



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNCE TANELİ ÇİMENTONUN JET GROUT KOLONLARIN PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

BEKİR FİDAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2015

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Bekir FİDAN
09.01.2015

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNCE TANELİ ÇİMENTONUN JET GROUT KOLONLARIN PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Bekir FİDAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Özcan TAN

2015, 114 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Özcan TAN
Doç. Dr. Mustafa YILDIZ
Doç. Dr. Murat OLGUN

Temel zemini; taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma gibi kriterlere karşı yeterli düzeyde güvenli değilse temel zemininin iyileştirilmesi veya derin temel yapımına karar verilmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte Geoteknik Mühendisliği alanında artan araştırma ve çalışmalar sonucu çok sayıda zemin iyileştirme ve derin temel inşa teknikleri geliştirilmiştir. Jet enjeksiyonu (jet grouting) tekniği ülkemizde ve dünyada son yıllarda yaygın olarak uygulanan zemin iyileştirme tekniklerinden biridir. Fakat bu yöntem için geliştirilmiş ve kabul görmüş bir standart veya tasarım yöntemi henüz bulunmamakta, konu değişik yönleri ile bilimsel araştırmalara konu olmaktadır. Bu nedenle Jet Grout(JG) kolonlara ilişkin bilimsel araştırmalara devam edilmesi gerekmektedir.

Kolon çapı, kolon boyu, kolon sayısı, enjeksiyon(grout) basıncı, çekme hızı, dönme hızı, Jet Grout tekniği, nozzle delik çapı ve adedi, su/çimento oranı, çimento özellikleri ve dozajı, zemin özellikleri ve tabaka sayısı, yastık malzemesinin özellikleri ve kalınlığı, çimento tane çapı genel olarak JG kolonların performansını etkileyen başlıca faktörlerdendir.

Bu tez çalışmasında laboratuvarda yapılan model deneylerle Jet Grout kolonlarının performansını etkileyen faktörlerden çimento tane çapı ve su/çimento oranı uygun bir optimizasyon tekniği kullanılarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar ultra ince taneli(ultrafin 12) çimento kullanılarak değişik su/çimento oranlarında ve değişik basınç altında ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca malzemenin reolojik özelliklerinin belirlenmesi için Marsh hunisi, vicat iğnesi ve sedimantasyon deneyleri yapılmıştır. Kolonlardan alınan karot numuneler 28 gün sonunda serbest basınç deneyine tabi tutularak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç itibariyle ince taneli çimentonun Jet Grout kolonların performansına uygun parametrelerin seçilmesiyle katkıda bulunacağı öngörülmüştür. S/Ç oranının 1.0 ve 1.25 olarak seçildiği durumlarda sistemde tıkanmalar meydana getirdiği, arazi şartlarında yapılacak jet grout uygulamalarında da bu oranların sistemde tıkanmalar ve olumsuz etkiler meydana getireceği ve uygun bir jet grout kolon oluşturulamayacağı saptanmıştır. Normal çimento ile jet grout uygulamalarında kullanılan 1-1.5 arası su/çimento oranlarının, ince taneli çimento ile jet grout uygulamalarında yetersiz olduğu, kolon performansını olumsuz yönde etkilediği, daha yüksek oranların (% 2-3) kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür. Kolonların kesit incelemelerinde çap ve çimentolaşmanın homojen olmadığı, bunun da büyük olasılıkla enjeksiyon karışımının viskoz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Jet grout kolonların farklı bölgelerinden ve farklı doğrultularda alınan örneklerin serbest basınç mukavemetleri arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Genel olarak çimento alımının fazla olduğu merkezden 5-6cm uzaklıktaki bölgelerde basınç mukavemetleri daha yüksek ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Enjeksiyon, İnce taneli çimento, Jet enjeksiyonu, Jet grout, Jet grout kolonlar, Soilcrete, Ultrafin 12, Zemin iyileştirme.

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTALLY INVESTIGATION OF EFFECTS ON THE PERFORMANCE OF JET GROUT COLUMNS WITH FINE GRAINED CEMENT

Bekir FİDAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCEOF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVILENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Özcan TAN

2015, 114 Pages

Jury
Prof. Dr. Özcan TAN
Assoc. Prof. Dr. Mustafa YILDIZ
Assoc. Prof. Dr. Murat OLGUN

If foundation soil is not safe enough in terms of criteria such as bearing capacity, settlement and liquefaction, it is decided to stabilize the foundation soil or employ deep foundation. As a result of improved technology and increasing research and studies in the field of Geotechnical Engineering, several techniques of soil stabilization and deep foundation build have been developed. Jet grouting technique is one of the foundation rehabilitation techniques which have been used commonly in our country and worldwide. However as there is not a developed, accepted standard and design method for this matter for now, this issue is subject to scientific researches with its different aspects. For this reason it is needed to continue scientific researches related to Jet Grout (JG) columns.

Column diameter, column length, number of columns, grout pressure, pull speed, rotation speed, Jet Grout technique, nozzle diameter and number of nozzles, water/cement ratio, cement features and dosage, foundation features and number of layers, features and thickness of cushion material, cement particle diameter are main factors that affect performance of JG columns.

In this thesis study, of the factors which affects performance of JG columns which are cement particle diameter and water/cement ratio is searched by using suitable optimization technique with model experiments made in laboratory. Experimental studies were conducted using ultrafine cement (ultrafin 12) at the ratio of different water/cement and under different pressures separately. Also, in order to determine rheological features of material, Marsh cone, vicat needle and sedimentation experiments were conducted. Cone samples taken from columns were subjected to concrete pressure experiment after 28 days and the results were compared and interpreted. As a result, it is predicted that ultrafine particle cement contributes to performance of Jet Grout columns by choosing suitable parameters. It is found that in circumstances the w/c ratio chosen 1.0 and 1.25 there would be choke in the system, it will also make negative effects and choke in the system when we choose these ratios in land conditions, by these two ratios it is impossible to create a suitable jet grout columns. In examining the cross-section of the columns it is seen that diameter and cementation are not homogen and the taught for this is most probably because of the injection mix is viscous. Water/cement ratios applied at the ratio of 1-1.5 in normal cement and jet grout applications, it was seen that it was inadequate in fine particle cement and jet grout application and affects column performance negatively so higher ratios should be applied (%2-3). Significant differences were seen between free pressure resistances of samples taken from different regions and in different directions from jet grouts columns. Generally, higher pressure resistance was measured in regions which are 5-6 cm away from the center that has more cement intake.

Key Words: Foundation rehabilitation Injection, Jet injection, Jet grout, Jet grout columns, Soilcrete, Ultrafin 12, Ultrafine particle cement.

ÖNSÖZ

Yükseköğrenim hayatıma başladığım 2005 yılından bu yana örnek aldığım, bana her türlü desteği verip emeğini esirgemeyen ve çalışmalarımda anlayış gösteren değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Özcan TAN' a, ayrıca çalışmalarımda büyük destek ve yardımlarda bulunan Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim Hakkı ERKAN' a ve Arş. Gör. Yavuz YENGİNAR' a, destek ve katkılarından dolayı jüri üyeleri Sayın Doç. Dr. Murat OLGUN' a ve Sayın Mustafa YILDIZ' a ve tabi ki bugünlere gelmemde en büyük paya sahip değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı maddi olarak destekleyen Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne de katkılarından ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bekir FİDAN
KONYA-2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Tezin Amacı 3

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

2.1. Literatür Özeti 4
2.2. Enjeksiyon 8
2.2.1.Enjeksiyon kullanım amaçları ve alanları 8
2.2.2. Enjeksiyon türleri 9
2.3. Jet Grout Kolonlar 11
2.3.1. Jet grout kolonların kullanım amaçları ve kullanım alanları 13
2.3.2. Jet grout kolonun arazide uygulaması ve yapım aşamaları 22
2.3.3. Jet grout teknikleri 34

3. MATERYAL VE YÖNTEM **36**

3.1.Giriş 36
3.2. Jet Grout Kolon Oluşturmak İçin Enjeksiyon Deney Düzeneği 36
3.2.1.Kompresör, enjeksiyon haznesi ve enjeksiyon pompası 38
3.2.2. Tij, nozullar, kontrol ünitesi ve enjeksiyon haznesi 40
3.2.3. Deney düzeneğinin kalibrasyonu ve deneme kolonları 46
3.3. Deneylerde Zemin Numunesi Olarak Kullanılan Kumun Özellikleri 49
3.3.1. Elek analizi 49
3.3.2. Maksimum ve minimum boşluk oranı tayini 50
3.4. İnce Taneli Çimentonun Özellikleri 51
3.4.1. İnce taneli çimentonun tane dağılımı 52
3.5.Deneyde Kullanılan Süspansiyonun(Çimento Şerbeti) Özellikleri 54
3.5.1. Süspansiyonun hazırlanışı 54
3.5.2. Çökelme deneyi(stabilite, sedimantasyon) 56
3.5.3. Vicat deneyi (katılaşma süresi tayini) 60
3.5.4. Marsh hunisi deneyi(viskozite) 65
3.6. Jet Grout Kolonların Üretim Aşaması ve Deneylerin Yapılması 72
3.6.1. Deney programı 72
3.6.2. Jet grout kolon deneyleri için zemin numunelerinin hazırlanması ve kalıplara yerleştirilmesi 74
3.6.3. Jet grout kolonların imalatı 75

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 79

4.1. Jet Grout Kolonların Boyutlarının Ölçülmesi 80
4.2. Jet Grout Kolonlardan Karot Numunelerinin Alınması ve Serbest Basınç Deneyine Tabi Tutulması 83
4.3. JG Kolonların Kesitler Üzerinden Oluşumunun İncelenmesi 90

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 96

5.1. Sonuçlar 96
5.2. Öneriler 99

KAYNAKLAR 100

ÖZGEÇMİŞ 104

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

m	: metre
sn	: saniye
mm	: milimetre
ρ_{min}	: Minimum yoğunluk
e_{max}	: Maksimum boşluk oranı
M	: Kalıbın kütlesi
M_1	:Kalıp + Serbest halde yerleştirilen zemin kütlesi
M_{k1}	:Serbest halde yerleştirilen zemin kütlesi
ρ_w	: Suyun özgül yoğunluğu
G_s	: Zeminin özgül ağırlığı
V_k	: Deneye tabi tutulan zeminin hacmi
ρ_{max}	: Maksimum yoğunluk
e_{min}	: Minimum boşluk oranı
M_2	: Kalıp + Sıkıştırılmış zemin kütlesi
M_{k2}	:Sıkıştırılmış zemin kütlesi
w	: Su muhtevası
S	: Sedimantasyon yüzdesi
V_w	: Berrak su hacmi
V_1	: Deney başında süspansiyon hacmi
τ	: Kayma gerilmesi
τ_0	: Başlangıç kayma gerilesi
A	:15x15 cm boyutundaki çelik levhanın alanı
ΔW	: Levhaya yapışan enjeksiyon materyali ağırlığıdır
γ	: Birim hacim ağırlık
μ	: Dinamik viskozite
cP	: Centipoise
Dr	: Rölatif sıkılık
V	: Tij çekme hızı
D	: Tij dönme hızı
P	: Enjeksiyon basıncı
kN	: kilonewton
kgf	: kilogram force
Mpa	: Megapascal
S/Ç	: su/çimento oranı
C_u	: Uniformluluk katsayısı
C_c	: Derecelenme katsayısı
μm	: Mikrometre

Kısaltmalar

Ultrafin 12	: İnce taneli çimento
YASS	: Yer altı su seviyesi
GDİ	: Geosentetik donatılı istinat
SPT	: Standart penetrasyon
CPT	: Koni penetrasyon
PMT	: Presiyometre
OSB	: Organize sanayi bölgesi
ASCE	: American society of civil engineers
BAP	: Bilimsel araştırma projeleri
PIT	: Pile Inegry Test
CHST	: Cross hole sonic test
Jet 1	: Tek akışkanlı sistem
Jet 2	: Çift akışkanlı sistem
Jet 3	: Üç akışkanlı sistem
JG	: Jet grout
TÇMB	: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
SW	: İyi derecelenmiş kum

1. GİRİŞ

Zemin, gerek insanoğlunun barınma, savunma, gizlenme, ulaşım, enerji gibi amaçlarla inşa edilen yapıların temelleri altında, gerekse inşaat malzemesi olarak tarih boyunca kullanılmıştır. Zemin özellikleri kullanım için yeterli olmadığında; zayıf zemin geçilerek temeli sağlam tabakaya oturtmak, yapı temelini ve yapıyı zayıf zeminin taşıyabileceği özelliklerde yapmak, zayıf zemini tamamen kaldırarak yerine uygun zemin ile doldurmak, zemin özelliklerini yerinde yapılan işlemlerle iyileştirmek, dolgu zeminini inşaat yerinde yapılan işlemlerle (katkı malzemeleri kullanarak) iyileştirmek ve uygun teknikle yerleştirmek gibi yöntemler çözüm için seçenek olarak kullanılır.

Bu yöntemlerin içinden zemin iyileştirme yöntemi günümüzde de çoğunlukla ve sıklıkla kullanılmaktadır. Başlıca zemin iyileştirme yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

-Sıkıştırma(Kompaksiyon): Zemin titreşim ve mekanik stabilizasyon yoluyla iyileştirilir.

-Ön yükleme: Özellikle yumuşak zeminlerin konsolidasyon yoluyla sıkıştırılması işlemidir.

-Drenaj: Ortamdan fazla boşluk suyunun atılmasıdır.

-Enjeksiyon: Ortama ince malzeme(çimento, bentonit, uçucu kül, kireç vb.) enjekte ederek boşluk ve çatlakların azaltılmasıdır.

-Isıl işlemler: Zeminlerin geçirgenliğini dondurma ile azaltmak.

-Katkı maddeleri: Ortama eklenen maddelerle dane ve bloklar arasında bağ oluşturmak, kuvvetlendirmek.

-Donatı: Zayıf zemin ve kayaç kitlelerinin düşük dayanım gösterdiği bölgelere yerleştirilen elemanlarla iyileştirme.

Yer altı yapılarının yapımında karşılaşılan zemin ile ilgili problemler zemin iyileştirme çalışmalarını zorunlu olarak gündeme getirmiştir ve u alandaki çalışmaları çoğaltmıştır. Geoteknik mühendisliği uygulamalarında, zeminin sahip olduğu mühendislik özellikleri alt ve üst yapı tasarımları için büyük öneme sahiptir. Zeminin taşıma gücü, geçirimliliği oluşabilecek tasmanlar, kütle hareketleri her zaman tasarım beklentilerini karşılayacak nitelikte ve kapasitede değildir. Geoteknik mühendisliğinin çalışma alanlarından birisi de zeminin sergilediği olumsuz mühendislik özelliklerinin değişik iyileştirme teknikleri kullanılarak ile istenilen düzeye getirilmesidir(Yıldız, 2007).

Zemin iyileştirme yöntemlerinin; zeminde karşılaşılan sorun ve istenilen iyileşme türü ve seviyesine bağlı olarak çeşitli alternatifleri vardır. Enjeksiyon da son yıllarda daha geniş kullanım alanı bulan ve sık başvurulan zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir.

Enjeksiyon teknikleri günümüz teknolojisinin gelişmesiyle paralellik göstererek gelişmektedir. Bu gelişim süreciyle beraber enjeksiyon dünyası geoteknik mühendislerine çok geniş seçenekler sunar(Avcı, 2009). Gün geçtikçe yeni enjeksiyon malzemeleri, yeni enjeksiyon teknikleri ve ekipmanları geliştirilmektedir. Bunlardan en güncel olanı da Jet grout yöntemidir.

Jet-grouting yöntemi ilk olarak 1970'li yılların başında Japonya'da denenmiş, başarılı olmuştur, yine 1970'li yılların sonunda İtalya'da ve diğer Avrupa ülkelerinde jet grout uygulanmaya başlanmıştır. Ülkemizdeki ilk uygulaması 1986 yılında Haliç Kollektörleri Projesi kapsamında Ayvansaray tünel aynasının zemin ıslahında yapılmıştır.

Yeni bir yapının inşası ve/veya mevcut bir yapının güçlendirilmesi için en önce yapının üstünde yer aldığı zeminin mühendislik özelliklerinin bilinmesi ve yeterli görülmemesi durumlarında kuvvetlendirilmesi ve ıslahını gerektirir. Proje öncesi yapılan zemin etütleri, yapının kendine ait ve diğer ekstra yüklerin taşınmasını mümkün klmıyorsa, yapının taşınması ya kazıklı temelle ya da taşıma gücü arttırılmış(ıslahı yapılmış zemin) zeminle (bazı durumlarda her ikisi ile) mümkündür.

Zemin ıslahı, ana işlev olarak zeminin mekanik mukavemet değerlerini arttırmayı amaçlar, dolayısıyla taşıma kapasitesi ve elastisite modülü artar böylece geçirgenlik azalır.

Jet-Grout bu maksatlara ulaşmakta en başarılı olan metotlardan biridir. Bu metot zeminin, minimum 300 bar basınçla püskürtülen bir karışımla karıştırılmasıdır. Karışımlar, genellikle su-çimento karışımıdır (grout). Yüksek basınç, tije gönderilen karışım sıvısının nozul(lar) dan geçerken yüksek bir kinetik enerji (hız) kazanmasını sağlar. Yüksek hızlı (200-250 m/sn) grout, zemini "yırtarak", zeminle bir karışım sağlar (Soilcrete). Bu karışım, homojen ve sürekli bir yapı oluşturur.

Genel tarifiyle jet-grouting, hemen hemen her tür zayıf zemin tiplerinde ve kum, çakıl, kil gibi doğal zemin elemanlarının oluşturduğu kombinasyonlarda, diğer iyileştirme metotlarından daha hızlı, güvenilir, kalıcı ve ekonomik bir çözüm alternatifidir.

1.1. Tezin Amacı

Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu gevşek zeminlerde kazık uygulamalarında (fore kazık-mini kazık) zorluklar yaşanmakta ve uygulamalar ekonomik olmayabilmektedir. Jet grouting yöntemi uygulamanın hızlı ve ekonomik oluşu nedeniyle ülkemizde de son zamanlarda bu tür gevşek - yumuşak zeminlerde kullanımı artmaktadır Dünyada son zamanlarda yaygın şekilde kullanılmasına rağmen Jet grouting tekniğin uygulanması için geliştirilmiş ve kabul görmüş bir standart bulunmamaktadır. Bu çalışmada; Ultra ince taneli çimentonun Jet grout (JG) kolonların performans üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, ince taneli çimentonun JG kolonların performansı üzerindeki etkilerinin Jet grout üzerine yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılması, pratik uygulamalar için kullanılabilecek bilgi, bağıntı, tablo ve grafiklerin geliştirilmesi, JG kolonların tasarım ve uygulamaları için geliştirilecek standart, yöntem vb. çalışmalara katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda çalışmalar aşağıdaki şekilde planlanıp yapılmıştır:

1. Deneyde kullanılacak olan kum, kalıp ve ince taneli çimento(Ultrafin 12) temin edilmiştir.
2. Jet grout kolonların oluşturulacağı kum zemin için fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve zemin sınıflandırılması için zemin mekaniği laboratuvarında deneyler yapılmıştır.
3. İnce taneli çimentonun reolojik özelliklerinin tespiti için vicat iğnesi, marsh hunisi ve sedimantasyon(çökelme) deneyleri yapılmıştır.
4. Jet grout kolonlar oluşturmak için Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında bulunan mevcut enjeksiyon deney düzeneği kullanılmıştır.
5. Deneylere başlanmadan önce deney düzeneğinin kalibrasyonu yapılmış olup ön deneyler yapılmıştır.
6. Farklı karışım oranlarındaki enjeksiyon şerbetleri kullanılarak jet grout kolonlar oluşturulmuştur.
7. 28. Gün sonunda oluşturulan kolonlardan alınan karot numunelerinin dayanımının ölçülmesi için basınç deneyleri yapılarak numuneler kırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Özeti

Ayoubian ve Nasri (2004) 'in yaptıkları çalışmada New York City'nin doğu kısmındaki tünel projesi kapsamında Y.A.S.S.'ini kontrol etmek ve temel zeminini iyileştirmek amacıyla birbiri üstüne binen(kesişen) Jet grout kolonların sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizleri ve analiz sonuçlarından da kolonlar arasındaki etkileşimi incelemişlerdir.

Berk vd. (2008) yaptıkları çalışmada İstanbul Maslak bölgesinde yapılan, Geosentetik Donatılı İstinat duvarı (GDİ)ve bu yapıyı destekleyen Jet-Grouting ve Fore Kazık sistemi ile oluşturulan zemin güçlendirme projesi bir vaka analizi olarak sunulmuştur. Jet-grouting sistemiyle VERT sistemine benzer şekilde, dolgu birimin düşey deformasyon ve şev stabilitesi parametreleri iyileştirilirken, 3 boyutlu Fore Kazık iksa sistemi ile de 15 m yüksekliğindeki toprak yükleri her hangi bir yatay iksa elemanı kullanmadan karşılanmıştır. 3 boyutlu Fore Kazık sistemi içerisinde yer alan kontrolsüz dolgular, Jet-grouting yöntemi ile iyileştirilerek sistemin rijitliği arttırılmıştır. Fore Kazık, Jet-grouting ve GDİ Duvar uygulamalarının aynı sistem içerisinde kombine davranışı, ilgili bilgisayar programları kullanılarak "Gerilme - Deformasyon (Plaxis, Sap2000)" ve "Limit Denge (Stable v.6)" metodlarıyla analiz edilmiştir.

Bustamante ve Gouvenot (2002) yaptıkları çalışmada Jet grout kolonların birkaç farklı tipte imal edilebileceğini, örneğin donatılı veya donatısız, buna tasarımı yapan mühendisin yapının temel sistemini ve bu temel sisteminden zemine aktarılacak olan yükün miktarına göre kendisinin karar verebileceğini belirtmişlerdir. Yazarlar ayrıca bir takım arazi deneylerinden de (SPT,CPT,PMT..) Jet grout taşıma kapasitesine korelasyonlar yardımıyla geçilebileceğini belirtmişlerdir.

Coulter ve Martin (2006)'ın yaptıkları çalışmada yumuşak zeminde tünellerde destek sağlamak için yatay olarak imal edilen Jet grout kolonların, laboratuvar ortamında aynı şartlarda imal edilen Jet grout kolonların davranışıyla karşılaştırmışlardır. Bunun için arazide 600mm çapında olan kolonlar laboratuvarda 76mm olarak imal edilmiştir.

Çimen vd. (2008) Bu çalışmada bir vaka analizinin detayları sunulmuştur. İnceleme alanı oturma, taşıma gücü ve sıvılaşma riski problemlerine sahip zemin şartlarının olduğu Antalya İli Kundu Köyündedir. 3 ve 5 katlı toplam 5 bloktan oluşan

konutların yapılması planlanmaktadır. Yeraltı su seviyesi yüzeyden 0.75-1.5m aşağıdadır. Zemin şartlarına ve arazinin sismik verilerine dayanarak, inceleme alanının sıvılaşma potansiyeline sahip bir bölge olduğu belirlenmiştir. Yüzeysel temel hesaplarından binalar altında yüksek oturmaların oluşacağı görülmüştür. Derin temeller teknik olarak uygulanabilir olmasına rağmen, yüksek maliyetten dolayı kullanımı uygun görülmemiştir. Bu nedenle, zeminin Jet grout yöntemiyle iyileştirilebileceğine karar verilmiştir.

Durgunoğlu vd. (2002) yaptıkları çalışmada İzmir/Tire O.S.B.'de inşa edilen sigara fabrikası sahasının Jet grout yöntemi ile ıslahı vaka analizi sunmuşlardır. Bölgenin jeolojisi anakaya üzerinde kolüvyon, alüvyon formasyonları ve dolgu zeminden oluşmaktadır. Saha 1.derece deprem bölgesi içerisindedir. Fabrika temelleri kazıklı, binanın zemine oturan döşemeleri ile diğer hafif yapı temelleri altında Jetgrout kolonlar önerilmiştir. Sıvılaşma riskine karşı sistematik, kolüvyon tabakasına kadar yaklaşık 32,000m Jet grout kolon uygulaması yapılmıştır. Zemin ıslahı esnasında Jet grout kolonlardan karot alımını, kazı yapılarak çap kontrolünü, yükleme deneylerini, piston numune alıcısı ile alınan numuneler üzerinde mukavemet deneylerini içeren kapsamlı kalite kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistemin inşası öncesinde deneme bölgesinde yapılan kalibrasyon çalışmasında teknik parametreler sahaya özel olarak belirlenmiştir.

Durgunoğlu vd. (1998) yaptıkları çalışmada Migros/Ankara hipermarket ve alışveriş merkezi inşaat sahasının Jet grout yöntemi ile iyileştirilmesini sunmuşlardır. Uygulama yaklaşık 4 katlı olan alışveriş merkezinin temellerindeki oturmalara karşı yapılmıştır. Yaklaşık 25.000 m2 lik bir alanda zemin iyileştirmesi yapılmıştır. Yazarlar çalışmada Jet grout uygulamasının aşamalarından bahsetmiş, ayrıca imalatın kalite kontrolünü de yapmışlardır.

Hanke ve Blanding (2008) 'in yaptıkları çalışmada Brightway isale hattının geçtiği güzergâh boyunca zeminde uyguladıkları Jet grout kolonlarını ve uygulama metotlarından bahsetmişlerdir. Yazarlar burada Jet grout kolonlarından hem yapısal destek hemde yer altı suyunun kontrolünü sağlamak amacıyla kullanmışlardır.

Hsi vd. (2005) yaptıkları çalışmada güzergâhı yumuşak deniz kilinden geçen bir aç-kapa tünelde uyguladıkları Jet grout kolonların performansını arazi deneyleri ile gözlemlemişlerdir. Burada jet grout kolonlar açılan kazıda palplanşlara gelen yanal toprak basınçlarını önlemek için kullanılmıştır.

Jefferis (2003)'in yaptığı çalışmada Jet grout kolonların uzun vadeli performanslarını araştırmıştır. Bunun yanında Jet groutların yan ürünlerinin etkisini de incelemiştir. Özellikle yan ürünlerden amonyum ve slikanın Jet grout kolonla olan etkileşimini araştırmıştır.

Maertens ve Maekelberg (2003) yaptıkları çalışmada Antwerp şehrinin altından geçen hızlı tren için yapılan tünelin ve bu tünele bağlanan bazı köprülerin temellerinde iyileştirme yapmak amacıyla uyguladıkları Jet grout kolonların davranışını incelemişlerdir. Bu amaçla arazide Jet grout kolonun performansını belirlemek için jet grout kolon yükleme deneyi yapmışlardır. Deney esnasında yükleme devam ederken belli bir süre sonunda kolonun üst kısmına yakın bir yerde ani bir kırılma gözlenmiş ve bu kırılmanın nedenini araştırmak üzere birebir ölçekli laboratuvar deneyleri yazarlar tarafından yapılmıştır. Laboratuvar deney sonuçlarına göre kolonda oluşacak küçük bir heterojenlik basınç dayanımında gerçek davranışla tam uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Martin vd. (2004)'nin yaptıkları çalışmada 1999 Kocaeli depremine maruz kalmış, zemininde önyükleme ve Jet grout kolonlarla iyileştirme yapılmış bir alışveriş merkezinin performansını incelemişlerdir. Bu alışveriş merkezi yapım aşamasında iken 1999 Kocaeli depremine maruz kalmıştır. Yapının toplam inşaat alanı 55.000m^2 dir. Temelleri yüzeysel temeldir. Temel zemini de doygun alüvyon zemin olup kil-silt ve kum içermektedir. Kocaeli depremi meydana geldiği sırada Jet grout kolonların imalatı tamamlanmış olup üzerindeki yapıda herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Bununla beraber alışveriş merkezi etrafındaki zemin iyileştirilmesi yapılmamış yapılarda 10cm civarında oturmalar görülmüştür.

