Pilot Ölçekli Membran Sistemleri ile Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit Tesisi Espey Bölgesi Kaynak Suyunda Bor ve Arsenik Giderimi

Süleyman Ün

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2019

Boron and Arsenic Removal from Emet Boron Operations Directorate Boric Acid Plant Espey Area Spring Water with Pilot Scale Membrane Systems

Süleyman Ün

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Chemical Engineering

January 2019

Pilot Ölçekli Membran Sistemleri ile Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit Tesisi Espey Bölgesi Kaynak Suyunda Bor ve Arsenik Giderimi

Süleyman Ün

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Kimya Mühendisliği Bölümü
Proses ve Reaktör Tasarımı Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Duygu Kavak

Ocak 2019

ONAY

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Süleyman Ün'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Pilot Ölçekli Membran Sistemleri ile Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit Tesisi Espey Bölgesi Kaynak Suyunda Bor ve Arsenik Giderimi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman **:** Doç. Dr. Duygu Kavak

İkinci Danışman **:**– –

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Doç. Dr. Duygu Kavak

Üye: Prof. Dr. Müfide Banar

Üye: Doç. Dr. Yeliz Aşçı

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .....tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Duygu Kavak danışmanlığında hazırlamış olduğum "Pilot Ölçekli Membran Sistemleri ile Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit Tesisi Espey Bölgesi Kaynak Suyunda Bor ve Arsenik Giderimi" başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 11/01/2019

Süleyman Ün

ÖZET

Yeryüzündeki kullanılabilir su kaynaklarının hızla azalması, sanayideki su kullanımının artışı ve yüksek miktardaki atık su oluşumu; işletmeleri atık su üretiminin en aza indirilmesine, arıtım teknolojilerinin uygulanmasına, değerli ve kullanılabilir maddelerin tekrar kazanılmasına ve arıtılan suların tekrar kullanımına yöneltmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Pilot Ölçekli Membran Sistemleri ile Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit Tesisi Espey Bölgesi Kaynak Suyunda Bor ve Arsenik Gideriminin İncelenmesidir. Çalışmada, kurulumu yapılan pilot tesiste farklı pH değerlerinde, ultrafiltrasyon için BASF İnge Dizzer Multibore 1,5 Ticari Membranı, kuyu suyu ters osmoz için LG Chem LG BW 4040 ES ticari membranı ve deniz suyu ters osmoz için Dupont Dow Filmtec SW30-4040 ticari membranının performansları değerlendirilmiştir. Kireç ilavesi yapılmadan ters osmoz membranları ile yapılan denemelerde 1. kademe ve 2. kademelerde deniz suyu ters osmoz membranı denemelerinde %98,95 Bor ve %100 Arsenik giderimine ulaşılmıştır. Kireçleme ünitesi sonrası alınan sularda tek kademe kuyu suyu ters osmoz membranı uygulandığında %58 bor giderimi, tek kademe deniz suyu ters osmoz membranı uygulandığında %88 bor giderimi görülmüştür.

Sonuçlara göre; kullanılan membranın ve çalışma şartlarının atık sudan bor giderimi için uygun olduğu, arıtılmış suyun Emet Bor İşletme Müdürlüğünde üretim aşamalarında kullanılabilecek kalitede olduğu ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen parametrelerin sağlandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Membran, Atık Su Arıtımı, Bor, Ters Osmos, Espey

SUMMARY

The rapid reduction of available water resources in the world, increased water use in industry and high amount of wastewater generation; has directed enterprises to minimize wastewater production, application of treatment technologies, recovery of valuable and usable substances and reuse of treated water.

The aim of this study is boron and arsenic removal from Emet Boron Operations Directorate Boric Acid Plant Espey area spring water with pilot scale membrane systems. In this study, performanses of BASF Inge Dizzer Multibore 1.5 Commercial Membrane for ultrafiltration, LG Chem LG BW 4040 ES for commercial for BWRO, Dupont Dow Filmtec SW30-4040 commercial membrane for SWRO at pilot plant for different pH values was evaluated. In the experiments conducted with RO membranes without the addition of lime, SWRO membrane tests in the 1st and 2nd stages were 98,95% boron and 100% arsenic removal. When the one stage BWRO membrane was applied, it was found that 58% boron removal, and when one stage SWRO membrane was applied, 88% boron removal were observed in the waters taken after the liming unit.

According to the results; it is seen that the used membrane and working conditions are suitable for boron removal from wastewater and that the treated water can be used in production stages at Emet Boron Works Directorate and it has been found that it provides the parameters specified in the Regulation on Water Pollution Control.

Key Words: Membrane, Wastewater Treatment, Boron, Reverse Osmosis, Espey

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan danışman hocam Doç. Dr. Duygu KAVAK'a, yoğun ve stresli geçen çalışmalarım sırasında desteğini hep arkamda hissettiğim biricik eşim Zehra'ya, çalışmalarıma enerji ve motivasyon kattıkları için canım çocuklarım Elif Yüsra ve İbrahim Kayra'ya, Yüksek lisans öğrenim hayatımın her aşamasında üzerimde emeği bulunan tüm bölüm hocalarıma, Emet Bor İşletme Müdürlüğü Espey Bölgesi kaynak sularının arıtılması projesinin bir kısmında bu çalışmayı yapmama izin vererek desteklerini esirgemeyen başta Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürü Serkan KELEŞER olmak üzere tüm Eti Maden Ailesine, tez çalışmalarım boyunca düşünce ve önerilerini benden esirgemeyen İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof.Dr. İsmail KOYUNCU ve Çevre Mühendisi Anıl KAZAK'a, çalışmamda kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren ve gelecekteki hayatında çok daha başarılı olacağına inandığım kıymetli meslektaşım Kimya Yüksek Mühendisi Elif KÜLAH KUZU'ya, Emet Bor İşletme Müdürlüğü bünyesinde beraber çalıştığımız tüm iş arkadaşlarıma, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ve son olarak; beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi

SUMMARY vii

TEŞEKKÜR viii

İÇİNDEKİLER ix

ŞEKİLLER DİZİNİ xiii

ÇİZELGELER DİZİNİ xvii

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xxi

1. GİRİŞ VE AMAÇ 1

2. ATIK SU 3

2.1. Atık Su Arıtım Yöntemleri 3

2.1.1. Fiziksel arıtım 4

2.1.2. Kimyasal arıtım 5

2.1.3. Biyolojik arıtım 6

2.1.4. İleri ve son arıtma metotları 6

3. MEMBRAN SİSTEMLERİ 8

3.1. Membranların Avantaj ve Dezavantajları 11

3.2. Membran Performansını Etkileyen Faktörler 12

3.2.1. Basınç 13

3.2.2. Konsantrasyon 13

3.2.3. Sıcaklık 13

3.2.4. pH 13

3.2.5. Viskozite 14

3.3. Membranların Sınıflandırılması 14

3.3.1. Membranların yapısı ve morfolojisi 14

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.3.2. Membranlarda nitelik ve materyal 15
3.3.3. Membranlarda geometrik yapı 16
3.3.3.1. Düz plaka membranlar 17
3.3.3.2. İçi boşluklu fiber membranlar 17
3.3.3.3. Tübüler membranlar 18
3.3.3.4. Spiral sargı membranlar 18
3.3.4. Membranlarda Ayırma Prosesi 19
3.4. Basıncın Yürütücü Güç Olduğu Membran Teknolojileri 20
3.4.1. Mikrofiltrasyon 21
3.4.2. Ultrafiltrasyon 22
3.4.3. Nanofiltrasyon 22
3.4.4. Ters Osmoz 23
3.5. Membran Sistemlerinin Atık Su Arıtımdaki İşletim Şekilleri 24
3.5.1. Klasik akış 24
3.5.2. Çapraz Akış 24
3.6. Konsantrasyon Polarizasyonu, Kirlenme ve Membran Temizlenmesi 25
4. KİMYASAL ÇÖKTÜRME 27
5. BOR ENDÜSTRİSİ 28
5.1. Bor Elementinin Özellikleri 29
5.2. Önemli Bor Bileşikleri 31
5.2.1. Boraks (Tinkal) ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) 32
5.2.2. Kernit ($Na_2B_4O_7.4H_2O$) 32
5.2.3. Üleksit ($NaCaB_5O_9.8H_2O$) 33

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.2.4. Kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.H_2O$) 33
5.2.5. Probertit ($NaCaB_5O_9.5H_2O$) 34
5.2.6. Pandermit ($Ca_2B_{10}O_{19}.7H_2O$) 34
5.2.7. Hidroborasit ($CaMgB_6O_{11}.6H_2O$) 35
5.3. Borun Kullanım Alanları 36
5.4. Dünya Bor Rezervleri 38
5.5. Türkiye'deki Bor Yatakları 40
5.6. Borun Canlılar Üzerine Etkileri 41
5.7. Yüksek Bor İçerikli Suyun Arıtımı 43
5.8. Emet Bor İşletme Müdürlüğü Tanıtımı 43
6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 45
7. MATERYAL VE YÖNTEM 48
7.1. Pilot Ölçekli Ters Osmoz Denemeleri 48
7.2. Gutzeit Yöntemi ile As Tayini 49
7.3. B_2O_3 Tayini (TS 2481) 49
8. BULGULAR VE TARTIŞMA 53
8.1. Kireç İlaveli Atık Suda Tek Kademeli Kuyu Suyu RO Membranı Uygulaması 53
8.2. Kireç İlaveli Atık Suda Tek Kademeli Deniz Suyu RO Membranı Uygulaması 58
8.3. Kireç İlavesiz Atık Suda Tek Kademeli Deniz Suyu RO Membranı Uygulaması 60
8.4. Kireç İlavesiz Atık Suda İki Kademeli Deniz Suyu / Deniz Suyu RO Membranı Uygulaması 69
8.5. Kireç İlavesiz Atık Suda İki Kademeli Kuyu Suyu RO / Deniz Suyu RO Membranı Uygulaması 115

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

8.6. Kireç İlavesiz Atık Suda İki Kademeli Deniz Suyu RO / Kuyu Suyu RO Membranı Uygulaması 130

8.7. Kireç İlavesiz Atık Suda İki Kademeli Kuyu Suyu RO / Kuyu Suyu RO Membranı Uygulanması 144

8.8. pH'ın Giderim Verimine Etkisi 154

9. SONUÇ VE ÖNERİLER 156

KAYNAKLAR DİZİNİ 161

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

3.1. Membranın Şematik Gösterimi 10
3.2. Membranların Sınıflandırılması 14
3.3. Membranların Morfolojilerine Göre Sınıflandırılması 15
3.4. Membranlarda Geometrik Yapı 17
3.5. Gözenek Boyutlarına Göre Membran Kapasiteleri 21
3.6. Membran Proseslerinde Akış Şekilleri 24
3.7. Membran Yüzeyinde Oluşan Kirlilik Tipleri 26

5.1. Bor Madeni 29
5.2. Bor Atomu Kabuk Yapısı 30
5.3. Tinkal Mineralinin Görüntüsü 32
5.4. Kernit Mineralinin Görüntüsü 32
5.5. Üleksit Mineralinin Görüntüsü 33
5.6. Kolemanit Minarelinin Görüntüsü 33
5.7. Probertit Mineralinin Görüntüsü 34
5.8. Pandermit Mineralinin Görüntüsü 34
5.9. Hidroborasit Mineralinin Görüntüsü 35
5.10. Borun Temel Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı 38
5.11. Türkiye'de Bor Rezervleri 40

7.1. Çalışmaların Yürütüldüğü Pilot Tesisin Genel Görünümü 50
7.2. Çalışma Kapsamında Yapılan Ters Osmoz Çalışmalarının Akış Diagramı 52

8.1. Pilot Tesis Ekipmanına Kirecin Olumsuz Etkisi 55
8.2.a. Kuyu Suyu RO Sistemine Ait Besleme-Çıkış Suyu İletkenlik-Zaman Grafiği 55
8.2.b. Kuyu Suyu RO Sistemine Ait Akı-Zaman Grafiği 56
8.3.a. Kuyu Suyu RO Sistemine Ait Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Zaman Grafiği 57
8.3.b. Kuyu Suyu RO Sistemine Ait Akı-Zaman Grafiği 57
8.4. Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Zaman grafiği 62
8.5. Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 63
8.6. Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Zaman Grafiği 64
8.7. Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 64

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

8.8. Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 65
8.9. Akı - Geri Kazanım Oranı 66
8.10. Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 67
8.11. Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 67
8.12. Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 68
8.13. Akı - Geri Kazanım Oranı Verimi Grafiği 69
8.14. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 72
8.15. 1. KademeAkı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 73
8.16. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 74
8.17. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 74
8.18. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 75
8.19. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 76
8.20. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 77
8.21. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 77
8.22. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 78
8.23. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 79
8.24. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 80
8.25. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 80
8.26. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 81
8.27. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 82
8.28. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 83
8.29. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 83
8.30. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 84
8.31. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 85
8.32. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 86
8.33. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 86
8.34. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 87
8.35. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 88
8.36. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 89
8.37. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 89
8.38. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 91
8.39. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 91

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

8.40. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 92
8.41. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 93
8.42. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 94
8.43. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 95
8.44. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 96
8.45. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 96
8.46. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 98
8.47. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 98
8.48. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 99
8.49. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 100
8.50. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 101
8.51. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 101
8.52. pH'ın Bor Giderim Verimine Etkisi 102
8.53. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 105
8.54. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 106
8.55. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 107
8.56. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 107
8.57. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 109
8.58. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 109
8.59. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 111
8.60. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 111
8.61. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 113
8.62. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 113
8.63. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 114
8.64. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 115
8.65. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 119
8.66. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 119
8.67. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 121
8.68. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 121
8.69. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 123
8.70. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 123
8.71. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 125

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

8.72. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 125
8.73. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 127
8.74. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 127
8.75. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 129
8.76. 2. Kademe Akı- Geri Kazanım Oranı Grafiği 129
8.77. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 133
8.78. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 133
8.79. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı 135
8.80. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 135
8.81. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 137
8.82. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 137
8.83. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 139
8.84. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 139
8.85. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 141
8.86. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 141
8.87. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 143
8.88. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 143
8.89. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 147
8.90. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 147
8.91. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 149
8.92. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 149
8.93. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 151
8.94. 1.Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 151
8.95. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği 153
8.96. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği 153
8.97. pH'ın Bor Giderim Verimine (%) Etkisi 155

9.1. Pilot Ölçekli Ters Osmoz Çalışması Özet Sonuçları 157
9.2. Kireçleme Sonrası Alınan Suyun Yarattığı İşletme Problemleri 157
9.3. pH'ın Bor Giderim Verimine Etkisi 158
9.4. Espey Bölgesi Kaynak Suyu İçin Tavsiye Edilen Akış Diyagramı 159

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Atık Su Arıtım Yöntemleri 4

3.1. Membran Modüllerinin Karşılaştırılması 19
3.2. Yürütücü Kuvvete Göre Membran Prosesleri 20
3.3. Basınç Yürütücülü Membran Proseslerinin Özellikleri 21

5.1. Bor Elementinin Atomik Özellikleri 30
5.2. Bor Elementinin Kimyasal Özellikleri 30
5.3. Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri 31
5.4. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları 35
5.5. Bor Madenlerinin Kullanım Alanları 36
5.6. Bor Ürünleri Ve Üretim Tesisleri 41
5.7. SKKY'e göre Atıksulardaki Parametre Sınırlamaları 43

7.1. Çalışmada Kullanılan Membranların Özellikleri ((a) Basf İnge Dizzer Multibore 1,5 (b) LG Chem LG BW 4040 ES (c) Dupont Dow Filmtec SW30-4040) 51

8.1. Besleme ve Çıkış Suyu Bor Ve Arsenik Giderim Sonuçları 53
8.2.a. Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 54
8.2.b. Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz 56
8.3. Besleme Ve Çıkış Suyundaki Bor Ve Arsenik Giderim Sonuçları 59
8.4.a. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor Ve Arsenik Giderim Sonuçları 61
8.4.b. Kireç İlavesiz Suda Tek Kademeli Deniz Suyu RO Membranı Ile Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları 61
8.5. Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 62
8.6. Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri. 63
8.7. Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 65
8.8. Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 66
8.9. Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri. 68
8.10. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları 70
8.11. Kireç İlavesiz Suda İki Kademeli Deniz Suyu/Deniz Suyu RO Membranı İle Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları 71
8.12.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 72

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge **Sayfa**

8.12.b. 2.Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 73
8.12.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 73
8.13.a. 1. Kademe Deniz suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 75
8.13.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 76
8.13.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 77
8.14.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 78
8.14.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 79
8.14.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 79
8.15.a . 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 81
8.15.b . 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 82
8.15.c . İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 82
8.16.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 84
8.16.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 85
8.16.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 86
8.17. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 87
8.18.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 88
8.18.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 90
8.18.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 90
8.19.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 92
8.19.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 93
8.19.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 94
8.20.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 95
8.20.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 97
8.20.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 97
8.21.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 99
8.21.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 100
8.21.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 101
8.22. İki Kademeli Sistemde pH'ın B Giderim Verimine Etkisi 102
8.23. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları 104
8.24. Kireç İlavesiz Suda İki Kademeli Deniz Suyu/Deniz Suyu RO Membranı İle Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları 104
8.25.a. 1. Kademe Deniz suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 105

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge **Sayfa**

8.25.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 106
8.25.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 107
8.26.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 108
8.26.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 110
8.26.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 110
8.27.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 112
8.27.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 114
8.28. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları 117
8.29. Kireç İlavesiz Suda İki Kademeli Kuyu Suyu/Deniz Suyu RO Membranı İle Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları 117
8.30.a.1. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 118
8.30.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 120
8.30.c. İki Kademeli Kuyu Suyu/Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 120
8.31.a. 1. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 122
8.31.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 124
8.31.c. İki Kademeli Kuyu Suyu/Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 124
8.32.a. 1. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 126
8.32.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 128
8.32.c. İki Kademeli Kuyu Suyu/Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 128
8.33. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları 131
8.34. Kireç İlavesiz Suda İki Kademeli Deniz Suyu/Kuyu Suyu RO Membranı İle Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları 131
8.35.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 132
8.35.b. 2. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 134
8.35.c. İki Kademeli Deniz Suyu/Kuyu Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 134
8.36.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 136
8.36.b. 2. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 138
8.36.c. İki Kademeli Deniz Suyu/Kuyu Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 138
8.37.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 140
8.37.b. 2. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 142
8.37.c. İki Kademeli Deniz Suyu/Kuyu Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 142
8.38. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları 145

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge **Sayfa**

8.39. Kireç İlavesiz Suda İki Kademeli Kuyu Suyu/Kuyu Suyu RO Membranı İle Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları 145
8.40.a. 1. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 146
8.40.b. 2. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 148
8.40.c. İki Kademeli Kuyu Suyu/Kuyu Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 148
8.41.a. İki Kademeli Kuyu Suyu/Kuyu Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri 150
8.41.b. 2. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri 152
8.42. pH'ya Bağlı Bor Giderim Verim Değerleri 154

9.1.Pilot Tesiste Elde Edilen Su Kalitesinin Tesiste Kullanılan Su Değerleriyle Karşılaştırılması 160

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simge	Açıklama
B	Besleme
C	Konsantrasyon
J	Akı
P	Basınç
pH	Çözeltideki hidrojen iyonu konsantrasyonunun (-) logaritması
S	Süzüntü
T	Sıcaklık

Kısaltma	Açıklama
MF	Mikrofiltrasyon
NF	Nanofiltrasyon
R	Verim
RO	Ters Ozmoz
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
UF	Ultrafiltrasyon
MWCO	Molecular Weight Cut Off
PES	Polietersülfon
PSf	Polisülfon
PAN	Poliakrilonitril
SA	Selüloz Asetat
PA	Poliamid
PVDF	Polivinildenflorür
DMSO	Dimetil Sülfoksit

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Su, tarımsal üretimde ve endüstride kullanılan en önemli girdilerden biridir ancak dünyadaki birçok ülkede nüfus artışı ve endüstriyel aktivitelerin gelişmesi nedeniyle su sıkıntısı yaygın hale gelmiştir (Yavuz, 2010). Küresel ısınmanın etkileri, su sıkıntılarını daha çok arttırmıştır; endüstriyel artış su kaynaklarını azaltmış ve kirletmiştir. (Özbay ve Kavaklı, 2008; Kaya, 2007). Bu nedenle özellikle su kıtlığı yaşayan bölgelerde atık suların arıtımına olan ihtiyaç artmıştır. İyi bir su politikasının yanında arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış atıksuların da tekrar kullanımlarına yönelik çalışmalar ağırlık kazanmıştır (Özbay ve Kavaklı, 2008).

Membranlar, karışımlardaki bileşenlerin ayrılmasını sağlayabilen seçici bariyer olarak tanımlanır. Hem kimyasal hem de fiziksel özelliklerine göre meydana gelen ayırma işleminin gerçekleştiği membran sistemleri; çevre, enerji ve endüstriyel alanda geniş uygulama alanı bulmuştur. Ayırma; gözenekli membranlarda boyut, şekil ve yük ayrımına göre; gözeneksiz membranlarda ise sorpsiyon ve difüzyon modeline göre kontrol edilir. Membran performansı temel olarak seçicilik ve akı değerlerine göre belirlenir (Aslan, 2016).

Bor elementi yaşamsal faaliyetler için oldukça önemli elementlerden biridir. Bitkiler bu elementi topraktan alırken insanlar gıda ve su yardımıyla alırlar. Ancak fazla alınmış olan bor elementi, bitkilerde toksik etkiye sebep olmaktadır. Ayrıca bor; bulantı, kusma, ishal, ciltte döküntülere, solunduğunda burun ve boğazda tahrişe sebep olmaktadır (Yalçın, 2008). Bu nedenle bor kullanımı sınırlandırılmıştır. Tüm bu nedenlerle bor kirliliğini azaltmak adına membran prosesleri, kimyasal yöntemler gibi metotlar ile borun sudan uzaklaştırılması gerekmektedir.

Dünyada bulunan önemli bor yatakları Türkiye, ABD, Rusya ve Güney Amerika'da yer almaktadır. Ülkemizin bilinen bor madeni yatakları ise Batı Anadolu'da; Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Bursa-Kestelek ve Balıkesir-Bigadiç'te bulunmaktadır. Türkiye toplam 3,3 milyar ton rezerv miktarı ile dünya toplam bor rezervi sıralamasında %73'lük pay ile ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'nin dünya bor üretme ve işleme tesislerinin çok

uzun yıllar çalışacağını ifade eden bu oran, bor üretimi kaynaklı oluşan atıkların sürdürülebilir şekilde yönetimine de büyük önem kazandırmaktadır.

Bor içeren suların sürdürülebilir şekilde yönetilebilmesi adına Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı olarak faaliyet gösteren Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit tesisleri Espey Bölgesi Kaynak sularının çevre mevzuatı çerçevesinde arıtılması ile çevre mevzuatı gereği yapılan depolama alanlarının kullanım ömürlerinin arttırılması ve yapılması planlanan endüstriyel tesisin sahada uygun tekno-ekonomik işletim şartlarının belirlenmesi amacıyla pilot ölçekli membran sistemleri ile bor giderimi araştırma çalışmasıdır.

Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit tesisleri Espey Bölgesi kaynak suları üzerinde oluşabilecek olası çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik olarak sahada pilot ölçekte denemelerinin yapılarak çalışma aşamasında belirlenecek kapasitede endüstriyel tesis tasarımının yapılması bu tezin konusunu teşkil etmektedir.

Çalışmada, Pilot Ölçekli Membran Sistemleri ile Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit Tesisleri Espey Bölgesi Kaynak suyunun çevre mevzuatı çerçevesinde arıtılması ile çevre mevzuatı gereği yapılan depolama alanlarının kullanım ömürlerinin arttırılması ve yapılması planlanan pilot tesisin sahada uygun tekno-ekonomik işletim şartlarının belirlenmesi çalışılmıştır. Kuyu suyu ters osmoz ve deniz suyu ters osmoz membranları hem tekli sistem olarak kullanılmış hem de çeşitli kombinasyonlarda sıralı olarak denenmiştir. Kireçleme öncesi ve sonrası numune noktalarından su alınarak çeşitli pH değerlerinde çalışmalar yürütülmüştür.

Bu doğrultuda su sorunları, atık suların arıtım yöntemleri ve arıtılmış suların kullanım alanları, membran sistemleri ve uygulanan analizlerin sonuçları incelenmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçları detaylı bir şekilde çalışmada sunulmuştur. Çalışma sonucunda arıtılmış suların bir su kaynağı olarak değerlendirilmeleri ve kullanılmaları için sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın, ülkemizdeki bor içerikli atık sularının membran sistemleri ile arıtım yönetiminin incelenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi ile teknik bilgiye katkıda bulunulması düşünülmektedir.

2. ATIK SU

Dünya'nın neredeyse %75'inin suyla kaplı olmasına rağmen, yalnızca %0,3'lük kısmı içilebilir sudur. Geriye kalan %99,7'lik bölümü ise buzullardan, deniz suyundan ve su buharından oluşmaktadır (Koyuncu, ve vd., 2018). Canlı yaşamı için zaruri bir ihtiyaç olan su kaynaklarının bu şekilde kısıtlı olması ve artan nüfusla birlikte kirlenmesi sonucu su kirliliği de önemli bir sorun haline gelmiştir. Su kirliliği, suyun deşarj edildiği ortamın fiziksel, biyolojik veya kimyasal olarak değişmesi ve canlı hayatını tehlikeye atan zararların meydana gelmesi olarak tanımlanabilir (Bayar, 2001).

Atık su, evlerde, iş yerlerinde, endüstride ve diğer yaşam alanlarında oluşan kirli su olarak tanımlanır. Atık suyun uygun bir şekilde arıtılması, doğrudan içme suyunun kirlenmesini önler. Son yıllarda artan su kıtlığı, atık suların arıtılmasını zorunlu hale getirmiştir (Koyuncu, ve vd., 2018). Uygun yöntemlerle arıtılmış atıksuların sağladığı pek çok fayda bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Özbay ve Kavaklı, 2008):

- Arıtılan atık sular, su kaynağı olarak kullanılabilir, gerekli şartlar sağlandığında güvenilir bir su kaynağıdır.
- Daha az enerji tüketimine neden olur.
- Mevcut su kaynaklarının daha az tüketilmesini sağlar.
- Yüzey sularının atık su deşarjlarıyla kalitesinin bozulmasını azaltır.

Arıtılmış olan atık sular,

- Tarımsal sulamada, park ve bahçe sulamasında,
- Sanayi soğutma ve proses suyu olarak kullanılmasında,
- Yeraltı sularının suni olarak beslenmesinde kullanılabilir (Özbay ve Kavaklı, 2008).

2.1. Atık Su Arıtım Yöntemleri

Atık sularda kirliliklerin en aza indirilmesi için uygun arıtım teknolojilerin uygulanması gerekmektedir. Arıtmada; çözünmüş organik maddelerin, askıda katıların, toksik özelliğe sahip kirleticilerin patojenik mikroorganizmaların giderilerek atık suyun

çevreye zararsız hale gelmesini sağlamak amaçlanır (Bayar, 2001). Atık su arıtımında kullanılan yöntemler tek başına yeterli kalite sunmayabilir, bu nedenle entegre bir arıtma sistemi ile amaçlanan verimde arıtma işlemi gerçekleştirilir (Balahorli, 2011; Kaya, 2007). Bu suların arıtımında tercih edilen arıtma yöntemleri aşağıdaki çizelgede genel hatlarıyla özetlemiştir (Balahorli, 2011).

Çizelge 2.1.Atık Su Arıtım Yöntemleri

Arıtma Prosesleri
Fiziksel Çöktürme/flotasyon Filtrasyon Hava ile sıyırma Adsorpsiyon İyon değiştirme Membran prosesleri Buharlaştırma/yakma
Kimyasal Nötralizasyon Kimyasal çöktürme Koagülasyon/flokülasyon Kimyasal oksidasyon
Biyolojik Aktif çamur Ardışık kesikli reaktörler Havalandırmalı lagün/stabilizasyon havuzu Biyofilm sistemleri (damlatmalı filtre, döner biyolojik diskler) Havasız lagün ve temas tankları Havasız (yukarı akışlı çamur yatağı, filtre veya hibrit) reaktörler Nitrifikasyon/denitrifikasyon

2.1.1. Fiziksel arıtım

Herhangi bir kimyasal ve bakteri kullanmadan, fiziksel yollarla atık suyun ızgara ve benzeri düzeneklerle temizlenmesi işlemidir (Duman, 2012). Atık sulara uygulanan fiziksel arıtım prosesleri, çöktürme, iyon değiştirme, kum filtresi, çözünmüş hava ile yüzdürme, aktif karbon adsorpsiyonu, membran filtrasyon prosesi ve buharlaştırma olarak sıralandırılabilir. Bu prosesler genelde atık su arıtımında organik madde gideriminde başarılı sonuç vermemektedir. Bu nedenle bu sistemler, fiziko-kimyasal arıtma teknikleri, biyolojik sistemler veya son arıtım olarak kullanıldığında daha etkili olmaktadırlar (Balahorli, 2011).

Fiziksel yöntemlerden olan çöktürme, atık su içerisindeki askıda katı madde içeriğini gidermek amacıyla tercih edilir. Partikül boyutlarının kolloidal olması durumunda flokülant eklemek gerekir. Kum filtresi, atık sudaki katıların çok küçük boyutta ve kolloidal olması durumunda nadiren kullanılır. Çözünmüş hava ile yüzdürme yöntemi, arazi çöktürme tankları için yeteri kadar büyük olmadığında tercih edilir. Aktif karbon adsorpsiyonu sisteminde sızıntı suyunda karbona zarar verecek maddelerin olmadığından emin olunmalıdır. Aktif karbon, biyolojik arıtma sonrası özellikle organik içeriğin son gideriminde absorban olarak kullanılır. Bu sistemler, biyolojik olarak giderilemeyen organik maddelerin arıtımında etkilidir. Bununla birlikte tüketim giderleri yüksek olabilir (Balahorli, 2011).

2.1.2. Kimyasal arıtım

Çeşitli kimyasallar kullanılarak atık su içerisindeki kirleticileri sudan çöktürerek alma yöntemidir (Duman, 2012). Atık suların arıtımında geniş kapsamlı kimyasal arıtım sistemleri mevcuttur. Kimyasal arıtım sistemlerinde kolay kurulum ve otomasyon, sıcaklık değişimlerine karşı yüksek direnç, tesis ve malzeme gerekliliğinin kolaylığı başlıca avantajları arasında sayılabilir. Bu duruma ek olarak eklenen floklaştırıcıdan kaynaklanan çamur ve kimyasal eklenmesinden dolayı yüksek işletme maliyetleri gibi dezavantajları da vardır (Balahorli, 2011).

Koagülasyon/çöktürme; kimyasal ekleyerek çözünmüş ve askıda katı maddelerin fiziksel durumlarını değiştirip çöktürülmesi işlemidir. Kimyasal çöktürmenin, kimyasal madde ihtiyacı, pH'a karşı hassasiyet, aşırı çamur üretimi ve arıtımı dezavantajları vardır. Kimyasal oksidasyon teknolojileri atıksudaki pek çok kirleticinin oksidatif bozulması veya değişiminde kullanışlıdır. Genel olarak, kimyasal oksidasyon prosesleri atıksudaki biyobozunmaya dirençli veya biyolojik reaktörlerde toksisiteye neden olacak bileşenlerin arıtımı için diğer arıtım yöntemleri ile beraber uygulanır. Hidrojen peroksit, ozon, klorin, klorin dioksit, hipoklorit gibi çok çeşitli kimyasal oksidantlar kullanılır. Ancak genel olarak oksidasyon prosesleri enerji gerekliliği fazla olan ve pahalı prosesler olduğundan uygulamaları kısıtlıdır (Balahorli, 2011).

2.1.3. Biyolojik arıtım

Biyolojik arıtım, endüstriyel atık suların çeşitli bakteriler yardımı ile biyolojik süreçlerde arıtıldığı; aerobik, anaerobik ve anoksik ortamda çeşitli son ürünlere dönüştürüldüğü sistemlerdir (Duman, 2012). Aerobik arıtma; organik maddelerin mikroorganizmalarca, karbondioksit, su, çamur ve son ürünlere dönüştürüldüğü sistemlerdir. Bu sistemler, havalandırmalı lagünler, aktif çamur, bağlı büyüyen prosesler olarak damlatmalı filtre ve döner biyolojik disk şeklinde sıralanabilir. Düşük sıcaklıklarda yeterli arıtma veriminin sağlanamaması, havalandırma esnasında köpük probleminin oluşması, oksijen üretimini sağlamak için enerji ihtiyacının yüksek olması gibi dezavantajları bulunur ancak küçük ölçekli sürekli ve kesikli deneylerde önemli giderimler gözlenmiştir (Balahorli, 2011). Anaerobik arıtma ise verimi düşük olduğu için çok popüler değildir. Metan gazı üretimi ve düşük çamur oluşumu avantajlarına rağmen, deşarj yönetmeliklerini karşılamada yetersizdir. Bu sistemler şok yüklemelere ve geniş dalgalanmalara karşı oldukça hassastır. Anaerobik atıksu arıtma sistemlerindeki yükleme oranları, çoğunlukla çamur yaşı ile ifade edilir. Ancak anaerobik membran ayırma işleminin uygulanmasında iyi kalitede çıkış suyu, yavaş büyüyen metan bakteriler dâhil tüm mikroorganizmaların tutulması gibi avantajları vardır. Bazı çalışmalar anaerobik membran biyoreaktör'de daha yüksek metan üretim oranlarının elde edildiğini de kanıtlamıştır (Aslan, 2016).

Aktif çamur prosesleri atık su arıtımında kullanılan ve bilinen en iyi yöntemler arasında yer almaktadır. Ancak sızıntı suyunda değişimin yüksek oranlarda gerçekleşmesi aktif çamur sistemlerini etkilemekte ve değişik arıtma verimleri elde edilebilmektedir (Balahorli, 2011).

2.1.4. İleri ve son arıtma metotları

Yukarıdaki yöntemlerle arıtma tesisi çıkış suyu deşarj kriterlerinin sağlanamadığı ve atıksuyun yeniden kullanımının amaçlandığı yerlerde ileri arıtım teknikleri kullanılır. İleri atık su arıtma teknolojisi klasikleşmiş ikincil arıtma yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda gerekli olur, ikincil arıtma ile giderilemeyen kirleticiler; azot, fosfor, bor ya da ağır metaller gibi anorganik maddeler olabildiği gibi, sentetik organik maddeler ya da renk,

koku, bulanıklık gibi parametreler de olabilir. İleri arıtma, ikincil arıtmadan sonra ya da ikincil arıtma yerine kullanılabilmektedir (Duman, 2012).

Çalışmada incelenen membran prosesleri, ayırma mekanizması olarak suyun içerisindeki bileşenlerin membranın geçirgenlik farkına göre ayrıldığı modern fizikokimyasal ayırma teknikleridir (Yavuz, 2010).

Endüstride membran teknolojisinin kullanımına olan ilgi son yıllarda iyice artmış ve çalışmalar hız kazanmıştır (Kaya, 2007). Ülkemizde de su kalitesinin korunması ve atık suların deşarj kriteleri ile ilgili yasal mevzuat 31 Aralık 2004 tarihli ve 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilmiştir. Bu yönetmelikte, sulama sularında izin verilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları, endüstriyel atıksuların sulama suyu olarak kullanılmaya uygunluğu ve kalite kriterleri, arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanıp kullanılmayacağını gösteren referanslar bulunmaktadır (Özbay ve Kavaklı, 2008).

3. MEMBRAN SİSTEMLERİ

Membranlar da ayırma işlemlerinde ayırma ve saflaştırma işlemleri için kullanılırlar. Yüksek arıtma performansları ile atıksu endüstrisinde geniş yer kazanan membran prosesleri, gelişmekte olan polimer endüstrisi ile birlikte daha rekabetçi hale gelmiştir.

Membran teknolojisi, son yıllarda aktif olarak çok farklı endüstri alanlarında kendine yer bulmuştur. Ayrıca polimer kimyası, elektrokimya, kimya mühendisliği, çevre mühendisliği ve malzeme mühendisliği gibi bilim ve mühendislik konularında da membran teknolojileri aktif olarak çalışılmaktadır. Membranlar, 1950'lerden önce de biliniyor fakat yaygın kullanım alanları bulunmuyordu. Nollet, ilk olarak 1752'de bir tarafta su-etanol karışımı diğer tarafta su ortamı varken aradaki malzemenin etanolü geçirdiğini keşfetmiştir. Fick, membran kalınlığı boyunca taşınımın ne şekilde gerçekleştiğini ilk kez tanımlayan difüzyon kanunlarını 1855'de yayınlamıştır. Yarı geçirgen membranlardaki kütle taşınımı üzerine daha sistematik çalışmaları yapan Graham, 1866'da farklı ortamlar kullanarak gaz difüzyonunu çalışarak kauçuğun farklı gazlara karşı farklı geçirgenliğe sahip olduğunu keşfetmiştir. Traube, 1867'de ilk defa bakır-demirsiyanür ile gözenekli porselen üzerinde yarı geçirgen membran üretmeyi başarmıştır. Traube, Van't Hoff ve Pfeffer, osmotik basınç üzerine çalışmalar yapmıştır. Ardından Nerst ve Planck, sürücü kuvvetler altındaki elektrolitler için akı denklemlerini geliştirmiştir. Donnan, 1911'de denge ve potansiyel teorileri üzerine çalışmıştır (Koyuncu, ve vd., 2018).

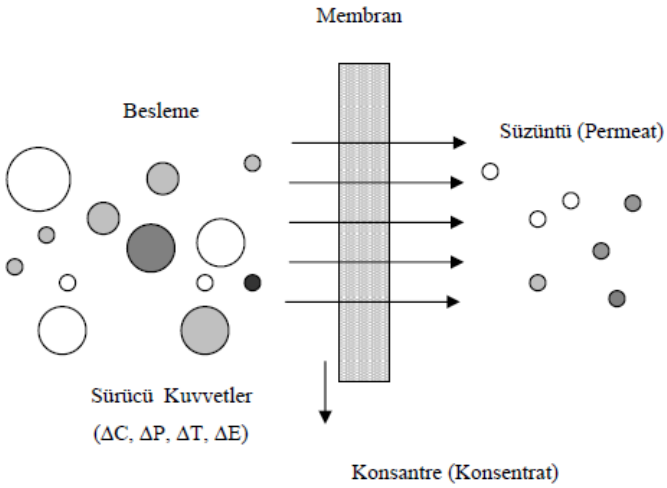
20. yüzyıldan itibaren membran çalışmaları yeni bir aşamaya geçmiştir. Bechold, konsantre asetik asit içinde nitroselüloz çözeltisi ile ilk sentetik membranları üretmiştir. Bu membranların geçirgenlikleri asetik asit ve nitroselüloz oranları değiştirilerek ayarlanmıştır. Bachmann ve Zsigmondy, Manegold, Grabard ve Elford gibi bilim insanları da membran üzerine katkıda bulunmuştur (Koyuncu, ve vd., 2018).

1950'lerden sonra, membranların bilimsel olarak geliştirilmesinin yanında, uygulamaya yönelik olarak da gelişme yaşanmıştır. Polimer kimyasındaki gelişmeler sayesinde özel taşınım özelliklerine sahip, mükemmele yakın dayanımları olan sentetik

polimerler geliştirilmiştir. Bu dönem içerisinde membran taşınım özellikleri, termodinamik olarak geri dönüştürülemez proseslere bağlı olarak açıklanmıştır. Ayrıca çözelti-difüzyon modeli gibi membran taşınım modeli de geliştirilmiştir. Membran bilim ve teknolojisine yönelik en büyük gelişmelerden birisi, selüloz asetat bazlı yüksek tuz tutunumu ve akıya sahip ters osmoz membranlarının üretilmesi ile denizden içme suyu elde edilebilmesidir. Daha sonra sentetik membranların üretilmesi için poliamid, poliakrilonitril, polietilen, polisülfon gibi diğer polimerler de kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede membranların mekanik, kimyasal ve ısıl dayanımlarında iyileşme görülmüştür ve modüllerinin geliştirilmesine başlanmıştır (Koyuncu, ve vd., 2018).

2000'li yıllarda ise nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte membran özelliklerinin iyileştirilmesi ile mevcut membranlar, büyük ölçüde nihai sınırlarına ulaşmıştır. Membran konusunda ağırlık, membran üretiminin yanında proses geliştirilmesine, uygulama ve uzun süreli işletme deneyimi üzerine olmuştur. Ayrıca membran kontaktörlerinin ve membran reaktörlerinin kullanılmasına yakın geçmişte başlanmış ve bu konudaki çalışmalar artış göstermektedir (Koyuncu, ve vd., 2018).

Temel olarak membran proseslerinin uygulanması sırasında, su, bir membranın yüzeyine doğru pompalanır ve tutulması istenen kısım membran yüzeyinde kalırken temiz su (permeat) membran gözeneklerinden ayrılır (Yavuz, 2010). Membran üretiminde temel unsur, yüksek derecede seçiciliği ve geçirgenliği sağlayabilecek ve mekanik gücü olan malzeme üretebilmektir. Membranın optimal fiziksel yapısı, ince bir materyal, küçük gözenek ve yüksek yüzey porozitesidir (Balahorli, 2011). Şekil 3.1.'de membranların genel çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 3.1.Membranın Şematik Gösterimi

Membran sistemlerinde iyi ayırım yapan bir membranın bazı özelliklere sahip olması beklenmektedir. Kullanılan membran yüksek akı ve yüksek seçicilik sunmalıdır. Yüksek mekanik dayanıma, sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklılığa ve kirlenmeye karşı dirence sahip olmalıdır. Yeniden kullanılabilmeli ve kolay üretilebilmelidir. Üretim maliyeti düşük olmalıdır. Yüksek yüzey alanlı modüllerin içine paketlenebilmelidir (Taş, 2013).

