



Makale

Farklı Katkılı Çimento Enjeksiyonunun Düşük Poroziteli Granule Zeminlerde Basınç Dayanımına Etkisi

Ahmet GÖKDEMİR, Kürşat YILDIZ

Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, 06500, Ankara

ÖZET

Bu araştırmada düşük poroziteli kumlu zeminlerde mikro daneli çimento enjeksiyon işlemi sonucunda elde edilen örneklerin mekanik ve dayanım özellikleri incelenmiştir. Bu araştırmanın amacı, ayrık daneli zeminlerde mikro daneli çimento süspansiyonu enjekte edilerek dayanımlarını artırmak için bu tip zeminler üzerinde laboratuvar ortamında çimento enjeksiyon model deney düzeneği kurulmuş ve enjeksiyon iyileştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçta farklı katkı maddeleri kullanılarak çimento enjeksiyonu uygulanmış düşük poroziteli zeminlerin basınç dayanımları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikro Daneli Çimento, Enjeksiyon, Çimento İnceliği

GİRİŞ

Zemin enjeksiyonu, temel olarak akışkan malzemelerin basınç altında zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesidir. Buradaki amaç zeminin ya da kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. Nitekim bu iyileştirme zeminin gerilme deformasyon ve dayanım gibi mekanik özellikleri ile geçirimsizlik gibi hidrojeolojik özellikleri değiştirilerek elde edilir.

Laboratuvar koşullarında düşük poroziteli zemin numunelerine çimento enjeksiyonu uygulayabilmek için çimento enjeksiyon model deney düzeneği oluşturulmuş ve deney düzeneği sayesinde MC 525 tipi çimentoya farklı süper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılarak düşük poroziteli zemin numunelerine enjeksiyon işlemi uygulanmışlar ve sonuçta değişken deney parametrelerinin enjeksiyon işlemine ve zemin numunelerinin basınç dayanımları üzerine etkileri incelenmiştir [1].

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 [2].

İkinci Dünya Savaşının ardından bir grup araştırmacı, çimento katkılı bentonit ve çimento katkısız bentonit karışımları kullanarak, kumlu zeminler üzerinde enjeksiyon işlemi uygulamışlardır [3].

Enjeksiyon materyali olarak; farklı su/çimento oranlarındaki harçlar, çimento ve bentonit içerikli harçlar ve bir takım akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılmış harçların, zemin enjeksiyonu üzerine etkileri incelenmiştir [4].

Enjeksiyon işleminde karşılaşılan problemlerden, su kasma, çökme ve buna bağlı olarak dayanım değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Karşılaşılan bu problemlerin çözümü ve enjeksiyon basıncının tespitinde su/çimento oranının önemine değinilmiştir [5].

Zebovitz ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalar sonucunda çok ince daneli çimento enjeksiyonlarının ince ile orta incelikte kumlu zeminlere enjeksiyonunda enjeksiyon materyalinin içine penetrasyonu sorununu 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. Kumlu zemin granülometrik dağılımının enjekte edilebilirlik oranından daha etkili olduğu izlenmiştir. Özellikle kumlu zemin örnekleri içinde bulunan “ince boyut fraksiyonu” enjeksiyon özellikleri üzerinde olumsuz yönde büyük etkisi olduğu görülmüştür [6].

Shimoda ve Ohmori, 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 4μ civarındadır. Mikro daneli çimento boyutunun bu derece küçük olması bunlarla hazırlanan çimento süspansiyonlarının ince kumlar içine penetrasyonunu mümkün kılmaktadır. Bu tip çimentolar geçirgenlik katsayısı 10^{-3} cm/sn ile 10^{-4} cm/sn arasında olan ince kumlarda etkili olarak enjekte edilebildiği belirtilmiştir [7].

Sandoz firması tarafından yurtdışında imal edilen Rheocem 900 tipi ince daneli çimento kullanılarak İTÜ İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarlarında gerçekleştirilen enjeksiyon model deneylerinde kullanılan çimentonun özgül yüzey alanı $95 \text{ m}^2/\text{N}$ ($9300 \text{ cm}^2/\text{gr}$) ve ortalama dane boyutu 5μ 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 [8].

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 [9].

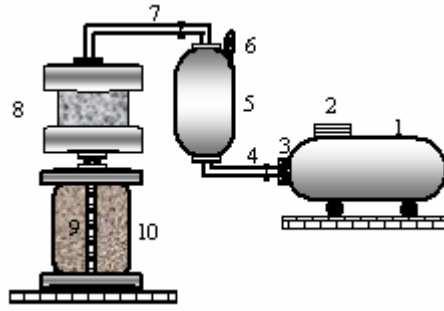
Uygulanan basınca göre sınıflandırma ise şöyledir:

- Alçak Basınç Enjeksiyonları: Enjeksiyon karışımının 1 MPa'dan daha az bir basınçla uygulanması durumudur. Genellikle yüzeye yakın yerlere uygulanırlar. Sondaj derinliği 5-15 metredir.
- Orta Basınç Enjeksiyonları: Enjeksiyon basıncının 1-3 MPa arasında olduğu durumdur. Sondaj derinliği 15-30 m 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. Bu tip enjeksiyonlar günümüzde iki şekilde uygulanmaktadır. 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 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, tıplar arası mesafeyi artırarak mümkün olmaktadır. Manşetli borunun etrafında bulunan muhafaza harç, sertleştikten sonra çok kuvvetli olmamalıdır. Genellikle kil-çimento kullanılmaktadır. [9,10,11,12].

