



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2007, Volume: 2, Number: 2
Article Number: A0025

NATURAL AND APPLIED SCIENCES
TURKISH (Abstract: ENGLISH)

Received: January 2007
Accepted: April 2007
© 2007 www.newwsa.com

Ahmet Gökdemir
Kürşat Yıldız
University of Gazi
kursaty@gazi.edu.tr
Ankara-Türkiye

**MİCROCEM 525 ÇİMENTO ENJEKSİYONUNUN DÜŞÜK POROZİTELİ
ZEMİNLERİN BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ**

ÖZET

Bu çalışmada, laboratuvar koşullarında düşük poroziteli zemin numunelerine çimento enjeksiyonu uygulayabilmek için çimento enjeksiyon model deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneği sayesinde MC 525 tipi çimentoya farklı süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanarak düşük poroziteli zemin numunelerine enjeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçta değişken deney parametrelerinin enjeksiyon işlemine ve zemin numunelerinin basınç dayanımına etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enjeksiyon, Basınç Dayanımı, Çimento,
Mikro Daneli Çimento

**EFFECT OF MICROCEM 525 CEMENT INJECTION ON
COMPRESSIVE STRENGTH OF LOW POROSITY SOILS**

ABSTRACT

In this study, cement injection model experiment setup is developed in order to implement cement injection to low porosity soil samples in laboratory conditions. In the experiment setup, injection process is performed into low porosity soil samples by using MC 525 type cement admixed with different super plasticizers. As a result, effect of variable experiment parameters on injection process and compressive strength of soil samples is investigated.

Keywords: Injection, Compressive Strength, Cement, Microcement



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İri kumlardan daha ince zemin formasyonlarına normal çimento enjeksiyonları penetrasyon yetersizliğinin ve kimyasal enjeksiyonlarla ilgili zehirlenme ve dayanımsızlık gibi problemlerin üstesinden gelmek amacıyla son zamanlarda mikro daneli çimento enjeksiyonlarının ince ve orta daneli kumların stabilizasyonu için kullanımı önerilmektedir. Ne var ki, bu enjeksiyon türlerinin performansı hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle, ticari olarak mevcut Microcem H900 çimento enjeksiyonu üzerinde yürütülen laboratuvar araştırma sonuçları, bu enjeksiyon türünün normal portland çimentosundan daha iyi sedimantasyon kapasitesine, penetrasyon kabiliyetine, mukavemete ve daha kısa priz süresine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, su/çimento oranı 1,2 olan Microcem H900 karışımı ile relatif sıklığı %70 olan kum numunelerine 20 KPa'lık basınç altında rahatlıkla nüfuz ettiği belirtilmiştir [1].

Çok ince daneli çimento enjeksiyonlarının ince ile orta incelikte kumlu zeminlere enjeksiyonunda enjeksiyon materyalinin içine permeasyonu ve zehirlilik sorunlarını aşmada hayli başarılı olduklarını göstermiştir. Bu çalışmaların sonuçlarından izlenebildiği kadarıyla ticari olarak elde edilen ince daneli çimentolar normal portland çimentolarına göre, enjeksiyon için daha elverişli akış koşulları sağlamakta ve terleme koşulları daha uygun olmaktadır. Bu araştırmacıların yapmış oldukları deneylerde D_{15} boyutu 0,15 mm olan iyi sıkıştırılmış kumlarda, ince daneli çimento enjeksiyonlarının su/çimento oranı 2 oranına kadar düşük değerlerinde kumlu zemin içine birkaç feet kadar yayılabildiği görülmüştür. Kumlu zemin granülometrik dağılımının enjekte edilebilirlik oranından daha etkili olduğu izlenmiştir. Özellikle kumlu zemin örnekleri içinde bulunan "ince boyut fraksiyonu" enjeksiyon özellikleri üzerinde büyük etkisi olduğu görülmüştür [2]. Su-çimento oranının çimento şerbetlerinde su kusma, çökme ve buna bağlı olarak dayanım değerlerindeki değişimler belirlenmiş enjeksiyon basıncının büyük ölçüde şerbetin akıcılığına bağlı olduğu vurgulanmıştır [3]. İkinci Dünya Savaşı'nın ardından bir grup araştırmacı, çimento katkılı ve katkısız olarak, çimento-bentonit karışımları ile kumlu zeminler üzerinde enjeksiyon uygulamışlardır [4]. Enjeksiyon materyali olarak çimentonun değişik su/çimento oranlarındaki davranışı yanında çimento-bentonit ve diğer katkı maddelerinin enjeksiyon üzerindeki etkilerini incelemiştir [5]. Çok ince daneli enjeksiyon materyalinin etkinliğini deney sonuçları ve pratik uygulamalarla belirlemiştir. Bu araştırmacılara göre mikrodaneli çimentolar (MC); çimento materyali gurubunda değerlendirilmekte ve ortalama dane boyutu 4 μ civarındadır. Mikro daneli çimento boyutunun bu derece küçük olması bunlarla hazırlanan çimento şerbetlerinin ince kumlar içine penetrasyonu mümkün kılmaktadır. Bu tip çimentolar geçirgenlik katsayısı 10^{-3} ile 10^{-4} olan ince kumlarda etkili olarak enjekte edilebildiği belirtilmiştir [6].