Membranların uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Koyuncu, ve vd., 2018):

→ İçme suyu arıtımı
→ Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında ve yeniden kullanımı
→ Tuzlu su arıtımı
→ Deniz suyundan içme suyu eldesi
→ Gaz ayırımı
→ Sertlik, organik madde, mikrokirletici vb. giderimi
→ Proses suyu eldesi
→ Biyoenerji, biyogaz üretimi
→ Metal giderimi ve geri kazanımı
→ Yarı iletken üretimi ve enerji sektörleri için yüksek saflıkta su eldesi
→ Yiyecek ve içecek sektörü (süt ve peynir üretimi, bira, şarap ve alkollü içki üretimi)
→ Petrol endüstrisi olefin/parafin ayrımı, fenol ve aromatik bileşenlerin geri kazanımı

→ Hemodiyaliz, kan oksijenatörleri, plazma ayrımı, kontrollü ilaç taşınımı gibi medikal uygulamalar

→ Bakteri/virüs ayırımı

→ Protein ve enzim ayrımı ve geri kazanımı

→ Protein çözeltilerinin yoğunlaştırılması

3.1. Membranların Avantaj ve Dezavantajları

Yukarıda açıklandığı gibi geniş kullanım alanı bulunan membran sistemlerinin pek çok avantajı bulunmaktadır.

1. Sistemlerin tasarımları oldukça basittir,
2. Modüler olarak tasarımları yapılabilir ve fazla yer kaplamazlar,
3. Klasik sistemlere göre daha az enerji kullanırlar,
4. Potansiyel olarak daha düşük yatırım ve işletme maliyetlerine sahiptirler,
5. Sürekli çalışabilme özelliği ve otomasyon kolaylığı sağlarlar,
6. Düşük bakım maliyeti gerektiren az sayıda hareketli parça içerirler,
7. Kirleticilerin kimyasal yapıları veya biçimine etki etmezler,
8. Hiçbir kimyasal ilavesi gerektirmezler,
9. Su veya atıksuyun özelliklerindeki değişikliklerden fazla etkilenmezler,
10. Sıcaklık değişimlerinden fazla etkilenmezler,
11. Yüksek saflıkta ürün ortaya koyabilirler (Kaya, 2007).

Avantajlarına ek olarak kullanımını sınırlayan bazı dezavantajları da vardır.

1. Membran üretim ve pazarlama maliyetleri yüksektir.
2. Membran prosesler nadiren 2 saf ürün üretirler. Membran seçiciliği sınırsız olmadığından konsantre olarak alıkonulan bileşen çeşitliliği sınırlıdır.
3. Membran prosesler distilasyon gibi proseslerle kıyaslandığında, tek aşamada işletilmeleri zordur.
4. Proses çözeltileri ile membranlar arasında kimyasal uyumsuzluklar meydana gelebilir, böylece verimi düşer ve maliyet artar.
5. Çok yüksek sıcaklık gerektiren işlemlerde membranların yapıları kısa sürede bozulur.

6. Membranda besleme akısı ve konsantrasyonlarına bağlı olarak kısa sürede kirlenebilir ve gözenekler tıkanabilir. Membranların kirlenmesi ve gözeneklerin tıkanması akıyı düşürür. Bu durum membranların kısa süreli değiştirilmesini veya temizlenmesini gerektirir ve maliyeti artar (Aslan, 2016).

3.2. Membran Performansını Etkileyen Faktörler

Membranların performansları genellikle seçicilik ve akı olmak üzere iki terimle ifade edilir. Akı, birim alan ve zamanda membrandan geçen hacim olarak tanımlanır. Hacimsel olarak ifade edilen akının birimi genellikle L/m^2sa, L/m^2gün ve cm^3/cm^2sa olarak verilir. Genel olarak basınca, sıcaklığa, çapraz akış hızına, filtre edilecek ortamın içeriğine ve çözeltideki partikül madde miktarına bağlıdır. Membranlardaki akı ifadesi aşağıdaki formüle göre hesaplanır (Taş, 2013);

$$J = A.\frac{dX}{dx} \tag{3.1}$$

J, akıyı; dX/dx, sürücü kuvveti ifade eder. A; akı ve sürücü kuvvete bağlı bir katsayıdır.

Membran seçiciliği ise, tutunma (R) ve ayırma faktörlerinden (α) biri kullanılarak ifade edilir. Membran seçiciliği, iki ya da daha fazla çeşit membranın ayrıştırma kapasitesini karşılaştırmak için kullanılır (Aslan, 2016). Matematiksel olarak tutunma aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$R = \frac{C_p - C_f}{C_f} \tag{3.2}$$

Cf; Filtre edilecek çözeltideki çözünen konsantrasyonunu,
Cp; Süzüntüdeki çözünen konsantrasyonunu,
R; Tutunmayı ifade eder. Birimsiz bir ifade olduğu için burada konsantrasyonun birimi önemli değildir. R'nin değeri %100 (çözünen maddenin tamamen tutunduğu durumda) ile %0 (çözünen maddenin hepsinin membrandan geçebildiği durumda) arasında değişir (Taş, 2013).

Membranların performansı, membran sınıflandırılması başlığı altındaki tüm parametrelere göre değişebilmektedir. Membranların özelliklerine bağlı olan bu özelliklerin dışında basınç, konsantrasyon, sıcaklık gibi parametreler de akı ve seçiciliği etkilemektedir (Kaya, 2007). Bu parametrelerden ön önemlileri aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1. Basınç

Sıvı filtrasyonunu sağlamak için gerekli basınçtır. Basınç ve akı arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Basınç artışında akının da artacağı beklenir (Aslan, 2016; Kaya, 2007).

3.2.2. Konsantrasyon

Giriş konsantrasyonunun membran performansı üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Besleme konsantrasyonu arttıkça, ozmotik basınç artacağından dolayı membrana uygulanan net basınç azalmakta, akı düşmekte ve bunun sonucunda giderme verimi düşmektedir (Kaya, 2007).

3.2.3. Sıcaklık

Sıcaklık; su akımını, vizkositeyi ve ozmotik basıncı etkilemektedir. Geçirgenlik katsayısı, sıcaklık ile artmaktadır. Akı da sıcaklık ve suyun viskozitesine bağlı olduğu için tıkanma, sıcaklık ve basınçtaki simultane değişikliklerden etkilenir (Kaya, 2007; Koyuncu, ve vd., 2018).

3.2.4. pH

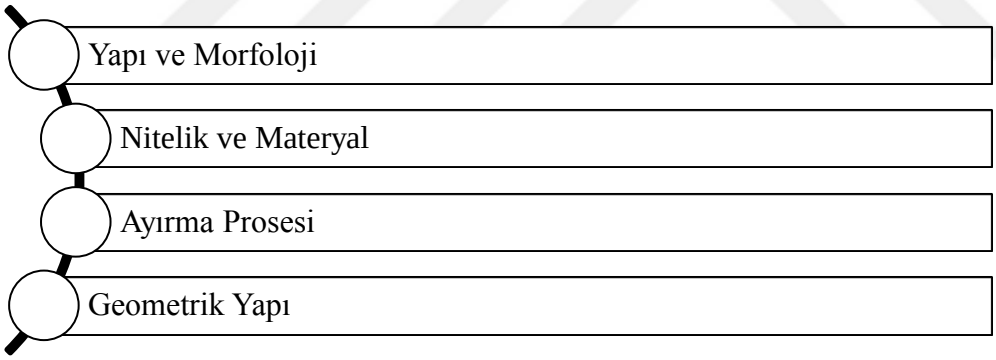
Kullanılan membran malzemesinin türüne göre, membran ile arıtım öncesinde pH'ın ayarlanması gerekebilir. pH ayarı, özellikle selüloz asetat membran türleri için gereklidir. Membranlar için uygulanan pH ayarı, hem inorganik maddelerden kaynaklanan çökmenin önlenmesi için hem de atık suyun membran üretim malzemesine uygunluğu açısından gereklidir (Koyuncu, ve vd., 2018).

3.2.5. Viskozite

Süzüntü ve sıvı karışımın viskozitesi de akıyı etkiler (Koyuncu, ve vd., 2018).

3.3. Membranların Sınıflandırılması

Membran teknolojisi geliştikçe ve uygulama alanları yaygınlaştıkça membranların sistematik olarak sınıflandırılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Koyuncu, ve vd., 2018). Yapısı ve fonksiyonları farklı olan pek çok membran çeşidi vardır. Bu nedenle membranların sınıflandırılmasında farklı kategoriler bulunmaktadır. Kullanılacak olan membranın seçiminde membran kullanım ömrü, çalışılacak atık su ile membranın yapısının uyumu, çalışılacak sistem ile membranın uyumu, işletme koşulları, ayırma ve seçicilik özelliği gibi pek çok değişken göz önüne alınmalıdır. Ek olarak membranın fiyatı, dayanımı da önemli parametrelerdir. Buna göre özet olarak membranların sınıflandırılması Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.

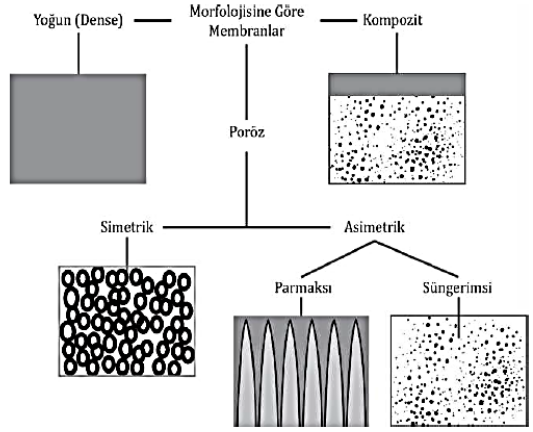


Şekil 3.2. Membranların Sınıflandırılması

3.3.1. Membranların yapısı ve morfolojisi

Membranlar morfolojilerine göre yoğun, gözenekli ve kompozit olmak üzere üç kategoride sınıflandırılırlar. Şekil 3.3.'de morfolojiler gösterilmiştir. Yoğun membranlarda su akısı oldukça düşük olup, daha çok ters osmoz ve gaz ayırma membranlarında kullanılırlar. Gözenekli membranlar, yüzeyde veya içyapılarında gözenekler içerirler. Yoğun membranlardan farklı olarak çok sıkı polimer yapısında değillerdir. Gözenekli membranlar simetrik veya asimetrik özellikte olabilirler. Simetrik membranlar, boşluklu

veya boşluksuzdurlar. Kalınlıkları 10-200 μm arasındadır. Asimetrik membranlar, üniform olmayan bir yapıdadır. Bir asimetrik membranın kalınlığı yaklaşık olarak 10-200 μm arasındadır. Bu membranlar, 50-150 μm arasında boşluklu yarı geçirgen bir alt tabaka ile bunun üzerine 0,1- 0,5 μm kalınlığında yoğun bir üst tabaka ile kaplıdır. Asimetrik membranlar simetrik membranlara göre daha iyi ayırma performansına ve daha iyi geçirgenlik değerlerine sahiptir. Kompozit membranlar, asimetrik membranların üst kısmına ince bir tabakanın eklenmesiyle imal edilirler. Bu ince tabaka toplam membran kalınlığının %1-3 kadardır. İnce film kompozit kaplı membranlar, bu morfolojideki membranların en başarılı uygulama örneğidir (Aslan, 2016; Koyuncu, ve vd., 2018).



Şekil 3.3. Membranların Morfolojilerine Göre Sınıflandırılması

3.3.2. Membranlarda nitelik ve materyal

Son yıllarda membran üretim süreçlerini kolaylaştıracak ve membran malzemelerini iyileştirecek daha etkili, zor şartlara ve biyo bileşiklere karşı daha dayanıklı membran yapıları üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalardaki amaç, en iyi ayırım ve işletim şartlarına sahip membran malzemelerini bulabilmektir (Taş, 2013).

Yapısına göre membranlar organik, inorganik veya kompozit yapıda olabilirler.

❖ Organik membranlarda, sentetik ve modifiye doğal ürünler kullanılır. Organik membranlar polietersülfon (PES), polisülfon (PSf), poliakrilonitril (PAN), selüloz asetat (SA), poliamid (PA) ve polivinildenflorür (PVDF) gibi pek çok polimerlerden üretilir. İşlenebilirlikleri ile kolaylık sağladıkları için su ve atık su arıtımında en çok polimerik

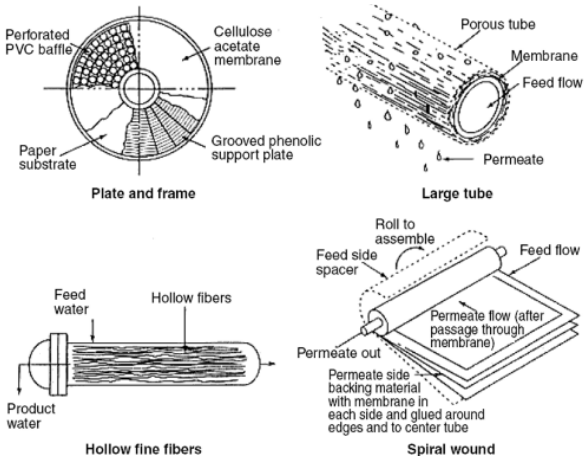
membranların kullanımı tercih edilir. Ancak polimerik membranların pH, sıcaklık, serbest klor kaynaklı kullanım limitleri söz konusudur. Son yıllarda bu tarz yüksek sıcaklık ve yüksek pH içeren proseslerde inorganik (seramik ve metal) membranların kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır (Koyuncu, ve vd., 2018).

❖ İnorganik membranlarda, metaller veya seramikler gibi inorganik malzemeler kullanılır. Seramik ve metal esaslı membranların kullanım ömürleri polimerik membranlara göre daha uzundur. İnorganik membranlar 100˚C üzeri sıcaklıklara dayanabilmekte ve çok düşük ve çok yüksek pH koşullarında çalışabilmektedir. Ancak seramik membranların yüksek üretim maliyetlerinden dolayı kullanımı kısıtlıdır. Ayrıca polimerik membranlara göre daha ağırdırlar ve daha fazla alan kaplarlar (Koyuncu, ve vd., 2018).

❖ Kompozit membranlarda, organik-organik, organik-inorganik, inorganik-inorganik karışımlar kullanılır. Son yıllarda kompozit membranların üretiminde nanoteknolojik yöntemlerin kullanımı artmıştır (Koyuncu, ve vd., 2018).

3.3.3. Membranlarda geometrik yapı

Membranlar düz plaka, içi boşluklu fiber, tübüler ve çoklu delik olmak üzere yaygın olarak dört farklı şekilde üretilmekte ve kullanılmaktadırlar (Koyuncu, ve vd., 2018). Her modülün kendine göre özellikleri, avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Uygun modülün seçimi, prosesin özelliklerine göre yapılmaktadır. Deniz suyu arıtımı gibi bazı işlemler için kullanılan konfigürasyonlar standartken bazı proseslerde farklı konfigürasyonlar tercih edilebilir (Tanık, ve vd., 2015). Şekil 3.4.'te bu modüller gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Membranlarda Geometrik Yapı

3.3.3.1. Düz plaka membranlar

Düz plaka membranlar, levha şeklindedirler. Membranların bir yüzeyi aktif ayırma gerçekleştirirken diğer yüzeyinden membrandan süzülen su alınmaktadır. Düz plaka membranlar genellikle destek malzemesi üzerine polimer kaplanmasıyla üretilmektedir (Koyuncu, ve vd.,, 2018). Bazı dizaynlarda membranlar disk formundadır. Membran diskleri ayırıcılarla birbirlerinden ayrılmıştır. Bu modül dizaynı yüksek geri kazanımları mümkün kılan uzun kanalları oluşturur (Kitiş, ve vd., 2009).

3.3.3.2. İçi boşluklu fiber membranlar

İçi boşluklu fiber membranlar, silindir şeklindedir. Akış ya içten dışa ya da dıştan içe çalışabilmektedir. Yani ayırma işleminin gerçekleştiği tabaka iç yüzeyde veya dış yüzeyde olabilir. Askıda katı madde konsantrasyonunun yüksek olduğu proseslerde dıştan içe çalışan içi boşluklu membranlar tercih edilmektedir. Bu tür membranlar güçlendirilmiş içi boşluklu fiber membran olarak adlandırılmaktadırlar (Koyuncu, ve vd., 2018).

Bu konfigürasyonda kullanılan hollow-fiber membranların su geçirgenliği, spiral sarım membranlarda kullanılan düz tabakalı ince film kompozit veya asimetrik membranlardandaha azdır. Ancak hollow-fiber membranların tuz giderme oranı daha yüksektir ve daha yüksek basınçlarda çalışabilirler (Kitiş, ve vd., 2009).

3.3.3.3. Tübüler membranlar

Tübüler membranlar, silindirik şekildedir ve çapları biraz daha geniştir. Özellikle yüksek askıda katı madde içeren sularda tercih edilirler. Silindirik dokuma olmayan kumaşın iç yüzeylerinin polimer kaplanmasıyla üretilirler. Aktif tabakanın iç yüzeyde bulunduğu bu membranlar içten dışa doğru çalışırlar (Koyuncu, ve vd., 2018).

Tübüler membran modülleri değişik sayılarda tüp içerirler. Uzunlukları 6 m'ye kadar ulaşabilir. Gözenekli paslanmaz çelik veya plastik bir tübe polimer çözeltisinin döküm yapılmasıyla hazırlanır. Böylece membranlar paslanmaz çelik tüpler ile desteklenir. Çoğu tasarımlarda tüpler seri bağlıdır (Kitiş, ve vd., 2009).

Bu modül sisteminin atık suyun akış hızının kolayca ayarlanması ve kanallarının mekanik olarak kolayca temizlenebilmesi gibi önemli bir avantajı vardır. Bu da sık temizliğin gerekli olduğu gıda ve günlük gıda uygulamaları için uygun olmasını sağlar. Diğer bir avantajı da çoğu şartlar altında çok fazla basınç düşmesi olmadan türbülans akışı sağlayacak kadar büyük bir tüp çapına sahip olmasıdır. Böylece tıkanmaya karşı çok dirençlidir. Avantajlara ek olarak dezavantajları da bulunur. Bunlar, geniş kanallarından (çok miktarda suyu pompalamak için gerekli ekipmandan) dolayı yüksek enerji kullanımı ve modüllerinin paketleme yoğunluğunun düşük olmasından kaynaklanan yüksek yatırım maliyetidir (Kitiş, ve vd., 2009).

3.3.3.4. Spiral sargı membranlar

Düz membran filmlerinden oluşan spiral sarım membran konfigürasyonudur. Spiral sarım bir modül elde etmek için membranlar bir basınç cihazının içine yerleştirilmelidir. Uzun, tek bir yaprağın toplama tüpü etrafına sarılması yerine her biri toplama tüpüne bağlı birden fazla zarf içeren çok zarflı ya da yapraklı modüller de olabilir. Üretimi kolaylaştırmak ve uzun ürün kanallarından kaynaklanan basınç düşmelerinden kurtulmak için spiral sarım modüllerin çoğu çok yapraklı tiptedir. İşlem sırasında atık su basınçla membranın dış yüzüne beslenir. Atık su, membran üzerinden difüzlenir ve sarılmış membran boyunca besiden daha düşük basınçlı toplama tüpüne doğru akar. Ürün,

membran boyunca tüpe kadar devam eder. Tutulan malzemeler modülün diğer ucundan çıkarlar. Spiral sargı modülünde atık su ile ürün spiralin herhangi bir noktasındaki akış yaklaşık aynı düzlemdedir fakat birbirlerine diktir (Kitiş, ve vd., 2009).

Aşağıdaki çizelgede bu membran modüllerinin özellikleri karşılaştırılmıştır (Koyuncu, ve vd., 2018).

Çizelge 3.1. Membran Modüllerinin Karşılaştırılması

Parametre	İçi boşluklu lif	Spiral sargı	Plaka	Tübüler
Paketleme yoğunluğu (m^2/m^3)	Yüksek (500-5000)	Yüksek (500-5000)	Orta (200-500)	Düşük (70-400)
Akım yönetimi ve tıkanma kontrolü	Orta-İyi	İyi (katı yoksa) Zayıf (katılar içinde)	Orta	İyi
Konsantrasyon polarizasyonu kontrolü	Zayıf	Orta	İyi	Çok İyi
Yüzey alanı m^2/m^3	Çok yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
Ön arıtım gereksinimi	Yüksek	Orta	Yüksek	Basit
Temizlenebilirlik	Geri yıkama mümkün	Katılar olduğunda zor olabilir	Orta	İyi
Süzüntü basıncı düşüşü	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Yüksek basınçta işletmeye uygunluk	Evet	Evet	Evet	Çok az
Belirli tip membran materyali sınırlılık	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Üretim kolaylığı	Orta	Karışık	Kolay	Kolay
Enerji tüketimi	Düşük (laminar)	Orta (Spacer kayıpları)	Düşük Orta (Laminer)	Yüksek (Türbülanslı)

3.3.4. Membranlarda Ayırma Prosesi

Suyun membrandan geçişi için bir yürütücü kuvvete ihtiyaç vardır. Denklem 1 ve 2'de de belirtilen, membrandaki yürütücü kuvvetler konsantrasyon, sıcaklık, basınç ve elektrik potansiyeli olabilir. Çeşitli membran sistemlerindeki yürütücü kuvvetler Çizelge

3.2'de verilmiştir (Kaya, 2007; Taş, 2013). Çalışmada basıncın yürütücü güç olduğu membran sistemleri ile çalışıldığı için diğer başlıkta ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yürütücü Kuvvete Göre Membran Prosesleri

Membran Prosesi	Yürütücü Kuvvet
Mikrofiltrasyon (MF) Ultrafiltrasyon (UF) Nanofiltrasyon (NF) Ters osmos (RO)	Basınç Farkı
Pervaporasyon Gaz Ayırma Diyaliz Buhar geçişi	Konsantrasyon Farkı
Membran Destilasyonu Termo-osmos	Sıcaklık Farkı
Elektrodiyaliz	Elektriksel Potansiyel Farkı

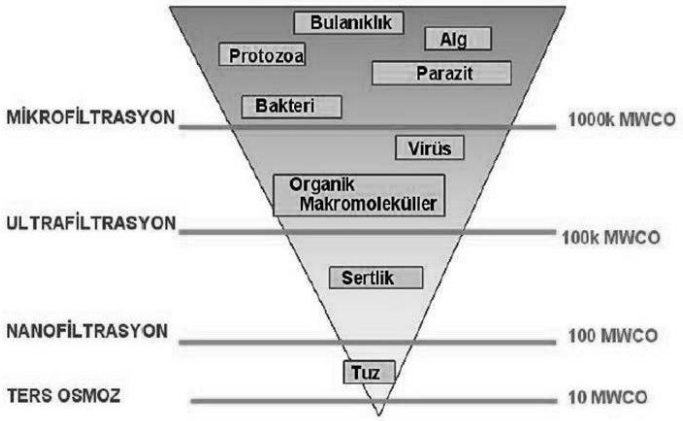
3.4. Basıncın Yürütücü Güç Olduğu Membran Teknolojileri

Seçici bariyer görevi gören membranın özelliğine göre, su içerisinde bulunan kirliliklerden bazısı geçerken bazısı da geçişini tamamlayamaz ve membran içinde tutulur. Basıncın yürütücü kuvvet olduğu membran proseslerinde dört tip membran sistemi kullanılmaktadır. Temel olarak MF ve UF partiküllerin ve mikrobiyal içeriklerin giderilmesinde kullanılır. Düşük basınçla çalışırlar. NF ve RO ise içinde organik ve inorganik çözünmüş içeriği olan içme sularında kullanılır. İşletme basınçları MF ve UF'ye göre daha yüksektir. Bu tiplerin ayrıntılı özellikleri aşağıdaki çizelgedeki gibi sıralanabilir (Kaya, 2007; Kitiş, ve vd., 2009; Yavuz, 2010).

Çizelge 3.3. Basınç Yürütücülü Membran Proseslerinin Özellikleri

Membran Prosesi	Gözenek Boyutu	Transmembran basıncı	Ayırma mekanizması	Akı
Mikrofiltrasyon	0,05-10 μm	0-2	Eleme	Yüksek
Ultrafiltrasyon	1-100 μm	1-10	Eleme	Yüksek
Nanofiltrasyon	0,5-5 μm	5-30	Çözünme-difüzyon	Orta
Ters osmoz	<1 μm	10-100	Çözünme-difüzyon	Düşük

Gözenek boyutlarına göre ayrılan bu membranların ayırma kapasitelerine ilişkin özellikleri Şekil 3.5.'te özetlenmiştir.



Şekil 3.5.Gözenek Boyutlarına Göre Membran Kapasiteleri

3.4.1. Mikrofiltrasyon

0.1–10 μm aralığında yer alan partiküllerin tutulmasını ve ayrılmasını sağlayan mikrofiltrasyon membranları genelde, çözünmüş katılar ve makro molekülleri geçirirken askıda partikülleri ve iri kolloidleri membranda tutarlar. Bakterilerin, floküle olmuş maddelerin veya toplam askıda katı maddelerin sudan ayrılmasında kullanılırlar (Tabakcı, 2006; Yavuz, 2010). Mikrofiltrasyon sistemlerinin temel sınırlaması genellikle filtrenin işletme ömrü ve ilintili maliyetleridir (Yavuz, 2010).

MF genellikle, partiküllerin, kolloidal maddelerin ve bulanıklığın giderilmesi amacıyla diğer membran proseslerinden önce ön arıtım prosesi olarak kullanılır. Ayrıca MF prosesi, boyarmadde içeren atksulardan renk gideriminde, yağ içeren atıksuların arıtılmasında, meyve suyu endüstrisi atıksularının arıtılmasında, suların dezenfeksiyonunda ve sulardan doğal organik madde gideriminde kullanılmaktadır (Kaya, 2007).

3.4.2. Ultrafiltrasyon

1–100 μm aralığındaki partiküllerin ayrılmasını sağlayan ultrafiltrasyon membranları kolloidleri, proteinleri, mikrobiyolojik kirleticileri ve iri organik molekülleri tutarken bütün çözünmüş tuzlar ve çok küçük boyuttaki moleküller membrandan geçmesine izin verirler (Tabakcı, 2006; Yavuz, 2010).

UF başlıca, tekstil endüstrisi atıksularının arıtılması ve boyar madde geri kazanımında, kağıt endüstrisi atıksularının, metal endüstrisinde yağ emülsiyonlarının konsantre edilmesi ve atıksu geri kazanımında, deri endüstrisi atıksularının arıtılmasında ve geri kazanımında (yağ, protein ve metal) kullanılmaktadır (Kaya, 2007).

3.4.3. Nanofiltrasyon

0.5–5 μm aralığında gözenek boyutuna sahip olan nanofiltrasyon membranları, organik molekülleri tutarlar. Yüzey sularından toplam organik karbon ve renk giderimi, ağır metal ve çözünmüş katıların giderimi gibi işlemlerde kullanılırlar (Tabakcı, 2006). NF prosesinden önce, ön arıtım metotlarının uygulanması gerekebilmektedir (Kaya, 2007).

NF prosesi ile sulardan sertlik ve pestisit, tekstil endüstrisinde atıksuların arıtılması ve boyar madde geri kazanımı, gıda endüstrisinde üretim yapılan tankların yıkanması sonucu oluşan atıksuların geri kazanımı, kağıt endüstrisinde atıksuların arıtılması ve geri kazanılması, metal kaplama endüstrisinde asidik çözeltilerden metal iyonlarının ayrılması, makine yıkama sularının arıtılması ve geri kazanılması alanlarında yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Özetle kullanım alanları aşağıdaki gibi verilebilir (Kaya, 2007);

1. Bir değerlikli iyonlar geçerken çok değerlikli anyonların tutulması:
   - Proses ve içme sularının yumuşatılması.

- İyon değiştirici veya RO tesisleri için ön arıtma olarak.

2. Bir değerlikli tuzlar geçerken organik bileşiklerin tutulması:
   - İçme suyu arıtımı
   - Tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularından renk giderimi
   - Peynir altı suyundan laktoz ve proteinlerin tutulması
   - Yüzey aktif madde içeren atıksulardaki tuzların giderimi
3. Sulu çözeltilerdeki düşük ve yüksek moleküllü maddelerin birbirinden ayrılması:
   - Şarabın alkolünün giderimi
   - Biyolojik arıtma basamağından önce, atıksudaki zor parçalanan maddelerin ayrılması

3.4.4. Ters Osmoz

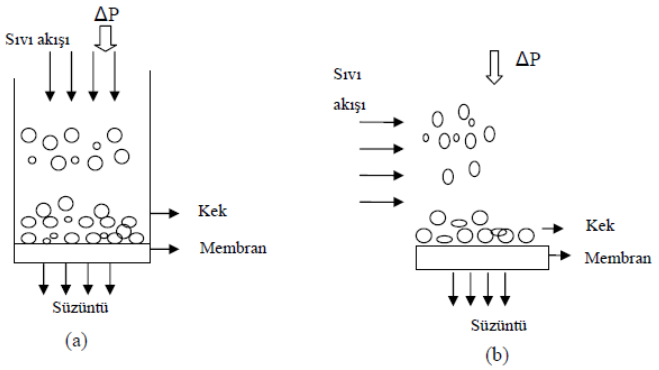
Ters osmoz (RO), membran prosesleri içinde en ince membran prosesidir. RO proseslerinde membrandan geçen tek materyal sudur ve tüm çözünmüş ve süspanse olmuş materyaller giderilebilir. Bu nedenle en başarılı sonuçlar RO membranları ile elde edilebilir (Tabakcı, 2006).

Ters osmoz sisteminin pek çok avantajı vardır. Tesisin ilk yatırım maliyeti düşüktür. Tam otomatik olarak çalıştırılabilir. İşletme masrafı ve enerji sarfiyatı düşüktür. Üretim parçaları korozyona karşı dayanıklıdır. Son teknoloji ile üretilmiş olup, mikroprosesör kumandalıdır (Duman, 2012). Buna karşın ters osmoz sisteminin dezavantajları da vardır. Arıtma işleminden sonra sistemden çıkan suyun yaklaşık %35-40'ı sisteme giren sudan daha yoğun bir kirliliktedir. Çıkan suyun istenilen değerlerde olması için giriş suyu özelliklerinin mümkün olduğunca sabit olması/tutulması gerekmektedir (Duman, 2012).

RO prosesi, deniz suyundan tatlı su üretimi, tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularından renk giderimi, metal kaplama endüstrisi atık sularının arıtılması ve geri kazanımında, süt endüstrisinde, tarımsal drenaj sularının arıtılması ve geri kazanılmasında kullanılmaktadır (Kaya, 2007).

3.5. Membran Sistemlerinin Atık Su Arıtımdaki İşletim Şekilleri

Filtrasyon teknolojilerinde atık su çözeltilerinin arıtılmaları esnasında ayırım yöntemi iki kategoride sınıflandırılabilir. Bunlar Şekil 3.6.'daki gibi çapraz ve düz akış sistemleridir (Kitiş, ve vd., 2009).



Şekil 3.6. Membran Proseslerinde Akış Şekilleri

3.5.1. Klasik akış

Klasik, düz akış filtrasyonu, 0,1-10 μm boyut aralığındaki partiküllerin bulunduğu sıvı veya gazların ayırımında kullanılır. Genellikle tabaka şeklindeki membranlar tercih edilmektedirler. Ayırım verimi filtre edilecek partiküllerin boyutuna bağlıdır. Çözelti, membrana doğru dikey olarak hareket ederken, partiküller veya askıda katı maddeler membran yüzeyi tarafından tutulurlar. Partiküller membranın gözeneklerinin içinde veya yüzeyinde tutunarak filtrasyon akısının azalmasına sebep olurlar. Akış ciddi miktarda azaldığında membranın temizlenmesi veya değiştirilmesi gerekir. Klasik filtrasyonun uygulama alanları genellikle saflaştırma, berraklaştırma, sterilizasyon ve analizlemedir (Taş, 2013).

3.5.2. Çapraz Akış

Yüksek geri devir hızlarının sağlandığı çapraz akış filtrasyonunda filtrelenmemiş sıvı ve süzüntü olarak iki farklı akışa ayrılır. Konsantre sıvı sisteme geri devir edilir. Akış hızı membran yüzeyinde türbülansı arttırır. Bu sayede beslemedeki katılar membran yüzeyinde daha az birikir. Bazen geri devir hızı filtrasyon hızının 10 katı yüksek

olabilmektedir. Ayrıca bu akış, yüzeydeki konsantrasyon polarizasyon tabakasının önüne geçilmesini de sağlar. Ancak yine de filtrasyon ilerledikçe, membran yüzeyinde birikim artar, buna bağlı olarak filtrasyon hızı azalır. Akı veya basınç limit değerlerine ulaştığında membranın temizlenmesi veya değiştirilmesi gerekmektedir (Taş, 2013).

3.6. Konsantrasyon Polarizasyonu, Kirlenme ve Membran Temizlenmesi

Membran sistemlerinde karşılaşılan en büyük problem membran kirlenmesidir. Membran kirlenmesi, çözünmüş ve partiküler maddelerin membran yüzeyinde veya içinde birikerek gözenekleri tıkamasıdır. Bu nedenle membran performansı düşer ve filtrasyon zamanı uzar (Taş, 2013).

Membranlarda kirlenme;

• Çözünürlük sınırını aşan kirliliklerin membran yüzeyinde çökmesi,
• Süspanse ve kolloidal maddelerin membran yüzeyinde ve gözeneklerinde tutulması,
• Membran üretim polimeri ile çözeltinin kimyasal etkileşimi,
• Membran yüzeyinde düşük molekül ağırlıklı maddelerin adsorpsiyonu,
• Makromoleküler maddelerin membran yüzeyinde jel tabaka oluşturması,
• Mikroorganizmaların membran polimeri ile hidrofobik etkileşimde bulunması ile gerçekleşebilir (Kaya, 2007).

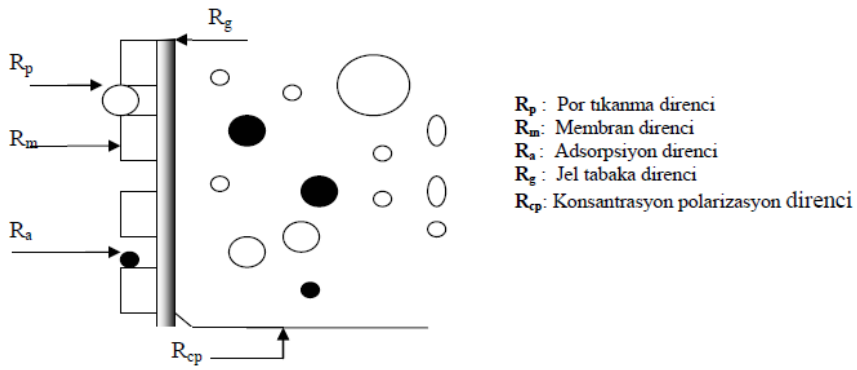
Kirlenmenin adımları Şekil 3.7.'de gösterildiği gibi şu şekilde belirtilmiştir;

1) Adsorbsiyon: Membran ile atık su içerisindeki kirlilik yaratan madde arasındaki spesifik etkileşimler sebebiyle meydana gelir. Partiküller, membran yüzeyinde tabaka oluştururlar, bu nedenle hidrolik direnci artırırlar. Eğer adsorbsiyon konsantrasyona bağlı gerçekleşiyorsa konsantrasyon polarizasyonu, adsorbsiyonun miktarını artırır.

2) Gözenek tıkanması: Arıtma işleminin başında atık su içeriği, yürütücü kuvvet ile temiz membranın gözeneklerine doğru hızlı bir şekilde hareket eder. Bu kirliliklerin membran gözeneklerini tamamen ya da kısmen kapatması nedeniyle akı azalır.

3) Birikme: Filtrasyon ilerledikçe, partiküllerin birikmesi membran yüzeyinde devamlı gelişen bir tabaka oluşturur. Bu mekanizma genellikle kek direnci olarak ifade edilir.

4) Jel oluşumu; Membran yüzeyindeki birikim devam ettikçe, konsantrasyon polarizasyonu, membran yüzeyinde jel oluşumuna sebep olur (Taş, 2013).



Şekil 3.7. Membran Yüzeyinde Oluşan Kirlilik Tipleri

Membran kirlenmesini önleyecek önemli faktörler ise;

• pH ayarlanması, fiziksel arıtım, klorlama, aktif karbon adsorpsiyonu, kimyasal çöktürme gibi metotlarla arıtım öncesinde besleme çözeltisinden kirleticilerin azaltılması,

• Besleme çözeltisinin içerik özelliğine göre uygun membran seçiminin yapılması

• Uygun membran konfigürasyonlarının seçilmesi,

• Membranların aralıklarla ve işlem sonrası temizlenmesi (Kaya, 2007).

Membran performansını önemli ölçüde etkileyen kirlenmenin olası etkilerinin önüne geçmek için uygulanan membranların temizlenmesi işlemi, fiziksel temizleme yöntemleri ve kimyasal temizleme maddeleri kullanılarak yapılmaktadır. Fiziksel temizleme işleminde, kirliliklerin giderilmesinde ön arıtım, ters yıkama ve düz yıkama, titreşim ve ses dalgası oluşturmak gibi yöntemler uygulanabilir (Kaya, 2007).

Membranların kimyasal maddeler ile temizlenmesinde farklı yöntemler uygulanabilir. Anorganik kirliliklerin giderilmesinde membran asidik ürünlerle yıkanmalıdır. Organik kirliliklerde ise bazik yıkayıcılar daha uygundur. Mikroorganizmalar ile kirlenme durumunda ise dezenfektanlar kullanılmalıdır. Bu nedenlerle kimyasal temizlemede kirliliğin bileşiminin bilinmesi büyük önem taşır (Kaya, 2007).

4. KİMYASAL ÇÖKTÜRME

Kimyasal çöktürme, membran sistemlerinden sonra atık su arıtımında kullanılan diğer yöntemlerden biridir. Atık suya kimyasal eklenerek askıda katıların ve kirliliklerin çöktürülmesi olarak tanımlanır (Çalışır, 2010; Koyuncu, ve vd., 2013).

Kimyasal çöktürmede atık suya eklenen kimyasallar, atık su içerisindeki maddelerle tepkime oluştururlar. Kimyasal çöktürmede en çok kullanılan malzemeler,

- Şap (Alum),
- Kireç,
- $FeSO_4$ (copperas) ve kireç,
- $FeCl_3$ ve kireç,
- Fe (III) sülfat ve kireçtir.

Bor gideriminde pek çok organik ve inorganik çöktürücü kullanılabilmektedir. Kireç de bu çöktürücülerden biridir. Kireç ile borun çöktürülmesinde 1000 mg/L'den fazla miktardaki borun 400 mg/L seviyelerine çekebilebilmesi mümkündür. Çöktürme işleminde kireç kullanılacaksa kg kalsiyum hidroksit ($Ca(OH_2)$) başına 1,35 kg AKM çamur meydana gelir (Koyuncu, ve vd., 2013; Uslu, 2010).

Sıcaklık, tuz konsantrasyonu, pH, kirliliğin cinsi ve konsantrasyonu çöktürme işlemini etkileyen önemli parametrelerdendir. Bu parametrelerle ilgili optimum koşullar sağlandığında %80-90 giderim verimi elde edilebilmektedir. Özellikle çöktürme işlemi, uygun pH değerinin ayarlanmasıyla yürütülmelidir. Kireç ile çöktürme aynı zamanda metalleri gidermede de oldukça etkindir (Balahorli, 2011; Çalışır, 2010; Koyuncu, ve vd., 2013).

Bu çalışmada da araştırmalara göre özellikle bor gideriminde yüksek verime sahip olan kireç (toz $Ca(OH)_2$) ile çalışılmıştır.

5. BOR ENDÜSTRİSİ

Günümüzde gelişen sanayi ve teknolojik ilerlemelerle cam sanayi, deterjan sanayi, metalurji, tarım ve nükleer uygulamalar gibi pek çok alanda temel girdi maddelerin başında gelen bor mineralleri canlıların da yaşantısını devam ettirmesi için vazgeçilmez mineral kaynaklarından biridir. Dünyadaki bor rezervlerinin çoğu Türkiye'dedir. Dünyada B_2O_3 bazında toplam 1,176 milyon ton olan bor rezervlerinde Türkiye'nin payı %72,3, ABD'nin payı %6,8 ve Rusya'nın payı %8,5'tir (Yenmez, 2009).

Bor'un saf elementi; ilk kez 1808 yılında Fransız kimyager J. L. Gay – Lussac ve Baron L.J. Thenard ile İngiliz kimyager H. Davy tarafından elde edilmiştir (Anon., 2018; Karakaş, 2008). Anadolu'da ise bor yataklarının bulunuşu ve işletilmesi Romalılar devrine uzanmaktadır. 13 ve 14. yüzyıllarda Susurluk ilçesinin Sultançayır mevkiindeki Pandermit yataklarının Romalılar tarafından işletildiği düşünülmektedir. Ancak yıllar boyunca Türkiye'deki bor madenleri, muhtelif yerli ve yabancı şirketler tarafından vergi ödemeden yurtdışına çıkarılmış veya işletilmiştir (TMMOB, 2016). Türkiye'de 1861 yılında çıkartılan "Maadin Nizamnamesi"ne göre ilk bor işletmeciliği 1865 yılında Susurluk Sultançayırı'nda Fransız bir şirkete verilmiştir. 1950'li yıllardan sonra ise bor madenciliğinde küçük ölçekli Türk işletmeleri faaliyete başlamışlardır. Etibank ilk kez 1958 yılında Emet'te bor madeni işletmeciliğine başlamıştır. 1964 yılında ise Polonyalı bir şirketle Bandırma'da Boraks ve Asit Borik fabrikası kurulmuştur. 1978 yılında çıkarılan 2172 sayılı yasa ile bor madenleriyle ilgili faaliyetleri tamamen devlet adına tek elden üretmek, işletmek ve pazarlamak amacıyla Etibank A.Ş"nin yönetimine bırakılmıştır (Yenmez, 2009). Bu dönemde Kırka Bor Türevleri, Bandırma Sodyum Perborat, Boraks ve Borik Asit Tesisleri gibi tesisler devreye alınmıştır (TMMOB, 2016). 1998 yılındaki yapılandırma ile Eti Holding A.Ş adını almıştır. Daha sonra bu kuruluş bor madenlerini işlemek, üretmek ve pazarlamak için kendine bağlı Eti Bor A.Ş'yi kurmuştur. Günümüzde, Türkiye için stratejik bir öneme sahip olan bor minerallerinin işletilmesinden Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü sorumludur (Yenmez, 2009).