Bu çalışmada, ayrık daneli zeminleri temsilen üç farklı zemin türüne, dört farklı katkı kullanılarak hazırlanmış mikro daneli çimento süspansiyonu, çimento enjeksiyon model deney düzeneği kullanılarak enjeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçta farklı katkı maddeleri kullanılarak çimento enjeksiyonu uygulanmış ve zeminlerin basınç dayanımları karşılaştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada ince daneli çimento enjeksiyonu yapmak üzere tarafımızdan tasarlanan çimento enjeksiyon model deney düzeneği Şekil 1'de verilmiştir.

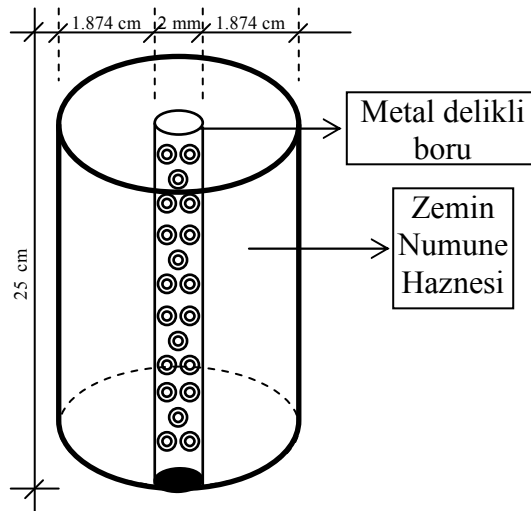


Şekil 1. Çimento enjeksiyon model deney düzeneği

Şekil 1’de verilen deney seti üzerinde rakamlarla ifade edilen aparat ve/veya bölümler;

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 numune haznesi.

Şekil 1’de gösterilen enjeksiyon model deney düzeneği, şantiye uygulamaları ve literatürden esinlenerek tasarlanmıştır. Enjeksiyon model deney düzeneği, bir kompresör vasıtasıyla karışımın besleme haznesine 10 atm basınca dayanıklı plastik boru ile bağlandı. Kompresör ile besleme haznesi arasında yerleştirilen hava regülatörü sayesinde uygulanmak istenen basınç ayarlandı. Zemin numune haznesi ve enjeksiyon borusu şematik olarak Şekil 2’de verilmiştir. Enjeksiyon materyalleri zemin numuneleri içerisine homojen bir şekilde dağılması için, 2 mm çapındaki delikli boru zemin numunesi ile beraber Şekil 2’de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Numuneyi kalıba yerleştirdikten sonra, kalıbın üstten 2 cm’sine çakıl filtre yerleştirildi. Bu işlem fazla gelen çimento enjeksiyon malzemesinin kalıbı kolay terk etmesi için yapıldı. Çimento enjeksiyon malzemesi ayrı bir kaptaki karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra besleme haznesine boşaltıldı. Literatür ışığında seçilen enjeksiyon basınç değerleri, manometreden 2 atm ve 6 atm değerleri okunarak 20/80,30/70,40/60 kum/çakıl oranına sahip üç tip zemin numunesine enjeksiyon işlemi uygulanmıştır. Japonya geoteknik birliği (JGS) tarafından yayınlanan standart (JGS-543-2000)’e uygun bir numune hazırlama metodu kullanılmıştır. Buna göre kuru yağmurlama metoduyla $D_r=0,35$ ve $D_r=0,70$ rölatif sıkılık elde etmek için sırasıyla 10-15, 25-35 cm yükseklikten sekiz tabaka halinde dökülerek rölatif sıkılık değerleri elde edilmiştir. Enjeksiyon işlemi rölatif sıkılığı $D_r=0,35$ ve $D_r=0,70$ olarak elde edilen zemin numuneleri için ayrı ayrı uygulanmıştır.



Şekil 2. Zemin numune haznesi

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 PÇ 32,5 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 katkı maddesi yukarıda belirtildiği gibi enjekte edilmiştir. Enjeksiyon uygulanmış numuneler, Şekil'2 de gösterilen numune haznesinden çıkarılarak, laboratuvar ortamında 23 ± 2 °C hava küründe bekletilmiştir. Hava küründe 7 ve 28 gün bekleyen numuneler üzerinde TS EN 12390-4'e uygun basınç deney makinasında, 0,2 (N/mm².s) sabit bir yükleme hızı ile serbest basınç deneyi yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

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 ile Tablo 12 arasında verilmiştir.

Tablo 1. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (PÇ 32,5, Dr =0.35, Enjeksiyon basıncı = 2 atm, Kum/Çakıl=20/80).

