

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN GRANÜLE YAPILI
FERROKROM CÜRUFU KATKILI BETONLARIN FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mustafa ERŞİMŞEK

Tez Yöneticisi
Y.Doç.Dr. Cevdet Emin EKİNCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ-2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN GRANÜLE YAPILI
FERROKROM CÜRUFU KATKILI BETONLARIN FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mustafa ERŞİMŞEK

Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Y.Doç.Dr. Cevdet Emin EKİNCİ

Üye: Doç.Dr. Ragıp İNCE

Üye: Y.Doç.Dr. Ömer KELEŞOĞLU

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Tüm bu çalıőmalarda bana yardımcı olan değerli meslektaőım Atilla TAŐDEMİR ve çalıőmalarda danıőmanlık yapan değerli hocam Y.Doç.Dr. Cevdet Emin EKİNCİ'ye sonsuz teőekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	I
1.2. Amaç	1
1.3. Yöntem.....	2
2. ENJEKSİYON İŞLEMİ	3
2.1. Giriş	3
2.2. Enjeksiyon İşleminin Projelendirilmesi İçin Yapılan Çalışmalar.....	4
2.2.1. Enjeksiyon Yöntemi Tayini İçin Yapılan Ön Çalışmalar.....	4
2.2.1.1. Yeraltındaki Büyük Boşlukların İncelenmesi.....	4
2.2.1.2. Kayada Çatlak ve Yarıkların İncelenmesi	5
2.2.1.3. Daneli Zeminlerin Enjeksiyonu İçin Yapılan İncelemeler	6
2.2.2. Enjeksiyon Karışımı Seçiminde Kriterler	6
2.2.3. Enjeksiyon Uygunluk Deneyleri.....	6
2.3. Enjeksiyon İşlemlerinin Sınıflandırılması	7
2.3.1. Amaçlara Göre Sınıflandırma.....	7
2.3.1.1. Deney Enjeksiyonları	7
2.3.1.2. Uygulama Enjeksiyonları	7
2.3.2. Uygulama Yerine Göre Sınıflandırma	7
2.3.3. İşlevlerine Göre Sınıflandırma.....	8
2.3.3.1. Perde Enjeksiyonları	8
2.3.3.2. Sağlamlaştırma (Konsolidasyon) Enjeksiyonları.....	8
2.2.3.3. Dolgu (Kontakt) Enjeksiyonları.....	8
2.3.3.4. Alüvyon Enjeksiyonları	9
2.3.4. Uygulanan Basınca Göre Sınıflandırma	9
2.3.4.1. Alçak Basınç Enjeksiyonları.....	9
2.3.4.2. Orta Basınç Enjeksiyonları	9
2.3.4.3. Yüksek Basınç Enjeksiyonları	9
2.4 . Enjeksiyon Karışımı	10
2.4.1. Enjeksiyon Karışımının Elemanları.....	10

2.4.2. Enjeksiyon Karışımının Özellikleri	11
2.4.2.1. Akışkanlık (Viskozite)	11
2.4.2.2. Stabilite	11
2.4.2.3. Katılma Süresi	11
2.4.2.4. Büzülme	12
2. 5. Enjeksiyon Yöntemleri	12
2.5.1. Açık Taban Boru Yöntemi.....	12
2.5.2. Manşetli Boru Yöntemi	13
2.5.3. Enjeksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	14
2.6. Enjeksiyon Donanımı	16
2.6.1. Hızlı Karıştırıcılar	16
2.6.1.1. Kolloidal Karıştırıcılar	16
2.6.1.2 . Pervaneli Karıştırıcılar	16
2.6.1.3. Jet Karıştırıcılar.....	17
2.6.2. Yavaş Karıştırıcılar(Ajitatör)	17
2.6.3. Pompalar	17
2.6.4. Ağırlık Dozajı Ayarlayıcılar	18
2.6.5. Basma ve Geri Dönüş Boruları	18
2.6.6. Yardımcı Ekipmanlar.....	18
3. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER	20
3.1. Çimento.....	20
3.2. Granüle Yapılı Ferrokrom Cürufu	20
3.3. Agrega.....	21
4. ENJEKSİYON DENEYLERİNDE KULLANILAN ALETLER.....	23
4.1. Kompresör	23
4.2. Hava Regülatörü, Manometre.....	23
4.3. Hidrolik Hortum	23
4.4. Besleme Haznesi.....	23

4.5. Rijit Başlık	23
4.6. Metal İnce Boru	24
4.7. Silindir Kalıp.....	24
4.8. Küp Kalıp.....	24
4.9. Mikser	25
4.11. Su	25
4.12. Tartı.....	25
5. ENJEKSİYON MODEL DENEYLERİNDE NUMUNE VE KARIŞIM ÖZELLİKLERİ	26
5.1. Deney Düzeneği.....	27
5.2. Deneyin Yapılışı	27
5.2.1. Deney Düzeneğinin Hazırlanışı	27
5.2.2. Enjeksiyon Şartlarını Belirlemek İçin Yapılan Ön Deneyler	28
5.2.3. Esas Enjeksiyon Deneyleri	30
5.2.4. Basınç.....	32
5.2.5. Viskozite	32
6. ÇİMENTO ENJEKSİYON DENEYLERİ	33
6.1. Basınç Dayanımı.....	33
6.1.1. Giriş	33
6.1.2. Deney Yöntemi ve Elde Edilen Veriler	33
6.1.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	35
6.2. Bilyalı Tambur (Los Angeles) aşınma Deneyi	36
6.2.1. Giriş	36
6.2.2. Deney Yöntemi ve Elde Edilen Veriler	36
6.2.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	39
6.3. Donma-Çözülme Dayanımı Deneyi.....	39
6.3.1. Giriş	39

6.3.2. Deney Yöntemi ve Elde Edilen Veriler	41
6.3.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	41
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR	44
ÖZ GEÇMİŞ	45

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1, Lugeon Deneyi.....	5
Şekil 2.2, Açık Taban Boru Yöntemi.....	13
Şekil 2.3, Manşetli Boru Yöntemi.....	14
Şekil 3.1, Granül Malzemenin Granülometrisi.....	20
Şekil 3.2, Çimento Enjeksiyon Model Deneylerinde Kullanılan Agreganın Granülometrisi.....	21
Şekil 6.1, Numunelerin 28 Günlük ve 56 Günlük Basınç Dayanımları.....	34
Şekil 6.2, Numunelerin 28 Günlük ve 56 Günlük Basınç Dayanımları.....	35
Şekil 6.3, 28 Günlük Aşınma Kayıpları.....	38
Şekil 6.4, 56 Günlük Aşınma Kayıpları.....	39

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1, Enjeksiyon Yöntemlerinin Çeşitli Kriterlere Göre Karşılaştırılması.....	15
Tablo 3.1, Çimentoların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	20
Tablo 5.1, Deney Planı.....	26
Tablo 5.2, Numune Sayıları.....	26
Tablo 5.3, Deneylerde Kullanılacak Numune Sayıları.....	31
Tablo 6.1, 28 ve 56 Günlük Numunelerin Aşınma Miktarları (kg).....	37

FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Fotoğraf 3.1, Granül Malzeme.....	21
Fotoğraf 3.2, Deneylerde Kullanılan Agregasyon.....	22
Fotoğraf 4.1, Enjeksiyon Çubuğu.....	24
Fotoğraf 4.2, Mikser.....	25
Fotoğraf 5.1, Deney Düzeneği.....	27
Fotoğraf 5.2, Numunelere Çimento Enjeksiyonu Uygulanması.....	28
Fotoğraf 5.3, Kısmi Enjeksiyon Olmuş Numuneler.....	29
Fotoğraf 5.4, Elek Analiz Makinesi.....	30
Fotoğraf 5.5, Enjeksiyona Hazırlanmış Kalıplar.....	31
Fotoğraf 5.6, Kür Havuzu.....	32
Fotoğraf 6.1, Basınç Aleti.....	34
Fotoğraf 6.2, Basınç Aletinde Yüzeysel Kırılmış Numuneler.....	35
Fotoğraf 6.3, Los Angeles (Aşınma) Aleti.....	37
Fotoğraf 6.4, 100 ve 500 Devir Sonrası Numunelerin Görünümü.....	38
Fotoğraf 6.5, Donma-Çözülme Fotoğrafı.....	42

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN GRANÜLE YAPILI FERROKROM CÜRUFU KATKILI BETONLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mustafa ERŞİMŞEK

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

2006, Sayfa : 44

Bu çalışmada, enjeksiyon yöntemiyle üretilmiş granüle ferrokrom cürufu katkı betonların fiziksel özellikleri basınç dayanımı, Los Angeles ağırlık kaybı ve donma-çözülme deneyleri yapılarak araştırılmıştır.

Betonlarda 0-4 mm agrega malzemesi olarak granüle ferrokrom cürufu kullanılmıştır. 4-19 mm agrega olarak normal agrega kullanılmıştır. Betonlarda granüle ferrokrom karışım oranı %10, %20 ve %30'dur.

Deneylerde elde edilen sonuçlara göre granüle ferrokrom cürufu katkı oranı arttıkça betonlarda basınç dayanımı, aşınma ve donma-çözülme karşı dayanımlarda bir artış elde edilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Enjeksiyon, Basınç dayanımı, Donma-çözülme, Aşınma kaybı.

ABSTRACT

Master Thesis

THE RESEARCH OF PHYSICAL PROPERTIES OF CONCRETE WHICH IS CONTAINING GRANULAR FERROKROM SLAG WHICH IS PRODUCED BY USING THE METHOD OF INJECTION

Mustafa ERŞİMŞEK

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Construction Education

2006, Page: 44

In this study, physical properties of concrete which is containing granular ferrokrom slag which is produced by using the method of injection are researched by doing experiments of pressure resistance, Los Angeles weight loss (abrasion loss) and freezing-thawing.

In the concrete granular ferrokrom slag is used as 0-4 mm aggregate material. Normal aggregate is used as 4-19 mm. The mix ratio of granular ferrokrom in concrete is %10, %20 and %30.

According to the results of experiments, while granular ferrokrom slag addition ratio increases, it is obtained an increase in pressure resistance in concrete and resistances against abrasion and freezing-thawing.

Key Words : Injection, Pressure resistance, Freezing-thaw and Abrasion loss.

1. GİRİŞ

Enjeksiyon, ortamın kayma mukavemetini artırmak veya geçirimsizliğini azaltmak amacıyla kaya ya da zemin içindeki boşluklara basınç altında bir karışım zerk etme yoluyla uygulanan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Enjeksiyon sayesinde danelerin kenetlenmesi sağlanarak şekil değiştirme direnci artırılır. Enjeksiyon genelde daneli zeminlerin boşluklarının doldurulmasında, kaya içindeki büyük boşlukların doldurulmasında ve kaya çatlaklarının doldurulmasında başvurulan bir çözüm yöntemidir.

Bu çalışma, zeminlerin enjeksiyonu ile ilgili incelemeleri ve laboratuarda yapılan çimento enjeksiyonda Elazığ Kovancılar Ferrokrom Fabrikası granüle cürufunun katkı maddesi olarak kullanılan model deneylerini içermektedir. Burada, enjeksiyon yöntemleri, portland çimentoları ile enjeksiyon, kimyasal enjeksiyonlar, ince daneli çimentolarla ilgili mevcut araştırmalar ve enjeksiyonda kalite kontrolü konulan incelenip ardından laboratuarda yapılan çimento enjeksiyon model deneyleri anlatıldı.

Enjeksiyon işleminin nasıl yapıldığı hakkında yeterli düzeyde bilgi sahibi olunmasına rağmen istenilen sonuca ulaşmak her zaman mümkün olmamaktadır. Başarılı bir enjeksiyon yapılabilmesi için uygun karışım tipi ve enjeksiyon tekniği seçimi akıllıca yapılmalıdır. Bu nedenle, enjeksiyon yapılacak bölgenin geoteknik hidrojeolojik ve jeokimyasal özellikleri titizlikle incelenmeli ve değerlendirilmelidir. Projenin amaçlar doğrultusunda yapılacak etüt sondajları ve deneme enjeksiyonları sonucunda en uygun ve rantabl enjeksiyon yöntemi ile bunların uygulamaya ait karakteristikleri saptanmalı ve bunlara uygun genel enjeksiyon projesi hazırlanmalıdır.

Enjeksiyon deneyleri, sabit S/Ç oranlarındaki karışıma 10 Bar basınç altında 10x10 cm ebadındaki küp deney numunelerine yapılmıştır. Kalıp üzerine rijit başlık takılarak numunelerin düşey deformasyon yapması engellenmiştir.

1.2. Amaç

Bu çalışmada amaç, enjeksiyon yöntemiyle üretilen granüle yapılu ferrokrom cürufu katkılı betonların basınç dayanımı, donma-çözülme davranışı ve aşınma kaybı gibi fiziksel özelliklerinin araştırılmasıdır.

1.3. Yöntem

Bu araştırmada, tarama yöntemi ile deneysel yöntemler kullanılmış olup elde edilen veriler, sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Ayrıca konu ile ilgili literatür ve uzman kişilerin görüşlerinden faydalanılmıştır.

Deney numunelerinde kıvam sabit tutulmuş, dane iriliği ve granülometrisi aynı olan agregalar kullanılmıştır. Söz konusu numunelere enjekte edilen şerbetin viskozitesinin değişmezliği esas alınmıştır. Deney numunelerine %10, %20 ve %30 granüle yapılı katkı malzemesi eklenerek enjeksiyon işlemi yapılmıştır. Enjekte edilmiş numuneler 28 ve 56 gün sonra serbest basınç altında kırılarak basınç mukavemetleri, dona dayanıklılık, Los Angeles aşınma deneyi yapılarak özelliklerindeki değişimin deneylerle tespiti yoluna gidilmiştir.

