çakılması
- Test kirişlerinin ve hidrolik krikonun manipülasyonu ve montajı
- Deney çalışma platformu teşkil edilmesi
- Yükleme yapılması, deplasmanların aletle okunması ve kaydedilmesi

Şekil 4.9'da deney kazığına yükün, ağırlık kutusu veya platformdan reaksiyon olarak uygulanması, Şekil 4.10'da kolon yükleme deneyi gösterilmektedir.



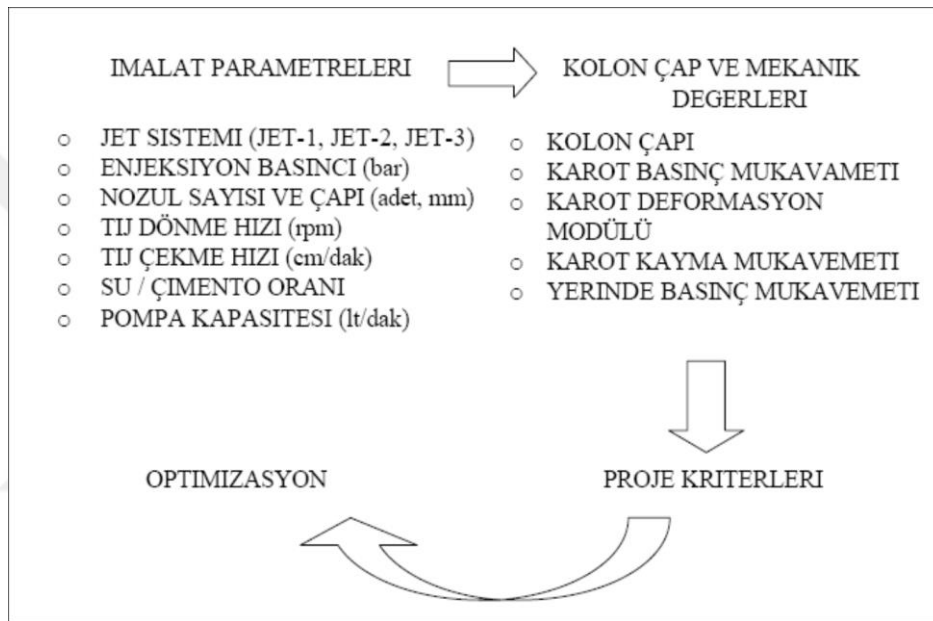
Şekil 4.9. Deney kazığına yükün ağırlık kutusu veya platformdan reaksiyon olarak uygulanması (Düzceer, 2002)



Şekil 4.10. Tekil kolon yükleme deneyi (Handley vd., 2006)

4.5 Proje Kriterlerinin Kalibrasyonu

Her önemli jet grout uygulamasında seçilen proje kriterlerinin, özellikle kolon çap ve mukavemet değerlerinin arazide yapılacak ön kalibrasyonu çalışmaları sonucu değerlendirilmesi önerilmektedir. İmalat parametrelerindeki değişiklikler, sonuç kolon özelliklerini belirleyeceğinden, Şekil 4.11’de özetlenen yöntemlerin uygulanarak, proje kriterlerini sağlayan sistem parametrelerinin optimum değerlerinin tespiti yapılabilmektedir (Durgunoğlu, 2004).



Şekil 4.11. Proje kriterlerinin sahada kalibrasyon ve optimizasyonu (Durgunoğlu, 2004)

BÖLÜM V

JET GROUT KOLONUN TASARIM KRİTERLERİ

5.1 Jet Grout Kolonun Taşıma Gücü Kontrolü

Jet grout kolonu kazık temel gibi düşünülerek, taşıma gücü hesabı tıpkı kazıklı temelin taşıma gücü hesabına göre yapılabilir. Bu bağlamda jet grout kolonun taşıma gücü, teorik yaklaşımlarla, ampirik-yarı ampirik yöntemlerle ve arazi yükleme deneyi ile belirlenebilir. Burada sadece teorik yaklaşımlarla jet grout kolonun taşıma gücü hesabı ele alınmıştır.

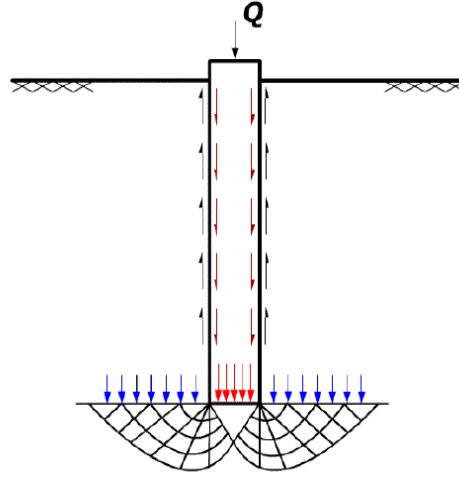
5.1.1 Jet grout kolonun teorik yaklaşımla taşıma gücü hesabı

Uygulandıkları zemin ile etkileşimleri son derece yüksek olan jet grout kolonları düşey yükler altında bünyelerinin rijitlikleri sayesinde üzerlerine uygulanan yüklerin büyük bölümünü taşıyabilirler. Tek bir jet grout elemanının taşıma kapasitesi hesabı, kazık elemanlarında kullanılan hesaplamalar gibidir (Grassino,1997). Bir jet grout kolonunun toplam taşıma gücü, genellikle iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlar uç direnci (Q_p) ve çevre sürtünmesi (Q_s) bileşenleridir.

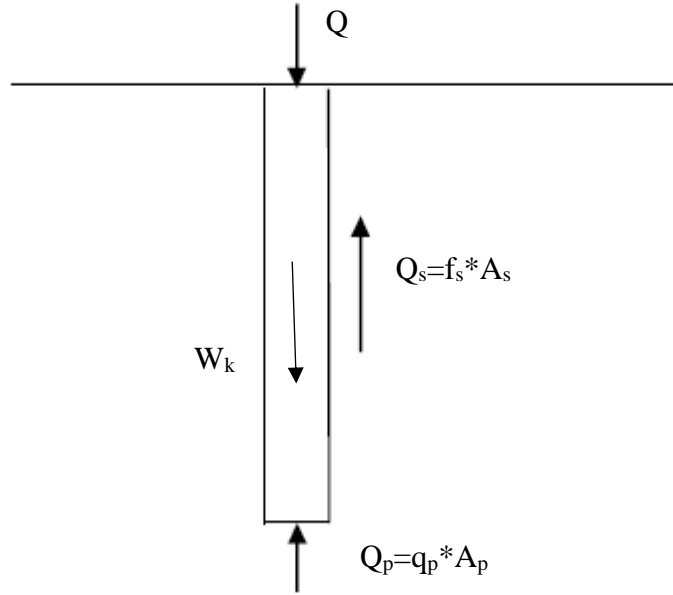
Bir jet grout kolonun göçmeden önce taşıyabileceği maksimum yük (jet grout kolonun taşıma gücü), jet grout kolonun ağırlığının (W_k) bir jet grout kolonun kırılma olmadan taşıyabileceği yük (Q_u) ile toplamıdır. Ancak jet grout kolonun ağırlığı taşıma gücü değerinin yanında çok küçük olacağından ihmal edilebilir. Bu yüzden kolonun taşıma gücü (Q_u), jet grout kolon ucu tarafından taşınan toplam yük (Q_p) ile jet grout kolon çevresinin sürtünmesi ve adhezyon ile taşıyabileceği yükün (Q_s) toplamına eşittir. Bu durum Eşitlik (5.1) ile ifade edilir. Şekil 5.1’de jet grout kolonun uç mukavemeti ve çevresel sürtünme mukavemetini tanımlayan mekanizma, Şekil 5.2’de jet grout kolon üzerine etkiyen kuvvetler gösterilmiştir.

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (5.1)$$

Burada, Q_u jet grout kolonun nihai taşıma gücü (taşıyabileceği toplam en büyük yük), Q_s jet grout kolonun çevresinin sürtünmesi ve adhezyon ile taşıyabileceği yük, Q_p jet grout kolonun ucu tarafından taşınan toplam yüküdür.



Şekil 5.1. Jet grout kolon uç mukavemeti ve çevresel sürtünme mukavemetini tanımlayan mekanizma (Çinicioğlu, 2005)



Şekil 5.2. Jet grout kolon üzerine etkiyen kuvvetlerin gösterimi

Jet grout kolonun uç mukavemetinin hesaplanması: Jet grout kolonun uç mukavemetinin hesaplanması için yüzeysel temellere ait taşıma gücü formülleri kullanılır. Çünkü jet grout kolonun ucunda oluşan göçme mekanizması yüzeysel temellerin tabanında oluşan

ile hemen hemen aynıdır (Şekil 5.1) (Çinicioğlu, 2005). Buna göre, birim alan uç mukavemeti Eşitlik (5.2) ile uç mukavemeti Eşitlik (5.3) ile hesaplanır.

$$q_p = K_1 * c * N_c + \gamma * L * N_q + K_2 * \gamma * B * N_\gamma \quad (5.2)$$

$$Q_p = A_p * q_p = A_p * [K_1 * c * N_c + \sigma'_{vo} * N_q + K_2 * \gamma * B * N_\gamma] \quad (5.3)$$

Burada q_p (kN/m²) jet grout kolonun ucunda birim alan için uç direnci, A_p (m²) jet grout kolonun kesit alanı, B (m) taban genişliği (jet grout kolon için $B=D$ (m)), N_c , N_q , N_γ taşıma gücü faktörleri (yüzeysel temeller için verilen değerler kullanılabilir), c kohezyon, γ (kN/m³) zeminin birim hacim ağırlığıdır (jet grout kolon için derinlik= D_f yerine uzunluk= L kullanılmıştır).

Jet grout kolon derinliği, çapına göre çok büyük olduğu için N_γ teriminin N_q terimine göre oldukça küçük olduğu düşünülür ve ihmal edilebilir. Buna göre birim alan uç mukavemeti için Eşitlik (5.4) kullanılır.

$$q_p = K_1 * c * N_c + \sigma'_{vo} * N_q \quad (5.4)$$

Jet grout kolonun çevre sürtünmesinin hesaplanması: Jet grout kolonun sürtünme direnci çevre yüzey alanıyla zemin-kolon arası sürtünme direncinin çarpımı olarak Eşitlik (5.5) ile hesaplanabilir.

$$Q_s = A_s * f_s = (\pi * D * L) * f_s \quad (5.5)$$

Burada A_s (m²) jet grout kolonun zemin içerisinde kalan yüzey alanı, f_s (kN/m²) çevre yüzeyde birim alanda etkili olan sürtünme, D (m) jet grout kolonun çapı, L (m) jet grout kolonun boyudur.

Kohezyonsuz zeminlerde jet grout kolonun taşıma gücü hesabı: Kohezyonsuz zeminlerde jet grout kolonun birim alan uç direnci Eşitlik (5.6) kullanılarak, uç taşıma gücü Eşitlik (5.7) kullanılarak hesaplanmaktadır.

Uç direnci formülünde $c=0$ olduğu için;

$$q_p = \sigma'_{vo} * N_q + K_2 * \gamma_2 * N_\gamma * B \quad (5.6)$$

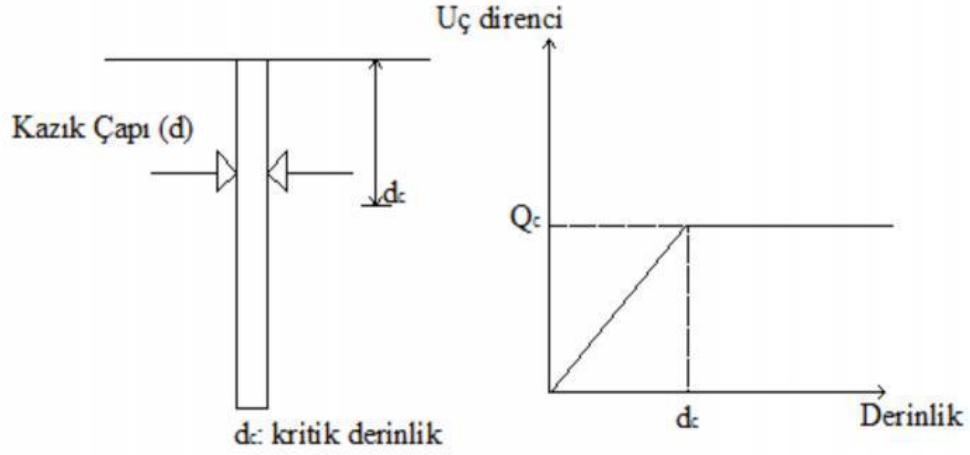
$$Q_p = A_p * q_p = \frac{\pi * D^2}{4} * [\sigma'_{vo} * N_q + K_2 * \gamma * B * N_\gamma] \quad (5.7)$$

K_2 parametresi şekil katsayısı olup, jet grout kolon dairesel kesitli kazık sınıfında olduğundan dolayı Eşitlik 5.7'de bulunan K_2 değeri 0.3 olarak alınacaktır. Eşitlik 5.7'de bulunan kolon çapı veya kenarını içeren terim (B), kolon çapının küçük olduğu düşünülecek olursa ihmal edilebilmektedir (Kumbasar Kip, 1987). N_q değeri Çizelge 5.1'den alınacaktır.

Çizelge 5.1. Terzaghi taşıma gücü katsayıları (Terzaghi, 1943)

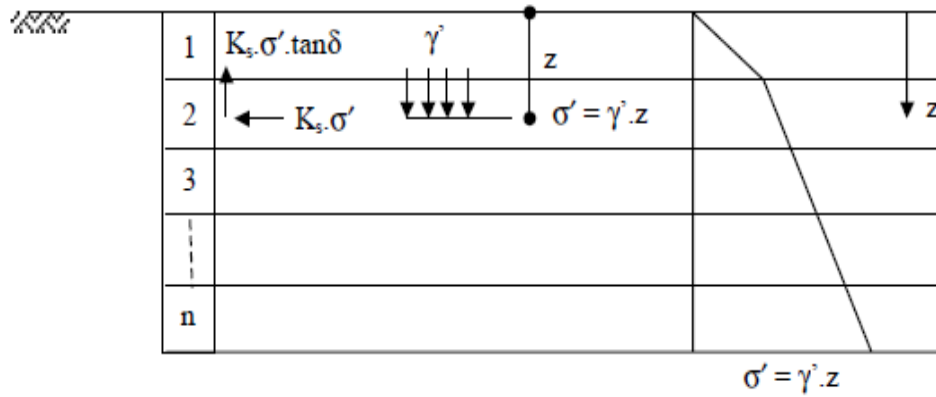
Taşıma gücü faktörleri			
ϕ (°)	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.0	0.0
5	6.5	1.6	0.5
10	8.3	2.5	1.2
15	11.0	3.9	2.6
20	14.8	6.4	5.4
25	20.7	10.7	10.8
30	30.1	18.4	22.4
32	35.5	23.2	30.2
34	42.2	29.4	41.1
36	50.6	37.7	56.3
38	61.4	48.9	78.0
40	75.3	64.2	109.4
42	93.7	85.4	155.6
44	118.4	115.3	224.6
46	152.1	158.5	330.4
48	199.3	222.3	496.0
50	266.9	319.1	762.9

Meyerhorf'un (1976) geliştirdiği Rajapakse'nin (2008) incelemesinden sonra kazıkta uç direnci ve çevre sürtünmesi belirli bir derinliğe kadar artar daha sonra sabit kalır. Coyle ve Castello (1981) tarafından kumlu zeminde uygulanan ve L/D oranı 2 ila 57 arasında gerçekleştirilen kazık yükleme testlerinde kritik derinliğin kazık çapının yaklaşık olarak 20 katı civarı olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Uç direncinin homojen zeminde derinlikle değişimi (Coyle ve Castello, 1981)

Kohezyonsuz zeminde sürtünme direnci hesabında efektif gerilme prensibine dayalı bir yaklaşım uygulanır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Efektif gerilme prensibine göre çevre sürtünmesinin hesabı (Çinicioğlu, 2005)

Kohezyonsuz zeminlerde çevre sürtünmesi ile taşınan toplam yük Eşitlik (5.8) ile $c_u = 0$ olduğundan jet grout kolonun birim alanına etkiyen ortalama sürtünme gerilmesi Eşitlik (5.9) ile seçilen derinlikte etkili olan efektif jeolojik yük Eşitlik (5.10) ile bulunmaktadır.

$$Q_s = A_s * f_s = (\pi * D * L) * (K_s * \sigma' * \tan \delta) \quad (5.8)$$

$$f_s = K_s * \sigma' * \tan \delta \quad (5.9)$$

$$\sigma' = \gamma * z \quad (5.10)$$

Burada σ' seçilen derinlikte etkili olan efektif jeolojik yük, K_s jet grout kolon üzerinde etkili olan ortalama yatay toprak basıncı katsayısı, δ jet grout kolon malzemesi ve zemin arasındaki çevre sürtünme açısıdır.

K ve δ değerleri Çizelge 5.2'den alınmaktadır (Kumbasar – Kip, 1987).

Çizelge 5.2. Kazık malzemesi – δ açısı – K katsayısı arasındaki ilişki

Kazık Malzemesi	δ	K Değerleri	
		Küçük Relatif Sıklık	Yüksek Relatif Sıklık
Çelik	20°	0.5	1
Beton	3/4 ϕ	1	2
Ahşap	2/3 ϕ	1.5	3

Jet grout kolonları beton kazık sınıfına girdiğinden dolayı eşitliklerde, beton kazıklar için kullanılan K ve δ değerleri kullanılacaktır.

Düşey basınç gerilmesi σ' olup birim çevre sürtünmesi Şekil 5.4'te görüleceği gibi derinlikle arttıkça lineer olarak artacaktır. D_f boyunca lineer dağılım halinde çevre sürtünmesi dairesel kolonlarda (jet grout kolonda) Eşitlik (5.11) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q_s = (\pi * D * L) * (K_s * \frac{\gamma * L}{2} * \tan \delta) \quad (5.11)$$

Jet grout kolonun tek tabaka içinden geçmesi durumunda taşıma gücü hesabı Eşitlik (5.12) kullanılarak hesaplanacaktır.

$$Q_u = Q_p + Q_s = \left\{ \left[\frac{\pi * D^2}{4} * (\sigma'_{vo} * N_q) \right] + \left[(\pi * D * L) * (K_s * \frac{\gamma * L}{2} * \tan \delta) \right] \right\} \quad (5.12)$$

Jet grout kolonun farklı tabakalardan geçmesi halinde çevre sürtünmesi her tabaka için kolon yüzey alanı, ortalama düşey basınç, toprak basıncı katsayısı ve sürtünme açısı ayrı değerlerin toplamı olarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 5.13).

$$Q_s = \sum A_{si} * K_{si} * \sigma'_i * \tan \delta \quad (5.13)$$

Bu durumda kohezyonsuz zeminlerde jet grout kolonunun taşıma gücü Eşitlik (5.14) kullanılarak hesaplanacaktır.

$$Q_u = Q_p + Q_s = \left\{ \left[\frac{\pi * D^2}{4} * (\sigma'_{vo} * N_q) \right] + \left[\Sigma A_{si} * K_{si} * \sigma'_i * \tan \delta \right] \right\} \quad (5.14)$$

Jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü ise geçmeden taşıyabileceği toplam yükün güvenlik katsayısına bölünmesiyle bulunur (Eşitlik 5.15).

$$Q_{em} = \frac{Q_u}{G_s} \quad (5.15)$$

Burada, Q_{em} jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü, G_s Güvenlik katsayısıdır.

Kohezyonlu zeminlerde jet grout kolonun taşıma gücü hesabı: Kohezyonlu zeminlerde, özellikle killerde dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, zemindeki kilin zamana bağlı oturma sonucu kayma mukavemetinin zamanla artacağıdır. Bu nedenle kısa dönem bazında $\phi = 0$ durumuna göre hesap yapılır (Prakash ve Sharma, 1990). Kohezyonlu zeminlerde jet grout kolonun uç taşıma gücü Eşitlik (5.16) kullanılarak, birim alan uç direnci Eşitlik (5.17) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q_p = A_p * q_p = \frac{\pi * D^2}{4} * [c_u * N_c + \sigma'_{vo} * N_q] \quad (5.16)$$

Doğgun kil zeminde kısa süreli davranış için hesap yapılacaksa drenajsız kayma mukavemeti parametrelerinin kullanılması uygundur (Çinicioğlu, 2005). $\phi = 0$ için $N_c = 9.0$ (Katsayı olarak 9 değerinin alınabilmesi için kolonun taşıyıcı zemine 5B kadar girmesi gerekmektedir) ve $\phi = 0$ için N_q terimi de ihmal edilebilir.

$$q_p = 9 * c_u \quad (5.17)$$

Kohezyonlu zeminlerde çevre sürtünmesi ile taşınan toplam yük Eşitlik (5.18) ile $\phi = 0$ ve $\delta = 0$ olduğundan jet grout kolonun birim alanına etkiyen ortalama sürtünme gerilmesi Eşitlik (5.19) ile bulunmaktadır.

$$Q_s = A_s * f_s = (\pi * D * L) * (\alpha * c_u) \quad (5.18)$$

$$f_s = c_a = \alpha * c_u \quad (5.19)$$

Burada kohezyonlu zeminde jet grout kolonun taşıma gücü Eşitlik (5.20)'deki gibi olur.

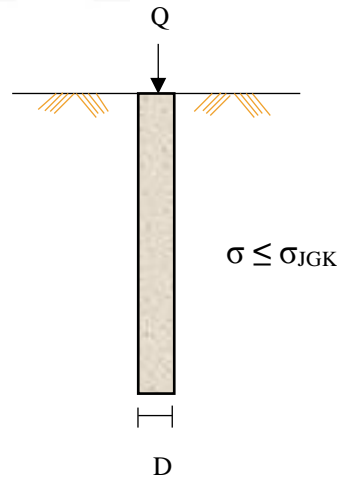
$$Q_u = 9 * c_{u1} * A_p + \alpha * c_{u2} * A_s = 9 * c_{u1} * \left(\frac{\pi * D^2}{4}\right) + \alpha * c_{u2} * (\pi * D * L) \quad (5.20)$$

Burada, c_{u1} jet grout kolonun ucundaki drenajsız kayma mukavemeti, c_{u2} jet grout kolonun çevresindeki drenajsız kayma mukavemetidir.

Kohezyonlu zeminlerde de emniyetli taşıma gücü Eşitlik (5.15) ile hesaplanmaktadır.

5.2 Jet Grout Kolonun Dayanım Kontrolü

Jet grout kolona üst yapıdan gelen yüklerden oluşan gerilmenin, jet grout kolonun malzeme dayanımını aşıp aşmadığı kontrolü yapılmalıdır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Üst yapıdan jet grout kolonu üzerine gelen yük

Üst yapıdan gelen yük sonucunda jet grout kolonda meydana gelen gerilme Eşitlik (5.21) ile jet grout kolonun kesit alanı ise Eşitlik (5.22) ile bulunmaktadır.

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad (5.21)$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (5.22)$$

Burada, σ jet grout kolonda meydana gelen gerilme, σ_{JG} jet grout kolondaki karot numunenin dayanımı, Q üst yapıdan gelen yük, A jet grout kolonun kesit alanı, D ise jet grout kolonun çapıdır.

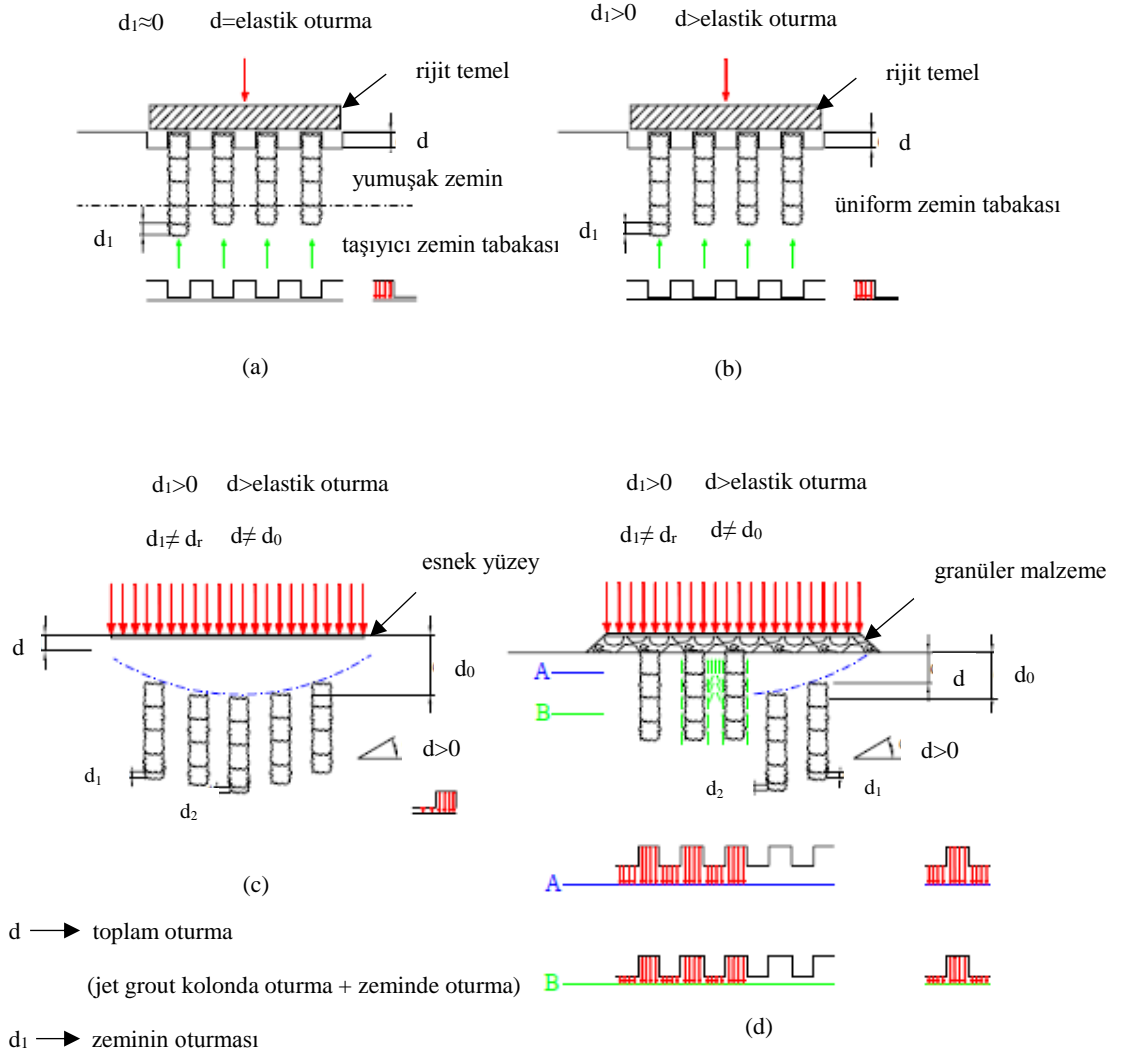
Jet grout kolonda malzeme dayanımının sağlanması için, jet grout kolonda meydana gelen gerilmenin (σ), jet grout kolondaki karot numunenin dayanımına (σ_{JGK}) eşit veya ondan küçük olması gerekmektedir (Eşitlik 5.23).

$$\sigma \leq \sigma_{JGK} \quad (5.23)$$

5.3 Jet Grout Kolonun Oturma Kontrolü

Jet grout kolonun oturma analizi için oluşabilecek durumlar aşağıda verilmektedir:

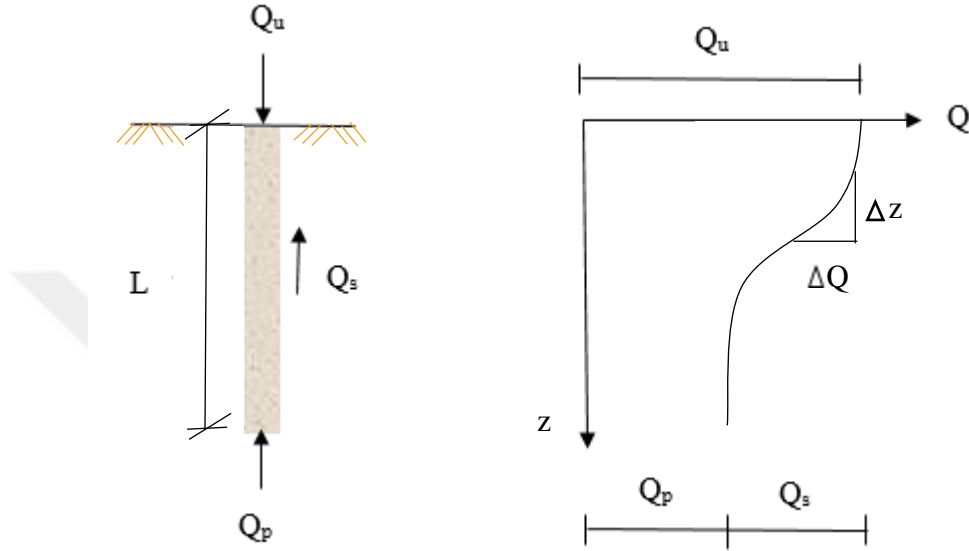
- Eğer yük, rijit bir temel tarafından, jet grout kolonlarına aktarılıyor ve jet grout kolonlarının uçları taşıyıcı bir katman içine gömülü ise, bütün yük kolonlar tarafından taşıyıcı katmana aktarılır. Bu durumda oturmalar jet grout kolonlarının elastik deformasyonu ile sınırlıdır (Şekil 5.6a).
- Eğer yük, rijit bir temel tarafından, jet grout kolonlarına aktarılıyor ve jet grout kolonlarının uçları taşıyıcı bir katman içine gömülü değil ise, kolonlar yüzen kazık şeklinde davranmakta ve yükün büyük bir kısmı jet grout kolonları tarafından taşınmakta ve küçük bir kısmı zemin tarafından taşınmaktadır. Bu durumda oturmalar jet grout kolonlarının elastik deformasyonundan yüksek olur (Şekil 5.6b).



Şekil 5.6. Jet grout kolonlarıyla iyileştirilen zeminlerde oluşabilecek oturmalar (Garassino, 1997)

- Eğer yük, üniform bir şekilde esnek bir yüzey tarafından, jet grout kolonlarına aktarılıyor ve jet grout kolonlarının uçları taşıyıcı bir katman içine gömülü değil ise, yükün büyük bir bölümü jet grout kolonlarına aktarılmakta uygun orandaki bir kısmı zemin tarafından taşınmaktadır. Oturmalar üniform değildir (Şekil 5.6c).
- Eğer yük ve temel sistemi arasında bir granüler malzeme tabakası yer alıyor ise yük genel olarak kolonlar tarafından taşınmakta uygun orandaki bir kısmı zemin tarafından taşınmaktadır. Granüler malzemenin bulunması, zemindeki kolonların reaksiyonlarının daha üniform davranmasının sağlar fakat derine gidildikçe zemin gerilmelerinin çoğunlukla kolonlara aktarıldığı görülmektedir (Şekil 5.6d).

Jet grout kolonun etrafını saran zeminde oluşan gerilme dağılımı tam olarak bilinmediğinden, jet grout kolonda meydana gelecek oturma hesaplanması karmaşık bir hadisedir. Jet grout kolonların yük transfer mekanizmasını anlamak için Şekil 5.7’de gösterilen grafik incelendiğinde jet grout kolona uygulanan yük $Q = Q_u$ ise yükün derinlikle değişimi elde edilebilir.



Şekil 5.7. Jet grout kolonların yük transfer mekanizması (Yalçın, 2010)

Jet grout kolonların oturmalarının belirlenmesindeki zorluklar nedeni ile jet grout kolonların oturması için sadece yaklaşık çözümler kullanılmaktadır. Bunlar:

- Arazi yükleme deneyi
- Yarı ampirik ve ampirik yöntemler
- Teorik yöntem

5.3.1 Arazi yükleme deneyi

Tekil jet grout kolonun oturmasını belirlemek için en uygun yöntem, jet grout kolonu arazide yükleme deneyidir. Bu deney kazık yükleme deneyi gibi yapılır. Bu deney sonucunda elde edilen veriler bize jet grout kolonun uzun vadedeki davranışı hakkında önemli ipuçları vermektedir.

5.3.2 Yarı ampirik ve ampirik yöntemler

Jet grout kolon ve kumlu zeminde meydana gelecek oturmalar, elastik oturmadır. Burada ifade edilen oturmalar, yarı ampirik yada ampirik yöntemlerden bulunan elastik oturmalarıdır.

5.3.2.1 Yarı ampirik yöntem

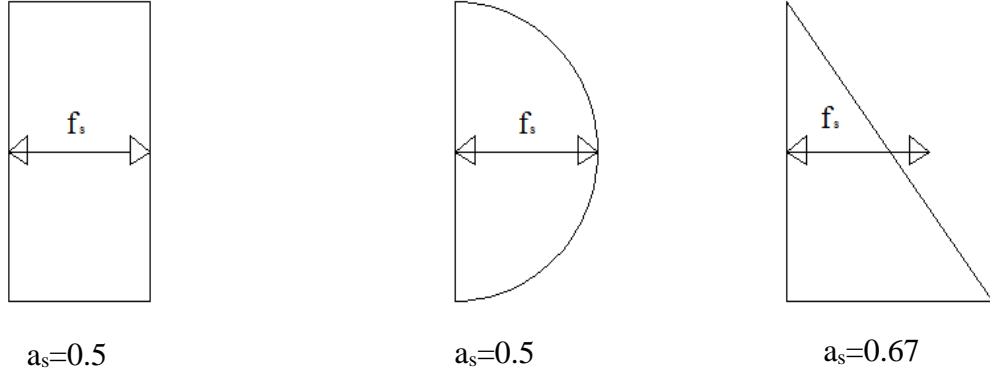
Düşey bir yük (Q) altında, kazıkta olduğu gibi, jet grout kolonda da üç bileşenden oluşan elastik oturma meydana gelmektedir. Bunlar; jet grout kolon ucunun oturması (S_p), jet grout kolonun elastik oturması (S_s), jet grout kolonun gövdesi boyunca taşınan yükten dolayı oturması (S_{ps}) dir. Jet grout kolonda oluşan toplam oturma (S_t), bunların toplamıdır (Vesic, 1977) (Eşitlik 5.24).

$$S_t = S_s + S_p + S_{ps} \quad (5.24)$$

Jet grout kolonun oturmasının bulunması için bu toplamı oluşturan üç terim belirlenir. Eğer jet grout kolon malzemesinin elastik olduğu kabul edilirse, jet grout kolon şaftındaki deformasyon temel malzeme mekaniği kullanılarak Eşitlik (5.25) ile belirlenmektedir.

$$S_s = (Q_{pa} + \alpha * Q_{fa}) * \frac{L}{A_p * E_p} \quad (5.25)$$

Burada Q_{pa} servis yükü altında jet grout kolonun ucu tarafından taşınan yük, Q_{fa} servis yükü altında jet grout kolon gövdesi tarafından taşınan yük, α_s jet grout kolon gövdesi boyunca çevre sürtünmesine bağlı bir katsayı, L jet grout kolon boyu, A_p kazık uç alanı, E_p jet grout kolonun elastisite modülünü temsil etmektedir. α_s 'nin büyüklüğü, jet grout kolon şaftı boyunca oluşan birim sürtünme mukavemetine bağlıdır. Eğer f üniform veya parabolikse (Şekil 5.8a ve 5.8b), α_s 0.5'e eşittir. Ancak, f'in dağılımı üçgen ise, α_s 'in değeri yaklaşık 0.67'dir (Şekil 5.8c) (Vesic, 1977).



Şekil 5.8. Jet grout kolon şaftı boyunca çeşitli birim sürtünme mukavemetleri ve a_s 'nin değişimi (Vesic,1977)

Bir jet grout kolonun ucundaki yüke bağlı oturması, yüzeysel temellerdekine benzer şekilde ifade edilmektedir (Eşitlik 5.26).

$$S_p = \frac{(C_p * Q_{pa})}{(D * q_p)} \quad (5.26)$$

Burada; D jet grout kolonun çapı, q_p nihai uç direnci, C_p ampirik katsayıyı verir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. C_p değerinin değişimi (Prakash ve Sharma, 1990)

Zemin Cinsi	Çakma Kazıklar	Fore Kazıklar
Kum (sıkıdan gevşeye)	0.02-0.04	0.09-0.18
Kil (katıdan yumuşağa)	0.02-0.03	0.03-0.06
Silt (sıkıdan gevşeye)	0.03-0.05	0.09-0.12

Jet grout kolonun gövdesi boyunca taşınan yükten dolayı oturması (S_{ps}), Eşitlik (5.27) ile belirlenmektedir.

$$S_{ps} = \frac{(C_s * Q_{fa})}{(D_f * q_p)} \quad (5.27)$$

$$C_s = (0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{D_f}{B}}) * C_p \quad (5.28)$$

Burada; D_f jet grout kolonun gömülü derinliğidir.

5.3.2.2 Ampirik yöntem

Elastik oturma için önerilen ampirik yöntem, Vesic (1970) tarafından geliştirilen Eşitlik (5.29) ile tekil jet grout kolonun yük altındaki oturmasıdır.

$$S_t = \frac{D}{100} + \frac{Q_{va} * L}{A_p * E_p} \quad (5.29)$$

Burada; S_t jet grout kolonun toplam oturması, Q_{va} uygulanan jet grout kolon yükü, L jet grout kolonun uzunluğu, D jet grout kolon çapı, A_p jet grout kolon kesitinin alanı, E_p jet grout kolonun elastisitesini gösterir.

5.3.3 Teorik yöntem

Jet grout kolon oturmasının hesaplanması için kullanılacak diğer bir yöntem ise Hooke kuralına dayanan teorik yöntemdir (Şekil 5.6a). Yüklerin tamamı jet grout kolon tarafından taşınan ve kolonun ucunun sağlam taşıyıcı bir ortama oturtulması ile oluşan, sadece kolonun oturması ilkesine dayanmaktadır. Jet grout kolon oturması, Eşitlik (5.30) ile hesaplanabilmektedir.

$$\Delta h_e = \left(\frac{\sigma}{E_{JGK}} \right) * L \quad (5.30)$$

Δ

$$\sigma = \frac{Q_{va}}{A} \quad (5.31)$$

Burada, Δh_e jet grout kolonda meydana gelen düşey deplasman yani oturma, σ yük altında jet grout kolonda oluşan gerilme değeri, E_{JG} jet grout kolonun elastisite modülü, L jet grout kolonun boyu, Q_{va} tekil jet grout kolon üzerine gelen düşey yük, A jet grout kolonun kesit alanıdır.



BÖLÜM VI

JET GROUT YÖNTEMİYLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

6.1 Jet Grout ile Zemin İyileştirme, Kalite Kontrol Deneyleri ve Vaka Analizleri

Lunardi (1977) çalışmasında, jet grout ile zemin iyileştirme konusunda jet grout teknolojisinden istifade edilen bazı mühendislik problemlerine dair bir takım örnekler vermektedir. Ayrıca, aşağıda sıralanan konular incelenmiştir.

- Farklı zemin çeşitleri için uygunluk
- Dizayn kriteri
- İnşaat sırasında gözlem
- En son teknolojik gelişmeler
- İnşaat ve çevre mühendisliği konularında jet grout tekniği
- Bazı vaka analizleri

Her ne kadar çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar benzer çalışmalar için cesaret verici olsa da; jet grout yönteminin henüz çok yeni ve geliştirilmesi gereken bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Durgunoğlu vd. (1998), Ankara'da Migros Hipermarket ve Alışveriş Merkezinin 25.000 m²'lik zemin alanının jet grout yöntemiyle iyileştirilmesini amaçlamışlardır. Yapılan laboratuvar ve arazi deneyleri ile modellenen zeminde sığ temel tasarımında gelen yükler altında oturmalar meydana geldiği görülmüştür. Bu yüzden çözüm olarak kazıklı temel veya jet grout yöntemiyle zemin iyileştirilmesi sunulmuştur. Ekonomik koşullar ve yapım süresi göze alındığında, jet grout uygulaması yapılmasına karar verilmiştir. Uygulanacak jet grout yöntemi, parametreler ve izlenecek prosedür belirlenmiştir. Jet grout kolon imalatları yapılmaya başlandığında kalite kontrol maksadıyla bazı deneyler yapılmıştır. Kolon çapları ölçülmüş, karot alınarak serbest basınç mukavemeti belirlenmiş ve yükleme deneyi yapılarak yük taşıma kapasitesi bulunmuştur.

Toğrol (1998), istenilen özellikte jet grout kolonları oluşturmak için gerekli parametrelerin uygun bileşimlerini araştırmıştır. Bu parametreler çimento harcı miktarı,

püskürtme basıncı, püskürtücünün dönme ve çekme hızı, püskürtücünün çapıdır. Gerek uygulama aşamasında gerek uygulamadan sonra istenilen özelliklerin sağlanıp sağlanmadığını görmek için kontrol deneyleri yapılmıştır.

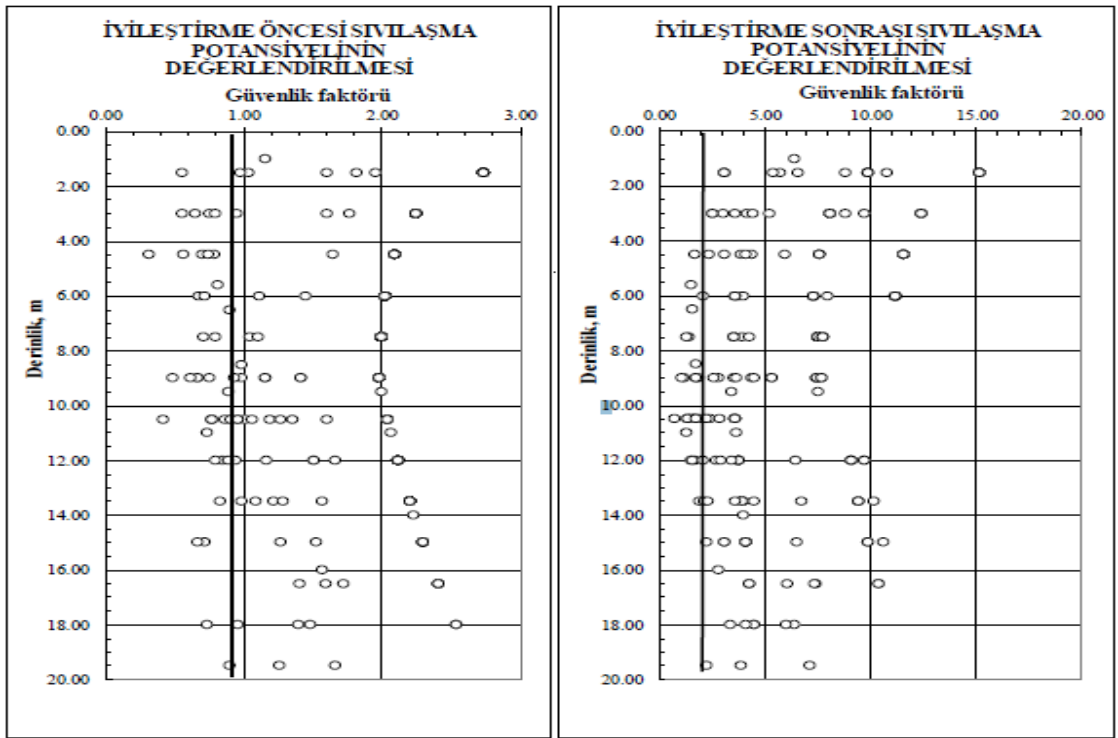
Keskin (2002), Afyon ili Dinar ilçesinde yapılan altı katlı bir iş hanının zemininin jet grout yöntemiyle iyileştirilmesini anlatmaktadır. Yeraltı su seviyesi yüzeyin 1.6 m'sinden başladığından ve zemin türünden dolayı sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu görülmüştür. Bu yüzden en uygun çözüm olarak jet grout yöntemi seçilmiştir. 20 m boyunda jet grout kolonları imal edilmiştir. Ayrıca temelin etrafında da jet grout kolonları imal edilerek yeraltı suyu kontrol altına alınmıştır. Oturma, sıvılaşma ve taşıma gücü problemlerine karşı jet grout uygulamasının uygun bir çözüm olduğu gösterilmiştir.

Durgunoğlu vd. (2002), İzmir / Tire Organize Sanayi Bölgesi'nde inşa edilen sigara fabrikasının yaklaşık 20000 m²'lik sahasının jet grout yöntemiyle ıslahına ilişkin bir vaka analizi incelemişlerdir. Bu bölge ana kaya üzeri kolüvyon, alüvyon formasyonları ve dolgu zeminden oluşup, 1. derece deprem bölgesi içerisindedir. Fabrika temelleri kazıklı, binanın zemine oturan döşemeleri ile diğer hafif yapı temelleri altında ise jet grout kolonlar yapılması önerilmiştir. Sıvılaşma riskine karşı sistematik, kolüvyon tabakasına kadar yaklaşık 32 m jet grout kolon uygulaması yapıldığı belirtilmiştir. Çalışmada jet grout kolonlarında yapılan ön deneme testlerinin, uygulama projesinin parametrelerinin belirlenmesindeki önemi vurgulanmıştır. Ön deneme testlerinde jet 1 yöntemiyle elde edilen kolonların jet 2 yöntemiyle elde edilen kolonlarına göre daha yüksek serbest basınç mukavemetine sahip olduğu ve gelen yükler altında daha az oturma yaptığı gözlenmiştir. Ancak, zemin iyileştirmenin amacı, daha çok sıvılaşmaya karşı olduğu için taşıma gücü ve oturmalar ikincil öneme sahip olduğu göz önüne alınarak daha çok alanı kapsayacak büyük çaplı kolonlar imal etmek için jet 2 yönteminin uygulanmasına karar verilmiştir.

Çetin ve Şeflek (2012), Adana ili, Ceyhan ilçesinde inşa edilen Ceyhunkent toplu konutlarına yönelik zemin ıslah çalışması konusunu ele almışlardır. Ceyhan ilçesinin zemin özellikleri problemlili olduğundan toplu konut inşa edilmeden önce o bölgeye zemin iyileştirme yapılmıştır. Seçilen zemin iyileştirme yöntemiyle zeminde meydana gelen değişikliklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Temel inşa edilecek zeminden ve jet grout yöntemi ile iyileştirilmiş zeminden alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde gerekli zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır. İlk olarak zemin sınıflamasında

kullanılan Atterberg, özgül ağırlık ve dane boyu analiz deneyleri yapılmıştır. Mühendislik parametrelerinin araştırılması açısından ise serbest basınç, kesme kutusu, konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Son olarak her iki zeminin gösterdiği dayanım ve oturma koşulları, oluşabilecek sıvılaşma riski ve yeraltı suyunun etkisi gözlenerek nasıl bir durum oluşabileceği ortaya koyulmuştur.

Durgunoğlu vd. (2014), Lübnan, Beyrut, Dbayeh Marina bölgesindeki “Waterfront City Center Shopping Mall” alışveriş merkezinin projesinin zemin iyileştirmesinde, jet grout uygulamasını ve çeşitli kalite kontrol testlerini incelemiştir. Sonlu elemanlar programları dizayn aşamasında kullanılmış, sıvılaşma potansiyelleri analiz edilmiştir. Jet grout tekniğinin performansı kontrol testleri, program ve hesap yöntemleriyle ispat edilmiştir. İyileştirme öncesinde ve sonrasında sıvılaşma potansiyeli Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. İyileştirme öncesi ve sonrası sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi (Durgunoğlu vd., 2014)

Kara vd. (2015), turbalık ve bataklık zemine yani problemlili bir zemine sahip Kayseri ili, Anbar bölgesindeki Alibeyoğlu Hırdavat A.Ş. Binasının zemininin jet grout yöntemiyle iyileştirildiği bir vaka analizi incelemiştir. Jet grout kolonuyla sağlanan iyileştirilmede

kolon merkezinden itibaren etkili alan belirlenmek istenmiştir. Bu yüzde kolon merkezinden D ve 1.5D mesafede SPT deneyleri ve jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda iyileştirilen alan ve iyileştirilmeyen alan karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda kolon merkezinden itibaren etkili iyileştirme alanının 2D olduğu saptanmıştır.

Tonyalı vd. (2015), Samsun İli, Canik İlçesi, 1344 Konut İnşaatı kapsamında, oturma alanını jet grout ile iyileştirilmesiyle CK1-S5 bloğu temelleri altında zemin tabakalarında meydana gelen parametre değişimlerini incelemiştir. Oturma ve taşıma gücü problemlerinden dolayı 80 cm çapında, 2.20 m aralıklarla 15 m boyunda jet grout kolonları imal edilmiştir. Zemin ıslahı öncesi ve sonrasında sismik dalga (kayma dalgası ve basınç dalgası) hız ölçümleri yapılarak, meydana gelen değişimler karşılaştırılmalı olarak ortaya konulmuştur. Yüksek kayma modüllü zemin-çimento karışımı jet grout kolonları sayesinde, zeminlerin sıvılaşma potansiyeline karşı dirençlerinin, mukavemet parametrelerinin, zemin gruplarının ve sıkılık oranlarının derinlemesine homojen olarak arttığı belirlenmiştir.

6.2 Jet Grout Kolonlarının Serbest Basınç Dayanımları, Oturma ve Taşıma Kapasitesi Analizleri

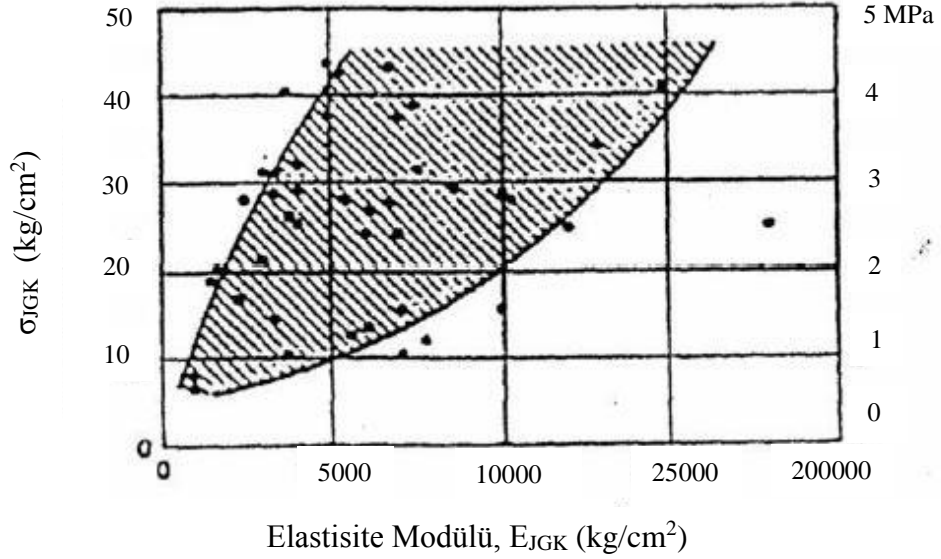
Baumann (1984), yedi farklı zeminde uygulanan jet grout kolonların tek eksenli basınç dayanımlarının su/çimento oranına bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Farklı su/çimento oranına göre elde edilen serbest basınç değerleri Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Su/çimento oranına bağlı kolon dayanımları (Bauman, 1984)

Kolon Basınç Dayanımları q_u (MPa)							
Zemin Tipi	Çakıl	Kum	Silt, Kil	Organik Zemin	Çakıllı Kumlu	Kumlu Siltli	Siltli Killi
Kolon No	1	2	3	4	5	6	7
Su/Çimento = 0,67	≤ 20	≤ 15	≤ 12	≤ 3	12 - 8	10 - 14	6 - 10
Su/Çimento = 1	≤ 20	≤ 15	≤ 12	≤ 3	6 - 10	5 - 7	3 - 5

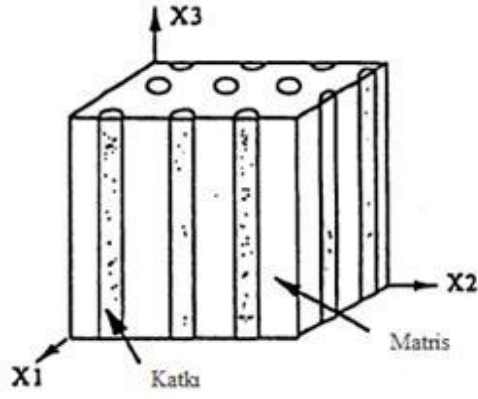
Elde edilen değerlere göre, killi, siltli ve organik zeminlerde elde edilen basınç dayanımlarının, kumlu ve çakıllı zeminlerde elde edilen basınç dayanımlarına göre daha düşük olduğu, ayrıca çimento miktarının artması ile çakıllı kumlu, kumlu siltli, siltli killi zeminlerde basınç dayanımının da arttığı gözlenmiştir.

Trevi (1994), siltli ve siltli kumlu zeminlerde uygulanan jet grout kolonların elastisite modülü (E_{JGK}) ile tek eksenli basınç dayanımları (σ_{JGK}) arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmalar sonucunda Şekil 6.2'deki grafik elde edilmiş, jet grout kolon mukavemetinin elastisite modülü ile doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.



