
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

İÇ CİDARI BETON KAPLI BORULARDA AKIMIN AŞINDIRMA ETKİSİ

Aynur ŞAFAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞUSTOS 2014

Aynur ŞAFAK tarafından hazırlanan "İÇ CİDARI BETON KAPLI BORULARDA AKIMIN AŞINDIRMA ETKİSİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT
İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ..……

Başkan : Prof. Dr. Mustafa GÖĞÜŞ
İnşaat Mühendisliği, ODTÜ

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……...

Üye : Prof. Dr. Nevzat YILDIRIM
İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……...

Tez Savunma Tarihi: 08/08/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

…….…….

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Aynur ŞAFAK
08/08/2014

İÇ CİDARI BETON KAPLI BORULARDA AKIMIN AŞINDIRMA ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Aynur ŞAFAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ağustos 2014

ÖZET

İçmesuyu isale hatlarında boru çapının belirlenmesindeki en büyük etken su hızıdır. Gerek çelik borunun içerisindeki beton kaplamaya zarar verdiği, gerek enerji kayıplarını artırması nedeniyle ilave işletme masrafları getirdiği, gerekse su darbesi etkilerini artırdığı gerekçesiyle tasarım hızı belirli bir değerin üzerine çıkarılamamaktadır. Söz konusu hız limitleri mevcut literatürde belirli aralıklarda (0,50 – 3,00 m/s) verilmektedir. Ancak iç kaplamada kullanılan beton kalitesinin artmasıyla birlikte pompaj gerektirmeyen sistemlerde söz konusu hız sınırının da bir miktar daha artırılabileceği ve bu sayede boru çapından ekonomi sağlanılabileceği düşünülmektedir. İçmesuyu isale hatlarındaki boru maliyeti işin toplam maliyetinin büyük kısmını oluşturduğundan tasarım çapını küçültmenin ekonomiye vereceği katkı da ihmal edilemeyecek kadar önemlidir. Bu çalışmada içi beton kaplı düktil borularda yüksek hızların test edileceği bir boru düzeneği kurulmuş ve bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Deneyde içi katkılı beton kaplamalı TS-EN 545 Standardına uygun düktil boru kullanılmıştır. İç beton kaplama, ISO 4179 standardına uygun olarak santrifüj (merkezkaç, savurma) yöntemiyle uygulanmıştır. Deney düzeneği 4 farklı çapta (Ø200-300-400-450 mm) düktil borulardan oluşan ve pompalar vasıtasıyla depodan basılan suyu tekrar depoya ulaştıran bir devir-daimden oluşmaktadır. Sistemde 4 farklı çap kullanılarak aynı debide 4 farklı hız oluşturulmuştur. Deneyde 440 l/s debide oluşan 2,73-3,45-6,08-13,81 m/s su hızlarının iç beton kaplamaya verdiği aşınma gözlenmiştir. Deney öncesinde iç beton kaplama kalınlıkları belirli noktalarda ölçülmüş olup, 3 ay boyunca deney düzeneği çalıştırılmış ve her ay sonunda aynı noktalarda ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler bir önceki değerler ile kıyaslanarak ve beton kaplamadaki değişiklikler tespit edilerek değerlendirme yapılmıştır. Deney sonucunda kullanılan hız değerleri ile oluşan aşınmalar arasında lineer bir ilişki tespit edilememiştir. Bu çalışmada deneyde uygulanan hızların boru iç cidarını oluşturan beton kaplamada meydana gelen aşınma üzerindeki etkisinin ihmal edilecek kadar az olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 911.1.125
Anahtar Kelimeler : İsale hattı, beton kaplama, aşınma, su hızı
Sayfa Adedi : 120
Danışman : Yrd. Doç. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT

ABRASION EFFECT OF FLOW ON PIPES WITH CEMENT MORTAR LINING
(M.Sc. Thesis)

Aynur ŞAFAK

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
August 2014

ABSTRACT

The main factor in determining pipe diameter in potable water supplying systems is the flow velocity. The design flow velocity cannot be increased above a certain value due to the deterioration it causes on cement mortar lining, the additional management costs because of the increased energy loses and the increase its causes in water impact. The flow velocity limits noted in the literature are given in a specific range (0,5-3,0 m/sec.) However, the mentioned velocity limits can be increased up to a certain value in systems without pumping by decreasing the pipe diameter with the increase in the quality of cement mortar used on the interior lining of the pipes and thus the cost of the project can be reduced. The economical contribution to the project cost by reducing the pipe diameter can not be disregarded because the cost of pipe constitutes the major part of the total cost of a potable water project. In this study, an experimental pipeline model was set up from ductile pipes with addited cement mortar lining in which high velocities were aimed and a series of experiments were conducted. In all experiments, ductile pipes with cement mortar lining with TS-EN 545 standards are used. The cement mortar lining was applied to the pipes by santrifuj method according to the ISO 4179 standards. Experimental set up was composed of ductile pipes with four different diameter (Ø200-300-400-450 mm) and water was recycled from a reservoir to the pipe system and back to the reservoir by pumps. In the set up, four flow velocities were obtained at the same discharge with the four different pipe diameter. In the experiments, discharge was set to 440 l/s and the abrasion effects on the cement mortar lining due to the 2,73-3,45-6,08-13,81 m/sec flow velocities were observed. At the beginning of the experiments, the thickness of the cement mortar lining was measured at specific locations and at the end of running the flow in the system for a month, the measurements were taken at the same locations and this was repeated for three months. The measured thicknesses were compared and the changes on the cement mortar lining were observed. No linear relation could be determined between the flow velocities and observed abrasions from experiments. It is thus concluded that the abrasions observed on cement mortar lining by the flow velocities applied were as little as cen be neglected.

Science Code : 911.1.125
Key Words : Water pipeline, cement mortar lining, abrasion, flow velocity
Page Number : 120
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması DSİ İçmesuyu Dairesi Başkanlığı'nın "İçi Beton Kaplı İçmesuyu Borularından Geçen Su Hızının Beton Kaplama Üzerindeki Aşınma Etkisi" adlı AR-GE Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmaları süresince yardımlarını esirgemeyip, her konuda destek olan Yrd. Doç. Dr. Önder KOÇYİĞİT'e 'Gazi Üniversitesi', tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT'e 'Gazi Üniversitesi', kıymetli bilgilerinden faydalandığım Prof. Dr. Nevzat YILDIRIM'a 'Gazi Üniversitesi', her konuda destek veren DSİ İçmesuyu Dairesi Başkanı İnş. Yük. Müh. Ayhan TAŞKIN'a 'DSİ İçmesuyu Dairesi Başkanlığı', deney düzeneğinin kurulumu ve takibinde yardımlarından dolayı DSİ TAKK Dairesi Elektromekanik Şube Müdürü M.Salih ATMACA'ya 'DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı' ve Proje Koordinatörü Doç. Dr. Mehmet Ali KÖKPINAR'a 'DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı' teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xvii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 3

2.1. Boru İçerisinde Ani Daralma Sonucu Hızlardan Dolayı Oluşacak Aşınmanın Sayısal İncelemesi 3

2.2. Su Akım Hızı Sınırlamaları 3

2.2.1. Boru ve boru sistemlerinde gürültü 5

2.2.2. Aşınma 8

2.2.3. Korozyon 9

2.2.4. Su darbesi 11

2.3. Aşınma Hızı 11

2.4. Sedimentli Suyun Betonda Yaptığı Aşınma 12

2.5. Sayısal ve Deneysel Yöntemler ile Aşınma ve Korozyonun Değerlendirilmesi 14

2.6. Betonun Dayanıklılığı 16

2.6.1. Betonun fiziksel etkenlerle bozulması 17

2.6.2. Betonun kimyasal etkilenme sonucu bozulması 19

Sayfa

3. İSALE HATLARINDA HİDROLİK HESAP KRİTERLERİ 21

3.1. Deney Düzeneği, Yük Kayıpları ve Hız Hesabı 23

3.2. Deneyde Kullanılan Pompaların Özellikleri 25

4. DENEY DÜZENEĞİ 29

4.1. İç Beton Kaplama Analizi 38

4.2. Hamsu Analizi 39

4.3. Deneyde İzlenen Yöntem 40

4.4. İç Beton Kaplama Değişimi 49

4.4.1. Bir ay sonra iç beton kaplama durumu 55

4.4.2. İki ay sonra iç beton kaplama durumu 68

4.4.3. Üç ay sonra iç beton kaplama durumu 81

4.4.4. ASKİ İşletme dışı bırakılmış boruların iç beton kaplama durumu 94

5. GÖZLEM VE DEĞERLENDİRMELER 97

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 103

KAYNAKLAR 105

EKLER 109

EK-1. Kullanılan suya ait ilk bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları 110

EK-2. İlk malzeme karışımı sonrası suya ait bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları (Birinci gün) 111

EK-3. İlk malzeme karışımı sonrası suya ait bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları (İkinci gün) 112

EK-4. Son malzeme karışımı sonrası suya ait bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları (Birinci gün) 113

EK-5. Son malzeme karışımı sonrası suya ait bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları (İkinci gün) 114

EK-6. Son malzeme karışımı sonrası suya ait bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları (Üçüncü gün) 115

Sayfa

EK-7. Kullanılan suya ait beton temas suyu analiz sonuçları 116

EK-8. Bulanıklık artırmak için kullanılan malzemeye ait elek analizi sonuçları (Çubuk-1 Barajı) 118

EK-9. Bulanıklık artırmak için kullanılan malzemeye ait elek analizi sonuçları (Çubuk-2 Barajı) 119

ÖZGEÇMİŞ 120

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Aşınmayı minimize etmek için maksimum su hızı limitleri 5

Çizelge 2.2. Farklı malzemeli boru sistemlerinde tipik gürültü seviyeleri 6

Çizelge 2.3. Çeşitli test odalarında dirsekli farklı tipteki boru sistemlerinde ölçülmüş gürültü seviyeleri..... 6

Çizelge 3.1. Farklı boru malzemelerine göre C katsayıları..... 21

Çizelge 3.2. Kayıp katsayıları 22

Çizelge 3.3. Sürekli yük kayıpları..... 23

Çizelge 3.4. Yerel yük kayıpları 24

Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan düktil borular 29

Çizelge 4.2. Malzeme özellikleri 29

Çizelge 4.3. Akıma ait Reynolds Sayıları 31

Çizelge 4.4. Üniform akıma geçmek için gerekli L_e mesafeleri 31

Çizelge 4.5. İç beton kaplama karışım oranları 38

Çizelge 4.6. Ø450 mm boruda iç beton kaplama kalınlık değişimleri..... 43

Çizelge 4.7. Ø400 mm boruda iç beton kaplama kalınlık değişimleri..... 43

Çizelge 4.8. Ø300 mm boruda iç beton kaplama kalınlık değişimleri..... 44

Çizelge 4.9. Ø200 mm boruda iç beton kaplama kalınlık değişimleri..... 44

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Deney düzeneği 13

Şekil 2.2. Farklı w/cm oranlarına göre oluşan aşınma değerleri..... 14

Şekil 2.3. Deney Modeli 15

Şekil 2.4. Deneysel aşınma derecesine ait data..... 15

Şekil 2.5. Farklı aşınma dereceleri ve boru dirsek yüzeyindeki dağılımı..... 16

Şekil 3.1. Pompa bağlantı şeması 25

Şekil 4.1. Deney düzeneği krokisi 33

Şekil 4.2. Kalınlık ölçüm noktaları..... 41

Şekil 4.3. Ø450 mm boru giriş ağzı beton kaplama değişimi..... 45

Şekil 4.4. Ø450 mm boru çıkış ağzı beton kaplama değişimi 45

Şekil 4.5. Ø450 mm sabit boru beton kaplama değişimi..... 45

Şekil 4.6. Ø400 mm boru giriş ağzı beton kaplama değişimi..... 46

Şekil 4.7. Ø400 mm boru çıkış ağzı beton kaplama değişimi 46

Şekil 4.8. Ø400 mm sabit boru beton kaplama değişimi..... 46

Şekil 4.9. Ø300 mm boru giriş ağzı beton kaplama değişimi..... 47

Şekil 4.10. Ø300 mm boru çıkış ağzı beton kaplama değişimi 47

Şekil 4.11. Ø300 mm sabit boru beton kaplama değişimi..... 47

Şekil 4.12. Ø200 mm boru giriş ağzı beton kaplama değişimi..... 48

Şekil 4.13. Ø200 mm boru çıkış ağzı beton kaplama değişimi 48

Şekil 4.14. Ø200 mm sabit boru beton kaplama değişimi..... 48

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Pompa özellikleri 26

Resim 3.2. Motor kontrol panosu 26

Resim 3.3. Seri bağlı iki pompa..... 27

Resim 4.1. Deney düzeneğinin genel görünüşü 34

Resim 4.2. Döngü (devir-daim) hattı başı..... 34

Resim 4.3. Döngü (devir-daim) hattı sonu 35

Resim 4.4. Dirsek noktası 35

Resim 4.5. Pompalar 36

Resim 4.6. Debimetre 36

Resim 4.7. Kontrollü hava çıkış vanası 37

Resim 4.8. Manometre 37

Resim 4.9. Ultrasonik kalınlık ölçer cihazı 38

Resim 4.10. Bulanıklığı artırmak için karıştırılan malzeme 39

Resim 4.11. İç beton kaplama fabrika çıkışı 50

Resim 4.12. İç beton kaplama fabrika çıkışı..... 50

Resim 4.13. İç beton kaplama fabrika çıkışı..... 51

Resim 4.14. İç beton kaplama fabrika çıkışı..... 51

Resim 4.15. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama 52

Resim 4.16. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama 52

Resim 4.17. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama 53

Resim 4.18. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama..... 53

Resim 4.19. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama..... 54

Resim 4.20. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama..... 54

Resim **Sayfa**

Resim 4.21. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450) 56
Resim 4.22. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450) 56
Resim 4.23. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450) 57
Resim 4.24. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450) 57
Resim 4.25. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450) 58
Resim 4.26. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450) 58
Resim 4.27. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400) 59
Resim 4.28. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400) 59
Resim 4.29. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400) 60
Resim 4.30. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400) 60
Resim 4.31. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400) 61
Resim 4.32. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400) 61
Resim 4.33. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300) 62
Resim 4.34. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300) 62
Resim 4.35. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300) 63
Resim 4.36. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300) 63
Resim 4.37. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300) 64
Resim 4.38. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300) 64
Resim 4.39. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200) 65
Resim 4.40. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200) 65
Resim 4.41. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200) 66
Resim 4.42. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200) 66
Resim 4.43. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200) 67
Resim 4.44. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200) 67

Resim **Sayfa**

Resim 4.45. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450) 69
Resim 4.46. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450)..... 69
Resim 4.47. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450)..... 70
Resim 4.48. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450) 70
Resim 4.49. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450)..... 71
Resim 4.50. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450)..... 71
Resim 4.51. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 72
Resim 4.52. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 72
Resim 4.53. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 73
Resim 4.54. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 73
Resim 4.55. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 74
Resim 4.56. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 74
Resim 4.57. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)..... 75
Resim 4.58. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)..... 75
Resim 4.59. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)..... 76
Resim 4.60. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300) 76
Resim 4.61. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)..... 77
Resim 4.62. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)..... 77
Resim 4.63. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)..... 78
Resim 4.64. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)..... 78
Resim 4.65. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)..... 79
Resim 4.66. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)..... 79
Resim 4.67. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200) 80
Resim 4.68. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)..... 80

Resim **Sayfa**

Resim 4.69. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450) 82

Resim 4.70. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450)..... 82

Resim 4.71. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450)..... 83

Resim 4.72. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450) 83

Resim 4.73. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450)..... 84

Resim 4.74. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450)..... 84

Resim 4.75. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 85

Resim 4.76. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 85

Resim 4.77. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 86

Resim 4.78. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 86

Resim 4.79. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 87

Resim 4.80. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)..... 87

Resim 4.81. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)..... 88

Resim 4.82. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)..... 88

Resim 4.83. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)..... 89

Resim 4.84. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300) 89

Resim 4.85. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)..... 90

Resim 4.86. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)..... 90

Resim 4.87. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)..... 91

Resim 4.88. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)..... 91

Resim 4.89. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)..... 92

Resim 4.90. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)..... 92

Resim 4.91. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200) 93

Resim 4.92. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)..... 93

Resim **Sayfa**

Resim 4.93. ASKİ işletme dışı bırakılmış düktil boru iç beton kaplaması 95

Resim 4.94. ASKİ işletme dışı bırakılmış düktil boru iç beton kaplaması 95

Resim 4.95 ASKİ işletme dışı bırakılmış düktil boru iç beton kaplaması 96

Resim 4.96. ASKİ işletme dışı bırakılmış düktil boru iç beton kaplaması 96

Resim 4.97. ASKİ işletme dışı bırakılmış düktil boru iç beton kaplaması 97

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	akım kesit alanı
c	ampirik sabit
C	William-Hazen katsayısı
cm	santimetre
D	boru çapı
dBA	desibel, gürültü birimi
g	yerçekimi ivmesi
g_m	gaz/sıvı karışımına ait yoğunluk
gr	gram
Hr/yr	saat/yıl
J	birim akım boyunca yük kaybı
k	boyutsuz sabit
kg	kilogram
l	litre
L	boru uzunluğu
Le	üniform akıma ulaşmak için gereken mesafe
m	metre
m^2	metrekare
m^3	metreküp
mm	milimetre
mg	miligram
mss	metre su sütunu
NTU	bulanıklık birimi (Nephelometric Turbidity Unit)
pH	asitlik veya bazlık birimi
Re	Reynolds sayısı
s	saniye
Q	debi
V	hız
Ve	akıma ait aşınma hızı
w/c	su/çimento oranı
µm	mikrometre
ΔH	sürtünmeden kaynaklı toplam yük kaybı
Δh	yerel yük kaybı
Ø	çap

Kısaltmalar	Açıklamalar
ASKİ	Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi
API RP 14E	American Petrolium Institute Recommended Practice for Design and Installation of Offshore Production Platform Piping Systems
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
AWWA	American Water Works Association
C-S-H	Kalsiyum-Silika-Hidrat
DSİ	Devlet Su İşleri
TAKK	Teknik Araştrma Kalite Kontrol

1. GİRİŞ

Son yıllarda içmesuyu isale hatları borularının iç beton kaplamasında kullanılan aderans artırıcı ve priz hızlandırıcı katkı maddeleri sayesinde beton kalitesinin ve su geçirimsizliğinin artacağı, bu sayede projelendirmede kullanılan tasarım hız kriterlerinin bir miktar daha artırılabileceği ve boru çapından ekonomi sağlanılabileceği düşünülmektedir. İçmesuyu isale hatlarında boru maliyetinin işin toplam maliyetinin %60-70'lerinde olduğu düşünüldüğünde çapı küçültmenin ekonomiye vereceği katkı da ihmal edilemeyecek kadar önemlidir.

İçi beton kaplı içmesuyu isale hattı borularında su hızının beton kaplamaya verdiği aşınma etkisinin tespit edilmesi önemlidir. Uygulamada içmesuyu isale hatlarındaki boru çapının tespiti, 0,5 – 3,00 m/s arasında bir hız seçilerek Q=VxA formülünden belirlenmektedir. Gerek çelik borunun içerisindeki beton kaplamaya zarar verdiği, gerek enerji kayıplarını artırması nedeniyle ilave işletme masrafı getirdiği ve gerekse su darbesi etkilerini artırdığı gerekçesiyle hızlar belirli bir değerin üzerine çıkarılamamaktadır. Belirtilen hız limitleri mevcut literatürde bu aralıklarda belirlenmiştir (Fair ve Geyer, Çeviren: Muslu, 1973, Bay, 2006, Yanmaz, 1997, İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerin Hazırlanmasına ait Teknik Şartname, 2013, Kaisha, 1992). Fakat literatürde anılan hız değerlerinin belirlenmesine yönelik herhangi bir deneysel veya teorik çalışma tespit edilememiştir. Müsaade edilen hızlar minimum hızda çökelmeyi önlemek için, maksimum hızda ise aşınmaya ve su darbelerine karşı sistemi korumak için sınırlandırılmıştır. Bu konudaki literatür incelendiğinde; iç beton kaplamadaki aşınma etkisi ve sistemde oluşan yüksek hızın getirdiği gürültü, darbe ve kavitasyon etkileri ile boru malzemesindeki korozyon gibi durumların incelendiği araştırmalar mevcuttur (ASHRAE Handbook, 1993, Badr, Habib, Ben-Mansour ve Said, 2005, Ball ve Webster, 1976).

Bu doğrultuda yapılan çalışma kapsamında uygulamada kullanılan içi beton kaplı içmesuyu borularından belli bir zaman aralığında düşük ve yüksek hızlarda basınçlı su geçirilmiştir. Deneyde kullanılan su hızları ile beton kaplamada oluşacak aşınma oranları arasında matematiksel bir ilişki elde edilmesi amaçlanmıştır. Şayet yüksek hız ile aşınma miktarı arasında bir bağlantı tespit edilemez ise içmesuyu isale hattı projelerinde kullanılan tasarım hız kriterinin, su darbesi etkileri de düşünülerek bir miktar daha artırılabileceği ve

basınçlı sistemlerde su hızı ile doğrudan bağlantılı olan boru çapının da küçültülebileceği düşünülmektedir.

Deneyde kullanılan borular imkanlar dahilinde 3 ay süresince düşük ve yüksek hızlar ile temas ettirilmiş olup, işletmede hedef alınan uzun süreler (40-50 yıl) göz önüne alınarak bu doğrultuda deney sonuçları değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma çerçevesinde gerçekleştirilen deneylerde içmesuyu isale hatlarında uygulamada halihazırda kullanılan düktil boruların iç kaplamasında meydana gelen aşınma test edilmiştir. İlk aşamada içi beton kaplı çelik boru kullanılması düşünülmüş ancak □300 mm çapın altındaki çelik borularda iç beton kaplama yapılmadığından dolayı düktil boru kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca deneyde daha yüksek hızlar oluşturulmak istenilmiş ancak kullanılan mevcut pompaların terfi kapasiteleri doğrultusunda □200 mm altında boru çapı kullanımı mümkün olmamıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR)

2.1. Boru İçerisinde Ani Daralma Sonucu Hızlardan Dolayı Oluşacak Aşınmanın Tespiti

Suudi Arabistan Kral Fahd Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Badr, Habib, Ben-Mansour ve Said (2005) tarafından yapılan deneylerde; 200 mm'den 100 mm'ye ani olarak daralan bir çelik boru ve 10 µm – 100 µm – 200 µm – 400 µm dane boyutuna sahip tanecik içeren 20 °C de su kullanılmıştır. Deneyin amacı değişik hızlarda ve tanecik boyutlarında akan suyun boru çeperinde oluşturacağı aşınmanın tespitidir. Bu amaca yönelik olarak 1 m/s - 5 m/s - 10 m/s aralığında hıza sahip değişik dane boyutlarında tanecik içeren su, düşey konumda aşağı ve yukarı yönde yerleştirilmiş borulardan geçirilmiş ve boru çeperindeki aşınma izlenmiştir. Deney sonucunda hızın ve tanecik boyutunun aşınmanın oluşumunda büyük rol oynadığı ancak suyun akış yönü etkisinin az olduğu tespit edilmiştir. Akış yönü etkisinin sadece 400 µm dane boyutunda ve 5 m/s hızda anlam ifade ettiği tespit edilmiştir. 2 m/s'nin altındaki hızlarda ise tüm dane boyutlarında aşınmanın ihmal edilecek düzeyde az olduğu belirlenmiştir. En yüksek aşınmanın ise en büyük dane boyutunda ve en yüksek hızda olduğu ve küçük çaplı borunun girişinde oluştuğu tespit edilmiştir.

2.2. Su Akım Hızı Sınırlamaları

Missouri Üniversitesi Makine, Havacılık ve Uzay Sanayi Mühendisliği Bölümü'nden Stewart tarafından ASHRAE için yapılan (ASHRAE Handbook, 1993) bir araştırmada; kapalı döngü içeren hidrolik boru sistemlerinin, belirlenmiş akım hızı ve/veya basınç düşülerinin üst limitlerinin altında planlanması gerektiği belirtilmiştir. Araştırmaya göre; hız ve birim basınç düşüleri, toplam sistem basınçları, gürültü veya boru aşınmasını göz önüne almaksızın tasarımcı tarafından boru ebatının belirlenmesinde kolayca kullanılabilmektedir. Örneğin basınç düşü sınırlaması dolayısıyla yaygın olarak 2 inç (50,8 mm) çap değeri ile veya daha düşük boru çapları 4 ft/sec (1,22 m/s) hız ile sınırlanmaktadır. 2 inç den (50,8 mm) daha büyük boru çapları için ise gürültü nedeniyle hızın 10 ft/sec dan (3,05 m/s) küçük olması istenmektedir. Daha küçük boru çaplarında normal olarak 4 ft/sec ın (1,22 m/s) üzerindeki hızlar kullanılmamasına rağmen daha

büyük boru çaplarında kullanılabilmektedir. Çalışmada bu limitlerin yeterli verilerle test edilmediği belirtilmiş olmasına rağmen genelde kabul görmüş sınırlandırmalardır. Bu sebepten eğer gürültüye, aşınmaya, korozyona ve su darbesine neden olan faktörleri minimize veya elimine edecek gerekli önlemler alınırsa, daha yüksek boru hızını kullanmak uygulanabilir görülmektedir.