5.1. Bor Elementinin Özellikleri

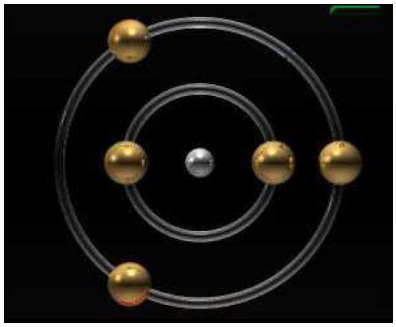
Bor, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilmekte ve 3A grubunda bulunmaktadır. Atom numarası 5, atom ağırlığı ise 10,81 olan bor elementi yarı metaldir ve yarı iletken özelliktedir. Doğada serbest bir element olarak bulunmayan bor, başka elementlerle bileşikler halinde bulunmaktadır. B10 ve B11 olarak adlandırılan iki ayrı kararlı izotobu oluşmaktadır ve çeşitli metal veya ametal elementlerle farklı özellikler gösteren bileşikler oluşturmaktadır. Bu özelliği sayesinde, endüstrinin farklı dallarında kullanılabilmektedir. Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranırken saf olarak karbon gibi elektrik iletkeni özelliği taşımaktadır. Kristalize bor, görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzerdir ve elmastan sonra en sert elementtir (Anon., 2018; Yenmez, 2009).

Doğada 230'dan farklı bor minerali bulunur. Bor, oksijenle bağ kurmaya yatkın olduğu için çok sayıda değişik oksijen bileşiği meydana getirir. Bu mineraller yapılarında farklı oranlarda bor oksit içeren bileşiklerdir. Ticari olarak en önemli bor mineralleri; Tinkal, Kolemanit, Kernit, Üleksit, Pandermit, Borasit, Szaybelit ve Hidroborasit'tir. Uluslararası kalite standartlarında yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülen başlıca bor mineralleri ise; Tinkal, Kolemanit ve Üleksit'tir. Bor elementi, Eti Maden tarafından çeşitli yöntemlerle fiziksel işlemler uygulanarak zenginleştirilir ve konsantre bor ürünlerine dönüşür. Daha sonra tesislerde rafine edilerek yüksek verimli, karlı ve sürdürülebilir bor ürünlerine dönüştürülerek cam, seramik, tarım, deterjan ve temizlik sektörleri başta olmak üzere endüstrinin birçok alanında kullanılır (Anon., 2018; Yenmez, 2009). Bor elementi, yerküreyi oluşturan 92 elementten birisi olarak, çevremizde toprak, su, bitki ve canlılarda belli oranlarda bulunabilir (TMMOB, 2016). Şekil 5.1.'de bor madeni gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Bor Madeni

Şekil 5.2.'de bor atomunun kabuk yapısı, Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3'de ise bor elementinin özellikleri verilmiştir (Anon., 2018; Dırak, 2011).



Şekil 5.2. Bor Atomu Kabuk Yapısı

Çizelge 5.1. Bor Elementinin Atomik Özellikleri

Atomik Çapı	1,17Å
Atomik Hacmi	4,6 cm^3/mol
Kristal yapısı	Rhombohedral
Elektron Konfigürasyonu	$1s^2\ 2s^2\ p^1$
Elektron Sayısı (yüksüz)	5
Nötron Sayısı	6
Proton sayısı	5
İyonik Çapı	0,23Å

Çizelge 5.2. Bor Elementinin Kimyasal Özellikleri

Elektrokimyasal Eşdeğer	0,1344g/amp-hr
Elektronegativite (Pauling)	2,04
Füzyon Isısı	50,2 kJ/mol
İyonizasyon potansiyeli	
Birinci	8,298
İkinci	25,154
Üçüncü	37,93
Valans elektron potansiyeli (-eV):	190

Çizelge 5.3. Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri

Atomik Kütlesi	10,811
Kaynama Noktası	4.275K – 4.002°C – 7.236°F;
Termal Genleşme Katsayısı	0,0000083cm/cm/°C (0°C)
Kondüktivite	
Elektriksel	$1,0E^{-12\ 106/}$cm
Termal	0,274 W/cmK
Yoğunluk	2,34g/cc @ 300K
Görünüş	Sarı-Kahverengi ametal kristal.
Atomizasyon Entalpisi	573,2 kJ/mol @ 25°C
Füzyon Entalpisi	22,18 kJ/mol
Buharlaşma Entalpisi	480 kJ/mol
Sertlik	
Mohs	9,3
Vickers	49000 MN m^{-2}
Buharlaşma Isısı	489,7kJ/mol
Ergime Noktası	2573K 2300°C 4172°F
Molar Hacmi	4,68 cm^3/mol
Fiziksel Durumu	Katı (20°C ve 1atm):
Spesifik Isısı	1,02J/gK
Buhar Basıncı	0,348Pa@2300°C
Buharlaşma Isısı	489,7kJ/mol

5.2. Önemli Bor Bileşikleri

Bor minerallerinin işlenmesiyle ana maddeler olan boraks ve borik asit; bu ana maddelerden çıkılarak da organik ve anorganik çok sayıda bor bileşiği elde edilmiştir (Karakaş, 2008). Aşağıdaki Çizelge 5.4.'te bu bileşiklerden bazıları ve bunların kullanım alanları verilmiştir (TMMOB, 2016).

5.2.1. Boraks (Tinkal) ($Na_2B_4O_7.10H_2O$)



Şekil 5.3. Tinkal Mineralinin Görüntüsü

Renksiz ve saydam olmasına rağmen, bileşimindeki çeşitli safsızlıklar nedeniyle pembe, sarımsı, gri renklerde bulunabilir. Sertliği 2-2,5 özgül ağırlığı 1,7'dir. B_2O_3 içeriği %36,5'dir. Tinkal çabuk bozunarak, suyunu kaybederek tinkalkonit'e dönüşebilir. Killer ara katkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Türkiye'de Eskişehir-Kırka yatağında bulunmaktadır (Dırak, 2011).

5.2.2. Kernit ($Na_2B_4O_7.4H_2O$)



Şekil 5.4. Kernit Mineralinin Görüntüsü

Renksiz, saydam beyaz, uzunlamasına bireysel iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1,95'dir. Atmosferik koşullarda tinkalkonit'e dönüşür. Soğuk suda yavaş çözünür. B_2O_3 içeriği % 51,0'dir. Kırka'da Na-borat kütlesinin derin kısımlarında bulunur. Dünya'da ise Arjantin ve A.B.D.'de bulunur (Dırak, 2011).

5.2.3. Üleksit ($NaCaB_5O_9.8H_2O$)



Şekil 5.5. Üleksit Mineralinin Görüntüsü

Masif, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı beyaz olup gri renk tonlarında da bulunabilir. İpek parlaklığında olanları da vardır. Kolemanit, hidroborasit ve probertitle birlikte bulunur. B_2O_3 içeriği %43,0'tür. Türkiye'de Kırka, Bigadiç ve Emet'te, Dünya'da Arjantin'de bulunmaktadır (Dırak, 2011).

5.2.4. Kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.H_2O$)



Şekil 5.6. Kolemanit Minarelinin Görüntüsü

Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4,5, özgül ağırlığı 2,42'dir. B_2O_3 içeriği %50'dir. Suda yavaş, HCl'de hızlı çözünür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Killer içinde cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller halinde bulunur. Türkiye'de Emet, Bigadiç, Kestelek yataklarında ve Dünya'da A.B.D'de bulunur (Dırak, 2011).

5.2.5. Probertit ($NaCaB_5O_9.5H_2O$)



Şekil 5.7. Probertit Mineralinin Görüntüsü

Kirli beyaz, açık sarimsi renklerde olup ışınsal ve lifsi şekilli kristaller şeklinde bulunur. Kristal boyutları 5mm ile 5cm arasında değişir, B_2O_3 içeriği % 49,6'dir. Kestelek yataklarında üleksitin yanında ikincil mineral olarak gözlenir. Ancak Emet'te uniform tabakalı birincil olarak, Doğanlar-İğdeköy bölgesinde kalın tabakalı olarak bulunur (Dırak, 2011).

5.2.6. Pandermit ($Ca_2B_{10}O_{19}.7H_2O$)



Şekil 5.8. Pandermit Mineralinin Görüntüsü

Beyaz renkte ve yekpare olarak gözükmektedir. Kireçtaşına benzemektedir. Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. Kolemanit ve kalsite dönüşmektedir. B_2O_3 içeriği %49,8'dir (Dırak, 2011).

5.2.7. Hidroborasit ($CaMgB_6O_{11}.6H_2O$)



Şekil 5.9. Hidroborasit Mineralinin Görüntüsü

Bir merkezden ışınsal ve iğne şeklindeki kristallerin rastgele yönlenmiş ve birbirini kesen kümeleri halinde bulunur. Lifsi bir dokuya sahiptir. B_2O_3 içeriği % 50,5'dir. Beyaz renkte, bazen içerisindeki safsızlıklara bağlı olarak sarı veya kırmızımsı renklerde (arsenik içeriğine göre) bulunur. Kolemanit, üleksit, probertit, tunelit ile birlikte bulunur. Türkiye'de en çok Emet-Doğanlar-İğdeköy sahasında ve Kestelek'te rastlanır (Dırak, 2011).

Çizelge 5.4. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları

ÜRÜN	KULLANIM ALANLARI
Amorf ve Kristal Bor	Askeri piroteknik, nükleer sanayi, metallerde alaşım elemanı ve deoksidan, bakır ve alaşımlarında gaz giderici, alüminyum dökümlerinde tane rafinasyonu, yarı iletkenler
Bor Esterleri	Polimerizasyon reaksiyonları için katalist, polimer stabilizatörleri, yangın geciktiricileri
Bor Flamentleri	Havacılık ve spor malzemeleri için kompozitler
Bor Halidleri	İlaç sanayii, katalistler, elektronik parçalar, bor flamentleri ve fiber optikler
Bor Karbür	Ekipman bileyici, korozyon ve oksitlenme direnci gerektiren ekipman, askeri zırh plakası, uzay mekiği dış yüzey koruyucu, aşındırıcı, yüksek aşınma direnci ve esnemezlik gerektiren alanlar
Borazon	Yüksek hızlı kesiciler
Borik Asit	Antiseptikler, göz damlaları, bor alaşımları, nükleer, alev geciktirici, naylon, fotoğrafçılık, tekstil, dericilik, gübre, nikel kaplama, kimyasal katalist, cam, cam elyafı, seramik, emaye, sır
Fluoborik Asit	Kaplama solüsyonları, fluoborat tuzlar, sodyum bor hidrürler
Kolemanit	Tekstil cam elyafı, cüruf yapıcı, nükleer atık muhafazası
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık, yapıştırıcılar, tekstil, "finishing" bileşikleri, temizlik malzemeleri, alev geciktiricileri, gübreler ve zirai araçlar
Üleksit ve Probertit	Yalıtım cam elyafı, borosilikat cam
Sodyum Bor Hidrürler	Özel kimyasalları saflaştırma, kağıt hamurunu beyazlaştırma, metal yüzeylerin temizlenmesi

Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, deterjan, zirai ilaçlama, fotoğrafçılık, tekstil
Sodyum Pentaborat	Alev geciktirici, gübre
Sodyum Perborat	Deterjan ve beyazlatıcı, tekstil
Sodyum Tetraborat(Boraks)	Lehim ve kaynak, metal yüzeylerinin temizlenmesi, seramikler, sırlama, yüksek mukavemetli camlar
Susuz Boraks	Gübre, cam, cam elyafı, metalurjik cüruf yapıcı, emaye, sır, yangın geciktirici
Trimetil Borat	Kaplama solüsyonları, fluoborat tuzlar, sodyum bor hidrürler

5.3. Borun Kullanım Alanları

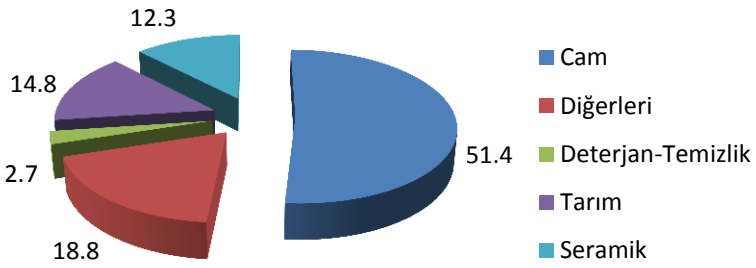
Çizelge 5.5'te oldukça üstün özelliklere sahip olan borun kullanım alanları ayrıntılı olarak belirtilmiştir (TMMOB, 2016).

Çizelge 5.5. Bor Madenlerinin Kullanım Alanları

KULLANIM ALANI	**KULLANIM YERLERİ**
Askeri ve Zırhlı Araçlar	Zırh plakalar, seramik plakalar, ateşli silah namluları
Cam Sanayi	Borosilikat camlar, laboratuvar camları, uçak camları, borcam, pyrex, izole cam elyafı, tekstil cam elyafı, optik lifler, cam seramikleri, şişe, diğer düz camlar, otomotiv camları.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayi	Mikro chipler, lcd ekranları, cd-sürücüleri, akım levhaları, bilgisayar ağlarında; ısıya-aşınmaya dayanıklı fiber optik kablolar, yarı iletkenler, vakum tüpler, dieletrik malzemeler, elektrik kondansatörleri, kapasitörler, gecikmeli sigortalar, bataryalar , laser printer tonerleri vb.
Enerji Sektörü	Güneş enerjisinin depolanması, güneş pillerinde koruyucu olarak, hücre yakıtları vb.
Fotoğrafçılık ve Görüş Sistemleri	Kamera ve mercek camları, fotoğraf makinaları, dürbünler, banyo ve film imalatları
İlaç ve Kozmetik Sanayi	Dezenfekte ediciler, antiseptikler, diş macunları, lens solüsyonları, kolonya, parfüm, şampuan vb.
İletişim Araçlarında	Cep telefonları, modemler, televizyonlar vb.
İnşaat Sektöründe	Mukavemet artırıcı ve izolasyon amaçlı olarak
Kağıt Sanayi	Beyazlatıcı
Plastik Sanayi	Naylon, plastik malzemeler vb.
Kimya Sanayi	Bazı kimyasalların indirgenmesi, elektrolitik işlemler, flotasyon ilaçları, banyo çözeltileri, katalistler, petrol boyaları, yanmayan ve erimeyen boyalar, tekstil boyaları, yapıştırıcılar, soğutucu kimyasallar, korozyon önleyiciler, mürekkep, pasta ve cilalar, kibrit, kireçlenme önleyicileri, dezenfektan sıvılar, sabun, toz deterjanlar,

	toz beyazlatıcılar, parlatıcılar mumyalama vb
Koruyucu	Ahşap malzemeler ve ağaçlarda koruyucu, boya ve vernik kurutucuları
Makina Sanayii	Manyetik cihazlar, zımpara, aşındırıcılar kompozit malzemeler
Metalurji	Kaplama sanayiinde elektrolit olarak, paslanmaz ve alaşımlı çelik, sürtünmeye-aşınmaya dayanıklı malzemeler, kaynak elektrotları, metalurjik flaks, refrakterler, briket malzemeleri, lehimleme, döküm malzemelerinde katkı maddesi, kesiciler kompozit malzemeler, zımpara ve aşındırıcılar
Nükleer Sanayi	Reaktör aksamları, nötron emiciler, reaktör kontrol çubukları, nükleer kazalarda güvenlik amaçlı ve nükleer atık depolayıcı
Otomobil Sanayi	Hava yastıklarında, hidroliklerde, plastik aksamda, yağlarda ve metal aksamlarda, ısı ve ses yalıtımı, antifrizler
Patlayıcı Maddeler	Fişek
Seramik Sanayi	Emaye, sır, fayans, porselen boyaları
Spor Malzemeleri	Kayak aksamları, tenis raketleri, balık oltaları, golf sopaları, darbe koruyucular vb.
Tarım Sektörü	Biyolojik gelişim ve kontrol kimyasalları, gübreler, böcek-bitki öldürücüler, yabani otlar vb.
Tekstil Sektörü	Isıya dayanıklı kumaşlar, yanmayı geciktirici ve önleyici selülozik malzemeler, izolasyon malzemeleri, tekstil boyaları deri renklendiricileri, suni ipek parlatma malzemeleri,
Tıp	Ostreopoz Tedavilerinde, Alerjik Hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik Gelişiminde ve Artiritte, Menopoz Tedavisinde BNTC Terapi Yöntemiyle Beyin Tümörlerinin Tedavisinde, Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında vb.
Uzay ve Havacılık Sanayii	Sürtünmeye-Aşınmaya ve Isıya Dayanıklı Malzemeler, Roket Yakıtı, Uydular, Uçaklar, Helikopterler, Zeplinler, Balonlar vb.

Şekil 5.10.'da borun bazı kullanım alanlarına göre yüzdesi verilmiştir (TMMOB, 2016).



Şekil 5.10. Borun Temel Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı

5.4. Dünya Bor Rezervleri

Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, Rusya ve A.B.D'de olup dünya ticari bor rezervleri temel olarak 4 bölgede toplanmaktadır.

• ABD Kaliforniya Eyaletinin güneyinde bulunan "Mojave Çölü"
• Güney Amerika da yer alan "And Kemeri"
• Türkiye'nin de yer aldığı "Güney-Orta Asya Orojenik Kemeri"
• Doğu Rusya

Türkiye bu ülkeler içinde dünyanın en çok bor rezervlerine sahip olan ve dünyada en çok bor kimyasalları üretiminin gerçekleştirildiği ülkedir. Diğer önemli bor rezervlerinin bulunduğu bor yataklarının rezerv dağılımı aşağıdaki gibi özetlenebilir (Dırak, 2011):

- Rio Tinto firması tarafından açık ocak işletmeciliği ile işletilen yatağın toplam rezervi 2017 verilerine göre B_2O_3 bazında 16 milyon ton olarak verilmektedir. Aynı bazda mineral kaynaklarının ise 8,5 milyon ton olduğu bilinmektedir.

- Ayrıca, RT Borax işletme hakkını 2005 yılında aldığı Sırbistan'da bulunan Jadar bor havzasının tahmini rezervi B_2O_3 bazında 16,2 milyon tondur. Şu ana kadar söz konusu

sahada üretim yapılmamıştır. Fakat Rio-Tinto 2015 yılında bu yatakta üretime başlamayı planladığını ifade etmiştir.

- Fort Cady Minerals tarafından çözelti madenciliği yöntemiyle işletilen Fort Cady Bor Yatağı Mojave Çölü'nde yer almaktadır. Düşük tenörlü ve 410 metre kadar derinde olması nedeniyle çıkarılması, işlenmesi oldukça zordur ve maliyeti çok yüksektir. Bu nedenlerle bu yatakta şu anda üretim yapılmamaktadır.

- American Borate Company (ABC) tarafından yer altı ocak işletmeciliği yöntemiyle işletilen Death Valley Bor Yatakları kolemanit, üleksit ve propertit içerir. Bu yatakta da şu anda üretim bulunmamaktadır.

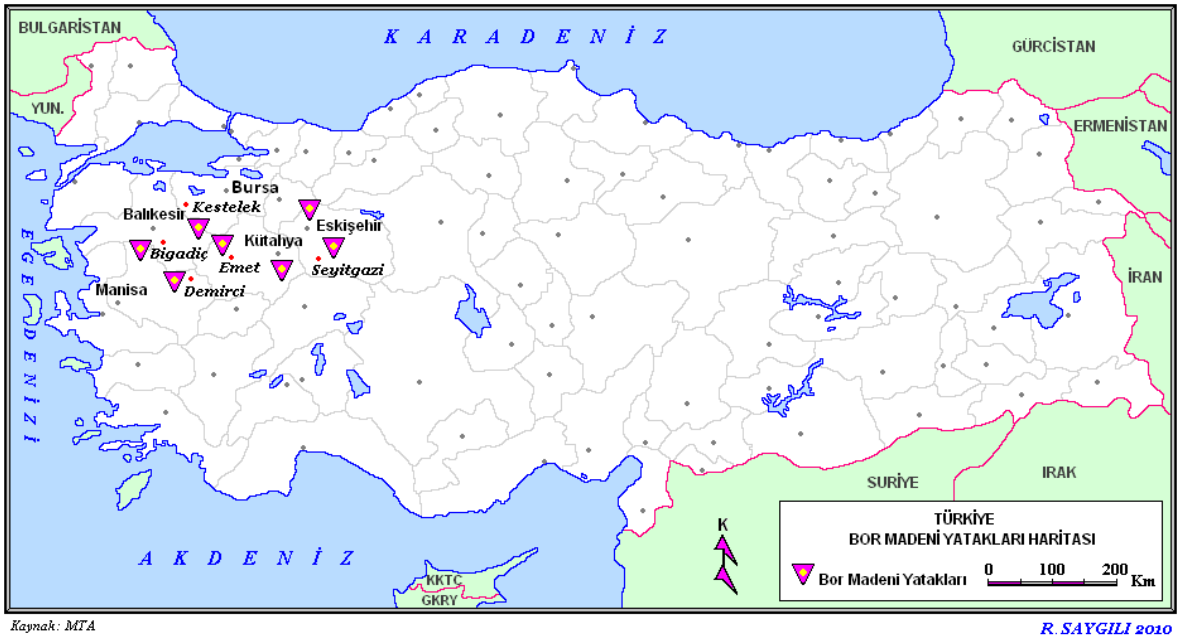
- Güney Amerika ülkelerindeki bor yatakları genelde çok geniş alanlara küçük rezervler halinde yayılmıştır. Ayrıca And Dağları'nın ortalama 4.000 metrenin üzerindeki yüksek bölgelerinde yer alır ve çalışma mevsimi kısadır. Madenlerin genelde tenörleri düşüktür. Bu rezervlerin büyük bir bölümünü üleksit oluşturmaktadır.

- Şili'de 4.050 m yükseklikte bulunan Salar de Surire bor cevheri yatağı 1,5 milyar tonluk rezervi ile dünyanın en büyük üleksit yataklarındandır. Kuzey Şili'de SQMSalar tarafından işletilen Salar de Carcote ve Salar de Ascotan, 7 milyon ton B_2O_3 bazında üleksit rezervine sahiptir. Peru'daki Laguna Salinas yatağı ise %25-27 B_2O_3 tenörlü 10 milyon ton tüvenan bor cevheri rezervine sahiptir.

- Asya ülkelerindeki bor rezervleri genelde magnezyum borat (Askarit) ve bazı bölgelerde tinkal ve borosilikattan oluşur. Bu cevherler, çoğunlukla düşük tenörlü olup rafine ürün üretiminde teknolojik zorlukları olan yapıdadır. Askarit cevheri özellikle Çin ve Kazakistan'dadır ve ortalama B_2O_3 tenörü %8-10'dur. Çin'de doğal bor yatakları geniş olsa da, yatakların %90'dan fazlasının tenörü %12 B_2O_3'ün altındadır. Doğal bor üretiminin büyük bir bölümü Çin'in kuzeydoğu bölgesindeki askarit yataklarından gerçekleştirilmektedir. Qinghai (Çin) bor yatakları 4.000 m yüksekte bulundukları ve birbiriyle ilişkili mineral grupları içerdikleri için (bor, lityum ve potasyum) Güney Amerika'da yer alan bor yataklarına benzemektedirler. Rusya'nın en önemli bor yatağı Dalnegorsk (Rusya), dünyada bilinen 3. önemli datolit bor yataklarından biridir ve ortalama B_2O_3 tenörü % 9-12' dir (Dırak, 2011).

5.5. Türkiye'deki Bor Yatakları

Türkiye'deki bor yatakları özellikle Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya'da bulunmaktadır. Dünya'daki bor rezervlerinin önemli mktarına sahip olan Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ($Na_2O.2B_2O_3.10H_2O$) ve kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$) tir. Türkiye'deki önemli tinkal yatakları Kırka'da bulunurken kolemanit yatakları Emet ve Bigadiç civarındadır. Ek olarak, Bigadiç'te düşük miktarda üleksit rezervi bulunur. Kestelek'te zaman zaman üleksit yan ürün olarak elde edilir (Dırak, 2011). Şekil 5.11.'de Türkiye'deki bor rezervleri gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Türkiye'de Bor Rezervleri

Aşağıdaki çizelgede ise haritada gösterilen işletmelerdeki ürünler gösterilmiştir (Duman, 2012). Bu çalışma Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde gerçekleştiği için ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

Çizelge 5.6. Bor Ürünleri Ve Üretim Tesisleri

ETİ MADEN İŞLETMELERİ	**ÜRÜNLER**
Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları	Borik asit, Sodyum perborat monohidrat, Perborat monohirat, Bor oksit, Boraks deka hidrat, Boraks Penta hidrat, Çinko Borat
Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü	Konsantre kolemanit, Öğütülmüş kolemanit, Konsante Üleksit, Öğütülmüş üleksit
Emet Bor İşletme Müdürlüğü	Konsantre kolemanit, Öğütülmüş Kolemanit, Borik asit
Kırka Bor İşletme Müdürlüğü	Boraks deka hidrat, Susuz boraks, Boraks penta hidrat, Kalsine tinkal, Konsantre tinkal, Eti Matik
Kestelek Açık Ocak Birimi	Konsantre kolemanit

5.6. Borun Canlılar Üzerine Etkileri

Bor elementi, insan sağlığı üzerinde oldukça etkili olan elementlerden biridir ve bu etkiler üzerine yapılan araştırmalar son yıllarda artış göstermiştir (Kabay, ve vd., 2010). Bor özellikle bitkiler için önemli bir elementtir. Atık sulardan çevreye yayılan ve farklı şekillerde doğaya salınarak yağışlarla yeraltına veya akarsulara karışan bor ve bor bileşikleri suların kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yapabilir. Bor eksikliği genel olarak bitkide çeşitli dokuların oluşumunu ve gelişimini yavaşlatır, bitkilerin su düzenini etkiler (Karakaş, 2008). Bor eksikliği belirtileri, bitkilerde kök ve yaprak büyümesi, kabuk ayrılması, enzim reaksiyonlarının gecikmesidir ve bitkilerin ölümüne neden olabilir (Kabay, ve vd., 2010). Diğer canlılarda ise bor alımının metabolizmayı; hormon sistemini; bağışıklık sistemini; kalsiyum, bakır, magnezyum, azot, glikoz, trigliseridler, reaktif oksijen ve östrojen emilimini ve kan, beyin ve kemik yapısı gibi birçok sistemin fonksiyonunu etkilediğini göstermiştir. Yapılan çalışmalar sonucu borun magnezyum emilimini kolaylaştırılması sonucu dikkat, idrak, kavrama, kısa ve uzun dönem hafızaları, el becerilerinde artış gözlenmiştir. Ayrıca D-3 vitamini seviyesini artırdığı ve kemikleri güçlendirdiği de doğrulanmıştır. Üstelik kollajen enzimlerini etkileyerek ve antioksidan enzim aktivitesini yükselterek yaşlanmayı geciktirmektedir. Son dönemde ise bor alımının PSA düzeyini düşürdüğü, böylece prostat kanseri riskini azalttığını ve tedavi edici etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır (TMMOB, 2016; Yalçın, 2008). Canlılar ihtiyaçları olan bu bor elementini;

- İçme suları,
- Günlük beslenme,

- Madencilik, üretim veya diğer endüstriyel aktiviteler sırasında solunum yolu ile,
- Kozmetik, sabun, deterjan gibi tüketim malları kanalı ile almaktadır (TMMOB, 2016).

Gün içinde meyve, sebze ve tahıllarla 1-3 mg civarında bor vücuda alınmaktadır (TMMOB, 2016). Vücuda alınan bor, vücut tarafından soğurulmakta; ancak vücutta birikmeden üre ile dışarı atılmaktadır (Karakaş, 2008). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre insanlar için ortalama günlük güvenli bor aralığı 1-13 mg'dır. ABD National Academies Institute of Medicine verilerine göre ise erişkin insanlar için bu miktar 20 mg olarak belirlenmiştir. Ayrıca bor diyeti (0,3-0,4 mg/gün) uygulanan insanlarda gözlenen biyolojik fonksiyonlardaki olumsuzluklar nedeniyle günlük bor alımının 3 mg'a arttırılması gerektiği de gözlenmiştir (TMMOB, 2016).

Bor elementinin faydalarına ek olarak aşırı alındığında zararlı etkileri de bulunmaktadır. Bulantı, kısma, ishal, fotofobi, baş ağrısı, ateş, ciltte döküntüler, bu etkilerden bazılarıdır. Solunduğunda burun ve boğazda tahriş gözlenmektedir (Yalçın, 2008). Deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalarda yüksek dozdaki borik asit uygulamasında üreme ve gelişmede olumsuz etkiler gözlenmiştir (TMMOB, 2016). Diğer çalışmalarda, borun iki kuşak boyunca aktarılan önemli bir etkisi olmadığı fark edilmiştir. Hayvanlarda içilen suda 2500 mg/L borik asit bulunmasının büyümeyi engellediği sonucuna varılmıştır (Karakaş, 2008).

Borun topraktan absorpsiyonu; toprağın pH'ına, yapısal karakterine bağlıdır. Biriken bor; köklerle topraktan alınır ve yüksek konsantrasyona ulaşınca borun fazlası yapraklara taşınır, buharlaşma sonucu yaprak kenarında birikir. Bu nedenle yapraklar kenardan ortaya doğru kıvrılır. Kısacası bitkilerde bor derişiminin fazla olması durumunda, bitki yaprağında sararma, yanma ve yarılma; olgunlaşmış yapraklarda dökülme ve büyüme hızının yavaşlaması gibi olumsuz etkiler gözlenmiştir (Karakaş, 2008).

Bor, toprakta ve sulama sularında düşük konsantrasyonlarda bulunmasına rağmen, toprakta tutulması ve yıkanmasının güçlüğü nedeniyle toprakta hızla birikmekte ve tarımsal ürünlerin yetişmesini engellemekte, fazla alımı ile canlıları olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla endüstrilerin oluşturduğu atık sularda bulunan borun olası zararlarından dolayı alıcı ortama deşarj edilmeden atık sulardan uzaklaştırılması ve ekonomik açıdan geri kazanım şeklinde tekrar kazanılması gerekmektedir (Karakaş, 2008).

5.7. Yüksek Bor İçerikli Suyun Arıtımı

Sulardan kaynaklanan bor problemlerinin topraktan kaynaklananlara oranla daha fazla olduğu saptanmıştır. Suda bor kirliliği önemli bir ekolojik tehdittir. Bu nedenle bor içeren suların uygun yöntemlerle arıtılması gerekmektedir (Yalçın, 2008). Teknolojinin gelişmesi ile bor içeren atık suların arıtılmasında da arıtım teknikleri incelenmektedir. Bu yöntemler ötektik donmalı kristalizasyon, koagülasyon-flokülasyon, elektrodiyaliz, adsorbsiyon ve membran prosesi olarak sayılabilir (Üncü ve Özkan , 2014; Yalçın, 2008).

Çizelge 5.7.'de Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne (SKKY) göre atık sulardaki borun deşarj sınırları verilmiştir (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004).

Çizelge 5.7. SKKY'e göre Atıksulardaki Parametre Sınırlamaları

Sektör: Metalik Olmayan Maden Sanayii (Bor Cevheri)			
Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
Kimyasal Oksijen İhtiyaci (KOI)	(mg/L)	100	-
Bor (B)	(mg/L)	500	-
Balık Biyodeneyi (Zsf)	-	8	-
pH	-	6-9	6-9

5.8. Emet Bor İşletme Müdürlüğü Tanıtımı

Dünya'nın en büyük ve değerli kolemanit rezervleri olan Hisarcık ve Espey bölgesi cevherlerini işletmek üzere Kütahya'nın Emet ilçesinde 1958'de kurulmuş olan Emet Bor İşletme Müdürlüğü, Dünya bor rezervlerinin yaklaşık %40'ını, Türkiye'deki rezervlerin ise %55'ini bünyesinde bulundurur. Açık ocaklardan çıkarılarak konsantratörlerde fiziksel zenginleştirme işlemi sonucu oluşan konsantre kolemanit, değirmenlerde öğütülerek istenilen boyutlarda ürün haline getirilir. Bu işlemden sonra ise reaksiyon, filtrasyon, kristalizasyon ve kurutma uygulamaları ile sektörde önemli bir yeri olan borik asite dönüştürülür.

Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde bor ürünleri üretiminin arttırılması için yapılan yatırımlar neticesinde 2003 yılında 1. borik asit tesisi, 2011 yılında 2. borik asit tesisi ve 2014

yılında ise özel spektli ürünlerin üretildiği Çok Amaçlı Borik Asit Tesisi devreye alınmıştır. Böylece, yıllık borik asit üretim kapasitesi 290 bin tona çıkarılmıştır. Sektöründe uzman personel ile 1638 hektarlık alanında başta bor ve bor ürünleri olmak üzere madencilik, kimya ve lojistik faaliyetlerini uluslararası kalite standartlarında son teknolojiyle yürütmektedir. Dünyanın en büyük kolemanit rezervlerine sahip olan Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde borik asit, konsantre kolemanit, öğütülmüş kolemanit ürünleri üretilir.

Kalite, çevre, enerji, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi, akredite laboratuvar belgeleri ile gerekli çevre izin belgeleri çerçevesinde önemli projeler ve faaliyetler yürütülmektedir. Ayrıca verimli, karlı ve sürdürülebilir bor ve bor ürünleri üreten Emet Bor İşletme Müdürlüğü; mevcut ocakların çevresinde yapılan ağaçlandırma çalışmalarıyla doğanın ve doğal hayatın korunmasına yüksek duyarlılık göstermektedir.

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmalarında; özellikle atık sulardan membran sistemleri ile bor giderim çalışmaları incelenmiştir. Söz konusu inceleme yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Demirçivi, "Atık Sulardan Kesikli ve Sürekli Sistemlerle Bor Giderimi" başlıklı çalışmasında kesikli (Langmiur ve Freundlich izoterm modelleri ile) ve sürekli (Thomas ve BDST izoterm modelleri ile) sistemlerde Amberlite IRA-743 bor selektif reçinesi ve modifiye zeolit (HDTMA-zeolit) kullanarak deneysel parametrelerin bor giderimi üzerine olan etkileri ve modellenmesi üzerine çalışmıştır. Bor çözeltilerini sentetik olarak hazırlamıştır. Kesikli sistem denemelerinde her iki adsorban için de, bor giderim yüzdesinin adsorban miktarının artmasıyla arttığı görülmüştür. Amberlite IRA-743 adsorbanı için başlangıçtaki çözelti konsantrasyonu arttıkça bor gideriminin azaldığı; HDTMA-zeolit için ise arttığı görülmüştür. Amberlite IRA-743 ve HDTMA-zeolit adsorbanı için Freundlich izoterm modelinin daha uygun olduğu görülmüştür. Sürekli sistem deneylerinde ise, Amberlite reçinesi kullanılarak yapılan başlangıç çözelti konsantrasyonu deneyinde, konsantrasyon arttıkça bor giderme veriminin arttığı, HDTMA-zeolit için ise azalmanın olduğu gözlenmiştir. Her iki adsorban için, her iki modelin de uygun olduğu görülmüştür. Özetle HDTMA ile modifiye edilmiş doğal zeolitin, yüksek konsantrasyonlardaki (40 mg/L) başlangıç çözeltileri için pH 8,5'de yaklaşık %85'lik adsorbsiyon verimi sağladığı görülmüştür (Demirçivi, 2008).

Duman, "Bigadiç Bor İşletmesi Simav Açık Ocak Taban Suyundan Ters Osmoz Yöntemi İle Bor Giderimi" konulu çalışmasında Bigadiç Bor İşletmesi Simav Açık Ocak tabanında biriken 150±50 mg/L bor konsantrasyonuna sahip taban suyunu iki kademeli ters osmoz sistemine sahip Mobil Pilot Arıtma Tesisi ile 2 mg/L'nin altına indirmeyi amaçlamıştır. Bor gideriminde sıcaklık, pH, basınç ve giriş bor konsantrasyonunun etkisini incelediği çalışmasında pH ve basınç arttıkça bor giderim yüzdesinin arttığını, sıcaklık ve giriş bor konsantrasyonu arttıkça bor giderim yüzdesinin azaldığını gözlemlemiştir. Çalışmalarında en uygun şartların altında (T_1,T_2=20ºC ve P_1= 10 bar, P_2= 8 bar) 1. kademe ters osmoz ünite girişi pH>10 ve 2. kademe ters osmoz ünite girişi pH>10.50 olduğunda tesiste %99'un üzerinde bor giderim yüzdesine ulaşmıştır. Ayrıca maliyet ve enerji analizleriyle de çalışmasını desteklemiştir (Duman, 2012).

Erden, bor elementi içeren atık sudan klinoptilolit, perlit, bentonit gibi doğal malzemeler kullanarak bor adsorpsiyonunu incelediği çalışmasında kesikli deney çalışmaları yürütmüştür. Adsorbent dozu, pH, karıştırma zamanı, giriş konsantrasyonu ve sıcaklık gibi parametrelerin giderime olan etkilerini incelemiştir. Klinoptilolit ve perlitin uygun olmadığı sonucuna varmıştır. Langmiur ve Freundlich izoterm modellerini uygulamıştır. Deneylerin sonucunda 293 K, 5 gr bentonit/250 ml çözelti adsorbent dozu, 50 mg/lt H3BO3 konsantrasyonu, 60 dk karıştırma ve pH 7,90 şartlarında %73 verime ulaşmıştır (Erden, 2008).

Karakaş "Bor Endüstrisi Atık Sularının Nanofiltrasyonla Arıtılabilirliğinin İncelenmesi" isimli çalışmasında bor konsantrasyonu, pH, basınç, ve akış hızı gibi bazı çalışma parametrelerinin bor giderimine olan etkisini incelemiştir. Kompleks yapıcı olarak DMSO kullanmıştır. DMSO'nun kullanılmadığı çalışmalarda bor giderimi gözlenmemiştir. Dimetil sülfoksit ile %92'lik verim elde edilmiştir. Son olarak ise, çapraz akış membran filtrasyonu ve vakum filtrasyonu sırasıyla denemiş, nanofiltrasyonun katı sıvı ayrımı için daha uygun olduğu sonucuna varmıştır. Sonuç olarak atık su içerindeki borun %95'lere varan oranlarda giderildiğini göstermiştir (Karakaş, 2008).

Karcıoğlu, "Endüstriyel Atık Sulardan Kimyasal Koagülasyon Yöntemi ile Bor Giderimi" üzerine yaptığı çalışmasında kimyasal koagülasyona etki eden parametreleri (başlangıç bor konsantrasyonu, karıştırma hızı, çözeltinin başlangıç pH'ı ve koagülant maddenin cinsi ve dozajı) incelemiştir. Koagülant olarak alüminyum tuzlarından alüminyum sülfat, alüminyum nitrat, alüminyum klorür ve polialüminyum klorür (PACl) kullanmıştır. Kimyasal koagülasyon prosesine etki eden en önemli parametrenin pH olduğu, karıştırma hızının ise bor giderim verimini ekilemediğini görmüştür. Başlangıç bor konsantrasyonunun artması ise bor giderim veriminin arttığını; koagülant maddenin cinsi ve dozajının pH'a bağlı olduğunu, farklı alüminyum tuzlarının giderim veriminde değişiklik oluşturmadığını ve %35'lere kadar giderimin olabileceğini görmüştür. Polialüminyum klorürde ise optimum şartlarda, %78'in üzerinde verim sağlanmıştır (Karcıoğlu, 2009).

Khariji vd., poliamit RO (RO-AG ve RO-SG) ve NF (NF-90 ve NF-HL) membranları ile model su çözeltisinden bor giderimi üzerine farklı parametrelerin (geçirgenlik, yüzey yükü, MWCO, basınç, konsantrasyon, iyon ve pH vd.) etkisini inceledikleri çalışmalarında AG, SG

ve NF-90 membranları ile pH = 11'de %90 giderim verimine ulaşmışlardır (Kheriji, ve vd., 2016).

Köseoğlu vd., model çözelti ve deniz suyundan ters osmoz yöntemiyle bor giderimine çalıştıkları çalışmalarında 2 farklı membranla çalışmışlardır. pH değeri 10,5 olduğunda her iki çözeltide de %98'den fazla bor giderimi sağlanırken 8,2 pH değerinde model çözeltide deniz suyundan daha fazla giderim elde edilmiştir. Basınç 41,3 bardan 55,2 bara arttıkça deniz suyunda daha yüksek bor giderim gözlenmiştir (Köseoğlu, ve vd.,, 2007).

Uylaş, "Seyitgazi Yöresi (Eskişehir) İçme Sularında Bor Seviyelerinin Araştırılması" konulu çalışması kapsamında, Eskişehir İli Seyitgazi İlçesi'ne ait 47 köyde 2011-2012 tarihlerinde mevsimsel olarak içme suyu örneklerinin bor seviyeleri ve bazı fizikokimyasal parametrelerini incelemiş, istatistiksel olarak değerlendirmiş ve ulusal/uluslararası mevzuatlarda yer alan limit değerlerle karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda sıcaklık, pH, nitrit, nitrat, iletkenlik ve sülfat değerleri açısından problem olmadığını; amonyum, sodyum ve bor seviyelerinin ise bazı istasyonlarda problemlere yol açabilecek seviyelerde olduğunu belirlemiştir. Özellikle Çukurağıl, Kesenler ve Yazıdere istasyonlarında bor seviyelerinin insan sağlığını olumsuz yönde etkileyeceği sonucuna ulaşmıştır (Uylaş, 2013).