Sandoz firması tarafından yurtdışında imal edilen Rheocem 900 tipi ince daneli çimento kullanılarak İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarlarında gerçekleştirilen enjeksiyon model deneylerinde kullanılan çimentonun özgül yüzey alanı 95 m²/N (9300 cm²/gr) ve ortalama dane boyutu 5 μ 'dur. İki seri halinde gerçekleştirilen deneylerin birinci serisinde kum-çakıl karışımlarının rölatif sıklığı $D_r=0,30$, uygulanan düşey gerilim 20 KPa ve enjeksiyon basıncı 150 KPa'dır. İkinci seri deneylerde ise $D_r=0,80$, enjeksiyon basıncı 300 KPa alınmış ve 28 günlük serbest basınç dayanım değerleri 22 KPa'dan 14 KPa'a indiği izlenmiştir. Kum-çakıl karışımında çakıl miktarı arttıkça dayanım değerlerinin artış gösterdiği görülmüştür. Model deney sonuçlarından rölatif sıklığın artmasının enjeksiyon sıvısının penetrasyonunu zorlaştırdığından dayanım değerlerinde düşüş,



enjeksiyon basınç artışlarının ise dayanımda artışlara neden olduğu izlenmiştir [7].

Kullanım alanında büyük artışlar olan enjeksiyon, özellikle barajlarda büyük ölçüde başvurulan bir zemin ıslah yöntemidir. Başlıca kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

- Geçirimsizlik perdelerinin teşkil edilmesi,
- Aşırı oturmaların ve su kaçaklarının önlenmesi amacıyla boşlukların doldurulması,
- Dinamit atımıyla gevşeyen temel kayasının üst kısımlarının sağlamlaştırılması,
- Yapı ile ana kaya arasında kalması muhtemel boşlukların doldurulması,
- Tünel inşaatında, tünel aynasının stabilitesinin sağlanması ve üst tabakalarda kemerlenme sağlanması,
- Temel çukuru kazı şevlerinin stabilitesinin sağlanması,
- Komşu temellerin takviyesinde veya oturmuş temellerin düzeltilmesi,
- Gevşek kumlarda sıvılaşmanın önlenmesi,
- Yanal toprak basıncının kısıtlanması,
- Kazıkların yanal yük taşıma gücünün artırılması ve şev stabilitesinin sağlanması.

Enjeksiyon işlemi yukarıda sıralanan kullanım alanlarında genelde şu ortamlara tatbik edilir:

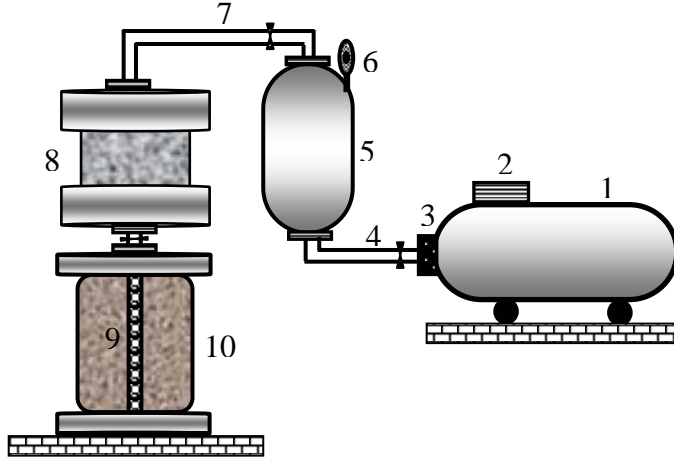
- Zeminlerin dane boşluklarının doldurulması,
 - Kaya içinde mevcut galeri, kavern, karst gibi büyük boşlukların doldurulması ve
 - Kaya çatlakların doldurulmasıdır.
- Uygulanan basınca göre sınıflandırma ise şöyledir:
- **Alçak Basınç Enjeksiyonları:** Enjeksiyon karışımının 1 MPa'dan daha az bir basınçla basılması durumudur. Genellikle yüzeye yakın yerlere uygulanırlar. Sondaj derinliği 5-15 metredir.
 - **Orta Basınç Enjeksiyonları:** Enjeksiyon basıncının 1-3 MPa arasında olduğu durumudur. Sondaj boyları derinliği 15-30m arasındadır.
 - **Yüksek Basınç Enjeksiyonları:** Daha çok geçirimsiz perde oluşturmak için yapılan ve 3 MPa'nın üzerinde basınçla yapılan enjeksiyon işlemleridir. Uygulanan basınç, duruma göre 7 MPa'a kadar çıkartılabilir. Enjeksiyon yöntemi olarak yıllardan beri iki yöntem kullanılmaktadır. Biri açık taban boru yöntemidir (Open bottom pipe method), diğeri manşetli boru yöntemidir (Sleeve pipe method).
 - **Açık Taban Boru Yöntemi:** Bu yöntemde enjeksiyon aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya olmak üzere iki farklı şekilde kademeler halinde yapılır.
 - **Manşetli Boru Yöntemi:** Bu yöntemde önce delme işlemi yapılır. Sonra delik içine manşetli borular yerleştirilir. Manşetli borular içerisine ise ince borular takılır. Manşetli boru üzerindeki manşet genellikle kauçuktan yapılır ve açılabilir özelliktedir. Boru içerisinde iki adet tıpa kullanılarak, istenilen yerdeki manşetten enjeksiyon yapılabilir. Verilen bir pompalama hızından dolayı basıncı azaltmak, tıparlar arası mesafeyi artırarak mümkün olmaktadır. Manşetli borunun etrafında bulunan muhafaza harç, sertleştikten sonra çok kuvvetli olmamalıdır. Genellikle kil-çimento kullanılmaktadır [8, 9, 10 ve 11].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu araştırmanın amacı, laboratuvar ortamında hazırlanan üç farklı ayrık daneli zeminlere, dört farklı katkı miktarı kullanılarak hazırlanmış mikro daneli çimento şerbeti, tarafımızdan oluşturulan çimento enjeksiyon model deney düzeneği kullanılarak enjekte edilmiştir. Dayanımlarını artırmak için enjeksiyon iyileştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçta farklı katkı maddeleri kullanılarak çimento enjeksiyonu uygulanmış düşük poroziteli zeminlerin basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Böylelikle laboratuvar ortamında zemine çimento enjekte edebilmek için bir prototip geliştirilmiş hem de değişken parametrelerin çimento enjeksiyon işlemine ve zemin numunelerinin basınç dayanımına etkileri incelenebilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLAR (EXPERIMENTAL STUDY AND RESULTS)

