

Yüksek Modüllü Kolonların (Jet Grout) Zemin İyileştirmesinde Kullanımı ve Hesap Yöntemleri

¹Zeynep Aksangür and ^{*2}Ertan Bol

¹ MSc student, Institute of Natural Sciences, Department of Civil Engineering, Sakarya University, Turkey

^{*2}Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey

Özet:

Yapıların inşa aşamasında ve/veya yapı ömrü boyunca karşılaşılabileceği problemleri ön görüp önlemlerini almak amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Üst yapıdan zemine aktarılan gerilmelerde artış, yapının zayıf zemine inşa edilme zorunluluğu ve deprem etkisi altında zeminde oluşabilecek olası oturma, sıvılaşma ve taşıma gücü problemleri göz önünde bulundurularak yüksek modüllü kolonlar (Jet Grout kolonları) zemin iyileştirilmesinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada, arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler PLAXIS yazılımıyla sayısal modele dönüştürülmüş ve yüksek modüllü kolon tasarımı irdelenmiştir. Model geometrisi oluşturulduktan sonra inşa aşamaları, Jet-Grout kolonlarının çubuk eleman veya Jet-Grout imal bölgesinin kompozit iyileşmiş bölge olarak tanımlanmasına bağlı olarak oluşturulmuştur. Sunulan örnek vaka analizinde Jet Grout kolonları varken ($\Delta 1:11,26$ cm, $\Delta 2:11,85$ cm, $\Delta 3:10,77$ cm) ve yokken yapı yükü altında oluşacak oturmalar ($\Delta 0:17,15$ cm) sayısal analizle tahmin edilmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlar geleneksel çözümlerle ($\Delta 2:11,53$ cm) karşılaştırılmış ve yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin İyileştirmesi, Yüksek Modüllü Kolon, Jet Grout, Plaxis

Abstract:

Numerous studies have been carried out in order to anticipate the problems that the structures may encounter during construction phase and / or throughout the life of the structure. High modulus columns (Jet Grout columns) are often preferred for soil improvement due to the increase in stresses transferred from the superstructure to the ground, the necessity of construction of the structure on a weaker ground, and possible seating, liquefaction and transportation power problems that may occur under the earthquake. In this study, data obtained from field and laboratory studies were converted into numerical models by PLAXIS software and high modulus column design was examined. After the model geometry is constructed, the construction steps are based on the identification of the jet-grout rod element or Jet-Grout manufacturing area as composite healed zone. In the presented case study, numerical analysis was carried out with Jet Grout columns ($\Delta 1: 11,26$ cm, $\Delta 2: 11,85$ cm, $\Delta 3: 10,77$ cm) and sittings under construction load ($\Delta 0: 17,15$ cm). The results obtained later were compared with traditional solutions ($\Delta 2: 11,53$ cm) and close results were obtained..

Key words: Ground Improvement, High Modulus Column, Jet Grout, Plaxis

1. Giriş

Nüfus artışı ve buna paralel olarak kentleşmenin plan bazında yayılarak artması, barınma alanlarına yönelik talebi artırmıştır. Bununla birlikte yapıların dere yataklarına, döküm

sahalarına, yapay dolgu alanlarına ve problemlı ortamlara yapıma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca üst yapıdan zemine aktarılan gerilmelerde artış meydana gelmektedir. Bu durum yapıların boyutlarında büyüme ve yapı yüklerinde de artışı getirmektedir. Böylece, inşası planlanan yapının oturacağı zemin çoğu zaman yapıyı güvenli bir şekilde taşıyabilecek özellikte olamayabilir. Tüm bunların sonucu olarak da geoteknik alanında yapılan çalışmaların büyük bir kısmını zemin kaynaklı problemlere çözüm bulma araştırmaları oluşturmaktadır.

Zayıf zeminden söz edildiğinde; sıvılaşma problemi, yetersiz taşıma gücü, yapım sırasında veya sonrasında oluşabilecek aşırı toplam oturma, yapıda zarara neden olabilecek farklı oturmalar, temel kazı problemleri, şev duraysızlığı, kazı sonrası kabarmalar, çökebilen, şişebilen veya organik zemin varlığından akla gelmektedir. Farklı zemin türlerinin aynı yöntemle aynı verimde iyileştirilemeyeceği bilinmektedir. Bu nedenle zemin iyileştirme yöntemi seçiminde; her zemin türü için en kullanışlı yöntemin seçilmesine dikkat edilmelidir