Stewart (1993) tarafından yapılan çalışmanın amacı, boru sistemlerindeki kayıplar, gürültü, aşınma, boru malzemesi, pompa enerji tüketimi ve su hizmetinin tipi göz önünde bulundurularak su akım hızı için literatür eksikliğinin araştırılması ve tamamlanmasıdır. Literatür çalışması ile; üretici firma yayınları, araştırma yayınları, hükümet kurumlarının yaptığı yayınlar, ticari ve profesyonel yayınlar, kitaplar ve ders kitapları incelenmiştir. Boru sistemlerinde oluşan aşınmanın maksimum su hız kriteri için elde edilebilen mevcut bilgilerin çoğunun ya deneyimlerden yaklaşık olarak ya da çok eski deneysel çalışmalardan oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır. Su hızı için kriterin gerçek kaynağı çoğu durumlarda bilinmemektedir.

Su hızı, Schedule 40 borularda bile aşınmayı kontrol altında tutmak için 2,4 m/s den daha düşük olarak belirlenmiştir. "Schedule" boru duvarı kalınlığını ifade etmekte, bu da ne kadar basıncı tutabileceğini göstermektedir. Yüksek hız, pompaj gücü yönünden bazen istenebilir bazen istenmeyebilir olmasına rağmen aşınmaya katkıda bulunan başlıca faktör değildir.

Literatürde boru ve boru sistemlerinde su hızı ve/veya basınç düşüsü için çeşitli üst limitler mevcuttur. Bazı sınırlamalar boru çapına dayanmaktadır. Örneğin 2 inç (5,1 cm) veya daha düşük boru çapları için hız limiti 1,2 m/s'dir. Basınç düşü limiti 2 inç çapının üzerindeki borularda boru uzunluğunun her 30,5 m (10 ft) de 1,2 m (4 ft) dir. Diğer sınırlamalar kullanım şekline veya sistemin işletim zamanına (Çizelge 2.1) göre değişmektedir. Bu sınırlamalar, boru ve vanadaki gürültü seviyelerini veya su darbesi basıncını veya ekonomik etkenleri kontrol altında tutmak için düzenlenmiştir. Carrier (1960) herhangi bir durumda hızın 4,6 m/s'yi (15 ft/sec) aşmamasını önermiştir. Akım hızının belirlenmesinde tasarım mühendislerinin güvenli durumda kalmak istemesi nedeniyle keyfi seçimler gibi dolaylı sınırlamalar ve zamana bağlı korozyonlu borulara dayanan basınç düşü çizelgelerinin kullanımı ile düzenlenen ek sınırlamalar oluşmuştur.

Hazırlanan bu raporda ayrıca gürültü, aşınma, su darbesi, zamana bağlı taşıma kapasitesinde kabul edilebilir azalma ve bu sınırlamaların su hızı, kullanım şekli, boru tipi, vanaların ve bağlantı elemanlarının sayısı ve tipi, sistemin tipi (kapalı veya açık) ile ilişkileri gibi su akım sınırlamalarına neden olan faktörlerin tartışmaları da dahil edilmiştir.

Çizelge 2.1. Aşınmayı minimize etmek için maksimum su hızı limitleri (Carrier, 1960)

Operasyon (saat/yıl)	Hız (m/s)
1500	4,6
2000	4,3
3000	4,0
4000	3,7
6000	3,0

2.2.1. Boru ve boru sistemlerinde gürültü

Açık veya kapalı döngülü boru ve boru sistemlerinde hıza bağlı gürültü aşağıdaki farklı parametrelerin bir sonucudur:

- Akım türbülansı
- Kavitasyon, giren havanın serbest kalması
- Su darbesi

Türbülanslı akım

Türbülanslı akımda gürültü, sıvının yoğun türbülansının sebep olduğu katı boru yüzeyine akımın çarpması ile meydana gelir. Çeşitli çalışmalar boru ve bağlantı elemanlarının farklı tip ve çaplarında farklı hızların gürültü seviyelerini değerlendirmek için yapılmıştır (Carrier, 1960; Crane, 1976). Marseille (1965) en geniş test çalışmalarını 1/2 inç çapındaki bakır, kurşun, çelik, plastik ve 150 cm'e 130 cm dikdörtgen plastik kaplı bakır borulu dirsekle bağlı kapalı döngü boru sistemine yapmıştır. Marseille'nin (1965) sonuçları Çizelge 2.2'de özetlenmiştir. Gürültü ölçümü desibelmetre cihazı ile yapılır ve birimi dBA (desibel) ile ifade edilir. Ball ve Webster (1976) 0-14 m/s hız aralığında 3/8 inç (9,5 mm) ABS boruları ve 1/2 inç (12,7 mm) ve 3/8 inç (9,5 mm) bakır boru sistemlerini test etmiştir. Bu deneylerde yatay düzlemdeki 275 cm boru 22 cm iki dik ayakla tutturulmuştur.

Çizelge 2.2. Farklı malzemeli boru sistemlerinde tipik gürültü seviyeleri (Marseille, 1965)

Boru Cinsi						
Hız (m/s)	Hız (ft/sn)	Bakır (dBA)	Çelik (dBA)	Kurşun (dBA)	Plastik (dBA)	Plastik kaplamalı bakır (dBA)
0,11	0,33	24	26	25	29	23
0,55	1,8	27	30	29	30	26
3,4	11,2	46	38	39	41	29
5,2	17,1	46	38	38	41	29

Bu çalışmadaki deney boru ağzındaki duvarlar ve düşük ağırlıktaki paneller yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Test odasına gürültüyü sönümleyen panellerin eklenmesi halinde diğer etkiler de test edilmiştir. Çalışmada yapılan testlerin tipik bir ev veya binayı iyi yansıttığı ifade edilmiştir. Çalışma sonuçları Çizelge 2.3'de gösterilmiştir. Ses basınç seviyeleri küçük, kapalı bir odanın içinde yankılanan ölçümlerdir.

Çizelge 2.3. Çeşitli test odalarında dirsekli, farklı tipteki boru sistemlerinde ölçülmüş gürültü seviyeleri (Marseille, 1965)

Hız (m/s)	Gürültüyü absorbe eden panellerin olduğu odada, duvara takılı	Gürültüyü absorbe eden panellerin olmadığı odada, duvara takılı	Gürültüyü absorbe eden panellerin olduğu odada, panele takılı	Gürültüyü absorbe eden panellerin olmadığı odada, hafif ağırlıklı panele takılı
3/8 inç dirsekli ABS boru (dBA)				
1	20	25	18	21
2	30	37	27	32
3	39	46	34	40
4	46	53	40	47
5	50	59	44	53
1/2 inç dirsekli bakır boru (dBA)				
1		24	21	29
2		33	32	40
3		40	41	50
4		47	49	59
5		52	54	64
3/8 inç dirsekli bakır boru (dBA)				
1	27	32		30
2	35	41	30	38
3	42	49	38	45
4	47	53	42	51
5	48	55	46	54

Çalışmada 3,5 m/s'nin üzerindeki akım hızlarında hafif kavislerin dirsek ve T profillerine göre daha az gürültülü olduğu sonucuna varılmıştır.

Rogers (1953,1954,1956) uzunluğu 2,2 m'den 13,7 m'ye değişen düz borularda ve 4 dirsekle bağlanmış düz boru sistemlerinde çeşitli testler yapmıştır. Testlerde tüm gürültü seviyesi ölçümleri boruların iç yüzeyinde yapılmıştır. Tesisat sistemi kullanımdayken 35-55 dBA arasına düşen gürültüden yerleşim alanında yapılan anketlerde şikayet alınmadığı Ball ve Webster (1976) tarafından rapor edilmiştir. Marseille (1965), Ball ve Websters (1976) ve Rogers'ın (1953, 1954, 1956) sonuçları göz önüne alındığında mesken ve ticari binalar için izin verilen gürültü seviyesinin 3,05-5,18 m/s (10-17 ft/sec) hız aralığının içinde oluştuğu görülmektedir. Belirli hızlar için elde edilen deney sonuçları arasında dikkate değer farklılıklar olduğu görülmektedir. Boruların uzun ve çok fazla yardımcı eleman ile vananın olduğu sistemlerde daha fazla gürültü oluştuğu görülmektedir. Gürültünün miktarı boru tipine de bağlı olmaktadır. Marseille'nin 3/8 inç plastik kaplı boruda yaptığı deneylerde 5,18 m/s (17,2 ft/sec) akım hızı için 30 dB değerinin altında gürültü kayıt ederken 3/8 inç bakır boruda aynı hızda 46 dB gürültü değeri kayıt edilmiştir. Gürültü ölçüm tekniği de gürültü ölçüm seviyesini etkilemektedir. Örneğin, Rogers (1953, 1954, 1956) akan akımda daha yüksek gürültü seviyesi ölçerken, Ball ve Webster (1976) ve Marseille (1965) odada daha düşük gürültü seviyesi ölçmüştür. Ayrıca test odasının karakteristiği de yankılanan gürültü ölçümlerini etkilemektedir. Gürültüyü sönümleyen panellerin olduğu test odasındaki gürültü seviyesi panellerin olmadığı test odasındaki seviyeden daha düşüktür.

Yukarıda tartışılan araştırmacılardan alınan veriler oldukça sınırlıdır. Çünkü her deney belirli boru ağları için yapılmış olup, sonuçlar test şartları bakımından genel olarak ilişkilendirilecek yapıda değildir.

Kavitasyon

Boru sistemleri içerisinde akan akım tarafından üretilen gürültü, sistemde kavitasyon veya giren havanın serbest hale gelmesi durumunda keskin bir şekilde artmaktadır. Genelde akım yönü değişimi, yüksek su hızı veya boru çapının artmasıyla oluşan ani basınç düşüşü kavitasyona neden olmaktadır. Ball ve Webster (1976) 14 m/s'lik maksimum olası hızda 3/8-1/2 inç'lik (9,5-12,7 mm) düz boruda kavitasyonun oluşmadığını saptamıştır. Ball ve

Webster (1976) 2 dirsekli boru kullanarak yaptıkları çalışmada 7 m/s'ye kadar soğuk su hızında kavitasyonun oluşmadığını saptamışlardır (ASHRAE Handbook, 1993). Rogers (1953, 1954, 1956) düşük alanlı orifislerde (1,5 m/s' de A/8 ve 3 m/s'de A/4) kavitasyon oluşumuna rastlamış ama test edilen hızlarda akım boyunca vanalarda ve bağlantı elemanlarında kavitasyon bulgusuna rastlamamıştır.

Marseille (1965) çalışmasında kavitasyona rastlamamıştır. Böylece çok fazla sayıda vana, bağlantı elemanı veya orifisin olmadığı bir sistemde kavitasyon nedeniyle meydana gelecek gürültünün bir problem olmayacağı görülmüştür. Suya hava girmesi nedeni ile sistemde bulunan hava kendisini taşıyan suya göre daha yüksek kısmi basınca sahiptir. Bu sebepten, akım hızı kavitasyonu önlemek için yeterince küçük olsa bile giren havanın serbest kalması sonucunda gürültü oluşması muhtemeldir. Marseille'nin (1965) çalışması ile boru sistemlerinde bulunabilecek mevcut havanın dışarıya çıkarılması için tüm önlemlerin alınması gerektiği ya da hava girişinin minimize edilmesinin sağlanması önerilmiştir.

Su darbesi

Su darbesinden dolayı gürültü, boru sistemlerinde vananın ani kapanmasıyla akımın kesilmesinden oluşmaktadır. Su darbesinin olduğu yerde, oluşan şoku absorbe eden odalar veya kontrol vanalarının yakınında rahatlatıcı vanalar tesis edilmelidir (Haris, 1957). Meskenlerde kullanılan su vanası ve gereçlerinin çoğu yavaş hareketli olup, bu sebepten dolayı su darbesi gürültüsü oluşmamaktadır.

2.2.2. Aşınma

Boru sistemlerinde aşınma hava kabarcığı, kum veya diğer katı maddelerin boru iç çeperine çarpmasından kaynaklanır. Oldukça sınırlı sayıda araştırmacı akım sistemlerinde aşınma konusu ile ilgili araştırma yapmıştır (Arndt, 1981). Bununla birlikte darbe testlerinde kavitasyon çalışmalarına dayanarak Ripken (1967) 228 m/s'de (750 ft/sec) darbe etkisiyle malzeme kayıplarına rastlanmadığını söylemiş ve Thiruvengadam (1967) zarar için başlangıç hızını 90 m/s (295 ft/sec) olarak bulmuştur. Milleville (1968), Ripken (1967) ve Thiruvengadam'ın (1967) yaptığı çalışmalardan 30 m/s'den (100 ft/sec) daha düşük hızlarda kavitasyon görülmediği sürece aşınmanın önemli olmayacağı sonucuna

varmışlardır. Artan besleme suyu hızı ile bir problem oluşmayacağına dair deneysel kanıt Soldan ve Siegel tarafından 1964 te yapılan çalışma ile gelmiştir. Soldan ve Siegel (1964) besleme suyu hızını tedrici olarak 2,4 m/s den 10,9 m/s ye artırarak deneyler yapmışlardır. 3 yıl sonra borularda veya bağlantılı kontrol vanalarında aşınma olayına rastlamamışlardır. Soldan ve Siegel (1964) hem finansal hem de dayanıklılık yönünden yaygın olarak kullanılan 2,4 m/s hız sınırının çok düşük olduğu sonucuna varmışlardır. Bazı mühendislik firmaları 6,1-9,1 m/s aralığındaki Soldan ve Siegel (1964) tarafından önerilen yüksek hız limitlerini uygulamışlardır. Ekonomik nedenlerden dolayı genelde besleme suyu hızları yaklaşık olarak 5,5 m/s ile sınırlandırılmıştır.

Akıma katı madde girdiğinde ve yüksek hız kullanıldığında özellikle kavislerde aşınma hızlı bir şekilde oluşmaktadır (Finnie, 1972). Bu sebepten, yüksek hızlar kum veya diğer katı maddelerin bulunduğu veya çamur taşınan sistemlerde uygun değildir (Blanchard, 1984; Finnie, 1958).

2.2.3. Korozyon

Yıpranmış borulara dayalı basınç düşü çizelgelerinin kullanılmasıyla boru sistemlerinde dolaylı hız sınırlaması yapılmaktadır. Bu çizelgeler sürtünme faktörünün arttığı ve/veya etkili boru çapının hizmet süresinin kullanım yılı ile azaldığını varsayar. Bu düşünce ile kullanım yılının artması ile normalden daha büyük boru çapının kullanılması gerekir.

Boru kapasitesinde zamana bağlı azalma üç olaydan dolayı etkilenir: borunun zayıflaması, kalkerli tuz birikimi ve korozyon. Bu etkiler suyun türüne (kimyasal, biyolojik ve fiziksel içeriğine), boru malzemesinin tipine, suyun sıcaklığına ve boru sisteminin tipine (açık veya kapalı) bağlıdır. Zayıflama (biyolojik büyüme veya boru duvarında pislik birikimi) özellikle klorsuz ve ham su sistemlerinde oluşur. Kalkerli tuzun topaklanması sert sularda görülür ve su sıcaklığının artmasıyla artar (Hunter 1941). Korozyon ise yumuşak suların bulunduğu metal borularda oluşur. Oksijen korozyon oluşumu için gerekli olduğundan korozyon kapalı sistemlerden ziyade açık sistemlerde oluşur (Uhlig, 1963).

Obrecht ve Pourbaix (1967) içme suyu sistemlerinde farklı metallerin korozyon potansiyellerini araştırmışlardır. Korozyondan en ciddi etkilenenin demir, arkasından

galvanizli (çinko kaplı) çelik ve kurşun daha sonra bakır ve bakır karışım (pirinç) olduğu sonucuna varmışlardır. Hunter (1941) 4 yıl sıcak ve soğuk su kullanımının ardından, bakır borunun kapasitesinin %6-10'nunu ve galvanizli çeliğin kapasitesinin %25-65'ini kaybettiğini belirlemiştir. Smith (1983) farklı boru tipleri için ayrı yıpranma müsaadeleri önermiştir. Kaplanmamış dökme demir için 1,55, demir ve çelik için 1,08 ve çimento veya beton için 1,06 ile dizayn debileri artışı önermiştir.

Geniş kapsamda zamana bağlı akım verileri, kullanım için Hazen-Williams ampirik denklemi ile birlikte mevcuttur. Zorluklar denklemin uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü orijinal Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) yalnız belirli boru çapı, su hızı ve orijinal deneylerde kullanılan su viskozite değerleri için geçerlidir. C farklı çap, hız ve/veya viskozite değerleri için genişletildiğinde boru kapasitesinde ±%50 ye kadar hata oluşabilmektedir (Williams ve Hazen, 1933; Sanks, 1978). Benefield, Larry D., Joseph F. Judkins ve A. David Parr., (1984), Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ve Colebrook denklemlerinin kombinasyonundan geliştirilen düzenlenmiş Hazen-Williams formülünü önermiştir. Bu çalışmada C; çapın, hızın ve viskozitenin bir fonksiyonudur.

Suyun içeriği de kapasitenin zamana bağlı kaybını etkilemektedir (Colebrook, Frank C. and White C.M., 1937). Küçük çaplı etkin su taşıyan dökme demir boruda 30 yıl sonraki kapasite kaybının Hazen-Williams formülü kullanılarak tahmin edilen değerden iki kat fazla olduğu, buna karşın neredeyse etkin olmayan su taşıyan büyük çaplı dökme demir borudaki kapasite kaybının Hazen-Williams formülü kullanılarak tahmin edilen ile aynı olduğu saptanmıştır.

Çelik borularda korozyon oldukça ciddidir ve göz önüne alınması gereken bir parametredir. Korozyon ve topaklanma boru sistemlerini etkilemelerine rağmen çeşitli iyileştirmeler ile mesela; korozyon önleyici malzeme kaplaması veya katodik koruma yöntemleri sayesinde bahsedilen potansiyel problemlerin çoğu giderilmektedir (ASHRAE Handbook, 1993).

2.2.4. Su darbesi

Su darbesi, elektrik kesilmesi veya vananın ani olarak açılıp kapanması sonucu borudaki su akım ve basıncının kararsız hale gelerek dalgalanması ile birlikte normal hidrolik yüke

ilaveten oluşan artı ve eksi basınçlardır. Darbe etkisi suyun başlangıç hızına, borunun çapına, uzunluğuna ve malzemesine bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan borularda farklı hızlarda su darbesi basınç hesabı yapılarak hız, ABS borularda 1,5 m/s, PVC borularda 3 m/s ve çelik borularda 10,7 m/s ile sınırlandırılmıştır (ASHRAE Handbook, 1993).

2.3. Aşınma Hızı

API RP 14E (American Petrolium Institute Recommended Practice for Design and Installation of Offshore Production) *"2-İki Fazlı Gaz/Sıvı Akımları için Boyutlandırma Kriterleri"* başlığı altında *"Aşınma Hızı"* kriteri verilmiş olup, bu hız Eş. 2.1 de tanımlanmıştır:

$$v_e = \frac{c}{\sqrt{g_m}} \qquad (2.1)$$

Burada;

Ve : Akıma ait aşınma hızı, ft/sec

c : Ampirik sabit

g_m : Gaz/sıvı karışımına ait yoğunluk, lbs/ft³

Akıma ait aşınmaya sebep olabilecek bileşenlerin bilinmediği durumlarda Eş. 2.1 ile aşınmanın başlayacağı minimum hız bulunabilmektedir.

Boru içerisindeki akıma ait boyutlandırma kriteri için ilk olarak akım hızı düşünülmelidir. Boru et kalınlığında meydana gelen kaybın aşınma/korozyon sürecinden dolayı oluştuğu, bu oluşuma da yüksek hızların, sediment varlığının, CO_2, H_2S gibi korozyon bileşenlerinin ve akıma negatif etki eden dirsek vb. elemanların sebep olduğu tespit edilmiştir (Schmitt ve Bakalli, 2010).

Endüstriyel deneyimler göstermektedir ki; sürekli akım için c=100 ve sürekli olmayan akım için ise c=125 değerinin kullanılması sediment içermeyen temiz sularda uygundur. Korozyonun beklenmediği veya önleyici yöntemlerle korozyonun kontrol altına alındığı sediment içermeyen temiz sularda ise sürekli akımlar için c=150-200, sürekli olmayan akımlar için ise c=200-250 arasındaki değerler kullanılmıştır. Eğer akımın içinde sediment olması bekleniyor ise hızlar önemli ölçüde düşmektedir. (Schmitt ve Bakalli, 2010)

Sediment ve korozyon bileşenlerinin bulunduğu veya c değerinin 100 üzerinde alındığı sürekli akımlarda boru et kalınlıkları periyodik olarak kontrol edilmelidir (Schmitt ve Bakalli, 2010).

Bu deney için API RP 14E'ye (American Petrolium Institute Recommended Practice for Design and Installation of Offshore Production) göre aşınmaya sebep olmayacak maksimum hız Eş. 2.1 ile hesaplanırsa;

g_m = 1000 kg/m³ = 62,43 lbs/ft³ (suyun yoğunluğu)
c = 200 (korozyonun beklenmediği sürekli akımlarda)

$$v_e = \frac{200}{\sqrt{62,43}} = 25,31 \ \ ft/\sec = 7,71 m/s$$ Aşınma hızı değerine ulaşılır.

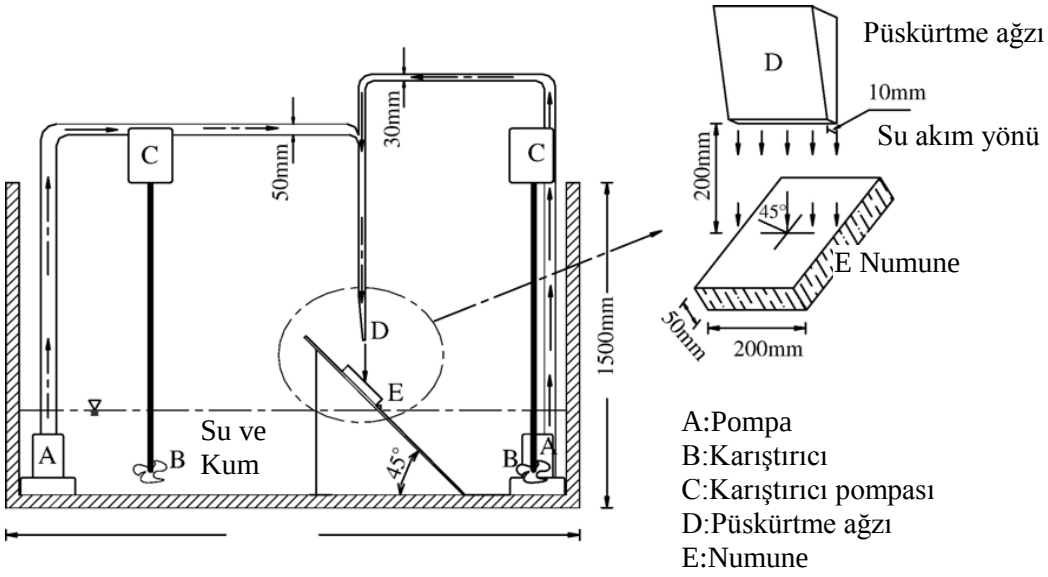
2.4. Sedimentli Suyun Betonda Yaptığı Aşınma

Araştırma, Tayvan'daki Ulusal Chiayi Üniversitesi İnşaat ve Su Kaynakları Mühendisliği Bölümü'nden Liu, Ulusal Chung Hsing Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Yen ve Tayvan Beton Test ve Araştırma Merkezi'nden Hsu tarafından 2006 yılında yapılmıştır. Araştırmada değişik su ve çimento oranlarına sahip betonda oluşan aşınma incelenmiştir.

Hidrolik yapıların yüzey betonlarında oluşan aşınma zararı, yüzeye çarpan kumlu, çakıllı, kayalı, buzlu veya diğer döküntü malzemeli suyun çarpması ve sürtünmesi sonucu oluşmaktadır. Hidrolik yapılar yüzey çatlakları, beton kabarması ve demir korozyonu ile sonuçlanan aşınmaya karşı hassas yapılardır. Genel itibariyle aşınma süreci 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama aşınma öncesi aşama olup, akış hızı ve hidrolik basınçla alakalı olarak su molekülleri aşınmaya neden olan kabarmaları oluşturmaktadır. İkinci aşamada, sudaki katı madde boyutuna bağlı olarak çarpma sonucu beton yüzeyde çatlaklar meydana gelmektedir. Son olarak sudaki katı maddeye, akış hızına ve betonu teşkil eden malzemelerin aralarındaki bağ kuvvetlerine bağlı olarak gelişen aşınma olayı oluşmaktadır. Uzun dönem sedimentli su ile temas eden betonda başlangıçta harcın yüzey tabakası aşınmakta ve ardından kaba agrega açığa çıkmaktadır. Devamında kaba agrega çatlamakta, betondan ayrılarak boşluklar oluşturmaktadır. Bu formasyon ve aşınma olayı, agrega

boyutundan, çarpma hızından, agrega ve harç arasındaki bağlayıcı kuvvetlerden etkilenmektedir (Liu ve diğerleri, 2006).