Bu çalışmada kullanılan MC 525 tipi ince daneli çimento ve farklı süperakışkanlaştırıcılar kullanılarak zemin numunelerine enjeksiyon yapmak için, tarafımızdan tasarlanmış çimento enjeksiyon model deney düzeneği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çimento enjeksiyon model deney düzeneği
(Figure 1. Cement injection model experiment setup)

Şekil 1'de verilen deney seti üzerinde rakamlarla ifade edilen aparat ve/veya bölümler şu şekilde açıklanabilir.

- 1) Kompresör,
- 2) Otomatik basınç kontrol ünitesi,
- 3) Hava çıkış valfi,
- 4) Hidrolik hortum,
- 5) Hava regülatörü,
- 6) Manometre,
- 7) Spiral hidrolik hortum,
- 8) Çelik besleme haznesi,
- 9) Metal delikli boru,
- 10) Zemin numunesi.

Şekil 1'de gösterilen enjeksiyon model deney düzeneği bir kompresör vasıtasıyla karışımın beslenme haznesine 10 atm basınca dayanıklı hidrolik hortum ile bağlandı. Kompresör ile besleme haznesi arasına yerleştirilen hava regülatörü sayesinde uygulanmak istenen basınç ayarlandı. Deney düzeneğinde 3,75cm çapında 25 cm uzunluğundaki zemin numunesi haznesine 2 mm çapında metal delikli ince bir boru, çimento enjeksiyon malzemesinin zemin numunesine homojen bir şekilde



dağılması için zemin numunesi yerleştirilirken konuldu. Numuneyi kalıba yerleştirdikten sonra, kalıbın üstten 2cm'sine çakıl filtre yerleştirildi. Bu işlem fazla gelen çimento enjeksiyon malzemesinin kalıbı kolay terk etmesi için yapıldı. Çimento enjeksiyon malzemesi ayrı bir kapta karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra besleme haznesine boşaltıldı. Manometreden 2 atm ve 6 atm değerleri okunarak 20/80, 30/70, 40/60 kum/çakıl oranına sahip zemin numunelerine enjeksiyon işlemi uygulandı. Bu işlem, rölatif sıklığı $D_r=0,35$ ve $D_r=0,70$ için ayrı ayrı yapıldı.

Çalışmada 0,35 ve 0,70 rölatif sıklıklarda üç farklı kum/çakıl oranında zemin numunesi hazırlanmıştır. Enjeksiyon malzemesi olarak kimyasal analizi ve fiziksel özellikleri bilinen MC 525 tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya katkı maddesi olarak çimento ağırlığının %5'i ve %2'si oranında Rheobuild 1000 marka süper akışkanlaştırıcı, %3'ü oranında Na_2SiO_4 ve %2 SAK+%5 bentonit+%3 Na_2SiO_4 içeren dört farklı enjeksiyon maddesi yukarıda belirtildiği gibi enjekte edilmiştir. Enjeksiyon uygulanmış numuneler üzerinde 7,28 gün sonra serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deney numunelerinin tamamında hem literatür göz önüne alındığında, hem de enjeksiyon işleminin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi adına su/çimento oranı 0,60, 0,80 ve 1,00 olarak seçilmiştir. Numune sayıları daha önce yapılmış çalışmalar ve çalışmamızın parametreleri göz önünde bulundurularak optimum numune sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. MC 525 tipi çimento enjeksiyonu uygulanmış 3,75 cm çapında 7,5 cm uzunluğundaki silindir örnekler 7 ve 28 gün kür edildikten sonra beton presinde kırıldı. Elde edilen sonuçlar Tablo 1-12'de verilmiştir.

Tablo 1. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
(MC=525, $D_r=0.35$, Enjeksiyon basıncı=2 atm Kum/Çakıl=20/80)
(Table 1. Strength values of injection applied samples
(MC=525, $D_r=0.35$, Injection pressure=2atm, Sand/Coarse=20/80))

Deneş No (Seri A)	Katkı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	20	80	0.6	2.0	31	8.041	10.002
2		20	80	0.8	2.0	30	7.355	9.218
3		20	80	1.0	2.0	28	7.060	8.825
4	%2 SAK	20	80	0.6	2.0	34	7.845	9.708
5		20	80	0.8	2.0	32	7.158	8.924
6		20	80	1.0	2.0	31	6.668	8.335
7	%3 Na_2SiO_4	20	80	0.6	2.0	40	6.374	7.943
8		20	80	0.8	2.0	38	6.080	7.649
9		20	80	1.0	2.0	37	5.687	7.060
10	%2 SAK	20	80	0.6	2.0	41	5.785	7.256
11	%5 Bent	20	80	0.8	2.0	39	5.491	6.864
12	%3 Na_2Si_4	20	80	1.0	2.0	38	5.099	6.374