2. ENJEKSİYON İŞLEMİ

2.1. Giriş

Enjeksiyon, kayma mukavemetini artırmak veya geçirimsizlik sağlamak amacıyla kaya ya da zemin içindeki boşluklara basınç altında bir sıvı zerk etme işlemidir. Zemine ve kayaya enjeksiyon yapılarak boşluklar tamamen veya kısmen doldurulur. Bu sayede danelerin kenetlenmesi sağlanarak şekil değiştirme direnci artırılır. Enjeksiyon yapılan zeminin mukavemeti, zeminin ve enjeksiyon karışımının özelliklerine bağlıdır.

Enjeksiyon yöntemiyle bir zeminin iyileştirilmesi 19. yüzyılın başından beri bilinmesine rağmen ilk ciddi gelişmeler bu yüzyılın başında ortaya çıkmıştır. İlk zamanlar enjeksiyonlar genelde yüksek basınçlarda yapılırdı. Hatta sık sık zeminin kırılması ve kabarması ile karşılaşılırdı. Bu gibi şartlar altında, şehir içinde bulunan şantiyelerde başarılı enjeksiyon çalışmaları yapmak imkansızdır.

Enjeksiyon teknolojisinin tarihi gelişimini şu şekilde sıralamak mümkündür:

- 1802'de Fransa'da Berigny tarafından çimento enjeksiyonu maden ocaklarında sızdırmazlık sağlamak amacıyla kullanılmaya başlandı.
- 1920'de çimento enjeksiyonu baraj inşaatlarında çatlaklı kayalarda kullanılmaya başlandı.
- 1925'de iki bileşenli kimyasal enjeksiyon olan Joosten yöntemi geliştirildi.
- 1950'de tek bileşenli kimyasal enjeksiyon yöntemi geliştirildi.
- 1970'li yıllarda kimyasal enjeksiyonların zamanla şekil değiştirme davranışları deneysel olarak incelendi.
- 1980'li yıllarda çevre ve yeraltı suyu kirlenmesine önlem olarak kimyasal enjeksiyon kullanılmasında sınırlamalar getirildi ve çok ince öğütülmüş çimentolar (ince daneli çimento) enjeksiyonda kullanılmaya başlandı [1].

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

- a) Geçirimsizlik perdelerinin teşkil edilmesinde,
- b) Aşırı oturmaların ve su kaçaklarının önlenmesi amacıyla boşlukların doldurulmasında,
- c) Dinamit atımıyla gevşeyen temel kayasının üst kısımlarının sağlamlaştırılmasında,
- d) Yapı ile ana kaya arasında kalması muhtemel boşlukların doldurulmasında,

- e) Tünel inşaatında, tünel aynasının stabilitesinin sağlanmasında ve üst tabakalarda kemerlenme sağlamak amacıyla,
- f) Temel çukuru kazı şevlerinin stabilitesinin sağlanmasında,
- g) Komşu temellerin takviyesinde veya oturmuş temellerin düzeltilmesinde,
- h) Gevşek kumlarda sıvılaşmanın önlenmesinde,
- i) Yanal toprak basıncının kısıtlanmasında,
- j) Kazıkların yanall yük taşıma gücünün artırılmasında,
- k) Şev stabilitesinin sağlanmasında.

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

- Zeminlerin dane boşluklarının doldurulmasında,
- Kaya içinde mevcut galeri, kavern, karst gibi büyük boşlukların doldurulmasında ve
- Kayadaki çatlakların doldurulmasında.

2.2. Enjeksiyon İşleminin Projelendirilmesi İçin Yapılan Çalışmalar

2.2.1. Enjeksiyon Yöntemi Tayini İçin Yapılan Ön Çalışmalar

Bir zemin üzerinde enjeksiyon işlemine karar vermeden önce sahanın iyi bir şekilde etüd edilmesi gerekmektedir. Bu etüdlerde özellikle boşluk ve çatlakların yeri ve durumu konusunda;

- Üç boyutlu olarak boşluk büyüklüğünün tespitinde (kayaçalarda),
- Boşluklara enjeksiyon karışımının erişme durumunda ve
- Enjeksiyon karışımının ortamda davranışında.

Enjeksiyon yapılacak ortamın özelliği çok değişken olabileceğinden etüdün kapsamı enjeksiyon uygulanacak yere göre tespit edilmelidir.

2.2.1.1. Yeraltındaki Büyük Boşlukların İncelenmesi

Yeraltındaki büyük boşluklar;

- a) İnsan eli ile yapılmış büyük boşluklar (Galeri, kavern, içi boşaltılmış cevher damarları, kuyular) ve
- b) Tabii boşluklar (karstik boşluklar, mağaralar) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Büyük boşluklar genelde hava veya su ile doludur. 3 koordinatta da farklı boyut gösterebilirler. Yerleri ve büyüklükleri jeolojik bilgiler yardımı ile muayene kuyuları veya sondajlarla tespit edilir. Burada şu hususlara dikkat edilmelidir:

- Boşluk sınırlarının 3 boyutlu olarak tespiti,
- Boşlukların birbirlerine bağlantılarının belirlenmesi ve
- Boşluklarda bulunması muhtemel darboğazların tespiti

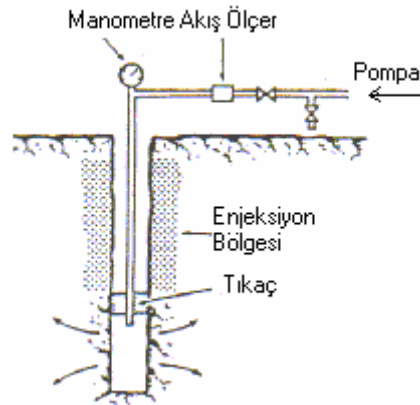
2.2.1.2. Kayada Çatlak ve Yarıkların İncelenmesi

Çatlak ve yarık gibi kayalardaki süreksizlik düzlemleri bir doğrultuda çok ince, diğer doğrultularda geniş alanlar kapsayabilmektedir. Çatlaklar muhtelif malzeme veya su ile doludur. Bu çatlakların durumu, sıklığı, açıları vb. bilgiler genel jeolojik esaslara göre belirlenmektedir.

Çatlak açıklıkları ve bunların dolguları sondajlarda karotlarla hassas olarak tespit edilemediğinden çatlakların geçirimsizliği hakkında bilgi edinmek amacıyla sondaj kuyusu içinde basınçlı su deneyleri yapılır.

Tıkaçla yapılan deneylerde, 1 m kuyu uzunluğunda 1 dakikada, 10 bar basınç altında su kaybı 1 lt ise buna 1 Lugeon birimi denir. Fransız Lugeon tarafından önerilen bu deneye Lugeon deneyi de denmektedir.

Lugeon su deneyi sonuçlarının relatif olduğu unutulmamalıdır. Bu deney verilerini, ortamın enjeksiyon kabul etme özelliğiyle karşılaştırmak için, bir çimento enjeksiyon deneyi yapılarak, enjeksiyon nüfuz etme miktarının tespiti faydalı olacaktır. Bu enjeksiyon deneyinden elde edilen sonuçlar yapılacak enjeksiyon uygulamasının planlanmasında çok değerli bilgiler verebilir. Lugeon deney düzeneği Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Lugeon Deneyi

2.2.1.3. Daneli Zeminlerin Enjeksiyonu İçin Yapılan İncelemeler

Daneli zeminlerde pratik olarak 0.1-10 mm arasındaki boşluk çapları söz konusu olmaktadır. 10 mm çapından büyük boşluk hacimlerine genelde kum ve çakıl ihtiva etmeyen blok boyutundaki kaya parçaları haizdir. Bunlara şerbet yerine harç enjekte edilebilmektedir.

Daneli zeminler için yapılan ön etüdler klasik zemin etüdlerinden farklı değildir. Burada daneli zeminler içinde granülometri değişimlerine dikkat edilmelidir. Bu arada yerleşim sıklığı, geçirgenlik katsayısı, boşluk oranı her tabakada tespit edilmelidir. Daneli zeminlerde örselenmemiş numune alma zor olduğundan arazi deneylerine ağırlık verilmelidir.

Sahanın geçirgenliğini önemli ölçüde etkileyebilen ince kalınlıktaki tabakalar bazen sondajlarla sondör tarafından tespit edilemeyebilir. Bu nedenle arazi deneyleri ile zemin tabakasının ortalama permeabilitesini belirlemek doğru bir yaklaşım olacaktır.

2.2.2. Enjeksiyon Karışımı Seçiminde Kriterler

Enjeksiyon karışımını seçerken esas olarak aşağıdaki üç kriter göz önüne alınır.

- Enjeksiyonun amacı (Sağlamlaştırma veya geçirimsizlik),
- Enjeksiyon yapılacak ortamda boşluk özellikleri ve
- Enjeksiyon yayılma mesafesi ve karışımın akışkanlığıdır.

Ortamın boşluk çapları kesitte değişiyorsa, önce büyük boşluklara haiz tabaka enjekte edilir. Daha sonra daha küçük boşluklu zemine enjeksiyon yapılır.

Sağlamlaştırma amacıyla kullanılan karışımın, sertleştiğinde yüksek mukavemet vereceği açıktır. Sızdırmazlık için uygulanan karışımların nihai mukavemetlerinin yüksek olması gerekmemektedir. Bunların içsel erozyona karşı koyacak mukavemette olması yeterli olmaktadır.

Enjeksiyon karışımındaki dane çapları, ortamın boşluk çapına göre ayarlanmalıdır. Boşluk çaplarının karışımın dane çapının çok üstünde olacağı açıktır. Ayrıca karışıma yeterli miktarda akışkan veya akışkanlık artırıcı katkı maddesi ilave ederek, enjeksiyonun yeterli mesafelere erişmesi sağlanır.

2.2.3. Enjeksiyon Uygunluk Deneyleri

Karotlu sondajlar ve basınçlı su deneyleri ile zeminin veya kayanın jeolojik ve fiziksel durumu belirlendikten sonra yeraltındaki malzemenin enjekte edilebilirliğini ve karışımın nereye kadar nüfuz ettiğini araştırmak amacıyla deney enjeksiyonu yapmakta yarar vardır. Bu deney sonucu enjeksiyon aralıkları, derinliği, uygulanacak basınç ve

enjeksiyon yöntemi, kullanılacak karışım oranları ve katkı maddeleri gibi enjeksiyon projesi ve teknik şartnamesinin hazırlanması için gerekli veriler toplanır. Yapım öncesi elde edilen bu bilgilerle maliyet tahmini de yapılabilir.

2.3. Enjeksiyon İşlemlerinin Sınıflandırılması

Enjeksiyon işlemlerini çeşitli bakımlardan sınıflara ayırarak incelemek mümkündür. Bu sınıflandırmanın bir amacı da enjeksiyon işlemlerinde karşılaşılabilecek farklı özellikleri topluca gözden geçirmektir.

2.3.1. Amaçlara Göre Sınıflandırma

Enjeksiyon işlemleri amaçları bakımından iki gruba ayrılırlar. Bunlar; deney ve uygulama enjeksiyonlarıdır.

2.3.1.1. Deney Enjeksiyonları

Proje alanında yapılacak asıl enjeksiyon işleminin özelliklerini, karakteristiklerini, maliyetini ve yapılabilirliğini saptamak için düzenlenen ön enjeksiyon çalışmalarıdır.

2.3.1.2. Uygulama Enjeksiyonları

Denemeler sonunda yapılabilirliği belirlendikten sonra, saptanan karakteristiklere ve hazırlanan projeye uygun olarak yürütülen asıl enjeksiyon çalışmalarıdır.

2.3.2. Uygulama Yerine Göre Sınıflandırma

Deney veya uygulama enjeksiyonunun uygulandığı yer açısından enjeksiyon çalışmalarını üçe ayırabiliriz.

- Pekişmiş formasyonlarda (Kaya zemin) yapılan enjeksiyon işlemleri,
- Daneli zeminlerde yapılan enjeksiyon işlemleri ve
- Yapıları iyileştirme enjeksiyonlarıdır (Baraj gövdesi, tünel, temel, kanal gibi yapıların yapay ve doğal bölümlerini kaynaştırmak veya ortamın tümünü iyileştirmek için yapılan enjeksiyon işlemleridir).

2.3.3. İşlevlerine Göre Sınıflandırma

Enjeksiyonlar, yapılan tüm araştırmaların sonucunda, belli bir işlevi yerine getirmek amacıyla yapılırlar. Bu açıdan enjeksiyon çalışmaları dört ayrı biçimde uygulanır.

2.3.3.1. Perde Enjeksiyonları

Perde enjeksiyonları yeraltı suyuna karşı geçirimsiz perdeler veya bir başka deyişle yeraltı barajları oluşturmak amacıyla yapılırlar. Perde enjeksiyonları genellikle baraj ve gölet zeminlerinde yapılmakta olup belirlenmiş aralıklarla açılacak enjeksiyon sondaj deliklerinden enjeksiyon karışımları basılarak uygulanırlar. Enjeksiyon eksen, barajın yapım biçimine bağlı olarak bir veya daha fazla sayıda olabilir. Genellikle betonarme barajlarda baraj aksının memba tarafında, dolgu barajlarda ise baraj çekirdeği altında yer alır. Sondaj aralıkları genellikle başlangıçta 6 m olup, gerekirse ikinci aşamada ara yerlere de sondaj yapılarak aralıklar 3 m'ye kadar indirilir. Sondaj derinlikleri, geçirimsiz tabaka derinliğine yani geçirimli tabaka kalınlığına bağlıdır.