Modoni vd. (2006) yaptıkları çalışmada Jet grout kolonların teorik olarak modellenmesini araştırmışlardır. Bunun için değişik zemin tiplerinde uyguladıkları Jet grout kolonların performanslarını inceleyerek teorik modellerle deneysel çalışmaları karşılaştırmışlardır.

Nikbakhtan ve Osanloo (2009) yaptıkları çalışmada Jet groutun zeminin karakteristik özelliklerini iyileştirici bir metot olduğunu belirtmişlerdir. Aynı tebliğde yazarlar yüksek basınç ve yüksek döndürme hızının zemin yapısında hasara yol açtığını belirtmişlerdir. Yazarlar, Jet grout işlemi ve Jet groutun performansı, Jet groutun uygulandığı zeminin özelliklerinden ve Jet grout tipinden etkilendiğine değinmişlerdir. Ayrıca yazarlar Jet grout uygulama basıncının ve grout harcının akışının zemin özelliklerine olan etkisini imalattan önce ve sonra ayrı ayrı incelemişlerdir. Yapılan

çalışmalardan Jet grout harcının basıncının artması ile zeminin tek eksenli basınç dayanımı logaritmik bir şekle artmakta, zeminin kohezyonu ve içsel sürtünme açısı da belirgin oranda artmaktadır.

Olgun ve Martin (2008) tarafından yapılan çalışmada 1999 Kocaeli depreminin İzmit körfezi boyunca yaratmış olduğu hasarı ve bölgede yapılmış olan zemin iyileştirmelerini incelemişlerdir. Yazarlar bu amaçla Carrefour alışveriş merkezini ve bu merkezin oturduğu zemini incelemişlerdir. Alışverişi merkezinin oturduğu zeminin yumuşak kil, silt ve sıvılaşabilen kum olduğunu belirtmişlerdir. Yapının oturduğu zeminin sınıfı ve bölgenin depremselliği nedeniyle yapı zemininde hem oturmaları önlemek hem de sıvılaşma riskini azaltmak için Jet grout kolonlu zemin iyileştirmesi yapılmıştır. Yazarlara göre deprem sonrası yapılan gözlemlemeler sonucunda zeminde herhangi bir hasara (oturma, sıvılaşma.) rastlanılmamıştır. Dolayısıyla yazarlar tarafından bunun nedeni olarak Jet grout kolonların deprem sırasında etkin bir rol oynadığı kanısına varmışlardır. Yazarlar tarafından daha sonra sonlu elemanlar metodu ile dinamik analiz yapılmıştır ve sürpriz bir şekilde jet grout kolonların zemindeki kayma gerilmesi ve kayma deformasyonlarını azaltmadığını görmüşlerdir. Bunun nedeni olarak da kullanılan dizayn metodu, iyileştirilmiş zeminde beklenen kompozit kayma davranışının abartılarak gerçek davranıştan uzaklaşması olarak gösterilmiştir.

Sağlamer vd. (2001) ‘nin yaptıkları çalışmada Türkiye’de yakın zamanda uygulanan büyük Jet grout uygulamalarından örnekler vermişlerdir. Yazarlar ayrıca Jet grout kolonların uygulamasındaki kullanılan tipleri, detayları, enjeksiyon basınçlarını nozul sayısı ve boyutunu, dönme ve çekme hızlarını da tebliğde sunmuşlardır. Yazarlar araştırmalarında geçen tüm uygulamalarda Jet grout kolonların kullanım maksadının, zemindeki oturmaları azaltmak ve sıvılaşma riskini azaltmak olduğunu belirtmişlerdir.

Tsuboi vd. (2007) ’nin yaptığı çalışmada FTJ metodu adını verdikleri yeni bir Jet grout uygulama tipini kullanmışlardır. Bu metot, 2 adet yatay çubuk kullanılarak jet enjeksiyonu yapan bir sistemden oluşmaktadır. Bu metot kullanılarak klasik sisteme göre daha büyük kolon çapının oluşturulduğunu yazarlar belirtmiştir. Yazarlar daha sonra bu büyük çaplı kolondan örnekler alarak bir takım mukavemet deneyleri yapmışlardır.

Wong vd. (1999) yaptıkları çalışmada Esplanade de körfez de inşaatı devam eden tiyatro binasında 2m kalınlığında bir Jet grout tabakası oluşturmuşlardır. Bu tabakayı oluştururken 2 tip uygulama yapmışlardır. Swing metodu ve çift tüp metodu. Swing metodunda iç tarafta 9mm,çift tüp metodunda ise dış tarafta 45mm deformasyon

gözlenmiştir. Sonlu elemanlar metodunu kullanarak yapılan geri analizlerde bu deformasyonların önemine dikkat çekmişler ve ihmal edilemez deformasyonlar olduğunu belirtmişlerdir.

2.2. Enjeksiyon

Zemin enjeksiyonu, temel olarak akışkan malzemelerin basınç altında zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesidir. Buradaki amaç zeminin ya da kaya kütlesinin ve zemin oluşumlarının mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. Nitekim bu iyileştirme zeminin gerilme deformasyon ve dayanım gibi mekanik özellikleri ile geçirimlilik gibi hidrojeolojik özellikleri değiştirilerek uygun hale getirilmesiyle elde edilir (Akbulut ve Sağlamer,2002).

İlk enjeksiyon uygulamaları 18. yüzyılda başlamış ancak bu alandaki önemli gelişmeler 19. yüzyıl sonlarında gerçekleşmiştir. İlk kimyasal enjeksiyon uygulaması 1925'te yapılmıştır. 1980'li yıllarda kimyasal enjeksiyonun olumsuz etkilerinin ortaya çıkması ile bazı sınırlamalar getirilmiştir. Bu nedenle alternatif olarak ince taneli çimentolar kullanılmaya başlanmıştır(Warner, J. 2004)

2.2.1.Enjeksiyon kullanım amaçları ve alanları

Geoteknik Mühendisliğinde enjeksiyonun kullanım alanları şu şekilde toparlanabilir;(Önalp,1985; Rawlings ve ark.,2000)

- Su akşını azaltmak yada akışı tümüyle engellemek için geçirimsizlik perdelerinin oluşturulması,
- Zeminin taşıma gücünün arttırılması,
- Aşırı oturmaları önlemek amacıyla boşlukların doldurulması,
- Kazı stabilitesinin sağlanması,
- Tünellerde tünel aynasının sağlamlaştırılması(Tünel kazı yüzeyi ile üst tabakaların sağlamlaştırılması ve kontrolü),
- Şev stabilitesi,
- Suya doygun gevşek kumların sıvılaşma riskinin azaltılması,
- Büzülme ve şişmenin azaltılması,
- Şaft kazıları,

- Yanal toprak basıncını kısıtlama,

2.2.2. Enjeksiyon türleri

Enjeksiyon türlerini dört başlık altında toplayabiliriz;(Şekil 2.1.)

- Emdirme(Permeasyon) Enjeksiyonu
- Çatlatma Enjeksiyonu
- Kompaksiyon Enjeksiyonu
- Jet Enjeksiyonu/Karıştırma(Jet Grout Yöntemi)

2.2.2.1. Emdirme(Permeasyon) enjeksiyonu

Bu enjeksiyon tekniğinde düşük viskoziteli enjeksiyon malzemesi, zemin içerisindeki boşluklara, düşük basınçlarda nüfuz etmekte dolayısıyla zeminin hacminde ve yapısında herhangi bir değişiklik meydana getirmemektedir. Zemin içerisine enjekte edilen malzeme zamanla sertleşmekte ve böylece zeminin mekanik ve hidrojeolojik özelliklerini değiştirip mühendislik özellikleri açısından iyileştirmektedir. Son yıllarda yeni çimento karışımları üzerinde çalışılmış ve normal portland çimentoları ile permeasyonu mümkün olmayan zeminler enjekte edilebilmeye başlanmıştır. Bu sayede daha ince daneli zeminlerin de iyileştirilmesi mümkün olmuş ve hem çevresel koruma hem de ekonomik açıdan olumlu sonuçlar elde edilmiştir.(Rawlings ve ark., 2000; Gouvenot, 1987). Bilinen en eski ve en yaygın kullanılan enjeksiyon türüdür.(Henn, 1996).

2.2.2.2. Çatlatma enjeksiyonu

Bu enjeksiyon tekniği temel olarak permeasyon enjeksiyonunun mümkün olmadığı düşük geçirimliliğe sahip, ince daneli zeminlerin iyileştirmesinde uygulanmaktadır. Çatlatma enjeksiyonunun gelişimi tünel veya kazı aktiviteleri esnasında meydana gelen oturmaları önleme çalışmalarına dayanmaktadır. Çatlatma enjeksiyonu sonucunda zemin içerisinde ağaç dallarına benzer bir şekilde sertleşmiş çimento kanalları oluşmakta ve bu sayede zemin kontrollü bir şekilde ve bölgesel olarak sıkıştırılmaktadır.(Rawlings ve ark., 2000).

2.2.2.3. Kompaksiyon enjeksiyonu

1980 yılında toplanan ASCE Enjeksiyon Komitesi, kompaksiyon enjeksiyonunu 25 mm'den daha az çökme değeri olan, yeterli plastisiteyi sağlayacak kadar silt ve içsel sürtünmeyi sağlayacak kadar da kum içeren katı enjeksiyon malzemesinin, zemin boşlukları içerisine girmeksizin enjeksiyon noktası etrafında giderek genişleyen bir kütle oluşturacak ve bu sayede etrafındaki gevşek zeminleri sıkıştıracak şekilde yüksek basınçlarda enjekte edilmesi olarak tanımlamıştır.(Henn, 1996)

2.2.2.4. Jet enjeksiyonu/karıştırma(Jet grout yöntemi)

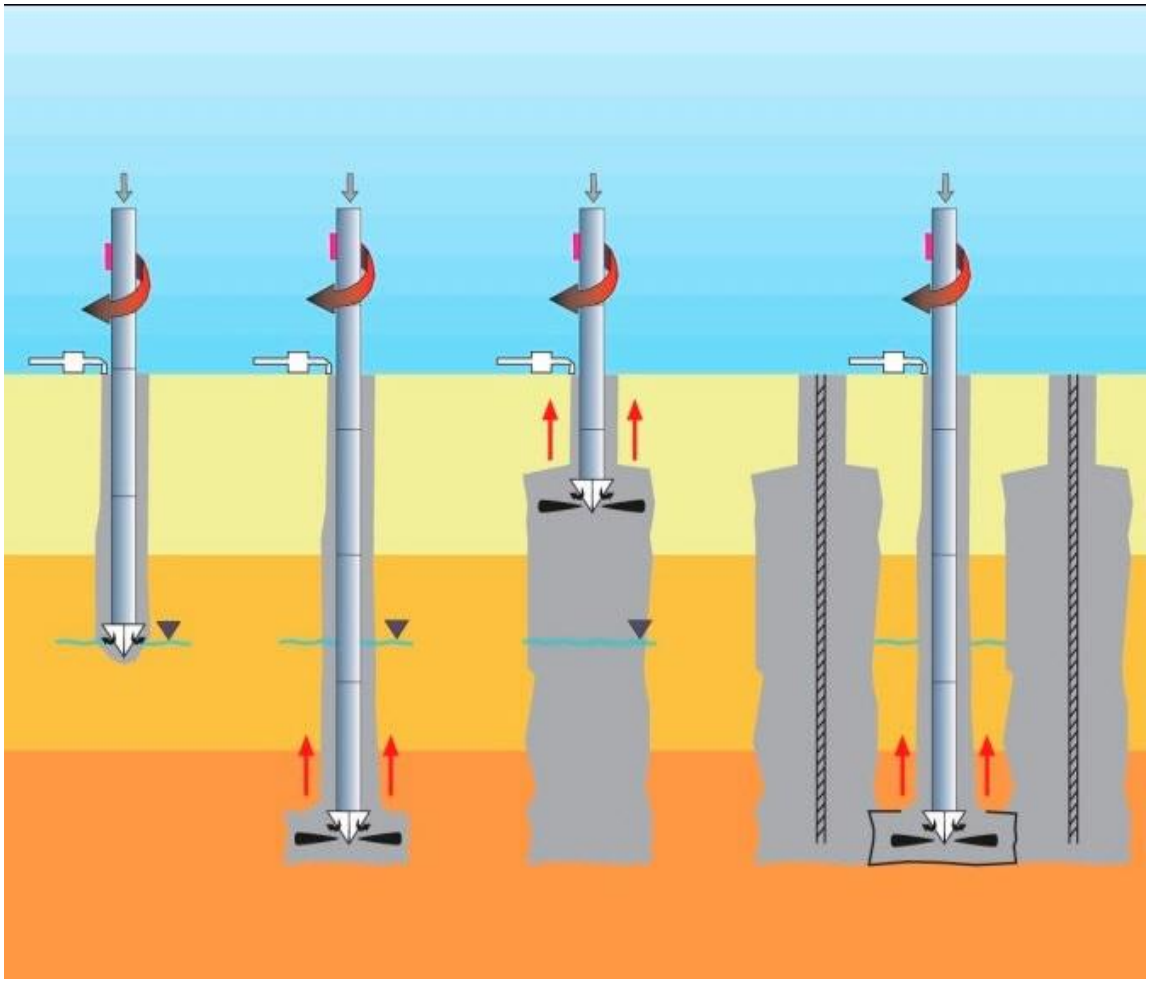
Bu enjeksiyon türünde tasarım derinliğine kadar, su kullanılarak delgi yapılmakta ve delgi için kullanılan tijlerin ucundaki nozullardan yüksek basınçlarda çimento şerbeti zemine jetlenmektedir. Bu jetleme esnasında tijler de belirli bir hızla döndürülmekte ve yine belirli bir hızla da zemin içinde aşağıdan yukarıya doğru çekilmektedir. Böylece, belirli bir çapta ve boyda zemin içinde silindirik bir kolon oluşturulmaktadır. Oluşturulan kolonlar ile zemin iyileştirilerek düşük geçirimli ve yüksek dayanımlı formasyonlar elde edilir.(Henn, 1996)



Şekil 2.1. Enkeksiyon türleri (Rawlings vd., 2000)

2.3. Jet Grout Kolonlar

Jet grout kolon uygulamaları ülkemizde rasyonel olarak 1995'ten sonra başlamıştır. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu gevşek zeminlerde kazık uygulamalarında (fore kazık-mini kazık) zorluklar yaşanmakta ve uygulamalar ekonomik olmamaktadır. Bu tür gevşek - sıkıntılı zeminlerde Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirme uygulamaları hızlı ve ekonomik oluşu nedeniyle tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

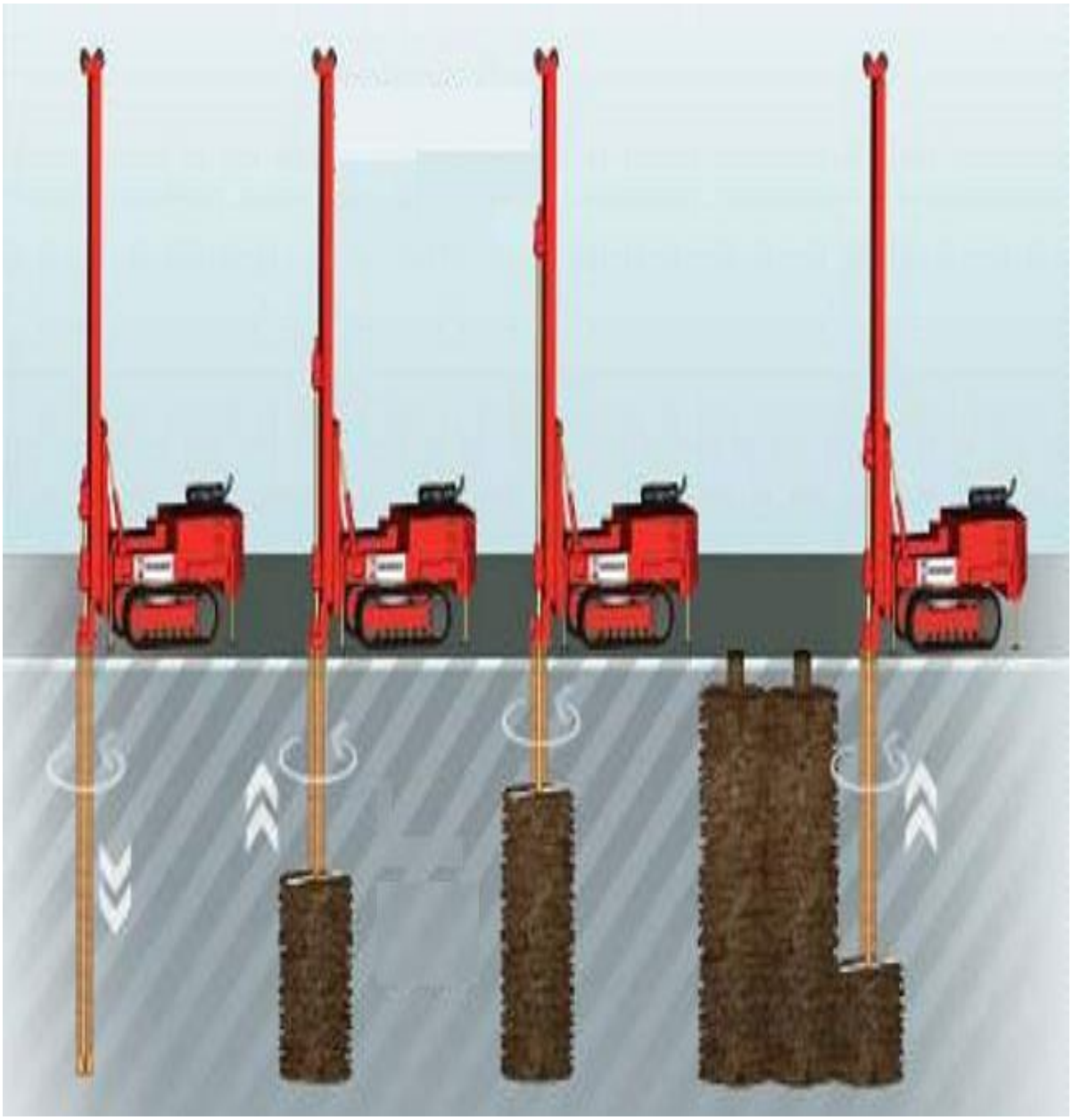


Şekil 2.2. Jet grout kolon oluşturma şematik (franki-geotechnics)

Jet-grout kolonları; yüksek basınç altında püskürtülen çimento harcı zeminle karıştırılarak oluşturulur.(Şekil 2.2., Şekil 2.3. ve Şekil 2.4.)Jet grout kolonu, genellikle 300-600 bar basınçla püskürtülen su ve çimento karışımının zeminin boşluklarını doldurup ve sıkıştırılması suretiyle elde edilir. Yüksek basınç, sevk edilen enjeksiyonun (grout) nozzle'lardan geçerken yüksek bir kinetik enerji kazanmasını sağlar. Su-çimento

karışımının hızı 250m/sn değerlerine ulaşarak, enjeksiyon zemini yırtarak zeminle birleşerek çimentolu zemin yapısı -soilcrete- oluşur.

Jet grout' un özelliklerini belirleyen parametreler; zemin cinsi ve özellikleri, jet enjeksiyon tiji içerisindeki akışkan basıncı(püskürtme basıncı), jet enjeksiyon tiji içerisindeki akışkan debisi (nozzle çapı), enjeksiyon şerbetinin bileşimi, jet enjeksiyon tijinin yukarı çekme ve dönme hızıdır. Bu parametreler istenilen çapta bir "Jet-Grout" kolonu elde edilmesi için önemlidir.



Şekil 2.3. Jet grout kolon oluşturma şematik (Soletanche Bachy)



Şekil 2.4. Zemin ortamında üretilmiş jet grout kolon (Geosistema)

2.3.1.Jet grout kolonların kullanım amaçları ve kullanım alanları

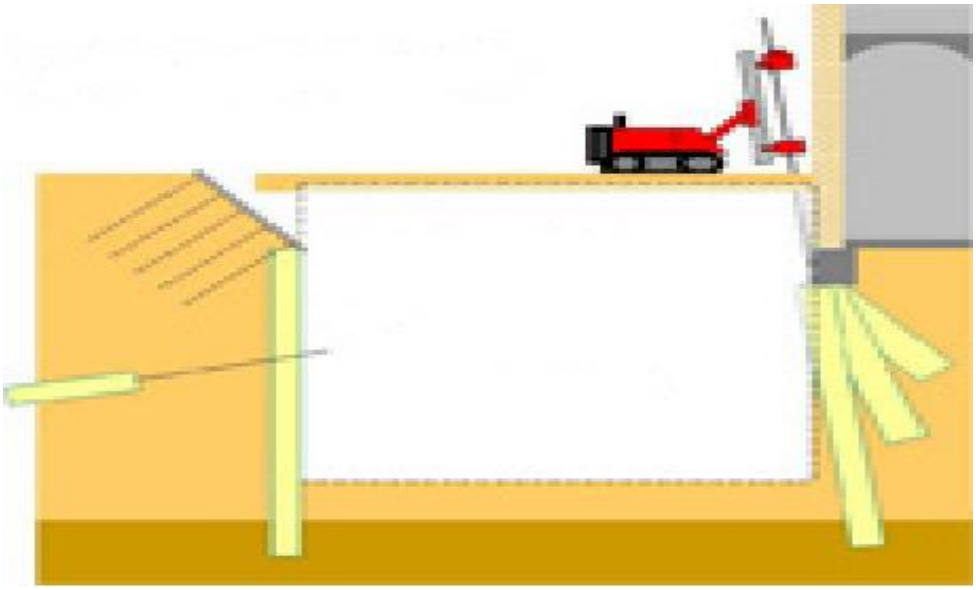
Diğer zemin iyileştirme yöntemleri ile karşılaştırıldığında Jet grout'un avantajı; imalat süresinin kısalığı, daha ekonomik olması ve mevcut yapıların zemininde uygulanabilir olmasıdır.(Şekil 2.5. den Şekil 2.22. ye kadar)Zemin iyileştirmeye yönelik olarak;

- Temel takviyesi,
- Kazı yüzeylerinin desteklenmesi,
- Yeni veya mevcut yapıların zemin iyileştirmesi işlerinde,
- Tünel inşaatlarında tünel aynasının ve tünel tavanının desteklenmesi,
- Kazı çukurlarına gelen yeraltı sularının azaltılması,
- Şev ve heyelan stabilizasyonu,
- Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu zeminlerde geçirimsizlik perdesi oluşturmada,
- Atık sahalarında geçirimsizliğin sağlanması,

- Komşu bina temeli yapılması
- Sıvılaşma problemi olan zeminlerin iyileştirilmesinde,
- Derin temeller ve istinat yapılarında geniş çaplı olarak kullanılmaktadır.



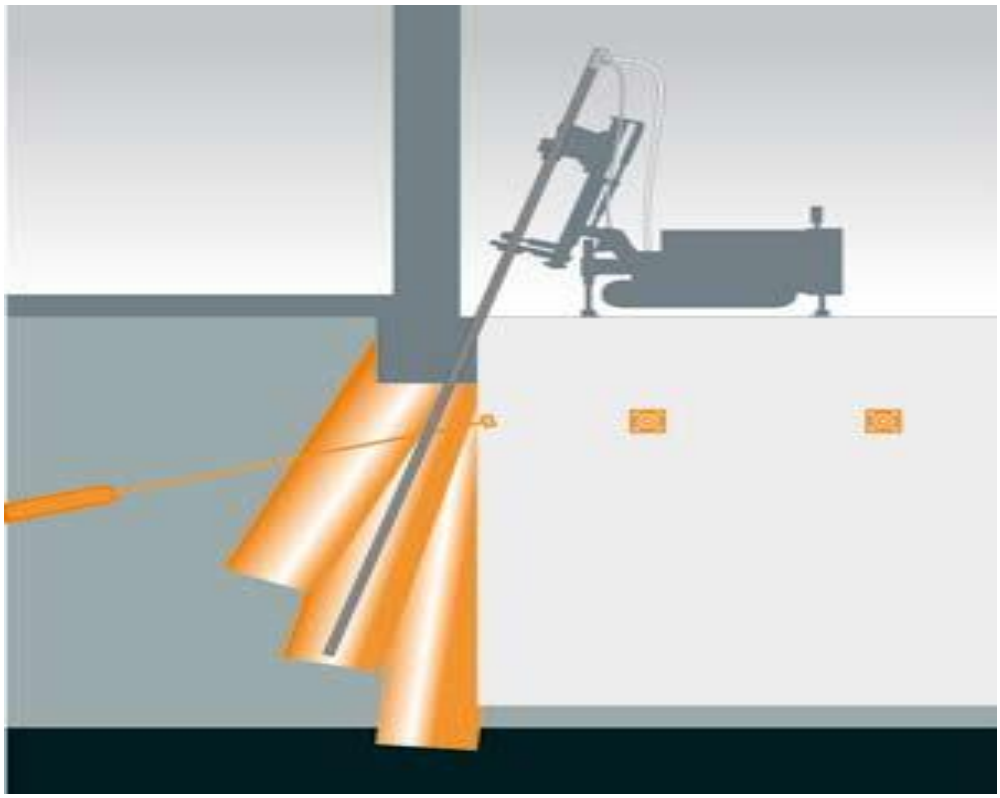
Şekil 2.5. Mevcut bina içinde jet grout (haywardbaker)



Şekil 2.6. Temel kazı yüzeyi desteklenmesi, komşu bina temeli desteklenmesi (emab zrt)



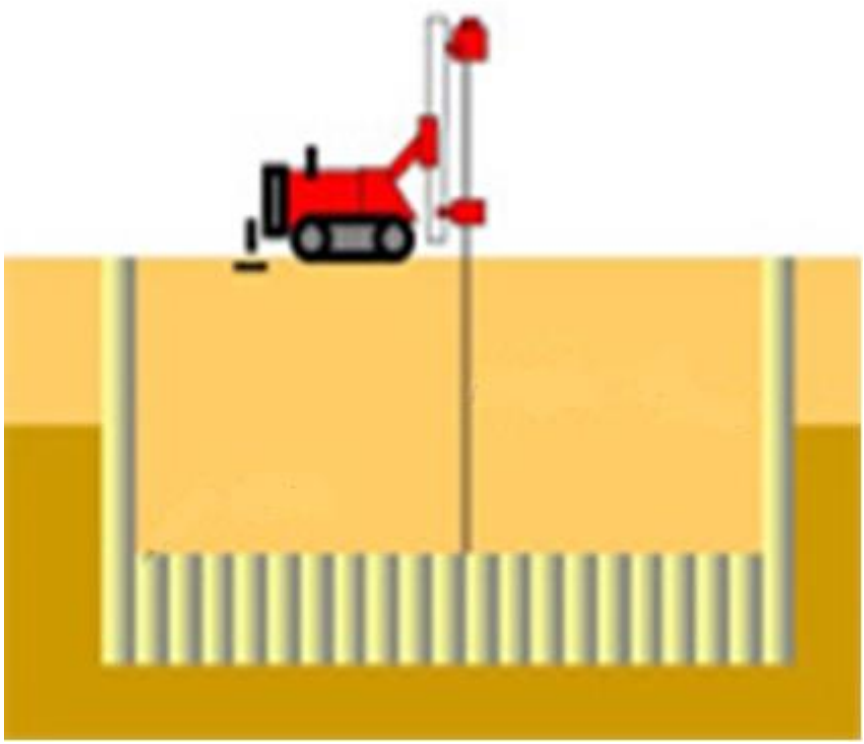
Şekil 2.7. Komşu bina temeli desteklenmesi (nicholson construction)