Deney No (A)	Katkı maddesi	% Kum	% Çakıl	Su/Çimento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün kg/cm ²	28 Gün kg/cm ²
1	%5 SAK	20	80	0,6	2,0	34	-	-
2		20	80	0,8	2,0	33	72	90
3		20	80	1,0	2,0	31	69	87
4	%2 SAK	20	80	0,6	2,0	36	-	-
5		20	80	0,8	2,0	34	70	88
6		20	80	1,0	2,0	33	64	80
7	%3 Na_2SiO_4	20	80	0,6	2,0	43	-	-
8		20	80	0,8	2,0	40	60	75
9		20	80	1,0	2,0	39	56	70
10	%2 SAK	20	80	0,6	2,0	42	-	-
11	%5 Bent	20	80	0,8	2,0	40	54	68
12	%3 Na_2Si_4	20	80	1,0	2,0	38	50	63

Tablo 2. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (PÇ 32,5, Dr =0.35, Enjeksiyon basıncı= 6 atm, Kum/Çakıl=20/80).

Deney No (B)	Katkı maddesi	% Kum	% Çakıl	Su/Çimento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün kg/cm ²	28 Gün kg/cm ²
1	%5 SAK	20	80	0,6	6,0	34	-	-
2		20	80	0,8	6,0	33	76	95
3		20	80	1,0	6,0	31	70	88
4	%2 SAK	20	80	0,6	6,0	36	-	-
5		20	80	0,8	6,0	37	72	90
6		20	80	1,0	6,0	33	67	84
7	%3 Na_2SiO_4	20	80	0,6	6,0	43	-	-
8		20	80	0,8	6,0	40	62	78
9		20	80	1,0	6,0	39	58	73
10	%2 SAK	20	80	0,6	6,0	42	-	-
11	%5 Bent	20	80	0,8	6,0	40	56	70
12	%3 Na_2Si_4	20	80	1,0	6,0	38	52	65

Tablo 3. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (PÇ 32,5, Dr =0.35, Enjeksiyon basıncı= 2 atm, Kum/Çakıl= 30/70).

Deney No (C)	Katkı maddesi	% Kum	% Çakıl	Su/Çimento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 Gün kg/cm ²	28 Gün kg/cm ²
1	%5	30	70	0,6	2,0	34	-	-
2	SAK	30	70	0,8	2,0	33	70	49
3		30	70	1,0	2,0	31	68	48
4	%2	30	70	0,6	2,0	36	-	-
5	SAK	30	70	0,8	2,0	34	67	47
6		30	70	1,0	2,0	33	63	44
7	%3	30	70	0,6	2,0	43	-	-
8	Na ₂ SiO ₄	30	70	0,8	2,0	40	60	42
9		30	70	1,0	2,0	39	55	39
10	%2 SAK	30	70	0,6	2,0	42	-	-
11	%5 Bent	30	70	0,8	2,0	40	52	37
12	%3Na ₂ Si ₄	30	70	1,0	2,0	38	50	35

Tablo 4. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (PÇ 32,5, Dr =0.35, Enjeksiyon basıncı.=6 atm Kum/Çakıl= 30/70).

Deney No (D)	Katkı maddesi	% Kum	% Çakıl	Su/Çimento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 Gün kg/cm ²	28 Gün kg/cm ²
1	%5	30	70	0,6	6,0	34	-	-
2	SAK	30	70	0,8	6,0	33	75	53
3		30	70	1,0	6,0	31	70	49
4	%2	30	70	0,6	6,0	36	-	-
5	SAK	30	70	0,8	6,0	37	70	49
6		30	70	1,0	6,0	33	65	56
7	%3	30	70	0,6	6,0	43	-	-
8	Na ₂ SiO ₄	30	70	0,8	6,0	40	60	42
9		30	70	1,0	6,0	39	57	40
10	%2 SAK	30	70	0,6	6,0	42	-	-
11	%5 Bent	30	70	0,8	6,0	40	53	37
12	%3Na ₂ Si ₄	30	70	1,0	6,0	38	48	34

Tablo 5. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (PÇ 32,5, Dr =0.35, Enjeksiyon basıncı=2 atm, Kum/Çakıl= 40/60).

Deney No (E)	Katkı maddesi	% Kum	% Çakıl	Su/Çimento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün kg/cm ²	28 Gün kg/cm ²
1	%5	40	60	0,6	2,0	34	-	-
2	SAK	40	60	0,8	2,0	33	73	51
3		40	60	1,0	2,0	31	68	48
4	%2	40	60	0,6	2,0	36	-	-
5	SAK	40	60	0,8	2,0	34	67	47
6		40	60	1,0	2,0	33	65	46
7	%3	40	60	0,6	2,0	43	-	-
8	Na ₂ SiO ₄	40	60	0,8	2,0	40	61	43
9		40	60	1,0	2,0	39	55	39
10	%2 SAK	40	60	0,6	2,0	42	-	-
11	%5 Bent	40	60	0,8	2,0	40	53	37
12	%3Na ₂ Si ₄	40	60	1,0	2,0	38	48	34

Tablo 6. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (PÇ 32,5, Dr =0.35, Enjeksiyon basıncı=6 atm, Kum/Çakıl= 40/60).

Deney No (F)	Katkı maddesi	% Kum	% Çakıl	Su/Çimento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün kg/cm ²	28 Gün kg/cm ²
1	%5	40	60	0,6	6,0	34	-	-
2	SAK	40	60	0,8	6,0	33	75	53
3		40	60	1,0	6,0	31	70	49
4	%2	40	60	0,6	6,0	36	-	-
5	SAK	40	60	0,8	6,0	34	70	49
6		40	60	1,0	6,0	33	66	46
7	%3	40	60	0,6	6,0	43	-	-
8	Na ₂ SiO ₄	40	60	0,8	6,0	40	61	43
9		40	60	1,0	6,0	39	57	40
10	%2 SAK	40	60	0,6	6,0	42	-	-
11	%5 Bent	40	60	0,8	6,0	40	56	39
12	%3Na ₂ Si ₄	40	60	1,0	6,0	38	51	36

Tablo 7. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (PÇ 32,5, Dr =0.70, Enjeksiyon basıncı=2 atm, Kum/Çakıl= 20/80).