Sondaj deliklerinin jeolojik tabakalara ve çatlak sistemlerine dik olması istenir. Buna göre sondajlar eğimli olabilir. Açılan delikler enjeksiyon karışımı kabul etmeyinceye kadar, önceden kararlaştırılan basınçla karışım basılır. Başlangıç basıncı, üst tabakaların kabarmasına neden olacak kadar yüksek olmamalıdır.

2.3.3.2. Sağlamaştırma (Konsolidasyon) Enjeksiyonları

Sağlamaştırma enjeksiyonları, bir yapının oturtulacağı zemini veya bitmiş bir yapının altında kalmış tabakaları sağlamaştırmak için veya yapı çukuru ve tünel kazılarında zemini tutmak için uygulanır.

2.2.3.3. Dolgu (Kontakt) Enjeksiyonları

Büyük yapılardaki, yapay yapı ile doğal zemin arasındaki boşluklar, her zaman büyük sakinler meydana getirebilirler. Bu boşlukları doldurmak amacıyla yapılan enjeksiyon işlemine dolgu enjeksiyonları denir. Bu işleme tünel kazılarının pek düzgün olmaması nedeniyle ancak tünellerde gerek duyulduğundan bazen işleme tünel enjeksiyonu ismi de verilmektedir. Bu tip enjeksiyonlarda, sondaj sadece tavanda yapılır. Her kesitte, tavanda yönleri yaklaşık 30° açılı 3 delik açılır ve enjeksiyon karışımı basılır. Aynı işlem her 3 m'de bir yinelenir.

2.3.3.4. Alüvyon Enjeksiyonları

Alüvyonlar permeabilite katsayısı 0.1 ila 10^{-6} cm/s arasında olan ortamlardır. Bu nedenle alüvyonlarda yapılan enjeksiyonlar gerek enjeksiyon tekniği gerekse enjeksiyon karışımı hazırlanması bakımından en zor ve komplike işlemlerdir. Buna rağmen, gerek dünyada gerekse ülkemizde alüvyon enjeksiyon uygulamaları giderek artmaktadır. Alüvyon enjeksiyonlarının üç ana amacı vardır. Özetle bunlar;

- Zemindeki boşlukların doldurulması,
- Zeminin taşıma gücünün artırılması ve
- Alüvyonda geçici veya devamlı geçirimsizlik sağlanmasıdır.

İlke olarak kaya enjeksiyonlarında kullanılan enjeksiyon karışımlarını alüvyon enjeksiyonunda kullanmak için alüvyonun sadece 5-10 mm'lik çakıldan oluşması gerekir.

Alüvyonlar içinde permeabiliteleri farklı kısımlar(cepler) bulunuyorsa önce daha permeabl olan ceplerin, penetrasyonu daha az olan bir karışımla enjeksiyonu yapılır, daha sonra diğer kısımların uygun başka bir karışımla enjeksiyonu gerçekleştirilir.

Alüvyon içindeki yeraltı suyunun kimyasal bileşimi de enjeksiyon sırasında önemli bir faktördür. Yeraltı suyu içindeki kimyasal maddeler, karışımı çöktürüp, topaklanmaya neden olabilir. Bu gibi hallerin önceden incelenmesi gereklidir.

2.3.4. Uygulanan Basınca Göre Sınıflandırma

2.3.4.1. Alçak Basınç Enjeksiyonları

Enjeksiyon karışımının 1 MP'dan daha az bir basınçla basılması durumudur. Genellikle yüzeye yakın yerlere uygulanırlar. Sondaj derinliği 5-15 metredir.

2.3.4.2. Orta Basınç Enjeksiyonları

Enjeksiyon basıncının 1-3 MPa arasında olduğu durumdur. Sondaj boyları da 15-30 m arasındadır.

2.3.4.3. Yüksek Basınç Enjeksiyonları

Daha çok geçirimsiz perde oluşturmak için yapılan enjeksiyonlara uygulanan ve 3 MPa'nın üzerinde basınçla yapılan enjeksiyon işlemleridir. Uygulanan basınç, duruma göre 7 MPa'a kadar çıkartılabilir.

Her kademede enjeksiyona başlandığı zaman basınçlar genellikle istenilen değere yükselmez. Enjeksiyona devam edildikçe kademede boşluk ve çatlakların karışımla dolması neticesinde basınçta bir yükseliş görülür. İstenilen basınç elde edilince zemine

verilen karışım, mevcut dolgunun sıkıştırılmasını ve daha ince çatlakların doldurulmasını sağlar. Basınçta da devamlı bir yükseliş, zeminin karışımı kabul etmemesi hali görülür. Enjeksiyonda bu duruma refü denilir.

Enjeksiyonda zemine verilen karışımın gidişi ile basıncın yükselişi arasında ters orantı mevcuttur. Karışımın gidişi yavaşladıkça basınçta bir yükselme görülür. İnce karışımlarla yapılan enjeksiyonlarda basıncın istenilen değere yükselme süresi uzun, kalın karışımlarla yapılanlarda ise bu süre kısadır. Kalın karışımlarla yapılan enjeksiyonlarda basıncın ani olarak yükselmesi ile yanılmalar olabilir. Bu, ya tij ve boruların tıkanmasından ya da zeminde oluşan geçici bir tıkanmadan ileri gelebilir.

Bazı özel hallerde basınç istenilen değere yükseldiği halde basınçta ani bir düşüş görülür. Bu durum kuyunun yeni bir boşlukla karşılaşmasındandır. Basıncın düşmesi ile enjeksiyon yeme kabiliyetinde bir artış görülür. Bu durumda enjeksiyona devam edilir ve durum eski haline döner.

Enjeksiyonda uygulanan basınç, kuyu ağzındaki manometrede tatbik edilen basında, kuyu içindeki karışımın yapmış olduğu basıncın toplamından oluşur. Karışımın yapmış olduğu basınç manometre seviyesi ile enjeksiyon seviyesi arasındaki derinliğe bağlıdır.

Enjeksiyon boyunca, basınçların tabakada kırılmaya ve zeminde kabarmaya sebep olacak basınçtan daha düşük olması istenir. İzin verilebilir enjeksiyon basıncı zeminin mukavemetine, yerel gerilmelere ve zeminin boşluklarındaki enjeksiyon öncesi basınçlara dayanır.

2.4 . Enjeksiyon Karışımı

2.4.1. Enjeksiyon Karışımının Elemanları

Enjeksiyon işleminde, su içerisine bazı bağlayıcı maddeler karıştırılarak elde edilen karışımlar, enjeksiyonun yapılacağı yere öngörülen basınçlarla basılırlar. Bu karışıma enjeksiyon karışımı, enjeksiyon şerbeti veya enjeksiyon harcı denir. Bunlardan başka, enjeksiyon karışımının fiziksel ve kolloidal özelliklerini kullanım amacı yönünde iyileştirmek, örneğin karışımı daha akıcı, daha çabuk ya da geç donucu veya daha yoğun yapabilmek için karışıma bazı maddeler daha ilave edilir. Bu yardımcı malzemelere ise enjeksiyon katkı maddeleri denir.

Enjeksiyon karışımları, karışımı oluşturan maddelere göre çeşitli biçimlerde olabilir. Enjeksiyon maddesi çimento gibi kolloidal bir madde ise çimento daneleri su

içinde askıda kalacaklarından enjeksiyon karışımı bir süspansiyondur. Pratikte süspansiyonlar için şerbet ismi de kullanılır. Enjeksiyon maddesi bir sıvı ise enjeksiyon karışımı da bir emülsiyon olacaktır.

2.4.2. Enjeksiyon Karışımının Özellikleri

Enjeksiyon karışımı özelliklerinin proje aşamasında incelikle saptanması, uygulama aşamasında ise bunlara titizlikle uyulması enjeksiyon işleminin en önemli yanıdır. Bazen yeraltındaki uygulamada, projede öngörülen hususlarla karşılaşılabilir. Bu durumda, uygulama sorumlusunun gerekli değişiklikleri yapması zorunludur ki, bu da ancak konunun çok iyi bilinmesi ile mümkündür. Enjeksiyon karışımlarının özellikleri aşağıda incelenmiştir.

2.4.2.1. Akışkanlık (Viskozite)

Enjeksiyon karışımının, istenen bölgeye en az enerji ile enjekte olması istenir. Bu yüzden karışımın yeteri ölçüde akıcı olması gerekir. Ancak gereğinden fazla akışkanlık da karışımın gerekli olmayan mesafelere kadar ilerlemesine neden olacağından sakıncalıdır. Bu yüzden, optimum değer öncelikle saptanması çok önemlidir. Aslında en uygun yol akışkan bir karışımla enjeksiyona başlamak, duruma göre karışımı yoğunlaştırarak aşamalı olarak optimum akışkanlığa ulaşmaktır. Akışkanlık, katı madde/su oranı ile kontrol edilebildiği gibi çeşitli katkı maddeleri ile de ayarlanabilir.

2.4.2.2. Stabilite

Enjeksiyon karışımının hazırlandığı yerden, basılacağı en son noktaya kadar özelliklerinde ve karışım oranlarında bir değişme ve bozulma olmaksızın ulaştırılması ideal durumdur. Ancak pratikte mutlak stabiliteyi sağlamak hemen hemen olanaksızdır. Olanaklar ölçüsünde iyi bir enjeksiyon karışımı hazırlayabilmek için, enjeksiyon maddesinin danelerinin ayrı kalması demek olan kolloidal özelliğinin, katı madde oranının artmaması demek olan jelleşme dayanıklılığının ve hareket halinde jelleşmenin azalması demek olan tiksotropisinin yüksek olması gerekir. Eğer kullanılan enjeksiyon maddelerinde bu özellikler yetersizse, bu özelliklerin ya katkı maddeleriyle iyileştirilmesi ya da enjeksiyon işleminin çok çabuklaştırılması zorunludur.

2.4.2.3. Katılma Süresi

Enjeksiyon karışımı, ulaşacağı son noktaya eriştikten sonra, hareketsiz halde kalacak ve katılma süresi başlayacaktır. Karışımın hazırlandıktan katılmasına kadar geçen süreye katılma süresi, donma süresi, prizlenme süresi gibi isimler verilir. Bu

katılma süresi öyle olmalıdır ki, karışımın gideceği son noktaya ulaşmasına yeterli olmalı, o noktaya ulaştıktan sonra da hemen katılma oluşmalıdır. Bu sürenin gereğinden kısa olması halinde, katılma karışım istenen hedefe ulaşmadan oluşacak yani enjeksiyonun amacı gerçekleşmeyecek; sürenin uzun olması halinde de enjeksiyon şantiyesinde beklemeler, yani boşa geçen zamanlar olacaktır. Bu da maliyetin artması demektir. Doğaldır ki her ikisi de istenmeyen durumlar olup, katılma süresinin kontrol altında tutularak gerektiği gibi olması son derece önemlidir.

Enjeksiyon maddelerinin normal katılma süreleri ve bunları etkileyen su kalitesi, ısı, basınç vs, gibi faktörler bellidir. Bunlar belirlendikten sonra, donanım ve karışım karakteristikleri yani enjeksiyon hızı ile katılma süresi bağdaştırılmıyorsa kimyasal katkı maddelerinin kullanılması zorunlu olur. Bu iş için üretilen katkı maddeleri katılmayı çabuklaştırıcı ve geciktirici olarak iki gruba ayrılırlar. Bu maddelerden belli miktarlarda kullanılarak istenen katılma süresi incelikte gerçekleştirilebilir.

2.4.2.4. Büzülme

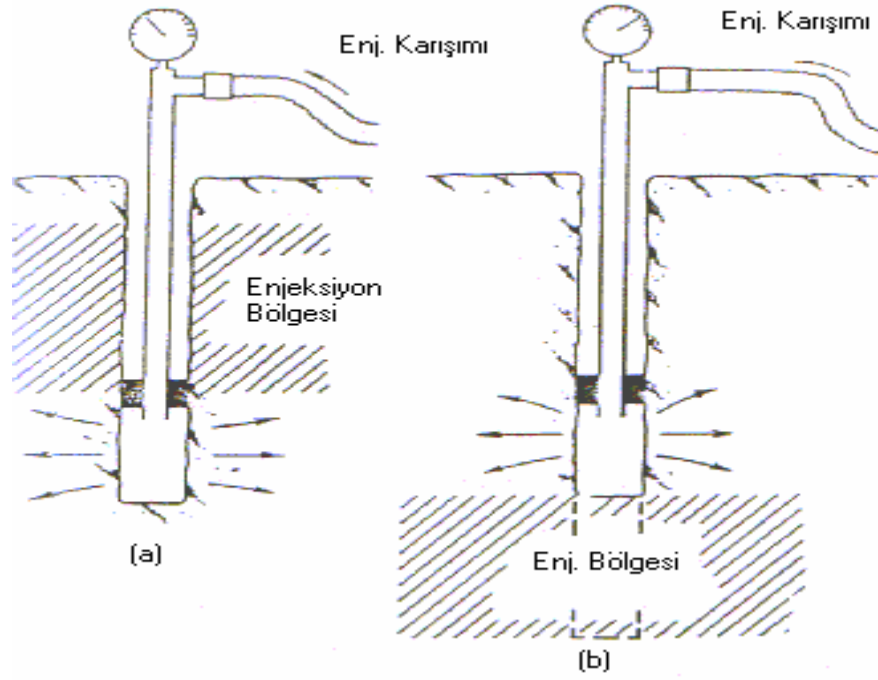
Enjeksiyon karışımı katıldıktan sonra, hacimce önemli oranlarda küçülmeler oluşması istenmeyen bir durumdur. Ancak her şeyden önce bunun olup olmadığının uygulamadan önce ve sonra deneylerle saptanması gerekir. Böyle haller olduğu takdirde yeniden sondaj ve yeniden enjeksiyon gerekecektir. Bu nedenle enjeksiyon karışımlarında en az büzülme özelliği olması önemlidir. Bu, özellikle kullanılan enjeksiyon yöntemi yanında enjeksiyon maddeleri ve katkı maddeleriyle kontrol altında tutulmalıdır. Eğer her şeye rağmen önlenmesi sağlanamıyorsa, katılma süreci sonunda araştırma sondajları ve deney enjeksiyonları ile durum ve aksaklıklar saptanmalı ve ikinci aşama enjeksiyonla eksiklikler giderilmelidir.