İmalat esnası ve sonrasında sıklıkla karşılaşılan; taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma problemlerinin üstesinden gelmeye yönelik yapılan çalışmalarda Jet Grout yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Yüksek Modüllü Kolonların (Jet Grout) kullanımı ile aşırı oturmaların görüldüğu ortamlarda, oturma miktarında azaltma sağlanıp sağlanamayacağına ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Yapı inşası ve yapı ömrü boyunca güvenlik ve konfor şartlarını sağlayacak temel ve temel mühendisliği tasarımları titizlikle hazırlanmakta ve detaylı geoteknik modeller oluşturulmaktadır. Model tasarımına geçilmeden önce zemin cinsinin sağlıklı modellenebilmesi için arazide ve laboratuvar koşullarında gerekli etüt ve ölçümlerin standartlar çerçevesinde hazırlanmış olması gerekmektedir. Çalışma kapsamında yapının inşası planlanan arazide üst yapı tasarımı sonrası yapıdan zemine aktarılan yükler nedeniyle temel altında oluşması beklenen gerilmelerin doğru modellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla arazide SPT deneyi ve laboratuvar ortamında elde edilen üç eksenli deney sonuçlarının sayısal modeli gerçeğine uygun yansıtmak için sayısal analiz programlarından (PLAXIS Versiyon 2016-01) yardım alınmasına karar verilmiştir.

2.1. Zemin İyileştirmesi

Zemin boşluklarının çeşitli bileşenlerin karışımıyla doldurulması işlemleri ve/veya zeminin mekanik (kayma direncinde artış, permeabilitesinde azalma, iri daneli zeminlerde sıkılık ve ince daneli zeminlerde kıvam artışı), dinamik ve hidrolik araçlar ile boşluk oranının azaltılması işlemleri zemin iyileştirme yöntemlerinin temel amacını oluşturmaktadır (Sağlamer, 2006).

Zemin iyileştirme yöntemlerinin kullanımı ile zayıf (yetersiz) zeminin taşıma kapasitesini arttırmak, istinat duvarlarını desteklemek, zeminin potansiyel sıvılaşma riskini azaltmak, dolgu ve şevlerin stabilitesini sağlamak, toplam oturmaya azaltıp, konsolidasyonu hızlandırmak, yeraltı su seviyesini düşürmek ya da geçirimsizliği azaltmak amacıyla tercih edilir (Hausmann, 1990).

Zemin iyileştirme yöntemi seçiminde Holtz ve diğ.'nın 2001 yılında yapmış olduğu çalışmada Tablo 1' de verildiği gibi iyileştirme yöntemi iyileşecek zemini cinsine göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 1. İyileştirilecek zemin cinsine göre zemin iyileştirme yöntemleri (Holtz ve diğ., 2001)

İyileştirme yöntemi ve tekniği	İyileştirme yöntemi sınıfı	Uygulanabilecek zemin türleri	Yaygın uygulama alanları	Çeşitlilik ve açıklamalar
Gerilme azaltma	Gerilme azaltma	Tüm zemin türleri	Dolgu, şevler	Hafif dolgu materyalleri Kontrollü kazı veya patlatma ile tüm derinlik veya kısmi olarak yer değiştirme
Zemini kaldırma ve yeniden yerleştirme	Zemini kaldırma ve yeniden yerleştirme	Kohezyonlu yumuşak zeminler, turba	Dolgular, küçük (basit) yapılar	Aktif su çekme (pompalama)
Kurutma	Konsolidasyon	Killer, siltler muhtemelen turba	Yapı temelleri ve kazılar	Düşey drenli veya drensiz vakumlu ön yükleme
Ön yükleme, aşırı yükleme	Konsolidasyon	Killer, siltler muhtemelen turba	Dolgular, yapı temelleri	Kum drenleri, Prefabrik geo-kompozit drenler
Düşey drenler	Konsolidasyon	Killer, siltler	Dolgular, yapı temelleri	Kireç, portland çimentosu, uçucu kül ve diğer kimyasal katkılar ile yüzeyssel (sığ) iyileştirme
Katkı ile stabilizasyon	Kimyasal	Siltler, killer (özellikle şişen)	Yol alt temeli, havaalanı kaplamaları ve erozyon kontrolü	
Kireç ve kireç çimento kolonları	Kimyasal	Siltler, killer	Dolgular, yapı temelleri, Kazılar	
Derin (zemin) karıştırma	Kimyasal	Tüm zemin türleri	Derin kazı, sızıntı ve çevresel etki kesicileri (<i>cut-off</i>)	Çimento ve çimento-bentonit karışımı
İçitim ve sızdırma enjeksiyonu	Kimyasal	Fissürlü kaya, tüm daneli zeminler, iri siltler dâhil	Yapı temelleri, sızıntı kesiciler (<i>cut-off</i>), Sıvılaşmayı azaltma, çevresel iyileştirme	Portland ve mikro-ince daneli çimentolar, kimyasallar (Bitüm, silikat, akrilat ... vb.)

