

## UÇUCU KÜL VE MİKRO DANELİ ÇİMENTO KARIŞIMLARININ JET GROUT KOLONLARININ DAYANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Hurşit BATTAL<sup>1</sup>, Atila DEMİRÖZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat  
Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye  
hrstbattal@gmail.com, ademiroz@ktun.edu.tr

### Özet

Jet grout (JG) yöntemi geoteknik mühendisliğinde son yıllarda oldukça yaygın kullanılan bir zemin iyileştirme tekniğidir. Jet grout yöntemi kullanılarak diğer iyileştirme tekniklerinde olduğu gibi mevcut zeminin dayanım, geçirimsizlik ve oturma gibi özellikleri iyileştirilmektedir. Yöntem genel anlamda bir delgi makinesine bağlı tijlerin iyileştirme yapılacak derinliğe indirilmesi, tijin ucundan yüksek basınçlı çimento groutu gönderilmesi ve belirli bir hızda tijin döndürülerek geri çekilmesi esasına dayanmaktadır. Çalışmada normal Portland çimentosu (NPÇ), mikro daneli çimento ve çimento ağırlığının %15'i oranında F tipi uçucu kül (F-UK) olup, bunların karışımlarından 4 farklı enjeksiyon harcı oluşturulmuştur. Normal Portland çimentosu kullanılarak su/çimento oranları 0.8, 1.0, 1.2 ve 1.4 olan enjeksiyon harçlarıyla jet grout kolonları oluşturulmuştur. Mikro daneli çimentolu enjeksiyon harçlarıyla su/çimento oranları 0.8, 1.0, 1.4, 1.8, 2.4 ve 3.0 olan jet grout kolonları oluşturulmuştur. Oluşturulan kolonlarda alınan karot numuneleri üzerinde serbest basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Oluşturulan 4 farklı grup jet grout kolonları içerisinde su/çimento oranı 0.8 olan kolonlarda en yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Düşük su/çimento oranlı karışımlarda uçucu külün olumlu etkisi yeterli görülmemişken, su miktarının arttığı yüksek su/çimentolu oranlı karışımlarda uçucu külün etkisinin daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikro Daneli Çimento, Normal Portland Çimentosu, Uçucu Kül, Su/Çimento, Dayanım.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FLY ASH AND MICRO FINE CEMENT MIXTURES ON THE STRENGTH OF JET GROUT COLUMNS

### Abstract

Jet grout (JG) method is a widely used ground improvement technique in geotechnical engineering in recent years. As with other improvement techniques using the jet grout method, the properties such as strength, permeability and settlement of the existing soil are improved. In general terms, the method is based on the principle of lowering the rods connected to a drilling machine to the depth to be treated, sending the high pressure cement grout from the end of the rod and pulling the rod back at a certain speed. In the study used materials were; normal Portland cement (NPC), micro fine cement and 15% of cement weight F-type fly ash (F-FA), and four different injection grouts were formed from the mixtures of these materials. Jet grout columns were formed by injection grouts with water / cement ratios of 0.8, 1.0, 1.2 and 1.4 using normal Portland cement. Jet grout columns with water / cement ratios of 0.8, 1.0, 1.4, 1.8, 2.4 and 3.0 were formed with micro fine cement injection grouts. Unconfined compression strength tests were performed on the core samples taken from the columns. The highest strength was obtained in the columns with 0.8% water / cement ratio in 4 different group jet grout columns. While the positive effect of the fly ash at low water / cement ratio was not found to be sufficient, it was observed that the effect of the fly ash was more prominent in the mixtures which have high water / cement ratio where the amount of water increased.

**Keywords:** Micro Fine Cement, Normal Portland Cement, Fly Ash, Water/Cement, Strength

### 1. Giriş

Yeni bir yapının inşası veya mevcut bir yapının güçlendirilmesinde problemlerli bir zeminle karşı karşıya kalındığında, öncelikle yapının altında yer alan temel zemininin güçlendirilmesi ve ıslahı gerekir. Proje öncesi yapılan zemin etütleri, yapının kendine ait ve diğer ekstra yüklerin taşınmasını mümkün kılmıyorsa, yapının taşınması ya derin temellerle ya da fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş bir zeminle, bazı durumlarda ise her ikisi ile birlikte karşılanabilmektedir.

Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi için, teknoloji ilerledikçe yeni yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan biri olan jet grout yöntemi, popüler bir yöntemdir. Bu yöntem, diğer zemin iyileştirme yöntemlerine kıyasla daha ekonomik olması ve inşaat süresinin daha kısa olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Bu yöntemde amaç, zeminin mekanik mukavemet değerlerini arttırmaktır. Zeminin taşıma kapasitesi ve elastisite modülü artar, geçirgenliği azalır. Jet grout yöntemi ile kil veya kum-çakıl gibi değişik karakter ve farklı türdeki zeminlerin ıslahı mümkün olmaktadır. Zemin içine katılarak karıştırılan malzemeler (çimento, kireç vb.) ile zemin arasındaki bağlayıcı reaksiyonlar sonucunda rijit kolonların oluşmasına imkân veren bu yöntem, toplam ve farklı oturumların kontrol edilmesinde, proje ihtiyaçları doğrultusunda zemin taşıma gücünün veya sıvılaşma direncinin artırılmasında, sıvılaşma sonrası oluşacak dinamik oturumların sınırlandırılmasında, şev ve dolguların stabilitesinde oldukça etkilidir.

Araştırmacılar tarafından değişik boyutta olan kum ve ince dane yüzdesi (İDY) 10, 15, 20, 25 ve 30 olan numunelere, su/ çimento (s/ç) oranları 0.8, 1.0 ve 1.2 olan süspansiyonların enjeksiyon deneylerini araştırılmıştır [1]. Gökdemir ve Yıldız [2] laboratuvar koşullarında düşük poroziteli zemin numunelerine çimento enjeksiyonu uygulayabilmek için çimento enjeksiyon model deney düzeneği kurmuşlardır. Deney düzeneği sayesinde MC 525 tipi çimentoya farklı süper akış akanlaştırıcı katkı maddeleri kullanarak düşük poroziteli zemin numunelerine enjeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir [2]. Düşük poroziteli zeminlerde ince daneli (Microcem 900 H) çimento enjeksiyon uygulanması hakkında yapmışlardır. Laboratuvar ortamında enjeksiyon düzeneği kurduktan sonra enjeksiyon basınç değerleri olarak 2 atm ve 6 atm seçmişlerdir. Enjeksiyon yapılacak zemin olarak 20/80, 30/70, 40/60 kum/çakıl oranına sahip üç tip zemin seçmişlerdir deneylerde bu zemin numunelerinin rölatif sıklıklarını iki farklı sıklıkta ( $D_r = 0,35$  ve  $D_r = 0,70$ ) seçmişlerdir. Çimento olarak ince daneli MICROCEM 900H kullanmışlardır. Çimentonun içerisine çimento ağırlığının %2 ve % 5 oranında Rheobuild 1000 markalı süper akışkanlaştırıcı kimyasal, %3 oranında  $Na_2SiO_4$  ve % 5 oranında bentonit olmak üzere 4 farklı enjeksiyon karışım (%5 oranında SAK,%2 SAK, %3  $Na_2SiO_4$  ve %2 SAK + % 5 bentonit + %3  $Na_2SiO_4$ ) hazırlayarak deneyleri yapmışlardır [3]. Portland çimentosu içerisine mineral katkı malzemelerin ikili, üçlü ve dörtlü kombinasyonlarını içeren harç numunelerinin bazı özelliklerinin incelenmesinde