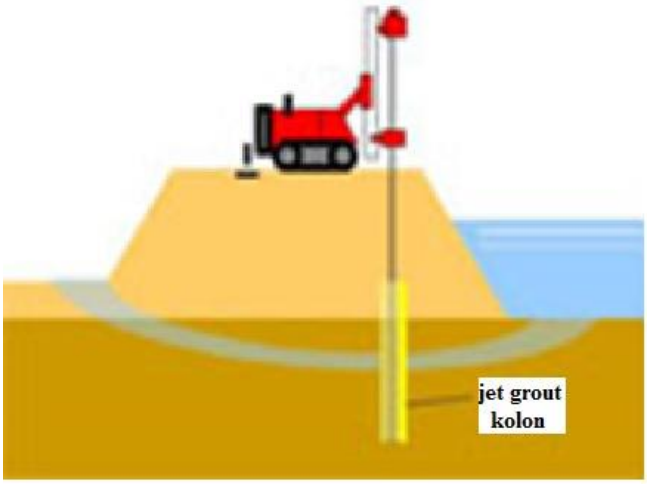
Şekil 2.8. Komşu bina temeli desteklenmesi (zakladani)



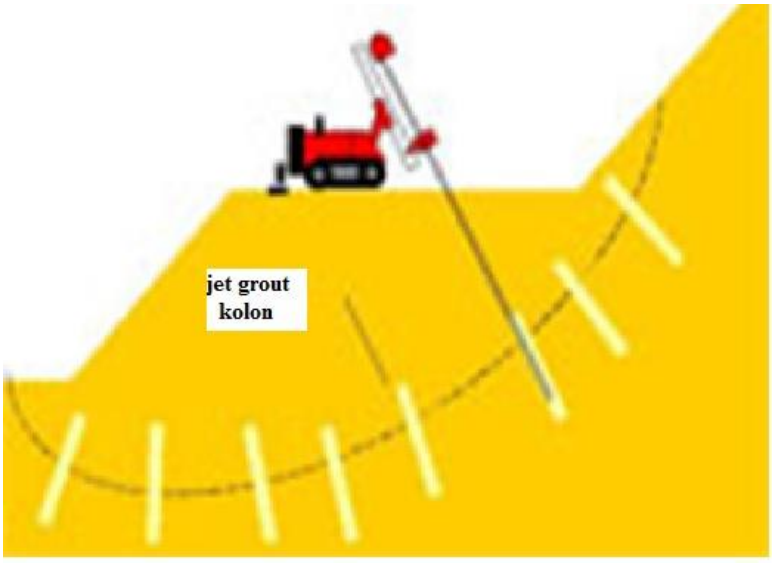
Şekil 2.9. Kazı yüzeyi desteklenmesi (geologico)



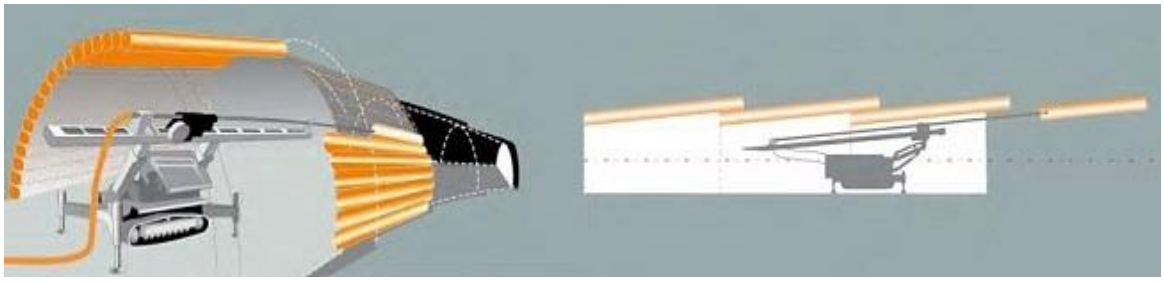
Şekil 2.10. Kazı çukuru (emab zrt)



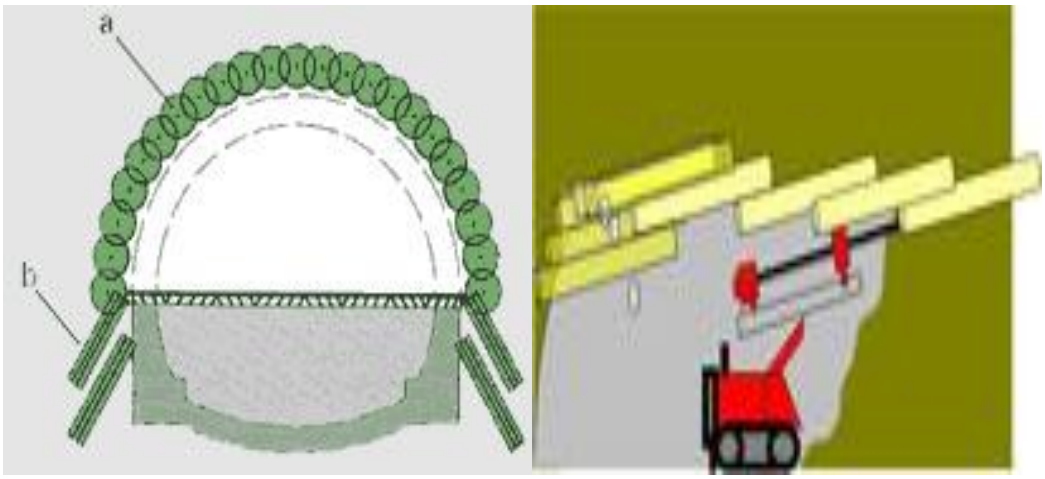
Şekil 2.11. Geçirimsizlik perdesi (emab zrt)



Şekil 2.12. Şev stabilitesi (emab zrt)



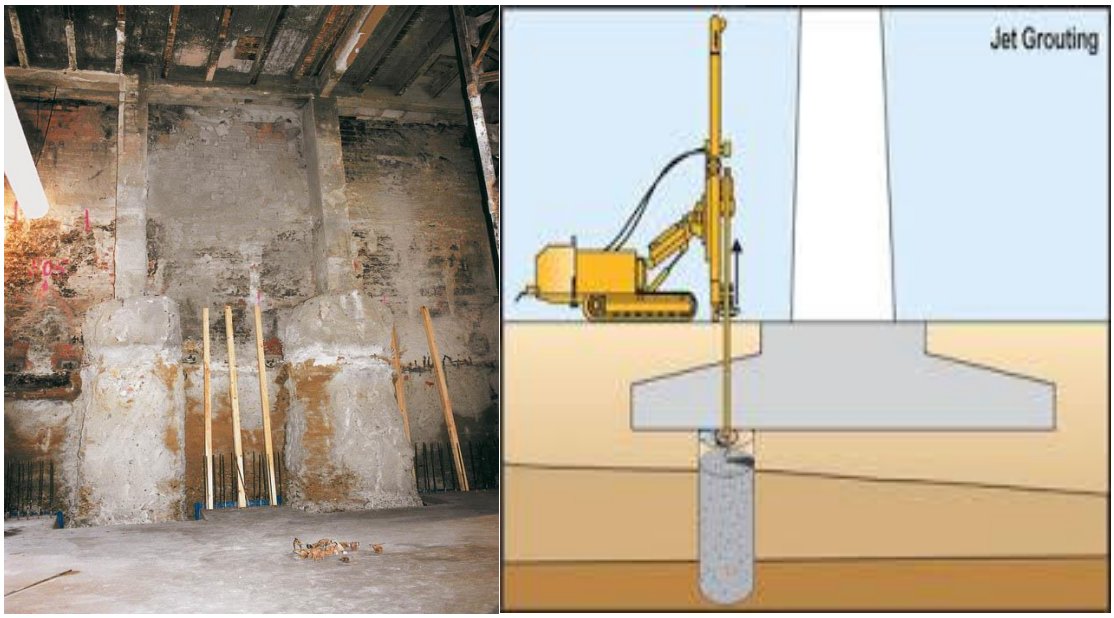
Şekil 2.13. Tünel aynası ve tavanının desteklenmesi (zakladani)



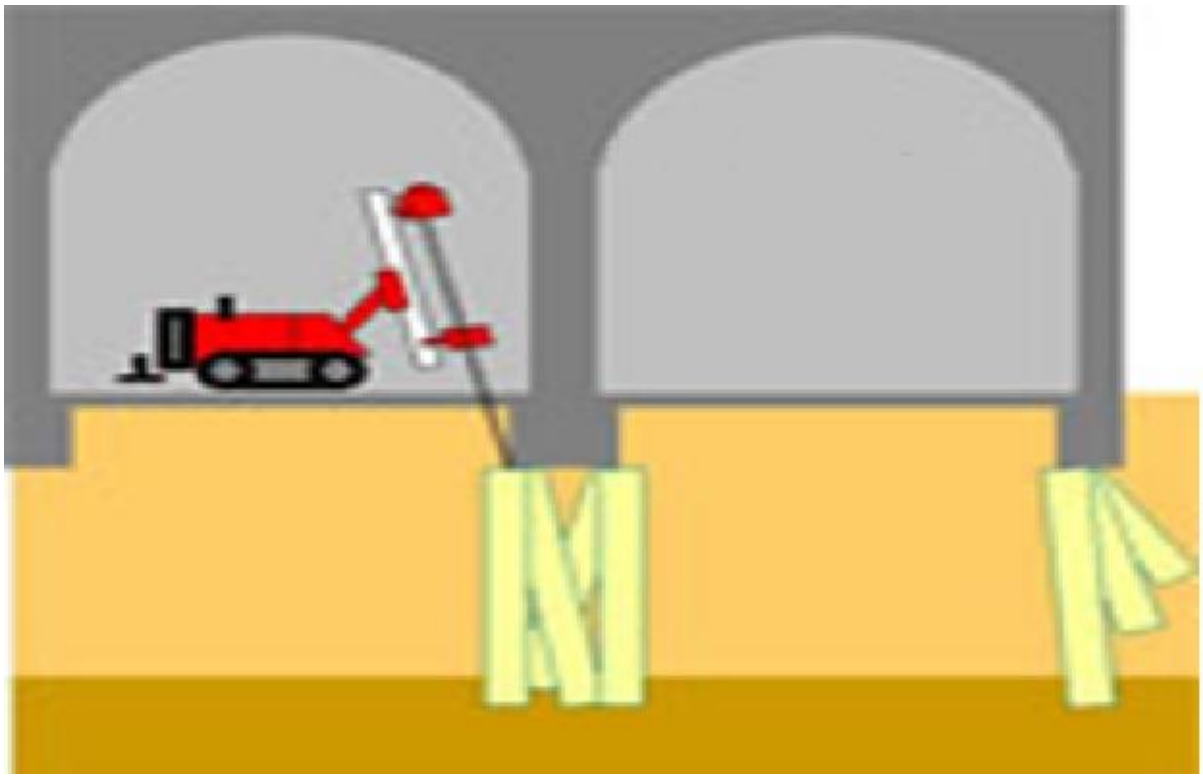
Şekil 2.14. Tünel aynası ve tavanının desteklenmesi (rodio gmhb-emab zrt)



Şekil 2.15. Tünel aynası ve tavanının desteklenmesi (rodio gmhb)



Şekil 2.16. Temel takviyesi (Slovansky House,Prag, zakladani-windsystemsmag))



Şekil 2.17. Temel takviyesi, binada oturmaların azaltılması (emab zrt)



Şekil 2.18. Mevcut yapı zemin iyileştirmesi (Penta Hoteli Prag,zakladani)



Şekil 2.19. Mevcut yapı zemin iyileştirmesi (zakladani)



Şekil 2.20. Yeraltı suyu sebebiyle stabilitesi azalmış, oturma görülen zeminin ıslahı (emab zrt)



Şekil 2.21. Yeni bina yapılacak bir alanda zemin iyileştirmesi (zakladani)



Şekil 2.22. Şaft kazısı için perde yapılması (zakladani)

2.3.2. Jet grout kolonun arazide uygulaması ve yapım aşamaları

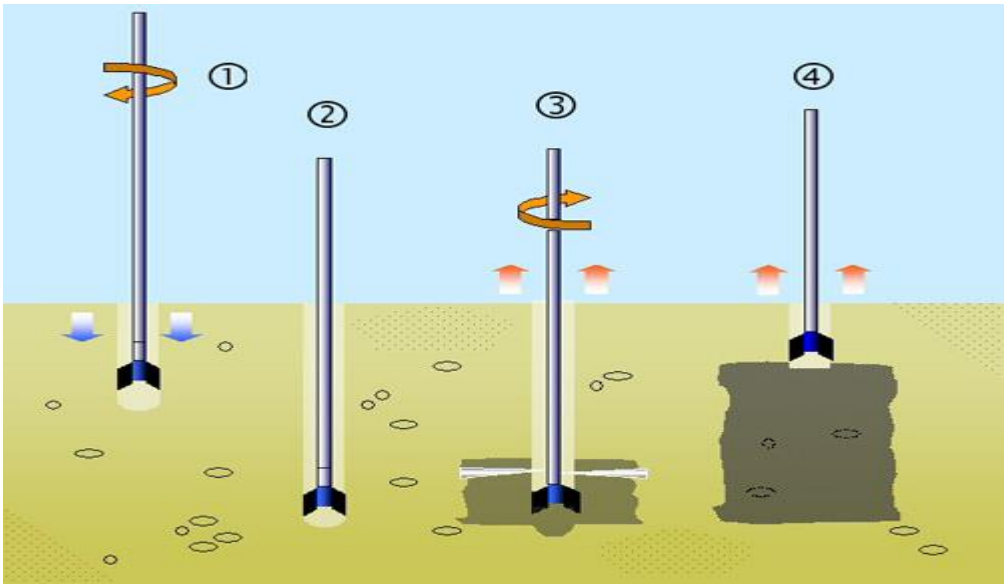
Ülkemizde Jet Grout metodunun uygulanmasında "TS EN 12716 Özel Geoteknik Uygulamalar – Jet Enjeksiyon" standardı kullanılmaktadır. Jet grouting zemini kırıp gevşetmek ve ince bir bulamaçla karıştırmak amacıyla yüksek kinetik enerjili bir sıvı püskürtmeye dayalı bir yapım sürecidir. Aslında tam bir enjeksiyonlama değil, daha çok bir zemin-çimento malzemesi üreten hidrodinamik bir yerinde karıştırma tekniğidir. Temel yapım prosedürü ilgili konuma kurulum yapma, hidrolik bir delme makinesi kullanarak belirlenen uç seviyesine delik açma, delme tijinin ucundaki ve matkap ucunun hemen üstündeki "nozzle" yoluyla jet grouting'e başlama, delme/grouting tijini çekme ve belirlenen derinliğe ulaşıldığında enjeksiyonu durdurmadır.

Bu konsept ilk olarak ellili yılların sonunda Birleşik Krallık'ta ortaya çıkmıştır. Tekli, çiftli ve üçlü püskürtmeler, toprağı parçalayıp bulamaçla karıştırmak için gerekli hidrodinamik enerjiye sahiptir. Kitlesel uygulama, doğrusal uygulama ve ilaveler için, enjeksiyon kapasitesi iyiden zayıfa kadar uzanan topraklar için uygundur. Ekipman, rayları üzerinde her bir jet grout kolon merkez noktasına doğru ilerleyen zemin delme

makinesine esnek bir yüksek basınçla iliştirilmiş sabit bir parçadan (çimento deposu, enjeksiyon tesisi, yüksek basınçlı pompa) oluşur. Delme tijinin başına, toprağa ve uygulamanın beklenen karakteristiklerine göre özel olarak seçilen enjeksiyon "nozzle" ları takılır.

Jet groutingde üç fiziksel süreçten yararlanılır;(Şekil 2.23.)

- Yüksek hızlı püskürtme toprağı gevşetir.
- Püskürtme sıvısı toprağın bir kısmını yüzeye çıkarır.
- Bulamaç toprak karışımına bir bağlayıcılık katar.



Şekil 2.23. Jet grout süreçleri (zeminist)

2.3.2.1. Çalışma sahası ve genel hususlar

Sahada delgi makinesinin sorunsuz çalışabilmesi için sahanın reglajının yapılmış olması gerekmektedir. Çalışma alanı ve çevre ulaşım yolları makine ve teçhizatın ulaşabilmesine ve batmadan çalışmasına imkân verecek şekilde düzgün ve kuru olmalıdır. Çalışma alanı uygun drenaj sistemi ile drene edilerek ortamın kuru kalması sağlanmalıdır. Çalışmayı engelleyen yeraltı ve yerüstü engelleri varsa (beton demir gibi yeraltı engelleri ile altyapı sayılacak kanalizasyon, elektrik, su hatları vb.) ilgili kuruluşlara müracaat edilerek bunların kaldırılması sağlanmalıdır.

İmalatın sürekliliği için çimento silosu günlük eksilen çimento kadar takviye edilmelidir.

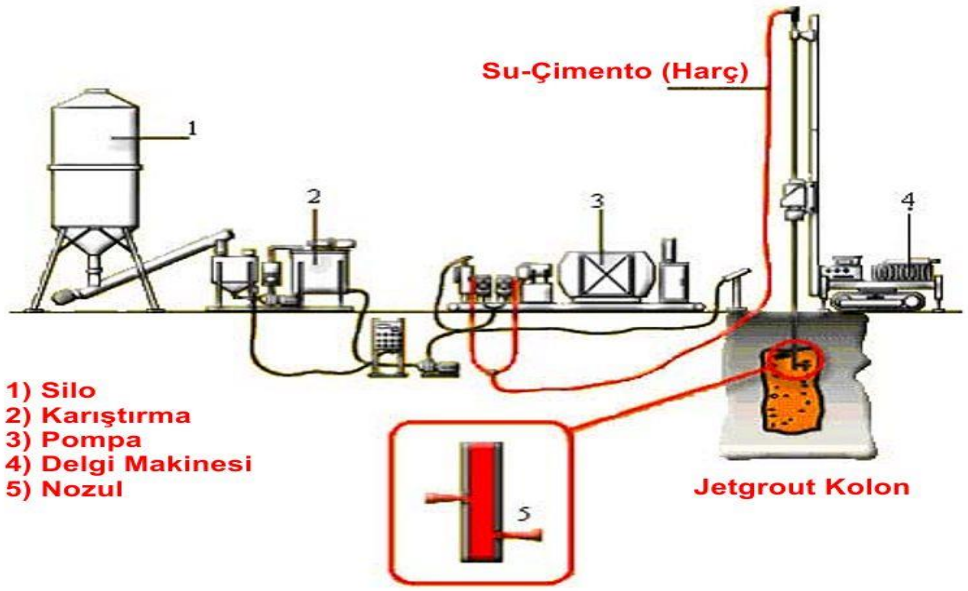
Enjeksiyon karışımında kullanılacak su, tortu ve yabancı katı maddelerden arındırılmış, çimentoya zarar vermeyecek kalitede su olacaktır. Enjeksiyon için kullanılacak suda enjeksiyonun bağlayıcılığını bozacak tuz veya kimyasal maddeler bulunmamalıdır. Bunun yanında, suda bulunacak tuz Jet grout pompa ünitesine zarar verecektir.

Delgi noktalarının arazide aplikasyonu mümkünse haritacılar tarafından yada uzman mühendisler tarafından titiz bir şekilde yapılmalıdır.

2.3.2.2. Jet grout makina ve ekipmanları



Şekil 2.24. Jet grout sistemi (zemin araştırma)



Şekil 2.25. Jet grout mekanizması

1.Çimento silosu: En az 50 ton kapasiteli dökme çimento depolayabilen ve Jet grout mikser ünitesini yeterli düzeyde besleyecek çimento silosu ve konveyörüdür(Şekil 2.26.).



Şekil 2.26. Çimento silosu (zemintaş)

2.Jet Grout karıştırma ünitesi: Jet grout enjeksiyon karışımını istenen karışım oranında elektronik olarak tartarak karıştıracak mikser ve dinlendiriciden oluşan, Jet grout pompa ünitesini beslemeye yeterli kapasitede mikser ünitesidir(Şekil 2.27.).



Şekil 2.27. Karıştırma ünitesi (zemin araştırma)

3. Jet Grout pompa ünitesi: Jet grout enjeksiyon karışımını istenen çapta Jet grout kolon teşkil edebilecek basınçta basabilecek yüksek basınçlı pompadan oluşacak Jet grout pompa ünitesidir(Şekil 2.28.).



Şekil 2.28. Pompa ünitesi (geo-solutions)

4.Jet Grout delgi makinası: Uygulama projesinde öngörülen derinliğe kadar Jet grout kolon teşkil edebilecek kapasitede delgi makinasıdır(Şekil 2.29.).



Şekil 2.29. Delgi makinası (zemin teknolojileri)

Seçilen ekipman gerektiğinde zeminin kabarmasına mani olmak veya istenen kazık çap ve mukavemetine ulaşmak üzere "prewashing" (ön yıkama) gerçekleştirilebilecek nitelikte olmalıdır.

2.3.2.3. Delme

Delme işleminin çeşidi, delinecek zeminin özelliklerine bağlı olarak seçilir. Buna göre de bilinen tüm rotary ve darbeli-rotary metodları kullanılır. Darbeli-rotary metodunun en yaygını da harici çekiçli sistemlerdir. Delme işleminin kolaylaştırılması, uç takımının soğutulması ve zeminin enjeksiyona ön hazırlanması maksadıyla delme sırasında çok çeşitli akışkanlar kullanılmaktadır. Bunlar su, hava, bentonıt şerbeti, çimento şerbeti (grout) olabilmektedir. Uç takımı olarak, yumuşak karakterli zeminlerde genellikle kil bitleri, sert karakterlerde ise "tricone" bitler kullanılmaktadır. Delme borusu (tij) olarak da jet grout tijleri(90 mm çapında)kullanılmakta, bunlar yüksek basınca dayanaklı malzeme ve imalat tekniği ile imal edilmektedir. Bağlantı (ek) manşonlarında da 500-600 bar'a dayanımlı sızdırmazlık elemanları kullanılmaktadır.

2.3.2.4. Enjeksiyon

Projede belirlenen derinliğe ulaşıldığında delme ve su (akışkan) basma işlemi durdurulur, çelik bir bilya delme borusuna yollanacak grout'un yönü "monitor" diye adlandırılan ve Jet grout nozzle'lannı taşıyan takıma çevrilmiş olur. Yüksek basınçlı grout pompalanmaya başlanır ve enjeksiyon fazı başlamış olur. Yüksek basınç, grout'a nozzle'lardan geçerken yüksek hız kazandırır. Yüksek hızlı grout, zeminin doğal yapısını yırtarak zeminle karışır. Delici takımın dönel hareketi sayesinde bu karışım daire kesitli bir kolon formunda oluşur ve bu yolla tabii zeminden çok farklı mekanik değerlere sahip bir karışım (soilcrete) elde edilmiş olur. Zemine çimento enjeksiyonu istenilen, Jet grout üst kotuna kadar yapılır. Enjeksiyonun kinetik enerjisinden zarar görmemek için, Jet grout üst kotu her zaman yüzeyden 30cm aşağıda bırakılmalıdır. Delici takımın dönme hareketi, önceden belirlenmiş ve sabit bir hızla çekme hareketi ile birleşince düşey kolon(lar)dan oluşan bir yapı oluşturulur. Delici boru takımının, çekilmesi esnasında, dönme hareketinin kısmi olarak tatbiki de mümkün olup, bu yolla çeşitli kesitlerde "thin grout curtains" (ince çimento perdeler) elde edilebilir..

Oluşacak kesitlerin ebatları, zeminin özelliklerine bağlı olduğu gibi;

• Dönüş hızı,

• Çekme hızı,

• Grout basıncı,

• Grout debisi (dakikada stroke sayısı),

• Nozzle çap ve adedi,

gibi Jet-grouting ana parametrelerine de bağlıdır.

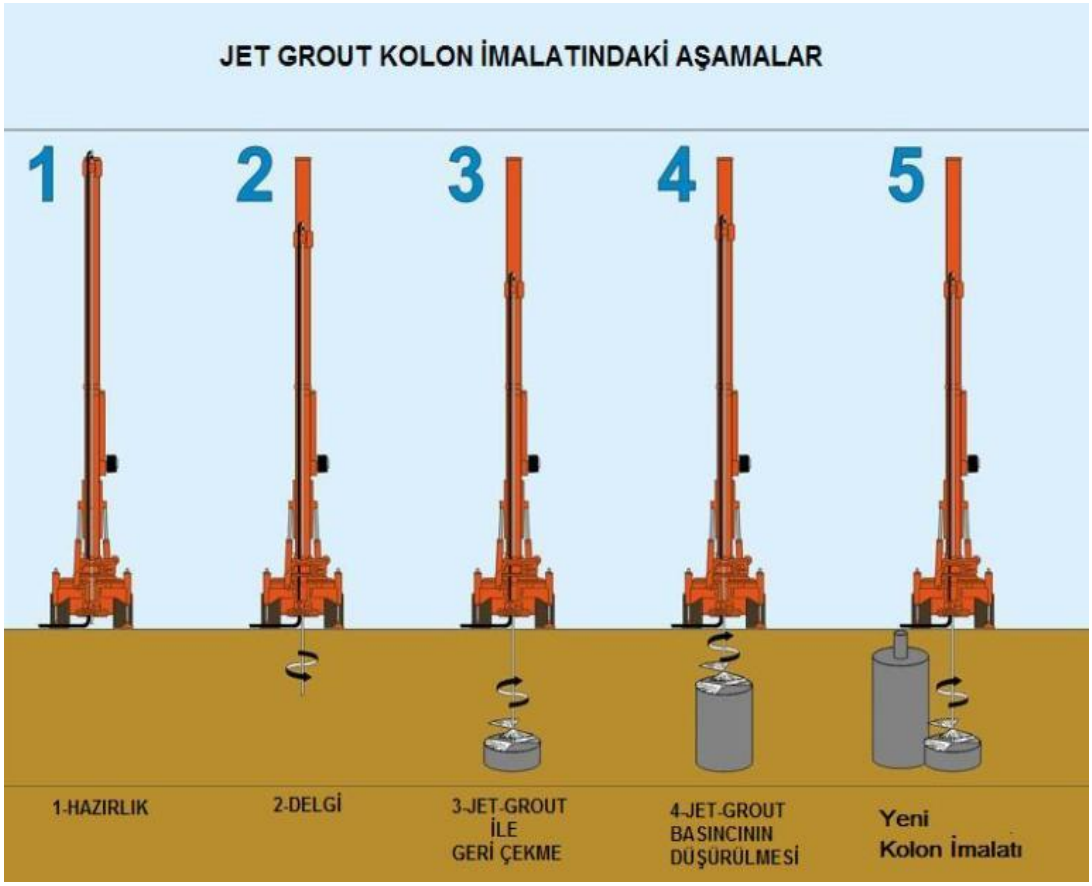
Basınçlı enjeksiyon esnasında, delici takımın etrafından dışarıya belirli bir miktar zemin materyali taşması uygun görülür. Bu durum groutla karıştırılan zemin içinde aşırı basınç oluşmadığına işaret eder, çünkü aşırı basınç oluşması halinde, basıncın fazlası delme borusu çapı ile delinen delik çapı farkından oluşan boşluktan dışarı kaçar. Aşırı basınç oluşmamalıdır, çünkü aşırı basınç zeminde kırılmalara ve ayrıca zeminin kaldırılmasına sebep olur. Bu durum oluşturulan kolonlarda süreksizliğe ve mevcut yapıların konstrüksiyonlarında problemlere yol açar. Bu türden sorunların yaşanmaması için uygulamada şu türden tedbirler yararlı olur;

• Debi miktarının azaltılması,

• Enjeksiyon basıncının düşürülmesi,

• Özellikle masif kil özellikli zeminlerde, ön yıkamalı delme işlemi.

Basınçlı 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.