7. MATERYAL VE YÖNTEM

7.1. Pilot Ölçekli Ters Osmoz Denemeleri

Yüksek konsantrasyonlarda borun geri kazanılması için kimyasal çöktürme işlemi farklı teknolojiler arasında en kolay uygulanan metodlar arasındadır. Yapılan araştırmalara göre özellikle kirecin ($Ca(OH)_2$) bor giderimi için yüksek konsantrasyonlarda en iyi verime ulaşılan kimyasal çöktürücü olduğu bulunmuştur. Bu nedenle Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nce kurulan tesiste Espey barajı öncesi alınan atık su, laboratuvar çalışmaları sonucu belirlenen en uygun miktar olan % 1,25 oranında (100 litre suya 1,25 kg kireç ilavesi ve karıştırma) kireçlenerek bor giderimi için kimyasal proses uygulanmıştır. Atık suda bulunan borat ile kireç arasındaki dehidratasyon reaksiyonu sonucunda son ürün olarak kalsiyum borat ($Ca_2B_2O_5.H_2O$) oluşmaktadır. $Ca_2B_2O_5.H_2O$'ın oluşum mekanizması aşağıdaki eşitlikte (3)'de verilmiştir:

$$2Ca(OH)_2+2H_3BO_3 \rightarrow Ca_2B_2O_5.H_2O\downarrow+H_2O \quad (7.1)$$

Kireç ilaveli kimyasal çöktürme yöntemi ile yapılan uygulamalarda en fazla % 87'lik bir bor geri kazanım verimine ulaşılmıştır. Bu verimi daha fazla artırmak, tam bir verime (~%100) ulaşmak için farklı teknikler uygulanmıştır. Bu amaçla hem kireçleme öncesi hem de kireçleme sonrası ters osmoz prosesleri uygulanmıştır. Ultrafiltrasyon membranı olarak BASF İnge Dizzer Multibore 1,5 Ticari Membranı, kuyu suyu ters osmoz olarak LG Chem LG BW 4040 ES ticari membranı ve deniz suyu ters osmoz olarak ise Dupont Dow Filmtec SW30-4040 ticari membranı kullanılarak performansları değerlendirilmiştir (BASF, 2018; DuPont, 2018; Lenntech, 2018). Yapılan çalışmaların tümüne ait akış diagramı şematik olarak Şekil 7.1'de ve membranların özellikleri Çizelge 7.1'de verilmiştir. Kuyu suyu RO ve Deniz suyu RO membranları sadece tekil değil ayrıca birbirleri ile kombine şekilde de iki kademeli (Double Pass) olarak çalıştırılmıştır. Çalışmalar sırasında ayrıca farklı pH değerlerinde çalışılarak bor geri kazanımına ve membran performansına etkileri incelenmiştir. Uygulanan formüller aşağıdaki gibi sıralanabilir.

$$J = A.\frac{dX}{dx} \quad (7.2)$$

J, akıyı; dX/dx, sürücü kuvveti ifade eder. A; akı ve sürücü kuvvete bağlı bir katsayıdır.

$$\%R = \frac{C_p - C_f}{C_f} . 100 \quad (7.3)$$

Cf; filtre edilecek çözeltideki parametre konsantrasyonu, *Cp*; süzüntüdeki parametre konsantrasyonunu, *R* ise bor, iletkenlik ve arsenik giderim verimini ifade eder.

$$\%R = \frac{C_p}{C_f} . 100 \quad (7.4)$$

Burada ise C_p, çalışma sonucu bulunan değeri, C_f referans madde değerini, R ise geri kazanım oranıdır.

Laboratuvarda yapılan su analizlerinde bor içeriği analizleri volumetrik yöntem ile, arsenik içeriği analizleri ise Gutzeit yöntemi ile yapılmıştır.

7.2. Gutzeit Yöntemi ile As Tayini

1. As miktarına göre 1-50 ml su numunesi 250 ml 'lik erlene alınır ve numune 50 ml'ye tamamlanır.
2. Üzerine d=1,12 'lik HCl 'den 25 ml eklenir.
3. Üzerine 5 ml KI eklenir. 5 dk kadar beklenir, sararma oluşur.
4. Beyazlık görülene kadar $SnCl_2$ ilavesi yapılır.
5. Üzerine 2 ml %15'lik NiCl ilave edilir ve 4 gr granül Çinko atılır.
6. Erlenin kenarları yıkanır ve aparat kapatılır. As skalasına göre değerlendirilir.
7. Gaz çıkışı (H_3As) bittikten sonra Civa Bromürlü ($HgBr_2$) süzgeç kâğıdı, Etil Alkole batırıldıktan sonra oluşan sarı-portakal renk ile Arsenik skalasındaki renk ile karşılaştırılarak hesaba geçilir. Skalada, 1 ml Arsenik çözeltisi 0,002 mg Arsenik içerir.

$$Arsenik\ (ppm) = \frac{\text{Okunan değer x 2}}{\text{Çekilen miktar}} \quad (7.5)$$

7.3. B_2O_3 Tayini (TS 2481)

1. Sudaki B_2O_3 miktarına göre 1-250 ml su numunesi 500 ml'lik erlene alınır.
2. Üzerine 3-5 damla Metil Red damlatılır (sarı renk oluşur). Su numunesi asidik ise kırmızı renk oluşur.
3. Sarı renkli numune çözeltisi kırmızı oluncaya kadar seyreltik H_2SO_4 eklenir. Asidik ortamdan dolaylı kırmızı renk oluşmuş numune çözeltisine seyreltik H_2SO_4 eklenmez.

4. Numune yarıya ininceye kadar kaynatılır.
5. Numune oda sıcaklığına soğutulur.
6. Faktörü belirli 0,05 N NaOH ile nötrleştirilir.(Renk soğan kabuğuna dönene kadar).
7. Fenolftaleyn damlatılır, mannitol ilave edilir. 0,05 N NaOH ile titre edilir. Aynı aşamalar saf su ile de yapılarak kör sarfiyatı tespit edilir.

$$B2O3\ (ppm) = \frac{(S1-S2)x\ F}{\text{Çekilen Miktar}} \qquad (7.6)$$

(S1: Sarfiyat S2: Kör sarfiyatı F: Faktör)



Şekil 7.1. Çalışmaların Yürütüldüğü Pilot Tesisin Genel Görünümü

Çizelge 7.1. Çalışmada Kullanılan Membranların Özellikleri ((a) Basf İnge Dizzer Multibore 1,5 (b) LG Chem LG BW 4040 ES (c) Dupont Dow Filmtec SW30-4040)

Materyal	PES	**Membran alanı (m^2)**	4,0
Operasyon tipi	İçten dışa filtrasyon	**Uzunluk (mm)**	960±1,5
Patlama basıncı (bar)	>10	**Modülün dış yarıçapı (mm)**	100
Gözenek boyutu (µm)	0,02	**Filtrasyon bağlantısı iç çapı (mm)**	28,4
Kapilerlerin iç yarıçapı (mm)	1,5	**Ağırlık (kg)**	4,5

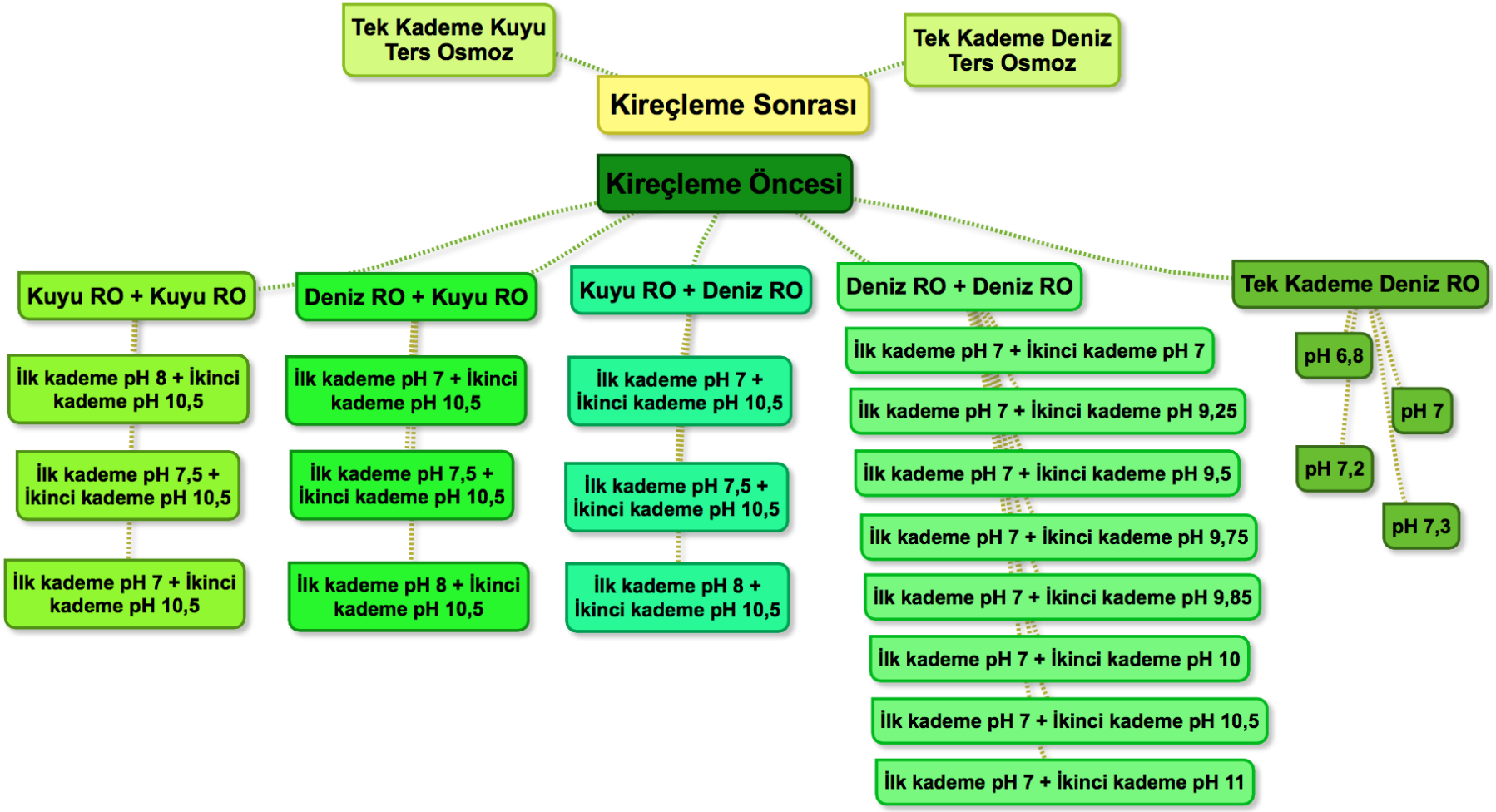
(a)

Materyal-Tip	Poliamid-TFC	**Maksimum Basınç**	69 bar
Maksimum Sıcaklık	45˚C	**Maksimum besleme akış hızı (m^3/h)**	3,6
pH aralığı			
Sürekli		2-11	
Kısa periyot		1-13	

(b)

Maksimum basınç (bar)	41	**Uzunluk (cm)**	101.6
Maksimum sıcaklık(˚C)	45,0	**Maksimum besleme akış hızı (m^3/h)**	0,4
Membran alanı (m^2)	7,9	**pH**	2-11

(c)



Şekil 7.2. Çalışma Kapsamında Yapılması Planlanan Ters Osmoz Çalışmalarının Akış Diagramı

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

8.1. Kireç İlaveli Atık Suda Tek Kademeli Kuyu Suyu RO Membranı Uygulaması

Kireç ilave edilmiş olan gölette pH değeri 8 iken kuyu suyu RO membranı uygulanmak üzere sisteme göletten çekilen hat vasıtası ile sürekli olarak su alınmıştır. Kuyu suyu RO sisteminde arıtım sağlanmıştır. Ham su giriş, UF ürün, RO ürün ve RO konsantre numuneleri laboratuvarda analiz edilmek üzere alınmıştır. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre %55-58 oranında bor giderimi, %99 oranında arsenik gideriminin olduğu tespit edilmiştir. Pilot tesiste yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 8.1'de ve belirli günlerde yapılan deneylere ait veriler Çizelge 8.2.a/b'de verilmiştir. Besleme ve çıkış sularına ait zamana karşı iletkenlik grafikleri ve akı-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 8.2.a/b ve Şekil 8.3a/b'de görülmektedir.

Çizelge 8.1. Besleme ve Çıkış Suyu Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları

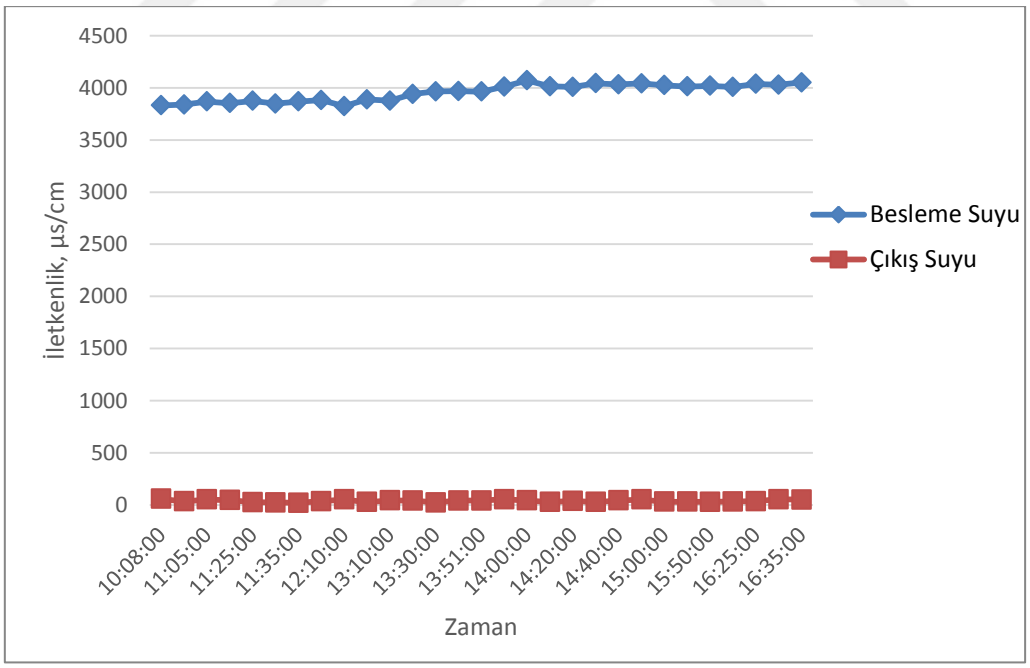
TARİH	PİLOT TESİS GİRİŞ SUYU				PİLOT TESİS RO ÜRÜN SUYU				GİDERİM VERİMİ	
	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (%)	As (%)
17.05.2018	1.680,00	3,20	8,100	4.015,12	761,00	0,020	7,348	36,40	54,70	99,38
18.05.2018	1.943,00	4,00	8,247	4.024,56	812,00	0,032	7,479	40,36	58,21	99,20

Çizelge 8.2.a. Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

17 Mayıs 2018						
SAAT	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**
10:08:00	1.024,31	224,25	3.831,02	59,32	9,90	32,04
10:12:00	901,33	323,11	3.838,25	34,72	9,86	46,16
11:05:00	1.125,58	312,50	3.868,63	52,08	9,69	44,64
11:10:00	1.349,83	318,29	3.852,72	46,30	9,31	45,47
11:25:00	1.103,88	299,48	3.874,42	26,05	9,67	42,78
11:30:00	1.017,07	237,27	3.848,38	23,15	9,67	33,90
11:35:00	1.053,24	234,38	3.868,63	20,25	9,65	33,48
11:50:00	1.102,43	287,91	3.881,66	36,17	9,63	41,13
12:10:00	1.099,54	285,01	3.823,78	52,09	9,58	40,72
12:15:00	1.048,90	263,31	3.887,44	27,49	9,61	37,62
13:10:00	1.079,28	290,80	3.875,87	43,40	9,57	41,54
13:15:00	1.100,98	285,01	3.939,53	41,96	9,55	40,72
13:30:00	1.085,07	302,37	3.964,12	23,15	9,50	43,20
13:35:00	1.072,05	287,91	3.967,01	41,96	9,49	41,13
13:51:00	993,92	241,61	3.962,67	41,96	9,31	34,52
13:55:00	1.066,26	256,08	4.010,42	54,98	9,49	36,58
14:00:00	1.138,60	270,55	4.071,18	43,40	9,90	38,65
14:15:00	1.064,81	247,40	4.013,31	27,49	9,54	35,34
14:20:00	1.089,41	285,01	4.007,52	39,06	9,55	40,72
14:35:00	1.087,96	271,99	4.043,69	27,49	9,54	38,86
14:40:00	1.085,07	282,12	4.032,12	43,40	9,57	40,30
14:45:00	1.066,26	264,76	4.040,80	52,08	9,57	37,82
15:00:00	1.074,94	270,54	4.024,88	31,83	9,67	38,65
15:05:00	1.034,43	251,74	4.011,86	31,83	9,66	35,96
15:50:00	1.082,18	280,67	4.019,10	30,38	9,70	40,10
15:55:00	1.054,69	261,86	4.007,52	33,28	9,70	37,41
16:25:00	1.027,20	243,05	4.036,46	36,18	9,21	34,72
16:30:00	999,71	212,67	4.029,22	54,98	9,25	30,38
16:35:00	972,22	231,48	4.050,93	50,64	9,19	33,07

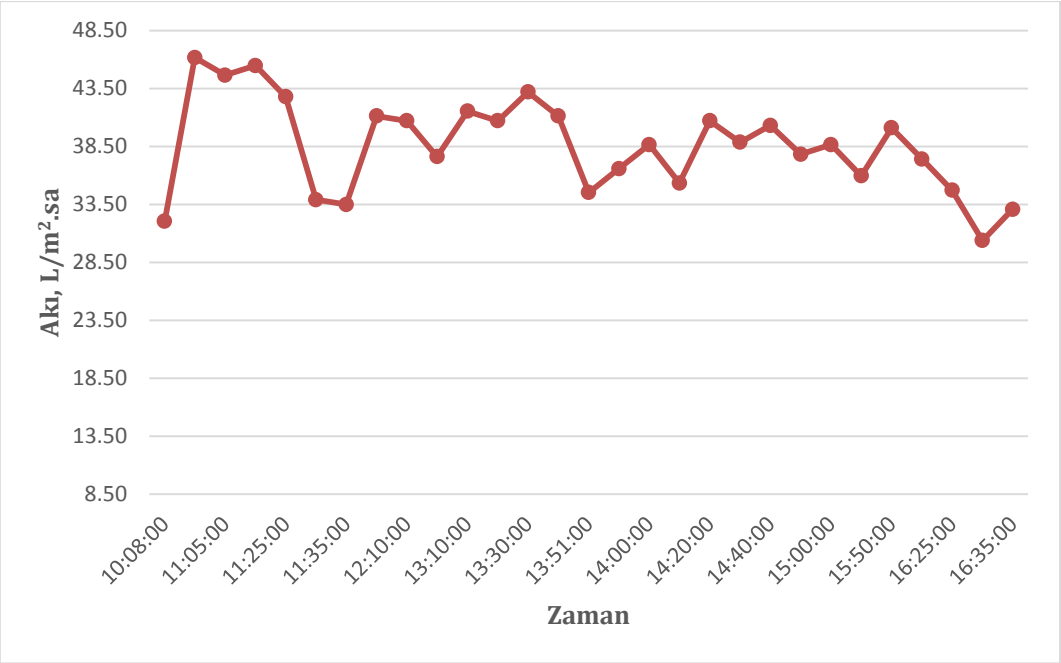


Şekil 8.1. Pilot Tesis Ekipmanına Kirecin Olumsuz Etkisi



Şekil 8.2.a. Kuyu Suyu RO Sistemine Ait Besleme-Çıkış Suyu İletkenlik-Zaman Grafiği

Şekil 8.2a grafiği incelendiğinde giriş suyu iletkenlik değeri bir miktar artmış olsa da çıkış ürün suyunda kayda değer bir artış söz konusu olmamıştır.

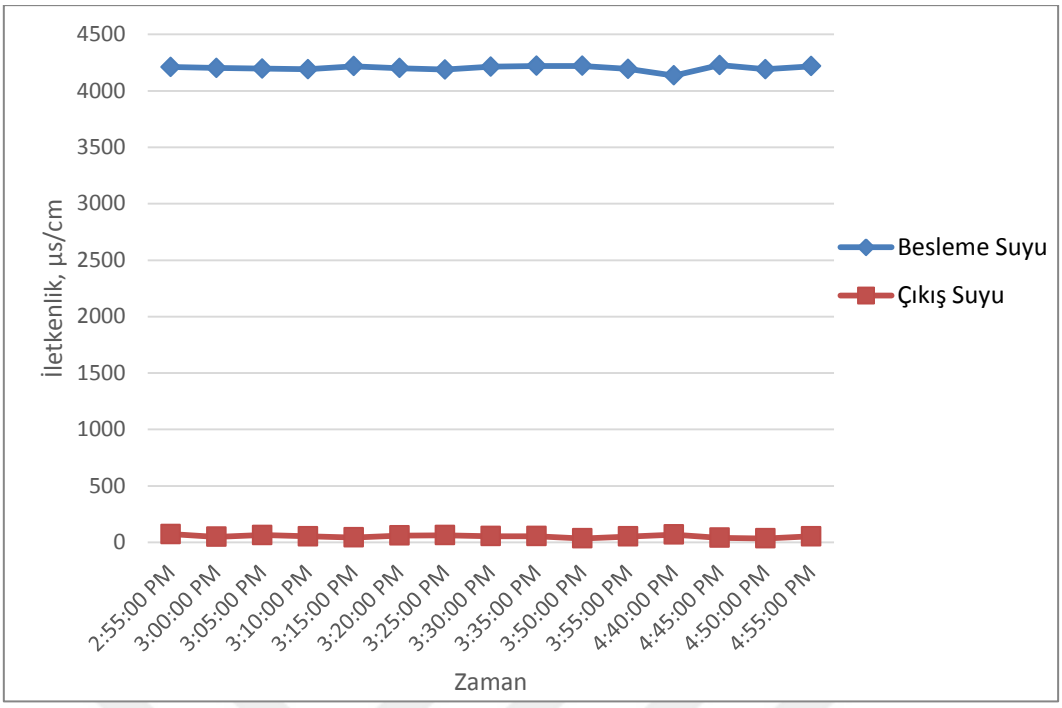


Şekil 8.2.b. Kuyu Suyu RO Sistemine Ait Akı - Zaman Grafiği

Şekil 8.2b. grafiği incelendiğinde süre geçtikçe akı değerinde kirlenmeye bağlı olarak bir düşüş görülmektedir.

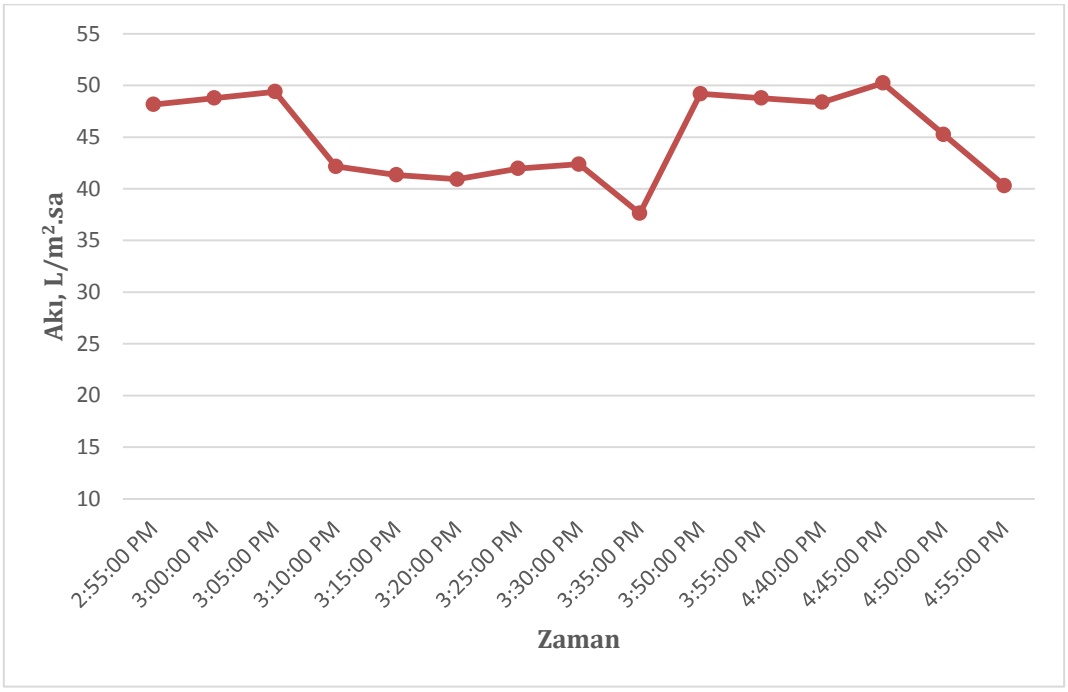
Çizelge 8.2.b. Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

18 Mayıs 2018						
SAAT	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI (L/m².sa)**
14:55:00	578,70	337,09	4.210,07	73,78	12,16	48,15
15:00:00	583,04	341,44	4.201,39	49,19	12,39	48,77
15:05:00	500,63	345,79	4.197,05	65,10	12,20	49,39
15:10:00	497,69	295,14	4.191,26	53,53	12,19	42,16
15:15:00	500,58	289,35	4.217,30	43,40	12,25	41,33
15:20:00	497,69	286,46	4.199,94	60,76	12,25	40,92
15:25:00	487,56	293,69	4.188,37	63,66	12,19	41,95
15:30:00	493,34	296,59	4.212,96	54,98	12,23	42,37
15:35:00	475,98	263,31	4.220,20	54,98	12,30	37,61
15:50:00	535,30	344,33	4.220,20	34,72	11,89	49,19
15:55:00	546,88	341,44	4.194,16	52,08	12,09	48,77
16:40:00	603,30	338,55	4.134,84	69,44	11,70	48,36
16:45:00	535,30	351,56	4.227,43	40,51	12,06	50,22
16:50:00	493,34	316,84	4.191,26	34,72	12,17	45,26
16:55:00	300,93	282,12	4.217,30	53,53	12,58	40,30



Şekil 8.3.a. Kuyu Suyu RO Sistemine Ait Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Zaman Grafiği

Şekil 8.3a grafiği incelendiğinde giriş suyundaki iletkenlik değerindeki artışın çıkış suyu iletkenlik değerini çok fazla değiştirmediği görülmektedir.



Şekil 8.3.b. Kuyu Suyu RO Sistemine Ait Akı - Zaman Grafiği

Şekil 8.3b grafiği incelendiğinde akı değerinde kısmi sapmalar olsa bile çok değişkenlik göstermediği görülmektedir.

8.2. Kireç İlaveli Atık Suda Tek Kademeli Deniz Suyu RO Membranı Uygulaması

Kireç ilave edilmiş olan gölette pH değeri 8.5 iken Deniz suyu RO membranı uygulanmak üzere sisteme göletten çekilen hat vasıtası ile sürekli olarak su alınmıştır. Deniz suyu RO sisteminde arıtım sağlanmıştır. Ham su girişi, UF çıkış, RO ürün ve RO konsantre numuneleri laboratuvarda analiz edilmek üzere alınmıştır. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre değerlendirme yapıldığında en iyi uygulamanın, 12 bar besleme basıncı ve 32 l/m^2.sa akı değeri ile, %87,80 oranında bor giderimi, %97,89 oranında ise arsenik gideriminin olduğu görülmüştür. Pilot tesiste yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 8.3'te verilmiştir.

Çizelge 8.3. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları

TARİH	PİLOT TESİS GİRİŞ SUYU				PİLOT TESİS UF ÜRÜN SUYU				PİLOT TESİS RO ÜRÜN SUYU				GİDERİM VERİMİ	
	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (%)	As (%)
25.05.2018	1.649,00	4,00	8,143	3.886,20	1.686,00	4,000	8,131	3.876,42	1.069,00	0,032	7,188	32,60	35,17	99,20
04.06.2018	1.426,00	1,60	8,458	3.660,00	1.346,00	2,000	8,461	3.660,00	521,00	0,000	7,456	28,80	63,46	100,00
05.06.2018	1.156,00	1,90	8,518	3.620,40	1.173,00	0,800	8,491	3.618,90	141,00	0,040	7,717	27,36	87,80	97,89

8.3. Kireç İlavesiz Atık Suda Tek Kademeli Deniz Suyu RO Membranı Uygulaması

Kireç ilave edilmemiş ham su göletinden kesikli çalıştırmak üzere alınan 1 ton miktarındaki ham atık su, pH değeri yaklaşık 7 iken deniz suyu RO membranından geçirilmiştir. Çalışmalar sonucunda %75-80 oranında bor giderimi, %99-100 oranında ise arsenik giderimine ulaşıldığı görülmüştür. Pilot tesiste yapılan analizlerin sonuçları ve belirli günlerde yapılan deneylere ait kireç ilavesiz suda deniz suyu RO membranı ile farklı geri kazanım oranlarındaki bor miktarları Çizelge 8.5.a/b'de verilmiştir. Gün gün yapılan deneylere ait iletkenlik-akı-giderim verimlerine ait sonuçlar aşağıda ilgili çizelge ve şekillerde görülmektedir (Çizelge 8.5-9 ve Şekil 8.4-13).

Çizelge 8.4a. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları

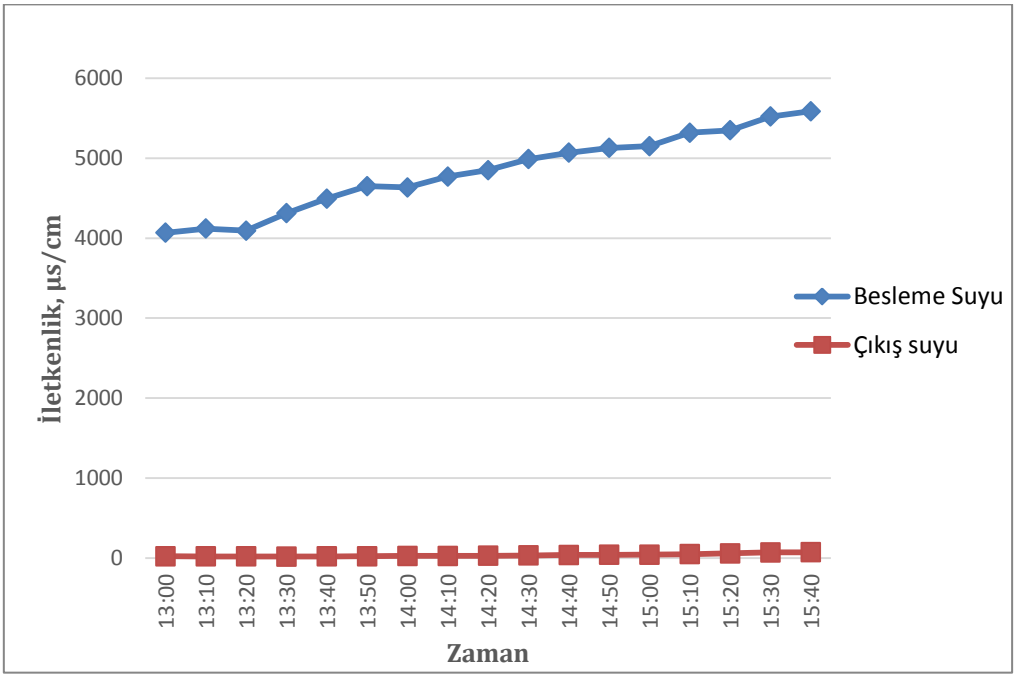
TARİH	PİLOT TESİS GİRİŞ SUYU				PİLOT TESİS UF ÜRÜN SUYU				PİLOT TESİS RO ÜRÜN SUYU				GİDERİM VERİMİ	
	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (%)	As (%)
13.06.2018	2.786,00	2,80	7,050	4.060,00	2.803,00	4,800	6,992	4.010,00	622,00	0,004	5,967	17,00	77,67	99,86
14.06.2018	3.061,00	8,00	7,053	3.610,00	3.061,00	8,000	6,975	3.620,00	661,00	0,004	6,329	17,50	78,41	99,95
18.06.2018	2.951,00	8,00	7,064	3.610,00	2.941,00	3,200	6,975	3.610,00	704,00	0,004	6,081	18,50	76,14	99,95
21.06.2018	2.672,00	4,40	7,039	3.680,00	2.833,00	8,800	6,999	3.670,00	695,00	0,000	6,232	18,20	73,99	100,00

Çizelge 8.4.b.Kireç İlavesiz Suda Tek Kademeli Deniz Suyu RO Membranı İle Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları.

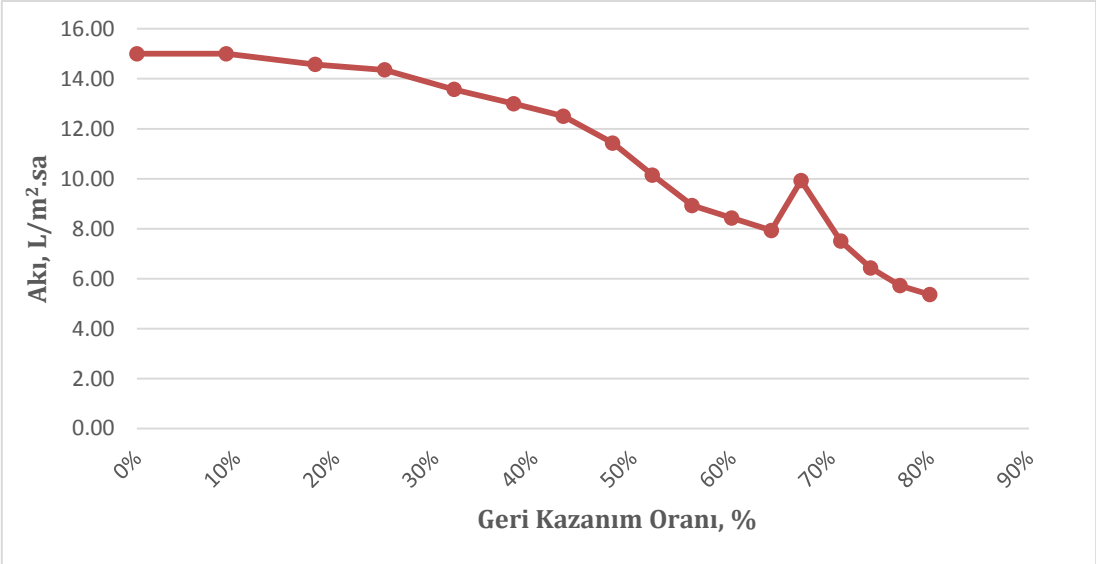
TARİH	UF GİRİŞ (ppm)	UF ÇIKIŞ (ppm)	RO ÇIKIŞ (50%) (ppm)	RO ÇIKIŞ (60%) (ppm)	RO ÇIKIŞ (70%) (ppm)	RO ÇIKIŞ (80%) (ppm)	RO KONSANTRE (ppm)
13.06.2018	3.368,0	3.144,0	1.328,0	1.502,0	1.526,0	1.548,0	4.237,0
14.06.2018	3.300,0	3.192,0	658,6	668,0	681,1	703,2	4.195,0
18.06.2018	3.236,0	3.195,0	745,2	760,9	780,1	808,9	4.200,0
21.06.2018	3.211,0	3.188,0	655,7	667,4	688,6	698,5	3.911,0

Çizelge 8.5. Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (18 Haziran 2018)

pH= 7,22						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	625,0	210,0	4.066,5	21,7	15,00	1.242,0
9%	620,0	210,0	4.119,5	19,7	15,00	1.234,0
18%	610,0	204,0	4.093,6	19,6	14,57	1.230,0
25%	615,0	201,0	4.311,9	19,4	14,36	1.237,0
32%	610,0	190,0	4.494,2	21,0	13,57	1.244,0
38%	825,0	182,0	4.649,4	23,4	13,00	1.262,0
43%	830,0	175,0	4.633,2	26,0	12,50	1.285,0
48%	810,0	160,0	4.770,4	26,9	11,43	1.292,0
52%	850,0	142,0	4.849,1	29,3	10,14	1.328,0
56%	847,0	125,0	4.987,1	33,3	8,93	1.362,0
60%	836,0	118,0	5.066,9	38,6	8,43	1.502,0
64%	835,0	111,0	5.127,5	40,2	7,93	1.510,0
67%	750,0	139,0	5.150,7	43,4	9,93	1.512,0
71%	700,0	105,0	5.317,7	47,6	7,50	1.526,0
74%	690,0	90,0	5.348,2	57,6	6,43	1.528,0
77%	750,0	80,0	5.519,4	70,9	5,71	1.532,0
80%	750,0	75,0	5.586,0	71,5	5,36	1.548,0



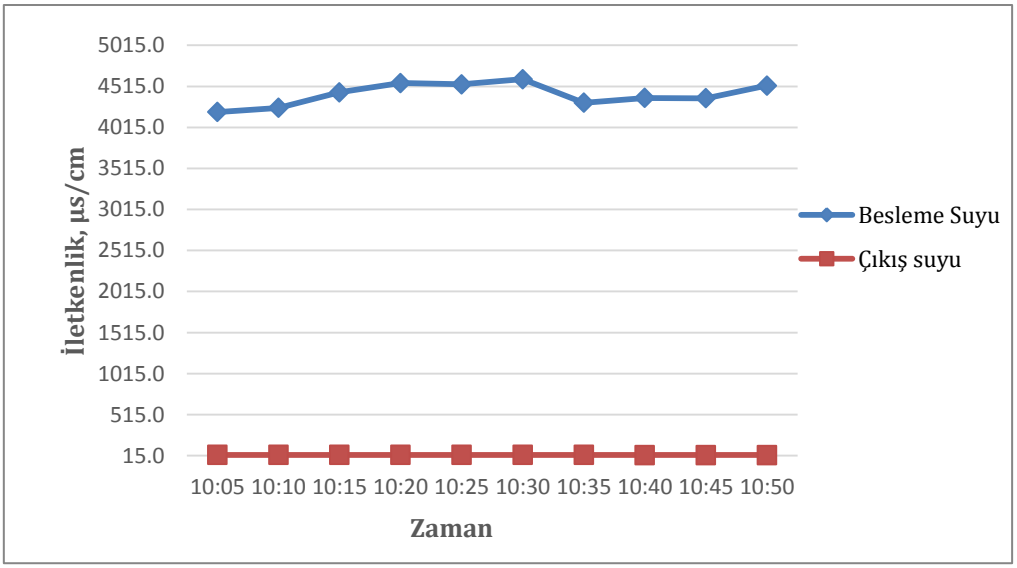
Şekil 8.4. Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Zaman grafiği (13 Haziran 2018)



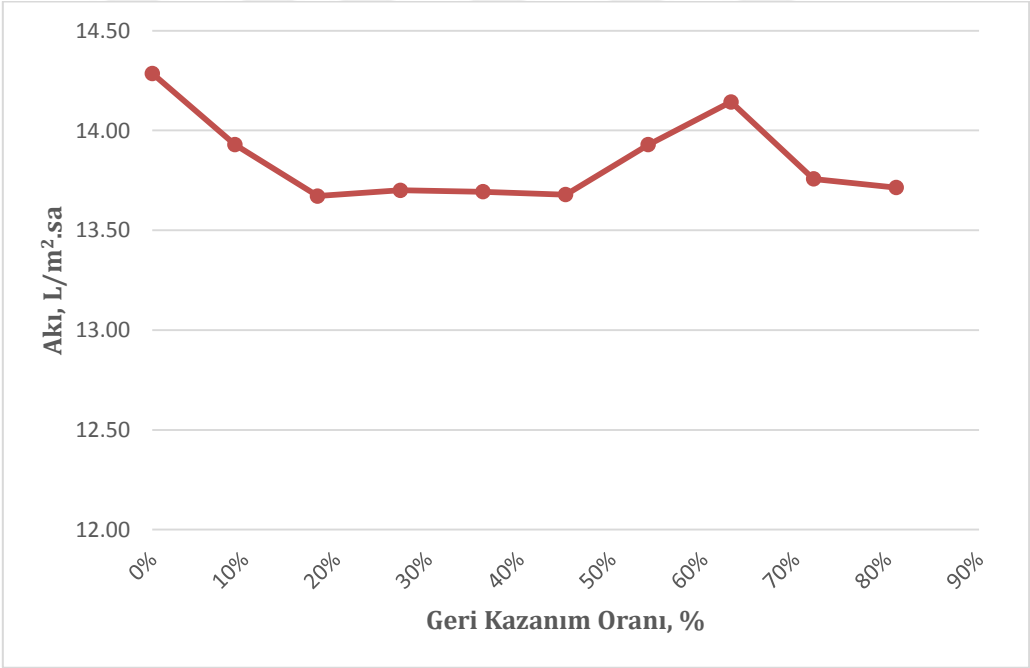
Şekil 8.5. Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (13 Haziran 2018)

Çizelge 8.6. Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri.
(14 Haziran 2018)

pH= 7,31						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**AKI (L/m².sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	893,0	200,0	4.202,1	24,5	14,29	662,0
9%	881,1	195,0	4.252,3	24,7	13,93	674,0
18%	889,5	191,4	4.441,7	24,4	13,67	668,0
27%	892,0	191,8	4.555,9	24,2	13,70	660,0
36%	926,3	191,7	4539,5	24,1	13,69	671,0
45%	886,1	191,5	4.602,0	24,5	13,68	684,0
54%	904,1	195,0	4.314,5	24,4	13,93	658,0
63%	890,2	198,0	4.373,3	22,9	14,14	668,0
72%	885,1	192,6	4.369,2	22,1	13,76	681,0
81%	854,9	192,0	4.523,7	22,4	13,71	703,0



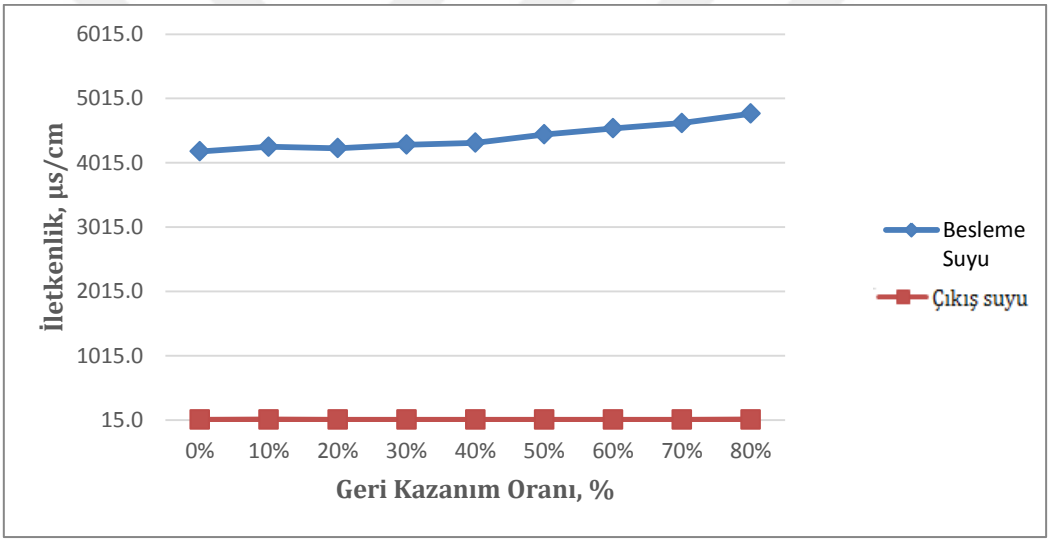
Şekil 8.6. Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Zaman Grafiği (14 Haziran 2018)



