

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JET GROUT KOLONUNDAKİ GERİLME  
DAĞILIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
S. Kaan DOĞANIŞIK  
(501031318)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Berrak TEYMUR (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Recep İYİSAN (İTÜ)  
Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN (YTÜ)**

**HAZİRAN 2010**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. JET GROUTING YÖNTEMİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Jet Grouting Yönteminin Çıkışı ve Gelişimi.....	3
2.2 Jet Grouting Yöntemine Genel Bir Bakış.....	5
2.2.1 Jet grouting uygulama ekipmanları.....	5
2.2.1.1 Delgi makinesi.....	6
2.2.1.2 Enjeksiyon pompası.....	6
2.2.1.3 Enjeksiyon hazırlama ünitesi.....	7
2.2.1.4 Su başlığı ve tijler.....	7
2.2.1.5 Monitör adaptör takımı ve püskürtme ağzı.....	8
2.2.2 Jet Grout kolonu oluşturma yöntemleri.....	9
2.2.2.1 Tek akışkanlı yöntem.....	9
2.2.2.1 Çift akışkanlı yöntem.....	10
2.2.2.1 Üç akışkanlı yöntem.....	11
2.2.3 Jet grout kolonu oluşturma parametreleri.....	12
2.2.4 Jet grout kolonlarının kullanım alanları.....	13
<b>3. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA JET GROUT KOLONU TASARIMI.....</b>	<b>15</b>
3.1 Yüksek Modüllü Kolonlar Olarak Jet Grout Kolonları.....	15
3.1.1 Jet grout kolonu taşıma kapasitesi.....	16
3.2 Jet Grout Kolonu Kalite Kontrol Deneyleri.....	18
3.2.1 Deneme kolonları yapılması ve çap kontrolü.....	18
3.2.2 Karot numune alınması ve serbest basınç deneyi.....	20
3.2.3 Jet grout kolonu yükleme deneyi.....	22
3.2.3.1 Eksenel yüklü kazıklar için deney yöntemi.....	22
Standart yükleme yöntemi.....	25
Tekrarlı yükleme yöntemi.....	25
Standart deneyin aşırı yüklenmesi.....	26
Sabit zaman aralıklarıyla yükleme yöntemi.....	26
Sabit penetrasyon oranı deney yöntemi.....	26
Hızlı yükleme deney yöntemi.....	26
Sabit oturma artırımlarında yükleme deneyi yöntemi.....	27
3.2.4 Süreklilik deneyi.....	27

<b>4. VAKA ANALİZİ: JET GROUT KOLONUNDA DÜŞEY YÜKLER ALTINDA OLUŞAN GERİLME DAĞILIŞININ İNCELENMESİ .....</b>	<b>31</b>
4.1 Proje Bilgileri.....	31
4.1.1 Sahanın zemin özellikleri.....	31
4.1.2 İdealize zemin profilinin oluşturulması.....	32
4.1.3 Jet grout kolonu taşıma kapasitesinin hesaplanması.....	35
4.2 Aletsel Gözlem Yapararak Yükleme Deneyi Yapılması.....	35
4.2.1 Deneyin amacı.....	35
4.2.2 Deneyin hazırlık aşaması.....	36
4.2.2.1 Laboratuvar hazırlıkları.....	36
4.2.2.2 Saha hazırlıkları.....	39
4.2.3 Deney programı ve deneyin yapılması.....	44
4.2.4 Deney sonuçları ve değerlendirmesi.....	45
<b>5. PLAXIS SONLU ELEMAN PROGRAMI İLE 2 BOYUTLU ANALİZLER</b>	<b>51</b>
5.1 Plaxis Bilgisayar Yazılımı.....	52
5.2 Aletsel Gözlem Yapararak Gerçekleştirilen Yükleme Deneyinin Modellenmesi.....	49
5.2.1 Deneyin modelinin kurulmasında izlenen yöntem.....	53
5.2.1.1 Hesap modellerinde kullanılan değişkenlerin belirlenmesi.....	53
5.2.2 Yükleme deneyinin plaxis ile analizinin yapılması.....	57
5.2.3 Yükleme deneyinin plaxis ile analizinin sonuçları.....	57
5.3 Yükleme Deneyi Yapılmış Örnek Bir Vaka ile Seçilen Modelin Analizi.....	65
5.3.1 Sahanın zemin özellikleri.....	65
5.3.2 İdealize zemin profilinin çıkarılması.....	66
5.3.3 Modelde kullanılacak hesap değişkenlerinin belirlenmesi ve analiz yapılması.....	68
5.3.4 Analiz sonuçları ve yükleme deneyi sonuçları ile karşılaştırılması.....	69
<b>6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>73</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>75</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>77</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>97</b>

