**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# FİLTRASYONLA DEMİR GİDERİMİ İLE PARTİKÜL SAYI VE BÜYÜKLÜĞÜ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Petrol ve Doğalgaz Müh. Nimet Bengü DOĞAN**

**Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : ÇEVRE BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ**

**OCAK 2008**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# FİLTRASYONLA DEMİR GİDERİMİ İLE PARTİKÜL SAYI VE BÜYÜKLÜĞÜ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Petrol ve Doğalgaz Müh. Nimet Bengü DOĞAN**
**(501041735)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007**
**Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cumali KINACI**

**Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. İzzet ÖZTÜRK (İ.T.Ü.)**

**Prof.Dr. Bülent KESKİNLER (G.Y.T.E.)**

**OCAK 2008**

# ÖNSÖZ

Çalışmam sırasında, bilgisi ve değerli düşünceleri ile bana çok şey öğreten, manevi desteğini ve öğütlerini benden esirgemeyen sabırlı, güleryüzlü, değerli hocam Prof. Dr. Cumali Kınacı'ya,

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tez çalışmamın değerlendirilmesi aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. İzzet Öztürk'e,

Yüksek lisans tezimin değerlendirilmesinde aşamasında Prof. Dr.Bülent Keskinler'e,

Çalışma konum hakkındaki tecrübeleri ve bilgileri ile beni aydınlatan, değerli hocam Araş. Gör. Dr. Mehmet Çakmakçı'ya,

Laboratuvar çalışmalarım sırasında, yardım ve desteklerini benden esirgemeyen Araş. Gör. Hale Özgün, Yük. Müh. Ayşegül Ünal, Araş. Gör. Necati Kayaalp, Araş. Gör. Evren Erşahin, Araş. Gör. Elif Soyer, Araş. Gör. Esra Erdim, Araş.Gör. Egemen Aydın, Araş.Gör. Alparslan Ekdal, Müh. Selin Taşıyıcı ve tüm laboratuvar çalışanlarına,

Teşekkür ve şükranlarımı sunuyorum.

Bu çalışmamı, yaşamım boyunca desteğini yüreğimde hissettiğim canım anneme, sevgili abim ve ablama; bir ömür boyu, mutluluğu ve huzuru paylaşmayı dilediğim sevgili nişanlım Dr. Serdar Doğruel'e adıyorum.

Ocak, 2008 Nimet Bengü Doğan

**İÇİNDEKİLER**


**KISALTMALAR** **v**
**TABLO LİSTESİ** **vi**
**ŞEKİL LİSTESİ** **vii**
**SEMBOL LİSTESİ** **xii**
**ÖZET** **xiii**
**SUMMARY** **xiv**

**1. GİRİŞ** **1**
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi 1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsam 2

**2. DEMİRİN ÖNEMİ VE SU ORTAMINDA BULUNMASI** **3**
2.1. Demirin Doğada Bulunuşu 3
2.2. Demirin Su Ortamındaki Kimyası 5
2.3. Demir Fraksiyonları 5
2.4. Demirin Olumsuz Etkileri ve İçme Suyu Standartları 6

**3. SULARDAN DEMİR GİDERİM YÖNTEMLERİ** **8**
3.1. Demir Giderim Yöntemleri 8
3.1.1. Demirin Kimyasal Oksidasyonu 8
3.1.1.1. Oksijenle Demir Oksidasyonu 8
3.1.1.2. Serbest Klor ile Demir Oksidasyonu 9
3.1.1.3. Klor Dioksit ($ClO_2$) ile Demir Oksidasyonu 9
3.1.1.4. Potasyum Permanganat ($KMnO_4$) ile Demir Oksidasyonu 9
3.1.1.5. Ozon ile Demir Oksidasyonu 9
3.1.2. İyon Değiştirme 9

**4. MATERYAL VE METOT** **10**
4.1 Materyal 10
4.1.1. Kimyasallar 10
4.1.1.1. Demir 10
4.1.2. Deneysel Çalışma Düzeneği 11
4.1.2.1. Oksidasyon Ünitesi 11
4.1.2.2. Hızlı Karıştırma Tankı 12
4.1.2.3. Yumaklaştırma Tankı 13
4.1.2.4. Çökeltme Tankı 14
4.1.2.5. Filtrasyon 15
4.2 Metot 18
4.2.1. Genel Yaklaşım 18
4.2.2. Kum ve Antrasit Çapı 18
4.2.3. Filtrasyonda Kullanılan Kum ve Antrasit Özelliklerinin Belirlenmesi 19

4.2.4. Çözeltilerin Hazırlanması 20
4.2.5. Çalışma Yöntemi 21
4.2.5.1. Sistemin İşletilmesi 21
4.2.5.2. Numune Alma Planı 23
4.2.6. Analiz Yöntemleri 24
4.2.6.1. pH ve Sıcaklık 24
4.2.6.2. Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli (ORP) 24
4.2.6.3. İletkenlik 24
4.2.6.4. Çözünmüş Oksijen 24
4.2.6.5. Bulanıklık 24
4.2.6.6. Partikül sayı ve Boyutu 24
4.2.6.7. Demir 25

**5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI 26**
5.1. Farklı Konsantrasyonlarda Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu ile İlgili Yapılan Çalışmalar 26
5.2. 0.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyuyla Yapılan Deneysel Çalışmalar 26
5.2.1. 0.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Oksidasyon Tankı Ölçümleri 26
5.2.2. 0.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtrasyon Çıkışı Ölçüm Verileri 28
5.3. 1 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyuyla Yapılan Deneysel Çalışmalar 34
5.3.1. 1 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Oksidasyon Tankı Ölçümleri 34
5.3.2. 1 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtrasyon Çıkışı Ölçüm Verileri 35
5.4. 1.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyuyla Yapılan Deneysel Çalışmalar 41
5.4.1. 1.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Oksidasyon Tankı Ölçümleri 41
5.4.2. 1.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtrasyon Çıkışı Ölçüm Verileri 43
5.5. 2.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyuyla Yapılan Deneysel Çalışmalar 49
5.5.1. 2.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Oksidasyon Tankı Ölçümleri 49
5.5.2. 2.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtrasyon Çıkışı Ölçüm Verileri 51
5.6. 5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyuyla Yapılan Deneysel Çalışmalar 57
5.6.1. 5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Oksidasyon Tankı Ölçümleri 57

5.6.2. 5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtrasyon Çıkışı Ölçüm Verileri 58
5.7. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 64

**6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 69**

**KAYNAKLAR 70**

**ÖZGEÇMİŞ 73**

**KISALTMALAR**

| | |
|---|---|
| **CAS** | : Kimyasal Madde Servis Numarası |
| **Ç.O.** | : Çözünmüş Oksijen |
| **DAS** | : Demir Amonyum Sülfat |
| **DOC** | : Çözünmüş Organik Karbon |
| **Eh** | : Redoks Potansiyeli |
| **EC** | : Avrupa Birliği |
| **EPA** | : ABD Çevre Koruma Ajansı |
| **İSKİ** | : İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi |
| **ORP** | : Oksidasyon Redüksiyon Potansiyel |
| **TS** | : Türk Standartları |
| **WHO** | : Dünya Sağlık Teşkilatı |

## TABLO LİSTESİ


| | | Sayfa No |
|---|---|---|
| **Tablo 2.1** | Demir İçin İzin Verilen İçme Suyu Standartları ……. | 7 |
| **Tablo 4.1** | Demirin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri ……... | 10 |
| **Tablo 4.2** | Doğadaki Bazı Demir Bileşikleri ve Değerlik Elektron Sayıları…. | 11 |
| **Tablo 4.3** | İlave Edilen Malzeme Miktarları ve Su Yüksekliklerinde Gerçekleşen Değişimler……... | 20 |
| **Tablo 5.1** | 0.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için 1 Saatlik Oksidasyon Sırasındaki Demir Konsantrasyonları (mg/L)…….. | 31 |
| **Tablo 5.2** | 0.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonları (mg/L)……..... | 31 |
| **Tablo 5.3** | 0.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyundan Filtre Boyunca Alınan Numunelerdeki Demir Konsantrasyonları (mg/L)……... | 32 |
| **Tablo 5.4** | 1 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için 1 Saatlik Oksidasyon Sırasındaki Demir Konsantrasyonları (mg/L)…….. | 38 |
| **Tablo 5.5** | 1 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonları (mg/L)……..... | 38 |
| **Tablo 5.6** | 1 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyundan Filtre Boyunca Alınan Numunelerdeki Demir Konsantrasyonları (mg/L)……..... | 39 |
| **Tablo 5.7** | 1.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için 1 Saatlik Oksidasyon Sırasındaki Demir Konsantrasyonları (mg/L)…….. | 46 |
| **Tablo 5.8** | 1.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonları (mg/L)……..... | 46 |
| **Tablo 5.9** | 1.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyundan Filtre Boyunca Alınan Numunelerdeki Demir Konsantrasyonları (mg/L)……... | 47 |
| **Tablo 5.10** | 2.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için 1 Saatlik Oksidasyon Sırasındaki Demir Konsantrasyonları (mg/L)…….. | 54 |
| **Tablo 5.11** | 2.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonları (mg/L)……..... | 54 |
| **Tablo 5.12** | 2.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyundan Filtre Boyunca Alınan Numunelerdeki Demir Konsantrasyonları (mg/L)……... | 55 |
| **Tablo 5.13** | 5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için 1 Saatlik Oksidasyon Sırasındaki Demir Konsantrasyonları (mg/L)…….. | 61 |
| **Tablo 5.14** | 5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonları (mg/L)……..... | 62 |
| **Tablo 5.15** | 5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyundan Filtre Boyunca Alınan Numunelerdeki Demir Konsantrasyonları (mg/L)……..... | 62 |

## ŞEKİL LİSTESİ


| | | Sayfa No |
|---|---|---|
| **Şekil 2.1** | **:** Magnetit ($Fe_3O_4$) ..... | 3 |
| **Şekil 2.2** | **:** Hematit ($Fe_2O_3$)..... | 4 |
| **Şekil 2.3** | **:** Geotit ($HFeO_2$)..... | 4 |
| **Şekil 2.4** | **:** Limonit ($Fe_2O_3.(H_2O)$)..... | 5 |
| **Şekil 4.1** | **:** Oksidasyon Tankı..... | 12 |
| **Şekil 4.2** | **:** Hızlı Karıştırma Tankı ..... | 13 |
| **Şekil 4.3** | **:** Yumaklaştırma Tankı..... | 14 |
| **Şekil 4.4** | **:** Frekans Konvertürleri..... | 14 |
| **Şekil 4.5** | **:** Çökeltme Tankı ..... | 15 |
| **Şekil 4.6** | **:** Su Rotametresi ..... | 15 |
| **Şekil 4.7** | **:** Filtre Su Çıkışı ve Bulanıklık Ölçer ile Parçacık Sayacına Giden Hortumlar ..... | 16 |
| **Şekil 4.8** | **:** Filtreler ve Manuel Manometreler..... | 17 |
| **Şekil 4.9** | **:** pH, ORP, İletkenlik Probları..... | 18 |
| **Şekil 4.10** | **:** Debimetre Dijital Ekranı..... | 22 |
| **Şekil 4.11** | **:** Pilot Ölçekli Tesisin Genel Görünüşü..... | 22 |
| **Şekil 4.12** | **:** Geri Yıkama Anı..... | 23 |
| **Şekil 4.13** | **:** Partikül Sayı ve Boyut Ölçer..... | 25 |
| **Şekil 4.14** | **:** Fe Analizlerinde Kullanılan Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi..... | 25 |
| **Şekil 5.1** | **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki Ç.O. Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……... | 26 |
| **Şekil 5.2** | **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki ORP'nin Zamanla Değişimi..... | 26 |
| **Şekil 5.3** | **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki İletkenliğin Zamanla Değişimi..... | 27 |
| **Şekil 5.4** | **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki pH'ın Zamanla Değişimi..... | 27 |
| **Şekil 5.5** | **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında ORP'nin Zamanla Değişimi..... | 28 |
| **Şekil 5.6** | **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında İletkenliğin Zamanla Değişimi..... | 28 |
| **Şekil 5.7** | **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında pH'ın Zamanla Değişimi..... | 28 |
| **Şekil 5.8** | **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi……... | 29 |
| **Şekil 5.9** | **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi…… | 29 |
| **Şekil 5.10** | **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışındaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi…… | 30 |

**Şekil 5.11** **:**0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışındaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi…… 30
**Şekil 5.12** **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 32
**Şekil 5.13** **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Girişi Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 32
**Şekil 5.14** **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 32
**Şekil 5.15** **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……... 32
**Şekil 5.16** **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtrede Tutulan Fe Miktarının Zamanla Değişimi…….. 33
**Şekil 5.17** **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtrede Tutulan Fe Miktarının Zamanla Değişimi…… 33
**Şekil 5.18** **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Toplam Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 33
**Şekil 5.19** **:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Fe(II) Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 33
**Şekil 5.20** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki Ç.O. Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi..... 34
**Şekil 5.21** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki ORP'nin Zamanla Değişimi..... 34
**Şekil 5.22** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki İletkenliğin Zamanla Değişimi..... 34
**Şekil 5.23** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki pH'ın Zamanla Değişimi..... 34
**Şekil 5.24** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında ORP'nin Zamanla Değişimi..... 35
**Şekil 5.25** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında İletkenliğin Zamanla Değişimi..... 35
**Şekil 5.26** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında pH'ın Zamanla Değişimi..... 35
**Şekil 5.27** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi……..... 36
**Şekil 5.28** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla 36
**Şekil 5.29** Değişimi……
**:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışındaki 37
**Şekil 5.30** Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi……
**:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışındaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla 37
**Şekil 5.31** Değişimi……
**:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı Fe 40
**Şekil 5.32** Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……
**:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Girişi Fe 40
**Şekil 5.33** Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……
**:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Fe 40
Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……

**Şekil 5.34** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 40
**Şekil 5.35** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtrede Tutulan Fe Miktarının Zamanla Değişimi…….. 40
**Şekil 5.36** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtrede Tutulan Fe Miktarının Zamanla Değişimi……. 40
**Şekil 5.37** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Toplam Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 41
**Şekil 5.38** **:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Fe(II) Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 41
**Şekil 5.39** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki Ç.O. Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi..... 42
**Şekil 5.40** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki ORP'nin Zamanla Değişimi..... 42
**Şekil 5.41** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki İletkenliğin Zamanla Değişimi..... 42
**Şekil 5.42** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki pH'ın Zamanla Değişimi..... 42
**Şekil 5.43** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında ORP'nin Zamanla Değişimi..... 43
**Şekil 5.44** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında İletkenliğin Zamanla Değişimi..... 43
**Şekil 5.45** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında pH'ın Zamanla Değişimi..... 43
**Şekil 5.46** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi……... 44
**Şekil 5.47** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi…….. 44
**Şekil 5.48** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışındaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi…… 45
**Şekil 5.49** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışındaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi…… 45
**Şekil 5.50** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 48
**Şekil 5.51** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Girişi Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 48
**Şekil 5.52** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 48
**Şekil 5.53** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……... 48
**Şekil 5.54** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtrede Tutulan Fe Miktarının Zamanla Değişimi…….. 48
**Şekil 5.55** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtrede Tutulan Fe Miktarının Zamanla Değişimi…… 48
**Şekil 5.56** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Toplam Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 49
**Şekil 5.57** **:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Fe(II) Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 49

**Şekil 5.58** **:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki Ç.O. Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi..... 50
**Şekil 5.59** **:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki ORP'nin Zamanla Değişimi..... 50
**Şekil 5.60** **:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki İletkenliğin Zamanla Değişimi..... 50
**Şekil 5.61** **:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki pH'ın Zamanla Değişimi..... 50
**Şekil 5.62** **:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında ORP'nin Zamanla Değişimi..... 51
**Şekil 5.63** **:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında İletkenliğin Zamanla Değişimi..... 51
**Şekil 5.64** **:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında pH'ın Zamanla Değişimi..... 51
**Şekil 5.65** **:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi…… 52
**Şekil 5.66** **:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla 52
**Şekil 5.67** Değişimi……
**:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışındaki 53
**Şekil 5.68** Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi……
**:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışındaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla 53
**Şekil 5.69** Değişimi……
**:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı Fe 55
**Şekil 5.70** Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……
**:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Girişi Fe 55
**Şekil 5.71** Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……
**:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Fe 55
**Şekil 5.72** Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……
**:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı 55
**Şekil 5.73** Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……...
**:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtrede Tutulan Fe 56
**Şekil 5.74** Miktarının Zamanla Değişimi……..
**:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtrede 56
**Şekil 5.75** Tutulan Fe Miktarının Zamanla Değişimi……
**:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Toplam 56
**Şekil 5.76** Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……
**:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Fe(II) 56
**Şekil 5.77** Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi……
**:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki Ç.O. 57
**Şekil 5.78** Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi.....
**:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki 57
**Şekil 5.79** ORP'nin Zamanla Değişimi.....
**:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki 57
**Şekil 5.80** İletkenliğin Zamanla Değişimi.....
**:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankındaki pH'ın 57
**Şekil 5.81** Zamanla Değişimi.....
**:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında 59
ORP'nin Zamanla Değişimi.....

**Şekil 5.82** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında İletkenliğin Zamanla Değişimi..... 59
**Şekil 5.83** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışında pH'ın Zamanla Değişimi..... 59
**Şekil 5.84** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi……..... 60
**Şekil 5.85** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi…….. 60
**Şekil 5.86** **:** 5 mg/l Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışındaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi…… 60
**Şekil 5.87** **:** 5 mg/l Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışındaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi…… 61
**Şekil 5.88** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 63
**Şekil 5.89** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Girişi Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 63
**Şekil 5.90** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 63
**Şekil 5.91** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Fe Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 63
**Şekil 5.92** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtrede Tutulan Fe Miktarının Zamanla Değişimi…….. 63
**Şekil 5.93** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtrede Tutulan Fe Miktarının Zamanla Değişimi……..... 63
**Şekil 5.94** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Toplam Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 64
**Şekil 5.95** **:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Fe(II) Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi…… 64
**Şekil 5.96** **:** Farklı Fe Konsantrasyonları için Oksidasyon Tankındaki Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması……. 64
**Şekil 5.97** **:** Farklı Fe Konsantrasyonları için Oksidasyon Tankındaki İletkenlik Değerlerinin Karşılaştırılması…….. 65
**Şekil 5.98** **:** Farklı Fe Konsantrasyonları için Oksidasyon Tankındaki ORP Değerlerinin Karşılaştırılması…….. 65
**Şekil 5.99** **:** Farklı Fe Konsantrasyonları için Filtrasyon Çıkışındaki İletkenlik Değerlerinin Karşılaştırılması…….. 66
**Şekil 5.100** **:** Farklı Fe Konsantrasyonları için Filtrasyon Çıkışındaki ORP Değerlerinin Karşılaştırılması……... 66
**Şekil 5.101** **:** Farklı Fe Konsantrasyonları için Filtrasyon Çıkışındaki pH Değerlerinin Karşılaştırılması……... 67
**Şekil 5.102** **:** Farklı Fe Konsantrasyonları için Kum Filtre Çıkışındaki Bulanıklık Değerlerinin Karşılaştırılması……. 67
**Şekil 5.103** **:** Farklı Fe Konsantrasyonları için Çift Tabakalı Filtre Çıkışındaki Bulanıklık Değerlerinin Karşılaştırılması……. 68

## SEMBOL LİSTESİ

**$A_a$** **:** Kolonun kesit alanı
**D** **:** Kolonun iç çapı
**V** **:** Kolon hacmi
**L** **:** Filtre yatak yüksekliği
**$V_k$** **:** Kolondaki kumun hacmi
**ε** **:** Porozite
**γ** **:** Özgül ağırlık
**$V_k$** **:** Kolondaki Kumun Hacmi
**$W_k$** **:** İlave Edilen Kumun Ağırlığı

## FİLTRASYONLA DEMİR GİDERİMİ İLE PARTİKÜL SAYI VE BÜYÜKLÜĞÜ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI


## ÖZET

Fe-II'nin havadaki oksijenle oksidasyonu ve daha sonra filtrasyonla giderilmesi çalışmaları uzun yıllardan beri uygulanmasına rağmen, Fe-II konsantrasyonu ile filtrede tutulmada esas belirleyici olan partikül sayı ve büyüklükleri arasında ilişki bulunup bulunmadığı bugüne kadar yeterince araştırılmamıştır. Bu çalışmanın temel amacı, farklı konsantrasyonlarda Fe-II içeren suların havadaki oksijenle okside edildikten sonra verildiği kum ve çift tabakalı (kum + antrasit) filtrelerin çıkış suyunda Fe-III partiküllerinin sayı ve büyüklükleri arasında ilişki bulunup bulunmadığını deneysel olarak araştırmaktır.

Çalışma kapsamında, deneyleri gerçekleştirmek için oksidasyon ünitesi, hızlı karıştırma, yumaklaştırma, çökeltme ve filtrasyon ünitelerinden oluşan on-line cihazlara bağlı, pilot bir tesis kurulmuştur. Filtre kolonlarında "kum" ve "kum+antrasit" malzeme kullanılmış olup filtreler paralel olarak çalıştırılmıştır. Oksidant olarak havadaki $O_2$ kullanılmıştır. Deney sırasında, musluk suyu tercih edilmiştir. Sistem ilk 1 saatte oksidasyon, sonraki 2.5 saatte hızlı karıştırma, yumaklaştırma, çökeltme tanklarının dolması ve daha sonraki 6 saat filtrasyon olmak üzere 9 saat sürekli olarak çalıştırılmıştır. Oksidasyon tankına, tüm deney süresince difüzörle hava verilmiştir. Oksidasyon tankı çıkışı, filtre girişi, filtre gövdesi ve filtre çıkışından alınan numunelerdeki demir türlerine ait konsantasyonlar, atomik absorbsiyon spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Ayrıca, on-line cihazlar ile ORP, iletkenlik, pH, sıcaklık, Ç.O, bulanıklık, partikül sayı ve boyutu gibi parametreler sürekli olarak izlenmiştir. Araştırmada 5 farklı Fe-II konsantrasyonu (0.5 mg/L, 1mg/L, 1.5 mg/L, 2.5 mg/L, 5 mg/L) ile çalışılmıştır.

Çalışma sonucunda, giriş Fe-II konsantrasyon ile filtre çıkışındaki partikül boyut ve sayısı arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığı görülmüştür. Filtrede demir tutulması için başlangıç Fe-II konsantrasyonundan çok, girişteki Fe-III yumaklarının sayı ve büyüklüğü ile filtre içinde meydana gelen kompleks reaksiyonların daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle filtrelerin verimini artırmak için filtre girişinde Fe-III yumaklarının büyüklüğünü artırıcı araştırmalara yönelmenin daha anlamlı olacağı düşülmektedir. Fe-II ve bulanıklık gideriminde kum filtrenin "kum+antrasit" filtreden daha etkili olduğu görülmüştür. Kum filtre çıkışındaki partikül sayı ve büyüklüğünün "kum+antrasit" filtreden daha küçük olduğu belirlenmiştir. Düşük konsantrasyonlardaki demiri gidermenin, yüksek konsantrasyonlara göre çok daha zor olduğu görülmüştür.

## INVESTIGATION OF RELATIONSHIP IRON REMOVAL AND PARTICULE SIZE WITH FILTRATION


### SUMMARY

Although the oxidation of Fe-II by molecular oxygen and subsequent Fe-III removal through filtration have being applied since many years, the correlation between Fe-II concentration and particle number and size has not been explored sufficiently yet. In this context, tap water with different Fe-II concentrations is exposed to subsequent ferrous oxidation and filtration (sand and sand + anthracite) experiments in order to investigate the relationship between number and size of Fe-III particles experimentally, as being the main objective of this study.

Within the scope of the study, a pilot scale facility comprising an oxidation unit aside from the combination unit of coagulation + flocculation + filtration is built. The filter columns are filled with sand and sand + anthracite mixture, whereas parallel filters are operated for each sample. Oxygen in the air is used to oxidize ferrous ions. Experimental studies are carried out on tap water at five various Fe-II concentrations (namely; at 0.5, 1, 1.5, 2.5 and 5 mg/L). Pilot scale test apparatus is adjusted to provide 1 hour oxidation, 2.5 hours flash mixing + flocculation + settling, and finally 6 hours filtration. During the experiments, the oxygen is supplied to the oxidation tank through a porous plate. Iron species in the samples taken from the oxidation tank effluent, filter influent, filter column and filter effluent are measured by using an atomic absorption spectrophotometer. ORP, conductivity, pH, temperature, DO, turbidity, particle number and size data are collected online.

In the light of the observations throughout the experiments, Fe-II concentration of the filter influent is not likely to have a meaningful correlation with number and size of Fe-III particles of the effluent. The impact of Fe-II concentration of the filter influent on the iron removal through filtration is considerably low compared to the number and size of Fe-III particles in the influent; complex reactions in the filter column also play in important role on the iron removal efficiency. In this respect, exploration of the impact of increase in the size of Fe-III particles of the filter influent may provide additional filtration removal efficiency. Evaluation of the experimental results in terms of Fe-II and turbidity removal efficiencies reveals that the sand filter is found to be more effective than the sand + anthracite filter. The number and size of particles of the sand filter effluent is determined to be less than that of the sand + anthracite filter effluent. Higher iron removal efficiencies can only be achieved at high concentrations of iron.