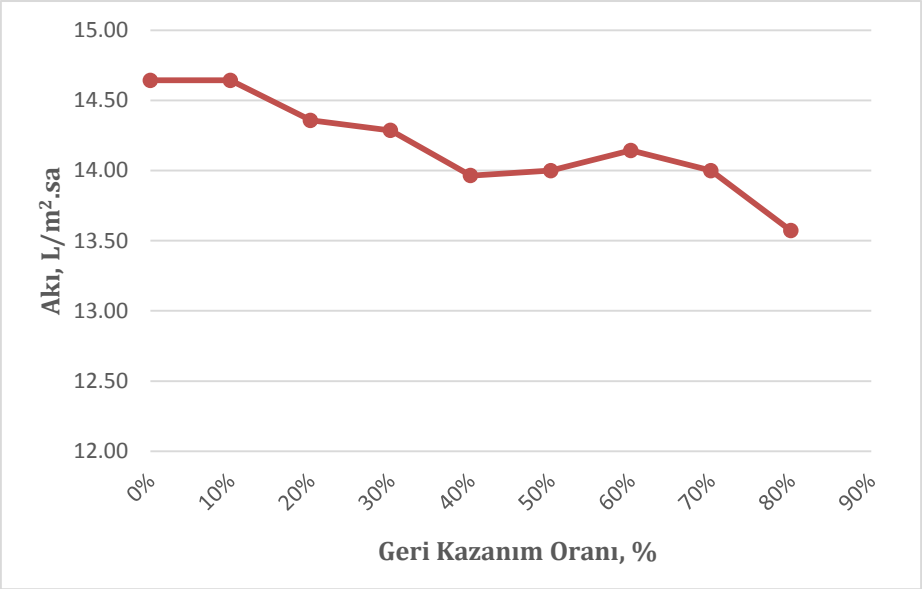
Şekil 8.7. Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (14 Haziran 2018)

Çizelge 8.7. Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (18 Haziran 2018)

pH= 6,84						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**AKI (L/m^2.sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	790,0	205,0	4.192,7	19,7	14,64	724,0
10%	793,9	205,0	4.265,3	20,1	14,64	742,0
20%	783,8	201,0	4.242,3	18,6	14,36	736,0
30%	754,5	200,0	4.295,4	18,5	14,29	728,0
40%	756,7	195,5	4.326,1	18,8	13,96	722,0
50%	770,6	196,0	4.455,2	19,1	14,00	745,0
60%	764,7	198,0	4.550,0	19,3	14,14	761,0
70%	740,0	196,0	4.633,6	19,9	14,00	770,0
80%	750,8	190,0	4.780,5	20,2	13,57	809,0



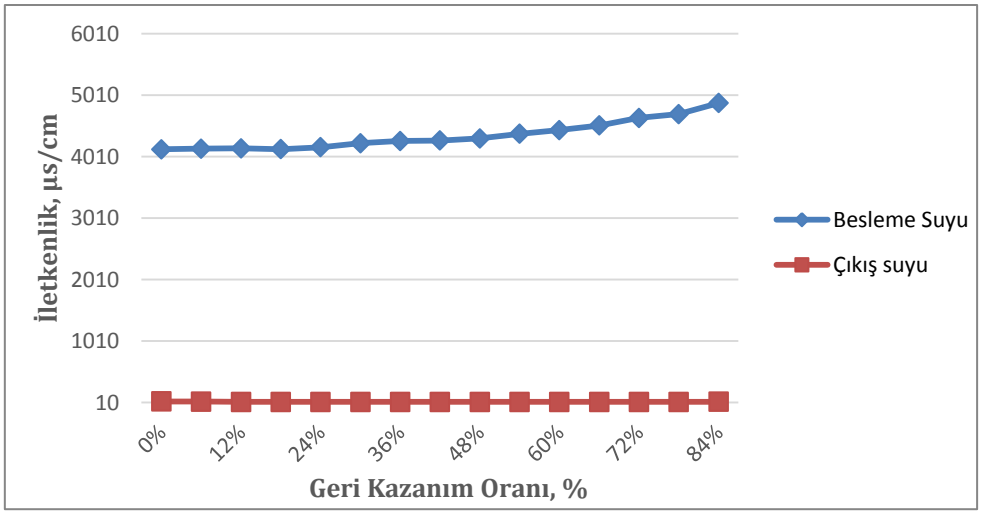
Şekil 8.8. Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (18 Haziran 2018)



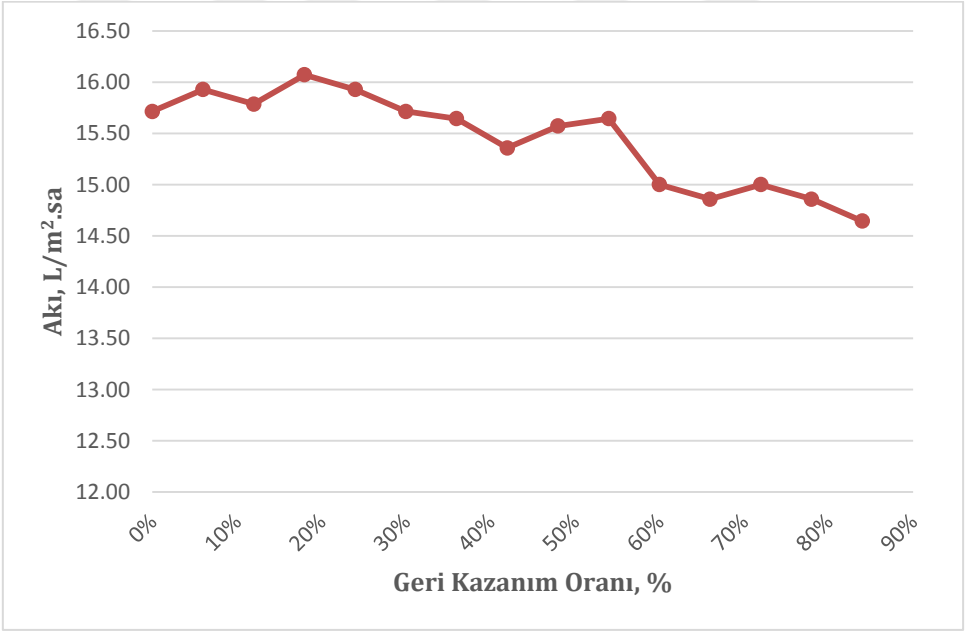
Şekil 8.9. Akı - Geri Kazanım Oranı (18 Haziran 2018)

Çizelge 8.8. Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (19 Haziran 2018)

pH= 6,81					
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**AKI (L/m².sa)**
0%	850,0	220,0	4.128,6	28,7	15,71
6%	842,8	223,0	4.138,7	24,3	15,93
12%	848,0	221,0	4.144,7	19,7	15,79
18%	845,9	225,0	4.130,2	19,1	16,07
24%	857,7	223,0	4.161,8	19,0	15,93
30%	837,1	220,0	4.227,1	18,8	15,71
36%	826,7	219,0	4.262,8	19,0	15,64
42%	835,6	215,0	4.271,3	19,1	15,36
48%	835,0	218,0	4.306,7	19,1	15,57
54%	819,0	219,0	4.381,1	19,3	15,64
60%	815,5	210,0	4.440,7	19,6	15,00
66%	851,9	208,0	4.516,9	19,8	14,86
72%	801,1	210,0	4.638,6	20,1	15,00
78%	811,7	208,0	4.701,6	20,9	14,86
84%	821,9	205,0	4.881,8	21,5	14,64



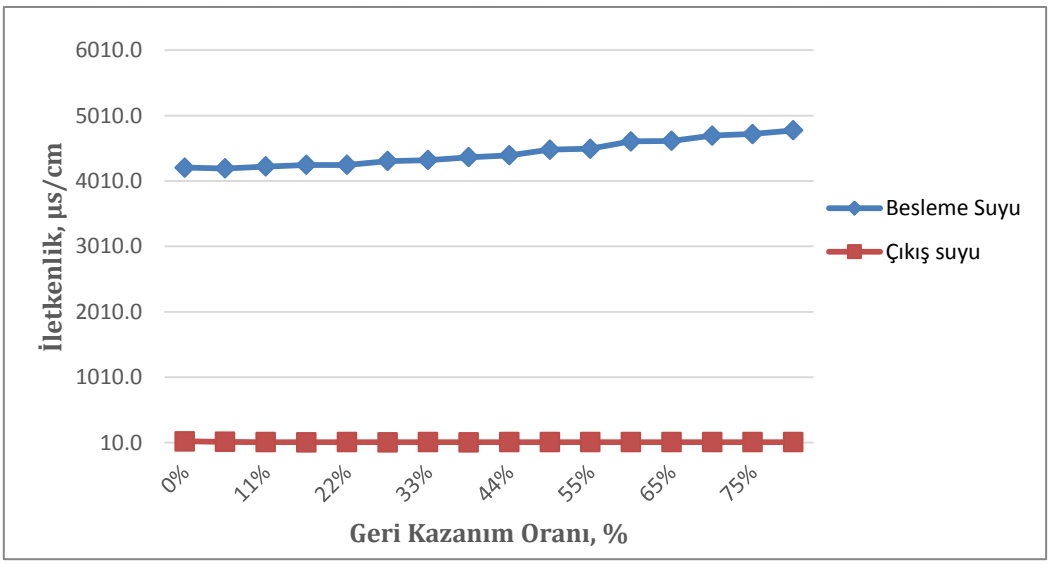
Şekil 8.10. Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (19 Haziran 2018)



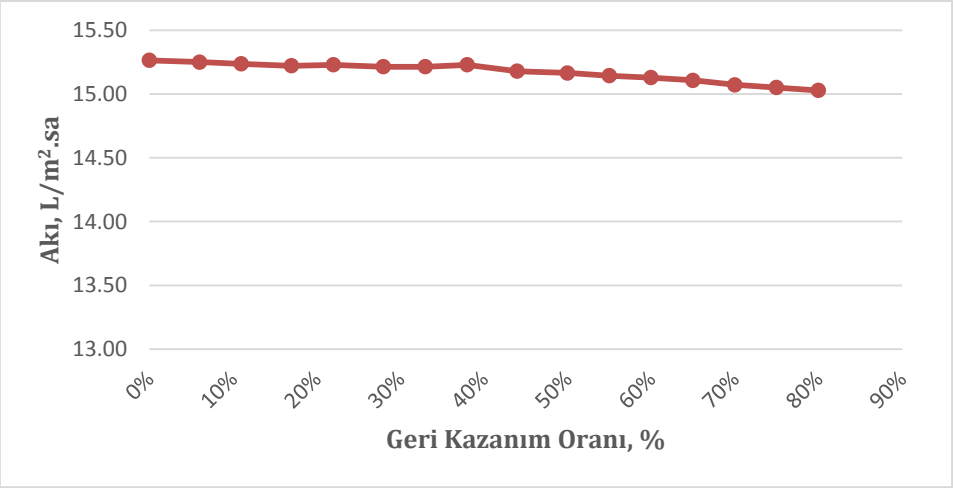
Şekil 8.11. Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (19 Haziran 2018)

Çizelge 8.9. Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri. (21 Haziran 2018)

pH= 6,80						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**AKI (L/m^2.sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	950,0	213,7	4.215,2	29,3	15,26	680,0
6%	926,6	213,5	4.203,0	22,6	15,25	644,0
11%	919,9	213,3	4.230,6	18,0	15,24	682,0
17%	935,0	213,1	4.255,8	16,1	15,22	678,0
22%	922,0	213,2	4.256,9	16,5	15,23	663,0
28%	952,4	213,0	4.314,1	16,2	15,21	674,0
33%	934,5	213,0	4.328,5	16,3	15,21	686,0
38%	931,4	213,2	4.373,6	16,2	15,23	659,0
44%	926,5	212,5	4.402,1	16,4	15,18	667,0
50%	933,3	212,3	4.487,2	16,5	15,16	656,0
55%	908,5	212,0	4.503,4	16,6	15,14	662,0
60%	914,6	211,8	4.615,1	17,0	15,13	667,0
65%	929,8	211,5	4.623,9	17,1	15,11	682,0
70%	938,9	211,0	4.704,8	17,4	15,07	689,0
75%	904,1	210,7	4.728,6	17,6	15,05	694,0
80%	899,7	210,4	4.785,0	17,8	15,03	699,0



Şekil 8.12. Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (21 Haziran 2018)



Şekil 8.13. Akı - Geri Kazanım Oranı Verimi Grafiği (21 Haziran 2018)

İletkenlik - Zaman grafikleri incelendiğinde besleme suyundaki iletkenliğin artmasına paralel olarak az da olsa bir artış görülmektedir. Akı - Geri Kazanım Oranı grafikleri incelendiğinde ise geri kazanım oranı arttığında akı değerinde azalma olduğu görülmektedir.

8.4. Kireç İlavesiz Atık Suda İki Kademeli Deniz Suyu / Deniz Suyu RO Membranı Uygulaması

Kireç ilave edilmemiş ham su göletinden kesikli çalıştırmak üzere 1 ton ham atık su alınmıştır. UF çıkışından alınan su numunesine hiçbir işlem yapılmadan (pH=7'de) birinci kademe için deniz suyu RO membranına verilmiştir. Birinci kademe ürün suyunun pH'ı ikinci kademe için her çalışmada farklı bir pH değerine sahip olacak şekilde NaOH ilavesi ile ayarlanmıştır. Birçok farklı çalışma ile ikinci kademe pH'ları 7.0, 9.25, 9.5, 9.75, 9.85, 10.0, 10.5 ve 11.0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Ardından ikinci kademe gerçekleştirilmek üzere Deniz suyu RO membranından geçirilmiştir. Çalışmalar sonucunda bor giderimi %86-98 arasında, arsenik giderimi ise %87-100 arasında değerler elde edilmiştir. Bu çalışma ile ikinci kademenin optimum pH değeri 10.5 olarak belirlenmiştir. Pilot tesiste yapılan analizlerin sonuçları ve belirli günlerde yapılan deneylere ait kireç ilavesiz suda Deniz suyu RO membranı iki kademeli olarak ilerleyen proseste elde edilen farklı geri kazanım oranlarındaki Bor miktarları Çizelge 8.10 ve Çizelge 8.11'de verilmiştir. Gün gün yapılan deneylere ait iletkenlik-akı-giderim verimlerine ait sonuçlar aşağıda ilgili çizelge ve şekillerde görülmektedir (Çizelge 8.10-21 ve Şekil 8.14-51).

Çizelge 8.10. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları

TARİH	PİLOT TESİS GİRİŞ SUYU				PİLOT TESİS UF ÜRÜN SUYU				PİLOT TESİS RO ÜRÜN SUYU				GİDERİM VERİMİ	
	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (%)	As (%)
22.06.2018	2.672,00	4,40	7,084	3.590,00	2.666,0	4,300	7,060	4860,00	298,00	0,240	7,948	320,00	88,85	94,55
25.06.2018	2.984,00	8,00	7,030	4.890,00	2.592,00	7,600	7,041	4.890,00	167,00	0,000	7,907	62,40	94,40	100,00
26.06.2018	2.710,00	2,00	7,050	4.840,00	2.844,00	2,000	7,054	4.870,00	334,00	0,016	7,054	48,60	87,68	99,20
27.06.2018	2.710,00	3,60	7,132	4.700,00	3.032,00	3,400	7,079	4.680,00	266,00	0,012	7,764	30,60	90,18	99,67
28.06.2018	2.737,00	7,20	7,098	4.850,00	2.726,00	6,200	7,066	4.850,00	92,00	0,000	7,954	31,00	96,64	100,00
29.06.2018	676,00	0,16	9,360	5.360,00	848,00	0,120	9,362	5.340,00	94,00	0,020	8,072	117,50	86,09	87,50
3.07.2018	2.898,00	8,00	7,364	5.150,00	2.860,00	4,400	7,296	5.130,00	108,00	0,000	8,680	184,00	96,27	100,00
4.07.2018	2.882,00	3,60	7,068	4.970,00	2.882,00	3,600	7,052	4.960,00	85,00	0,008	8,646	164,40	97,05	99,78
5.07.2018	2.941,00	4,80	7,076	4.940,00	2.914,00	0,800	7,047	4.940,00	52,00	0,004	9,519	286,00	98,23	99,92
6.07.2018	2.844,00	5,00	7,027	4.980,00	2.790,00	1,000	7,028	4.970,00	47,00	0,000	9,712	316,00	98,35	100,00

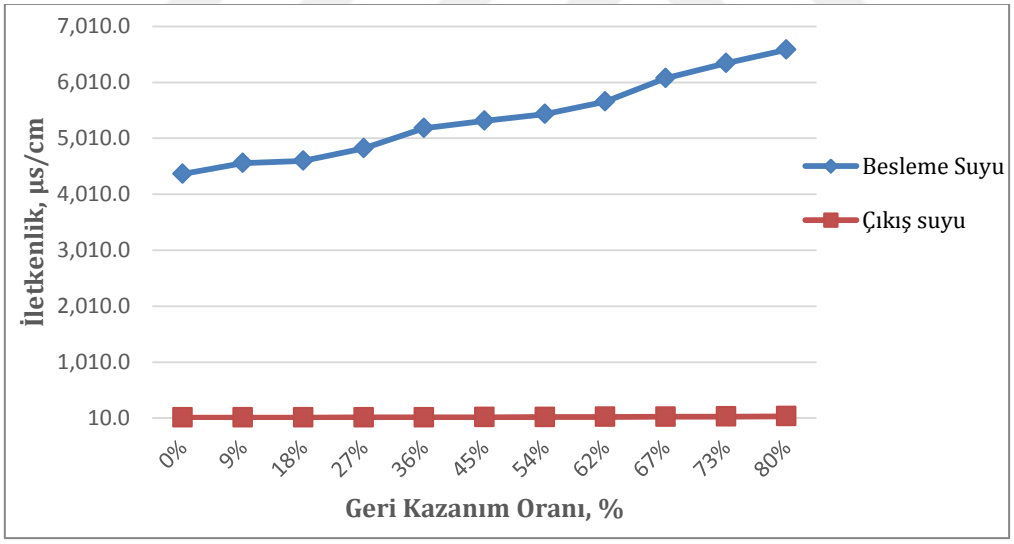
Çizelge 8.11. Kireç İlavesiz Suda İki Kademeli Deniz Suyu/Deniz Suyu RO Membranı ile Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları

TARİH	UF GİRİŞ	UF ÇIKIŞ	1. KADEME				2. KADEME				RO KONSANTRE (1. KADEME)	RO KONSANTRE (2. KADEME)
			RO ÇIKIŞ (50%)	RO ÇIKIŞ (60%)	RO ÇIKIŞ (70%)	RO ÇIKIŞ (80%)	RO ÇIKIŞ (50%)	RO ÇIKIŞ (60%)	RO ÇIKIŞ (70%)	RO ÇIKIŞ (80%)		
	(ppm)	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*
22.06.2018	3.217,0	3.201,0	910,2	923,1	942,6	946,2	397,3	326,2	297,4	305,1	4.798,0	1.649,0
25.06.2018	3.201,0	3.057,0	1.553,0	1.557,0	1.572,0	1.493,0	152,0	154,5	163,2	162,6	6.359,0	4.226,0
26.06.2018	3.159,0	2.929,0	1.164,0	1.074,0	1.073,0	1.112,0	305,0	322,8	330,3	368,2	9.955,0	2.999,0
27.06.2018	2.949,0	2.900,0	920,8	919,7	982,1	931,9	121,0	130,2	131,7	134,9	11.230,0	2.678,0
28.06.2018	3.095,0	3.078,0	1.030,0	1.051,0	1.016,0	1.002,0	90,3	90,6	92,0	90,7	11.450,0	5.013,0
3.07.2018	3.140,0	3.109,0	1.019,0	1.114,0	1.255,0	1.112,0	104,4	105,9	108,9	106,1	12.500,0	5.244,0
4.07.2018	3.088,0	3.073,0	1.032,0	1.016,0	1.009,0	1.036,0	118,2	91,6	91,5	93,4	12.190,0	5.065,0
5.07.2018	3.191,0	3.133,0	1.083,0	1.111,0	1.105,0	1.126,0	66,8	69,1	69,4	71,2	12.950,0	6.595,0
6.07.2018	3.170,0	3.156,0	968,4	952,8	1.024,0	983,3	54,1	55,1	55,6	56,7	11.470,0	8.375,0

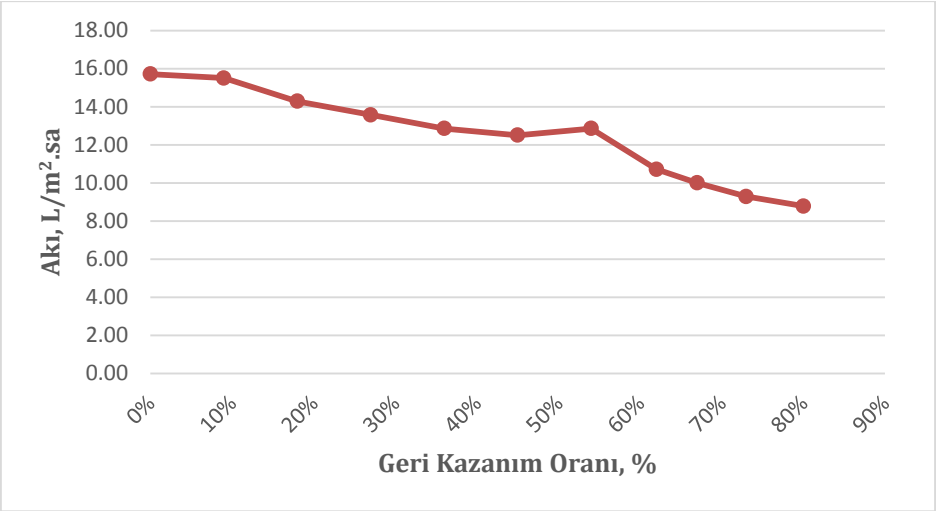
Çizelge 8.12.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (22.06.2018)

a) **1. KADEME pH= 6,77**

GERİ KAZANIM ORANI	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI ($L/m^2.sa$)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	600,0	220,0	4.373,1	20,3	41,81	15,71	860,0
9%	600,0	217,0	4.566,3	20,2	44,84	15,50	872,0
18%	600,0	200,0	4.608,0	20,8	46,32	14,29	886,0
27%	600,0	190,0	4.830,9	22,4	48,22	13,57	889,0
36%	600,0	180,0	5.191,6	23,9	50,10	12,86	874,0
45%	600,0	175,0	5.322,9	25,0	51,28	12,50	902,0
54%	600,0	180,0	5.442,9	27,9	54,13	12,86	910,0
62%	600,0	150,0	5.666,9	31,1	53,87	10,71	923,0
67%	600,0	140,0	6.083,9	34,3	57,64	10,00	936,0
73%	600,0	130,0	6.351,5	38,2	59,06	9,29	943,0
80%	600,0	123,0	6.592,4	42,6	60,35	8,79	946,0



Şekil 8.14. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği



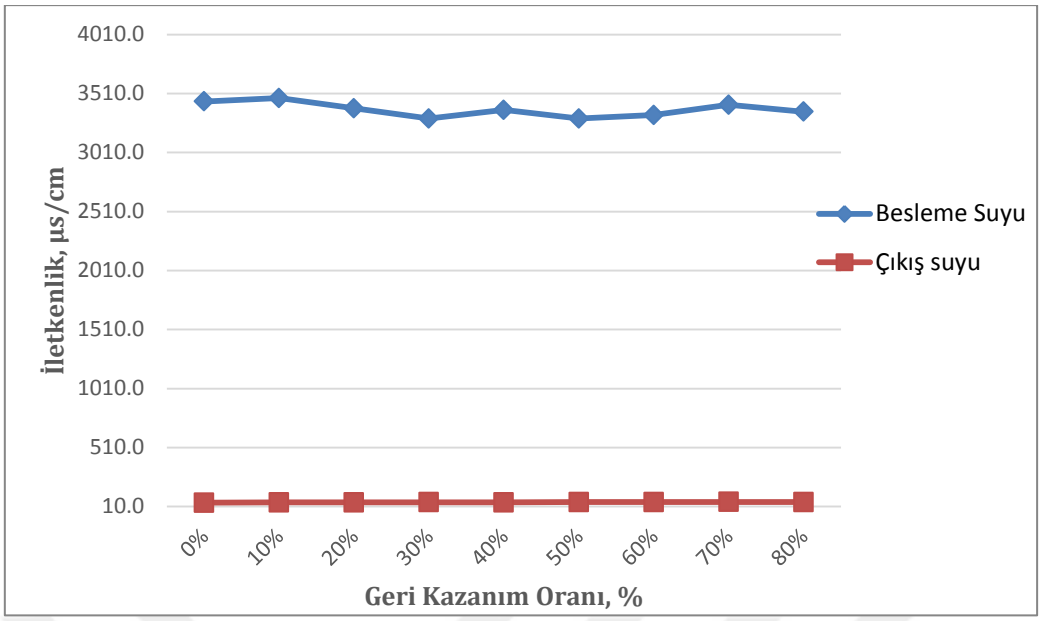
Şekil 8.15. 1. KademeAkı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (22 Haziran 2018)

Çizelge 8.12.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (22.06.2018)

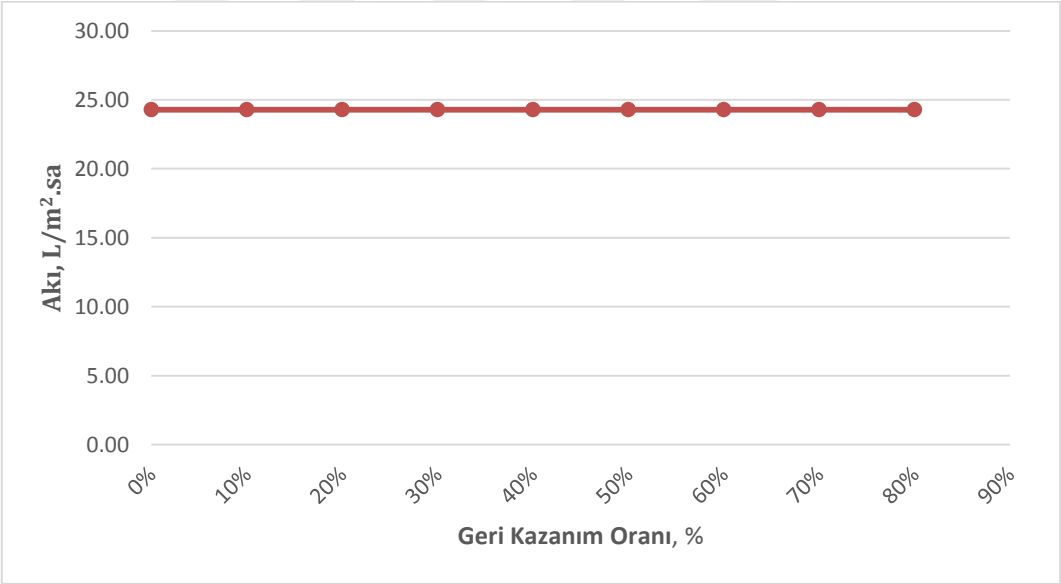
b)	**2. KADEME pH= 9,25**						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	340,0	3.443,3	42,8	33,90	24,29	296,0
10%	600,0	340,0	3.472,2	44,8	35,55	24,29	302,0
20%	600,0	340,0	3.385,4	44,7	37,12	24,29	308,0
30%	600,0	340,0	3.298,6	46,2	38,86	24,29	326,0
40%	600,0	340,0	3.370,9	44,7	40,66	24,29	362,0
50%	600,0	340,0	3.298,6	47,7	42,17	24,29	397,0
60%	600,0	340,0	3.327,5	47,7	43,92	24,29	326,0
70%	600,0	340,0	3.414,4	49,2	45,46	24,29	297,0
80%	600,0	340,0	3.356,5	47,7	47,11	24,29	305,0

Çizelge 8.12.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	**B ve As Giderim Verimleri**		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2672,0	298,0	88,8
As	4,40	0,24	94,5



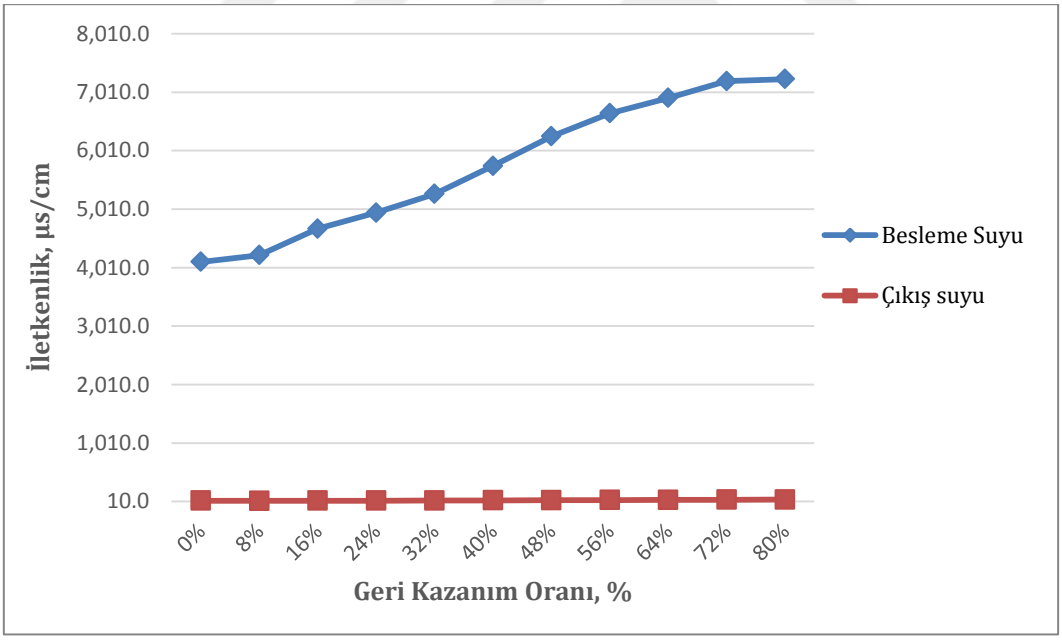
Şekil 8.16. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (22 Haziran 2018)



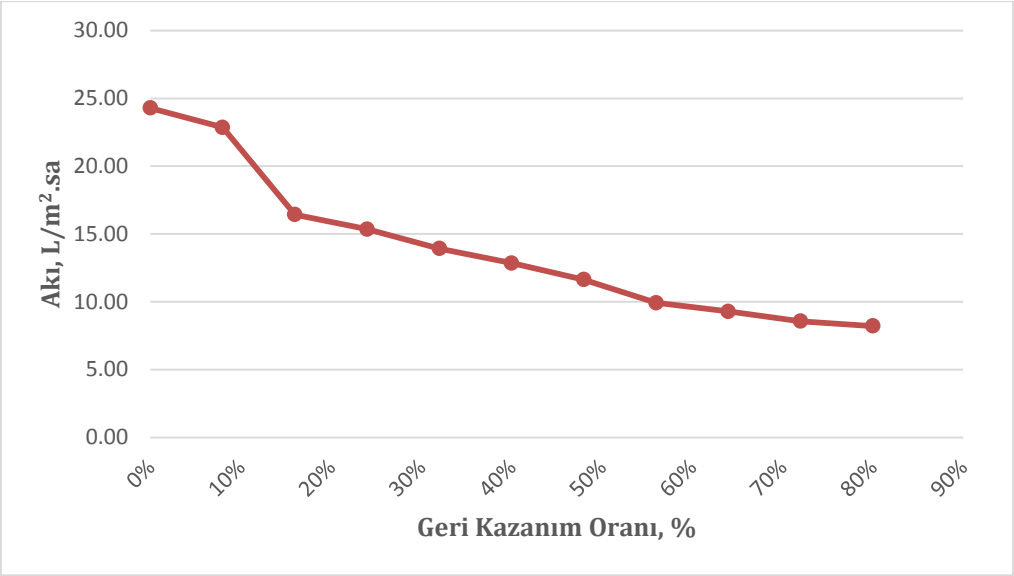
Şekil 8.17. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (22 Haziran 2018)

Çizelge 8.13.a. 1. Kademe Deniz suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (25.06.2018)

a)			1. KADEME pH= 7,041				
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	340,0	4.108,6	25,4	39,62	24,29	1.420,0
8%	617,0	320,0	4.222,7	22,4	53,71	22,86	1.523,0
16%	593,9	230,0	4.675,9	23,7	44,75	16,43	1.463,0
24%	604,0	215,0	4.948,5	25,2	47,40	15,36	1.459,0
32%	593,9	195,0	5.268,3	27,3	50,46	13,93	1.542,0
40%	578,0	180,0	5.747,3	29,6	56,12	12,86	1.536,0
48%	573,6	163,0	6.252,6	32,0	60,15	11,64	1.553,0
56%	572,2	139,0	6.646,9	36,4	56,25	9,93	1.496,0
64%	534,6	130,0	6.910,5	39,2	59,99	9,29	1.557,0
72%	536,0	120,0	7.198,2	41,2	61,02	8,57	1.572,0
80%	566,4	115,0	7.234,7	42,8	58,13	8,21	1.493,0



Şekil 8.18. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (25 Haziran 2018)



Şekil 8.19. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (25 Haziran 2018)

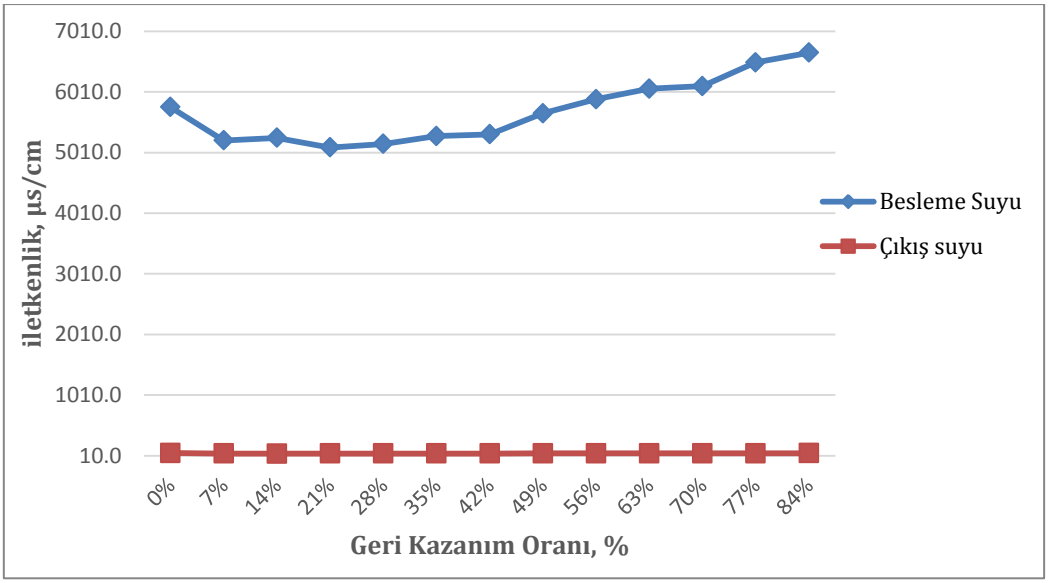
Çizelge 8.13.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

b) **2. KADEME pH= 9,51**

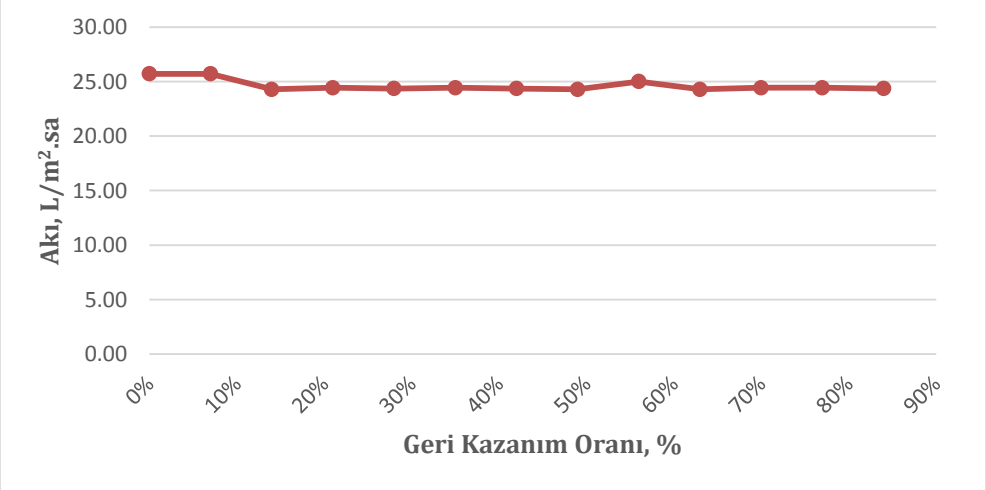
GERİ KAZANIM ORANI	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI (L/m².sa)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	877,2	360,0	5.758,1	53,7	38,31	25,71	160,0
7%	606,9	360,0	5.208,3	47,7	33,60	25,71	156,0
14%	618,5	340,0	5.251,7	44,8	31,71	24,29	166,0
21%	605,5	342,0	5.092,6	46,3	30,07	24,43	157,0
28%	638,7	341,0	5.150,5	46,3	30,16	24,36	163,0
35%	624,3	342,0	5.280,7	46,3	30,65	24,43	154,0
42%	641,6	341,0	5.309,6	46,3	30,71	24,36	154,0
49%	635,8	340,0	5.656,8	48,5	31,18	24,29	152,0
56%	614,1	350,0	5.888,3	49,2	30,80	25,00	159,0
63%	608,3	340,0	6.061,9	49,2	30,21	24,29	155,0
70%	634,4	342,0	6.105,3	50,6	30,81	24,43	163,0
77%	630,0	342,0	6.495,9	50,6	30,63	24,43	166,0
84%	611,2	341,0	6.655,1	52,1	30,87	24,36	163,0

Çizelge 8.13.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2984,0	167,0	94,4
As	8,00	0,00	100,0



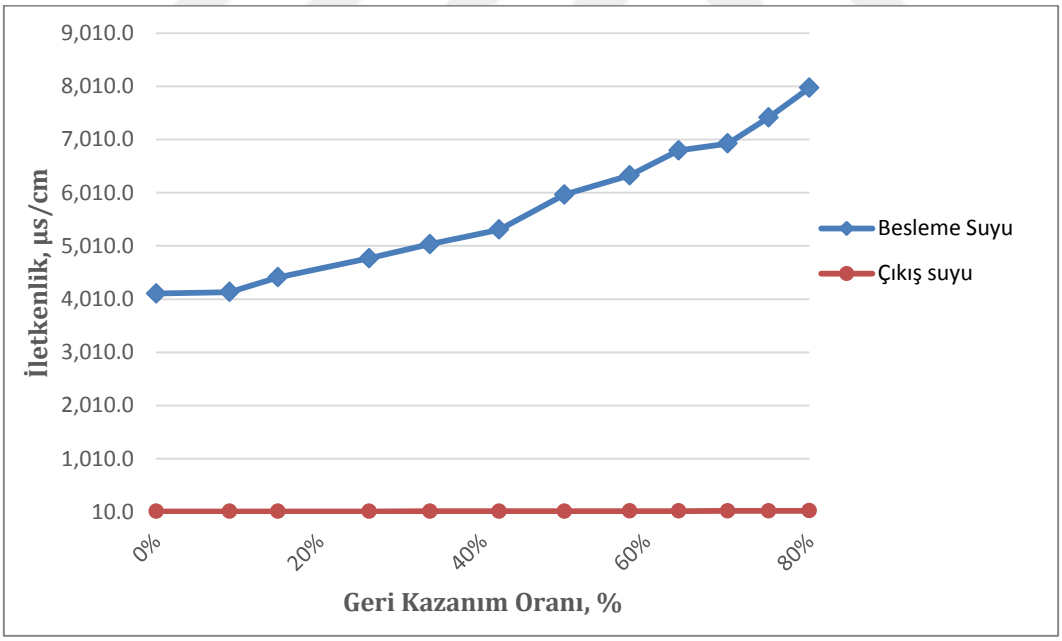
Şekil 8.20. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (25 Haziran 2018)



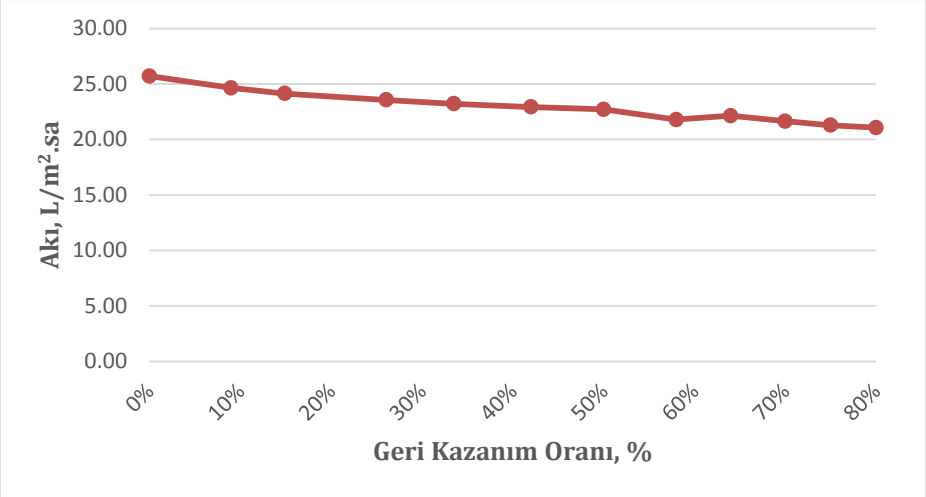
Şekil 8.21. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (25 Haziran 2018)