Deneç No (G)	Katkı maddesi	% Kum	% Çakıl	Su/Çimento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 Gün kg/cm ²	28 Gün kg/cm ²
1	%5 SAK	20	80	0,6	2,0	34	-	-
2		20	80	0,8	2,0	33	68	85
3		20	80	1,0	2,0	31	66	83
4	%2 SAK	20	80	0,6	2,0	36	-	-
5		20	80	0,8	2,0	34	65	81
6		20	80	1,0	2,0	33	63	79
7	%3 Na ₂ SiO ₄	20	80	0,6	2,0	43	-	-
8		20	80	0,8	2,0	40	59	74
9		20	80	1,0	2,0	39	56	70
10	%2 SAK	20	80	0,6	2,0	42	-	-
11	%5 Bent	20	80	0,8	2,0	40	52	65
12	%3Na ₂ Si ₄	20	80	1,0	2,0	38	48	60

Tablo 8. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (PÇ 32,5, Dr =0.70, Enjeksiyon basıncı = 6 atm, Kum/Çakıl= 20/80).

Deneç No (H)	Katkı maddesi	% Kum	% Çakıl	Su/Çimento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 Gün kg/cm ²	28 Gün kg/cm ²
1	%5 SAK	20	80	0,6	6,0	34	-	-
2		20	80	0,8	6,0	33	75	94
3		20	80	1,0	6,0	31	71	89
4	%2 SAK	20	80	0,6	6,0	36	-	-
5		20	80	0,8	6,0	37	70	88
6		20	80	1,0	6,0	33	67	84
7	%3 Na ₂ SiO ₄	20	80	0,6	6,0	43	-	-
8		20	80	0,8	6,0	40	61	76
9		20	80	1,0	6,0	39	58	73
10	%2 SAK	20	80	0,6	6,0	42	-	-
11	%5 Bent	20	80	0,8	6,0	40	53	66
12	%3Na ₂ Si ₄	20	80	1,0	6,0	38	51	64

Tablo 9. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (PÇ 32,5, Dr =0.70, Enjeksiyon basıncı=2 atm, Kum/Çakıl= 30/70).

Deney No (İ)	Katkı maddesi	% Kum	% Çakıl	Su/Çimento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün kg/cm ²	28 Gün kg/cm ²
1	%5	30	70	0,6	2,0	34	-	-
2	SAK	30	70	0,8	2,0	33	68	85
3		30	70	1,0	2,0	31	65	81
4	%2	30	70	0,6	2,0	36	-	-
5	SAK	30	70	0,8	2,0	34	65	81
6		30	70	1,0	2,0	33	62	78
7	%3	30	70	0,6	2,0	43	-	-
8	Na ₂ SiO ₄	30	70	0,8	2,0	40	58	73
9		30	70	1,0	2,0	39	55	69
10	%2 SAK	30	70	0,6	2,0	42	-	-
11	%5 Bent	30	70	0,8	2,0	40	51	64
12	%3Na ₂ Si ₄	30	70	1,0	2,0	38	48	60

Tablo 10. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (PÇ 32,5, Dr =0.70, Enjeksiyon basıncı=6 atm, Kum/Çakıl= 30/70).

Deney No (İ)	Katkı maddesi	% Kum	% Çakıl	Su/Çimento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınç Dayanımı	
							7 Gün kg/cm ²	28 Gün kg/cm ²
1	%5	30	70	0,6	6,0	34	-	-
2	SAK	30	70	0,8	6,0	33	74	93
3		30	70	1,0	6,0	31	70	88
4	%2	30	70	0,6	6,0	36	-	-
5	SAK	30	70	0,8	6,0	37	69	86
6		30	70	1,0	6,0	33	67	84
7	%3	30	70	0,6	6,0	43	-	-
8	Na ₂ SiO ₄	30	70	0,8	6,0	40	60	75
9		30	70	1,0	6,0	39	56	70
10	%2 SAK	30	70	0,6	6,0	42	-	-
11	%5 Bent	30	70	0,8	6,0	40	52	65
12	%3Na ₂ Si ₄	30	70	1,0	6,0	38	47	59