2.2. Yüksel Modüllü Kolon (Jet Grout)

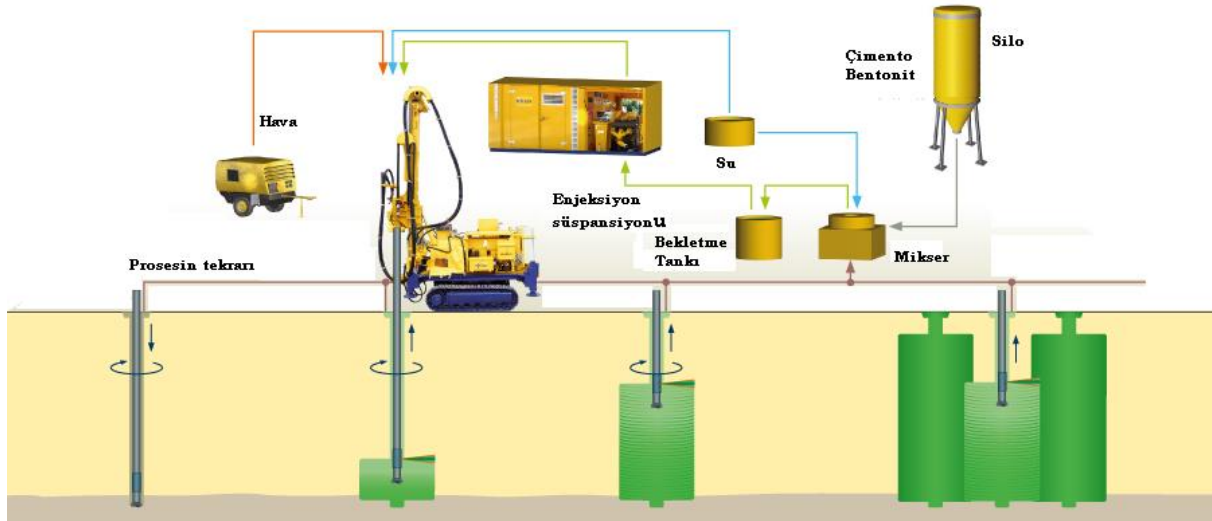
Jet Grout çalışmaları ilk olarak 1965'te Yamakado kardeşler tarafından Japonya'da karışımın yüksek hızla zemine enjektisi ile uygulanmıştır. Jet Grout yöntemi zeminin imalat öncesi özel delgi makinesi ile delinmesi ve daha sonra yüksek basınçta (300 – 600 bar) çimento şerbetinin zemine enjekte edilerek zeminin yerinde parçalanması ve karışması bu esnada da özel tij ve monitörün belirli bir hızla döndürülerek yukarı çekilmesiyle kolon imalatının son ermesi olarak tanımlanır (Durgunoğlu, 2004).

Jet Grout uygulamasına ilk olarak 120 mm. çapında sondaj delgisi yapılarak başlanır. Delgi, projede belirlenen kota kadar yapılır. Bu aşamadan sonra monitör üzerinde bulunan yatay enjeksiyon püskürtme uçlarından yüksek basınçlı (600 bar mertebelerinde) çimento enjeksiyonu püskürtülmeye başlanır. Aynı esnada tijler ve tijlere bağlı olan monitör, rotasyona tabii tutularak eşit zaman aralıklarında kademeli olarak üst kotlara doğru çekilir. Püskürtme uçlarından çıkan yüksek basınç ve hızdaki enjeksiyon zemini parçalar ve tij monitör sisteminin rotasyonu sayesinde zemin ile karışarak çimentolu zemin kütesinin oluşmasını sağlar. Bu mekanizmanın eşit zaman aralıklarında kademeli olarak üst kotlara doğru çekilerek devam etmesi neticesinde de zeminde silindirik Jet Grout kolonları oluşturulmuş olunur (Lawton ve Warner, 2004).

Genel olarak, Jet Grout uygulama teknikleri;