2. 5. Enjeksiyon Yöntemleri

Enjeksiyon yöntemi olarak yıllardan beri iki yöntem kullanılmaktadır. Biri açık taban boru yöntemidir (Open bottom pipe method), diğeri manşetli boru yöntemidir. (Sleeve pipe method).

2.5.1. Açık Taban Boru Yöntemi

Bu yöntemde enjeksiyon aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya olmak üzere iki farklı şekilde kademeler halinde yapılır.



Şekil 2.2. Açık Taban Boru Yöntemi

Yukarıdan aşağıya doğru yapılan enjeksiyonda her kademede önce delik açılır sonra enjeksiyon işlemine geçilir (Şekil 2.2.a). Bir kademenin enjeksiyonu bitince aynı işlem bir alttaki kademeye uygulanır. Bu yöntemde ilk kademedен sonraki delme işlemleri, enjeksiyonlanmış bölgenin yeniden delinmesi ile yapılır. Deliğin üst kısmında sızmayı önlemek için tıplar kullanılır.

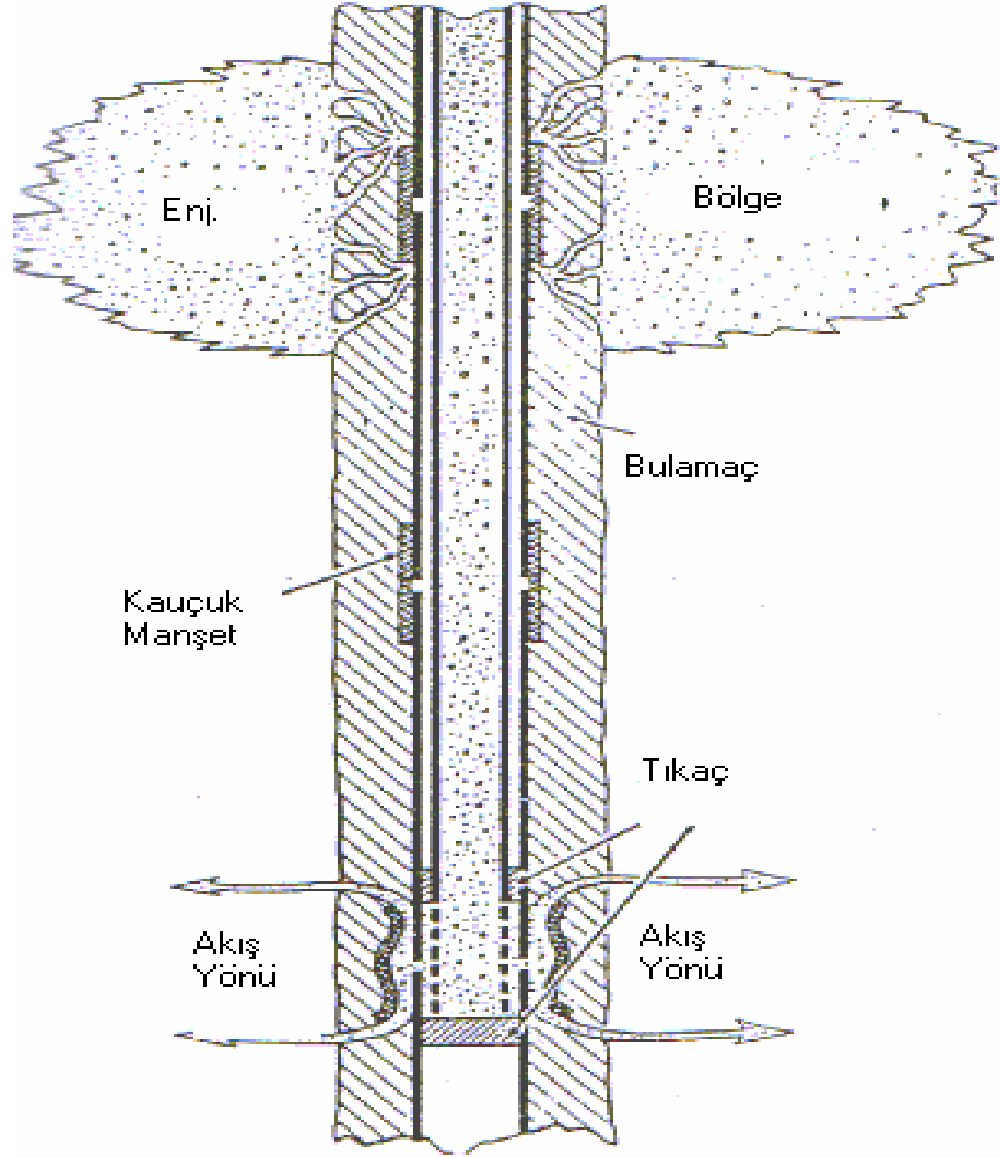
Aşağıdan yukarıya doğru yapılan enjeksiyonda, ilk önce deliğin tamamı açılır, sonra enjeksiyon işlemi kademeler halinde yukarıya doğru yapılır (Şekil 2.2.b). Bu yöntemde delme ve enjeksiyon işlemlerinin ayrı ayrı olması bir avantajdır. Ancak, eğer sondaj deliğinin kenarları göçer ve tıpa sızmayı önleyemezse bu yöntem kullanılamaz. Bu yöntemde enjeksiyon sırasında zeminin kabarma riski fazladır. Bu nedenle, uygulanan basınç jeolojik yükten fazla olmamalıdır.

Açık taban boru metodu ile kum ve çakılların enjeksiyonunda delik boyunca göçme olabilir. Bu göçmeyi önlemek için delik içerisine kaplama borusu yerleştirilir. Enjeksiyon işlemi yukarıda anlatıldığı gibi devam eder.

2.5.2. Manşetli Boru Yöntemi

Bu yöntemde önce delme işlemi yapılır. Sonra delik içine manşetli borular yerleştirilir. Manşetli borular içerisine ince borular takılır (Şekil 2.3). 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.



Şekil 2.3. Manşetli Boru Yöntemi

2.5.3. Enjeksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Açık taban boru yöntemi ve manşetli boru yöntemi olumlu ve olumsuz özellikleri ile Tablo 2.1'de çeşitli kriterlere göre değerlendirilmektedir. Bu kriterlere göre yapılan tam bir analiz, en uygun yöntemi seçmede yol gösterebilir.

Tablo 2.1. Enjeksiyon Yöntemlerinin Çeşitli Kriterlere Göre Karşılaştırılması

Kriter	Açık Taban Boru Yön.	Manşetli Boru Yön.
Arazide delme enjeksiyon işlemlerini ayırma imkanı	Yok	Var
Aynı sondaj deliğinde farklı karışımları enjeksiyon kabiliyeti	Yok	Var
Karışımın sondaj deliği boyunca yeniden yükselme riski	Var	Yok
Enjeksiyon kademesi uzunluğunu ayarlama kabiliyeti	Var	Yok
Enjeksiyon esnasında zemini izleme kabiliyeti	Var	Aldatıcı

a) Arazide delme ve enjeksiyon işlemlerini ayırma imkanı: Gevşek formasyonlar için kullanılan açık taban boru yönteminde enjeksiyon işlemi delme işlemi izlemelidir. Dolayısı ile enjeksiyon esnasında delme makinası bu süre boyunca çalışmaz durumda kalabilir. Manşetli boru yönteminde ise enjeksiyon işlemi, delme işlemi tamamen bitirildikten sonra yapılır. Bu bir avantaj sayılabilir. Çünkü delme ve enjeksiyon işleri ayrı yapıldığı için müteahhit, delme işlemi hızlı bir şekilde bitirebilir.

b) Aynı sondaj deliğinde farklı karışımların enjeksiyon kabiliyeti: Bu imkanı sadece manşetli boru yöntemi sağlar. Bu durum özellikle heterojen zeminlerde uygulanır.

c) Karışımın sondaj deliği boyunca yeniden yükselme riski: Manşetli boru yönteminde, enjeksiyon işlemi bütün delik boyunca yapıldığından karışımın yeniden yükselmesi önlenir. Açık taban boru yönteminde, karışımın boru içerisinde yeniden yükselmesini önlemek zordur. Bunun için tıplar kullanılmaktadır. Yapışık zeminlerde (fisürlü kaya) tıpa, zemine karşı güvenli bir şekilde kullanılabilir. Fakat gevşek zeminlerde tıpa kullanmak daha az güvenlidir, dolayısı ile daha uzun tıplar kullanmak gereklidir.

d) Enjeksiyon kademesi uzunluğunu ayarlama kabiliyeti: Açık taban boru yönteminde, enjeksiyon kademesi uzunluğu zemin şartlarına bağlı olarak ayarlanabilir. Bu ayarlama manşetli boru yönteminde imkansızdır. Manşetli boru yönteminde enjeksiyon kademesi uzunluğu, manşetler arasındaki sabit mesafeye bağlıdır (genellikle 33 cm).

e) Enjeksiyon esnasında zemini izleme kabiliyeti: Enjeksiyon yapılırken basınç-debi ilişkilerini gösteren bir eğri çizmek faydalı olmaktadır. Hareketler takip edilerek olayın gidişatını izlemek kolaylaşır.

Açık taban boru yöntemi kullanıldığı zaman, bu deneme çalışmaları belirsizlik olmadan otomatik olarak yapılır. Böylece zemin hakkında bilgi toplanmış olur. Bu tip verimli denemeler, manşetli boru yöntemi ile yapılan enjeksiyon esnasında alınan

ölçümler kullanıldığı zaman oldukça aldatıcı olmaktadır. Çünkü manşet, çatlakları geçerken basınç kaybına uğrayabilir ve bu ölçülen basıncı etkiler.

2.6. Enjeksiyon Donanımı

2.6.1. Hızlı Karıştırıcılar

2.6.1.1. Kolloidal Karıştırıcılar

Bu karıştırıcılar kolloidal değirmen prensibine dayanırlar. Su içerisindeki çimentoyu yüksek hızda keserek tam ıslanmayı sağlar ve çimento daneleri arasındaki havayı uzaklaştırır. Bu karıştırıcılar, Çimento karışımlarında en uygun tiplerdir. Normal bir portland çimentosunun minimum özgül yüzeyi $22.5 \text{ m}^2/\text{N}$ değerindedir. Dolayısı ile danelerin tam ıslatılmasını başarmadaki zorluk, 50 kg çimentonun 11250 m^2 bir alana yayılması düşünülerek değerlendirilebilir.

Kolloidal karıştırıcılar, yüksek hızdaki (normal olarak 2000 dev/dk) bir pervanenin dönmesiyle çalışırlar. Yüksek hız, kesme hareketini oluşturur ve silindir kaptaki bir girdap meydana getirir. Girdabın oluşması, bileşen malzemelerin hızlı asimülasyonunu sağlar ve karışıma tekrar dolaşım imkanı verir. Karıştırıcının tek ve çift versiyonları vardır. Çift silindirli tipte, çimento karışımı düz bir çelik pervane kullanılarak birinci silindirde hazırlanır. Burada iyice karıştırılmış çimento ikinci silindire aktarılır ve içerisine kum veya diğer katkı maddeleri katılır. Bu durumda karıştırıcı pervane özel bir şekle sahiptir. Bazı imalatçılar pervaneyi düşey olarak, bazıları da yatay olarak imal etmektedirler.

Cazibe ile çalışan sevk silindirli karıştırıcılar da mevcuttur. Burada, kolloidal karışım hareketi, dönen bir silindir ile elde edilir. Kolloidal karıştırıcıların güç üniteleri dizel, benzin, hava veya elektrik olabilir. İşletim şekli hidrolik veya “V” kayışlı olarak direk olabilir.

2.6.1.2 . Pervaneli Karıştırıcılar

Pervaneli karıştırıcılar, dönen bir pervane veya pervane serisi ile karıştırılan basit bir karışım tanklarıdır. Tanktaki karışım, tankın kenarına bağlı olan şaşırtmalı levhalara doğru fırlatılır. Su/çimento oranı 0.5'e kadar düşük olan karışımların karıştırılmasında oldukça etkili olmalarına rağmen işletmede kolloidal karıştırıcılardan daha yavaşlardır. Karışımı alan pompa, karıştırıcıdan daha düşük seviyede bir platforma yerleştirilmelidir. Bundan başka, pervaneli karıştırıcılar direk olarak bir el pompasına bağlanabilir. Fakat

her karışım yeni bir karışım hazırlanmadan evvel tamamen boşaltılmalıdır. Bu, çok küçük çalışma alanları için pratik olmayan bir durumdur. Pervaneli karıştırıcılar ile küçük kum miktarlarını karıştırmak mümkündür.

Çoğu kimyasal enjeksiyon sistemleri pervaneli karıştırıcılar ile uyum gösterirler. Kullanılan tanklar kimyasal etkiye dayanıklı paslanmaz çelik olmalıdır. İşletme tarzı hava, elektrik veya hidrolik motorlu olabilir. Pervane gövdesi ve tankların çeşitli boyutları mevcuttur.