Tablo 2. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
(MC=525, Dr=0.35, Enjeksiyon basıncı=6 atm, Kum/Çakıl=20/80)
(Table 2. Strength values of injection applied samples
(MC=525, Dr=0.35, Injection pressure=6 atm, Sand/Coarse=20/80))

Deneş No (Seri A)	Katlı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	20	80	0.6	6.0	31	8.531	10.689
2		20	80	0.8	6.0	30	7.485	9.904
3		20	80	1.0	6.0	28	7.453	9.316
4	%2 SAK	20	80	0.6	6.0	34	8.433	10.591
5		20	80	0.8	6.0	32	7.256	9.120
6		20	80	1.0	6.0	31	6.668	8.335
7	%3 Na ₂ SiO ₄	20	80	0.6	6.0	40	6.374	7.845
8		20	80	0.8	6.0	38	5.883	7.256
9		20	80	1.0	6.0	37	6.080	7.551
10	%2 SAK	20	80	0.6	6.0	41	5.687	7.158
11	%5 Bent	20	80	0.8	6.0	39	5.491	6.864
12	%3 Na ₂ Si ₄	20	80	1.0	6.0	38	5.295	6.570

Tablo 3. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
(MC=525, Dr=0.35, Enjeksiyon basıncı=2 atm, Kum/Çakıl=30/70)
(Table 3. Strength values of injection applied samples
(MC=525, Dr=0.35, Injection pressure=2 atm, Sand/Coarse=30/70))

Deneş No (Seri B)	Katlı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	30	70	0.6	2.0	31	7.453	9.316
2		30	70	0.8	2.0	30	7.256	9.120
3		30	70	1.0	2.0	28	6.766	8.433
4	%2 SAK	30	70	0.6	2.0	34	7.551	9.414
5		30	70	0.8	2.0	32	6.962	8.727
6		30	70	1.0	2.0	31	6.374	7.747
7	%3 Na ₂ SiO ₄	30	70	0.6	2.0	40	5.982	7.453
8		30	70	0.8	2.0	38	5.883	7.354
9		30	70	1.0	2.0	37	5.393	6.766
10	%2 SAK	30	70	0.6	2.0	41	5.197	6.472
11	%5 Bent	30	70	0.8	2.0	39	5.197	6.472
12	%3 Na ₂ Si ₄	30	70	1.0	2.0	38	4.903	6.178



Tablo 4. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
(MC=525, Dr=0.35, Enjeksiyon basıncı=6 atm, Kum/Çakıl=30/70)
(Table 4. Strength values of injection applied samples
(MC=525, Dr=0.35, Injection pressure=6 atm, Sand/Coarse=30/70))

Deneş No (Seri B)	Katlı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	30	70	0.6	6.0	31	7.845	9.806
2		30	70	0.8	6.0	30	6.962	8.727
3		30	70	1.0	6.0	28	6.864	8.626
4	%2 SAK	30	70	0.6	6.0	34	8.139	10.198
5		30	70	0.8	6.0	32	6.570	8.237
6		30	70	1.0	6.0	31	6.080	7.649
7	%3 Na ₂ SiO ₄	30	70	0.6	6.0	40	5.883	7.354
8		30	70	0.8	6.0	38	5.687	7.158
9		30	70	1.0	6.0	37	5.589	6.962
10	%2 SAK	30	70	0.6	6.0	41	5.393	6.766
11	%5 Bent	30	70	0.8	6.0	39	5.099	6.374
12	%3 Na ₂ Si ₄	30	70	1.0	6.0	38	5.001	6.276

Tablo 5. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
(MC=525, Dr=0.35, Enjeksiyon basıncı=2 atm, Kum/Çakıl=40/60)
(Table 5. Strength values of injection applied samples
(MC=525, Dr=0.35, Injection pressure=2 atm, Sand/Coarse=40/60))

Deneş No (Seri C)	Katlı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	40	60	0.6	2.0	31	7.354	9.218
2		40	60	0.8	2.0	30	7.158	8.924
3		40	60	1.0	2.0	28	6.668	8.335
4	%2 SAK	40	60	0.6	2.0	34	7.453	9.316
5		40	60	0.8	2.0	32	6.864	8.624
6		40	60	1.0	2.0	31	6.080	7.649
7	%3 Na ₂ SiO ₄	40	60	0.6	2.0	40	5.785	7.256
8		40	60	0.8	2.0	38	5.687	7.158
9		40	60	1.0	2.0	37	5.295	6.472
10	%2 SAK	40	60	0.6	2.0	41	5.099	6.374
11	%5 Bent	40	60	0.8	2.0	39	5.001	6.276
12	%3 Na ₂ Si ₄	40	60	1.0	2.0	38	4.805	5.982



Tablo 6. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
 (MC=525, Dr=0.35, Enjeksiyon basıncı=6 atm, Kum/Çakıl=40/60)
 (Table 6. Strength values of injection applied samples
 (MC=525, Dr=0.35, Injection pressure=6 atm, Sand/Coarse=40/60))