uçucu kül, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufu mineral katkı malzemesi kullanmıştır. Uçucu kül karışımının çimento kütlece %15 olduğunda 28 günlük dayanımı normal portland çimentosu dayanımına yaklaşık olarak eşit olduğunu ve 365 gün kür şartını sağlayıp kırdığında en yüksek dayanım elde ettiğini belirtmiştir [4]. Zemin numunesi olarak ele alınan kaolen kiline uçucu kül, polisaj ve kireç belirli oranlarda katılarak homojen karışimli numuneler oluşturulmuşlar. Hazırlanan yapay numunelere kireç ve uçucu kül miktarı %15 oranında sabit tutularak, %10, %15, ve %20 oranlarında polisaj malzemesi ilave edilerek deneyleri yapmıştır [5]. Süper jet kolonlarından aldıkları karot numuneleri üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapmışlardır. Karot numunelerinin 3, 7, 14 ve 28'nci günlük tek eksenli basınç dayanımlarının belirlemişlerdir. Sonuç olarak super jet kolonunun zaman içerisinde dayanımını aldığı ve 28 günde gerçek dayanımına ulaşıldığı belirtmişlerdir [6].

Bu çalışmada, jet grout yöntemi ile elde edilen kolonların serbest basınç dayanımlarının, bazı jet grout imalat parametreleri ve çimento ile katkı maddelerinin parametreleri ile olan ilişkisi incelenmiştir.

## **2. Materyal ve Metot**

### *2.1. Kullanılan Malzemeler*

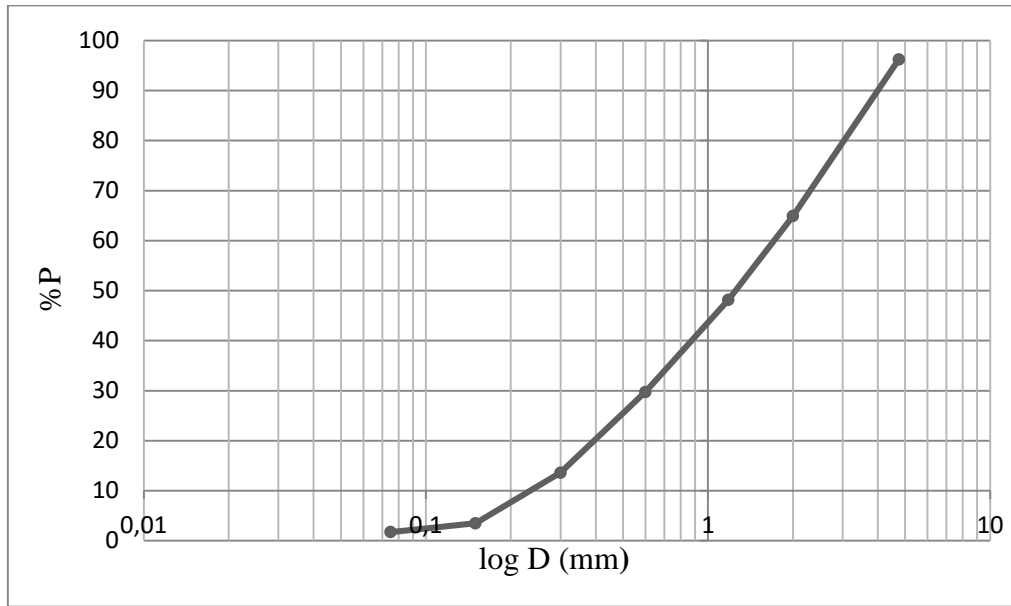
Çalışmada, Konya İli, Selçuklu İlçesi, Eğribayat kum ocağından getirilen malzeme üzerinde zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır. Kum zemin üzerinde ASTM standartları uyarınca elek analizi ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılarak fiziksel özellikler belirlenmiş [7, 8], ayrıca TS1500-2000'e göre zemin sınıfı tespit edilmiştir [9].

Kumun dane boyut dağılımı (Granülometri) eğrisi: Deney kumu için laboratuvarında ASTM standartlarına uygun olarak yapılan elek analizi sonucunda dane çapı dağılımı bulunmuştur. USCS zemin sınıfına göre kötü derecelenmiş kum (SP) zemin sınıfına girmektedir. Elek analizi deneyi sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Zeminde %4 çakıl ve %94 kum ve %2'si ince dane bulunmaktadır (Şekil 1).