2.6.1.3. Jet Karıştırıcılar

Jet karıştırıcılar, basınçlı bir suyun jet gibi fışkırması prensibine dayanır. Jet, bir karışım teknesi içinde tekne üzerinde direk olarak yerleştirilmiş bir doldurma hunisinden kuru çimentoyu çekerken bir boşluk yaratarak oluşur. Çimento, jet su akımı içine girdiği zaman boşaltma borusunda yaratılan türbülanslı akımda karıştırılır. Bu yöntemde çok yüksek verimlere ulaşmak mümkündür ($100 \text{ m}^3/\text{saat}$) ve üniteleri basit ve güvenlidir.

2.6.2. Yavaş Karıştırıcılar(Ajitatör)

Hızlı karıştırıcılar tarafından hazırlanmış olan enjeksiyon karışımı, özellikle çimento şerbeti, kil şerbeti gibi bir süspansiyonsa, süspansiyonu oluşturan katı maddelerin karışım içerisinde askıda kalmasını sağlamak için karışımı devamlı olarak harekette tutmak gerekir. Eğer hızlı karıştırıcıda yavaş dönen ikinci bir kazan varsa enjeksiyon karışımının devamlı hareketli kalması sağlanmış olur. Mikser sadece bir hızlı karıştırıcıdan oluşuyorsa, bu taktirde sisteme ayrıca bir yavaş karıştırıcı (ajitatör) ilave edilir. Ajitatör kazanının kendisinin mutlaka hareketli olması gerekmez. Çoğu kez kazan içerisinde dönen 50-100 dev/dk lık kaşıklar, katı maddeleri süspansiyon içerisinde askıda tutmaya yeterli olurlar.

2.6.3. Pompalar

Enjeksiyon pompaları hazırlanmış ve ajitatörde karıştırılarak bekletilmekte olan enjeksiyon karışımını istenen yere basmaya yarayan pompalardır. Bu iş için santrifüj pompaları hiçbir zaman kullanılmazlar. Bunlar hem nazik makinelerdir, hem de büyük basınçlar sağlayamazlar. Bu bakımdan daima pistonlu pompalar kullanılır.

Pistonlu pompalar, verim hacminde düşüş olmasına rağmen daha yüksek basınçlar üretebilirler. Ölçlü büyük piston pompaların verimi 100 000 kN/m^3 'e kadar olabilen potansiyel basınç ile $100 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'e kadar artabilir. Karışımlarda kum kullanılması durumunda, kum aşınma yapabileceğinden pompanın parçaları sık sık krom kaplanır ve sertleştirilir.

Hidrolik kontrollü pompalar enjeksiyon basınçları için iyi bir özelliğe sahiptir. Pompanın sahip olduğu besleme deposu kapasitesi onu beslemek için kullanılan mikserin bir defada verdiği verim ile ilişkilidir. Dolayısı ile mikser/pompa verimlerini ayarlamaya özen gösterilmelidir. Çoğu enjeksiyon pompaları kimyasal enjeksiyon için kullanılabilir. Pompanın çalışan parçaları paslanmaz veya korozyona dayanıklı malzemelerden yapılmalıdır.

2.6.4. Ağırlık Dozajı Ayarlayıcılar

Karışımı oluşturan malzemelerin ağırlık dozajı miktarı, çimento esaslı karışımları içeren ciddi çalışmalar için oldukça önemlidir. Bu bakımdan enjeksiyon düzenlerinde ağırlık dozajı ayarlayıcılara yer verilmesi işleme hassasiyet kazandırır.

2.6.5. Basma ve Geri Dönüş Boruları

Basma borusu, enjeksiyon karışımını pompadan çıkıp kuyu ağzına veya basma işlemi birkaç kuyuya aynı anda yapılıyorsa kuyu ağzlarına kadar ulaştıran boru şebekesidir. Genellikle enjeksiyon boruları çapı 3.81 cm'dir.

Pratikte refü hali diye isimlendirilen, enjeksiyon kuyusunun enjeksiyon karışımını kabul etmemesi halinde veya kuyunun pompanın bastığı karışımdan daha azını kabul etmesi durumunda artan karışımın geri dönüşü için ayrıca bir boru hattı daha döşenir. Ajitator kazanma veya mikser alt kazanına bağlanan bu hatta dönüş borusu denir. Basma ve dönüş boruları genellikle eşit çapta olurlar.

2.6.6. Yardımcı Ekipmanlar

a) **Su Sayaçları:** Su sayaçları özellikle yüksek kalitedeki işler için kullanılır. Mikser girişlerine direk olarak yerleştirilir. Ön hazırlama düğmeleri mevcuttur. Miksere ön hazırlama suyu verilmeden önce malzemenin girmesini önlemek için, dozaj ayarlama santrallerine arızaya karşı emniyetli sistemler dahil edilebilir.

b) **Karışım/Hacim Sayaçları:** Dozaj miktarlarını kaydetmek için mikser su sayacına dijital üniteler yerleştirilebilir veya yetim kaydı yapmak için pompalara akım kaydı yapan üniteler uygulanabilir.

c) **Katkı Maddesi Dağıtıcıları:** Normal olarak kutu toz haldeki katkı maddeleri, ayrı veya 50 kg çimentoya göre uygun miktarlarda ayarlanmış paketler halindedir. Fakat

akışkanlaştırıcılar gibi sıvı katkı maddeleri açık olarak sağlanabilir ve bunlar dağıtıcılar kullanılarak karıştırılır.

d) Akış Ölçer: Çimento esaslı karışımların kullanıldığı enjeksiyonlarda karışımın viskozitesini kontrol etmek için bir akış ölçer veya akış hunisi kullanılabilir. Akış hunisi ile, belirli bir miktardaki karışımın standart bir ağızdan geçmesi için gereken zaman ölçülür. Akış ölçerler akış özelliklerini göstermekten çok pompalanabilmenin bir göstergesini vermek için kullanılır. Karışımın viskozitesinin daha doğru bir gösterimi viskozimetre kullanılarak yapılabilir.

e) Basınç Emniyet Supapları: Enjeksiyon işleminde, kabarmayı önlemek veya hidroçatlak kontrolünde enjeksiyon basınçlarını sınırlamak gerekli olduğu zaman basınç emniyet supapları enjeksiyon bonjolarına yerleştirilmelidir. Tatmin edici performansı sağlamak için düzenli olarak yıkanmalıdır. Hidrolik işletmeli pompaların ağızında, işletim basıncını önceden belirleyerek, basıncın belirli olan bu değerine yükseldiğinde durmasını sağlamak için emniyet supapları yerleştirilir.

f) Sürekli Kayıt Yapan Basınç Ölçer Üniteler: Manşetli boru ile enjeksiyon işlemlerinde veya enjeksiyon sırasında kayıt yapma gereği olan yerlerde sürekli kayıt yapan basınç ölçer üniteler kullanılır. Çeşitli skaleleri mevcuttur ve büyük üniteler grafik kağıdı değiştirilmeden 24 saatlik bir periyoddan daha fazla çalışabilir. Çoğu işler için 8 saatlik skaleler kullanılır.

g) Su Basıncı Test Üniteleri: Özel olarak inşa edilmiş ünitelerde basınç düzenleyicisi ve basınçölçer, miktar kaydedici, filtre ve tekrar dolaşım vanaları bulunmaktadır. Bunlar kayada ve alüvyonlu arazide permeabiliteyi test etmek için kullanılır.

h) Enjeksiyon Bonjoları: Enjeksiyon bonjoları üst deliği sıkıştırma ünitesi, basınçölçer, giriş ve dönüş vanaları ve basıncı kontrol etmek için, ya baypas vanaları ya da emniyet supapları ini kapsamaktadır.

ı) Delik Üstü Sıkıştırıcıları: Bu sıkıştırıcılar, normal olarak elle çalıştırılan mekanik üniteleridir. Bu üniteler, bir sondaj deliği içine veya düşey boru içine yerleştirilir. Bunlar basınç altında delikteki karışımın çıkışını önleyen kauçuk maşonlardır. Delikler için 100, 75, 50, 38 ve 25 mm standart birimleri mevcuttur.

i) Delik İçi Sıkıştırıcıları: Delik içi sıkıştırıcılar mekanik olarak davranır. Fakat daha çok, normal olarak sıkıştırılmış hava ile şişirilir. Üretilen basınca bağlı olarak farklı uzunluklarda olabilir. Standart çapları 50 ile 150 mm arasındadır [2, 3, 9].

3. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER

3.1. Çimento

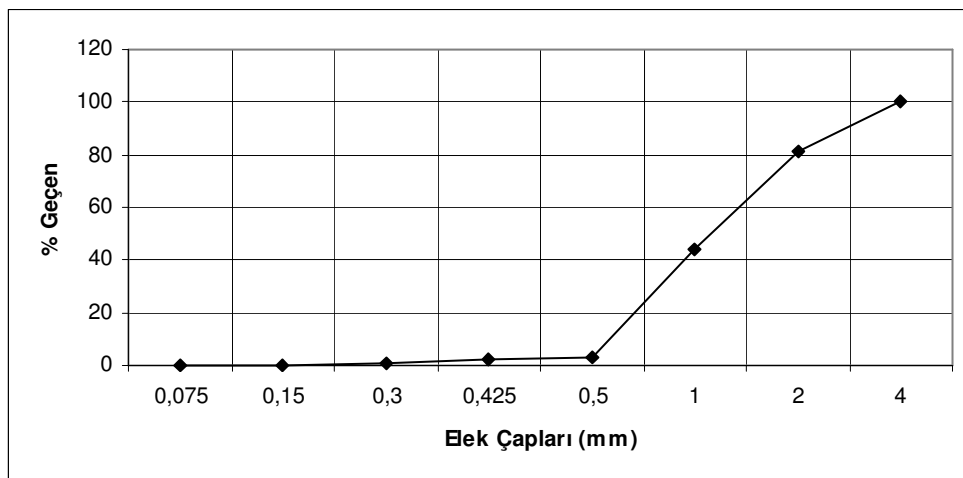
Elazığ Oyak-Altınova Çimento Fabrikası'ndan üretilen CEM I 42,5 (PÇ42,5) çimento alınarak deneylerde kullanılmıştır. Kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentoların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Priz Süresi (Vicat)	Başlama (Saat)	Min.	1
	Sona Erme (Saat)	Max.	10
Hacim Genleşmesi (Le Chatelier) (Mm)		Max.	10
Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /gr)		Min.	2800
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2 Günlük	Min.	20
	7 Günlük	Min.	31,5
	28 Günlük	Min.	42,5

3.2. Granüle Yapılı Ferrokrom Cürufu

Çimento enjeksiyon model deneylerinde, katkı malzemesi olarak Elazığ Ferrokrom fabrikasında atık madde olan granüle yapıli malzeme kullanılmıştır. Granül malzemenin granülometrisi Şekil 3.1'de görüntüsü ise Fotoğraf 3.1'de verilmektedir. Granül malzemenin rölatif sıklık deneyi yapılarak en sıkı ve gevşek haldeki hacim ağırlıkları tespit edildi. Bu değerler: $\gamma_{\min}=1,54 \text{ kg/dm}^3$ ve $\gamma_{\max}=1.64 \text{ kg/dm}^3$ olarak bulundu. Deneylerde rölatif sıklık sabit tutulmuştur.



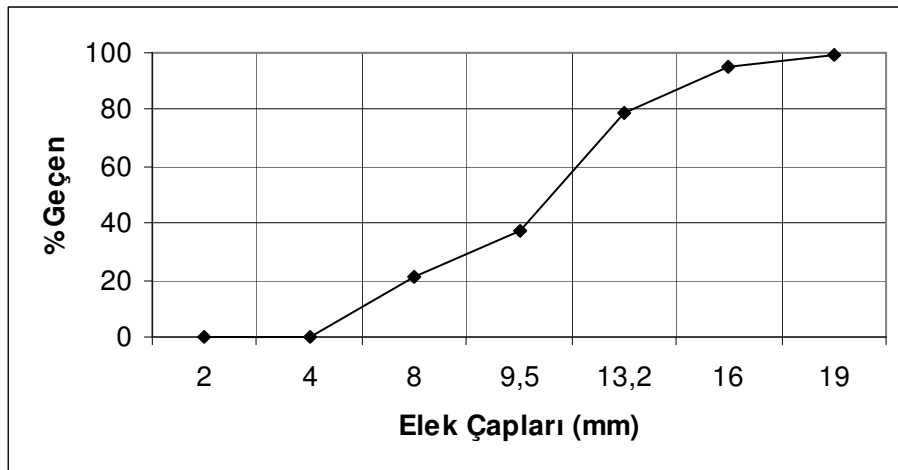
Şekil 3.1. Granül Malzemenin Granülometri Eğrisi



Fotoğraf 3.1. Granül Malzeme

3.3. Agrega

Çimento enjeksiyon model deneylerinde, çakıl olarak 2/19 arası Elazığ-Palu İlçesi çakılı kullanılmıştır. Çakılın granülometrisi Şekil 3.2’de görüntüsü ise Fotoğraf 3.2’de verilmektedir. Çakılın rölatif sıklık deneyi yapılarak en sıkı ve gevşek haldeki hacim ağırlıkları tespit edildi. Bu değerler: $\gamma_{\min}=1.625 \text{ kg/dm}^3$ ve $\gamma_{\max}=1.781 \text{ kg/dm}^3$ olarak bulundu. Deneylerde rölatif sıklık sabit tutulmuştur.