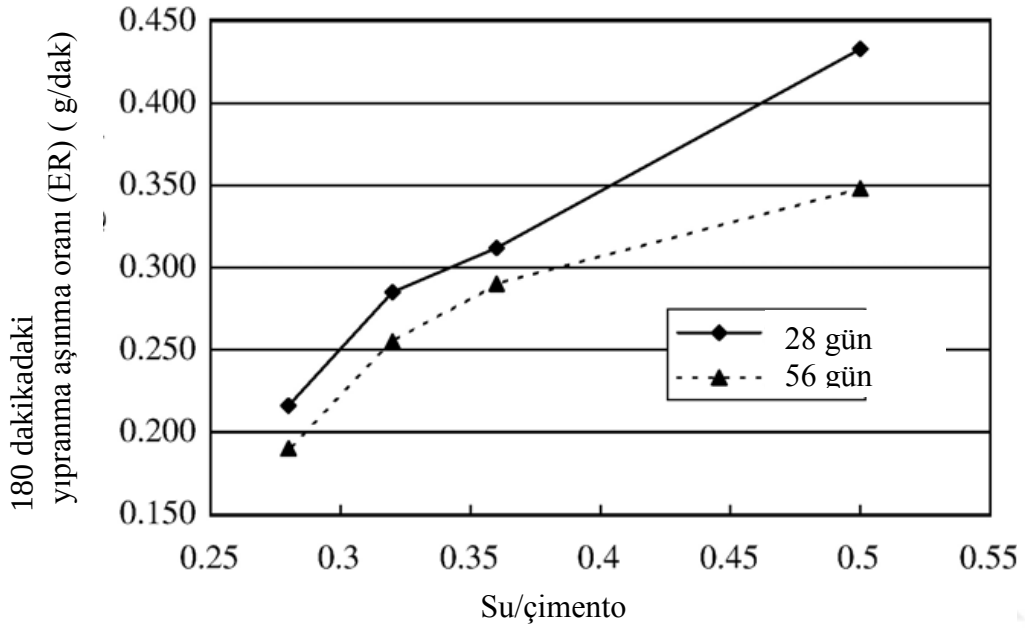
Söz konusu aşınma zararlarının tespiti amacıyla Şekil 2.1.'de gösterilen bir düzenek hazırlanmıştır. Bu düzenek sayesinde değişik su ve çimento oranlarında dökülen betonlara 45 derece açıyla sedimentli su jeti gönderilmiştir. 10 m/s ve 1,7 atm basınçta, 30 □C sıcaklıkta iletilen su jeti 3 saatlik bir uygulamanın sonucunda görünür bir aşınmaya sebep olmuştur. Deneyin hemen sonunda kopan ve aşınmaya uğrayan parçalar değerlendirmeye alınmış ve ilk döşeme ağırlığından kopan malzeme ağırlığı çıkarılıp zamana bölünerek aşınma derecesi hesaplanmıştır (Liu ve diğerleri, 2006).



Şekil 2.1. Deney düzeneği (Liu ve diğerleri, 2006)

Deney sonucunda su/çimento oranı 0,36 olan betonda görünür aşınma saptanırken, su/çimento oranı 0,28 olan betonda ihmal edilebilecek düzeyde bir aşınma olduğu görülmüştür. Bu sonuç, düşük su/çimento oranının yüksek aşınma direncini ortaya çıkardığını göstermektedir. Beton aşınma direnci ile su/çimento oranı ters orantılıdır. Düşük su/çimento oranı betonda az boşluk, yüksek direnç ve malzemeler arası sıkı bağ ile birlikte yüksek aşınma direncini meydana getirmektedir. Ayrıca betondaki boşluklar su jeti tarafından kolayca aşınabilmekte ve ilave boşluklar oluşturmaktadır. Boşluk oranı betonu daha geçirgen hale getirmekte bu da aşınmayı artırmaktadır. Uçucu kül veya ilave katkı

maddeleri ise boşluk oranını düşürmekte ve beton aşınma direncini artırmaktadır. Farklı su/çimento oranlarına göre elde edilmiş aşınma oranları Şekil 2.2.'de verilen grafikte gösterilmiştir. Deneyde kullanılan değişik su/çimento oranlarındaki betonun 28 gün ve 56 günlük kür koşulları sonrasında yıpranma oranları belirlenmiştir (Liu ve diğerleri, 2006).



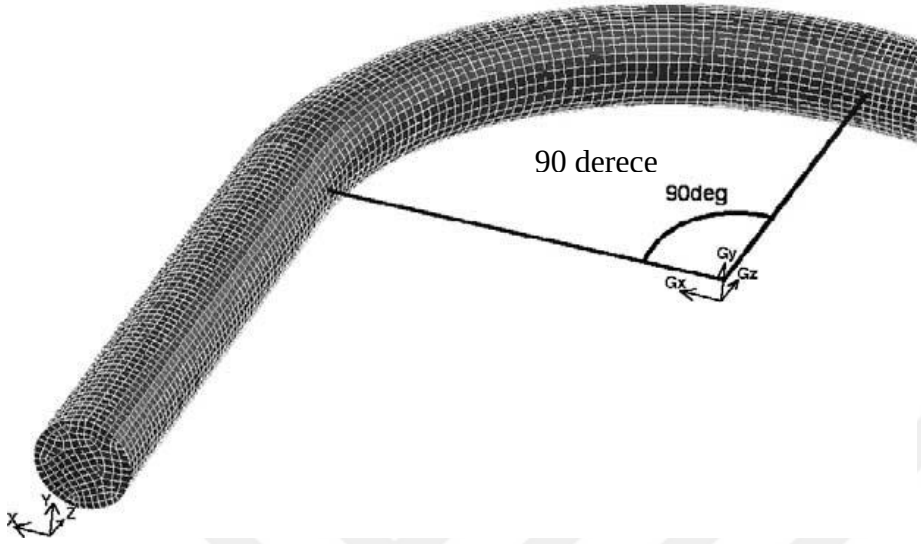
Şekil 2.2. Su/çimento oranlarına göre oluşan aşınma değerleri (Liu ve diğerleri, 2005)

2.5. Sayısal ve Deneysel Yöntemler ile Aşınma ve Korozyonun Değerlendirilmesi

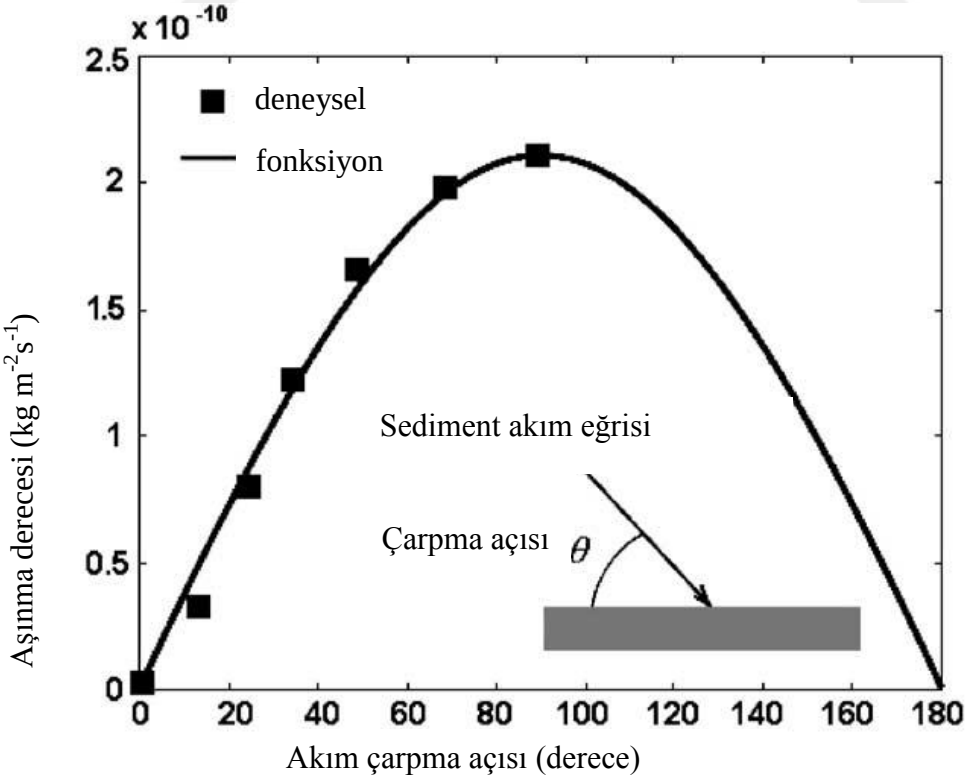
Bozzini, Ricotti, Boniardi ve Mele (2003) tarafından yapılmış bir araştırmada; dirsek noktası olan bir boru sistemi hem sayısal hem de deneysel olarak çok fazlı akıma tabi tutulmuş ve akış hızı, katı madde miktarı ile boyutu, çarpma açısı ve yerçekimi etkilerinin aşınma ve korozyon oluşumundaki etkileri incelenmiştir.

Çalışma için hazırlanan deney düzeneğinde; gaz, su ve benzinden oluşan çok fazlı akım belirli ölçülerde 2 cm çapında ve 0,5 cm et kalınlığında paslanmaz çelik ve karbon çelik alaşımlı borulardan geçirilmiş, içerisine de çarpma hızı 4 m/s olan 400 mikron çapında katı madde eklenmiştir. Akış hızı ve katı madde miktarı artırılıp azaltılarak aşınma ve korozyon etkileri araştırılmıştır. Katı maddenin boru çeperine çarpma açısı, boyutu, akış hızı ve yerçekimi etkisinin aşınma derecesi ile yakından ilgili olduğu belirlenmiş ve bu durum grafiklerle ve diğer ölçümlerle tespit edilmiştir. Kullanılan deney düzeneği Şekil 2.3.'te,

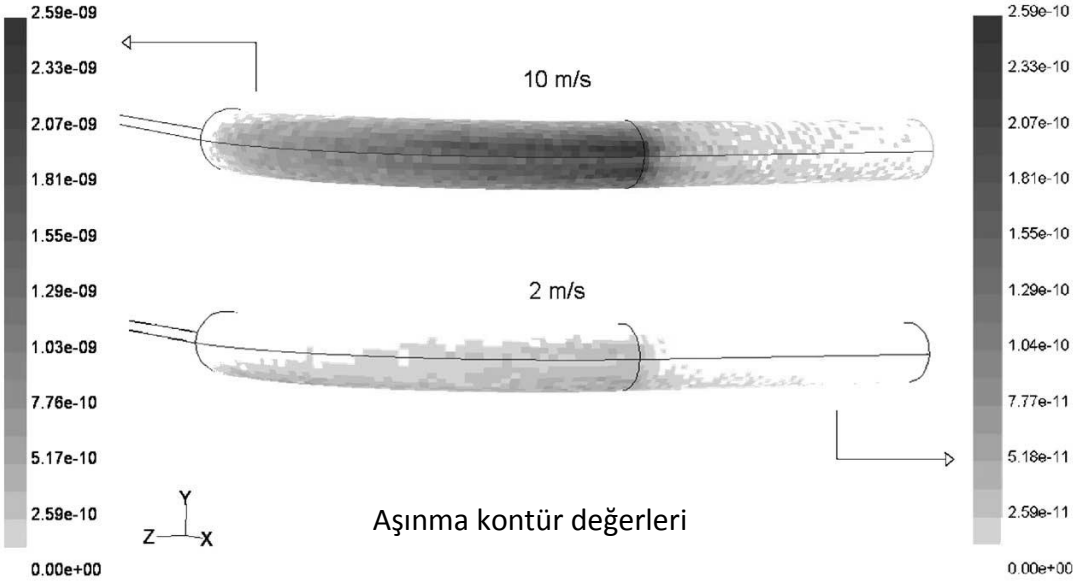
deneysel sonuçlar Şekil 2.4.'te ve sayısal çözümleme ile elde edilen sonuçlar Şekil 2.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Deney modeli (Bozzini ve diğerleri, 2003)



Şekil 2.4. Deney sonucunda elde edilen aşınma dereceleri (Bozzini ve diğerleri, 2003)



Şekil 2.5. Sayısal çözümleme ile elde edilen aşınma değerleri (Bozzini ve diğerleri, 2003)

Bozzini, Ricotti, Boniardi ve Mele (2003) tarafından yapılan araştırma sonuçlarına göre; türbülanstan dolayı gelişen ikincil akım, katı maddelerin dinamiğini etkileyerek aşınma ve korozyon oluşumuna katkı sağlamaktadır. Çekim kuvvetleri ile atalet momentleri değişimi ve yerçekimi kuvvetlerinin katı madde üzerindeki etkileri sebebiyle, yüksek gaz içerikli akışta boru dirseklerinin taban yüzeyleri üst yüzeylerine oranla daha fazla zarar görmektedir. Düşük hızlarda yerçekimi kuvvetleri daha etkili iken, yüksek hızlarda çekim kuvvetleri daha etkili olmaktadır. Akış hızı ve katı madde miktarı arttıkça aşınma da artmaktadır. Sonuç olarak akış hızının ve çarpma açısının aşınma/korozyon davranışını etkileyen en önemli etken olduğu, akış parametrelerinin ve akım fazlarının aşınma zararına etkilerinin sınırlı olduğu tespit edilmiştir (Bozzini ve diğerleri, 2003).

2.6. Betonun Dayanıklılığı

Baradan ve Aydın tarafından 2013 yılında yapılan bir araştırma ile; beton basınç dayanımındaki artışın sağlanmasının betonun birçok özelliğinde olduğu gibi, dayanıklılığını da olumlu şekilde etkilediği belirtilmiştir. Ancak yükler açısından istenen dayanımı sağlayan kaliteli bir betonarme eleman için bile tasarım aşamasında dikkate alınmamış etkiler nedeniyle beton kısa sürede bozularak kullanılmaz hale gelebilir ya da

büyük bakım ve onarım masraflarına yol açabilir. Betonun bozulmasına yol açan bu etmenler fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik kökenli olabilir. Bu faktörler betonarme elemanlar üzerinde bazen birleşik etki yaparak birbirlerini de olumsuz yönde etkiler. Betonarme yapıların servis ömürlerinin azalmasına yol açan iç ve dış kökenli bu etmenler Baradan ve Aydın (2013) tarafından araştırılmıştır.

2.6.1. Betonun fiziksel etkenlerle bozulması

Baradan ve Aydın (2013), betonun bozulmasına neden olan fiziksel ve mekanik etkenleri iki ana grupta değerlendirmişlerdir. Bunlar yüzey aşınması nedeniyle betonda kütle kaybına sebep olan etkiler ile betonda çatlama gibi hasarlara yol açan etkenlerdir. Aşınma ve oyulma olayları ilk grupta incelenirken, ıslanma-kuruma, boy ve hacim değişimleri, donma-çözülme, aşırı yükleme, yüksek sıcaklıkların ve sıcaklık değişimlerinin etkileri ikinci grupta yer almaktadır. Uygulamada beton, fiziksel ve kimyasal birçok etkiye tekrarlı olarak maruz kalabilmekte ve bu etkiler bir diğerinin gelişimini hızlandırabilmektedir. Örneğin, fiziksel etkilerle betonun çatlaması geçirimliliğinin artmasına yol açarak betonun kimyasal nedenlerle bozulmasını kolaylaştırabilmektedir. Benzer şekilde betonun kimyasal süreçlerle bozulması sonucu gözenekliliğinin artması, aşınma gibi fiziksel etkilere dayanıklılığını büyük ölçüde azaltabilmektedir (Baradan ve Aydın, 2013).

<u>Aşınma ve kavitasyon</u>

Aşınma, beton yüzeylerdeki (döşeme, zemin betonu, basamak, yol betonu, vb.) kuru sürtünme etkisi ve zamanla artan kütle kaybıdır. Ayrıca, içinde askı halinde parçacıklar bulunan sıvıların özellikle yüksek hızlarda beton yüzeyini çizerek aşındırmasıdır. Bu olaya daha çok su yapılarında ve beton borularda rastlanır (Baradan ve Aydın, 2013).

Kavitasyon, su yapılarında rastlanan olaydır. Suyun hızla aktığı su yapılarında yüzey geometrisinde herhangi bir değişiklik akımın sürekliliğini bozup, düşük basınç bölgeleri oluşmasına yol açar. Akan suyun statik basıncı, suyun buhar basıncından daha düşükse su buhar haline dönüşür ve bu bölgede içi gaz dolu kabarcıklar oluşur. Oluşan kabarcıklar suyun statik basıncının yüksek olduğu bölgelere taşındığında kabarcıkları oluşturan bu buhar yoğunlaşıp sıvıya (suya) dönüşürken oluşan jetin beton yüzeyine yüksek hızla çarpması su darbeleri oluşturur. Bu olayın sürekliliği beton yüzeyinde kırılma ve

oyulmalara yol açar, özellikle dik açılı yüzeylerde bozulmalar görülür (Baradan ve Aydın, 2013).

Betonun aşınma dayanıklılığı, beton yüzeyinin birkaç mm derinliğindeki çimento matrisinin boşluk yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, düşük su/çimento oranı ile çalışılması, taze betonda ayrışma ve aşırı terlemenin önlenmesi ve betonun bakımının (kür) eksiksiz ve zamanında yapılması gereklidir. Özellikle su yapılarının projelendirilmesinde alınacak önlemlerle oyulma ve aşınma olaylarını azaltmak mümkündür. Genelde basınç dayanımı yüksek olan betonun aşınmaya karşı da dayanıklılığı yüksektir. Ancak beton sınıfı tek parametre olmayıp, yüzeyin aşınmaya karşı dayanıklılığı bazı önlemlerin (yüzey sertleştirilmesi vb.) alınması ile artırılabilir (Baradan ve Aydın, 2013).

Sertleşmiş betonda donma-çözülme olayı

Suya doygun haldeki sertleşmiş beton don etkisinde kalınca, beton içindeki kapiler boşluklardaki su donar ve genleşir. Çözülmeyi takip eden yeniden donma olayı sonunda bu genleşme miktarı kümülatif olarak artar. Genleşme sonucu oluşan gerilmelerin mertebesi betonun çekme dayanımını aştığı takdirde betonda kabuk atma, çatlama, ufalanma şeklinde bozulmalar görülür (Baradan ve Aydın, 2013).

Yüksek sıcaklığın betona etkisi

Beton birçok yapı malzemesine kıyasla yüksek sıcaklık ve yangın etkisine karşı daha dayanıklı bir malzemedir. Yüksek sıcaklık altındaki beton belirli bir süre için önemli bir zarar görmez ve zehirleyici gaz veya duman çıkarmaz. Termik iletkenlik katsayısının nispeten düşük olması nedeniyle betonarme yapılarda beton, donatı çeliğini yüksek sıcaklığa karşı korur. Ancak bu dayanıklılık sınırlı süreler ve belirli sıcaklık dereceleri içindir. Yüksek sıcaklıklar betonda, dış yüzeylerde ayrışmaya, kabuk halinde dökülmeye neden olmaktadır. Betonarme elemanlarda çatlakların oluşumu daha çok ek yerlerinde, betonun iyi sıkıştırılmamış bölgelerinde ve donatıların bulunduğu bölgelerde görülür. Özellikle paspayının az tutulduğu, donatının açıkta olduğu durumlarda, çelik ısıyı çok iyi iletip, zararın mertebesini arttırır (Baradan ve Aydın, 2013).

2.6.2. Betonun kimyasal etkilenme sonucu bozulması

Betonda ortaya çıkan zararlı kimyasal reaksiyonlar sonucunda, betonun gözenekliliği ve geçirimliliği artar, çatlama, dökülme ve betonun yumuşaması, dayanımı ve rijitliğinin kaybedilmesi gibi etkiler gösterir. Kimyasal reaksiyonların gelişimi, büyük ölçüde zararlı maddelerin beton bünyesinde taşınım hızına dolayısıyla betonun geçirimliliğine bağlıdır. Tüm kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi, sıcaklık reaksiyon hızını arttıran bir faktördür. Kimyasal reaksiyonlar değişik tiplerde oluşabilir ve çoğunlukla fiziksel ve biyolojik etkenlerle bir arada ve peş peşe gelişip betonun bozulmasına neden olurlar. En çok karşılaşılan kimyasal etkiler sülfat, asit ve alkali türündedir. Deniz suyu ve tuz etkileri de önemli sayılabilecek kimyasal ve fiziksel etkilerdir (Baradan ve Aydın, 2013).

Sertleşmiş çimento bileşenlerinin hidrolizi ve yıkanması

Hidrate çimentonun katı fazını göreceli olarak çözünmeyen kalsiyum hidratlar (C-S-H, $Ca(OH)_2$ ve CAH) oluşturmaktadır. Bu bileşenler pH'ı oldukça yüksek olan gözenek suyu içinde kararlı durumdadır. Gözenek suyu içindeki Na^+, K^+ ve $(OH)^-$ iyonları betonun pH değerini 12,5-13,5 aralığında tutmaktadır. Beton asidik ortamla karşılaştığında kimyasal kararlılığını kaybeder. Teorik olarak pH'ı düşük sular çimento hidrate bileşenlerinin çözülmesine yol açar. Bu nedenle birçok endüstriyel atık ve doğal su beton açısından zararlıdır. Ancak, kimyasal saldırının şiddeti sıvının pH değeri ve betonun geçirimliliğinin fonksiyonudur. Sıvının pH değerinin 6,5'in üzerinde olması ve betonun geçirimliliğinin çok az olması halinde kimyasal etkiler çok yavaş gelişir ve sonucu ihmal edilebilir mertebelerde kalabilir. Özellikle sülfat ve klor iyonları içeren yeraltı suları, deniz suyu, serbest CO_2 veya H^+ iyonu içeren sular, endüstriyel atıkların, kanalizasyonların karıştığı sular zararlı reaksiyonlara neden olabilir. pH 5,5 ve altındaysa etkiler şiddetli, 4,5 ve altındaysa çok şiddetli gerçekleşir. Ancak belirtildiği gibi sıvının beton içinde taşınım hızı da önemli bir faktördür (Baradan ve Aydın, 2013).

Sülfatların betona etkisi

Sülfat çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olur. Bu zararlı etki sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşir. Reaksiyon

ürünleri betonda genleşme yaratarak çatlaklara ve dağılmaya yol açar, agrega-çimento hamuru aderansının etkilenmesiyle betonun mukavemeti düşer. Sülfat saldırısına uğramış betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleye yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmelerdir. Betonun kolayca ufalanabildiği ve yumuşadığı görülür. Etkilenme koşulları ($SO4^{-2}$ içeriği, ortam koşulları), betonun geçirimliliği (zararlı madde taşanımı), betonun yapısı (çimentonun kimyasal yapısı) ve suyun varlığı sülfat etkisinin gelişimini doğrudan etkileyen parametrelerdir (Baradan ve Aydın, 2013).

Betonda karbonatlaşma ve çelik donatının korozyonu

Doğru dizayn edilmiş, geçirimsiz, kaliteli bir beton, çeliği korozyondan koruyarak yapının dayanımını ve dayanıklılığını istenen düzeyde sağlar. Kimyasal koruma betonun alkalinitesi sayesinde, fiziksel koruma ise ortamda bulunan ve korozyona yol açan maddelerin yapı elemanı içine difüzyonunun önlenmesi ile gerçekleşir. Betonun bu olumlu özelliğine rağmen uygulamada yapılan hatalar nedeniyle korozyon günümüzde betonarme yapıların servis ömürlerini belirleyen en önemli faktör olarak kabul edilmektedir (Baradan ve Aydın, 2013).

Beton yüksek dereceden alkali bir malzemedir. Alkalinitenin ana kaynağı gözenek suyu içinde çözülmüş kireçtir. Çimento alkali oksitlerinin su ile reaksiyonundan oluşan alkali hidroksitler de bir diğer alkali kaynağıdır. Böylece betonun pH değeri 13 mertebesine kadar çıkar. Fakat, donatıların korozyondan korunması için çok önemli ve gerekli olan betonun alkali ortamı zamanla karbonatlaşma adı verilen kimyasal bir reaksiyon nedeniyle kaybolabilir. Özellikle, $Ca(OH)_2$ ortamda bulunan karbondioksit (CO2)'in betonun gözenek sistemine işlemesiyle kalsiyum karbonat ($CaCO_3$)'a dönüşür. Oluşan kalsiyum karbonatın pH değeri sadece 8,3'tür. pH değerinin 9,5'in altına düşmesi halinde beton, betonarme çeliğini koruma etkinliğini kaybeder. Aslında daha karmaşık olan en önemli reaksiyon Eş. 2.2 ile basitleştirilmiş olarak aşağıda görülmektedir.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO3 + H_2O \qquad (2.2)$$

(pH~12.6) (pH~8.3)

3. İSALE HATLARINDA HİDROLİK HESAP KRİTERLERİ

İsale hatlarında akış süresince sürtünme ve yerel yük kayıpları olmak üzere iki tür yük kaybı meydana gelir. Sürekli yük kaybı boru hattı boyunca akış uzunluğu ile orantılı yük kayıplarıdır. Boruların genişlediği veya akımın doğrultu değiştirdiği yerlerde su hızının büyüklüğü ve doğrultusunun değişmesi nedeniyle oluşan enerji kayıpları ise yerel yük kayıplarıdır. Akış yolunun kısa olduğu durumlarda yerel yük kayıpları sürtünme kayıplarından daha fazla önem kazanmaktadır. İsale hattı borularında sürtünmeden kaynaklanan sürekli yük kayıpları Darcy-Weisbach, William-Hazen veya Colebrook-White formüllerinden biri kullanılarak hesaplanmaktadır. Genellikle içmesuyu projelerinde William-Hazen formülü kullanılmaktadır. Bu formül Eş.3.1 ile tanımlanmıştır.

$$Q = 0{,}279 x C x D^{2{,}63} x J^{0{,}54} \qquad (3.1)$$

Q = Borudaki akışkan akımının debisi (m^3/s)

D = Boru çapı (m)

L = Boru uzunluğu (m)

C = Hazen-Williams katsayısı

J = Birim yük kaybı (m/m)

ΔH= Sürtünmeden kaynaklı toplam yük kaybı (JxL)

Eş.3.1'de kullanılan C katsayısı boru malzemesinin cinsine göre değişen bir katsayı olup, Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Farklı boru malzemelerine göre C katsayıları (AWWA-M11, 2004:29, AWWA-M41, 2009:153, AWWA-M45, 2013:24, AWWA-M55, 2006:36)

Boru Cinsi	*C Katsayısı*
Çelik Boru	130
Düktil Demir Boru	130
Polietilen Boru	150
PVC Boru	140
CTP Boru	150

Enerji kayıpları hesaplanırken yerel yük kayıpları genellikle sürekli yük kaybının % 10'u olarak kabul edilebilir. Ancak hat üzerinde enerji kaybı yaratacak yapıların fazla olması durumunda detaylı hesaplar yapılmalıdır. İsale hatları yerel yük kaybı hesaplamalarında kullanılan formül Eş.3.2 ile tanımlanmıştır.

$$\Delta h = kx \frac{V^2}{2xg} \qquad (3.2)$$

Δh = Yerel yük kaybı (m)
V = Boru içinde ortalama akışkan hızı (m/s)
g = Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
k = Yerel enerji kayıp katsayısı (boyutsuz)

Bu formül hattın herhangi bir noktasında mevcut genişleme ve daralma ile vana, dirsek ve benzeri bağlantıların olması durumunda, bu noktadaki enerji kaybı hesabında kullanılır. Bu bağlantıların cinsine ve niteliğine bağlı olarak yerel yük kaybı katsayıları (k) değişmekte, katsayılar literatürden veya üretici kataloglarından temin edilebilmektedir. Çizelge 3.2'de değişik yapı ve bağlantıların sebep olduğu yük kaybı katsayıları (k) örneklerle verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yerel enerji kayıp katsayıları (AWWA M11, 2004:41)

Ekipman Adı	k (boyutsuz)	Tesis Adı	k (boyutsuz)
Sürgülü Vana	0,20	$11,25^o$ Dirsek (Eksenel açı)	0,05
Kelebek Vana	0,30	$22,5^o$ Dirsek (Eksenel açı)	0,10
Check Vana	2,50	30^o Dirsek (Eksenel açı)	0,13
Demontaj Parçası	0,20	45^o Dirsek (Eksenel açı)	0,17
Giriş Kaybı	0,50	60^o Dirsek (Eksenel açı)	0,22
Çıkış Kaybı	1,00	90^o Dirsek (Eksenel açı)	0,29

Cazibeli isale hatlarında statik basınca göre boru tip ve cinsleri saptanmakta, terfili isale hatlarında ise işletme esnasında meydana gelebilecek aşırı basınçlar dikkate alınarak boru tip ve cinsleri seçilmektedir.