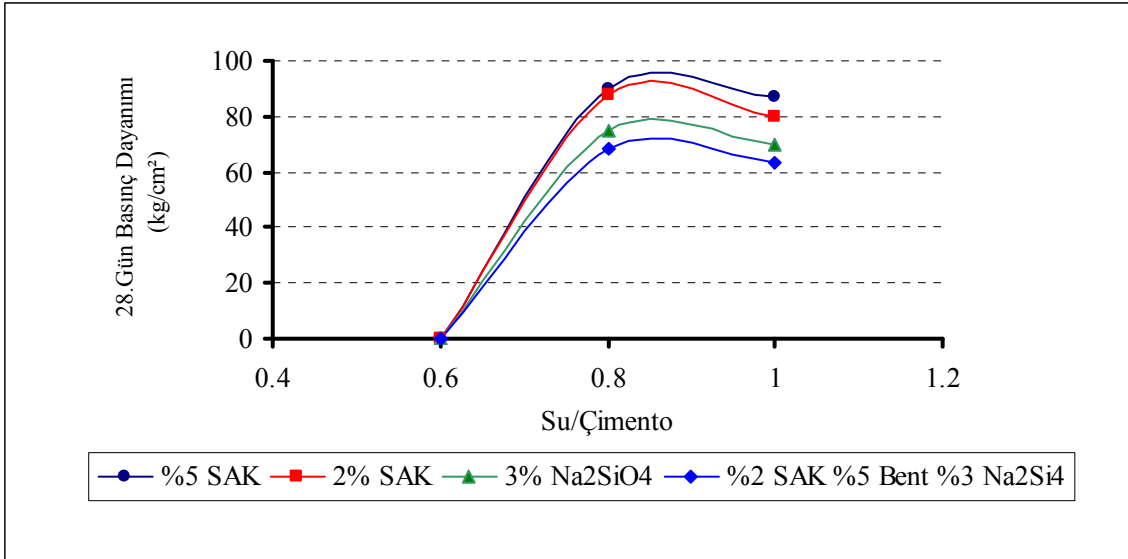
Tablo 11. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (P 32,5, Dr =0.70, Enjeksiyon basıncı=2 atm, Kum/akıl= 40/60).

Deneş No (J)	Katkı maddesi	% Kum	% akıl	Su/imento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 GÜN kg/cm ²	28 GÜN kg/cm ²
1	%5 SAK	40	60	0,6	2.0	34	-	-
2		40	60	0,8	2.0	33	74	49
3		40	60	1,0	2.0	31	67	47
4	%2 SAK	40	60	0,6	2.0	36	-	-
5		40	60	0,8	2.0	34	66	46
6		40	60	1,0	2.0	33	64	45
7	%3 Na ₂ SiO ₄	40	60	0,6	2.0	40	-	-
8		40	60	0,8	2.0	40	60	42
9		40	60	1,0	2.0	39	54	38
10	%2 SAK	40	60	0,6	2.0	42	-	-
11	%5 Bent	40	60	0,8	2.0	40	52	37
12	%3Na ₂ Si ₄	40	60	1,0	2.0	38	47	33

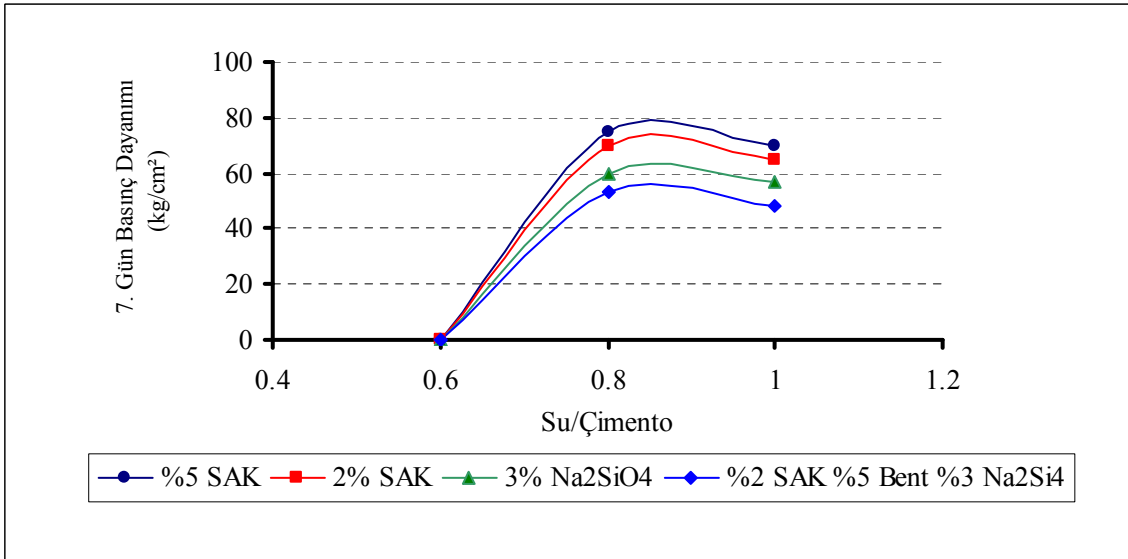
Tablo 12. Enjeksiyon uygulanmış numunelerin dayanım değerleri (P 32,5, Dr =0.70, Enjeksiyon basıncı= 6 atm, Kum/akıl= 40/60).