Şekil 3.2. Çimento Enjeksiyon Model Deneylerinde Kullanılan Çakılın Granülometrisi



Fotoğraf 3.2. Deneylerde Kullanılan akıl

4. ENJEKSİYON DENEYLERİNDE KULLANILAN ALETLER

4.1. Kompresör

Basınç, mevcut bulunan kompresöre bağlı şebekeden alındı. Kompresörün maksimum basıncı 12 bardır.

4.2. Hava Regülatörü, Manometre

Hava regülatörü istenen basıncı ayarlamak ve sabit tutmak için kullanılmıştır. Regülatör üstündeki sabit manometre uygulanan basıncı kontrol etme işlevini yürütmektedir.

4.3. Hidrolik Hortum

Hidrolik hortumlar hava basıncını besleme haznesine, çimento karışımını da numuneye iletmek için kullanılmaktadır. Basınç dayanımı 12 kpa'dır.

4.4. Besleme Haznesi

Besleme haznesi, enjeksiyon işlemlerinde kullanılan haznenin küçültülmüş şeklidir. Hazne hacmi 12 litredir. Hazneye basınç girişi hidrolik hortumlarla üstten ve haznedeki çimento karışımının çıkışı ise hazne tabanında bağlı bulunan hidrolik hortumlarla yapılmaktadır. Akışı kontrol edebilmek için bu deliklere vana bağlanmıştır.

4.5. Rijit Başlık

Deneylede küp ve silindir kalıp üzerine rijit başlık monte edilmiştir. Başlığın merkezinde 8 mm çapında bir delik ve bunun etrafında bir tane sıkışan havanın çıkması için vana bulunmaktadır. Bu sayede enjeksiyon işlemi boyunca düşey deformasyona müsaade etmeyerek numunenin kabarması engellenmiş, fazla gelen çimento karışımının çıkışına imkan sağlanmıştır. Dört yönden kelebek somunlarla sıkılarak rijitliği sağlanmıştır.

4.6. Metal İnce Boru

Metal ince boru çimento karışımını numuneye enjekte etmek için kullanıldı. Borunun iç çapı 5 mm ve uç tarafında 3 mm çapında 8 adet delik mevcuttur. Çimento karışımı bu deliklerden ve boru ucundan numuneye enjekte edilmiştir. Fotoğraf 4.1'de gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.1. Enjeksiyon Çubuğu

4.7. Silindir Kalıp

Deneyleerde 10 cm çapında 20 cm yüksekliğinde standart silindir numuneler kullanılmıştır. Kalıpların alt kısmı numunenin çıkartılabilmesi için ayrılabilir olup üst kısmı açıktır.

4.8. Küp Kalıp

Deneyleerde 10x10x10 cm ebadında altı sökülebilir, üstü açık standart kalıplar kullanılmıştır.

4.9. Mikser

Mikser olarak bir karıştırıcı ve bir karıştırma kabı kullanıldı. Karıştırma kabı yaklaşık olarak 5 lt hacminde bir çelik kap, karıştırıcı ise 1400 dev/dk'lık mikser makinesi kullanıldı. Fotoğraf 4.2'de gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.2. Mikser

4.11. Su

Deneyleerde Elazığ şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

4.12. Tartı

0,01 g hassasiyetli tartı kullanılmıştır.

5. ENJEKSİYON MODEL DENEYLERİNDE NUMUNE VE KARIŞIM ÖZELLİKLERİ

Tablo 5.1. Deney Planı

D.No	Kum (%)	Çakıl (%)	S/Ç	Enj. Basıncı (Bar)
1101	50	50	0.60	10
1102	50	50	0,55	10
1103	50	50	0,50	10
1104	50	50	0,45	10
1105	30	70	0.60	10
1106	30	70	0,55	10
1107	30	70	0,50	10
1108	30	70	0,45	10
1109	0	100	0.60	10
1110	0	100	0,55	10
1111	0	100	0,50	10
1112	0	100	0,45	10

Tablo 5.2 Numune Sayıları

Numune Tipleri	Basıncı Deneyi Küp (10x10x10 cm)	Los Angeles D. Küp (10x10x10 cm)	Don Deneyi (10x10x10 cm)
Kontrol	6	6	6
% 10	6	6	6
% 20	6	6	6
% 30	6	6	6

5.1. Deneý Düzenegi



Fotoğraf 5.1. Deneý Düzenegi

1	Kompresör	6	Manometre	11	Lastik Conta
2	Hava Giriş Vanası	7	Karışım Çıkış Vanası	12	Kalıp
3	Hidrolik Hortum	8	Hidrolik Hortum		
4	Besleme Haznesi	9	Metal Enj. Çubuğu		
5	Karışım Giriş ağızı	10	Rijit Başlık		

5.2. Deneýin Yapılışı

5.2.1. Deneý Düzeneginin Hazırlanışı

Deneý düzeni Fotoğraf 5.1’de gösterildi. Düzenek şöyle kuruldu: Elazığ Sanayi Sitesi’nde mevcut piyasada bulunan enjeksiyon makinelerinin minyatürü şeklinde tasarlanarak yapıldı. İlk önce kompresörden havayı besleme haznesine aktarmak için hidrolik hortum kullanıldı. Gerektiğinde havayı kesmek için kompresör çıkışına vana monte edildi. Besleme haznesindeki havanın basıncını ölçmek için bir manometre yerleştirildi. Besleme haznesi çıkış vanası hidrolik hortum ile kalıp içindeki metal ince

boruya bağlandı. Bu bağlantı ise, çimento karışımını kalıp içindeki numuneye aktarmak için yapıldı. Boru, kalıp içine numune yerleştirilirken konuldu. Silindirik kalıp üzerine, deformasyona müsaade etmeyen rijit başlık takıldı. Rijit başlığın ortasına 10 mm çapında bir delik delindi. Burası enjeksiyon çubuğunun geçmesi için yapıldı. Enjeksiyon çubuğunun alt 5 cm'lik kısmına 3 mm çapında 8 delik delindi. Enjeksiyonun homojen dağılımı sağlanmış oldu.

Çimento karışımı, karıştırma kabında karıştırıcı ile hazırlandıktan sonra besleme haznesine bir huni yardımıyla boşaltıldı. Daha önce özellikleri belirlenen çimento karışımı enjeksiyona hazır hale geldi ve ön görülen 10 Bar basınç ile enjeksiyon işlemi uygulandı. Enjeksiyon uygulaması Fotoğraf 5.2'de görülmektedir.



Fotoğraf 5.2. Numunelere Çimento Enjeksiyonu Uygulanması

5.2.2. Enjeksiyon Şartlarını Belirlemek İçin Yapılan Ön Deneyler

Deneylerde ilk önce kullanılacak malzemelerin miktarları belirlendi. Daha sonra küp kalıp içerisine numuneler eşit miktarlarda tartılarak kullanıma hazır hale getirildi. Küp kalıp deney düzeneğine yerleştirildikten sonra rijit başlık monte edildi. Rijit başlığın dört tane olan kelebek somunları sıkılarak rijitliği sağlanmış oldu. Rijit başlıkta bulunan vana enjeksiyonun tüm numuneye nüfuz edebilmesi için kapatıldı. Ortasında bulunan 10

mm çapındaki delikten metal enjeksiyon çubuğumuz hafif hafif döndürülerek yerleştirildi.

S/Ç 0.60, 0.55, 0.50 ve 0.45 oranlarında hazırlanarak, 50/50 (Kum/Çakıl) küp kalıplara 10 Bar basınç ile enjekte edildi. Enjekte işlemi sırasında numune içerisindeki havayı boşaltmak için rijit başlık üzerindeki vana açılıp biraz çimento şerbeti gelinceye kadar beklendikten sonra kapatıldı. Kalıplar 18 saat tamamlanıp söküldükten sonra enjeksiyon işlemi sonucu numunenin sadece enjekte çubuğunun uç kısmı enjekte olmuş diğer taraflar enjekte olmamıştı. Fotoğraf 5. 3'de görülmektedir. Bunun nedeni ise ince malzeme oranının fazla olması nedeniyle karışım içerisinde boşlukların bulunmamasıdır. S/Ç 0.60; 0.55; 0.50 ve 0.45 oranlarında hazırlanarak 30/70 (Kum/Çakıl) küp kalıplara 10 bar basınç ile enjekte edildi. Kalıplar söküldükten sonra enjeksiyon işleminin başarılı olduğu anlaşıldı. Fakat bizim katkı maddesinin granülometresinin kum malzemeye yakın olması nedeniyle bu karışım oranı yerine sadece çakıl(0-19) malzeme kullanıldı. Çakıl numuneye %10, %20 ve %30 katkı malzemesi olan granül malzeme eklendi. Agregaların granülometrisi elek analiz deney sonucu belirlenmiştir. Elek analiz makinesi Fotoğraf 5.4'de görülmektedir.



Fotoğraf 5.3. Kısmi Enjeksiyon Olmuş Numuneler



Fotoğraf 5.4. Elek Analiz Makinesi

5.2.3. Esas Enjeksiyon Deneyleri

Deneylerde ilk önce çakıl malzeme tartılıp küp ve silindir kalıplara doldurulur (Fotoğraf 5.5). Doldurma işlemi küp kalıplar tamamen dolduktan sonra ortalama bir ağırlık bulunarak tüm küp kalıplar aynı ağırlıkta doldurulur. Silindir kalıpta ortak bir ağırlık bulunduktan sonra tüm silindir kalıplarda eşit şekilde doldurulur. Bunun sebebi numaralandırılmış numunelerin enjeksiyon işlemi sonunda tekrar tartılarak ne kadar enjeksiyon yapıldığı tespit edilecek. Enjeksiyon miktarları tüm deney sonuçlarını etkileyeceği için önemlidir. Kalıplar doldurulduktan sonra numaralandırılır. Deney düzeneğinin yanına sırayla dizilir. Küp kalıp düzeneğe yerleştirildikten sonra üzerine ortasından 10 mm çapında delik olan lastik conta yerleştirilir. Contanın üzerine rijit başlık yerleştirilerek dört bir taraftan rijitliği sağlayan vidalar sıkılır. Enjeksiyon çubuğu rijit başlığın 10 mm çapındaki girişinden hafif hafif döndürülerek kalıp içerisine yerleştirilir.

Karışımımızı hazırlamak için çimento miktarı tartılıp hazırlandıktan sonra su miktarı da dereceli cam beher ile ölçülüp ayarlanır. Mikserimizin yanına getirilen karışım malzemeleri sırasıyla önce su sonra da çimento mikserin karışım haznesine çalıştırıldıktan sonra azar azar dökülür bunun sebebi ise topaklaşmayı önlemektir. Çünkü bu topaklaşmalar enjeksiyon işlemi sırasında hidrolik hortumu tıkamaktadır. Çimento karışımı 10 dakika iyice karıştırıldıktan sonra bir huni yardımıyla deney düzeneğimizdeki besleme haznesine boşaltılır. Malzeme girişi iyice tapasıyla sıkıştırıldıktan sonra

kompresöre bağı olan giriş vanası açılır. Besleme haznesindeki basınç 10 Bar manometrede okunduktan sonra çıkış vanası açılır. 2-3 dakika bekledikten sonra rijit başlığın üzerindeki hava boşaltım vanası yavaşça açılır vanadan karışım çıktığı an besleme haznesinin çıkış vanası kapatılır. Enjeksiyon işlemi böylece tamamlanmış olur. Enjeksiyon yapılan küp kalıp rijit başlığın vidaları sökölerek kurumaya bırakılır. Aynı işlem silindir kalıplar içinde yapılır. 18 saat sonra kalıplar söküldükten sonra tekrar tartılır. Ağırlıkları kaydedilerek numune hazırlanmış olur. Hazırlanan numuneler kür havuzuna bırakılır (Fotoğraf 5.6). Çakıla %10, %20 ve %30 granül katkı maddesi ilave edip karıştırılarak yeni numuneler elde edilir. Deneylerde kullanılacak numune sayıları Tablo 5.3’de verilmiştir.



Fotoğraf 5.5. Enjeksiyona Hazırlanmış Kalıplar

Tablo 5.3. Deneyler Kullanılacak Numune Sayıları

D.No	Granül (%)	Çakıl (%)	S/Ç	Enj. Basıncı Bar	Küp Numune Adedi
2101	0	100	0.55	10	18
3101	10	90	0.55	10	18
4101	20	80	0.55	10	18
5101	30	70	0.55	10	18



Fotoğraf 5.6. Kür Havuzu

5.2.4. Basınç

Basınç oranı manometre yardımıyla 10 bar sabit tutularak tüm numuneler enjekte edilmiştir.

5.2.5. Viskozite

S/Ç oranları tüm numunelerde sabit tutularak viskozite oranı da sabitlenmiş oldu.

6. ÇİMENTO ENJEKSİYON DENEYLERİ

6.1. Basınç Dayanımı

6.1.1. Giriş

Betonun mekanik özellikleri arasında en çok inceleneni, bir anlamda en önemlisi basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı betonun bir çok olumlu nitelikleriyle doğru orantılıdır. Yüksek basınç dayanımlı bir beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanır ve aşınmaz. Betonun basınç dayanımını saptamakla betonun niteliği hakkında genel bir değerlendirme yapılabilir [4].

Harcın kılcal su emmesi ve basınçlı su geçirimsizliği S/Ç oranı ile birlikte azalmakta, kompasitesi ve birim ağırlığı artmaktadır. Bu olumlu etki bünyedeki boşlukların miktarlarının ve sürekliliğinin azalmasından kaynaklanmakta ve bir kritik eşik değerine kadar sürmektedir. S/Ç bu eşik değerinin altına indiğinde harç yeterli ölçüde sıkışmayarak boşluklar artmakta, dolayısı ile kompasite ve birim ağırlık düşmekte, kılcal su emme ve basınçlı su geçirimsizliği artmaktadır [5]. Deneyde bu oranı sabit tutmak için S/Ç 0.55 olarak alınmıştır.