Deneş No (Seri C)	Katkı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	40	60	0.6	6.0	31	7.747	9.708
2		40	60	0.8	6.0	30	6.864	8.629
3		40	60	1.0	6.0	28	6.668	8.335
4	%2 SAK	40	60	0.6	6.0	24	8.041	10.10
5		40	60	0.8	6.0	32	6.374	7.943
6		40	60	1.0	6.0	31	5.982	7.453
7	%3 Na ₂ SiO ₄	40	60	0.6	6.0	40	5.687	7.158
8		40	60	0.8	6.0	38	5.491	6.864
9		40	60	1.0	6.0	37	5.393	6.766
10	%2 SAK	40	60	0.6	6.0	41	5.295	6.668
11	%5 Bent	40	60	0.8	6.0	39	5.001	6.276
12	%3 Na ₂ Si ₄	40	60	1.0	6.0	38	5.001	6.276

Tablo 7. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
 (MC=525, Dr=0.70, Enjeksiyon basıncı=2 atm, Kum/Çakıl=20/80)
 (Table 7. Strength values of injection applied samples
 (MC=525, Dr=0.70, Injection pressure=2 atm, Sand/Coarse=20/80))

Deneş No (Seri D)	Katkı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	20	80	0.6	2.0	31	7.158	8.924
2		20	80	0.8	2.0	30	6.962	8.727
3		20	80	1.0	2.0	28	7.453	8.335
4	%2 SAK	20	80	0.6	2.0	34	6.766	9.316
5		20	80	0.8	2.0	32	5.883	8.433
6		20	80	1.0	2.0	31	5.687	7.354
7	%3 Na ₂ SiO ₄	20	80	0.6	2.0	40	5.491	7.158
8		20	80	0.8	2.0	38	5.491	6.864
9		20	80	1.0	2.0	37	5.194	6.472
10	%2 SAK	20	80	0.6	2.0	41	5.001	6.276
11	%5 Bent	20	80	0.8	2.0	39	4.903	6.178
12	%3 Na ₂ Si ₄	20	80	1.0	2.0	38	4.707	5.883



Tablo 8. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
 (MC=525, Dr=0.70, Enjeksiyon basıncı=6 atm, Kum/Çakıl=20/80)
 (Table 8. Strength values of injection applied samples
 (MC=525, Dr=0.70, Injection pressure=6 atm, Sand/Coarse=20/80))

Deneş No (Seri D)	Katkı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	20	80	0.6	6.0	31	7.453	9.316
2		20	80	0.8	6.0	30	7.158	8.924
3		20	80	1.0	6.0	28	6.766	8.433
4	%2 SAK	20	80	0.6	6.0	34	7.649	9.610
5		20	80	0.8	6.0	32	7.776	8.433
6		20	80	1.0	6.0	31	6.178	7.747
7	%3 Na ₂ SiO ₄	20	80	0.6	6.0	40	5.883	7.354
8		20	80	0.8	6.0	38	5.687	7.158
9		20	80	1.0	6.0	37	5.393	6.766
10	%2 SAK	20	80	0.6	6.0	41	5.197	6.472
11	%5 Bent	20	80	0.8	6.0	39	5.099	6.374
12	%3 Na ₂ Si ₄	20	80	1.0	6.0	38	4.903	6.178

Tablo 9. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
 (MC=525, Dr=0.70, Enjeksiyon basıncı=2 atm, Kum/Çakıl=30/70)
 (Table 9. Strength values of injection applied samples
 (MC=525, Dr=0.70, Injection pressure=2 atm, Sand/Coarse=30/70))

Deneş No (Seri E)	Katkı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	30	70	0.6	2.0	31	7.256	9.120
2		30	70	0.8	2.0	30	7.060	8.825
3		30	70	1.0	2.0	28	6.570	8.237
4	%2 SAK	30	70	0.6	2.0	34	7.354	9.218
5		30	70	0.8	2.0	32	6.668	8.335
6		30	70	1.0	2.0	31	5.982	7.453
7	%3 Na ₂ SiO ₄	30	70	0.6	2.0	40	5.687	7.158
8		30	70	0.8	2.0	38	5.491	6.864
9		30	70	1.0	2.0	37	5.197	6.472
10	%2 SAK	30	70	0.6	2.0	41	5.001	6.276
11	%5 Bent	30	70	0.8	2.0	39	5.001	6.276
12	%3 Na ₂ Si ₄	30	70	1.0	2.0	38	4.707	5.883



Tablo 10. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
 (MC=525, Dr=0.70, Enjeksiyon basıncı=6 atm, Kum/Çakıl=30/70)
 (Table 10. Strength values of injection applied samples
 (MC=525, Dr=0.70, Injection pressure=6 atm, Sand/Coarse=30/70))

Deneş No (Seri E)	Katlı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	30	70	0.6	6.0	31	7.649	9.610
2		30	70	0.8	6.0	30	6.766	8.433
3		30	70	1.0	6.0	28	6.570	8.237
4	%2 SAK	30	70	0.6	6.0	34	7.845	9.806
5		30	70	0.8	6.0	32	6.178	7.747
6		30	70	1.0	6.0	31	5.883	7.354
7	%3 Na ₂ SiO ₄	30	70	0.6	6.0	40	5.589	6.962
8		30	70	0.8	6.0	38	5.393	6.766
9		30	70	1.0	6.0	37	5.197	6.472
10	%2 SAK	30	70	0.6	6.0	41	5.099	6.374
11	%5 Bent	30	70	0.8	6.0	39	4.903	6.178
12	%3 Na ₂ Si ₄	30	70	1.0	6.0	38	4.707	5.883