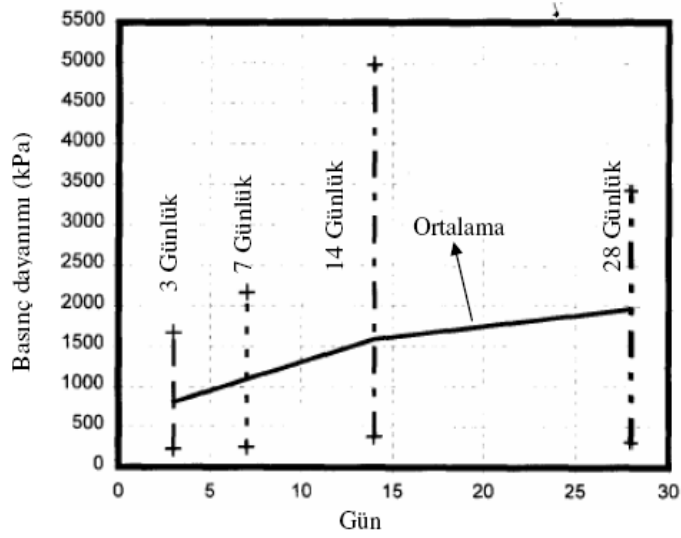
Şekil 6.2. Siltli ve siltli kumlu zeminlerde jet grout kolonun E_{JGK} ile σ_{JGK} ilişkisi (Trevi, 1994)

Omene vd. (1998), iki fazlı karışım modeli adı verilen bir metot ile arazide çimento katkısı ile iyileştirilme yapılmış zeminlerin taşıma gücünü incelemiştir. Arazide iyileştirme yapılmış zemin, katkı ve matris olarak tanımlanan iki farklı zeminin karışımı şeklinde ele alınmıştır (Şekil 6.3). Gerilme dağıtım faktörü ve karışımdaki katkının hacimsel oranı göz önünde tutularak taşıma gücü değerlendirilmiştir. Yapılan model ve arazi testleri ile önerilen metodun geçerliliği incelenmiştir. Arazide yapılan iyileştirme işlemi ve zeminin taşıma gücünün değerlendirilmesiyle metodun etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 6.3. Katkı ve matris elemanlarından oluşan kompozit zemin (Omine vd., 1998)

Bell vd. (2003), tek eksenli basınç deneylerini süper jet grout kolonlarından alınan karot numuneleri üzerinde yapmışlardır. Deneylerde 76 x 150 mm'lik silindirik numunelerin 3, 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenerek ve Şekil 6.4'teki grafik elde edilmiştir.



Şekil 6.4. Kolon numunelerinin basınç dayanımları (Bell vd., 2003)

Şekil 6.4'e göre, süper jet kolon dayanımlarının, zamana bağlı olarak arttığı ve gerçek dayanıma ise 28. günde ulaşıldığı belirlenmiştir.

Bzowka (2012), jet grout kolonlarının temel zemini ile etkileşimini incelemiştir. Söz konusu etkileşimin özü, kolonların oturma ve taşıma gücü üzerinde zemin özelliklerinin etkisini incelemiştir. Jet grout kolonları için taşıma gücü ve oturma testleri, Polonya'nın Bojszowy Nowe bölgesinde uygulanmıştır. Jet grout kolonları için yükleme ve boşaltma

testlerinin sonuçlarının analizi ve jet grout materyalleri için kuvvet parametrelerinin sonuçları sunulmuştur.

Akan ve Keskin (2014), jet grout kolonlarının serbest basınç dayanımlarının, bu yöntemde kullanılan parametreler ve iyileştirme öncesi zemin durumuyla ilişkili değişimi incelenmiştir. Bulanık mantık ve çoklu regresyon analizi yöntemleri kullanılarak jet grout kolonların serbest basınç dayanımlarının tespitinde bu analizlerin başarısı incelenmiştir ($r=0.91$). Analizlerde girdi parametresi olarak; enjeksiyon basıncı, zemin standart penetrasyon sayısı, çekme hızı, nozul çapı ve ince dane oranı kullanılmıştır. Çıktı olarak ise jet grout kolonun serbest basınç dayanımları elde edilmiş ve gerçekte ölçülen basınç dayanım değerleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan çoklu regresyon analizinde kullanılan parametreler arasında, çekme hızının serbest basınç dayanımı üzerinde en etkili parametre olduğu standart penetrasyon sayısının ise serbest basınç dayanımına en az etki eden parametre olduğu belirlenmiştir. Jet grout kolon serbest basınç dayanımının; standart penetrasyon sayısı ve nozul çapının artması ile arttığı, çekme hızı ve ince dane oranının artmasıyla azaldığı görülmüştür.

6.3 Jet Grout Dayanma Yapılarının Davranışının Analizi

Wong ve Wu (1997), jet grout yönteminin neden olduğu zemin hareketinin kontrolünü incelemişlerdir. Katmanlaşmış (tabakalar halinde) killi ve kumlu zeminlerde jet grout yöntemiyle, üç adet zemin iyileştirme alanı oluşturulmuştur. Çift-Tüp tekniği ile uygulanan jet grout kolonlarının çapı 1.2 m'dir. Ön sıradaki kolonlar boyunca, maksimum oturmalar, 40 mm gibi yüksek bir değerde bulunmuştur. Kümülatif yanal ötelenmenin ise 15 mm civarında olduğu görülmüştür. Kumlu tabakalarda içe doğru yatay ötelenmeler, killi tabakalarda ise yatay şişmeler gözlemlenmiştir. Oturmaların; kumlu tabakalardaki delgi işlemlerinden kaynaklanan zemin gevşekliğine bağlı olduğu ifade edilmiştir. Kolonların her bir sırası tarafından başlatılan/uyarılan oturmaların miktarının 8 mm olduğu; tekrar yapılan hesaplarla bulunmuştur. Ayrıca etki alanının kolonların derinliğinin 1-2 katı kadar mesafeye yayıldığı belirtilmiştir. Birbirinden farklı sıklıklarda gerçekleştirilen enjeksiyonlar için, oturmaya azaltıcı 3 farklı yöntem uygulanmıştır. En uygun yöntemin, enjeksiyonu, aralarında yeterince zaman bulunan safhalar halinde uygulamak olduğu ifade edilmiştir.

Wong vd. (2000), Singapur Posta Merkezinin bodrum kat kazısında jet grout yapılmasını kapsayan bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada binanın bodrumunun inşası sırasında; uygulanan jet grout kolonlarının performansı sunulmuştur. Jet grout kolonlarını, bitişik nizamlı yapılarda bodrum kat kazısı sırasında kazı yan yüzeylerindeki diyafram duvarlardaki hareketi önlemek için kullanılmıştır. İksa duvarları arkasında oluşturulan jet grout kolonların, duvar arkasındaki zemin tabakasının aksi yönde hareketine sebep olduğu ve diyafram duvarlarında da kazıya ters yönde deformasyon olduğu gözlem verileri sonucunda elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca jet grout kolonların diyafram duvarlardaki eğilme momentlerini azalttığı ve bitişik yapıların ise kazıdan daha az etkilenmesini sağladığı görülmüştür.

Racansky vd. (2008), jet grout yöntemiyle inşa edilen dayanma yapılarının diyafram duvarları ve palplanşlar gibi daha geleneksel tip dayanma yapılarına alternatif bir çözüm olduğunu belirtmişlerdir. Süreklilik arz eden silindirik elemanlardan oluşan duvarlar bu tarz yapılar için örnek model teşkil etmektedir. Gerekli duvar kalınlığı jet grout kolonunun çapından fazlaysa ikinci jet grout kolonları, duvar kalınlığını arttırmak için inşa edilebilmektedir. Çalışma göstermiştir ki bahsi geçen ikinci sıra jet grout kolonlarından bir kısmının yapılmaması yapının performansını belirgin şekilde azaltmamaktadır. Çalışmada dayanım duvarları kalınlıklarının etkileri, iki ve üç boyutlu analizler kullanılarak incelenmiştir.

6.4 Jet Grout Uygulamasının Nümerik Analizi

Bzowka (2004), jet grout uygulamasının sayısal analizi nümerik modelleme ile yapılmıştır. Modelleme başlangıç planlaması ve matematiksel formülasyon, model parametrelerinin tanımlanması, doğrulama ve hassaslık analizi olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır. Nümerik analizlerde, jet grout kolonlara gelen yüklerin ve oturmaların hesaplanabildiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, problem gerçek boyutlarında modellenmiştir. Nümerik analizlerde Mohr – Coulomb modeli kullanılarak jet grout kolon, onun etki bölgesi ve zemin ortamı ayrı ayrı modellenmiştir. Bu araştırma sonucunda elde edilen sayısal analiz değerleri, deneysel bulgular ve ampirik çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Alkaya ve Yeşil (2011), yüksek modüllü kolonları (jet grout kolonları) tablolama programı kullanarak tasarlamıştır. Statik koşullar zemin şartlarına bağlı olarak taşıma gücü ve oturma problemi oluşturabilir. Deprem esnasından zeminde taşıma gücü aşılması, oturma problemleri ve sıvılaşma ile karşılaşmaktadır. Zeminlerin iyileştirilmesinde taşıma gücü ve oturma açısından bir sorun olmasa bile deprem bölgelerinde özellikle sıvılaşmaya karşı iyileştirme gerekli olabilmektedir. Ülkemizde en çok kullanılan zemin iyileştirme yöntemi olan jet grout kolonlarının projelendirme aşamasını kolaylaştırmak için Excel ile bilgisayar programı hazırlanmıştır. Excel programının kullanımı ile proje yapılmasının ve hazırlanan projelerin kontrolünün kolaylaştırması amaçlanmıştır.

6.5 Jet Grout Konusunda Türkiye’de Yapılan Lisansüstü Tez Çalışmaları

Doğu (2005) çalışmasında, jet grout tekniğinin tarihsel, teorik ve pratik geçmişini ele almıştır. Yöntemin tanımı, gelişimi, uygulama sistemleri ve geometrisi, uygulama parametreleri, tasarım yaklaşımları ve uygulama alanları ele alınmıştır. Sıvılaşma potansiyelinin jet grout kolonları ile azaltılması ve jet grout kolonlarının dayanım özellikleri üzerinde durulmuştur. Mabeynci Arif Bey Yalısı zemininde jet grout ile ıslah öncesi ve sonrası ölçülen kayma dalgası hızlarıyla sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. İnceleme alanlarının zemin özellikleri ve zemin mühendisliği değerlendirmeleri sunulmuştur. Zeminin ince dane oranı ve Standart Penetrasyon vuruş sayısının jet grout kolonlarının dayanımına etkisi incelenmiştir. Zeminin SPT vuruş sayısı arttıkça jet grout kolonlarının dayanımının arttığı ince dane yüzdesi arttıkça jet grout kolonlarının dayanımının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Küçükali (2008) tez kapsamında, yerinde uygulanan bir zemin iyileştirme tekniği olan jet enjeksiyonun tarihsel, teorik ve pratik geçmişini incelemiştir. Ayrıca bu tekniğin türleri, tasarımı, uygulaması, parametreleri, uygulama alanları, avantajları ve dezavantajları bu çalışma dahilinde ele alınmıştır. Problemler zemin koşullarından dolayı oturma yapan demiryoluna uygulanan jet grout yöntemi vaka çalışması olarak incelenmiştir.

Erdil (2008) tez kapsamında, jet grout kolonunun taşıma gücünün hesaplanması için yeni ve kolay uygulanabilir bir yöntem olarak sayısal analize başvurmuştur. Zemin mekaniği problemlerinin çözümü için yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar analiz programlarından bir tanesi olan Plaxis, jet grout kolonunun taşıma gücünün tahmini için

kullanılmıştır. Sayısal analiz kullanılarak elde edilen jet grout kolonun taşıma gücü değerlerinin doğruluğunu sınamak için, daha önce yapılmış çalışmalar ve Plaxis programından elde edilen sonuçlar, arazideki yükleme deneyleri ile karşılaştırılmıştır. Plaxisten elde edilen taşıma gücü değerleri ile arazi yükleme deneyinden elde edilen sonuçlar arasında büyük bir fark görülmemiştir. Ayrıca ampirik hesap yöntemleri ile hesaplanan jet grout kolonun taşıma gücü değerleri ile yükleme deneyi sonuçları birbirini desteklemektedir.

Küsin (2009) tez çalışmasında, özellikle sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak jet grout kolonlarının analizleri farklı uygulamalarda göstermiştir. İlk iki örnekte jet grout kolonlarının dayanma duvarlarında kullanımına yönelik analizler yapılmıştır. Sonraki örneklerde ise, birim hücre ve homojenleştirme metodu kullanılarak jet grout kolonlarının temel altında kullanılması durumu incelenmiştir.

Doğanışık (2010) tez çalışmasını, kohezyonsuz birimlerde oluşturulan jet grout kolonlarındaki düşey yüklerin etkisi altında jet grout kolonunun performansı ve kolon bünyesinde oluşan gerilme dağılışının incelenmesi için hazırlamıştır. Bu araştırma ile; sonlu elemanlar yöntemiyle tasarımı yapılacak jet grout kolonlarının gerçek hayatta yükler altındaki davranışına yakın modelin nasıl kurulabileceği ve benzer çalışmalara kaynak oluşturabilmesi hedeflenmiştir.

Yağızatlı (2012) tez çalışması kapsamında, jet grout yönteminin kullanıldığı alanları, uygulama tekniklerini, uygulama aşamasında kullanılan ekipmanları, yöntemin avantajlarını, uygulamadan sonraki gerekli kontrolleri, jet grout kolonlarının sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerini ve çalışma parametrelerini incelemiştir. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis 2D programı ile jet grout kolonları modellenip sayısal analizleri yapılmıştır. Sayısal analizler zemin parametrelerinin farklı değerleri için ayrı ayrı yapılarak elde edilen sonuçlar istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Akan (2013) tez çalışmasında, bir zemin iyileştirme yöntemi olan jet grout ile oluşturulan kolonların serbest basınç dayanımlarının, bu yöntemde kullanılan parametreler ve iyileştirme öncesi zemin durumuyla olan ilişkisini araştırmıştır. Bulanık mantık ve çoklu regresyon analizi yöntemleri kullanılarak jet grout kolonların serbest basıncının tespitinde bu analizlerin başarısı incelenmiş ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

Kaymakcı (2014), tez çalışmasında 2009-2011 yılları arasında tamamlanmış Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali projesi imalatları üzerinde durmuş olup; imalatta uygulama sırasında karşılaşılan ana kayanın farklı derinliklerde olması ve üstteki yumuşak birimin borusuz kazık imalatına müsaade etmemesi nedeniyle kazık ve ana kaya arasındaki mesafeye jet grout kolonu imalatı yapılması ile problemin çözülmesi anlatmıştır. Jet grout kolona soketlenen fore kazık performansını değerlendirmek için KSS/159 nolu kazık üzerinde kazık yükleme deneyi yapılmış ve sonuçlar tez kapsamında verilmiştir.

Tachir (2015) araştırma kapsamında, Samsun ili Terme ilçesi Akçay köyü yakınlarında yapılan Kombine Doğalgaz Çevrim Santrali inşaatında zeminde açılan sondaj kuyularından alınan numuneleri incelemiş olup zeminin fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler elde edinmiştir. Bu bilgiler kullanılarak binalarının temel zeminini jet grout ve fore kazık yöntemleri ile ıslah edilmiştir. İyileştirilmesi yapılan zeminde, imal edilen kazıkların kontrolü amacıyla kolon süreklilik ve kolon yükleme deneyleri yapılmış, ayrıca kolonlardan alınan karot numuneleri üzerinde de tek eksenli basınç deneyleri uygulanmıştır. Bunun sonucunda Samsun Terme Kombine Doğalgaz Çevrim Santrali inşaatında yapılan zemin iyileştirmenin başarılı olduğunu görülmüştür.

Öz (2015) çalışmasında, depreme maruz kalmış ya da kalmamış taşıma kapasitesi olması gerekenden daha az olan, üstüne herhangi bir yapı inşası amaçlanan hemen her tür zemin için iyileştirme yöntemini incelemiştir ve jet grout yöntemi üzerinde durmuştur. Zemin için sıvılaşma riski oluşturacak birçok faktör ele alınmış, detaylı olarak SPT deneyi verileriyle özel bir yöntemle sıvılaşma analizi hesap yöntemleri açıklanmıştır. Ayrıca sıvılaşma riskine karşı yapılabilecek zemin iyileştirme yöntemlerine açıklık getirilmiş ve sıvılaşma riskinin önlenmesi için yapılacak jet grout zemin iyileştirme metodu üzerinde durulmuştur.

BÖLÜM VII

ÇOK GEVŞEK VE GEVŞEK KUMLU ZEMİNLERDE TEKİL JET KOLON TASARIMI

7.1 Materyal ve Metot

Tez kapsamında yapılan çalışmanın amacı; farklı rölatif sıklık D_r % (10, 14, 20, 35) değerlerine sahip çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde (Çizelge 7.1) jet grout kolon çapı (D) sabit tutularak, jet grout kolon boyunun (L) değişimi ile ortaya çıkan D/L'ye bağlı (Çizelge 7.2) jet grout kolonlarının taşıma gücü ve oturma ilişkisi eğrilerinin elde edilmesidir.

Burada jet grout kolon taşıma gücü ve oturma analizleri; teorik, yarı-ampirik, ampirik yöntemler ile nümerik yöntemle yapılmıştır. Elle hesaplanan oturma ve taşıma gücü değerleri ile sonlu elemanlar programıyla elde edilen taşıma gücü değerleri ve oturma değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.1. Rölatif sıklığa göre zeminlerin sınıflandırılması (Terzaghi ve Peck, 1967)

SPT-N	Kumun sıklık Durumu	Rölatif sıklık D_r %
0-4	Çok gevşek	0-15
4-10	Gevşek	15-35
10-30	Orta sıkı	35-65
30-50	Sıkı	65-85
>50	Çok sıkı	85-100

Çizelge 7.2. D/L-Rölatif sıklık kombinasyonları

Zemin Cinsi		D/L (m/m)			
Çok Gevşek ve Gevşek Kum		0.6/9	0.6/12	0.6/15	0.6/20
$\phi = 26^\circ$	D_r (%)	10	10	10	10
$\phi = 28^\circ$		14	14	14	14
$\phi = 30^\circ$		20	20	20	20
$\phi = 32^\circ$		34	34	34	34

Tez kapsamında jet grout kolon tasarımı yapabilmek için öncelikle çok gevşek kumlu ve gevşek kumlu zemin için zemin parametreleri belirlenerek ayrı modeller oluşturuldu.

Yeraltı su seviyesi 1 m olarak belirlendi. Farklı sıklığa sahip kumlu zeminlerdeki ($D_r = \% 10, \% 14, \% 20, \% 34$) jet grout kolonların elastisite modülleri hesaplandı.

7.1.1 Zemin parametrelerinin belirlenmesi

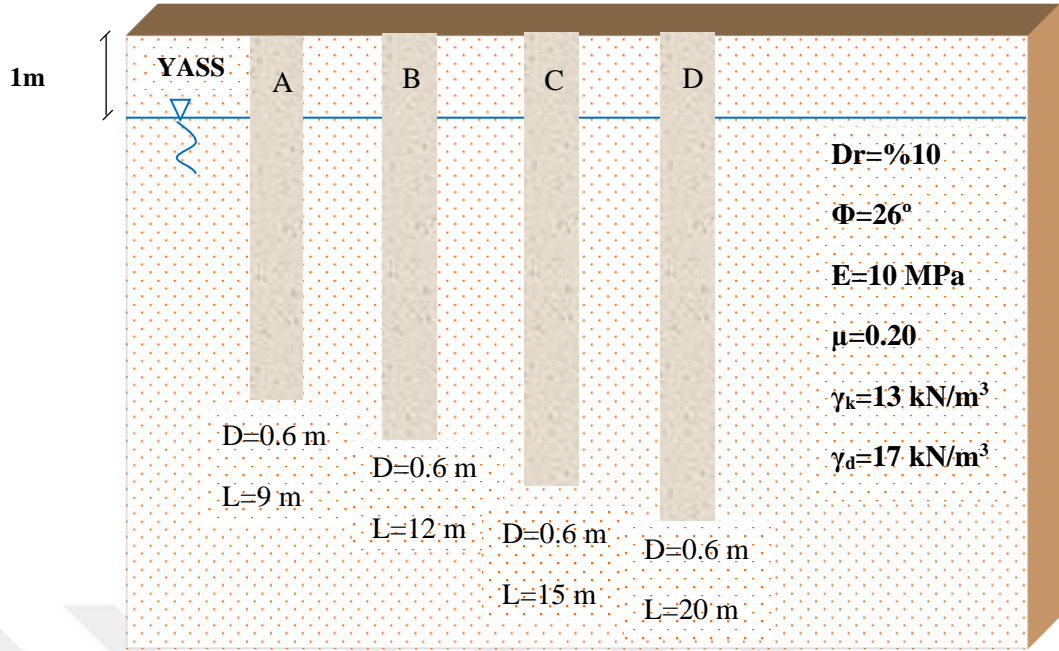
Kumlu zeminlerde farklı rölatif sıklık (D_r) değerleri de göz önüne alınarak çok gevşek kumlu ($D_r = \% 10, \% 14$) ve gevşek kumlu ($D_r = \% 20, \% 34$) zeminleri tanımlayan parametreler seçildi. Bu parametreler; içsel sürtünme açısı (ϕ), elastisite modülü (E), poisson oranı (μ), kuru ve suya doymun birim hacim ağırlıkları (γ_k, γ_d) olup, yapılan literatür taraması sonucunda belirlenerek, Çizelge 7.3'te gösterilmiştir (Peck, 1974; Carter ve Bentley, 1991; AASHTO, 1995; Das, 2008).

Çizelge 7.3. Literatür analizi sonunda belirlenen zemin parametreleri

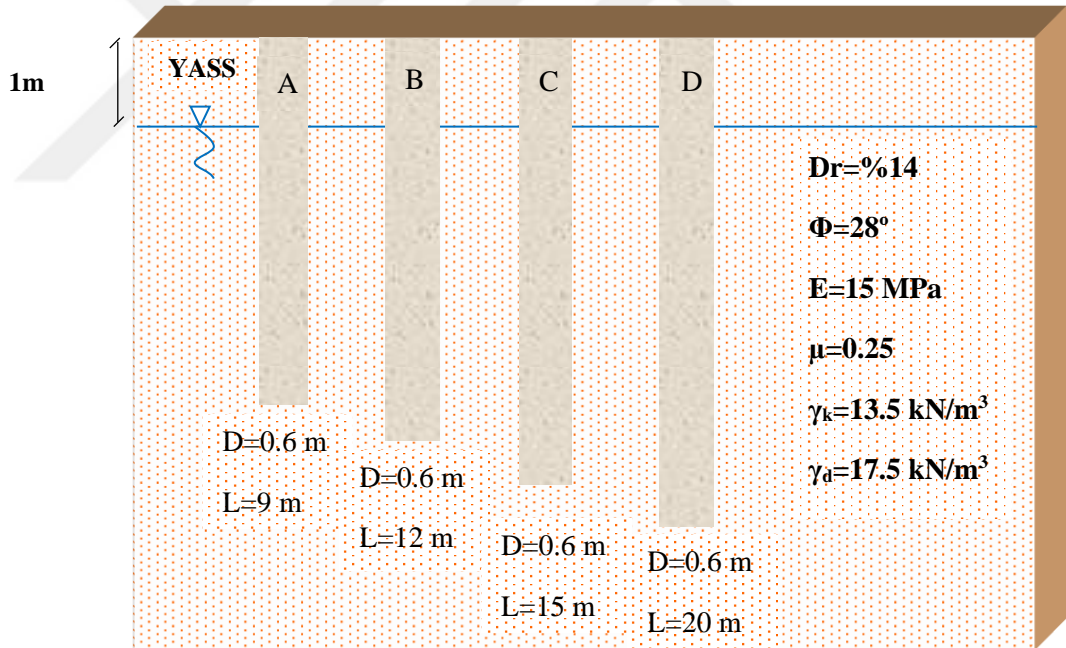
	D_r (%)				Referans
	10	14	20	34	
γ_k (kN/m ³)	13	13.5	14	15	Carter ve Bentley (1991)
γ_d (kN/m ³)	17	17.5	18	19	
ϕ (°)	26	28	30	32	Peck (1974) Carter ve Bentley (1991)
E (MPa)	10	15	24	28	Das (2008)
μ	0.20	0.25	0.30	0.35	Das (2008)

7.1.2 Zemin profili ve parametreleri

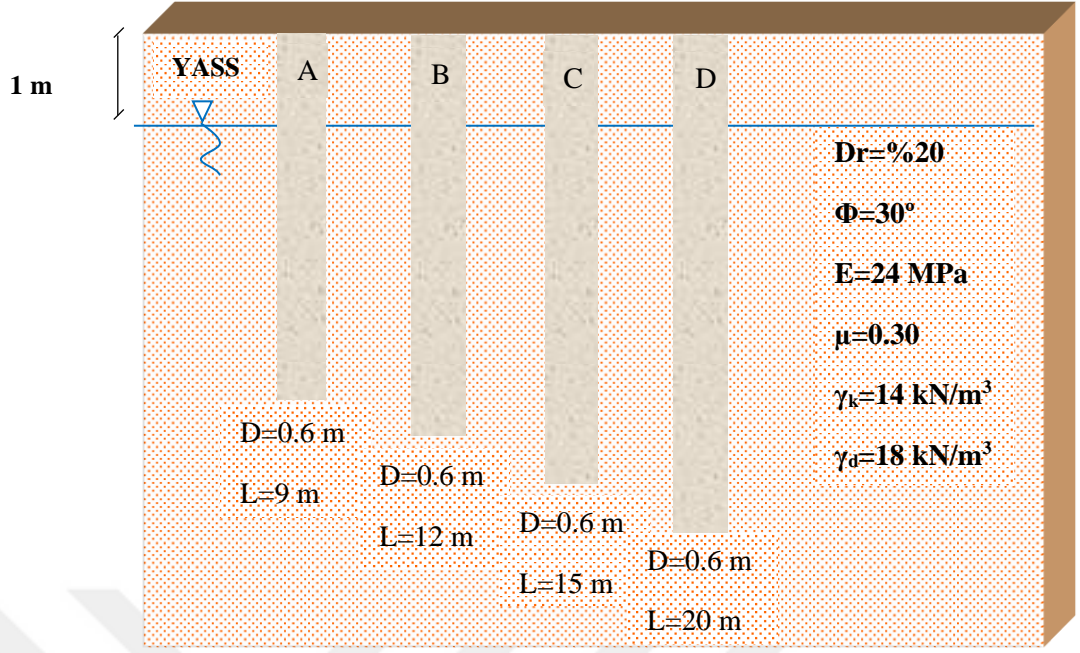
Tez çalışması kapsamında oluşturulan zemin modelleri Şekil 7.1, Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te gösterilmiştir. Şekil 7.1'de zemin profili tek tabaka halinde içsel sürtünme açısı (ϕ) 26° olan çok gevşek kum, Şekil 7.2'de zemin profili tek tabaka halinde içsel sürtünme açısı (ϕ) 28° olan çok gevşek kum, Şekil 7.3'te zemin profili tek tabaka halinde içsel sürtünme açısı (ϕ) 30° olan gevşek kum ve Şekil 7.4'te zemin profili tek tabaka halinde içsel sürtünme açısı (ϕ) 32° olan gevşek kum olup her modelde YASS 1m'dir.



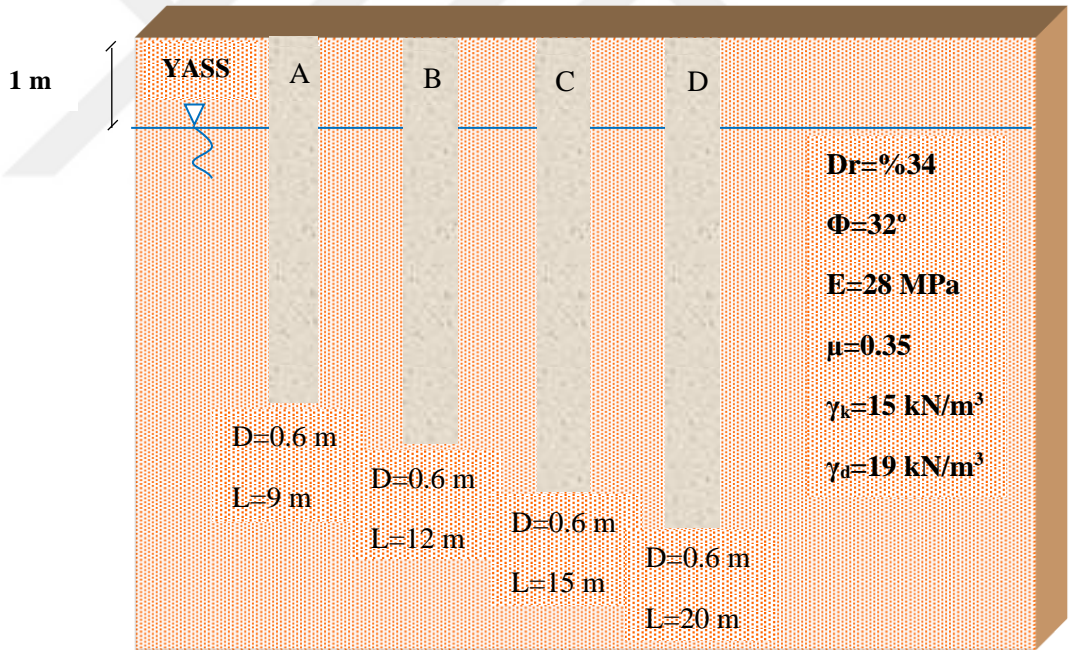
Şekil 7.1. İçsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumlu zemin modeli



Şekil 7.2. İçsel sürtünme açısı 28° olan çok gevşek kumlu zemin modeli



Şekil 7.3. İçsel sürtünme açısı 30° olan gevşek kumlu zemin modeli



Şekil 7.4. İçsel sürtünme açısı 32° olan gevşek kumlu zemin modeli

7.1.3 Jet grout kolon profili ve parametre seçimi

Jet grout kolon profili, farklı zemin durumları için Şekil 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4'de gösterilmiştir. Jet grout uygulaması için jet-1 sistemi seçilmiştir. Bölüm 3'deki Eşitlik

(3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7), (3.8), (3.9), (3.10) ve hesap yöntemi dikkate alınarak seçilen ve hesaplanan imalat parametreleri Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4. Jet grout imalat parametreleri

Jet grout yöntemi	Jet-1	1 m kolondaki çimento miktarı	126 kg
Jet grout kolon çapı	60 cm	1 m kolondaki grout hacmi	169 lt
Çimento dozajı	450 kg/m ³	Enjeksiyon karışımın özgül ağırlığı	1.49 kg/lt
Su/Çimento oranı	1	Enjeksiyon malzemesinin çıkış hızı	230 m/sn
Enjeksiyon basıncı	450 Bar	Enjeksiyon malzemesinin miktarı	2.39 lt/sn
Nozul sayısı	2	1 m kolon oluşumu için süre	1.95 dk
Nozul çapı	2.5		

Jet grout kolonun oturma hesaplarında kullanılmak üzere çok gevşek, gevşek kumlarda elde edilmesi öngörülen jet grout kolonun serbest basınç mukavemetleri Çizelge 4.1'den belirlenmiştir. Serbest Basınç Mukavemeti (σ_{JGK}), içsel sürtünme açısı 26 ° olan kumlu zemin için 7 MPa, içsel sürtünme açısı 28 ° olan kumlu zemin için 7.5 MPa, içsel sürtünme açısı 30 ° olan kumlu zemin için 8 MPa, içsel sürtünme açısı 32 ° olan kumlu zemin için 9 MPa olarak seçilmiştir.

Seçilen serbest basınç mukavemetleri kullanılarak Eşitlik (4.2) ile çok gevşek ve gevşek kumlu zeminler için elastisite modülleri (E_{JGK}) hesaplanmıştır (Çizelge 7.5).

Çizelge 7.5. Jet grout kolonun serbest basınç mukavemetleri ve elastisite modülleri

Rölatif Sıklık	σ_{JGK} (MPa)	E_{JGK} (MPa)
Dr=% 10	7	12514
Dr=% 14	7.5	12954
Dr=% 20	8	13379
Dr=% 34	9	14190

7.2 Elle Hesap Yöntemleri

7.2.1 Jet grout kolonun taşıma gücü hesabı

Seçilen zemin parametre değerleri ile oluşturulan zemin modellerinde (Şekil 7.1, Şekil 7.2, Şekil 7.3, Şekil 7.4) sabit 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boylarında jet grout kolonun taşıma gücü değerleri hesaplanıp çok gevşek ve gevşek kumlarda elde edilen jet grout kolon taşıma gücü ile sabit çap ve uzunluk oranı grafikleri çizilmiştir.

Çok gevşek kumda 60 cm çapında 9 m boyunda jet grout kolonun taşıma gücü, Çizelge 7.3’de içsel sürtünme açısı 26° kumlu zemin için verilen parametreler kullanılarak hesaplanmıştır.

Jet grout kolonun uç mukavemetinin hesaplanması: Jet grout kolonun ucunda birim alan için uç direnci Eşitlik (5.6) ile, 1873 kN/m^2 olarak, jet grout kolonun uç mukavemeti ise Eşitlik (5.7) ile, 529 kN olarak hesaplanmıştır.

Jet grout kolonun çevre sürtünmesinin hesaplanması: 9 m derinlikte zemin efektif gerilme değeri Eşitlik (5.10) ile, 75 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır. Çevre yüzeyde birim alanda etkili olan sürtünme değeri ise Eşitlik (5.9) kullanılarak, 40 kN/m^2 bulunmuştur.

Jet grout kolonu beton malzeme sınıfına girdiğinden dolayı K_s değeri Çizelge 5.2’den ortalama 1.5 olarak seçilmiştir. δ değeri, $3/4(\phi)^\circ$ olduğundan $(\phi)=26^\circ$ için 19.5° olarak hesaplanmıştır. Jet grout kolonun çevre sürtünmesi ile taşınan toplam yük Eşitlik (5.11) ile, 671 kN bulunmuştur.

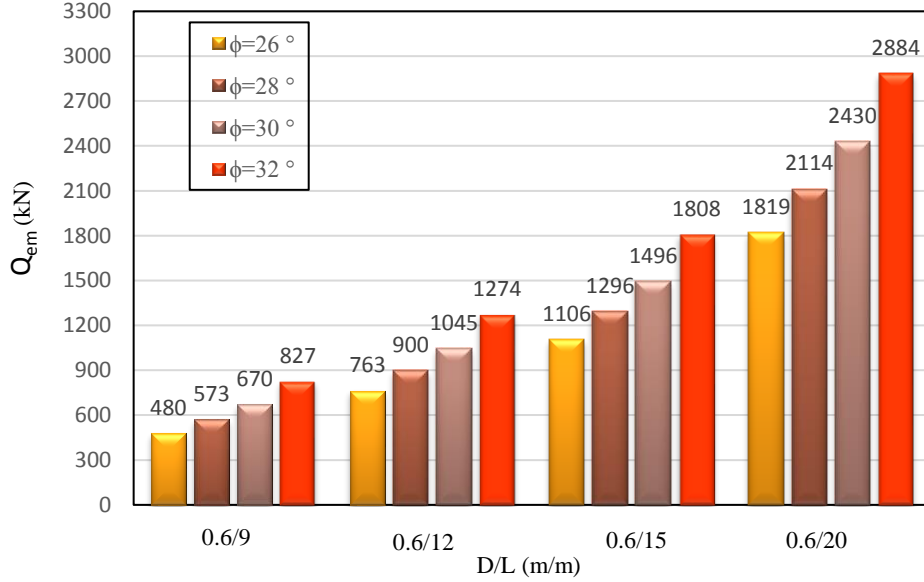
Jet grout kolonun uç mukavemeti ve çevresel sürtünme direncinin toplamıyla taşıma gücü değeri Eşitlik (5.12) ile Q_u 1200 kN olarak hesaplanmıştır. Emniyetli jet grout kolonun taşıma gücü (Q_{em}), nihai toplam taşıma gücü değerinin güvenlik sayısına ($G_s=2.5$) bölümüyle Eşitlik (5.15) ile 480 kN olarak bulunmuştur.

Aynı hesap yöntemi ve formüller kullanılarak içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumlu zeminde 0.6 m çapında 12 m, 15 m ve 20 m boylarındaki jet grout kolonların taşıma gücü değerleri ve içsel sürtünme açısı 28° , 30° , 32° olan çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde (Çizelge 7.3), 0.6 m çapında 9 m, 12 m, 15 m ve 20 m boylarındaki jet grout kolonların taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 7.6)

Çizelge 7.6. Jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü (Q_{em}) değerlerinin karşılaştırılması

Çap/boy (m/m)	Q_{em} (kN)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
D/L=0,6/9	480	573	670	827
D/L=0,6/12	763	900	1045	1274
D/L=0,6/15	1106	1296	1496	1808
D/L=0,6/20	1819	2114	2430	2884

Belirlenen parametrelere göre modellenen çok gevşek, gevşek kumlu zeminler için 60 cm çapında ve 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boylarındaki jet grout kolonlar için hesaplanan taşıma gücü değerleri ile sabit çap ve boy oranının grafikleri çizilmiştir (Şekil 7.5).



Şekil 7.5. Jet grout kolonun taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 7.5'teki grafikten içsel sürtünme açısı 26° çok gevşek kumlu zeminde elde edilen jet grout kolonun taşıma gücü değerinin en düşük olduğu, içsel sürtünme açısı 32° gevşek kumlu zeminde ise taşıma gücü değerinin en yüksek olduğu görülmüştür. Sabit çaptaki jet grout kolonlarda boy arttıkça her bir zemin için (çok gevşek, gevşek kum) taşıma gücü değerlerinin de arttığı görülmüştür.

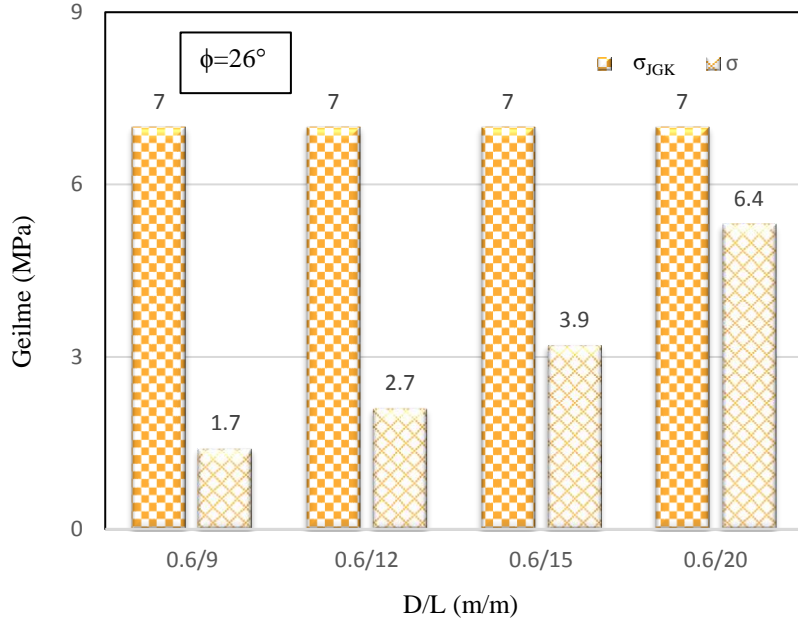
7.2.2 Jet grout kolonun malzeme dayanımı hesabı

Üst yapıdan gelen yük sonucunda çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerdeki jet grout kolonlarında meydana gelen gerilmenin, jet grout kolonun malzeme dayanımını aşmadığı kontrol edilmiştir. Uygulanan yük (Q), jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerine yakın ve Çizelge 7.6'daki emniyetli taşıma gücü değerinden küçük bir değer seçilmiştir ($Q \leq Q_{em}$). 9 m boyunda jet grout kolon için 475 kN ($475 \text{ kN} \leq 480 \text{ kN}$), 12 m boyunda jet grout kolon için 760 kN ($760 \text{ kN} \leq 763 \text{ kN}$), 15 m boyunda jet grout kolon için 1100 kN ($1100 \text{ kN} \leq 1106 \text{ kN}$) ve 20 m boyunda jet grout kolon için 1815 kN ($1815 \text{ kN} \leq 1819 \text{ kN}$) yük uygulanmıştır. Jet grout kolonda meydana gelen gerilme, Eşitlik (5.21) ile hesaplanmıştır (Çizelge 7.7).

Çizelge 7.7. Jet grout kolonlarında meydana gelen gerilme

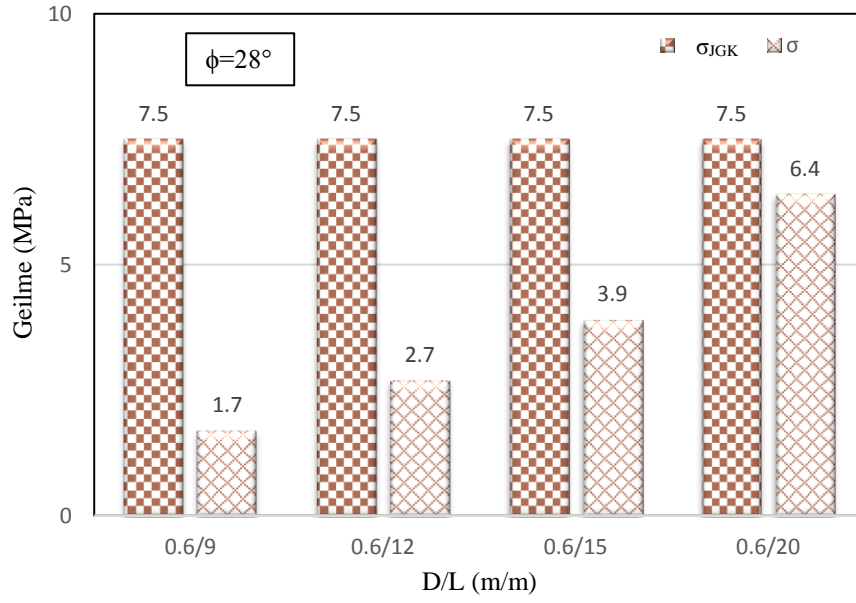
İçsel sürtünme açısı (ϕ)	σ (MPa)				σ_{JGK} (MPa)
	D/L=0.6/9	D/L=0.6/12	D/L=0.6/15	D/L=0.6/20	
26°	1.7	2.7	3.9	6.4	7
28°	1.7	2.7	3.9	6.4	7.5
30°	1.7	2.7	3.9	6.4	8
32°	1.7	2.7	3.9	6.4	9

İçsel sürtünme açısı 26 ° olan çok gevşek kumlu zemindeki jet grout kolonda meydana gelen gerilme (σ) ile jet grout kolonun karot numune dayanımının (σ_{JGK}) grafiği çizilmiştir (Şekil7.6).



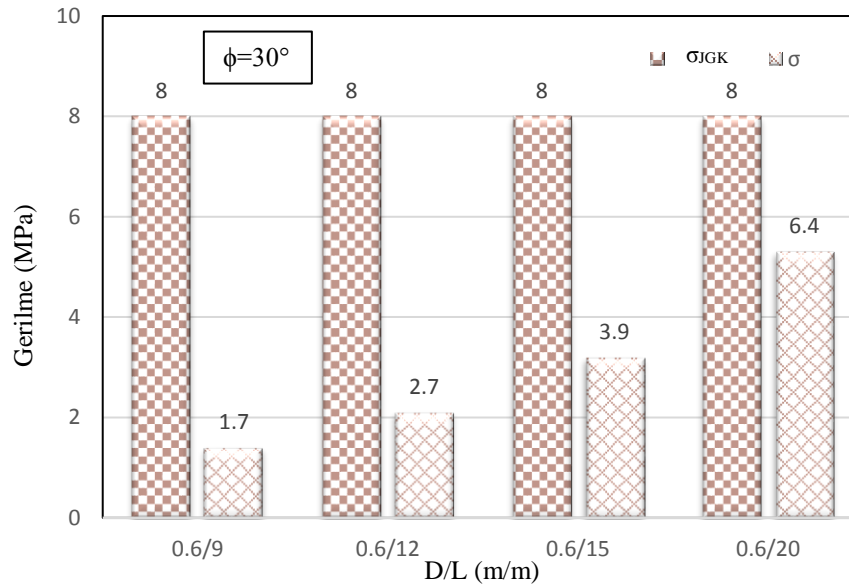
Şekil 7.6. İçsel sürtünme açısı 26° kumlu zemindeki jet grout kolonda malzeme dayanımı

İçsel sürtünme açısı 28° olan çok gevşek kumlu zemindeki jet grout kolonda meydana gelen gerilme ile jet grout kolonun karot numune dayanımının grafiği çizilmiştir (Şekil 7.7).



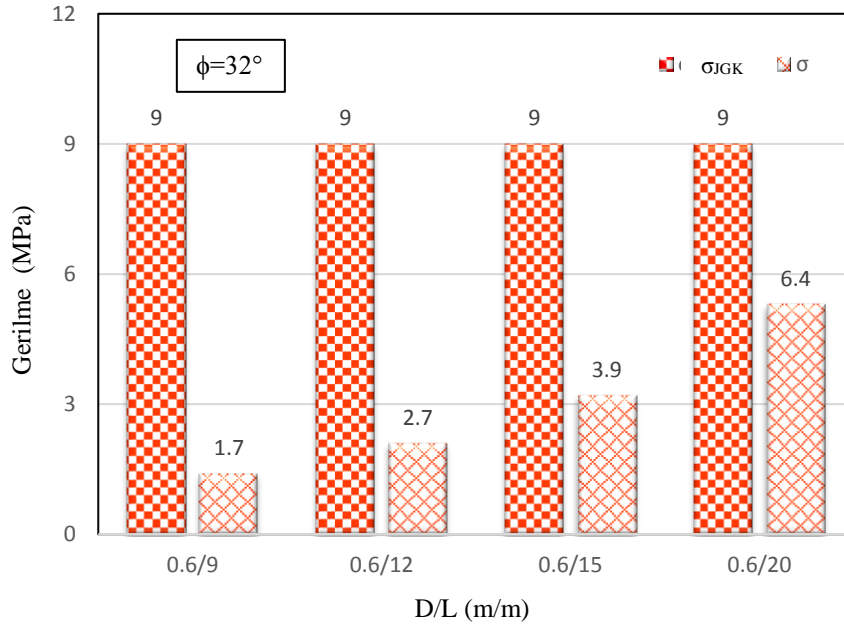
Şekil 7.7. İçsel sürtünme açısı 28° kumlu zemindeki jet grout kolonda malzeme dayanımı

İçsel sürtünme açısı 30° olan gevşek kumlu zemindeki jet grout kolonda meydana gelen gerilme ile jet grout kolonun karot numune dayanımının grafiği çizilmiştir (Şekil 7.8).



Şekil 7.8. İçsel sürtünme açısı 30° kumlu zemindeki jet grout kolonda malzeme dayanımı

İçsel sürtünme açısı 32° olan gevşek kumlu zemindeki jet grout kolonda meydana gelen gerilme ile jet grout kolonun karot numune dayanımının grafiği çizilmiştir (Şekil 7.9).



Şekil 7.9. İçsel sürtünme açısı 32° kumlu zemindeki jet grout kolonda malzeme dayanımı

Jet grout kolonda meydana gelen gerilme (σ), jet grout kolondaki karot numunenin dayanımından (σ_{JGK}) küçük olduğu için jet grout kolonun malzeme dayanımı sağlanmıştır.

7.2.3 Jet grout kolonun oturma hesabı

Seçilen zemin parametreleri ile oluşturulan zemin modellerinden çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde ($\phi=26^\circ$, $\phi=28^\circ$, $\phi=30^\circ$, $\phi=32^\circ$) her biri için 60 cm çapında, 9 m, 12 m, 15 m ve 20 m boylarında imal edilen jet grout kolonların oturma değerleri yarı ampirik, ampirik ve teorik yöntemlerle hesaplanmıştır. Hesaplanan oturma değerleri ile sabit çap uzunluk oranı grafikleri çizilmiştir.

Oturma değerlerini bulmak için uygulanan yükler; Çizelge 7.6'daki içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumlu zeminin emniyetli taşıma gücü değerleridir.

7.2.3.1 Yarı ampirik yöntem ile oturma hesabı

İçsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumda 60 cm çapında 9 m boyunda jet grout kolonun oturma değeri yarı ampirik yöntemle hesaplanmıştır. Jet grout kolonun elastik oturması, Eşitlik (5.25) kullanılarak 1.00 mm olarak hesaplanmıştır. Jet grout kolon şaftı

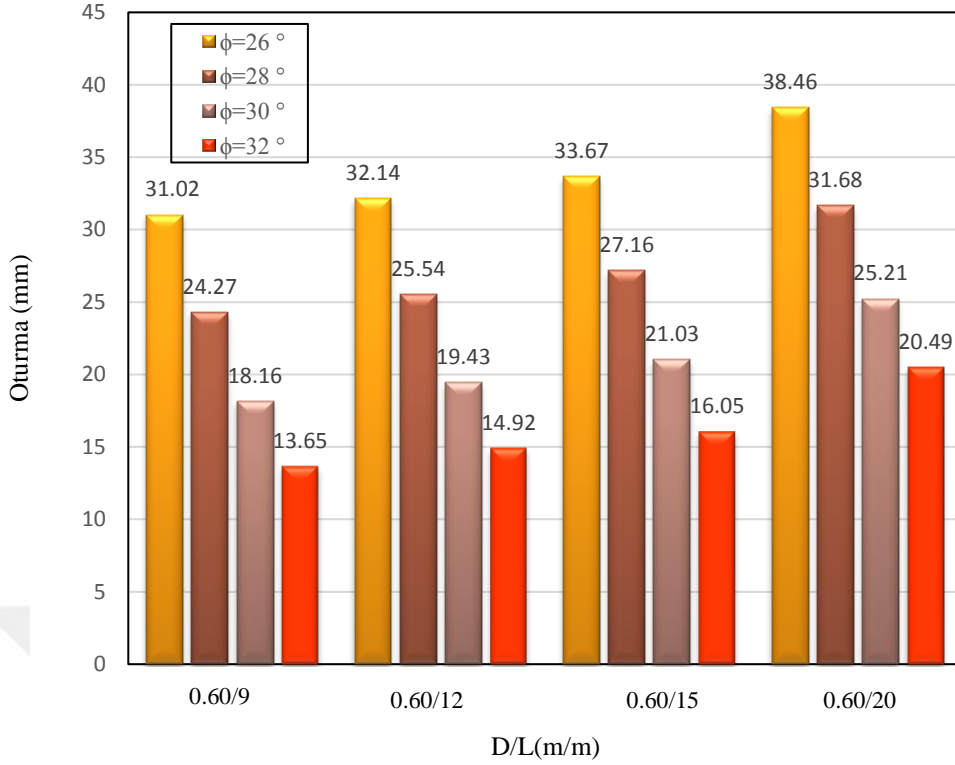
boyunca oluşan birim sürtünme mukavemetinin dağılımı üçgen kabul edildiğinden $\alpha = 0.67$ olarak seçilmiştir (Vesic, 1977). Jet grout kolon ucunun elastik oturması Eşitlik (5.26) kullanılarak, 32.03 mm hesaplanmıştır. Burada C_p değeri çok gevşek kum için Çizelge 5.3'den 0.17 olarak seçilmiştir (Prakash ve Sharma, 1990). Jet grout kolonun gövde boyunca taşınan yükten dolayı elastik oturması Eşitlik (5.27) ile 4.20 mm olarak bulunmuştur. Burada C_s değeri eşitlik (5.30) ile 0.26 olarak hesaplanmıştır. Jet grout kolonun yarı ampirik yöntem ile toplam oturması Eşitlik (5.24) ile 37.22 mm olarak bulunmuştur.

9 m boyunda içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumdaki tekil jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü, 9 m boyunda jet grout kolonun çok gevşek ve gevşek kumdaki oturma hesabı için yük olarak uygulanmıştır ve oturma değerleri yarı ampirik yöntemle hesaplanmıştır. Aynı hesap yöntemi ve formüller kullanılarak 12 m, 15 m ve 20 m boyunda jet grout kolonların, çok gevşek ($\phi=28^\circ$) ve gevşek kumlu zeminlerdeki ($\phi=30^\circ$, $\phi=32^\circ$) oturma hesabı yapılmıştır (Çizelge 7.8).

Çizelge 7.8. Yarı ampirik yöntemle hesaplanan oturma değerlerinin karşılaştırılması

Çap/boy (m/m)	Oturma (mm)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
D/L=0,6/9	37.22	29.13	21.79	16.38
D/L=0,6/12	38.56	30.65	23.32	17.90
D/L=0,6/15	40.40	32.59	25.24	19.80
D/L=0,6/20	46.16	38.01	30.25	24.59

Çok gevşek ve gevşek kumlu zeminde yarı ampirik yöntemle elde edilen jet grout kolon oturma değerleri ile sabit çap ve boy oranının değişimi Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.10. Yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleri

Şekil 7.10'daki grafikten yarı ampirik yöntem ile elde edilen, içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumlu zeminde oluşan oturma değerinin en yüksek olduğu, içsel sürtünme açısı 32° olan gevşek kumlu zeminde ise oturma değerinin en düşük olduğu görülmüştür. Sabit çaptaki jet grout kolonların boyu arttıkça içsel sürtünme açısı 26° , 28° , 30° ve 32° olan çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde meydana gelen oturma miktarının arttığı görülmüştür.