Betonun basınç dayanımına etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlar arasında: bileşen malzeme ve özellikleri, kompasite, dış etkiler, kür ve deney şartları sayılabilir. Çimento dozajının yüksek olması mukavemeti bir yere kadar artırır, ancak dayanıma etkileyen faktör salt dozaj değil S/Ç oranıdır. İyi bir betonda kompasite 0.80'den büyük olmalıdır. Kompasitesi yüksek, dolu bir betonun basınç dayanımı da doğal olarak yüksek olması beklenir. Sertleşme sürecinde rutubet ve sıcaklık derecelerinin betonun basınç dayanım gelişimine olan etkisi çok önemlidir [6, 7].

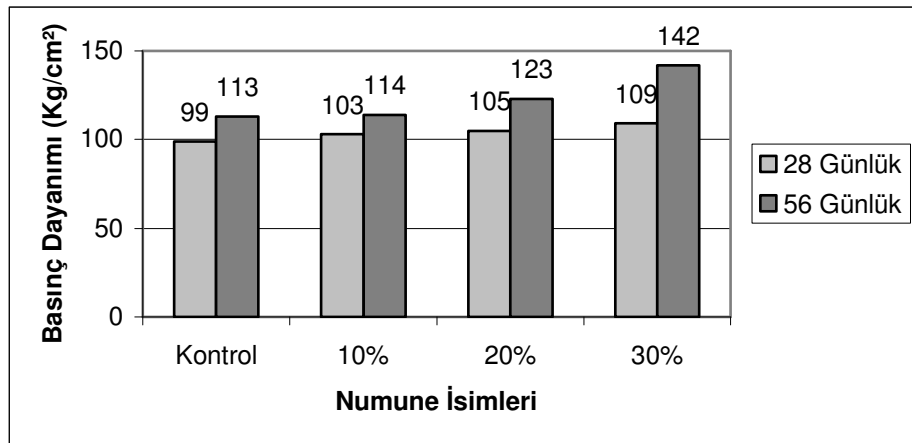
6.1.2. Deney Yöntemi ve Elde Edilen Veriler

Basınç dayanımı deneyi için hazırlanan betonların karışım oranları Tablo 5.3'den alınmıştır. Önceden küp kalıplara hazırlanmış çakıl ve katkı maddesi olan granül 10x10 cm'lik küp kalıplara enjeksiyon deney düzeneği ile enjekte edildi. Kalıplar söküldükten sonra numuneler tek tek tartılarak enjeksiyon miktarları bulunur. Su tankına konulmak üzere $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki kür odasında %90 bağıl nemde koruma altına alınır. Burada bir tam gün bekletildikten sonra $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de değişmez sıcaklıktaki su tankına alınır. Karışımlar deney gününe kadar bu ortamda bekletilir. TS 3114 esasına göre, beton karışımlarına kuvvet uygulaması, numune basınç presi aletinin tablaları arasına yerleştirildikten ve tablaların numunenin alt ve üst yüzeylerine iyi bir şekilde oturması sağlandıktan sonra

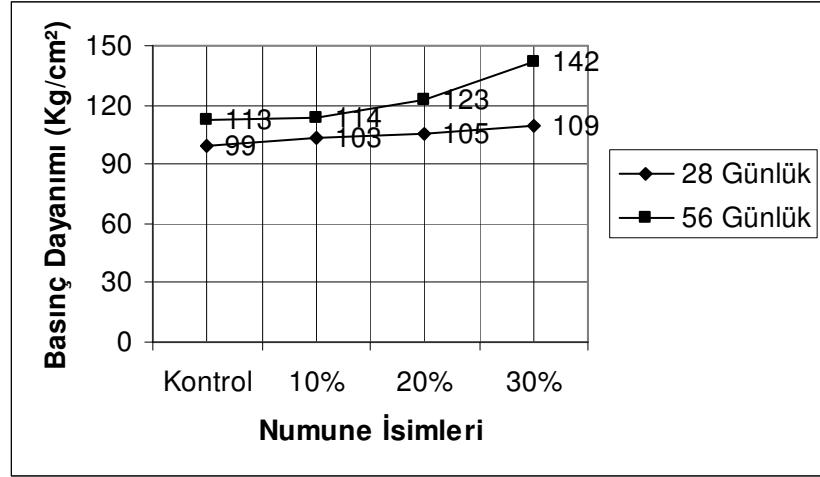
kuvvet uygulamasına geçilir [10]. Bu şartlar altında yürütülen deneyde, basınç pres makinesi, beton makinesinin taşıyabileceği maksimum kuvvete ulaştığı anda (Pk) yüklemeye otomatik olarak son vermektedir (Fotoğraf 6.1). Buna göre basınç dayanım değeri (BD); $BD=Pk/A$ formülü ile hesaplanmıştır (Pk: Beton numunesinin taşıyabileceği maksimum kuvvet, A: Numunenin alanı). Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de 28 ve 56 günlük dayanımları belirtilmiştir.



Fotoğraf 6.1. Basınç Aleti



Şekil 6.1. Numunelerin 28 Günlük ve 56 Günlük Basınç Dayanımları



Şekil 6.2. Numunelerin 28 Günlük ve 56 Günlük Basma Dayanımları

6.1.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması

Dört tip beton karışımından elde edilen sonuçlar, katkı maddesi olan granüle yapıllı mineral malzemenin artmasıyla basma miktarında artış olmaktadır. Kırılmalar tüm numunelerde yüzeysel olarak meydana gelmiştir. Fotoğraf 6.2’de gösterilmiştir. İnce malzeme miktarı arttıkça kompasitesi yüksek olduğundan aderansı da yüksek olunca basma miktarı da buna bağlı olarak artmaktadır. Fakat fazla miktarda granül malzeme kullanıldığında da testler aşamasında da görüldü ki enjeksiyon işlemi kısmi olmaktadır.



Fotoğraf 6.2. Basma Aletinde Yüzeysel Kırılmış Numuneler

6.2. Bilyalı Tambur (Los Angeles) Aşınma Deneyi

6.2.1. Giriş

Beton yapılar muhtelif zorlanmaların etkisi altında bulunmaktadır. Bu zorlanmaların türüne ve etki derecesine göre betonlarda kullanılacak malzemelerin çeşitli özelliklere sahip olması gerekir. Fakat bu özellikler birbirinden bağımsız olmayıp bunlar arasında yakın ilişkiler vardır.

Betonun mekanik kuvvetleri arasında değeri en büyük olan basınç mukavemetidir. Bundan dolayı beton, yapılarda daha çok basınç gerilmelerine maruz bırakılarak kullanılır. Bununla beraber bazı yapı çeşitleri vardır ki, buralarda beton, basınç yanında çekme, eğilme, çarpma ve aşınma gibi zorlamaların etkileri altındadır. Örnek olarak yollar, hava meydanları ve barajlar gösterilebilir. Şu halde beton bu etkilere karşı yeterli bir mukavemete sahip olmalıdır. Bu husus, ortam koşullarına dayanacak uygun bir çimentonun seçilmesi yanında çeşitli önlemlerin alınmasını gerektirir.

Elazığ ferrokrom cürufunun granüle yapılı mineral malzemesinin enjeksiyon işlemlerinde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu güne kadar söz konusu deneysel araştırmaya benzer bir literatür çalışmasına rastlanmamıştır.

6.2.2. Deney Yöntemi ve Elde Edilen Veriler

Numuneler 28. günün sonunda kür havuzundan çıkarılarak 24 saat bekletildikten sonra ağırlıkları tek tek tartılarak tespit edilir. Söz konusu standartta agregalar için verilen numune miktarları, bilye sayısı ve ağırlığı bu deneyde göz önünde bulundurulmuştur. Ancak agregalar için verilen 5000 g'lık numuneye karşılık gelmek üzere üç adet deney numunesi (ağırlıkları toplam 2210-2340 g arasında) aşındırıcı 6 adet font bilye kullanıldı. Deney aleti Fotoğraf 6.3'te gösterilmiştir.

Beton küp numunelerinin aşındırma aletine konulmasından sonra alete 100 devir yaptırılır. Deneye başlamadan önce ağırlıkları belirlenen numuneler tekrar tartılır. Aşındırma aletine konularak 400 devir daha yaptırılır. Aşındırma aletinden çıkarılan numuneler tekrar tartılır. Böylece ağırlık kayıpları bulunmuş olur. Aşındırma aletinden çıkan numunelerin Fotoğraf 6.4'te gösterilmiştir. Tablo 6.1'de 28 ve 56 günlük aşınma miktarları belirtilmiştir.

Tablo 6.1. 28 ve 56 Günlük Numunelerin Aşınma Miktarları (kg)

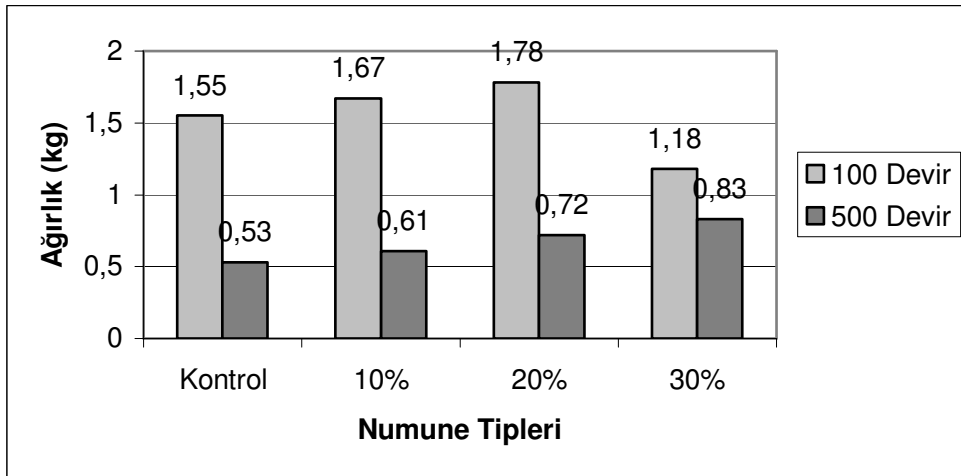
Numune İsimleri	28 Günlük 100 Devir Sonucu Kalan Ağırlığı (kg)	28 Günlük 500 Devir Sonucu Kalan Ağırlığı (kg)	Numune İsimleri	56 Günlük 100 Devir Sonucu Kalan Ağırlığı (kg)	56 Günlük 500 Devir Sonucu Kalan Ağırlığı (kg)
Kontrol	1,55	0,53	Kontrol	1,56	0,56
10%	1,67	0,61	10%	1,79	0,9
20%	1,78	0,72	20%	2,08	1,48
30%	1,81	0,83	30%	2,16	1,58



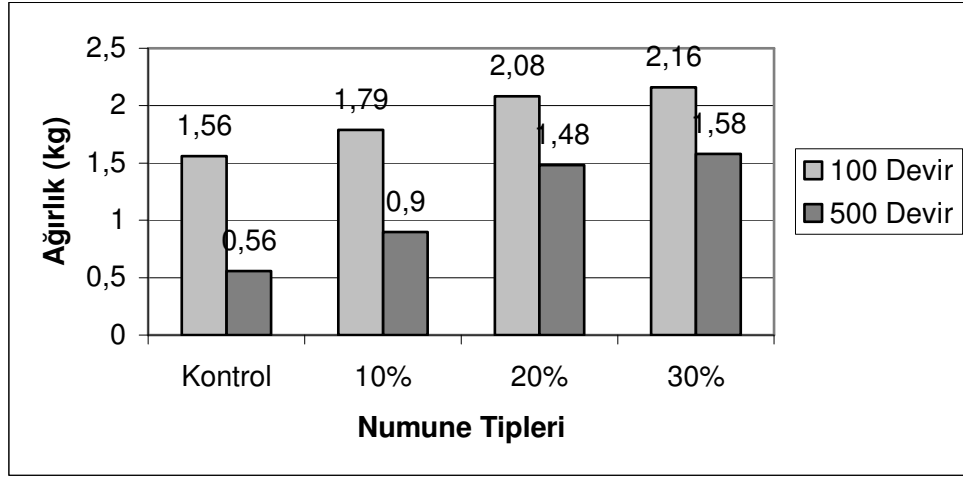
Fotoğraf 6.3. Los Angeles (Aşınma) Aleti



Fotoğraf 6.4. 100 ve 500 Devir Sonrası Numunelerin Görünümü



Şekil 6.3. 28 Günlük Aşınma Kayıpları



Şekil 6.4. 56 Günlük Aşınma Kayıpları

6.2.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması

Deney numunesi olarak üretilen betonlarda 28. ve 56'ncı günlerde yapılan deneyler sonucunda görüldü ki granül yapılı Elazığ ferrokrom cürufu malzemesi miktarı arttıkça aşınma miktarı da az artış göstermektedir. Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de gösterilmiştir. Buradan da anlaşılıyor ki granül malzeme beton içinde kompasiteyi artırıyor. Bu nedenle aşınma miktarı az olmaktadır.