- Tek Akışkanlı Sistem: Delgi ve enjeksiyon işlemi su ile yapıldığı yöntemdir. Enjeksiyon basıncı 300 - 600 bar arasında değişir ve kolon çapları çakılda 60- 100cm diğer zeminlerde ise 60 – 80 cm arasında olmaktadır.
- Çift Akışkanlı Sistem: Tek akışkanlı sisteme ilave olarak hava yastığı ile sistem desteklenir. Uygulanan hava basıncı 8 - 12 bar arasındadır. Kolon çapları tek akışkanlı yönetime göre % 60 - 80 arasında artış göstermektedir.
- Üç Akışkanlı Sistem: Delgi işlemi su ve hava ile yapıldıktan sonra enjeksiyon verilir. Su basıncı 300 - 600 bar, hava basıncı ise 8 - 12 bar ve enjeksiyon basıncı ise 30 - 80 bar arasındadır. Bu yöntemle 2 - 2,5 m çapında kolon oluşurken basınç dayanımı diğer iki yönetime göre daha düşüktür (Ayan, 2009).
- Süper jet tekniği: Bu teknik büyük kolon çaplarını daha kısa sürede ve daha düşük maliyetlerle elde edebilmek için geliştirilen bir tekniktir. Jet Grout kolon imalatında 15 cm çapa sahip tijin istenilen noktaya indirilir ve tijlerin ucundaki yüksek çaplı nozullardan çimentolu harç ile hava karışımının yüksek basınçta püskürtülür. İmalat şartlarına göre su yerine farklı sıvılar veya süspansiyonlar kullanılabilir. Bu tekniğin kullanımı ile elde edilen kolon çapları 3 – 5 m' ye kadar ulaşabilir (Küsin, 2009).

Jet Grout imalatında kullanılacak tekniğe göre Jet Grout hazırlanışı ve tesisin kurulumu farklılık göstermektedir. Şekil 1.'de şematik olarak tipik Jet Grout uygulama ekipmanları verilmiştir



Şekil 1. Tipik Jet Grout Yöntemi ekipmanşeması (WEB-1)

Jet Grout imalatında kullanılacak tekniğe göre Jet Grout hazırlanışı ve tesisin kurulumu farklılık göstermektedir. Farklı sistemler için Jet Grout hazırlama ve enjeksiyon tesisi kurulum aşamaları;

- Tekli akışkanlı sistemlerde: Çimento ve diğer malzemeler için depo, kolloidal karışım tesisi, karıştırıcı tank, yüksek basınçlı enjeksiyon pompası yer almalıdır.
- Çiftli (hava) akışkanlı sistemlerde: Tekli sistemdekilere ilave olarak bir hava kompresörü,
- Çiftli (su) akışkanlı sistemlerde: Tekli sistemlere ilave olarak bir yüksek basınçlı su pompası ve bir enjeksiyon şerbeti pompası,
- Üçlü akışkanlı sistemlerde: İkili sistemlere (su) ilave olarak bir hava kompresöründen oluşmalıdır (Küsin, 2009; TS EN 12716).

Jet Grout imalatında seçilecek tekniğe göre kullanılacak malzemelerin parametreleri de farklılık arz etmektedir. Jet Grout imalatı esnasında kullanılacak parametrelere ait sınır değerler Tablo 2.' de verilmiştir.

Tablo 2. Jet Grout teknikleri imalat parametrelerine ait sınır değerleri (Lunardi, 1977)

Kullanılacak teknik	Enjeksiyon tipi	Enjeksiyon basıncı (bar)	Nozzuleadeti ve çapı (adet – mm)	Tij çekme hızı (cm/dak)	Tij dönme hızı (rpm)	Su/çimento oranı	Pompa kapasitesi (lt/dak)
Jet 1	Çimento	400 - 500	1-2 x 2 -5	50-100	5 - 15	1,0 - 1,5	70-600
	Çimento	400 - 500	1-2 x 2 -5	10- 30	4 - 8	1,0 - 1,5	70-600
Jet 2	Hava	10 – 12	-	10 - 30	-	-	4000-10000
	Çimento	50 – 100	1-2 x 2 -5	6 - 15	4 - 8	1,2 - 1,5	80-200
Jet 3	Hava	10 - 12	-	6 - 15	-	-	4000-10000
	Su			6 - 15	-	-	40-100

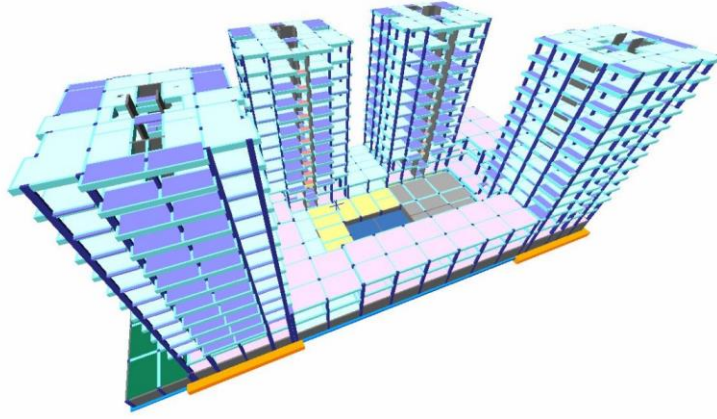
Jet Grout kolonu tasarımı yapılırken sıklıkla kazık eleman olarak kabul görülür ve tasarım gerçekleştirilir. Kazık elemanlardan farklı olarak Jet Grout kolonları imal edildikleri bölgede zeminin mukavemet ve karakteristik özelliklerinde değişime neden olmaktadır. Yani zemin Jet Grout kolon imalatı sonrası özelliğinin değiştirerek yeni bir zemin tanımına gidilmesi gerekmektedir. Ayrıca kazık elemanlar üst yapı yüklerini direk taşıyarak zemine aktarıırken Jet Grout kolonları taşıyıcı görevi görmez yük yeni tanımlı zemine direkt aktarılır. Tasarımda kazık eleman yaklaşımından ziyade yeni zemin özellikleriyle tasarım yapılmasını gerekmektedir. Çalışmada, Jet Grout yöntemi literatür eşliğinde anlatılırken imalat ve kontrol aşamalarındaki süreçler yerinde gerçekleştirilen incelemeler ve görsel veriler ile desteklenmiştir.