7.2.3.2 Ampirik yöntem ile oturma hesabı

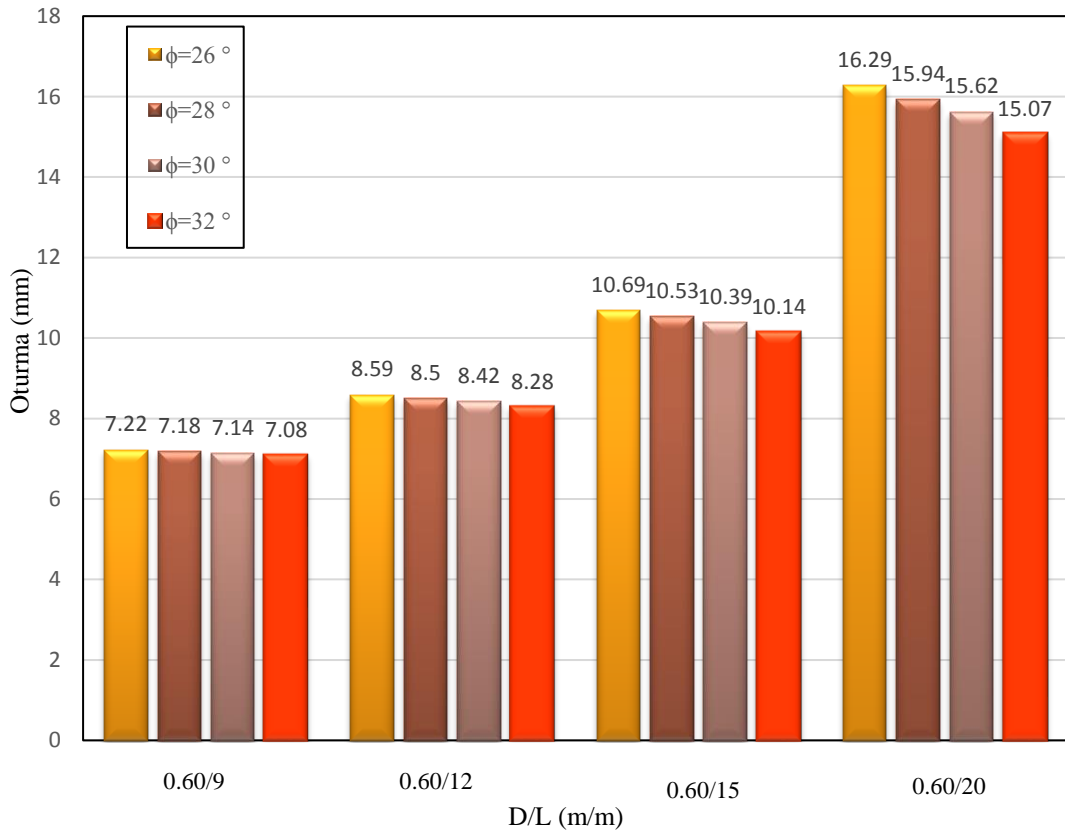
9 m boyunda içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumdaki tekil jet grout kolonun taşıma gücü, 9 m boyunda jet grout kolonun çok gevşek ve gevşek kumda oturma hesabı için yük olarak uygulanmıştır ve oturma değerleri ampirik yöntemle hesaplanmıştır. İçsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumda 60 cm çapında 9 m boyunda jet grout kolonun oturma değeri ampirik yöntemle hesaplanmıştır. Jet grout kolonun toplam elastik oturması Eşitlik (5.29) ile 7.02 mm olarak hesaplanmıştır.

Aynı hesap yöntemi ve formüller kullanılarak 12 m, 15 m ve 20 m boyunda jet grout kolonların çok gevşek ($\phi=28^\circ$) ve gevşek kumdaki ($\phi=30^\circ$, $\phi=32^\circ$) oturma hesabı yapılmıştır (Çizelge 7.9).

Çizelge 7.9. Ampirik yöntem ile elde edilen oturma değerleri

Çap/boy (m/m)	Oturma (mm)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
D/L=0,6/9	7.22	7.18	7.14	7.08
D/L=0,6/12	8.59	8.50	8.42	8.28
D/L=0,6/15	10.69	10.53	10.39	10.14
D/L=0,6/20	16.29	15.94	15.62	15.07

Çok gevşek kumlu, gevşek kumlu, orta sıkı kumlu zeminde ampirik yöntem ile elde edilen oturma değerleri ile sabit çap ve boy oranının grafikleri çizilmiştir (Şekil 7.11).



Şekil 7.11. Ampirik yöntem ile elde edilen oturma değerleri

Şekil 7.11'deki grafikten ampirik yöntemle elde edilen içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumlu zeminlerde oluşan oturma değerinin en yüksek olduğu içsel sürtünme açısı 32° olan gevşek kumda ise oturma değerinin en düşük olduğu görülmüştür. Sabit çaptaki

jet grout kolonlarda $\phi=26^\circ-32^\circ$ aralığı için her bir boy oranında oturma değerlerinde ciddi değişim yok. Ancak, her bir ϕ için boy arttıkça oturma artışı var.

7.2.3.3 Teorik yöntem ile oturma hesabı

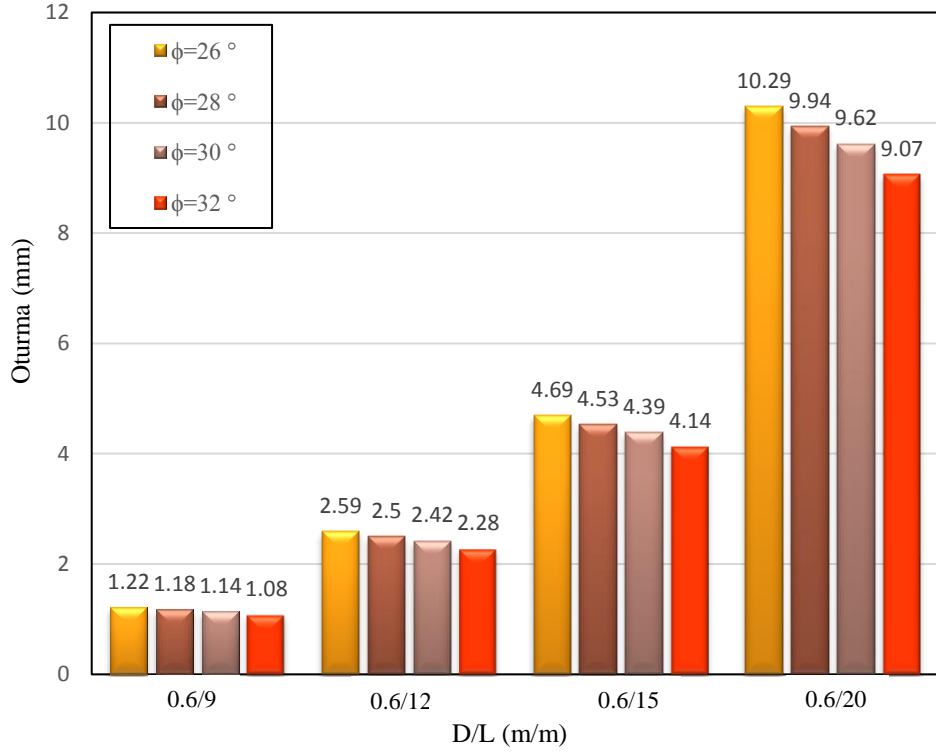
İçsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumda 60 cm çapında 9 m boyunda jet grout kolonun oturma değeri teorik yöntemle hesaplanmıştır. Yük altında jet grout kolonda oluşan gerilme değeri Eşitlik (5.31) ile 1698.51 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır. Jet grout kolonun toplam oturması Eşitlik (5.30) kullanılarak, 1.22 mm olarak hesaplanmıştır.

9 m boyunda içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumdaki tekil jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü, 9 m boyunda jet grout kolonun çok gevşek ve gevşek kumda oturma hesabı için yük olarak uygulanmıştır ve oturma değerleri teorik yöntemle hesaplanmıştır. 12 m, 15 m ve 20 m boyunda jet grout kolonun çok gevşek ($\phi=28^\circ$) ve gevşek kumdaki ($\phi=30^\circ$, $\phi=32^\circ$) oturma hesabı da aynı şekilde teorik yöntemle yapılmıştır (Çizelge 7.10).

Çizelge 7.10. Teorik yöntem ile elde edilen oturma değerlerinin karşılaştırılması

Çap/boy(m/m)	Oturma (mm)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
D/L=0,6/9	1.22	1.18	1.14	1.08
D/L=0,6/12	2.59	2.50	2.42	2.28
D/L=0,6/15	4.69	4.53	4.39	4.14
D/L=0,6/20	10.29	9.94	9.62	9.07

Çok gevşek kumlu ve gevşek kumlu zeminlerde teorik yöntemle elde edilen oturma değerleri ile sabit çap ve boy oranının değişimi Şekil 7.12’de gösterilmiştir.

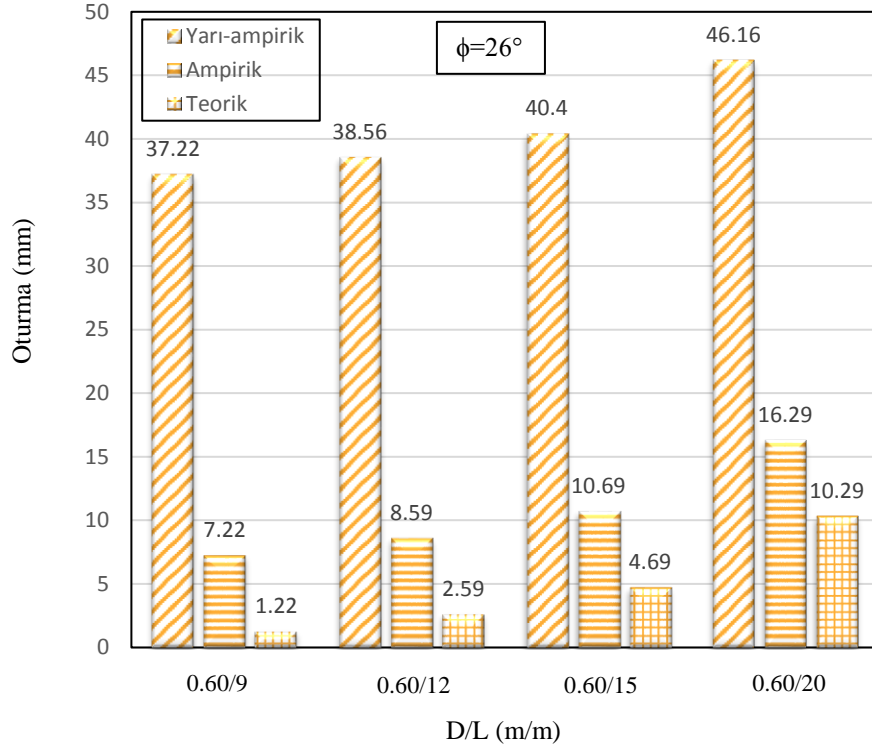


Şekil 7.12. Teorik yöntemle elde edilen oturma değerleri

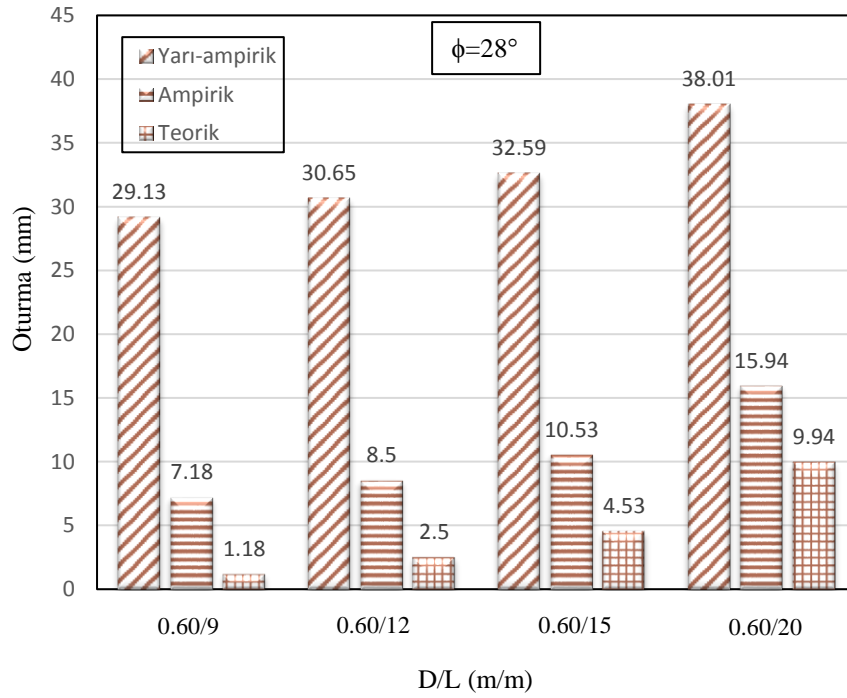
Şekil 7.12'deki grafikte teorik yöntem ile elde edilen oturma değerlerinden içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumlu zeminde oluşan oturma değerinin en yüksek olduğu, içsel sürtünme açısı 32° olan gevşek kumlu zeminde ise oturma değerinin en düşük olduğu görülmüştür. Sabit çaptaki jet grout kolonlarda $\phi=26^\circ$ - 32° aralığı için her bir boy oranında oturma değerlerinde ciddi değişim yok. Ancak, her bir ϕ için boy arttıkça oturma artışı var.

7.2.3.4 Jet grout kolonun oturma hesaplarının karşılaştırılması

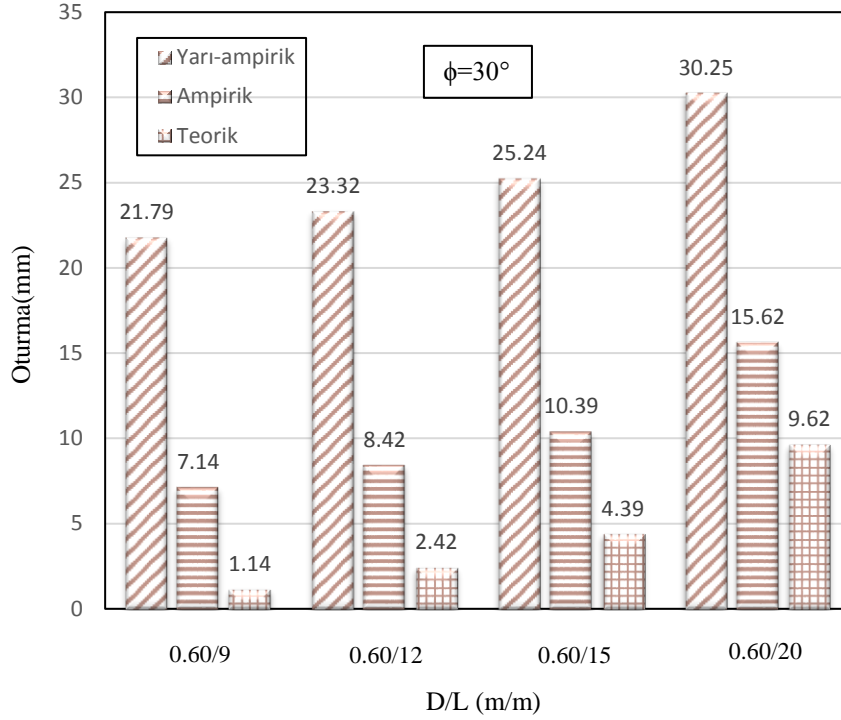
Seçilen zemin parametrelerine göre modellenen çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m ve 20 m boylarındaki jet grout kolonların yarı ampirik, ampirik ve teorik yöntemlerle hesaplanan oturma değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15, Şekil 7.16).



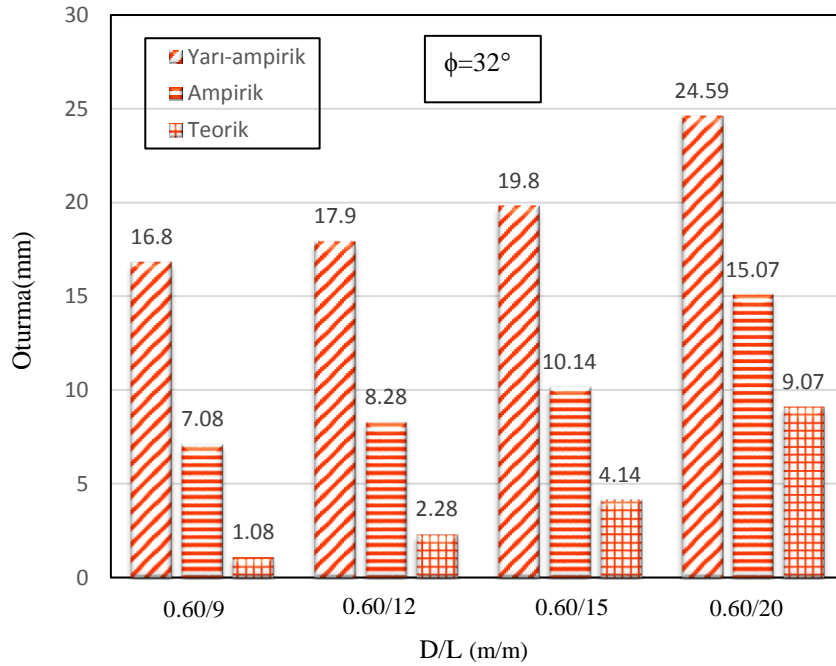
Şekil 7.13. İçsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumlu zemindeki jet grout kolon oturma değerlerinin değişimi



Şekil 7.14. İçsel sürtünme açısı 28° olan çok gevşek kumlu zemindeki jet grout kolon oturma değerlerinin değişimi

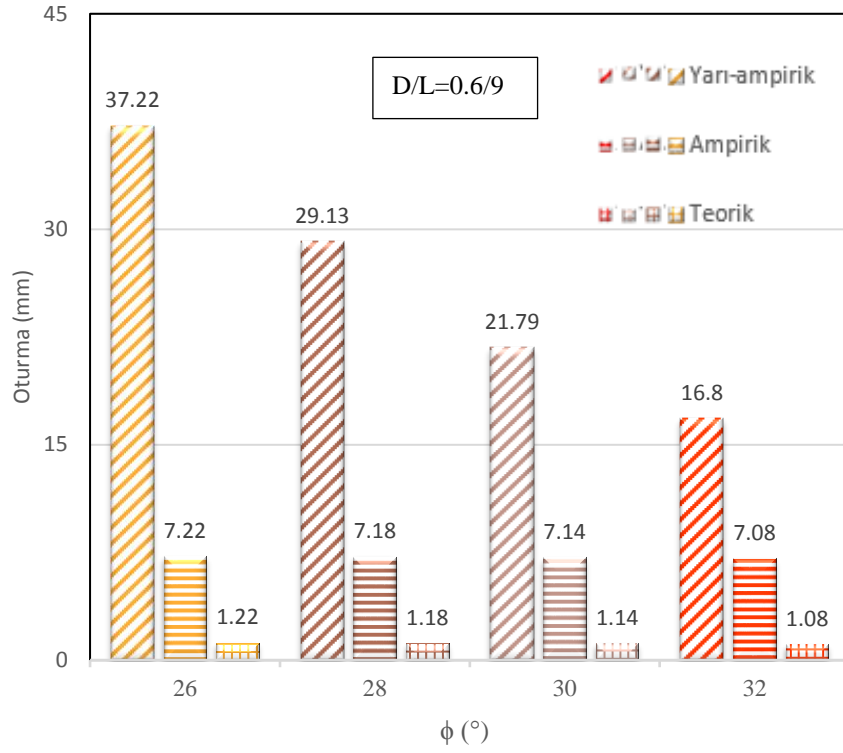


Şekil 7.15. İçsel sürtünme açısı 30° olan gevşek kumlu zemindeki jet grout kolon oturma değerlerinin değişimi

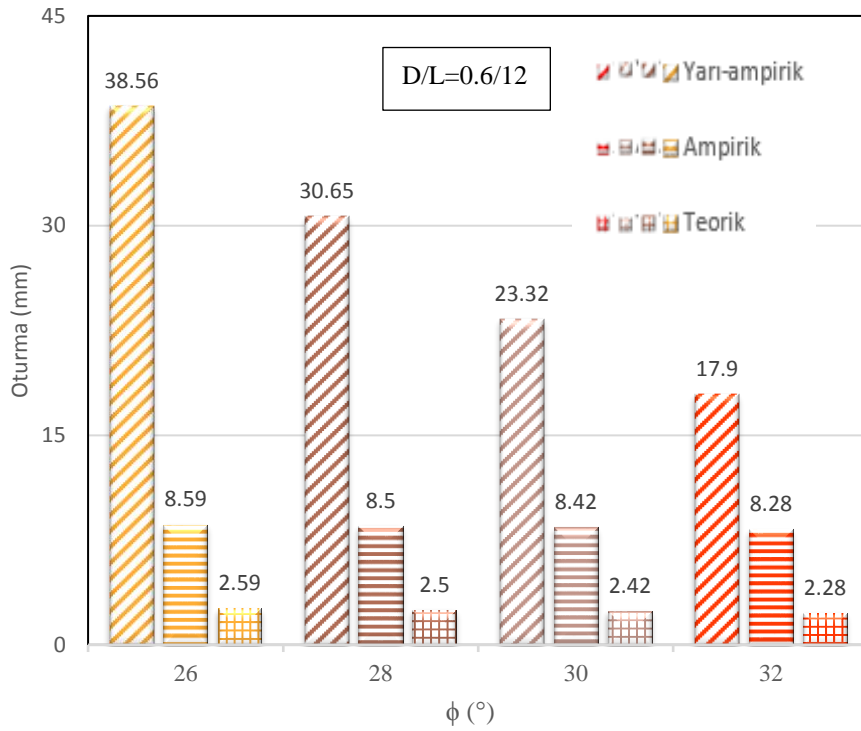


Şekil 7.16. İçsel sürtünme açısı 32° olan gevşek kumlu zemindeki jet grout kolon oturma değerlerinin değişimi

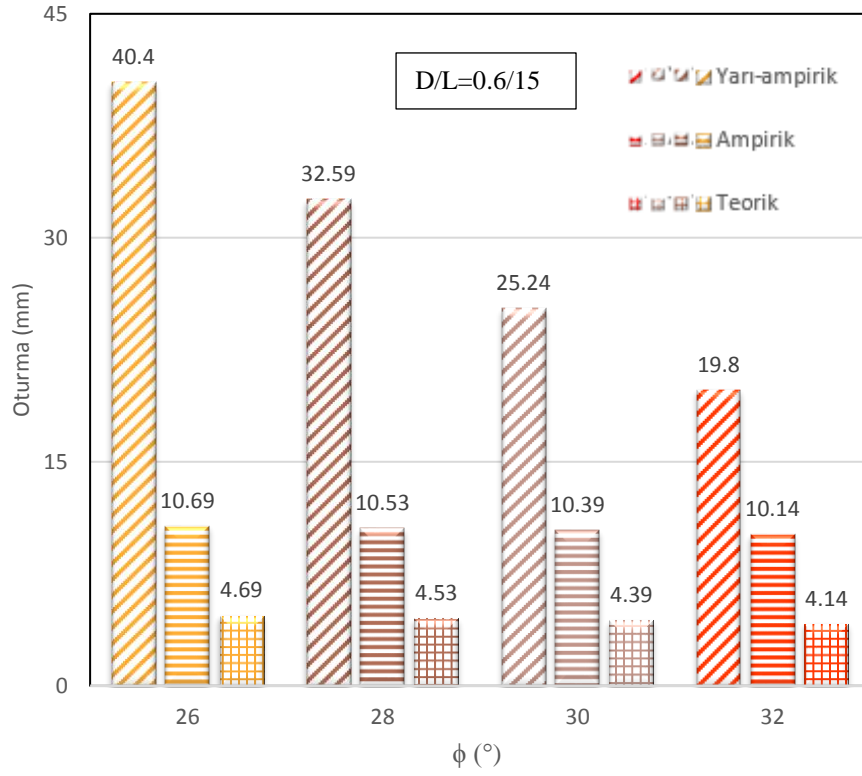
Sabit çaptaki jet grout kolonların içsel sürtünme açısı 26° , 28° , 30° ve 32° olan çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerdeki yarı-ampirik, ampirik ve teorik yöntemlerle elde edilen oturma değerlerinde, boy arttıkça her bir ϕ için artış olmuştur (Şekil 7.17, Şekil 7.18, Şekil 7.19, Şekil 7.20).



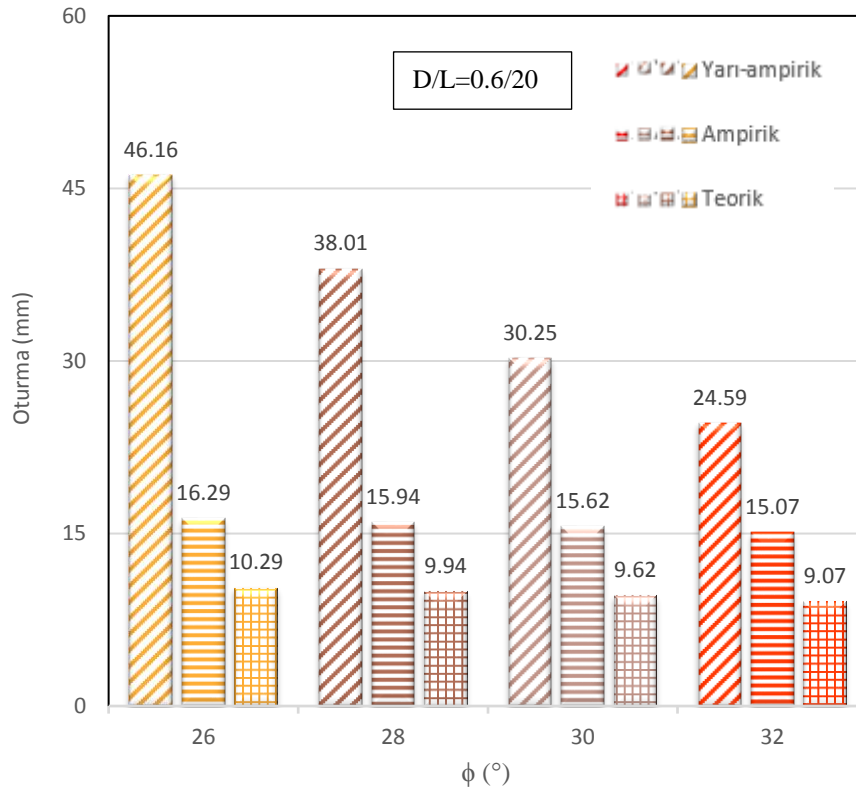
Şekil 7.17. 9 m boyundaki jet grout kolonun oturma değerlerinin değişimi



Şekil 7.18. 12 m boyundaki jet grout kolonun oturma değerlerinin değişimi



Şekil 7.19. 15 m boyundaki jet grout kolonun oturma değerlerinin değişimi



Şekil 7.20. 20 m boyundaki jet grout kolonun oturma değerlerinin değişimi

Sabit çaptaki jet grout kolonların yarı-ampirik, ampirik ve teorik yöntemlerle elde edilen oturma değerleri, her bir boy oranı için (9 m, 12 m, 15 m, 20 m) içsel sürtünme açısı

arttikça azalmıştır. Yarı ampirik, ampirik ve teorik yöntemler karşılaştırıldığında çok gevşek kumlu ve gevşek kumlu zeminler için yarı ampirik yöntem ile hesaplanan jet grout kolon oturma değerleri en fazladır. Ampirik yöntem ile hesaplanan oturma değerleri de teorik yöntem ile hesaplanan oturma değerlerinden fazladır. Teorik yöntemle elde edilen değerlerin çok küçük olmasının sebebi teorik yöntem hesabının sadece jet grout kolondaki oturmaya dayalı olmasıdır.

7.3 Nümerik Hesap Yöntemleri

Çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerdeki tekil jet grout kolonun taşıma gücü ve oturma değerleri sonlu elemanlar yöntemi kullanan paket programıyla bulunmuştur. Sonlu elemanlar programında farklı zemin davranışları seçilerek yapılan modellemeler sonucunda elde edilen taşıma gücü ve oturma değerleri karşılaştırılarak değişimleri irdelenmiştir.

7.3.1 Sonlu elemanlar yöntemi ve Plaxis

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık ve elle hesaplanması oldukça zaman alan, hatta imkansız olan mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Bu yöntem esas olarak fiziksel bir sistemin matematiksel olarak ifade edilmesine dayanır. Buna göre değişik ve karmaşık geometriye sahip sistemler, çok sayıda basit geometriye sahip parçacığa bölünerek bu parçacıkların ayrı ayrı çözülmesi suretiyle analiz edilir. Bu aşamada sistem parçalanırken esas sistemde yer alan süreksizlikler dikkate alınmalıdır. Örneğin; farklı malzeme özelliklerine sahip geometriler kendi içerisinde parçalara ayrılmalıdır. Ayrılan parçalar birbirlerine düğüm noktaları ile bağlanmak suretiyle esas geometriyi oluştururlar ve her bir parça için denge denklemleri yazılarak bilinmeyenler sınır şartları yardımıyla elde edilir. Her elemanın şekli, bu elemanı oluşturan düğüm noktalarının koordinatlarıyla belirlenir. Bu şekilde yapılan analizin bir boyutlu olması durumunda elemanlar doğrusal, iki boyutlu olması durumunda elemanlar kare, üçgen ya da dikdörtgen ve üç boyutlu olması durumunda üçgen prizma, dikdörtgen prizma vb. şekillerden oluşurlar. Her düğüm noktasının belirli bir serbestlik derecesi vardır ve bu serbestlik dereceleri elde edilmesi gereken bilinmeyenleri işaret etmektedir. Çözüm için bir asıl değişken seçilerek tek bir elemanda bu değişkenin davranışı modellenir ve matris hesap yöntemiyle tüm sisteme uygulanarak

bilinmeyenler hesaplanır. Elde edilen ana değişkenler yardımıyla ikincil değişkenler elde edilir (Brinkgreve ve Broere, 2006).

İşlem hacminin büyümesi dezavantaj olarak görünse de bu olumsuzluk bilgisayar yardımı ile aşılmaktadır. Son yıllarda, yeterli hassasiyette sonuçlar veren ve bu tez kapsamında da kullanılan Plaxis gibi sonlu elemanlar yöntemine dayalı birçok hazır paket program mevcuttur (Küsin, 2009).

7.3.2 Malzeme modelleri

Plaxis geoteknik uygulamaları için hazırlanmış zemin davranışını zemin modelleri ile çözümlen bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Plaxis yazılımı çok dikkatli ve özenli bir çalışmanın ürünü olması ve birçok deneyin ve onaylama çalışmasının yapılmasına rağmen hatalar içermediği söylenemez. Buna ilave olarak zemin mekaniği problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal olarak modellenmesi bazı hataları kaçınılmaz kılmaktadır. Modelleme sonuçlarının gerçek koşullara olan yakınlığı kullanıcının modelleme sürecinde zemin koşullarını ve sınırlamalarını belirlemesi, zemin parametrelerini seçimi ve sayısal hesaplama sonuçlarını inceleme yeteneğine fazlası ile bağlıdır. Bunun sonucu olarak Plaxis gibi mühendislik sayısal analiz yazılımlarının sadece konu ile ilgili tecrübe ve yeterliliği olan kişiler tarafından kullanılmalıdır. Kullanıcı oluşturduğu sayısal modelin sonuçlarını tasarım yaparken kullanırken aldığı sorumluluğun bilincinde olmalıdır (Brinkgreve, 2002).

Lineer elastik model (Lineer elastik model): Bu yaklaşım izotropik lineer elastik malzemelerin davranışlarının Hooke kanununa uygunluğu esasına dayanır. Zeminin davranışını belirleyen başlıca 2 parametre vardır. Bunlar elastisite modülü (E) ve poisson oranıdır (ν). Lineer elastik modelin zemin davranışının modellenmesinde kullanımı kısıtlıdır. Genellikle zemin içerisindeki rijit yapıların modellenmesi için kullanılır.

Mohr-Coulomb (MC) modeli: Bu yaklaşım zemin davranışının modellenmesinde en sık kullanılan zemin davranış yaklaşımıdır. Zeminin davranışını belirleyen başlıca 5 parametre vardır. Bunlar elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), kayma mukavemeti açısı (ϕ), kohezyon (c) ve dilantans açısıdır (ψ).

Jointed rock model (Mafsallı kaya modeli): Bu yaklaşım anizotropik elastik-plastik bir model öngörür. Bu yaklaşımda plastik kayma sadece sınırlı sayıda kayma düzleminde gerçekleşebilir. Bu model katmanlı ve mafsallı kayaların modellenmesi için uygundur.

Hardening soil (HS) model (Pekleşen/Sertleşmiş zemin modeli): Bu yaklaşım sürtünme sertleşmesi plastisitesi formülü çerçevesinde oluşturulmuş hiperbolik ve elastoplastik bir modeldir. İlave olarak bu modelde temel basınç altında kalıcı kompaksiyonun ifade edilmesi için basınç sertleşmesini de içerir. Bu ikinci dereceden model kum, çakıl davranışını yansıtabildiği gibi kil ve silt gibi daha yumuşak zeminlerinde davranışını yansıtır (Brinkgreve, 2002). Pekleşen Zemin modelinde, Mohr- Coulomb zemin modelinin tanımında detaylı olarak yer verilen Elastisite Modülü dışındaki dört parametreye ek olarak, üç eksenli basınç deneyinden elde edilen üç ayrı Elastisite Modülü parametresi (E_{50} , E_{oed} , E_{ur}) ile zeminin davranışı daha hassas bir şekilde tanımlanabilmektedir (Brinkgreve ve Broere, 2006).

Soft soil model (Yumuşak zemin modeli): Bu model normal konsolide kil ve organik zeminler gibi yumuşak zeminlerin davranışını yansıtır. Bu yaklaşım en iyi birincil gerilme durumlarında sonuç verir.

Soft soil creep model (Yumuşak zemin sünme modeli): Bu model ikinci derece viskoplastisite formülüne dayanır. Bu model normal konsolide kil ve organik zeminler gibi yumuşak zeminlerin zamana bağlı davranışlarını yansıtır. Bu modelde ayrıca logaritmik sıkışmayı da içerir.

User-defined soil model (Kullanıcı tarafından belirlenmiş zemin modeli): Bu yaklaşımda kullanıcı zemin davranışı formüllerini programa kendisi aktarır (Brinkgreve, 2002).

7.3.3 Geometrik model parametrelerinin belirlenmesi ve izlenen yöntem

Geometrik model yeraltı su seviyesinin 1 m olduğu tek tabakalı zemin olarak belirlenmiştir. Tek tabaka için farklı içsel sürtünme açlarına ($\phi=26^\circ$, $\phi=28^\circ$, $\phi=30^\circ$, $\phi=32^\circ$) sahip çok gevşek ve gevşek kumlu zeminler seçilerek 4 farklı zemin modeli oluşturulmuştur (Çizelge 7.11, Çizelge 7.12). Oluşturulan çok gevşek ve gevşek kumlu

zemin modellerinde 60 cm çapında, 9 m, 12 m, 15 m ve 20 m boylarında tekil jet grout kolonlar tasarlanmıştır (Şekil 7.1, Şekil 7.2, Şekil 7.3, Şekil 7.4).

Çizelge 7.11. Mohr Coulomb modelin zemin parametre değerleri

Zemin Modeli	MC	MC	MC	MC	Birim
Zemin Davranış Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	26	28	30	32	°
Kuru birim hacim ağırlık (γ_k)	13	13.5	14	15	kN/m ³
Suya doymun birim hacim ağırlık (γ_d)	17	17.5	18	19	kN/m ³
Yatay geçirgenlik (k_x)	0.5	0.1	0.05	0.01	m/day
Düşey geçirgenlik (k_y)	0.5	0.1	0.05	0.01	m/day
Elastisite Modülü (E_{ref})	10	15	24	28	MPa
Poisson Oranı (μ)	0.2	0.25	0.3	0.35	-
Kohezyon (c_{ref})	1	1	1	1	kN/m ²
Dilatans Açısı (ψ)	0	0	0	2	°

Çizelge 7.12. Pekleşen zemin modelin zemin parametre değerleri

Zemin Modeli	HS	HS	HS	HS	Birim
Zemin Davranış Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	26	28	30	32	°
Kuru birim hacim ağırlık (γ_k)	13	13.5	14	15	kN/m ³
Suya doymun birim hacim ağırlık (γ_d)	17	17.5	18	19	kN/m ³
Yatay geçirgenlik (k_x)	0.5	0.1	0.05	0.01	m/day
Düşey geçirgenlik (k_y)	0.5	0.1	0.05	0.01	m/day
Elastisite Modülü (E_{50})	10	15	24	28	MPa
Elastisite Modülü (E_{ur})	30	45	72	84	MPa
Poisson Oranı (μ)	0.2	0.25	0.3	0.35	-
Kohezyon (c_{ref})	1	1	1	1	kN/m ²
Dilatans Açısı (ψ)	0	0	0	2	°

Çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde tekil jet grout kolonun doğru olarak tasarlanması için zemini ve jet grout kolonu tanımlayan parametrelerin Plaxis sayısal yazılımına doğru olarak girilmesi gerekir. Tutarlı bir tasarım için zemin koşullarının ve jet grout kolon parametrelerinin doğru belirlenmiş olması şarttır.

Jet grout kolonu sonlu elemanlar programında zemin ve plate eleman olarak iki farklı şekilde tanımlanmıştır (Çizelge 7.13, Çizelge 7.14, Çizelge 7.15).

Çizelge 7.13. Mohr Coulomb modelinde “zemin olarak tanımlanan” jet grout kolonun parametre değerleri

Zemin Modeli	MC	MC	MC	MC	Birim
Zemin Davranış Tipi	Non-porous	Non-porous	Non-porous	Non-porous	
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	26	28	30	32	°
Kuru birim hacim ağırlık (γ_k)	21	21.5	22	22.5	kN/m ³
Suya doymun birim hacim ağırlık (γ_d)	21	21.5	22	22.5	kN/m ³
Yatay geçirgenlik (k_x)	0	0	0	0	m/day
Düşey geçirgenlik (k_y)	0	0	0	0	m/day
Elastisite Modülü (E_{50})	12514	12954	13379	14190	MPa
Poisson Oranı (μ)	0.2	0.2	0.2	0.2	-
Kohezyon (c_{ref})	2800	3000	3200	3600	kN/m ²
Dilatans Açısı (ψ)	0	0	0	0	°

Çizelge 7.14. Pekleşen zemin modelinde “zemin olarak tanımlanan” jet grout kolonun parametre değerleri

Zemin Modeli	HS	HS	HS	HS	Birim
Zemin Davranış Tipi	Non-porous	Non-porous	Non-porous	Non-porous	
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	26	28	30	32	°
Kuru birim hacim ağırlık (γ_k)	21	21.5	22	22.5	kN/m ³
Suya doymun birim hacim ağırlık (γ_d)	21	21.5	22	22.5	kN/m ³
Yatay geçirgenlik (k_x)	0	0	0	0	m/day
Düşey geçirgenlik (k_y)	0	0	0	0	m/day
Elastisite Modülü (E_{50})	12514	12954	13379	14190	MPa
Elastisite Modülü (E_{ur})	37542	38862	40137	42570	MPa
Poisson Oranı (μ)	0.2	0.2	0.2	0.2	-
Kohezyon (c_{ref})	2800	3000	3200	3600	kN/m ²
Dilatans Açısı (ψ)	0	0	0	0	°

Çizelge 7.15. Eksenel simetri modelinde “plate eleman olarak tanımlanan” jet grout kolonun parametre değerleri

Kolon davranış tipi	Elastik	Elastik	Elastik	Elastik	Birim
Eksenel rijitlik (EA)	2.650E+06	2.750E+06	2.840E+06	3.010E+06	kN/m
Eğilme rijitliği (EI)	9940	1.030E+04	1.060E+04	1.130E+04	kN/m ² /m
w	0.85	0.85	0.85	0.85	kN/m/m
Poisson Oranı (μ)	0.2	0.2	0.2	0.2	-

Analizi yapılacak olan sistemin doğru modellenmesi çok önemlidir. Jet grout kolonunun iki boyutlu bir analiz programında gerçeğe yakın modellenebilmesi amacıyla eksenel simetrik model geometrisi seçilmiştir.

Programda hesap modeli olarak Mohr-Coulomb (MC) ve Pekleşen Zemin (HS) modelleri ele alınarak zemin model tipinin etkisini belirlemek amacıyla iki modelden de elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

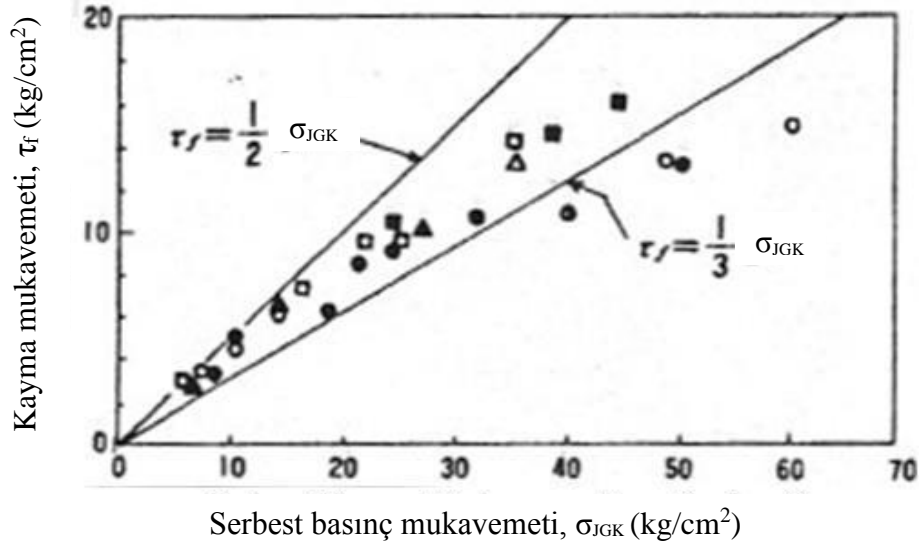
Mohr-Coulomb zemin hesap modeli zemin davranışının anlaşılmasında birinci derece bir yaklaşımda bulunmaktadır. Elastisite modülü (E), poisson oranı (μ), içsel sürtünme açısı (ϕ), kohezyon (c) parametreleri modele tanımlanarak hesap modeli kurulmaktadır.

Pekleşen zemin modeli ise zemin davranışına ikinci dereceden bir yaklaşımda bulunan bir hesap modelidir. Bu modelde, zeminde derinlikle beraber oluşan gerilme artışına bağlı olarak zeminin rijitlik parametreleri de değişim göstermektedir. Mohr-Coulomb hesap modelinde kullanılan başlangıç parametrelerine ek olarak yükleme ve boşaltma anı için ayrı elastisite modülleri tanımlanabilmektedir. Programın yükleme anında kullandığı elastisite modülü (E_{50}) ve boşaltma anında kullandığı gevşeme modülü (E_{ur}) arasında Eşitlik 7.1'deki bağıntı mevcuttur (Brinkgreve vd., 1998).

$$E_{ur} = (2 \sim 4) * E_{50} \quad (7.1)$$

Plaxis programına atanan zemine ait yükleme anında kullanılan elastisite modülü (E_{50}) ifadesi ile idealize zemin profili çıkarılırken tespit edilen zemin elastisite modülü (E_s) değerine eşit olduğu kabul edilmiştir. Eşitlik 7.1'deki bağıntıdan faydalanılarak gevşeme modülü değeri (E_{ur}), yükleme anında kullanılan elastisite modülü (E_{50}) değerinin 3 katı olarak seçilmiştir.

Yükleme deneyinde kullanılan jet grout kolonunun, yüksek mühendislik parametrelerine sahip bir zemin gibi modellenmesi ele alınmıştır. Çimento ile oluşturulan çapın yüksek kohezyon değerine sahip bir kütle gibi davranacağı öngörülmüştür (Doğanışık, 2010). Jet grout kolonun kayma mukavemeti ile kolon serbest basınç mukavemeti arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 7.21'de verilmiştir.



Şekil 7.21. Jet grout kolonun kayma mukavemeti ile serbest basınç mukavemeti ilişkisi (Yang vd., 1998)

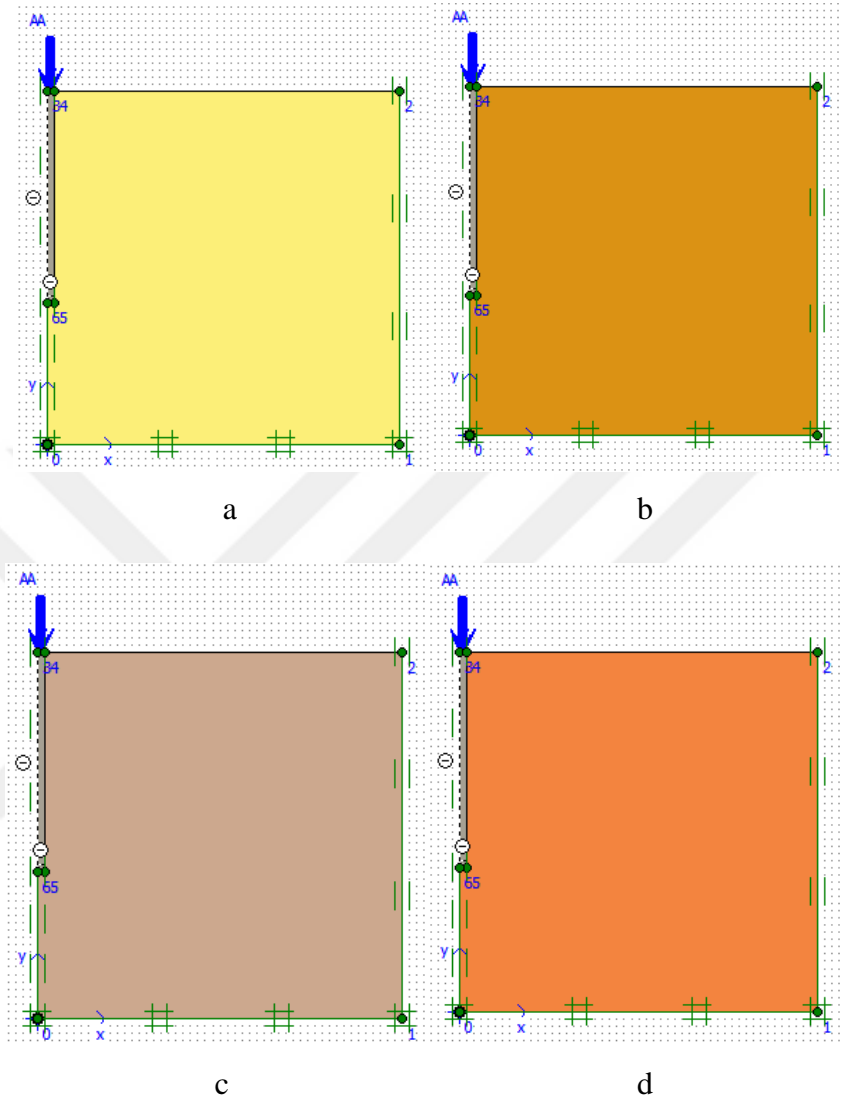
Grafikten de anlaşılacağı gibi kolon serbest basınç mukavemetinin (σ_{JGK}) %30 ile %50'si mertebesinde bir değer jet grout kolonunun kayma mukavemeti (τ_f) değerine eşittir. Dolayısıyla kayma mukavemeti ifadesi yalnızca kohezyon cinsinden ifade edilecek olursa, kohezyon parametresinin kayma mukavemeti değerine eşit olduğu sonucu çıkmaktadır. Çizelge 7.13 ve Çizelge 7.14'deki kohezyon değerleri, bu yaklaşımdan yola çıkarak kolon serbest basınç mukavemeti değerinin %40'ına karşı gelen değer olarak bulunmuştur.

Analiz edilecek sistemin sınır şartlarından etkilenmemesi için sonlu eleman ağının oluşturulacağı geometrinin x, y eksenlerinde yeterince büyük bir alanda yer alması gerekmektedir (Yazıcı, 2013). Bu alan, gerilmelerin değişmeyip sabit kaldığı yere kadar belirlenmelidir. Bu bağlamda eksenel simetri modelinde x, y eksenlerinde uygun sınır şartları belirlenerek modeller oluşturulmuştur.

7.3.4 Jet grout kolonun modellenmesi ve analizi

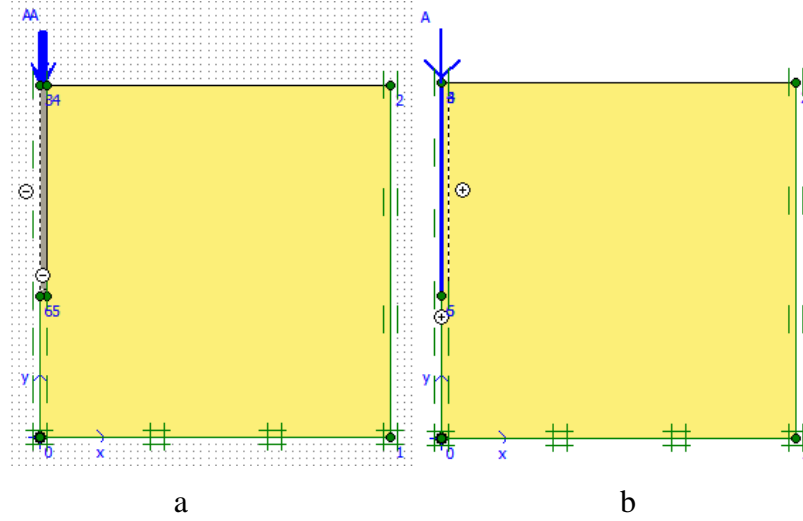
Çok gevşek ve gevşek kumlarda (ϕ 26°, ϕ 28°, ϕ 30°, ϕ 32°), 60 cm çapında, L=9 m, L=12 m, L=15 m, L=20 m boylarındaki tekil jet grout kolonları zemin ve plate eleman olarak eksenel simerik modellenmiştir. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolona gelen yükler yayılı yük olarak, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolona gelen yükler

tekil yük olarak etki ettirilmiştir. Eksenel simetri modelinde 60 cm çapında 9 m boyunda zemin olarak tanımlanan jet grout kolona ait modeller Şekil 7.22’de verilmiştir.



Şekil 7.22. Jet grout kolonun içsel sürtünme açısı 26° (a), 28° (b), 30° (c) ve 32° (d) olan zeminlerde modellenmesi

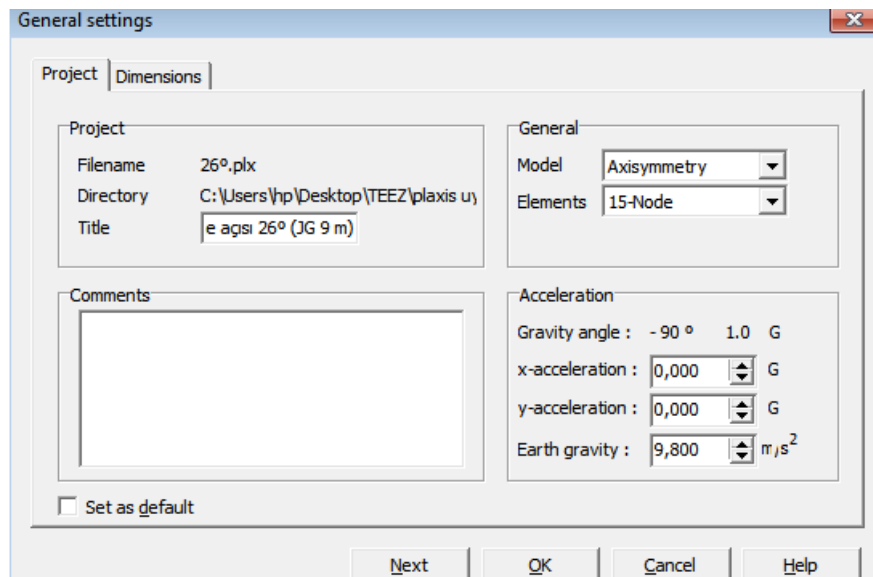
Şekil 7.23’de içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumda 9 m boyunda jet grout kolonun, x ekseninde 20 m, y ekseninde 15 m boyutlarında modellenmesi verilmiştir. Model boyutları, 12 m, 15 m, 20 m uzunluğundaki her bir jet grout kolon için farklı ölçülerde belirlenmiştir. Eksenel simetri modelinde jet grout kolon, hem zemin olarak hem de plate eleman olarak tanımlanmıştır.



Şekil 7.23. Jet grout kolonun zemin olarak (a) ve plate eleman olarak (b) tanımlandığı eksenel simetri modeli

Eksenel simetri modelinde jet grout kolonu plate eleman olarak tanımlandığında program modeli çözmediğinden jet grout kolonun sol tarafına 3 cm genişliğinde, plate eleman ile aynı boyda zemin olarak jet grout kolon tanımlanmıştır. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun yanına zemin olarak tanımlanan jet grout kolon programda olabilecek en az genişlikte tanımlanmıştır.

Modelleme yapılmadan önce genel ayarlardan proje adı, eksenel simetri modeli ve boyut ölçüleri belirlenmiştir (Şekil 7.24).