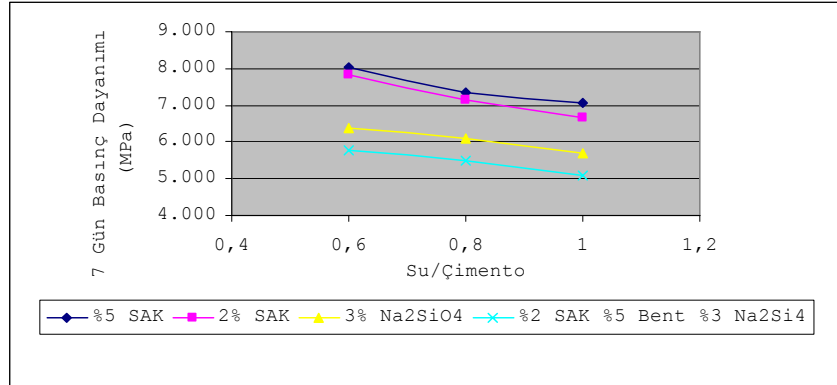
Tablo 11. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
 (MC=525, Dr=0.70, Enjeksiyon basıncı=2 atm, Kum/Çakıl=40/60)
 (Table 11. Strength values of injection applied samples
 (MC=525, Dr=0.70, Injection pressure=2 atm, Sand/Coarse=40/60))

Deneş No (Seri F)	Katlı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	40	60	0.6	2.0	31	7.158	8.924
2		40	60	0.8	2.0	30	6.864	8.629
3		40	60	1.0	2.0	28	6.570	8.237
4	%2 SAK	40	60	0.6	2.0	34	7.256	9.120
5		40	60	0.8	2.0	32	6.570	8.237
6		40	60	1.0	2.0	31	5.883	7.354
7	%3 Na ₂ SiO ₄	40	60	0.6	2.0	40	5.687	7.158
8		40	60	0.8	2.0	38	5.589	6.962
9		40	60	1.0	2.0	37	5.099	6.374
10	%2 SAK	40	60	0.6	2.0	41	4.903	6.178
11	%5 Bent	40	60	0.8	2.0	39	4.707	5.883
12	%3 Na ₂ Si ₄	40	60	1.0	2.0	38	4.609	5.785

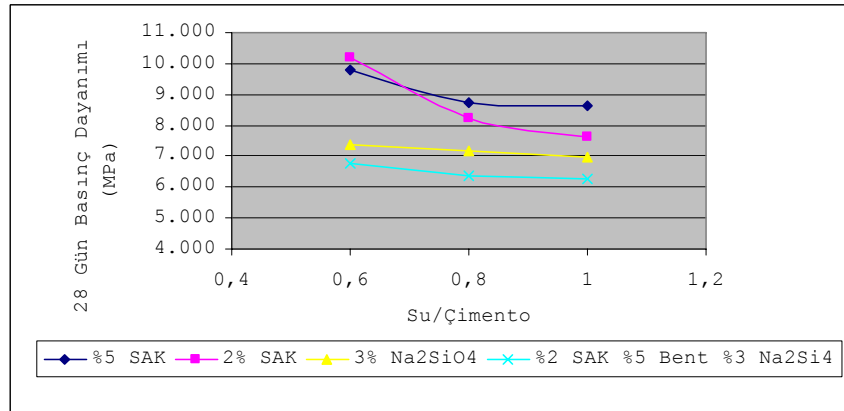
Tablo 12. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri
(MC=525, Dr=0.70, Enjeksiyon basıncı=6 atm, Kum/Çakıl=40/60)
(Table 12. Strength values of injection applied samples
(MC=525, Dr=0.70, Injection pressure=6 atm, Sand/Coarse=40/60))

Deneş No (Seri F)	Katlı Maddesi	Kum %	Çakıl %	Su/Çimento	Enjeksiyon Bas. (atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	%5 SAK	40	60	0.6	6.0	31	7.551	9.414
2		40	60	0.8	6.0	30	6.766	8.433
3		40	60	1.0	6.0	28	6.472	8.139
4	%2 SAK	40	60	0.6	6.0	24	7.845	9.806
5		40	60	0.8	6.0	32	6.080	7.649
6		40	60	1.0	6.0	31	5.883	7.354
7	%3 Na ₂ SiO ₄	40	60	0.6	6.0	40	5.491	6.864
8		40	60	0.8	6.0	38	5.393	6.766
9		40	60	1.0	6.0	37	5.099	6.374
10	%2 SAK	40	60	0.6	6.0	41	5.001	6.276
11	%5 Bent	40	60	0.8	6.0	39	4.903	6.178
12	%3 Na ₂ Si ₄	40	60	1.0	6.0	38	4.805	6.080

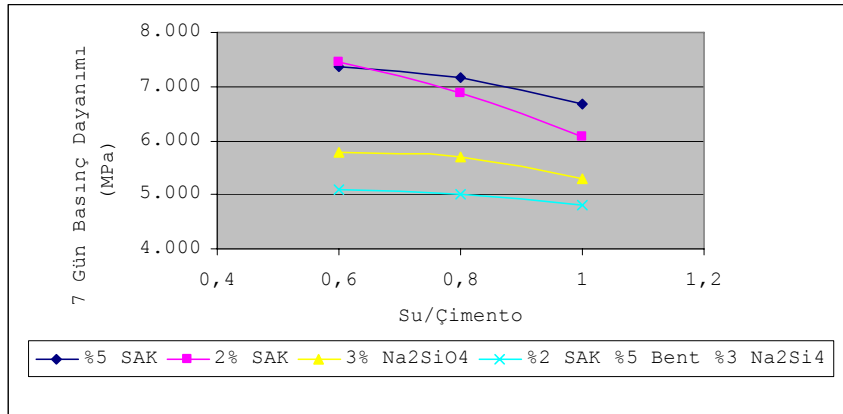
Tablo 1-12 arasında elde edilen sonuçların görsel olarak değerlendirilebilmesi Şekil 1-6 arasında verilmiştir. Su/çimento oranının basınç dayanımı ile ilişkisini sergileyen bu grafikler araştırmannın genelini sergileyebilecek şekilde seçilmiştir.