Deneş No (K)	Katkı maddesi	% Kum	% akıl	Su/imento	Enj. Bas.(atm)	Viskozite (sn)	Basınc Dayanımı	
							7 GÜN kg/cm ²	28 GÜN kg/cm ²
1	%5 SAK	40	60	0,6	6,0	34	-	-
2		40	60	0,8	6,0	33	74	49
3		40	60	1,0	6,0	31	71	50
4	%2 SAK	40	60	0,6	6,0	36	-	-
5		40	60	0,8	6,0	37	68	48
6		40	60	1,0	6,0	33	65	46
7	%3 Na ₂ SiO ₄	40	60	0,6	6,0	43	-	-
8		40	60	0,8	6,0	40	60	42
9		40	60	1,0	6,0	39	51	36
10	%2 SAK	40	60	0,6	6,0	42	-	-
11	%5 Bent	40	60	0,8	6,0	40	55	39
12	%3Na ₂ Si ₄	40	60	1,0	6,0	38	50	35

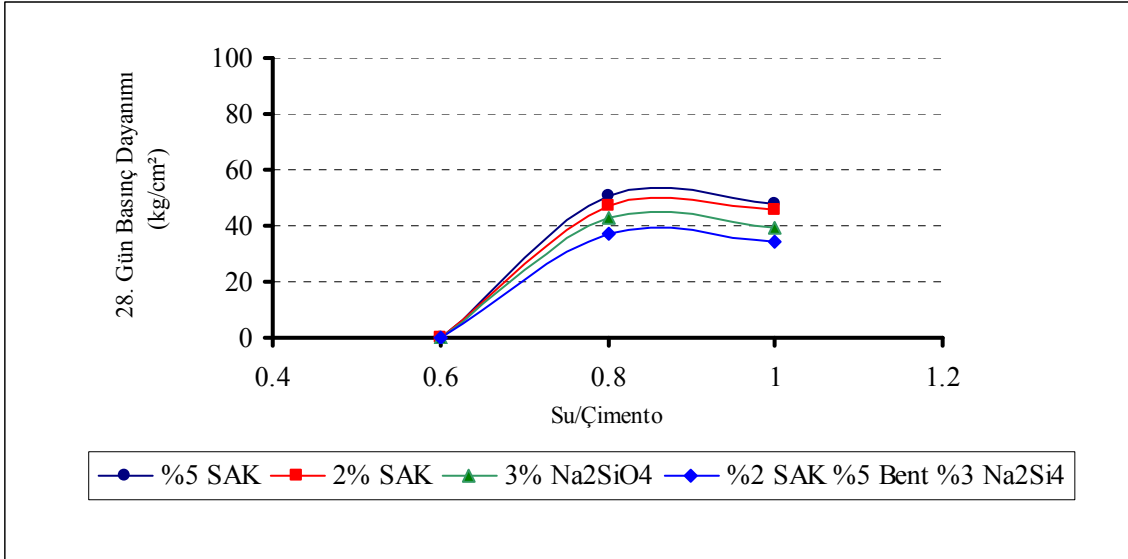
Tablo 1 ile Tablo 12 arasında elde edilen verilerin görsel olarak değerlendirilebilmesi açısından, aşağıda Şekil 2 ile Şekil 7 arasında verilmiştir. Su/imento oranının basınc dayanımı ile ilişkisini sergileyen bu grafikler araştırmanın genelini sergileyebilecek Şekilde seçilmiştir.



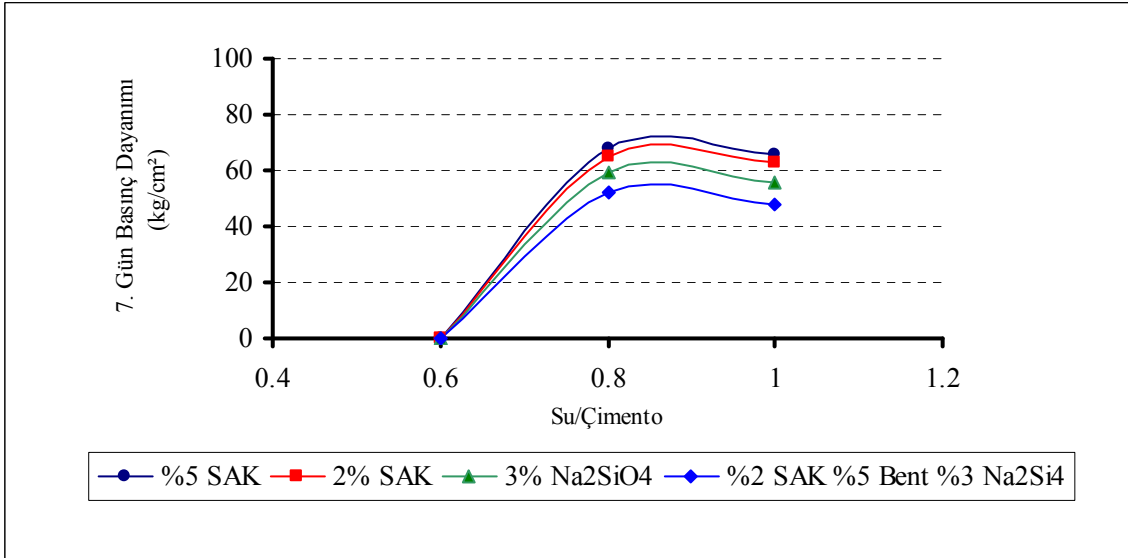
Şekil 2. 28. Gün basınç dayanımı – su/çimento ilişkisi (Rölatif Sıklık $D_r=0.35$, Enjeksiyon basıncı =2 atm, Kum/Çakıl=20/80)