## JET GROUT KOLONUNDAKİ GERİLME DAĞILIŞININ İNCELENMESİ

### ÖZET

Bu çalışma; kohezyonsuz birimlerde oluşturulan jet grout kolonlarındaki düşey yüklerin etkisi altında jet grout kolonunun performansı ve kolon bünyesinde oluşan gerilme dağılışı için hazırlanmıştır. 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.

İlk bölümle birlikte jet grout uygulamasının çıkışı, gelişim süreci anlatılmıştır. Uygulama için gerekli ekipmanlar ve farklı uygulama teknikleri ile kullanım alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonraki bölümlerde jet grout kolonunun taşıma kapasitesi hesabı anlatılmıştır. Uygulaması gerçekleştirilen jet grout kolonları kalite kontrol deneyi süreçlerinden bahsedilmiştir. Bu süreçte yapılan yükleme deneyi yöntemleri, süreklilik deneyi, karot numune alınması ve serbest basınç deneyleri hakkında bilgiler verilmiştir. Düşey yükler altındaki jet grout kolonu tasarımının imalatından sonraki performansı yükleme deneyleri ile incelenmiştir. Bunun yanı sıra kolon kesiti boyunca yerleştirilen birim deformasyon ölçerler ile kolon bünyesinde oluşan gerilme dağılışı tespit edilmiştir. Yapılan yükleme deney düzeniğinin kurulum safhaları, kolon bünyesine yerleştirilen birim deformasyon ölçerlerin nasıl hazırlandıkları ve kolonlara yerleştirildikleri detayları ile izah edilmiştir. Sonlu elemanlar programı ile farklı hesap modelleri kullanılarak yükleme deneyi modellenmiştir. Çıkan sonuçlar irdelenerek sonlu elemanlar yöntemiyle yapılacak jet grout tasarımlarında yol gösterici olması amaçlanmıştır.

## **OBSERVATION OF STRESS DISTRIBUTION ON JET GROUT COLUMN**

### **SUMMARY**

This study is done to understand the performance and stress distribution of jet grout columns under the influence of vertical loads installed in non-cohesive soils. By this research, it is aimed to simulate the behavior of a jet grout column under vertical loads by using finite element analysis program and to be a resource for similar studies in future.

In the first chapter, the origin and development process of jet grout application is explained. Application equipments, different techniques and usage areas are mentioned. Quality control processes of jet grout columns are denoted. Detailed information is given about the process of jet grout column loading test, pile integrity test, core sampling and unconfined compression strength test. Designing capacity of jet grouting column is examined by loading tests. Besides that; stress distribution is determined by installing strain gauges inside the column body. Installation phases of load testing apparatus, preparation and installation process of strain gauges placed in column body are explained in details. Loading test is modeled with different calculation models with a finite element analysis program. Results of finite element analysis are used as a guide for the design of a jet grout column.

## 1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği günümüzdeki farklı mühendislik disiplinlerin çıkış noktasını oluşturmuş temel disiplinlerden bir tanesidir. İnşaat mühendisliğine bu özelliği kazandıran, inceleme konularının çeşitliliğinin çok fazla olmasıdır. Temelleri yirminci yüzyılın ortalarında Carl Terzaghi tarafından atılan Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği, araştırma alanı ve uygulamaları açısından inşaat mühendisliği konuları içerisinde hızla gelişen ve önem kazanan bir alt disiplin olmuştur.