Kumun dane birim hacim ağırlığı: Deney kumunun dane birim hacim ağırlığını belirlemek için laboratuvarında piknometre deneyleri yapılmıştır. Yapılan piknometre deneyi sonucuna göre ortalama dane birim hacim ağırlığı  $\gamma_s = 26,49 \text{ kN/m}^3$  bulunmuştur.

Tablo 1. Kumun fiziksel özellikleri

Tanımlama (USCS)	SP
Efektif Dane Çapı $D_{10}$ (mm)	0,25
$D_{30}$ (mm)	0,60
$D_{60}$ (mm)	1,7
Üniformluk Katsayısı $C_u = D_{60}/D_{10}$	6,80
Derecelenme Katsayısı $C_c = (D_{30})^2/D_{60}*D_{10}$	0,85



Şekil 1. Deneyde kullanılan kumun granülometri eğrisi

Kumun maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlığı: Deneylerde kullanılan kumun maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlıklarını (boşluk oranlarını) belirlemek için standartlara uygun olarak proctor kalıpları ile deneyler yapılmıştır. Tablo 2’de, deney ile belirlenen kuru birim hacim ağırlıklarına karşılık gelen kumun maksimum ve minimum boşluk oranları verilmiştir. [10, 11].

Tablo 2. Kuru birim hacim ağırlığı deney sonuçları

Sıklık Parameteleri	Değer
Dane birim hacim ağırlığı ( $kN/m^3$ )	26,49
Gevşek haldeki kuru birim hacim ağırlığı $\gamma_{k,min}$ ( $kN/m^3$ )	15,21
Sıkı haldeki kuru birim hacim ağırlığı $\gamma_{k,max}$ ( $kN/m^3$ )	19,42
Minimum boşluk oranı $e_{min}$ (%)	0,365
Maksimum boşluk oramı $e_{max}$ (%)	0,742

Deneyde Kullanılan Mikro daneli çimento (DMFC-800) Özellikleri: Mikro daneli çimento, ultra ince parçacıklardan oluşan Portland Çimento esaslıdır. Gri renkli ince tozlu, kokusuz ve sağlık açısından zararsızdır. DMFC-800 Çin'den getirilmiş ve kuru bir ortamda saklanmıştır (Şekil 2). Çimentonun sudaki çözünürlüğü %1'den küçük, pH derecesi 12-13 arasındadır. Mikro ince çimento, küçük parçacık boyutundan dolayı (elekten geçen %95 oran için en büyük danecik boyutu  $D_{95} < 16.0 \mu\text{m}$  ve özgül yüzey değeri  $> 800 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) enjeksiyon sıvısı olarak kullanıldığı zaman kaya veya zemin içindeki çatlak ve gözenek alanlarına nüfuz ederek ortamı su sızdırmaz hale getirme özelliğine sahiptir (Şekil 3). DMFC-800 mikro daneli çimentoya ait malzeme özellikleri Tablo 3'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Mikro daneli çimento (DMFC-800)

Uçucu Külün Özellikleri: Çalışmada kullanılan uçucu kül Seyitömerler Termik Santral Tesisinden temin edilmiştir. Uçucu kül içerdiği kimyasal bileşenler yönünden TS 639'da  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarının %70 üzerinde olması nedeniyle F tipi uçucu kül sınıfına girmektedir (Tablo 4) [12].