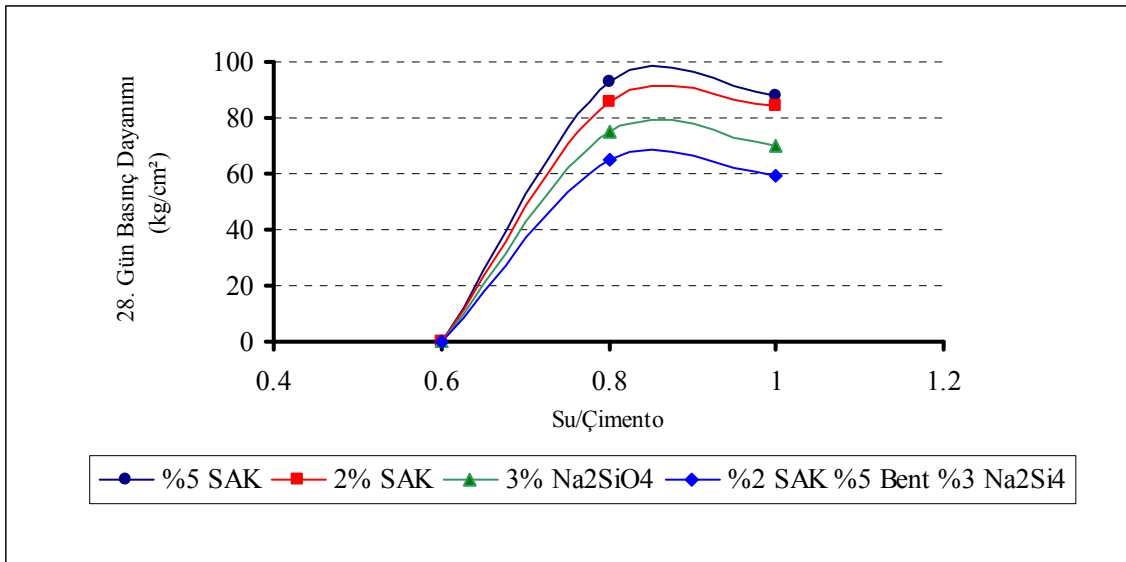
Şekil 3. 7. Gün basınç dayanımı – su/çimento ilişkisi (Rölatif Sıklık $D_r=0.35$, Enjeksiyon basıncı =.6 atm, Kum/Çakıl==30/70)



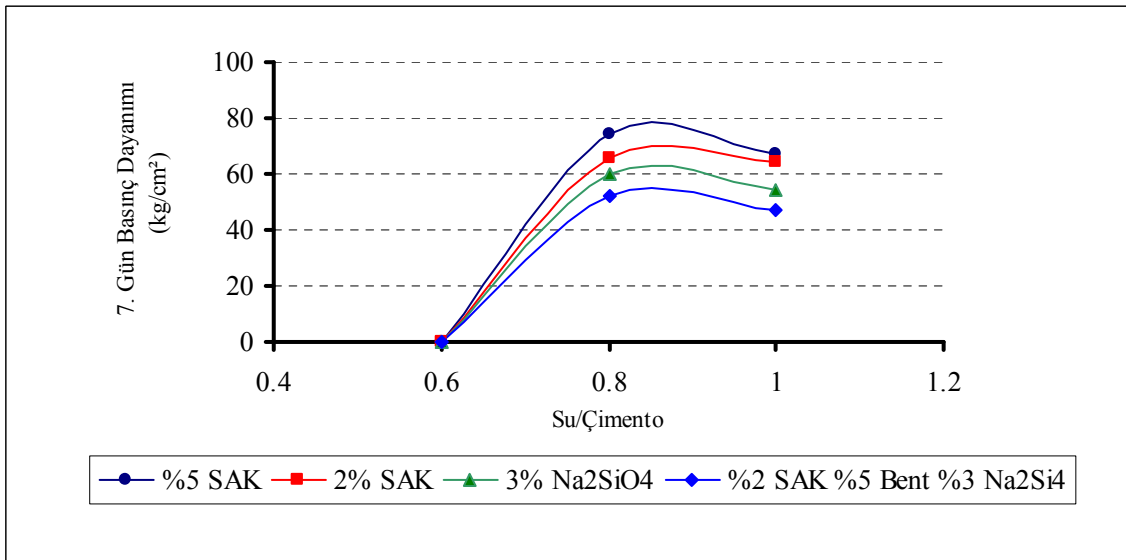
Şekil 4. 28. Gün basınç dayanımı – su/çimento ilişkisi (Rölatif Sıklık $D_r=0.35$, Enjeksiyon basıncı =2 atm, Kum/Çakıl=40/60)



Şekil 5. 7. Gün basınç dayanımı – su/çimento ilişkisi (Rölatif Sıklık $D_r=0.70$, Enjeksiyon basıncı = 2 atm, Kum/Çakıl=20/80)



Şekil 6. 28. Gün basınç dayanımı – su/çimento ilişkisi (Rölatif Sıklık $D_r=0.70$, Enjeksiyon basıncı =.6 atm, Kum/Çakıl=30/70)



Şekil 7. 7. Gün basınç dayanımı – su/çimento ilişkisi (Rölatif Sıklık $D_r=0.70$, Enjeksiyon basıncı =.2 atm, Kum/Çakıl=40/60)

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.

Su/çimento oranı 0,6 olduğu bütün deney numunelerinde enjeksiyon işlemi gerçekleştirilememiştir. Bu nedenle basınç değeri okunamamıştır. Aynı zamanda sistemde kısmi tıkanmalara sebep olmuştur.