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Fe-II özellikle yeraltı suyu ve tabakalı yüzeysel sularda bulunan, oksidasyonla Fe-III formuna dönüştürülüp giderilmediği takdirde suyun içme ve kullanma olanaklarını sınırlayan bir parametredir. Bunun doğal bir sonucu olarak gerek ulusal (TS-266), gerekse uluslararası standartlara, sularda bulunabilecek demir konsantrasyonları için üst sınırlar konulmuştur. Fe-II oksidasyonu ve Fe-III'ün sudan ayrılması konusunda çok sayıda çalışma yapılmış olmasına ve giderme teknikleri bilinmesine rağmen önemli bir işletme problemi olmaya devam etmektedir. Bunun en büyük nedeni özellikle İstanbul'da olduğu gibi yüzeysel sularda demir konsantrasyonlarında görülen mevsimsel değişimler ve bu değişimlere operatörlerin zamanında müdahale edememeleridir. Özellikle çökeltme ve/veya filtrasyonun iyi yönetilemediği takdirde demir giderimi açısından yetersizlik problemleri oluşmaktadır. Fe-II'nin havadaki oksijenle oksidasyon hızının yavaş olması ve bunun sonucu oksidasyonun içme suyu şebekesinde ve su depolarında devam etmesi de demir kontrolünü güçleştiren etkenlerden bir diğeridir. Oksijen dışındaki hızlı oksidantların kullanılması durumunda partikül büyüklüklerinin küçük kalması nedeniyle oksitlenmiş olan demir (Fe-III) partikülleri, gerek çökeltme tanklarında gerekse filtrelerde yeterince tutulamamaktadır. Bu nedenlerle sularda demir kontrolü için öncelikle partikül büyülük ve sayılarının işletme koşullarına (kullanılan oksidant türü, Fe-II konsantrasyonu, yüzey yükü) bağlı olarak filtre giriş ve çıkışlarında nasıl değiştiğinin bilinmesi, böylece filtrelerde tutulabilme özelliklerinin baştan değerlendirilebilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu konularda literatürde yayın sayısının oldukça sınırlı olduğu, ilave bilgi ve veri birikimine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Partikül çapları filtrasyonda tutulmayı belirlemede önemlidir. Partiküllerin çapı küçüldükçe filtrasyonla tutulması da zorlaşmaktadır. Demir partiküllerinin çapları oksidant türlerine göre farklılık göstermektedir. Carlson ve diğ. (1997) tarafından yapılan çalışmada havalandırma ile oksidasyon neticesinde oksitlenen demirin çapının 0.2 ile 8 μm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Filtre girişinden önce hava

ile oksidasyona tabi tutulan suya sadece $Cl_2$ ilave edilmesi halinde 2 µm gözenek çaplı filtre kağıdından geçen Fe konsantrasyonunun arttığı ve $Cl_2$'ye ilaveten yardımcı koagülant olarak polimer ilave edilmesi durumunda 2 µm çaplı filtre kağıdından geçen Fe konsantrasyonunun 0.03 mg/L değerinin altına düştüğü tespit edilmiştir.

İstanbul'a su temin eden kaynaklarda mevsimlere bağlı olarak olarak demir problemi görülmektedir. Özellikle yaz ve sonbahar aylarında Ömerli Barajındaki tabakalaşma önemli problem oluşturmaktadır. Bu sebeple, yapılacak çalışma ile gerek yerel ölçekte, gerekse çıkarılacak genel sonuçlarla uluslararası düzeyde bilimsel bilgi ve veri birikimine katkı sağlamak mümkündür.

### 1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, Fe-II'nin çeşitli işletme koşullarında hava ile oksidasyona bağlı olarak oluşan Fe-III partiküllerinin sayı ve büyüklüklerindeki değişimler ile farklı demir konsantrasyonlarına sahip suların, kum ve çift tabakalı (antrasit + kum) filtre ile süzülmesi sonucunda demir giderme veriminin deneysel olarak belirlenmesidir. Çalışmanın amacını, filtrasyonla demir giderimi ile partikül sayı ve boyutları arasındaki ilişkinin araştırılması olarak ta özetlemek mümkündür.

Yukarıdaki amaç doğrultusunda öncelikli olarak Fe-II'nin oksidasyon mekanizması ve sulardan demir giderme yöntemleri konusunda literatür derlemesi yapılmıştır. Daha sonra laboratuarda kurulmuş olan pilot ölçekli deney tesisatı üzerinde çeşitli işletme şartlarında Fe-II'nin oksidasyonu, oksidasyonu müteakip suyun iki paralel kolonda filtrasyonu ve filtrasyon çıkışlarında partiküllerin büyüklük ve sayı olarak dağılımının belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır.

Çalışmalar, bulunması en kolay oksidant olan hava (havadaki oksijen) ile gerçekleştirilmiştir. Su kaynağı olarak musluk suyu kullanılmıştır. Deneyler sırasında beş farklı konsantrasyonda çalışılmıştır (0.5, 1.0, 1.5, 2.5 ve 5.0 mg/L). Deneysel çalışma sonuçları, grafikler ve tablolar halinde sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

## 2. DEMİRİN ÖNEMİ VE SU ORTAMINDA BULUNMASI

### 2.1. Demirin Doğada Bulunuşu

Demir (Fe), yerkürenin %5' ini oluşturan, saf hali koyu, gümüş gri renginde olan bir metaldir. Kolayca oksitlenebilen reaktif bir elementtir. Oksitlenmiş demir, bazı toprak ve kayaların kırmızı, sarı ve turuncu renkte görünmesine neden olmaktadır. Yerkürenin çekirdeğinin, demir ve nikel alaşımından oluştuğu düşünülmektedir. Demir ve nikel meteorlarının, evrenin başlangıcından beri var olan en eski maddeler olduğu düşünülmektedir. Demir, diğer yıldız ve gezegenlerin de yapısında bulunmaktadır. Mars'ın, kızıl gezegen olarak adlandırılmasının nedeni yüzeyindeki demir oksitlerdir (http://www.mii.org/Minerals/photoiron.html ).

Demir, doğada kendiliğinden bulunan üç manyetik elementten biridir. Diğer elementler kobalt ve nikeldir. Demir, bunlar arasında en manyetik olandır (http://www.mii.org/Minerals/photoiron.html ).

Şekil 2.1' de görülen magnetit ($Fe_3O_4$) minerali, tabiatta kendiliğinde bulunan demir cevherlerinden biridir. Magnetit, % 72 oranında demir içermektedir (http://www.mii.org/Minerals/photoiron.html ).



**Şekil 2.1 :** Magnetit ($Fe_3O_4$)

Şekil 2.22' de görülen hematit cevheri , %70 oranında demir içeren bir demir oksit türüdür (http://www.mii.org/Minerals/photoiron.html ).



**Şekil 2.2 :** Hematit ($Fe_2O_3$)

Hematit ve magnetit, çoğunlukla sediment kayaçlarda bulunmakta olup günümüzde dünyadaki en önemli demir cevherleridir. Bu demir cevherlerinin, 1.8-1.6 milyar yıl önceki Protezoik çağda sığ denizlerdeki demirin kimyasal çökelmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir (http://www.mii.org/Minerals/photoiron.html )

Takonit cevheri ise silisyumca zengindir ve düşük oranda demir içermektedir (http://www.mii.org/Minerals/photoiron.html ).

Demir, bitki ve hayvanların yaşamlarını sürdürmeleri için gerekli yapı taşlarından biridir. İnsan vücudundaki kanın % 0.006'sını demir oluşturmaktadır. Demirce zengin kan hücreleri, akciğerlerdeki oksijeni vücudun tüm kısımlarına taşınmaktadır. Demir eksikliği insanın bağışıklık sistemini zayıflatmaktadır (http://www.mii.org/Minerals/photoiron.html ).

Dünya üzerinde 800 milyar ton demir cevheri olduğu ve bunların 230 milyar tondan fazla demir içerdiği düşünülmektedir (http://www.mii.org/Minerals/photoiron.html ).



**Şekil 2.3 :** Geotit ($HFeO_2$)



**Şekil 2.4 :** Limonit ($Fe_2O_3.(H_2O)$)

Demir içeren diğer cevher türleri ise % 48.2 demir içeren *Siderite* ($FeCO_3$), % 29.61 demir içeren *Chamosite* $(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_{414}(OH)_8$, % 46.6 demir içeren *Pyrite* (FeS) ve % 36.81 demir içeren *Ilmenite* ($FeTiO_3$)' tir (http://www.pir.sa.gov.au) .

## 2.2. Demirin Su Ortamındaki Kimyası

Yeraltı suları toprak ve kayaçların arasından süzülürken, mangan ve demir mineralleri bazen çözünerek suda tutulur. Demir aşağıda görülen iki formda bulunabilir.

1. Fe-II : Bu form suda çözüldüğünde berrak bir form oluşturur. Bu sebeple berrak su demiri olarak adlandırılır. Bu tip demir musluk sularında şeffaf görünür. Ancak, su bir depoda dinlenmeye bırakıldığında, pas renkli partiküllerin dibe çökeldiği görülür. Bu partiküllerin oluşma nedeni, Fe-II'nin hava, klor ya da diğer oksidantlarla reaksiyona girip, Fe-III'ü meydana getirmesidir.

2. Fe-III : Ferrik demir suda çözülebilir. Musluk sularındaki paslı kırmızı ve sarı renk ferrik demirden kaynaklanmaktadır. Koloidal demir olarak ta adlandırılır (Glenda, 1996).

## 2.3. Demir Fraksiyonları

Demirin, su içindeki kimyasal formları şu şekildedir (Tech Brief, 1998).

a) Çözünmüş form : ferruos (Fe-II)
b) Partiküller form : ferrik (Fe-III)
c) Kolloidal form : Parçacıklar çok küçüktür. Bu nedenle , bunları çökeltmek ve filtre etmek zordur.

Bu türlerden birinin su içinde baskın çıkması pH, Eh (redoks potansiyeli) ve suyun sıcaklığına bağlıdır. Demirin konsantrasyonu giderim için yapılması gereken arıtmayı belirlemeye yardımcı olmaktadır (Çakmakçı, 2006).

### 2.4. Demirin Olumsuz Etkileri ve İçme Suyu Standartları

Sağlıklı bir erkek için günlük 10-12 mg , kadın için ise 10-15 mg demir alımı sağlık açısından yararlıdır (Hendricks, 2006). Demir, içme sularında belli değerlerin üstünde olduğunda şu sorunlara yol açar.

- Sudaki demir seviyesi 0.3 mg/l limit seviyesini aştığında çamaşır, bardak, tabaklarda, küvetlerde, lavabolar ve rezervuarlarda kırmızı, kahverengi ve sarı lekeler meydana getirebilir (Hendricks, 2006).
- Çeşitli endüstrilerde renk, görünüş ve koku açısından problem oluşturabilir (Ünal, 2003).
- Tesisat ve borularda tıkanmaya yol açabilir (http://www.dnr.state.wi.us/org/water/dwg/pubs/IronInWell.pdf).
- Isıtıcı ve kazanların yüzeyini kaplayarak ısı tüketimini arttırır (Williams, 2002).
- 0.1-1 mg/l aralığında demir içeren suda metalik bir tat hissedilir (Hendricks, 2006).
- Sebzeler demir içeren su ile pişirildiğinde renkleri koyuya döner ve tatları bozulur (Blagojevich, 1999).

Metabolizmalarının bir kısmı çözünmüş demir kullanan ve suda bulunup çoğalan ve hastalık yapmayan pek çok bakteri vardır.Bu bakteriler hemen hemen 0.1 mg/l demir içeren sularda hızla çoğalmasıyla bilinirler. Bu bakteriler aerobiktir ancak yaşadığı suda en az 0.3 ppm çözünmüş oksijen bulunması gereklidir. Demir bakterisi sağlık açısından insanlarda bir probleme yol açmamaktadır ancak istenmeyen bazı etkileri vardır.

Demir bakterileri otomatikleşmiş sulama sistemlerinin düşük su akışının olduğu bölgelerinde yerleşirler. Bu bakteriler kalın, pas renkli kaygan bir tabaka oluştururlar (http://www.edstrom.com/DocLib/MI4146.pdf)

- Eğer bu bakteriler kalın bir katman oluştururlarsa anaerobik bir ortam oluşturarak boru ve tesisat duvarlarındaki paslanmaz çeliklerde korozyona sebep olurlar (http://www.edstrom.com/DocLib/MI4146.pdf).
- Sülfat gideren bakterilerin çoğalması için ortam hazırlarlar (http://www.edstrom.com/DocLib/MI4146.pdf).

EPA içme suyu standartları için iki katagori belirlemiştir. Birincil standartlarda suyun sağlık açısından uygunluğu önemlidir. İkincil Standartlarda ise; suyun tat, koku, aşındırıcılık, köpürme ve leke yapma özellikleri göz önünde bulundurulur. Demir ikinci standartların altında bulunmaktadır (Glenda, 1996). Demir için izin verilen standartlar Tablo 2.1' de verilmiştir (TS-266, 1984; WHO, 1996; EPA, 1992; EC, 1998).

**Tablo 2.1:** Demir İçin İzin Verilen İçme Suyu Standartları

| | İzin Verilen Değer (mg/L) |
|---|---|
| TS-266 | 0.2 |
| WHO Standartları | 0.3 |
| EPA Standartları | 0.3 |
| EC Standartları | 0.2 |

# 3. SULARDAN DEMİR GİDERİM YÖNTEMLERİ

## 3.1. Demir Giderim Yöntemleri

Demirin sulardan giderilmesi için iki temel arıtma yöntemi kullanılır. Bunlardan ilki, filtrasyon ve çökelme için metal oksit formun oluşmasını sağlayan, oksidasyonu temel alan fizikokimyasal arıtımdır. İkincisi olan biyolojik arıtımda ise, filtrelere yerleştirilmiş, metale uygun bakteriler kullanılmaktadır.

### 3.1.1. Demirin Kimyasal Oksidasyonu

Demir ile ilk olarak oksijen reaksiyona girer. Bu reaksiyon arıtım boyunca hatta dağıtım sırasında ve ev musluklarına ulaşıncaya değin sürer. Demir gideriminde kullanılan diğer oksitleyiciler HOCI, $ClO_2$, Ozon ve $KMnO_4$' tür (Günay A.,2005).

#### 3.1.1.1. Oksijenle Demir Oksidasyonu

Oksijen en yaygın ve ekonomik oksitleyicidir. Suda az çözünür. Atom olarak reaktifliği fazla olmasına rağmen molekül olarak reaktifliği azdır. Oksijenin oksitleyici olarak kullanıldığı reaksiyonların hızlarını arttırmak, oksijen molekülündeki bağların kırılıp oksijenin atomlara ayrılması ile mümkündür. Bu işlem katalizör kullanarak gerçekleştirilebilir (Tünay O., 1992). Suyu havalandırarak sularda bulunan $Fe^{+2}$ iyonunu gidermek mümkündür. 1 mg Fe'i oksitlemek için gerekli $O_2$ miktarı, 0.14 mg'dır.

$Fe^{+2}$ iyonunun oksijen ile verdiği reaksiyon aşağıdaki gibidir.

$$2Fe^{+2} + 1/2O_2 + 5H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_{3(k)}\downarrow + 4H^+ \qquad \textbf{(3.1)}$$

Reaksiyon pH 5'in altında olduğu zaman pratik olarak gerçekleşmez. Reaksiyon hızı oksijene ve pH'a bağlıdır (Günay A.,2005).

Çözülmüş demir ile kompleks oluşturan organik maddeler (DOC), $O_{2(aq)}$' nin demiri okside etme kapasitesini düşürür (Langlais B. ve diğ., 1991).

Havalandırma ile karbondioksit ve hidrojen sülfür serbest kalmakta, bunun sonucu olarak pH yükselmektedir. Ayrıca suya oksijen sağlanmakta olup, havalandırmadan sonra gelen arıtma birimlerinin de yükü hafifletilmektedir (Ünal A., 2003).

### 3.1.1.2. Serbest Klor ile Demir Oksidasyonu

Bu reaksiyon, $Fe^{+2}$ ve HOCI arasında hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. 2 mg/l $Fe^{+2}$ nin HOCI ile oksidasyonu, pH 5'te 3-5 dakikada meydana gelirken pH 7'de 5 saniyeye inebilmektedir (Langlais B. ve diğ., 1991).

$$2Fe^{2+} + HOCl + 5H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_{3(k)} \downarrow + Cl^- + 5H^+ \quad \textbf{(3.2)}$$

1 mg Fe'i oksitlemek için gerekli serbest klor (HOCI) miktarı, 0.64 mg'dır.

### 3.1.1.3. Klor Dioksit ($ClO_2$) ile Demir Oksidasyonu

$$Fe^{2+} + ClO_{2(aq)} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_{3(k)} \downarrow + ClO_2^- + 3H^+ \quad \textbf{(3.3)}$$

1 mg Fe'i oksitlemek için gerekli $ClO_2$ miktarı, 1.2 mg'dır (Langlais B. ve diğ., 1991).

### 3.1.1.4. Potasyum Permanganat ($KMnO_4$) ile Demir Oksidasyonu

$$3Fe^{2+} + MnO_4^- + 2H_2O \rightarrow 3Fe(OH)_{3(k)} \downarrow + MnO_{2(S)} + 5H^+ \quad \textbf{(3.4)}$$

1 mg Fe'i oksitlemek için gerekli Potasyum Permanganat ($KMnO_4$) miktarı, 1.94 mg'dır (Langlais B. ve diğ., 1991).

### 3.1.1.5. Ozon ile Demir Oksidasyonu

$$2Fe^{2+} + O_{3(aq)} + 5H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_{3(k)} \downarrow + O_{2(aq)} + 4H^+ \quad \textbf{(3.5)}$$

1 mg Fe'i oksitlemek için gerekli $O_3$ miktarı, 0.43 mg'dır (Langlais B. ve diğ., 1991).

### 3.1.2. İyon Değiştirme

Demirin küçük miktarlardaki giderimi için iyon değiştirici kullanılabilir. Su yumuşatma prosesi için uygundur. Demir giderimi için üst limit 5-7 ppm' dir. İyon değiştiricide, katı fazı tutmaya yarayan sentetik reçine kullanılır. Demir gideriminde bu yöntemi kullanmanın zorluklarından birisi oksidasyonu kontrol etmekte güçlük çekilmesidir. Bu sırada, demirdeki çökelme yüzünden iyon değiştiricide kaplanma ve tıkanma meydana gelebilir. Bunları temizlemek için, asit ve sodyum bisülfat kullanılır (http://www.excelwater.com/eng/b2c/iron.php?WL_Session=9e35442aeea92f26b64cc7b04ddca0d4).

# 4. MATERYAL VE METOT

## 4.1 Materyal

### 4.1.1. Kimyasallar

Deneylerde demir sağlayıcı kimyasal madde olarak $(NH_4)_2.Fe.(SO_4)_2$ (DAS) kullanılmıştır. Demirin hava ile oksidasyonu için uygun pH aralığı 7-7.5 aralığındaki değerler olduğu için musluk suyunda pH ayarlamasına ihtiyaç duyulmamıştır.

#### 4.1.1.1. Demir

Demire ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 4.1' de gösterilmektedir.

**Tablo 4.1:** Demirin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri (Özgün, 2007)

| | |
|---|---|
| Kimyasal Madde | Demir |
| Kimyasal Madde Servis Numarası (CAS) | 7439-89-6 |
| Atom Numarası | 26 |
| Molekül Ağırlığı | 55.847 |
| Erime Noktası | 1535ºC |
| Kaynama Noktası | 2750ºC |
| Proton ve Elektron Sayısı | 26 |
| Nötron Sayısı | 30 |
| Sınıfı | Geçiş Elementleri |
| Kristal Yapısı | Kübik merkezli yüzey |
| Yoğunluk | 7.874 g/cm$^3$ |
| Buhar Basıncı | 7.05 Pa (1535°C'de) |

Doğada demir çeşitli elementlerle bileşikler oluşturmaktadır. Bu bileşiklerden bazıları Tablo 4.2' de gösterilmiştir.

**Tablo 4.2:** Doğadaki Bazı Demir Bileşikleri ve Değerlik Elektron Sayıları (Özgün H.,2007)

| | Demir (Fe) | Demirin Değerlik Elektron Sayısı | | Demir (Fe) | Demirin Değerlik Elektron Sayısı |
|---|---|---|---|---|---|
| Floridler | $FeF_2$<br>$FeF_2.4H_2O$<br>$FeF_3$<br>$FeF_3.3H_2O$ | II<br>II<br>III<br>III | İyotlar | $FeI_2$<br>$FeI_3$ | II<br>III |
| Klorürler | $FeCl_2$<br>$FeCl_2.2H_2O$<br>$FeCl_2.4H_2O$<br>$FeCl_3$<br>$FeCl_3.6H_2O$ | II<br>II<br>II<br>III<br>III | Oksitler | FeO<br>$Fe_2O_3$<br>$Fe_3O_4$<br>$2Fe_2O_3.$<br>$2H_2O$ | II<br>III<br>II, III<br>III |
| Bromürler | $FeBr_2$<br>$FeBr_3$ | II<br>III | Sülfürler | FeS<br>$FeS_2$ | II |
| Selenidler | FeSe | II | | | |

### 4.1.2. Deneysel Çalışma Düzeneği

Deneysel çalışma düzeneği; oksidasyon ünitesi, hızlı karıştırma, yumaklaştırma, çökeltme ve filtrasyon ünitelerinden oluşmaktadır.

#### 4.1.2.1. Oksidasyon Ünitesi

Oksidasyon ünitesi 200 L'lik tank ve tankın iç kısmında bulunan ekipmanlardan oluşmaktadır. Tankın tabanına dörtlü difüzör sistemi yerleştirilmiştir. Difüzör sistemi, İTÜ Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nın hava hattına bağlıdır. Oksidasyon için gerekli hava debisi hava rotametresi vasıtasıyla ayarlanarak difüzör sistemi ile tanka verilmiştir.

Tank içerisinde bir adet frekans konvertürü kontrollü karıştırıcı bulunmaktadır. Bu karıştırıcı, tankta oluşan flokların tabana çökelmesini engellemek ve havanın daha düzgün dağılmasını sağlamak için kullanılmaktadır.

Ham su ve demirin Oksidasyon Tankı'na girişi, tabandan gerçekleşmektedir. Ham su debisi dijital debimetre ile kontrol edilmektedir. Ham suyun 1500 L'lik tanktan alınıp debimetreye aktarılması frekans konvertürü kontrollü pompa ile sağlanmaktadır. Sisteme bağlı olan iki adet filtrenin 1.67 L/dak. (0.1002 $m^3$/saat) filtre debisi ile işletileceği kabul edildiği için, Oksidasyon Tankı'ndan filtrelere 200 L/saat (0.2 $m^3$/saat) debilik su girişi söz konusudur. Oksidasyon Tankı'ndan çıkış 200 L'lik

seviyeden yapılmaktadır. Tankta ayrıca gerektiğinde farklı noktalardan çıkış alabilmek için altı noktaya daha vana yerleştirilmiştir.

Tankta çözünmüş oksijen (Ç.O.), oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), iletkenlik, pH ve sıcaklık ölçümleri eş zamanlı olarak yapılmıştır. Oksidasyon Tankı ve detayları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1:** Oksidasyon Tankı

#### 4.1.2.2. Hızlı Karıştırma Tankı

Oksitlenmiş demir (Fe-III) içeren su, frekans konvertürü kontrollü pompa vasıtası ile hızlı karıştırma tankına verilmektedir. Hızlı Karıştırma Tankı'na gelen suyun debisi dijital debimetre ve manuel su rotametresi ile kontrol edilmekte, su girişi üst seviyeden yapılmaktadır. Tank içinde bir adet frekans konvertür kontrollü karıştırıcı bulunmaktadır. Tanktan su çıkışı ise tabanın 20 cm üst tarafından gerçekleşmektedir. Hızlı Karıştırma Tankı, bekletme süresi 3 dakika ve hız gradyanı 500 $sn^{-1}$ olacak şekilde tasarlanmış olup fotoğrafı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.2:** Hızlı Karıştırma Tankı

#### 4.1.2.3. Yumaklaştırma Tankı

Hızlı Karıştırma Tankı'ndan çıkan su üç bölmeden oluşan Şekil 4.3' te gösterilen Yumaklaştırma Tankı'na verilmektedir. Yumaklaştırma Tankı'na su tabandan girmektedir. Yumaklaştırma Tankı'nın birinci kısmından su geçişi tabandan 40 cm yükseklikte olmaktadır. İkinci ve üçüncü bölmeler pleksi tabaka ile ayrılmıştır. Alt kısmındaki 3 cm'lik boşluktan su geçişi sağlanmaktadır. Her bölmede frekans konvertürü kontrollü karıştırıcılar bulunmaktadır. Bu karıştırıcılar Şekil 4.4'de gösterilen frekans konvertürleriyle idare edilmektedir. Böylece hız gradyanı ayarlaması yapılabilmektedir. Yumaklaştırma Tankı'ndan su tahliyesi üçüncü bölmenin çıkışında bulunan savak sistemi ile gerçekleşmektedir. Savaklanan sular çökeltme tankının girişine iletilmektedir. Yumaklaştırma Tankı'nda birikebilecek partikül veya çamurların tahliyesi tabanda iki farklı bölmede bulunan vanalarla sağlanmaktadır. Yumaklaştırma Tankı hız gradyanları 90, 70 ve 20 $sn^{-1}$'dir ve her bir bölmede bekletme süresi 15 dakika olacak şekilde tasarlanmıştır. Tankın altında, deney bitiminde suyu tahliye etmek için iki adet vana mevcuttur.