Tablo 3. Mikro daneli çimentonun özellikleri

Ürün	Birim	DMFC-800	
Renk	-	Gri	
Koku	-	Yok	
Toksit madde	-	Yok	
Spesifik yüzey alanı	m <sup>2</sup> /kg	≥ 800	
Danecik	D <sub>50</sub>	µm	<4,66
Boyutu	D <sub>90</sub>	µm	<13,11
	D <sub>95</sub>	µm	≤16,00
Priz alma ilk süresi	min (dk)	120	
Priz alma son süresi	min (dk)	150	
Dayanım	3	MPa	25
(gün)	7	MPa	45
	28	MPa	60

Tablo 4. Seyitömerler uçucu külün kimyasal bileşeni

Kimyasal bileşeni	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	KK	Cl
Uçucu kül (%)	54.69	21.04	9.40	3.76	4.28	0.53	1.77	0.63	3.05	0.0065

Normal Portland çimentosu (CEM-I 42.5R): Portland Çimentosu çeşitli minerallerin ince bir toz karışımıdır. Tebeşir, kalker içeren silika ve alümina gibi kalkerli minerallerin karıştırılması ve bir klinker oluşturulduğu zaman 1450 °C ye ısıtılmasıyla üretilir. Bu klinker daha sonra ince öğütülür ve içinde kalsiyum sülfat bulunan çok az miktarda,% 3-5 oranında alçıtaşı ile karıştırılır. Alçı miktarı, nihai betonun fiziksel özelliklerini kontrol eder. Bazen çok küçük miktarlarda pigmentler de eklenir. Ancak çimento üretim süreçleri değişebilir.

## 2.2 Deney programı

Çalışmada Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında tasarlanan laboratuvar tipi özel jet-grout deney seti kullanılarak, laboratuvar ortamında mikro daneli çimento ve uçucu kül karışımlarının jet-grout kolonları oluşturularak dayanım etkisi araştırılmıştır

[13]. Deneysel çalışmada kullanılan laboratuvar tipi özel jet-grout deney düzeneği Şekil 3'de yer görülmektedir.



Şekil 3. Kullanılan jet grout deney düzeneği ve kolon oluşum aşaması

Deneysel çalışmada kullanılacak kumun yerleştirileceği plastik varilin çapı 65 cm ve yükseklik 110 cm olan variller kullanılmıştır. Oluşturulacak olan jet grout kolon parametreleri Tablo 5'de verilmektedir. Jet-grout kolon dayanımını etkileyen parametrelerden biri enjeksiyon malzemesinin su/çimento oranıdır. Enjeksiyon malzemesinin hazırlanmasında kullanılan su/çimento oranları sabit alınmamıştır. Böylelikle nedeni saha uygulamalarına yardımcı olmak amaçlanmıştır.

Tablo 5. JG kolonun parametreleri

Parametreler	Parametre Değerleri
Enjeksiyon Basıncı	30 bar
Tijin Çekme Hızı	30 cm/dk
Tijin Dönme Hızı	10 devir/dk



Çalışmanın amacı, mikro daneli çimentonun ve uçucu kül karışımlarından oluşan farklı su/çimento karışımlarından elde edilen enjeksiyon harcının JG kolon oluşması ve dayanıma etkisi araştırılmasıdır (Tablo 6).

Tablo 6. Oluşturulacak JG kolonların enjeksiyon karışım oranları

Grup No	JG Kolon No	Kullanılacak Malzemeler	Su/Bağlayıcı
1	1	CEM1- 42.5 R	0.8
	2		1.0
	3		1.2
	4		1.4
2	5	CEM1- 42.5 R + % 15 U.K.	0.8
	6		1.0
	7		1.2
	8		1.4
3	9	DMFC - 800	0.8
	10		1.0
	11		1.4
	12		1.8
	13		2.4
	14		3.0
4	15	DMFC – 800 + %15 U.K.	0.8
	16		1.0
	17		1.4
	18		1.8
	19		2.4
	20		3.0