Değişken olarak kullandığımız en önemli parametrelerden Su/çimento oranında suyu artırdığımızda akışkanlık artmakta fakat mukavemet düşmektedir. Çimentoyu artırıp suyu azaltığımızda akışkanlık azalmakta ve büzülme artmaktadır. Bu durum enjeksiyon model düzeneğinde tıkanıklıklara yol açmıştır.

Su/çimento, enjeksiyon basıncı, kum/çakıl oranı, ve iki farklı rölatif sıklık değerleri gibi parametreler tamamen literatürden esinlenerek seçilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel veriler incelendiğinde çimento ağırlığının %5'i oranında bentonit eklenerek enjekte edilen zemin numunelerinden elde edilen dayanım değerlerinde düşüşler gözlenmesine rağmen, bentonit katkısı sonucunda enjeksiyon karışımının çökelmeye karşı stabilitesinde artış tespit edilmiştir.

Yüksek viskoziteye sahip yani düşük su/çimento oranı düşük poroziteli karışımlara enjekte edilmiş örneklerin dayanımlarının daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. Süper akışkanlaştırıcı katkılı enjeksiyon karışımlarının viskozite değerleri 10 sn dolayında bulunmuştur.

Enjeksiyon basınçlarında ki artışlar enjekte edilmiş kum/çakıl karışımı örneklerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerinde önemli artışlara neden olmuştur.

Gerçekleştirilen deneylerde değişken olarak kullanılan parametreler; su/çimento, enjeksiyon basıncı, kum/çakıl oranı, ve iki farklı rölatif sıklık değerlerinin 7 gün ve 28 günlük basınç dayanımı üzerine etkileri incelenmiş ve aşağıdaki yargılara varılmıştır.

Enjeksiyon uygulamalarında, enjeksiyon malzemesi su/çimento oranı, farklı kum/çakıl oranına sahip enjeksiyon yapılmış zemin numunelerinin 7 gün ve 28 gün basınç dayanımlarına önemli derecede etki ettiği görülmüştür. Bu etki su/çimento oranı arttıkça dayanım değerleri düşmüştür.

Bunun yanı sıra su/çimento oranı düştükçe akışkanlığın azaldığı ve büzülmenin arttığı gözlemlenmiş bu da deney düzeneğinde tıkanıklıklara yol açmıştır.

Enjeksiyon basıncı gerekenden az kullanıldığında enjeksiyon malzemesinin iletimi gecikmekte, basıncı gerekenden fazla artırdığımızda enjeksiyon malzemesinin sistemi tahliye çıkışı vanasından 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 üzere kum/çakıl oranının artması dayanım değerlerini olumsuz yönde etkilemiştir. Üç farklı zemin türüne uygulanan katkılı çimento enjeksiyonlarında şekillerden de açıkça görüldüğü üzere %5 SAK kullanımının isabetli olacağı aşıkardır.

KAYNAKLAR

1. GÖKDEMİR, A., YILDIZ, K., 2007. Microcem 525 çimento enjeksiyonunun düşük poroziteli Zeminlerin basınç dayanımına etkisi. e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 2, Number: 2
2. MOLLAMAHMUTOĞLU, M., 1995. Microcem H900 enjeksiyonu temel karakteristikleri. Teknik Dergi, 6, (4), ss:1-2.
3. SKEMPTON, A. W., GLOSSOP R., 1945. Particle size in silt and sands . J. İnst. Civ. Eng. 25, pp 81-105.
4. ELSTON. J. 1962. Cement grouts progress report of the Task Commitee on grouting. Proc. ASCE, Journal of SMFE, 88 (SM-2) and paper 3098 pp. 49-98,

5. WRIGHT, P., 1986. Lime – fly ash injection stabiliztion Conf.on ash.Tech. and marketing, London, British Geotech Soc. London, pp.190-205.
6. ZEBOVITZ S., KRIZEK R. J., ATMATZIDIS D. K., 1989. Injection of fine sands with very fine cement grout". Journal of geotechnical engineering. Vol. 115, No. 12, pp. 1717-1733.
7. SHIMODA M., OHMORI H. 1982. Ultra fine grouting material". pp 77-91.Grouting in geotechnical engineering . ASCE, New York.
8. İNCECİK, M., ÖZOCAK, A., 1994. "İnce Daneli Çimento Enjeksiyonu Model Deneyleri" Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği V. Ulusal Kongresi. ODTÜ Ankara. Sy. 486-497.
9. EKİNCİ, C. E., ERŞİMŞEK, M., 2006. The Research Of Physical Properties Of Concrete Which Is Containing Granular Ferrokrom Slag Which Is Produced By Using The Method Of İnjection. e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 1, Number: 3, pp: 2-3.
10. İNCECİK, M., ŞENOL, A., 1994. Çimento enjeksiyonunda son gelişmeler. I.T.Ü. Dergisi, 52, (1-2), ss:61-69.
11. ÖZOCAK,A., 1994. İnce daneli çimento ile enjeksiyon model deneyleri, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İ.T.Ü.
12. CERAN, I., 1990. Zeminlerin enjeksiyonu ve laboratuar enjeksiyon deneyler. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İ.T.Ü.