**Şekil 4.3:** Yumaklaştırma Tankı

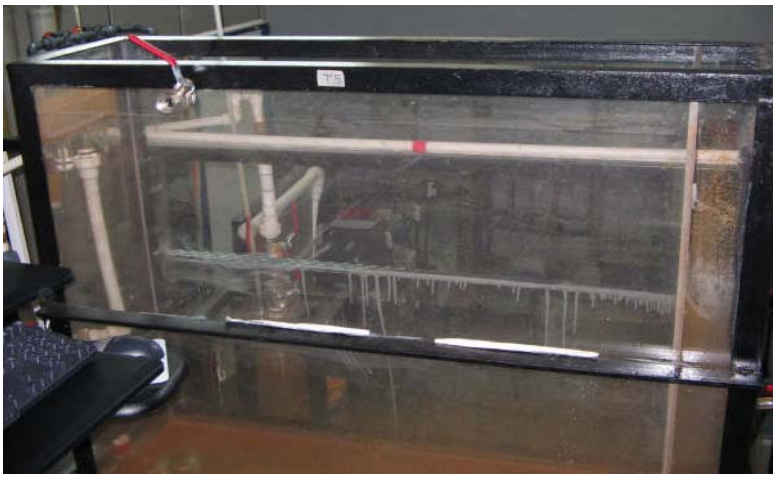


**Şekil 4.4:** Frekans Konvertürleri

#### 4.1.2.4. Çökeltme Tankı

Şekil 4.5'te gösterilen çökeltme tankına su girişi üstten gerçekleşmektedir. Çökeltme Tankı girişinden 10 cm uzaklıkta delikli bir pleksi mevcuttur. Bu tabaka suyun çökelme bölgesine daha sakin bir geçiş yapmasını sağlamaktadır. Pleksi plakanın 50 cm uzunluğundaki alt kısmında delikler bulunmakta olup üst kısmı düz plakadır. Böylece su alttan girip zamanla yukarı çıkmaktadır. Çökeltme bölgesinde suyun

bekletme süresi yaklaşık 1.5 saattir. Çökeltme tankında çıkış suyu savakta toplanmaktadır. Savak çıkışlarına ise filtrelere suyun eşit dağılımını sağlamak amacıyla iki ayrı filtre için Şekil 4.6'da gösterilen su rotametreleri yerleştirilmiştir. Tankın altında iki adet tahliye vanası mevcuttur.



**Şekil 4.5:** Çökeltme Tankı



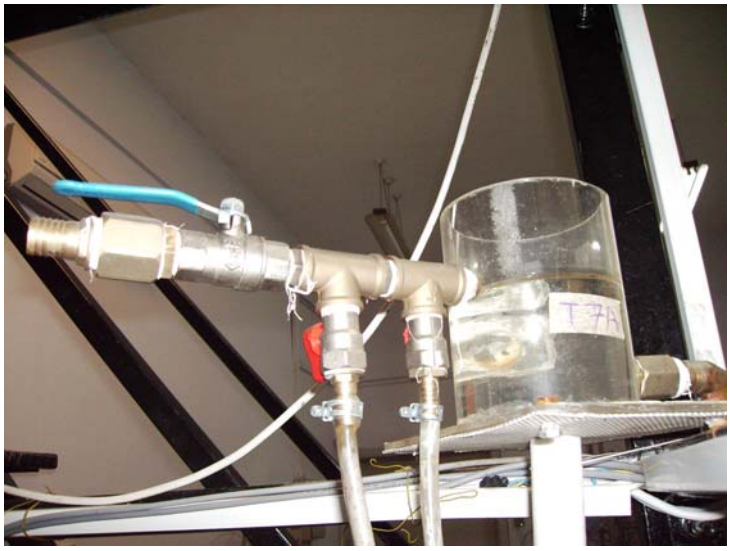
**Şekil 4.6:** Su Rotametresi

#### 4.1.2.5. Filtrasyon

Su, filtrasyon aşamasında pleksiglastan imal edilmiş 10 cm iç çaplı iki adet filtre kolonundan geçirilmiştir. Hızlı kum filtresi olarak düşünülen sistemin filtre hızı (yüzey yükü) 1.67 L/dak (0.1002 $m^3$/saat)' dır. Filtrelerin üzerinde dijital manometreler, manuel manometre vanaları ve numune alma muslukları bulunmaktadır. Filtrelere bitişik manuel manometre sistemi mevcuttur. Filtre çıkış yapıları, filtre malzeme yüksekliğine kadar çıkartılmıştır. Bunun temel sebebi, filtrelerde negatif basınç oluşumunu engellemek ve filtre malzemesi üstünde bir

miktar suyun kalmasını sağlamaktır. Böylelikle deney bittikten sonra filtre malzemesi kuruluğunu kaybetmemekte ve malzeme arası hava boşluklarının oluşumu önlenmektedir. Yüksekliği filtre malzemesi seviyesine kadar çıkarılan çıkış yapıları 10 cm iç çaplı ve 15 cm yüksekliğinde silindir pleksiglastan oluşmaktadır. Çıkış yapısına su girişi alttan gerçekleşmektedir. Şekil 4.7'de görüldüğü üzere su çıkışı üstten olmaktadır. Çıkış yapısının bu şekilde yapılmasının sebebi; probların daldırılarak ölçüm yapılabilmesini sağlamaktır. Çıkış yapısından çıkan su 300 l'lik iki adet su deposuna aktarılmaktadır. Ayrıca çıkış yapısından çıkan sular hortumlar vasıtasıyla bulanıklık ölçer ve partikül sayıcılarına iletilmektedir. Bu hatlar üzerinde vanalar bulunmaktadır. Çıkış yapısı ile partikül sayıcı veya bulanıklık ölçer arasında bulunan hortumlarda hava kabarcıklarını yok etmek gerekmektedir. Aksi takdirde partikül sayıcı ve bulanıklık ölçerlerde sağlıklı veriler elde edilememektedir.

Bu çalışma kapsamında filtreler İSKİ Kağıthane İçme suyu Arıtma Tesisi'nden temin edilen 0.8 ile 1.19 mm aralığındaki kum ve ticari olarak piyasada bulunan 0.8-1.6 mm çaplı antrasit ile doldurulmuştur. Şekil 4.8'de kum, çift tabakalı filtre ve manuel manometreler görülmektedir. Kum filtresi 100 cm yüksekliğe kadar tamamen kum ile doldurulmuş ve kum-antrasit filtresi ise 50 cm kum geri kalan 50 cm ise antrasit olacak şekilde doldurulmuştur.



**Şekil 4.7:** Filtre Su Çıkışı ve Bulanıklık Ölçer ile Parçacık Sayacına Giden Hortumlar

| | |
|---|---|
|  |  |
| Kum Filtre | Çift Tabakalı Filtre (Kum+Antrasit) |

**Şekil 4.8:** Filtreler ve Manuel Manometreler

Filtrelerin tabanında İSKİ' den temin edilen 7.6 cm çaplı nozul bulunmaktadır. Tabandaki ilk 10 cm'lik kısım 1.8 ile 2.3 mm arasında değişen çaplarda kumlarla doldurulmuştur. Bu bölüm geri yıkamada dengeleme, filtrasyon sırasında ise negatif basıncı önlemede etkili olmaktadır

Filtrelerde geri yıkama sularının tahliyesi giriş yapısından farklı olarak kolonun 160 cm yüksekliğine yerleştirilen bir vana ile sağlanmaktadır. Geri yıkama işlemi frekans konvertürü ile kontrol edilebilen pompa vasıtası ile gerçekleştirilmektedir. Geri yıkama suyu olarak filtrede arıtılan su kullanılmaktadır. Filtreler önce 5 dakika su ile ardından, 5 dakika $H_2SO_4$ ilave edilmiş ve pH'ı 0.8 mertebesindeki su ile, en son olarakta filtre malzemesindeki asiti gidermek için 15 dk tankta bulunan suyla geri yıkanmaktadır. Filtrelerde geri yıkama, malzemenin % 50 genleşme prensibine göre yapılmaktadır.

Çift tabakalı filtre kolonunun çıkış yapısında Şekil 4.9'da bulunan problarla, pH ve sıcaklık, ORP, iletkenlik, eş zamanlı olarak ölçülmektedir.



**Şekil 4.9:** pH, ORP, İletkenlik Problar

## 4.2 Metot

### 4.2.1. Genel Yaklaşım

Tez çalışması sırasında; sırayla oksidasyon, koagülasyon, flokülasyon ve filtrasyon prosesleri gerçekleştirilmiştir. Oksidasyon ve onu izleyen proseslerde, musluk suyu için yapılan çalışmalar 0.5 mg/L, 1 mg/L, 1.5 mg/L, 2.5 mg/L ve 5 mg/L demir konsantrasyonları için tekrar edilmiştir. Demir oksidasyonu, oksidasyon tankında hava ile gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde bulunan oksidasyon, koagülasyon, flokülasyon tankları ve filtre sistemleri sürekli olarak işletilmiştir. Çalışma boyunca, farklı demir formları içeren çözeltinin filtrasyon veya adsorbsiyon ile giderimi aşamasında çıkış suyundaki bulanıklık ve partikül sayı ve boyutları arasındaki ilişkinin belirlenmesine çalışılmıştır.

### 4.2.2. Kum ve Antrasit Çapı

Pilot ölçekli filtrasyon çalışmalarında D/d (filtre çapı / kum çapı) oranının minimum 50 olması önerilmiştir.

Kolon çapı 100 mm olduğu için, D/d oranının 50'ye eşit veya büyük olması açısından İSKİ' den temin edilen, 0.8 ile 1.19 mm aralığındaki kum çaplarında çalışılması uygun görülmüştür. Deney sırasında 0.8-1.6 mm boyutunda antrasit kullanılmıştır. Antrasitin elenmesi için 0.800 ve 1.000 mm çaplı elekler kullanılmıştır. Eleme işlemi 350 g kumun 5 dakika elenmesi usulüne göre yapılmıştır.

### 4.2.3. Filtrasyonda Kullanılan Kum ve Antrasit Özelliklerinin Belirlenmesi

Kum yoğunluğu 2.65 g/cm$^3$ olarak kabul edilmiştir [4]. Antrasit yoğunluğu farklı kaynaklara göre değişmekle birlikte 1.4-1.7 g/cm$^3$ değerleri arasında kabul edilmektedir (Logsdon ve diğ., 2002).

Kolonun kesit alanı;

$$A_a = \frac{\Pi \ D^2}{4} \qquad (4.1)$$

Kolon hacmi;

$$V = A_a \ L \qquad (4.2)$$

Kolondoki kumun hacmi ise;

$$V_k = \ (1-\varepsilon) \ A_a \ L \qquad (4.3)$$

ifadeleriyle belirlenebilir.

$A_a$ : kolonun kesit alanı (cm$^2$)

D : kolonun iç çapı (cm)

V : kolon hacmi (cm$^3$)

L : filtre yatak yüksekliği (cm)

$V_k$ : kolondaki kumun hacmi (cm$^3$)

$\varepsilon$ : porozite

İlave edilen kumun kuru ağırlığı özgül ağırlığa bölünerek te kolondaki kum hacmi hesaplanabilir (Özgün H.,2007).

$$V_k = \frac{W_k}{\gamma} \qquad (4.4)$$

$W_k$ : İlave edilen kumun ağırlığı (g)

$\gamma$ : Kumun özgül ağırlığı (g/cm$^3$)

Filtrasyon sistemi, 10 cm çaplı iki adet filtreden oluşmaktadır. Bunlardan, biri kum malzeme diğeri ise kum ve antrasit malzemeyi bir arada bulundurmaktadır. Her ikisinde de tabanının 10 cm yüksekliğine kadar 1.248 kg çakıl konulmuştur. Kum

filtre için tabanının 100 cm yüksekliğe kadar 11.127 kg kum yerleştirilmiştir. Kum kolonuna, toplam 12.375 kg malzeme ilave edilmiştir.Çift tabakalı filtre için ise 50 cm yüksekliğe kadar 4.702 kg kum yerleştirilmiştir. Geri kalan 50 cm'lik kısma 2.848 kg antrasit eklenmiştir. Kum ve "kum+antrasit" kolonlarında ölçülen ve hesaplanan değerler Tablo 3' te sunulmuştur.

$$V_k = \frac{12375}{2.65} = 4670\ cm^3 = 467 \times 10^{-5}\ m^3$$

$$467 \times 10^{-5} = (1-\varepsilon)\ \frac{\Pi\ (0.1)^2}{4} \times 1$$

$$\varepsilon = 0.5949 \approx 0.6$$

**Tablo 4.3:** İlave Edilen Malzeme Miktarları ve Su Yüksekliklerinde Gerçekleşen Değişimler

| **KUM KOLONU** | |
|---|---|
| Başlangıç su yüksekliği (cm) | 101.8 |
| İlave edilen çakıl miktarı (g) | 1248 |
| Çakıl ilave edildikten sonra su yüksekliği (cm) | 104.8 |
| İlave edilen kum miktarı (g) | 11127 |
| Kum ilave edildikten sonra su yüksekliği (cm) | 158 |
| 100 cm'lik kısma ilave edilen toplam malzeme miktarı (g) | 12375 |
| Porozite | 0.6 |
| **KUM+ANTRASİT KOLONU** | |
| Başlangıç su yüksekliği (cm) | 102 |
| İlave edilen çakıl miktarı (g) | 1248 |
| Çakıl ilave edildikten sonra su yüksekliği (cm) | 105 |
| İlave edilen kum miktarı (g) | 4702 |
| Kum ilave edildikten sonra su yüksekliği (cm) | 128 |
| 50 cm'lik kısma ilave edilen toplam malzeme miktarı (g) | 6050 |
| İlave edilen antrasit miktarı (g) | 2848 |
| Antrasit ilave edildikten sonra su yüksekliği (cm) | 134 |
| Porozite - Kum | 0.6 |
| Özgül ağırlık - Kum ($g/cm^3$) | 2.65 |
| Porozite –Antrasit | 0.41 |
| Özgül ağırlık –Antrasit($g/cm^3$) | 1.63 |

### 4.2.4. Çözeltilerin Hazırlanması

Oksidasyon Tankı için 0.5 mg/L, 1mg/L, 1.5 mg/L, 2.5mg/L, 5 mg/L'lik Fe-II içeren çözeltiler hazırlamak için sırasıyla 0.702 gr, 1.404 gr, 2.10658 gr, 3.510 gr, 7.0218 gr Demir Amonyum Sülfat (DAS) 1 L'lik musluk suyu içinde çözülmüştür.

Çözelti Hazırlama Tankı için Demir Amonyum Sülfat (DAS) Çözeltisi: Sistem sürekli çalıştığı için, oksidasyon tankındaki demir konsantrasyonu sabit seviyede tutulmuştur. Bunun için, güvenlik payı hesaba katılarak sistemin 10 saat çalışacağı kabulü yapılmıştır ve sabit konsatrasyonun sağlanması için saatte 3 L çözelti dakikada 50 mlt. olacak şekilde, oksidasyon tankına dozaj pompasıyla ilave edilmiştir. 29 L musluk suyu 100 L'lik çözelti hazırlama tankına konulmuştur. Oksidasyon tankında, 0.5 mg/L, 1 mg/L, 1.5 mg/L, 2.5 mg/L ve 5 mg/L'lik demir konsantrasyonu sağlamak amacıyla sırasıyla 1 L'lik musluk suyunda 7.02 gr, 14.04 gr, 21.0658 gr, 35.10 gr ve 70.218 gr $(NH_4)_2.Fe.(SO_4)_2$ çözdürülmüş ve çözelti hazırlama tankına koyulmuştur.

### 4.2.5. Çalışma Yöntemi

#### 4.2.5.1. Sistemin İşletilmesi

Oksidasyon tankı 200 L musluk suyu ile doldurulduktan sonra pH'ın 7-7.5 aralığında olup olmadığı kontrol edilmiştir. Siemens marka frekans konvertürü vasıtasıyla tankta karışım sağlayacak pervanenin hızı 90 rpm değerine ayarlanmıştır. Pervane vasıtasıyla oksijen ve demir konsantrasyonunun tank içinde sabit kalması amaçlanmıştır. İstenen demir konsantrasyonunun sağlanması için DAS ilavesinden hemen sonra hava rotametresi 50 L/saat debisine ayarlanmıştır. 1 saat boyunca oksidasyon bu şartlar altında devam etmiştir.

1800 L'lik tanktaki musluk suyu, frekans konvertürüyle idare edilen Macnaught M series marka debimetre ile Şekil 4.10 görülen ekranda 3 L/dak'ya ayarlanarak 200 L'lik osidasyon tankına verilmiştir. Aynı anda, çözelti hazırlama tankında bulunan 30 L'lik DAS çözeltisinden seko italia S.p.a. Type PR4 marka frekans konvertürü ile 50 mlt./dak olacak şekilde dozlanmaya başlanmıştır. Bu işlemlerin başlangıcıyla aynı anda, frekans konvertürüyle idare edilen trifaze pompa vasıtasıyla oksidasyon tankındaki 200 L seviyesinden alınan su hızlı karıştırma tankına pompalanmıştır. Hızlı karıştırma tankındaki 500 $sn^{-1}$ hız gradyanının sağlanması için frekans konvertürü 4'e ayarlanmıştır. Flokülasyon tankında ise, üç ayrı bölmedeki karıştırıcılar için frekans konvertürleri 1.9 , 1.3 ve 0.7'ye ayarlanmıştır. Buradan çökeltme tankına gelen su 1.5-2 saat sonunda savaklanarak filtrelere eşit debide dağıtılmıştır.




**Şekil 4.10 :** Debimetre Dijital Ekranı



**Şekil 4.11 :** Pilot Ölçekli Tesisin Genel Görünüşü



**Şekil 4.12 :** Geri Yıkama Anı

#### 4.2.5.2. Numune Alma Planı

Oksidasyon başlangıcını takiben 5., 15., 30., 45. ve 60. dakikalarda, 200 L'lik oksidasyon tankından numuneler alınmıştır. Alınan numune, toplam demir miktarını belirlemek üzere süzülmeden ve 0.45 µm gözenek çaplı filtreden süzülmüş olarak, nitrik asit damlatılmış tüplere konulmuştur. Bu işlem farklı dakikalarda alınan her numune için tekrar edilmiştir. Bu bir saat süresince çözünmüş oksijen, pH, sıcaklık, iletlenlik, ORP değerleri veri sistemi tarafından kaydedilmiştir.

Filtrasyonun başlamasının ardından; 15., 30., 60., 120., 180., 240., 300., 360. dakikalarda kum ve çift tabakalı filtre çıkışlarından, çökeltme tankı savağından numuneler alınmıştır. Alınan numunelerden her biri, toplam demir miktarını belirlemek üzere süzülmeden ve 0.45 µm gözenek çaplı filtreden süzülmüş olarak, nitrik asit damlatılmış tüplere konulmuştur. Bu işlem farklı dakikalarda alınan her numune için tekrar edilmiştir. 30., 180., 360. dakikalarda filtre boyunca partikül tutunmasını belirlemek amacıyla kum ve çift tabakalı filtrelerin 73. ve 51. cm'e karşılık gelen musluklarından numuneler alınmıştır. Diğer numuneler için yapılan işlem aynen uygulanmıştır.

Filtrasyon süresince pH, sıcaklık, iletlenlik, ORP değerleri problar vasıtasıyla veri sistemi tarafından kaydedilmiştir. Bulanıklık, partikül sayı ve boyut değerleri ise filtre çıkışlarına bağlı ince hortumlar vasıtasıyla ölçüm aletlerine aktarılarak veri sistemine kaydedilmiştir.

### 4.2.6. Analiz Yöntemleri

#### 4.2.6.1. pH ve Sıcaklık

pH ve sıcaklık ölçümleri Hach Lange marka DPD1R1.99 model cam elektrodlu probla yapılmıştır. Kalibrasyon için Hach tampon çözeltilerinden pH= 4.1 $\pm 0.02$ , 7.1 $\pm 0.02$ , 10.1 $\pm 0.02$ olanları kullanılmıştır.

#### 4.2.6.2. Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli (ORP)

Oksidasyon redüksiyon potansiyel (ORP) ölçümleri Hach Lange marka DPD1R5.99 model platin elektrodlu probla yapılmıştır. Kalibrasyon için thermo electron corporation orion ORP 67901 numaralı standart kullanılmıştır.

#### 4.2.6.3. İletkenlik

İletkenlik ölçümü için, polymetron K1.004 model cihaz, kalibrasyonu için ise 1413 µs/ cm'lik Conductivity (TDS) Standart kullanılmıştır.

#### 4.2.6.4. Çözünmüş Oksijen

Çözünmüş oksijen ölçümü için, Hach Lange marka büyük prob şeklindeki Çözünmüş Oksijen Ölçer kullanılmıştır.

#### 4.2.6.5. Bulanıklık

Bulanıklığı ölçmek için Hach Lange marka Ultraturb Plus SC model cihaz kullanılmıştır.

#### 4.2.6.6. Partikül sayı ve Boyutu

1970 yıllarından itibaren partikül sayıcı teknolojisi önemli bir gelişim göstermiş ve on-line partikül sayıcılar içme suyu arıtma tesislerinde kullanılan bir cihaz haline gelmiştir. Bu cihazlar belirlenmesini istediğiniz partikül boyutu seçildikten sonra o aralıktaki partikül konsantrasyonunu hesaplamaktadır. Partikül sayıcılar düzenli bakım, kalibrasyon ve temizlik gerektirmektedir ( Handricks, David. W., 2006).

Filtrasyon sırasındaki partikül sayı ve boyutunu belirlemek için Şekil 4.13'te görülen Artı Hach Lange marka water particle counter marka cihaz kullanılmıştır,



**Şekil 4.13 :** Partikül Sayı ve Boyut Ölçer

#### 4.2.6.7. Demir

0.45 μm gözenek çaplı filtrelerden geçirilmiş ve geçirilmemiş demir numunesi içeren tüplerin içindeki demir konsantrasyonunu ölçmek için Unicam Solaar 929 Atomik Absorbsiyon Spektrometre kullanılmıştır. Analizlerin yapıldığı spektrometre Şekil 4.14'te görülmektedir.




**Şekil 4.14 :** Demir Analizlerinde Kullanılan Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi

# 5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

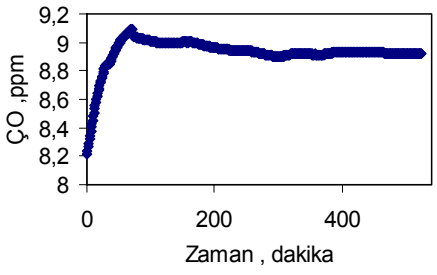
## 5.1 Farklı Konsantrasyonlarda Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Tezin bu bölümünde 0.5 mg/L, 1 mg/L, 1.5 mg/L, 2.5 mg/L ve 5 mg/L demir ilave edilen musluk suyunun filtrasyonu sonucu, partikül boyut ve sayısı ile Fe-II gideriminin birbirine göre değişimi deneysel olarak araştırılmıştır. Demirin oksitlenmesi aşaması için hava kullanılmıştır. Çalışma esnasında musluk suyundaki Fe-II konsantrasyonu 0.738-0.153 mg/L aralığında değişmiştir. Deneysel çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

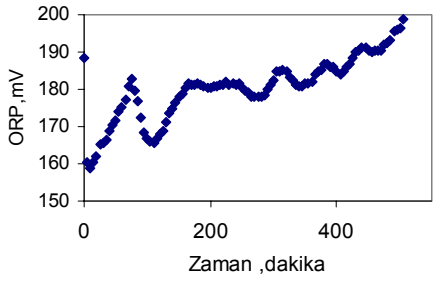
## 5.2. 0.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyuyla Yapılan Deneysel Çalışmalar

### 5.2.1. 0.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Oksidasyon Tankı Ölçümleri

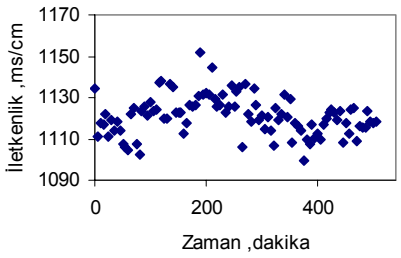
Musluk suyuna 0.5 mg/L demir ilave edilmesi dusumunda oksidasyon tankında ölçülen Çözünmüş oksijen (Ç.O.), oksidasyon ve redüksiyon potansiyeli (ORP), iletkenlik ve pH ölçüm sonuçları Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4 'te grafik olarak gösterilmiştir.



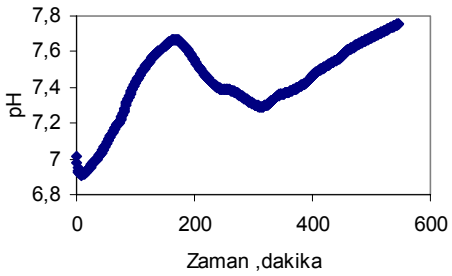

**Şekil 5.1:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki Ç.O. Konsantrasyonu'nun Zamanla Değişimi




**Şekil 5.2:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki ORP'nin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.3:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki İletkenliğin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.4:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki pH'ın Zamanla Değişimi

Oksidasyon Tankı'nda Ç.O. konsantrasyonu başlangıçta 8.2 mg/L olup ilk 60 dakikada yükselerek 9 mg/L seviyesine kadar artmış ve deney sonuna kadar pek değişim göstermemiştir. Tanktaki hidrolik bekletme süresi 60 dakikadır. Sistem sürekli havalandırıldığından ortama $O_2$ girişi olmaktadır. $O_2$ transferi, Fe-II oksidasyon hızından yüksek olduğundan oksidasyon tankında Ç.O. konsantrasyonu ilk 60 dakikada artmaktadır. Ç.O. eğrisi diğer konsantrasyonlarda da benzer değişim göstermiştir.

Oksidasyon ve redüksiyon potansiyelinde (ORP) zamanla artma ve azalmalar görülmekle birlikte, genel eğilim artma yönündedir. Yaklaşık 8 saatlik çalışma süresince ORP değeri 160 mV değerinden 200 mV seviyesine kadar artmıştır.