Çizelge 8.14.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (26.06.2018)

a)	1. KADEME pH= 7,054						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	610,0	360,0	4.113,3	19,6	41,47	25,71	1.120,0
9%	618,7	345,0	4.141,9	19,7	43,36	24,64	1.096,0
15%	625,1	338,0	4.416,7	19,1	44,96	24,14	1.089,0
26%	612,1	330,0	4.775,7	19,8	46,05	23,57	1.130,0
34%	614,8	325,0	5.040,8	20,3	47,37	23,21	1.110,0
42%	611,3	321,0	5.313,6	21,6	49,06	22,93	1.094,0
50%	598,9	318,0	5.972,4	23,0	50,55	22,71	1.164,0
58%	591,1	305,0	6.336,3	25,1	51,85	21,79	1.074,0
64%	596,7	310,0	6.805,6	25,9	53,97	22,14	1.101,0
70%	586,8	303,0	6.933,3	26,3	54,95	21,64	1.074,0
75%	580,4	298,0	7.421,9	27,8	56,61	21,29	1.104,0
80%	582,3	295,0	7.979,7	29,5	58,45	21,07	1.112,0



Şekil 8.22. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (26 Haziran 2018)



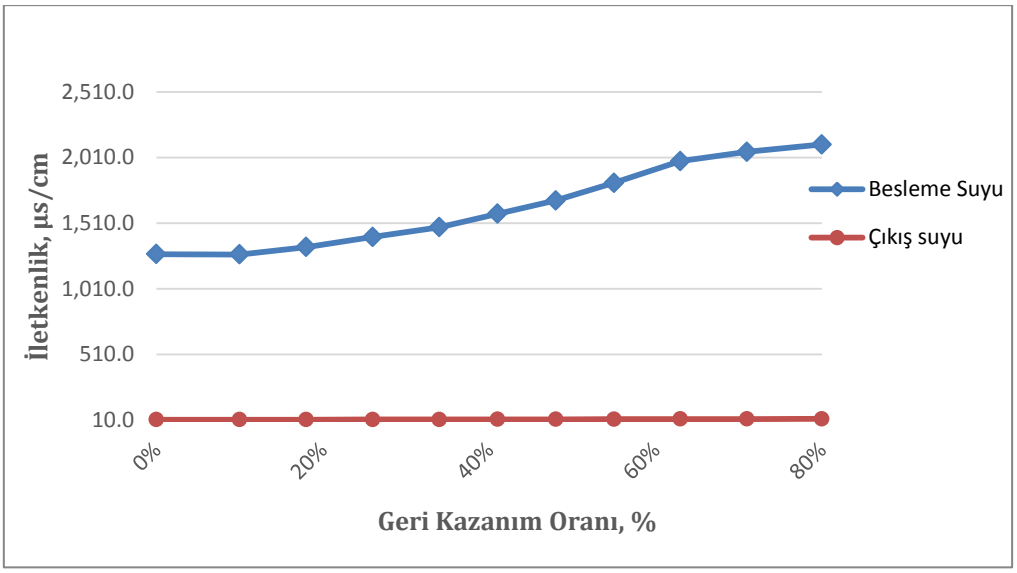
Şekil 8.23. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (26 Haziran 2018)

Çizelge 8.14.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

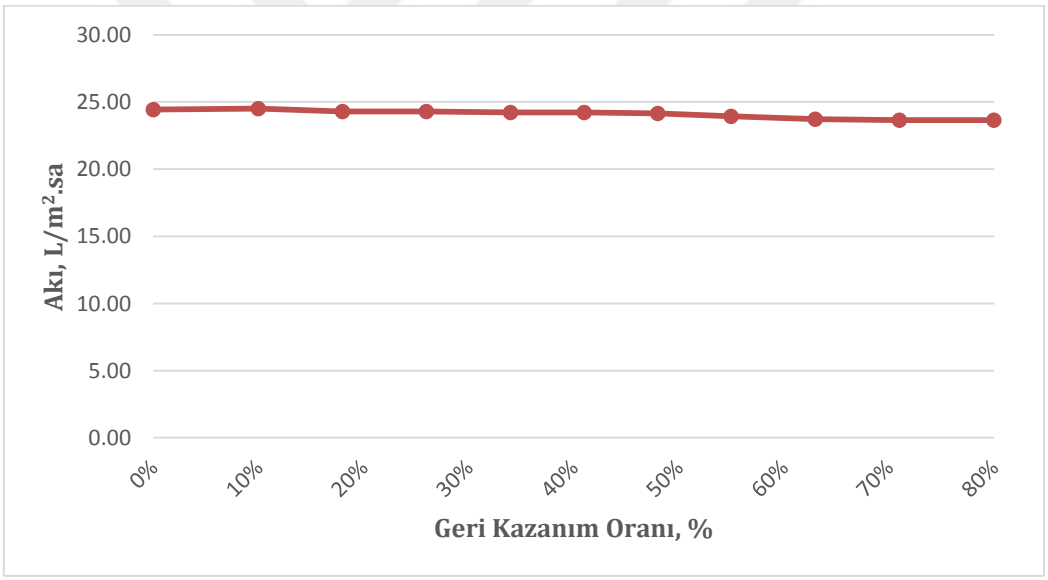
b)	**2. KADEME pH= 6,68**						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI (L/m².sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	950,0	342,0	1.274,7	14,7	20,64	24,43	296,0
10%	941,0	343,0	1.272,4	14,5	20,78	24,50	286,0
18%	968,7	340,0	1.328,5	14,1	20,86	24,29	298,0
26%	936,5	340,0	1.405,5	15,4	20,78	24,29	304,0
34%	970,1	339,0	1.479,4	16,0	21,02	24,21	299,0
41%	965,7	339,0	1.581,6	16,6	21,28	24,21	312,0
48%	949,4	338,0	1.683,4	17,4	21,32	24,14	305,0
55%	956,8	335,0	1.817,2	18,1	21,48	23,93	319,0
63%	956,5	332,0	1.982,5	19,3	21,61	23,71	323,0
71%	975,8	331,0	2.053,9	19,8	21,71	23,64	330,0
80%	967,7	331,0	2.109,7	20,1	21,86	23,64	368,0

Çizelge 8.14.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	**B ve As Giderim Verimleri**		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.710,0	334,0	87,7
As	2,00	0,016	99,2



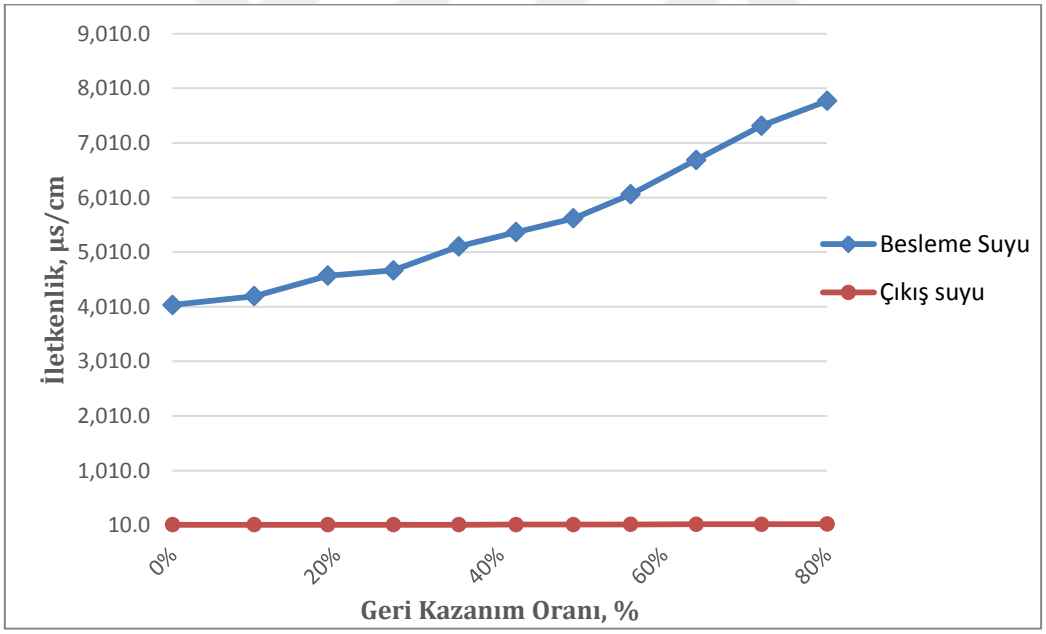
Şekil 8.24. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (26 Haziran 2018)



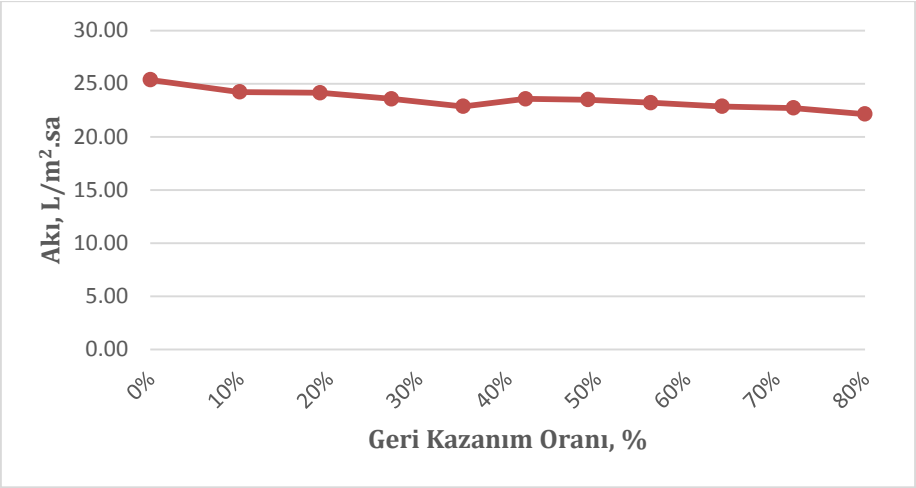
Şekil 8.25. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (26 Haziran 2018)

Çizelge 8.15.a . 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (27.06.2018)

a)			1. KADEME pH= 7.11				
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI (L/m^2.sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	355,0	4.041,3	17,1	40,21	25,36	912,0
10%	598,5	339,0	4.203,1	17,5	44,18	24,21	936,0
19%	603,1	338,0	4.579,4	17,9	45,03	24,14	906,0
27%	593,0	330,0	4.676,4	18,4	46,02	23,57	894,0
35%	592,7	320,0	5.114,1	19,2	46,54	22,86	909,0
42%	587,5	330,0	5.374,8	20,8	51,11	23,57	928,0
50%	580,6	329,0	5.626,9	22,3	52,72	23,50	921,0
57%	569,7	325,0	6.066,7	23,8	54,93	23,21	919,0
64%	568,7	320,0	6.697,8	26,5	58,18	22,86	946,0
72%	557,8	318,0	7.326,2	28,1	59,97	22,71	982,0
80%	551,6	310,0	7.779,2	30,0	61,35	22,14	932,0



Şekil 8.26. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (27 Haziran 2018)



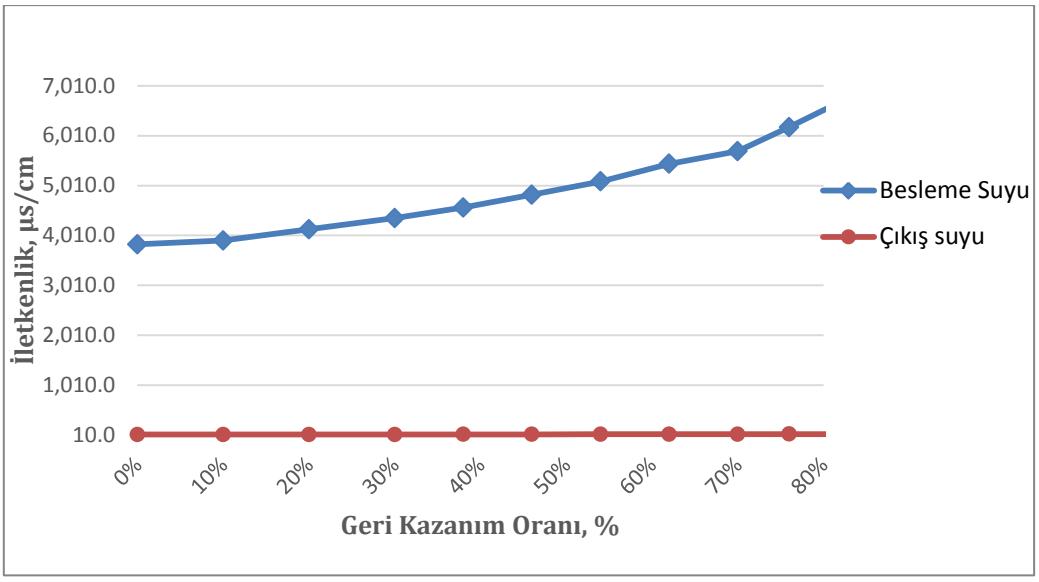
Şekil 8.27. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (26 Haziran 2018)

Çizelge 8.15.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

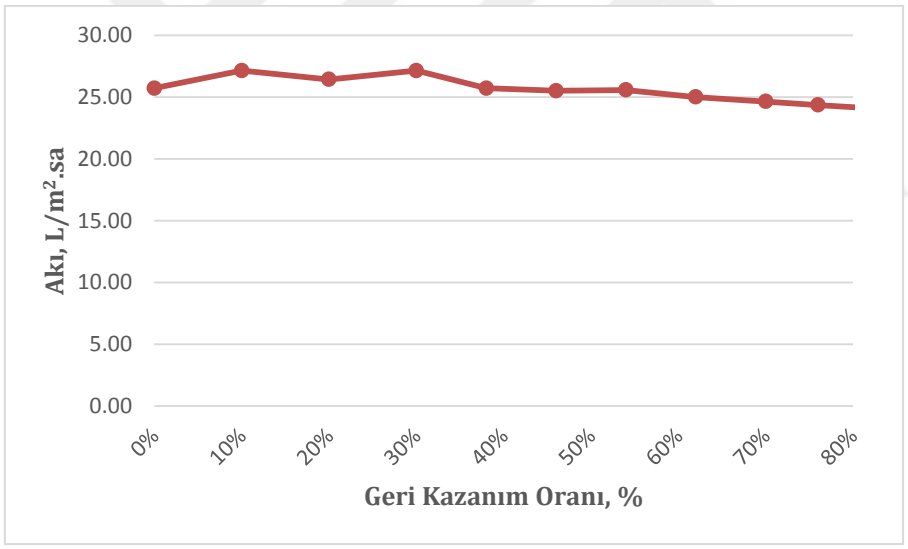
b)	**2. KADEME pH= 9.501**						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI (L/m².sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	950,0	360,0	3.833,1	19,7	22,55	25,71	136,0
10%	945,7	380,0	3.907,5	20,2	22,47	27,14	128,0
20%	943,9	370,0	4.133,5	21,4	21,78	26,43	119,0
30%	927,5	380,0	4.358,3	22,5	21,85	27,14	124,0
38%	949,4	360,0	4.569,5	24,3	21,32	25,71	131,0
46%	911,3	357,0	4.825,5	25,0	21,84	25,50	125,0
54%	929,8	358,0	5.091,2	26,0	21,91	25,57	121,0
62%	924,3	350,0	5.446,3	27,5	22,31	25,00	130,0
70%	895,6	345,0	5.700,1	28,6	22,75	24,64	132,0
76%	935,2	341,0	6.179,1	30,2	23,21	24,36	133,0
81%	936,7	338,0	6.603,2	31,9	23,10	24,14	135,0

Çizelge 8.15.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	**B ve As Giderim Verimleri**		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.881,0	266,0	90,8
As	3,60	0,012	99,7



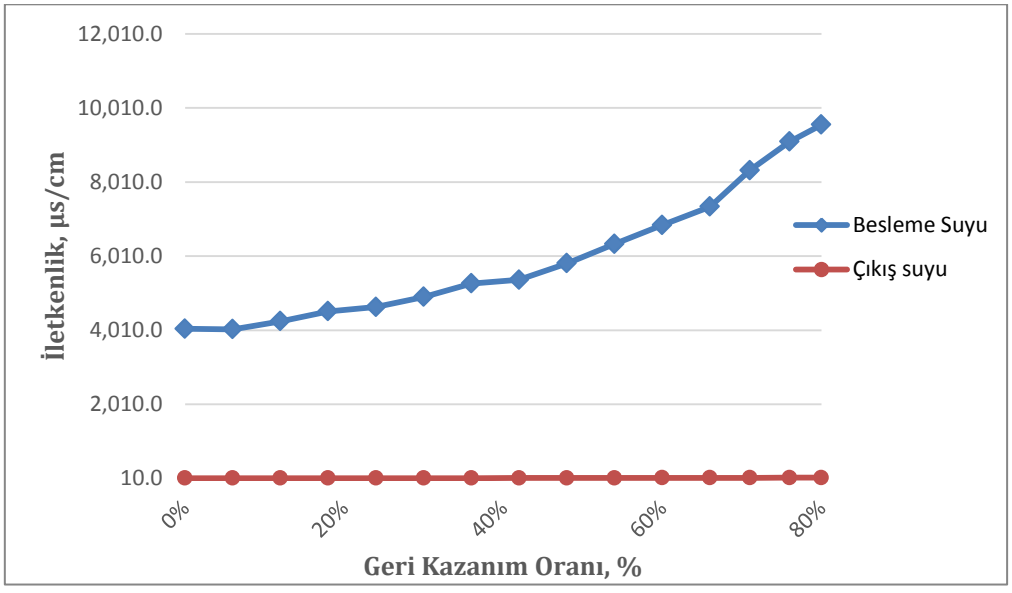
Şekil 8.28. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (27 Haziran 2018)



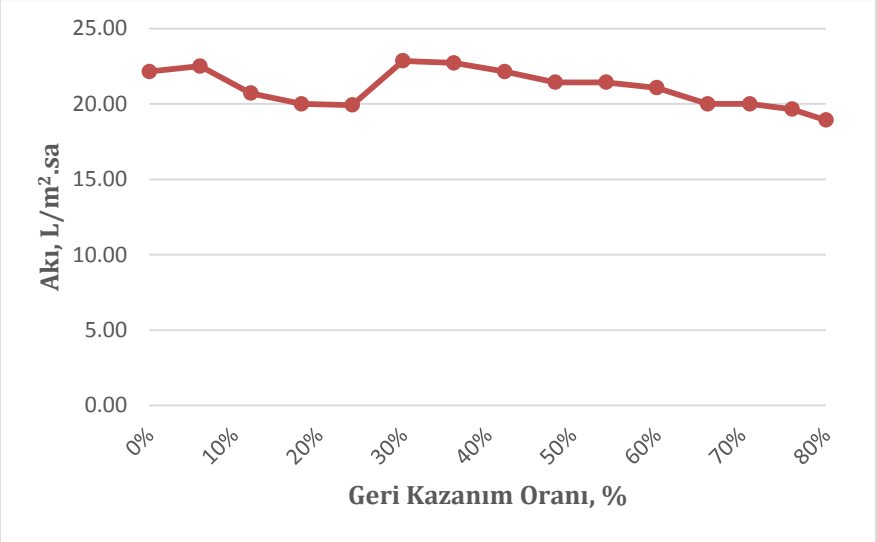
Şekil 8.29. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (27 Haziran 2018)

Çizelge 8.16.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (28.06.2018)

a)	1. KADEME pH= 7,08						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	310,0	4.048,3	19,6	33,07	22,14	910,0
6%	619,9	315,0	4.034,4	18,3	37,20	22,50	926,0
12%	609,7	290,0	4.252,4	17,7	36,91	20,71	916,0
18%	613,2	280,0	4.519,4	17,7	36,82	20,00	904,0
24%	604,8	279,0	4.638,7	18,1	36,90	19,93	896,0
30%	587,4	320,0	4.908,4	20,1	46,20	22,86	936,0
36%	590,1	318,0	5.273,5	20,7	47,34	22,71	929,0
42%	587,2	310,0	5.370,1	21,6	48,68	22,14	918,0
48%	565,2	300,0	5.816,3	23,1	50,60	21,43	921,0
54%	584,8	300,0	6.341,2	24,2	52,23	21,43	916,0
60%	575,8	295,0	6.848,8	26,1	53,92	21,07	920,0
66%	580,6	280,0	7.346,4	27,1	55,35	20,00	962,0
71%	563,7	280,0	8.327,1	28,8	58,38	20,00	982,0
76%	559,4	275,0	9.098,3	31,3	60,33	19,64	943,0
80%	554,5	265,0	9.555,7	32,2	61,75	18,93	932,0



Şekil 8.30. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (28 Haziran 2018)



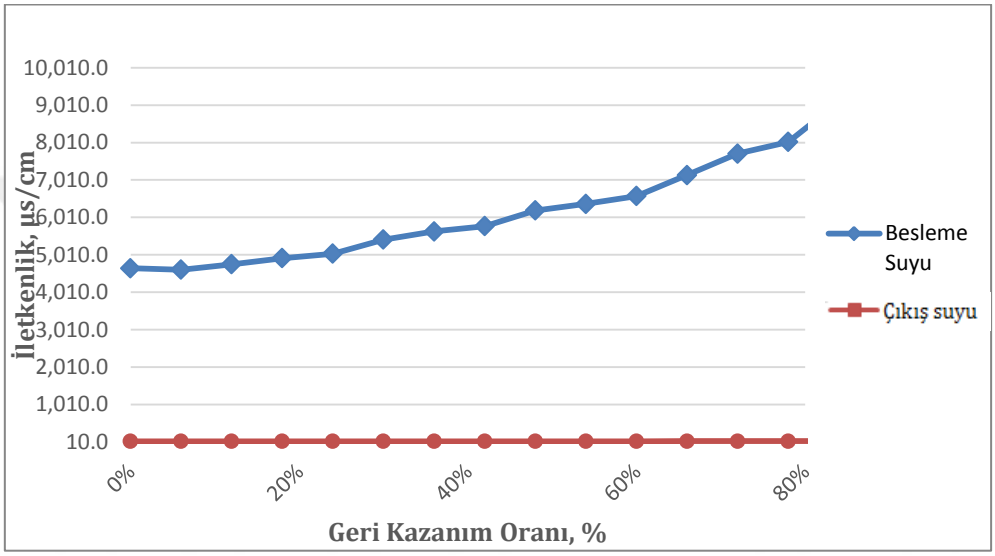
Şekil 8.31. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (28 Haziran 2018)

Çizelge 8.16.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

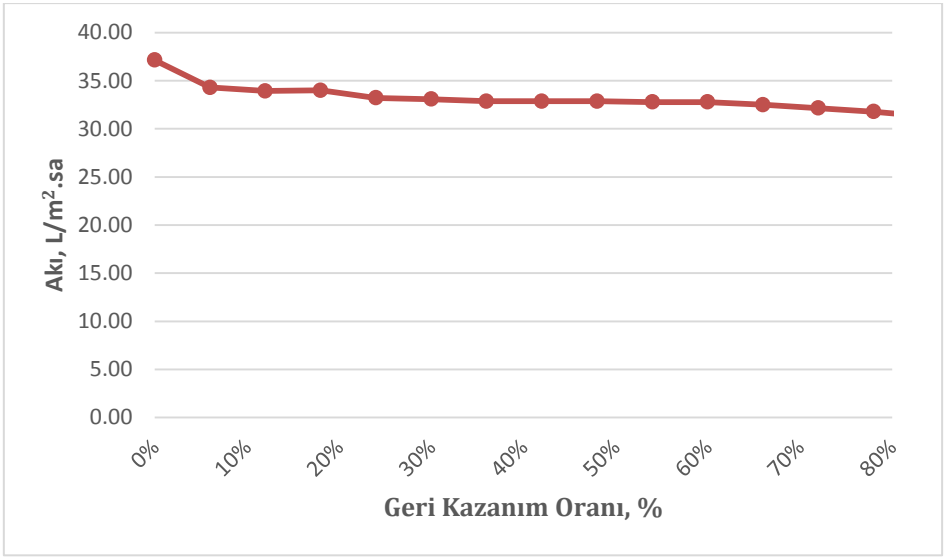
b)	**2. KADEME pH= 9,71**						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI (L/m².sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	520,0	4.652,3	24,3	40,70	37,14	92,0
6%	603,0	480,0	4.613,3	25,6	40,21	34,29	89,0
12%	612,4	475,0	4.758,6	25,5	39,56	33,93	89,0
18%	646,3	476,0	4.919,5	24,7	39,65	34,00	93,0
24%	625,7	465,0	5.037,9	25,8	40,92	33,21	90,0
30%	633,3	463,0	5.418,2	26,1	41,80	33,07	93,0
36%	634,2	460,0	5.632,5	26,8	42,79	32,86	91,0
42%	644,2	460,0	5.777,2	26,4	44,10	32,86	90,0
48%	641,1	460,0	6.194,3	25,9	45,16	32,86	90,0
54%	622,5	459,0	6.368,9	26,7	46,29	32,79	93,0
60%	648,9	459,0	6.579,8	27,6	47,84	32,79	91,0
66%	621,4	455,0	7.139,3	28,9	49,99	32,50	90,0
72%	619,2	450,0	7.713,4	29,4	52,70	32,14	92,0
78%	605,0	445,0	8.025,9	30,1	53,65	31,79	89,0
82%	612,4	440,0	8.744,1	31,2	56,15	31,43	91,0

Çizelge 8.16.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.737,0	92,0	96,6
As	7,20	0,00	100,0



Şekil 8.32. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği



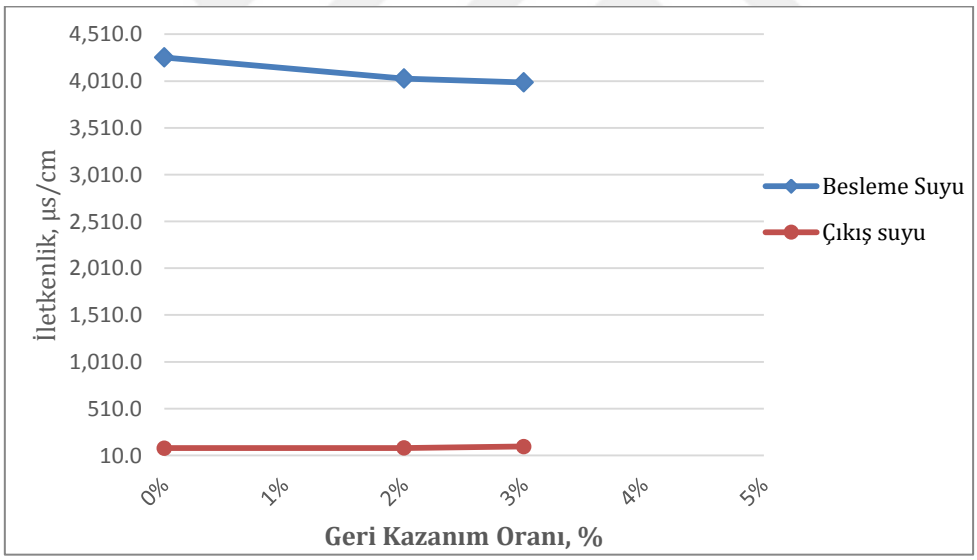
Şekil 8.33. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (28 Haziran 2018)

29.06.18 tarihli çalışmada diğerlerinden farklı olarak bir sefere mahsus kireçli su, iki kademeli arıtımdan geçirilmeye çalışılmıştır. Ancak sonuçta görüldüğü üzere membran akısı 10 dakika sonra sıfırlanmıştır. Bu nedenle ürün suyu elde edilememiş, dolayısıyla 2.Kademe arıtıma başlanamamıştır. 1.Kademe'ye ait sonuçlar Çizelge 17'de verilmiştir.

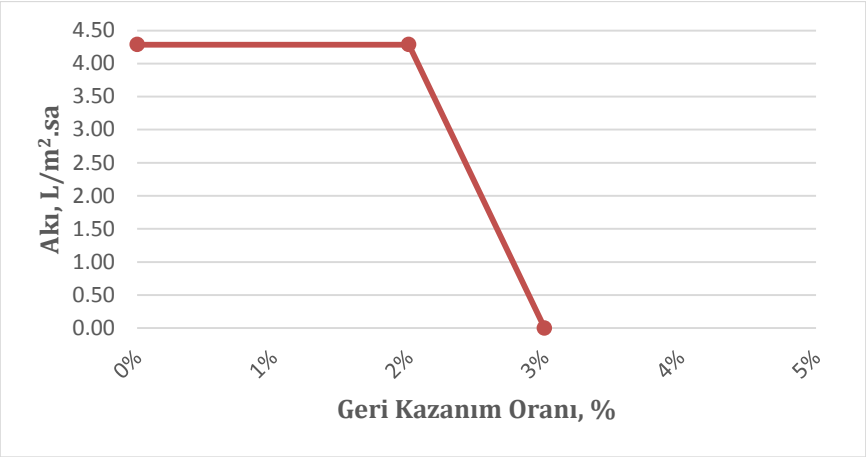
Çizelge 8.17. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (29.06.2018)

1. KADEME pH= 10,01

GERİ KAZANIM ORANI	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI (L/m^2.sa)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	600,0	60,0	4.263,1	87,8	41,71	4,29	96,0
2%	573,1	60,0	4.037,6	89,8	49,50	4,29	94,0
2%	579,1	<60	3.995,5	103,8	53,60	-	-



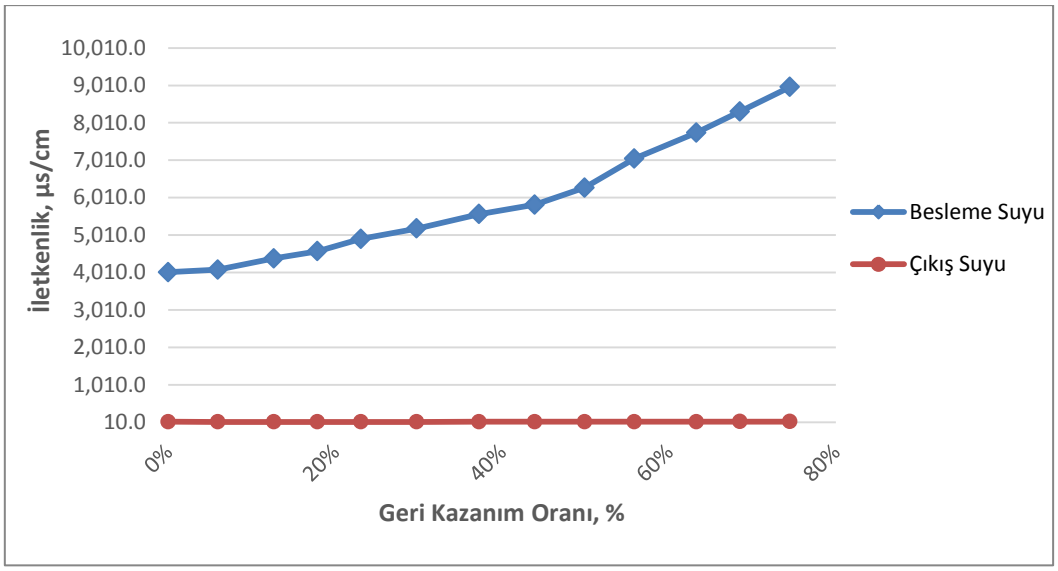
Şekil 8.34. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği



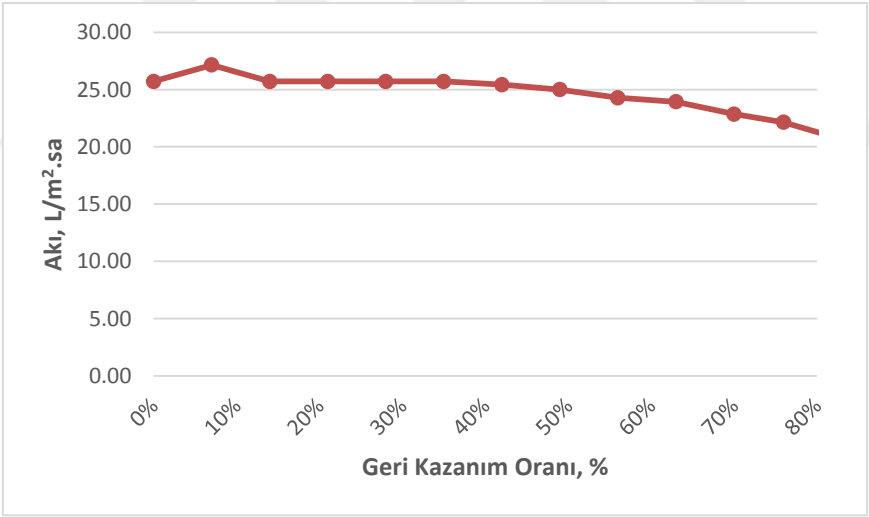
Şekil 8.35. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (29 Haziran 2018)

Çizelge 8.18.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (03.07.2018)

a)	**1. KADEME pH=7.36**						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI (L/m².sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	360,0	4.017,8	25,8	37,75	25,71	1.062,0
7%	603,3	380,0	4.085,7	23,0	42,88	27,14	1.059,0
14%	616,1	360,0	4.384,2	21,7	43,71	25,71	1.063,0
21%	608,8	360,0	4.579,1	21,7	44,64	25,71	1.126,0
28%	608,9	360,0	4.907,1	22,4	45,82	25,71	1.096,0
35%	596,3	360,0	5.187,3	22,9	46,97	25,71	1.130,0
42%	588,1	356,0	5.570,0	24,1	48,05	25,43	1.062,0
49%	587,4	350,0	5.823,3	24,8	50,04	25,00	1.019,0
56%	597,2	340,0	6.274,6	26,0	52,08	24,29	1.089,0
63%	572,7	335,0	7.054,0	26,8	55,16	23,93	1.114,0
70%	564,7	320,0	7.748,4	27,3	59,22	22,86	1.255,0
76%	551,8	310,0	8.309,5	27,7	62,55	22,14	1.130,0
81%	568,7	295,0	8.966,9	30,3	59,30	21,07	1.112,0



Şekil 8.36. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (3 Temmuz 2018)



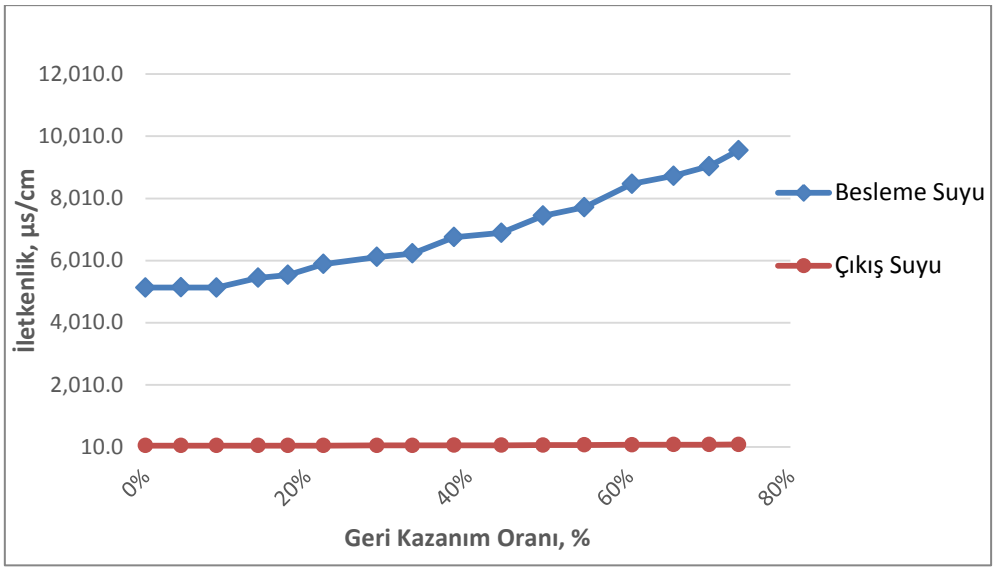
Şekil 8.37. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (3 Temmuz 2018)

Çizelge 8.18.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

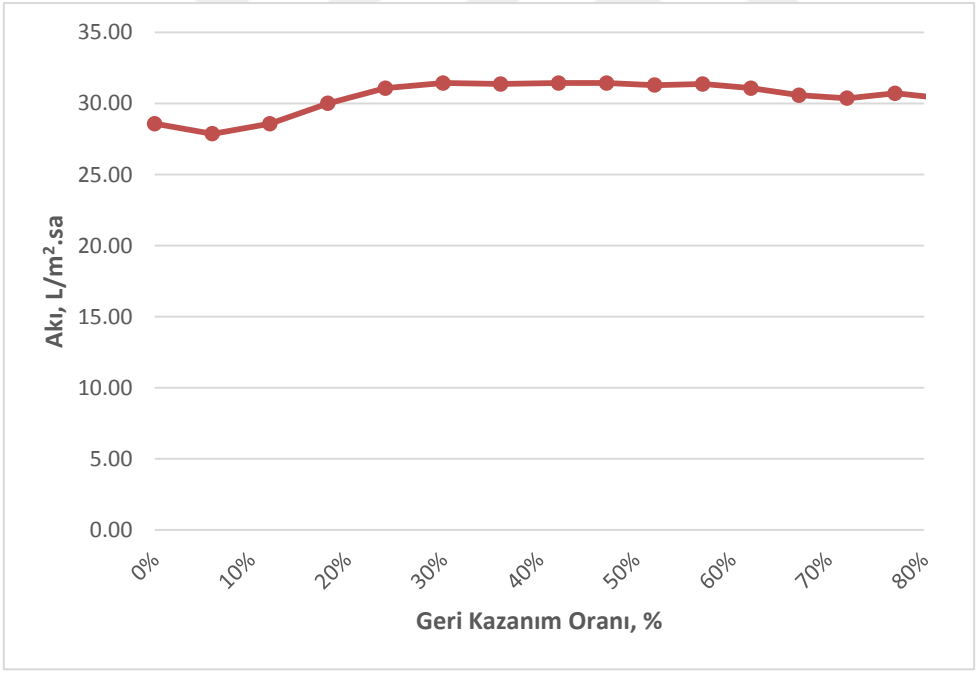
b)	2. KADEME pH=9.85						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	400,0	5.137,2	53,4	48,05	28,57	110,0
6%	582,1	390,0	5.143,4	52,7	50,71	27,86	103,0
12%	619,1	400,0	5.140,0	53,1	49,66	28,57	113,0
18%	606,9	420,0	5.452,2	53,9	47,56	30,00	106,0
24%	629,0	435,0	5.546,9	56,2	45,23	31,07	105,0
30%	635,6	440,0	5.895,9	56,3	45,24	31,43	109,0
36%	654,9	439,0	6.123,7	57,8	45,61	31,36	106,0
42%	661,5	440,0	6.236,4	60,1	46,12	31,43	104,0
47%	652,0	440,0	6.759,1	63,2	47,20	31,43	108,0
52%	679,6	438,0	6.902,2	65,9	47,99	31,29	105,0
57%	685,9	439,0	7.452,4	71,2	49,18	31,36	108,0
62%	686,0	435,0	7.725,6	74,8	50,51	31,07	106,0
67%	684,9	428,0	8.474,3	81,3	52,75	30,57	103,0
72%	702,3	425,0	8.735,2	84,6	54,21	30,36	109,0
77%	699,7	430,0	9.040,4	85,6	55,60	30,71	107,0
82%	691,6	425,0	9.559,2	90,7	56,82	30,36	106,0

Çizelge 8.18.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.898,0	108,0	96,27
As	8,00	0,000	100,0



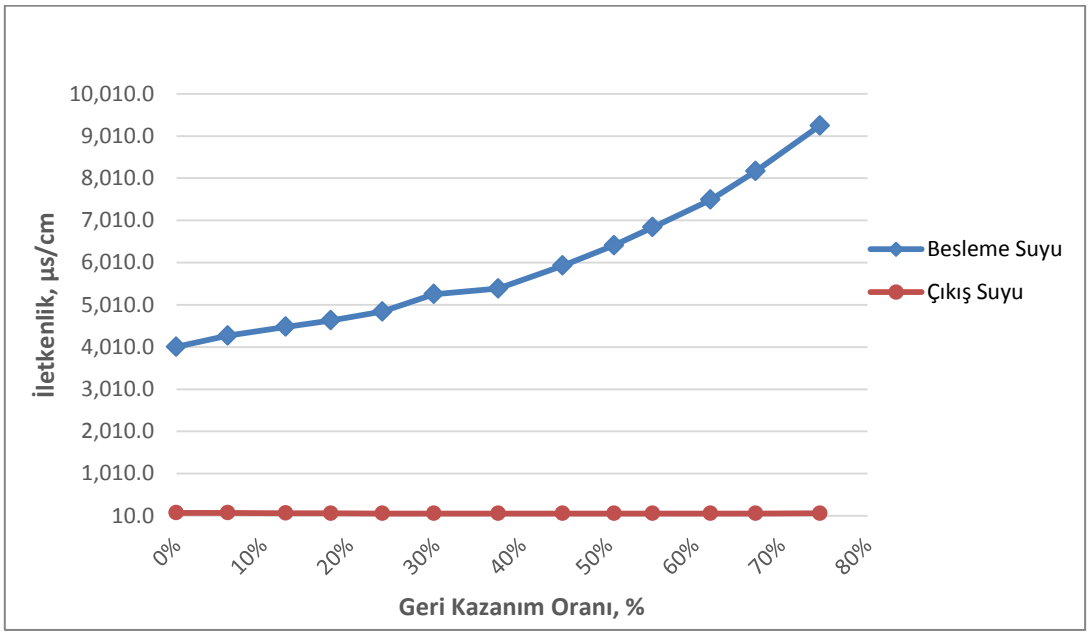
Şekil 8.38. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (3 Temmuz 2018)