Şekil 7.24. Genel ayarların ve eksenel simetrisinin belirlenmesi

Bir tanesi zemini bir tanesi de jet grout kolonu temsil etmek üzere iki ayrı zeminin tanımlandığı bir model ile jet grout kolonun plate eleman olarak tanımlandığı bir model oluşturulmuştur ve parametre değerleri girilmiştir (Şekil 7.25, Şekil 7.26, Şekil 7.27). Her iki model için de Mohr-Coulomb ve pekleşen zemin (Hardening Soil) modellerine göre analizler yapılmıştır. Mohr Coulomb hesap modeli için zeminin ve jet grout kolonun (zemin ve plate eleman olarak tanımlanan) hesap parametreleri Çizelge 7.11, Çizelge 7.13 ve Çizelge 7.15'ten alınmıştır.

a

b

Şekil 7.25. Zemin modelinin belirlenmesi (a) ve zemin parametrelerinin girilmesi (b)

Mohr-Coulomb - jg 9 m

General Parameters Interfaces

Material Set

Identification: jg 9 m

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: Non-porous

General properties

γ_{unsat} : 21,000 kN/m³

γ_{sat} : 21,000 kN/m³

Comments

Permeability

k_x : 0,000 m/day

k_y : 0,000 m/day

Advanced...

Next Ok Cancel Help

a

Mohr-Coulomb - jg 9 m

General Parameters Interfaces

Stiffness

E_{ref} : 1,251E+07 kN/m²

ν (nu): 0,200

Strength

c_{ref} : 2800,000 kN/m²

ϕ (phi): 26,000 °

ψ (psi): 0,000 °

Alternatives

G_{ref} : 5,214E+06 kN/m²

E_{oed} : 1,390E+07 kN/m²

Velocities

V_s : 1560,000 m/s

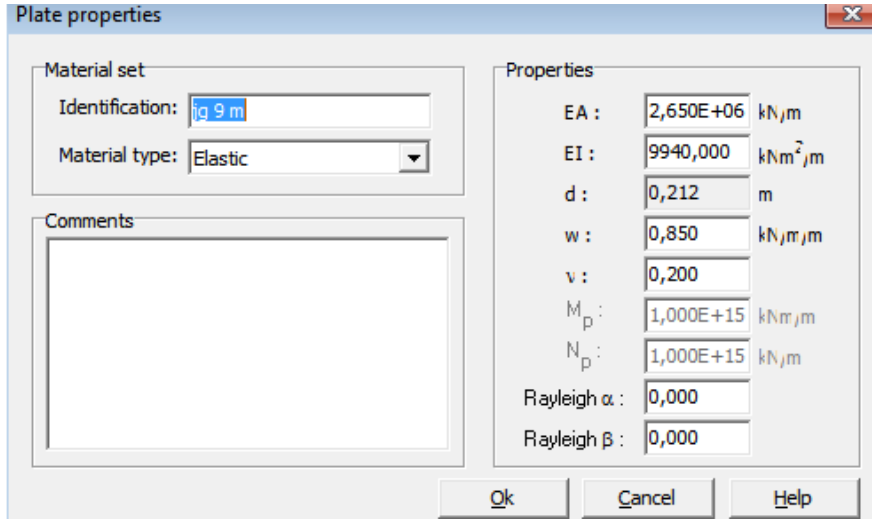
V_p : 2547,000 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

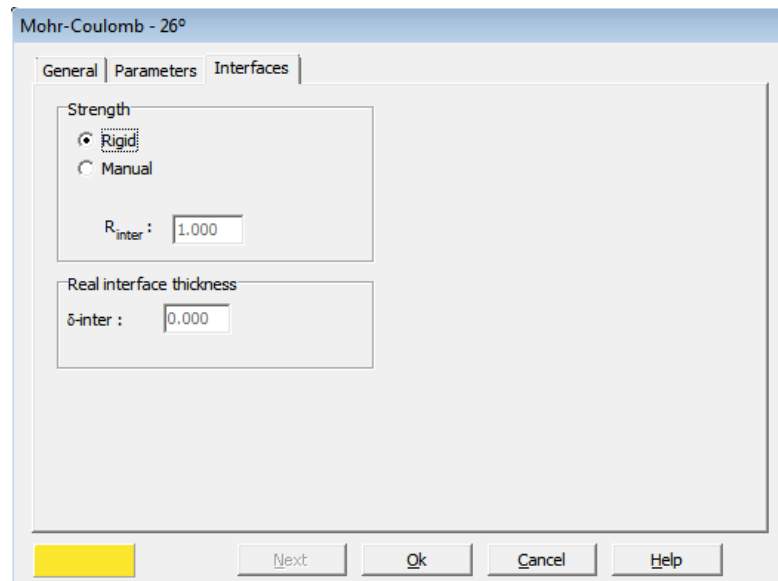
b

Şekil 7.26. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolon parametrelerinin girilmesi



Şekil 7.27. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolon parametrelerinin girilmesi

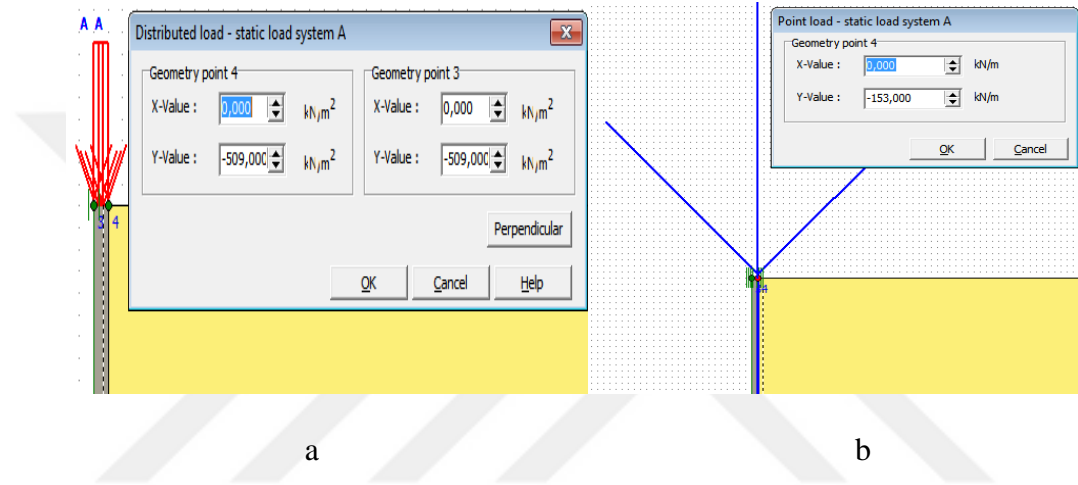
Ara yüzey elemanları zemin – yapı etkileşimini modellemek amacıyla kullanılmaktadır. Ara yüzey elemanları kullanıldığında zemin – yapı ara yüzeyindeki izafi hareketlere izin verilmektedir. Zemin – yapı ara yüzeyinde kuvvet azalmasının meydana gelmesi dikkate alınması gereken bir faktördür. Azalma faktörleri yapı yüzeyindeki pürüzlülüğe göre değişmektedir. Plaxis programında pürüzlülük, R_{inter} parametresi ile tanımlanmaktadır ve değeri 0.01 ile 1.0 arasında değişmektedir. Bu değer 1.0 olarak alınması ara yüzeyin tüm kuvvetinin modellendiği anlamına gelmektedir (Küsin, 2009). Modelde ara yüzey elemanı tanımlanıp değeri 1 olarak alınmıştır (Şekil 7.28).



Şekil 7.28. R_{inter} parametre değerinin belirlenmesi

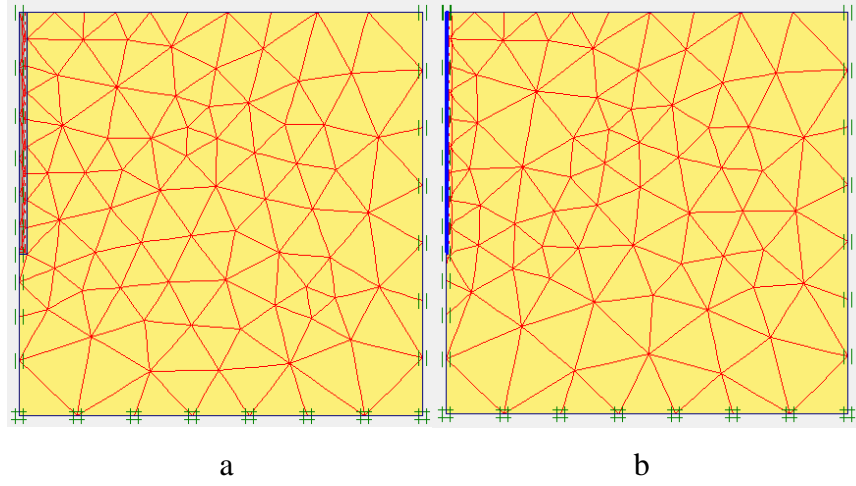
Pekleşen zemin (Hardening Soil) hesap modeli için zeminin ve jet grout kolonun hesap parametreleri Çizelge 7.12, Çizelge 7.14 ve Çizelge 7.15'ten alınmıştır. Mohr Coulomb hesap modelinde olduğu gibi parametreler, plaxis programında girilmiştir. Parametrelerin girilmesiyle oluşturulan zemin ve jet grout malzemeleri modelde çizildikleri yerlere atanmıştır.

Plaxis 2D programında oluşturulan geometrik modele yük değerlerinin girilmesi, Şekil 7.29'da gösterilmiştir.



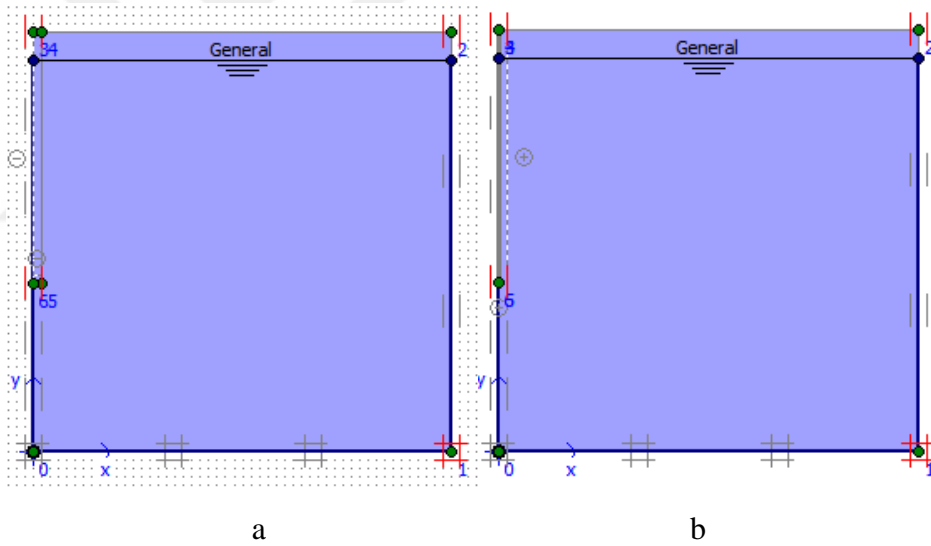
Şekil 7.29. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin yük değerlerinin girilmesi

Zemin ve jet grout kolonun değerleri atandıktan sonra iki boyutlu ağ sistemi oluşturulmuştur. Model kurulurken oluşturulan bu ağ sistemi sayesinde tanımlanan her bölge kendi içinde ayrı hesaplanmaktadır. Böylece hesap sürecinde oluşabilecek hatalar minimuma indirgenmiş olacaktır. Oluşturulan her bir ağ içinde 6 veya 15 adet nokta program tarafından atanır. Bu noktalarda gerilme, şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncı gibi parametreler hesaplanır. Model kurulumu sonrası oluşan tipik bir ağ sistemi Şekil 7.30'da verilmiştir.



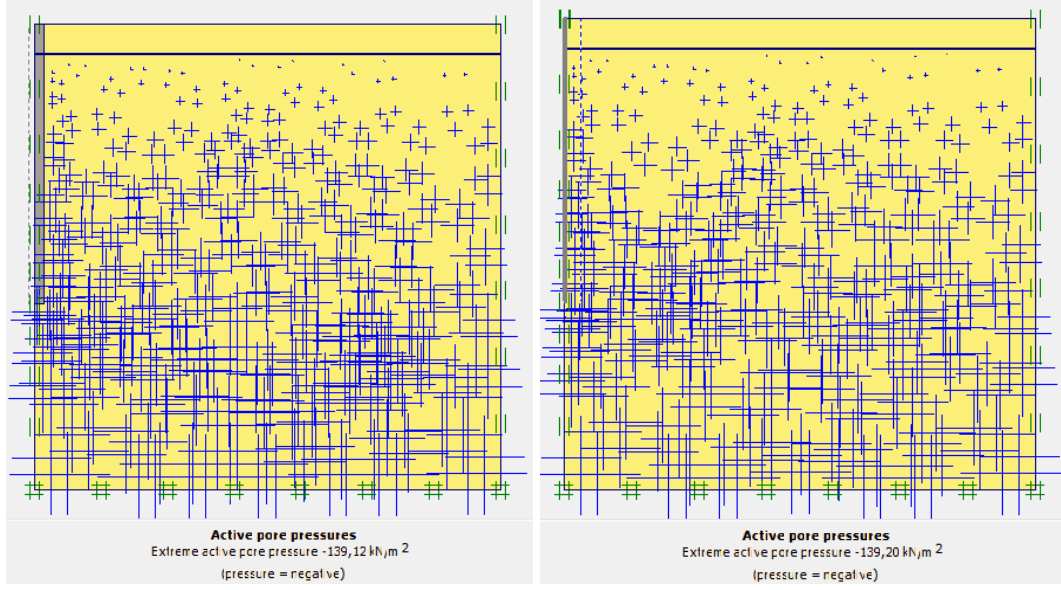
Şekil 7.30. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin iki boyutlu ağ sistemi

Zemin yer altı su seviyesi sabit ve 1 m alınmış olup, Şekil 7.31’de gösterilmiştir.



Şekil 7.31. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin yeraltı su seviyesi

Yeraltı su seviyesi çizildikten sonra boşluk suyu basıncı hesaplanmıştır (Şekil 7.32).

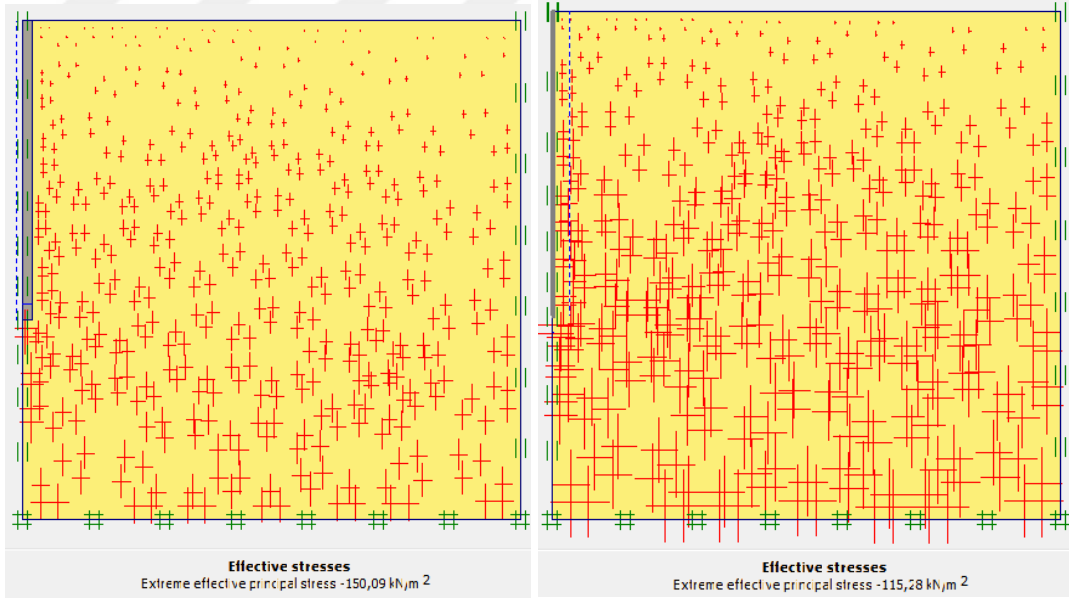


a

b

Şekil 7.32. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin boşluk suyu basıncı

Boşluk suyu basıncı hesaplandıktan sonra zemin modellerinin efektif gerilmeleri hesaplanmıştır (Şekil 7.33).

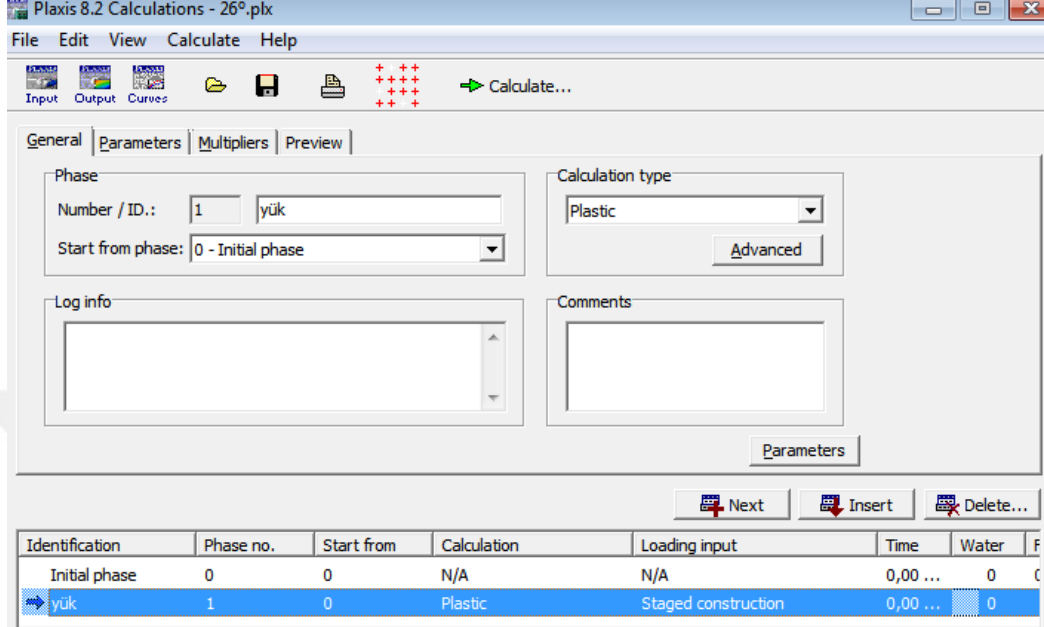


a

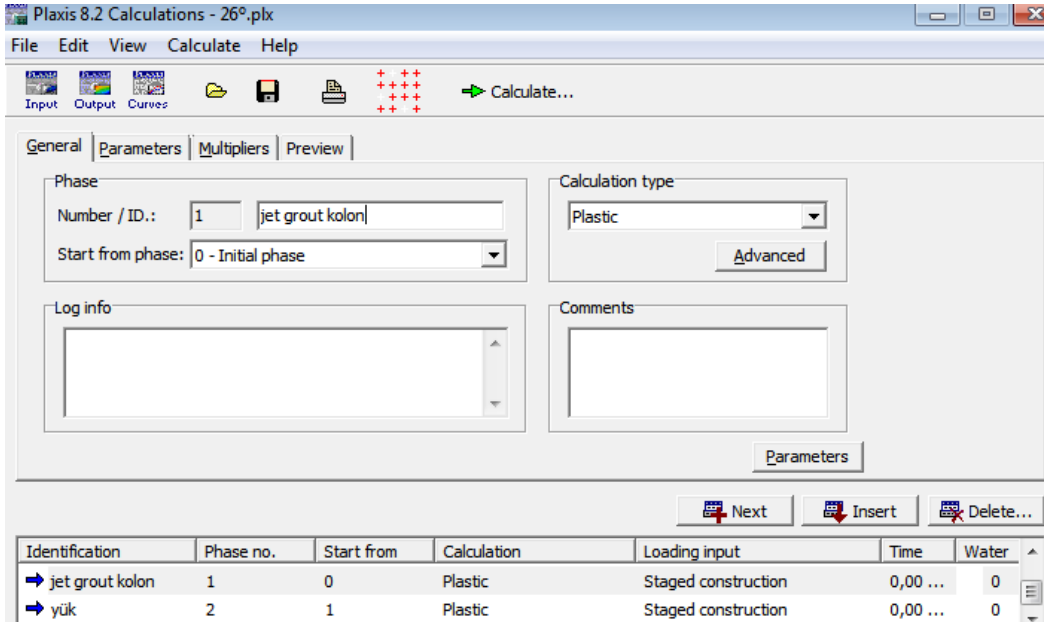
b

Şekil 7.33. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin efektif gerilmesi

Modellerin analizi için hesap aşamaları oluşturulmuştur (Şekil 7.34, Şekil 7.35). Hesap aşamasında Plaxis programının “Staged Construction” özelliği kullanılmış, jet grout kolonun imalatı ve yüklerin etkinleştirilmesi gerçeğe uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

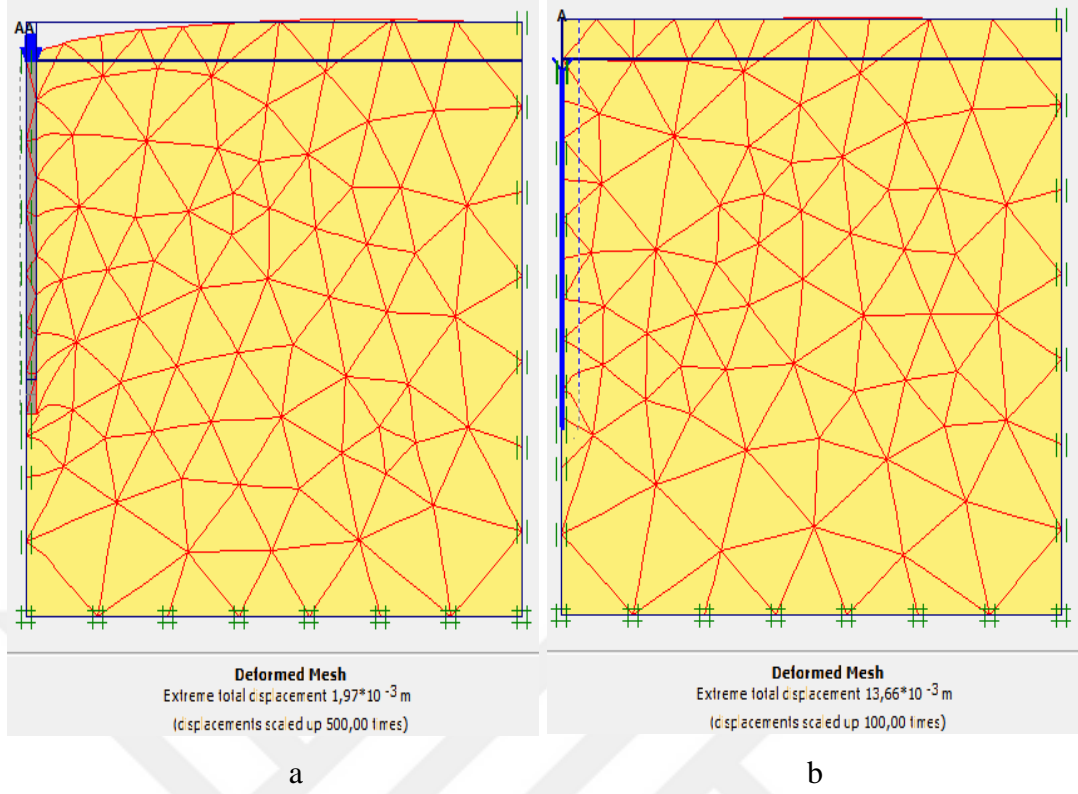


Şekil 7.34. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun hesap aşamaları



Şekil 7.35. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun hesap aşamaları

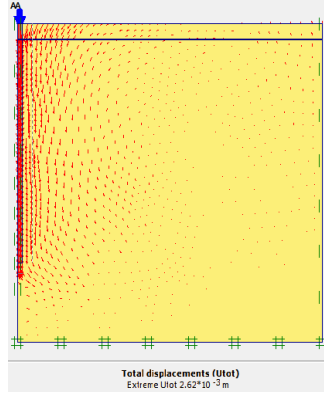
Analiz yapıldıktan sonra elde edilen oturma değerleri Şekil 7.36’da gösterilmiştir.



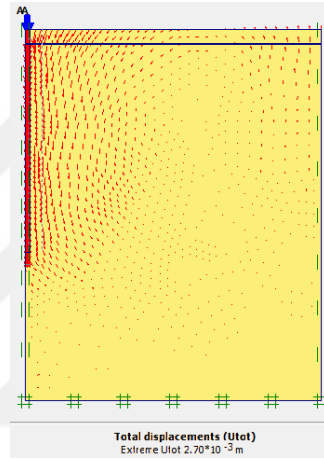
Şekil 7.36. Zemin olarak tanımlanan (a) ve plate eleman olarak tanımlanan (b) jet grout kolon modelinin oturma değerleri

7.3.4.1 Modelde boyut etkisi

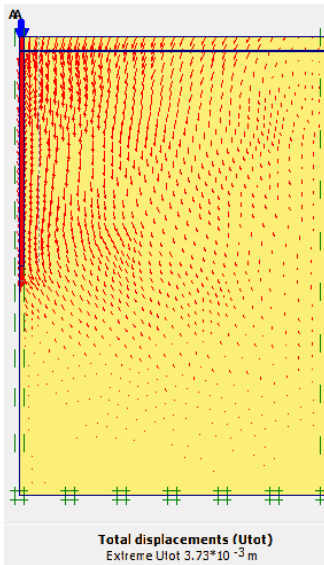
Modellemede boyut etkisine dikkat etmek için, $\phi=26^\circ$ gevşek kumlu zeminde 60 cm çapında 15 m boyunda jet grout kolonu, 20 m x 20 m, 20 m x 25 m, 20 m x 30 m boyutları seçilerek modellenmiştir. Bu modellerde düşey deplasmanların ve deformasyonların etkin olduğu alanlar incelenmiştir (Şekil 7.37, Şekil 7.38, Şekil 7.39, Şekil 7.40, Şekil 7.41, Şekil 7.42, Şekil 7.43, Şekil 7.44, Şekil 7.45).



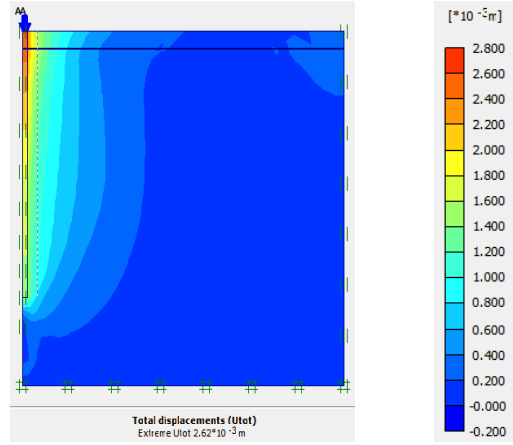
Şekil 7.37. 20 m x 20 m boyutlarındaki modelde jet grout kolonda toplam deplasmanın etki alanı



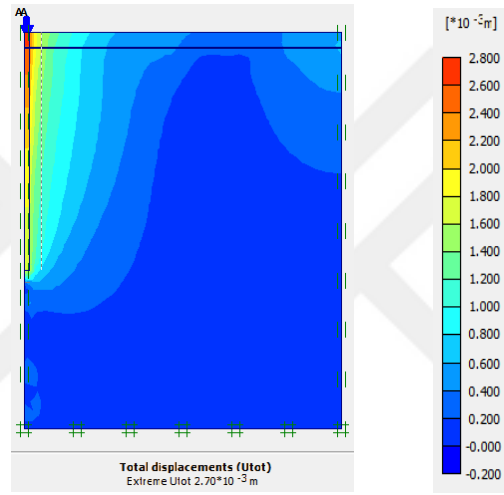
Şekil 7.38. 20 m x 25 m boyutlarındaki modelde jet grout kolonda toplam deplasmanın etki alanı



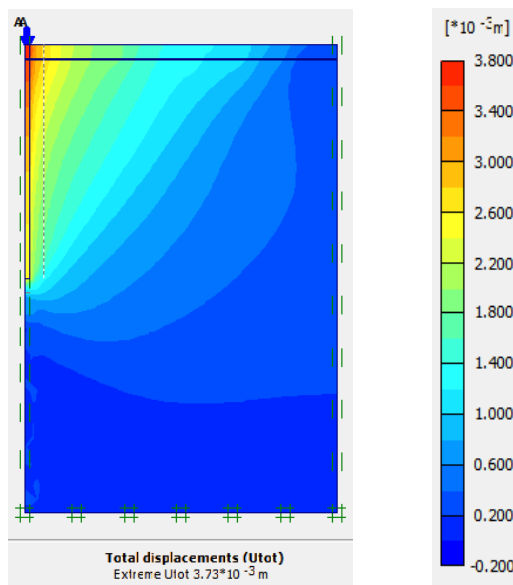
Şekil 7.39. 20 m x 30 m boyutlarındaki modelde jet grout kolonda toplam deplasmanın etki alanı



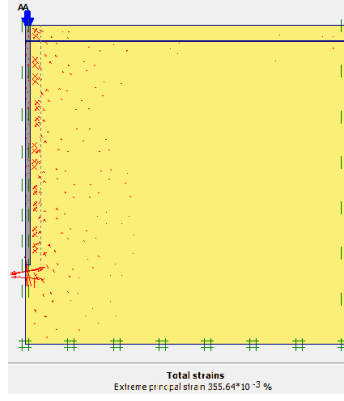
Şekil 7.40. 20 m x 20 m modelinde jet grout kolonda toplam deplasman kesiti



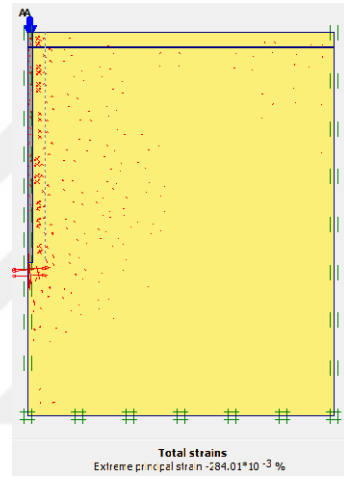
Şekil 7.41. 20 m x 25 m modelinde jet grout kolonda toplam deplasman kesiti



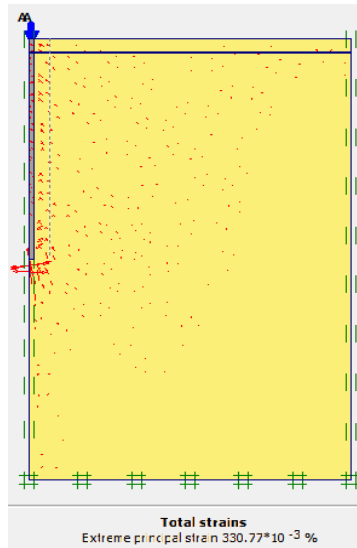
Şekil 7.42. 20 m x 30 m modelinde jet grout kolonda toplam deplasman kesiti



Şekil 7.43. 20 m x 20 m boyutlarındaki modelde jet grout kolondaki toplam deformasyon



Şekil 7.44. 20 m x 25 m boyutlarındaki modelde jet grout kolondaki toplam deformasyon



Şekil 7.45. 20 m x 30 m boyutlarındaki modelde jet grout kolondaki toplam deformasyon

20 m x 20 m, 20 m x 25 m ve 20 m x 30 m boyutlarındaki modellerde toplam deplasman ve toplam deformasyonun etkili olduğu alan sınırlarına bakılarak model boyutları belirlenmiştir.

7.3.4.2 Analiz sonuçları

Oturma değerleri

Çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde ($\phi=26^\circ$, $\phi=28^\circ$, $\phi=30^\circ$, $\phi=32^\circ$), 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m ve 20 m boyunda zemin ve plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun, aksenal simetri olarak Mohr Coulomb ve pekleşen zemin modeliyle analizleri yapılmıştır.

Jet grout kolonun “zemin olarak tanımlandığı” modelden elde edilen maksimum oturma değerleri Çizelge 7.16 ve Çizelge 7.17’de verilmiştir.

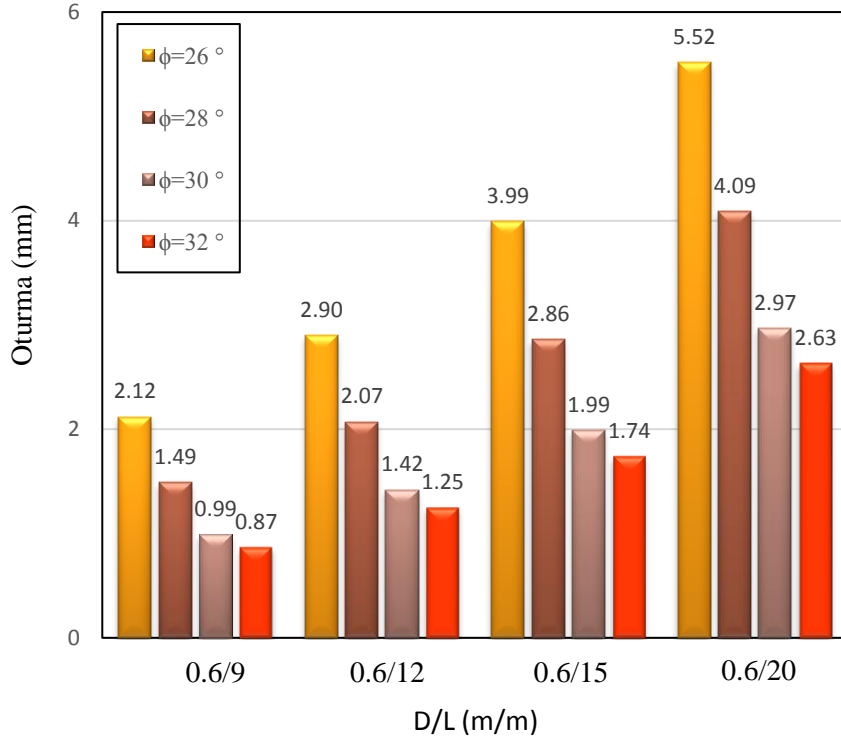
Çizelge 7.16. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelindeki maksimum oturma değerleri

D/L (m/m)	Oturma (mm)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
0.6/9	2.12	1.49	0.99	0.87
0.6/12	2.90	2.07	1.42	1.25
0.6/15	3.99	2.86	1.99	1.74
0.6/20	5.52	4.09	2.97	2.63

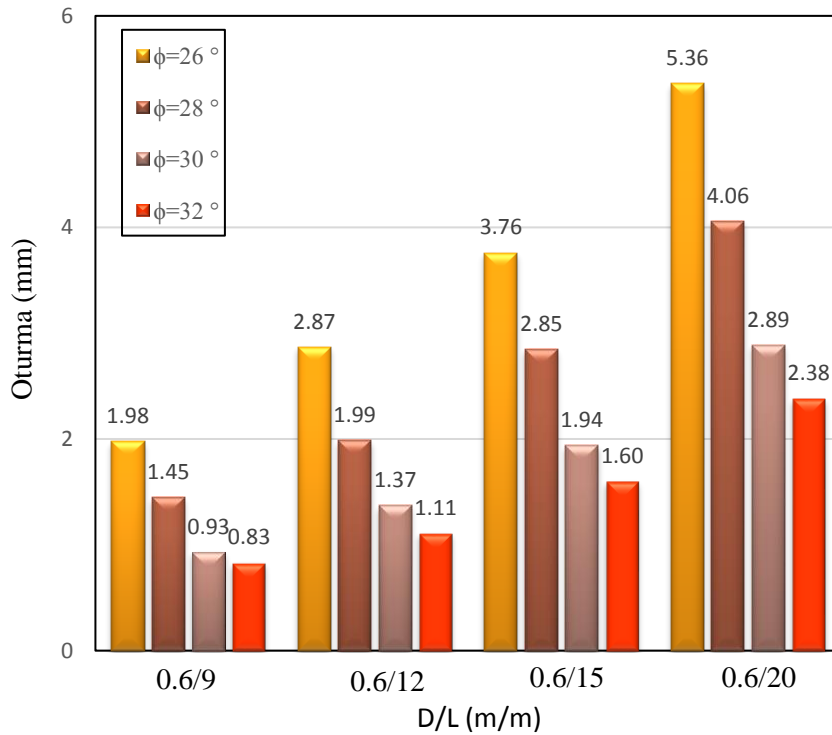
Çizelge 7.17. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki maksimum oturma değerleri

D/L (m/m)	Oturma (mm)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
0.6/9	1.98	1.45	0,933	0.831
0.6/12	2.87	1.99	1.37	1.11
0.6/15	3.76	2.85	1.94	1.60
0.6/20	5.36	4.06	2.89	2.38

Jet grout kolonun zemin olarak tanımlandığı modelden elde edilen maksimum oturma değerleri ile jet grout kolon boyu ve içsel sürtünme açısıyla değişimi Şekil 7.46 ve Şekil 7.47’de verilmiştir.



Şekil 7.46. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelindeki maksimum oturma değerleri



Şekil 7.47. Zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekkışen Zemin modelindeki maksimum oturma değerleri

Jet grout kolonun plate eleman olarak tanımlandığı durumda elde edilen maksimum oturma değerleri Çizelge 7.18 ve Çizelge 7.19’da verilmiştir.

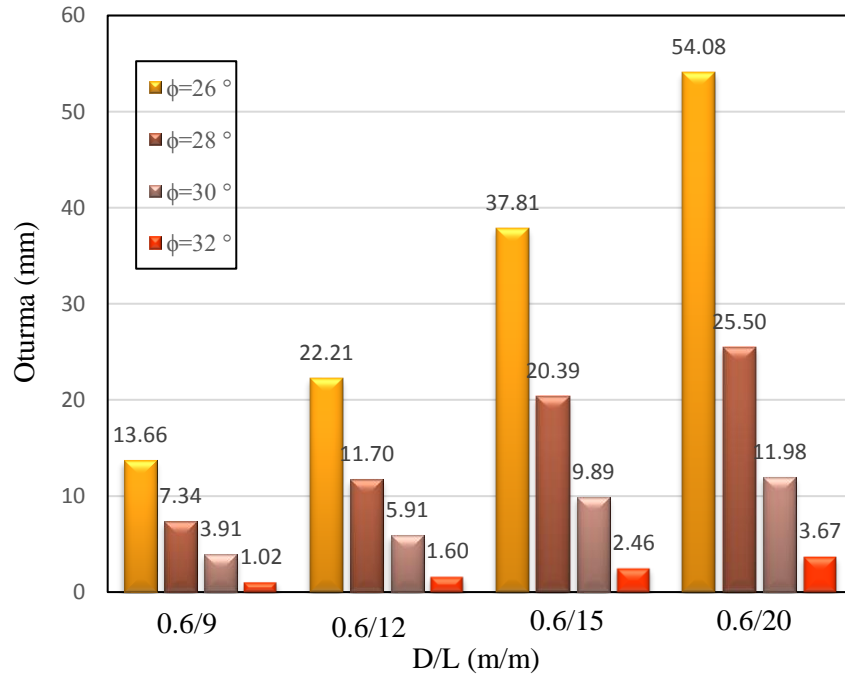
Çizelge 7.18. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelindeki maksimum oturma değerleri

D/L (m/m)	Oturma (mm)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
0.6/9	13.66	7.34	3.91	1.02
0.6/12	22.21	11.70	5.91	1.60
0.6/15	37.81	20.39	9.89	2.46
0.6/20	54.08	25.50	11.98	3.67

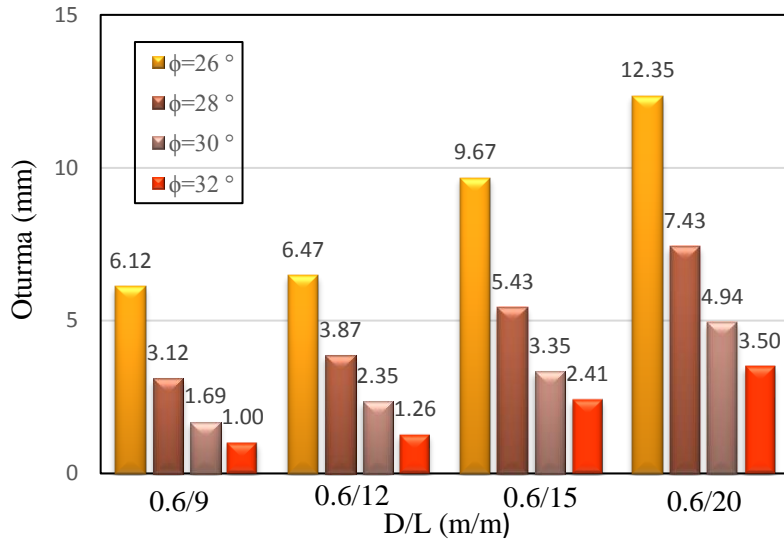
Çizelge 7.19. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki maksimum oturma değerleri

D/L (m/m)	Oturma (mm)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
0.6/9	6.12	3.12	1.69	1.00
0.6/12	6.47	3.87	2.35	1.26
0.6/15	9.67	5.43	3.35	2.41
0.6/20	12.35	7.43	4.94	3.50

Jet grout kolonun plate eleman olarak tanımlandığı modelden elde edilen maksimum oturma değerleri ile jet grout kolon boyu ve içsel sürtünme açısıyla değişimi Şekil 7.48 ve Şekil 7.49’da verilmiştir.



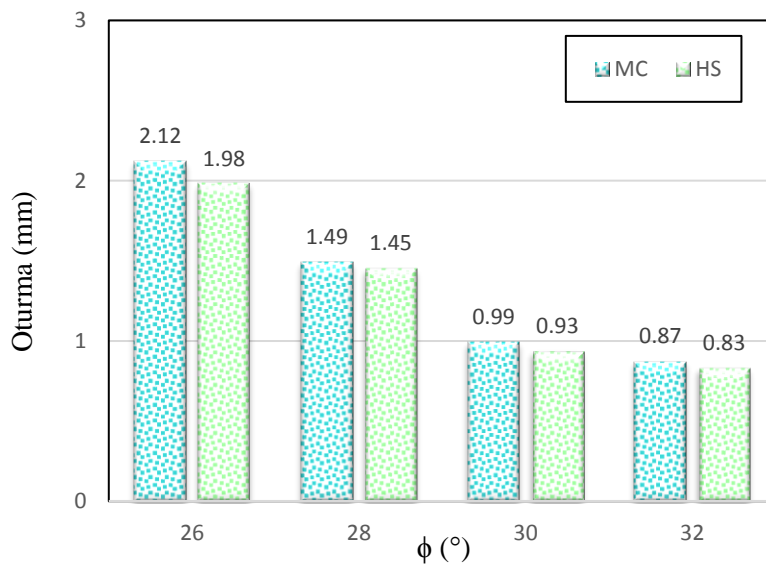
Şekil 7.48. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelindeki maksimum oturma değerleri



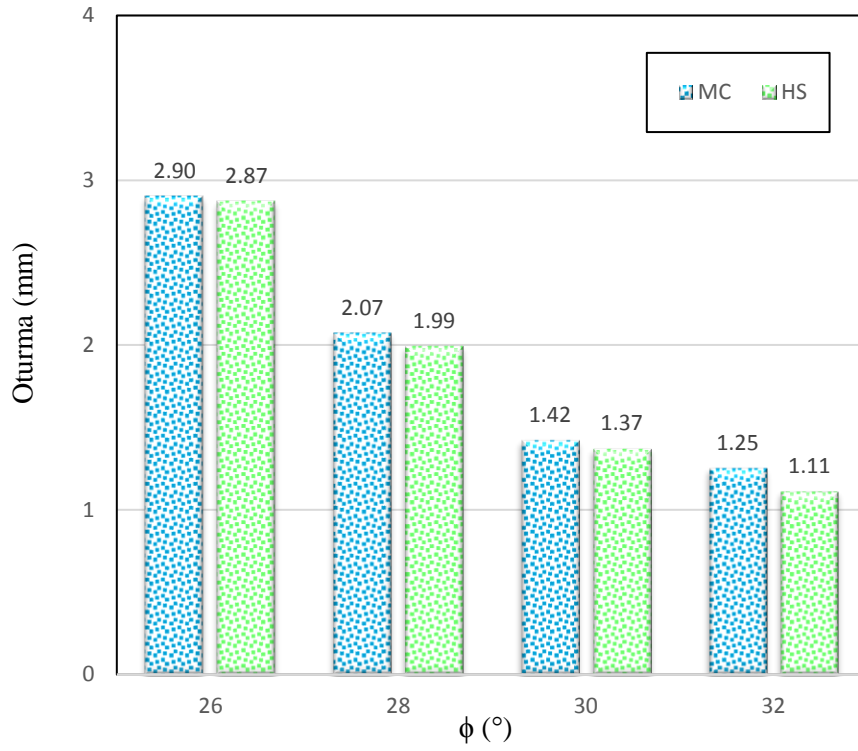
Şekil 7.49. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki maksimum oturma değerleri

Mohr Coulomb ve Pekleşen Zemin (Hardening Soil) modellerinden elde edilen maksimum (en büyük) oturma değerlerinin karşılaştırılması

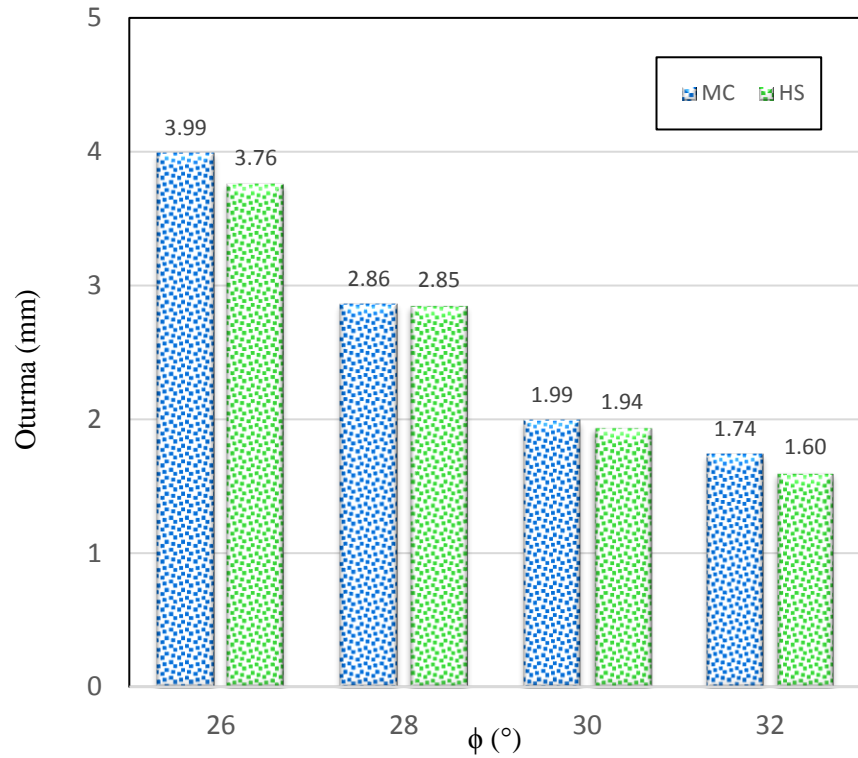
Modelde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun, Mohr Coulomb ve pekleşen zemin modellerinden elde edilen maksimum oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların maksimum oturma ve içsel sürtünme açısıyla ilişkileri belirlenmiştir (Şekil 7.50, Şekil 7.51, Şekil 7.52, Şekil 7.53).



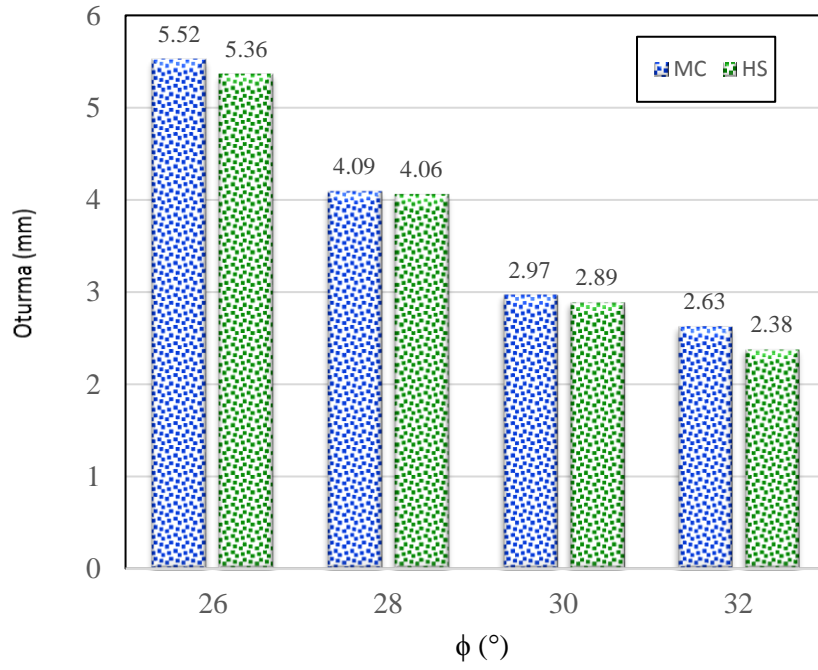
Şekil 7.50. Modelde zemin olarak tanımlanan 9 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri



Şekil 7.51. Modelde zemin olarak tanımlanan 12 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri

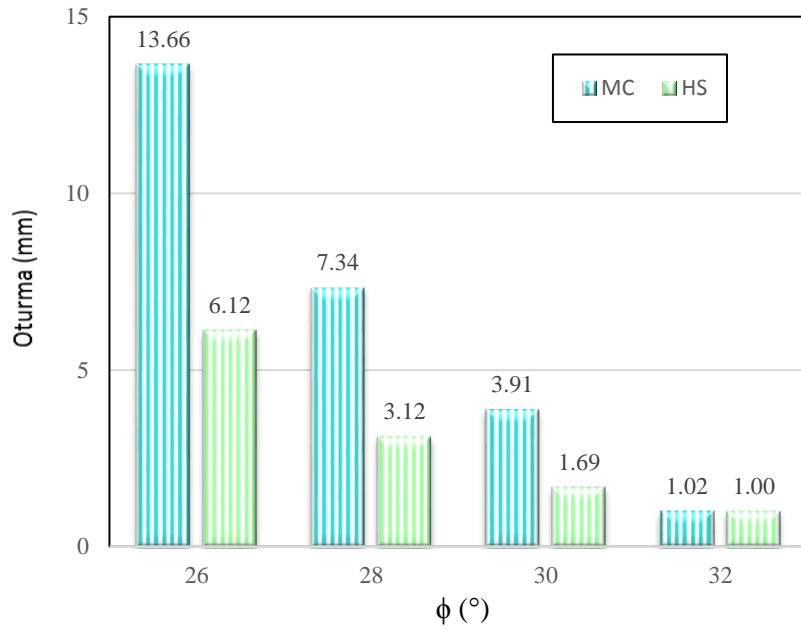


Şekil 7.52. Modelde zemin olarak tanımlanan 15 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri

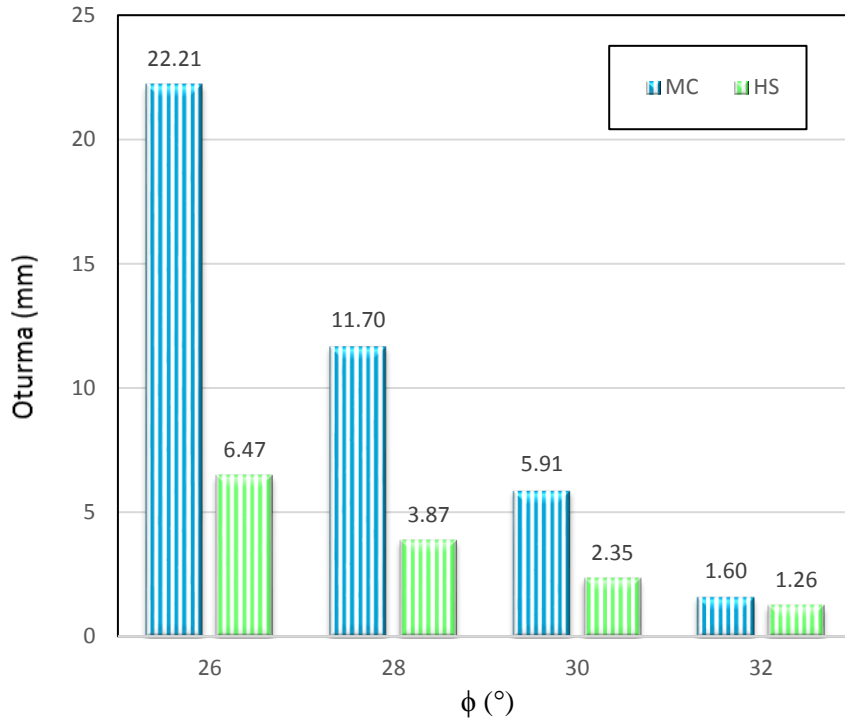


Şekil 7.53. Modelde zemin olarak tanımlanan 20 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri

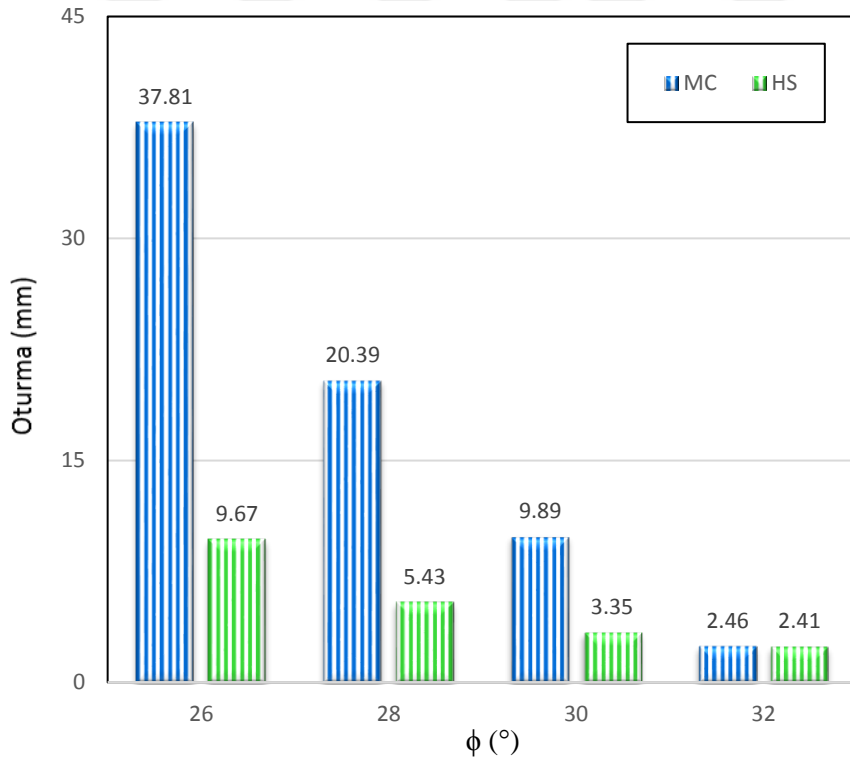
Eksenel simetri modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun, Mohr Coulomb ve pekleşen zemin modellerinden elde edilen değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla ilişkili grafikleri çizilmiştir (Şekil 7.54, Şekil 7.55, Şekil 7.56, Şekil 7.57).