İsale hatlarında minimum hızların 0,50 – 0,60 m/s, maksimum hızların 3,00 m/s civarında olacağı esas alınarak, hızların 0,80 – 1,50 m/s aralığında olabilmesi durumuna göre boru çapı hesapları yapılmaktadır.

3.1. Tez Kapsamında Kurulan Deney Düzeneği için Yük Kayıpları ve Hızların Hesabı

Deney düzeneğinde meydana gelen sürekli ve yerel yük kayıplarına dair örnek hesaplamalar yapılmış olup, bütün sisteme ait sürekli yük kayıpları Çizelge 3.3'te, yerel yük kayıpları ise Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Örnek sürekli yük kaybı hesabı:
Proje debisi Q=440 l/s
Boru anma çapı Ø450 mm, Boru dış çapı Ø480 mm
Boru iç çapı: 480 - (2x8,6) - (2x5) = 452,80 mm
Boru uzunluğu L=33 m
Birim Yük Kaybı: J=0,013471371 (William-Hazen formülü kullanılarak hesaplanmıştır.)
Sürekli Yük Kaybı: JxL=0,013471371x33=0,445 m
Hız: V=2,73 m/s

Çizelge 3.3.Sürekli yük kayıpları

Debi (l/s)	*Anma Çapı(mm)*	*Dış Çap (mm)*	*İç Çap (mm)*	*Uzunluk (m)*	*Birim yük kaybı*	*Sürekli yük kaybı (m)*	*Hız (m/s)*
440	450	480	452,80	33	0,01347137	0,445	2,73
440	400	429	402,80	28	0,02380464	0,667	3,45
440	300	326	303,60	22	0,09420744	2,073	6,08
440	200	222	201,40	21	0,69394194	14,573	13,81
440	300 (çelik)	300	300	35	0,09983688	3,94	6,22
Toplam sürekli yük kabı						21,70	

Yerel Yük Kayıpları:

Debimetre Kaybı: K=1,5 ise $\Delta h = 1{,}5x\frac{3{,}45^2}{2x9{,}81} = 0{,}91\ m$

Sürgülü Vana Kaybı: K=0,20 ise $\Delta h = 0{,}20x\frac{3{,}45^2}{2x9{,}81} = 0{,}121\ m$

90˚ Dirsek Kaybı: K=0,29 ise $\Delta h = 0{,}29x\frac{2{,}73^2 + 3{,}45^2}{2x9{,}81} = 0{,}286\ m$

30˚ Dirsek Kaybı: K=0,13 ise $\Delta h = 0{,}13x\frac{13{,}81^2}{2x9{,}81} = 1{,}264\ m$

Ø450-Ø400 Demontaj Parç. Kaybı: K=0,87 ise $\Delta h = 0{,}87x\frac{(3{,}45 - 2{,}73)^2}{2x9{,}81} = 0{,}023\ m$

Ø400-Ø300 Demontaj Parç. Kaybı: K=0,87 ise $\Delta h = 0{,}87x\frac{(6{,}08 - 3{,}45)^2}{2x9{,}81} = 0{,}307\ m$

Ø300-Ø200 Demontaj Prç. Kaybı: K=0,87 ise $\Delta h = 0{,}87x\frac{(13{,}81 - 6{,}08)^2}{2x9{,}81} = 2{,}650\ m$

Çizelge 3.4. Yerel yük kayıpları

Eleman adı	*Kayıp katsayısı*	*Yerel yük kaybı (m)*
Debimetre	1,50	0,91
Sürgülü Vana	0,20	0,121
90˚ Dirsek	0,29	0,286
30˚ Dirsek	0,13	1,264
Ø450-Ø400 Demontaj Parç.	0,87	0,023
Ø400-Ø300 Demontaj Parç.	0,87	0,307
Ø300-Ø200 Demontaj Parç.	0,87	2,650
Toplam yerek yük kaybı		5,56

Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te hesaplanan sürekli ve yerel yük kayıplarının toplamı:

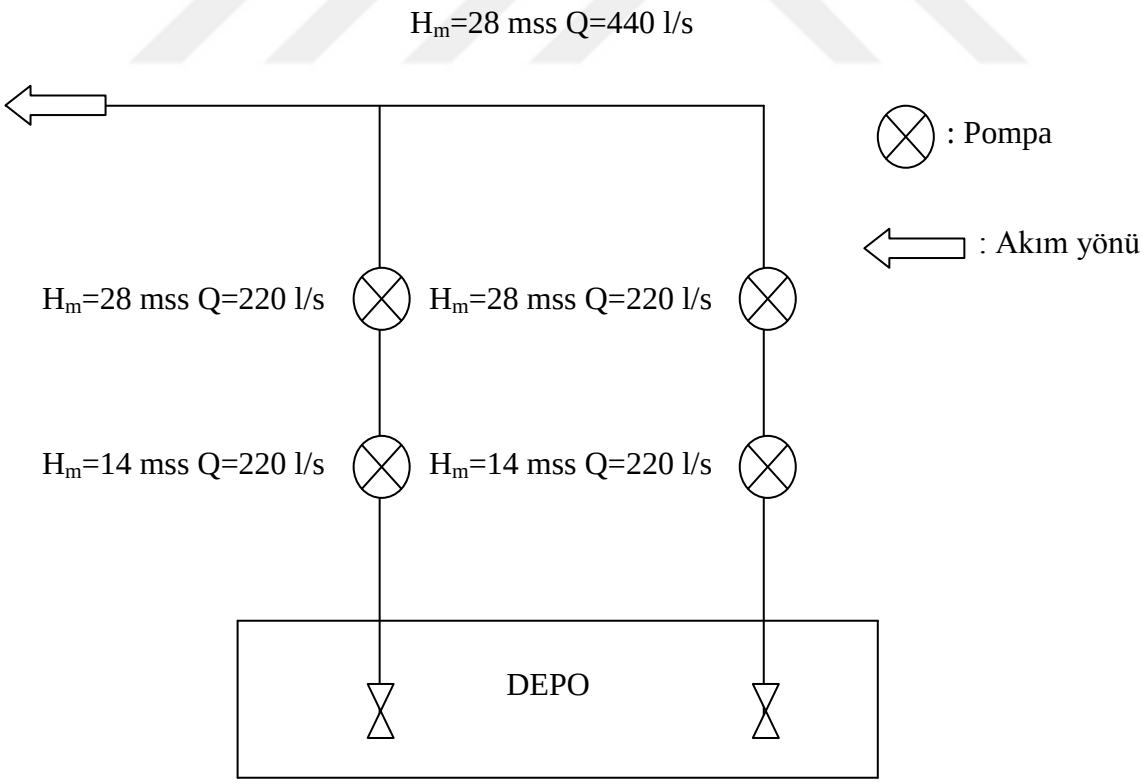
21,70 + 5,56 = 27,26 m ~ 28 m olarak bulunmuştur.

3.2. Deneyde Kullanılan Pompaların Özellikleri

Deneyde kullanılan pompalar, DSİ TAKK Dairesi açık model alanında daha önceki bir deneyde çalıştırılmış olan ve yaklaşık 10 yıldır kullanılmayan pompalardır. Söz konusu pompalar mevcut halde dördüde paralel bağlı iken, bu deneyde gerekli olan debi değerine ve basma yüksekliğine ulaşmak amacıyla ikili halde önce seri sonra paralel bağlanarak istenilen verime ulaşılmıştır. Pompalar aracılığı ile basılan debi 440 l/s ve basma yüksekliği H_m=28 m'dir.

Pompalar elektrik kesintisinde veya herhangi bir arıza durumunda müdahale edilememesi nedeniyle hafta içi 8 saat/gün şeklinde çalıştırılmıştır.

Pompa bağlantı şeması Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Pompaların özellikleri ve motor kumanda panosu Resim 3.1 ve Resim 3.2 de, seri bağlı iki pompa ise Resim 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Pompa bağlantı şeması



Resim 3.1. Pompa özellikleri



Resim 3.2. Motor kontrol panosu



Resim 3.3. Seri bağlı iki pompa

4. DENEY DÜZENEĞİ

Deney düzeneği, DSİ Genel Müdürlüğü İçmesuyu Dairesi Başkanlığı ARGE Projesi kapsamında DSİ TAKK Dairesi bünyesinde hazırlanmış olup, bu kapsamda çalışmalara devam edilmiştir. Söz konusu düzenekte; 440 l/s debi, 4 pompa vasıtasıyla farklı çaplarda düktil içmesuyu borularından geçirilerek 3 ay süre ile boru iç beton kaplamalarının düşük ve yüksek hızlarda su ile teması sağlanmıştır. Deney düzeneği 4 farklı çaptaki boruların birbirine montajı ile oluşturulan bir döngüden (devir-daimden) meydana gelmektedir. Aynı düzenek içerisinde 4 farklı hız değeri elde etmek amacıyla bu sistem hazırlanmıştır.

İçmesuyu isale hatlarında en fazla çelik, düktil ve HDPE boru kullanılmaktadır. Çelik ve düktil boruların iç kaplamaları sağlık açısından en uygun kaplama türü olan beton kaplamadır. Deneyde ilk olarak çelik boru kullanılması düşünülmüş ancak Ø300 mm çapın altındaki çelik borularda iç kaplama beton yapılamadığından dolayı düktil boru seçilmesine karar verilmiştir. Düktil boruların iç kaplaması ISO 4179 standardı doğrultusunda santrifüj (savurma) yöntemiyle yapılmaktadır. Düktil borular pik döküm demir borunun mağnezyum ile şoklanması sonucu pik döküm demir boruya göre daha elastik olan ve korozyona daha dayanıklı bir malzemedir. Çelik borulu isale hatlarına kıyasla katodik koruma gerektirmemesi nedeniyle tercih sebebidir. Deneyde kullanılan düktil borular Samsun Makine Sanayi A.Ş.'den temin edilmiştir.

Kullanılan düktil boruların çap ve et kalınlıkları Çizelge 4.1'de, düktil borulara ait genel özellikler ise Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan düktil borular

Anma Çapı (mm)	*Dış Çap (mm)*	*İç Çap (mm)*	*Et Kalınlığı (mm)*	*İç Beton Kaplama Kalınlığı (mm)*
450	480	452,80	8,6	5
400	429	402,80	8,1	5
300	326	303,60	7,2	4
200	222	201,40	6,3	4

Çizelge 4.2. Malzeme özellikleri (Düktil Demir Boru ve Ek Parçaları, SMS Katalog)

Boru	Düktil döküm, Min. Çekme mukavemeti 420 MPa
Muf İçi Kaplama	200 mikron epoksi kaplama
Dış Kaplama	200 gr/m^2 çinko kaplama üzerine 70 mikron bitüm kaplama, ISO 8179. 400 gr/m^2 Zn-Al kaplama üzerine 70 mikron bitüm kaplama (opsiyonel)
Fittings	Düktil döküm, Min. Çekme mukavemeti 420 MPa
İç Kaplama	Epoksi kaplama, içme suyuna uygunluk raporlu Çimento kaplama (opsiyonel) – ISO 4179 – santrifüj (savurma) yöntemi
Dış Kaplama	200 gr/m^2 çinko kaplama üzerine 70 mikron bitüm kaplama 400 gr/m^2 Zn-Al kaplama üzerine 200 mikron epoxy kaplama

Deneyde kullanılan döngünün (devir-daimin) bir kenarının uzunluğu boru içerisindeki akımın uniform akıma ulaşılabilmesi için gereken uzunlukta imal edilmiştir. Söz konusu mesafe için literatürde değişik yaklaşımlar olmakla birlikte hemen hemen hepsi birbirine yakın uzunluk vermektedir. Söz konusu formül laminer ve türbülanslı akımlar için sırasıyla Eş.4.1 ve Eş.4.2'de verilmektedir. (Munson, Young, Okiishi, 1994:460)

$$\frac{L_e}{D} = 0{,}06\, x\, R_e \tag{4.1}$$

$$\frac{L_e}{D} = 4{,}4\, x\, \sqrt{R_e} \tag{4.2}$$

L_e : Üniform akıma ulaşmak için gerekli boru uzunluğu (m)

D : Boru çapı (m)

R_e : Reynolds Sayısı

Deneyde oluşacak akımların tipini belirlemek için Reynolds Sayıları Eş.4.3 ile hesaplanmıştır. Reynolds sayısı boru içerisindeki akımı tanımlamak için oldukça önemli bir parametredir.

$$R_e = \frac{V\, x\, D}{\gamma} \tag{4.3}$$

R_e : Reynolds Sayısı

V : Akım hızı (m/s)

D : Boru Çapı (m)

γ : Kinematik viskozite (m^2/s)

Re < 2100 ise Laminer Akım

2100 ≤ Re ≤ 4000 ise Geçiş Akımı

Re > 4000 ise Türbülanslı Akım olarak kabul edilmektedir. (Munson ve diğerleri, 1994:458)

Deneyde kullanılan boru çapları ve debiler dikkate alındığında hesaplanan Reynolds Sayıları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Akıma ait Reynolds Sayıları

Boru iç çapı (mm)	Hız (m/s)	Kinematik Viskozite	Reynolds Sayısı
452,80	2,73	10^{-6}	$1,22x10^6$
402,80	3,45	10^{-6}	$1,39x10^6$
303,60	6,08	10^{-6}	$1,85x10^6$
201,40	13,81	10^{-6}	$2,78x10^6$

Çizelge 4.3'te bulunan sonuçlar değerlendirildiğinde tüm boru çaplarındaki akımlar türbülanslı akım olmaktadır. Dolayısıyla üniform akıma geçmek için gereken minimum mesafeler türbülanslı akımlar için Eş.4.2'den L_e=49,39xD olarak belirlenmiştir. Güvenli tarafta kalmak için döngünün (devir-daimin) bir kenar uzunluğu L_e=60xD alınmıştır. Buna göre üniform akıma ulaşmak için olması gereken minimum boru uzunlukları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

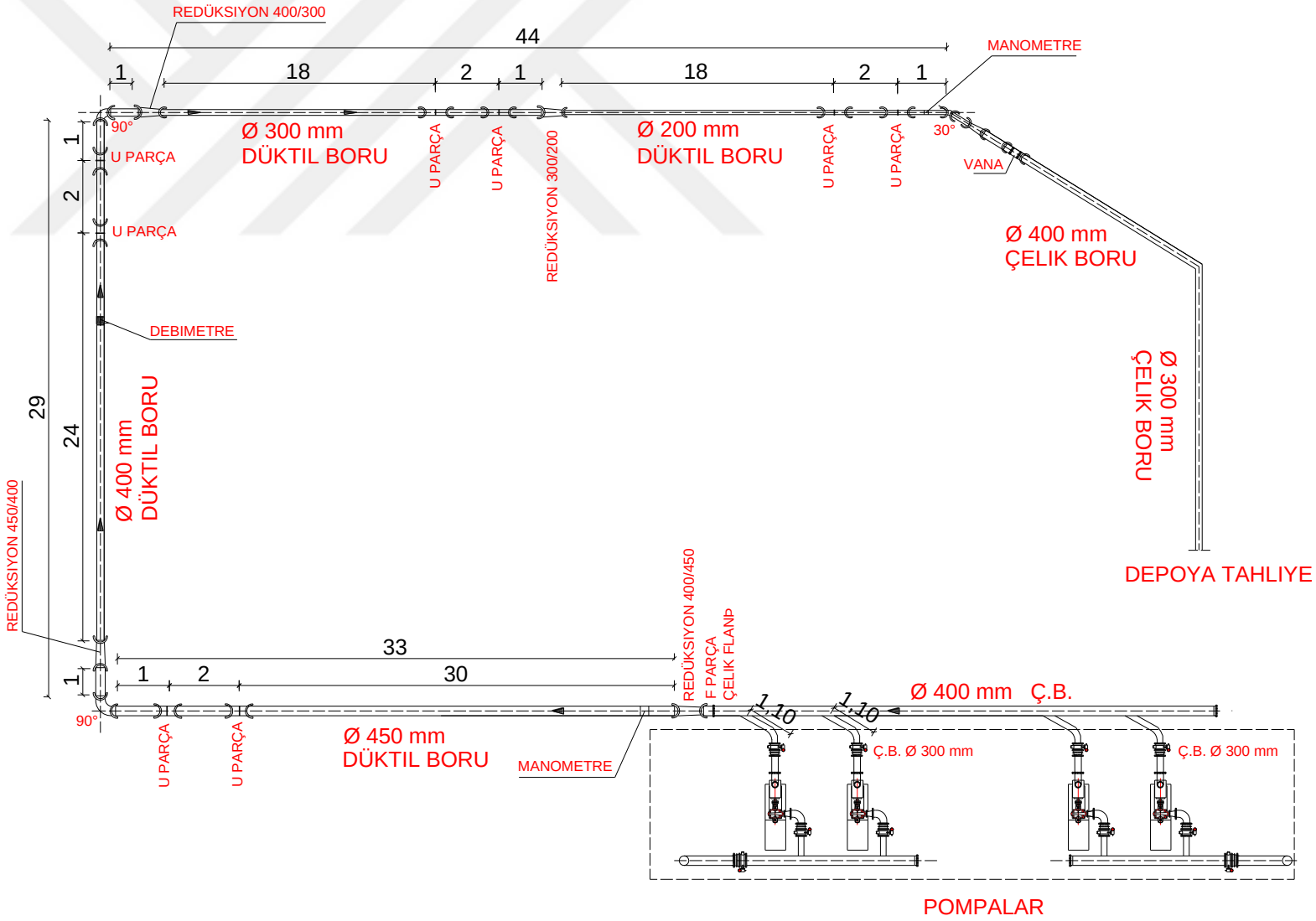
Çizelge 4.4. Üniform akıma geçmek için gerekli L_e mesafeleri

Boru Çapı (m)	L_e (m)
450	27
400	24
300	18
200	12

Bu doğrultuda yukarıda belirtilen uzunluklarda ve çaplarda düktil borular temin edilerek deney düzeneği kurulmuştur. 4 adet 50 kW gücündeki pompalar 2'şer olarak önce seri sonra da paralel bağlanarak depodan alınan 440 l/s debiyi H_m=28 m yüksekliğe basacak şekilde □450 mm'den □200 mm'ye doğru devir-daim ettirmiş ve tekrar depoya tahliye etmiştir. Sistemden geçen debiyi sağlıklı bir şekilde ölçmek amacıyla □400 mm boru üzerine 1 adet debimetre takılmıştır. Debimetre ölçümü doğrultusunda her borudan geçen su hızı V=Q/A formülünden belirlenebilmektedir. Her çapa ait boru uzunlukları, içinden geçen akımın üniform akıma ulaşmasına imkan sağlayacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca söz konusu boru mesafesi sonuna 2 m'lik ölçüm boruları ilave edilmiş ve her ay sonunda bu borular düzenekten çıkartılarak iç beton kaplama ölçümlerinin yapılması sağlanmıştır. Düktil boruların montajı ilk olarak muflu bağlantı olarak yapılmış ancak sökme ve tekrar montaj işlemlerinin zorluğundan dolayı flanşlı bağlantıya geçilmiştir. Hat üzerinde bir tanesi pompaların çıkışına bir tanesi de debimetre önüne olmak üzere 2 adet hava çıkışını sağlayan kontrol vanası eklenmiştir. Böylelikle pompaların sağlıklı çalışması ve debimetreden doğru ölçüm alınmasına olanak sağlanmıştır. Ayrıca sistemdeki basıncı ölçmek üzere hattın başına ve sonuna birer manometre eklenmiştir.

Deney düzeneğinin kurulum ve işletim maliyeti DSİ Genel Müdürlüğü ARGE Projesi kapsamında karşılanmıştır. Düzeneğin kurulum maliyeti yaklaşık olarak 70.000 TL tutarında gerçekleşmiştir. Deney aşamasında ise yaklaşık olarak 180 kVA/saat elektrik kullanılmıştır. Deney düzeneği imkanlar dahilinde 85 gün boyunca günde 8 saat süresince çalıştırıldığından dolayı (85 gün x 8 saat x 180 kVA) 122.400 kVA elektrik harcanmış olup, yaklaşık olarak 122.400 x 1,35 TL = 165.240 TL tutarında da elektrik maliyeti gerçekleşmiştir.

Deney düzeneğine ait kroki çizim Şekil 4.1.'de ve düzeneğe ait fotoğraflar Resim 4.1.-4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deney düzeneği krokisi



Resim 4.1. Deney düzeneğinin genel görünüş



Resim 4.2. Döngü (devir-daim) hattı başı



Resim 4.3. Döngü (devir-daim) hattı sonu



Resim 4.4. Dirsek noktası



Resim 4.5. Pompalar



Resim 4.6. Debimetre



Resim 4.7. Kontrollü hava çıkışı vanası



Resim 4.8. Manometre

4.1. İç Beton Kaplama Analizi

Düktil borularda kullanılan iç beton kaplama ISO 4179 standardına uygun katkılı beton ile santrifüj (savurma) yöntemi uygulanarak hazırlanmıştır. İmalatçı tarafından kullanılan katkı malzemesinin aderansı artırıcı ve prizi hızlandırıcı özellikte olduğu belirtilmiştir. İç beton kaplamada karışım oranları üretici firmadan (Votorantim Çimento San. ve Tic. A.Ş. Samsun Şubesi) alınmış olup, Çizelge 4,3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. İç beton kaplama karışım oranları (Votorantim Çimento San. ve Tic. A.Ş.)

	Verilen Karışım Miktarları	Kalıplara göre azaltılmış miktarlar
Kum	475 kg	1330 gr
Çimento	240 kg	730 gr
Su	101 kg	283 gr
Katkı yağı	671 gr	1,88 gr

Deney başlamadan önce ve her 30 günün bitiminde olmak üzere toplam 3 kez iç beton kaplama kalınlıkları ultrasonik kalınlık ölçer cihazı (TIME TT260) ile ölçülmüştür. Söz konusu cihaz 1:1000 mm hassasiyetinde olup, Resim 4.9.'da gösterilmektedir.



Resim 4.9. Ultrasonik kalınlık ölçer cihazı

4.2. Hamsu Analizi

Deneyde kullanılan kuyu suyuna ait fiziksel ve kimyasal analizler DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı'nda yapılmıştır. Bulanıklık, askıda katı madde miktarı, sediment analizi ve beton temas suyu analizleri adı altında 11 adet deney yapılmış ve sonuçları listelenmiştir. Söz konusu deney sonuçları EK 1-a – EK 1-h'de verilmiştir.

Deneyin 1. ayında kullanılan suya ait yapılan ilk analizde; 14,6 NTU bulanıklık miktarı ölçülmüş ve 650 mg/L toplam katı madde miktarı tespit edilmiştir. Deneyin 2. ayında kullanılan suya 305 kg kil+silt karışımı malzeme eklenerek bulanıklık değeri artırılmıştır. Malzeme eklendikten sonra elde edilen hamsu için yapılan analizde; 106 NTU bulanıklık ölçülmüş ve 176 mg/L askıda katı madde miktarı tespit edilmiştir. Bulanıklığı artırmak için kullanılan malzemelere ait elek analizleri yapılmış olup, sonuçları EK 2-a – EK 2-f'de verilmiştir.



Resim 4.10. Bulanıklığı artırmak için karıştırılan malzeme

Beton temas suyu analizleri sonuçlarına göre suyun pH derecesi 8,58 olup, magnezyum, toplam sertlik, klorür, sülfat, amonyum ve kireç çözücü miktarları betona zarar verecek sınır değerlerin altında çıkmıştır.