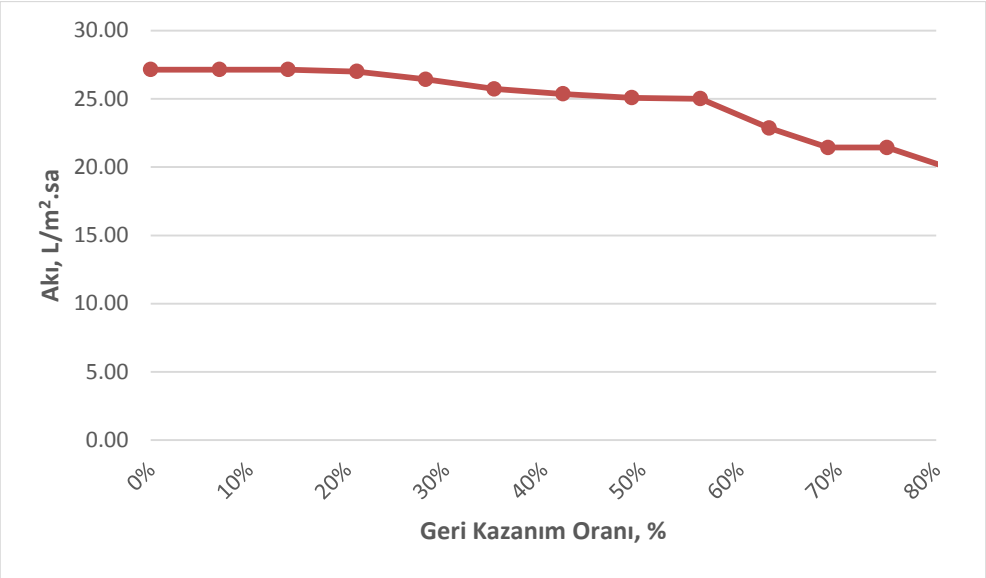
Şekil 8.39. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (3 Temmuz 2018)

Çizelge 8.19.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (04.07.2018)

a)	1. KADEME pH=7.07						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	380,0	4.012,9	80,7	45,05	27,14	1.023,0
7%	601,3	380,0	4.278,4	80,0	49,58	27,14	1.010,0
14%	598,4	380,0	4.487,6	73,6	52,98	27,14	1.060,0
21%	630,9	378,0	4.640,4	68,2	53,42	27,00	1.053,0
28%	613,1	370,0	4.846,5	66,3	54,58	26,43	1.016,0
35%	611,6	360,0	5.261,3	65,9	55,66	25,71	1.023,0
42%	599,0	355,0	5.396,1	65,6	57,32	25,36	1.022,0
49%	603,1	351,0	5.936,5	65,1	59,22	25,07	1.032,0
56%	596,1	350,0	6.419,9	65,0	61,30	25,00	1.042,0
63%	594,3	320,0	6.847,2	64,5	58,29	22,86	1.016,0
69%	592,2	300,0	7.500,1	66,1	59,70	21,43	1.009,0
75%	597,9	300,0	8.174,2	66,3	58,37	21,43	1.023,0
81%	589,9	280,0	9.254,7	68,1	61,92	20,00	1.036,0



Şekil 8.40. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (4 Temmuz 2018)



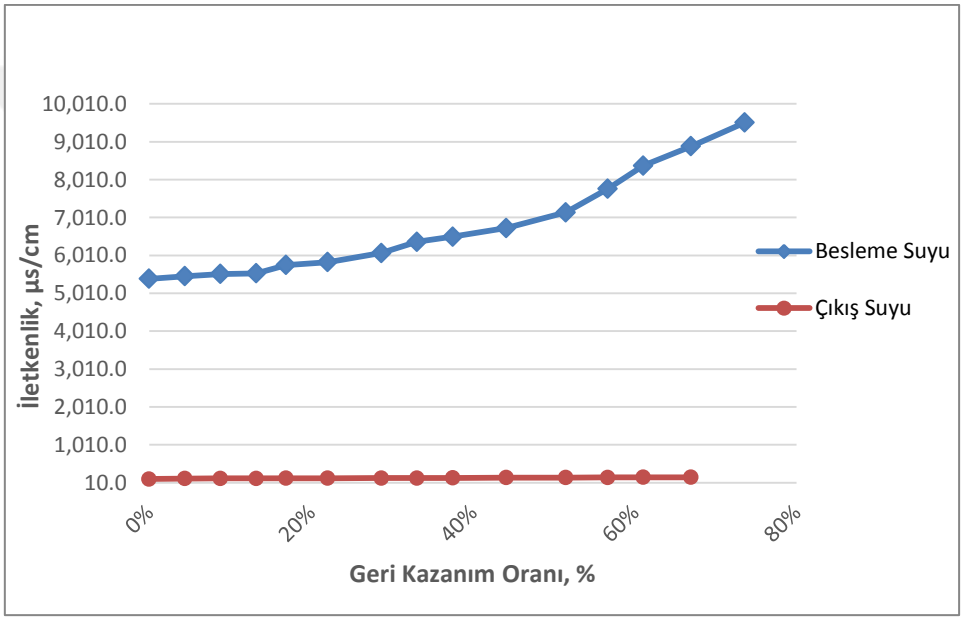
Şekil 8.41. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (4 Temmuz 2018)

Çizelge 8.19.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

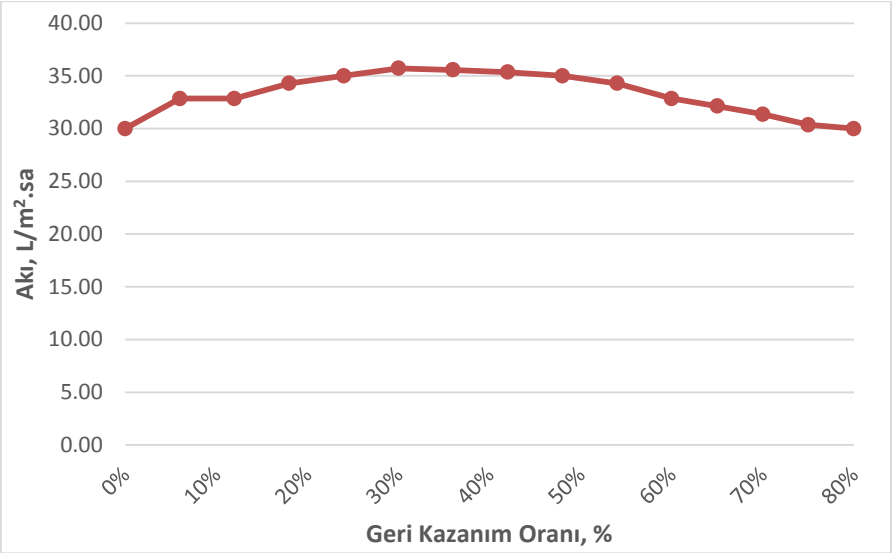
b)	**2. KADEME pH=10.03**						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	420,0	5.392,2	104,6	46,62	30,00	103,0
6%	596,9	460,0	5.459,3	105,9	46,81	32,86	101,0
12%	592,3	460,0	5.520,9	120,3	48,65	32,86	99,0
18%	605,5	480,0	5.536,9	124,6	50,07	34,29	96,0
24%	575,4	490,0	5.756,5	125,3	51,89	35,00	94,0
30%	574,9	500,0	5.831,8	127,3	54,22	35,71	102,0
36%	568,2	498,0	6.072,8	130,2	55,96	35,57	106,0
42%	572,3	495,0	6.370,7	132,3	57,33	35,36	109,0
48%	565,7	490,0	6.504,1	134,5	58,85	35,00	118,0
54%	567,1	480,0	6.730,8	138,4	59,40	34,29	97,0
60%	563,3	460,0	7.144,2	143,4	62,07	32,86	92,0
65%	570,3	450,0	7.767,8	145,2	58,32	32,14	94,0
70%	571,4	439,0	8.378,2	149,4	60,49	31,36	92,0
75%	573,7	425,0	8.889,4	154,7	60,45	30,36	94,0
80%	559,1	420,0	9.517,6	155,8	60,78	30,00	93,0

Çizelge 8.19.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.882,0	85,0	97,05
As	3,60	0,008	99,78



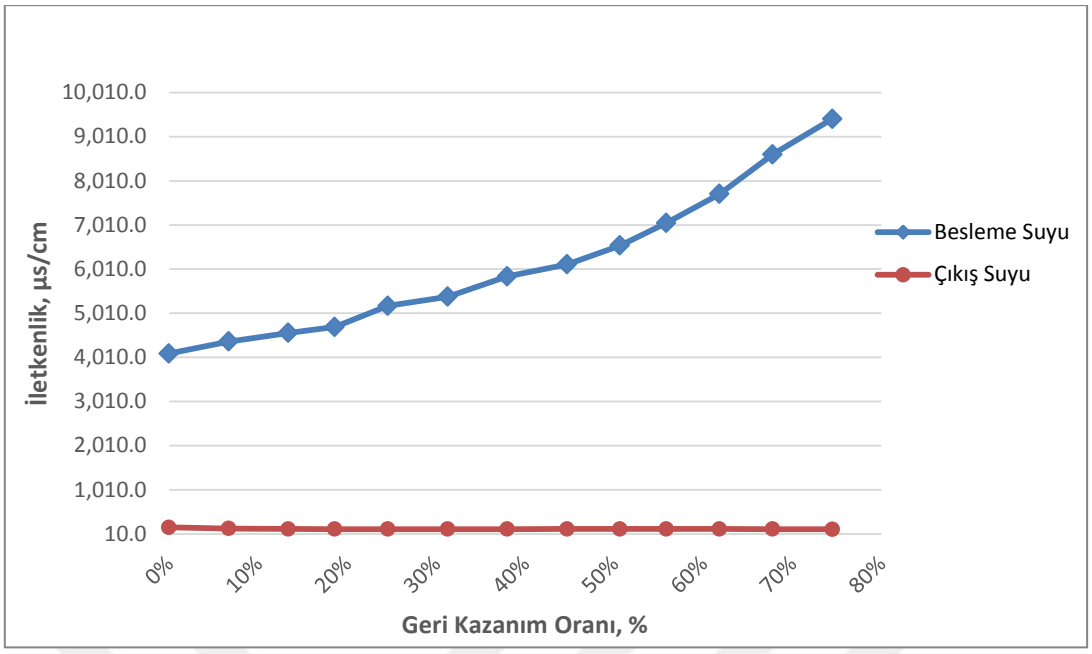
Şekil 8.42. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği



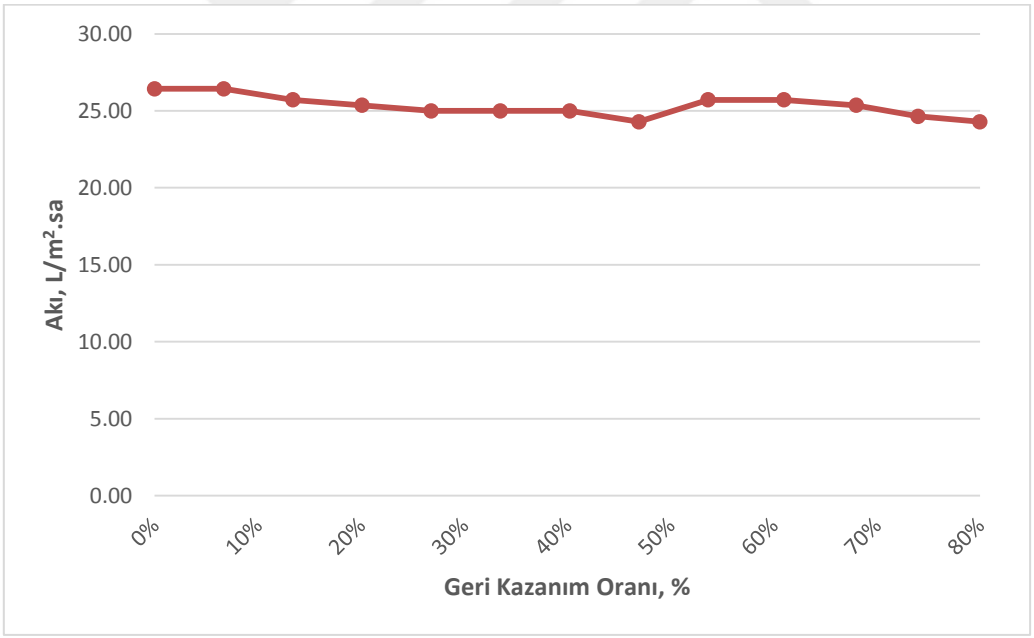
Şekil 8.43. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (4 Temmuz 2018)

Çizelge 8.20.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (05.07.2018)

a)			**1. KADEME pH=7.08**				
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	370,0	4.096,1	158,5	43,06	26,43	1.074,0
7%	602,1	370,0	4.370,0	134,1	44,64	26,43	1.063,0
13%	597,2	360,0	4.564,9	124,1	45,99	25,71	1.043,0
20%	615,1	355,0	4.699,2	120,1	47,92	25,36	1.102,0
27%	592,8	350,0	5.176,1	118,2	49,49	25,00	1.096,0
34%	596,0	350,0	5.382,5	118,3	50,83	25,00	1.073,0
40%	592,9	350,0	5.844,7	119,2	52,23	25,00	1.069,0
47%	579,1	340,0	6.118,1	121,0	53,59	24,29	1.083,0
54%	585,7	360,0	6.543,2	122,0	55,60	25,71	1.098,0
61%	586,3	360,0	7.056,3	121,8	56,63	25,71	1.111,0
68%	573,1	355,0	7.710,4	120,9	58,89	25,36	1.105,0
74%	564,9	345,0	8.608,4	118,8	61,50	24,64	1.106,0
80%	571,4	340,0	9.413,8	116,6	63,04	24,29	1.126,0



Şekil 8.44. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (5 Temmuz 2018)



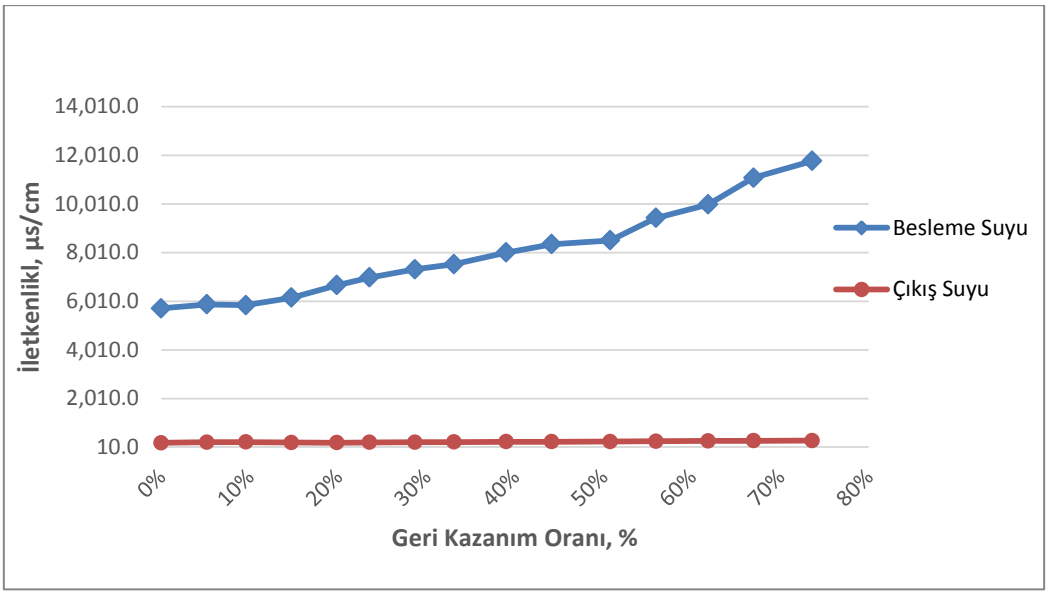
Şekil 8.45. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (5 Temmuz 2018)

Çizelge 8.20.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

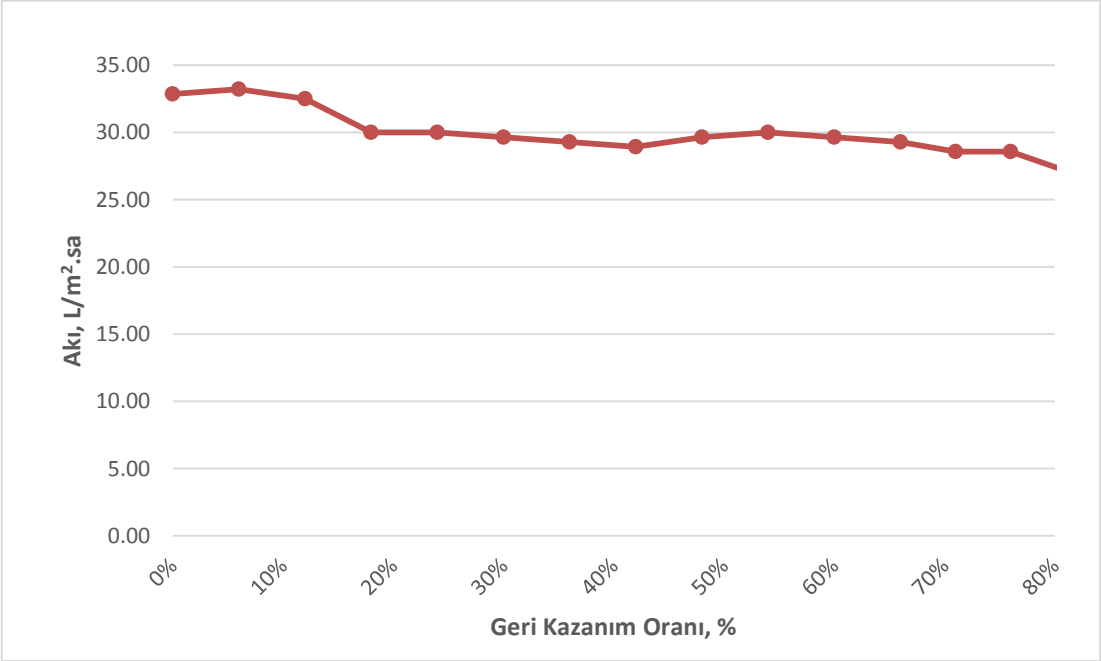
b)	2. KADEME pH=10.55						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	460,0	5.712,4	186,1	45,25	32,86	65,0
6%	609,3	465,0	5.880,7	211,4	52,04	33,21	67,0
12%	578,4	455,0	5.844,8	217,0	55,98	32,50	70,0
18%	588,8	420,0	6.155,3	197,3	46,95	30,00	68,0
24%	602,1	420,0	6.666,7	192,8	47,02	30,00	69,0
30%	590,4	415,0	6.981,4	201,0	48,55	29,64	66,0
36%	598,4	410,0	7.316,8	209,4	50,10	29,29	67,0
42%	600,0	405,0	7.531,3	219,5	52,21	28,93	71,0
48%	596,2	415,0	8.010,2	226,9	53,66	29,64	67,0
54%	593,6	420,0	8.353,9	231,2	54,54	30,00	69,0
60%	593,8	415,0	8.511,6	236,2	55,48	29,64	69,0
66%	579,9	410,0	9.430,4	247,9	57,88	29,29	71,0
71%	567,5	400,0	9.987,9	263,7	61,43	28,57	69,0
76%	570,7	400,0	11.083,2	270,2	63,87	28,57	71,0
81%	563,4	380,0	11.775,3	274,8	60,27	27,14	71,0

Çizelge 8.20.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.941,0	52,0	98,23
As	4,80	0,004	99,92



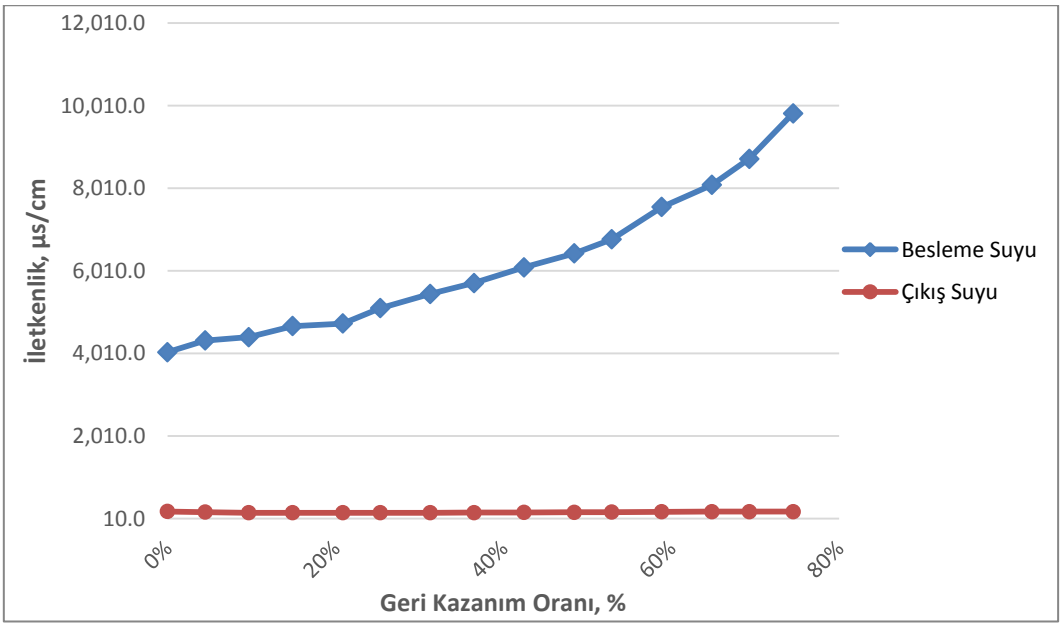
Şekil 8.46. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (5 Temmuz 2018).



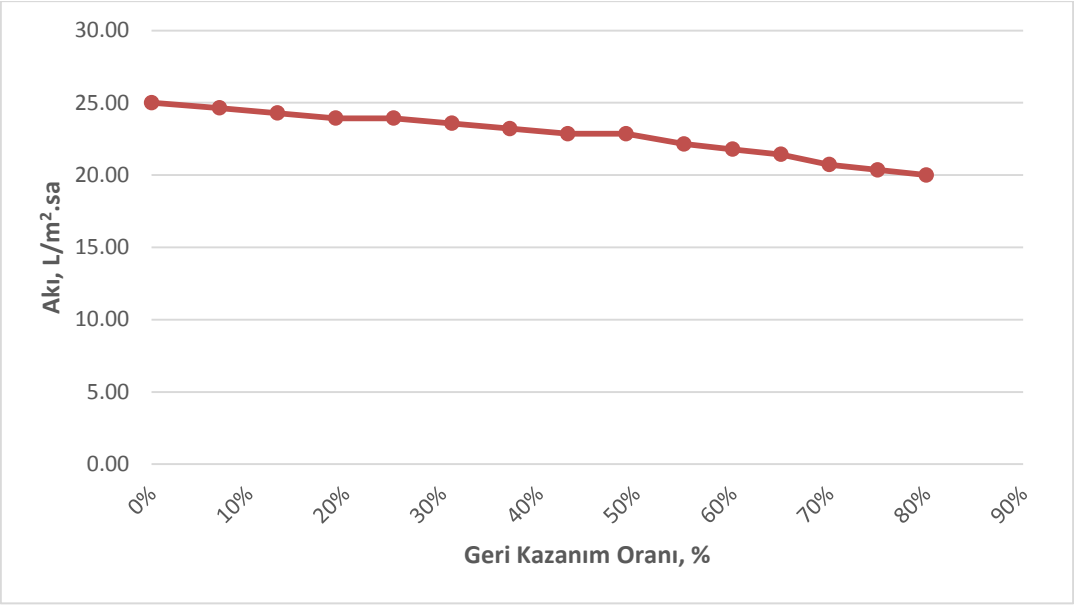
Şekil 8.47. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (5 Temmuz 2018)

Çizelge 8.21.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (06.07.2018)

a)	1. KADEME pH=7.10						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	350,0	4.035,7	182,1	40,05	25,00	996,0
7%	604,9	345,0	4.318,5	164,5	41,39	24,64	986,0
13%	603,6	340,0	4.402,2	152,1	41,65	24,29	991,0
19%	607,0	335,0	4.668,7	149,2	42,45	23,93	1.010,0
25%	601,2	335,0	4.730,3	148,7	43,63	23,93	979,0
31%	612,6	330,0	5.103,8	148,9	43,89	23,57	986,0
37%	625,7	325,0	5.449,5	151,4	44,69	23,21	993,0
43%	618,4	320,0	5.711,3	154,3	45,61	22,86	984,0
49%	623,8	320,0	6.090,4	157,6	46,73	22,86	968,0
55%	616,9	310,0	6.428,2	162,0	48,11	22,14	972,0
60%	610,1	305,0	6.770,4	166,9	50,03	21,79	953,0
65%	622,8	300,0	7.550,3	171,8	51,53	21,43	984,0
70%	618,2	290,0	8.085,1	175,8	52,92	20,71	1.024,0
75%	616,5	285,0	8.716,7	177,4	55,33	20,36	993,0
80%	614,0	280,0	9.817,8	177,7	58,35	20,00	983,0



Şekil 8.48. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (6 Temmuz 2018)



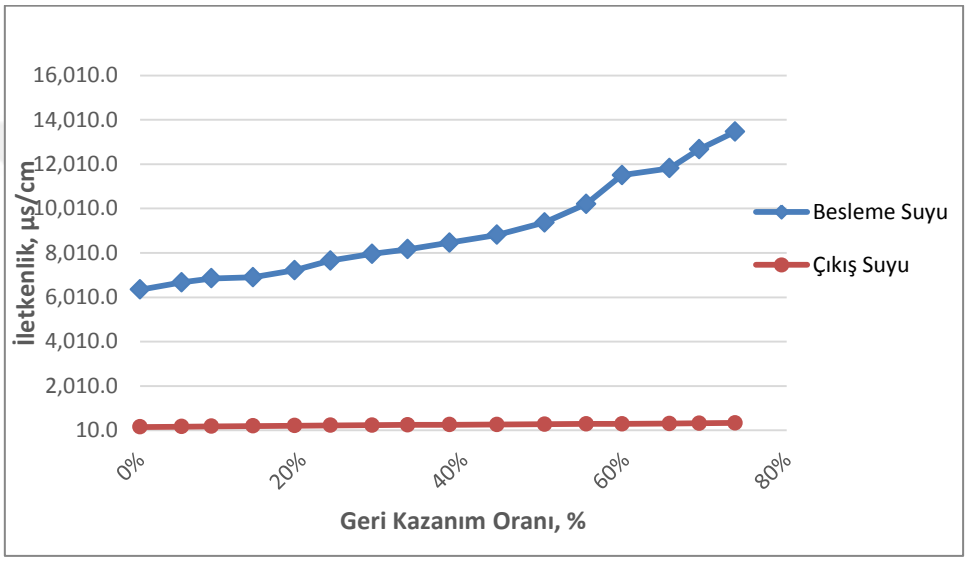
Şekil 8.49. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (6 Temmuz 2018)

Çizelge 8.21.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

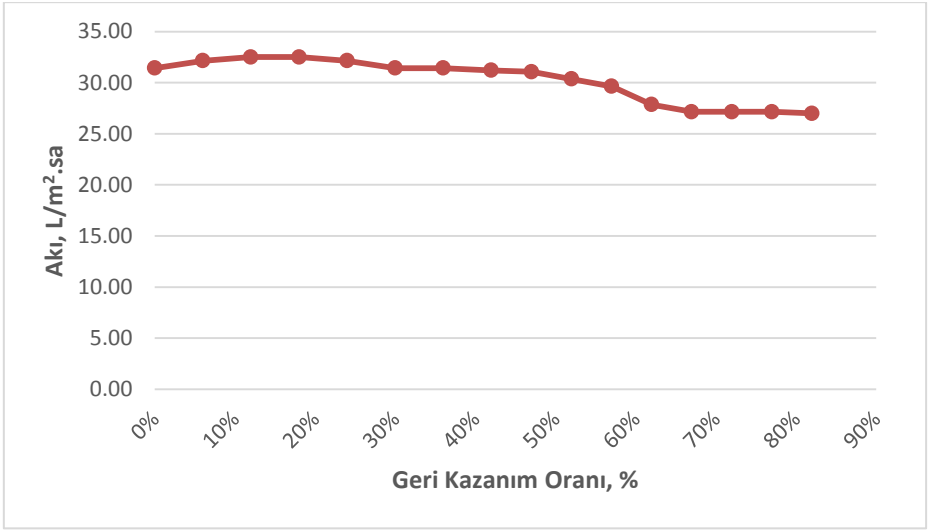
b)	**2. KADEME pH=10.99**						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI (L/m².sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,0	440,0	6.350,8	160,7	43,74	31,43	56,0
6%	605,4	450,0	6.679,0	174,3	45,44	32,14	59,0
12%	590,3	455,0	6.856,9	191,3	46,56	32,50	54,0
18%	602,6	455,0	6.905,2	208,1	47,66	32,50	59,0
24%	598,3	450,0	7.228,9	220,9	49,06	32,14	62,0
30%	588,9	440,0	7.662,4	234,1	50,55	31,43	61,0
36%	589,4	440,0	7.962,3	242,5	51,85	31,43	58,0
42%	597,4	437,0	8.173,3	253,5	53,80	31,21	56,0
47%	586,9	435,0	8.470,4	264,4	55,59	31,07	55,0
52%	591,6	425,0	8.819,4	271,6	56,42	30,36	54,0
57%	582,5	415,0	9.379,2	284,1	58,88	29,64	57,0
62%	590,7	390,0	10.209,9	298,7	56,90	27,86	55,0
67%	576,3	380,0	11.515,1	301,5	57,86	27,14	56,0
72%	581,8	380,0	11.824,5	310,4	58,88	27,14	56,0
77%	572,1	380,0	12.684,0	331,4	61,86	27,14	58,0
82%	565,0	378,0	13.467,5	340,3	62,94	27,00	57,0

Çizelge 8.21.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.844,0	47,0	98,35
As	5,00	0,000	100,0



Şekil 8.50. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (6 Temmuz 2018)

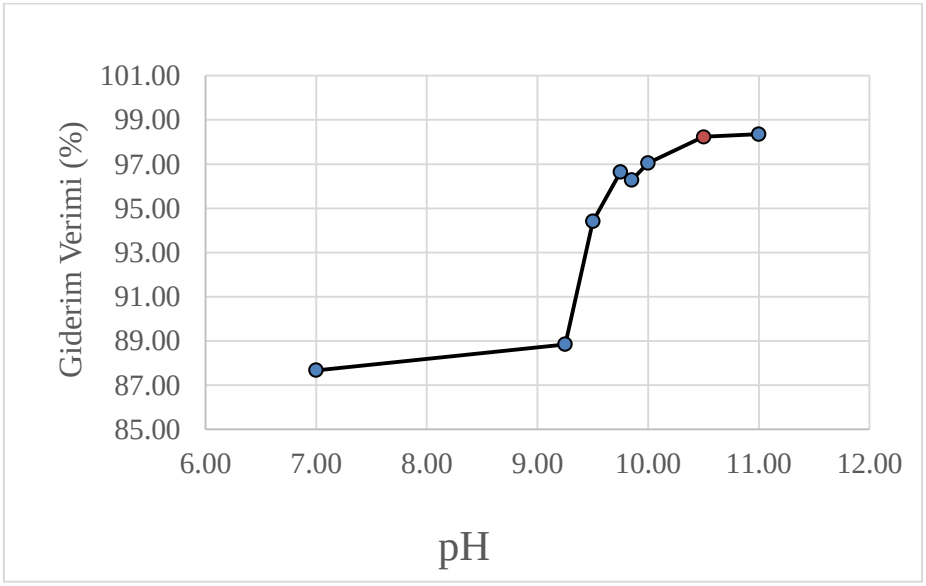


Şekil 8.51. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (6 Temmuz 2018)

Yapılan bu çalışmanın ardından ikinci kademe optimum pH'ı 10.5 olarak belirlenmiştir. Ardından ilk kademe için optimum pH değeri belirlenmek üzere çalışmalara devam edilmiştir. Ayrıca pH belirlenirken iki kademeli arıtımda kullanılan farklı tip membranların kombinasyonu göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle, ikinci kademede Kuyu ve Deniz suyu RO membranları, pH'ı 10.5'te sabit kalmak suretiyle, ilk kademede Deniz ve Kuyu suyu RO membranlarında ise 7.0-7.5-8.0 arası pH değerleri uygulanarak arıtım yapılmıştır. İlk kademede pH'ın 8'in üzerine çıkarılmamasının nedeni $CaCO_3$ oluşumuna bağlı akı düşüşlerinin ve membran tıkanmalarının meydana gelmesinin önlenmesidir. İki basamaklı olarak ilerleyen sistemde pH değerine göre giderim verimleri, Çizelge 8.22 ve Şekil 8.52'de verilmiştir.

Çizelge 8.22. İki Kademeli Sistemde pH'ın B Giderim Verimine Etkisi

No	Birinci Kademe pH	İkinci Kademe pH	Bor Giriş (ppm)	Bor Çıkış (ppm)	Giderim Verimi (%)
1	7,00	7,00	2.710,00	334,00	87,68
2	7,00	9,25	2.672,00	298,00	88,85
3	7,00	9,50	2.984,00	167,00	94,40
4	7,00	9,75	2.737,00	92,00	96,64
5	7,00	9,85	2.898,00	108,00	96,27
6	7,00	10,00	2.882,00	85,00	97,05
7	7,00	10,50	2.941,00	52,00	98,23
8	7,00	11,00	2.844,00	47,00	98,35
9	8,50	10,50	2.908,00	42,00	98,56
10	8,00	10,50	2.871,00	44,00	98,47
11	7,50	10,50	2.487,00	26,00	98,95



Şekil 8.52. pH'ın Bor Giderim Verimine Etkisi

Bahsi geçen çalışmaların yapılması için kireç ilave edilmemiş ham su göletinden kesikli çalıştırılmak üzere 1 ton miktarında atık su alınıp sisteme verilmiştir. UF membranlarından geçirilen atık suyun ilk kademe pH'ı NaOH eklenmesiyle 7.0, 7.5 ve 8.0 değerlerine ayarlanmış ve ilk kademe Deniz Suyu RO membranı kullanılmıştır. Daha sonra 1.Kademe ürün suyunun pH'ı 10.5 değerine ayarlanmış ve ikinci kademe için de Deniz suyu RO membranı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bor gideriminde %98-99 değerlerine, arsenik gideriminde ise %99-100 değerlerine ulaşılmıştır. Yapılan denemelere ait analiz sonuçları Çizelge 8.23 ve Çizelge 8.24'te verilmiştir.

Çizelge 8.23. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları

TARİH	PİLOT TESİS GİRİŞ SUYU				PİLOT TESİS UF ÜRÜN SUYU				PİLOT TESİS RO ÜRÜN SUYU				GİDERİM VERİMİ	
	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (%)	As (%)
18.07.2018	2.908,00	3,200	7,135	4.470,00	2.865,00	8,000	7,091	4.460,00	954,00 42,00	0,360 0,000	8,702 8,832	2480,00 93,30	98,56	100,00
19.07.2018	2.871,00	4,000	7,052	4.380,00	2.908,00	4,800	7,028	4.370,00	371,00 44,00	0,048 0,008	7,212 8,453	96,00 75,50	98,47	99,80
20.07.2018	2.487,00	4,000	7,047	4.620,00	2.332,00	8,000	7,027	4.640,00	761,00 26,00	0,140 0,020	7,787 8,432	629,00 169,00	98,95	99,50

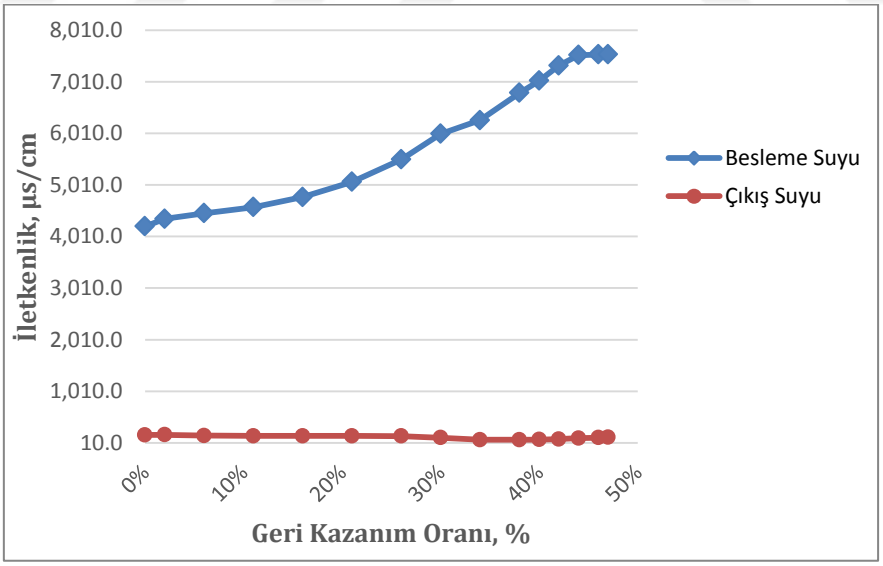
Çizelge 8.24. Kireç İlavesiz Suda İki Kademeli Deniz Suyu/Deniz Suyu RO Membranı İle Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları

TARİH	UF GİRİŞ	UF ÇIKIŞ	1. KADEME									2. KADEME					RO KONSANTRE (1. KADEME)	RO KONSANTRE (2. KADEME)
			RO ÇIKIŞ (25%)	RO ÇIKIŞ (30%)	RO ÇIKIŞ (35%)	RO ÇIKIŞ (40%)	RO ÇIKIŞ (45%)	RO ÇIKIŞ (50%)	RO ÇIKIŞ (60%)	RO ÇIKIŞ (70%)	RO ÇIKIŞ (80%)	RO ÇIKIŞ (40%)	RO ÇIKIŞ (50%)	RO ÇIKIŞ (60%)	RO ÇIKIŞ (70%)	RO ÇIKIŞ (80%)		
	(ppm)	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*
18.07.2018	3.136,0	3.176,0	-	-	-	1.066,0	1.082,0	-	-	-	-	56,8	57,5	55,3	58,3	60,5	6.007,0	6.860,0
19.07.2018	3.176,0	3.126,0	414,0	443,4	480,0	509,7	-	-	-	-	-	73,7	70,4	72,2	64,2	66,4	6.278,0	3.956,0
20.07.2018	3.140,0	3.163,0	-	-	-	-	-	794,1	829,1	837,1	882,2	118,6	117,1	121,7	121,6	122,3	15.800,0	2.397,0

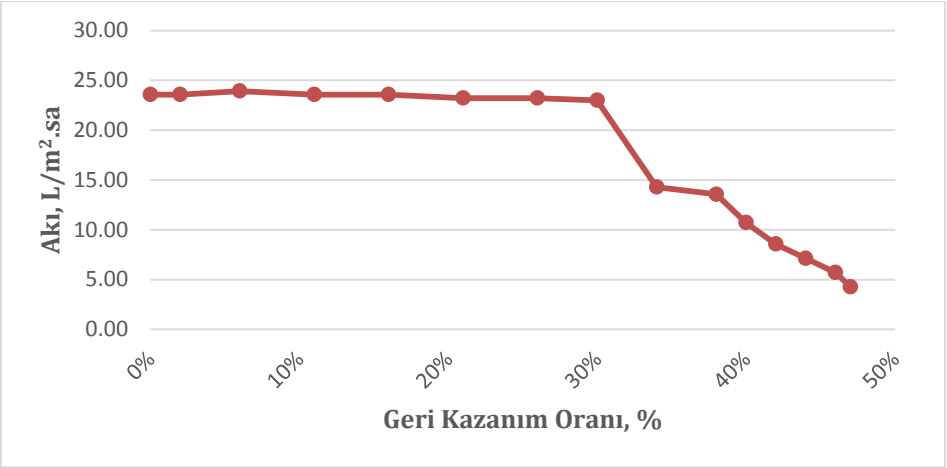
Çizelge 8.25.a. 1. Kademe Deniz suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (18.07.2018)

a) **1. KADEME pH=8.51**

GERİ KAZANIM ORANI	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI (L/m^2.sa)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	592,9	330,0	4.206,8	162,6	37,95	23,57	1.046,0
2%	598,2	330,0	4.351,2	163,9	40,52	23,57	1.065,0
6%	602,8	335,0	4.462,3	148,6	42,55	23,93	1.039,0
11%	601,1	330,0	4.579,2	143,8	43,52	23,57	1.086,0
16%	598,6	330,0	4.774,6	142,2	43,88	23,57	1.076,0
21%	599,2	325,0	5.070,4	142,1	45,49	23,21	1.049,0
26%	592,9	325,0	5.502,9	140,9	46,21	23,21	1.056,0
30%	591,8	322,0	5.999,6	108,7	47,01	23,00	1.049,0
34%	584,5	200,0	6.265,5	69,5	50,50	14,29	1.069,0
38%	585,5	190,0	6.795,9	68,2	55,03	13,57	1.049,0
40%	573,2	150,0	7.031,9	73,6	56,80	10,71	1.066,0
42%	583,5	120,0	7.326,9	81,0	58,50	8,57	1.081,0
44%	568,2	100,0	7.527,8	99,0	59,86	7,14	1.082,0
46%	567,8	80,0	7.540,6	108,0	59,89	5,71	1.089,0
47%	564,4	60,0	7.541,2	115,2	61,64	4,29	1.076,0



Şekil 8.53. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (18 Temmuz 2018)



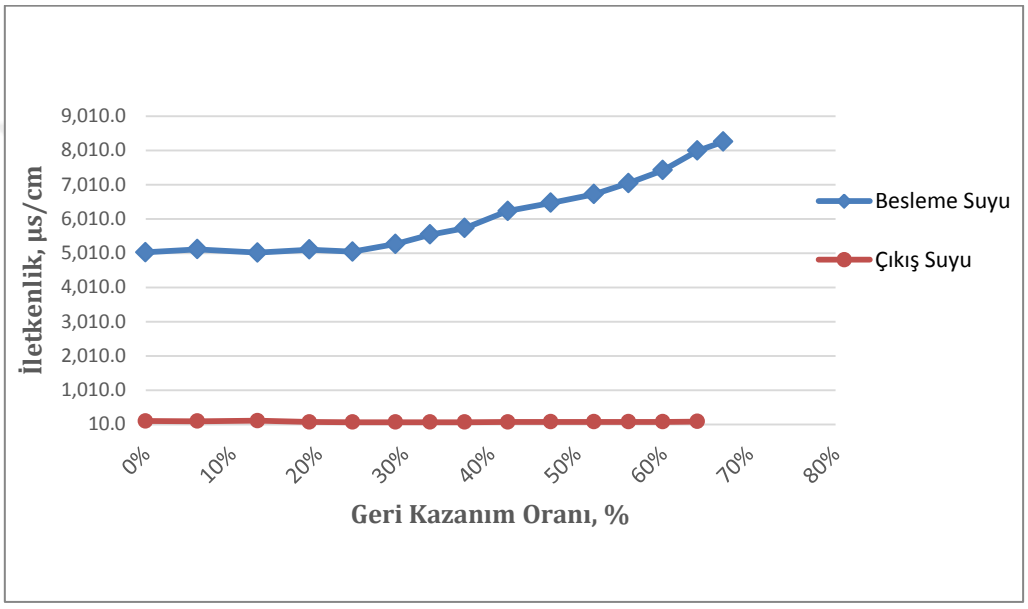
Şekil 8.54. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (18 Temmuz 2018)

Çizelge 8.25.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

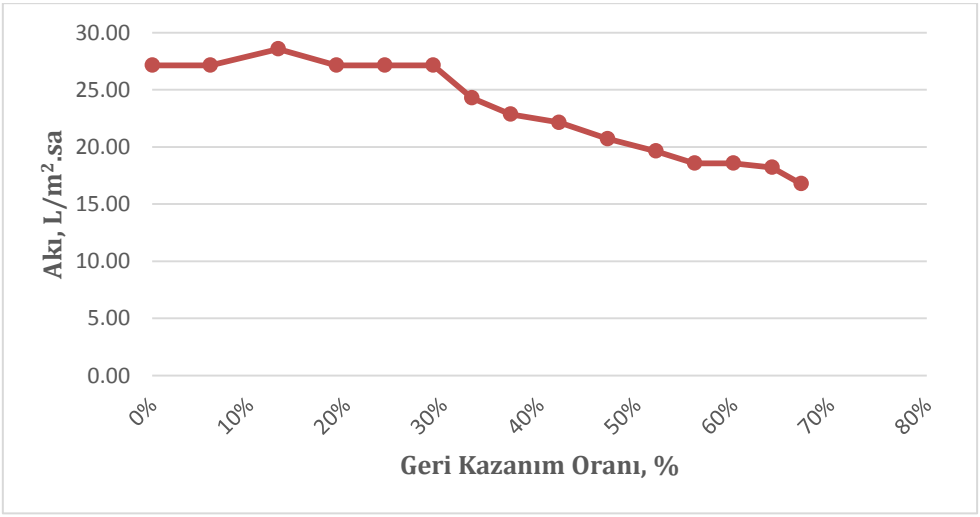
b)	**2. KADEME pH=10.55**						
GERİ KAZANIM ORANI	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI (L/m².sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	610,2	380,0	5.031,4	103,4	30,88	27,14	62,0
6%	605,9	380,0	5.122,2	105,8	31,04	27,14	59,0
13%	606,0	400,0	5.022,2	104,5	31,91	28,57	56,0
19%	600,7	380,0	5.114,9	117,1	33,59	27,14	59,0
24%	589,6	380,0	5.050,4	79,0	47,51	27,14	62,0
29%	587,0	380,0	5.276,8	76,6	49,84	27,14	59,0
33%	587,6	340,0	5.550,4	72,7	53,10	24,29	57,0
37%	578,5	320,0	5.739,3	74,0	56,39	22,86	56,0
42%	581,4	310,0	6.241,1	76,0	59,27	22,14	61,0
47%	570,8	290,0	6.476,3	77,9	60,91	20,71	59,0
52%	571,7	275,0	6.731,4	81,5	59,45	19,64	58,0
56%	584,5	260,0	7.052,1	82,4	58,40	18,57	56,0
60%	583,2	260,0	7.428,9	83,2	59,28	18,57	55,0
64%	573,3	255,0	8.001,9	85,2	61,82	18,21	57,0
67%	579,0	235,0	8.263,7	92,3	58,63	16,79	60,0
70%	571,4	230,0	8.454,6	94,4	59,60	16,43	58,0
73%	576,4	225,0	8.951,5	96,8	61,32	16,07	59,0
76%	579,7	200,0	9.307,4	108,9	54,79	14,29	58,0
80%	574,4	190,0	9.999,5	113,5	56,05	13,57	61,0

Çizelge 8.25.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.908,0	42,0	98,56
As	3,20	0,000	100,00



Şekil 8.55. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (18 Temmuz 2018).