### 2.3 Deneylerin yapılması

Jet-grout kolonlarının oluşturulacağı zemin ortamının hazırlanmasında, doğal kum bir miktar ıslatılarak ( $\approx$ %3-5 su içeriği) ve belirli yükseklikten elenerek eşit rölatif sıklıkta plastik variller içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 3). Deney gruplarına bağlı olarak Tablo 6’da görülen 4 farklı enjeksiyon karışım grubu bir mikser yardımıyla karıştırılarak jet grout deney düzeneğinin haznesinin hacmine eşit olacak şekilde 12 litre hacminde

enjeksiyon karışım malzemesi hazırlanmış ve jet grout deney düzeneğinin haznesine doldurulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Kumun varile yerleştirilmesi ve enjeksiyon harcının hazırlanıp enjeksiyon tankına yerleştirilmesi

Enjeksiyon karışımı enjeksiyon tanka doldurulmadan önce, deney setinde yer alan ve ucunda tek nozullu konik başlık yer alan tij takımı kum zemin içerisine istenilen derinliğe indirildikten sonra enjeksiyon karışımı tanka doldurulmuştur. Jet grout makinesinin tiji 10 devir/dk'lık döndürülerek ve 30 cm/dk çekme hızı ve 30 bar enjeksiyon basıncı ile jet grout kolon imalatına başlanılmıştır. Şekil 5'te oluşturulmuş olan jet grout kolon görülmektedir.



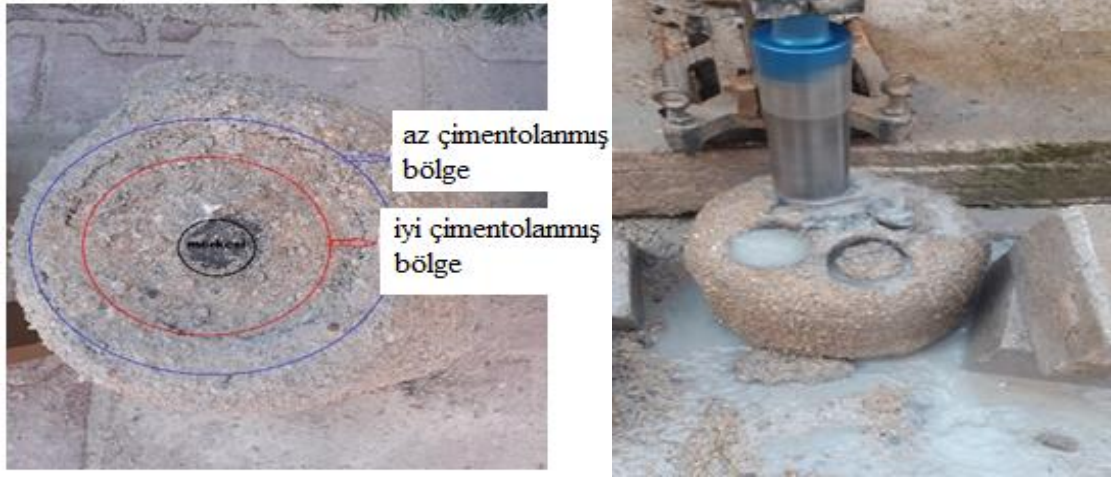
Şekil 5. DMFC-800 ve CEM1 -42,5R çimentosu kullanılarak oluşturulan JG kolonları

Çalışmada, Tablo 6'daki JG kolonları 28 gün kür edildikten sonra karot numuneleri alınarak Serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

### 3. Sonuçlar

#### 3.1 JG kolonlarının dayanımları

Bu çalışmada oluşturulan jet-grout kolonların enine ve boyuna kesitleri incelendiğinde, literatür çalışmalarına uygun olarak iyi çimentolanmış bölge ve az çimentolanmış bölgeler elde edilmiştir (Şekil 6). Çalışma kapsamında jet-grout kolonlardan, Şekil 6'da görüldüğü gibi, en az 4 adet olacak şekilde karot numuneleri alınmıştır. Karot numunelerin olabildiğince iyi çimentolanmış bölgeden alınmasına özen gösterilmiştir. Alınan karot numuneleri yükseklik/çap oranı yaklaşık 2 olacak şekilde, kesilerek alt ve üst yüzeyleri düzeltildikten sonra, numuneler üzerlerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır.