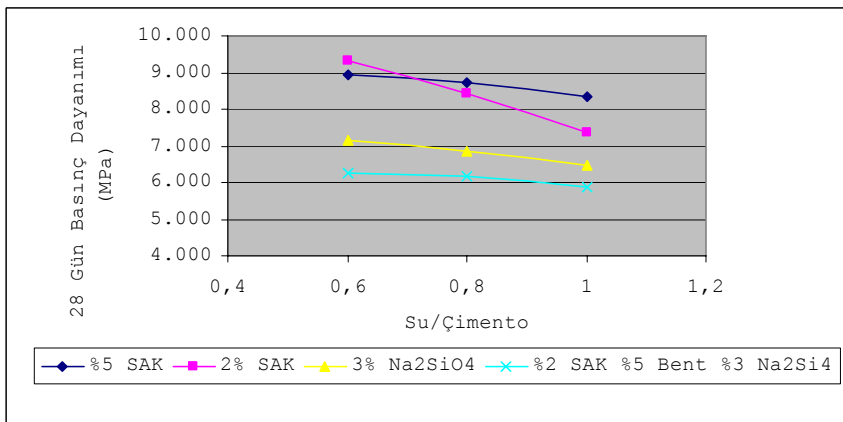
Şekil 1. Dr=0.35, Enj.Bas.=2 atm, Kum/Çakıl=20/80
(Figure 1. Dr=0.35, İnş. Pres.=2atm, Sand/Coarse=20/80)



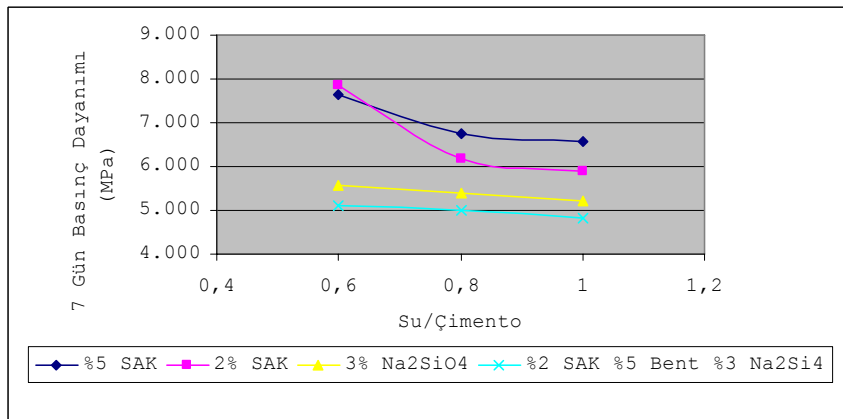
Şekil 2. Dr=0.35, Enj.Bas.=6 atm, Kum/Çakıl=30/70
(Figure 2. Dr=0.35, İnş. Pres.=6 atm, Sand/Coarse=30/70)



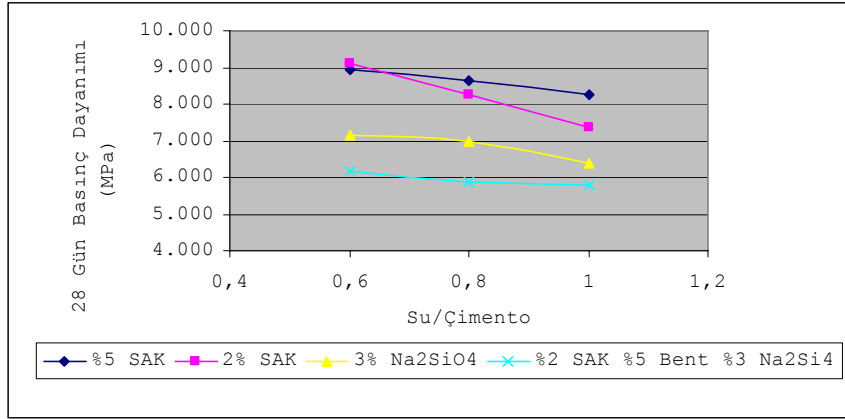
Şekil 3. Dr=0.35, Enj.Bas.=2 atm, Kum/Çakıl=40/60
(Figure 3. Dr=0.35, İnj. Pres.=2 atm, Sand/Coarse=40/60)



Şekil 4. Dr=0.70, Enj.Bas.=2 atm, Kum/Çakıl=20/80
(Figure 4. Dr=0.70, İnj. Pres.=2 atm, Sand/Coarse=20/80)



Şekil 5. Dr=0.70, Enj.Bas.=6 atm, Kum/Çakıl=30/70
(Figure 5. Dr=0.70, İnj. Pres.=6 atm, Sand/Coarse=30/70)



Şekil 6. Dr=0.70, Enj.Bas.=2 atm, Kum/Çakıl=40/60
(Figure 6. Dr=0.70, İnj. Pres.=2 atm, Sand/Coarse=40/60)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Çalışmada kullanılan çimento incelenecek olursa; inceliği yüksek olan bir çimentoyu meydana getiren danelerin çok küçük boyutlara sahip olduğu tespit edilebilir. Çimentolara genel olarak bakıldığında 90 mikrondan büyük dane miktarının %14'ü aşması istenilen bir durum olmakla beraber bu koşul genellikle günümüzde yerine gelmediği bilinen bir gerçektir. Buna karşın çimentonun inceliği bağlayıcılık ve hidrate eleman miktarının artmasına sebep olduğu aşıkardır. Çimento ham maddesinin incelik modülü ne kadar orantılı ya da ince ise enjeksiyon işlemi de bir o kadar başarılı sonuçlar verir.