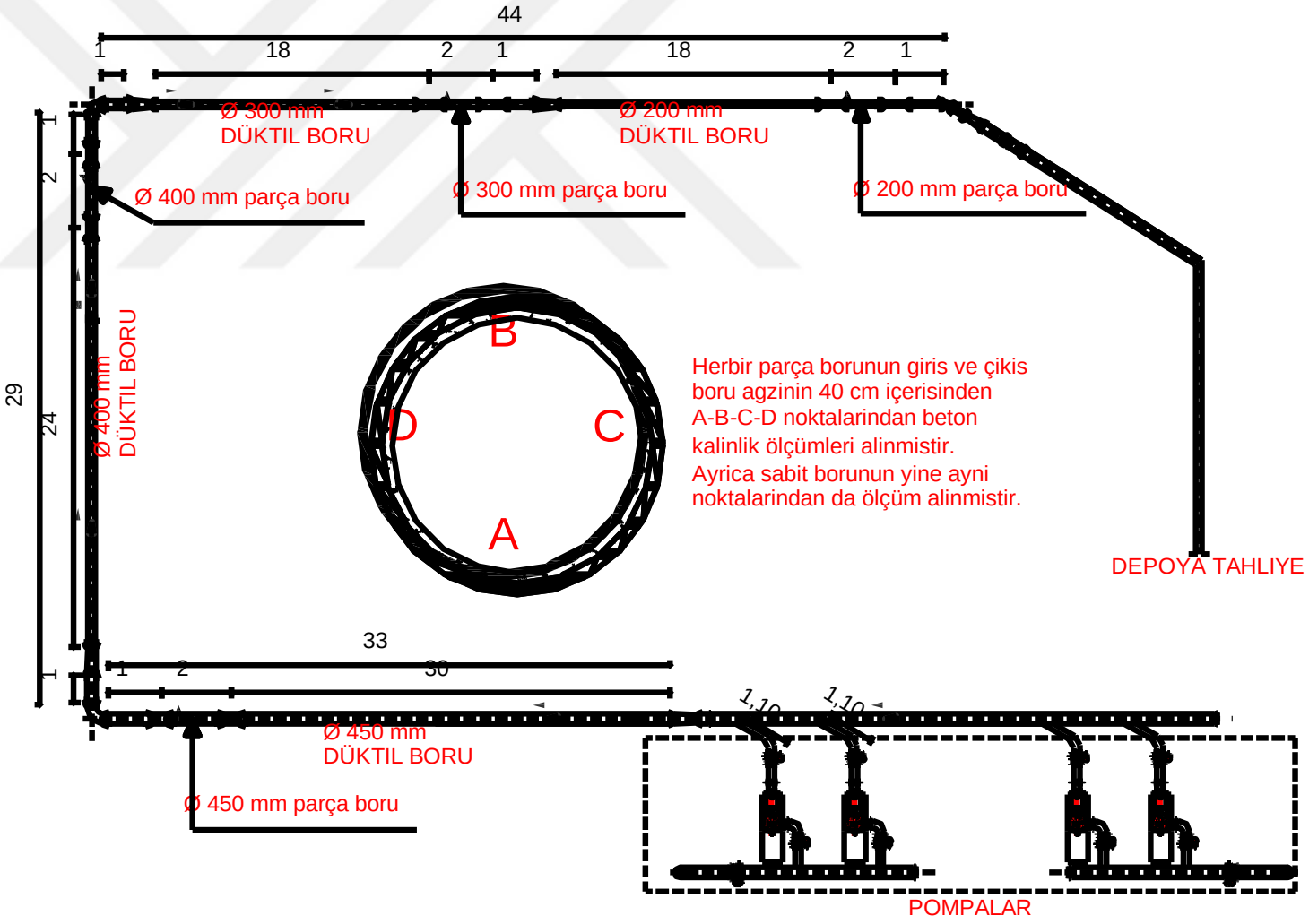
4.3. Deneyde İzlenen Yöntem

Deney düzeneği 20/02/2014 tarihinde çalıştırılmaya başlanmıştır. Düzeneğe su verilmeden önce ölçüm boruları çıkartılarak ilk ölçümler alınmıştır. Herhangi bir aksaklık durumunda pompalara müdahale edilemeyeceği düşünülerek deney düzeneği sadece hafta içi 8 saat/gün olarak çalıştırılabilmiştir. Toplamda 30+30+25=85 günlük 3 periyotta toplam 3 kez ölçüm alınmıştır.

Deneyin ilk 30 günlük periyodunda depodan kullanılan kuyu suyuna dair yapılan analizde bulanıklık değeri (14,6 NTU) düşük çıkmıştır. İkinci periyotta bulanıklık değeri artırılarak işletme koşullarındaki hamsu değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Halihazırda işletmede bulunan arıtma tesislerinin 500-600 NTU bulanıklık değerine kadar hamsuyu arıtabildiği göz önünde bulundurularak, depoya 305 kg civarında suda bulanıklık yaratabilecek ve askıda kalabilecek özellikte kil ve silt malzeme eklenmiştir. Bunun sonucunda bulanıklık değeri 106 NTU değerine çıkarılabilmiştir. Söz konusu değer ilk gün ölçülmüş değer olup, 2. ve 3. günlerde bu miktarın azaldığı ancak düşük oranda azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Depoya atılan malzemenin dane çapı aralığı %95 oranında 0,002–0,075 mm'dir. %5 oranında ise 0,075-0,6 mm aralığında malzemeden oluşmaktadır.

1. Ölçüm 13/09/2013 tarihinde, (deney başlamadan önce)
2. Ölçüm 04/04/2014 tarihinde,
3. Ölçüm 21/05/2014 tarihinde
4. Ölçüm 27/06/2014 tarihinde yapılmıştır.

İç beton kaplama ölçümleri boru kesitinin dört noktasından alınmıştır. Hem parça boruların giriş ve çıkış ağızlarından hem de sabit borunun giriş ağzından 40 cm içeriden ölçümler alınmıştır. Ölçüm alınan noktalara ait kroki çizim Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kalınlık Ölçüm Noktaları

Ultrasonik kalınlık ölçer cihazı ile yapılan ölçüm değerleri milimetrenin 1:1000 hassasiyetindedir. Her bir boruya ait ilk iki periyotta 30'ar günlük, üçüncü periyotta ise 25 günlük ölçüm sonuçları Çizelge 4.6-4.7-4.8-4.9'da verilmiştir.

Ölçüm sonuçları incelendiğinde; ilk ölçüm sonuçlarının diğerlerine nazaran yüksek olduğu görülmektedir. Deney düzeneğinin ilk kurulumunda boru montajları muflu bağlantı olarak seçilmiş olup, daha sonrasında montaj işlemlerinin zorluğu nedeniyle bağlantılar flanşlı bağlantıya çevrilmiştir. Bu dönüşüm sırasında boru uçlarından bir miktar kesilmiştir. Bu işlem nedeniyle ölçüm noktasında sapma meydana geldiğinden dolayı ilk sonuçlar ile diğerleri arasında fark oluşmuştur.

Söz konusu ölçümlere ait grafikler çizilmiş olup, Şekil 4.3-4.14'te gösterilmiştir. Bu aşamada A, B, C ve D noktalarından alınan ölçümlerin ortalaması alınmış ve 1-2-3 ve 4. ölçüm noktalarına ait sonuçların değişimi grafiklere yansıtılmıştır.

Grafikler incelendiğinde zamanla değişen iç beton kaplama ölçümleri arasında matematiksel bir bağlantı tespit edilememiştir. İlk ve son ölçüm değerlerinde diğerlerine kıyasla oluşan büyük fark, herhangi bir yorum yapmaya engel teşkil etmektedir. Bütün ölçümler sırasında kullanılan cihazın kalibrasyonu yapılmış olup, son ölçüm değerindeki artışın nedeni anlaşılamamıştır.

Ölçüm sonuçları değişiminin tüm boru çaplarında da aynı oranlarda olduğu görülmüştür. Yüksek hızın meydana geldiği küçük boru iç beton kaplamasında daha fazla aşınma beklenmiş ancak bu sonuçlar; hız faktöründen ziyade diğer olası hasar faktörlerinin bu zaman zarfındaki aşınmada daha etkili olduğu anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.6. Ø450 mm boruda iç beton kaplama kalınlık değişimleri

İÇ BETON KAPLAMA KALINLIKLARI (µm)				
Ø450 mm - GİRİŞ				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	6769	3732	3860	3898
B	5581	4827	5077	5668
C	5886	5601	5933	5981
D	5910	5753	5564	5493
Ø450 mm - ÇIKIŞ				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	4612	4871	4793	5894
B	4460	5916	5663	5848
C	4461	6540	6538	6694
D	3955	5651	5976	6265
Ø450 mm - SABİT BORU				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	3662	3674	3662	4177
B	4225	4307	4285	5370
C	5152	4989	4574	5303
D	4988	5137	5211	6743

Çizelge 4.7. Ø400 mm boruda iç beton kaplama kalınlık değişimleri

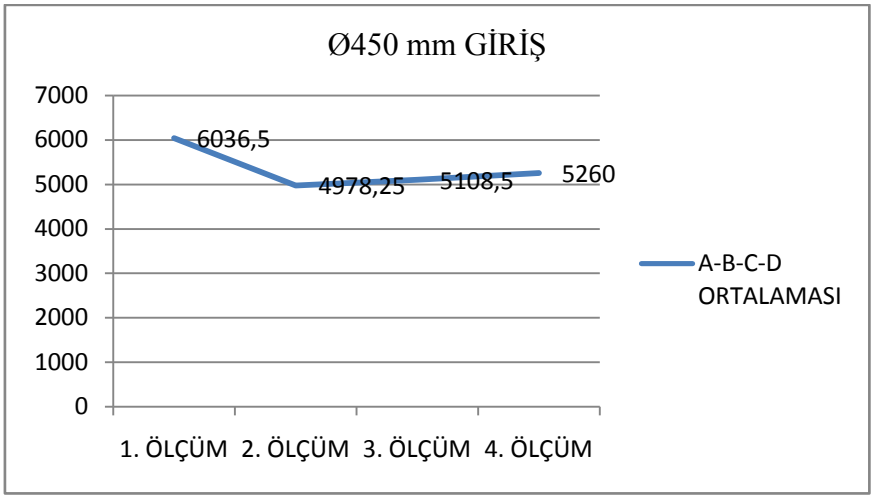
İÇ BETON KAPLAMA KALINLIKLARI (µm)				
Ø400 mm - GİRİŞ				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	4724	4703	4644	5754
B	4367	4865	4918	5481
C	4348	4665	4608	5814
D	5080	3635	3758	5070
Ø400 mm – ÇIKIŞ				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	4743	4662	4660	5751
B	4603	5239	5108	5604
C	4954	4154	4188	4741
D	3865	4632	4673	5704
Ø400 mm - SABİT BORU				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	4033	4181	4260	4550
B	4397	4475	4696	5760
C	5955	4630	4414	7062
D	4812	5143	5294	5685

Çizelge 4.8. Ø300 mm boruda iç beton kaplama kalınlık değişimleri

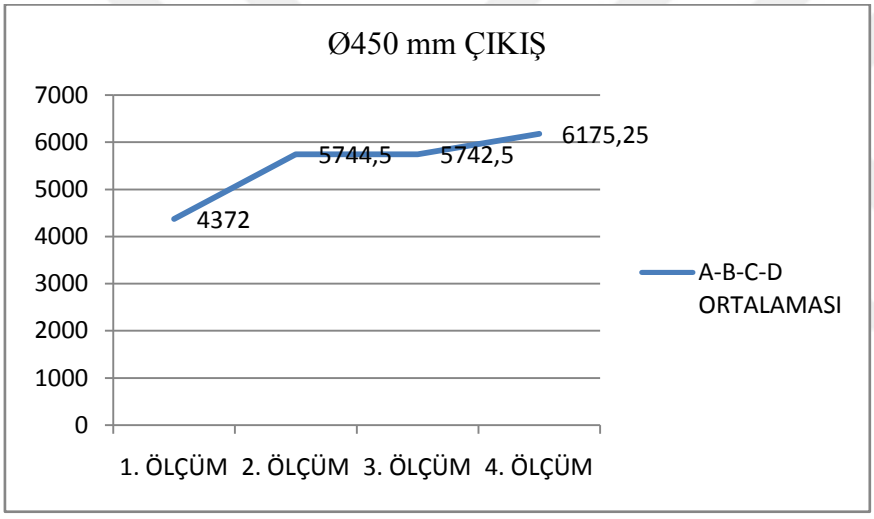
İÇ BETON KAPLAMA KALINLIKLARI (µm)				
Ø300 mm - GİRİŞ				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	3915	3770	3587	4385
B	3836	4029	3287	3779
C	4596	4158	4042	4754
D	3313	3200	3166	3888
Ø300 mm - ÇIKIŞ				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	3123	3883	3776	4663
B	4173	3961	4274	5145
C	3165	3258	3372	4086
D	3984	4524	4476	5526
Ø300 mm - SABİT BORU				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	3478	3512	3587	4011
B	3619	4461	4305	4552
C	4008	4225	4180	4622
D	3107	3349	3492	4150

Çizelge 4.9. Ø200 mm boruda iç beton kaplama kalınlık değişimleri

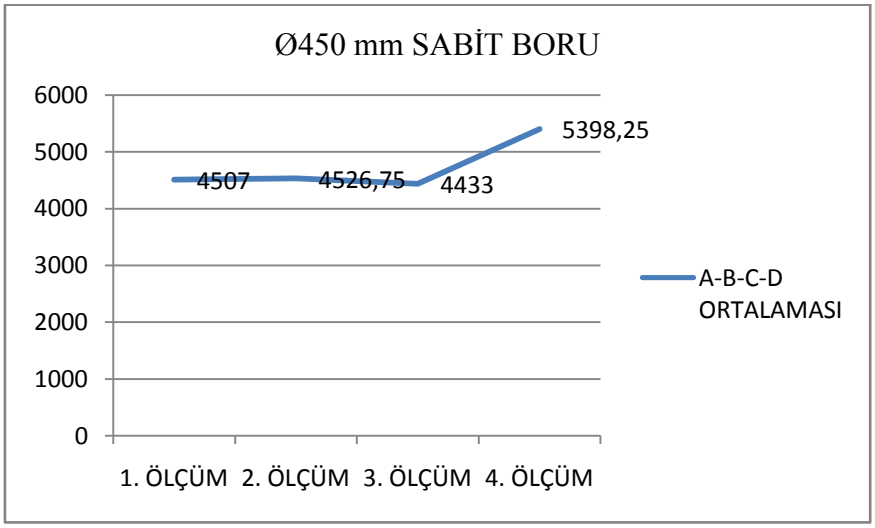
İÇ BETON KAPLAMA KALINLIKLARI (µm)				
Ø200 mm - GİRİŞ				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	4279	3906	3794	4554
B	3964	4080	3981	4893
C	3822	3542	3439	4181
D	3539	3635	3572	4356
Ø200 mm - ÇIKIŞ				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	3463	3205	3272	4096
B	3478	3358	3389	3775
C	2905	3927	3893	4675
D	4012	2795	2663	2961
Ø200 mm - SABİT BORU				
ÖlçümNoktası	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
A	2391	2485	2497	2513
B	2569	2257	2194	2882
C	2485	2301	2265	2670
D	2571	2560	2428	2918



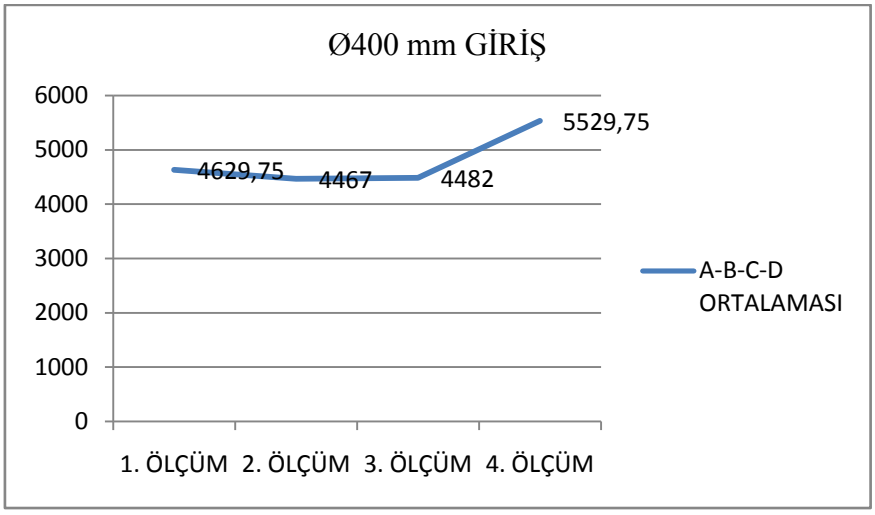
Şekil 4.3. Ø450 mm borunun giriş ağzı beton kalınlık değişimi



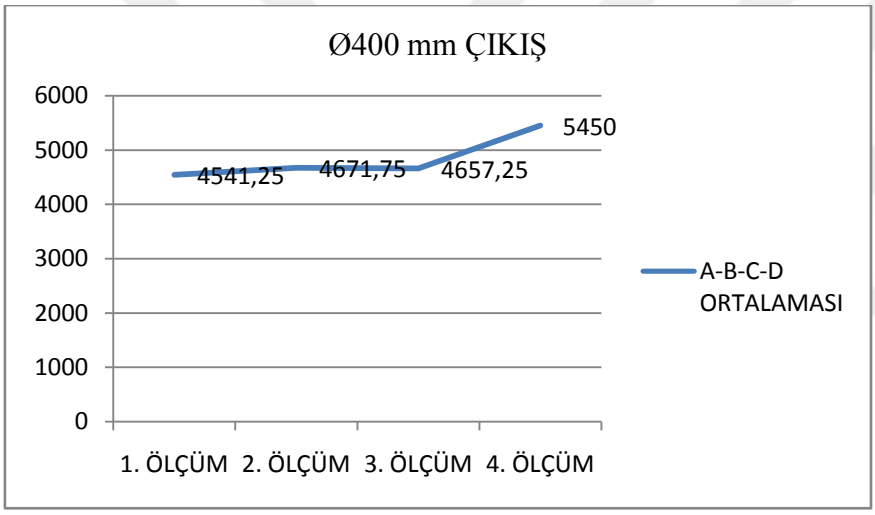
Şekil 4.4. Ø450 mm borunun çıkış ağzı beton kalınlık değişimi



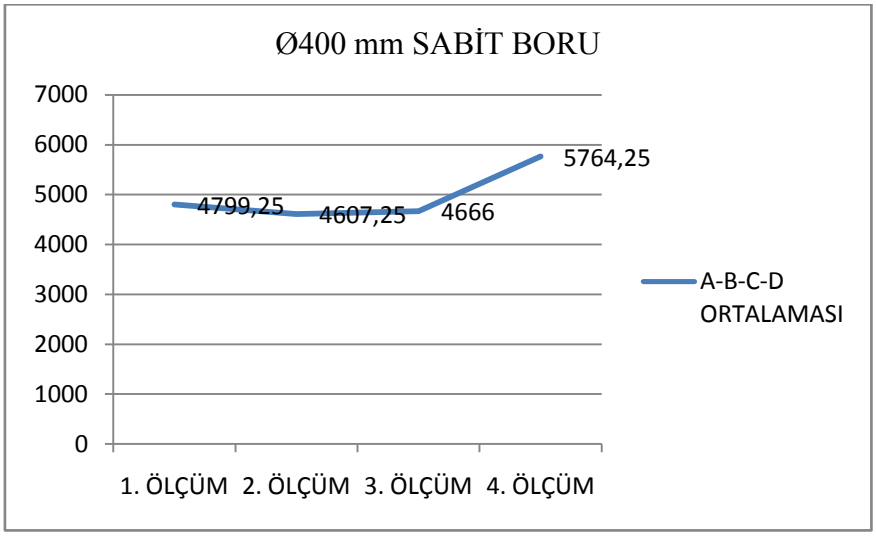
Şekil 4.5. Ø450 mm sabit boru beton kalınlık değişimi



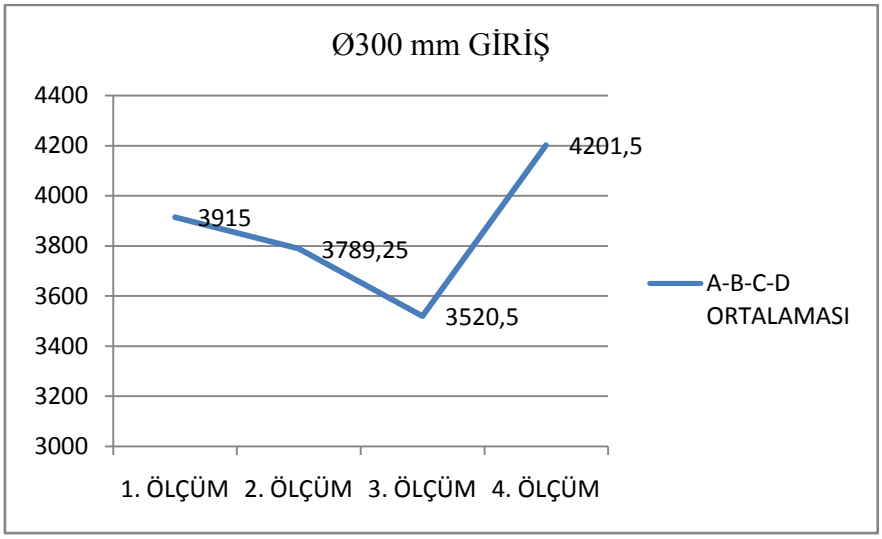
Şekil 4.6. Ø400 mm borunun giriş ağzı beton kalınlık değişimi



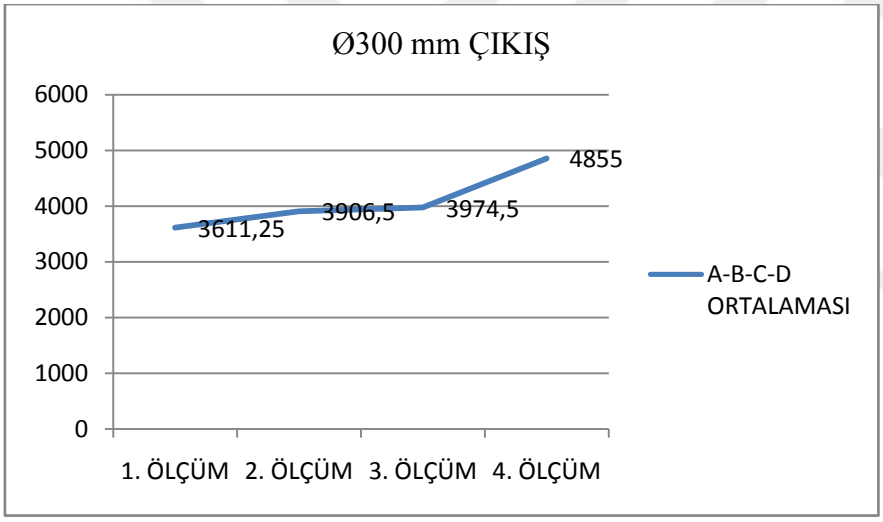
Şekil 4.7. Ø400 mm borunun çıkış ağzı beton kalınlık değişimi



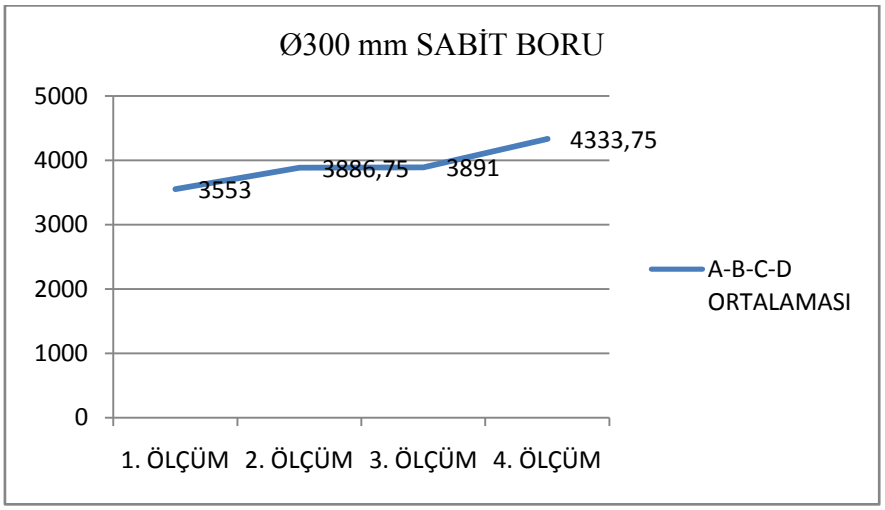
Şekil 4.8. Ø400 mm sabit boru beton kalınlık değişimi



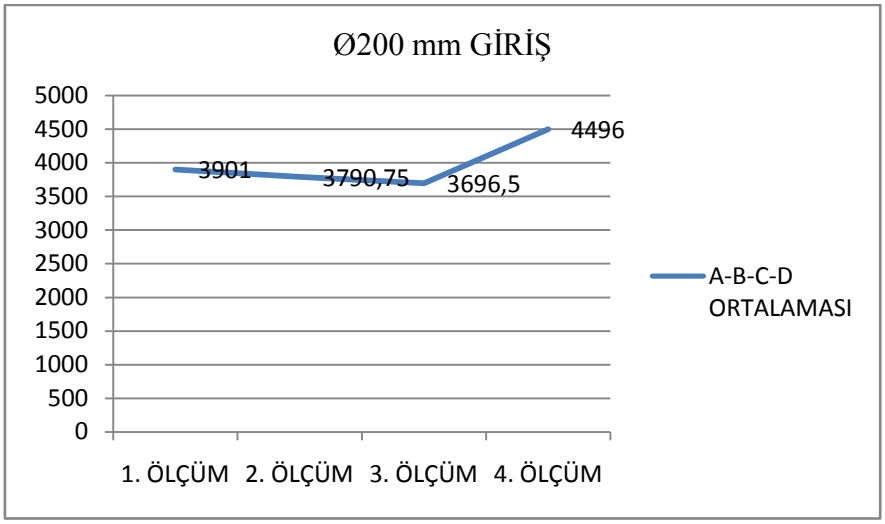
Şekil 4.9. Ø300 mm borunun giriş ağzı beton kalınlık değişimi