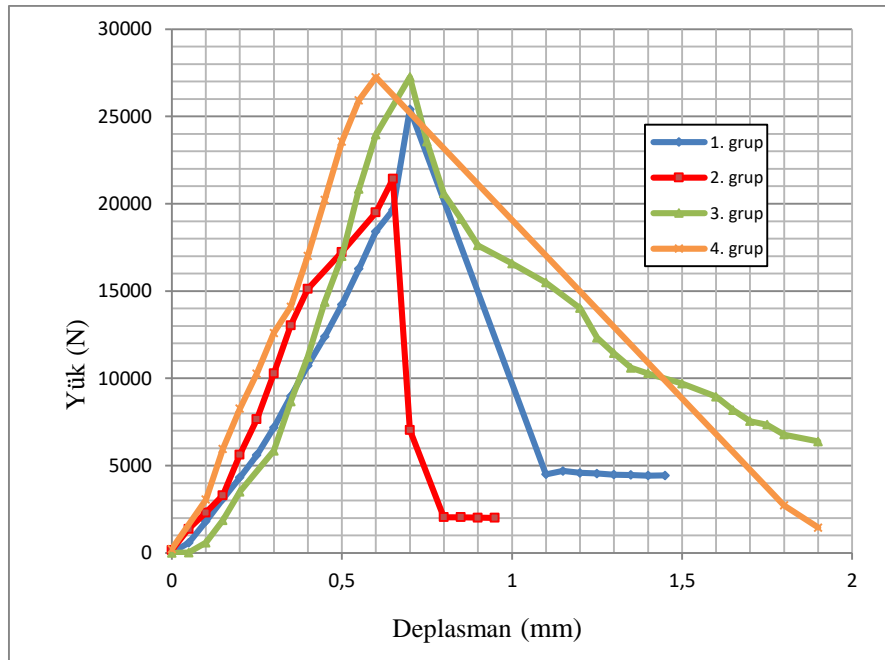
Şekil 6. Çimentolanmış bölge ve karot alımı

Oluşturulan kolonlardan genel olarak 43 mm, 75 mm ve 100 mm çaplı karot numuneleri alınmıştır. Alınan karot şartname gereği boy/çap oranı 2 olacak boyutta ayarlanmıştır. Numuneler tek eksenli basınç aletinde 0.5 mm/dk yükleme hızında kırılmıştır. Kırılan karot numunelerine ait deney sonuçları Tablo 7'te verilmiştir.

Tablo 6 ve 7'den görüleceği gibi, oluşturulan JG kolonlarının içerisinde en yüksek dayanım değerleri, su/çimento oranı 0,8 olan değerler için elde edilmiştir. Şekil 7'de dört farklı çimento karışımlarının, su/çimento oranı 0,8 olan değerlerin yük-deplasman eğrileri verilmiştir.

Tablo 7. Oluşturulan JG kolonlarından alınan karot numunelerinin dayanımları.

Grup No	JG Kolon No	H (mm)	D (mm)	$\sigma_{maks.}$ (MPa)
1	1	86	43	16.81
	2	87	43	10.56
	3	87	43	7.18
	4	102	100	1.94
2	5	86	43	13.83
	6	86	43	11.56
	7	89	43	10.81
	8	152	75	3.23
3	9	85	43	18.78
	10	90	43	15.62
	11	80	43	6.48
	12	154	75	4.00
	13	154	75	2.64
	14	154	75	0.98
4	15	85	43	17.57
	16	94	43	16.76
	17	84	43	9.37
	18	154	75	4.08
	19	154	75	2.64
	20	104	100	1.35



Şekil 7. 4 farklı gruba ait su/çimento oranı 0,8 olan JG kolonlarının dayanım grafikleri