6.3. Donma-Çözülme Dayanımı Deneyi

6.3.1. Giriş

Postacıoğlu [8]'e göre, boşluklu bir cisimdeki boşluklarda bulunan suyun, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda, donması cisimlerin dayanımının azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir. Böyle bir sonuç suyun donması sonunda hacminin artmasından ileri gelmektedir. Suyun donması sonunda hacminde %8,7 değerinde bir hacim artışı meydana gelir. Cisim içinde su birden bire değil yavaş yavaş donabilir. Suyun bir kısmının donması sonunda meydana gelen hacim artışı donmamış suları harekete geçirir, onları boşluklara iterek iç basıncı artırır. Suyun donmasının tamamlanmasında hacim artışı maksimum değeri almıştır. Bu durumda yukarıda uzamanın, cismin boyuna karşı koyması sonunda gerçekleşmemesi ve ayrıca donmanın tamamlanmaması halinde doğan iç basınç cisim içinde çekme gerilmeleri oluşturur. Bu gerilmelerin, cismin çekme dayanımına ulaştığı bölgelerde çatlaklar meydana gelir. Suyun bu şekilde zararlı bir etki meydana getirebilmesi için, miktarının belirli bir

değerden büyük olması gerekir. Eğer cisimde suyun işgal etmediği hacim, suyun donması sonunda meydana gelecek hacim artışından daha büyük ise donma olayı herhangi bir iç gerilme meydana getirmeyecek, aksi halde ise çekme gerilmelerinin oluşması ile zararlı etkiler kendini göstermeye başlayacaktır.

Sıcaklığın sıfırın altına düşmesiyle başlayan olay, kendini önce betondaki iri boşluklarda gösterir. Zira suyun donma derecesi boşluk boyutları küçüldükçe azalmaktadır. Bu nedenle iri boşluklarda başlayan donma olayı küçük boşluklara doğru gelişir ve bunun sonunda da kılcal boşluklardaki su donmaya başlar. Jel boşluk boyutları çok küçük olduğundan buralarda buz kristalleri oluşamaz. Bu ince boşluklarda suyun donabilmesi için sıcaklık derecesinin -78°C 'nin altına düşmesi gerekmektedir. Ortamda sıcaklık derecesinin sıfırın üstüne çıkmasıyla boşluklarda meydana gelmiş buz su haline dönüşür. Fakat, bu donma ve çözülme olaylarının tekrarlanması halinde çatlaklar gelişerek birbiriyle birleşir, çatlaklar şebekesi meydana getirir. Olayın devam etmesi önce küçük parçaların betondan ayrılmasına veya dökülmesine neden olur. Bunu betonun tamamen parçalanması izler. Bu açıklamalardan betonun donmadan zarar görmesine yol açan malzeme dışında iki faktörün bulunduğu anlaşılmaktadır. Bunlar; ortamdaki sıfırın altındaki sıcaklık derecesi, diğeri ise donma ve çözülme olaylarının sayısıdır.

Sıcaklık derecesinin etkisi, buzun basınç mukavemetinin sıcaklık derecesi düştükçe artmasından kaynaklanmaktadır. Donma olayı sonunda buzda meydana gelen basınç gerilmesi buzun basınç dayanımına erişiyor veya bundan büyük bir değer alıyorsa buzun parçalanarak su haline dönüşmesi ile donma olayının zararlı etkisi ortadan kalkacaktır.

Donma olayı, zararlı etkisini çimento hamuru ve agrega fazında gösterir. Çimento hamurunda bulunan kılcal borulardaki suyun donması hamurun çatlamasına ve iç yapısının değişmesine neden olur. Bu zararlı etkilerin meydana gelmemesi veya sınırlı kalması için açıktır ki donan su hacminin az olması gerekmektedir. Bu ise, çimento hamurunun kılcal boşluklarının az olması yani çimento hamurunun kompasitesinin büyük olması ile gerçekleşebilir. Hamur kompasitesini etkileyen en önemli faktör ise S/Ç oranıdır. Bu oran ne kadar küçük ise kompasite o kadar büyük olacaktır. Bu durumda bir betonun donmaya dayanıklı olması isteniyorsa S/Ç oranı mümkün olduğu kadar (işlenebilme özelliğinin sağlanması şartı ile) küçük değerde olmalıdır. Agrega taneleri ise, donma olayı sonunda parçalanarak, betonun bu olaydan etkilenmesine neden olur. Agrega tanelerinin yüzeyleri çimento hamuru tarafından iyi sarılması sonucu geçirimsiz bir tabaka ile kaplanmasına neden olacaktır. Bu durumda tanelerin boşluklarında bulunan su

hapsedilmiş olacaktır. Buradan donmaya dayanıklı beton elde edilmek isteniyorsa, porozitesi küçük olan agregaların kullanılması gerektiği sonucu çıkmaktadır.

Donma olayının ve bunun etkilerinin çok karmaşık olmasından dolayı laboratuarda yapılan donma-çözülme deneylerinde donmadan zarar gören ve görmeyen betonları birbirinden ayıran kesin kriterler henüz ileri sürülemedi. Bu konuda uygulanmakta olan belli başlı yöntemler şunlardır:

Betonun, dinamik elastiklik modülünde, basınç veya eğilme dayanımlarında, ağırlığında belirli bir azalmanın veya boyutlarında belirli bir artışın meydana gelmesi sonunda betonun donma etkisinden zarar gördüğü kabul edilir.

Betonların donma olayına karşı dayanımını ölçmek için hızlı ve yavaş olmak üzere değişik standart deneyler geliştirilmiştir. Bunlardan yavaş deneyler (ASTM C 310) 20°C'de havada donma ve +20°C'de suda çözülmeye tabi tutulduğu için doğadaki gerçek şartlara çok bezemektedir. Hızlı deneyler ise (ASTM C 666) doğadaki şartlardan daha sert olmaktadır. Bu deneylerde numunelerin durumları zaman zaman incelenmektedir. Döküntü ve çatlamların görülmesi, aşırı boy uzamaları, ağırlıkların azalması, titreşim geçiş hızlarının veya mukavemetinin azalması dondaki zararı belirtmektedir.

6.3.2. Deney Yöntemi ve Elde Edilen Veriler

Granül yapılı ferrokrom cürufu malzemesinin enjeksiyon işleminde kullanılabilir özelliğinin araştırılmamış olduğu görülmüştür. Bu nedenle deneysel bir çalışma yapılarak granüle yapılı malzemenin enjeksiyon işlemiyle üretilmiş betonlarının fiziksel özellikleri araştırılmıştır.

Donma-çözülme deneyi için hazırlanan 10x10 cm küp numuneler su tankına konulmak üzere 23±2°C'deki kür odasında ve %90 bağıl nemde koruma altına alınır. Burada tam bir gün bekletildikten sonra 23±2°C'de değişmez sıcaklıktaki su tankına alınır. Karışımlar 28 gün süre ile bu ortamda bekletilir [11].

Betonların havada donma sıcaklığı -18±2°C, çözülme sıcaklığı ise 5±2°C'dir. Numuneler -20°C'lik soğutucuda 18 saat bekletildikten sonra çıkarılarak leğen içerisine konulmuş suyun içerisine konur. Bu işlem 90 gün boyunca devam eder.

6.3.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması

Betonların donma-çözülme dayanıklılığı açısından incelemede, kontrol numunesi 35. donma-çözülme sonunda önce köşe noktalarından küçük boyuttaki agregaların kopması ile başlamış deneye devam edildikçe yan yüzeylerinde gözle

görülebilen şişmeler ve kabarmalar meydana gelmiştir. 40. günde bu şişme ve kabarmalar parçalanarak döküldü. %10 granüle katkıli betonlarda ise yapılan deneyler sonucunda 35. donma-çözülme olayında köşe yerlerinde küçük boyuttaki agregaların koptuğu gözlenmiş ve devam eden deneyler sonucunda 45. günde 1-3 cm çatlaklar meydana gelmiştir. 50. donma-çözülme olayında da köşe yerlerinden bir miktar daha küçük agregalar kopmuştur. %20 granüle katkıli betonlarda 45. donma-çözülme olayında 1-2 cm kıl şeklinde çatlaklar oluşmuştur. 60. donma-çözülme olayında çatlakların pek büyümedikleri görülmüştür. %30 granüle katkıli betonlarda 50. donma-çözülme olayında gözle görülür herhangi bir değişiklik görülmemiştir. Donma-çözülme olayları Fotoğraf 6.5’de gösterilmiştir.

Betonların basınç dayanımları ve katkı yüzdeleri artıkça donma-çözülme tekrarlarına karşı dayanıklılık da artmaktadır.



Fotoğraf 6.5. Donma-Çözülme Fotoğrafı

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, zeminlerin enjeksiyonu ile ilgili incelemeler ve laboratuarda çimento enjeksiyon model deneyleri yapıldı. Enjeksiyon kayma mukavemetini artırmak veya geçirimsizliği azaltmak amacıyla kaya ya da zemin içindeki boşluklara basınç altında bir karışım zekretme yoluyla uygulanan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Enjeksiyon işleminin nasıl yapıldığı hakkında yeterli düzeyde bilgiye sahip olunmasına rağmen istenilen sonuca ulaşmak her zaman mümkün olmayabilir. Bunun sebebi, uygun enjeksiyon karışımının veya yönteminin seçilememesi olarak gösterilebilir. Bu yüzden, enjeksiyon uygulamalarında enjeksiyon karışımının ve yönteminin seçiminde hassas olunmalı ve yeterli bir ön çalışmadan sonra buna karar verilmelidir.

Enjeksiyon karışımının, istenen bölgeye en az enerji ile enjekte olması istenir. Bu yüzden karışımın yeterli ölçüde akıcı olması istenir. Ancak, gereğinden fazla akışkanlık da karışımın gerekli olmayan uzaklıktaki mesafelere kadar ilerlemesine neden olacağından sakıncalıdır. Optimum değer öncelikle saptanması bu yüzden çok önemlidir. Aslında en uygun yol, işleme akışkan bir karışımla başlamak, duruma göre karışımı yoğunlaştırarak aşamalı olarak optimum akışkanlığa ulaşmaktır. Akışkanlık, katı madde/su oranı ile kontrol edilebildiği gibi çeşitli katkı maddeleri ile de ayarlanabilir.

Çimento karışımlarının özelliklerini etkileyen en önemli faktör karışımın S/Ç oranıdır. Bu oran, karışımın viskozitesini ve mukavemetini büyük ölçüde etkiler. Karışımdaki fazla su çökmeye, büzülme ve düşük mukavemete neden olur. Karışımlarda az miktarda çökme ve büzülmeyle yüksek mukavemet elde etmek için minimum S/Ç oranı kullanılmıştır.

Katkı maddeleri, iyi bir karışım yapmak için yedek malzeme olarak kabul edilmemelidir ve rastgele kullanılmamalıdır. Katkıların uygunluğu deneme karışımları ile belirlenmelidir. Büyük çaplı boşluklar için ekonomi sağlamak amacıyla karışıma kum, kil ve puzolan gibi malzemeler katılabildiği gibi bu çalışmada da görülüyor ki katı madde yerine, granüle yapıları ferrokrom cürufu da kullanılabilir.

Yapılan model deneylerde enjeksiyon yöntemiyle üretilmiş granüle yapıları ferrokrom cürufu katkılı betonların fiziksel özelliklerinde olumlu gelişmeler görülmüştür. Ayrıca basınç dayanımı, Los Angeles aşınma ve donma-çözülme deneylerinde katkı maddesi olumlu yönde etki etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] İncecik, M., Şenol, A., “**Çimento Enjeksiyonunda Son Gelişmeler**”, İ.T.Ü. Dergisi, Cilt 52, Sayı 1-2, Sayfa 61-69, 1994.
- [2] Özocak, A., “**İnce Daneli Çimento İle Enjeksiyon Model Deneyleri**,” Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., 1994.
- [3] Ceran, İ., “**Zeminlerin Enjeksiyonu ve Laboratuvar Enjeksiyon Deneyler**”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., 1990.
- [4] Akman, M.S., “**Yapı Malzemeleri**” İstanbul, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi Matbaası, 1987.
- [5] Sümer, M., “**Harçlarda Kılcal ve Basınçlı Su Altındaki Geçirimsizliğin S/Ç Oranı İle Değişimi**” Teknik Dergi, Cilt 5, Sayı 1, Sayfa 744-753, İstanbul, 1994.
- [6] Ekinci, C.E., “**Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi**” Doktora Tezi, F.Ü., 1995.
- [7] Ekinci, C.E., “**Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı**,” İlağı, Üniversite Kitabevi, 2005.
- [8] Postacıoğlu, B., “**Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar**”, Beton Cilt I. Bağlayıcı Maddeler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 1986.
- [9] Çatal, A., “**Atatürk Barajı Jeoteknik Uygulamaları**”, Ankara, Atak Ofset, 1993.
- [10] TÜRK STANDARTLARI, “**TS 3114 Beton Basınç Mukavemeti Deney Metodu**, ” TSE, Ankara, 1990.
- [11] TÜRK STANDARTLARI, “**TS 3068 Laboratuvarında Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı**, ” TSE, Ankara, 1978.

ÖZ GEÇMİŞ

Mustafa ERŞİMŞEK, 1970 yılında Adana'nın Karataş İlçesi'nde doğmuştur. İlköğretimini burada tamamladıktan sonra liseyi Adana İsmet İnönü İnşaat Teknik Lisesi'nden mezun olmuştur. 1994 yılında Fırat Üniversite Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü'nü kazandı. 1998 yılında aynı Fakülte'de Yüksek Lisans'a başladı. 1999 yılında Ağrı'nın Patnos İlçesi'ne öğretmen olarak atanması nedeniyle yüksek lisansa ara verdi. 2005 yılında afaan faydalanarak tekrar yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Elazığ iline bağılı Kovancılar ilçesinde Çakırkaş Cumhuriyet İlköretim okulunda müdür yetkili olarak görev yapmaktadır.