2.3. Sayısal Analiz Modelleri

Saha ve laboratuvar çalışmalarında elde edilen verilerin sayısal modelinin oluşturulmasında PLAXIS programı yaygın olarak tercih edilmektedir. Programın amacına uygun kullanılmasında; girilen verilerin uygunluğu, programa verilerin doğru aktarılması, ilgili zeminin tam olarak ifade edecek farklı modellerin (HardeningSoil Model, Mohr-Coulomb Model, Lineer Elastik Model, Jointed Rock Mode vb.), seçimi ve inşa aşamasını da içine alan simülasyon senaryolarının oluşturulması ile zemin-yapı davranışı detaylı olarak incelenebilmektedir. Geoteknik problemin modellenmesinde; noktalardan, çizgilerden ve hücrelerden oluşan elemanlar kullanılır. Tasarlanan modelin farklı zemin tabakalarının belirlenmesi, yapısal elemanlarının modellenmesi, inşa aşamalarının belirlenmesi, yüklerin ve modelin sınırlarının yeterince geniş olması beklenmektedir.

2.4. Vaka analizi uygulama alanı

Çalışma kapsamında incelenen yapı - zemin modeli PLAXIS 2D (versiyon 2016-01) programına giriş yapılmadan önce tasarlanan Jet Grout kolonları ile zeminin karakteristik özelliklerinin tanımlayan değerler belirlenmiştir. Öncelikle çalışmaya konu olan problemlili alan tanımlama çalışmaları yapılmıştır. Bodrum kat dahil 14 kattan oluşması planlanan yapı, konut kullanımlı kuleler ve etrafını saran ticari alan olarak planlanan 2 katlı yapılardan oluşan kompleks yapı niteliğindedir. Şekil 2' de yapıya ait 3 boyutlu görsel verilmiştir.



Şekil 2. Yapıya ait 3 boyutlu görsel

İlgili yapının oturacağı planlanan zeminin; C3 zemin grubu, Z3 zemin sınıfı, 1.50 kg/cm² taşıma gücüne ve 2000 t/m³ zemin yatak katsayısına sahip olduğu yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları ile belirlenmiştir. Görsel verilerden yola çıkılarak Jet Grout kolonların A-B blok ve C-D tip blokları altında yerleştirilmesine karar verilmiştir. Ayrıca üst yapı çalışmalarından elde edilen verilere göre kulelerin oturduğu bölgelerde yapıdan 240 KPa'lık gerilmenin zemine aktarıldığı belirlenmiştir.

2.5. Hesaplama Yöntemi

Çalışma kapsamında geleneksel yöntemden yola çıkılarak elde edilen eşitlik 2.1 kullanılarak radye temel oturma hesabı yapılmıştır.

$$S = m_v \times Q_{net} \times H \quad (2.1)$$

Ayrıca kompozit bölge tanımı ile yeniden belirlenmesi gereken zemin özellikleri Jet Grout Kolonları ile ilk hal zemin özellikleri alan oranı dikkate alınarak eşitlik 2.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R_a = A_g / S^2 \quad (2.2)$$

Çalışmada, elastik modülü (E), kohezyon (C) ve kayma direnci açısı (θ) kompozite zeminde aşağıda verilen eşitlikler (2.3, 2.4, 2.5) dayanarak belirlenmektedir.

$$E_{komp} = (1 - Ra) E_{zem} + Ra E_{jg} \quad (2.3)$$

$$C_{komp} = (1 - Ra) C_{zem} + Ra C_{jg} \quad (2.4)$$

$$\theta_{komp} = (1 - Ra) \theta_{zem} + Ra \theta_{jg} \quad (2.5)$$

Çalışma sonuçları değerlendirilirken yüzeysel ve radye temeller için hazırlanan farklı zemin türlerinde oturma limit değerlerini içeren Tablo 3 referans alınmıştır.