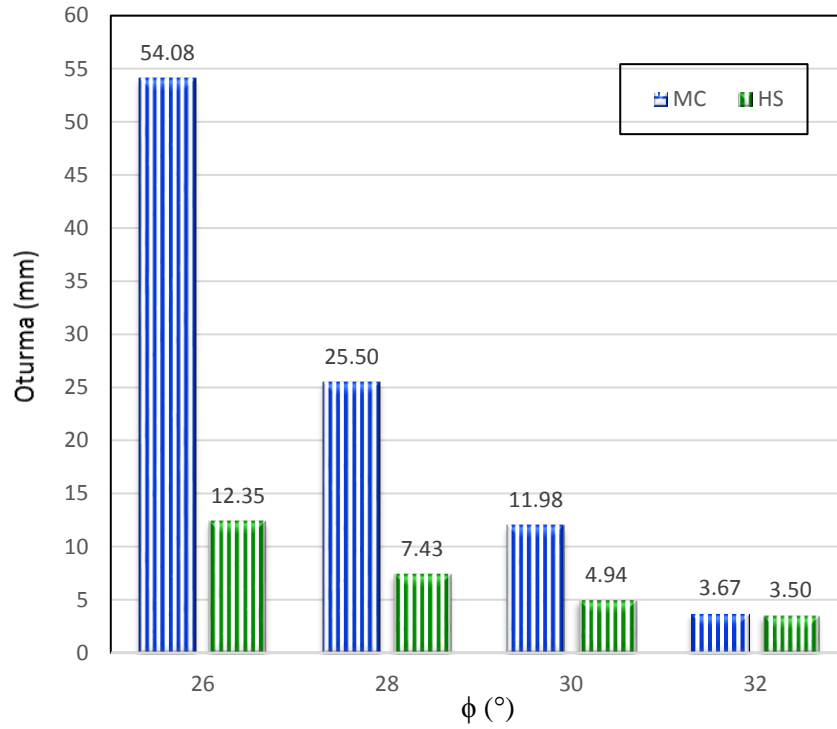
Şekil 7.54. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 9 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri



Şekil 7.55. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 12 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri



Şekil 7.56. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 15 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri

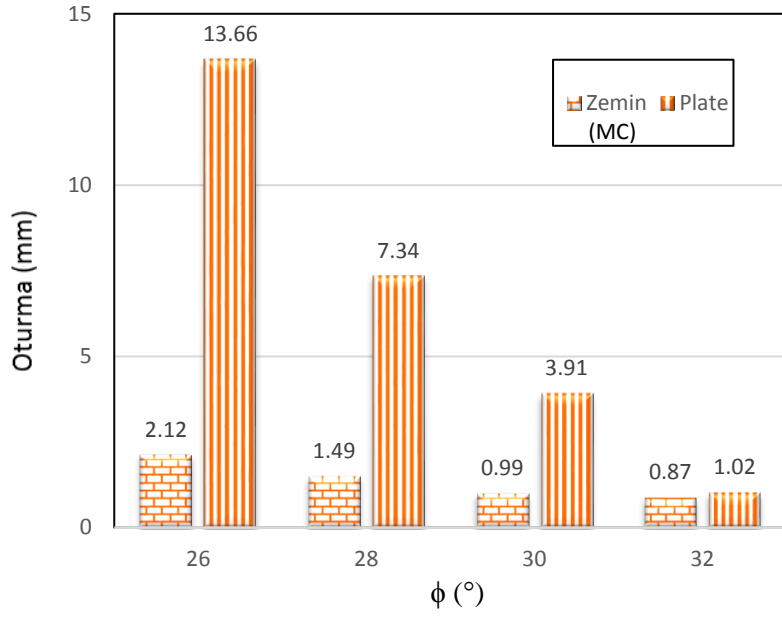


Şekil 7.57. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 20 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri

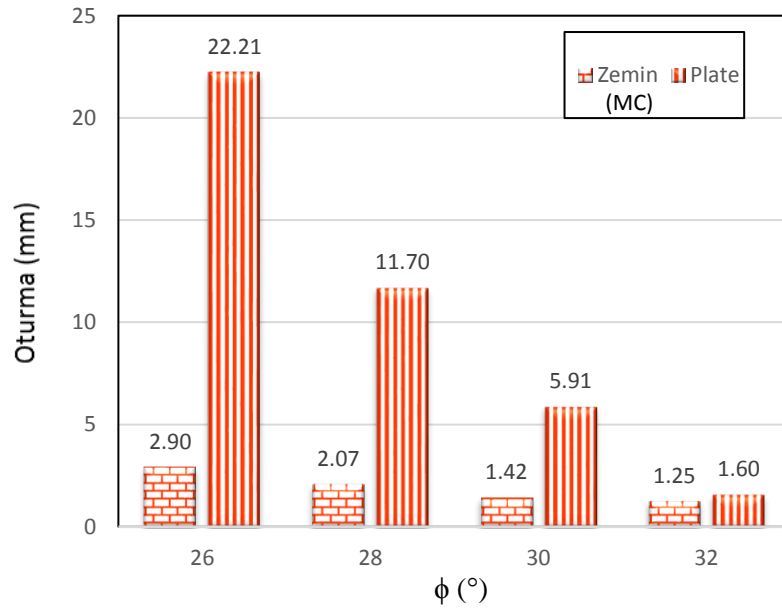
Jet grout kolonun nümerik analiz yöntemiyle yapılan modellerinden Mohr Coulomb zemin modeliyle elde edilen maksimum oturma değerleri, pekleşen zemin (Hardening Soil) modeliyle elde edilen maksimum oturma değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

Zemin ve Plate Eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun maksimum oturma değerlerinin karşılaştırılması

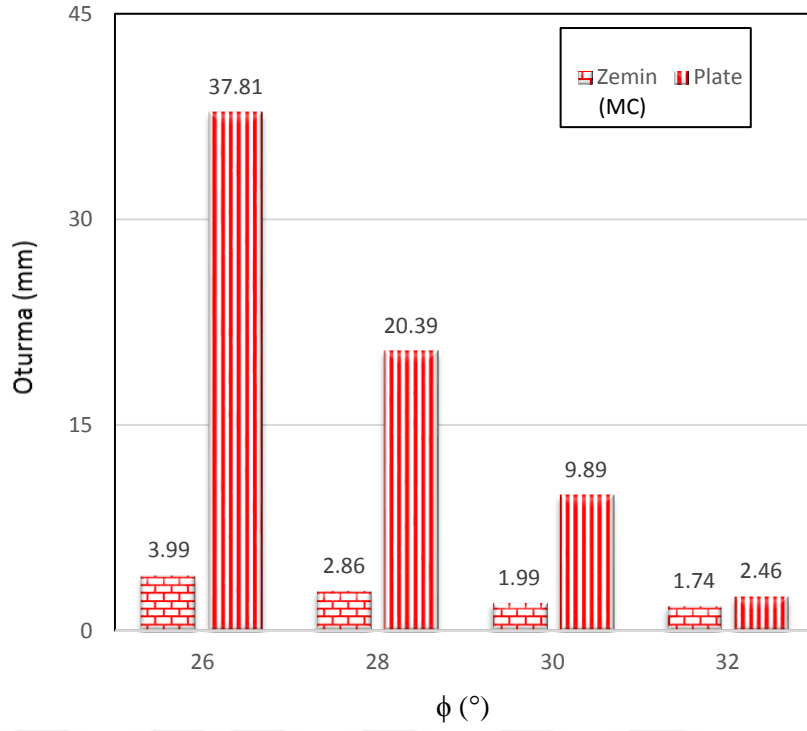
Eksenel simetrik Mohr Coulomb zemin modelinde, zemin ve plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların maksimum oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.58, Şekil 7.59, Şekil 7.60, Şekil 7.61).



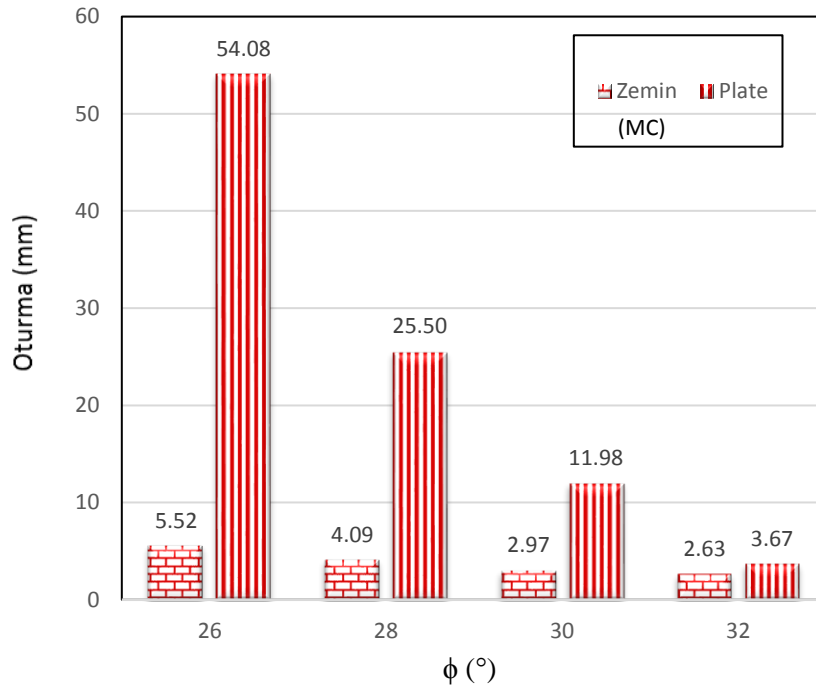
Şekil 7.58. Mohr Coulomb zemin modelinde 9 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri



Şekil 7.59. Mohr Coulomb zemin modelinde 12 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri



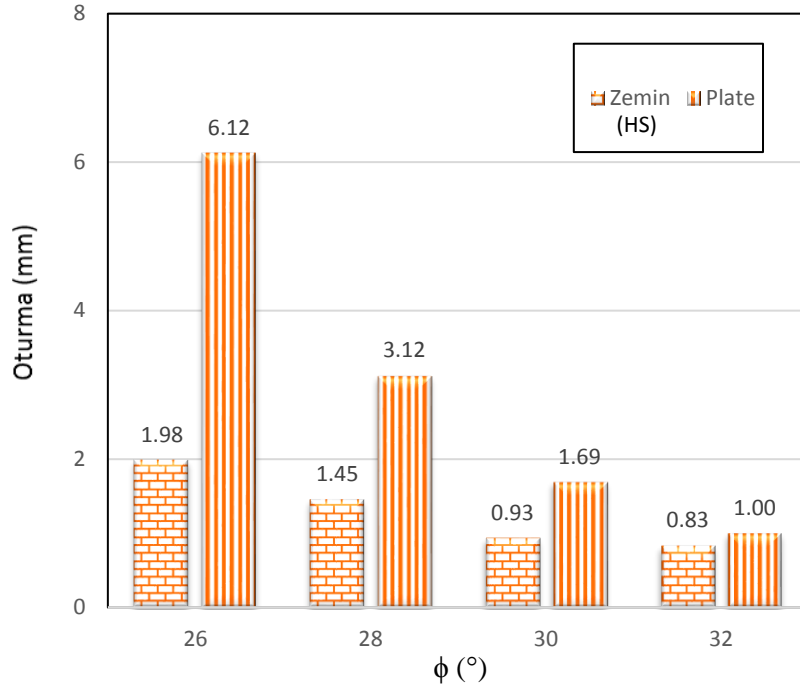
Şekil 7.60. Mohr Coulomb zemin modelinde 15 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri



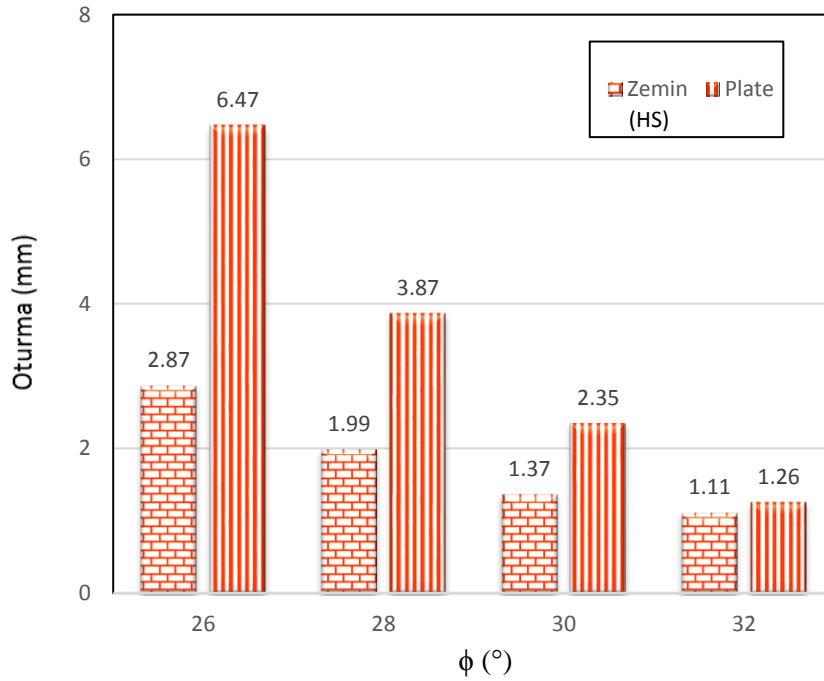
Şekil 7.61. Mohr Coulomb zemin modelinde 20 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri

Pekleşen zemin modelinde, zemin ve plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet

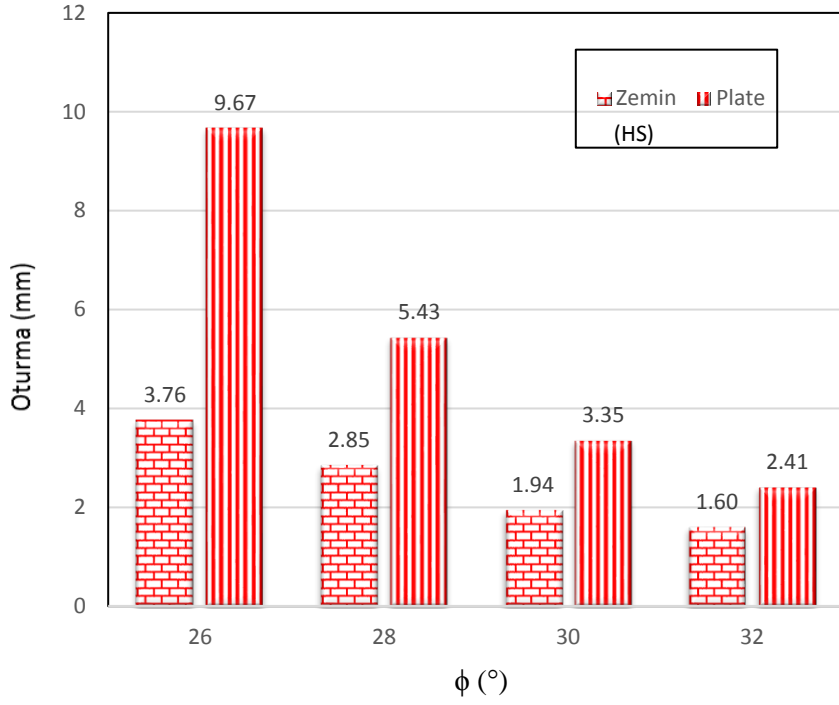
grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.62, Şekil 7.63, Şekil 7.64, Şekil 7.65).



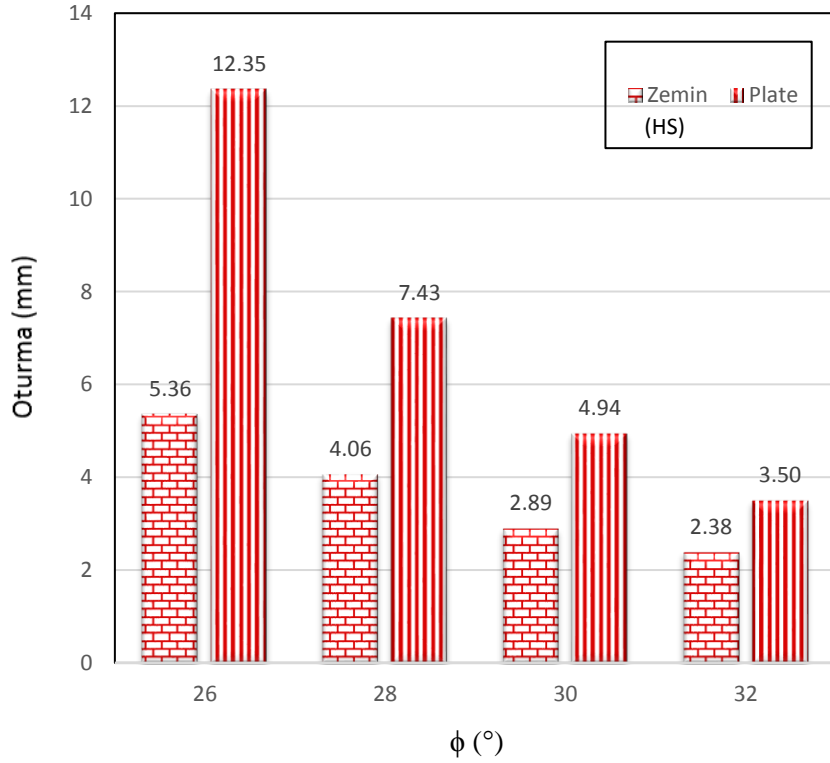
Şekil 7.62. Pekleşen zemin modelinde 9 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri



Şekil 7.63. Pekleşen zemin modelinde 12 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri



Şekil 7.64. Pekleşen zemin modelinde 15 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri



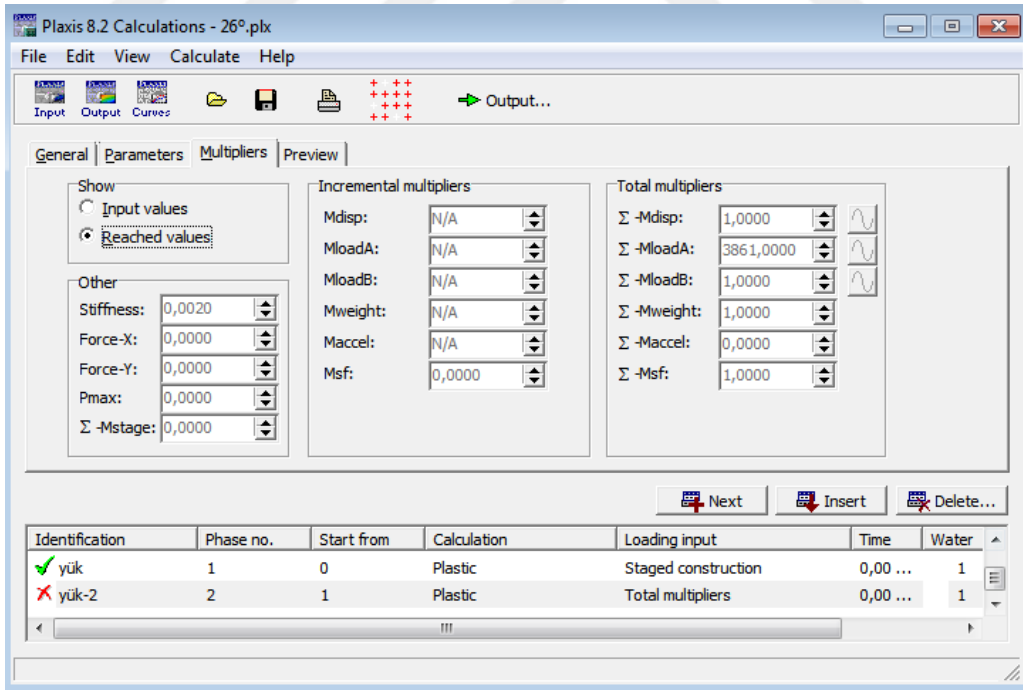
Şekil 7.65. Pekleşen zemin modelinde 20 m boyundaki jet grout kolonun maksimum oturma değerleri

Jet grout kolonun nümerik analiz yöntemiyle yapılan modellerinden zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerlerinin, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerlerinden daha küçük olduğu görülmüştür.

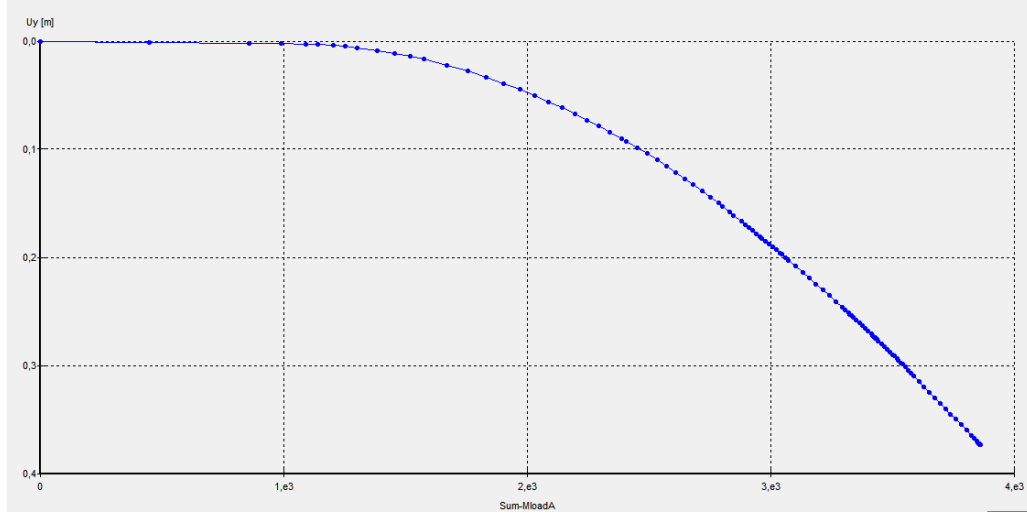
Taşıma gücü değerleri

Çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde ($\phi=26^\circ$, $\phi=28^\circ$, $\phi=30^\circ$, $\phi=32^\circ$), 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m ve 20 m boyunda zemin ve plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun, aksel simetri modelde Mohr Coulomb ve pekleşen zemin modeliyle analizleri yapılarak plaxiste taşıma gücü değerleri bulunmuştur.

Plaxiste taşıma gücü değerleri bulunurken jet grout kolon, göçebileceği bir yük ile yüklenmiştir. Bu yük ile analiz yapıldıktan sonra plaxis programındaki ulaşılan değer (reached values) seçeneğinden bakılarak, jet grout kolonun ne kadar yük altında göçtüğü bulunmuştur ve programdaki eğri (curves) seçeneğinden yük-deplasman eğrisi çizdirilmiştir (Şekil 7.66, Şekil 7.67).



Şekil 7.66. Jet grout kolonun göçtüğü yükün bulunması



Şekil 7.67. Jet grout kolonun yük-deplasman eğrisi

Plaxisten elde edilen taşıma gücü değerleri, güvenlik katsayısı G_s değerine ($G_s=2.5$) bölünerek emniyetli taşıma gücü (Q_{em}) belirlenmiştir.

Modelde jet grout kolonun zemin olarak tanımlandığı durumda Mohr Coulomb (MC) ve Pekleşen Zemin (HS) modellerinden elde edilen taşıma gücü değerleri Çizelge 7.20 ve Çizelge 7.21’de verilmiştir.

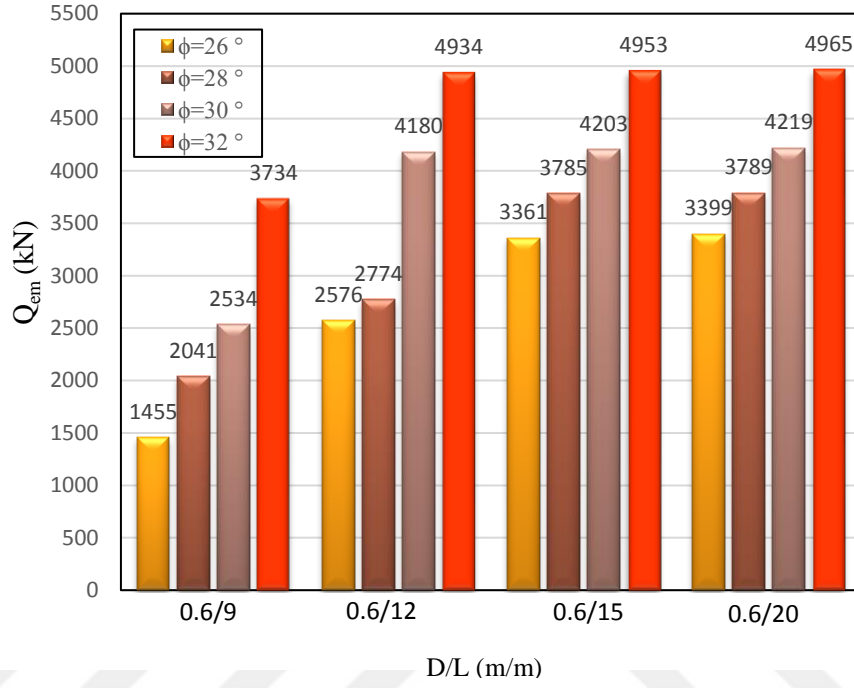
Çizelge 7.20. Mohr Coulomb (MC) modelindeki zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

D/L (m/m)	Q_{em} (kN)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
0.6/9	1455	2041	2534	3734
0.6/12	2576	2774	4180	4934
0.6/15	3361	3785	4203	4953
0.6/20	3399	3790	4219	4965

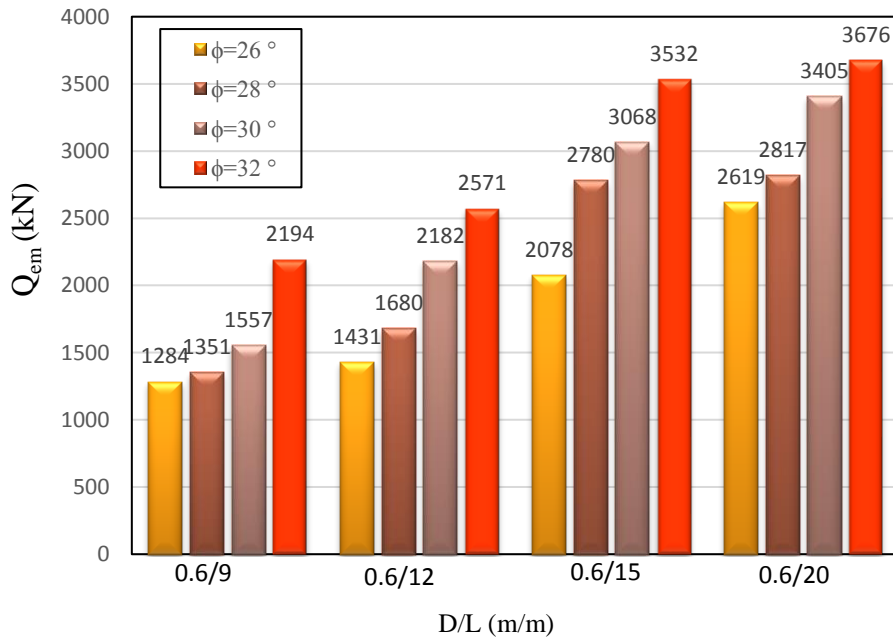
Çizelge 7.21. Pekleşen Zemin (HS) modelindeki zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

D/L (m/m)	Q_{em} (kN)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
0.6/9	1284	1351	1557	2194
0.6/12	1431	1680	2182	2571
0.6/15	2078	2781	3068	3532
0.6/20	2619	2817	3405	3676

Modelde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb (MC) ve Pekleşen Zemin (HS) modellerinden elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleri ile zeminin içsel sürtünme açısı ve jet grout kolonun boyu ile değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.68, Şekil 7.69).



Şekil 7.68. Mohr Coulomb zemin modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri



Şekil 7.69. Pekleşen Zemin modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

Modelde jet grout kolonun plate eleman olarak tanımlandığı durumda Mohr Coulomb (MC) ve Pekleşen Zemin (HS) modellerinden elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleri Çizelge 7.22 ve Çizelge 7.23’de verilmiştir.

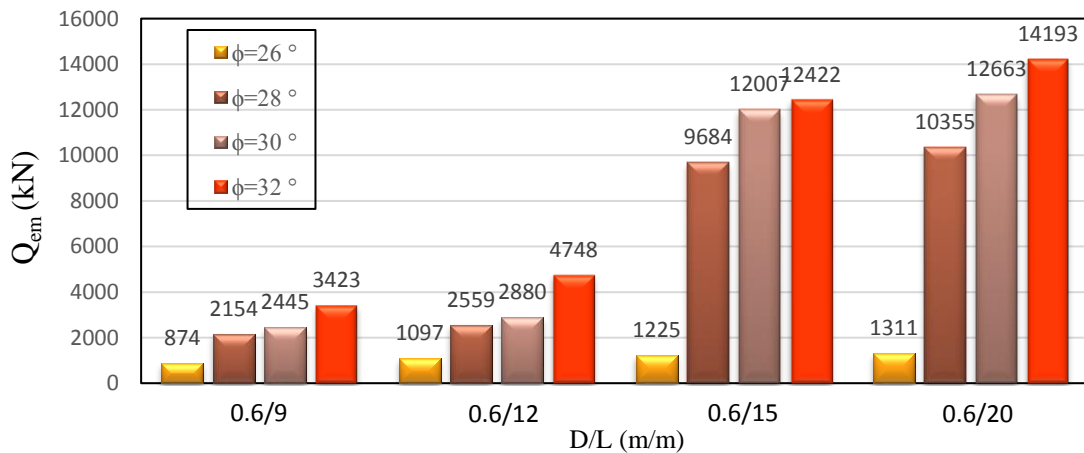
Çizelge 7.22. Mohr Coulomb (MC) modelindeki plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

D/L (m/m)	Q_{em} (kN)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
0.6/9	874	2154	2445	3423
0.6/12	1097	2559	2880	4748
0.6/15	1225	9684	12007	12422
0.6/20	1311	10355	12664	14193

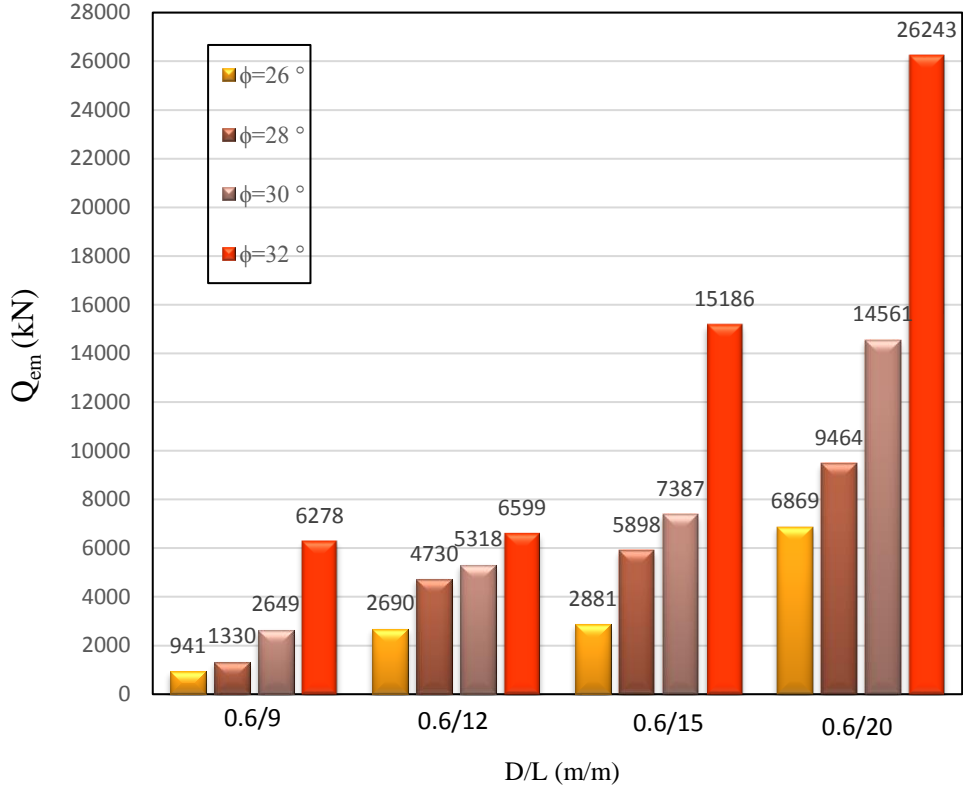
Çizelge 7.23. Pekleşen Zemin (HS) modelindeki plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

D/L (m/m)	Q_{em} (kN)			
	$\phi=26^\circ$	$\phi=28^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=32^\circ$
0.6/9	941	1330	2649	6278
0.6/12	2690	4730	5318	6599
0.6/15	2881	5898	7387	15186
0.6/20	6869	9464	14561	26243

Modelde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb ve Pekleşen Zemin modellerinden elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleri ile zeminin içsel sürtünme açısı ve jet grout kolonun boyu ile değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.70, Şekil 7.71).



Şekil 7.70. Mohr Coulomb zemin modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

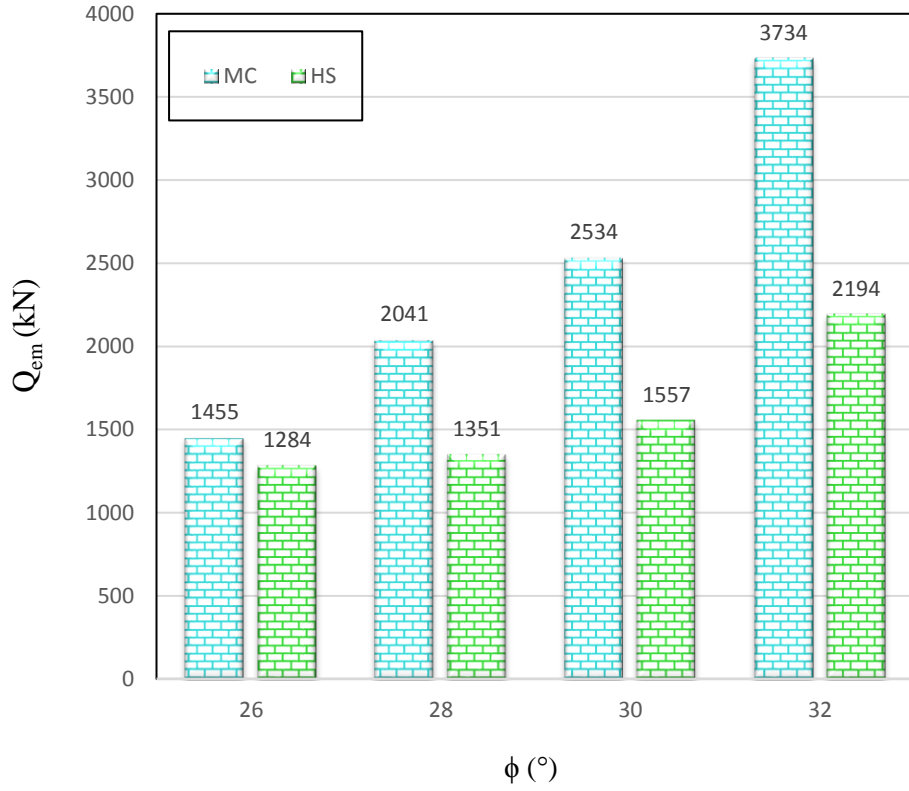


Şekil 7.71. Pekleşen Zemin modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

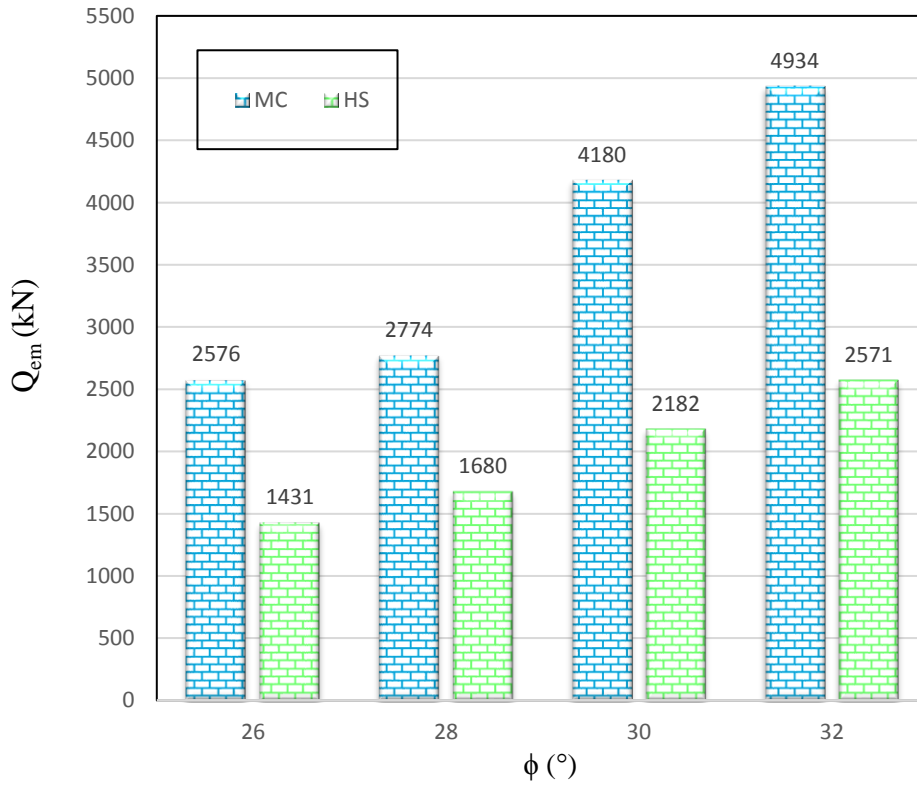
Jet grout kolonun nümerik hesap yöntemleri ile yapılan model analizleri sonucunda elde edilen taşıma gücü değerleri, kumlu zeminlerin içsel sürtünme açısı ve jet grout kolonların boyu arttıkça artmaktadır.

Mohr Coulomb ve Pekleşen Zemin (HS) modellerinden elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

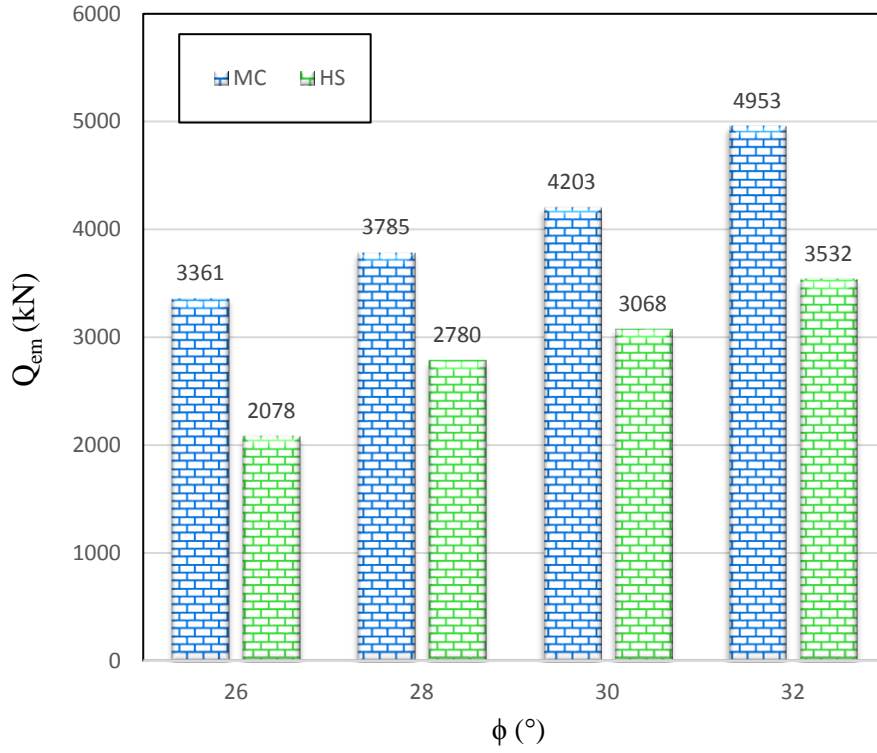
Modelde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun, Mohr Coulomb ve Pekleşen Zemin modellerinden elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların taşıma gücü ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.72, Şekil 7.73, Şekil 7.74, Şekil 7.75).



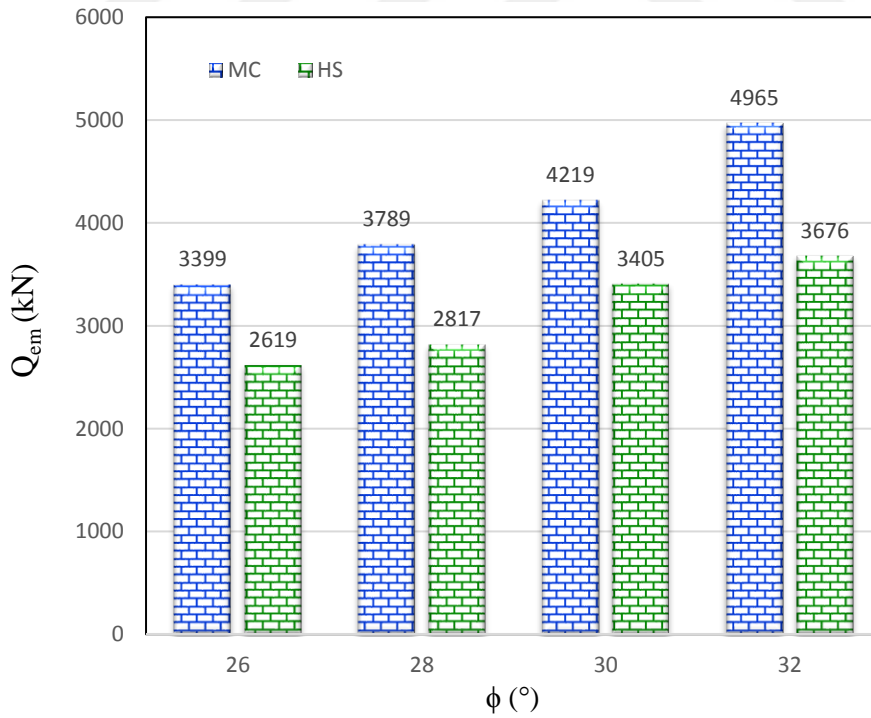
Şekil 7.72. Modelde zemin olarak tanımlanan 9 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri



Şekil 7.73. Modelde zemin olarak tanımlanan 12 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri



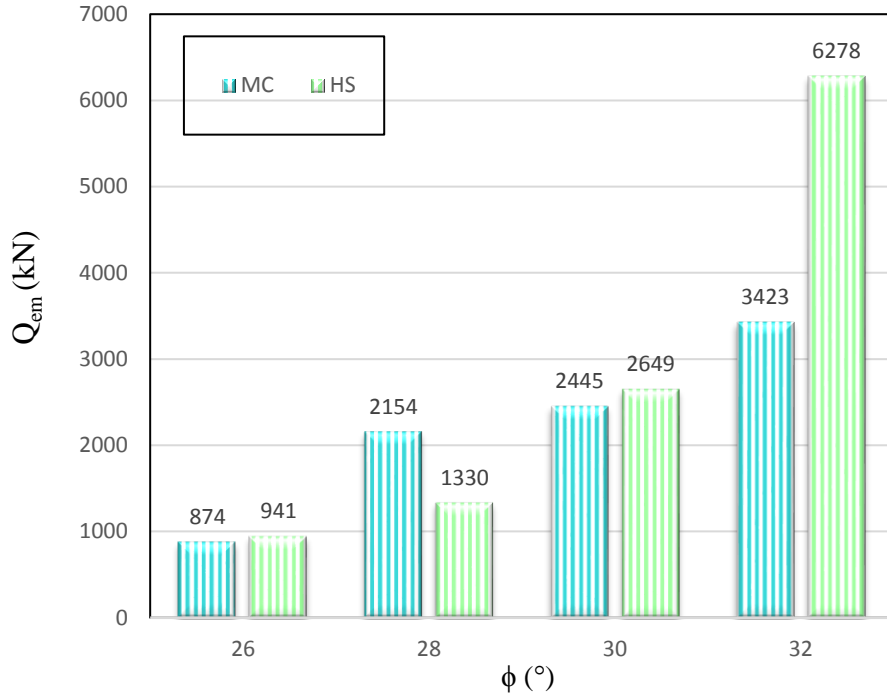
Şekil 7.74. Modelde zemin olarak tanımlanan 15 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri



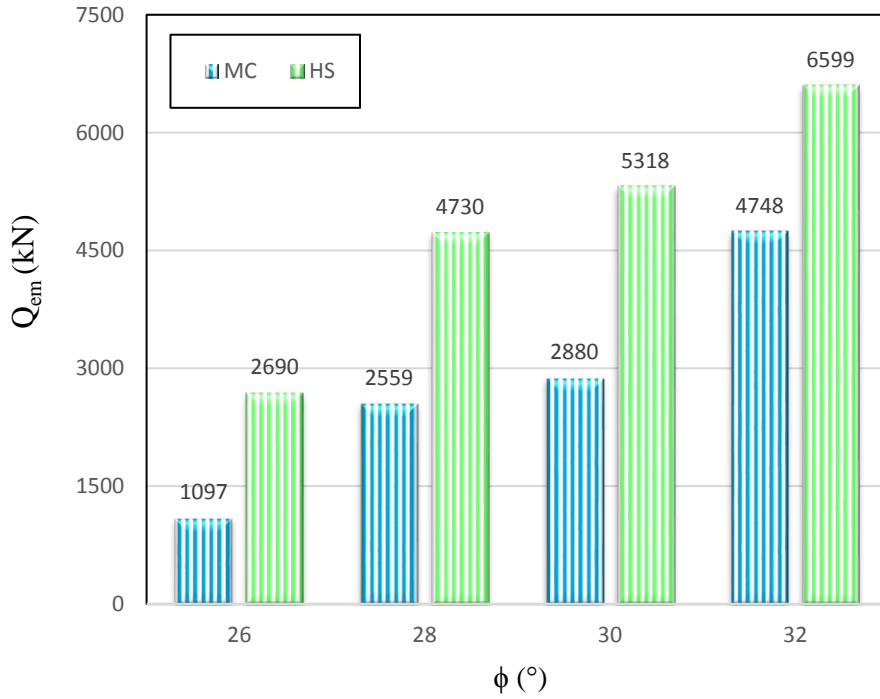
Şekil 7.75. Modelde zemin olarak tanımlanan 20 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

Modelde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun, Mohr Coulomb ve pekleşen zemin modellerinden elde edilen taşıma gücü değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9

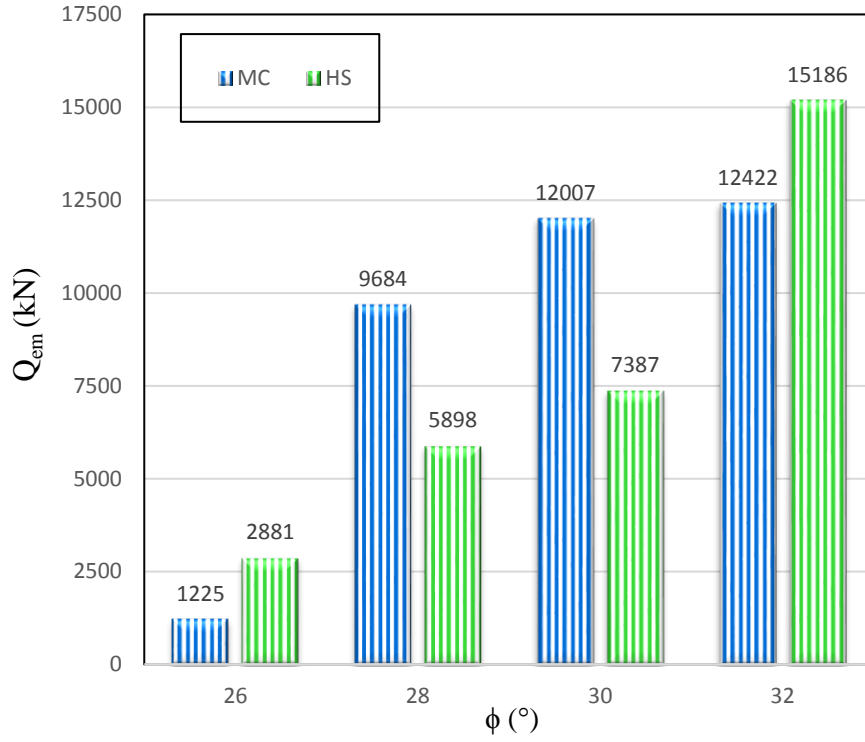
m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların taşıma gücü ve içsel sürtünme açısıyla değişimi gösterilmiştir (Şekil 7.76, Şekil 7.77, Şekil 7.78, Şekil 7.79).