Şekil 2.30. Jet grout kolon imalat aşamaları (colli drill)

2.3.2.5. Jet grout deneme kolonu

Jet grout kolonuna başlamadan önce çeşitli parametrelerde (tij dönüş ve yükselme hızı, püskürtme basıncı ve akışı, enjeksiyon karışımı) çeşitli sayıda deneme kolonlarının oluşturulması gerekir. Tüm deneme kolonlarındaki kazılardan sonra, proje verilerine tekabül eden Jet grout kolonlarının parametreleri nihai Jet grout kolon parametreleri olarak kullanılmalıdır.

2.3.2.6. Kalite kontrolü ve testler

Jet-grouting yöntemi ile yapılacak kolon inşa veya zemin ıslah işlemleri uygulamanın yapılacağı zemin ile ilgili tüm etüt ve testlerin yapılmış ve bunlarla ilgili değerlerin elde edilmiş olmasını gerektirir(Şekil 2.31.). Ayrıca, her uygulama Öncesi, sahada test kolonları inşası ve bunların hesaplanmış değerleri karşılayıp karşılamadığı gözlemlenmeli, parametrelerde gerekli optimizasyonlar yapılmalıdır.



Şekil 2.31. Jet grout kolonlarda kalite kontrolü (earth tech-geosolutions)

Islah işleminin başarısı açısından aşağıdaki testlerin yapılması önerilir;

• Elastisite modülünün hesaplanabilmesi için, basit basınç- şekil değiştirme testi.

Uygulama öncesi elastisite modülünün tespiti için basınç deneyleri yapılarak

• Deformasyonlann hesaplanması

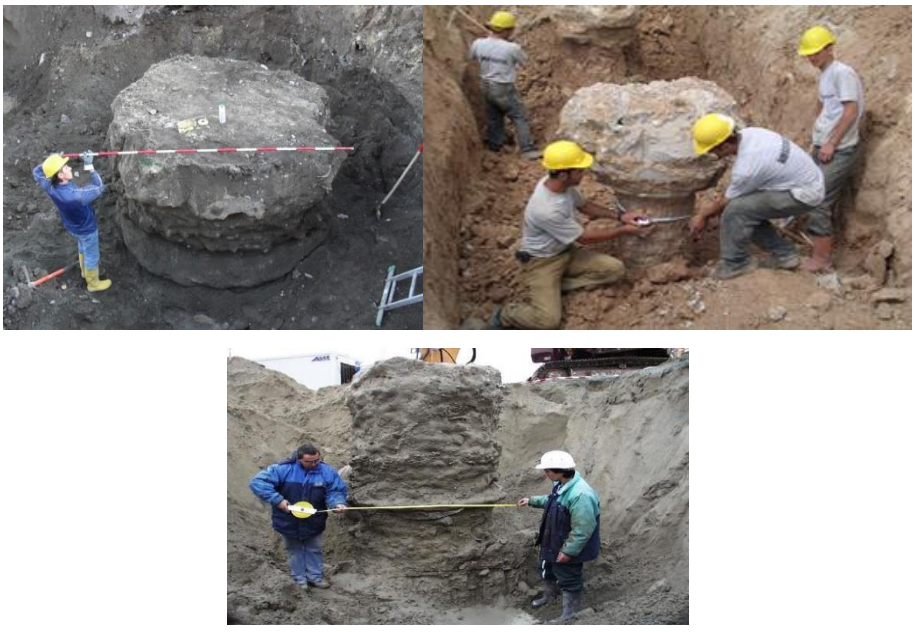
• Beton çekme mukavemeti tayini (Brezilya testi)

• Drenajsız kayma dayanım testi, yaptırılması önerilir.

İmalat sonrası yapılması gereken deneyler;

• Zemin -Çimento karışımı malzemelerin kalitesi ve dayanımı

• Kolon boyu ve sürekliliği(Şekil 2.32.)



Şekil 2.32. Jet grout kolonlar üretim sonrası boyut ölçümü (geosistema)

• Zemin -Çimento karışım kolonunun geçirimsizliği

• Jet-Grout kolonunun taşıma kapasitesi

• Diğer kontroller;

Jet-Grout kolonunun kalitesini denetlemek amacıyla yapımından 28 gün geçtikten sonra kolonlardan temsili olarak karot alınarak daha sonra bu karotlar üzerinde bazı testlerin yapılması,(Şekil 2.33.)

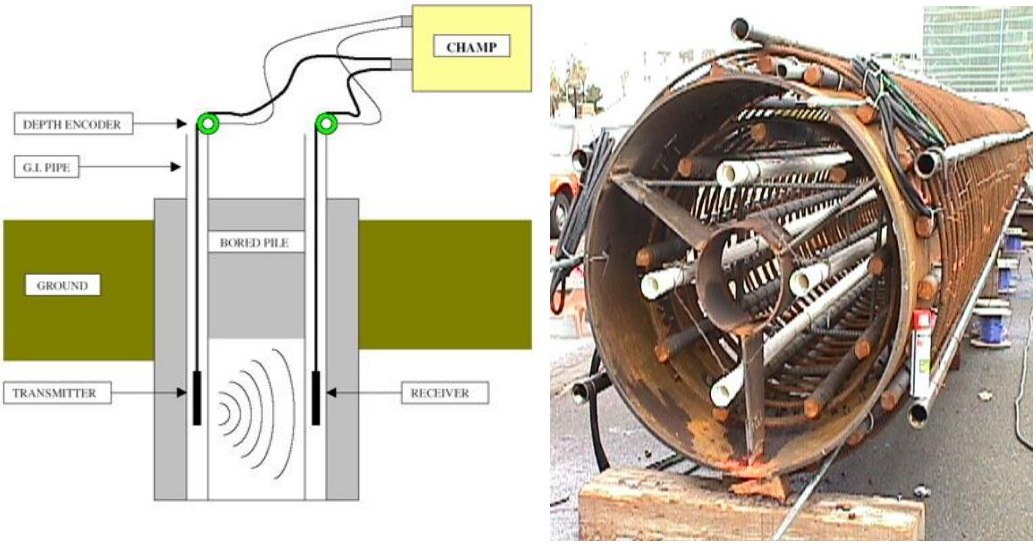


Şekil 2.33. Jet grout kolonlardan karot alınması (geodata-geoteknik)

Kolon boy ve kesitindeki olası düzensizlikleri saptayabilmek amacıyla Pile Integry Test ve Cross Hole Sonic Test yönteminden yararlanılabilir.(Şekil 2.34 ve Şekil 2.35.)



Şekil 2.34. PIT (sumajeoloji)



Şekil 2.35. CHST (California department of transportaion)

Jet grout kolonunun yapım tarihinden 1 ay sonra alınacak yükseklik/çap oranı en az 2 olacak numuneler üzerinde serbest basınç ve elastisite modülü tayini deneyleri yapılmalıdır.

Geçirimsizlik amacıyla açılan Jet-Grout kolonlarında zemin –çimento kolon kalitesini kontrol etmek için karot deliklerinden sabit permeabilite deneyleri yapılarak geçirimsizlik denenebilir.

Taşıma amaçlı Jet grout kolonları üzerinde göçertmeli veya kabul edilebilir maksimum oturmaya kadar yükleme yapılır. Kontrol deneylerinde ise proje kolonları üzerine proje yükünün en az 1,5 katı yüklenmelidir.



Şekil 2.36. Kolon yükleme deneyi (geodata-sumajeoloji)

2.3.2.7. Raporlar ve üretim kayıtları

Jet grout metodunun uygulanmasında ülkemizde "TS EN 12716 Özel Geoteknik Uygulamalar – Jet Enjeksiyon" standardı esas alınmaktadır. TS EN 12716 Standardına uygun olarak şantiyede Şantiye Günlük Çalışma raporu doldurulur. Bu raporda;

1. Jet grout sayısı, konumu ve kurulum tarihi,
2. Jet grout kolon referans numarası,
3. Jet grout kolon ağız kotu,
4. Kullanılan delgi uçları,
5. Kullanılan nozzle sayısı-çapı ve delik çapları,
6. Jet grout takımı çekme hızı,
7. Jet grout kolon boyu ve çapı,
8. Zemin cinsi,
9. Enjeksiyon Basıncı
10. Jet grout kolonunda kullanılan enjeksiyon su / çimento oranı ,
11. Jet grout kolonunda kullanılan çimento cinsi ve miktarı,
12. Açıklamalar kısmında varsa diğer özel bilgiler yer alır.

2.3.3. Jet grout teknikleri

Jet grout teknikleri 3 tiptir.(Şekil 2.37.) Bunlar sırasıyla aşağıdaki başlıklarda tanımlanmıştır. Bu yöntemler Jet 1, Jet 2 ve Jet 3 tür.

2.3.3.1.Jet 1yöntemi

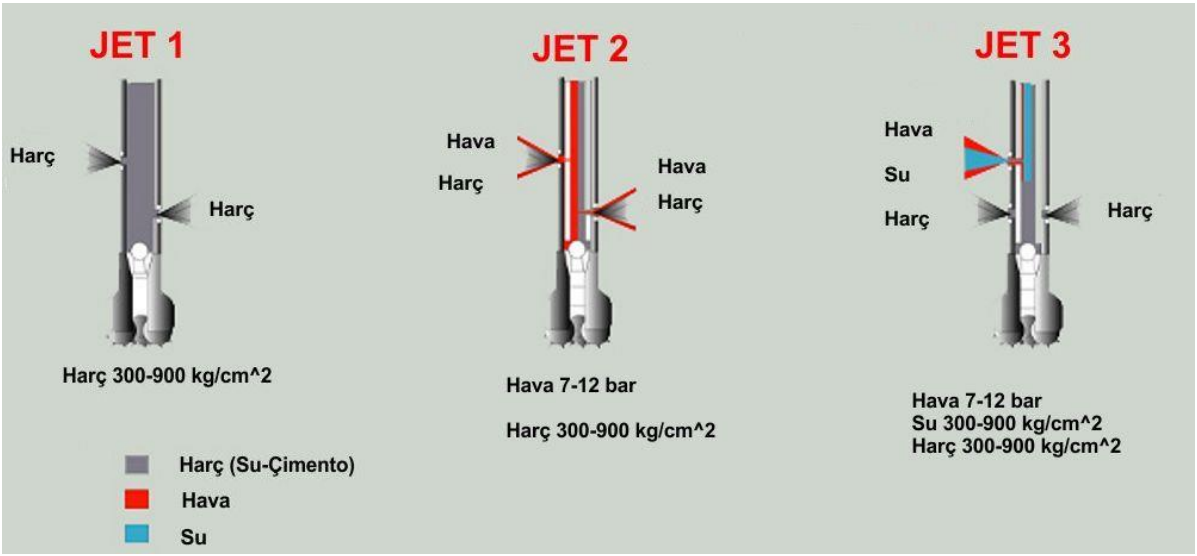
En basit ve yaygın kullanılan tekniktir. İlk olarak 70′li yılların başında Japonya'da, 70′lerin ortalarında ise İtalya'da denenmiştir. Delme-enjeksiyon takımı tek çeperli bir borudan ibaret olup, grout bu borudan 300-600 kg/cm2 (bar) basınçla basılır. Bu metotla oluşan kolonlar zemin türlerine ve parametre aralıklarına göre yaklaşık olarak killi zeminlerde 600-800 mm, kumlu-çakıllı zeminlerde 1000mm. olarak oluşur. JET1 yöntemi daha çok kumlu-çakıllı ve siltli killi zeminlerde SPT Değerlerinin düşük olduğu zeminlerde uygulanır.

2.3.3.2. Jet 2 yöntemi

Çift çeperli bir boru takımının delici olarak kullanıldığı, çift akışkan kullanılan metottur. Grout orta borudan, basınçlı hava (8-12 bar) dış borudan geçer. Basınçlı hava, jet l'deki kinetik enerji sürtünme kayıplarını kısmen azalttığı için, bu metotta oluşan kolon çaplan jet 1 'e kıyasla %60-80 daha büyük olur. Özellikle JET1 yöntemiyle yırtılması daha zor killi ve daha sert kumlu-çakıllı zeminlerde uygulanır.

2.3.3.3. Jet 3 yöntemi

İçiçe 3 borulu takım kullanılan bu metotta, 400-600 bar basınçlı su ortadaki borudan, 8-12 bar basınçlı hava ara borudan, tıpkı jet 2′deki gibi, nozzlelardan basılır. 30-80 bar basınçlı grout ise en dış borudan ayrı bir nozzle'dan, su-hava karışımı içine enjekte edilir. Soilcrete kolonlarının çapları bu metotla 2 metrenin üzerine kadar çıkar. Çok özel projelerde bu yöntem uygulanır.



Şekil 2.37. Jet grout teknikleri

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Giriş

Deneysel çalışmanın amacı ince taneli çimentonun JG kolonun performansına etkilerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarında BAP Koordinatörlüğü' nün desteği ile jet grout kolon imalatı yapan bir deney düzeneği kurulmuştur. Geliştirilen sistem ilk olarak Erkan (2013) tarafından tamamlanan doktora tez çalışmasında kullanılmıştır. Arazi şartlarında jet grout kolonu oluşturan sisteminin benzeri laboratuvar için geliştirilmiştir. Deney düzeneği için sisteme zeminin yerleştirileceği bir adet büyük tank konulmuştur. Tank üzerinde yatay yönde de hareket edebilen öngörülen derinliğe kadar delgi yapabilecek ve Jet grout kolon teşkil edebilecek kapasitede delgi makinesi monte edilmiştir. Sistem Jet grout enjeksiyon karışımını istenen çapta jet grout kolon teşkil edebilecek basıncı verebilecek pompa ve kompresör eklenerek tamamlanmıştır. İnce taneli çimento olarak Ultrafin 12 seçilmiştir. Ayrıca deneyde kullanılacak olan kum numunesi kolonların oluşturulacağı kalıplara 4 nolu elekten (4.76 mm göz açıklıklı) elenerek doldurulmuştur. Çeşitli S/Ç oranlarında hazırlanan süspansiyon karşımlar(çimento şerbeti) için reolojik özelliklerin belirlenmesi amacıyla marsh hunisi(viskozite), çökelme(stabilite) ve vicat (katılaşma süresinin tayini) deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan çimento şerbetleri kalıplara doldurulan kum numuneleri içine enjekte edilerek JG kolonlar oluşturulmuştur.

3.2. Jet Grout Kolon Oluşturmak İçin Enjeksiyon Deney Düzeneği

Enjeksiyon için Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında bulunan ve Arş. Gör. İ.Hakkı ERKAN' ın doktora tez çalışmaları için BAP koordinatörlüğünün de desteğiyle oluşturulan deney düzeneği kullanılmıştır. Zemin numunesinin doldurulacağı tank, enjeksiyon haznesi, kontrol paneli, JG kolonu oluşturacak yatay ve düşey yönde hareket edebilen ve istenilen derinliğe kadar inip çıkabilen delgi makinesi ve tij, basınç üretecek enjeksiyon pompası ve kompresörden oluşan deney düzeneği arazide kullanılan JG makinalarıyla aynı mantıkta çalışan bir deney düzeneği olup, buradan hareketle tasarlanmıştır. Deneylerde sistemdeki tank yerine deneylerin hızlı(doldurma-boşaltma süreleri açısından), etkin ve kolay bir biçimde yapılabilmesi için BAP koordinatörlüğü desteğiyle oluşturulan

kalıplar kullanılmıştır. Deneylere başlanmadan önce deney düzeneğinin kalibrasyonu yapılarak deneme kolonları oluşturulmuştur.

Arazide uygulanan Jet-1 tipi JG kolon üretim sisteminin benzeri laboratuvar için özel olarak tasarlanarak zemin mekaniği laboratuvarına montajı yapılmıştır. Laboratuvarda jet grout kolonlarını üretebilmek ve deneyler yapabilmek için arazide uygulanan sistemin benzerinin hazırlanması, Jet grout ekipmanlarının tamamının laboratuvar ölçeğine göre tasarlanıp imal edilmesi gerekir. Arazide standart bir JET1 grout sistemi başlıca çimento silosu, su deposu, karıştırıcı mikser, dinlendirme ünitesi, pompa, delgi makinesi ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Laboratuvar çalışmaları için özel olarak tasarlanan sistemini oluşturan başlıca alet ve cihazlar aşağıda verilmiştir.

- Enjeksiyon pompası 4 cm kalınlıklı,
- 90 cm boyunda sondaj tiji
- 1.5 mm çaplı 2 delik (nozzle) bulunan konik uç
- Enjeksiyon haznesi
- Döndürme motoru
- Aşağı/yukarı çekme motoru
- Mikser
- Deney Tankı

Hazırlanan deney sistemi (Şekil 3.1.) ile laboratuvar ortamında maksimum 100 bar enjeksiyon basıncı, 2-30 devir/dak arasında dönme hızı, 5-100 cm/dak arasında tij çekme hızı uygulanabilmektedir. Enjeksiyon haznesi 20 lt olup, istenilen su/çimento oranında hazırlanan grout(enjeksiyon malzemesi, süspansiyon), harici bir kapta mikserle karıştırıldıktan sonra hazneye boşaltılmakta, daha sonra çökelmemesi için bekletilmeden sabit basınç ile tank içerisindeki zemin ortamına jetlenmektedir.



Şekil 3.1.JG kolon deney düzeneği

3.2.1.Kompresör, enjeksiyon haznesi ve enjeksiyon pompası

Belirli S/Ç oranında hazırlanan enjeksiyon malzemesini sabit grout basıncı ile delgi makinesine gönderebilecek kapasitede bir enjeksiyon pompası üretilmiştir. Pompanın uygulayabileceği maksimum basınç 200 bar olup bu değer laboratuvar koşulları için oldukça yüksek sayılabilecek bir değerdir. Laboratuvarda yapılan imalatlarda güvenlik koşulları ve üretilen kolon çapı dikkate alınarak enjeksiyon basıncı maksimum 40 bar olarak seçilmiştir. Enjeksiyon basıncını kontrol etmek için sistem üzerinde giriş ve çıkış noktalarında iki adet manometre yerleştirilmiştir. Çalışma güvenliğinin sağlanması amacı ile maksimum basınç 50 bar olarak ayarlanmış olup sistemin 50 barın üzerine çıkması engellenmiştir. Tasarımı yapılan ve imal edilen enjeksiyon pompası Şekil 3.2. de verilmiştir.



Şekil 3.2. Pompa ve kompresör



Şekil 3.3. Enjeksiyon Pompası ve Kompresör

3.2.2. Tij, nozullar, kontrol ünitesi ve enjeksiyon haznesi

Enjeksiyonun zemine istenilen basınçta ve debide gönderilirken Jet grout sisteminin temel özeliği olan tijin yukarı çekilmesi ve döndürülmesi işlemlerinin yapılması için tam otomatik bir delgi makinesi tasarımı yapılmış ve imalatı da bu yönde yaptırılmıştır. Delgi makinesinin üzerindeki tije 2 adet elektrik motoru bulunmaktadır. Bu motorlardan bir tanesi (1. motor) tije aşağı ve yukarı yönde hareket verirken diğer motor (2.motor) ise tije dönme hareketi kazandırmaktadır. Bu motorlar vasıtasıyla sondaj tiji, içerisinden enjeksiyon malzemesi geçerken aynı anda hem dönme hareketi hem de yukarı veya aşağı hareket edebilmektedir. Bu durumun ayarlanabilmesi için sonsuz dişli- özel dişliler ve rakorlar ilave edilmiştir. Yüksek basınç altında grout zemine ilerlerken basınca dayanıklı hortumlarda ve tij bağlantı elemanlarında herhangi bir kaçak olmamasına özen gösterilmiştir. Yapılan deneyler süresince hortumlarda ve bağlantı elemanlarında herhangi bir kaçak patlama durumlarıyla ve tehlikeli durumla karşılaşılmamıştır. Delgi makinesi, tij ve elektrikli motorlardan oluşan sistem Şekil 3.4.da görülmektedir.



Şekil 3.4. Delgi makinesi ve tij

Sistemin çalıştırılması, groutun gönderilmesi, enjeksiyon basıncının düzenlenmesi ile tij dönme ve çekme hızlarının ayarlanması için kontrol ünitesi oluşturulmuştur. Bu ünitede çok hassas olarak enjeksiyon basıncı ile tij çekme ve dönme hızı ayarlanabilmektedir. Tije çekme ve dönme hareketini veren motorlar, uygulamadaki çekme ve dönme hızlarının aralıklarını da kapsayan geniş bir bant aralığında ayarlanmıştır. Sistem istenildiği takdirde uygulamadakinden çok daha hızlı

veya çok daha yavaş bir çekme veya dönme hareketi verebilmektedir. Şekil 3.5. te pompa ve süspansiyon haznesi gösterilmiştir. Kontrol ünitesine ait resim Şekil 3.6. de verilmiştir.(Erkan, 2013)

Deneysel çalışmalarda kullanmak üzere farklı çap ve adette nozullar imal edilmiştir. Deneme kolonları imalatları sonrasında tez çalışmasında 1.50 mm çapındaki tek nozulun kullanılmasına karar verilmiştir. Bu karar verilirken enjeksiyon haznesinin kapasitesi ile, birden fazla nozul kullanılması durumunda deliklerdeki tıkanmanın zamanında fark edilememe durumu dikkate alınmıştır. Nozul çap ve sayısı kolon çap ve dayanımı üzerinde oldukça etkili parametre olup, ayrı bir araştırma konusu olabileceği sonucuna varılmıştır (Erkan, 2013).



Şekil 3.5. Pompa ve süspansiyon haznesi



Şekil 3.6. Kontrol paneli

Şekil 3.7. ve Şekil 3.8. de 20 bar basınç altında farklı nozul çaplarında nozullardan çıkan su jeti görülmektedir.



Şekil 3.7. 20 bar çift nozul su çıkışı



Şekil 3.8. 20 bar tek nozzle su çıkışı

Şekil 3.8. ve Şekil 3.10. da 30 bar basınç altında farklı nozul çaplarında nozullardan çıkan su jeti görülmektedir.



Şekil 3.9. 30 bar çift nozzle su çıkışı



Şekil 3.10. 30 bar tek nozzle su çıkışı

Şekil 3.11. ve Şekil 3.12. de 40 bar basınç altında farklı nozul çaplarında nozullardan çıkan su jeti görülmektedir.



Şekil 3.11. 40 bar çift nozzle su çıkışı



Şekil 3.12. 40 bar tek nozzle su çıkışı

3.2.3. Deney düzeneğinin kalibrasyonu ve deneme kolonları

Deneylere başlamadan sistemin bir takım kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Bunlar çekme hızı, dönme hızı, tij başlangıç ve bitiş yükseklik ayarı vb. kalibrasyonlardır. Bunun için deney ekipmanındaki delgi makinesinin tij kısmının yukarı-aşağı ve dönme hareketini veren motorların kontrol ünitesindeki faz ayarları, deney programındaki dönme hızını ve çekme hızlarını verecek şekilde ayarlamalar yapılmıştır. Ayrıca her basınç kademesinde (20, 30 ve 40 barda) nozullardan çıkan grout debileri hesaplanmıştır. Kalibrasyonlar esnasında çekilen resimler Şekil 3.13 de verilmiştir.



Şekil 3.13. Deney düzeneği kalibrasyon

Kalibrasyon değerleri ile bu değerlere karşılık gelen saat okumaları Çizelge 3. 1. de verilmiştir. Çekme hızı kalibre edilirken deney düzeneğinin kontrol paneli üzerindeki saat 5,9 u gösterirken tijin dakikada kaç cm yer değiştirdiği tespit edilerek yazılmıştır. Buna göre panel üzerindeki çekme hızı değeri 5,9 iken tij dakikada 15 cm yukarı veya aşağı belirleyeceğimiz yönde hareket etmektedir. Kontrol paneli üzerindeki saatin değişik değerleri için bu ölçümler ayrı ayrı yapılmıştır. Yine aynı şekilde dönme hızı kalibre edilirken aletin gösterge saati ayarlandıktan sonra tij üzerinde bir nokta işaretlenerek tijin dakikada kaç devir yaptığı ölçülerek bu değere karşılık gelen gerçek değerleri bulunmuştur. Buna göre deney düzeneğinin kontrol paneli üzerindeki saat 3,8 değerini gösterirken tij belirleyeceğimiz-saat yönünde veya saat yönünün tersi- yönde dakikada 5 devir yapmaktadır Alet üzerindeki saatin değişik değerleri için bu ölçümler ayrı ayrı yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Kalibrasyon tablosu

Parametreler	Deney düzeneği üzerindeki saat değeri	Gerçek değeri
V,Çekme hızı (cm/dakika)	5,9	15
	9,6	30
	13,5	45
D, Dönme hızı (devir/dakika)	3,8	5
	7,5	10
	10,7	15

Deney programında verilen parametrelere göre JG kolonları laboratuvar ortamında oluşturmadan önce tıpkı uygulamadaki gibi test kolonlarının yapılması, sistemin güvenilirliğinin test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla yaklaşık üç ay süre ile deneme kolonları imal edilerek sistemde, deney tankında ve zemin ortamında görülen eksiklikler giderilmiştir. ilk üretilen deneme kolonları Şekil 3.14 de verilmiştir. Sistemin kalibrasyonunun tamamlanmasından sonraki başarılı bir şekilde uygulanmış JG kolon ise Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 da verilmiştir.



Şekil 3.14. Kalibrasyon öncesi test kolonları



Şekil 3.15. Kalibrasyon sonrası üretilen başarılı kolonlar



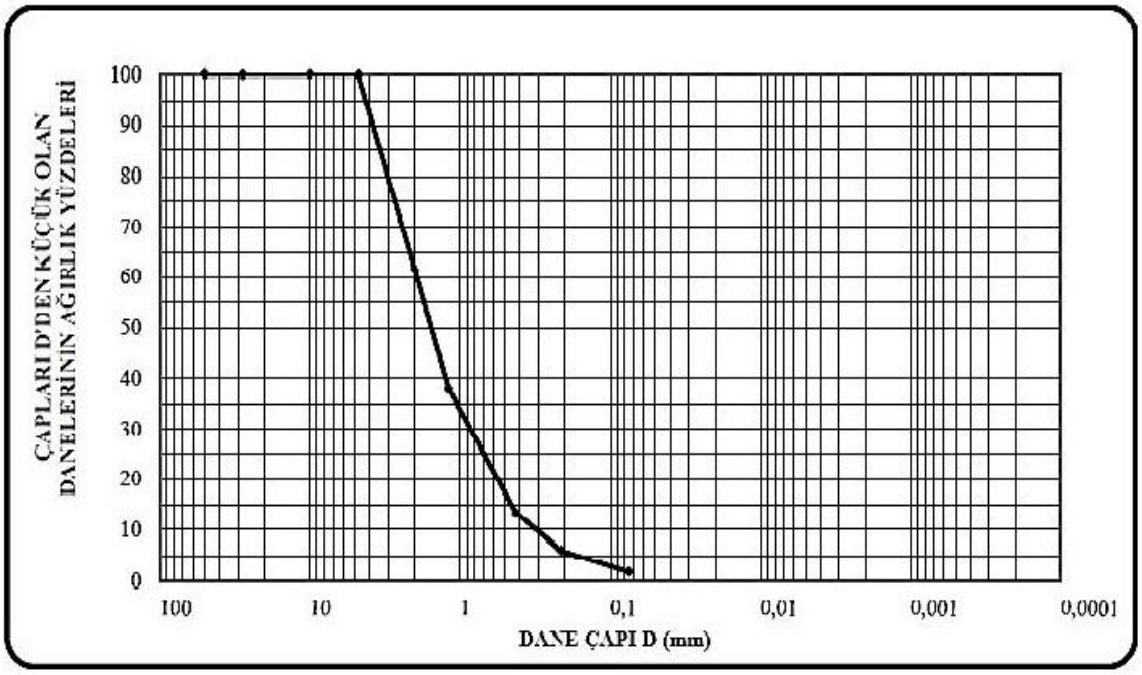
Şekil 3.16. Kalibrasyon sonrası üretilen başarılı kolonlar

3.3. Deneylerde Zemin Numunesi Olarak Kullanılan Kumun Özellikleri

Deneylerde kullanılan kum özel bir kum ocağından temin edilmiş doğal bir malzemedir. Laboratuvarda bu kuma ait elek analizi, tane birim hacim ağırlık, maksimum ve minimum boşluk oranları, rölatif sıkılık deneyleri yapılmış olup malzemeye ait granülometri eğrisi Şekil 3.17 da verilmiştir. Granülometri eğrisinden de görüldüğü gibi, deney kumu iyi derecelenmiş temiz kum (SW) sınıfındadır. Deney kumu için yapılan tane birim hacim ağırlık, maksimum ve minimum boşluk oranları deney sonuçları ile zemine ait bazı indeks özellikleri Çizelge 3.2. de verilmiştir.