### *3.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi*

- Yapılan çalışmada mikro daneli çimento kullanılarak oluşturulan kolonların dayanımlarının normal Portland çimentolu kolonların dayanımlarından yüksek olduğu görülmüştür.
- Mikro daneli çimentonun, spesifik yüzey alanı, normal Portland çimentosunun spesifik yüzey alanından, fazla olduğu için, mikro daneli çimento kullanılarak oluşturulan kolonların çapları, boyları ve dayanım değerleri daha yüksek bulunmuştur.
- Mikro daneli çimento kullanılarak hazırlanan kolonlarda normal portland çimentosuna göre daha sünek davranış görülmüştür.
- Uçucu kül karışımlı kolonlarda, su/çimento 0,8 olan kolonların dayanımının referans kolonların dayanımından az olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak uçucu kül'ün düşük su/bağlayıcı oranlarında dayanımı azaltıcı etki sağladığı özelliği göstermesidir.
- Su/çimento 1,0 ve 1,2 üzerinde hazırlanan uçucu kül karışımlı kolonların referans kolonların dayanımından yüksek olduğu görülmüştür. Düşük su/çimento oranlı karışımlarda uçucu külün olumlu etkisi yeterli görülmemişken, su miktarının arttığı yüksek su/çimentolu karışımlarda uçucu külün etkisinin daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir.
- Uçucu külün kullanıldığı durumlarda uçucu külün belli bir su/bağlayıcı oranın altında kullanılmaması gerektiği düşünülmektedir.
- Şekil 7'de de görüldüğü gibi, mikro daneli çimento, normal portland çimentosu kullanılarak oluşturulan kolonların elastisite modülü değerleri incelendiğinde mikro daneli çimentonun elastisite değerinin yüksek olduğu görülmüştür.

### **Teşekkürler**

Bu çalışma, İnş. Müh., Hurşit BATTAL'ın yüksek lisans tez çalışmasından yararlanılarak hazırlanmıştır. Uçucu Külün temin edilmesinde yardımcı olan ARES Çimentoya teşekkür ederiz.

## **Kaynaklar**

- [1] Tekin, E. ve Mollamahmutoğlu, M., 2010, Çok İnce Taneli Çimento (Rheocem 900) Enjeksiyonu ile Farklı Gradasyona Sahip Kumların Enjektelerde Edilebilirliği, Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der., 25 (3), 533-539.
- [2] Gökdemir, A., Yıldız, K., 2007. Microcem 525 çimento enjeksiyonunun düşük poroziteli Zeminlerin basınç dayanımına etkisi. E-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 2, Number: 2, 133-146.
- [3] Özgan, E., Gökdemir, A., Subaşı, S. ve Yıldız, K., 2007, Düşük Poroziteli Zeminlerde Mıctocem 900 H Çimento Enjeksiyonu Uygulaması, International Earthquake, Kocaeli.
- [4] Özdemir E., 2006, “PÇ ve Mineral Katkı Maddelerinin İkili, Üçlü ve Dörtlü Kombinasyonlarını İçeren Harç Numunelerinin Bazı Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 177s.
- [5] Öntürk K., 2011, “Zemin iyileştirmesinde polisaj, kireç ve uçucu külün kullanımı”, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 160s.
- [6] Bell, K., Clemente, R., Gularte, F. ve Lopez, R., 2003, Süperjet grouting reduces foundation settlement for la Rosite Power Plant in Mexicalla, Mexico, Grouting and ground Treatment, 354-364.
- [7] ASTM D 6913-04. Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soils using sieve analysis, 2009.
- [8] ASTM D 854-10. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer, 2010.
- [9] TS1500, İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, Ankara, 2000.
- [10] ASTM D 4254-00. Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density, 2006.
- [11] ASTM D 4253-00. Standard test method for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table, 2002.
- [12] Türker P., Erdoğan B., Katnaş F., ve Yeğınobalı A. TÜRKİYE’DEKİ UÇUCU KÜLLERİN SINIFLANDIRILMASI VE ÖZELLİKLERİ, ANKARA, TÇMB, 2009.
- [13] Erkan, İ. H., 2013, Jet grout kolonların performansını etkileyen faktörlerin deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, 144 s.