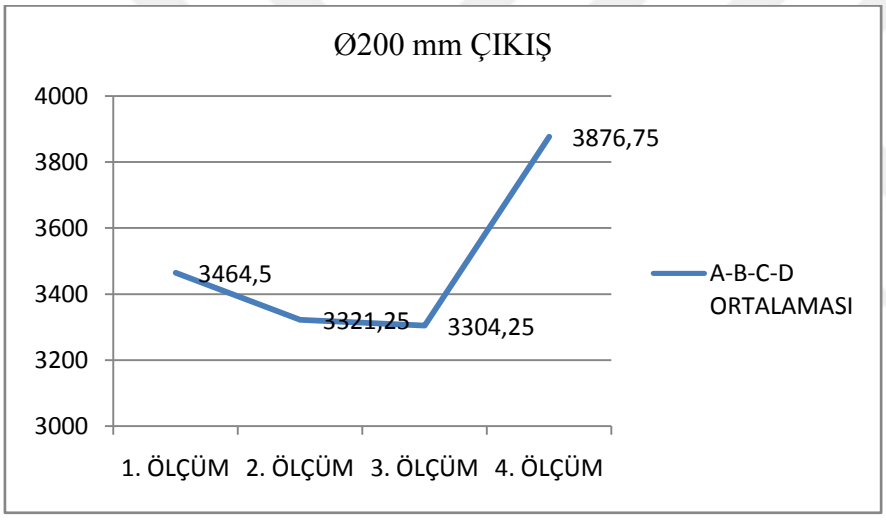
Şekil 4.10. Ø300 mm borunun çıkış ağzı beton kalınlık değişimi



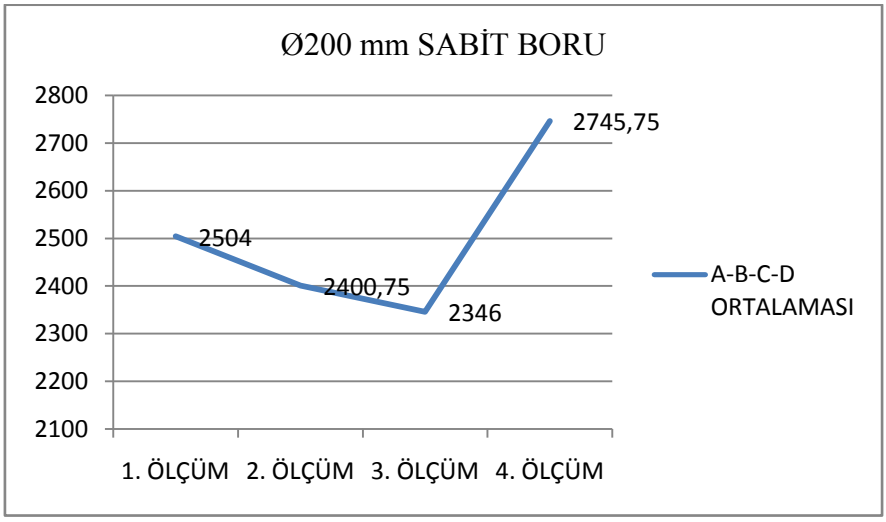
Şekil 4.11. Ø300 mm sabit boru beton kalınlık değişimi



Şekil 4.12. Ø200 mm borunun giriş ağzı beton kalınlık değişimi



Şekil 4.13. Ø200 mm borunun çıkış ağzı beton kalınlık değişimi



Şekil 4.14. Ø200 mm sabit boru beton kalınlık değişimi

4.4. İç Beton Kaplama Değişimi

Deney başlamadan önce kurulum sahasına getirilen düktil boruların iç beton kaplama kalınlıkları Şekil 4.2'de belirtilen noktalardan ölçülmüştür. Ayrıca muhtelif yerlerden fotoğraflar çekilerek beton kaplamanın ilk fabrika çıkış hali Resim 4.11-4.14'te gösterilmiştir.

Bu aşamada beton kaplamada çeşitli noktalarda küçük çatlaklar mevcut olup, söz konusu çatlak genişlikleri standartlarda belirtilen aralıklardadır (1,5 mm). Ayrıca beton kaplama yüzeyinde ince beyaz bir tabaka bulunmaktadır. Söz konusu tabaka santrifüj (savurma) yöntemiyle beton atılması sırasında agregalı beton harcının boru çeperine yapışması sonucu geriye kalan çimento ve su karışımının dış yüzeyde ince bir tabaka halinde birikmesidir. Resim 4.11-4.14'te söz konusu beyaz tabaka görülmektedir.

Deney düzeneği başlamadan önce düktil borular deneme amaçlı bir günlük su ile temas ettirilmiştir. Söz konusu borulara ait fotoğraflar Resim 4.15-4.20'de gösterilmiştir. Bu aşamada boru içerisinde kalan veya depoda bulunan katı maddelerin beton kaplama yüzeyindeki ince tabakada ufak kopmalara sebebiyet verdiği ve kaplamada çok hafif sararmanın başladığı görülmektedir.

Resim 4.17'de görülen beton kaplamadaki büyük hasar, boru uçlarının muflu bağlantıdan flanşlı bağlantıya çevirme işlemi esnasında dışarıdan müdahale ile meydana gelmiş olup, deneyle herhangi bir ilgisi bulunmamaktadır. Kaplama yüzeyinde meydana gelen hasarların genellikle yüzeydeki beyaz ince çimento tabakasında oluştuğu görülmektedir.

Deney Başlamadan Önceki İç Beton Kaplama Durumu:



Resim 4.11. İç beton kaplama fabrika çıkışı



Resim 4.12. İç beton kaplama fabrika çıkışı



Resim 4.13. İç beton kaplama fabrika çıkışı



Resim 4.14. İç beton kaplama fabrika çıkışı

1 Gün Sonra İç Beton Kaplama Durumu:



Resim 4.15. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama



Resim 4.16. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama



Resim 4.17. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama



Resim 4.18. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama



Resim 4.19. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama



Resim 4.20. Bir günlük su teması sonrası iç beton kaplama

4.4.1. Bir ay sonra iç beton kaplama durumu

Deney düzeneği ilk periyotta 8 saat/gün olmak üzere 30 gün boyunca çalıştırılmıştır. Bu süre sonunda boru iç beton kaplamadaki değişimler Resim 4.21-4.44'te gösterilmiştir.

Beton kaplamalar incelendiğinde; çatlak uzunluklarının arttığı, yüzeyde ve boru ağızlarından itibaren içeriye doğru paslanmaların oluştuğu, kaplama yüzeyindeki ince tabakada yer yer kopmaların oluştuğu ve sararmaların meydana geldiği tespit edilmiştir.

Boru çapları ve oluşturulan hızlar aşağıda belirtilmiştir:

Ø450 mm V=2,73 m/s
Ø400 mm V=3,45 m/s
Ø300 mm V=6,08 m/s
Ø200 mm V=13,81 m/s

Bu doğrultuda en fazla aşınmanın en yüksek hızda oluşacağı beklenmektedir. Ancak beton kaplamalarda gözle görülür en fazla hasarın büyük çaplı borudan küçük çaplı boruya doğru oluştuğu gözlemlenmiştir.

Beton kaplamada hasara neden olabilecek birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri; katı madde miktarı, beton kalitesi, sıcaklık, suyun fiziksel-kimyasal-biyolojik özellikleri olarak sayılabilir. Deneyin birinci aşamasında yukarıda belirtilen hasarlar incelendiğinde; hasar oluşumunda diğer faktörlerin hız faktöründen daha etkili olabileceği düşünülmektedir.

Ø450 mm çaplı boru V=2,73 m/s:



Resim 4.21. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.22. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.23. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.24. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.25. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.26. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø450)

Ø400 mm çaplı boru V=3,45 m/s:



Resim 4.27. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.28. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.29. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.30. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.31. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.32. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø400)

Ø300 mm çaplı boru V=6,08 m/s:



Resim 4.33. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.34. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.35. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.36. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300)

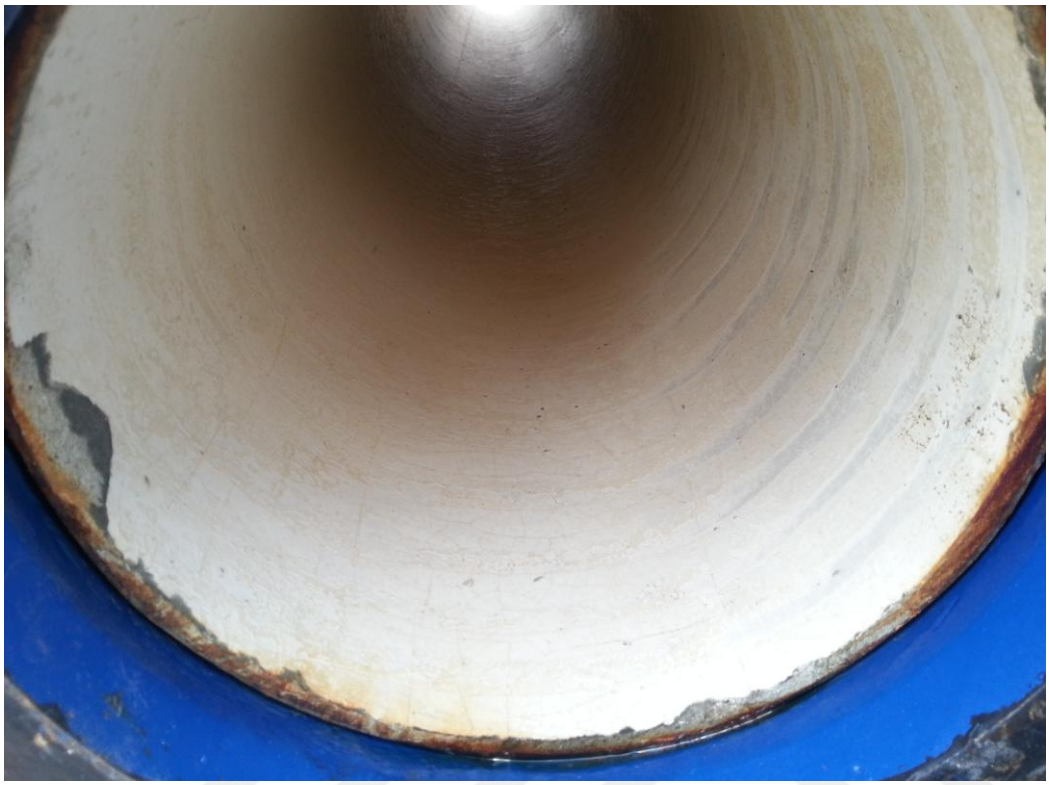


Resim 4.37. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.38. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø300)

Ø200 mm çaplı boru V=13,81 m/s:



Resim 4.39. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.40. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.41. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.42. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.43. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.44. Bir ay sonra iç beton kaplama (Ø200)

4.4.2. İki ay sonra iç beton kaplama durumu

Deney düzeneği ikinci periyotta 8 saat/gün olmak üzere 30 gün boyunca çalıştırılmıştır. Bu süre sonunda boru iç beton kaplamadaki değişimler Resim 4.45-4.68'te gösterilmiştir.

Beton kaplamalar incelendiğinde; çatlak genişlik ve uzunluklarının bir öncekine göre arttığı, oluşan paslanma yüzeylerinin genişlediği, kaplama yüzeyindeki ince tabakada meydana gelen kopmaların ve sararmaların da fazlalaştığı tespit edilmiştir.

Boru çapları ve oluşturulan hızlar aşağıda belirtilmiştir:

- 450 mm V=2,73 m/s
- 400 mm V=3,45 m/s
- 300 mm V=6,08 m/s
- 200 mm V=13,81 m/s

Bu doğrultuda en fazla aşınmanın en yüksek hızda oluşacağı beklenmektedir. Ancak beton kaplamalarda gözle görülür en fazla hasarın büyük çaplı borudan küçük çaplı boruya doğru oluştuğu gözlemlenmiştir.

Beton kaplamada hasara neden olabilecek birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri; katı madde miktarı, beton kalitesi, sıcaklık, suyun fiziksel-kimyasal-biyolojik özellikleri olarak sayılabilir. Deneyin ikinci aşamasında yukarıda belirtilen hasarlar incelendiğinde; hasar oluşumunda diğer faktörlerin hız faktöründen daha etkili olabileceği düşünülmektedir.

Ø450 mm çaplı boru V=2,73 m/s:



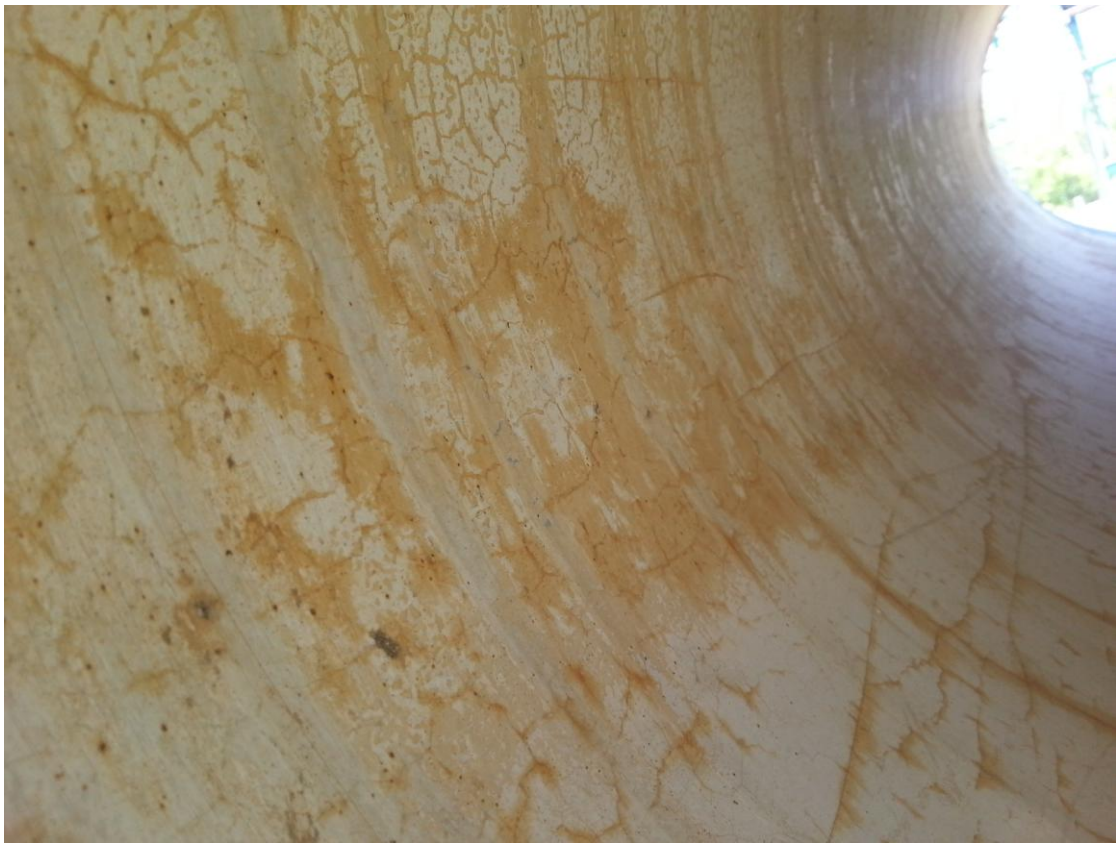
Resim 4.45. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.46. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.47. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.48. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.49. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.50. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø450)

Ø400 mm çaplı boru V=3,45 m/s:



Resim 4.51. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.52. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.53. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.54. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.55. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.56. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø400)

Ø300 mm çaplı boru V=6,08 m/s:



Resim 4.57. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.58. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.59. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.60. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.61. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.62. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø300)

Ø200 mm çaplı boru V=13,81 m/s:



Resim 4.63. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.64. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.65. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.66. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.67. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.68. İki ay sonra iç beton kaplama (Ø200)

4.4.3. Üç ay sonra iç beton kaplama durumu

Deney düzeneği üçüncü periyotta 8 saat/gün olmak üzere 25 gün boyunca çalıştırılmıştır. Bu süre sonunda boru iç beton kaplamadaki değişimler Resim 4.69-4.92'de gösterilmiştir. Beton kaplamalar incelendiğinde; çatlak genişlik ve uzunluklarının bir öncekine göre arttığı, oluşan paslanma yüzeylerinin daha da genişlediği, kaplama yüzeyindeki ince tabakada meydana gelen kopmaların ve sararmaların da fazlalaştığı tespit edilmiştir.

Boru çapları ve oluşturulan hızlar aşağıda belirtilmiştir:

Ø450 mm V=2,73 m/s
Ø400 mm V=3,45 m/s
Ø300 mm V=6,08 m/s
Ø200 mm V=13,81 m/s

Bu doğrultuda en fazla aşınmanın en yüksek hızda oluşacağı beklenmektedir. Ancak beton kaplamalarda gözle görülür en fazla hasarın büyük çaplı borudan küçük çaplı boruya doğru oluştuğu gözlemlenmiştir.

Beton kaplamada hasara neden olabilecek birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri; katı madde miktarı, beton kalitesi, sıcaklık, suyun fiziksel-kimyasal-biyolojik özellikleri olarak sayılabilir. Deneyin üçüncü aşamasında yukarıda belirtilen hasarlar incelendiğinde; hasar oluşumunda diğer faktörlerin hız faktöründen daha etkili olabileceği düşünülmektedir.

Ø450 mm çaplı boru V=2,73 m/s:



Resim 4.69. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.70. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.71. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.72. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.73. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450)



Resim 4.74. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø450)

Ø400 mm çaplı boru V=3,45 m/s:



Resim 4.75. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.76. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.77. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.78. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.79. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)



Resim 4.80. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø400)

Ø300 mm çaplı boru V=6,08 m/s:



Resim 4.81. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.82. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



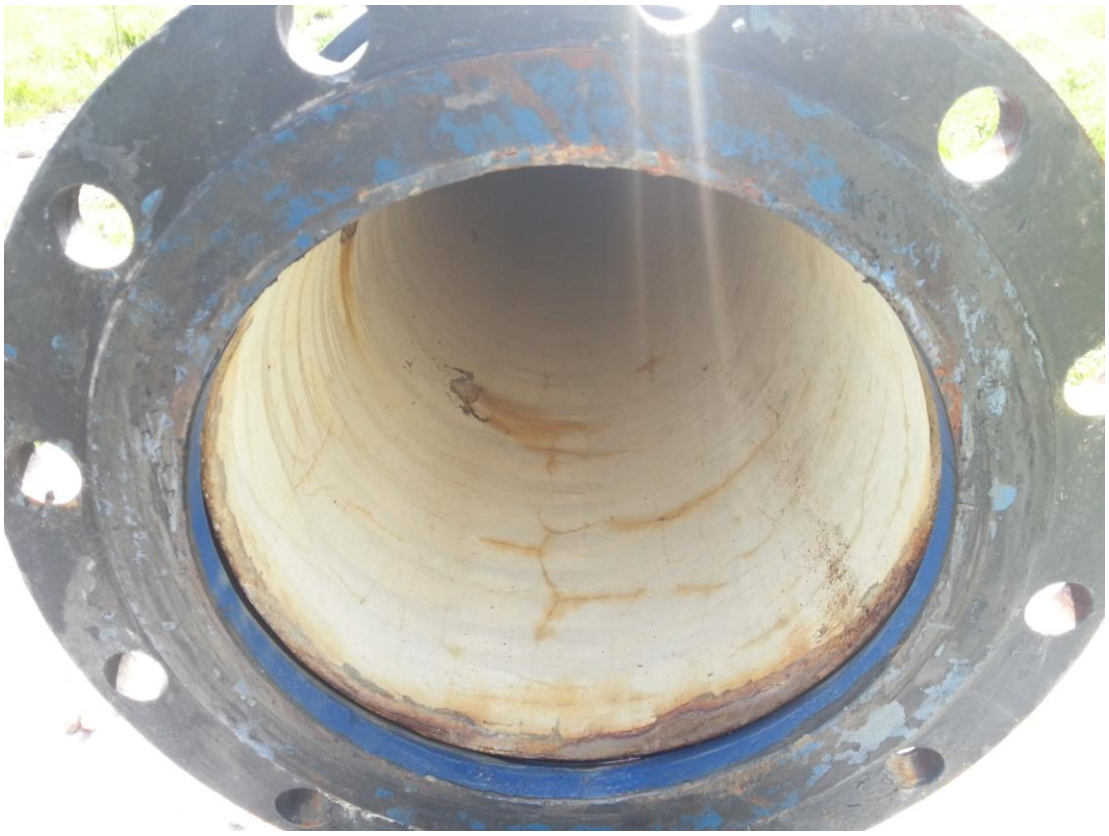
Resim 4.83. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.84. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.85. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)



Resim 4.86. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø300)

Ø200 mm çaplı boru V=13,81 m/s:



Resim 4.87. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.88. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.89. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.90. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.91. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)



Resim 4.92. Üç ay sonra iç beton kaplama (Ø200)

4.4.4. ASKİ İşletme dışı bırakılmış boruların iç beton kaplama durumu

ASKİ' de çeşitli nedenlerle işletme dışı bırakılmış olan içmesuyu düktil borularının iç beton kaplamaları da incelenmiş olup, durumları Resim 4.93-4.97'de gösterilmiştir. Söz konusu boruların işletmede bulunma yılları veya stok sahasında bekleme zamanları hakkında yeterli bir bilgiye ulaşılamamıştır. ASKİ stok sahasında bulunan borular ile deneyde kullanılan borular aynı fabrikadan temin edilmiştir. Beton kaplama kalınlıkları incelendiğinde; çatlak ebatlarının minimum düzeyde olduğu, yüzeyde kopmaların olmadığı, tüm kaplama yüzeyinin paslanmaya benzer renk değişimine uğradığı görülmüştür.



Resim 4.93. ASKİ işletme dışı bırakılmış düktil boru iç beton kaplaması



Resim 4.94. ASKİ işletme dışı bırakılmış düktil boru iç beton kaplaması



Resim 4.95. ASKİ işletme dışı bırakılmış düktil boru iç beton kaplaması



Resim 4.96. ASKİ işletme dışı bırakılmış düktil boru iç beton kaplaması



Resim 4.97. ASKİ işletme dışı bırakılmış düktil boru iç beton kaplaması

5. GÖZLEM VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada dört farklı çapa sahip içi beton kaplı düktil borulardan meydana gelmiş bir boru deney düzeneği kullanılarak yüksek akım hızının beton kaplama üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deney düzeneği DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı kampüsü içerisinde açık model alanında kurulmuş ve üç ay boyunca çalıştırılmıştır. Kullanılan pompalar deney aşamasında sadece hafta içi 8 saat/gün olarak çalıştırılmıştır. Toplamda düzenek 30+30+25 günlük üç periyotta çalıştırılmıştır. İç beton kaplamanın bu süre zarfındaki değişimi Resim 4.11-4.92'de verilmiştir.

Deney aşamasında, boruların Şekil 4.2'de gösterilen noktalarından iç beton kaplama kalınlık ölçümleri yapılmış ve beton kaplamadaki kalınlık değişimleri tespit edilmiştir. Öncelikle beton kaplamadaki kalınlık ölçümleri birbirleri ile kıyaslanarak yüksek hızdan dolayı bir aşınmanın olup olmadığı incelenmiştir. Daha sonrasında kaplamada oluşan hasarların hangi tür fiziksel etkenlerden olabileceği araştırılmış ve son olarak suyun kimyasal ve biyolojik özelliklerinden kaynaklanan bir bozulmanın gerçekleşip gerçekleşmediği ile ilgili tespitler yapılmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda kullanılan suya dair fiziksel ve kimyasal analizler DSİ TAKK Dairesi Başkanlığında yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Deney kurulum aşamasında ve deney süresince laboratuvar koşulları ve ölçüm noktalarının eski ve yeni pozisyonlarının tespitinde karşılaşılan hassasiyet nedeniyle borulardan alınan ölçüm noktalarının yerlerinde küçük sapmalar meydana gelmiştir. Örneğin, pas tabakası veya dökülmeler nedeniyle iç beton kaplama yüzeyi pürüzlülüğünün ilk su verilme anından itibaren arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan testler sonucunda kaplama yüzeyinde var olan kılcal çatlaklar suyun verilmesiyle birlikte boyutlarını artırmıştır. Deney süresince iç beton kaplamanın yüzeyinde bir pas tabakası oluşmuş ve bu tabaka kaplama yüzeyinde ayrı bir pürüzlü katmanın oluşmasına neden olmuştur. Bu pas tabakası genellikle boru ağızlarına yakın ve ölçüm alınan kısımlara yakın gerçekleşmiştir. Ayrıca ilk deney düzeneğinin kurulumunda boru montajlarının muflu bağlantı ile yapılması ve sonrasında sökme ve montaj işlemlerinin zorluğu nedeniyle flanşlı bağlantıya çevrilmesi sonucu boru ağızları bir miktar kesilmiştir. Buna benzer öngörülemeyen sorunlar neticesinde, boruların aynı noktalarından ölçüm alma işlemi zorlaşmıştır. Kalınlık ölçer cihazı çok hassas ölçüm

aldığından dolayı yer yer ölçüm sonuçlarının bir öncekine göre arttığı ancak bu değişimlerin küçük mertebelerde (%4-5) kaldığı tespit edilmiştir.