Tablo 3. Farklı zemin türlerinde izin verilen oturmalar (Yerson, 2009)

		Toplam oturma	Farklı oturma
Yüzeysel Temel	Kil	60 mm	40 mm
	Kum	40 mm	25 mm
Radye Temel	Kil	100 mm	40 mm
	Kum	60 mm	25 mm

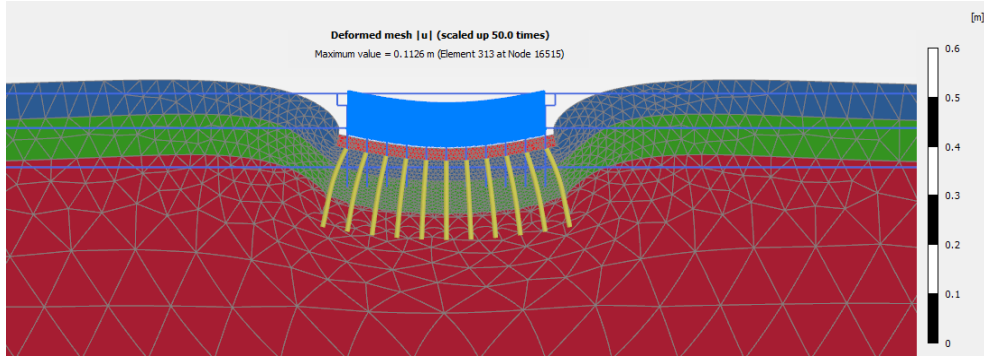
3. Bulgular

Çalışmanın yapıldığı ilgili alan ait PLAXIS programına veri girişi öncesi yapılan kabuller Tablo 4' te verilmiştir. Zemin 3 farklı kademede (Model 1, Model 2, Model 3) sınıflandırılmıştır. Değerler gerek yapılan deney sonuçları gerekse daha önceki kabuller dikkate alınarak hesaplanmıştır.

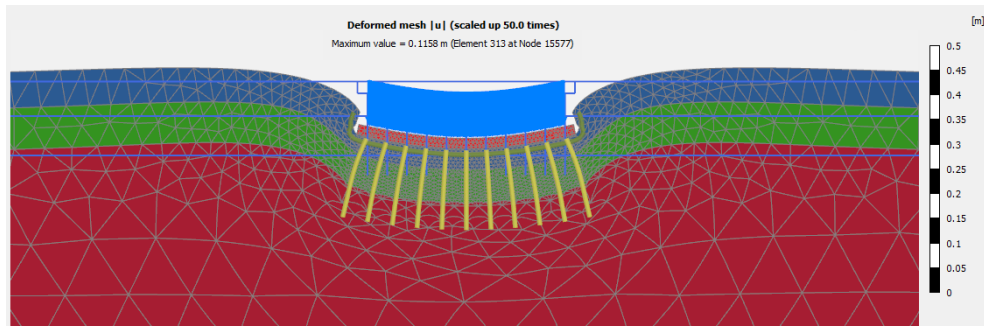
PLAXIS programında model oluşturulması ve veri aktarımının ardından analiz sonuçları elde edilmiştir. Model 1' de Jet Grout kolonları çubuk eleman(Mohr-Coulomb Model)olarak ve Model 2' de ise Model 1' e ilave arayüz (interface) özelliği eklenerek analiz yapılmıştır. Şekil 3 ve 4' te Model 1 ve 2' ye ait deformasyon değeri görselleri verilmiştir.

Tablo 4. Modelleme kabulleri

Parametreler	Siltli Kil	Siltli Kil (Katı)	Killi Kum	Temel	Jet Grout (Tek Eleman)
Modellemede Kullanılan Eleman Türü	Undrained C	Undrained C	Undrained A	Non-porous	Embedded BeamRow
Eleman Davranış Kabulü	MC	MC	MC	LE	MC
ρ (kN/m ³)	18.50	18.50	19.50	24.00	22.00
ρ_{yas} (kN/m ³)	19.50	19.50	21.00	24.00	22.00
E_{50} (kPa)	2785	4930	19840	30.00E6	3.2E6
E_{0ed} (kPa)	-	-	-	-	-
E_{ur} (kPa)	-	-	-	-	-
ν_{ur}	0.2	0.2	0.2	0.15	0.25
C (kPa) S_u	23	10	5	-	-
Φ (°)	-	-	-	-	-
Ψ (°)	-	-	-	-	-
e_{int}	0.50	0.50	0.50	-	-
f_s (kN/m)	-	-	-	-	737
Q_g (kN)	-	-	-	-	280
EA (kN)	-	-	-	-	-
EI (kN/m ²)	-	-	-	-	-
d (m)	-	-	-	-	-
W (Kn/m)	-	-	-	-	-
M (Enerji)	1.00	0.50	0.50	-	-