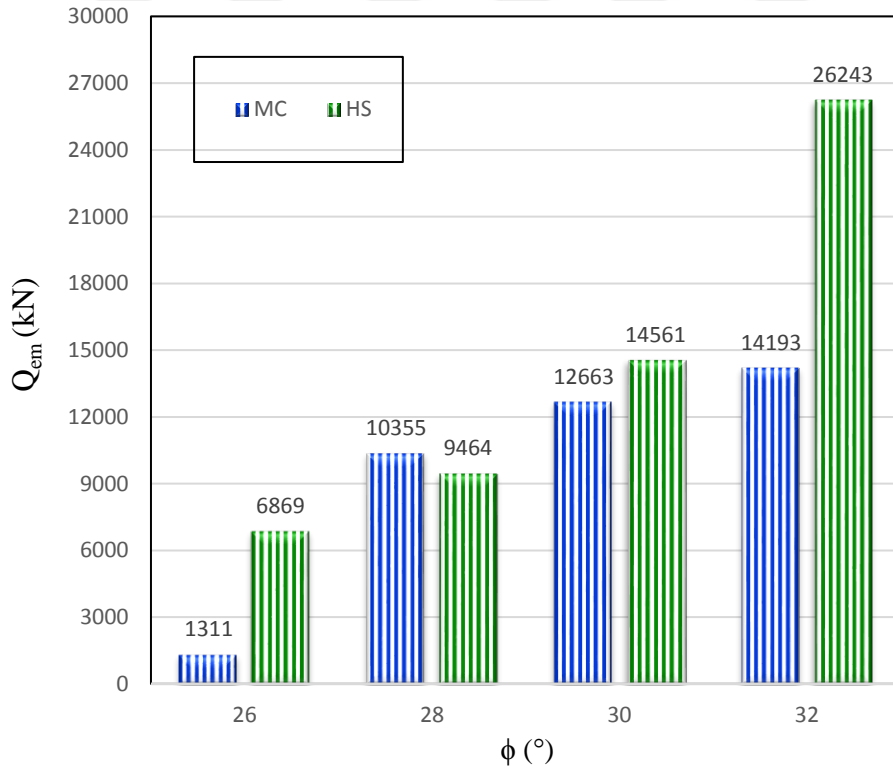
Şekil 7.76. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 9 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri



Şekil 7.77. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 12 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri



Şekil 7.78. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 15 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

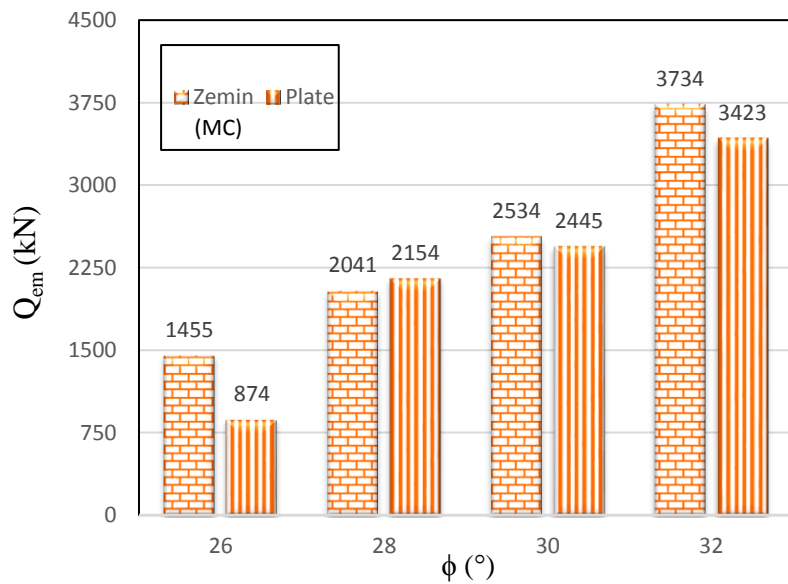


Şekil 7.79. Modelde plate eleman olarak tanımlanan 20 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

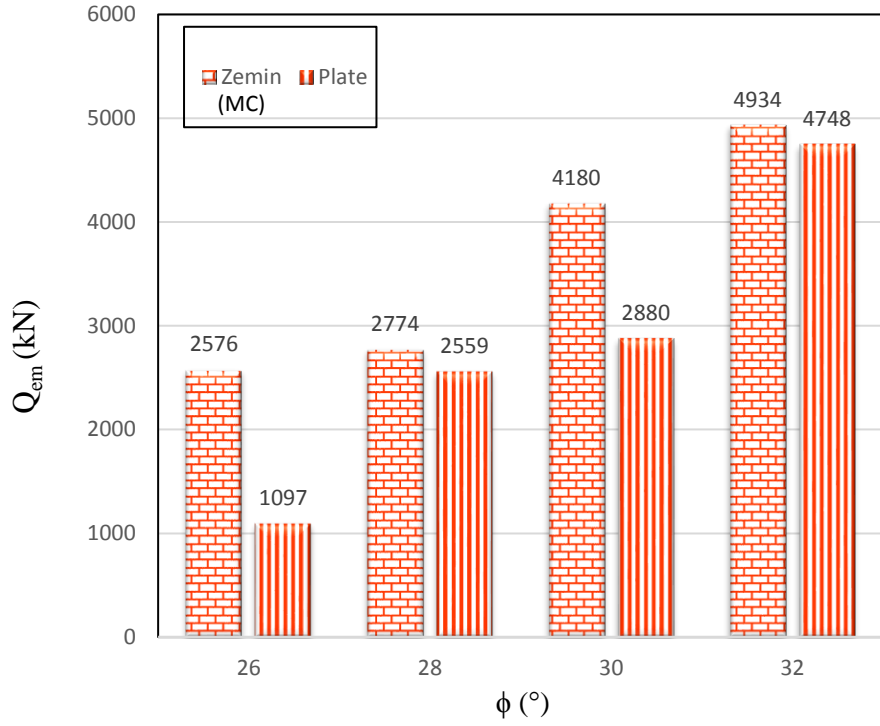
Jet grout kolonun nümerik analiz yöntemiyle yapılan modellerinden zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modeliyle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerlerinin, Pekleşen Zemin modeliyle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerlerinden genel olarak daha büyük olduğu görülmüştür. Plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modeliyle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerlerinin ise Pekleşen Zemin modeliyle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerlerinden genel olarak daha küçük olduğu görülmüştür. Mohr Coulomb modelinden elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleri ile Pekleşen Zemin modelinden elde edilen emniyetli taşıma gücü değerlerinin kendi modelleri içinde zemin sıklığına bağlı düzgün eğilimi olduğu görülmektedir. Ancak modeller karşılaştırıldığında içsel sürtünme açısı 28° ve 30° olan kumlu zeminlerde farklı boylardaki jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerlerinde zemin ve plate eleman olarak tanımlanmasına bağlı eğilimden sapmalar görülmüştür.

Zemin ve plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

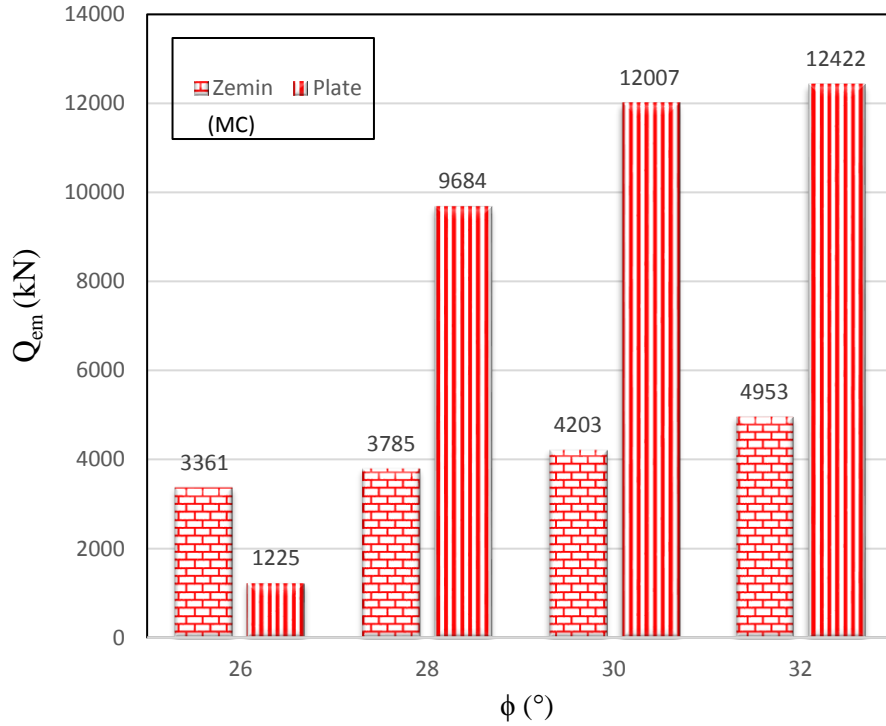
Eksenel simetrik Mohr Coulomb zemin modelinde, zemin ve plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun taşıma gücü değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların taşıma gücü ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.80, Şekil 7.81, Şekil 7.82, Şekil 7.83).



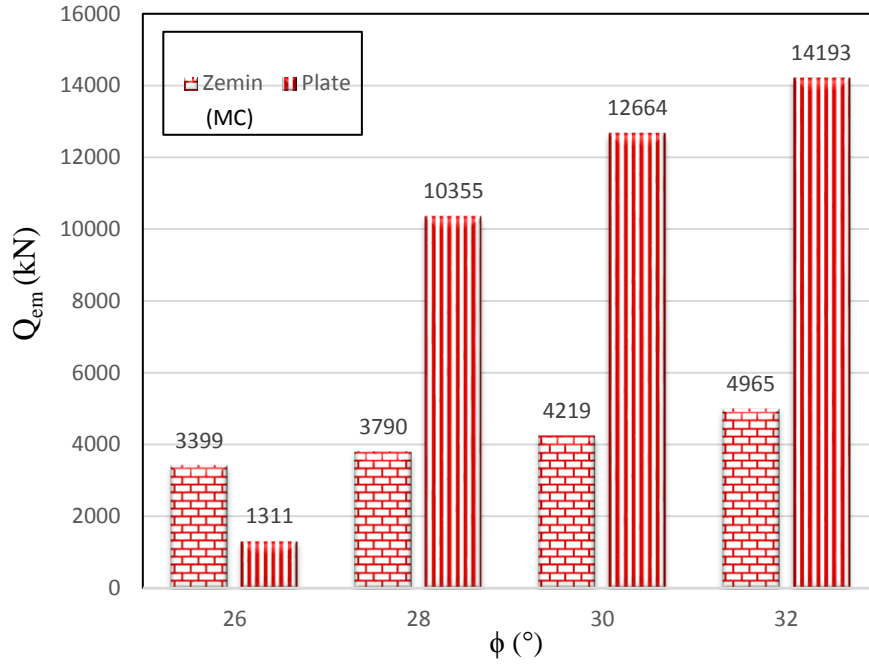
Şekil 7.80. Mohr Coulomb zemin modelinde 9 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri



Şekil 7.81. Mohr Coulomb zemin modelinde 12 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

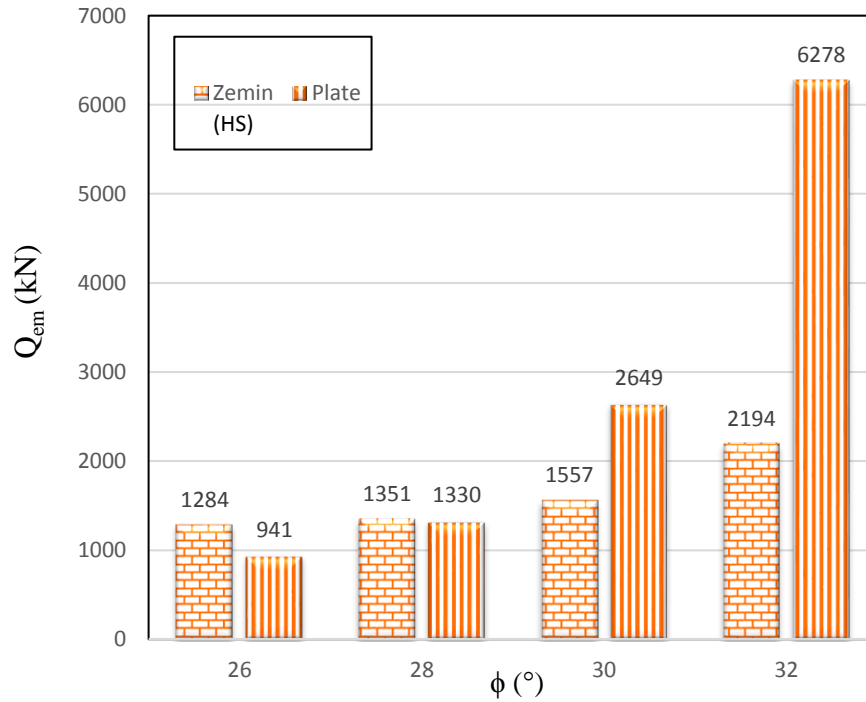


Şekil 7.82. Eksenel simetrik Mohr Coulomb zemin modelinde 15 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

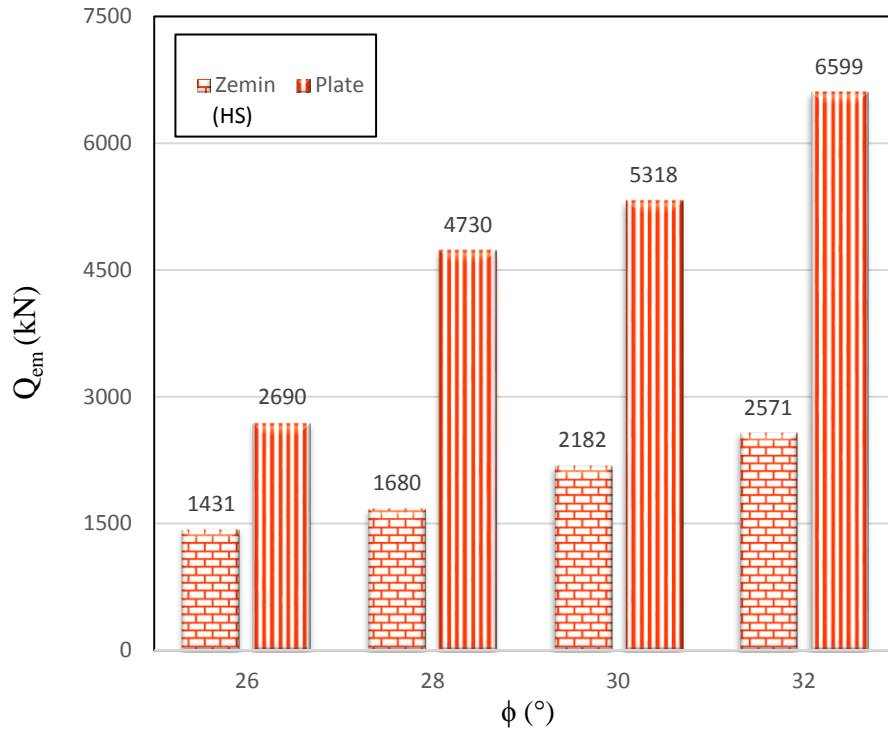


Şekil 7.83. Mohr Coulomb zemin modelinde 20 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

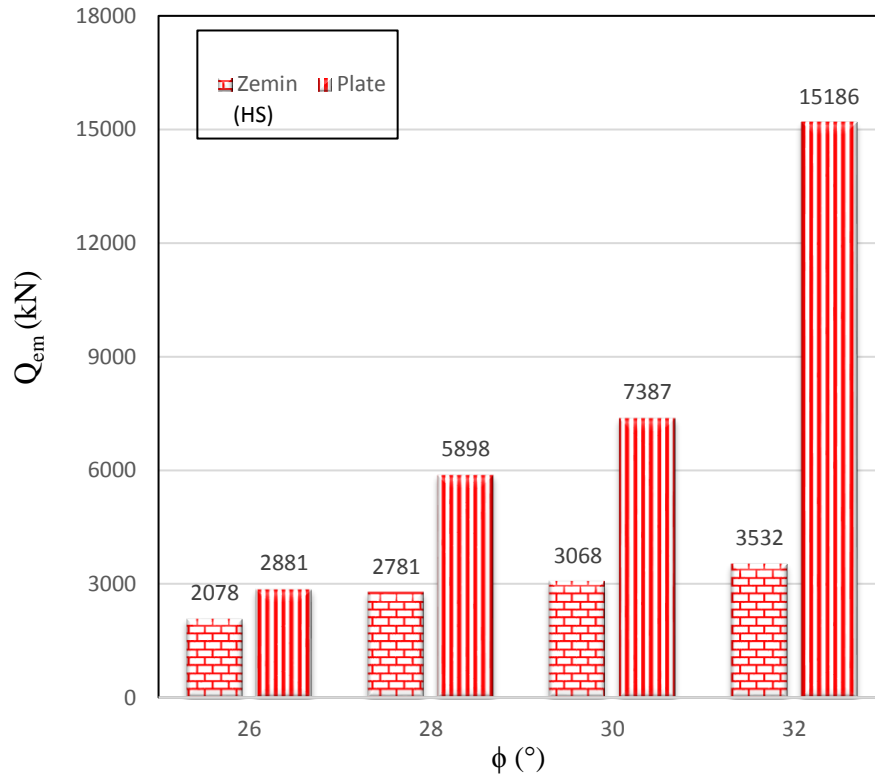
Pekleşen Zemin modelinde, zemin ve plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun taşıma gücü değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.84, Şekil 7.85, Şekil 7.86, Şekil 7.87).



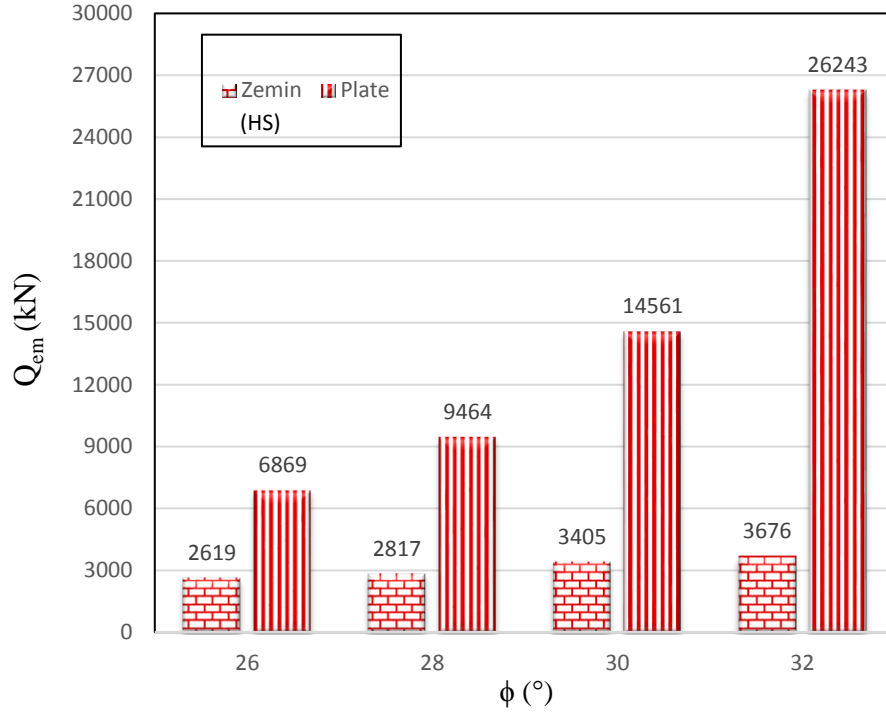
Şekil 7.84. Pekleşen Zemin modelinde 9 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri



Şekil 7.85. Pekleşen Zemin modelinde 12 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri



Şekil 7.86. Pekleşen Zemin modelinde 15 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri



Şekil 7.87. Pekleşen Zemin modelinde 20 m boyundaki jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri

Jet grout kolonun nümerik analiz yöntemiyle yapılan modellerinden zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleriyle, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri arasında farklılıklar görülmüştür. Mohr Coulomb modelinde 9 m ve 12 m boyundaki zemin olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerlerinin plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerlerinden genel olarak daha büyük olduğu, 15 m ve 20 m boyundaki zemin olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerlerinin plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerlerinden genel olarak daha küçük olduğu görülmüştür. Pekleşen Zemin modelinde ise plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerleri zemin olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerlerinden genel olarak daha büyük bulunmuştur.

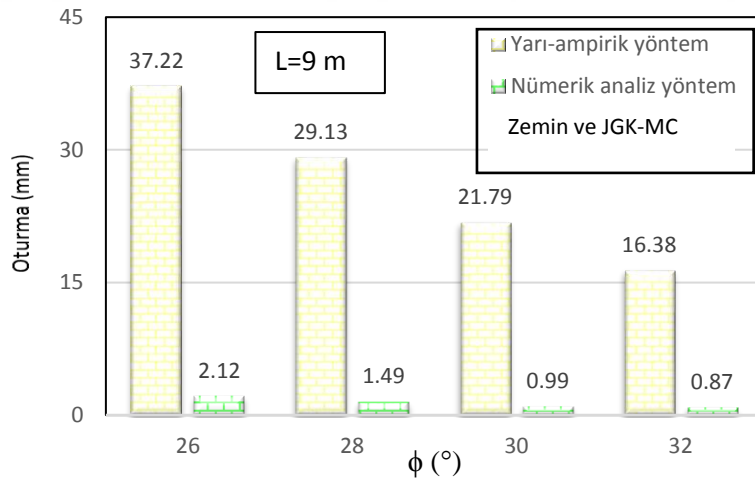
Elle hesap yöntemi ve nümerik analiz yöntemi ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Elle hesap yöntemiyle ve nümerik analiz yöntemiyle elde edilen oturma ve taşıma gücü değerleri karşılaştırılmıştır.

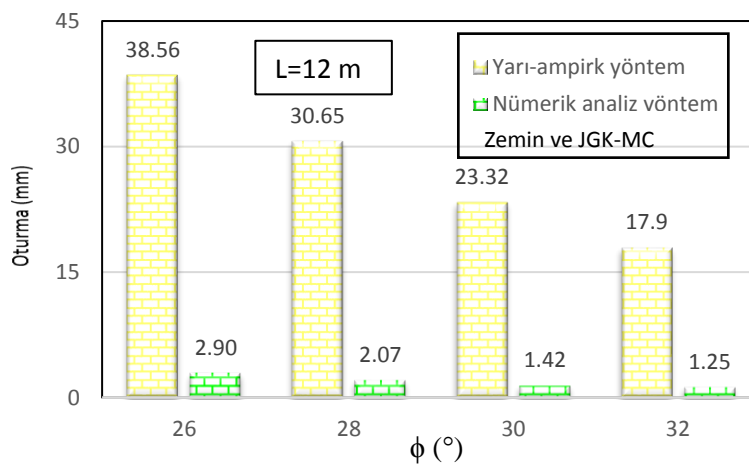
Oturma değerlerinin karşılaştırılması

Nümerik analizden elde edilen oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

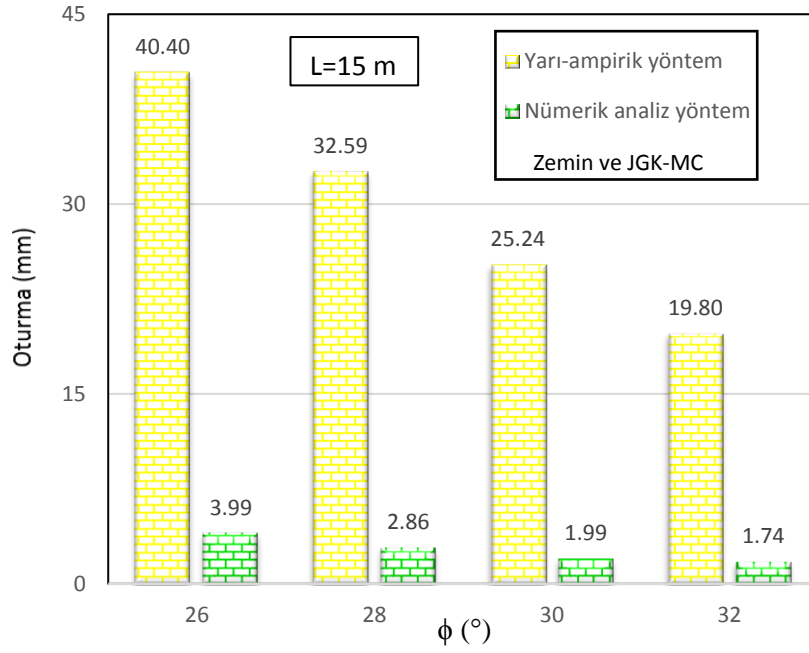
Mohr Coulomb (MC) zemin modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun (JGK) maksimum oturma değerleri ile yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.88, Şekil 7.89, Şekil 7.90, Şekil 7.91).



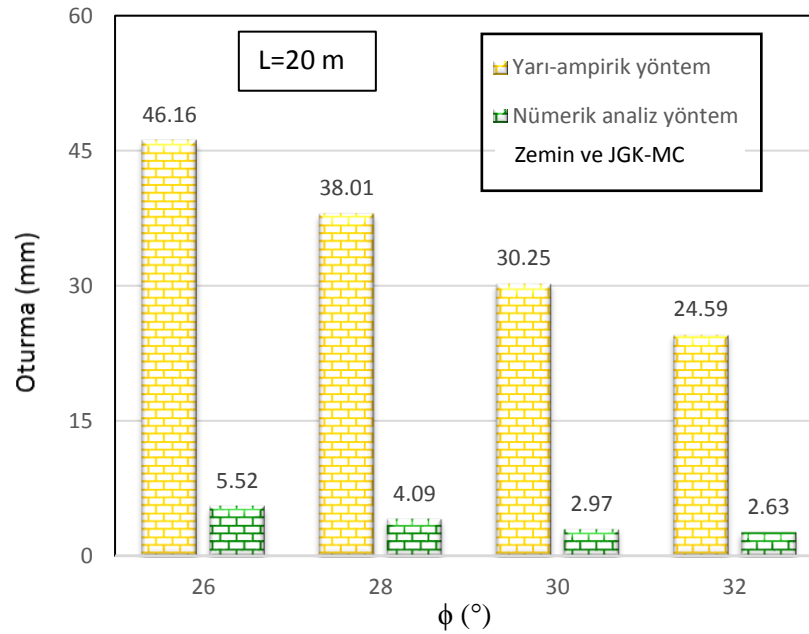
Şekil 7.88. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.89. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



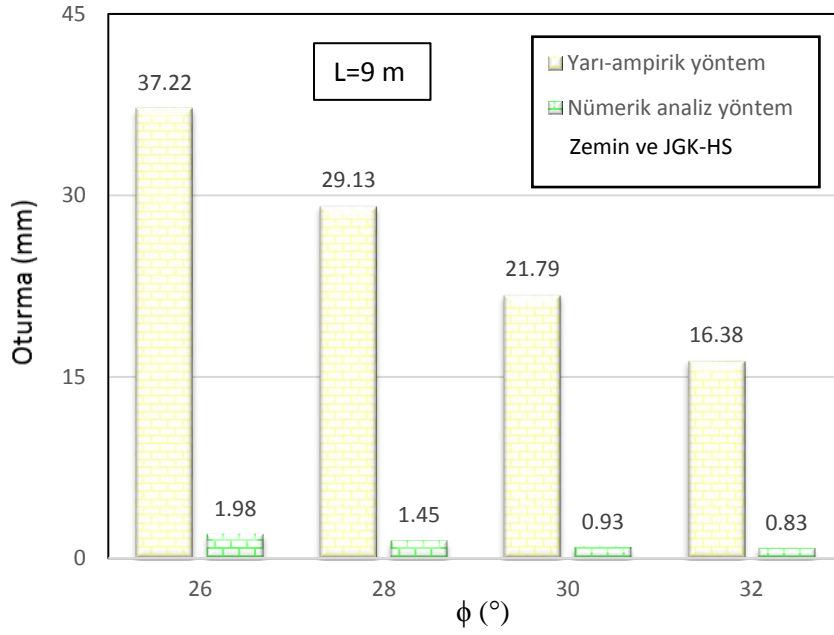
Şekil 7.90. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



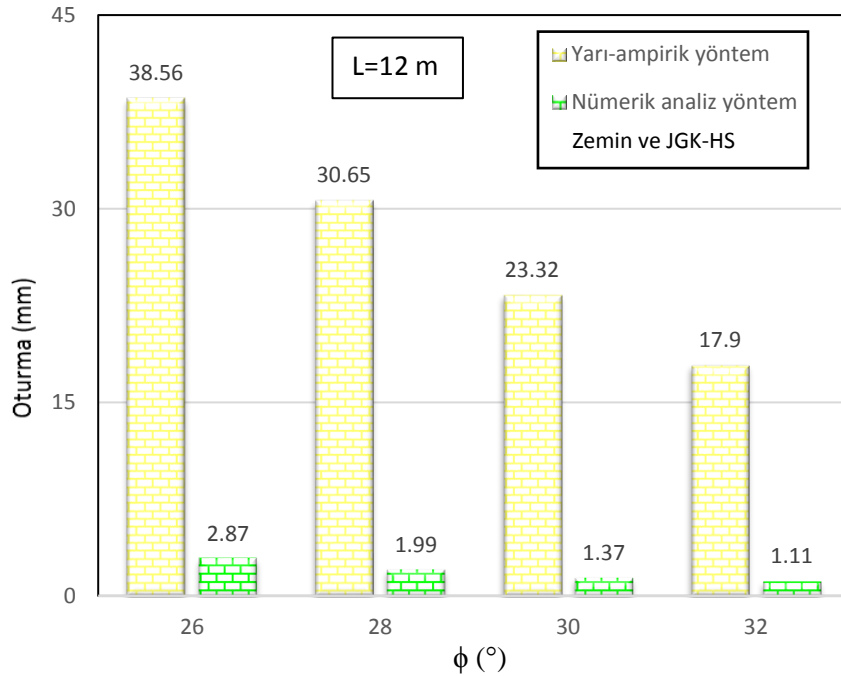
Şekil 7.91. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

Pekleşen Zemin (HS) modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun maksimum oturma değerleri ile yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak,

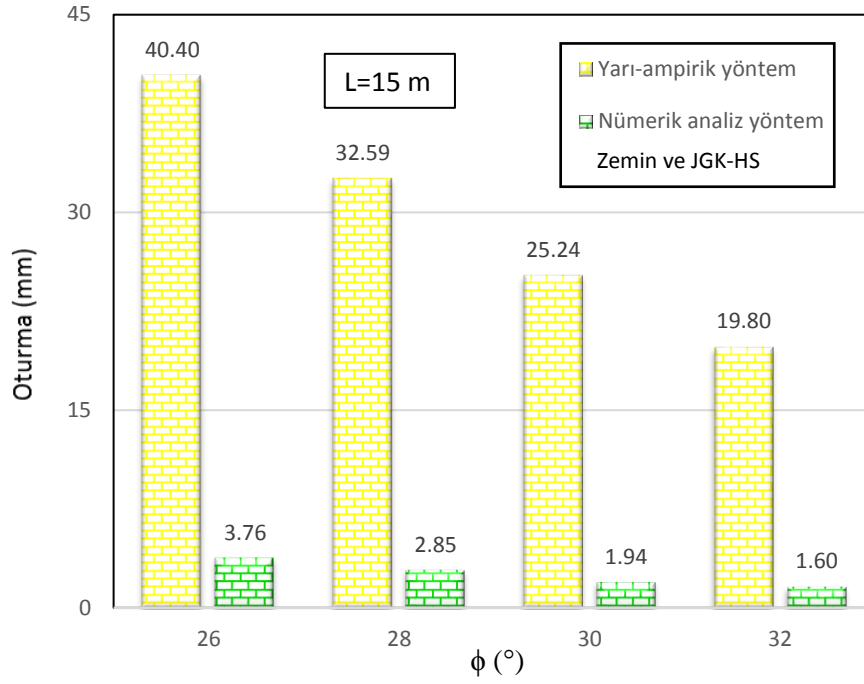
60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.92, Şekil 7.93, Şekil 7.94, Şekil 7.95).



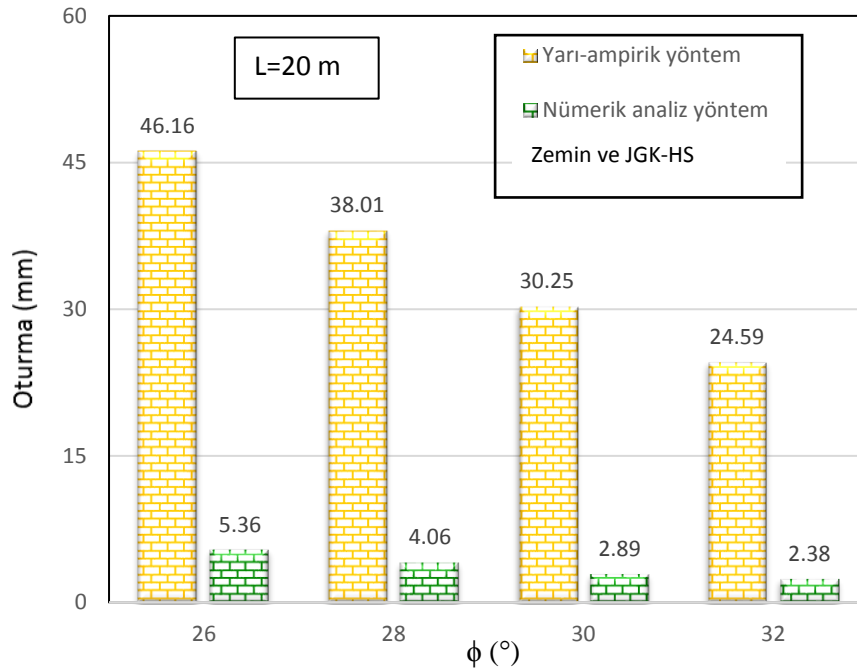
Şekil 7.92. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.93. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



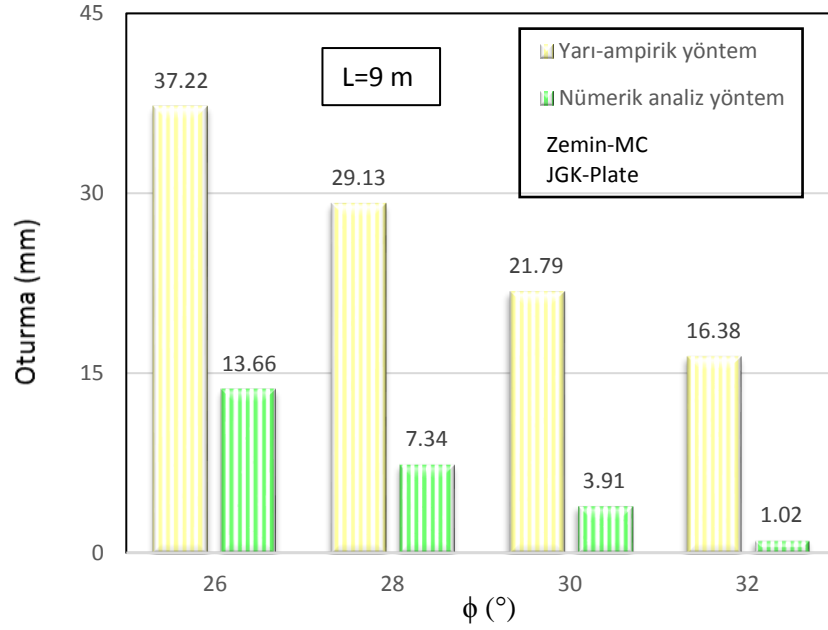
Şekil 7.94. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



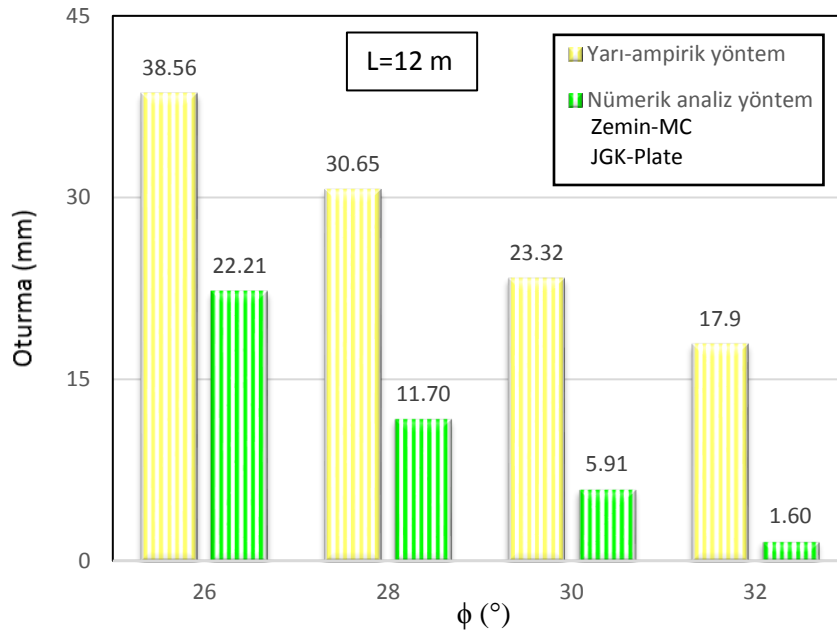
Şekil 7.95. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

Mohr Coulomb zemin modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerleri ile yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak,

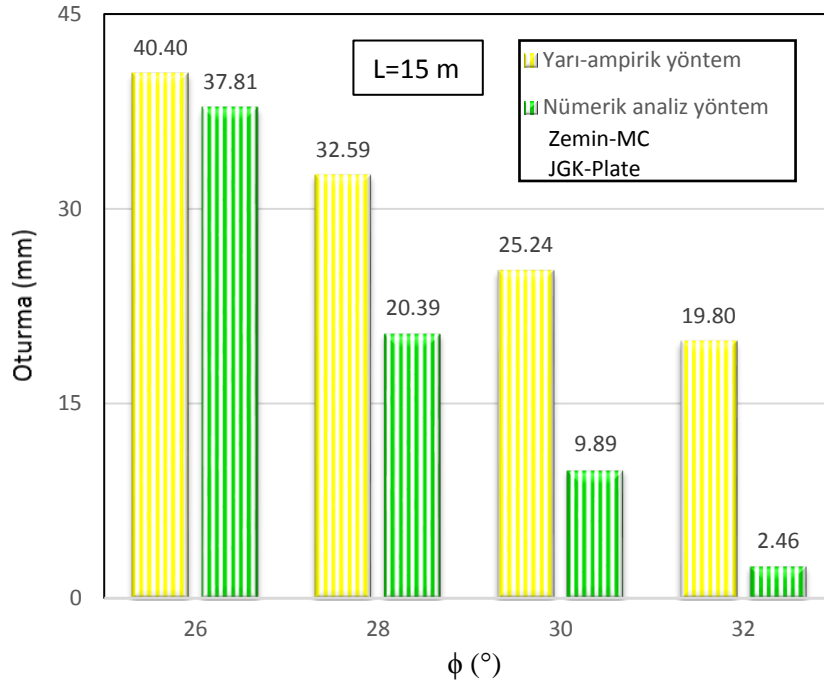
60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.96, Şekil 7.97, Şekil 7.98, Şekil 7.99).



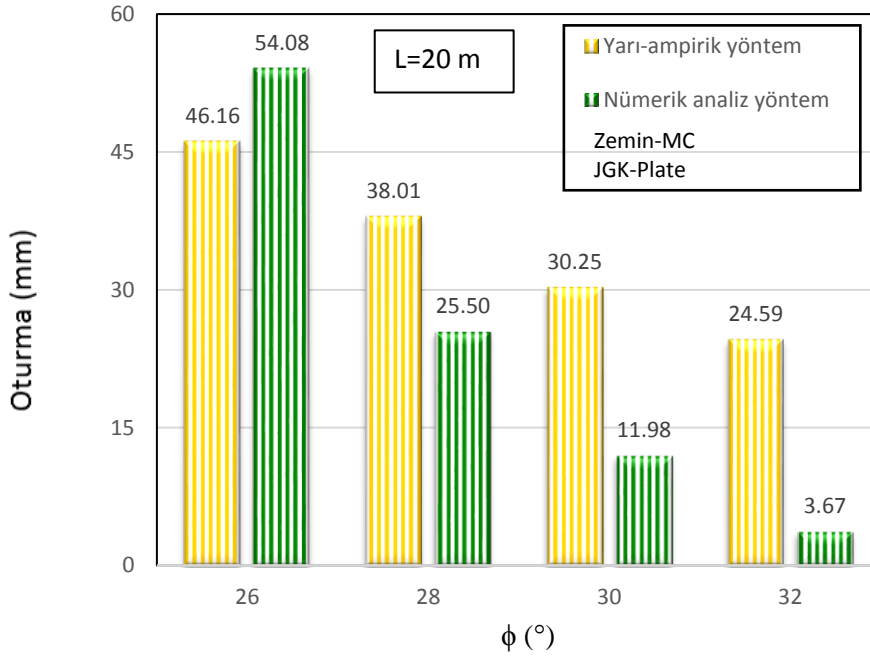
Şekil 7.96. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.97. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



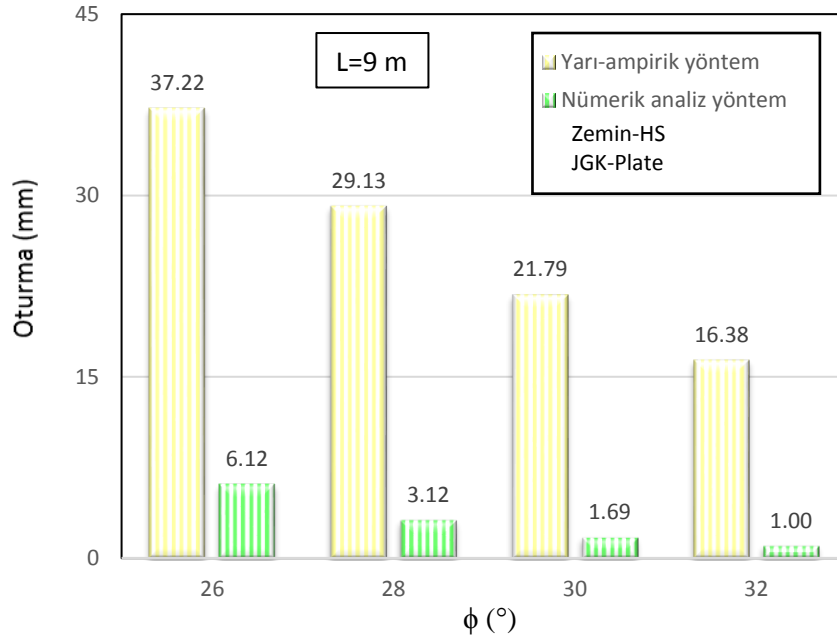
Şekil 7.98. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



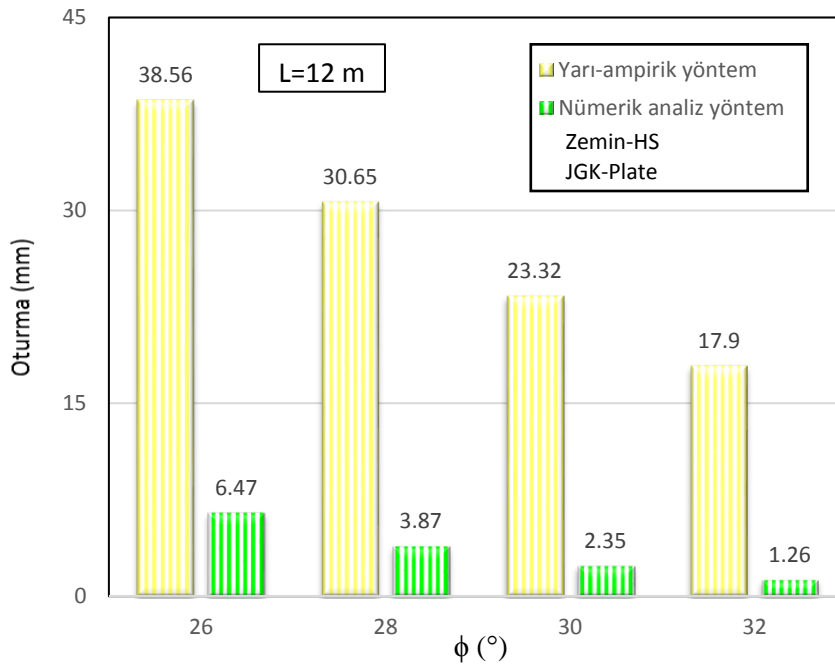
Şekil 7.99. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

Pekleşen Zemin (HS) modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerleri ile yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm

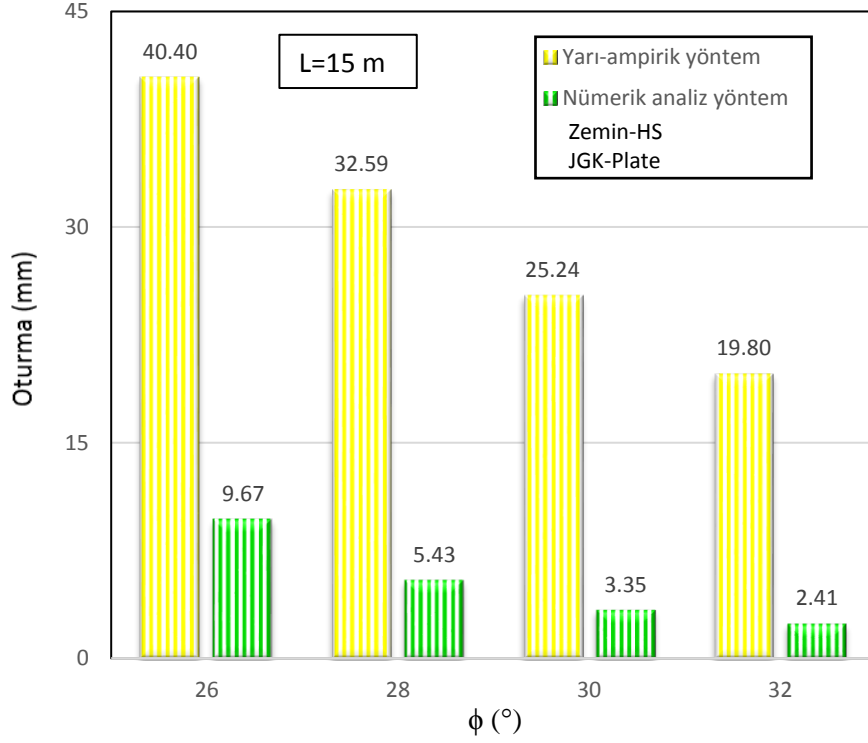
çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.100, Şekil 7.101, Şekil 7.102, Şekil 7.103).



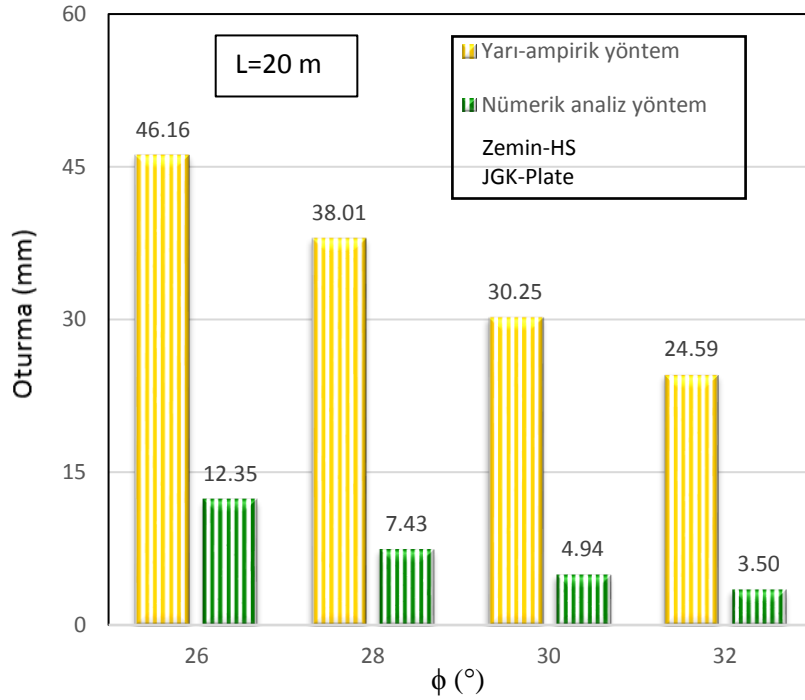
Şekil 7.100. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.101. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.102. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

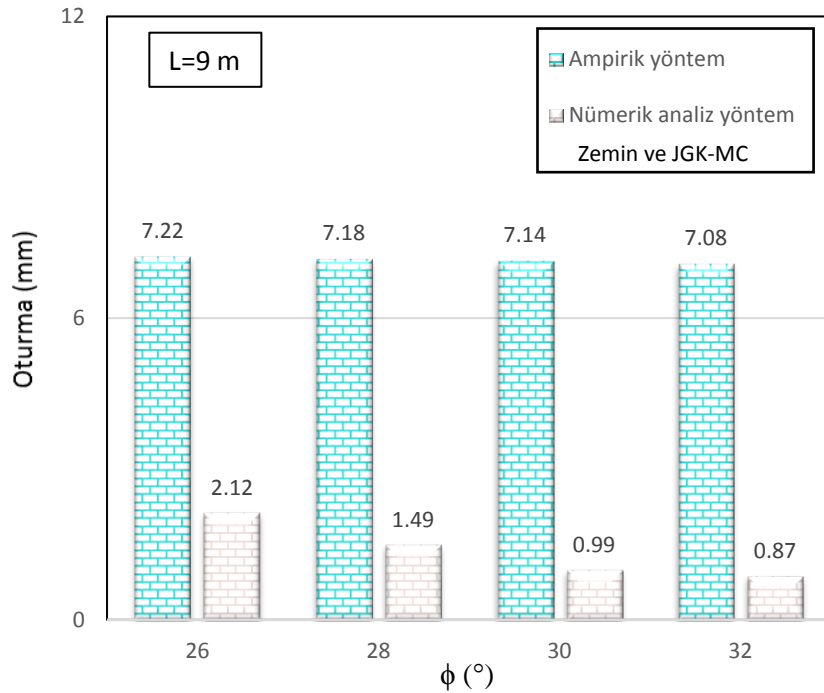


Şekil 7.103. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

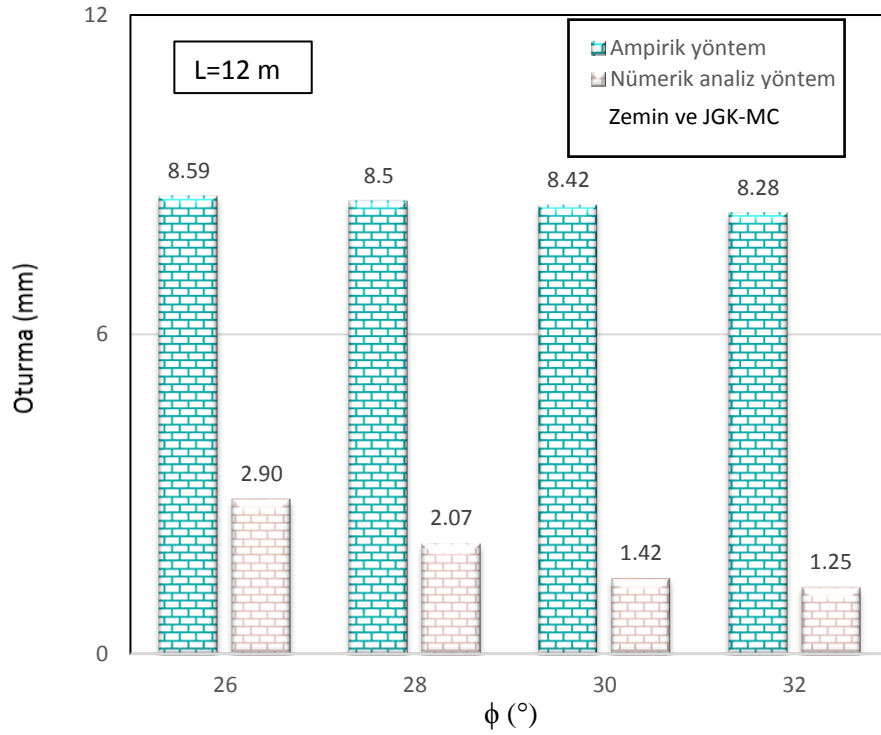
Modelden elde edilen maksimum oturma değerleri ile yarı-ampirik yöntemden elde edilen oturma değerleri karşılaştırıldığında yarı ampirik yöntemden elde edilen oturma değerlerinin daha büyük olduğu görülmüştür. Mohr Coulomb modelinde içsel sürtünme açısı 26° olan kumlu zeminde, 20 m boyunda plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değeri nümerik analiz yönteminden elde edilen maksimum oturma değerinden düşük mertebede küçük bulunmuştur.

Nümerik analizden elde edilen oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

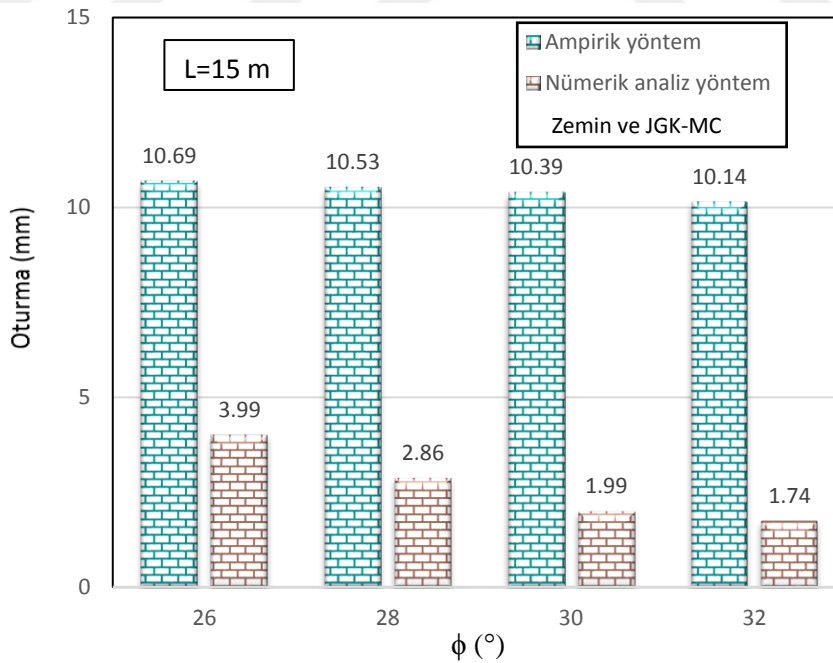
Mohr Coulomb zemin modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun maksimum oturma değerleri ile ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimleri belirlenmiştir (Şekil 7.104, Şekil 7.105, Şekil 7.106, Şekil 7.107).