Düktil boru kullanılarak gerçekleştirilmiş olan su hızı denemeleri sonucunda Resim 4.11-4.92'de görüldüğü üzere düktil boru iç beton kaplaması üzerinde bazı hasarlar meydana gelmiştir. Örneğin; beton kaplamanın değişik noktalarında ilk fabrika çıkışında mevcut bulunan kılcal çatlak genişliklerinin arttığı, santrifüj (savurma) yöntemiyle beton atılması sırasında dış yüzeyde biriken ince çimento tabakasında yer yer aşınmaların ve dökülmelerin meydana geldiği, özellikle boru ağızlarına yakın noktalarda ve çatlak etraflarında kısmi pas tabakasının oluştuğu ve beton yüzeyinin zamanla sarımtırak bir renk aldığı tespit edilmiştir. Bu hasarların nedenleri üzerinde daha önceden yapılmış olan çalışmalar ile birlikte üretici firmalar, uygulamadaki mühendisler ve akademisyenler ile yüzyüze görüşmeler gerçekleştirilerek oluşum nedenleri incelenmiştir. Yapılmış olan görüşmeler, akademik literatür incelemeleri ve deney sonuçları neticesinde hasar oluşum nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1- Deneysel süreç incelendiğinde, tüm borularda boru çapından ve/veya hızdan bağımsız olarak yukarıda belirtilen hasarların yaklaşık olarak aynı miktarlarda gerçekleştiği gözlenmiştir. Çizelge 4.4-4.7'de verilen beton kaplama kalınlıkları incelendiğinde; ilk ve son ölçüm arasında en fazla farkın yer aldığı değerler alınarak değişim oranları hesaplanmış, iç beton kaplama kalınlığındaki değişiminin en fazla %4-5 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu kalınlık değişimlerinin tüm boru çaplarında yaklaşık olarak aynı oranlarda olduğu, dolayısıyla deneyde kullanılan hız kriterlerinden bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır.

2- Gözlemsel olarak iç beton kaplamalar incelendiğinde; büyük çaplı ve hızı düşük olan borularda küçük çaplı ve hızı yüksek olan borulara nazaran daha fazla çatlak, korozyon, betonda dökülmeler, renk değişimleri vb. hasarların oluştuğu belirlenmiştir. Bu nedenle deneyde oluşturulan hızlar dikkate alındığında hızın artması ile hasar miktarı arasında bir ilişki kurulamamıştır.

3- İç beton kaplamadaki kılcal çatlakların oluşum nedenleri birkaç kaynaklı olabilmektedir. Örneğin boru malzemesi ile iç kaplamada kullanılan betonun elastisitelerinin farklı olmaları nedeniyle dış etkenlerden kaynaklı olarak (örneğin sıcaklık

farkı vb.) iç kaplamada kılcal çatlaklar meydana gelebilir. Bir başka sebep olarak bu çatlakların kaplama imalatı sırasında beton kür koşullarının sağlıklı bir şekilde yerine getirilmemesi nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir. Çünkü söz konusu çatlaklar boyuna çatlaklar olup, bunlar betonun kürlenmesi esnasında oluşması muhtemel rötre çatlaklarıdır. Ayrıca, boruların imalat yerinden deney sahasına nakliyesi ve montajı sırasında da çekme gerilmelerine maruz kalması muhtemeldir. İç kaplama betonu çatlamaya ve hatta kırılmaya çok müsait olduğundan, anılan çatlaklardan dairesel olanlarının çekme gerilmesine maruz kalması sonucu oluştuğu düşünülebilir. Kullanılan boru iç kaplamalarında boyuna çatlakların sıklıkla görülmesine karşın dairesel çatlaklara pek rastlanılmamıştır.

4- Deneysel çalışma esnasında karşılaşılan sorunlardan bir diğeri ise düktil boruların iç kaplaması üzerinde özellikle boru uçlarından boru içerisine doğru uzanan bir pas tabakasının (Resim 4.33) yüzeyi kaplamış olmasıdır. Bu pas tabakasının oluşumuna dair iki ihtimal mevcuttur:

a- Düktil borular yapıları gereği korozyona dayanıklı bir malzeme olup, uygulamada herhangi bir ek işlem görmeden muflu veya flanşlı bağlantı yöntemleri ile birleşimleri gerçekleştirilebilmektedir. Fakat deney sahasındaki boru uçları muflu bağlantı yerine flanşlı bağlantı yapılması zorunluluğu nedeniyle kesilmiş olup, bu dönüştürme sonrasında o bölgeye korozyonu engelleyici ek bir önlem alınmadığından dolayı işlem gören noktalardan itibaren korozyona karşı dayanıklılık özelliğini yitiren boru paslanmaya başlamıştır. Boru uçlarından başlayan bu pas, akan su ile birlikte boru içerisine doğru taşınarak pas tabakasının yayılmasına neden olmuştur.

b- Boru içerisindeki su, iç beton kaplamada mevcut olan çatlaklar vasıtasıyla kaplama içerisine nüfuz ederek düktil malzemeye kadar ulaşmış ve düktil boruda başlayan korozyon yine aynı çatlaklar aracılığıyla beton kaplama yüzeyine ulaşarak bir pas tabakası oluşturmuştur.

Bu iki ihtimal gözönünde bulundurularak yerinde yapılan inceleme sonucunda (o bölgedeki pas tabakası kazınarak alttaki temiz beton tabakaya ulaşılmıştır), boru uçlarına yakın bölgede gözlenen pas tabakasının boru uçlarında oluşan korozyonun akan su ile taşınması sonucunda meydana geldiği tespit edilmiştir. Ancak çatlakların etrafında oluşan

paslanmanın nedeni araştırıldığında, pasın düktil borunun iç yüzeyinden mi geldiği yoksa su tarafından mı taşındığı hususu netliğe kavuşturulamamıştır.

Üreticiler ve uygulamadaki mühendisler ile yapılan görüşmeler neticesinde iç kaplama betonunun hazırlanması esnasında kullanılan katkı maddesinin (AGAPOL) sadece aderansı arttırıcı ve prizi hızlandırıcı özelliği olduğu, bununla birlikte beton dayanımını arttırıcı özelliği olup olmadığına dair herhangi bir ölçümün yapılmadığı belirlenmiştir.

İç beton kaplama özellikleri ile ilgili olarak üretici firmadan edinilen bilgilere ve ISO 4179 standardına göre; betonun 28 günlük basınç dayanımının 52-55 MPa aralığında olması gerektiği, dolayısıyla bu değerin C50 sınıfı betona karşılık geldiği ve slamp değerinin düşük olduğu, standarda göre betonda oluşmasına izin verilecek maksimum çatlak genişliğinin ise en fazla 1,5 mm olabileceği belirtilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında içi beton kaplı borularda hız etkisinin incelenmesine rağmen değişik çaplarda kullanılan borularda meydana gelen hızlara göre gürültü düzeyleri de gözlemlenmiştir. Fakat gürültü seviyelerini ölçmek için herhangi bir ölçüm cihazı kullanılmamıştır. Gözlemler sonucunda küçük çaplı ve akım hızının en yüksek olduğu boruda en yüksek gürültü düzeyine ulaşıldığı, boru çapı ve akım hızı küçüldükçe gürültü seviyesinin de azaldığı görülmüştür.

Deneyde kullanılan kuyu suyuna dair yaptırılan beton temas suyu kimyasal analiz sonuçlarına göre, su içerisinde betona zarar verici herhangi bir bulguya rastlanılmamıştır. Suyun pH derecesi 8,58 olup, sülfat, amonyum, magnezyum vb kimyasallar sınır değerlerin altında çıkmıştır. Dolayısıyla betonda meydana gelen renk değişimlerinin, dökülme, çatlak ve pas tabakasının suyun kimyasal özelliklerinden kaynaklı olmadığı sonucuna varılmıştır.

Suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerinden bağımsız olduğu anlaşılan söz konusu hasarların suyun biyolojik özelliklerinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Özellikle hasar derecesinin akım hızının yavaş olduğu borularda hızın yüksek olduğu borulara nazaran daha büyük olması bu sonucu düşündürmektedir. Akım yavaşladığında pürüzlülüğü arttırıcı taneciklerin sürüklenme hızı da yavaşlar ve akışkanın boru içerisinde kalma süresi artar ki, bu da biyolojik hayatın daha hızlı gelişmesine sebep olur. Bu nedenle

önlem alınmadığı durumlarda akım hızının yavaşlaması biyolojik zararlara sebebiyet verebilmektedir. (Yıldırım ve Taştan, 2014). Ancak suyun biyolojik özelliklerine dair bir analiz yaptırılmamıştır.

Bununla birlikte iç beton kaplama yüzeyinde oluşan kopma ve dökülmelerin akım sırasında oluşan titreşim sonucu malzeme yorgunluğundan kaynaklanabileceği de düşünülmektedir. Bu tez kapsamında oluşturulan deney düzeneği zeminden yaklaşık 10 cm yukarıda konumlandırılmıştır. Bu nedenle uygulamada borunun toprağa gömülü olmasından dolayı minimum düzeyde oluşması beklenen titreşimin deneyde daha fazla oluştuğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı yukarıda bahsedilen hasarların oluşması ve/veya tetiklenmesi konusunda yardımcı unsur olabileceği kanaatine varılmıştır.

Tez çalışmasının konusu gereği uygulamada yeralan ve ASKİ tarafından Ankara ili içmesuyu isale hatlarında uzun yıllardır kullanılmış olan düktil borular da incelenmiştir. Söz konusu boruların iç beton kaplamaları Resim 4.93-4.97'de verilmiştir. Herhangi bir nedenle ASKİ tarafından işletme dışı bırakılmış düktil boruların iç beton kaplamalarının hasar dereceleri, tez kapsamında yapılan deneydeki beton iç kaplamalar ile görsel olarak kıyaslanmıştır. Karşılaştırmada ASKİ'nin kullandığı boruların beton iç yüzey tabakasının renk değiştirmiş olduğu, ancak iç kaplamada büyük derecede çatlak veya beton dökülmelerinin olmadığı görülmüştür. Fakat söz konusu boruların işletmede kalma süreleri, ne kadar zamandır açıkta bekledikleri ve içerisinden geçen suyun özelliklerine dair herhangi bir bilgiye ulaşılamamıştır. Bu husus deney sonuçları ile uygulama sonuçlarının kıyaslamasının akademik olarak yapılmasına engel teşkil etmekte ise de, 10-15 yıl aralığında kullanıldıkları düşünülen ve uzun süredir açıkta bekletildikleri söylenen boruların iç beton kaplamalarının, deney kapsamında kullanılan boruların iç beton kaplamalarına nazaran daha iyi durumda oldukları görülmektedir.

Su ile temasta olan beton yüzeylerde hız nedeniyle aşınmaya sebep olan bir diğer faktör ise kavitasyondur. Kavitasyon, basıncın buhar basıncının altına düştüğü bölgelerde, suyun aniden buharlaşmasıdır (Hwang ve Houghtalen, 1996). Kavitasyonu oluşturan su buharı kabarcıkları daha yüksek basınçlı bölgeye hareket ettiklerinde şiddetli bir şekilde çarpışarak patlarlar. Bu durum o bölgedeki yapıya oldukça büyük zararlar verebilir. Akım hızı da kavitasyonun oluşumunda bir etkendir. Yapılan deneyde oluşturulan hızlar (2,73 m/s – 13,81 m/s) tasarım hızlarına (0,5 m/s – 3,0 m/s) göre yüksek olduğundan kavitasyon

oluşumu da aşınmanın nedenleri arasında düşünülmüştür. Ancak kavitasyona sebep olabilecek durumlar önceden bilindiğinden dolayı kavitasyona karşı önlem alınarak deney düzeneği buna göre tasarlanmıştır. Bu nedenle kavitasyon sonucu oluşabilecek bir aşınmanın meydana geldiği düşünülmemektedir. Bununla birlikte yine de tespit edilemeyen akış içerisindeki küçük hava kabarcıklarının kaplamaya bir miktar zarar vermesi ihtimali de mevcuttur.

Ayrıca iç beton kaplamada oluşan çatlaklar dikkate alındığında, boru cidarı boyunca meydana gelen gerilmelerin de etkili olduğu düşünülmüştür. Boru cidarı boyunca teğetsel gerilme ve boyuna gerilme olmak üzere iki tür gerilme oluşmaktadır. Özellikle boru yarıçapının et kalınlığına oranı 10 ve 10'dan büyük olan borularda ($r/t \geq 10$) oluşacak bu gerilmeler yarıçap ve iç basınç ile doğru orantılı, et kalınlığı ile ters orantılıdır (Beer, Johnstan, DeWolf ve Mazurek, 2006). Söz konusu teğetsel gerilme boyuna çatlaklara sebep olurken, boyuna gerilme ise teğetsel yönde çatlaklara sebebiyet vermektedir. Bu nedenle deneylerde kullanılan büyük çaplı boru iç beton kaplamasında oluşan boyuna çatlak miktarının küçük çaplı boruların iç beton kaplamasında oluşan boyuna çatlak miktarına göre daha fazla meydana gelmesi, özellikle teğetsel gerilmelerin yarıçap ile doğrudan ilişkili olmasına bağlıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kapalı bir borulu sistem içerisinde yüksek hızlarda meydana gelebilecek hasarların tespiti için yapılan deneyler neticesinde; deneyde kullanılmış olan suyun hamsu değerlerini taşıdığı dikkate alındığında bu özelliklerdeki suyun boru iç beton kaplamasına verdiği aşınmanın deneyde kullanılan hız kriterine bağlı olmadığı ve yüksek hızdan kaynaklanan aşınma etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Oluşan hasarların Gözlem ve Değerlendirmeler başlıklı 5. Bölümde bahsedilen faktörler sebebiyle gerçekleştiği ve uygulanan 4 farklı hızda da söz konusu hasarların aynı oranlarda olduğu belirlendiğinden, içmesuyu isale hattı projelendirme kriteri olarak kullanılan ve maksimum tasarım hızı olan 3 m/s değeri, aşınmaya sebep olacak diğer faktörlerin ortadan kaldırılması sonucu betonda meydana gelecek aşınma ihtimali düşünülmeksizin 14 m/s'ye kadar çıkartılabilmektedir. Ancak bu husus mutlaka sistemdeki darbe etkileri, kavitasyon ve enerji kayıpları hesaba katılarak belirlenmeli ve en optimum çözüm bulunmalıdır. Cazibeli içmesuyu isale hatlarında darbe ve kavitasyon önlemlerinin alınması ve fazladan enerjinin ilave ekipmanlarla kırılması gerektiği durumlarda tasarım hızı aşınma etkilerine bakılmaksızın 14 m/s'ye kadar artırılabilmektedir.

Bu tez kapsamında irdelenen faktörler ve deney süresi dikkate alındığında deneylerden elde edilen sonuçlar ile aynı tür malzemelerden imal edilmiş ve uzun yıllar işletmede kalmış borulardan elde edilen sonuçlar arasında tam olarak ilişki kurulamamaktadır. Bu nedenle ileride yapılacak buna benzer çalışmalarda tüm bu faktörler gözönünde bulundurularak daha uzun deney süreleri ile çalışılması veya halihazırda işletmede olan içmesuyu isale hatlarının izlenmesi ile bir sonuca varılması gerektiği düşünülmektedir

KAYNAKLAR

ASHRAE Handbook, (1993). *Fundemantals Pipe Sizing*, Chapter 33, 155-186

Arndt, R.E.A., (1981). Cavitation in fluid machinery and hydraulic structures, *Annual Review of Fluid Mechanics*, (13), 273-326

AWWA M11, (2004). Steel Water Pipe: A Guide for Design and Installation, 4th edition, 29-41

AWWA M41, (2009). Ductile-Iron Pipe and Fittings, Manual of Water Supply Practices, 2nd edition, 153

AWWA M45, (2013). Fiberglass Pipe Design, Manual of Water Supply Practices, 3th edition, 24

AWWA M55, (2006). PE Pipe-Design and Installation, 1st edition, 36

Bay, M.E. (2006). *İçmesuyu Proje El Kitabı*, Türkiye: Teknik Yayınevi, 43.

Badr, H. M., Habib, M. A., Ben-Mansour, R. and Said, S. A. M., (2005). Numerical investigation of erosion threshold velocity in a pipe with sudden contraction, computers & fluids, 34(6), 721-742.

Ball, E.F. and Webster. C.J.D., (1976). Some measurements of water-flow noise in copper and ABS pipes with various flow velocities, *The Building Services Engineer*, 44 (2), 33.

Baradan B. ve Aydın S., (2013). Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık), *Hazır Beton Dergisi*, (20-120), 54-68.

Beer, F.P., Johnstan A.R., DeWolf J.T. and Mazurek D.F., (2006). Mechanics of Materials, 5. Edition, Mc. Graw Hill, 435-437.

Benefield, Larry D., Joseph F. Judkins and A. David Parr., (1984). Treatment plant hydraulics for environmental engineers, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall

Blanchard, D.J., Griffith, P. and Rabinowicz, E., (1984). Erosion of a pipe bend by solid particle entrained in water, *Journal of Engineering for Industry*, (106), 213-217.

Bozzini, B., Ricotti, M.E., Boniardi, M. and Mele, C., (2003). Evaluation of erosion–corrosion in multiphase flow via CFD and experimental analysis, *Wear*, Elsevier 255, 237–245.

Carrier, (1960). Piping design in system design manual, *Carrier Air Conditioning Company*, Syracuse, NY.

Colebrook, Frank C. and White C.M. (1937). The reduction of carrying capacity of pipes with age, *Journal of the ICE* 7.1, 99-118.

Crane Co., (1976). Flow of fluids through valves, fittings and pipe, *Technical Paper* No. 410, Crane Company, New York.

Fair, G.M. and Geyer, J.C. (1973). *Su Getirme ve Kullanılmış Suları Uzaklaştırma Esasları*, Çeviren: Muslu, Y., Türkiye: Matbaa Teknisyenleri Koll. Şti. İstanbul, 184-185.

Finnie, I., (1958). The mechanism of erosion of ductile metals, *Proceedings of 3rd US National Congress of Applied Mechanics*, 527-532.

Finnie, I., (1972). Some observations on the erosion of ductile metals, *Wear*, 19(1), 81-90.

Hunter, R.B., (1941). Water distributing systems for buildings. *NBS Report BMS 79*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.

Hwang, N.H.C. and Houghtalen, R.J., (1996). *Fundemantals of Hydraulic Engineering Systems*, 3rd. Edition, Prentice Hall, London, 3.

İller Bankası, *İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerin Hazırlanmasına ait Teknik Şartname* (2013). Türkiye, 25.

Kaisha, K. (1992). *Ductile Iron Pipeline Design Manual*, 2nd. Edition, Kubota Corporation/Japan, 32.

Liu, Y.W., Yen, T. and Hsu, T.H., (2006). Abrasion erosion of concrete by water-borne sand, *Cement and Concrete Research*, Elsevier 36, 1814–1820.

Marseille, B., (1965). Noise transmission in piping, heating and ventilating engineering (June), 674.

Milleville, B.J., (1968). The case for higher velocities in feed water piping, Proceedings of Am. Power Conf.

Munson, B.R., Young, D.F and Okiishi, T.H., (1994). *Fundamentals Of Fluid Mechanics*, 2nd. Edition, 458-460.

Obrecht, M.F. and Pourbaix, M., (1967). Corrosion of metals in potable water systems, American Water Works Association, Denver, CO. *AWWA* 59, 977.

Ripken, J.F., (1967). A Test rig for ftudying impingement and cavitation damage, erosion by cavitation or impingement, *ASTM STP*, 408.

Rogers, W.L., (1953). Experimental approaches to the study of noise and noise transmission in piping systems, *ASHRAE Transactions* 59, 347-60.

Rogers, W.L., (1954). Sound-pressure levels and frequencies produced by flow of water through pipe and fittings, *ASHRAE Transactions* 60, 411-30.

Rogers, W.L., (1956). Noise production and damping in water piping, *ASHRAE Transactions* 62, 39.

Sanks, R.L., (1978). Water treatment plant design for the practicing engineer, *Ann Arbor Science Publishers*, Ann Arbor, MI.

Soldan, H.M. and Siegel, E., (1964). The trend toward increased velocities in central station steam and water piping, *Proceeds of the American Power Conference*, (26).

Smith, T., (1983). Reducing corrosion in heating plants with special reference to design considerations, *Anti-Corrosion Methods and Materials* 30 (October), 4.

Schmitt, H.G. and Bakalli, M., (2010). Flow Assisted Corrosion, Elsevier, 979-980

Thiruvengadam, A., (1967). The Concept of erosion strength, erosion by cavitation or impingement, *ASTM STP*, 408.

Uhlig, H.H., (1963). Corrosion and corrosion control, NewYork&London, Wiley&Sons, 70.

Yanmaz, A.M. (1997). *Applied Water Resources Engineering*, Türkiye: ODTÜ Basım İşliği, 174.

Yıldırım, N. ve Taştan, K., (2014). *Pompalar ve Pompalı Boru Hatları*, Türkiye: Nobel Yayınevi, 189.

Williams, G.S. and Hazen, A., (1933). Hydraulic tables, John Wiley and Sons, New York.

EKLER

EK-1. Kullanılan suya ait ilk bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları

02-HAZ-2014 11:19 S.002

Sayfa 2/5
Page

Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı
Kimya Laboratuvarı Şube Müdürlüğü
Esenboğa Yolu 21. km Çankırı Yol Ayrımı Altınova-Pursaklar - Ankara
Tel: (312) 399 2796 Faks: (312) 399 2795
e-posta: takk@dsi.gov.tr Elektronik Ağ: www.dsi.gov.tr

AB-0010-T
13-0879
12-13

Numuneyi Gönderen	: HİDROLİK	Numune Kabul Tarihi	:	12.02.2014
Ait Olduğu Proje	:	Deney Başlama Tarihi	:	12.02.2014
Numune Tarifi	: Su	Deney Bitiş Tarihi	:	12.02.2014

KİMYASAL ANALİZ DENEY RAPORU

LABORATUVAR NO	:	1 nolu numune
NUMUNENİN ALINDIĞI YER	:	
NUMUNENİN ALINDIĞI TARİH	:	.12.02.2014

		DENEY SONUÇLARI	ÖLÇ. BEL.	DEĞER EN ÇOK TS 266 (2005) SINIF 1 SINIF 2 (TİP 1)	
SICAKLIK °C (Num.Alındığı Yerdeki Sıcaklığı)				-	-
ÖLÇÜM SICAKLIĞI °C				-	-
pH (25 ° C) (*) (Otomatik Cihaz Düzeltmesi)*	(1)		± 0,03	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5
Elektriksel İletkenlik, mS/m (25 ° C) (*) (Otomatik Cihaz Düzeltmesi)*	(2)		± 1,4	65	250
Toplam Çözünmüş Katılar, mg/L	(5)			-	-
Sodyum*, mg/L	(9)			100	200
Potasyum*, mg/L	(9)			-	-
Toplam Sertlik, (CaCO3), mg/L	(9)			-	-
Kalsiyum*, mg/L	(9)			-	-
Magnezyum*, mg/L	(9)			-	-
F.S.	0			-	-
Karbonat, mg/L	(7)			-	-
Bikarbonat, mg/L	(7)			-	-
Toplam Alkalinite, (CaCO3), mg/L	(7)			-	-
Klorür*, mg/L	(8)			30	250
Sülfat*, mg/L	(8)			25	250
Amonyum, mg/L	(9)			0,05	0,50
Nitrit, mg/L	(8)			0,10	0,50
Nitrat*, mg/L	(8)			25	50
Orto Fosfat, mg/L	(11)			-	-
Florür*, mg/L	(8)			1,0	1,5
Siyanür (Serbest) , mg/L	(13)			0,050	0,050
Toplam Org.Karbon, mg/L	(14)			-	-
Çözünmüş Org.Karbon, mg/L	0			-	-

		DENEY SONUÇLARI	ÖLÇ. BEL.	DEĞER EN ÇOK TS 266 (2005) SINIF 1 SINIF 2 (TİP 1)	
Serbest Karbondioksit, mg/L	(5)			-	-
Çözünmüş Oksijen, mg/L	(12)			-	-
Çöz.Oks.Doygunluk Oranı, %	0			-	-
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, BOD5, mg/L	(5)			-	-
Permanganat İndeksi, mgOksijen/L	0			-	-
Renk PT-Co Skalası	(3)			1	20
Bulanıklık, NTU	(4)	14,6		5	5
Bor, mg/L	(12)			1	1
Krom +6, mg/L	0			-	-
Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/L	(13)			-	-
Fenol, mg/L	0			-	-
Silis, mg/L	(5)			-	-
Çözünmüş Demir*, mg/L	(15)			-	-
Toplam Fosfor, mg/L	(10)			-	-
Toplam Azot, mg/L	(3)			-	-
Organik Azot, mg/L	0			-	-
Kjeldahl Azotu, mg/L	(5)			-	-
Serbest Klor, mg/L	0			-	-
Tuzluluk	0			-	-
Sürfaktanlar, mg/L	0			-	-
Askıdaki Katı Madde*, mg/L	(6)			-	-
Toplam Katı Madde, mg/L	0	650,0		-	-
Çökebilen Katı Madde, mL/L	0	-		-	-
Yağ -Gres, mg/L	0	-		-	-

KULLANILAN METODLAR :(1) TS EN ISO10523,(2) TS 9748 EN 27888,(3) TS EN ISO 7887,(4) TS 5091 EN ISO 7027,(5) STMD 2005,(6) TS EN 872,(7) TS 3790 EN ISO 9963-1,(8) TS EN ISO 10304-1,(9) TS EN ISO 14911,(10) TS 7889,(11) TS 7886,(12) TS EN ISO 5814,(13) KİT,(14) TS 8195 EN 1484,(15) EPA 200,8

SINIF 1 SULAR BİR TİPTİR
SINIF 2 SULAR (TİP 1 - İŞLEM GÖRMÜŞ KAYNAK (MEMBA) SULARI TİP 2 - İÇME VE KULLANMA SULARI OLMAK ÜZERE İKİ TİPTİR.)