Gerçekleştirilen deneylerde değişken olarak kullandığımız parametreler; su/çimento enjeksiyon basıncı, kum/çakıl oranı ve iki farklı rölatif sıklık değerlerinin 7 gün ve 28 günlük basınç dayanımı üzerine etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda;

DeneySEL gerek tablo halinde verilen veriler, gerekse grafikler üzerinden incelendiğinde; su/çimento oranının artışı dayanım değerlerinde belirgin düşümlere neden olmuştur. Literatür ışığında enjeksiyon basıncı uygulamaya çalıştığımız çalışmamızda, orta basınç enjeksiyonlarını temsil eden 2 atm, yüksek basınç enjeksiyonlarını temsil eden 6 atm enjeksiyon basıncı uygulanmıştır. Veriler incelendiğinde, yüksek basınç temsili olan 6 atm enjeksiyon basıncı, 2 atm'lik enjeksiyon basıncı uygulanan numunelere göre basınç dayanımı değerlerini artırdığı açıkça görülmektedir.

Üç farklı zemin türünün basınç dayanımlarına süperakışkanlaştırıcı katkının etkisi incelendiğinde %5 SAK'nın %2 SAK'ya göre daha etkili olduğu görülmektedir. Bununla beraber %5 bentonit katkısının basınç dayanımı üzerinde olumsuz etkisi grafikler üzerinde açıkça görülmektedir.

Dr=0.70 ve Dr=0.35 rölatif sıklık değeri göz önüne alınarak, aynı kum/çakıl oranına sahip zemin numunelerinin dayanımları karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda rölatif sıklığın artması çimento enjeksiyon işlemini güçleştirmiş ve buna bağlı olarak tüm zemin türlerinin basınç dayanımı değerlerinde düşümlere sebep olmuştur.

Enjeksiyon basıncı gerekenden az kullanıldığında enjeksiyon malzemesinin iletimi gecikmekte, basıncı gerekenden fazla artırdığımızda enjeksiyon malzemesinin sistemi terk ettiği görülmüştür. Bu bağlamda birebir uygulamada basıncın optimum ayarlanması gerekliliğini bir kere daha ortaya koymaktadır.

Araştırmada kullanılan 20/80, 30/70, 40/60 kum/çakıl oranlarına sahip zemin numuneleri tablo ve şekillerde görüldüğü gibi kum/çakıl oranının artması dayanım değerlerini olumsuz yönde etkilemiştir.



Çalışmamızda kullanılan parametreler, tamamen literatür den esinlenerek seçilmiştir. Deney parametrelerimizin bir hayli geniş bir yelpaze sergilemiş olmasından dolayı, daha önce yapılmış çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılması yoluna gidilememiştir. Bununla beraber enjeksiyon yöntemiyle üretilmiş granüle yapıllı betonların fiziksel özelliklerine olumlu yönde etkileri olduğu daha önce yapılmış çalışmalarda rastlanmaktadır. Bu bağlamda enjeksiyon yönteminin beton üretiminde uygulanabilirliği konusu yeni araştırmalara temel teşkil edebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Mollamahmutoğlu, M., (1995). Microcem H900 enjeksiyonu temel karakteristikleri. Teknik Dergi, 6, (4), ss:1-2.
2. Zebovitz, S., Krizek, R.J., and Atmatzidis, D.K., (1989). Injection of fine sands with very fine cement grout. Journal of geotechnical engineering. Volume:115, Number:12, pp:1717-1733.
3. Wright, P., (1976). Lime-fly ash injection stabiliztion Conf.on ash.Tech. and marketing, London, British Geotech Soc. London, pp:190-205.
4. Skempton, A.W. and Glossop, R., (1945). Particle size in silt and sands. J. Inst. Civil Eng. 25, pp:81-105.
5. Elston, J., (1962). Cement grouts progress report of the Task Committee on grouting. Proc. ASCE, Journal of SMFE, 88 (SM-2) and paper 3098, pp:49-98.
6. Shimoda M. and Ohmori H., (1982). Ultra fine grouting material. Grouting in geotechnical engineering. ASCE, New York. pp:77-91.
7. İncecik, M. ve Özocak, A., (1994). İnce daneli çimento enjeksiyonu model deneyleri. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği V. Ulusal Kongresi. ODTÜ Ankara. ss:486-497.
8. Ekinci, C.E., and Erşimşek, M., (2006). The research of physical properties of concrete which is containing granular ferrokrom slag which is produced by using the method of injection. e-Journal of New World Sciences Academy, Volume:1, Number:3, pp: 2-3.
9. Incecik, M., ve Şenol, A., (1994). Çimento enjeksiyonunda son gelişmeler. I.T.Ü. Dergisi, 52, (1-2), ss:61-69.
10. Özocak, A., (1994). İnce daneli çimento ile enjeksiyon model deneyleri, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İ.T.Ü.
11. Ceran, I., (1990). Zeminlerin enjeksiyonu ve laboratuvar enjeksiyon deneyler. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İ.T.Ü.