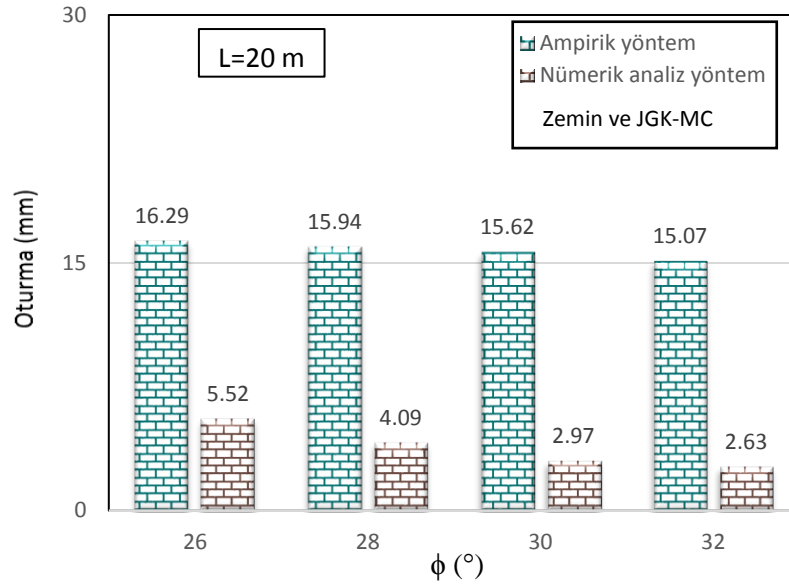
Şekil 7.104. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.105. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

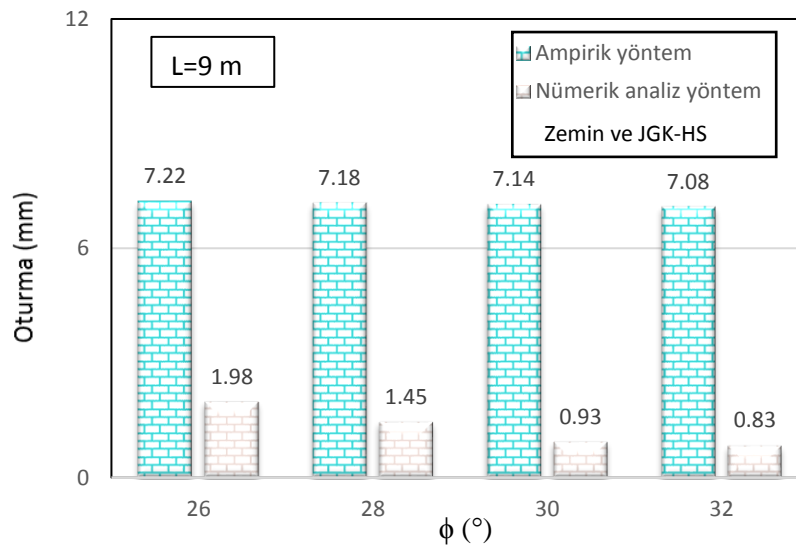


Şekil 7.106. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

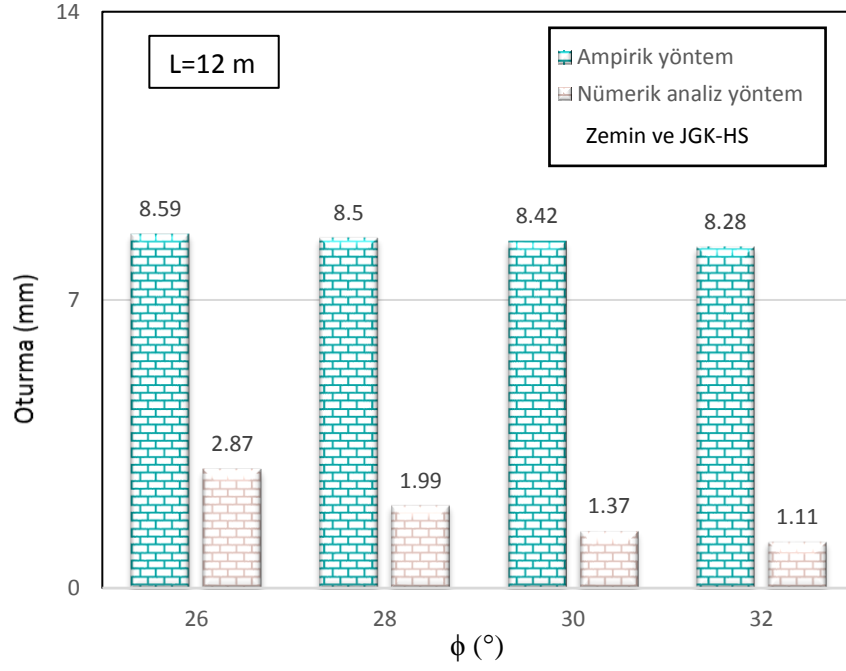


Şekil 7.107. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

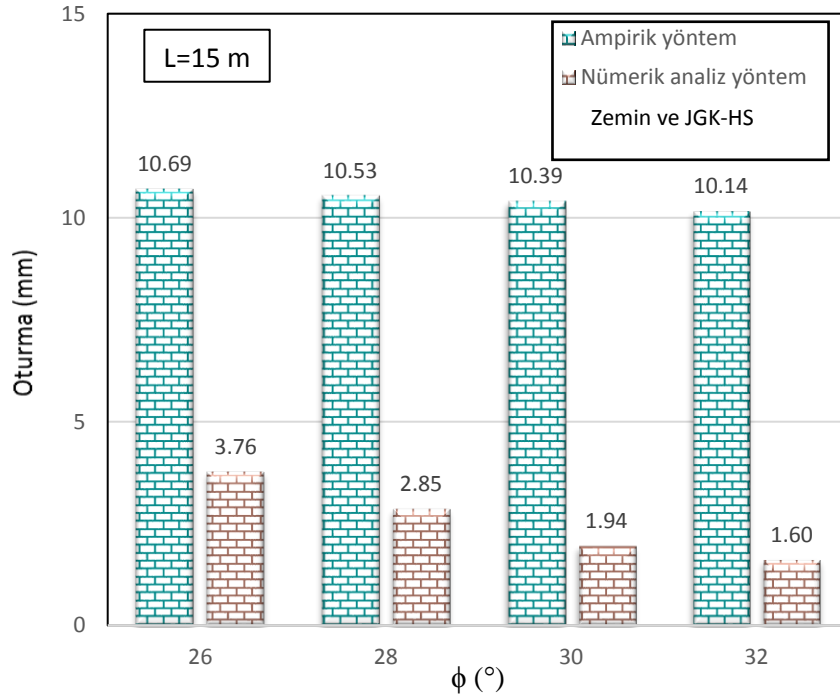
Pekleşen zemin (HS) modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun maksimum oturma değerleri ile ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.108, Şekil 7.109, Şekil 7.110, Şekil 7.111).



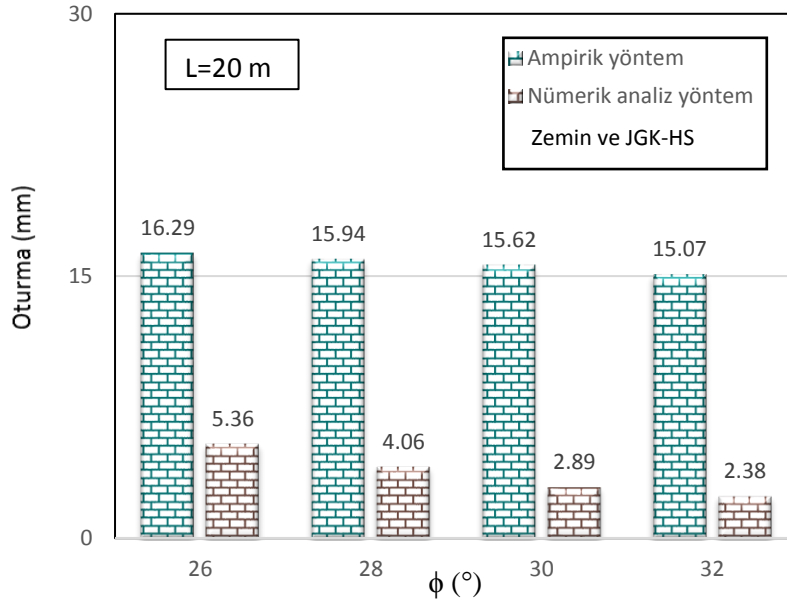
Şekil 7.108. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.109. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

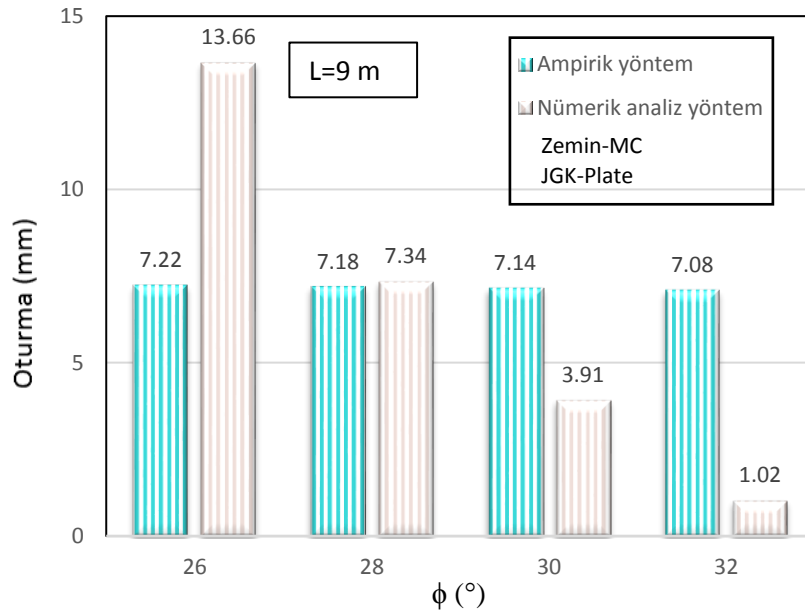


Şekil 7.110. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

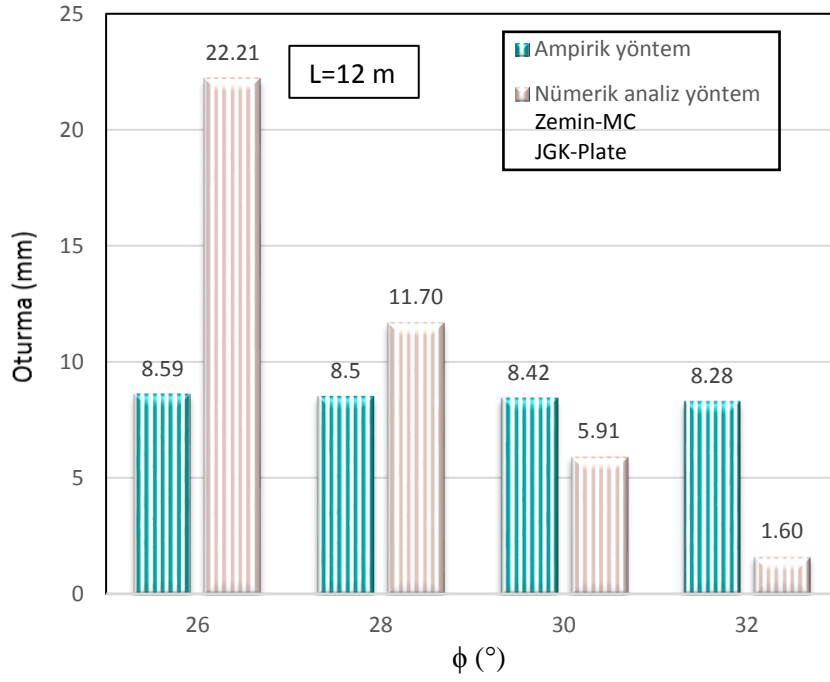


Şekil 7.111. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

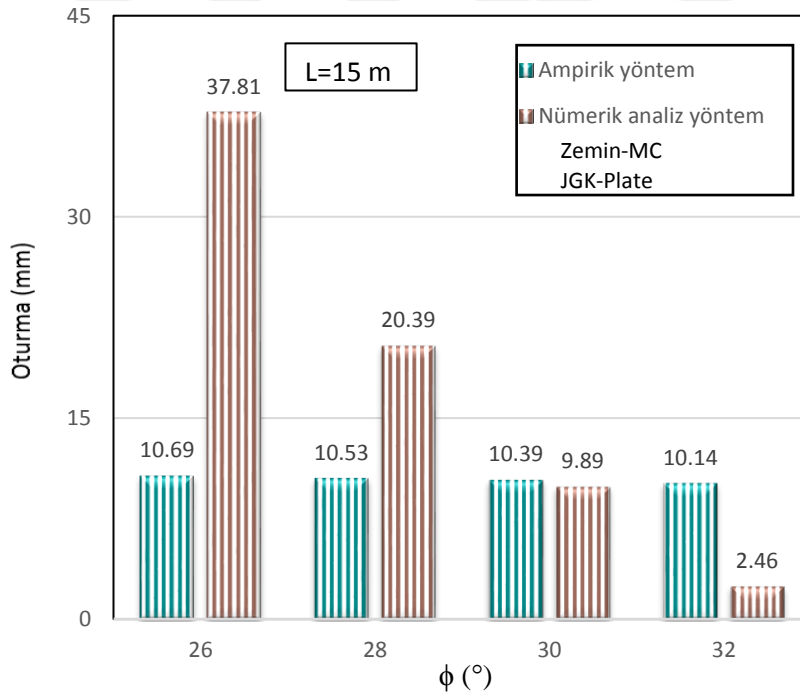
Mohr Coulomb zemin modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerleri ile ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.112, Şekil 7.113, Şekil 7.114, Şekil 7.115).



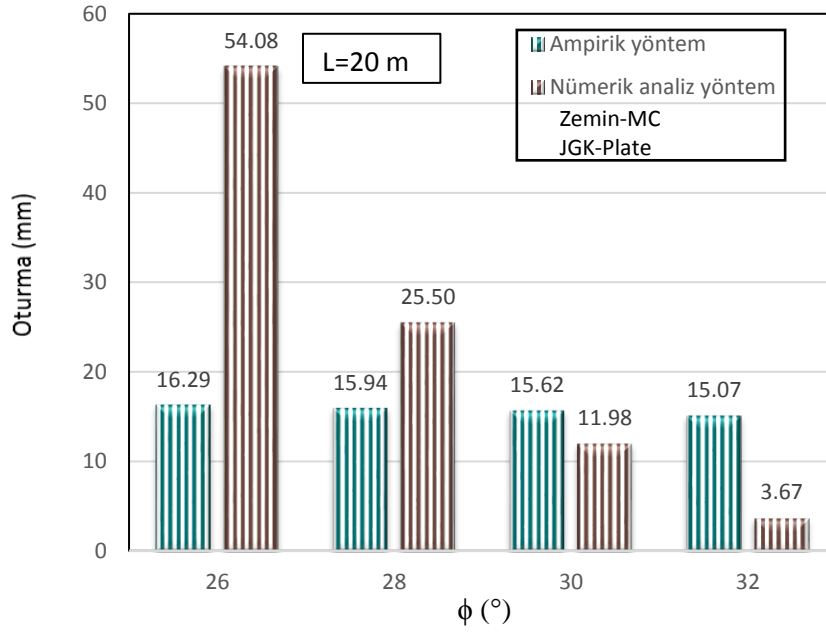
Şekil 7.112. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.113. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

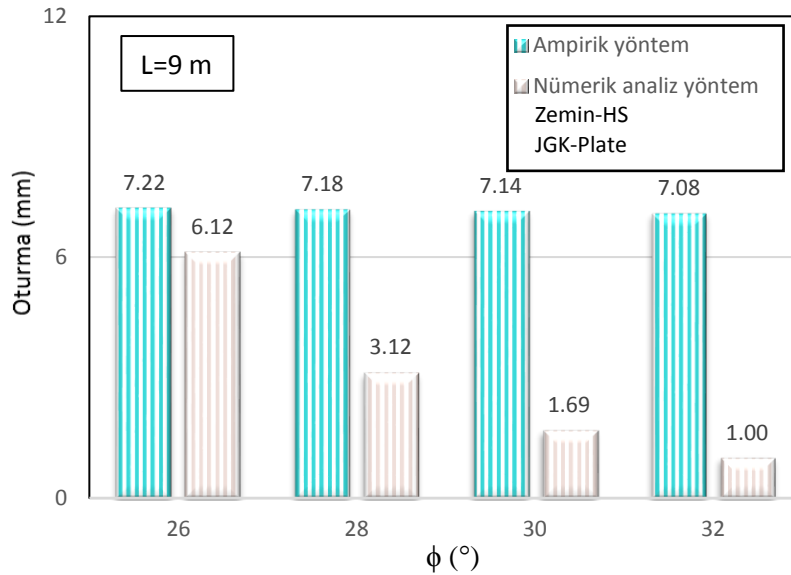


Şekil 7.114. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

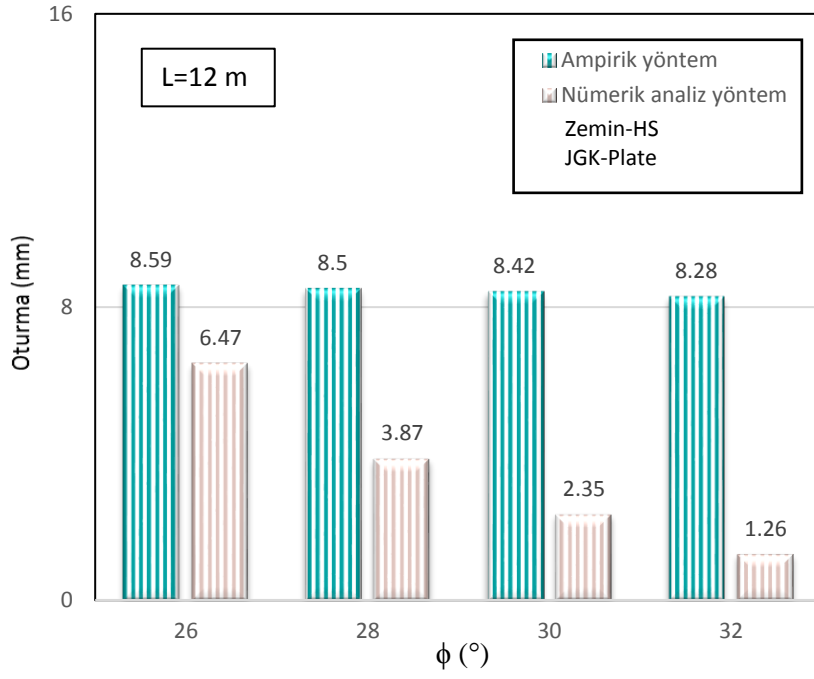


Şekil 7.115. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

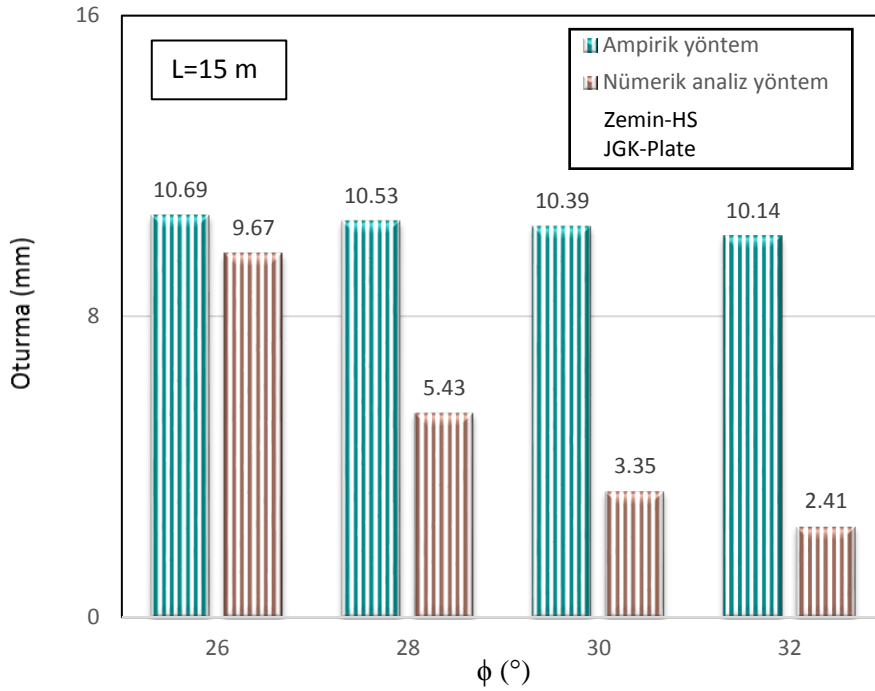
Pekleşen Zemin (HS) modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerleri ile ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla ilişkili grafikleri çizilmiştir (Şekil 7.116, Şekil 7.117, Şekil 7.118, Şekil 7.119).



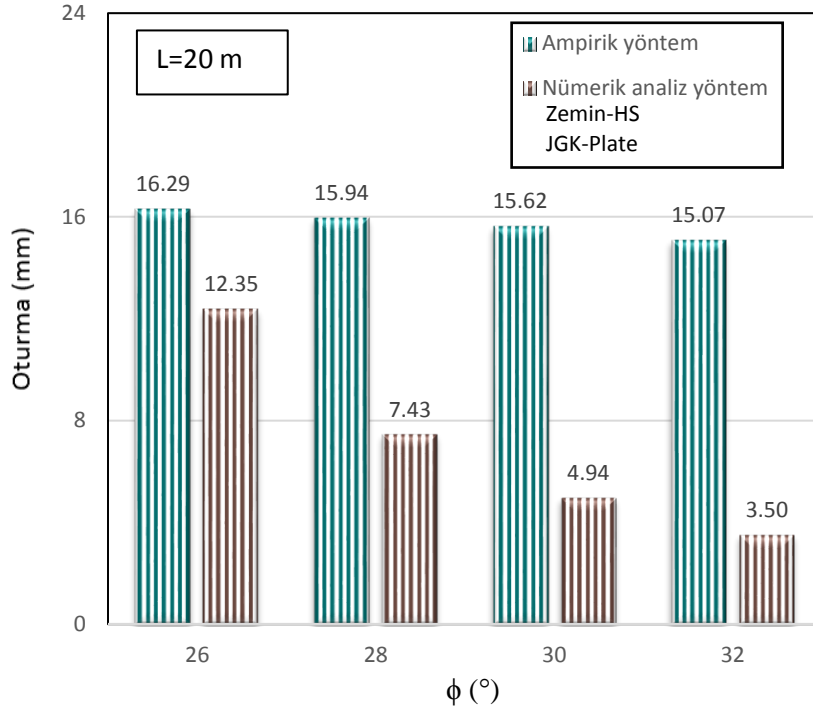
Şekil 7.116. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.117. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.118. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

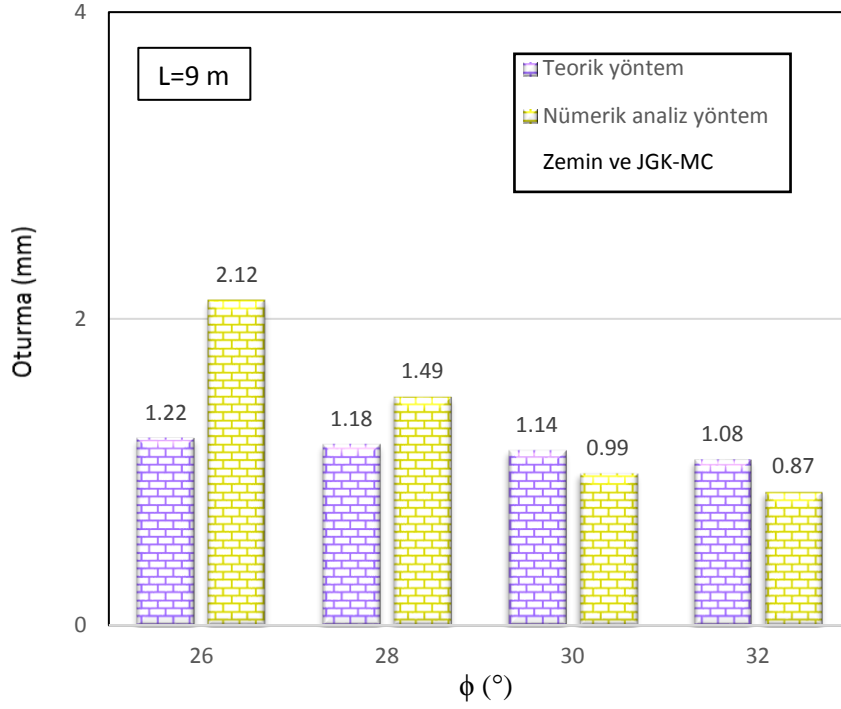


Şekil 7.119. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin ampirik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

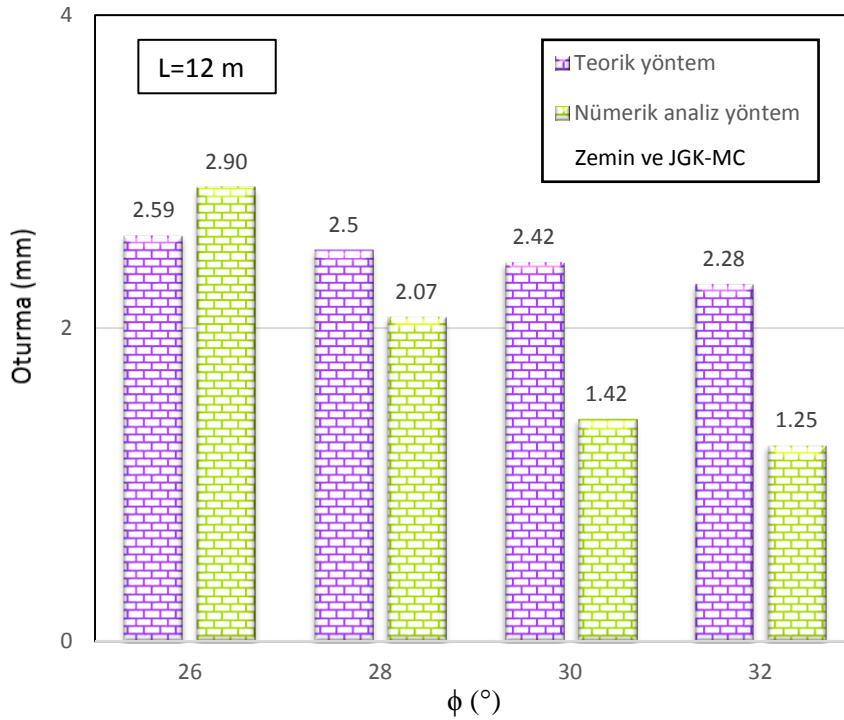
Modelden elde edilen maksimum oturma değerleri ile ampirik yöntemden elde edilen oturma değerleri karşılaştırıldığında ampirik yöntemden elde edilen oturma değerlerinin genel olarak daha büyük olduğu görülmüştür. Ancak plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun içsel sürtünme açısı 26° ve 28° olan çok gevşek kumlu zeminlerdeki Mohr Coulomb zemin modelinden elde edilen oturma değerleri, ampirik yöntemle elde edilen oturma değerlerinden daha büyük bulunmuştur.

Nümerik analizden elde edilen oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

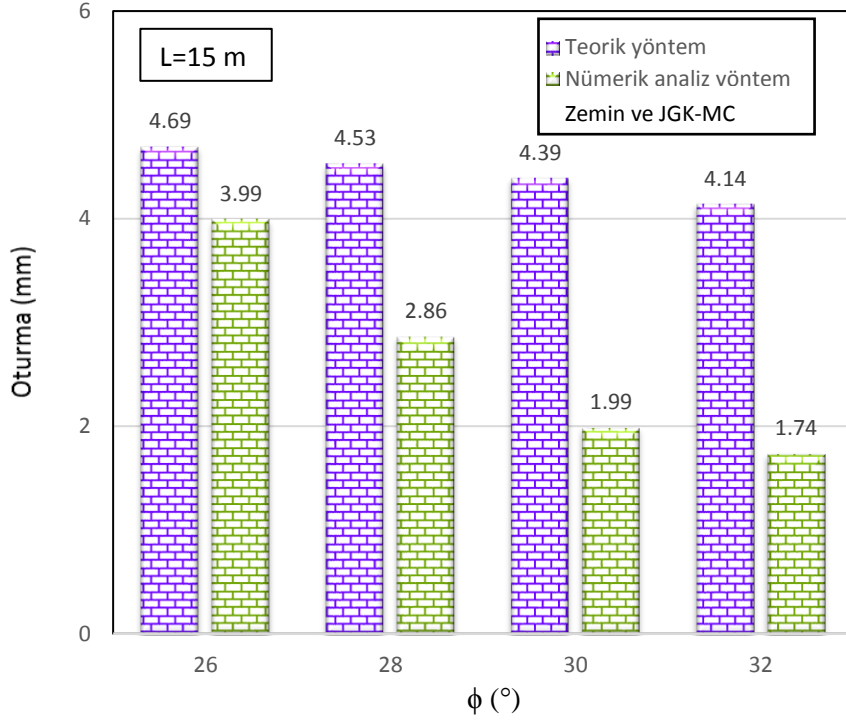
Mohr Coulomb (MC) zemin modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun maksimum oturma değerleri ile teorik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.120, Şekil 7.121, Şekil 7.122, Şekil 7.123).



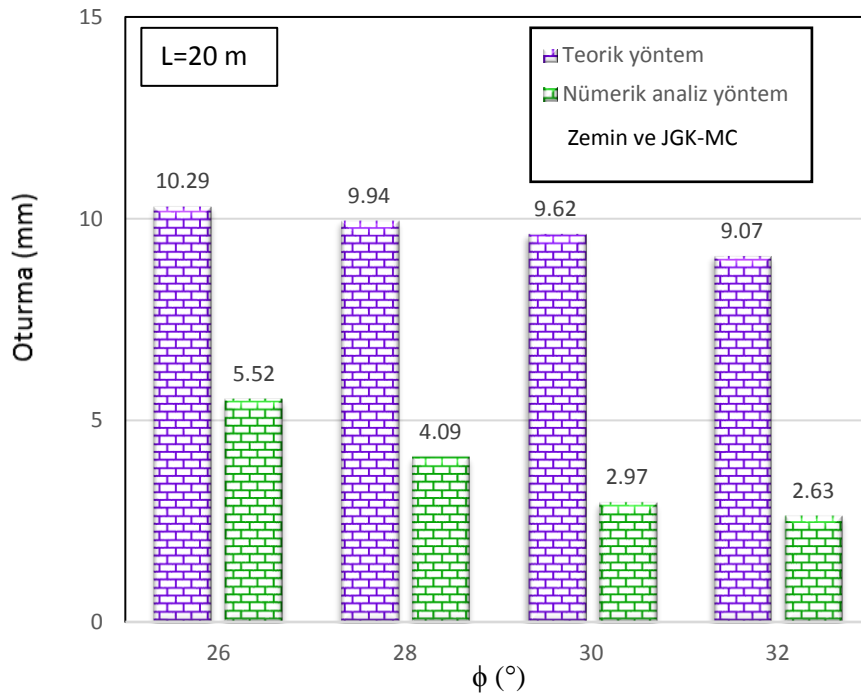
Şekil 7.120. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.121. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

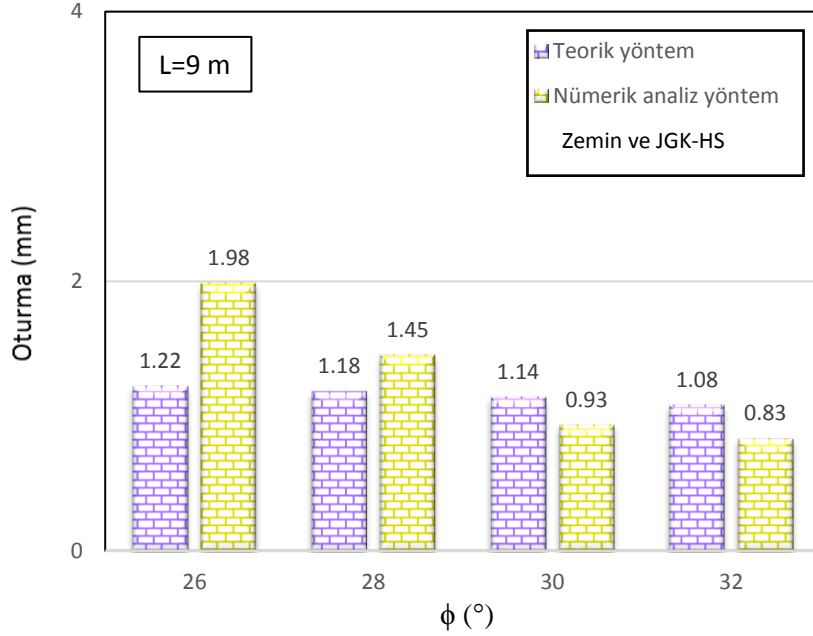


Şekil 7.122. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

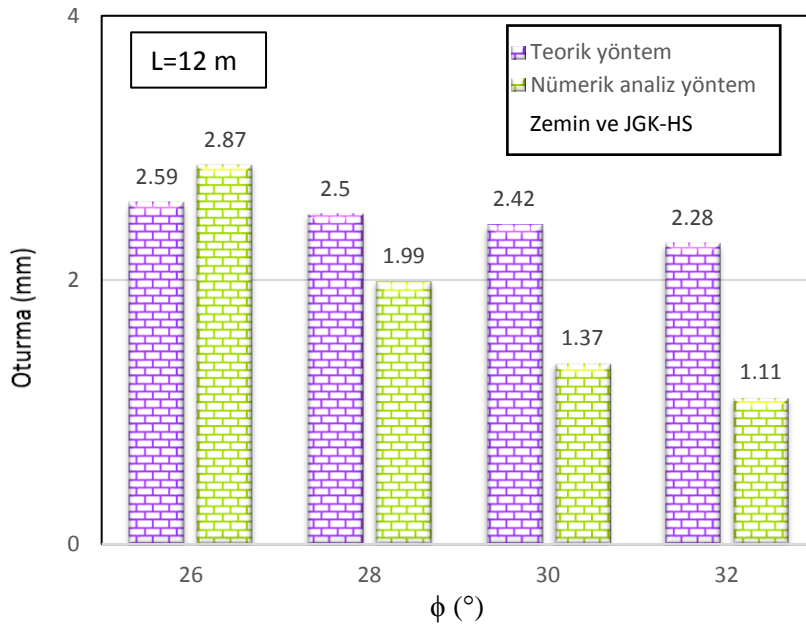


Şekil 7.123. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

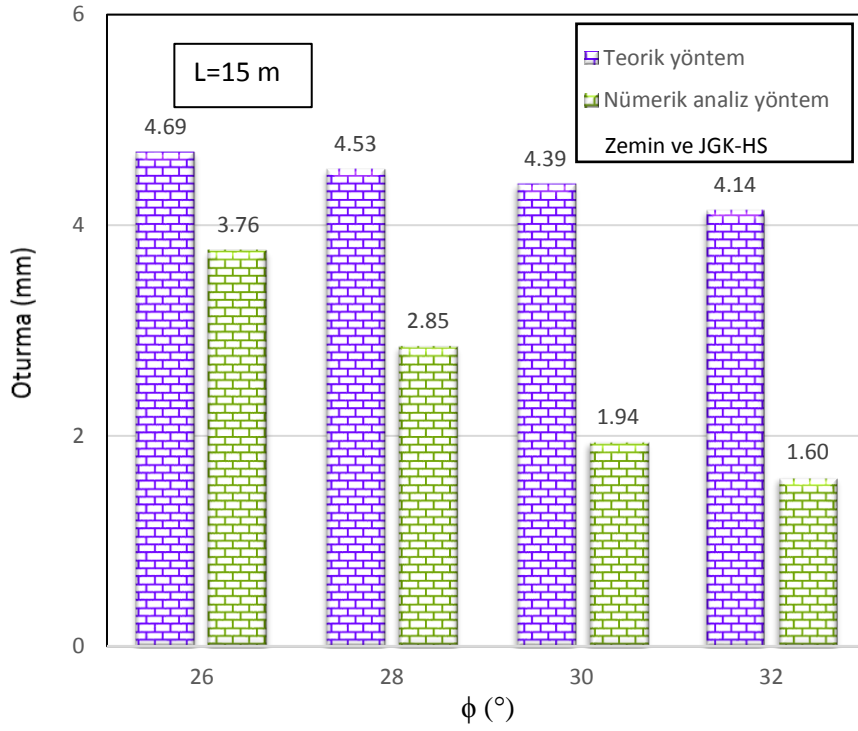
Pekleşen Zemin (HS) modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun maksimum oturma değerleri ile teorik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.124, Şekil 7.125, Şekil 7.126, Şekil 7.127).



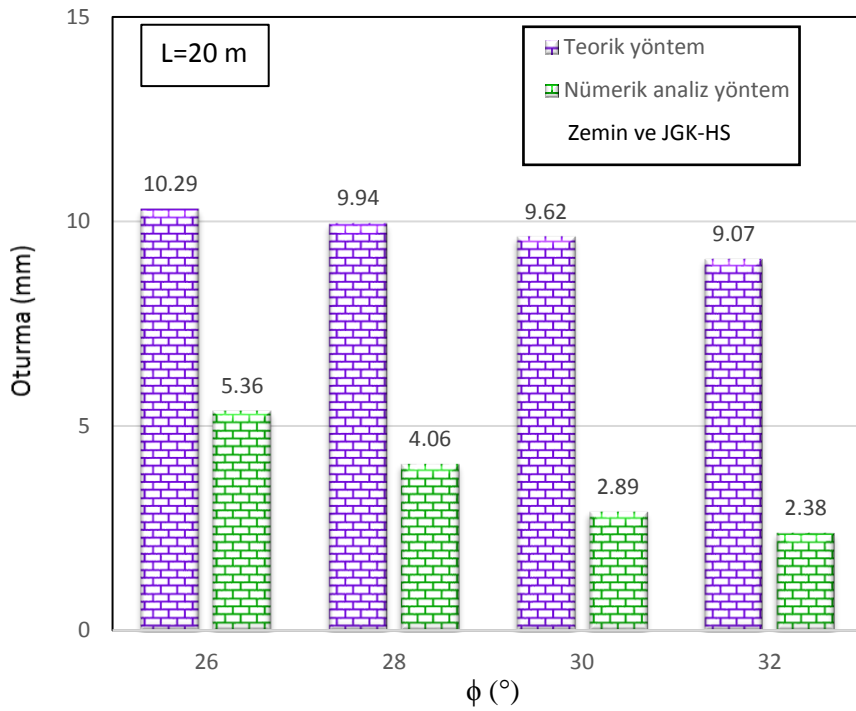
Şekil 7.124. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.125. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



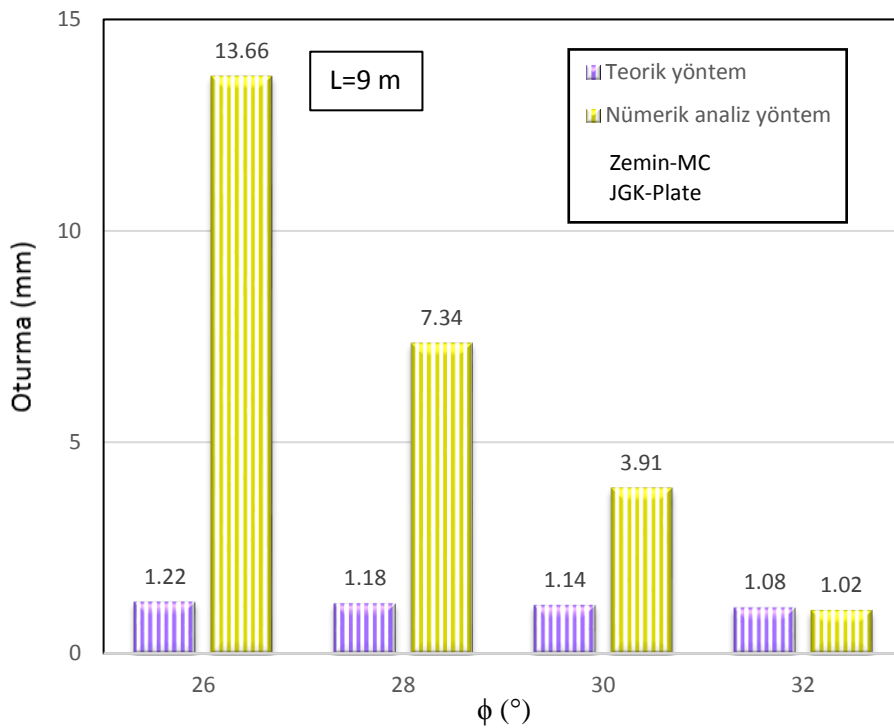
Şekil 7.126. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



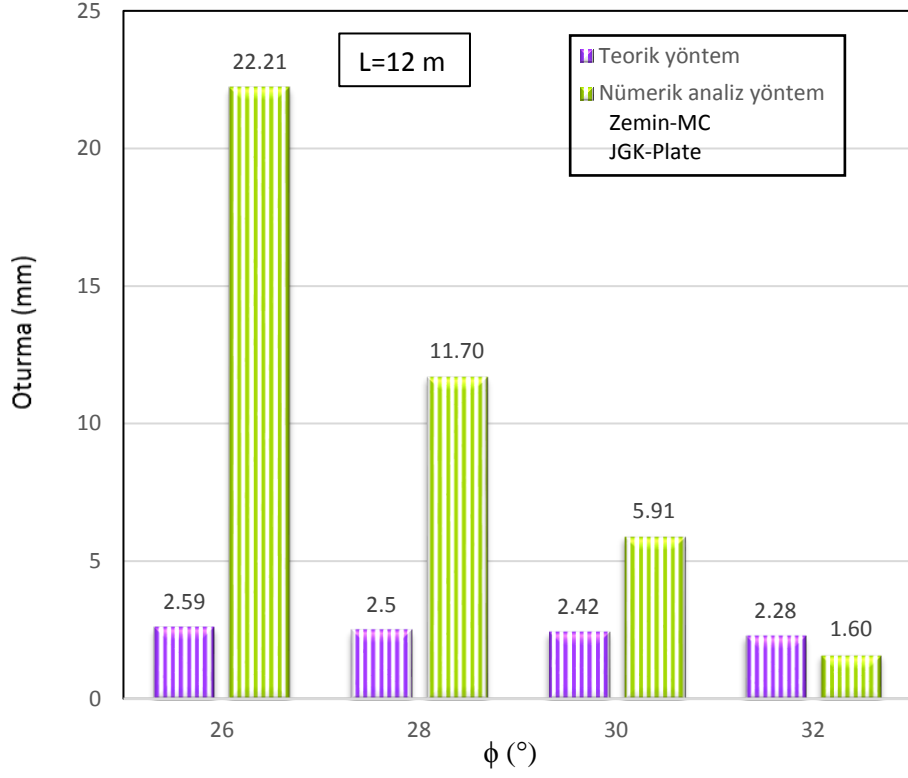
Şekil 7.127. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

Modelde zemin olarak tanımlanan 9 m ve 12 m boyundaki jet grout kolonların maksimum oturma değerleri, teorik yöntemle hesaplanan oturma değerlerine yakın bulunmuştur. Ancak jet grout kolonların boyu (15 m, 20 m) arttıkça teorik yöntemle elde edilen oturma değerleri nümerik yöntemle elde edilen oturma değerlerinden daha büyük bulunmuştur.

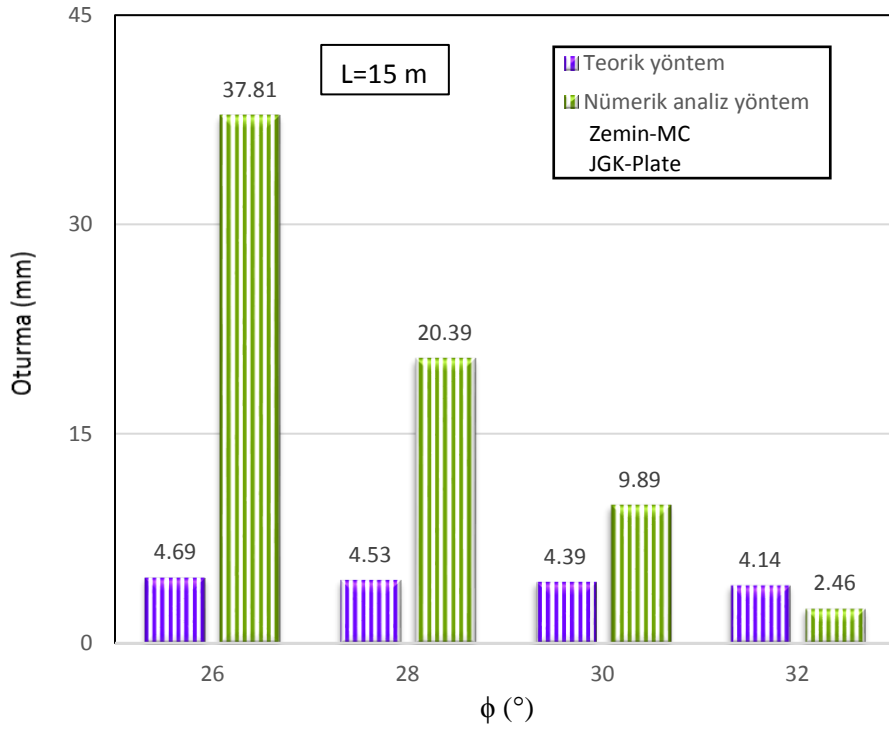
Mohr Coulomb zemin modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerleri ile teorik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.128, Şekil 7.129, Şekil 7.130, Şekil 7.131).



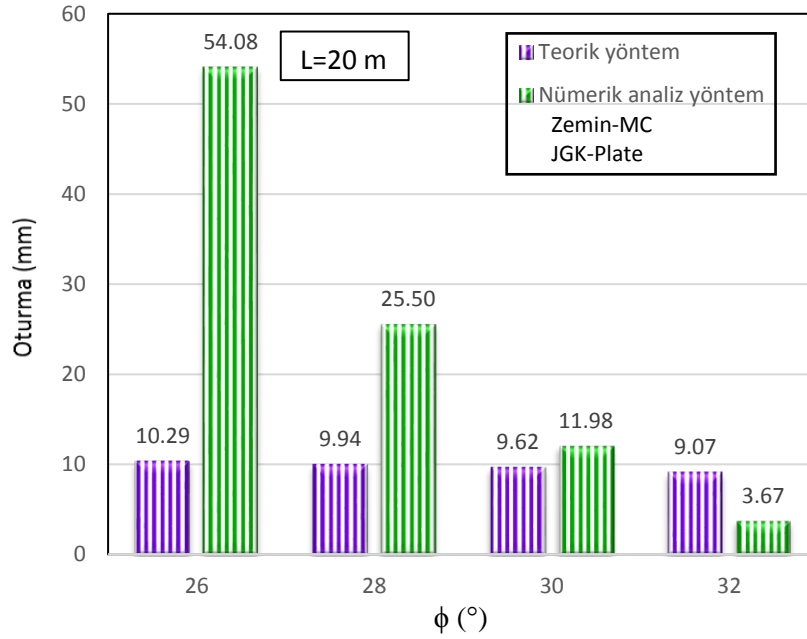
Şekil 7.128. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.129. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

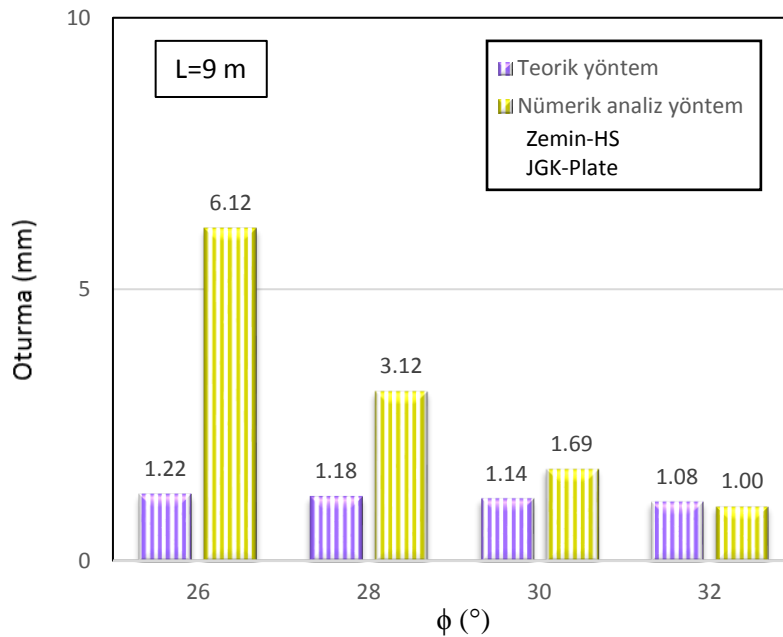


Şekil 7.130. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

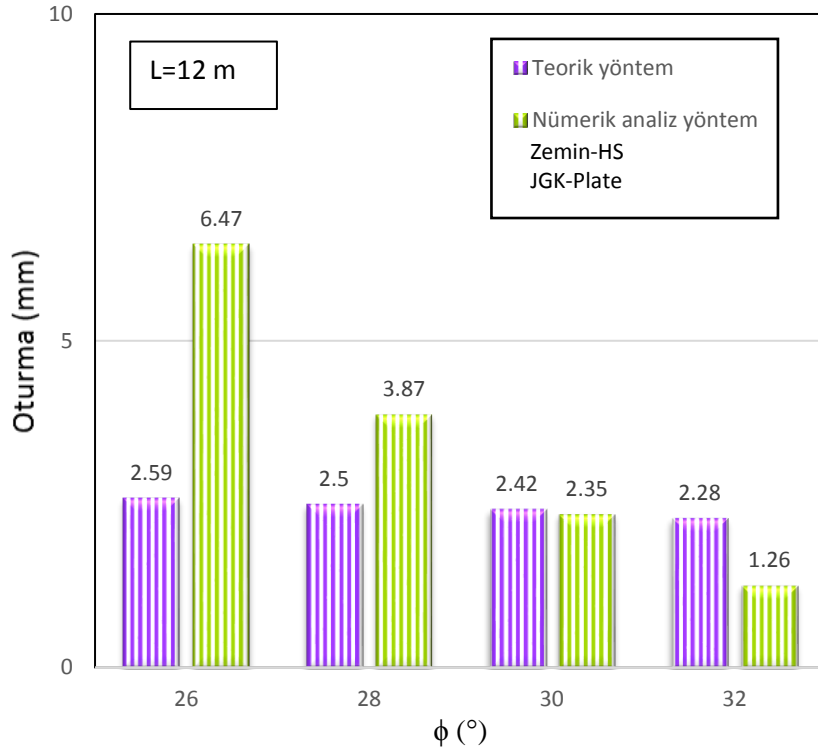


Şekil 7.131. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

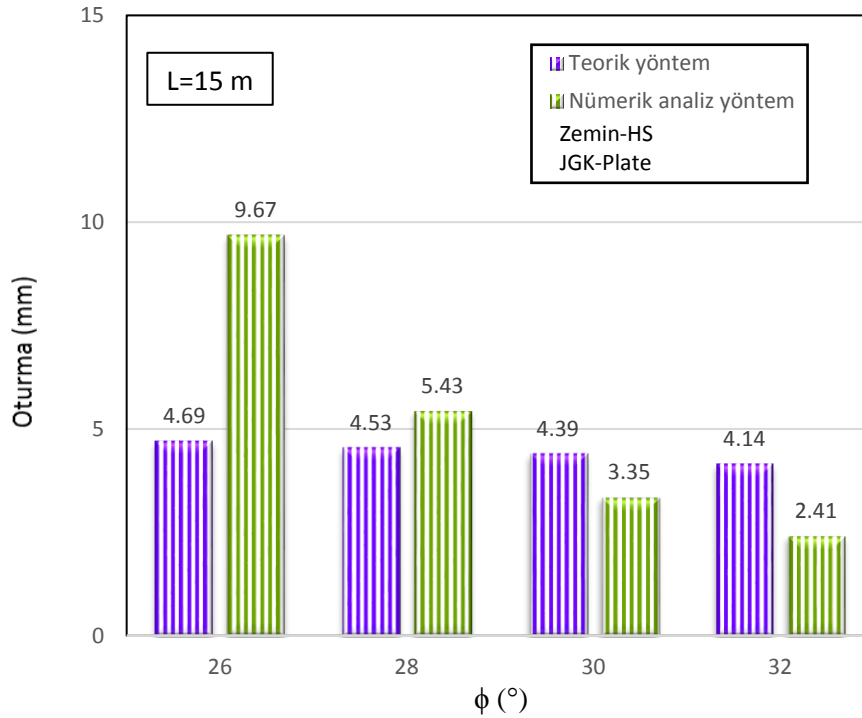
Pekleşen Zemin (HS) modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerleri ile teorik yöntemle elde edilen oturma değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.132, Şekil 7.133, Şekil 7.134, Şekil 7.135).