İletkenlik değerinde ise zamanla 1100 µS/cm ile 1150 µS/cm arasında artma ve azalmalar olmakla birlikte genel dağılıma bakıldığında, Oksidasyon Tankı'nda iletkenliğin değişmediği görülmektedir. Bunun, demir oksidasyonunun iletkenliğe yol açan iyonlarla bir etkileşiminin olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

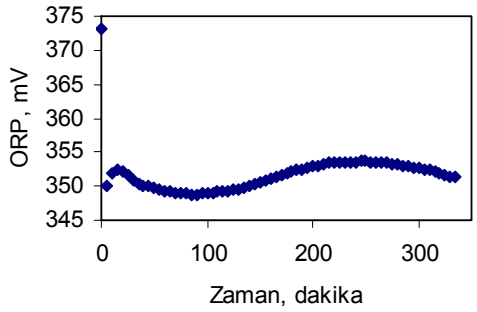
Oksidasyon Tankı'ndaki sıcaklık değeri de 22.5$^{o}$C'den 24$^{o}$C'ye kadar artmıştır. Bu sıcaklık artışının (i) kısmen çalışmanın yaz aylarında yapılması nedeniyle dış ortamdan ısı alınmasından, (ii) kısmen oksidasyon sonucu ortama az da bir miktar ısı verilmesinden ve (iii) karıştırıcı ekipmanların hareketi sırasında ortama ısı yayılmasından ileri geldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Oksidasyon Tankı'ndaki pH değeri reaksiyonun başlaması ile önce 6.9'a düşmüş ve daha sonra artarak 3. saatin sonunda 7.6 değerine ulaşmıştır. 3. saatteki 7.6 değerinden azalarak 6. saat sonunda 7.3 değerine düşmüş ve bundan sonra tekrar artmaya başlayarak 10. saatte 7.8 değerine ulaşmıştır. Fe-II'nin Fe(III)'e yükseltgenmesi sırasında $H^{+}$ iyonu ortaya çıktığından pH değerinde ani düşüşler

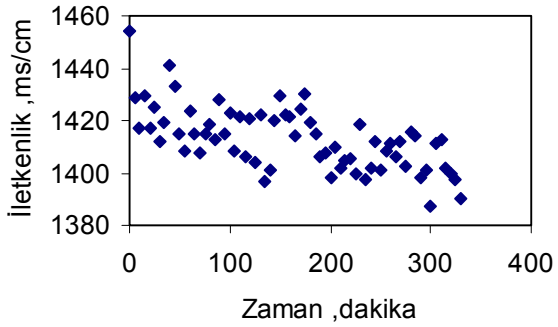
meydana gelmiştir. Ancak, sudaki alkalinitenin tamponlama kapasitesinin etkisiyle pH değeri zamanla yükselmiştir.

### 5.2.2. 0.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtrasyon Çıkışı Ölçüm Verileri

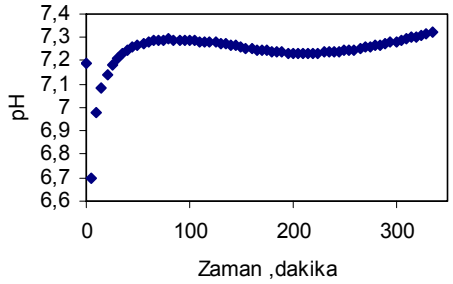
Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda ORP, iletkenlik ve pH değerlerinin on-line ölçüm sonuçları Şekil 5.5, 5.6 ve 5.7 'de görülmektedir.




**Şekil 5.5:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda ORP'nin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.6:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda İletkenliğin Zamanla Değişimi



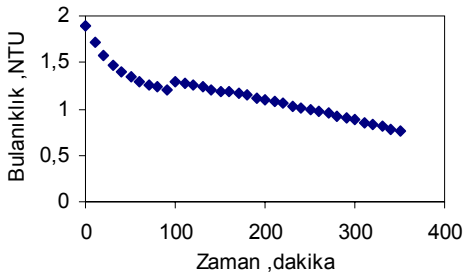

**Şekil 5.7:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda pH'ın Zamanla Değişimi

Filtrasyonun başlamasını takiben ORP değerleri 350-355 mV arasında değişim göstermiştir. Oksidasyon aşamasında 160-200 mV seviyesindeki ORP filtrasyon aşamasında yükselerek, Filtre Çıkışı'nda kararlı bir değere ulaşmıştır. Filtrasyon Çıkışı'nda ORP değerinin artmasının nedeninin, filtre üzerindeki hidrostatik basıncın etkisiyle Fe-III yumakları içerisindeki iyonların bir kısmının kurtularak, çıkış suyuna geçmesi olduğu düşünülmektedir.

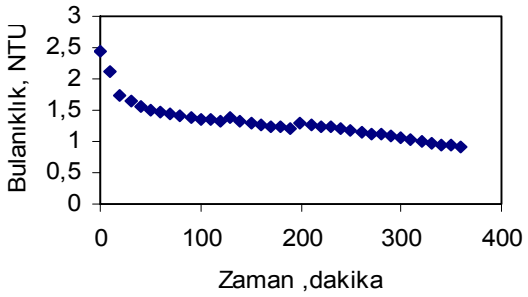
Filtre Girişi'nde (Oksidasyon Tankı'nda) 1100-1150 µS/cm seviyesinde olan iletkenlik değerleri, Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda 1460-1390 µS/cm aralığında olmuştur. İletkenlikte az olmakla birlikte, Filtre Çıkışı'nda kararlı bir azalma eğilimi görülmüştür. Çift Tabakalı Filtre'deki antrasitin iletkenliği oluşturan iyonları gidermede etkili olamadığı düşünülmektedir..

Başlangıçtaki ilk 60 dakika boyunca pH değerinde gözlenen artış deney sonuna kadar 7.2-7.3 aralığında seyretmiştir. Sıcaklıkta ise Oksidasyon Tankı'ndakine nazaran $1^{o}$C'lik bir artış olduğu görülmektedir. Gerek pH gerekse sıcaklıktaki değişimlerin Oksidasyon Tankı'ndaki değişimlerle paralel olduğu ve aynı nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tek ve Çift Tabakalı Filtre Çıkışları'nda gözlenen bulanıklık değerleri sırasıyla Şekil 5.8 ve 5.9'da görülmektedir.



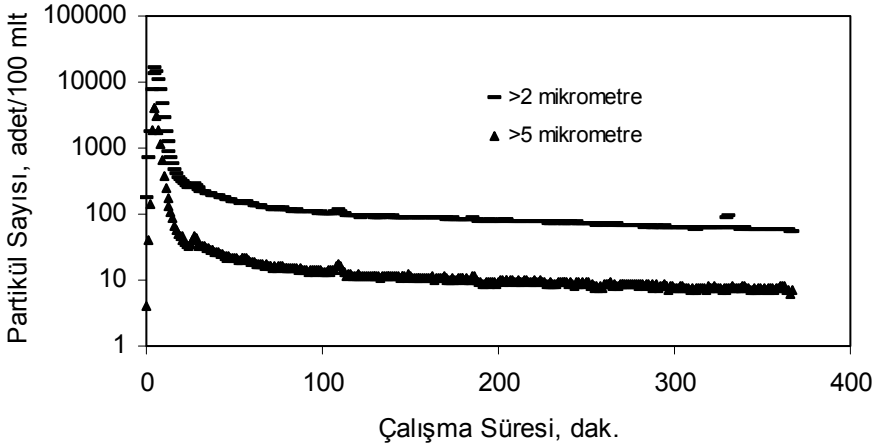

**Şekil 5.8:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi



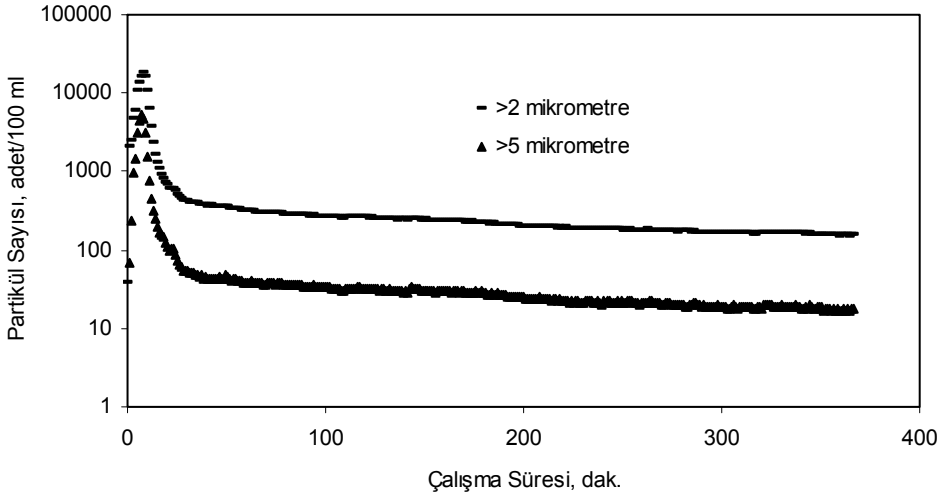

**Şekil 5.9:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi

Başlangıçta Kum Filtre için 2 NTU, Çift Tabakalı Filtre için 2.5 NTU civarında olan bulanıklık değerleri deney süreci sonunda 1 NTU'nun altına inmiştir. Her iki filtrede de başlangıç dakikalarındaki ani bulanıklık düşüşlerinden sonra, bulanıklık değeri zamanla belirli bir hızda azalmaktadır. Bu ani düşüşün olduğu süreyi filtrenin olgunlaşma süresi olarak değerlendirebiliriz. Şekil 5.8 ve 5.9'dan, Kum Filtre'nin bulanıklık gidermede Çift Tabakalı Filtre'ye göre daha verimli olduğu ve giderme veriminin zamana bağlı olarak arttığı görülmektedir.

Kum ve Çift Tabakalı Filtre Çıkışları'nda partikül boyut ve sayısı Şekil 5.10 ve 5.11'de görülmektedir.




**Şekil 5.10:** 0.5 mg/L Demir Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı'ndaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.11:** 0.5 mg/L Demir Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'ndaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi

Kum ve Çift Tabakalı filtrelerde çıkış partikül boyutları ve sayıları karşılaştırıldığında, Kum Filtre Çıkışları'nda Çift Tabakalı Filtre'ye nazaran partikül sayısında daha fazla azalma olduğu görülmektedir. Kum Filtre'de 100 mL'ye düşen >2 μm boyutlarındaki partikül sayısı 54 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre'de 154'tür. Yine, Kum Filtre'de 100 mL'ye düşen >5 μm boyutlarındaki partikül sayısı 7 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre'de 17 adettir. Şekil 5.10 ve 5.11'den de görüleceği üzere yaklaşık 30 dak. sonra Filtre Çıkışları'ndaki partikül sayıları sabit kalmaktadır. Bu başlangıç süresinde kumun üst tabakasındaki gözeneklerinin partiküllerle kısmen dolduğu düşünülmektedir.

Oksidasyon Tankı, Filtre Girişi, Filtre Çıkışı ve Filtre içerisinde yapılan demir ölçümleri Tablo 5.1'de verilmektedir. Bu deneyde, musluk suyundaki Fe-II knsantrasyonu 0.738 mg/L olarak ölçülmüştür.

**Tablo 5.1:** 0.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için 1 Saatlik Oksidasyon Sırasındaki Demir Konsantrasyonları (mg/L)

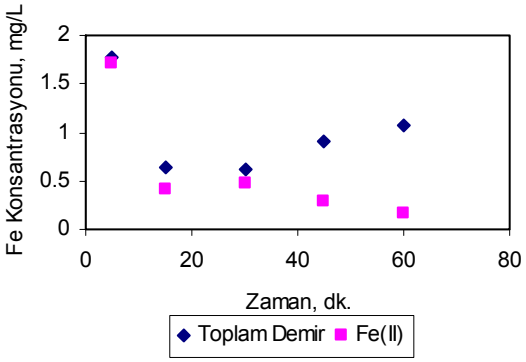
| Zaman | Numune Türü | Oksidasyon Tankı |
|---|---|---|
| 5 dak. | Toplam Demir | 1.776 |
| | Fe-II | 1.703 |
| 15 dak. | Toplam Demir | 0.635 |
| | Fe-II | 0.417 |
| 30 dak. | Toplam Demir | 0.623 |
| | Fe-II | 0.482 |
| 45 dak. | Toplam Demir | 0.912 |
| | Fe-II | 0.290 |
| 60 dak. | Toplam Demir | 1.070 |
| | Fe-II | 0.171 |

**Tablo 5.2:** 0.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonları (mg/L)

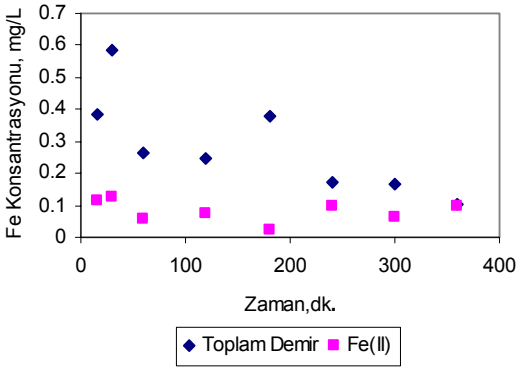
| Zaman (dak.) | Numune Türü | Filtre Girişi | Kum Filtre Çıkışı | Çift Tabakalı Filtre Çıkışı | Kum Filtre'de Tutulan Miktar | Çift Tabakalı Filtre'de Tutulan Miktar |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | Toplam Demir | 0.386 | 0.391 | 0.681 | -0.005 | -0.295 |
| | Fe-II | 0.112 | 0.229 | 0.253 | -0.117 | -0.141 |
| 30 | Toplam Demir | 0.588 | 0.591 | 0.684 | -0.003 | -0.096 |
| | Fe-II | 0.129 | 0.105 | 0.119 | 0.024 | 0.010 |
| 60 | Toplam Demir | 0.264 | 0.26 | 0.527 | 0.004 | -0.263 |
| | Fe-II | 0.056 | 0.332 | 0.114 | -0.276 | -0.058 |
| 120 | Toplam Demir | 0.248 | 0.248 | 0.543 | 0.000 | -0.295 |
| | Fe-II | 0.077 | 0.077 | 0.065 | 0.000 | 0.012 |
| 180 | Toplam Demir | 0.379 | 0.365 | 0.644 | 0.014 | -0.265 |
| | Fe-II | 0.025 | 0.035 | 0.070 | -0.010 | -0.045 |
| 240 | Toplam Demir | 0.175 | 0.159 | 0.463 | 0.016 | -0.288 |
| | Fe-II | 0.100 | 0.103 | 0.096 | -0.003 | 0.004 |
| 300 | Toplam Demir | 0.168 | 0.149 | 0.421 | 0.019 | -0.253 |
| | Fe-II | 0.063 | 0.081 | 0.035 | -0.018 | 0.028 |
| 360 | Toplam Demir | 0.103 | 0.131 | 0.410 | -0.028 | -0.307 |
| | Fe-II | 0.100 | 0.072 | 0.024 | 0.028 | 0.076 |

**Tablo 5.3:** 0.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyundan Filtre Boyunca Alınan Numunelerdeki Demir Konsantrasyonları (mg/L)

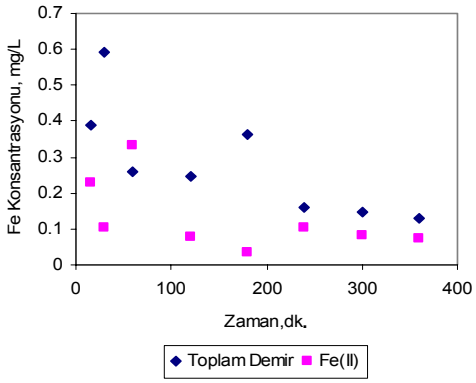
| Zaman (dak.) | Numune Türü | Kum Filtre 73 cm | Kum Filtre 51 cm | Çift Tabakalı Filtre 73 cm | Çift Tabakalı Filtre 51 cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | Toplam Demir | 0.508 | 0.377 | 0.424 | 0.360 |
| | Fe-II | 0.096 | 0.100 | 0.089 | 0.060 |
| 180 | Toplam Demir | 0.227 | 0.222 | 0.538 | 0.250 |
| | Fe-II | 0.105 | 0.182 | 0.067 | 0.051 |
| 360 | Toplam Demir | 0.213 | 0.171 | 0.149 | 0.229 |
| | Fe-II | 0.072 | 0.046 | 0.009 | 0.084 |



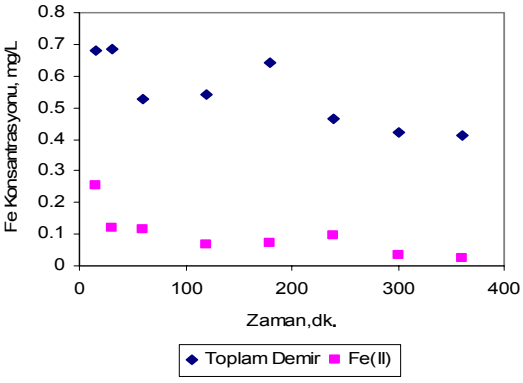

**Şekil 5.12:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



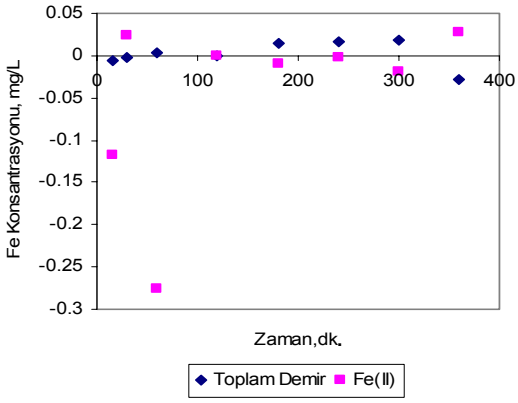

**Şekil 5.13:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Girişi Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



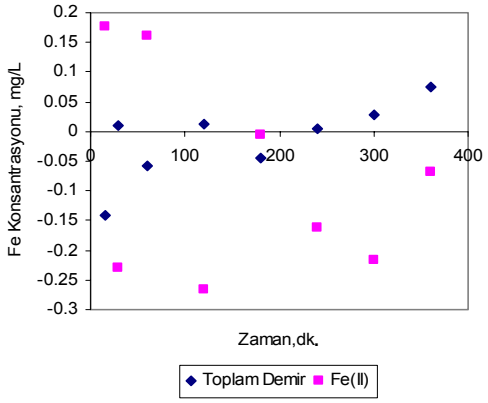

**Şekil 5.14:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



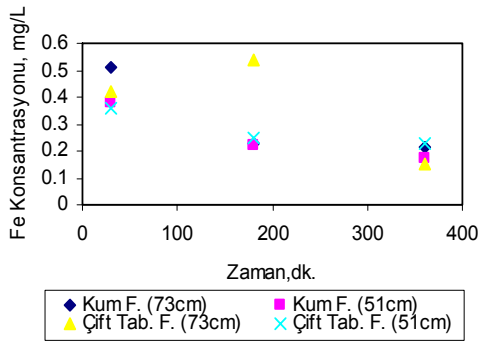

**Şekil 5.15:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



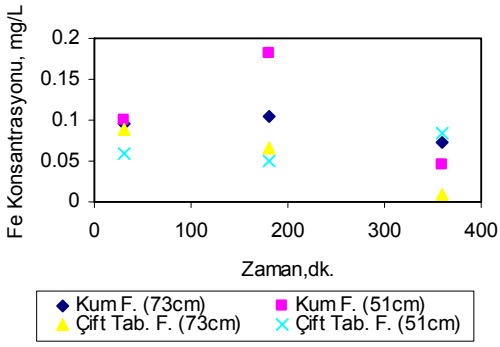

**Şekil 5.16 :** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre'deTutulan Demir Miktarının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.17 :** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre'deTutulan Demir Miktarının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.18:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Toplam Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



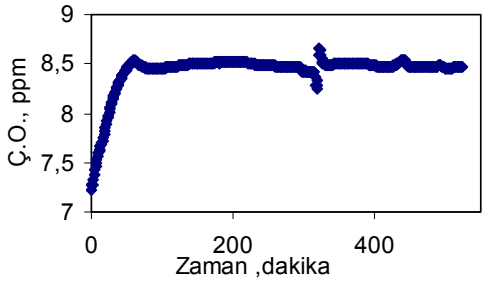

**Şekil 5.19:** 0.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Fe-II Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

Demir Miktarının Zamanla Değişimi Oksidasyon başlangıcından itibaren, 1 saatlik süre zarfında Oksidasyon Tankı'nda demir % 90 oranında oksitlenmiştir. Kum Filtre'de demir giderimi % 36 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre için % 78'dir. Tablo 5.3'te kum filtre boyunca Fe-III yumaklarının tutulduğunu ancak deney (ölçme) hataları çerçevesinde Fe-II konsantrasyonunun önemli bir değişiklik göstermediği görülmektedir. Filtre boyunca tutulma miktarı çift tabakalı filtrede çok daha azdır. Şekil 5.12'den Fe-II'nin oksidasyon hızı 0.0215 mg/L-dak. olarak bulunmuştur. Aynı eğrinin filtre girişi için çizilmesi çökelme sonrası durumu yansıtmaktadır. Tablo 5.2' deki değerlerin eğrisel gösterimleri, Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17' de verilmektedir. Filtre Boyunca farklı yüksekliklerden (51 cm- 73 cm) alınan numunelerin Toplam Demir ve Fe-II konsantrasyonlarının zamana göre değişimi Şekil 18 ve Şekil 19'da gösterilmektedir.

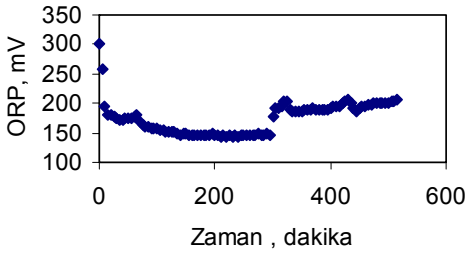
## 5.3. 1 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyuyla Yapılan Deneysel Çalışmalar

### 5.3.1. 1 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Oksidasyon Tankı Ölçümleri

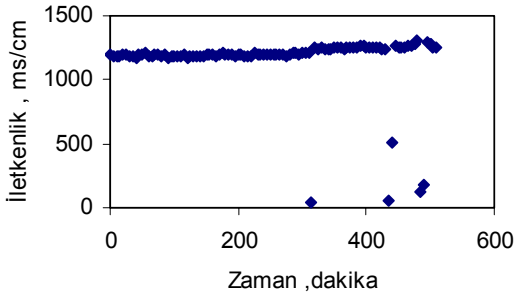
Musluk suyuna 1 mg/L demir ilave edilmesi dusumunda oksidasyon tankında ölçülen Ç.O. konsantrasyonu, ORP, iletkenlik ve pH ölçüm sonuçları Şekil 5.20, 5.21, 5.22 ve 5.23 'te grafik olarak gösterilmiştir.



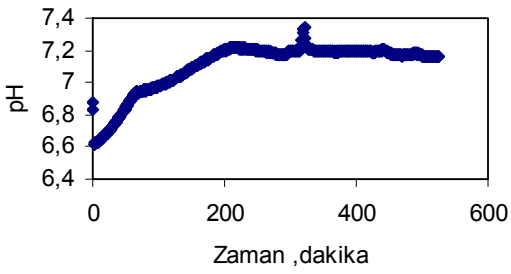

**Şekil 5.20:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki Ç.O. Konsantrasyonu'nun Zamanla Değişimi




**Şekil 5.21:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki ORP'nin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.22:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki İletkenliğin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.23:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki pH'ın Zamanla Değişimi

Oksidasyon Tankı'nda Ç.O. konsantrasyonu başlangıçta 7.25 mg/L olup ilk 60 dakikada yükselerek 8.5 mg/L seviyesine kadar çıkmış ve deney sonuna kadar pek değişim göstermemiştir. Ç.O.'deki değişimin nedeni, önceki kısımlarda açıklanmıştır.

Oksidasyon ve redüksiyon potansiyelinde (ORP) zamanla artma ve azalmalar görülmektedir; ancak genel eğilim artma yönündedir. ORP değeri 160 ve 200 mV arasında değişim göstermektedir. ORP değerindeki kararsızlığın oksidasyon tankında zamana bağlı olarak meydana gelen reaksiyonlardan ileri geldiği düşünülmektedir.

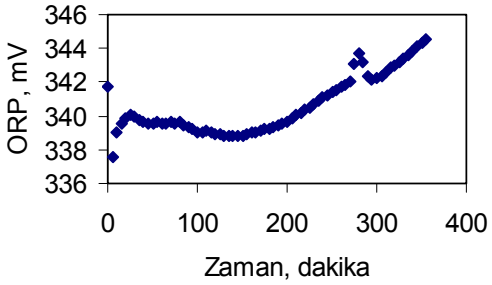
İletkenlik değeri ise 1150-1110 µS/cm aralığındadır. Değişimin gözlenmemesinin nedeni, demir oksidasyonu sırasında iletkenliğe yol açan iyonlarla bir etkileşim olmamasıdır.

Oksidasyon Tankı'ndaki sıcaklık değeri de 22.5$^{o}$C'den 24$^{o}$C'ye artmıştır. Bu artışın, 5.2.1. bölümde sıralanan nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

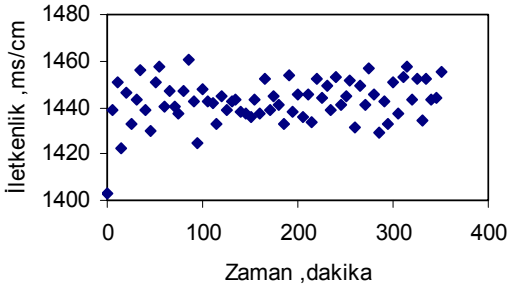
pH değeri ise tüm oksidasyon süresince 7 ile 7.8 arasında değişmiştir. Sudaki alkalinitenin tamponlama kapasitesinin etkisiyle pH değeri zamanla yükselmiştir.

### 5.3.2. 1 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtrasyon Çıkışı Ölçüm Verileri

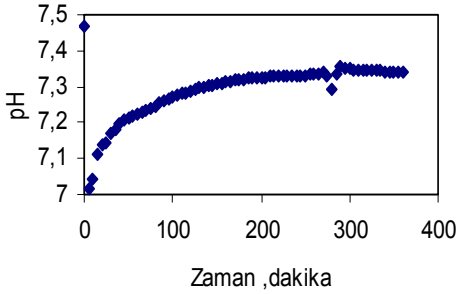
Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda elde edilen ORP, iletkenlik ve pH değerleri Şekil 5.24, 5.25 ve 5.26 'da görülmektedir.