3.3.1. Elek analizi

Jet grout kolonların yapımında kullanılan zemin numunesi olarak kullanılan kumun tane çapı dağılımının bulunabilmesi için elek analizi deneyi TS1900-1' de belirtilen standartlara göre bulunmuştur. Deneye ait tane çapı(büyüklüğü) dağılım eğrisi(granülometri) Şekil 3.17' de verilmiştir.



Şekil 3.17. Deneylerde kullanılacak olan zemin numunesine ait granülometri eğrisi

3.3.2. Maksimum ve minimum boşluk oranı tayini

Jet grout kolonların yapımında kullanılacak kum numunesi için maksimum ve minimum boşluk oranı tayini için deneyler yapılmıştır. Bu deneyler için ASTM D 4253 ve ASTM D 4254 deney standartlarında önerilen yöntemler izlenmiştir.

3.3.2.1. Maksimum boşluk oranı tayini

Kum numunesi ağırlığı önceden belli olan(M) kalıba serbest halde doldurulup, üstteki fazla malzeme tıraşlanıp düzeltildikten sonra kalıp ve numune birlikte tartılır(M_1). Bağıntı (3.3.) kullanılarak maksimum boşluk oranı(e_{max}) tayin edilir.

$$M_{k1}=M_1-M \tag{3.1}$$

$$\rho_{min}=\frac{M_{k1}}{V_k} \tag{3.2}$$

$$e_{max}=\frac{\rho_w \, x \, G_s}{\rho_{min}}-1 \tag{3.3}$$

Burada;

ρ_{min}= Minimum yoğunluk,

e_{max}= Maksimum boşluk oranı

M= Kalıbın kütlesi

M_1= Kalıp + Serbest halde yerleştirilen zemin kütlesi

M_{k1}=Serbest halde yerleştirilen zemin kütlesi

ρ_w = Suyun özgül yoğunluğu, 1 gr/cm^3

G_s = Zeminin özgül ağırlığı

V_k = Deneye tabi tutulan zeminin hacmi(kalıp hacmi,V)

3.3.2.2. Minimum boşluk oranı tayini

Numune kalıba serbest bir şekilde yerleştirilir ve üzeri tıraşlanır. Kalıp üzerine 1cm kalınlığındaki plaka ve 15 kg sürşarj yükü yerleştirilerek sarsma tablasında 4 dk. titreşime tabi tutulur. Sarsma işleminden sonra sıkışma miktarı kumpas yardımı ile belirlenir ve sıkışan hacim hesaplanır. Aşağıdaki formüller ile minimum boşluk oranı elde edilir.

$M_{k2}=M_2-M$ (3.4)

$$\rho_{max}=\frac{M_{k2}}{V_k} \quad (3.5)$$

$$e_{min}=\frac{\rho_w \, x \, G_s}{\rho_{max}}-1 \quad (3.6)$$

Burada;

ρ_{max}= Maksimum yoğunluk,

e_{min}= Minimum boşluk oranı

M= Kalıbın kütlesi

M_2= Kalıp + Sıkıştırılmış zemin kütlesi

M_{k2}= Sıkıştırılmış zemin kütlesi

ρ_w = Suyun özgül yoğunluğu, 1 gr/cm^3

G_s = Zeminin özgül ağırlığı

V_k = Deneye tabi tutulan zeminin hacmi

w= Su muhtevası

M= Kabın kütlesi

M_1 =Kabın kütlesi + yaş numune kütlesi

M_{k2}=Kabın kütlesi + kuru numune kütlesi

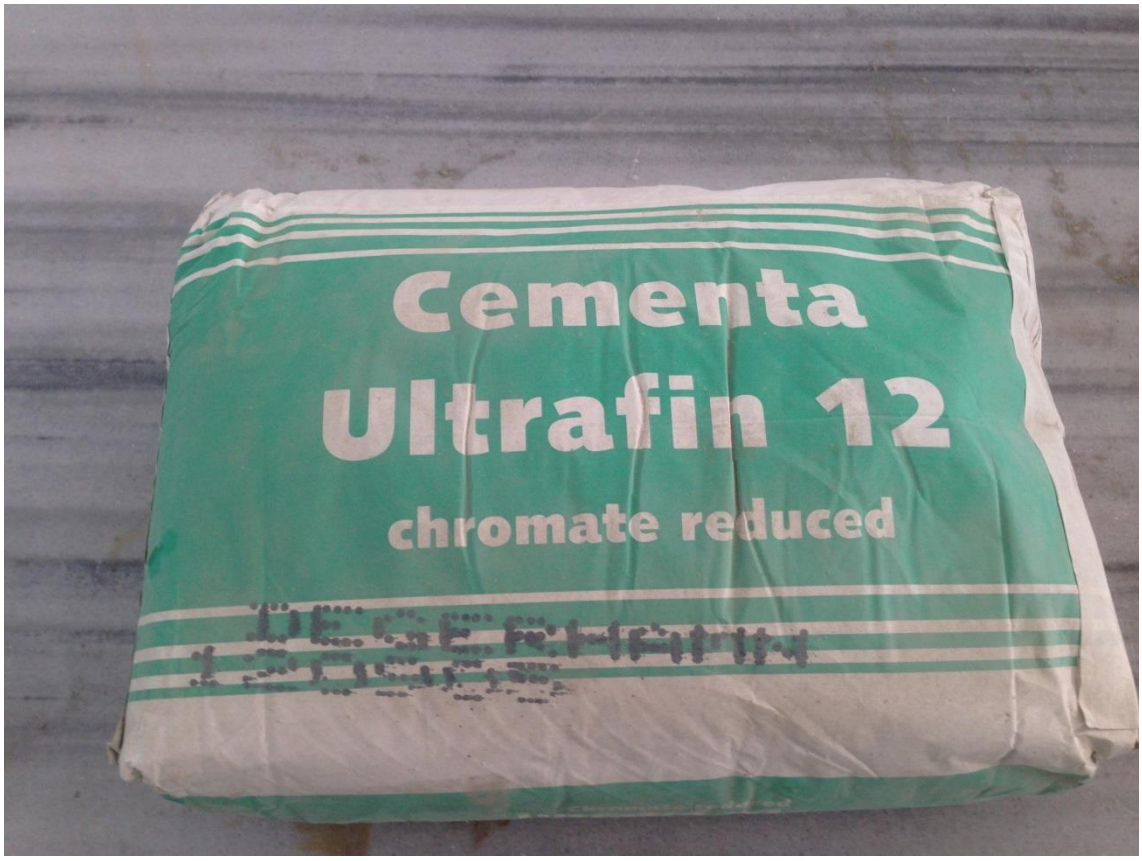
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan zemine ait endeks özellikleri(Erkan,2013)

Çakıl Oranı	%0
Kum Oranı	%98
Kil+Silt Oranı	%2
C_u	6.1
C_c	1.16
Zemin Sınıfı	SW
γ_s(kN/m^3)	26.3
e_{max}	1.09
e_{min}	0.38
e	0.88
D_r	%35

3.4. İnce Taneli Çimentonun Özellikleri

Tez kapsamında deneysel çalışmalarda Heidelberg Cement firmasına ait Cementa AB isimli Ultrafine 12 çimentosu kullanılmıştır(Şekil 3.18.). Ultrafin 12, kaya

ve kum zeminlerde enjeksiyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ultrafin 12 çimentosunun yüzey alanı 2200 m^2/kg' dır. Ultrafin 12 düşük C_3A(< %3.5 toplam ağırlığın) içeriğinden dolayı sülfata dayanıklı ve düşük alkali içeriğinden (< % 0.6 toplam ağırlığın) dolayı alkali-silika reaksiyonu görülmez(Avcı,2009).



Şekil 3.18. Deneylerde kullanılan ince taneli çimento

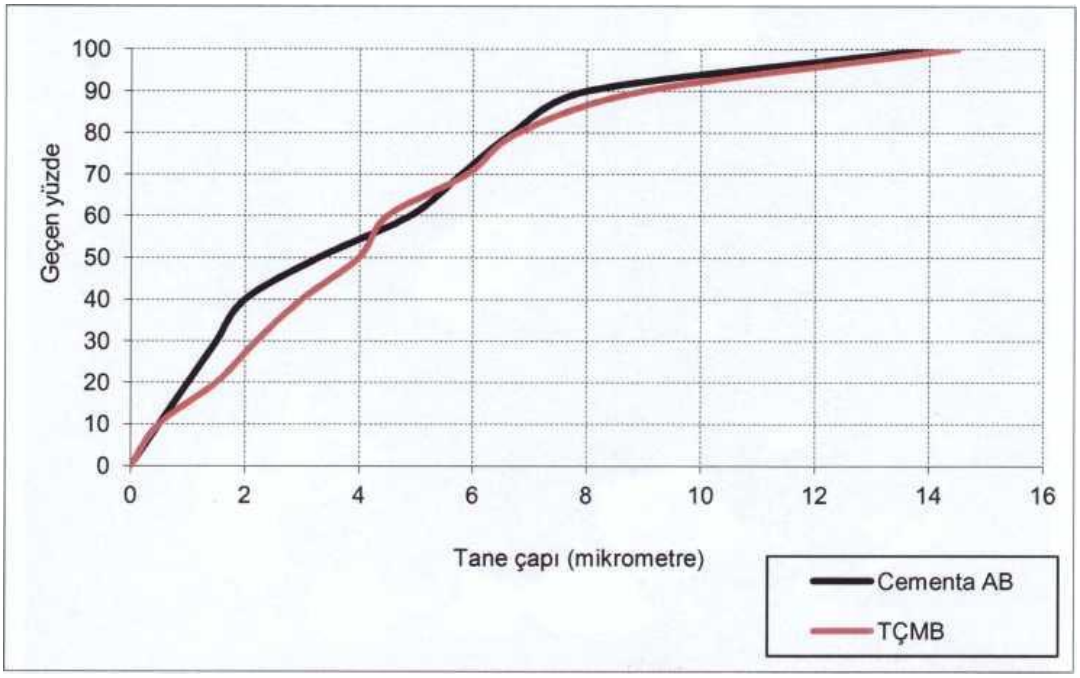
3.4.1. İnce taneli çimentonun tane dağılımı

Fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olan birçok ince taneli çimento değişik firmalarca üretilmektedir. (Perret et al, 2000; Mollamahmutoğlu ve Yılmaz, 2011). Çizelge 3.3. te Ultrafin 12 ve diğer bazı ince taneli çimentolara ait tanecik boyutu ve birleşimleriyle ilgili bazı bilgiler verilmiştir.(Mollamahmutoğlu ve Yılmaz, 2011).

Çizelge 3.3. Bazı ince taneli çimentolara ait özellikler

İnce Taneli Çimento	Partikül Boyutu(μm)	Birleşim
Rheocem-650	$D_{95}<15$	Portland
Rheocem-800	$D_{98}<16$	Portland
Rheocem-900	$D_{98}<10$	Portland
MC-100	$D_{max}=8$	Curuf
MC-300	$D_{max}<40$	Portland
MC-500	$D_{max}=15$	Curuf +Portland
Spinor A6	$D_{98}=6$	Curuf
Spinor A12	$D_{98}=12$	Curuf
Spinor A16	$D_{98}=16$	Curuf
Ultrafine 12	$D_{95}=12$	Portland
Ultrafine 16	$D_{95}=16$	Portland

Deneylerde kullanılan Ultrafin 12 çimentosuna ait tane boyu dağılım eğrileri Şekil 3.19. da verilmiştir. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB)'nde "MASTERSIZER" tane boyu dağılım cihazıyla da analiz ettirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi veriler birbiri ile oldukça uyumludur (Özarslan, 2012).



Şekil3.19. Ultrafin 12 çimentosuna ait cementa abfirma ve TÇMB tane boyu analizi (Avcı, 2009)

3.5.Deneyde Kullanılan Süspansiyonun(Çimento Şerbeti) Özellikleri

3.5.1. Süspansiyonun hazırlanışı

Deneylerde kullanılan süspansiyonlar üzerinde vicat, stabilite, viskozite deneyleri yürütülmüştür. Değişik su/çimento oranlarına sahip süspansiyonlar hazırlanmıştır. Deneylerde ağırlıkça su/çimento oranları 1.0, 1.25 ve 1.5 olan karışımlar kullanılmıştır(Şekil 3.20.).

Karıştırıcının devir sayısı ve karıştırma süresi süspansiyon için son derece önemli olduğundan taneciklerin topaklaşmasının ve erken hidratasyonun önüne geçmek için karıştırma işlemi özenle yürütülmüştür. Karıştırma süresi çok uzun tutulursa süspansiyon ısısı çok yükselip erken hidratasyon görülebilir. Karıştırıcının hızı da topaklaşmanın önüne geçilmesi açısından önemlidir. Karıştırma süresi ve devir sayısı için üretici firmanın bilgi kataloğunda belirtilen hususlar göz önüne alınmıştır.



Şekil 3.20. İnce taneli çimento ve su, süspansiyon için tartılırken

Üretici tarafından minimum 1500 devir/dk lık koloidal karıştırıcı kullanılması önerilmiştir. Süspansiyonlar 2800 devir/dk lık matkap ve karıştırıcı uç kullanılarak

hazırlanmıştır. Önce karıştırma kabı içerisine belirlenen su doldurulup mikser çalıştırılmıştır. Daha sonra mikser çalışırken ince taneli çimento azar azar sabit bir şekilde eklenerek karıştırılmaya devam edilmiştir. Toplam 3dk. lık karıştırma süresinden sonra süspansiyon hazır hale gelmiştir.(Şekil 3.21.-3.22.)



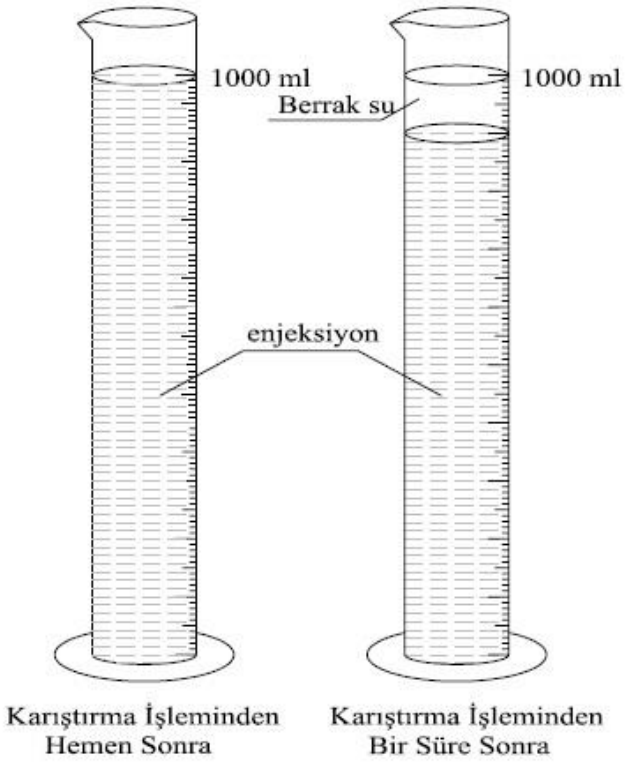
Şekil 3.21. Süspansiyon hazırlanışı



Şekil 3.22. Süspansiyon hazırlanışı(Erkan,2103)

3.5.2. Çökelme deneyi(stabilite, sedimantasyon)

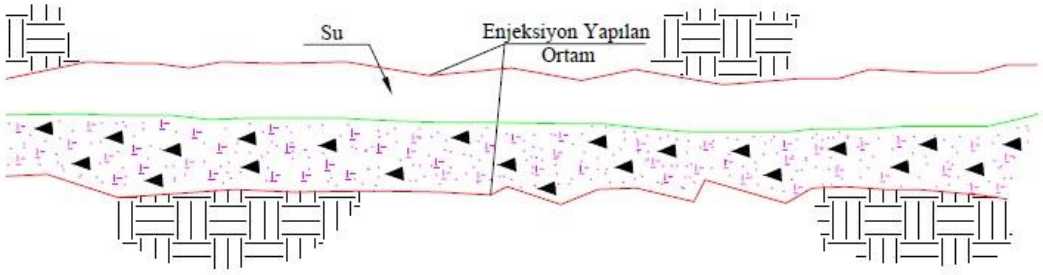
Süspansiyonda serbest halde bulunan partiküller çökelme eğilimdedir. Artan bu eğilim sonucunda partiküller dibe çöker ve çökelen partiküllerin üzerinde berrak su toplanır (Şekil 3.23.). Bu olay sedimantasyon (bleeding, kusma) olarak adlandırılır.(Warner,2004)



Şekil 3.23. Çökelme deneyi

Sedimantasyon olayı Stokes yasasının prensiplerine göre tanımlanır. Stokes yasasına göre süspansiyon sıvısındaki granüler partiküller, partikül çapının karesi ile orantılı olarak, yerçekiminin etkisi altında, hıza bağlı olarak çökelir. Önce iri partiküller ardından küçük partiküller çöker. Partikül boyutunun küçülmesi ile sedimantasyon yoğunluğu da azalır. Çok küçük partiküller sadece yerçekimi kuvvetinin etkisinde değildir. Yerçekimi kuvvetine ek olarak aynı zamanda elektrokimyasal kuvvet etkisi ilepartikül çapı 1 μm den küçük partiküllerde Brownian hareketi görülür. Böylece sedimantasyon hızı Stokes yasasına göre beklenen den daha yavaş gerçekleşir.(Nonveiler, 1989)

Yüksek hızda karıştırma işlemi ile sedimantasyonun önüne geçilebilir. Ayrıca enjeksiyon işlemi sırasında karıştırıcı kullanılarak enjeksiyon yapılması, başarılı bir enjeksiyon için önem arz eder. Süspansiyona çimento ağırlığının yüzdesi olarak eklenen dispersif maddeler de sedimentasyonu önlemede etkilidir. Sedimantasyon enjeksiyon işleminden önce yada enjeksiyon gerçekleştikten sonra nüfuz edilen ortamda gerçekleşebilir(Şekil 3.24.). Bu nedenle stabilite iyi bir enjeksiyon materyali için gereklidir.



Şekil 3.24. Sedimantasyon sonucu boşlukların su ile dolması(Warner, 2004)

Çimento enjeksiyonu; eğer yerçekimi etkisi ile oluşan sedimantasyon sıfır yada minimumda tutulabiliyorsa stabildir. Stabilite şu şekilde tanımlanır; 1000 ml ölçekli cam silindir içindeki karışım üzerinde 2 saat sonunda toplanan berrak su hacmi toplam süspansiyon hacminin %5'inden az ise süspansiyon stabildir.(Hakansson,1992).

Stabilite; malzemenin dane dağılımına, partiküllerin özgül yüzey alanına ve partiküller ile sıvının yüzeysel kuvvet etkileşimine bağlıdır (Shroff, 1993). İnce tane oranını artması, akışkanlaştırıcı madde kullanılması ve iyi bir karıştırma işlemi stabiliteyi arttırıcı etkide bulunur. Stabilite ölçümleri sedimentasyon deneyi ile belirlenmektedir (ASTM C 940).

Stabilite deneyleri ASTM C 940'da belirtilen hususlara göre yapılmıştır. Çökelme deneyi hazırlanan süspansiyonda, su ile çimento danelerinin birbirinden ayrılması, tüm partiküllerin sedimantasyonunu tamamlaması, en küçük partiküllerin çökeldikten sonraki yüzdeye dayanır.

Deney yapılacak oda sıcaklığı 23,0±2 ºC olmalıdır. Süspansiyonun sıcaklığı ölçülerek 1000 ml lik ölçü silindirine aktarılır. Silindir üzerinde berraklaşan su miktarı için ilk bir saat içerisinde her 15 dk da bir, daha sonra her 10 dk da bir okuma alınır. Ard arda alınan iki okuma aynı olduğunda deney durdurulur. Sedimantasyon yüzdesi denklem(3.7) ile bulunur.

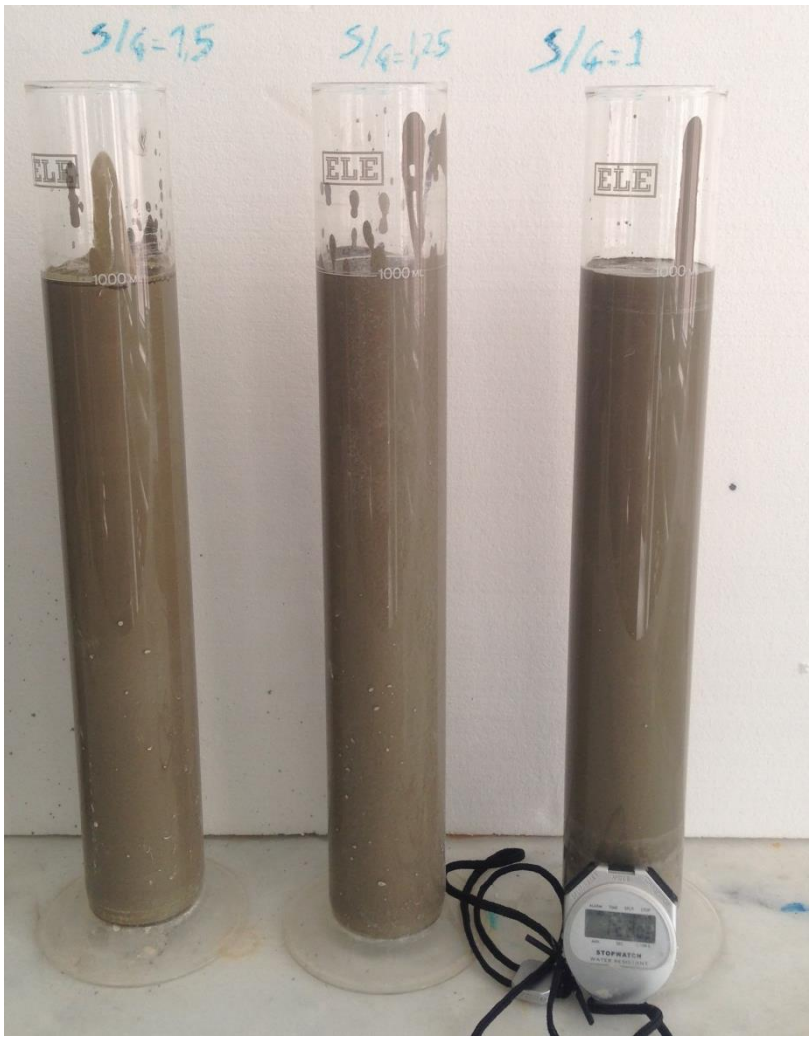
$$S=\frac{V_w}{V_1}x100 \qquad (3.7)$$

S = Sedimantasyon yüzdesi

V_w = Berrak su hacmi, ml

V_1 = Deney başında süspansiyon hacmi, ml

2 saat sonunda eğer berraklaşan su hacmi süspansiyonun başlangıç hacmine göre yüzde beşten küçük ise süspansiyon stabildir. Ancak berraklaşan su hacmi süspansiyonun başlangıç hacmine göre yüzde 5 ten büyükse süspansiyon stabil değildir.

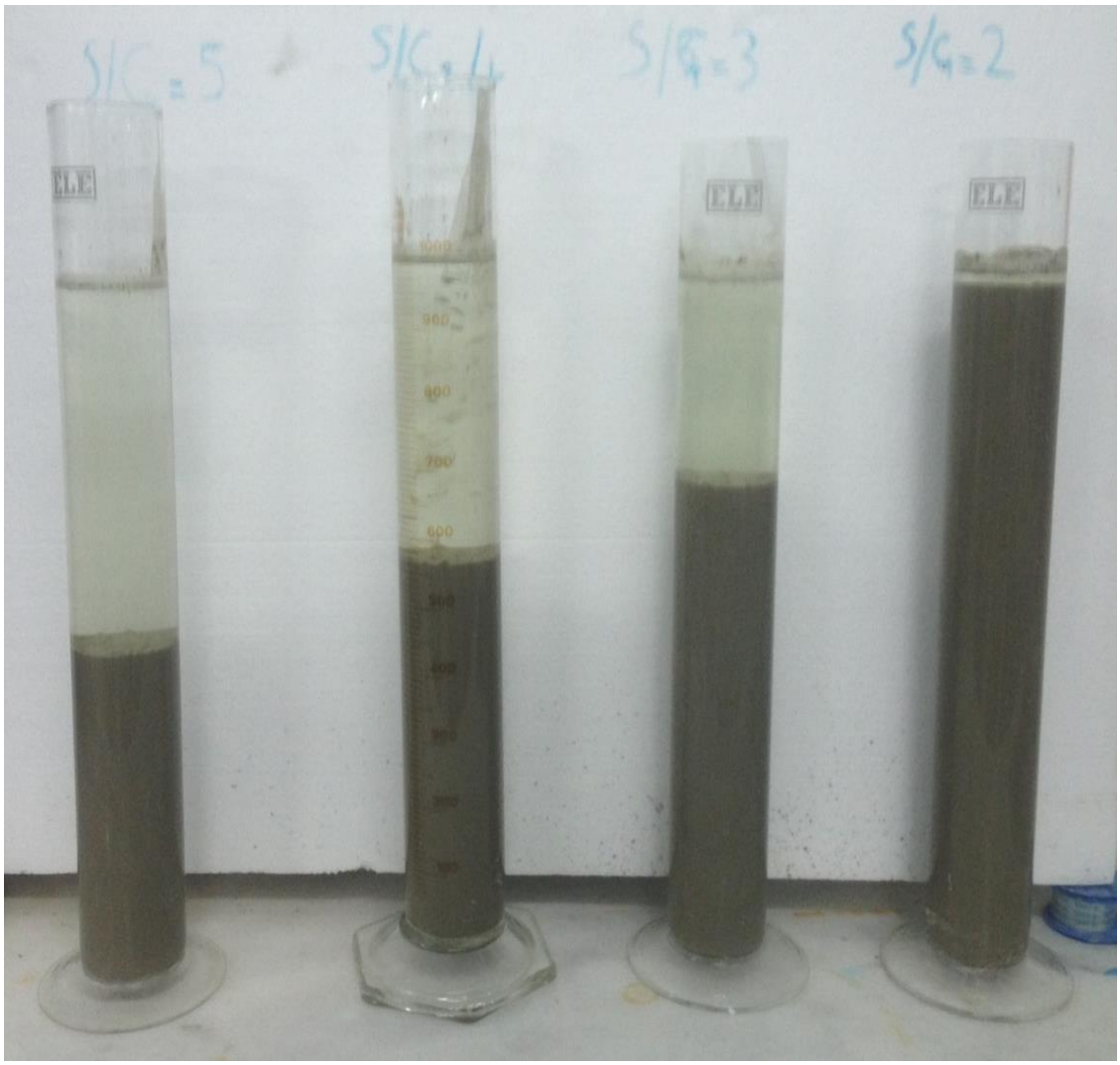


Şekil 3.25. Süspansiyon için çökelme deneyi

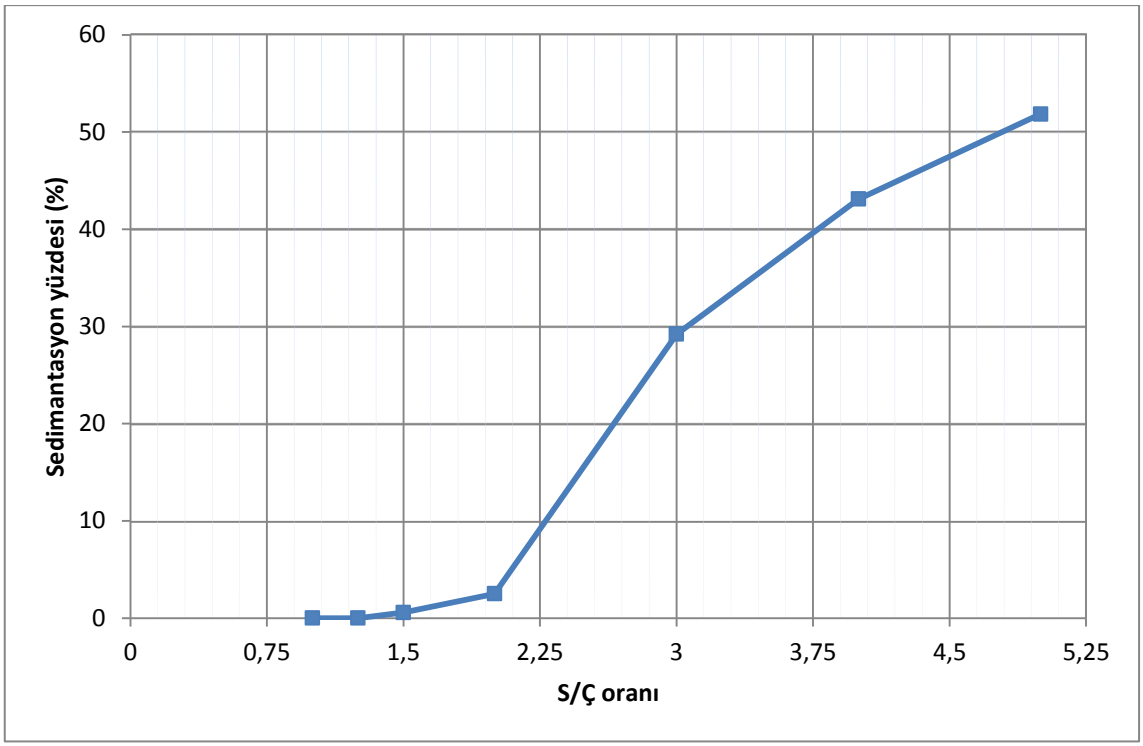
Şekil 3.25. ve şekil 3.26. da su/çimento oranı 1.0, 1.25 ve 1.5 değerleri için yapılan çökelme deneyleri sonucunda 1.0 ve 1.25 değerleri için herhangi bir çökelme değeri ölçülmemiş olup 1.5 değeri için % 0,57 değeri ölçülmüştür (Çizelge 3.4.).