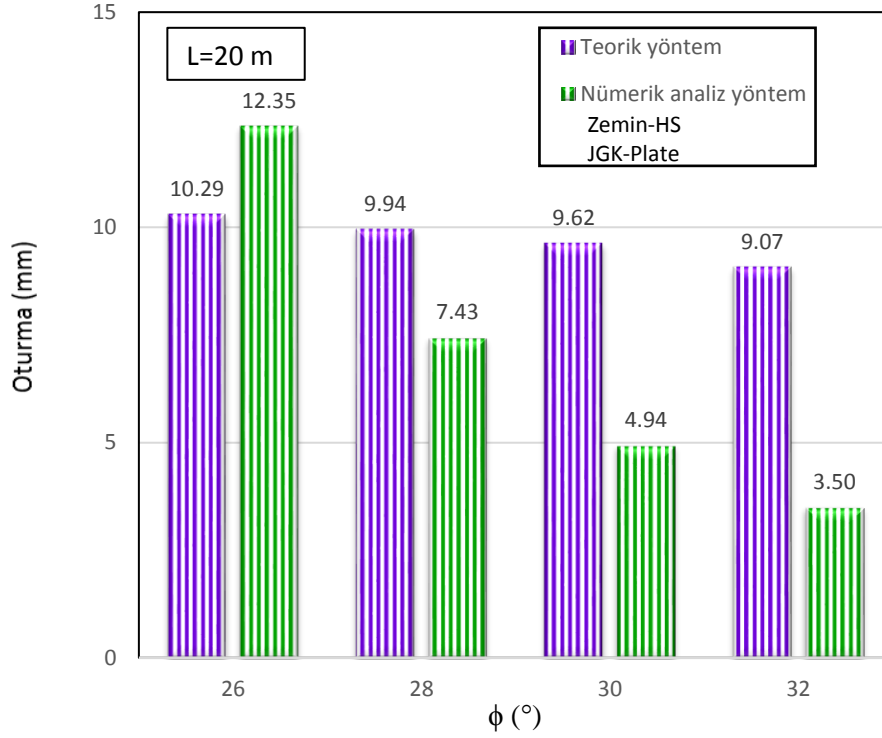
Şekil 7.132. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.133. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.134. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

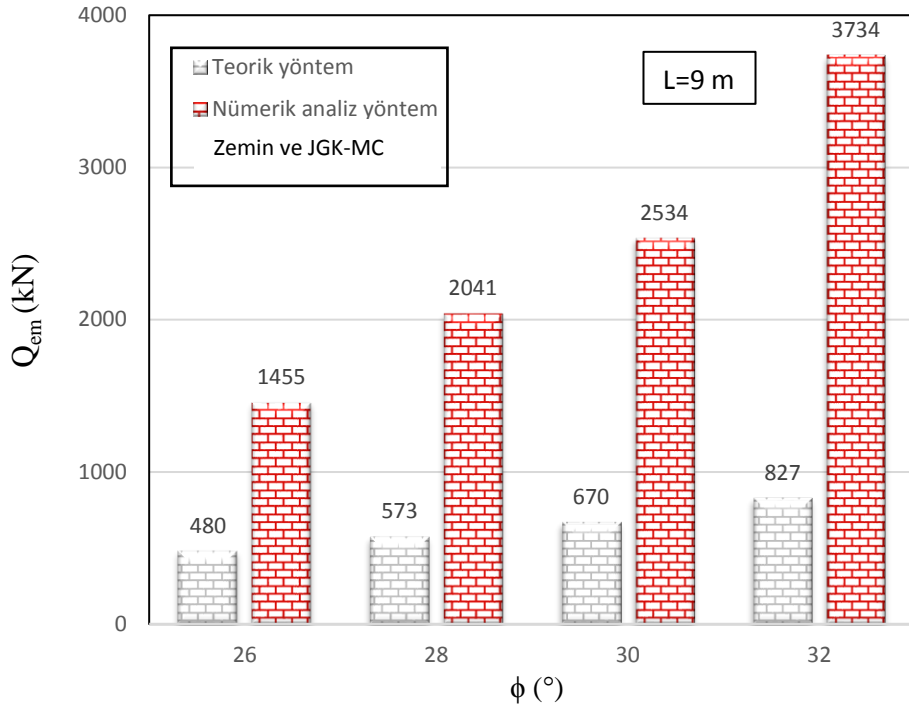


Şekil 7.135. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelinde maksimum oturma değerlerinin teorik yöntemle elde edilen oturma değerleriyle karşılaştırılması

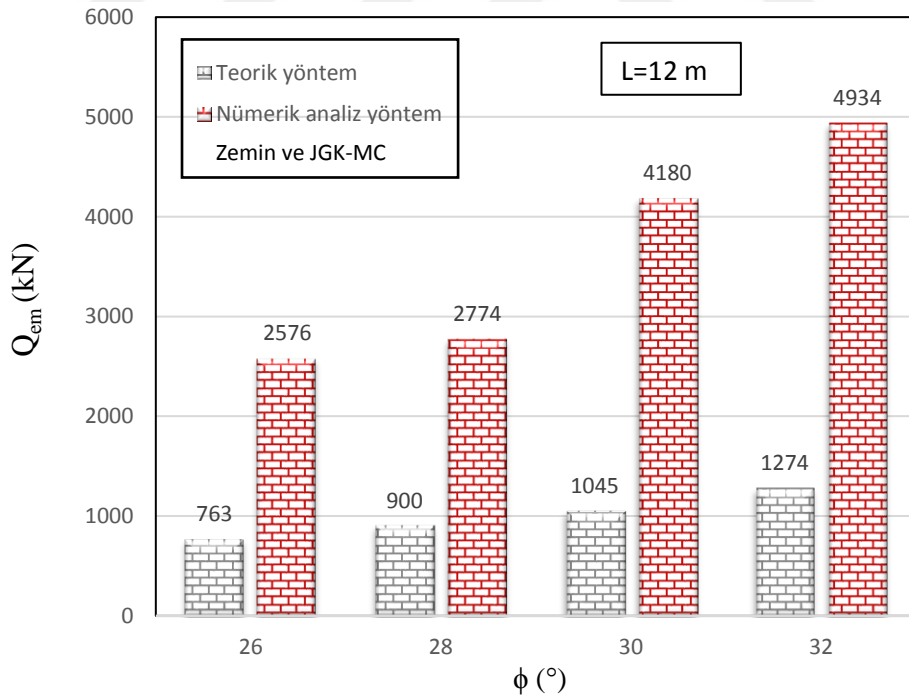
Modelde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonların oturma değerleri, teorik yöntemle hesaplanan oturma değerlerinden genel olarak daha büyük bulunmuştur. Ancak jet grout kolonun uygulandığı zeminin sıklığı arttıkça nümerik yöntemle elde edilen oturma değerlerinin artışı azalmış olup teorik yöntemle elde edilen jet grout kolonun bazı oturma değerleri nümerik yöntem ile elde edilen değerlerden daha büyük bulunmuştur.

Taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

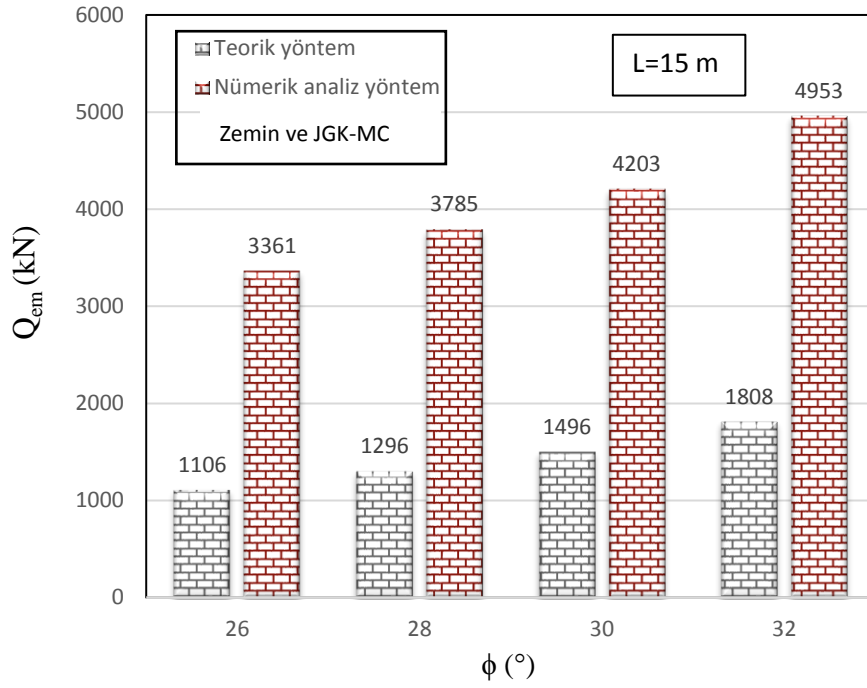
Mohr Coulomb zemin modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri (Q_{em}) ile teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.136, Şekil 7.137, Şekil 7.138, Şekil 7.139).



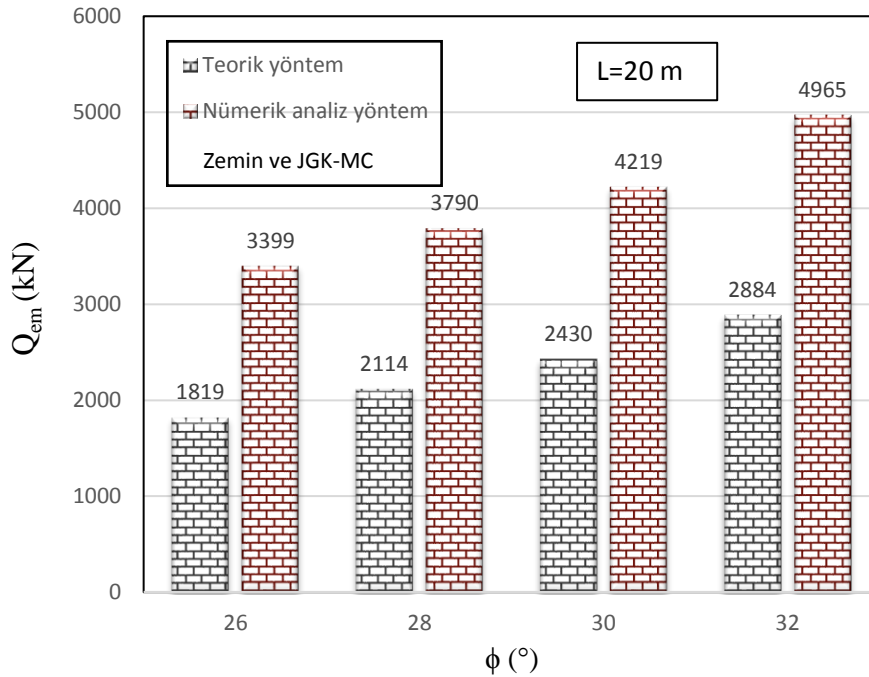
Şekil 7.136. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.137. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması



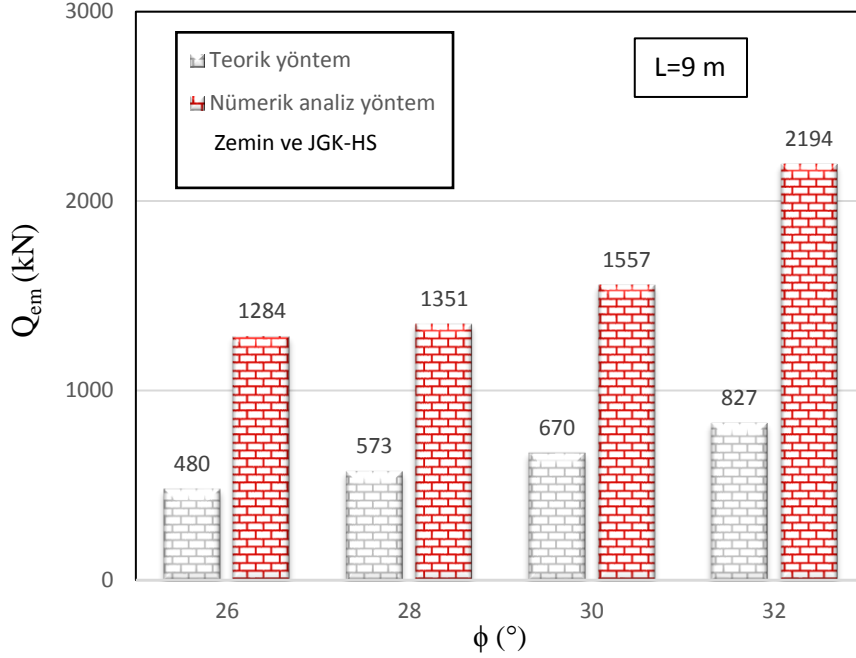
Şekil 7.138. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonunun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması



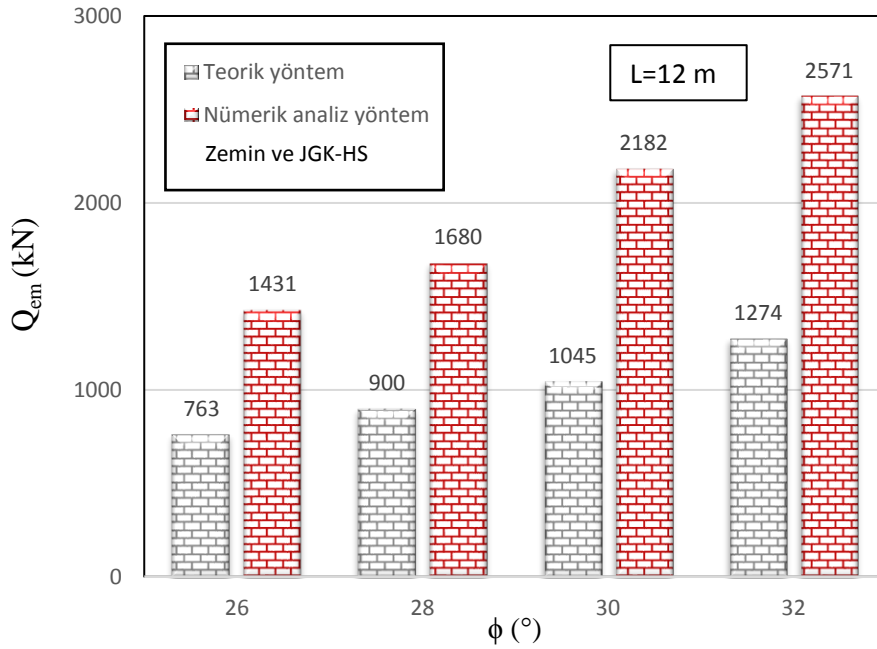
Şekil 7.139. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonunun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması

Pekleşen zemin (HS) modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonunun taşıma gücü değerleri ile elle hesap yöntemiyle elde edilen taşıma gücü değerleri karşılaştırılarak, 60

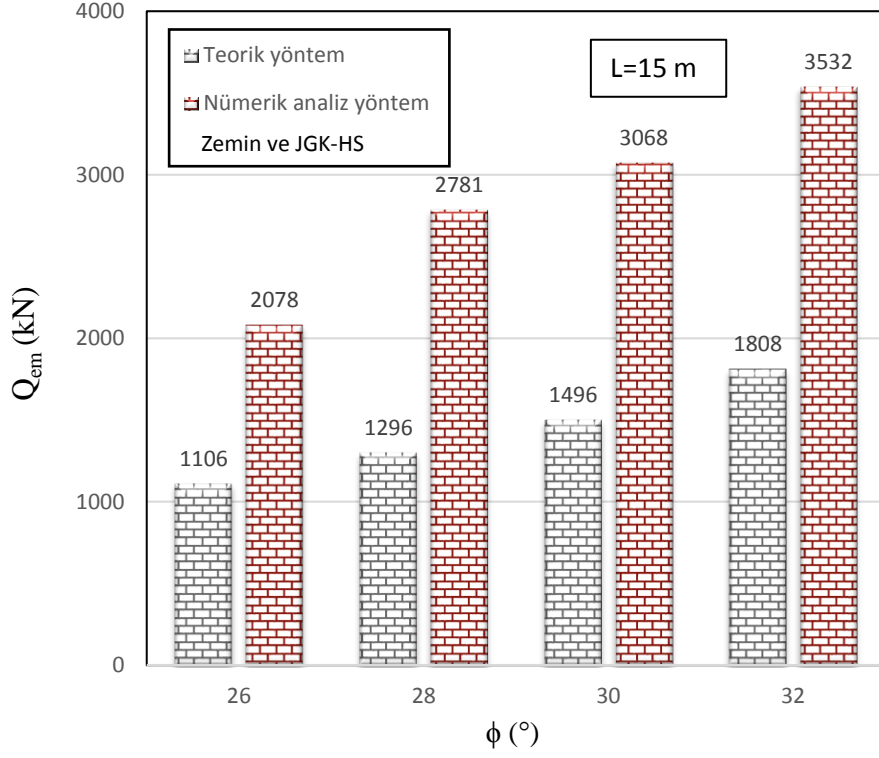
cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların taşıma gücü ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.140, Şekil 7.141, Şekil 7.142, Şekil 7.143).



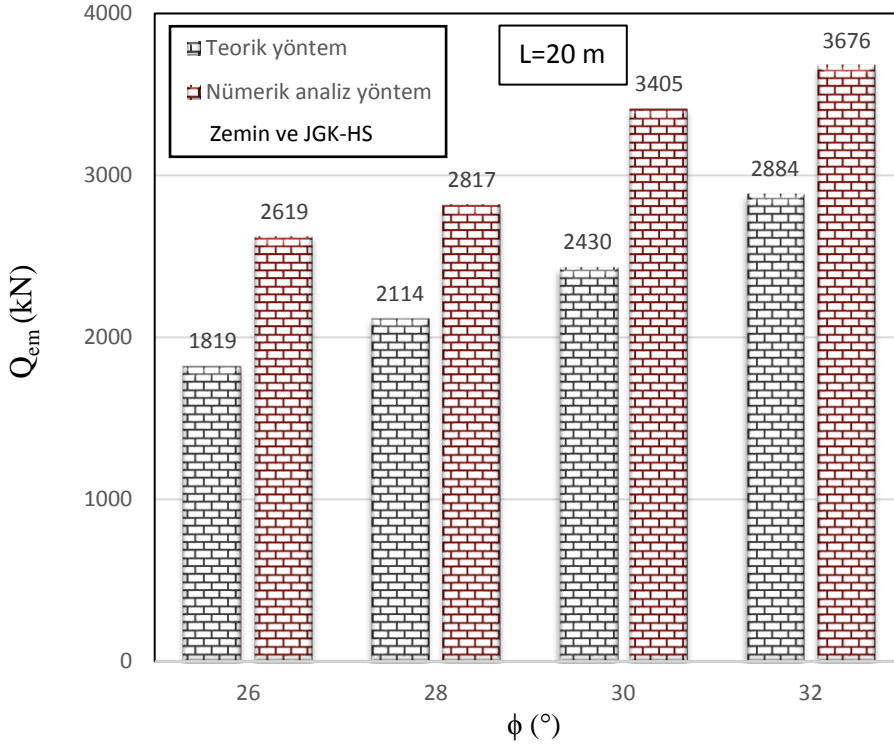
Şekil 7.140. 9 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.141. 12 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması



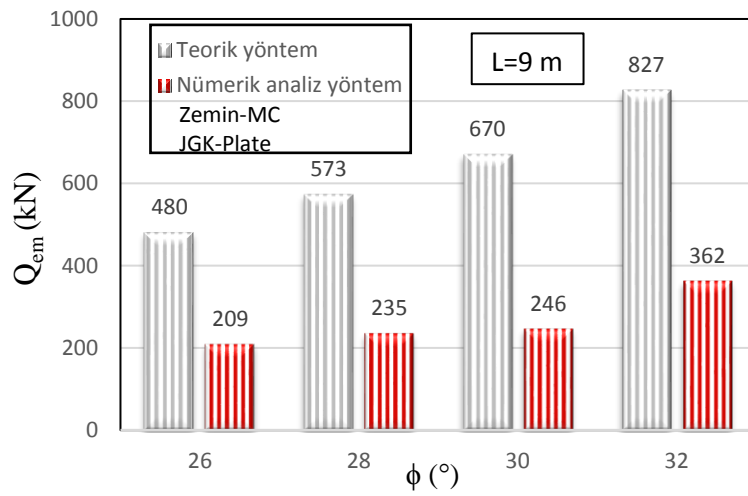
Şekil 7.142. 15 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması



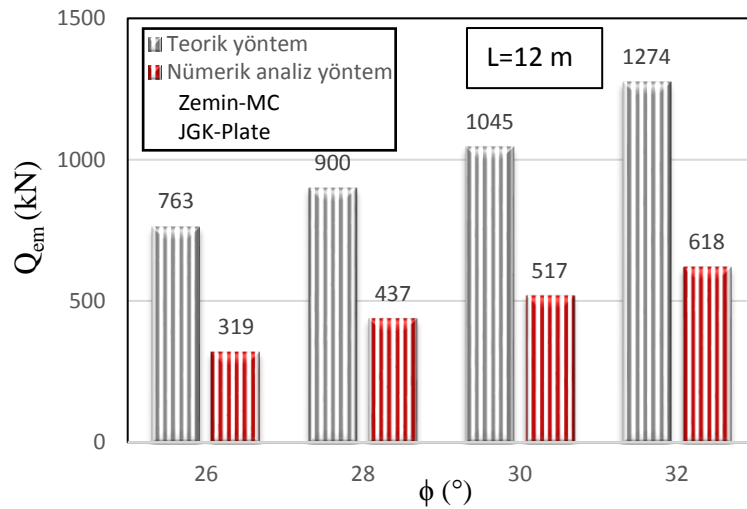
Şekil 7.143. 20 m boyunda, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması

Modelde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerleri teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerlerinden daha büyük bulunmuştur.

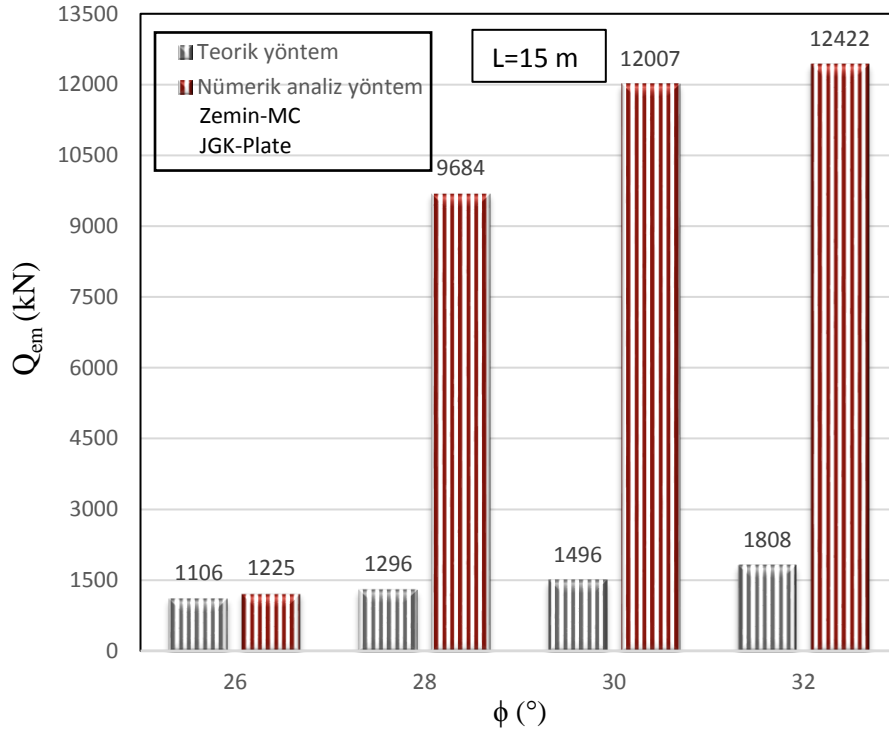
Eksenel simetrik Mohr Coulomb zemin modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri ile teorik yöntemle elde edilen taşıma gücü değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.144, Şekil 7.145, Şekil 7.146, Şekil 7.147).



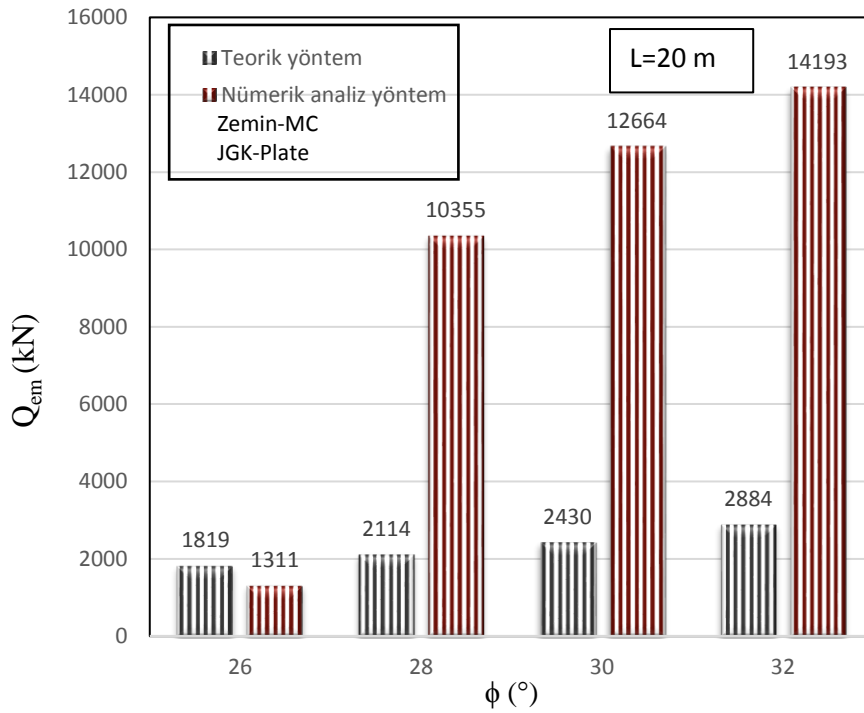
Şekil 7.144. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.145. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması

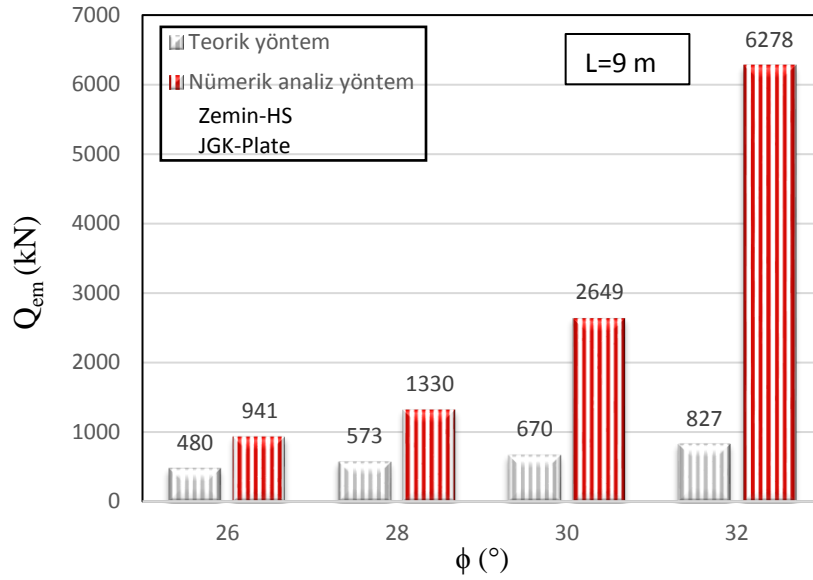


Şekil 7.146. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması

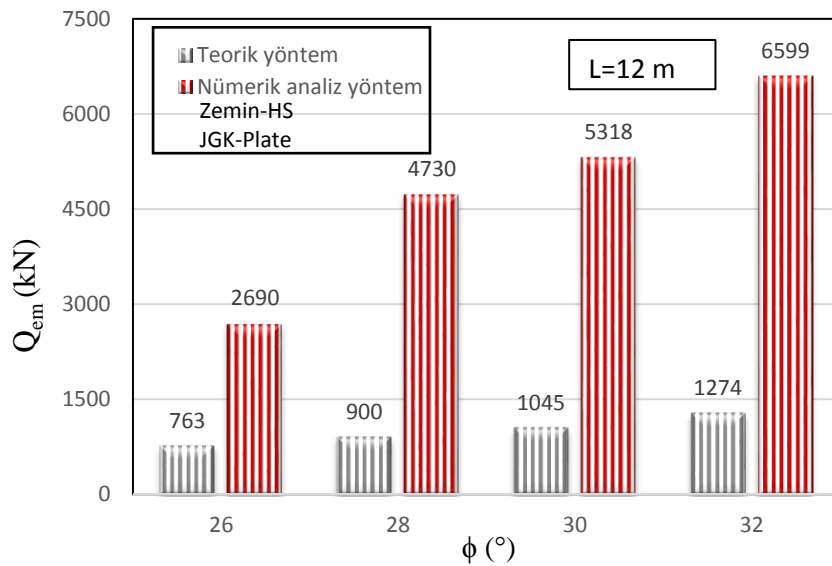


Şekil 7.147. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması

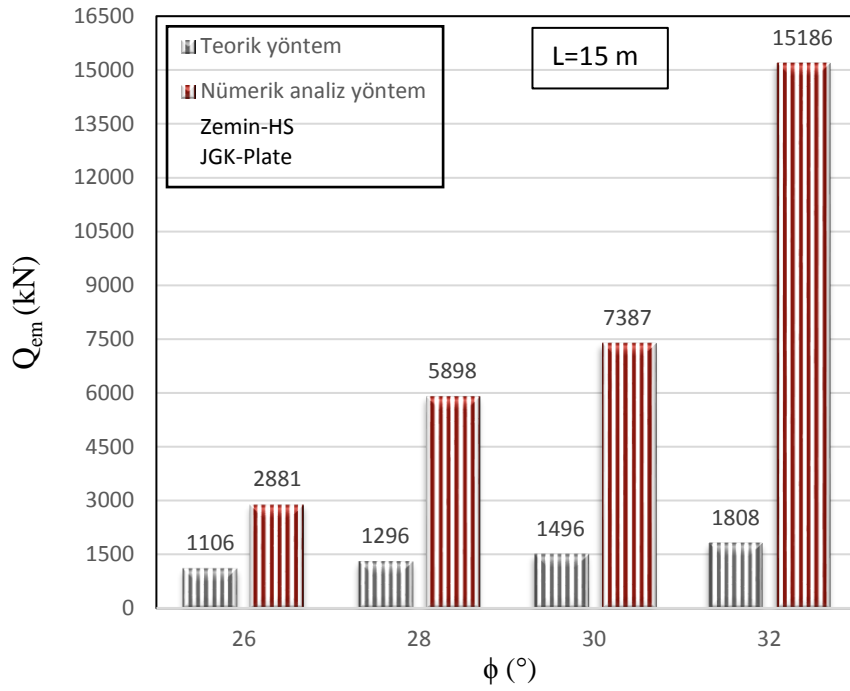
Pekleşen Zemin (HS) modelinde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri ile teorik yöntemle elde edilen taşıma gücü değerleri karşılaştırılarak, 60 cm çapında 9 m, 12 m, 15 m, 20 m boyundaki jet grout kolonların oturma ve içsel sürtünme açısıyla değişimi belirlenmiştir (Şekil 7.148, Şekil 7.149, Şekil 7.150, Şekil 7.151).



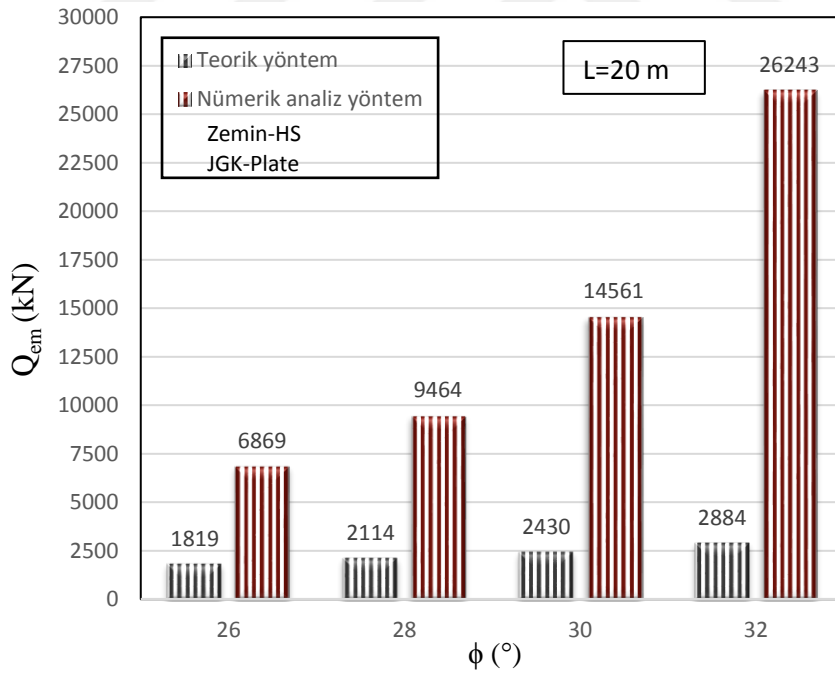
Şekil 7.148. 9 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.149. 12 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.150. 15 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması



Şekil 7.151. 20 m boyunda, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun Pekleşen Zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerlerinin teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleriyle karşılaştırılması

Modelde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerleri teorik yöntemle elde edilen emniyetli taşıma gücü değerlerinden, 9 m ve 12 m

boyundaki jet grout kolonların Mohr Coulomb zemin modelindeki emniyetli taşıma gücü değerleri haricinde, daha büyük bulunmuştur.



BÖLÜM VIII

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde sabit çapta ve farklı boylardaki tekil jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü ve maksimum oturma değerleri elle hesaplanan yöntemlerle ve nümerik analiz yöntemiyle hesaplanıp, bulunan değerler karşılaştırılmıştır. Ayrıca jet grout kolonun malzeme dayanımı da kontrol edilmiştir.

Elle hesap yöntemiyle tekil jet grout kolonun taşıma gücü hesabı kazık taşıma gücü hesabı gibi yapılmıştır. Tekil jet grout kolonun oturma hesabı ise yarı ampirik, ampirik ve teorik (basit yaklaşım) yöntemleriyle yapılmıştır.

Nümerik analiz yönteminde tekil jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü ve maksimum oturma değerlerini bulmak için sonlu elemanlar programı olan plaxis 2D kullanılmıştır. Tekil jet grout kolon aksel simetri modelinde, Mohr Coulomb ve Pekleşen Zemin modelleriyle zemin ve plate eleman olarak tanımlanarak modellenmiştir. Her model için tekil jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü ve maksimum oturma değerleri bulunmuştur.

Çok gevşek ve gevşek kumlu zeminlerde sabit çap ve farklı boylardaki tekil jet grout kolonlarının elle hesap yöntemlerinden ve nümerik model analizinden elde edilen emniyetli taşıma gücü ve maksimum oturma değerlerinin karşılaştırılması ile şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kazık hesabı ve nümerik analiz yöntemiyle bulunan tekil jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü, içsel sürtünme açısı arttıkça artmaktadır. Tekil jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumda en düşük iken içsel sürtünme açısı 32° olan gevşek kumda en fazla bulunmuştur.
- Sabit çaptaki jet grout kolonun boyu arttıkça jet grout kolonların taşıma gücü de artmıştır. Ancak taşıma gücünde uç direnci belli bir değeri aştıktan sonra sabit kabul edilmektedir.

- Nümerik analiz modeliyle bulunan tekil jet grout kolonun emniyetli taşıma gücü değerleri elle hesap yöntemiyle elde edilen taşıma gücü değerlerinden genel olarak daha büyük bulunmuştur.
- Nümerik analiz yönteminde, jet grout kolonun zemin olarak tanımlandığında elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleri ile plate eleman olarak tanımlandığında elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleri arasında model seçimine, zeminin sıklığına ve kolon boyuna bağlı olarak farklılıklar olmuştur.
- Nümerik analiz yönteminde Mohr Coulomb (MC) zemin modeli seçildiğinde elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleri ile Pekleşen Zemin (HS) modeli seçildiğinde elde edilen emniyetli taşıma gücü değerleri arasında, zeminin tanımlandığı malzemeye, zeminin sıklığına ve kolon boyuna bağlı olarak farklılıklar olmuştur. Mohr Coulomb modelinde zemin olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerleri ile plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerleri jet grout kolon boyuyla değişim göstermiştir. Pekleşen Zemin modelinde ise plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerleri, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonların emniyetli taşıma gücü değerlerinden genel olarak daha büyük bulunmuştur.
- Yarı ampirik, ampirik ve teorik yöntemlerle ve nümerik analiz yöntemiyle bulunan tekil jet grout kolonun maksimum oturma değerleri, içsel sürtünme açısı arttıkça azalmaktadır. Tekil jet grout kolonun oturma değeri içsel sürtünme açısı 26° olan çok gevşek kumlu zeminde en fazla iken içsel sürtünme açısı 32° olan gevşek kumlu zeminde en düşük bulunmuştur.
- Sabit çaptaki jet grout kolonun boyu arttıkça oturma değeri de bir miktar artmıştır. Çünkü yük altındaki jet grout kolon yapısında da kısalma olmaktadır ve bu kısalma boy ile artış göstermektedir.
- Yarı ampirik, ampirik ve teorik yöntemlerle hesaplanan tekil jet grout kolonun oturma değerleri farklı bulunmuştur. Yarı ampirik yöntemle hesaplanan oturma

değeri en yüksek bulunurken teorik yöntemle hesaplanan oturma değeri en düşük bulunmuştur.

- Yarı ampirik yöntemle elde edilen oturma değerlerinin en yüksek olmasının sebebi yarı ampirik yöntemde oturmanın; jet grout kolon ucunun elastik oturması, jet grout kolonun elastik oturması, jet grout kolonun gövdesi boyunca oluşan elastik oturma bileşenlerini kapsayıp detaylı bir yöntem olmasıdır.
- Teorik yöntem ile elde edilen oturma değerlerinin en küçük olmasının sebebi teorik yöntemde oturmanın jet grout kolonunun sadece kendisinde gerçekleştiği kabulüne dayanmasıdır.
- Nümerik analiz yönteminde, Mohr Coulomb (MC) zemin modeliyle elde edilen tekil jet grout kolonun maksimum oturma değerleri, Pekleşen Zemin (HS) modeliyle elde edilen tekil jet grout kolonun oturma değerlerine göre daha büyük bulunmuştur. Bunun sebebi pekleşen zemin modelinde jet grout kolonun rijitlik parametrelerinin zemindeki gerilme artışına bağlı değişiminin esas alınması ve Mohr Coulomb modelinden farklı olarak yükleme (E_{50}) ve boşaltma (E_{ur}) anı için ayrı elastisite modüllerinin tanımlanabilmesi olduğu düşünülmektedir.
- Nümerik analiz yönteminde plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonun maksimum oturma değerleri, zemin olarak tanımlanan jet grout kolonun oturma değerlerinden daha büyük bulunmuştur. Bunun sebebi zemin olarak tanımlanan jet grout kolonu düşey yüklendiğinde oturmanın sadece düşey yönde değil farklı yönlerde de gerçekleştiği, plate eleman olarak tanımlanan jet grout kolonu düşey yüklendiğinde ise yapısal eleman daha rijit olduğundan düşey yönde deplasman daha büyük olduğu düşünülmektedir.
- Nümerik modelde elde edilen jet grout kolonun maksimum oturma değerleri yarı ampirik, ampirik ve teorik yöntemlerle elde edilen maksimum oturma değerleriyle karşılaştırıldığında genel olarak daha küçük bulunmuştur.
- Elle hesap ve nümerik model yöntemiyle hesaplanan farklı emniyetli taşıma gücü ve maksimum oturma değerlerine bakılarak seçilen hesap yönteminin, jet grout

kolonun tanımlandığı malzemenin, zemin parametrelerinin ve modellemenin bulunan değerleri çok etkilediği görülmüştür.

- Bu çalışma ile yapılan modellemelerden ve elle hesap yöntemlerinden elde edilen sonuçların, ileriki çalışmalarda fiziki modeller oluşturularak elde edilen uygulama verileriyle karşılaştırılmasının daha gerçekçi olacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

Akan, R., Jet grout yönteminin zemin iyileştirmesine katkısının ve bu yöntemde kullanılan parametrelerin etkilerinin irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, s. iv, 2013.

Akan, R. ve Keskin, S.N., “Jet grout yönteminin zemin iyileştirmesine katkısının ve bu yöntemde kullanılan parametrelerin etkilerinin irdelenmesi”, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi** 18(2), 22-25, 2014.

Alkaya, D. ve Yeşil, B., “Yüksek modüllü kolonların (jet grouting) tablolama programı kullanarak tasarımı”, **Akademik Bilişim’11 - XIII. Akademik Bilişim Konferansı**, İnönü Üniversitesi, Denizli, s. 749-755, 2-4 Şubat, 2011.

Askay, A., Jet grouting kullanılarak yapılan zemin iyileştirme çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, s. 20-25, 2002.

ASTM D 1143-81, Standart test methods for deep foundation under static axial compressive load, **American National Standards Institute**, USA, 1994.

Baumann, V., “Das soilcrete - verfahren in der baupraxis”, **Vortrage der Baugrundtagung, DGEG** 13, 49 – 83, 1984.

Bell, K.R., Clemente, J.L.M., Gularte, F.B. and Lopez, R.A., Superjet Grouting Reduces Foundation Settlement For La Rosita Power Plant in Mexicalli, Mexico, **ASCE**, New Orleans, 2003.

Brinkgreve, R.B.J. and Broere, W., Plaxis 3D Foundation V1.6 Manual, **Delft University**, Netherlands, 2006.

Burke, G.K., Peterson, J.H. and Smith, M. L., “Superjet grouting and the quality of its product”, **ASCE Geotechnical Special Publication** 104, 111-125, 2000.

Burke, G.K., Jet Grouting Systems: Advantages and Disadvantages, *ASCE*, Orlando, Florida, 2004.

Bzowka, J., “Computational model for jet grouting pile-soil interaction”, *Studia Geotechnica et Mechanica* 26, 3-4, 2004.

Bzowka, J., “Analysis of bearing capacity and settlement of jet grouting columns”, *Architecture Civil Engineering Environment* 2, 41-53, 2012.

Carter, M. and Bentley, S.P., Correlations of Soil Properties, *Pentech Press*, London, 1991.

Cippo, P.A. and Tornaghi, R., Soil Improvement by Jet Grouting, *Rodio&P.A.*, Newyork, 1985.

Coyle, H.M. and Castello, R.R., “New design correlations for pile design in sand”, *Journal of Geotechnical Engineering Division ASCE* 107, 965-986, 1981.

Croce, P. and Flora, A., “Analysis of single-fluid jet grouting”, *Geotechnique* 50, 739-748, 2000.

Çetin, H. ve Şeflek, N., “Ceyhunkent toplu konutları inşa sahasının jet grout yöntemi ile ıslahı”, *Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 27(2), 27-37, 2012.

Çınar, H., Zemin iyileştirilmesinde jet grout yöntemi ve uygulamaya yönelik proje çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, s. 59, 2014.

Çinicioğlu, S.F., “Zeminlerde statik ve dinamik yükler altında taşıma gücü anlayışı ve hesabı”, *İMO Seminer*, İstanbul, s. 1-24, 19 Şubat, 2005.

Das, B.M., Advanced Soil Mechanics, *Taylor & Francis*, Newyork, 2008.

Doğanışık, S.K., Jet grout kolonundaki gerilme dağılışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 7, 2010.

Doğu, O., Jet grouting tekniği ile zemin ışlahı, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 1, 2005.

Durgunoğlu, H.T., Kulaç, H.F., Oruç, K., Öge, C.E. ve Eker, F.ř., “Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirme üzerine bir uygulama”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 438-449, 1998.

Durgunoğlu, H.T., Kulaç H.F., Oruç, K., Yıldız, R., Altuğu, T. ve Emrem, C.A., “Sıvılaşmaya karşı jet grout yöntemi ile zemin ışlahına ait bir vaka analizi”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, s. 1-12, 2002.

Durgunoğlu, H.T., “Yüksek modüllü kolonların temel mühendisliğinde kullanımı”, *Türkiye Mühendislik Haberleri* 431, 39-52, 2004.

Durgunoğlu, H.T., “Zeminlerde karşılaşılan problemler ve zemin iyileştirmesi”, *Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Bilimleri Ana Bilim Dalı Bahar Sempozyumu*, Kocaeli, s. 1-10, Mayıs, 2008.

Durgunoğlu, H.T., Koçak, B., Kulaç, F. ve Velioğlu, N., “Jet grout kolonların zemin ışlahında kullanımı ve kalite kontrol yöntemleri-bir vaka analizi”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On beşinci Ulusal Kongresi*, ODTÜ, Ankara, s. 1-10, 16-17 Ekim, 2014.

Düzceer, R., Kazık yükleme deneyleri ile nihai kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesi üzerine bir çalışma, Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 40-45, 2002.

Düzceer, R., “Sakhalin doğalgaz ve petrol işleme tesisi kazık işleri”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 35-44, 2004.

Erdil, B., Jet grout kolonu tasarım taşıma gücü hesabı, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 16, 2008.

Essler, R. and Yoshida, H., Jet Grouting in Ground Improvement, *Spon Press*, New York, 2004.

FKG, Firmalarla yapılan kişisel görüşmeler, 2016.

Garassino, A.L., “Design procedures for jet grouting”, *Seminer on Jet Grouting*, Singapore, s. 15-48, 7 Nisan, 1997.

Handley, B., Ball, J., Bell, A. ve Suckling, T., Handbook on Pile Load Testing, *Federation of Piling Specialists*, Beckenham, Kent, 2006.

Kara, H.B. ve Şenlik, H.Ç., “Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirilmesine ait bir vaka analizi”, *6. Geoteknik Sempozyumu*, Çukurova Üniversitesi, Adana, s. 26-27, Kasım, 2015.

Kauschinger, L.J., Hankour R. and Perry E.B., “Methods to estimate composition of jet grout bodies, proceedings of the conference of grouting”, *Soil Improvement And Geosynthetics* 25, 182-193, 1992.

Kaymakçı, S., Jet grout kolona soketli fore kazığın çalışma performansının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 17, 2014.

Keskin, S.N. ve Çimen, Ö., “Zemin iyileştirilmesinde jet-grout yöntemi kullanılması üzerine bir uygulama”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, s. 641-648, 21-22 Ekim, 2002.

Kimpritis, T., The control of column diameter and strength in jet grouting processes and the influence of ground conditions, Master’s Thesis, *Imperial College London, Department of Civil and Environmental Engineering*, London, s. 22, 2013.

Kumbasar, V., Zemin Mekaniği Problemleri, *Çağlayan Kitabevi*, İstanbul, 1985.

Kutzner, C., Grouting of Rock and Soil, **A.A. Balkema**, Rotterdam, 1996.

Küçükali, N., Demiryolu altyapısının jet enjeksiyon yöntemi ile iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, s. 51-67, 2008.

Küsin, C.C., Jet grout yöntemi ile iyileştirilen zeminlerin sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal analizi, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, s. 157, 2009.

Lunardi, P., “Ground improvement by means of jet-grouting”, **ISSMFE Thomas Telford** 1, 65 – 86, 1997.

Malinin, A., Gladkov, I. and Malinin, D., “Experimental research of jet-grouting parameters in different soil conditions”, **Deep Foundations and Excavation ASCE Conference Proceedings, GeoShanghai International Conference**, Shanghai, China, s. 49-54, 3-5 June, 2010.

Melegary, C. and Garassino, A.L., “Seminar on jet grouting”, **CI-Premier Pte. Ltd.**, Singapore, s.15-27, 1997.

Meyerhof, G.G., “Bearing capacity and settlement of pile foundations”, **ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division** 5, 195 – 228, 1976.

Moseley, M. P., Ground Improvement, **Chapman and Hall**, Boca Raton, 1993.

Okyay, S., Yüksek Basıncılı Enjeksiyon, **BAUER Spezialtiefbau GmbH Dahili Rapor**, İstanbul, s. 5-13, 1987.

Omine, K., Ochiai, H. and Yoshida, N., “Estimation of in – situ strenght of cement – treated soils based on a two – phase mixture model”, **Soils & Foundations** 38(4), 17-29, 1998.

Öz, M.Y., Sıvılaşmaya karşı jet grouting yöntemi ile örnek bir iyileştirme uygulamasının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, s. 28, 2015.

Özsoy, B. ve Durgunoğlu, H.T., “Sıvılaşma etkilerinin yüksek kayma modüllü zeminçimento karışımı kolonlarla azaltılması”, *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, s. 15-23, 2003.

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

Prakash, S. and Sharma, H.D., Pile Foundations in Engineering Practice, *John Wiley and Sons*, New York, 1990.

Priebe, H.J., “Vibro replacement- design criteria and quality control, deep foundation improvements: design, construction and testing”, *ASTM STP American Society for Testing and Materyals* 1089, 62-73, 1991.

Racansky, V., Schweiger, H.F. and Thurner, R., “FE-Analysis of the behaviour of buttressed jet grouted retaining walls”, *Proc. 12th Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics*, India, s. 3984 – 3992, 2008.

Rajapakse, R., Pile Desing and Construction Rules of Thumb, *Elselvier Inc.*, Oxford, 2008.

Rausche, F., Goble, G. and Likins, G., “Recent WEAP developments”, *Proceedings of the Third International Seminar on the Application of Stress Wave Theory to Piles*, Ottawa, s. 25-37, 1988.

Sağlamer, A., Düzceer, R., Gökalp, A. and Yılmaz, E., “Ground improvement by jet grout columns for the foundations of an automobile plant in Turkey”, *Deep Foundations Proceedings of the International Deep Foundations Congress GSP No. 116*, Orlando, Florida, s. 50-68, 2002.

Sağlamer, A., “Zemin iyileştirme yöntemleri”, *Zm 11 Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon, s. 33-45, 2006.

Sancio, R.B., Bray, J.D., Reimer, M.F. and Durgunoğlu, H.T., “An assesment of the liquefaction susceptability of Adapazarı silt”, *Pasific Conference on Earthquake Engineering*, Sydney, Australia, s. 172, 2003.

Shibazaki, M. and Ohta, S., “A unique underpinning of soil solidification utilising super high pressure liquid jet”, *Proccedings of the Conference on Grouting in Geotechnical Engineering*, New Orleans, s. 680-693, 1982.

Stoel, A.V.D., Grouting for pile foundation improvement, PhD Thesis, *Deif University*, Amsterdam, Netherlands, s. 29-36, 2001.

Tachir, C., Samsun terme kombine doğalgaz çevrim santrali zeminlerinin fore kazık ve jet grout yöntemleri ile iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, s. 35, 2015

Terzaghi, K., Theoretical Soil Mechanics, *John Wiley & Sons*, New York, 1943.

Terzaghi, K., and Peck, R.B., Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed., *John Wiley & Sons*, New York, 1967.

Toğrol, E., “Jet grout kolonlarının yapımında kalite denetimi”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 393-402, 1998.

Tonyalı, İ., Horoz, Ç. ve Çağlar, S., “Jet grouting yöntemi ile zemin ıslahı sonrası parametre değişimlerinin değerlendirilmesi”, *6. Geoteknik Sempozyumu*, Çukurova Üniversitesi, Adana, s. 26-27, Kasım, 2015.

Trevi, K., Columnar treatment, *Illustrative Report*, Cesena, 1994.

TS EN 12716, Özel jeoteknik uygulamalar - jet enjeksiyon, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2002.

URL-1, <http://www.archiexpo.com/prod/franki-foundations-belgium/product-61404-1122233.html>, 15 Ağustos 2016.

URL-2, <http://www.kellerholding.com/soilcrete-jet-grouting.html>, 15 Ağustos 2016.

URL-3, www.haywardbaker.com, 15 Ağustos 2016.

Vesic, A.S., Desing of Pile Foundations, *Transportation Research Board, National Research Council*, Washington, 1977.

Wong, L.W., Ju, D. and Wu, P.J., “Control of ground movements caused of jet grouting”, *International Conference on Ground Improvement Techniques*, Macau, Taiwan, s. 541-549, 6-8 May, 1997.

Wong, J.G. and Poh, T.Y., “Effects of jet grouting on adjacent ground and structures”, *J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 44, 247 – 256, 2000.

Xanthakos, P.P., Abramson, L.W. and Bruce, D.A., Ground Control and Improvement, *Wiley Press*, Newyork, 1994.

Yağızatlı, E., Jet grout kolonların sem analizi ve etkin parametrelerin optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa, s. 1, 2012.

Yalçın, A., Kazıklı radyejeneral temellerin düşey ve yatay yükler altında davranışının sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 26 – 30, 2010.

Yazıcı, A.G., Kazıklar arası mesafenin kazıklı radye temel sisteminde etkisinin iki ve üç boyutlu analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 39, 2013.

Yıldız, R., “Jet grout kolon uygulama yöntemleri”, *İMO Seminer*, İzmir, s. 15-23, 3-4 Aralık, 2009.

Yinekara, R., Terashi, M. and Shibazaki, M., “Grouting and deep mixing”, *Proceedings of IS-Tokyo’96 2nd IC Ground Improvement Geosystems*, Tokyo, s. 1-3, 1996.



ÖZ GEÇMİŞ

Gülşah Nur Karahan 22.01.1990 tarihinde Keşan/Edirne’de doğdu. İlköğretim eğitimi Keşan/Edirne’de, lise eğitimini Gökçeada/Çanakkale’de tamamladı. 2008 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden Haziran 2012’de mezun oldu. 2012-2013 yılları arasında İstanbul merkezli özel bir şirkette saha mühendisi olarak çalıştı. 2014 yılında ise yapı denetim alanında kontrol mühendisi olarak çalışmaya başladı ve halen aynı alanda çalışmaya devam etmektedir. 2014 – 2015 öğretim yılında Niğde Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve öğrenimine devam etmektedir.