Günümüzde mühendislik yapı temellerinin tasarımı ve uygulamalarında çeşitli amaçlara yönelik, çakma kazık, fore kazık, mini kazık ve jet grout kolonu gibi birtakım uygulamalar kullanılarak yapısal elemanlar teşkil edilmektedir. Jet grout kolonları da bu uygulamalar arasında son yıllarda çok tercih edilen yapısal bir eleman olmuştur.

Jet grout kolonları, zemine yüksek basınçlı olarak çimento enjeksiyonunun belirli zaman aralıklarında belirli bir zemin profilini örselemesi ve sürüklemesi sonucu üretilmektedir. Düşey yükler altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deplasman kontrolüne yönelik, yer altı su seviyesi altında yapılacak kazılarda sızdırmazlık perdesi olarak, sıvılaşma potansiyeli taşıyan zeminlerin riskinin azaltılmasına yönelik başlıca uygulamalarda jet grout elemanları tercih unsuru olmaktadır. Farklı zemin profillerinde oluşturulan kolonların çap ve dayanımları değişiklik göstermektedir. Tasarım kriterlerine uygun jet grout kolonlarının teşkil edilmesi; enjeksiyon basıncı, çekme hızı, püskürtme ağzı çapı ve adeti, tij rotasyon hızı ve su/çimento oranı gibi bir takım değişkenlere bağlıdır. Bu kadar çok değişkenin bir arada bulunması istenen tasarım kriterlerinin elde edilmesini zorlaştırmakta ve hata yapma riskini de artırmaktadır. Bu nedenle uygulamayı gerçekleştiren mühendis kadroların tecrübeli ve zemin mühendislik parametrelerini çok iyi bilen kişiler olması gerekmektedir. Jet grout kolonu seri imalatına geçilmeden önce mutlaka deneme kolonları yapılmalı, karot numuneler alınarak kolon serbest basınç mukavemetleri belirlenmeli, çap

sürekliği kontrol edilmeli ve yükleme deneyleri yapılarak kolonların tasarım yüklerini karşılayıp karşılamadığı irdelenmelidir.

Basınç elemanı olarak tasarlanmış tekil jet grout kolonunun hesap edilen servis yükleri altında davranışının nasıl olacağı; düşey deplasman kontrollü yükleme deneyi yapılarak tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada, yükleme deneyi esnasında kademeli artış gösteren yüklere maruz bırakılan jet grout kolonları bünyesinde derinlik boyunca oluşan birim deformasyon değerlerinin değişimi incelenmiştir. Konuyla ilgili benzer bir araştırma Bell ve diğ. (2007) tarafından “deep-mix” yöntemi kullanılarak oluşturulan kolonlar üzerinde yapılmıştır.

Jet grout teknolojisinin çıkışı, gelişim süreci, kullanılan ekipmanlar, imalat yöntemleri ve kullanım alanları ikinci bölümde anlatılmıştır. Üçüncü bölümle birlikte jet grout kolonunun kapasite hesabından ve kalite kontrol yöntemlerinden bahsedilmiştir. Jet grout kolonu bünyesine imalat sonrasında yerleştirilen birim deformasyon ölçer elemanları ile birlikte yapılan kolon yükleme deneyi ve sonuçları dördüncü bölümde irdelenmiştir. Beşinci bölümde, sonlu elemanlar hesap yöntemine göre çalışan bir bilgisayar yazılımı kullanılarak yükleme deneyi yapılan sahadaki uygulama, farklı modeller kurularak çözülmüş ve en ideal çözüm modeli seçilmiştir. İdeal jet grout modeli yükleme deneyleri ile daha önceden belirlenmiş başka bir saha deney modeli üzerinde çözdürülerek sonuçları yükleme deneyleri ile karşılaştırılmıştır.