Çizelge 3.4. Sedimantasyon yüzdesi

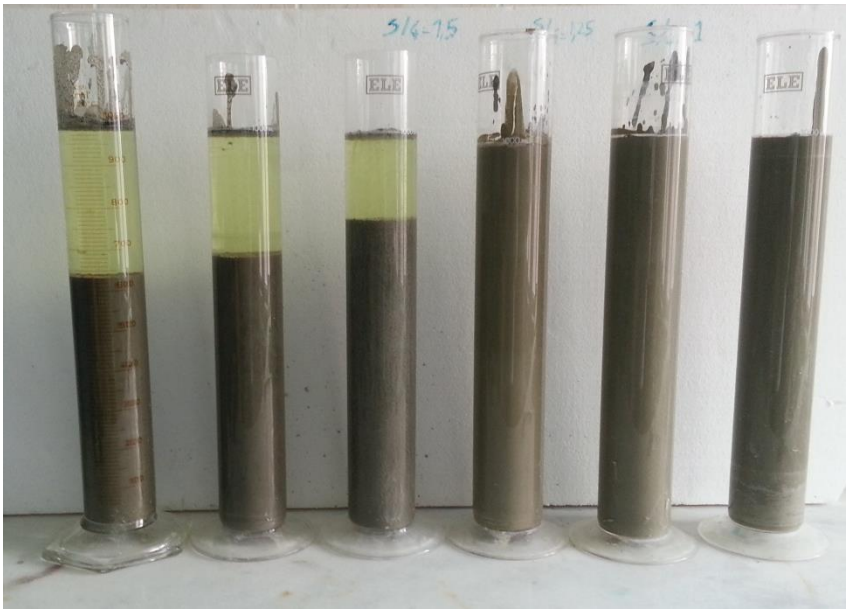
Su/Çimento	İlk Boy(cm)	Son Boy(cm)	S(%)
1	35,4	35,4	0
1,25	35,4	35,4	0
1,5	34,7	34,5	0,57
2	36	35,10	2,5
3	35,60	25,20	29,21
4	35,50	20,20	43,10
5	35,30	17	51,84



Şekil 3.26. Süspansiyon için çökelme deneyi



Şekil 3.27. Sedimantasyon yüzdeleri



Şekil 3.28. Normal çimento(ilk üç) ve ince taneli çimento(son üç) çökelme deneyleri karşılaştırması

3.5.3. Vicat deneyi (katılaşma süresi tayini)

Katılaşma süresi enjeksiyon malzemesinin akışkanlık özelliğini kaybetme süresidir. Katılaşma süresinin kontrolü uygun grouting yapılabilmesi için önemlidir. Değişik koşullarda hızlı yada geciken katılaşma süreleri arzulanabilir. Yeraltı sularının

akış halinde olduğu ortamlarda yapılan enjeksiyonlarda enjeksiyon materyalinin akış halindeki yeraltı suyu ile yıkanmasının önlenmesi için katılaşma süresinin oldukça kısa olması istenir. Yer altı suyunun akış halinde olmadığı ortamlarda kısa priz süresi yer altı suyu tarafından enjeksiyon materyalinin sulandırılma olasılığını azaltacaktır. Diğer taraftan priz süresi enjeksiyon materyalinin enjeksiyon yapılacak ortamdaki tüm boşluklara ulaşabilmesi ve kullanılan ekipman ve sistemin temizlenebilmesi için yeterli olmalıdır. Bu açıdan şartlara göre en uygun katılaşma süresi belirlenmelidir (Warner, 2004).

Katılaşma süresi iki aşamadan oluşur. 1. priz alma süresinde akışkanlık zamana bağlı olarak gittikçe azalır ve pompalanamayacak bir hal alır. İkinci aşamada sertleşme başlar ve mukavemet gittikçe artar (Mollamahmutoğlu, 1995).

Katılaşma süresini birçok faktör etkiler. Bunlar sıcaklık, karıştırma suyu miktarı ve nem-rutubettir. Sıcaklığın artması priz süresini artırırken su/çimento oranında su miktarını artması priz süresini azaltır. Ortamda rutubet bulunması prizi geciktirir ve priz süresini uzatır.

İlk priz süresi karışımın gideceği son noktaya ulaşması için yeterli olmalıdır. Başarılı bir enjeksiyon işlemi için katılaşma süresinin belirlenmesi şarttır. Katılaşma süresinin tespitinde Vicat deneyi uygulanabilmektedir (ASTM C 191). Şekil 3.29. da deneyde kullanılan Vicat aleti görülmektedir



Şekil 3.29. Vicat deney aletleri

Deneyde 300 gram ağırlığında 1 mm çapındaki bir iğne belirli zaman dilimlerinde Vicat kabında bulunan çimento süspansiyonu üzerine serbest olarak düşürülür (ASTM C 191). İlk 30 dakika boyunca düşüm yapılmaz, sonraki her 10 dk da bir iğne süspansiyon yüzeyine değecek şekilde ayarlanır ve düşüm yapılarak penetrasyon miktarı okunur. Plakanın üst yüzü ile iğnenin ucu arasındaki mesafenin 3-5 mm olduğu ana kadar geçen süre harcın priz başlangıcıdır. İğnenin ucunun en çok 1mm battığı ana kadar geçen süre harcın priz sonudur. Tam okumalar elde edilemediğinde, zaman aralıkları arasında enterpolasyon yapılarak priz süreleri tespit edilir.

Hazırlanan enjeksiyon karışımı 20 – 27,5 ºC arasında bir sıcaklığa sahip olmalıdır. İğne süspansiyon yüzeyine değecek şekilde ayarlanmalıdır. Moldun kenarlarından 10 mm lik bir bölgede ve daha önce penetrasyon yapılmış noktadan 5 mm lik yarıçap içindeki bölgede deney yapılmamalıdır. Deney sırasında içinde harç bulunan Vicat kalıbı sert kauçuktan imal edilmiş olmalıdır. Kalıp, (40 ± 0,2) mm derinliğinde kesik koni şeklinde olup, üst ve alt iç çapları sırasıyla, (70 ± 5) mm ve (80 ± 5) mm dir. Vicat kalıbı yeterince sağlam olmalıdır. Taban plakası kalıptan daha geniş, cam veya sert plâstik malzemeden ve en az 2,5 mm kalınlıkta olmalıdır(Şekil 3.29.). Süspansiyon kalıba doldurulmadan önce kalıpla taban plakası arasında sızıntı olmaması için kalıpla taban plakasının birleşim çizgisine dışardan su geçirmez silikonla yapıştırılmıştır. Ayrıca kalıp içi kolay temizlenmesi için yağlanmıştır. Deneye başlamadan önce Vicat aletinin kalibrasyonu yapılmıştır.

Jet Grout kolonların yapımında kullanılan S/Ç oranları 1.0, 1.25, 1.5 olan süspansiyon karışımları için Vicat deneyleri yapılmıştır(Şekil 3.30.-3.31).



Şekil 3.30. Vicat deneyi

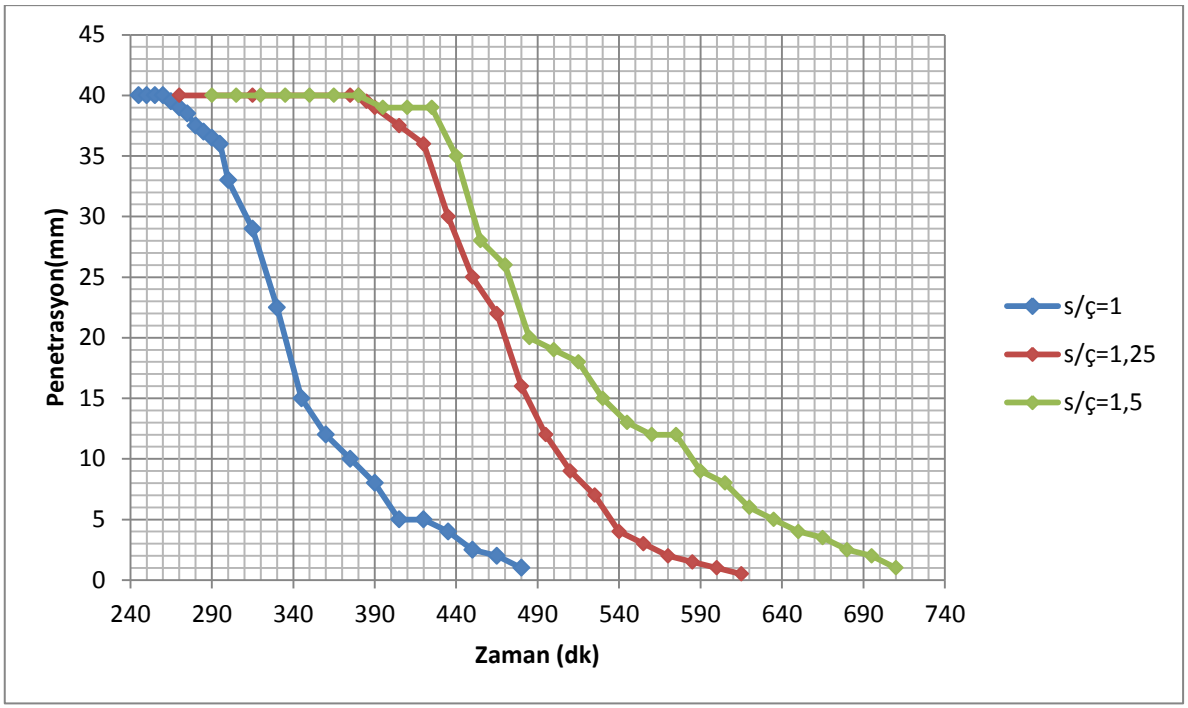


Şekil 3.31. Vicat deney sonrası numunenin son durumu

Deneylere ait priz başlangıç ve priz bitiş süreleri Çizelge 3.5. te verilmiştir. Deney sonuçlarına ait grafik Şekil 3.32. de verilmiştir. Deneyler yapılırken ASTM C 191 ve TS EN 480-2 de belirtilen hususlara dikkat edilmiştir.

Çizelge 3.5. Vicat deney sonuçları

S/Ç=1		S/Ç=1,25		S/Ç=1,5	
Toplam Zaman (dk)	Batma(mm)	Toplam Zaman (dk)	Batma(mm)	Toplam Zaman (dk)	Batma(mm)
245	40	270	40	290	40
250	40	315	40	305	40
255	40	375	40	320	40
260	40	380	40	335	40
265	39,5	385	39,5	350	40
270	39	390	39	365	40
275	38,5	405	37,5	380	40
280	37,5	420	36	395	39
285	37	435	30	410	39
290	36,5	450	25	425	39
295	36	465	22	440	35
300	33	480	16	455	28
315	29	495	12	470	26
330	22,5	510	9	485	20
345	15	525	7	500	19
360	12	540	4	515	18
375	10	555	3	530	15
390	8	570	2	545	13
405	5	585	1,5	560	12
420	5	600	1	575	12
435	4	615	0,5	590	9
450	2,5			605	8
465	2			620	6
480	1			635	5
				650	4
				665	3,5
				680	2,5
				695	2
				710	1



Şekil 3.32. Vicat deneyi sonucu penetrasyon-zaman ilişkisi

3.5.4. Marsh hunisi deneyi(viskozite)

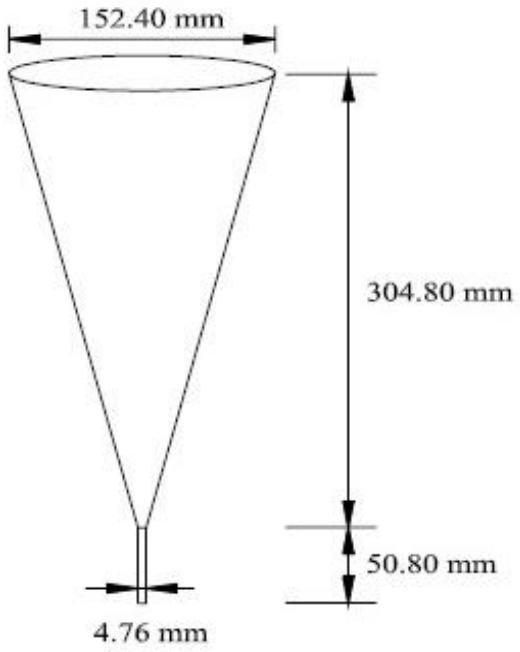
Viskozite bir sıvı tabakasının, bitişik sıvı tabakasına göre bağıl hareketinin ne oranda olduğunu temsil eder. Viskozite içsel moleküller arasındaki sürtünmeden dolayı akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Akma olayının başlaması için bu direncin aşılması gerekir(Warner,2004). Newton kanununa göre sıvının kayma direniminin (τ), hız eğimine (dv/dz) oranı olarak tanımlanır.(Hausmann,1990)

Başlangıç kayma gerilmesi süspansiyonun ulaşabileceği maksimum mesafeyi, viskozite ise akımın hızını ve enjeksiyon işleminin tamamlanabilmesi için gerekli süreyi belirler (Tekin, 2004). Süspansiyonlar genelde Newton akışkanı olarak davranmazlar. Bingham sıvısı olarak davranırlar. Bingham modelinin eğimi viskozite olarak tanımlanır. Newton sıvısının viskozite değeri kayma oranının değişmesine rağmen sabitken Bingham sıvısının viskozite değeri kayma oranı ve kayma gerilmesi değerine göre şekillenir. Sıcaklık, su/çimento oranı ve akışkanlaştırıcı gibi etkenler viskozite değerini etkiler. Sıcaklık ve su/çimento oranı arttıkça viskozite düşer. Ayrıca akışkanlaştırıcı olarak tabir edilen katkı maddeleri de viskozite değerini düşürür.(Warner,2004)

Enjeksiyon materyalinin akış özelliklerinin belirlenmesinde değişik özelliklere sahip huniler kullanılmaktadır(ASTM C939). Belirli miktardaki enjeksiyon

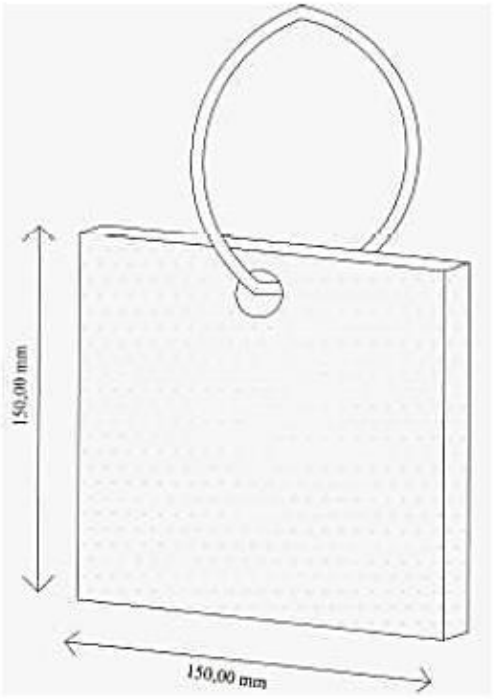
materyalinin huniden tamamen atılması için geçen süre enjeksiyonun akış süresidir. Genellikle akış süresinin belirlenmesinde iki tip huni kullanılmaktadır. Bunlardan biri akış hunisi diğeri Marsh hunisidir. Her iki huninin geometrik ölçüleri farklıdır. Akış hunisi Amerikada 1940 ların başında 'U.S Army Corps of Engineers' tarafından geliştirilmiş ASTM C 939 olarak adapte edilmiştir. Marsh hunisi akış özelliklerinin belirlenmesinde daha çok tercih edilen yöntemdir. Huni içine doldurulan 1000 ml' lik enjeksiyonun akması için geçen süre ölçülür. Lombardi, Marsh hunisini İzafi viskozite olarak isimlendirmiştir (Hausmann,1990).

Marsh hunisi iki kısımdan oluşur üst kısmı; üst çapı 152.4 mm yüksekliği 304.8 mm olan bir konidir. Alt kısım ise (akışın olduğu ağız) 4.76 mm çapında 50.8 mm yüksekliğinde silindirik bir orifistir (Şekil 3.33.). Uygulama kolaylığı açısından sahada enjeksiyon materyalinin akış özelliklerinin belirlenmesinde en çok tercih edilen metottur. Huni hacmi 1500 ml civarındadır. Ancak akış süresinin belirlenmesinde 1000 ml lik enjeksiyon materyalinin akması için geçen süre ölçülür. Bu süre su için 26 ± 0.5 saniye dir. Enjeksiyon materyalleri için 26 s ile 60 s arasında değişir. Akış süresi 75 s den uzun olan enjeksiyon materyalleri için Marsh hunisi metodunun kullanılması uygun değildir (Warner 2004).



Şekil 3.33. Marsh hunisi (Aytaç ve ark.)

Marsh hunisinden elde edilen akış süresi göreceli viskozite olarak adlandırılır. Gerçek viskozite değerine ulaşmak için Lombardinin önerdiği kohezyon ölçer plaka(Şekil 3.34.) ve grafik birlikte kullanılarak gerçek viskozite değeri belirlenebilmektedir. Lombardi bulduğu değeri enjeksiyon malzemesinin kohezyonu olarak tanımlamıştır. Aslında bu değer enjeksiyon için Bingham akma gerilmesidir ve enjeksiyonun nüfuz edebileceği mesafeyi önemli ölçüde etkilemektedir (Warner,2004).



Şekil 3.34. Kohezyon ölçer plaka

Bingham karışımları için, Lombardi (Lombardi,1985), huni akış zamanı ve basit kohezyon plaka ölçer önermiştir. Bu yönteme göre Marsh hunisi içerisine doldurulan 1000ml'lik karışımın akması için geçen zaman ölçülür. Pürüzlü yüzeye sahip ince çelik levha (15x15 cm), enjeksiyon malzemesine batırılır. Plaka çıkartılarak, levhaya yapışan süspansiyonun damlaması durana kadar beklenir ve başlangıç akma gerilmesi (kohezyon) τ_0 , levhaya yapışan enjeksiyon malzemesi ağırlığından (ΔW) belirlenir (denklem 3.8.).(Avcı, 2009)

$$\tau_0 = \Delta W/2A \qquad (3.8.)$$

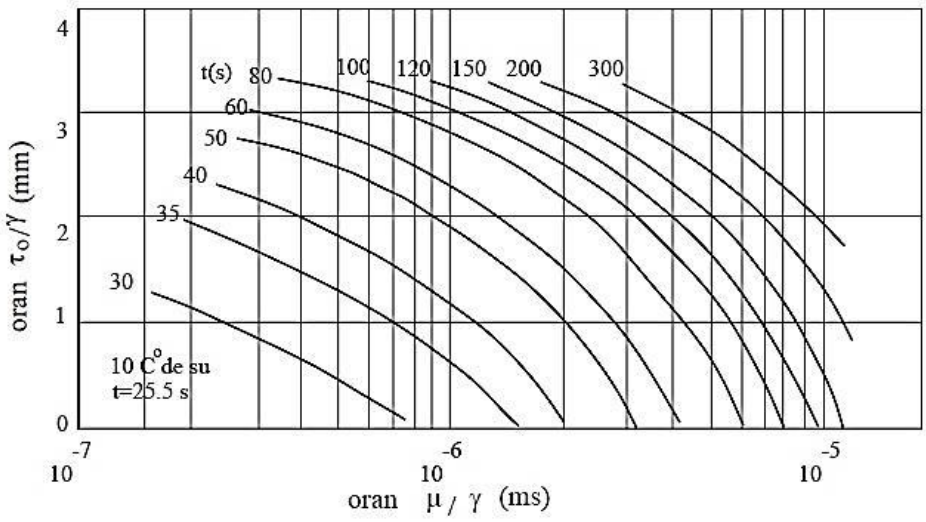
Burada;

τ_0 : başlangıç akma gerilmesi (kN/m^2)

A:15x15 cm boyutundaki çelik levhanın alanı (m^2),

ΔW:Levhaya yapışan enjeksiyon materyali ağırlığıdır (kN).

Akma gerilmesinin bulunmasından sonra Eşitlik3.8'de kullanılmak üzere enjeksiyon malzemesinin birim hacim ağırlığı hesaplanır (γ). Lombardi'nin önerdiği Şekil 3.35. yardımıyla, τ_0 /γ değerine karşılık μ/γ değeri bulunur(Lombardi 1985).Daha sonra kinematik viskozite(μ/γ) değeri ile birim hacim ağırlık (γ) çarpılarak dinamik viskoziteye (μ) geçilir.SI birim sistemine göre viskozitenin ölçü birimi g.$s^{-1}cm^{-1}$dir. Geleneksel olarak centipoise (cP) kullanılır (1 cP = 0,01 g.$s^{-1}cm^{-1}$).



Şekil 3.35. Lombardi tarafından önerilen abak, τ_0 /γ(akış zamanı)- μ/γ(kinematik,viskozite)

Deneyler sırasında, Marsh hunisi akış zamanlarının belirlenmesi amacıyla ASTM C939'dan faydalanılmıştır. Buna göre deney aşağıdaki adımları içerir (ASTM C939):

- Deney yapılacak ortamın sıcaklığı 23,0±2°C olmalıdır.
- Enjeksiyon materyali karıştırılır ve sıcaklığı ölçülerek 1000ml'lik ölçü silindirine aktarılır.
- Marsh hunisinin deliği kapatılarak, karışım ölçü silindirinden huniye aktarılır.
- Karışımın huniden akması için gereken zaman, kronometre ile belirlenir.

Deneyde Şekil 3.36. da gösterilen Marsh hunisi kullanılmıştır. Marsh hunisi deneyi yapılmadan önce Şekil 3.37. de görüldüğü gibi deney aletinini kalibrasyonu yapılmıştır. Şekil 3.38. de Marsh hunisi deneyinin yapılışı görülmektedir. Çizelge 3.6. ise Marsh hunisi ve plaka deney sonuçları görülmektedir.



Şekil 3.36. Marh hunisi deney seti



Şekil 3.37. Marh hunisi su ile kalibrasyon

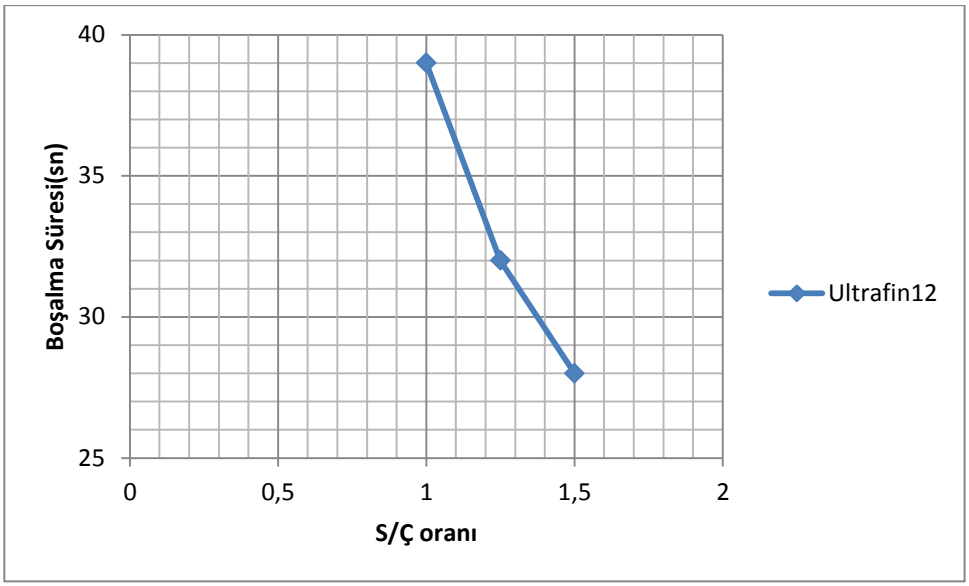


Şekil 3.38. Mars hunisi deneyi

Çizelge 3.6. Marsh hunisi ve plaka deney sonuçları

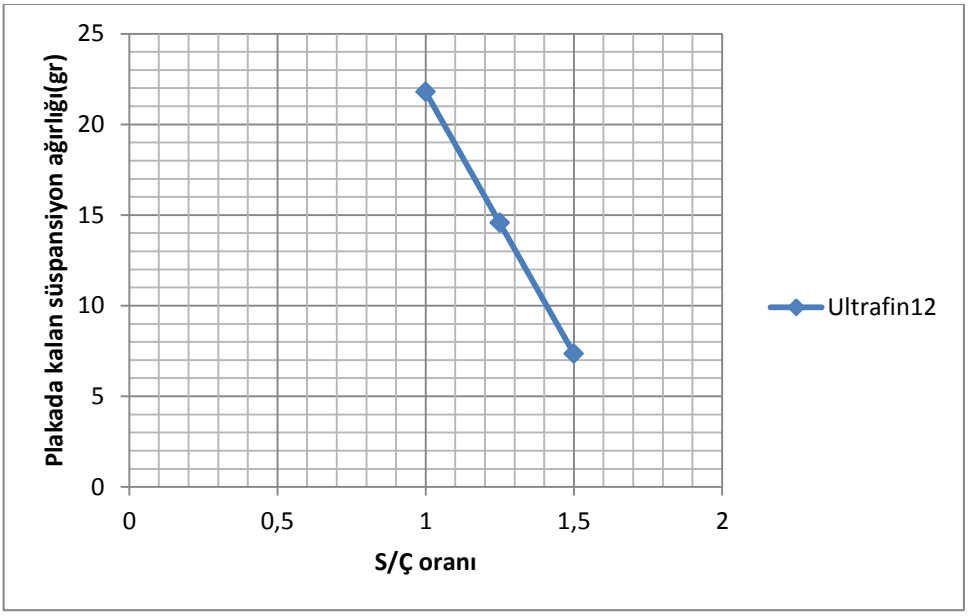
Marsh Hunisi Deneyi			Plaka Deneyi		
S/Ç Oranı	Süspansiyon Miktarı(ml)	Marsh Hunisi Boşalma Süresi(sn)	Plaka Ağırlığı(gr)	Plaka+Süspansiyon Ağırlığı(gr)	Plakada kalan Süspansiyon Ağırlığı(gr)
1	1000	39	130,86	152,64	21,78
1,25	1000	32	130,86	145,42	14,56
1,5	1000	28	130,86	138,21	7,35

S/Ç oranlarına göre süspansiyonun marsh hunisinden boşalmasına ait grafik Şekil 3.39. da verilmiştir. Şekil 3.40. da ise Plaka deneyi plakada kalan süspansiyon ağırlığının S/Ç oranı ile değişimi görülmektedir.