**Şekil 5.24:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda ORP'nin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.25:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda İletkenliğin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.26:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda pH'ın Zamanla Değişimi

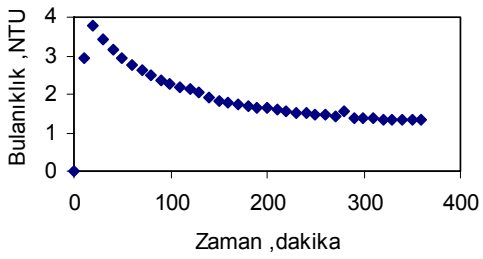
Filtre Çıkışı'nda ORP değerlerinde zamana bağlı artış görülmektedir. Bu artış, 335-345 mV aralığında olmuştur. Bunun sebebi, filtrede tutulan partiküllerin hidrostatik

basınç etkisiyle filtre malzemesinden kurtularak, çıkış suyuna geçmesi olarak düşünülmektedir.

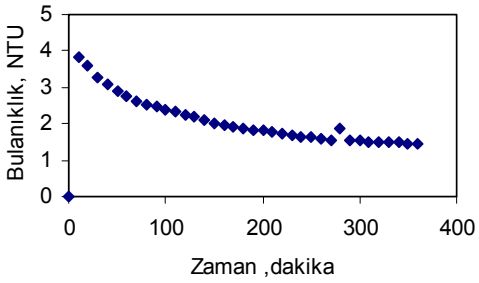
Oksidasyon Tankı'nda 1150-1100 µS/cm olan iletkenlik değerleri, Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda 1420-1460 µS/cm arasındaki değerlere ulaşmıştır. Bunun nedeninin, iletkenliği oluşturan iyonların Çift Tabakalı Filtre tarafından tutulamaması olduğu düşünülmektedir.

pH değerinde zamanla önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. pH 7.0-7.35 arasında seyretmiştir. Sıcaklık değeri filtrasyonun başlangıcında 1.5$^{o}$C kadar yükselmiş ve daha sonra 25.5$^{o}$C civarlarında sabit kalmıştır. pH ve sıcaklıktaki değişimlerin Oksidasyon Tankı'ndaki değişimlerle paralel olduğu ve aynı nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tek ve Çift Tabakalı Filtre Çıkışları'nda elde edilen bulanıklık değerleri sırasıyla Şekil 5.27 ve 5.28'de görülmektedir.



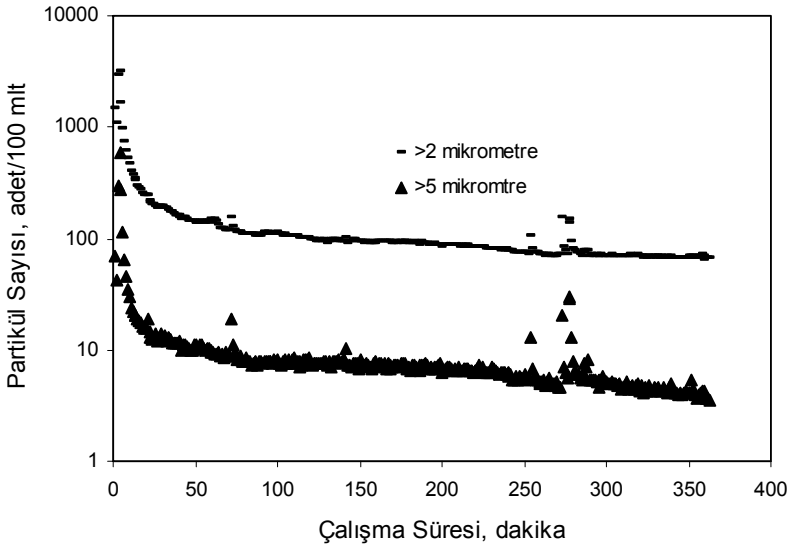

**Şekil 5.27:** 1 mg/L Fe Konsantras-yonu için Kum Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi



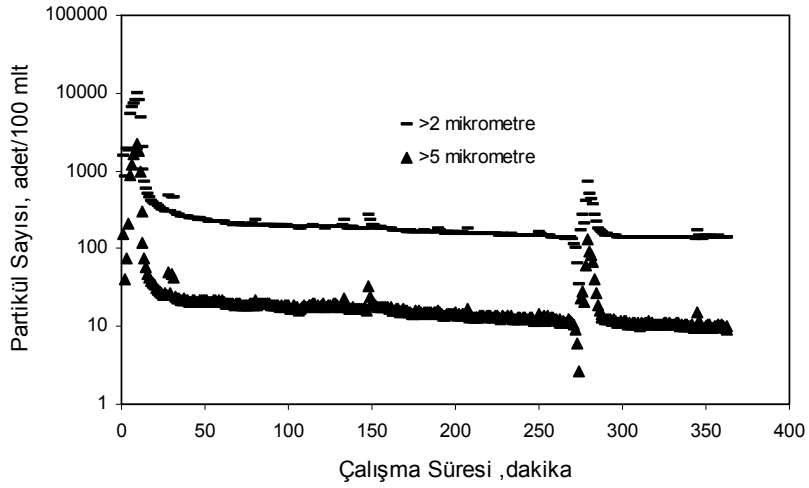

**Şekil 5.28:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi

Kum Filtre Çıkışı'nda filtrasyonun ilk dakikasında 2.9 NTU olan bulanıklık değerinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu düşüş hızının ilerleyen zamanlarda azalarak devam ettiği ve sonuç olarak bulanıklık değerinin 1.31 NTU değerine indiği görülmektedir. Çift Tabakalı Filtre'de ise bu değerler başlangıç için 3.8 NTU, deney sonu için ise 1.45 NTU'dur. Kum Filtre'nin Çift Tabakalı Filtre'ye göre bulanıklığı gidermede, Çift Tabakalı Filtre'ye göre daha verimli olduğu anlaşılmaktadır.

Kum ve Çift Tabakalı Filtre Çıkışları'nda partikül boyut ve sayısı Şekil 5.29 ve 5.30'da görülmektedir.




**Şekil 5.29:** 1 mg/L Demir Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı'ndaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.30:** 1 mg/L Demir Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'ndaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi

Kum ve Çift Tabakalı Filtreleri'nde çıkış partikül boyut ve sayıları karşılaştırıldığında, Kum Filtre Çıkışları'nda Çift Tabakalı Filtre'ye nazaran partikül sayısında azalış olduğu görülmektedir. Kum Filtre'de, 100 mL'ye düşen >2 μm boyutlarındaki partikül sayısı 67 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre'de 140'tır. Yine, 100 mL'ye düşen >5 μm boyutlarındaki partikül sayısı 3.5 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre'de 9 adettir. Filtrasyon başlangıcından itibaren, 30. dakika civarında her iki filtre için çıkış partikül sayılarında çok fazla bir değişim olmadığı görülmektedir.

Oksidasyon Tankı, Filtre Girişi, Çıkışı ve filtre içerisinde yapılan demir ölçümleri Tablo 5.4'te verilmektedir. Bu deneyde, musluk suyundan 0.241 mg/L Fe ilavesi geldiği ölçümle saptanmıştır.

**Tablo 5.4:** 1 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için 1 Saatlik Oksidasyon Sırasındaki Demir Konsantrasyonları (mg/L)

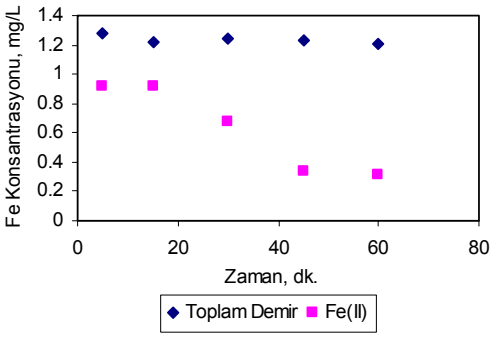
| Zaman | Numune Türü | Oksidasyon Tankı |
|---|---|---|
| 5 dak. | Toplam Demir | 1.278 |
| | Fe-II | 0.919 |
| 15 dak. | Toplam Demir | 1.225 |
| | Fe-II | 0.921 |
| 30 dak. | Toplam Demir | 1.243 |
| | Fe-II | 0.670 |
| 45 dak. | Toplam Demir | 1.230 |
| | Fe-II | 0.341 |
| 60 dak. | Toplam Demir | 1.210 |
| | Fe-II | 0.314 |

**Tablo 5.5:** 1 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonları (mg/L)

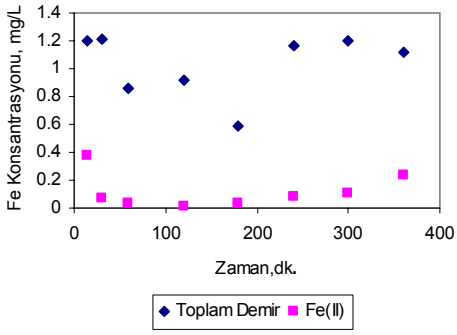
| Zaman (dak.) | Numune Türü | Filtre Girişi | Kum Filtre Çıkışı | Çift Tabakalı Filtre Çıkışı | Kum Filtre'de Tutulan Miktar | Çift Tabakalı Filtre'de Tutulan Miktar |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | Toplam Demir | 1.200 | 0.494 | 0.448 | 0.706 | 0.752 |
| | Fe-II | 0.374 | 0.059 | 0.341 | 0.315 | 0.033 |
| 30 | Toplam Demir | 1.212 | 0.428 | 0.496 | 0.784 | 0.716 |
| | Fe-II | 0.072 | 0.045 | 0.043 | 0.027 | 0.029 |
| 60 | Toplam Demir | 0.863 | 0.030 | 0.425 | 0.833 | 0.438 |
| | Fe-II | 0.041 | 0.059 | 0.088 | -0.018 | -0.047 |
| 120 | Toplam Demir | 0.912 | 0.292 | 0.248 | 0.620 | 0.664 |
| | Fe-II | 0.012 | 0.050 | 0.090 | -0.038 | -0.078 |
| 180 | Toplam Demir | 0.592 | 0.199 | 0.334 | 0.393 | 0.258 |
| | Fe-II | 0.034 | 0.039 | 0.090 | -0.005 | -0.056 |
| 240 | Toplam Demir | 1.165 | 0.262 | 0.303 | 0.903 | 0.862 |
| | Fe-II | 0.087 | 0.103 | 0.069 | -0.016 | 0.018 |
| 300 | Toplam Demir | 1.195 | 0.243 | 0.568 | 0.952 | 0.627 |
| | Fe-II | 0.103 | 0.119 | 0.071 | -0.016 | 0.032 |
| 360 | Toplam Demir | 1.119 | 0.237 | 0.266 | 0.882 | 0.853 |
| | Fe-II | 0.237 | 0.094 | 0.099 | 0.143 | 0.138 |

**Tablo 5.6:** 1 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyundan Filtre Boyunca Alınan Numunelerdeki Demir Konsantrasyonları (mg/L)

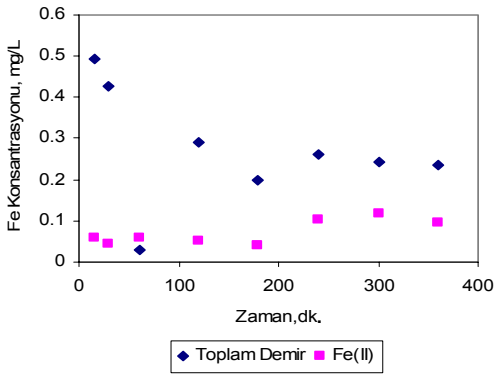
| Zaman (dak.) | Numune Türü | Kum Filtre 73 cm | Kum Filtre 51 cm | Çift Tabakalı Filtre 73 cm | Çift Tabakalı Filtre 51 cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | Toplam Demir | 0.710 | 0.574 | 0.673 | 0.542 |
| | Fe-II | 0.150 | 0.016 | 0.092 | 0.090 |
| 180 | Toplam Demir | 0.341 | 0.241 | 0.466 | 0.519 |
| | Fe-II | 0.008 | 0.152 | 0.110 | 0.025 |
| 360 | Toplam Demir | 0.370 | 0.257 | 0.427 | 0.547 |
| | Fe-II | 0.110 | 0.094 | 0.126 | 0.416 |



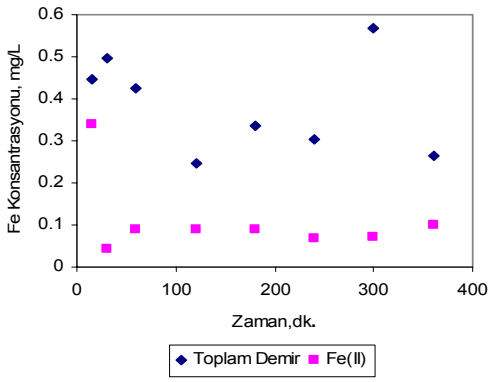

**Şekil 5.31:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



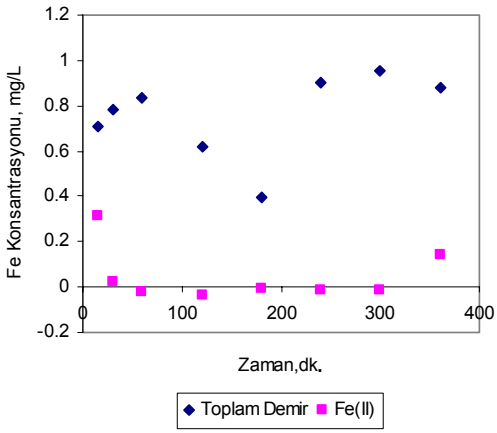

**Şekil 5.32:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Girişi Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



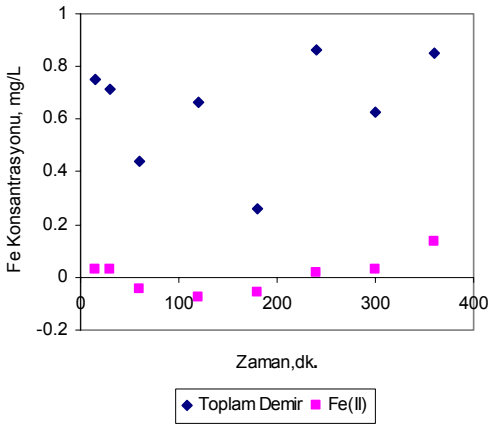

**Şekil 5.33:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



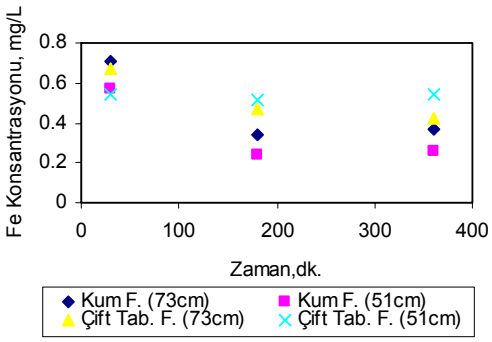

**Şekil 5.34:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



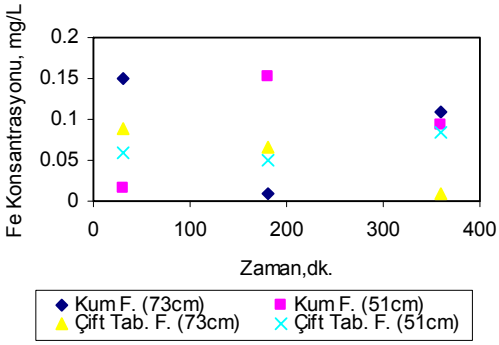

**Şekil 5.35:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre'deTutulan Demir Miktarının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.36:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre'deTutulan Demir Miktarının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.37:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Toplam Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



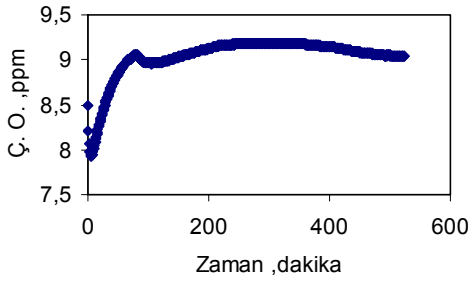

**Şekil 5.38:** 1 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Fe-II Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

Oksidasyon Tankı'nda yapılan ölçüme göre oksidasyon oranı % 66 civarındadır. Kum Filtre'de demir giderimi % 75 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre için % 73'tür. Tablo 5.4' ten Okisdasyon Tank'ındaki Toplam Demir konsantrasyonun 1.210-1.278 mg/L arasında aynı kaldığı, buna karşılık Fe-II konsantrasyonunun 0.919 mg/L' den 60 dakikada 0.314 mg/L'ye düşmüştür. Fe-II' nin azalma eğrisinin eğimi, oksidasyon hızının yavaş olduğunu göstermektedir. Şekil 5.31'den Fe-II'nin oksidasyon hızı 0.0129 mg/L-dak. olarak bulunmuştur. Aynı eğrinin filtre girişi için çizilmesi çökelme sonrası durumu yansıtmaktadır. Tablo 5.5' teki değerlerin eğrisel gösterimleri, Şekil 5.32, Şekil 5.33, Şekil 5.34, Şekil 5.35, Şekil 5.36' da verilmektedir. Filtre Boyunca farklı yüksekliklerden (51 cm- 73 cm) alınan numunelerin Toplam Demir ve Fe-II konsantrasyonlarının zamana göre değişimi Şekil 37 ve Şekil 38'de gösterilmektedir.

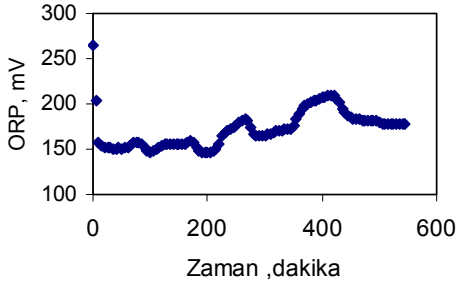
## 5.4. 1.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyuyla Yapılan Deneysel Çalışmalar

### 5.4.1. 1.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Oksidasyon Tankı Ölçümleri

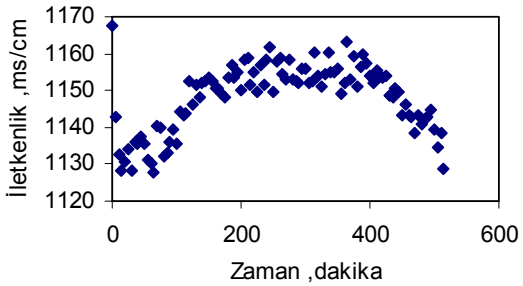
Musluk suyuna 1.5 mg/L demir ilave edilmesi dusumunda oksidasyon tankında ölçülen Ç.O. konsantrasyonu, ORP, iletkenlik ve pH ölçüm değerleri Şekil 5.39, 5.40, 5.41 ve 5.42' de görülmektedir.



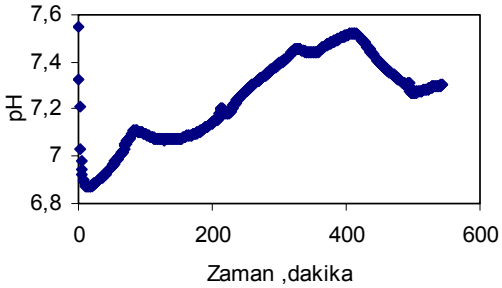

**Şekil 5.39:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki Ç.O. Konsantrasyonu'nun Zamanla Değişimi




**Şekil 5.40:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki ORP'nin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.41:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki İletkenliğin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.42:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki pH'ın Zamanla Değişimi

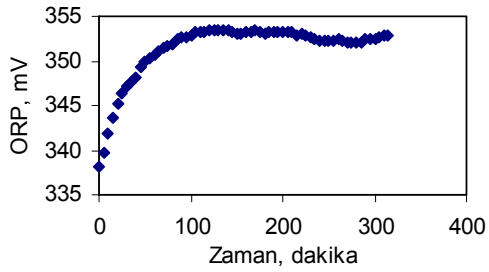
Ç.O. konsantrasyonu deney başlangıcında 8.5 mg/L iken zamanla 9 mg/L'ye artmış ve bu değerde seyretmiştir. Ç.O.'deki değişimin nedeni, önceki konsantrasyonlarla benzerdir. ORP değerleri 150 ile 200 mV değerleri arasında değişmiştir. ORP değerleri kararsız bir artış göstermiştir. Kararsızlık reaksiyonun sürdüğü artış ise reaksiyon yeteğinin arttığını göstermektedir.

Çalışma süresince iletkenlik değerinde, 300. dak.'ya kadar 30 µS/cm bir artış, deney sonuna değin ise aynı oranda bir azalış görülmüştür. Bu değişim 1130-1160 µS/cm aralığında olmuştur. Değişimin önce yükselip sonra azalması iletkenliğe yol açan iyonların önce bir miktar artıp sonra azaldığını göstermektedir.

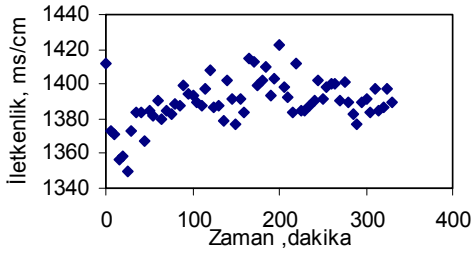
pH değerinde zamanla dalgalanmalar olsa da 7-7.4 arasında bir değişim gözlenmiştir. Sıcaklık değerinde başlangıçta hızlı bir artış, sonrasında 22.5-23$^{o}$C arasında bir dalgalanma görülmektedir. Her iki parametredeki değişimler 5.2.1. bölümdekiyle paraleldir.

### 5.4.2. 1.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtrasyon Çıkışı Ölçüm Verileri

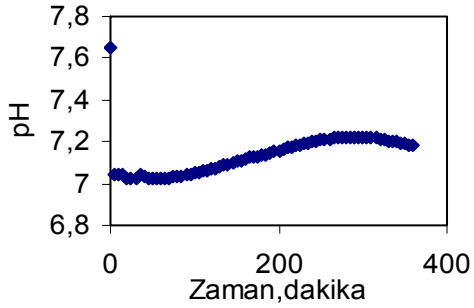
Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda elde edilen ORP, iletkenlik ve pH değerleri Şekil 5.43, 5.44 ve 5.45'te görülmektedir.




**Şekil 5.43:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda ORP'nin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.44:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda İletkenliğin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.45:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda pH'ın Zamanla Değişimi

Filtre Çıkışı'nda ORP değerleri 335 mV seviyesinden başlayarak 100. dakikaya kadar 355 mV'a arttığı sonrasında bu değerde sabit kaldığı görülmektedir. ORP değerindeki bu artışın, filtrasyon esnasında floklardaki iyonların çıkış suyuna geçmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

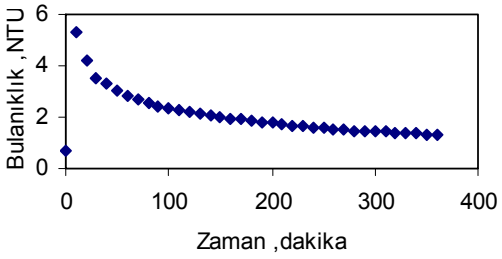
Filtre Girişi'nde 1130-1160 µS/cm olan iletkenlik değerleri, Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda 1350-1400 µS/cm olmuştur. Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda zamana bağlı olarak önemli bir değişim gözlenmemiştir. Bu da, diğer deneylerdekiyle paralellik gösterdiği üzere Çift Tabakalı Filtre'nin iletkenliği oluşturan iyonları gidermede başarılı olamadığını göstermektedir.

pH değeri 7 ve 7.2 arasıda değişim göstermiştir. Bu değişim düşük hızlı ve sürekli bir artış şeklinde olmuştur. Filtre Çıkışı'nda ölçülen pH değeri Oksidasyon Tankı'na

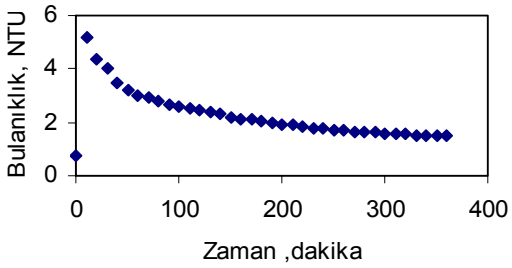
göre biraz daha düşüktür. Sıcaklık değerinde yükselme olmuştur. Ancak, sıcaklık değişimi arasındaki fark 0.8$^{o}$C'yi geçmemektedir. Sıcaklık genelde 22.2-23$^{o}$C arasında değişmiştir. pH ve sıcaklık değerlerindeki artışın, diğer deneylerde bahsedilen sebeplerle aynı olduğu düşünülmektedir.

Kum ve Çift Tabakalı Filtre Çıkışları'nda elde edilen bulanıklık değerleri sırasıyla Şekil 5.46 ve 5.47'de görülmektedir.

.