Deney Sorumlusu	Onaylayan
Nermi ARSLAN Kimya Yüksek Mühendisi	Candan ÇİFTER Şube Müdürü

Notlar:
1) Deneyler, talep sahibi tarafından laboratuvarımıza teslim edilen deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.
2) (*) işaretli olan deney/deneyler, akredite olunan deneyi/deneyleri göstermektedir. Ölçüm belirsizliği, deney süresindeki belirsizlikleri kapsamaktadır ve % 95 (k=2) güven aralığında hesaplanmıştır.
3) Bu rapor İstek No:..... sayılı ön yazı ile bir bütündür.
4) Deney tekrarı istenmesi halinde laboratuvarımızda numune kalmamıştır.X / Şahit numune ... süre sonunda imha edilecektir.

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. Elektronik imzalı olanlar hariç, imzasız ve mührüsüz raporlar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Unless electronically signed, testing reports without signature and seal are not valid.

F 0 16 00 06 Rev 02/ Ocak 2012

TOPLAM SAYFA002

EK-2. İlk malzeme karışımı sonrası suya ait bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları (Birinci gün)

02-HAZ-2014 11:19 S.001

DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
TAKK DAİRESİ BAŞKANLIĞI
KİMYA LABORATUVARI

…/….

RAPOR TARİHİ : …../…../20….
LABORATUVAR NO : …../…. - ….

SU DENEYLERİ RAPORU

NUMUNEYİ GÖNDEREN	BAHATTİN BEY (1)
AİT OLDUĞU PROJE	

NUMUNENİN ALINDIĞI YER	
NUMUNENİN ALINDIĞI TARİH	
LAB.GELDİĞİ TARİH	

SICAKLIK ° C			ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN, mg/L	
pH			BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
SERBEST KARBONDİOKSİT, mg/L			KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
ELEKTRİKSEL İLETKENLİK , ms/m			PERMANGANAT DEĞERİ, mg Oksijen/L	
TOPLAM ÇÖZÜNMÜŞ KATILAR, mg/L			ORGANİK AZOT, mg/L	
• ASKIDAKİ KATILAR, mg/L	52.0		ORTA FOSFAT, mg/L	
• BULANIKLIK, NTU	35.9		TOPLAM FOSFOR, µg/L	
RENK, Pt – Co Skalası			SODYUM, mg/L	
KARBONAT ($CaCO_3$), mg/L			POTASYUM, mg/L	
BİKARBONAT, mg/L			KALSİYUM, mg/L	
TOPLAM ALKALİNİTE ($CaCO_3$), mg/L			MAĞNEZYUM, mg/L	
KLORÜR, mg/L			TOPLAM SERTLİK , ($CaCO_3$), mg/L	
AMONYUM, mg/L			TOPLAM SERTLİK , F.S	
NİTRİT, mg/L			BOR, mg/L	
NİTRAT, mg/L			ÇÖZÜNMÜŞ SİLİS (SiO_2), mg/L	
SÜLFAT, mg/L			TOPLAM DEMİR, mg/L	
			TOPLAM MANGAN, mg/L	
BROMÜR, mg/L			FLORÜR, mg/L	
LİTYUM, mg/L				
BARYUM, mg/L				

KULLANILAN METODLAR :

EK-3. İlk malzeme karışımı sonrası suya ait bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları (İkinci gün)

02-HAZ-2014 11:19 S.002

DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
TAKK DAİRESİ BAŞKANLIĞI
KİMYA LABORATUVARI

..../....

RAPOR TARİHİ : ...../...../20....
LABORATUVAR NO : ...../.... - .....

SU DENEYLERİ RAPORU

NUMUNEYİ GÖNDEREN	BAHATTİN BEY (2)
AİT OLDUĞU PROJE	

NUMUNENİN ALINDIĞI YER	
NUMUNENİN ALINDIĞI TARİH	
LAB.GELDİĞİ TARİH	

SICAKLIK ° C		ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN, mg/L	
pH		BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
SERBEST KARBONDİOKSİT, mg/L		KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
ELEKTRİKSEL İLETKENLİK , ms/m		PERMANGANAT DEĞERİ, mg Oksijen/L	
TOPLAM ÇÖZÜNMÜŞ KATILAR, mg/L		ORGANİK AZOT, mg/L	
ASKIDAKİ KATILAR, mg/L	35,0	ORTA FOSFAT, mg/L	
BULANIKLIK, NTU	33.9	TOPLAM FOSFOR, µg/L	
RENK, Pt – Co Skalası		SODYUM, mg/L	
KARBONAT ($CaCO_3$), mg/L		POTASYUM, mg/L	
BİKARBONAT, mg/L		KALSİYUM, mg/L	
TOPLAM ALKALİNİTE ($CaCO_3$), mg/L		MAĞNEZYUM, mg/L	
KLORÜR, mg/L		TOPLAM SERTLİK , ($CaCO_3$), mg/L	
AMONYUM, mg/L		TOPLAM SERTLİK , F.S	
NİTRİT, mg/L		BOR, mg/L	
NİTRAT, mg/L		ÇÖZÜNMÜŞ SİLİS (SiO_2), mg/L	
SÜLFAT, mg/L		TOPLAM DEMİR, mg/L	
		TOPLAM MANGAN, mg/L	
BROMÜR, mg/L		FLORÜR, mg/L	
LİTYUM, mg/L			
BARYUM, mg/L			

KULLANILAN METODLAR :

EK-4. Son malzeme karışımı sonrası suya ait bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları (Birinci gün)

02-HAZ-2014 11:19 S.003

DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
TAKK DAİRESİ BAŞKANLIĞI
KİMYA LABORATUVARI

..../....

RAPOR TARİHİ : ...../...../20....
LABORATUVAR NO : ...../.... - .....

SU DENEYLERİ RAPORU

NUMUNEYİ GÖNDEREN	BAHATTİN BEY - 3
AİT OLDUĞU PROJE	

NUMUNENİN ALINDIĞI YER	
NUMUNENİN ALINDIĞI TARİH	
LAB.GELDİĞİ TARİH	

SICAKLIK ° C			ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN, mg/L	
pH			BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
SERBEST KARBONDİOKSİT, mg/L			KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
ELEKTRİKSEL İLETKENLİK , ms/m			PERMANGANAT DEĞERİ, mg Oksijen/L	
TOPLAM ÇÖZÜNMÜŞ KATILAR, mg/L			ORGANİK AZOT, mg/L	
ASKIDAKİ KATILAR, mg/L	176.0		ORTA FOSFAT, mg/L	
BULANIKLIK, NTU	106.0		TOPLAM FOSFOR, µg/L	
RENK, Pt – Co Skalası			SODYUM, mg/L	
KARBONAT ($CaCO_3$), mg/L			POTASYUM, mg/L	
BİKARBONAT, mg/L			KALSİYUM, mg/L	
TOPLAM ALKALİNİTE ($CaCO_3$), mg/L			MAĞNEZYUM, mg/L	
KLORÜR, mg/L			TOPLAM SERTLİK , ($CaCO_3$), mg/L	
AMONYUM, mg/L			TOPLAM SERTLİK , F.S	
NİTRİT, mg/L			BOR, mg/L	
NİTRAT, mg/L			ÇÖZÜNMÜŞ SİLİS (SiO_2), mg/L	
SÜLFAT, mg/L			TOPLAM DEMİR, mg/L	
			TOPLAM MANGAN, mg/L	
BROMÜR, mg/L			FLORÜR, mg/L	
LİTYUM, mg/L				
BARYUM, mg/L				

KULLANILAN METODLAR :

EK-5. Son malzeme karışımı sonrası suya ait bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları (İkinci gün)

02-HAZ-2014 11:19 S.004

DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
TAKK DAİRESİ BAŞKANLIĞI
KİMYA LABORATUVARI

..../....

RAPOR TARİHİ : ...../...../20....
LABORATUVAR NO : ...../.... - .....

SU DENEYLERİ RAPORU

NUMUNEYİ GÖNDEREN	BAHATTİN BEY-4
AİT OLDUĞU PROJE	

NUMUNENİN ALINDIĞI YER	
NUMUNENİN ALINDIĞI TARİH	
LAB.GELDİĞİ TARİH	

SICAKLIK ° C		ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN, mg/L	
pH		BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
SERBEST KARBONDİOKSİT, mg/L		KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
ELEKTRİKSEL İLETKENLİK , ms/m		PERMANGANAT DEĞERİ, mg Oksijen/L	
TOPLAM ÇÖZÜNMÜŞ KATILAR, mg/L		ORGANİK AZOT, mg/L	
ASKIDAKİ KATILAR, mg/L	89,0	ORTA FOSFAT, mg/L	
BULANIKLIK, NTU	74,6	TOPLAM FOSFOR, µg/L	
RENK, Pt – Co Skalası		SODYUM, mg/L	
KARBONAT ($CaCO_3$), mg/L		POTASYUM, mg/L	
BİKARBONAT, mg/L		KALSİYUM, mg/L	
TOPLAM ALKALİNİTE ($CaCO_3$), mg/L		MAĞNEZYUM, mg/L	
KLORÜR, mg/L		TOPLAM SERTLİK , ($CaCO_3$), mg/L	
AMONYUM, mg/L		TOPLAM SERTLİK , F.S	
NİTRİT, mg/L		BOR, mg/L	
NİTRAT, mg/L		ÇÖZÜNMÜŞ SİLİS (SiO_2), mg/L	
SÜLFAT, mg/L		TOPLAM DEMİR, mg/L	
		TOPLAM MANGAN, mg/L	
BROMÜR, mg/L		FLORÜR, mg/L	
LİTYUM, mg/L			
BARYUM, mg/L			

KULLANILAN METODLAR :

EK-6. Son malzeme karışımı sonrası suya ait bulanıklık ve katı madde miktarı analiz sonuçları (Üçüncü gün)

02-HAZ-2014 11:19 S.005

DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
TAKK DAİRESİ BAŞKANLIĞI
KİMYA LABORATUVARI

RAPOR TARİHİ : ...../...../20....
LABORATUVAR NO : ...../.... - .....

SU DENEYLERİ RAPORU

NUMUNEYİ GÖNDEREN	BAHATTİN BEY-5
AİT OLDUĞU PROJE	

NUMUNENİN ALINDIĞI YER	
NUMUNENİN ALINDIĞI TARİH	
LAB.GELDİĞİ TARİH	

SICAKLIK ° C		ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN, mg/L	
pH		BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
SERBEST KARBONDİOKSİT, mg/L		KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
ELEKTRİKSEL İLETKENLİK , ms/m		PERMANGANAT DEĞERİ, mg Oksijen/L	
TOPLAM ÇÖZÜNMÜŞ KATILAR, mg/L		ORGANİK AZOT, mg/L	
ASKIDAKİ KATILAR, mg/L	620	ORTA FOSFAT, mg/L	
BULANIKLIK, NTU	51,2	TOPLAM FOSFOR, µg/L	
RENK, Pt – Co Skalası		SODYUM, mg/L	
KARBONAT ($CaCO_3$), mg/L		POTASYUM, mg/L	
BİKARBONAT, mg/L		KALSİYUM, mg/L	
TOPLAM ALKALİNİTE ($CaCO_3$), mg/L		MAĞNEZYUM, mg/L	
KLORÜR, mg/L		TOPLAM SERTLİK , ($CaCO_3$), mg/L	
AMONYUM, mg/L		TOPLAM SERTLİK , F.S	
NİTRİT, mg/L		BOR, mg/L	
NİTRAT, mg/L		ÇÖZÜNMÜŞ SİLİS (SiO_2), mg/L	
SÜLFAT, mg/L		TOPLAM DEMİR, mg/L	
		TOPLAM MANGAN, mg/L	
BROMÜR, mg/L		FLORÜR, mg/L	
LİTYUM, mg/L			
BARYUM, mg/L			

KULLANILAN METODLAR :

TOPLAM SAYFA005

EK-7. Kullanılan suya ait beton temas suyu analiz sonuçları

02-HAZ-2014 11:18 S.002

Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı
Kimya Laboratuvarı Şube Müdürlüğü
Esenboğa Yolu 21. km Çankırı Yol Ayrımı Altınova-Pursaklar - Ankara
Tel: (312) 399 2796 Faks: (312) 399 2795
e-posta: takk@dsi.gov.tr Elektronik Ağ: www.dsi.gov.tr

Sayfa / Page 2/2

AB-0010-T
14-.....
01-01

Numuneyi Gönderen	:		Numune Kabul Tarihi	:	.....05.2014
Ait Olduğu Proje	:		Deney Başlama Tarihi	:	01.01.0001
Numune Tarifi	:	Su	Deney Bitiş Tarihi	:	01.01.0001

BETON TEMAS SUYU DENEY RAPORU

LABORATUVAR NO	:	14.....
NUMUNENİN ALINDIĞI YER	:	-
NUMUNENİN ALINDIĞI TARİH	:	-

		DENEY SONUÇLARI	ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ
SICAKLIK °C (Num.Alındığı Yerdeki Sıcaklığı)			-
ÖLÇÜM SICAKLIĞI °C		22,4	-
PH (25 ° C) (Otomatik Cihaz Düzeltmesi)*	1	8,58	± 0,04
Magnezyum*, mg/L	3	18,93	-
Toplam Sertlik ($CaCO_3$), mg/L		181,00	-
Toplam Alkalinite ($CaCO_3$), mg/L		-	-
Klorür*, mg/L	2	34,27	-
Sülfat* , mg/L	2	103,86	-
Amonyum , mg/L	3	<0,025	-
Kireç Çözücü Karbonik Asit, mg/L		1,5	-
Permanganat İndeksi (mg oksijen/L)		~~0,20~~ 0,00	-

DEĞERLENDİRME :

KULLANILAN METODLAR : (1) TS EN ISO10523,(2) TS EN ISO 10304-1,(3) TS EN ISO 14911

Doğadaki Suların Zararlı Etkinlik Dereceleri İçin Sınır Değerler

Sıra No	İncelenen özellik	Zararlı Etkinlik Derecesi		
		Zayıf	Kuvvetli	Çok Kuvvetli
1	pH değeri	6,5 ~ 5,5	5,5 ~ 4,5	4,5 dan küçük
2	Kireç çözücü (CO2mg/l) (Hever mermer denevi ile)	15 ~ 30	30 ~ 60	60 dan büyük
3	Amonyum (NH4+) mg/L	15 ~ 30	30 ~ 60	60 dan büyük
4	Magnezyum (Mg2+) mg/L	100 ~ 300	300 ~ 1500	1500 den büyük
5	Sülfat (SO2-4)mg/L	200 ~ 600	600 ~ 3000	3000 den büyük

Deney Sorumlusu	Onaylayan
Nermi ARSLAN	Candan ÇİFTER
Kimya Yüksek Mühendisi	Şube Müdürü

Notlar:
1) Deneyler, talep sahibi tarafından laboratuvarımıza teslim edilen deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.
2) (*) işaretli olan deney/deneyler, akredite olunan deneyi/deneyleri göstermektedir. Ölçüm belirsizliği, deney süresindeki belirsizlikleri kapsamaktadır ve % 95 (k=2) güven aralığında hesaplanmıştır.
3) Bu rapor İstek No: sayılı ön yazı ile bir bütündür.
4) Deney tekrarı istenmesi halinde laboratuvarımızda numune kalmamıştır.

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. Elektronik imzalı olanlar hariç, imzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Unless electronically signed, testing reports without signature and seal are not valid.

EK-7.(devam) Kullanılan suya ait beton temas suyu analiz sonuçları

02-HAZ-2014 11:18 S.003

DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
TAKK DAİRESİ BAŞKANLIĞI
KİMYA LABORATUVARI

..../....

RAPOR TARİHİ : ...../...../20....
LABORATUVAR NO : ...../.... - .....

SU DENEYLERİ RAPORU

NUMUNEYİ GÖNDEREN	
AİT OLDUĞU PROJE	

NUMUNENİN ALINDIĞI YER	
NUMUNENİN ALINDIĞI TARİH	
LAB.GELDİĞİ TARİH	

SICAKLIK ° C	22.4		ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN, mg/L	
pH	8.58		BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
SERBEST KARBONDİOKSİT, mg/L			KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI, mg/L	
ELEKTRİKSEL İLETKENLİK , ~~mS/m~~	798 µs/cm		PERMANGANAT DEĞERİ, mg Oksijen/L	0-20
TOPLAM ÇÖZÜNMÜŞ KATILAR, mg/L			ORGANİK AZOT, mg/L	
ASKIDAKİ KATILAR, mg/L			ORTA FOSFAT, mg/L	
BULANIKLIK, NTU			TOPLAM FOSFOR, µg/L	
RENK, Pt – Co Skalası			SODYUM, mg/L	
KARBONAT ($CaCO_3$), mg/L			POTASYUM, mg/L	
BİKARBONAT, mg/L			KALSİYUM, mg/L	
TOPLAM ALKALİNİTE ($CaCO_3$), mg/L			MAĞNEZYUM, mg/L	
KLORÜR, mg/L			TOPLAM SERTLİK , ($CaCO_3$), mg/L	
AMONYUM, mg/L			TOPLAM SERTLİK , F.S	
NİTRİT, mg/L			BOR, mg/L	
NİTRAT, mg/L			ÇÖZÜNMÜŞ SİLİS (SiO_2), mg/L	
SÜLFAT, mg/L			TOPLAM DEMİR, mg/L	
			TOPLAM MANGAN, mg/L	
BROMÜR, mg/L			FLORÜR, mg/L	
LİTYUM, mg/L			Kizeç Gözü Şahit: 5,30 numune: 5,37 sonuç	1,5
BARYUM, mg/L				

Cl	SO_4	NO_2	NO_3	PO_4	F
34,27	103,86	—	4,350	—	2,60

KULLANILAN METODLAR :

Na	K	Ca	Mg	NH_4
116,03	3,73	41,83	18,93	—

TOPLAM SAYFA003

EK-8. Bulanıklık artırmak için kullanılan malzemeye ait elek analizi sonuçları (Çubuk-1 Barajı)

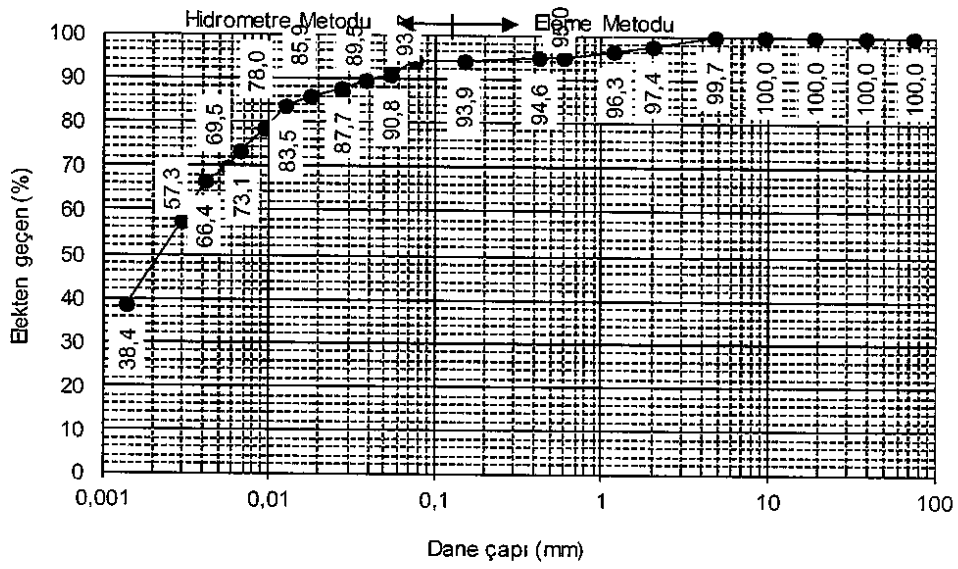
Çubuk 1 Baraj Göl Alanı Numunesi

DANE ÇAPI DAĞILIMI EĞRİSİ (*)

Numune no	Çuval	Deney başlama tarihi	03.04.2014
Kuyu/sondaj no	-	Deney bitiş tarihi	04.04.2014
Deney standardı	TS 1900-1		

D_{10} (mm)	-	Uniformluk katsayısı, $C_u = D_{60}/D_{10}$	-
D_{30} (mm)	-	Süreklilik katsayısı, $C_c = (D_{30}D_{30})/(D_{60}D_{10})$	-
D_{60} (mm)	0,003327	0,005 mm' den geçen ince zemin yüzdesi	68,21786

Moloz, (%)	0,0	Çakıl, (%)	0,3	Kum, (%)	6,0	İnce, (%)	93,7



Elek	3"	1,5"	3/4"	3/8"	No 4	No 10	No 16
Göz açıklığı, (mm)	75	38	19	9,5	4,75	2,00	1,19
Kalan, (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	2,3	1,1
Toplam geçen, (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	99,7	97,4	96,3
Belirsizlik	-	-	-	-	-	1,6	-

Elek	No 30	No 40	No 100	No 200
Göz açıklığı, (mm)	0,59	0,42	0,149	0,075
Kalan, (%)	1,3	0,4	0,7	0,2
Toplam geçen, (%)	95,0	94,6	93,9	93,7
Belirsizlik	-	-	-	-

EK-9. Bulanıklık artırmak için kullanılan malzemeye ait elek analizi sonuçları (Çubuk-2 Barajı)

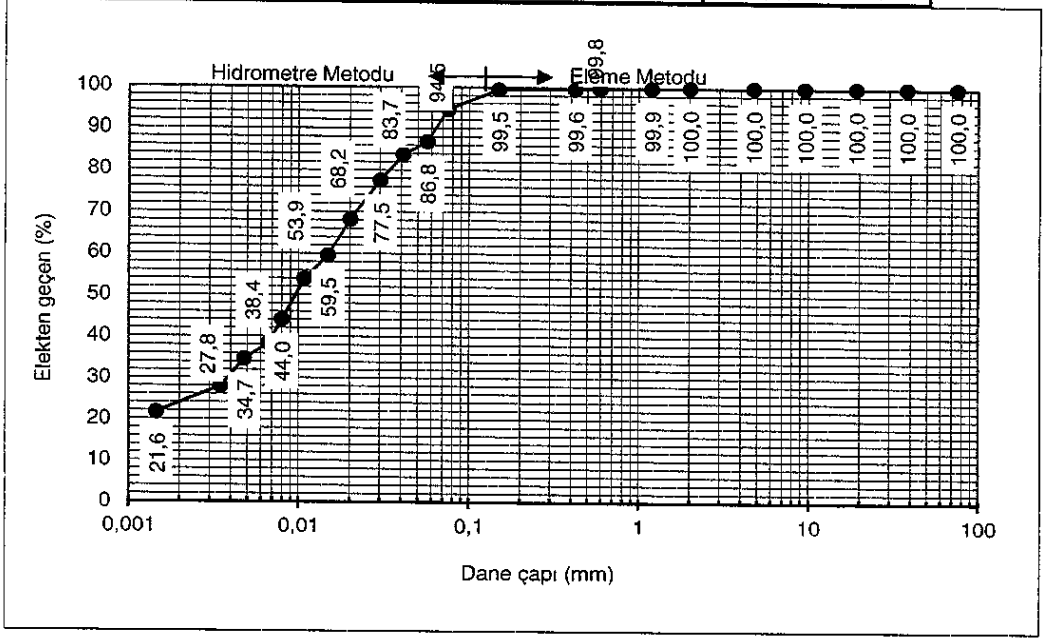
Çubuk 2 Baraj Gövde Alanı Numunesi

DANE ÇAPI DAĞILIMI EĞRİSİ (*)

Numune no	Toprak	Deney başlama tarihi	00.01.1900
Kuyu/sondaj no	0	Deney bitiş tarihi	00.01.1900
Deney standardı	TS 1900-1		

D_{10} (mm)	0,475102	Uniformluk katsayısı, $C_u = D_{60}/D_{10}$	45,2
D_{30} (mm)	5,01031	Süreklilik katsayısı, $C_r = (D_{30}D_{30})/(D_{60}D_{10})$	2,5
D_{60} (mm)	21,47259	0,005 mm' den geçen ince zemin yüzdesi	0,802238

Moloz, (%)	0,0	Çakıl, (%)	0,0	Kum, (%) 5,5	İnce, (%) 94,5



Elek	3"	1,5"	3/4"	3/8"	No 4	No 10	No 16
Göz açıklığı, (mm)	75	38	19	9,5	4,75	2,00	1,19
Kalan, (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Toplam geçen, (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9
Belirsizlik	-	-	-	-	-	-	-

Elek	No 30	No 40	No 100	No 200
Göz açıklığı, (mm)	0,59	0,42	0,149	0,075
Kalan, (%)	0,1	0,2	0,1	5,0
Toplam geçen, (%)	99,8	99,6	99,5	94,5
Belirsizlik	-	-	-	1,6

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : ŞAFAK, Aynur
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 25.07.1977, Kızılcahamam
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 (533) 362 50 24
Faks : -
e-mail : aynursafak@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	1999
Lise	Kızılcahamam Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-2004	DSİ Genel Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi
2004-2001	AS Mühendislik Mim. Ltd. Şti.	Şirket Müdürü
2001-1999	Muhtelif Özel Sektör	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Kitap Okumak, Spor Yapmak



GAZİ GELECEKTİR...