Şekil 3.39. Marsh hunisi deneyi boşalma süresi-S/Ç oranının değişimi

Birim hacim ağırlıklar belirlenirken hacmi bilinen (Standart hacimsel büzülme kabı) kabın içine süspansiyon düzgün bir şekilde yerleştirilir. Tıraşlama camı kullanılarak süspansiyonun birim hacim kabı dışında kalan kısmı temizlenir ve birim hacim kabı tartılır. Buradan kabın içindeki süspansiyonun ağırlığı bulunup ve hacme bölünerek karışımların birim hacim ağırlıkları hesaplanır(Avcı,2009). Çizelge 3.7. de hesaplanan birim hacim ağırlıklar ve Çizelge 3.8. de dinamik viskozite görülmektedir.



Şekil 3.40. Plaka deneyi plakada kalan süspansiyon ağırlığının S/Ç oranı ile değişimi

Çizelge 3.7. Süspansiyonlara aitbirim hacim ağırlıklar(Avcı,2009)

S/Ç oranı	Kabın Hacmi (a)(cm^3)	Kabın Ağırlığı (b)(gr)	Kap+Süspansiyon Ağırlığı(c)(gr)	Birim Hacim Ağırlık(γ) (c-b)/a gr/cm^3
1	92,57	68,53	210,31	1,532
1,25	92,57	68,53	203,73	1,46
1,5	92,57	68,53	197,16	1,39

Çizelge 3.8. Dinamik viskozite(μ) bulunması

S/Ç	Akış Zamanı(s)	ΔW (kN)	2A (m^2)	τ (kN/m^2)	γ (kN/m^3)	τ/γ (mm)	μ/γ (m.s)	μ (N.s/m^2)	μ (cP)
1	39	$21,78x10^{-5}$	0,045	$4,84x10^{-3}$	15,32	0,316	$1,80x10^{-6}$	0,027577	27,57
1,25	32	$14,56x10^{-5}$	0,045	$3,23x10^{-3}$	14,60	0,221	$8x10^{-7}$	0,01168	11,68
1,5	28	$7,35x10^{-5}$	0,045	$1,63x10^{-3}$	13,90	0,118	$5,50x10^{-7}$	0,00764	7,64

3.6. Jet Grout Kolonların Üretim Aşaması ve Deneylerin Yapılması

3.6.1. Deney programı

Deney çalışmalarında Araştırma Görevlisi İ. Hakkı Erkan' ın tez çalışmalarında kullanılmak üzere tasarlanmış laboratuvar tipi Jet grout sistemi kullanılmıştır. Bu sistem birebir arazide uygulanan Jet grout kolon sistemiyle benzer şekilde tasarlandığı için gerçek bir JG kolon sistemiyle aynı şekilde çalışmakta ve tüm işlevlerini yerine getirecek kapasitededir. Bu sistem ile laboratuvarda JG kolonların üretimi gerçekleştirilmiştir.

Literatür özetinden de anlaşılacağı üzere Jet grout kolon imalatını etkileyen parametrelerin en önemlilerinden grout basıncı (P), çekme hızı (V), dönme hızı (D) vesu/çimento oranı (S/Ç) göz önüne alınarak, ince taneli çimentonun JG kolonların performansı üzerindeki etkilerinin araştırılacağı şekilde bir deney programı hazırlanmıştır. Yapılan deney programı Çizelge3.9. da verilmiştir. Seçilen parametreler normal portland çimentosuyla yapılan deneylere kıyasla seçilmiştir. Erkan (2013) tarafından normal portland çimentosuyla yapılan deneylerde çekme hızının düşük (15 cm/dk) olduğu kolonların daha homojen bir çapa ve daha kompak bir yapıya sahip oldukları görülmüştür. Çekme hızının yüksek (45 cm/dk) olduğu kolonlarda kolon yapısında ve kolon çapında homojenlik sağlanamamış, spiral (yaprak) şeklinde kolonlar oluşmuştur Bu kolonlarda enjeksiyon malzemesinin zemin içerisinde homojen

dağılmadığı ve zemindeki yırtılma ve karıştırmanın da yeterli olmadığı görülmüştür. Çekme hızının (30 cm/dk) olduğu kolonlarda ise kısmi spirallenme görülmüştür. Çekme hızı 15cm/dak ve 30 cm/dak olan kolonlardan oldukça başarılı silindirik örnekler alınabilmiş, dağılma ve parçalanma çok az olmuştur. Çekme hızı 45 cm/dak olan kolonların spiral yapıda olması, homojen olmaması nedeniyle silindirik örnekler çok zor alınmış, bazı kolonlardan istenilen çap ve boyda karot örnekleri alınamamış, karot alma işlemi-esnasında dağılmalar ve parçalanmalar görülmüştür. Ayrıca Erkan (2013) yaptığı bu çalışma sonucu kolon çapı ve serbest basınç mukavemeti üzerinde en etkili parametrenin enjeksiyon basıncı olduğu, enjeksiyon basıncı arttıkça daha büyük çaplı kolonlar elde edilmesine rağmen serbest basınç mukavemetinde doğrusal olarak azalma görüldüğü tespit edilmiştir. Bu sebeple bu tez çalışması kapsamında enjeksiyon basıncı iki grup halinde 20 bar ve 40 bar olarak seçilmiş, 20 ve 40 bar olarak seçilen kolonlar arasında çap ve serbest basınç mukavemet değerleri arasında karşılaştırmalar yapılması hedeflenmiştir. Kolon çapında ikinci önemli parametrenin dönme hızı olduğu dönme hızı arttıkça daha küçük çaplı kolon oluştuğu ama aynı zamanda dönme hızının çok düşük seçilmesi durumunda spirallenmenin arttığı belirtilmiştir. Bu göz önüne alınarak çekme hızı bu tez çalışmasında optimum değer olan 10 devir/dakika olarak seçilmiştir. Sonuç itibariyle parametreler seçilirken büyük çapta, homojen kolonlar üretilmesi hedeflenirken serbest basınç mukavemeti açısından da karşılaştırılabilir sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir. Serbest basınç mukavemeti açısından değerlendirmeler yapılacağından dolayı çekme ve dönme hızları tüm deneyler için sabit seçilmiştir.

Çizelge 3.9. Deney programı

DENEY PROGRAMI				
	Basınç P(bar)	Su/Çimento Oranı S/Ç	Çekme Hızı V(cm/dak.)	Dönme Hızı D(devir/dak.)
1	20	1	30	10
2	20	1,25	30	10
3	20	1,5	30	10
4	40	1	30	10
5	40	1,25	30	10
6	40	1,5	30	10

3.6.2. Jet grout kolon deneyleri için zemin numunelerinin hazırlanması ve kalıplara yerleştirilmesi

Jet grout kolon yapımında zemin numunesi olarak kullanılacak olan deney kumu doğal kumdan % 4.5 su muhtevasında, rölatif sıkılığı Dr = % 35 olacak şekilde silindirik kalıplara 30 cm sabit yükseklikten elenerek yerleştirilmiştir. Farklı yükseklikten eleme işlemi ile yapılan denemeler sonucunda %4.5 su muhtevasındaki kumun yaklaşık 30cm yükseklikten elenmesi ile rölatif sıkılığın %35 olduğu belirlenmiştir. Su muhtevasının %4.5 olarak seçilmesinin üç önemli nedeni vardır;

- Birincisi; arazide kum içinde yapılan Jet grout uygulamalarında yer altı suyu bulunmasa dahi genellikle minimum %4-5 civarında doğal su muhtevası söz konusudur. Laboratuvarda yapılan çalışmalarda da arazide genellikle görülen minimum su muhtevası oranının sağlanması hedeflenmiştir.
- İkincisi; bir tank içerisine kuru kumu tanelerin çok gevşek sıkılıkta yerleştirmede zorluklar söz konusudur. %4-5 civarında su içeriği olması durumunda kapiler kuvvetler tanelerin birbirine yaklaşmasına engel olabilmekte ve enerji sönümleneceği için gevşek olarak yerleştirilebilmektedir.
- Üçüncüsü ise kum tanelerinin yüzeyinin ıslak olmaması durumunda Jet grout uygulamaları esnasında tane yüzeyinin ıslanması için fazladan enjeksiyon sıvısı gerekecektir. Bu durumu değerlendirmelerde dikkate almak ve değerlendirmek zorlaşacaktır.

Zemin numunelerinin kalıplara yerleştirilmesiyle Jet grout kolon oluşturulması için ilk adım tamamlanmıştır. Deney kumunun silindirik kalıplara yerleştirilmesi Şekil 3.41. da gösterilmiştir.



Şekil 3.41. Zemin numunelerinin kalıplara yerleştirilmesi

3.6.3. Jet grout kolonların imalatı

Jet grout kolonlar için 60cm çapında ve 110 cm yüksekliğinde bükme sacdan silindirik özel kalıplar imal ettirilmiştir. Kalıplar 75cmx75cm platin bir taban üzerinde iki yarım silindirin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Kalıbın bu şekilde üretilmesinde Jet grout kolonlar oluşturulduktan sonra oluşan kolonların kalıplardan kolay bir şekilde ve deforme edilmeden çıkarılması amaçlanmıştır. Ayrıca her bir kolon oluşturulduktan sonra insan gücüyle hareket ettirilemeyecek kadar ağırlıkta olduğu için platin taban altına 10cmx10cm kutu profil ayaklar eklenmiştir. Böylelikle transpalet yardımıyla kalıplar doluyken de kolaylıkla istenilen yere taşıma imkanı sunmuştur. Deneyde kullanılan kalıplardan bir örnek Şekil 3.42. de verilmiştir.



Şekil 3.42. Deney kalıbı

Jet grout kolonların gevşek kum içerisinde oluşturulmasına karar verilmiştir ve rölatif sıkılık Dr=%35 seçilmiştir. Zemin numunesi deney kumunun silindirik kalıplara yerleştirilmesiyle kalıplar Jet grout kolonların imalatına ve enjeksiyona hazır hale gelmiştir. Şekil 3.43. de enjeksiyona hazır hale gelmiş zemin numunesiyle dolu kalıplar gösterilmiştir.



Şekil 3.43. Zemin numunesiyle dolu kalıplar

Deney programına göre hazırlıkların tamamlanmasından sonra üretim aşamasına geçilmiştir. Her bir kolon için deney programında belirtilen karışım oranlarında her bir kolon için ayrı ayrı kaplarda enjeksiyon malzemesi hazırlanarak deney düzeneğindeki hazneye yine her bir kolon için her defasında ayrı ayrı yerleştirilmiştir. Hazneye her kolon için enjeksiyon malzemesi eklenmeden deney düzeneğindeki enjeksiyon haznesi enjeksiyon sistemi ve nozul her defasında temizlenmiştir. Deney düzeneği her bir kolon için deney programında belirtilen parametrelere(basınç, çekme ve dönme hızları) göre ayarlanarak enjeksiyon malzemesinin çökmesine izin verilmeden Jet grout kolonlar üretilmiştir. Şekil 3.44. de üretim aşamasındaki kolonlar görünmektedir.



Şekil 3.44. Üretim aşamasındaki kolonlar

Kolonların üretim aşamasında 3, 5 ve 6 numaralı kolonların üretiminde sistemde herhangi bir tıkanıklık meydana gelmemiştir. 4 numaralı kolonun üretimi esnasında nozul tıkandı ve deney durduruldu. Nozulun tıkandığı ana kadar oluşan kolon boyu yeterli görülerek bu kolon için üretime devam edilmedi. Nozul temizlendikten sonra 1 numaralı kolonun üretimine geçildi.

1 numaralı kolonun üretimi esnasında nozul tıkandı ve temizlendikten sonra deneye devam edildi. Fakat nozulun tekrar tıkanması üzerine kolon üretimi mevcut boyuyla bırakıldı.

2 numaralı kolonun üretim aşamasında da nozul tıkandı, nozul ve sistem temizlendikten sonra üretime devam edilerek, üretim tamamlandı.

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Jet grout kolonların üretimi tamamlandıktan sonra 28 gün beklenerek kolonların yeterli prizi sağlaması amaçlanmıştır. Bu süre zarfında kolonlara herhangi bir kür uygulanmamıştır. Böylece arazi şartlarında oluşturulan JG kolonlarla benzer durumun sağlanması amaçlanmıştır. Kalıplar 28 gün sonunda açılarak kolonlar kalıplardan çıkarılmıştır. Şekil 4.1. ve Şekil 4.2. de kolonların kalıplardan çıkarılışı ve çıkarıldıktan sonraki durumları gösterilmektedir.



5 numaralı kolon



3 numaralı kolon

Şekil 4.1. Kolonların kalıplardan çıkarılırken görüntüleri



6 numaralı kolon



2 numaralı kolon 4 numaralı kolon 1 numaralı kolon

Şekil 4.2. Kolonların kalıplardan çıkarılırken görüntüleri

Kalıpların açılmasından sonra her bir kolonun çap ve yüksekliğinin ölçülmesi, kolonlardan karot numunelerinin alınması, karot numuneler üzerinde serbest basınç mukavemeti deneylerinin yapılması ve Jet grout kolonların geometrilerinin değerlendirilmesi sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

4.1. Jet Grout Kolonların Boyutlarının Ölçülmesi

28 gün kalıplarda bekleyen Jet grout kolonlar, bekleme sonunda kalıplardan çıkarılarak çap ve boyları ölçülmüştür. 1,2,3 ve 4 numaralı kolonlara ait fotoğraflar

Şekil 4.3.te verilmiştir. Jet grout kolonlara ait çap ve boy değerleri ise Çizelge 4.1. de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kolonların çap ve yükseklikleri

Kolon No	Ortalama Çap(cm)	Yükseklik(cm)
1	34,5	37,5
2	33,5	55,6
3	36,7	77,1
4	40,8	39,4
5	44,3	64,3
6	45,6	76,4



1 nolu kolon 2 nolu kolon



3 nolu kolon 4 nolu kolon

Şekil 4.3. Üretimi yapılan kolonların görüntüleri

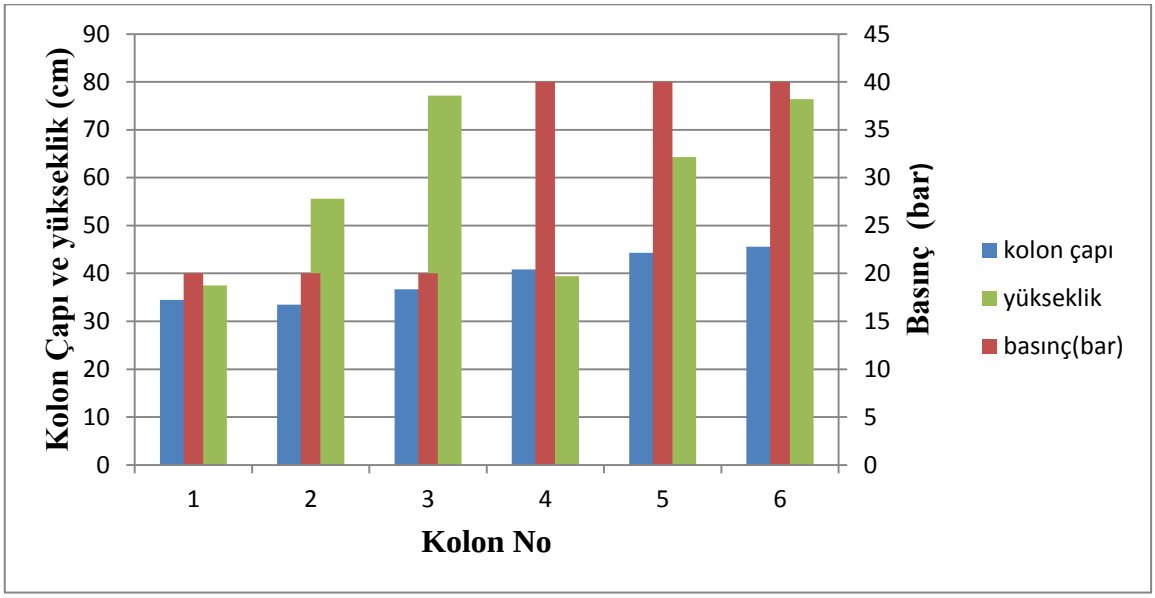
5 ve 6 numaralı kolonlara ait fotoğraflar ise Şekil 4.4. te verilmiştir.



5 nolu kolon 6 nolu kolon

Şekil 4.4. Üretimi yapılan kolonların görüntüleri

Şekil 4.5. te belirlenen parametrelere göre üretimi yapılan kolonların basınca göre kolon çapları ve kolon yüksekliklerine ait grafik verilmiştir.



Şekil 4.5. Kolon çaplarının basınçla değişimi

Kolon çapları incelendiğinde 20 bar basıncın kullanıldığı 1, 2 ve 3 nolu deneylerden elde edilen kolon çaplarının 40 bar basıncın kullanıldığı 4, 5 ve 6 nolu deneylerden elde edilen kolon çaplarından daha küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca 20 bar ve 40 bar basıncın kullanıldığı kolon grupları kendi içerisinde kolon çaplarının

su/çimento oranı arttıkça azaldığı görülmektedir. İnce taneli çimentonun normal çimentoya oranla daha fazla yüzey alanına sahip oluşu ve doğal olarak daha fazla su emmesiyle aynı su/çimento oranlarında normal çimentoya göre daha kıvamlı oluşu, Jet Grout sisteminin kıvamlı enjeksiyon malzemesini püskürtmede ve zemin numunesini yırtmada-karıştırmada zorlanması problemini doğurmuştur. Dolayısıyla kolon çaplarında bar basıncına ve su/çimento oranına göre bu değişim gözlenmiştir.

4.2. Jet Grout Kolonlardan Karot Numunelerinin Alınması ve Serbest Basınç Deneyine Tabi Tutulması

Jet grout kolonların boyut ölçümünden sonra karot alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.6. de karot alma işlemi ve Şekil 4.7.da prizma şeklinde numune alma işlemi gösterilmiştir. Her bir kolondan maksimum alınabildiği kadar karot örneği alınmaya çalışılmıştır. 3 ve 4 numaralı kolonlardan düzgün numuneler alınırken 1 numaralı kolondan kısmen düzgün numuneler alınabilmiştir. Basıncın 20 bar olduğu ve su/çimento oranının 1,25 olduğu 2 numaralı kolondan çok düzgün numune alınamamıştır. Basıncın 40 bar olduğu; su/çimento oranının 1,25 olduğu 5 numaralı kolon ile su/çimento oranının 1,5 olduğu 6 numaralı kolonlardan kolonların yapraklı ve spiralli yapıları, homojen olmamaları sebebiyle istenilen çap ve boylarda silindirik numuneler alınamamış, karot alma esnasında dağılmalar ve parçalanmalar görülmüştür. Düzgün silindirik numune alınamayan bu kolonlardan dikdörtgenler prizması ve küp şeklinde numuneler alınabilmiştir ve serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Düzgün silindirik numuneler yükseklik/çap oranı ikiye yakın şekilde gönyeli testereyle kestirilerek düzgün yüzeyleri elde edilerek serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Serbest basınç deneyleri Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında oluşturulan sistemde yapılmıştır.



Şekil 4.6. Jet Grout kolonlardan karot numune alımı



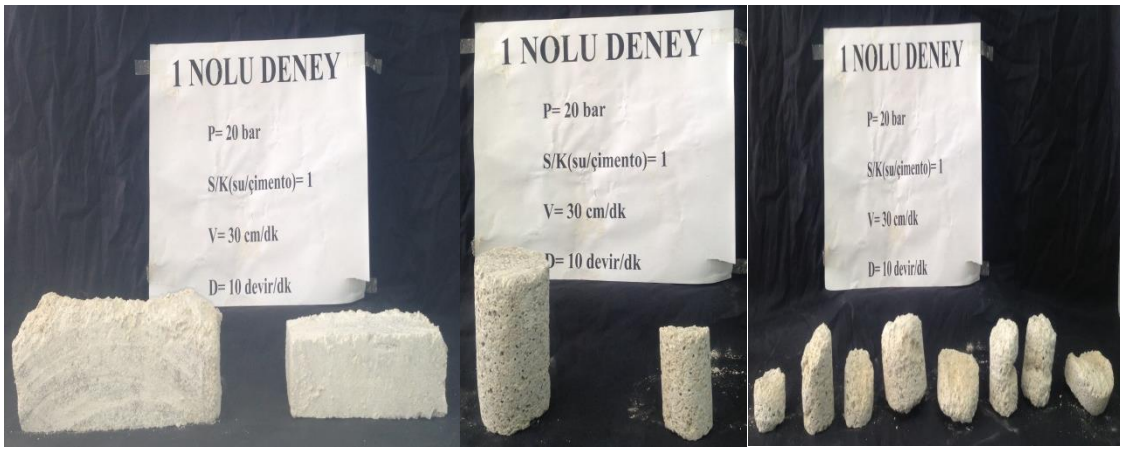
Şekil 4.7. Prizma şeklinde alınan numuneler

Deneyler sonucunda bulunan serbest basınç mukavemet değerleri Çizelge 4.2. de verilmiştir.

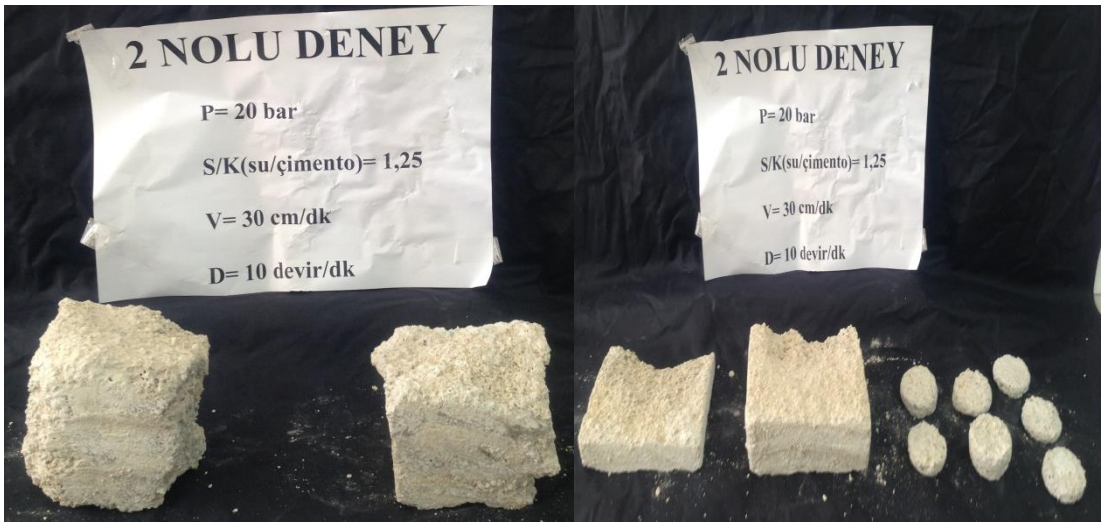
Çizelge4.2. Serbest basınç mukavemet sonuçları

		ÇAP(cm)	BOY(cm)	EN(cm)	YÜKSEKLİK(cm)	ALAN(cm2)	ORT ALAN(cm2)	ORT YÜKSEKLİK(cm)	KIRILMA YÜKÜ(kg)	DAYANIM (kgf/cm2)	DAYANIM(Mpa)
KOLON 1	numune 1	6	8,4			31,15			1027,21	32,98	3,30
	numune yatay		5,5	5,2	16,2	28,6	26,3	16,2	1425,14	54,19	5,42
			5	4,8	16,2	24					
	numune dik		9,5	1,3	5,8	12,35	47	6	3021,55	64,33	6,43
			20	4,1	6,2	81,59					
KOLON 2	numune yatay	üst	5,5	5,5	8	30,25	41,4	8	776,069	18,77	1,88
		alt	8,6	6,1	8	52,46					
	numune dik		8,3	4,8	6,5	39,84	38,2	6,45	1774,9	46,49	4,65
			8,3	4,4	6,4	36,52					
KOLON 3	numune 1	6	8,1			31,15			1102,15	35,38	3,54
	numune 2	6	8,7			31,15			1173,2	37,66	3,77
	numune 3	6	8,4			31,15			1044,14	33,52	3,35
	numune 4	6	8			31,15			814,169	26,14	2,61
	numune 5	6	8,8			31,15			667,261	21,42	2,14
	numune 6	6	10			31,15			847,463	27,21	2,72
	numune 7	6	10			31,15			1000,55	32,12	3,21
	numune 8	6	9,4			31,15			1259,01	40,42	4,04
KOLON 4	numune 1	6	11			28,26			1298,93	45,96	4,60
	numune 2	6	11			31,15			1960,6	62,94	6,29
	numune 3	6	8,2			31,15			2153,1	69,12	6,91
	numune 4	6	10			31,15			1575,64	50,58	5,06
	numune 5	6	8,5			31,15			1735,04	55,70	5,57
	numune 6	6	11			31,15			1901,8	61,05	6,11
	numune 7	6	9,8			31,15			2056,7	66,03	6,60
	numune 8	6	10			31,15			1841,15	59,11	5,91
	numune 9	6	7,5			31,15			1040,71	33,41	3,34
	numune 10	6	7,7			31,15			1090,48	35,01	3,50
KOLON 5	numune 1	9	5			67,89			2791,93	41,12	4,11
	numune dik		10	8	15,1	83,2	85,7	15,2	1565,18	18,25	1,83
			11	8,1	15,3	88,29					
	numune yatay		14	8	7,9	112	132	7,95	3401,18	25,84	2,58
			14	11	8	151,2					
KOLON 6	numune1(dik)		7,3	7,6	21,5	55,48	53,3	21,5	745,177	13,98	1,40
			7	7,3	21,5	51,1					

Şekil 4.8. de 1,2 ve 3 numaralı kolonlardan alınan düzgün karot numuneleri ile düzgün olmayan parçalanmış dağılmış numuneler görülmektedir.