**Şekil 5.46:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi

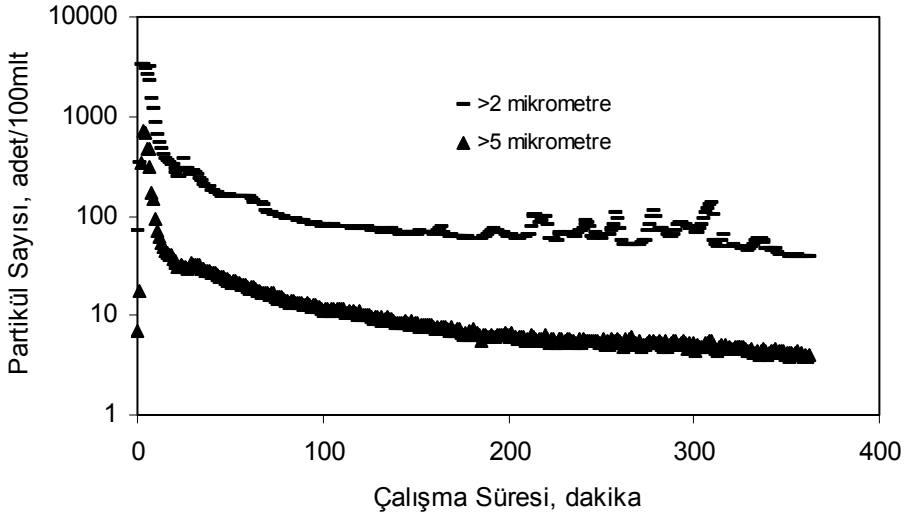



**Şekil 5.47:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi

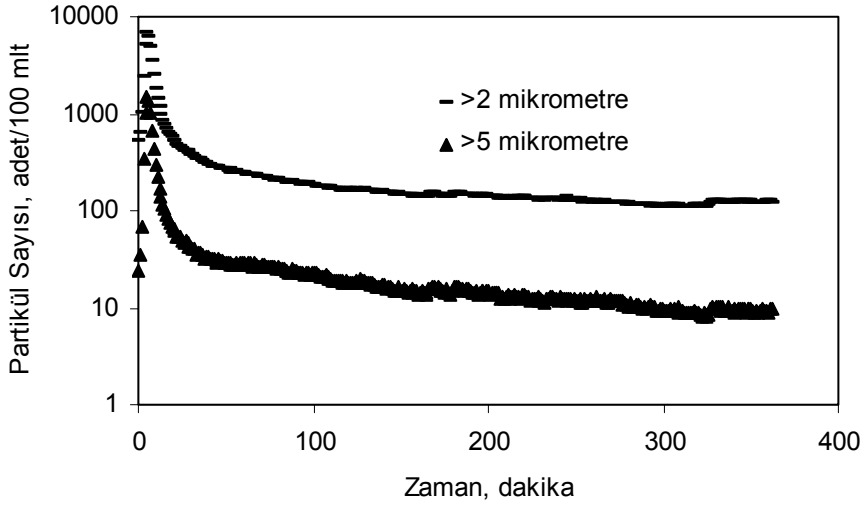
Kum Filtre Çıkışı'nda ilk bulanıklık değeri 5.31 NTU'dur. Filtrasyon süresince zamanla bir azalma görülmektedir. Bulanıklık, deney sonunda 1.32 NTU değerine düşmektedir. Çift Tabakalı Filtre'de ise ilk başta 5.21 NTU olan değerin zamanla azalarak ve 1.47 NTU seviyesine kadar düştüğü görülmektedir. Kum Filtre'nin bulanıklık gideriminde daha verimli olduğu görülmektedir.

Kum ve Çift Tabakalı Filtre Çıkışları'nda partikül boyut ve sayısı Şekil 5.48 ve 5.49' da görülmektedir.

Kum ve Çift Tabakalı Filtreleri'nde çıkış partikül boyut ve sayıları karşılaştırıldığında. kum Filtre Çıkışları'nda Çift Tabakalı Filtre'ye nazaran partikül sayısında azalış olduğu görülmektedir. Kum Filtre'de, 100 mL'ye düşen >2 μm boyutlarındaki partikül sayısı 38 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre'de 122'dir. Yine, 100 mL'ye düşen >5 μm boyutlarındaki partikül sayısı 4 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre'de 10 adettir. Şekil 5.49'da görüldüğü üzere, Kum Filtre için 180-200. dak. sonrası partikül sayısında fazla bir değişim olmamıştır. Aynı değişim Çift Tabakalı Filtre için de geçerlidir.




**Şekil 5.48:** 1.5 mg/L Demir Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı'ndaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.49:** 1.5 mg/L Demir Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'ndaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi

Oksidasyon Tankı, Filtre Girişi, Çıkışı ve Filtre içerisinde yapılan demir ölçümleri Tablo 5.7, 5.8 ve 5.9'da verilmektedir

**Tablo 5.7:** 1.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için 1 Saatlik Oksidasyon Sırasındaki Demir Konsantrasyonları (mg/L)

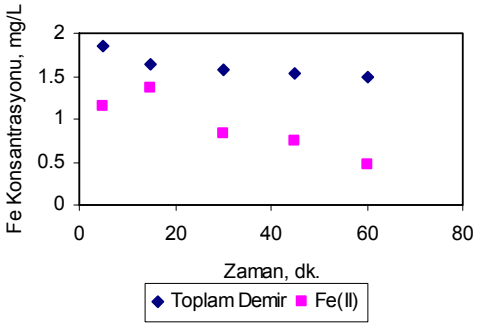
| Zaman | Numune Türü | Oksidasyon Tankı |
|---|---|---|
| 5 dak. | Toplam Demir | 1.843 |
| | Fe-II | 1.147 |
| 15 dak. | Toplam Demir | 1.635 |
| | Fe-II | 1.359 |
| 30 dak. | Toplam Demir | 1.575 |
| | Fe-II | 0.839 |
| 45 dak. | Toplam Demir | 1.534 |
| | Fe-II | 0.755 |
| 60 dak. | Toplam Demir | 1.496 |
| | Fe-II | 0.459 |

**Tablo 5.8:** 1.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonları (mg/L)

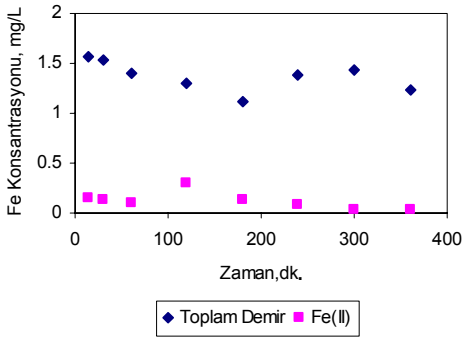
| Zaman (dak.) | Numune Türü | Filtre Girişi | Kum Filtre Çıkışı | Çift Tabakalı Filtre Çıkışı | Kum Filtre'de Tutulan Miktar | Çift Tabakalı Filtre'de Tutulan Miktar |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | Toplam Demir | 1.566 | 0.515 | 0.584 | 1.051 | 0.982 |
| | Fe-II | 0.144 | 0.211 | 0.102 | -0.067 | 0.042 |
| 30 | Toplam Demir | 1.539 | 0.487 | 0.781 | 1.052 | 0.758 |
| | Fe-II | 0.138 | 0.29 | 0.318 | -0.152 | -0.180 |
| 60 | Toplam Demir | 1.395 | 0.412 | 0.361 | 0.983 | 1.034 |
| | Fe-II | 0.100 | 0.076 | 0.117 | 0.024 | -0.017 |
| 120 | Toplam Demir | 1.307 | 0.29 | 0.316 | 1.017 | 0.991 |
| | Fe-II | 0.307 | 0.091 | 0.130 | 0.216 | 0.177 |
| 180 | Toplam Demir | 1.112 | 0.273 | 0.243 | 0.839 | 0.869 |
| | Fe-II | 0.127 | 0.089 | 0.127 | 0.038 | 0 |
| 240 | Toplam Demir | 1.377 | 0.247 | 0.241 | 1.130 | 1.136 |
| | Fe-II | 0.077 | 0.097 | 0.101 | -0.020 | -0.024 |
| 300 | Toplam Demir | 1.428 | 0.166 | 1.336 | 1.262 | 0.092 |
| | Fe-II | 0.037 | 0.032 | 0.043 | 0.005 | -0.006 |
| 360 | Toplam Demir | 1.239 | 0.198 | 0.153 | 1.041 | 1.086 |
| | Fe-II | 0.030 | 0.060 | 0.036 | -0.030 | -0.006 |

**Tablo 5.9:** 1.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyundan Filtre Boyunca Alınan Numunelerdeki Demir Konsantrasyonları (mg/L)

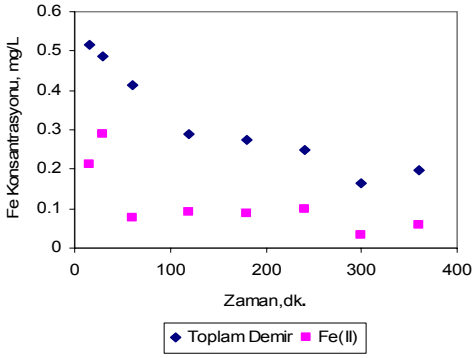
| Zaman (dak.) | Numune Türü | Kum Filtre 73 cm | Kum Filtre 51 cm | Çift Tabakalı Filtre 73 cm | Çift Tabakalı Filtre 51 cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | Toplam Demir | 0.665 | 0.584 | 0.71 | 0.626 |
| | Fe-II | 0.155 | 0.134 | 0.123 | 0.072 |
| 180 | Toplam Demir | 0.406 | 0.408 | 0.506 | 0.421 |
| | Fe-II | 0.153 | 0.153 | 0.138 | 0.127 |
| 360 | Toplam Demir | 0.241 | 0.239 | 0.474 | 0.183 |
| | Fe-II | 0.043 | 0.054 | 0.013 | 0.017 |



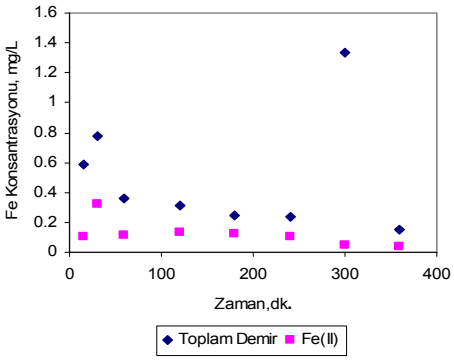

**Şekil 5.50:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



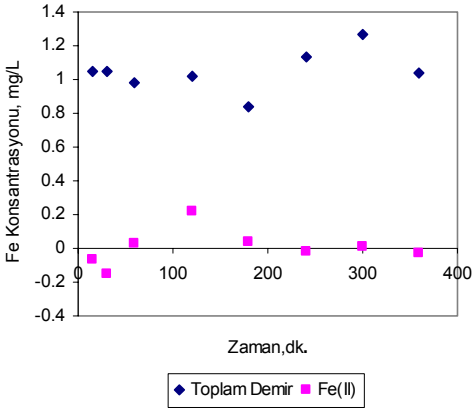

**Şekil 5.51:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Girişi Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



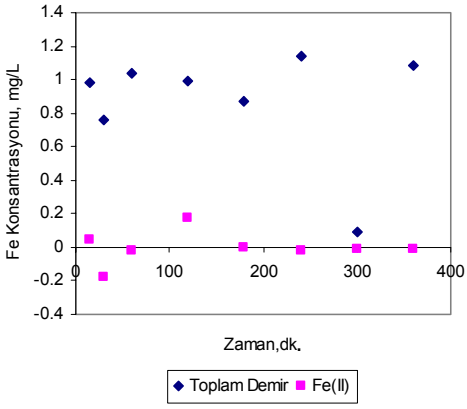

**Şekil 5.52:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



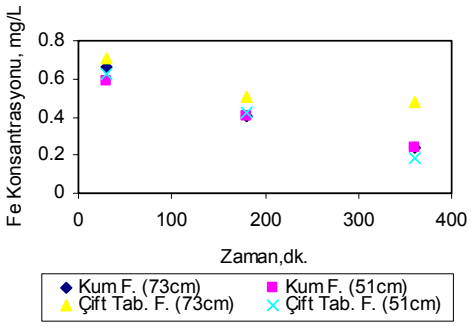

**Şekil 5.53:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



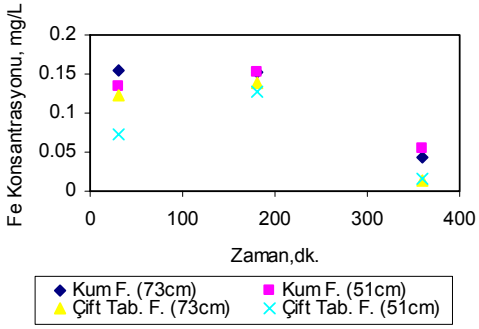

**Şekil 5.54:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre'deTutulan Demir Miktarının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.55:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre'deTutulan Demir Miktarının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.56:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Toplam Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi




**Şekil 5.57:** 1.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Fe-II Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

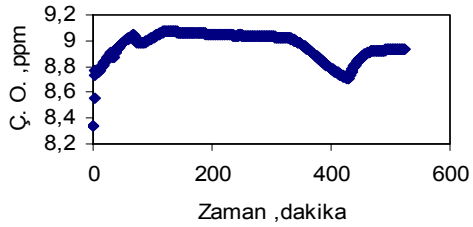
Her iki Filtre Çıkışı'nda da toplam demir konsantrasyonu 300 dk. işletmeden sonra 0.2 mg/L içme suyu limit değerinin altında kaldığı Tablo 5.8'de görülmektedir. Filtre Girişi'nde yapılan ölçümlerden, oksidasyon sırasında demir gideriminin %60 olduğu görülmektedir. Filtrasyon sonundaki verimin kum fitre için %58 Çift Tabakalı Filtre için %75 civarında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.7'den oksidasyon tankında zamana bağlı olarak hem toplam demirin hem de Fe-II'nin azaldığı, ancak azalma hızlarının çok yavaş olduğu, toplam demirin çökelme ve Fe-II'nin oksidasyon yoluyla düştüğü sonuçlarına ulaşılmıştır. Tablo 5.8' deki değerlerin eğrisel gösterimleri, Şekil 5.51, Şekil 5.52, Şekil 5.53, Şekil 5.54, Şekil 5.55' te verilmektedir. Şekil 5.50'den Fe-II'nin oksidasyon hızı 0.0145 mg/L-dak. olarak bulunmuştur. Aynı eğrinin filtre girişi için çizilmesi çökelme sonrası durumu yansıtmaktadır. Filtre Boyunca farklı yüksekliklerden (51 cm- 73 cm) alınan numunelerin Toplam Demir ve Fe-II konsantrasyonlarının zamana göre değişimi Şekil 56 ve Şekil 57'de gösterilmektedir.

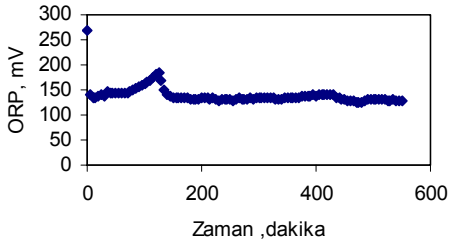
## 5.5. 2.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyuyla Yapılan Deneysel Çalışmalar

### 5.5.1. 2.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Oksidasyon Tankı Ölçümleri

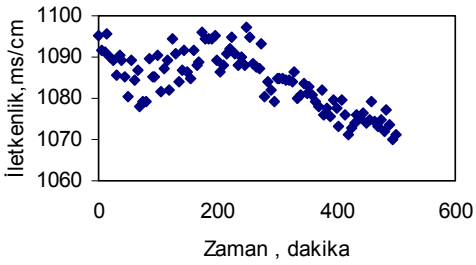
Musluk suyuna 2.5 mg/L demir ilave edilmesi dusumunda oksidasyon tankında ölçülen Ç.O. konsantrasyonu, ORP, iletkenlik ve pH ölçüm sonuçları Şekil 5.58, 5.59, 5.60 ve 5.61'de gösterilmiştir.



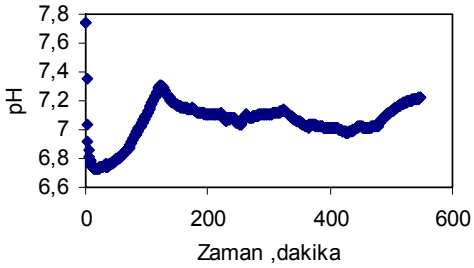

**Şekil 5.58:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki Ç.O. Konsantrasyonu'nun Zamanla Değişimi




**Şekil 5.59:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki ORP'nin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.60:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki İletkenliğin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.61:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki pH'ın Zamanla Değişimi

Başlangıçta meydana gelen hızlı reaksiyon sonucu, Ç.O.'de düşme meydana gelmiştir. Daha sonra oksidasyon süresince Ç.O. konsantrasyonu 8.8 ile 9 mg/L civarında sabit kalmıştır.

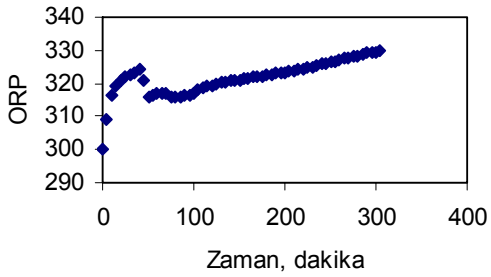
ORP değerleri oksidasyon boyunca ise 140 mV seviyelerinde seyretmiştir . İlk 160-180. dak. arasında ORP değerinde artış olmuştur. Bu, söylenen zaman aralığında reaksiyon olduğunu göstermektedir.

İletkenlik değerleri, 1100 µS/cm'den 1070 µS/cm'ye inmiştir. Değişim, dar bir aralıkta olduğu için ihmal edilebilir. Ancak az da olsa görülen iletkenlik azalma eğilimi zamanla iyonların yumaklara daha çok tutulduğunu göstermektedir.

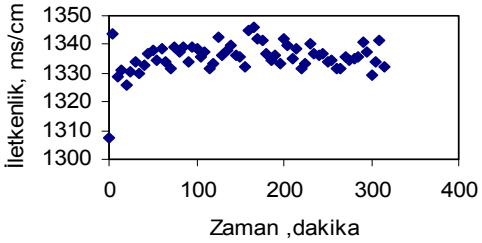
pH ise ilk 60 dak. 6.7'ye kadar düşmüş daha sonra 7-7.2 civarında sabit kalmıştır. Sıcaklık değeri, 22-22.5$^{o}$C arasında değişmektedir. pH ve sıcaklıktaki değişimin, daha önce yapılan deneyler ile örtüştüğü görülmektedir.

### 5.5.2. 2.5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtrasyon Çıkışı Ölçüm Verileri

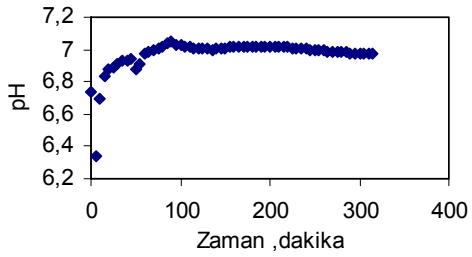
Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda elde edilen ORP, iletkenlik, pH ve sıcaklık değerleri Şekil 5.62, 5.63 ve 5.64 'te görülmektedir.




**Şekil 5.62:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda ORP'nin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.63:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda İletkenliğin Zamanla Değişimi



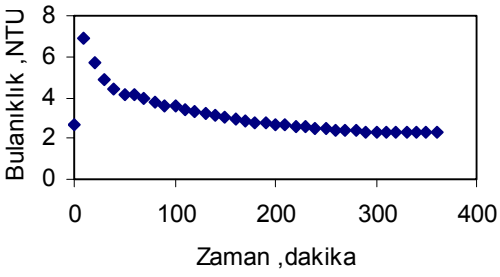

**Şekil 5.64:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda pH'ın Zamanla Değişimi

Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda ORP değeri 300 mV'dan 330 mV'a artış göstermiştir. ORP'deki artışın , 5.2.2. bölümde açıklanan nedenle aynı olduğu düşünülmektedir.

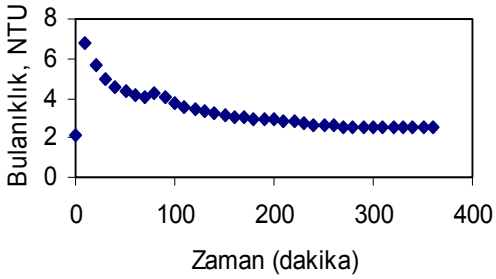
İletkenlik değeri filtrasyon süresince 1330-1340 µS/cm civarında sabit kalmıştır. Değerlerde değişimin olmamasının nedeninin, Çift Tabakalı Filtre'deki antrasitin iletkenliğe sebep olan iyonları gidermedeki başarısızlığı olduğu düşünülmektedir.

pH değerinde başlangıçta bir artış olmuş ve sonra 7 civarında kalmıştır. Sıcaklık değeri 22.8 ile 23.4$^{o}$C arasında zamanla artan şekilde değişmiştir. Her iki parametredeki artış sebebi 5.2.1. bölümde açıklananla aynıdır.

Tek ve Çift Tabakalı Filtre Çıkışları'nda elde edilen bulanıklık değerleri Şekil 5.65 ve 5.66'da görülmektedir.



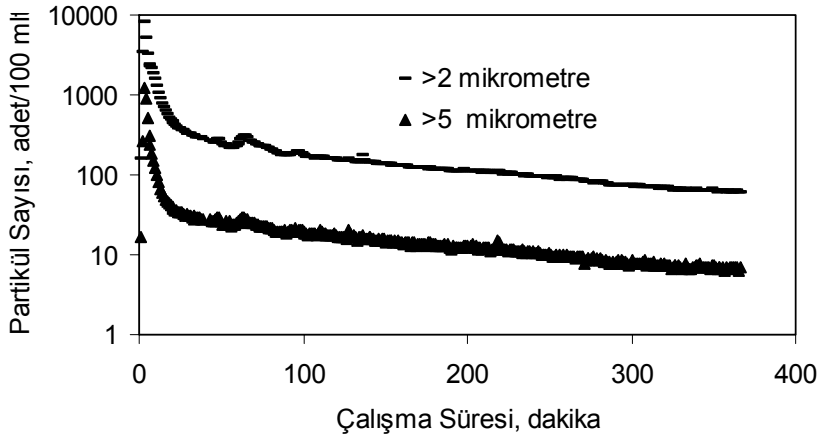

**Şekil 5.65:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi



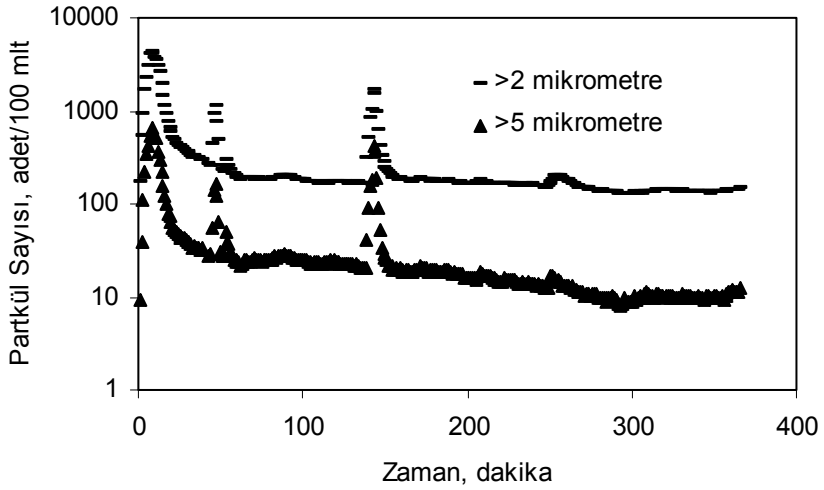

**Şekil 5.66:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi

Kum Filtre için başlangıç bulanıklığı 6.8 NTU'dan deney sonunda 2.3 NTU'ya inmiştir. Çift Tabakalı Filtre'de ise bulanıklık 6.7 NTU seviyesinden 2.5 NTU'ya inmiştir. Her iki filtrede de bulanıklık değerinin zamanla azaldığı görülmektedir. Ancak, Kum Filtre'nin Çift Tabakalı Filtre'ye nazaran bulanıklığı gidermede daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

Kum ve Çift Tabakalı Filtre Çıkışları'nda partikül boyut dağılımları Şekil 5.67 ve 5.68'de görülmektedir.




**Şekil 5.67:** 2.5 mg/L Demir Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı'ndaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.68:** 2.5 mg/L Demir Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'ndaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi

Kum ve Çift Tabakalı Filtreleri'nde çıkış partikül boyut ve sayıları karşılaştırıldığında, Kum Filtre Çıkışları'nda Çift Tabakalı Filtre'ye nazaran partikül sayısında azalış olduğu görülmektedir. Kum Filtre'de, 100 mL'ye düşen >2 μm boyutlarındaki partikül sayısı 61 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre'de 146'dır. Yine, 100 mL'ye düşen >5 μm boyutlarındaki partikül sayısı 7 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre'de 12 adettir.

Oksidasyon Tankı, Filtre Girişi, Çıkışı ve filtre içerisinde yapılan demir ölçümleri Tablo 5.10'da verilmektedir. Bu deneyde, musluk suyundan 0.153 mg/l Fe ilavesi geldiği ölçümle saptanmıştır.