Şekil 3. Model 1 Jet Grout kolonları deformasyon görseli



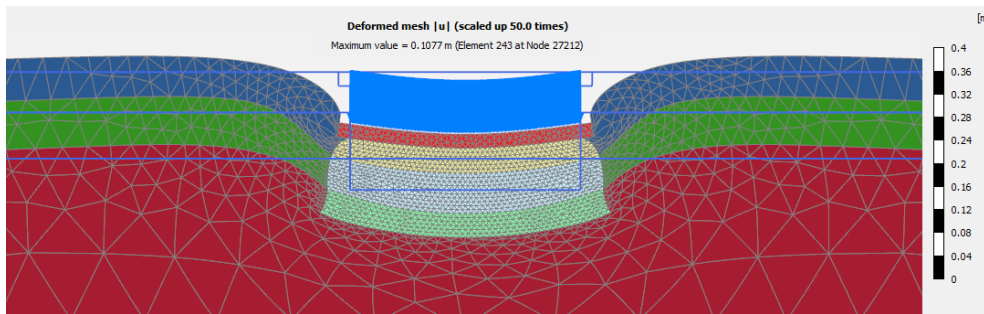
Şekil 4. Model 2 Jet Grout kolonları deformasyon görseli

Model 3' de ise Jet Grout kolonları zemin ile kompozit bir yapı oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Yeni zemin özellikleri eşitlikler 2.2,2.3,2.4 ve 2.5.'den yararlanılarak Tablo 5' de verildiği şekilde oluşturulmuştur.

Tablo 5. Kompozit zemin değerleri

Parametre	$E_{50}(\text{kPa})$	$E_{50}(\text{kPa})_{\text{komp}}$	C	Θ	C_{komp}	Θ_{komp}
Silt Kil	2785	24490	78	-	125,47	-
Silt Kil (Katı)	4930	26483	138	-	181,24	-
Killi Kum	19840	41046	5	42	91,55	41,7

Model 3' te Jet Grout kolonları kompozit zemin özelliği gösterecek şekilde (Mohr-Coulomb Model) analiz yapılmıştır. Şekil 5' de Model 3' e ait deformasyon değeri görselleri verilmiştir.



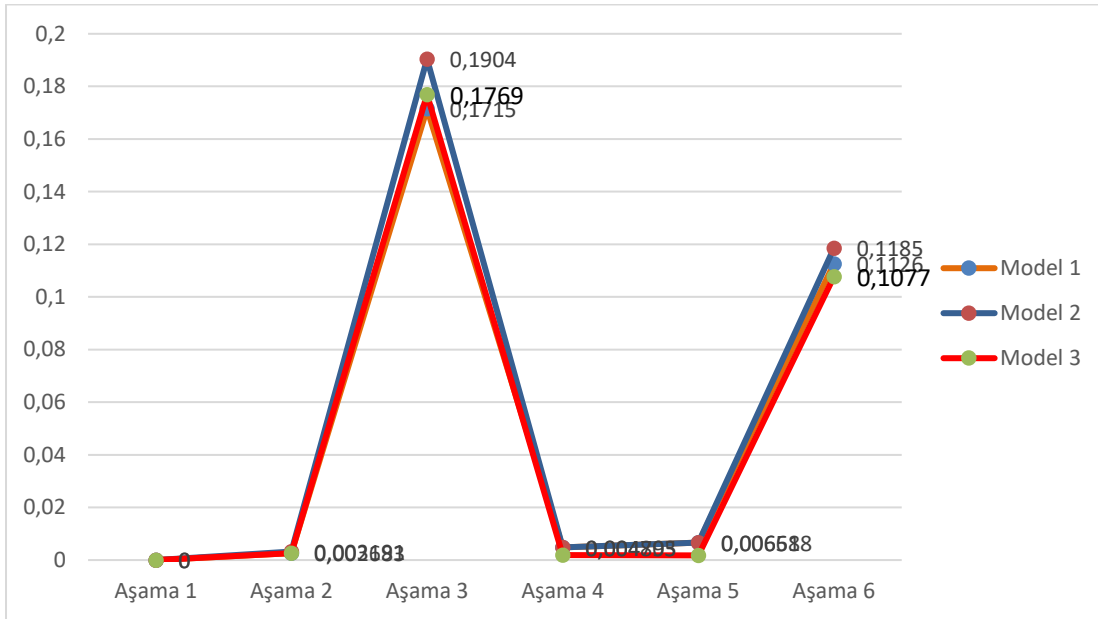
Şekil 5. Model 3 Kompozit bölge deformasyon görseli

Geleneksel yöntem ile çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ile sayısal analiz sonuçları kıyaslanarak Tablo 6 elde edilmiştir.