1 nolu kolon düzgün numuneler parçalanmış numuneler



2 nolu kolon düzgün numuneler parçalanmış numuneler



3 nolu kolon düzgün numuneler

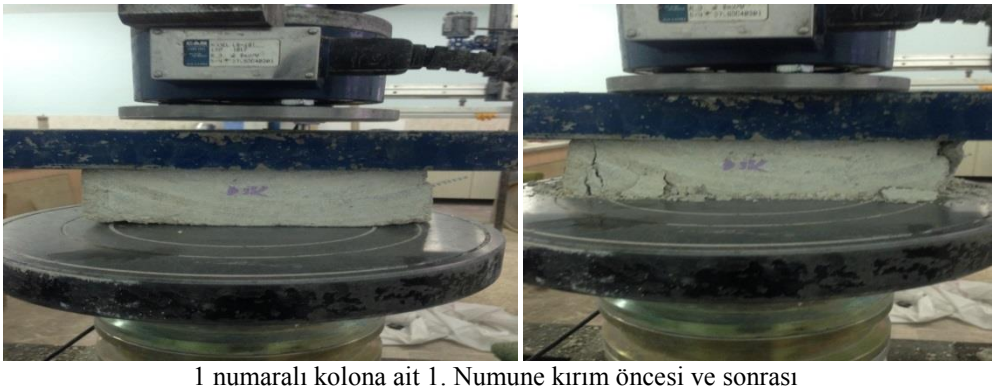
Şekil 4.8. 1,2,3 nolu kolonlardan alınan numuneleri

Şekil 4.9. da ise 4,5ve 6 numaralı kolonlardan alınan düzgün karot numuneleri ile düzgün olmayan parçalanmış dağılmış numuneler görülmektedir.



Şekil 4.9. 4,5,6 nolu kolonlardan alınan numuneleri

Numuneler Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında oluşturulan sistemde serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Buna ait resimler Şekil 4.10. ve Şekil 4.11. da verilmiştir.



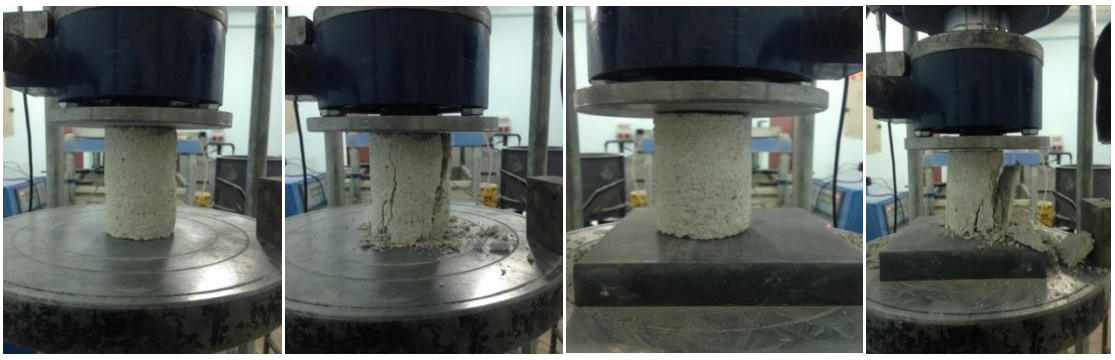
1 numaralı kolona ait 1. Numune kırım öncesi ve sonrası



1 numaralı kolona ait 2. Numune 1 numaralı kolona ait silindir Numune



2 numaralı kolona ait 1. Numune 2 numaralı kolona ait 2. Numune



3 numaralı kolona ait iki silindir Numune kırım öncesi ve sonrası

Şekil 4.10. 1,2,3 numaralı kolonlara ait numuneler



4 numaralı kolona ait iki silindir Numune kırım öncesi ve sonrası



5 numaralı kolona ait 1. Numune

5 numaralı kolona ait 2. Numune



6 numaralı kolona ait numune kırım öncesi ve sonrası

Şekil 4.11. 4,5,6 numaralı kolonlara ait numuneler

4.3. JG Kolonların Kesitler Üzerinden Oluşumunun İncelenmesi

Oluşturulan Jet grout kolonların içyapısının ne durumda olduğunu incelemek üzere enine doğrultuda kesilerek incelenmiştir. Ayrıca 5 ve 6 numaralı kolonlar enine doğrultuya ek olarak boyuna doğrultuda da kesilerek kolonların oluşumundaki yapraklanma(spirallenme) net bir şekilde gözlemlenmiştir. Şekil 4.12. de de görüldüğü gibi 1 nolu kolon merkezinde enjeksiyon almayan yani Jet grout uygulamasından etkilenmeyen bölge görülmektedir.



Şekil4.12. 1 nolu kolon kesiti

Bu nedenle karot numuneleri merkez dışından alınmaya çalışılmış, fakat kolon yapısındaki yapraklanmadan dolayı bu çok mümkün olmamıştır. Bunun yerine Şekil 4.8. de görülen prizmatik numuneler hazırlanmıştır.

2 nolu kolon kesiti Şekil 4.13. de gösterilmektedir. Resimden de anlaşılacağı üzere 2 nolu kolonda da 1 nolu kolona benzer bir durumla karşılaşılmıştır. Buradaki oluşum 1 numaralı kolona göre daha kötü olduğundan karot numunesi alınamamıştır. Prizmatik numune alınmaya çalışılmış ve nispeten serbest basınç deneyine tabi tutulacak iki numune alınabilmiştir.



Şekil 4.13. 2 nolu kolon kesiti

Şekil 4.14. de 3 nolu kolonun kesiti görülmektedir. 1 ve 2 nolu kolonlarda görülen sıkıntı 3 nolu kolonda görülmemiştir. Arazide görülen uygulamanın benzeri şeklinde bir durum 3 nolu kolonda oluşmuştur. Yani JG kolon gövdesi olarak tanımlanan merkez bölge iyi çimentolanmış bir bölge olarak oluşmuş, kolon merkezinden kolon dışına doğru çimento oranının azaldığı ve karışmanın merkezdeki kadar olmadığı az çimentolanmış bölge oluşmuştur.



Şekil 4.14. 3 nolu kolon kesiti

4 nolu kolonda 1 ve 2 nolu kolonlarda meydana gelen durum olmakla birlikte düşey kesitte spirallenme olmadığından dolayı karot numunleri alınabilmiştir. 4 nolu kolon kesiti Şekil 4.15. de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. 4 nolu kolon kesit görünüş

Şekil 4.16 te 5 numaralı kolona ait enine kesit görülmektedir. Enine kesitte herhangi bir sorun yok olduğu görünse de ilk karot alma denemelerinde karot örnekleri spiralli yapıdan dolayı parçalanıp bozuk para şeklinde dağılmıştır.



Şekil4.16. 5 nolu kolon enine kesit görünüşü

5 numaralı kolondan boyuna kesit alma işlemi gerçekleştirilmiştir(Şekil 4.17.). Şekil 4.18. de spiralli oluşum net bir şekilde görülmektedir. Karot örneği alma çalışmaları sırasında karot numunelerinin parçalanıp dağılmasının sebebi de bu spiralli yapıdan kaynaklanmaktadır. Bu sebeple 5 numaralı kolondan iki adet prizmatik numune örnekleri alınmıştır.



Şekil 4.17. 5 nolu kolon boyuna kesit alma işlemi



Şekil 4.18.5 nolu kolon boyuna kesit görünüşleri

Şekil 4.19. de 6 numaralı kolonun enine kesiti görülmektedir. Kesit görünüşten de anlaşılacağı üzere spirallenmenin bir üst tabakasında sorun yok gibi görünse de bir alt tabakasının jet enjeksiyonu almadığı görülmektedir. Şekil 4.20. da ise 6 numaralı kolonun boyuna kesitini göstermektedir. Bu kolonda da 5 numaralı kolonda olduğu gibi karot numunesi alırken aynı sıkıntı ile karşılaşılmıştır. Bu sebeple 6 numaralı kolondan tek bir prizma numune alınarak serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.19. 6 nolu kolon enine kesit görünüşü



Şekil 4.20. 6 nolu kolon boyna kesit görünüşü

Şekil 4.20. da da görüldüğü üzere kolon merkezinde çimentolaşmamış bölge ile tüm kesitte spiralli(yapraklanma) yapı görülmektedir.

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yüksek lisans tez çalışmasında ince taneli çimentonun Jet Grout kolonların performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Laboratuvarda JG kolon imalatı için seçilen parametreler aşağıda verilmiştir.

- Tij çekme hızı (V= 30cm/dak)
- Tij dönme hızı (D=10devir/dak)
- Enjeksiyon basıncı (E=20 ve 40 bar)
- Su/çimento oranı (S/Ç= 1.00, 1.25 ve 1.50)

Deney kumu olarak iyi derecelenmiş doğal kum (SW) seçilmiş olup tank içerisine rölatif sıkılığı %35 olacak şekilde sabit yükseklikten (yaklaşık 30cm) elenerek yerleştirilmiştir. Bu amaçla farklı yükseklikten yapılan eleme işlemleri sonucunda %4.5 su muhtevasındaki kumun yaklaşık 30cm yükseklikten elenmesi ile rölatif sıkılığın D_r=% 35 olduğu belirlenmiştir. Deneyler için gevşek kumun seçilmesinin başlıca sebepleri;

- Kohezyonsuz zeminler ile laboratuvarda model deneylerin yapılmasının ve değerlendirilmesinin daha kolay olabilmesi,
- Oturma, taşıma gücü yenilmesi, sıvılaşma vb. problemlerin gevşek kumlarda görülebilmesi,
- JG kolonların genellikle her tür kumlu zeminlerde başarılı bir şekilde uygulanabilmesi,
- Çimento ile kumun birleşmesi ile daha yüksek dayanımlı kompozit yapının oluşabilmesi,
- Enjeksiyon basıncı ile zeminin yırtılması ve grout ile birlikte karıştırılmasının daha kolay olması,

olarak sıralanabilir. Su muhtevasının % 4,5 olarak seçilmesinin başlıca sebepleri ise;

- Arazide kum içinde yapılan jet grout uygulamalarında, yer altı suyu bulunmasa dahi, genellikle % 4 civarında doğal su muhtevasının olması.
- Silindirik tank içerisine kuru kumu tanelerini çok gevşek sıkılıkta yerleştirmede zorluklarla karşılaşılmaktadır. Yerleştirilirken veya deneyler sırasında kumun

sıkılığı değişerek artabilmektedir. % 4-5 civarında su içeriği olması durumunda kapiler kuvvetler tanelerin birbirine yaklaşmasına engel olabilmekte ve enerji sönümleneceği için gevşek olarak yerleştirilebilmekte ve deneyler süresince bu sıkılık korunabilmektedir.

- Kum tanelerinin yüzeyinin ıslak olmaması durumunda jet grout uygulamaları esnasında tane yüzeyinin ıslanması için fazladan enjeksiyon sıvısı gerekecektir. Bu durumu değerlendirmelerde dikkate almak ve değerlendirmek zorlaşacaktır.

Laboratuvarda üretilen kolonların boyutları ölçülmüş, en kesit ve boy kesitler alınarak kolonların oluşum yapıları incelenmiş, kolonlardan karot numuneleri alınarak serbest basınç deneyine tabi tutulmuş ve serbest basınç mukavemetleri tespit edilmiştir. Deneysel çalışma sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Jet grout kolonların farklı zemin ortamlarında ve farklı şartlar altında tasarım ve uygulamaları için geliştirilmiş ve kabul görmüş herhangi bir standardizasyon yoktur. Bu amaçla farklı zemin koşulları ve imalat parametreleri için arazi ve laboratuvar deneylerinin yapılması, bu konudaki bilimsel araştırmaların sürdürülmesi gerekmektedir. Yeteri derecede bilimsel birikim ve deneyime ulaşıldıktan sonra jet grout kolonlarının tasarım kriterlerinin oluşacağı düşünülmektedir. Bu amaçla yapılmış olan yüksek lisans tez çalışmasının da literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- Arazi şartlarında jet grout kolonlar üzerinde yapılacak parametrik bilimsel araştırmalar; maliyet, zaman ve uygulanabilirlik açılarından çok kolay değildir. Bu çalışma ile özel olarak geliştirilmiş JG kolon cihazı ile laboratuvar ortamında ince taneli çimento kullanılarak JG kolonların üretilebileceği görülmüştür.
- Deney kapsamı, yer altı suyunun olmadığı, su muhtevasının % 4,5 civarında ve rölatif sıkılığın % 35 olduğu gevşek kum ortamları için geçerlidir. Yapılan deneyler ve seçilen parametreler ışığında 40 bar grout basıncı ile üretilen kolon çaplarının, 20 bar basınç ile oluşturulan kolon çaplarına göre % 20-32 oranında daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu durum enjeksiyon basıncı artışı ile kolon çapının da artacağı yönündeki genel sonucun ince taneli çimento kullanılması durumu içinde geçerli olduğunu göstermektedir.

- 1, 3 ve 4 numaralı kolonların 2, 5 ve 6 numaralı kolonlara oranlara daha homojen yapıda olduğu, 1, 2 ve 4 numaralı kolonların merkezlerinde enjeksiyon almamış bölgenin oluştuğu; 3, 5 ve 6 numaralı kolonlarda ise 1, 2 ve 4 numaralı kolonlara oranla kolon merkezlerinde daha az enjeksiyon almamış bölgeler oluştuğu kolonlardan alınan en ve boy kesitler incelenerek tespit edilmiştir. Düzgün numunelerin alınabildiği 1, 3 ve 4 numaralı kolonlardan 1 ve 4 numaralı kolonların serbest basınç mukavemetlerinin istenilen düzeyde olduğu görülmüştür. 3 numaralı kolondan alınan numune sonuçları bu iki kolona yakın olmakla birlikte biraz daha düşüktür.
- İnce taneli çimento çimentonun birim yüzey alanı normal portland çimentosuna göre oldukça büyüktür. Normal Portland çimentosu ile yapılan deneylerde Su/Çimento oranı 1.00, 1.25 ve 1.50 için sırasıyla % 20, % 30 ve % 37 gibi çökelme değerleri elde edilmiştir. Aynı oranlarda ince taneli çimento kullanılarak yapılan deneylerde çökelme değerleri 1.00 ve 1.25 için sıfır iken 1.50 için % 0.57 olarak ölçülmüştür. İnce taneli çimento kullanımı ile sedimantasyon önemli ölçüde düşmüştür. İnce taneli çimento kullanımında S/Ç oranının 2 ve 3 olması durumlarında çökelme yüzdesi % 2.5 ve 3 olarak belirlenmiştir. Bu durum S/Ç oranı 2-3 arasında seçilerek jet grout kolon imalatı yapılabileceğini bu durumda görülecek çökelmelerin normal çimentoya göre daha az olacağını göstermektedir.
- Aynı su/çimento oranlarında İnce taneli çimento ile hazırlanan karışımların viskozitesi, normal çimento kullanılarak hazırlanan karışımların viskozitesine göre daha yüksek olmuştur. Yüksek viskozite, özellikle s/ç oranının 1 ve 1.25 olduğu durumlarda deney düzeneğinde (tijde) ve nozulda tıkanmalar meydana getirmiştir.
- Normal çimento ile jet grout uygulamalarında kullanılan 1-1.5 arası su/çimento oranlarının, ince taneli çimento ile jet grout uygulamalarında yetersiz olduğu, kolon performansını olumsuz yönde etkilediği, daha yüksek oranların (% 2-3) kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür. İnce taneli çimentonun yurtdışından temin edilmesi ve bu sürecin uzun zaman alması nedenleriyle farklı su/çimento oranları için deneyler tekrarlanamamıştır.

- İnce taneli çimento kullanılarak oluşturulan kolonlardan alınan en kesit ve boy kesitlerde çap ve çimentolaşmanın genelde homojen olmadığı görülmüştür. Büyük oranda enjeksiyon kıvamının yüksekliğinden kaynaklandığı düşünülen bu durum sonucunda grout malzemesi zemin içerisine homojen bir şekilde dağılarak zeminle

karıştırılamamıştır. Bunun sonucunda zemindeki çimentolaşmış bölgeler spiral şekilli olmuştur.

- Genel olarak arazide kumlu zeminlerde ince taneli çimento ile yapılacak uygulamalarda s/ç oranının 2-3 arasında seçilmesinin uygun olacağı söylenebilir.

- Jet grout kolonların farklı bölgelerinden ve farklı doğrultularda alınan örneklerin serbest basınç mukavemetleri arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Genel olarak çimento alımının fazla olduğu merkezden 5-6cm uzaklıktaki bölgelerde basınç mukavemetleri daha yüksek ölçülmüştür.

5.2. Öneriler

Tasarlanan parametrelere göre yapılan kolonlardan serbest basınç mukavemeti açısından beklenilen sonuçlar elde edilemese de farklı parametre değerleri seçilip deneyler tekrarlanarak, ince taneli çimento ve normal çimento uygulamaları bu çalışmadaki verilerle birlikte karşılaştırılabilir. Özellikle ince taneli çimentonun daha fazla yüzey alanına sahip olmasıyla daha fazla su tutma kapasitesine sahip olduğu, çökelme oranının düşük, viskozitesinin yüksek olduğu görüldüğünden, su/çimento oranı daha yüksek (2, 2.5 ve 3) seçilip buna uygun grout basıncı, çekme ve dönme hızları seçilerek oluşturulacak kolonların performansının normal çimentoya oranla daha verimli olacağı öngörülmektedir.

Özellikle arazide ince taneli çimento ile yapılacak jet grout uygulamalarında s/ç oranı 1.0, ve 1.25 oranlarının kullanılmasının sistemde tıkanıklıklar meydana getireceği ve kolon bütünlüğü, çapı ve mukavemetini olumsuz yönde etkileyeceği görülmüş olup arazi uygulamalarında s/ç oranının 1.5 ve üzeri seçilmesi önerilmektedir.

Farklı malzemeler ile zemin koşulları ve imalat parametreleri seçilerek laboratuvar ve arazide yapılacak benzer çalışmaların artması, bilimsel sonuçların ortaya çıkması, JG kolonların imalatındaki belirsizliklerin ortadan kalkmasına, tasarım ve imalat kriterlerinin oluşmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Akbulut, S., Sağlamer, A., 2002(a), Estimating the groutability of gronular soils; A new Approach, *Tunneling and Underground Space Technology*, 17(4), 371-380.

Aïtcin, P.-C., Jolicoeur, C., MacGregor, G. J., 1994, *Superplasticizers: How They Work and Why They Occasionally Don't*, Concrete International, May, 45-52.

ASTM C940, Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory, ASTM, Pennsylvania, 1-3, 2003.

ASTM C191, Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, ASTM, Pennsylvania, 179-184, 2003.

ASTM C939, Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method), ASTM, Pennsylvania, 1-3, 2003.

Avcı, E., 2009, Farklı rölatif sıkılık ve tane dağılımına sahip zeminlerde ultrafin 12 enjeksiyonu permeasyon yetisi, Yüksek Lisans Tezi, Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 17-22.

Ayoubian A. and Nasri V., 2004, Design of jet grout for base stabılıty and groundwater control, *Geotechnical Engineering for Transportation Projects Geo-Trans 2004*, Los Angeles-California, 10.

Aytaç, A.H., Aydın, S., Ramyar, K., Naftalin Sülfonat Esaslı Süperakışkanlaştırıcıların Çimento Hamurunun Başlangıç Akışkanlığı Üzerine Etkisi, İzmir, 3-6.

Berk B., Pekarun O., Çınar A. and Doğanışık K., 2008, Geosentetik donatılı istinat duvarlarının jetgrouting ve fore kazık sistemleriyle beraber uygulanması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi Ekim-2008*, Selçuk Üniversitesi-Konya, 1-10.

Bustamante M. and Gouvenot D., 2002, Dimensionnement des colonnes de jet grouting comme element porteur et d'ancrage, *XV Conference Intern*,İstanbul, 4.

Burke, G.K. and Koelüng, U.A., 1995, Special application for jet grouting: underpinning, excavation support and groundwater control,Proceedings of Canadian Geotechnical Conference, Vancouver, B.C., 90-97.

Coulter S. and Martin C.D., 2006, Effect of jet-grouting on surface settlements above the Aeschertunnel, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Switzerland, 542-553.

Çimen, Ö., Bakım, M.A., Durgunoğlu, H.T., 2008, Jet grout zemin iyileştirilmesinin kullanıldığı bir vaka analizi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi*, Selçuk Üniversitesi-Konya, Cilt 2 679-688.

Durgunoğlu, H.T., Kulaç, H.F., Oruç, K., Eker, F.Ş., 1998, A case history of jet grout column application in Turkey, *Zetaş Earth Teachnology Corporation,* 1-8.

Durgunoglu, H. T., Kulaç, H. F., Oruç, K.,Yildiz, R., Altugu, T.,Emrem, C., 2002, Sıvılaşmaya karşı jetgrout yöntemi ile zemin ıslahına ait bir vaka analizi, *Zemin Mekanigi ve Temel Mühendisligi Dokuzuncu Ulusal Kongresi,* Anadolu Üniversitesi-Eskişehir, 1-26.

Erkan, İ.H., 2013, Jet Grout Kolonların Performansını Etkileyen Faktörlerin Deneysel Olarak Araştırılması, Doktora Tezi,*Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 66-85.

Gouvenot, D., 1987, Injection des sols et legislation relative aux nappes phreatiques, Proc., Comptes-Rendus des Journees d'Etudes Internationales de I'AFTES, *Bordeaux*, France, 455-459.

Hanke, R. and Blanding, M., 2008, *Tunnel Business,* 36-39.

Henn, R., 1996, Practicak guide to grouting of underground structures, Thomas Telford, London, 15-24, 121-128.(İngilizce)

Hsi, J.P. and Yu, J.B.Y., 2005,Jet grout application for excavation in soft marine clay, *Proceedıngs Of The Internatıonal Conference On Soıl Mechanıcs And Geotechnıcal Engıneerıng,* Netherland, 1485-1488.

Jefferis S.A., 2003, Long term performance of grouts and the effects of grout by-products, *Proc. 3rd Int. Conf. Grouting & ground Treatments*, New Orleans, ASCE Geotechnical Special Publication No. 120.

Maertens, J., Theys, F., and Maekelberg, W., 2003, A full-scale test on large diameter bored piles for the construction of the HST-tunnel in Antwerp (Belgium),*Deep Foundations on Bored and Auger Piles, Van Impe (ed). Proc. 4th Intern,* Rotterdam.

Martin, J.R., Olgun, C.G., Mitchell, J.K. and Durgunoglu, H.T., 2004, High modulus columns for liquefaction mitigatio, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 130(6), 561-571.

Modoni, G., Croce, P. and Mongiovi, L., 2006, Theoretical modelling of jet grouting, Geotechnique 56(5), 335-347.

Nikbakhtan, B. and Osanloo, M., 2009, Effect of grout pressure and grout flow on soil physical and mechanical properties in jet grouting operations, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,* 46(3), 498-505.

Martin J.R., Olgun C.G., Sezen A., Kayali S. and Yildirim H., 2008, Dynamic Behavior of Fine Grained Soils– 1999 Kocaeli Earthquake Case History, *14th World Conference on Earthquake Eng.*, Beijing, China.

Mollamahmutoğlu, M., 2003, Treatment of medium to coarse-grained sands by fine-grained Portland cement (FGPC) as an alternative grouting material to silicate-ester grouts, *Cement Concrete Agg*, 25:1235-1242.(İngilizce)

Olgun C.G., Martin J.R., 2008, "Effectiveness of Jet-Grout Columns for Mitigation of Liquefaction during Earthquakes", *Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation,* Pages 768-773.

Özarslan, M., 2012, Katkılı ince taneli çimento şerbetinin ve enjekte edildiği ince ve orta taneli kumların bazı mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 14-17.

Ramyar, K.,Aytaç, A.H., Aydın, S., 2008,Portland çimentosu kompozisyonununnaftalin sülfonat esaslısüperakışkanlaştırıcı katkıperformansına etkisi, Tübitak, MAG-HD-12 (105M083), İzmir, 11-12.

Rawlings, C.G., Hellawell, E., Kilkeny, E., 2000, Grouting for Ground Engineering, *Ciria*, London, 15-74.(İngilizce)

Sağlamer A., Düzceer R., Gökalp A. and Yılmaz E.,2001, Recent applications of jet grouting for soil ımprovement in turkey, *XV International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ISSMGE,* Istanbul-Turkey, 1839-1842.

Tekin, E., 2011, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26 (4), 777-785.

Tsuboi, H., Matsui, T., Fukada, H., Otsuka, M., Nitao, H., Isoya, S., Higashi, S. and Kusakabe, F., 2007, Quality characteristics of ımproved soil columns by new type jet grout mixing method, The Seven*teenth International Offshore and Polar Engineering Conference,* Lisbon-Portugal.

TS EN 12716, 2002. "Özel Jeoteknik Uygulamalar - Jet Enjeksiyon"

TS EN 196-3, 2002, ''Çimento Deney Metodları-Bölüm:3 Priz Süresi ve Genleşme Tayini''

TS EN 480-2, 2008, '' Kimyasal katkılar-Beton, harç ve şerbet için-Deney metotları-Bölüm 2: Priz süresi tayini''

Yıldız, B., 2007, Rheobuıld 2000 pf katkılı rheocem 900 ince taneli çimentonun değişik gradasyonlu kum numunelere penetrasyon yetisi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 18-31.

Warner, J., Practical Handbook of Grouting Soil Rock and Structures, John Wiley&Sons., New Jerey, 1-178, 207-295.(İngilizce)

Wong, K.S., Li,J.C., Goh, A.T.C., Poh, K.B., Oishi, E., 1999, Effect of Jet Grouting on Performance of Deep Excavation in Soft Clay,*Proceedings of the 5th International Symposiom on Field Measurements in GeomechanicsFMGM99*, Singapure, 279-284.

Soletanche Bachy, http://www.soletanche-bachy.com, Fransa.

Zeminist, http://www.zeminist.com/, Türkiye.

Zakladani, http://www.zakladani.cz/en/jet-grouting, Çek Cumhuriyeti.

Emabrt, http://www.emabrt.hu/tev_jet_a.html, Macaristan.

Zeminaraştırma, http://www.zeminarastirma.com/jet_grouting.html, Türkiye.

Haywardbaker, http://www.haywardbaker.com/, USA.

Geosistema, http://www.geosistema.it/it/?id=170&cateid=15, İtalya.

Franki geotechnics, http://www.franki-geotechnics.be, Belçika.

Nicholson Construction, http://www.nicholsonconstruction.com/earthRetention/jetGrouting.aspx, Usa.

Zemin araştırma merkezi, Ltd. Şti, http://www.zeminarastirma.com/jet_grouting.html, Türkiye.

Zeminist, http://www.zeminist.com/, Türkiye.

Zemintaş, http://www.zemintas.com.tr/, Türkiye.

Geo-solutions, http://www.geo-solutions.com/what-we-do/technologies/grouting/jet-grouting, Usa.

Collidrill, http://www.collidrill.it/catalogo_EN/scheda_a5.php, İtalya.

Geosistema, http://www.geosistema.it/it/?id=170&cateid=15, İtalya.

Geodata, http://www.geodata.com.tr/uygulama.html, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Bekir FİDAN
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Konya-1986
Telefon	**:**	(0535) 488 12 63
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	bekirfidann@gmail.com,bekir.fidan@afad.gov.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Meram Muhittin Güzelkılınç Lisesi(YDA),Konya**	**2004**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi Müh. Fak. İnş. Müh. Böl.**	**2009**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Ens.**	**2014**
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2011	**Tekbaş İnşaat A.Ş.**	**İnşaat Mühendisi**
2011	**Karaman Çevre ve Şehircilik İl Md.**	**İnşaat Mühendisi**
2011-….	**Konya İl Afet ve Acil Durum Md.**	**İnşaat Mühendisi**

UZMANLIK ALANI

Geoteknik, Afet Önleme Projeleri,

YABANCI DİLLER

İngilizce-iyi derecede(TOEFL IBT-79,IELTS-6)

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

1. M. Numan KAYA, M. Emin TOLU, Faruk KÖSE, **Bekir FİDAN**, Eyüp KAMACI ‘’ Cost Comparison of Construction of Different Wind Turbine Tower Types in Turkey ‘’ 8TH INTERNATIONAL GREEN ENERGY CONFERENCE, 2013,Kyiv.