**Tablo 5.10:** 2.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için 1 Saatlik Oksidasyon Sırasındaki Demir Konsantrasyonları (mg/L)

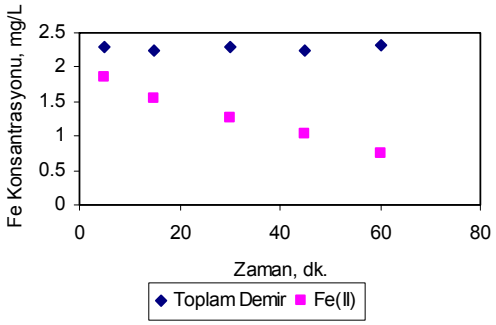
| Zaman | Numune Türü | Oksidasyon Tankı |
|---|---|---|
| 5 dak. | Toplam Demir | 2.286 |
| | Fe-II | 1.861 |
| 15 dak. | Toplam Demir | 2.241 |
| | Fe-II | 1.551 |
| 30 dak. | Toplam Demir | 2.284 |
| | Fe-II | 1.262 |
| 45 dak. | Toplam Demir | 2.251 |
| | Fe-II | 1.019 |
| 60 dak. | Toplam Demir | 2.323 |
| | Fe-II | 0.750 |

**Tablo 5.11:** 2.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonları (mg/L)

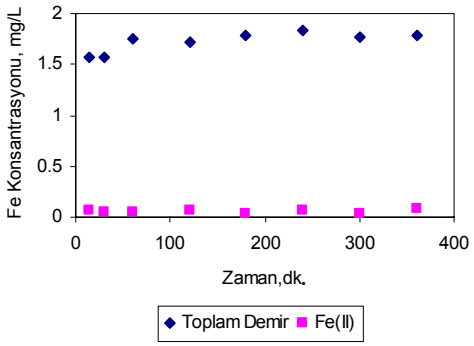
| Zaman (dak.) | Numune Türü | Filtre Girişi | Kum Filtre Çıkışı | Çift Tabakalı Filtre Çıkışı | Kum Filtre'de Tutulan Miktar | Çift Tabakalı Filtre'de Tutulan Miktar |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | Toplam Demir | 1.575 | 0.838 | 0.787 | 0.737 | 0.788 |
| | Fe-II | 0.064 | -0.037 | -0.02 | 0.101 | 0.084 |
| 30 | Toplam Demir | 1.568 | 0.89 | 0.92 | 0.678 | 0.648 |
| | Fe-II | 0.045 | -0.009 | -0.097 | 0.054 | 0.142 |
| 60 | Toplam Demir | 1.756 | 1.226 | 1.243 | 0.53 | 0.513 |
| | Fe-II | 0.056 | -0.017 | 0.02 | 0.073 | 0.036 |
| 120 | Toplam Demir | 1.717 | 1.278 | 1.31 | 0.439 | 0.407 |
| | Fe-II | 0.067 | 0.026 | 0.035 | 0.041 | 0.032 |
| 180 | Toplam Demir | 1.782 | 1.496 | 1.138 | 0.286 | 0.644 |
| | Fe-II | 0.034 | 0.002 | 0.034 | 0.032 | 0 |
| 240 | Toplam Demir | 1.842 | 1.588 | 1.579 | 0.254 | 0.263 |
| | Fe-II | 0.067 | 0.056 | 0.035 | 0.011 | 0.032 |
| 300 | Toplam Demir | 1.773 | 1.521 | 1.517 | 0.252 | 0.256 |
| | Fe-II | 0.039 | -0.008 | -0.004 | 0.047 | 0.043 |
| 360 | Toplam Demir | 1.79 | 1.555 | 1.568 | 0.235 | 0.222 |
| | Fe-II | 0.088 | 0,024 | 0,060 | 0.064 | 0.028 |

**Tablo 5.12:** 2.5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyundan Filtre Boyunca Alınan Numunelerdeki Demir Konsantrasyonları (mg/L)

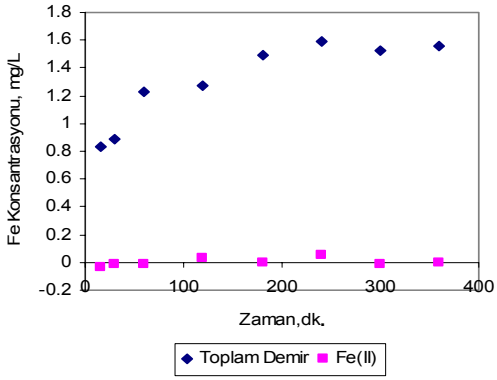
| Zaman (dak.) | Numune Türü | Kum Filtre 73 cm | Kum Filtre 51 cm | Çift Tabakalı Filtre 73 cm | Çift Tabakalı Filtre 51 cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | Toplam Demir | 0.872 | 0.747 | 0.842 | 0.9 |
| | Fe-II | 0.051 | 0.060 | 0.082 | 0.077 |
| 180 | Toplam Demir | 0.614 | 0.390 | 0.605 | 0.476 |
| | Fe-II | 0.028 | 0.028 | 0.047 | 0.079 |
| 360 | Toplam Demir | 0.612 | 0.416 | 0.573 | 0.545 |
| | Fe-II | 0.086 | 0.017 | 0.067 | 0.071 |



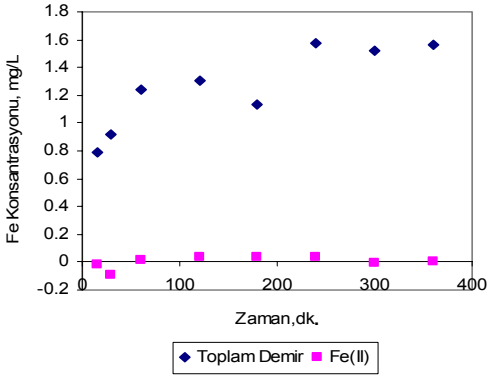

**Şekil 5.69:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



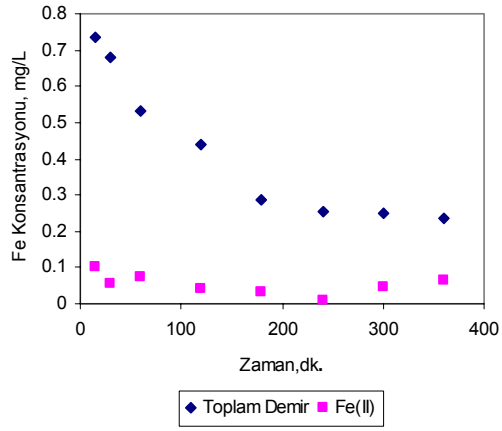

**Şekil 5.70:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Girişi Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



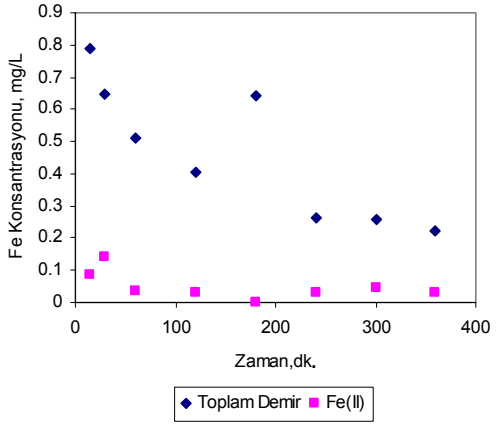

**Şekil 5.71:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



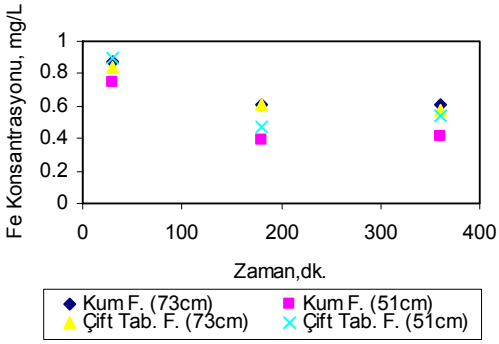

**Şekil 5.72:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



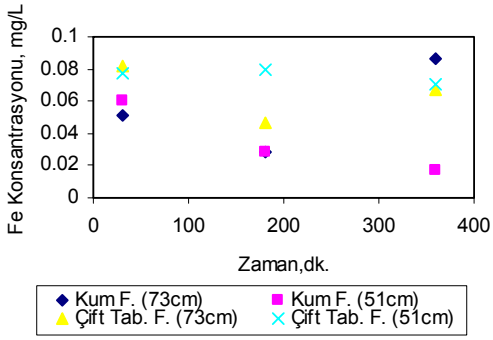

**Şekil 5.73:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre'deTutulan Demir Miktarının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.74:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre'deTutulan Demir Miktarının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.75:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Toplam Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



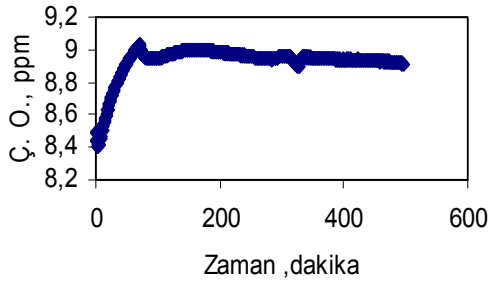

**Şekil 5.76:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Fe-II Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

Oksidasyon Tankı'nda demir, deney başlangıcından itibaren ilk 60 dak.'da % 60 oranında oksitlenmiştir. Kum Filtre'de demir giderimi %24 iken, çift tabakalı filtre için yapılan deneylere göre giderim gözlenememiştir. Zamana bağlı olarak toplam demir aynı kalmış buna karşılık Fe-II 1.861 mg/L'den 0.75 mg/L' düşmüştür. Şekil 5.69'dan Fe-II'nin oksidasyon hızı 0.0195 mg/L-dak. olarak bulunmuştur. Aynı eğrinin filtre girişi için çizilmesi çökelme sonrası durumu yansıtmaktadır. Tablo 5.11' deki değerlerin eğrisel gösterimleri, Şekil 5.70, Şekil 5.71, Şekil 5.72, Şekil 5.73, Şekil 5.74' te verilmektedir. Filtre Boyunca farklı yüksekliklerden (51 cm- 73 cm) alınan numunelerin Toplam Demir ve Fe-II konsantrasyonlarının zamana göre değişimi Şekil 75 ve Şekil 76'da gösterilmektedir.

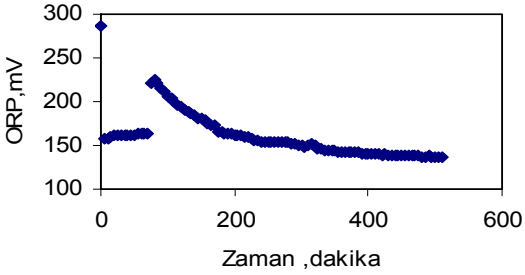
## 5.6. 5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyuyla Yapılan Deneysel Çalışmalar

### 5.6.1. 5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Oksidasyon Tankı Ölçümleri

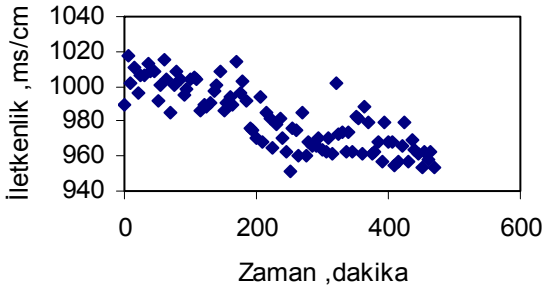
Musluk suyuna 5 mg/L demir ilave edilmesi dusumunda oksidasyon tankında ölçülen Çözünmüş oksijen (Ç.O.), oksidasyon ve redüksiyon potansiyeli (ORP), iletkenlik ve pH ölçüm sonuçları Şekil 5.77, 5.78, 5.79 ve 5.80' de gösterilmiştir.



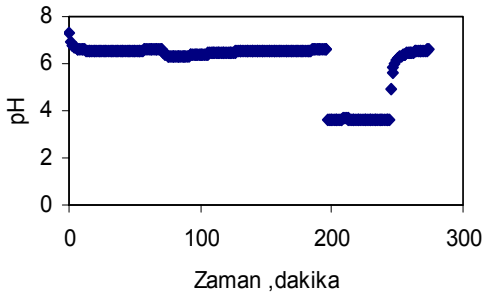

**Şekil 5.77:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki Ç.O. Konsantrasyonu'nun Zamanla Değişimi




**Şekil 5.78:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki ORP'nin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.79:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki İletkenliğin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.80:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı'ndaki pH'ın Zamanla Değişimi

Oksidasyon Tankı'nda Ç.O. konsantrasyonu başlangıçta 8.4 mg/L civarındadır. Tank içinde sürekli bir havalandırma vardır. Dışarıdan, difüzöre aynı miktarda hava verilmektedir. Kimyasalın tanka ilavesinden sonra meydana gelen hızlı reaksiyon sonucu Ç.O. miktarında hızlı bir düşüş meydana gelmiştir. Ç.O. konsantrasyonu 9 mg/L seviyesine kadar artmış, 60 dak.'dan sonra bu aralıkta sabit kalmıştır.

Oksidasyon ve redüksiyon potansiyeli (ORP) 150 ve 200 mV arasında değişim göstermektedir. (ORP) Oksidasyon ve redüksiyon potansiyeli, daha önceki

deneylerdeki eğri karakterinde değildir. Bunun deneysel hatadan ileri geldiği düşünülmektedir. Mevcut eğri, 150. dk. civarı ihmal edildiğinde kararlı bir ORP değerini göstermektedir. ORP düşük Fe konsantrasyonlarına göre düşmüş ve daha kararlı hale gelmiştir.

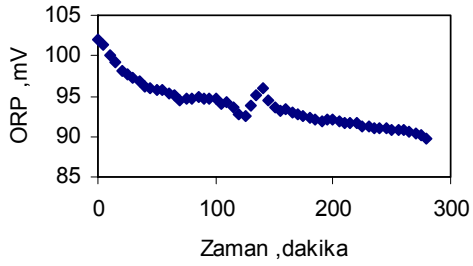
İletkenlik değerinde ise zamanla bir azalma olduğu görülmektedir. 1020 µS/cm'den 960 µS/cm'ye düşmüştür. Bu düşmenin, demir floklarının artan Fe konsantrasyonuna bağlı olarak büyümesi ve daha çok iyon tutmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

pH değeri 7.2'den 6.6'ya kadar inmiş ve bu civarda sabit kalmıştır. 190. dak.'da meydana gelen ani düşüş değeri, pH ölçüm aletinde meydana gelen deneysel hatadan kaynaklanmaktadır.

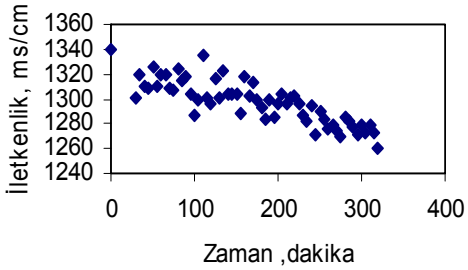
Sıcaklık değeri ise, 21.4$^{o}$C'den 21.9$^{o}$C'ye kadar artış göstermiştir. Bu artışın nedeninin, bölüm 5.2.1'de açıklananla aynı olduğu düşünülmektedir.

### 5.6.2. 5 mg/L Demir İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtrasyon Çıkışı Ölçüm Verileri

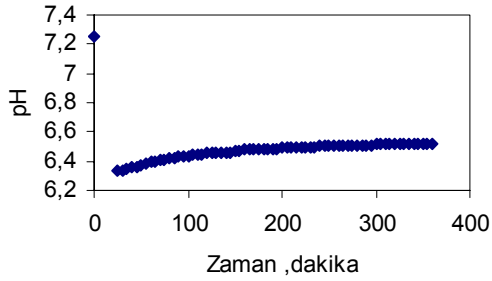
Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda ORP, iletkenlik, pH değerlerinin on-line ölçüm sonuçları Şekil 5.81, 5.82 ve 5.83'te görülmektedir.




**Şekil 5.81:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda ORP'nin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.82:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda İletkenliğin Zamanla Değişimi




**Şekil 5.83:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Tabakalı Filtre Çıkışı'nda pH'ın Zamanla Değişimi

5 mg/L Fe konsantrasyonunda ORP değerleri daha düşük konsantrasyonlardan tamamen farklı olarak çok küçük değerler almış ve zamanla azalmıştır. Bu durum sistemin daha kararlı hale geldiğini göstermektedir.

İletkenlik değerleri ise Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'nda 1340 µS/cm'den 1260 µS/cm seviyelerine kadar inmiştir. Bunun sebebi artan yumakların daha fazla iyonu tutmalarıdır.

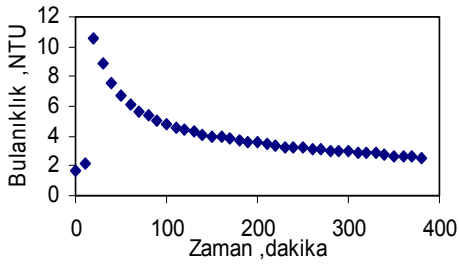
pH ve sıcaklıkta ise beklendiği gibi artış eğilimi vardır. pH, Oksidasyon Tankı'ndakine göre düşüktür ve 6.4-6.5 seviyelerindedir. Sistemde Fe konsantrasyonu arttıkça pH değerinin azalması;

$$4Fe^{2+} + O_2 + 10H_20 \longleftrightarrow 4Fe(OH)_{3(k)} + 8H^+$$

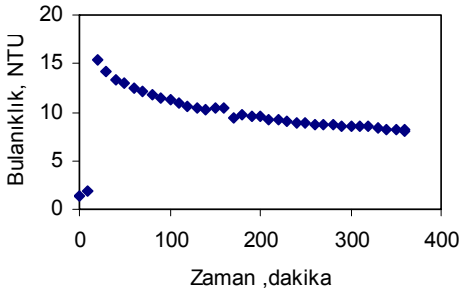
reaksiyonunun bir sonucudur. Fe-II arttıkça alkalinite (asit tamponlama kapasitesi) yetersiz kalmakta ve pH düşmektedir.

Sıcaklık değeri ise 22.8°C'den 23.5°C'a ulaşmıştır.

Tek ve Çift Tabakalı Filtre Çıkışları'nda gözlenen bulanıklık değerleri sırasıyla Şekil 5.84 ve 5.85'te görülmektedir.



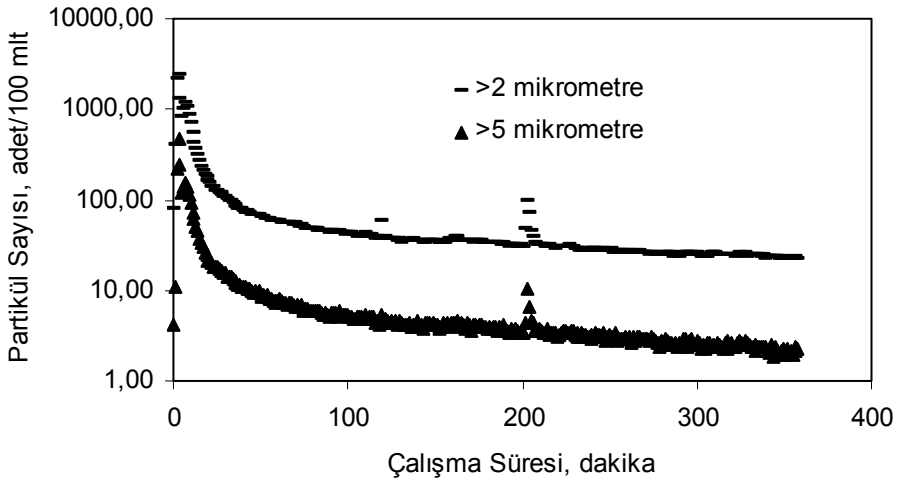

**Şekil 5.84:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi



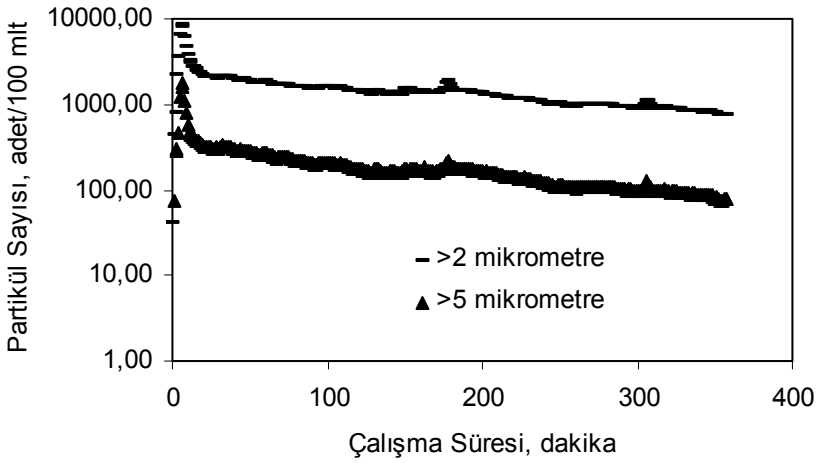

**Şekil 5.85:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Bulanıklık Değerlerinin Zamanla Değişimi

Kum Filtre için başlangıç bulanıklığı 10.6 NTU'dan deney sonunda 2.6 NTU'ya inmiştir. Çift Tabakalı Filtre'de ise bulanıklık 15.3 NTU seviyesinden 8.2 NTU'ya inmiştir. Her iki filtrede de zamanla bulanıklık değerlerini azaldığı görülmektedir. Özellikle, Kum Filtre'nin bulanıklığı gidermede oldukça başarılı olduğu sonucuna varılabilir.

Kum ve Çift Tabakalı Filtre Çıkışları'nda partikül boyut ve sayısı Şekil 5.86 ve 5.87'de görülmektedir.




**Şekil 5.86:** 5 mg/L Demir Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı'ndaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.87:** 5 mg/L Demir Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'ndaki Partikül Sayısı ve Boyut Dağılımının Zamanla Değişimi

Kum ve Çift Tabakalı Filtreleri'nde çıkış partikül boyut ve sayıları karşılaştırıldığında, Kum Filtre Çıkışları'nda Çift Tabakalı Filtre'ye nazaran partikül sayısında azalma olduğu görülmektedir. Kum Filtre'de, 100 mL'ye düşen >2 μm boyutlarındaki partikül sayısı 22 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre'de 770'tir. Yine, 100 mL'ye düşen >5 μm boyutlarındaki partikül sayısı 2 iken, bu değer Çift Tabakalı Filtre'de 79 adettir.

Oksidasyon Tankı, Filtre Girişi, Çıkışı ve filtre içerisinde yapılan demir ölçümleri; Tablo 5.13, 5.14, 5.15'te verilmektedir. Bu deneyde, musluk suyundan 0.358 mg/L Fe ilavesi geldiği ölçümle saptanmıştır.

**Tablo 5.13:** 5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için 1 Saatlik Oksidasyon Sırasındaki Demir Konsantrasyonları (mg/L)

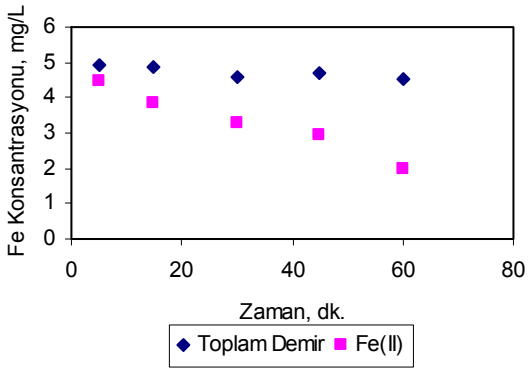
| Zaman | Numune Türü | Oksidasyon Tankı |
|---|---|---|
| 5 dak.. | Toplam Demir | 4.931 |
| | Fe-II | 4.481 |
| 15 dak. | Toplam Demir | 4.885 |
| | Fe-II | 3.851 |
| 30 dak. | Toplam Demir | 4.584 |
| | Fe-II | 3.279 |
| 45 dak. | Toplam Demir | 4.695 |
| | Fe-II | 2.934 |
| 60 dak. | Toplam Demir | 4.502 |
| | Fe-II | 1.967 |

**Tablo 5.14:** 5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyu için Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonları (mg/L)

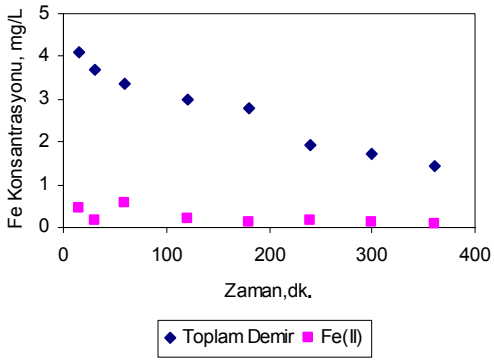
| Zaman (dak.) | Numune Türü | Filtre Girişi | Kum Filtre Çıkışı | Çift Tabakalı Filtre Çıkışı | Kum Filtre'de Tutulan Miktar | Çift Tabakalı Filtre'de Tutulan Miktar |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | Toplam Demir | 4.118 | 2.093 | 3.225 | 2.025 | 0.893 |
| | Fe-II | 0.436 | 0.259 | 0.294 | 0.177 | 0.142 |
| 30 | Toplam Demir | 3.697 | 1.893 | 2.983 | 1.804 | 0.714 |
| | Fe-II | 0.158 | 0.388 | 0.069 | -0.23 | 0.089 |
| 60 | Toplam Demir | 3.366 | 1.537 | 2.866 | 1.829 | 0.5 |
| | Fe-II | 0.588 | 0.427 | 0.435 | 0.161 | 0.153 |
| 120 | Toplam Demir | 2.978 | 1.254 | 2.462 | 1.724 | 0.516 |
| | Fe-II | 0.224 | 0.489 | 0.05 | -0.265 | 0.174 |
| 180 | Toplam Demir | 2.792 | 1.353 | 2.483 | 1.439 | 0.309 |
| | Fe-II | 0.142 | 0.149 | -0.177 | -0.007 | 0.319 |
| 240 | Toplam Demir | 1.941 | 0.863 | 1.556 | 1.078 | 0.385 |
| | Fe-II | 0.158 | 0.319 | 0.035 | -0.161 | 0.123 |
| 300 | Toplam Demir | 1.709 | 0.698 | 1.498 | 1.011 | 0.211 |
| | Fe-II | 0.107 | 0.323 | 0 | -0.216 | 0.107 |
| 360 | Toplam Demir | 1.415 | 0.633 | 1.207 | 0.782 | 0.208 |
| | Fe-II | 0.093 | 0.16 | -0.016 | -0.067 | 0.109 |

**Tablo 5.15:** 5 mg/L Fe İlave Edilmiş Musluk Suyundan Filtre Boyunca Alınan Numunelerdeki Demir Konsantrasyonları (mg/L)