Tablo 6. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Parametre	Deplasman (m)
İyileşme öncesi	0.1715
Çubuk eleman	0.1126
Çubuk eleman (Interface)	0.1185
Kompozit bölge	0.1077
Geleneksel Yöntem	0.1153

Sayısal analiz verileri incelendiğinde ise modellemede kullanılan varsayımlar arasında büyük farklar gözlemlenmemiş ve Şekil 6' da verilmiş olan grafik elde edilmiştir.



Şekil 6. Model tiplerine göre sayısal analiz oturma değerleri

4. Sonuç ve Tartışma

Çalışma kapsamında zemin iyileştirme yöntemlerinin seçimi, zemin iyileştirme yöntemlerinden Jet Grout yönteminin uygulanışı, uygulanma alanları, uygulamada kullanılan ekipmanlar, uygulama teknikleri, yöntemin avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Daha sonra vaka çalışması olarak konut amacıyla kullanılması planlanan yapının temel zeminini iyileştirmeye yönelik gerçekleştirilen Jet Grout uygulaması geleneksel kabuller ve sayısal analiz sonuçları ile irdelenmiştir. Çalışması sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Jet Grout kolonunun tasarım taşıma gücü hesabı için sayısal analiz yöntemlerinin geçerliliğinin olduğu ve sayısal çözüm yöntemi olarak sonlu elemanlar esasına dayalı bir sayısal analiz yazılımı olan PLAXIS yazılımının kullanımının uygunluğu ortaya konmuştur.

- Çalışmada model 1, model 2 ve model 3 olarak adlandırılan 3 farklı sayısal analiz modeli oluşturulmuş ve analizler sonucunda Jet Grout kolonları ile iyileştirilmiş zeminde temel yükleri karşısında gerçekleşen oturma miktarının kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir.
- Çalışma sonunda geoteknik probleme yönelik oluşturulan modeller incelendiğinde iyileşme öncesi durumda 17,15 cm' lik oturma hesaplanmıştır. Daha sonra Jet Grout kolonlarının sayısal ortama aktarılabilmesi için 3 model geliştirilmiştir. Model 1' de Jet Grout kolonları Çubuk eleman olarak tasarlanmış ve analiz sonunda 11,26 cm' lik oturma hesaplanmıştır. Daha sonra Model 2' de Model 1' de temel ve zemin arasında arayüz (interface) özelliği atanmış ve oturmalar için 11,85 cm gibi çok yakın bir değer elde edilmiştir. Ardından Jet Grout kolonlarının iyileştirdiği bölge kompozit zemin olarak adlandırılmış ve yeni zemin mukavemet değerleri hesaplanmıştır. Yeni verilerin yardımıyla oluşturulan modelde oturma miktarının aynı yük altında 10,77 cm olduğu hesaplanmıştır.
- Geleneksel kabuller ve yöntemler yardımıyla oturma elde hesaplandığında ise 11,53 cm değerinde olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Kaynaklar

- Hausmann, M. R., 1990. Engineering Principles of Ground Modification, McGraw- Hill, Singapore.
- Sağlamer A., 2006, Zemin iyileştirme yöntemleri-neyi nasıl ne kadar iyileştiriyoruz, Zm Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Holtz, R.D., Shang, J.Q., Bergado, D.T., 2001. Soil Improvement, Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook, R.K. ROWE (Ed.)
- Küsin C. C., 2009, Jet Grout yöntemi ile iyileştirilen zeminlerin sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal analizi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Durgunoğlu H. T., 2004. "Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Lawton E.C. ve Warner B.J., 2004, Performance of a group of geopier elements loaded in compression compared to single geopier elements and unreinforced soil, final report, University Of Utah, Salt Lake City, Ut, Usa., Report No. Uucveen, 04-12.
- WEB-1:<http://www.keller.com.au/techniques/ground-improvement-and-grouting/soilcrete-jet-grouting/>Erişim Tarih (12.02.17)
- Ayan E., 2009. Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Küsin C. C., 2009, Jet Grout yöntemi ile iyileştirilen zeminlerin sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal analizi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- TSE, EN 12716, 2002. TSE Maden Hazırlık Grubu, Türk Standartları Enstitüsü.
- Lunardi P., 1977. "Ground Improvement by Means of Jet-Grouting", Ground Improvement, ISSMFE Thomas Telford, Vol 1 No:2, pp. 65 - 86.
- Yerson Ltd.Şti, 2009, Geotechnical Investigation Report Of Combined Cycle Power Plant Akçay -Terme, Samsun-Turkey, July.