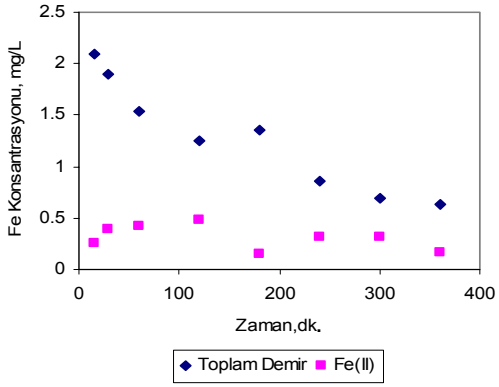
| Zaman (dak.) | Numune Türü | Kum Filtre 73 cm | Kum Filtre 51 cm | Çift Tabakalı Filtre 73 cm | Çift Tabakalı Filtre 51 cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | Toplam Demir | 1.174 | 0.932 | 0.877 | 0.682 |
| | Fe-II | 0.116 | 0.105 | 0.121 | 0.153 |
| 180 | Toplam Demir | 0.661 | 0.539 | 0.594 | 0.422 |
| | Fe-II | 0.077 | 0.130 | 0.116 | 0.052 |
| 360 | Toplam Demir | 0.385 | 0.523 | 0.69 | 0.485 |
| | Fe-II | 0.091 | 0.204 | 0.079 | 0.058 |



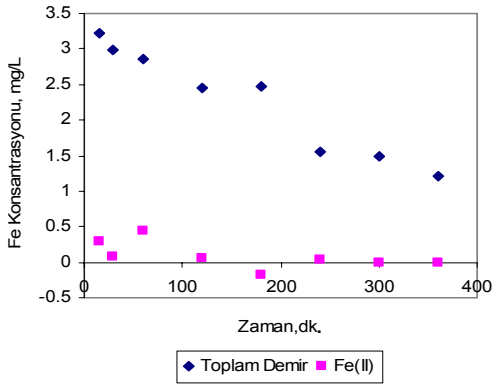

**Şekil 5.88:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Oksidasyon Tankı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



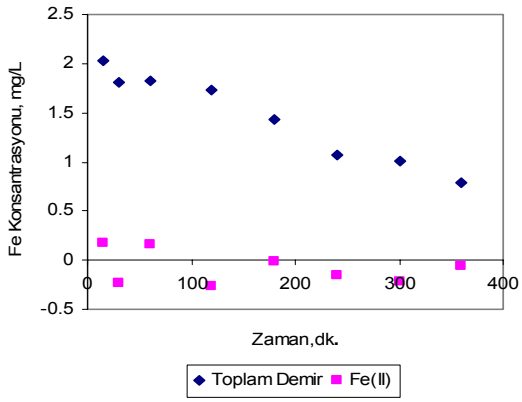

**Şekil 5.89:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Girişi Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



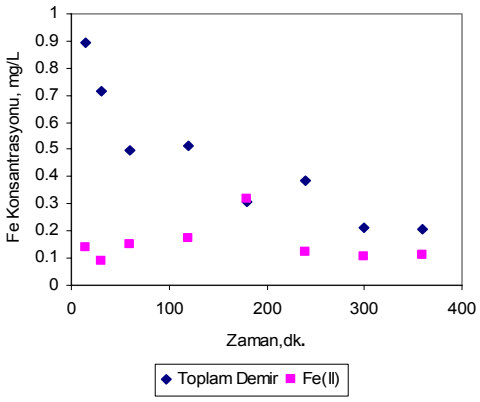

**Şekil 5.90:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



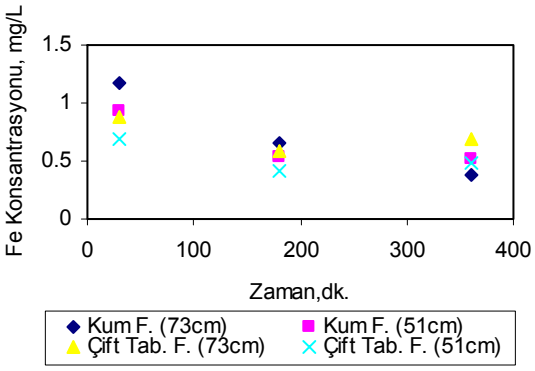

**Şekil 5.91:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



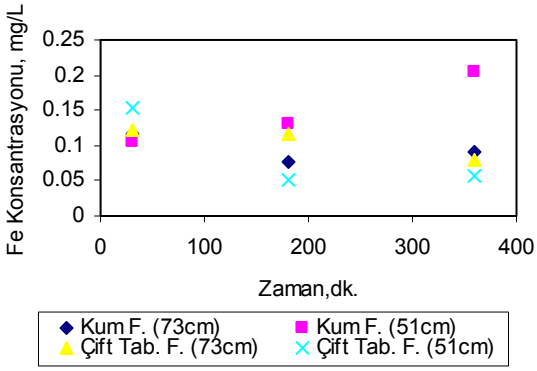

**Şekil 5.92:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Kum Filtre'deTutulan Demir Miktarının Zamanla Değişimi




**Şekil 5.93:** 5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Çift Tabakalı Filtre'deTutulan Demir Miktarının Zamanla Değişimi



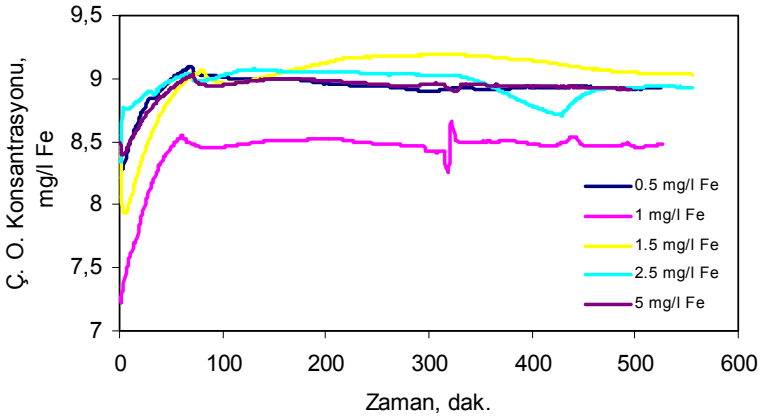

**Şekil 5.94:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Toplam Demir Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi




**Şekil 5.95:** 2.5 mg/L Fe Konsantrasyonu için Filtre Boyunca Fe-II Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

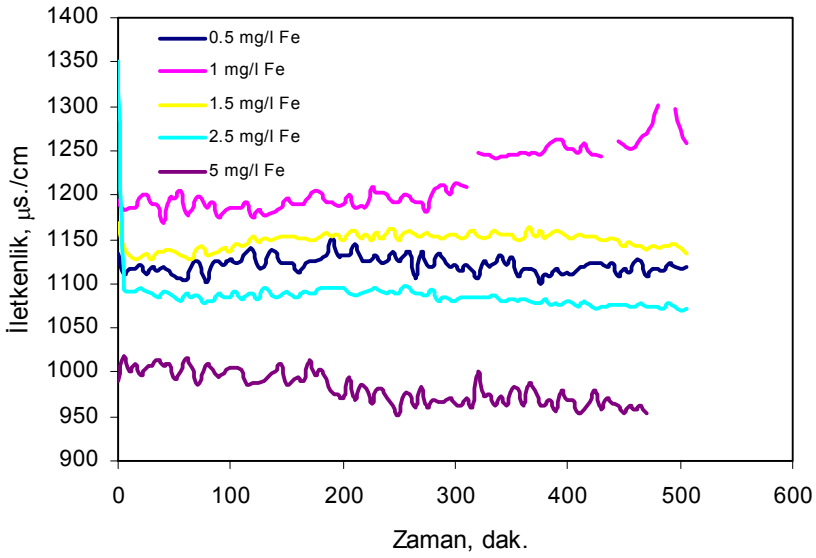
Oksidasyon Tankı'nda %56'lık bir demir giderimi sağlanmıştır. Kum filtrasyonu sonucu elimizdeki verilere göre, bir giderim sağlanamamıştır. Çift Tabakalı Filtre'de ise, %35'lik giderim sağlanmıştır. Şekil 5.88'den Fe-II'nin oksidasyon hızı 0.0423 mg/L-dak. olarak bulunmuştur. Aynı eğrinin filtre girişi için çizilmesi çökelme sonrası durumu yansıtmaktadır. Tablo 5.14' deki değerlerin eğrisel gösterimleri, Şekil 5.89, Şekil 5.90, Şekil 5.91, Şekil 5.92, Şekil 5.93' de verilmektedir. Filtre Boyunca farklı yüksekliklerden (51 cm- 73 cm) alınan numunelerin Toplam Demir ve Fe-II konsantrasyonlarının zamana göre değişimi Şekil 94 ve Şekil 95'te gösterilmektedir.

## 5.7. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi



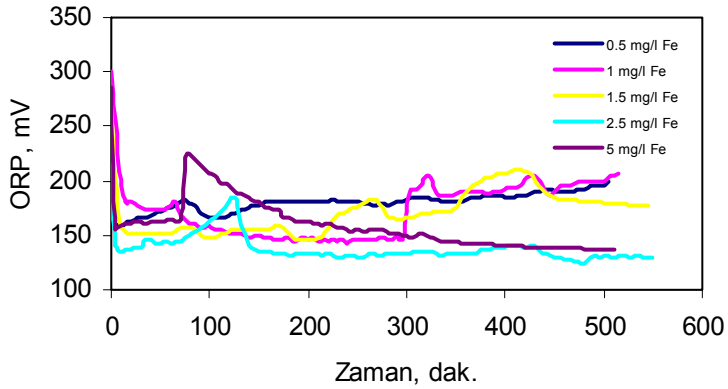

**Şekil 5.96:** Farklı Demir Konsantrasyonları için Oksidasyon Tankı'ndaki Ç.O. Konsantrasyonları

Şekil 5.96'da görüldüğü üzere, Ç.O. konsantrasyonu tüm konsantrasyonlarda aynı eğilim çizgisinde hareket etmektedir. Sisteme, oksijen sağlayan hava rotometresi her deney için aynı değere (50 psig) ayarlanmaya çalışılsa da, gerek rotometredeki skalanın yeterince hassas olmaması, gerekse hava hattındaki basınç değişimlerinden dolayı aynı Ç.O. konsantrasyonunun sağlanmasında güçlükle karşılaşılmıştır.



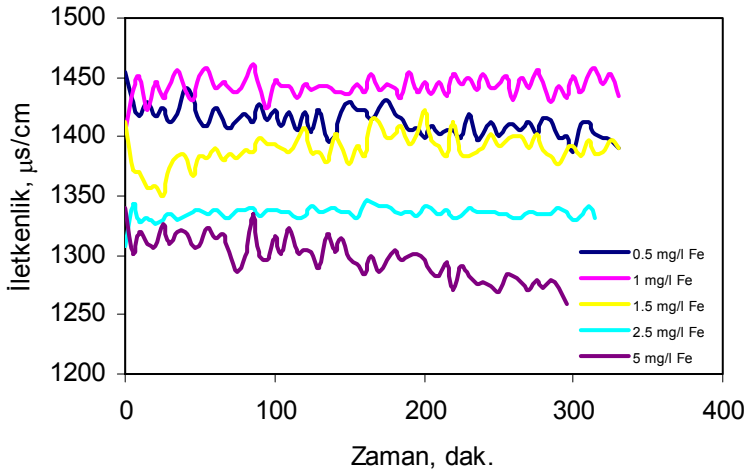

**Şekil 5.97:** Farklı Demir Konsantrasyonları için Oksidasyon Tankı'ndaki İletkenlik Değerlerinin Değişimi

Şekil 5.97'de görüldüğü gibi, başlangıç (Oksidasyon Tankı'ndaki) Fe-II konsantrasyonunun artması iletkenlikte küçük azalmalara yol açtığı görülmektedir. Bunun sebebinin, artan Fe(III) floklarının iletkenliğe yol açan iyonları kısmen tutmasından kaynaklandığı düşülmektedir.



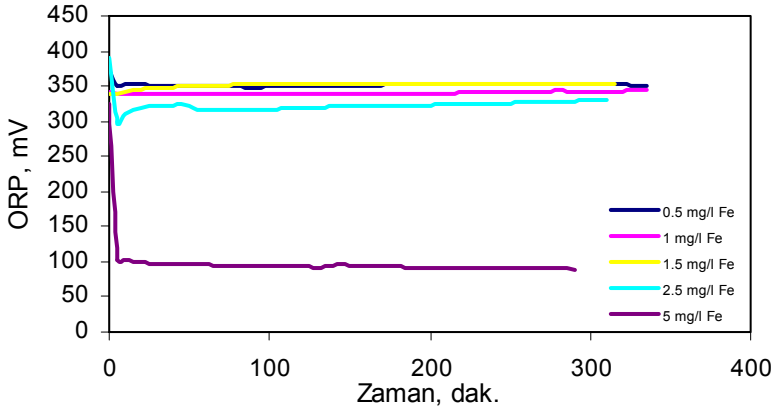

**Şekil 5.98:** Farklı Demir Konsantrasyonları için Oksidasyon Tankı'ndaki ORP Değerlerinin Değişimi

Oksidasyon Tankı'ndaki ORP değerleri, Şekil 5.98'de görüldüğü gibi deney yapılan her konsantrasyonda benzer eğilim göstermektedir.



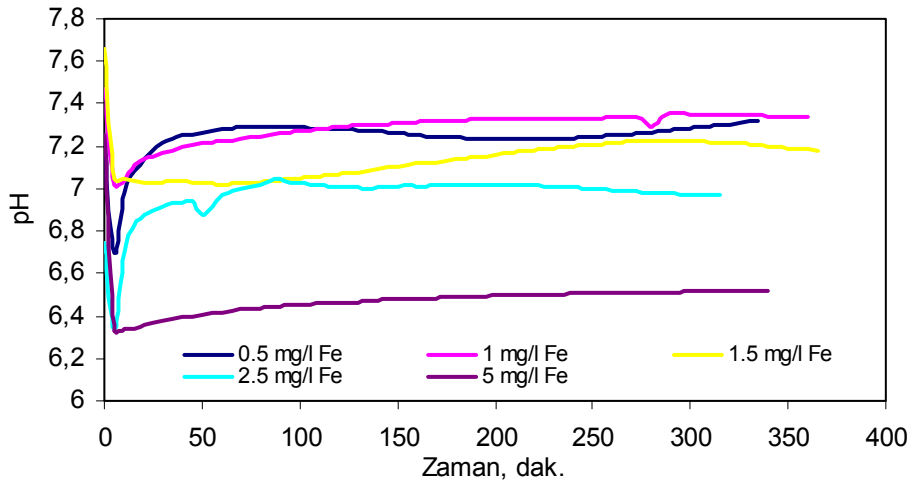

**Şekil 5.99:** Farklı Demir Konsantrasyonları için Filtrasyon Çıkışı'ndaki İletkenlik Değerlerinin Değişimi

Şekil 5.99'da görüldüğü üzere, Çift Tabakalı Filtre'de iletkenliğin ortalama 1100 µS/cm değerinden yaklaşık 1300 µS/cm mertebesine yükseldiği, başlangıç Fe-II konsantrasyonları ne olursa olsun Filtre Çıkışları'nda iletkenliğin arttığı görülmüştür. Bu sonuç antrasitin iletkenliği meydana getiren iyonları tutmada yetersiz olduğunu göstermektedir. Filtrasyon esnasında iletkenliğin artmasının filtredeki hidrostatik basıncın etkisiyle Fe-III yumakları arasında tutulan bir takım iyonların yıkanmasından kaynaklanabileceği düşülmektedir.



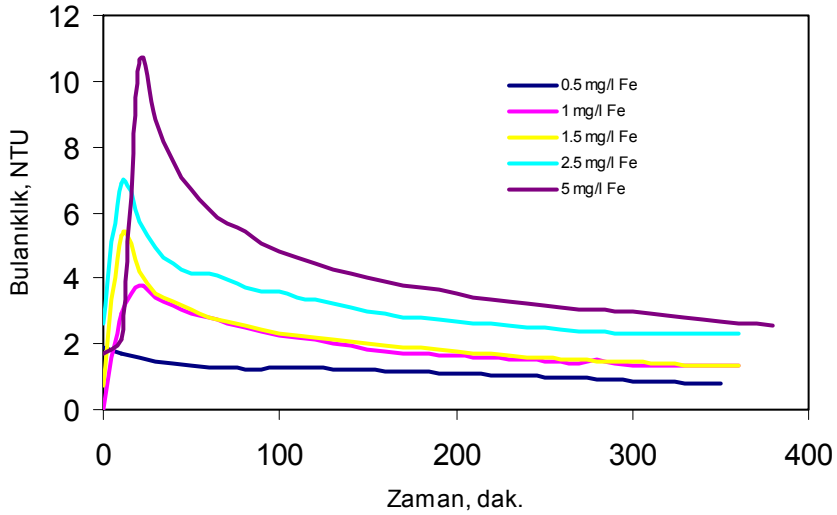

**Şekil 5.100:** Farklı Demir Konsantrasyonları için Filtrasyon Çıkışı'ndaki ORP Değerlerinin Değişimi

Şekil 5.100'den görüldüğü üzere, ORP değerinin filtrasyon çıkışında Oksidasyon Tankı'na (Filtre Girişi) göre daha büyük ölçülmesinin sebebi, iletkenlikte olduğu gibi hidrostatik basınç etkisiyle floklardaki iyonların kurtulması olduğu düşünülmektedir.

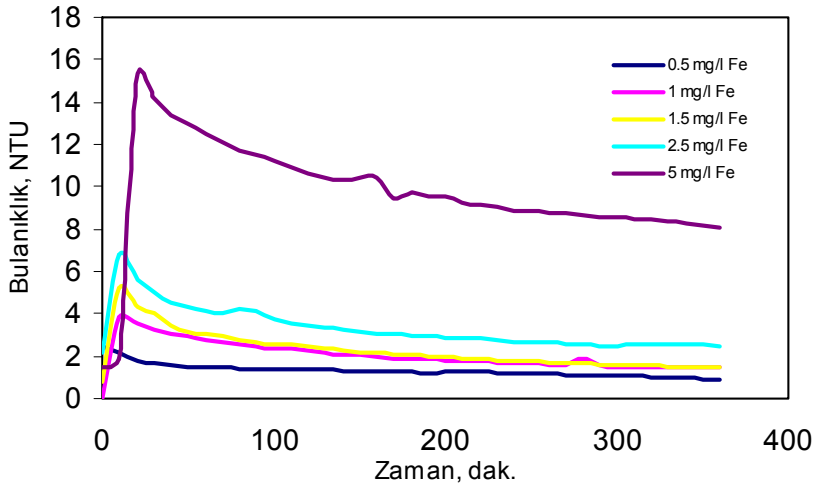



**Şekil 5.101:** Farklı Demir Konsantrasyonları için Filtrasyon Çıkışı'ndaki pH Değerlerinin Değişimi

Farklı konsantrasyonlar için, filtrasyon çıkışlarındaki pH değerleri Şekil 5.101'de gösterilmiştir.




**Şekil 5.102:** Farklı Demir Konsantrasyonları için Kum Filtre Çıkışı'ndaki Bulanıklık Değerlerinin Değişimi




**Şekil 5.103:** Farklı Demir Konsantrasyonları için Çift Tabakalı Filtre Çıkışı'ndaki Bulanıklık Değerlerinin Değişimi

Şekil 5.102 ve 5.103 'te görüldüğü üzere, her iki Filtre Çıkışı için aynı konsantrasyonlardaki bulanıklık değerlerinin benzer eğilim arz etmektedir.

# 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çift tabaklı (antrasit + kum) filtrasyonla demir giderimi ile partikül sayı ve büyüklüğü arasındaki ilişkinin deneysel olarak araştırıldığı bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- ✓ Giriş Fe-II konsantrasyonu ile Filtre Çıkışı'ndaki partikül boyut ve sayısı arasında kesin bir sonuç bulunamamıştır.
- ✓ Kum Filtre, bulanıklık ve demir gideriminde Tabakalı Filtre'ye nazaran daha verimli bulunmuştur.
- ✓ Kum Filtre Çıkışı'ndaki partikül sayı ve konsantrasyonu, Tabakalı Filtre'dekine oranla daha düşük çıkmıştır.
- ✓ Filtre Çıkışı'ndaki iletkenlik değerleri, Filtre Girişi'ne göre yüksek bulunmuştur. Bu sonuç, antrasitin iletkenliği meydana getiren iyonları tutmada yetersiz olduğunu göstermektedir.
- ✓ Düşük konsantrasyonlardaki demiri gidermenin, yüksek konsantrasyonlara göre çok daha zor olduğu görülmüştür.
- ✓ Gerçek sularda, havadaki $O_2$ ile Fe-II'nin reaksiyonu oldukça yavaş gerçekleşmiştir. Bu nedenle klasik su arıtma sistemlerinde özellikle 0.5-1 mg/L mertebesindeki Fe-II'nin yeterince oksidasyonu ve giderimi sağlanamamaktadır.
- ✓ Partikül boyutunu arttıracak işletme koşullarının geliştirilmesi gerekmektedir.
- ✓ Bu çalışma kapsamında yapılan elde edilen deney sonuçları ile filtre boyunca meydana gelen oksidasyon ve tutunma konusunda genel bir sonuç elde etmek mümkün olamamıştır. Daha sık aralıklarda alınacak örnekler aracılığıyla daha hassas ölçümler yapılarak filtre boyunca meydana gelebilecek oksidasyon ve tutunma mekanizmaları incelenebilir.

## KAYNAKLAR


**Blagojevich, Rod R., et all. ,** 1999. Environmental Health Sheet : Iron and Drinking Water, Illionis Department of Public Health, 535 Illinois, *http://www.idph.state.il.us/envhealth/factsheets/ironFS.htm*

**Carlson, K.H., Knocke, W.R. ve Gertig, K.R.,** 1997. Optimizing treatment through Fe and Mn fractionation, *Journal of American Water Works Association*, **89** (4), 162-171.

**Colwell. M.,** 2000. Using particle counters to optimize water treatment plants. *63rd Annual Water Industry Engineers and Operators Conference,* 6-7 September 2000. Civic Centre-Warrnambool.

**Çakmakcı, M.,** 2006. Sulardaki Fe (II) konsantrasyonu ile filtre yük kayıpları arasındaki ilişkinin araştırılması, *Doktora Tezi*. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**EC.,**1998. Official Journal of the European Communities. December 5 1998; *Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption, L330/32 – L330/50.*

**EPA.,** 1992. Secondary Drinking Water Regulations: *Guidance for Nuisance Chemicals. EPA 810/K-92-001.*

**Eroğlu, V.,** 1995. Su Tasfiyesi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

**Glenda, M. Herman, et all.,** 1996. Iron and Manganese in Household Water, *http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/publicat/wqwm/he394.html*

**Günay. A.,** 2005. Çevre Mühendisleri için Su Kimyası ve Kimyasal Temel İşlemler, Kelebek Matbaası, İstanbul.

**Hatukai, S., Ben-Tzur, Y., Rebhun, M.,** 1997. Particle counts and size distribution in system design for removal of turbidity by granular deep bed filtration, *Water Science Technolog ,* **36** (4), 225-230.

**Hendricks, David W.,** 2006. Water Treatment Unit Processes, CRC Press Taylor&Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW. Suite 300.

http://www.dnr.state.wi.us/org/water/dwg/pubs/IronInWell.pdf

http://www.edstrom.com/DocLib/MI4146.pdf

http://www.excelwater.com/eng/b2c/iron.php?WL_Session=9e35442aeea92f26b64cc7b04ddca0d4

http ://www.geology.iupui.edu.research/SoilsLab/procedures/bulkindex.htm

http://www.mii.org/Minerals/photoiron.html

http://www.pir.sa.gov.au

**Langlais B., et all.,** 1991. Ozone in Water Treatment Application and Engineering, Lewis Publishers, inc., 121 South Main Street, Chelsea, Michigan 48118.

**Logsdon, G.S., Hess, A.F., Chipps, M.J. ve Rachwal, A.J.,** 2002. Filter Maintenance and Operations Guidance Manuel, AWWA Research Foundation and AWWA, Denver, Colo., USA

**Özgün, H.,** 2007. Oksidasyon ve filtrasyon aşamalarında sulardan mangan giderimini etkileyen bazı faktörlerin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Sallanko, J., Lakso, E.. ve Lehmikangas. M..** 2004. Effect of adsorption on filtration results of groundwater, *Water Science and Technology: Water Supply*. **4** (5-6). 157-163.

**Sharma, S.K., Greetham, M.R., ve Schippers, J.C.,** 1999. Adsorption of iron(II) onto filter media. *Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua*. **48**(3). 84–91.

**Tech Brief.,** 1998. Iron and manganese removal, *http://www.ndwc.wvu.edu.*

**Tünay, O.,** 1992. Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler, İTÜ Yayınları, İstanbul.

**TS-266**, 1984. Sular-İçme ve Kullanma Suları , *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

**Ünal, A.,** 2003. Fe(II) ve Mn(II)' nin Atmosferik Oksijenle Oksidasyonuna Suda Bulunan Bazı Organik ve İnorganik Maddelerin Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*. İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**WHO,** 1996. Guidelines for Drinking Water Quality: *2nd Edition, Vol 2 – Health Criteria and other supporting information. World Health Organisation, Geneva.*

**Williams, P.,** 2002. Biological iron and manganese removal as a viable alternative for groundwater treatment. *http://www.esemag.com./index.html.*

## ÖZGEÇMİŞ

13 Temmuz 1981 tarihinde Gelibolu'da doğdu. Orta öğrenimini Gelibolu Orgeneral Eşref Bitlis Ortaokulu, lise öğrenimini ise İstanbul Bakırköy Sabri Çalışkan Lisesi'nde 1999 yılında tamamladı. İstanbul Teknik Üniversitesi'nin bir yıllık İngilizce hazırlık programını tamamladıktan sonra. Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü'nden 2004 yılında mezun oldu. Halen İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programında eğitimine devam etmektedir.