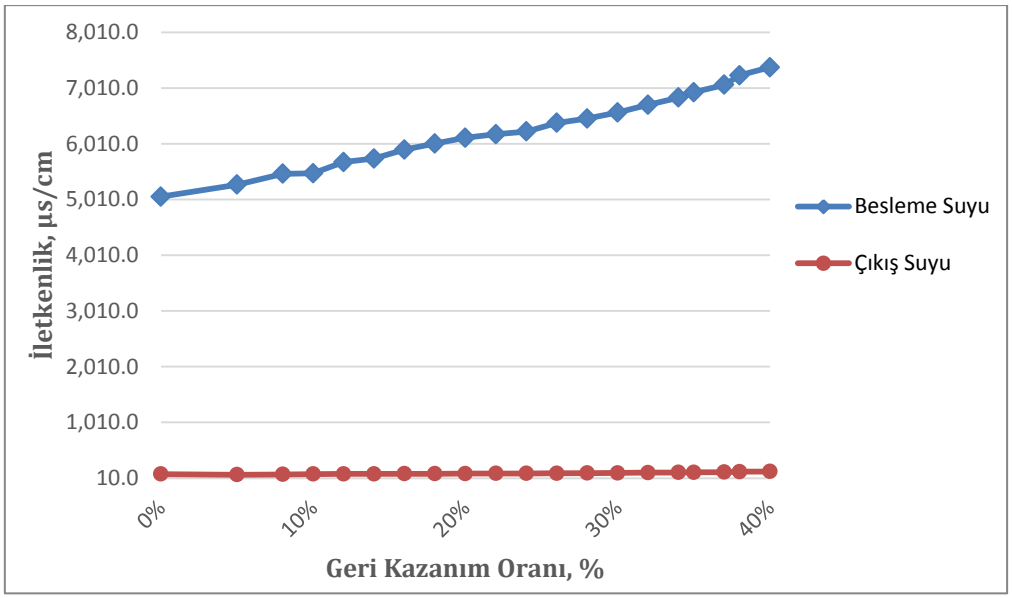


Şekil 8.56. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (18 Temmuz 2018)

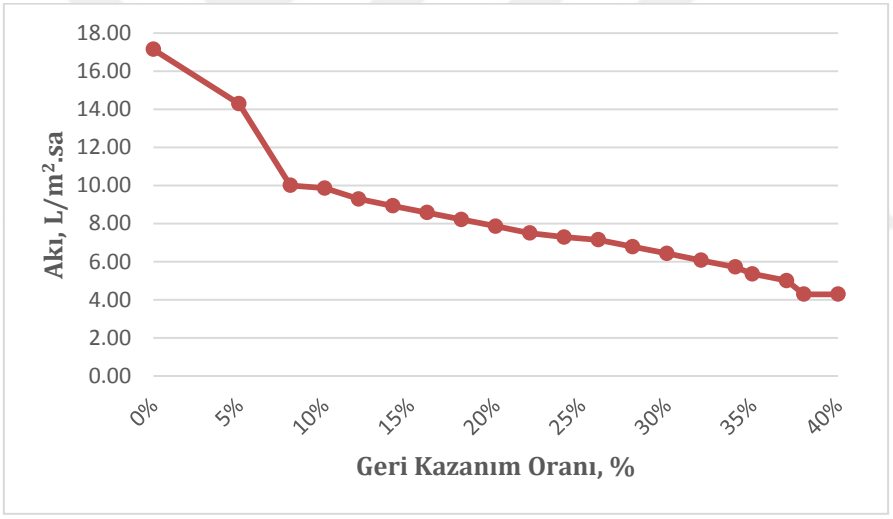
Çizelge 8.26.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

(19.07.2018)

a)			**1. KADEME pH=8.10**				
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,3	240,0	5.061,9	83,0	43,92	17,14	426,0
5%	592,3	200,0	5.275,6	72,4	60,38	14,29	433,0
8%	593,7	140,0	5.470,8	79,1	49,96	10,00	429,0
10%	602,2	138,0	5.480,3	83,2	51,39	9,86	443,0
12%	592,8	130,0	5.682,4	86,6	52,42	9,29	439,0
14%	594,4	125,0	5.744,0	87,5	53,28	8,93	432,0
16%	595,8	120,0	5.906,1	88,6	54,22	8,57	429,0
18%	589,9	115,0	6.013,2	90,2	55,11	8,21	423,0
20%	596,1	110,0	6.117,9	91,3	55,86	7,86	419,0
22%	585,0	105,0	6.180,6	94,4	56,39	7,50	427,0
24%	588,4	102,0	6.229,4	96,1	57,02	7,29	414,0
26%	585,7	100,0	6.385,6	99,1	57,57	7,14	428,0
28%	587,8	95,0	6.460,9	102,1	58,26	6,79	435,0
30%	582,0	90,0	6.570,2	104,6	58,65	6,43	443,0
32%	581,6	85,0	6.708,5	108,0	59,24	6,07	363,0
34%	576,0	80,0	6.837,8	112,3	59,69	5,71	412,0
35%	573,8	75,0	6.933,6	115,0	60,16	5,36	380,0
37%	570,3	70,0	7.069,6	119,2	60,71	5,00	392,0
38%	570,7	60,0	7.237,4	125,7	58,90	4,29	486,0
40%	572,7	60,0	7.380,9	129,9	59,23	4,29	510,0



Şekil 8.57. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (19 Temmuz 2018)



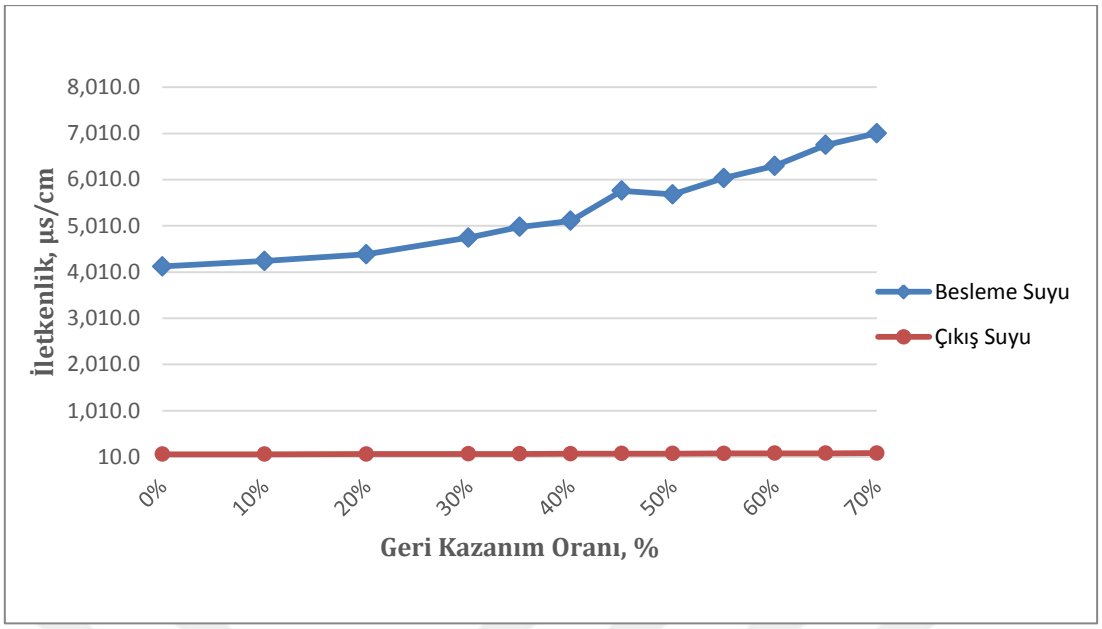
Şekil 8.58. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (19 Temmuz 2018)

Çizelge 8.26.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

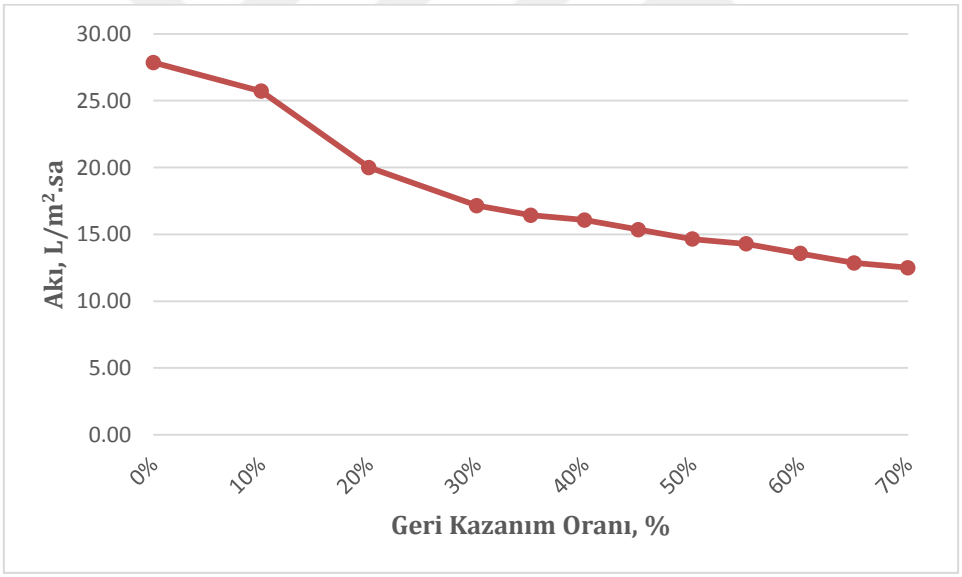
b)	2. KADEME pH=10.47						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	608,8	390,0	4.130,9	67,4	39,14	27,86	73,0
10%	610,2	360,0	4.250,6	68,0	41,58	25,71	76,0
20%	615,9	280,0	4.395,1	72,2	43,26	20,00	72,0
30%	609,1	240,0	4.753,9	74,3	46,84	17,14	72,0
35%	604,9	230,0	4.986,6	75,6	49,01	16,43	66,0
40%	594,0	225,0	5.118,4	78,0	53,63	16,07	64,0
45%	612,7	215,0	5.768,4	80,7	54,62	15,36	51,0
50%	602,2	205,0	5.689,1	81,6	55,69	14,64	50,0
55%	609,5	200,0	6.045,1	84,3	58,88	14,29	53,0
60%	601,5	190,0	6.306,4	87,6	60,87	13,57	62,0
65%	596,9	180,0	6.758,9	90,8	61,55	12,86	49,0
70%	602,4	175,0	7.014,6	93,2	62,33	12,50	54,0

Çizelge 8.26.c. İki Kademeli Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.871,0	44,0	98,47
As	4,00	0,008	99,80



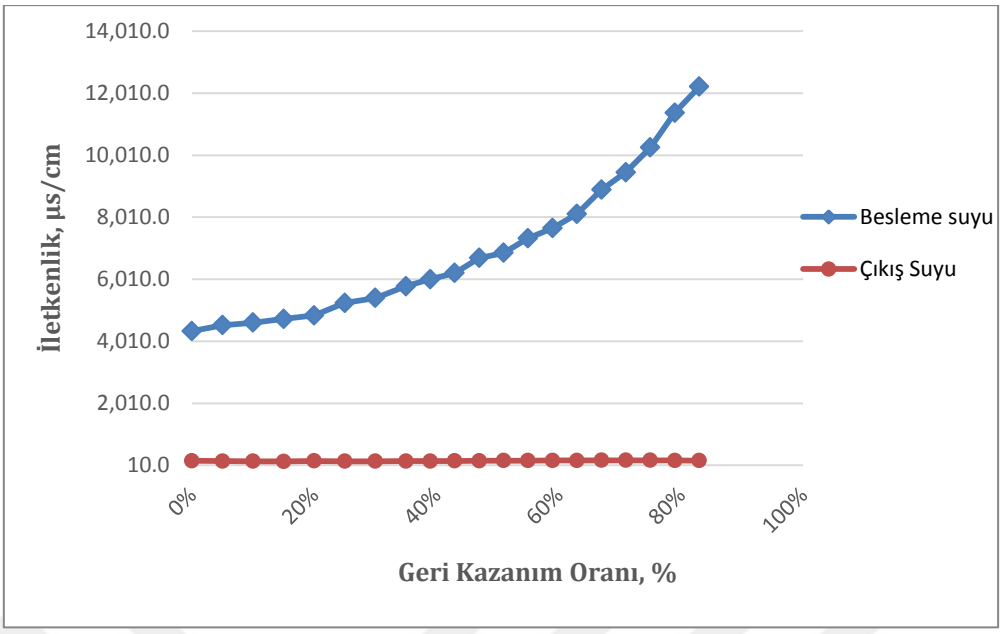
Şekil 8.59. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (19 Temmuz 2018)



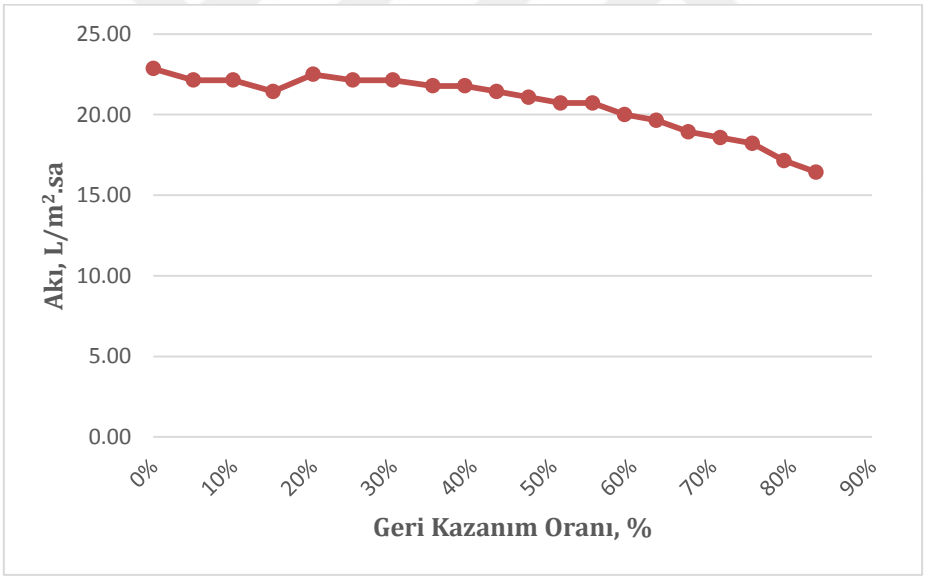
Şekil 8.60. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (19 Temmuz 2018)

Çizelge 8.27.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (20.07.2018)

a)	1. KADEME pH=7.53						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	600,2	320,0	4.336,8	154,5	39,90	22,86	786,0
5%	603,3	310,0	4.529,5	143,3	40,82	22,14	779,0
10%	615,4	310,0	4.610,3	138,4	41,55	22,14	783,0
15%	618,4	300,0	4.729,2	134,9	41,39	21,43	796,0
20%	605,8	315,0	4.842,4	150,6	45,30	22,50	802,0
25%	597,6	310,0	5.243,4	142,8	46,18	22,14	797,0
30%	612,5	310,0	5.404,2	142,9	47,08	22,14	812,0
35%	602,8	305,0	5.784,3	145,7	47,64	21,79	810,0
39%	592,6	305,0	6.007,6	147,4	48,54	21,79	799,0
43%	599,8	300,0	6.212,5	151,1	49,48	21,43	803,0
47%	604,5	295,0	6.693,7	155,4	50,73	21,07	809,0
51%	599,4	290,0	6.858,5	159,0	51,63	20,71	794,0
55%	591,7	290,0	7.330,4	161,5	52,62	20,71	813,0
59%	601,2	280,0	7.654,2	164,1	53,79	20,00	829,0
63%	591,4	275,0	8.117,6	168,8	55,47	19,64	823,0
67%	591,8	265,0	8.896,5	170,4	56,78	18,93	831,0
71%	588,2	260,0	9.455,7	171,4	58,76	18,57	837,0
75%	586,8	255,0	10.257,7	169,1	60,93	18,21	853,0
79%	584,2	240,0	11.375,0	164,8	60,35	17,14	882,0
83%	587,5	230,0	12.216,1	160,2	62,84	16,43	873,0



Şekil 8.61. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (20 Temmuz 2018).

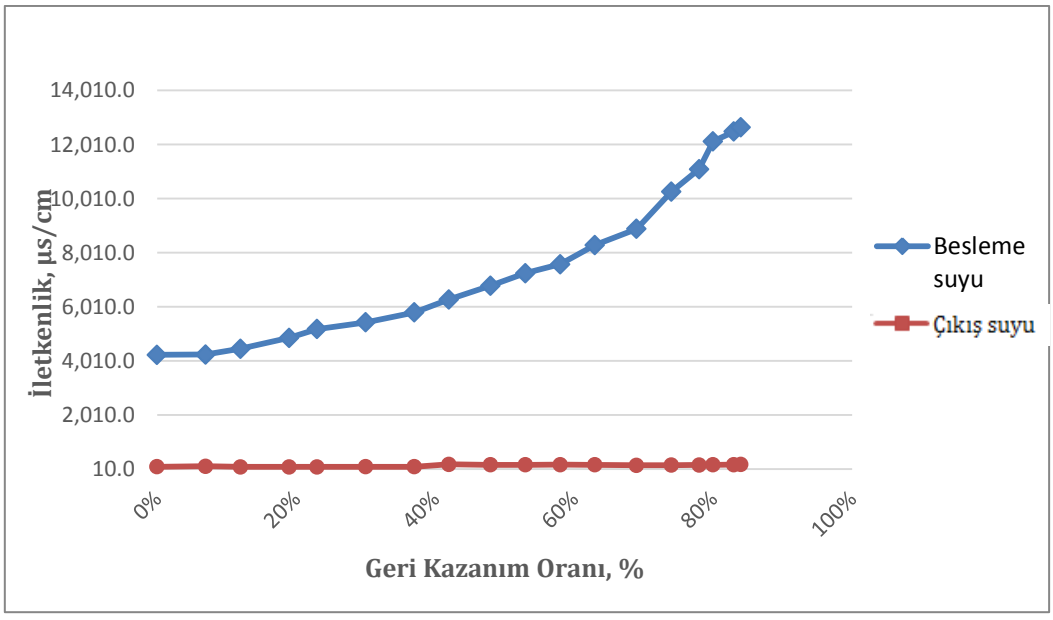


Şekil 8.62. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (20 Temmuz 2018)

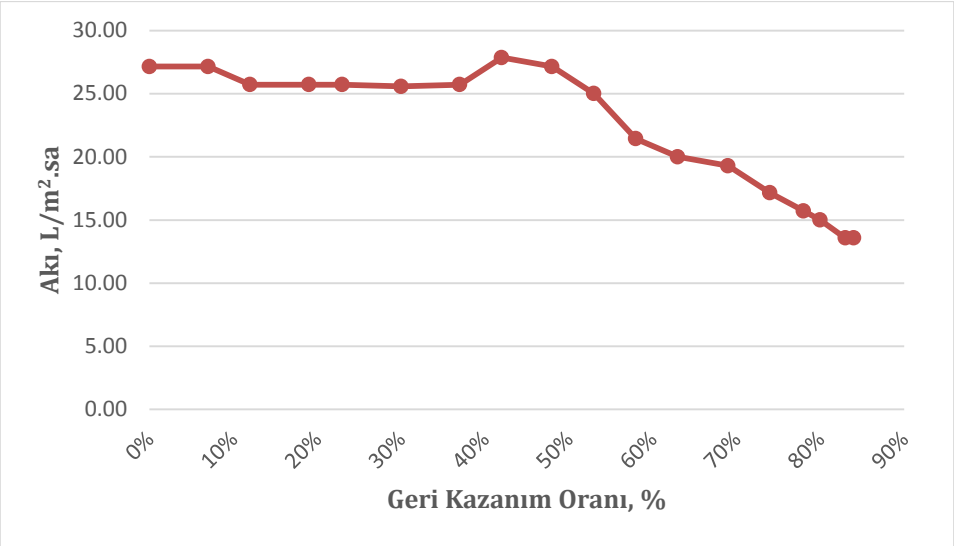
Çizelge 8.27.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

b) **2. KADEME pH=10.46**

Geri Kazanım Oranı	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI (L/m^2.sa)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	612,5	380,0	4.233,5	93,8	25,15	27,14	63,0
7%	614,2	380,0	4.245,4	114,7	31,29	27,14	55,0
12%	637,8	360,0	4.453,2	86,9	32,75	25,71	66,0
19%	627,1	360,0	4.858,7	88,5	33,85	25,71	54,0
23%	615,2	360,0	5.185,5	90,0	35,00	25,71	62,0
30%	624,2	358,0	5.433,8	92,7	36,48	25,57	64,0
37%	642,3	360,0	5.800,6	94,2	38,54	25,71	59,0
42%	627,3	390,0	6.277,8	185,3	40,98	27,86	44,0
48%	604,9	380,0	6.787,2	167,5	45,46	27,14	49,0
53%	605,4	350,0	7.250,2	166,6	52,06	25,00	38,0
58%	610,5	300,0	7.579,9	171,6	58,53	21,43	47,0
63%	626,2	280,0	8.290,7	166,2	58,18	20,00	36,0
69%	634,5	270,0	8.888,5	145,0	61,38	19,29	28,0
74%	651,9	240,0	10.258,6	155,3	59,45	17,14	34,0
78%	623,8	220,0	11.097,2	157,0	58,59	15,71	42,0
80%	614,7	210,0	12.125,6	165,3	60,59	15,00	24,0
83%	619,9	190,0	12.487,0	170,8	60,05	13,57	39,0
84%	629,6	190,0	12.641,6	175,5	60,51	13,57	36,0



Şekil 8.63. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (20 Temmuz 2018)



Şekil 8.64. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (20 Temmuz 2018)

İletkenlik-Geri Kazanım Oranı grafikleri incelendiğinde besleme suyundaki iletkenliğin artmasına paralel olarak geri kazanım oranınında kayda değer bir artış olduğu görülmektedir.Akı-Geri Kazanım Oranı grafikleri incelendiğinde ise geri kazanım oranı arttığında akı değerinde azalma olduğu görülmektedir.

8.5. Kireç İlavesiz Atık Suda İki Kademeli Kuyu Suyu RO / Deniz Suyu RO Membranı Uygulaması

Kireç ilave edilmemiş göletten alınan 1 ton ham atık su, Pilot ölçekli membrane tesisinde bulunan Ultrafiltrasyon membranına beslenmiştir. Buradan elde edilen ürün suyunun pH değeri kontrol edilerek, NaOH ilavesi ile ilk kademe ters osmos membranında pH değeri 7.0, 7.5 ve 8.0 olacak şekilde ayarlanmış ve 1. Kademede bulunan Kuyu suyu RO membranından geçirilmiştir. 1. Kademe filtrasyondan elde edilen ürün suyunun pH'ı NaOH ilavesi ile 10.5 değerine getirildikten sonra, Deniz Suyu RO membranlı 2. Kademe filtrasyon sistemine beslenmiştir. 2. Kademe deniz suyu RO membranından geçirildikten sonra elde edilen ürün suyunda yapılan analizler değerlendirildiğinde, %97-98 oranında bor giderimi, %99-100 oranında ise arsenik giderimi elde edildiği görülmüştür.

Pilot tesiste yapılan analizlerin sonuçları ve belirli günlerde yapılan deneylere ait kireç ilavesiz suda Deniz suyu RO membranı iki kademeli olarak ilerleyen proseste elde edilen farklı geri kazanım oranlarındaki Bor miktarları Çizelge 8.10 ve Çizelge 8.11'de verilmiştir. Bu kombinasyonda gün gün yapılan deneylere ait iletkenlik-akı-giderim verimlerine ait sonuçlar aşağıda ilgili çizelge ve şekillerde görülmektedir (Çizelge 8.28-32 ve Şekil 8.65-76).

Çizelge 8.28. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları

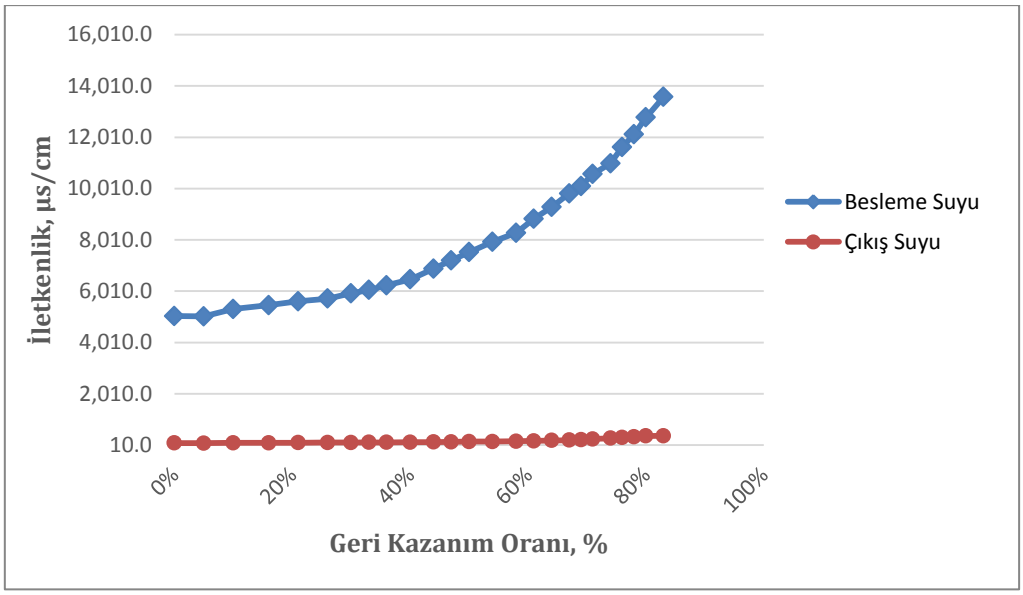
TARİH	PİLOT TESİS GİRİŞ SUYU				PİLOT TESİS UF ÜRÜN SUYU				PİLOT TESİS RO ÜRÜN SUYU				GİDERİM VERİMİ	
	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (%)	As (%)
23.07.2018	2.812,00	3,700	7,072	4.630,00	2.759,00	4,000	7,077	4.630,00	1.894,00 63,00	0,088 0,008	7,099 10,652	424,00 546,00	97,76	99,78
24.07.2018	2.780,00	8,000	7,073	4.620,00	2.883,00	8,000	7,067	4.620,00	1.885,00 67,00	0,200 0,004	8,669 10,560	3.150,00 583,00	97,59	99,95
25.07.2018	2.503,00	7,200	7,105	4.370,00	2.530,00	5,200	7,124	4.380,00	1.342,00 56,00	0,120 0,004	8,594 10,994	2.290,00 610,00	97,76	99,94

Çizelge 8.29. Kireç İlavesiz Suda İki Kademeli Kuyu Suyu/Deniz Suyu RO Membranı İle Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları

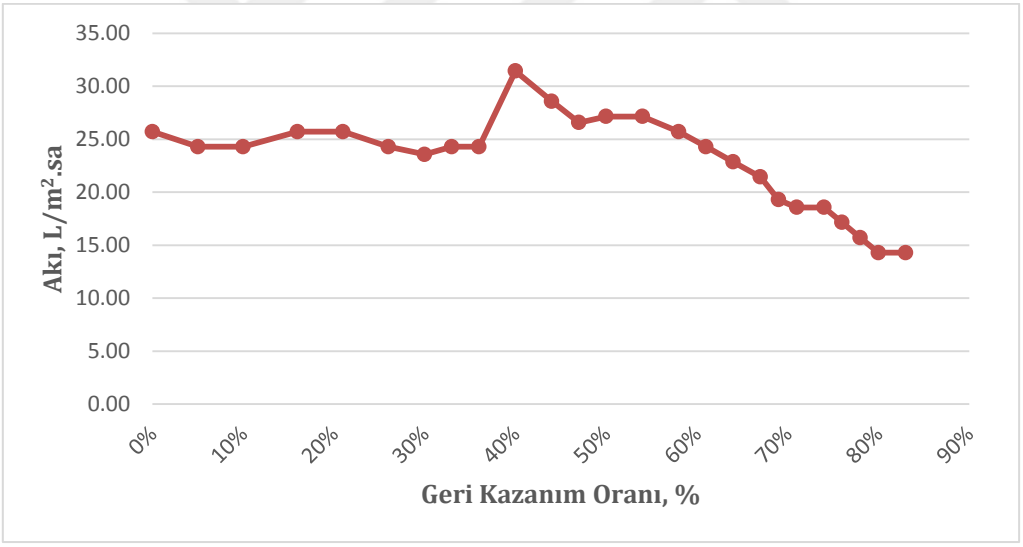
TARİH	UF GİRİŞ	UF ÇIKIŞ	1. KADEME RO ÇIKIŞ (40%)	1. KADEME RO ÇIKIŞ (45%)	1. KADEME RO ÇIKIŞ (50%)	1. KADEME RO ÇIKIŞ (60%)	1. KADEME RO ÇIKIŞ (70%)	1. KADEME RO ÇIKIŞ (80%)	2. KADEME RO ÇIKIŞ (50%)	2. KADEME RO ÇIKIŞ (60%)	2. KADEME RO ÇIKIŞ (70%)	2. KADEME RO ÇIKIŞ (80%)	RO KONSANTRE (1. KADEME)	RO KONSANTRE (2. KADEME)
	(ppm)	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*
23.07.2018	3.175,0	3.183,0	1836,0	1842,0	1.850,0	1.911,0	1.953,0	2.061,0	64,6	66,0	74,8	82,4	6.568,0	10.870,0
24.07.2018	3.229,0	3.262,0	1986,0	2010,3	2.117,0	1.881,0	2.020,0	1.845,0	108,7	89,0	100,8	126,0	5.628,0	7.904,0
25.07.2018	2.869,0	2.940,0	1.460,0	1.427,0	1.421,0	1412,0	1436,0	1459,0	82,5	76,4	76,7	76,5	4.523,0	7.358,0

Çizelge 8.30.a. 1. Kademe Kuyu SuyuRO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (23.07.2018)

a)	1. KADEME pH=7.03						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	330,0	180,0	5.039,1	88,6	10,00	25,71	1.793,0
5%	320,0	170,0	5.023,3	84,7	10,35	24,29	1.786,0
10%	320,0	170,0	5.314,9	94,7	10,25	24,29	1.796,0
16%	320,0	180,0	5.461,5	96,2	10,23	25,71	1.803,0
21%	320,0	180,0	5.613,2	102,5	10,24	25,71	1.791,0
26%	310,0	170,0	5.720,4	110,0	10,21	24,29	1.806,0
30%	305,0	165,0	5.925,6	110,1	10,29	23,57	1.812,0
33%	320,0	170,0	6.057,3	117,3	10,46	24,29	1.826,0
36%	320,0	170,0	6.234,3	118,2	10,43	24,29	1.843,0
40%	340,0	220,0	6.463,8	122,1	14,84	31,43	1.826,0
44%	300,0	200,0	6.882,3	126,3	14,94	28,57	1.862,0
47%	286,0	186,0	7.212,3	133,3	14,97	26,57	1.846,0
50%	310,0	190,0	7.530,5	144,7	14,98	27,14	1.850,0
54%	290,0	190,0	7.930,6	149,6	15,02	27,14	1.876,0
58%	280,0	180,0	8.283,9	158,7	15,26	25,71	1.871,0
61%	295,0	170,0	8.833,0	173,4	15,17	24,29	1.911,0
64%	280,0	160,0	9.285,6	190,3	15,33	22,86	1.896,0
67%	260,0	150,0	9.815,4	202,1	15,41	21,43	1.923,0
69%	255,0	135,0	10.102,6	215,6	15,32	19,29	1.943,0
71%	220,0	130,0	10.570,1	244,6	15,33	18,57	1.953,0
74%	260,0	130,0	10.988,3	275,2	15,83	18,57	1.967,0
76%	250,0	120,0	11.628,1	306,7	15,94	17,14	1.979,0
78%	210,0	110,0	12.123,3	326,5	16,04	15,71	1.993,0
80%	200,0	100,0	12.778,3	367,4	16,02	14,29	2.061,0
83%	200,0	100,0	13.576,6	370,2	15,51	14,29	2.043,0



Şekil 8.65. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (23 Temmuz 2018)



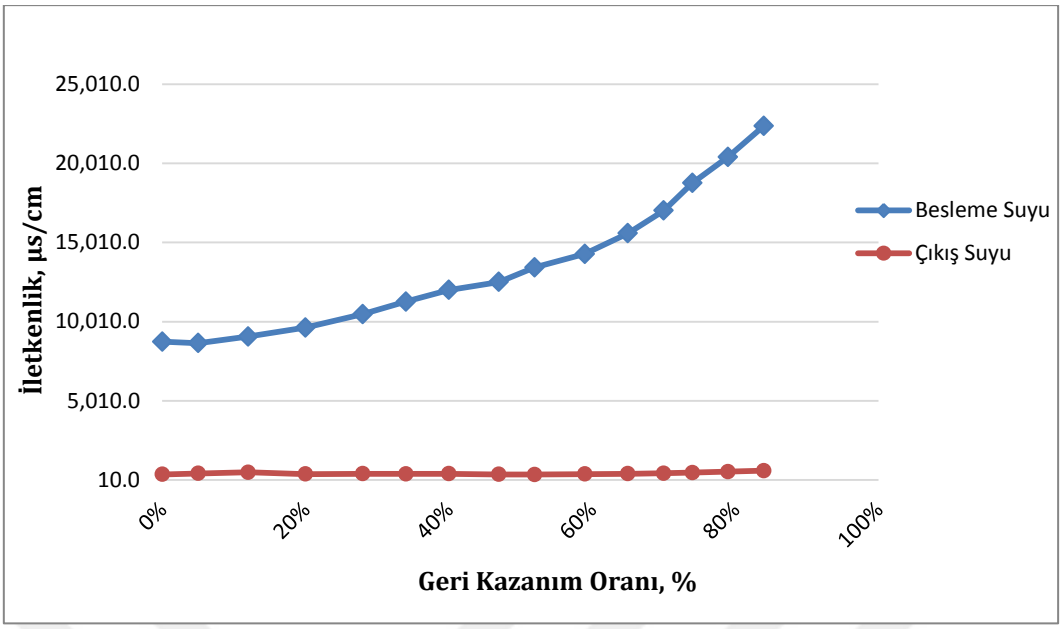
Şekil 8.66. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (23 Temmuz 2018)

Çizelge 8.30.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

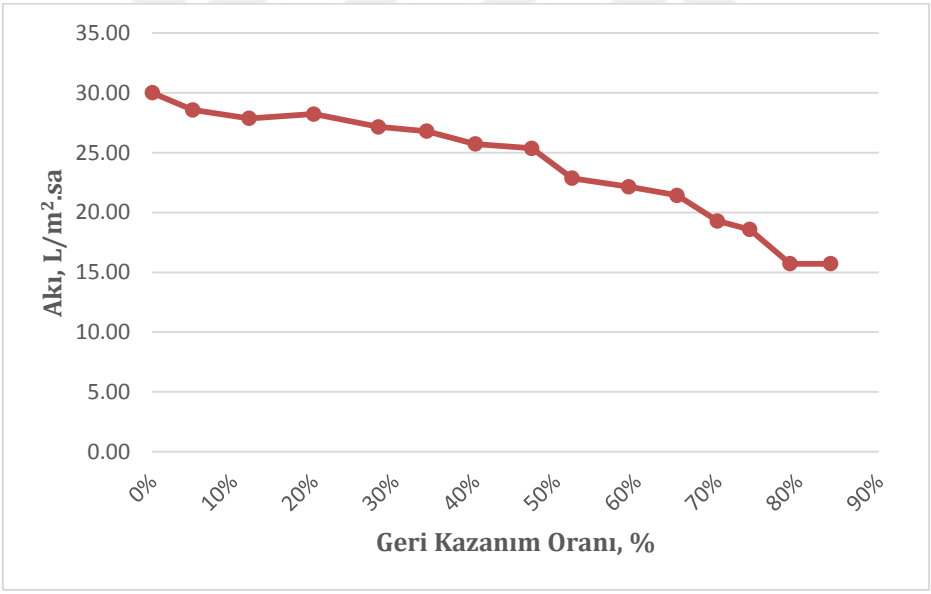
b)	2. KADEME pH=10.70						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	614,7	420,0	8.741,7	356,1	42,27	30,00	69,0
5%	612,8	400,0	8.648,7	415,2	47,20	28,57	72,0
12%	610,6	390,0	9.066,0	492,0	49,80	27,86	69,0
20%	612,2	395,0	9.633,5	374,8	51,69	28,21	70,0
28%	619,0	380,0	10.486,2	394,4	53,35	27,14	67,0
34%	624,4	375,0	11.274,4	390,3	54,88	26,79	66,0
40%	627,5	360,0	12.009,4	399,2	57,43	25,71	70,0
47%	606,6	355,0	12.515,5	356,2	60,33	25,36	71,0
52%	603,6	320,0	13.437,9	347,8	56,76	22,86	64,6
59%	589,6	310,0	14.288,5	374,1	59,08	22,14	66,0
65%	617,5	300,0	15.593,3	395,4	61,72	21,43	68,0
70%	619,3	270,0	17.026,4	429,6	58,88	19,29	75,0
74%	614,3	260,0	18.766,2	463,4	62,12	18,57	76,0
79%	611,0	220,0	20.416,3	532,9	59,92	15,71	82,0
84%	620,8	220,0	22.380,4	589,5	62,98	15,71	79,0

Çizelge 8.30.c. İki Kademeli Kuyu Suyu/Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.812,0	63,0	97,76
As	3,70	0,008	99,78



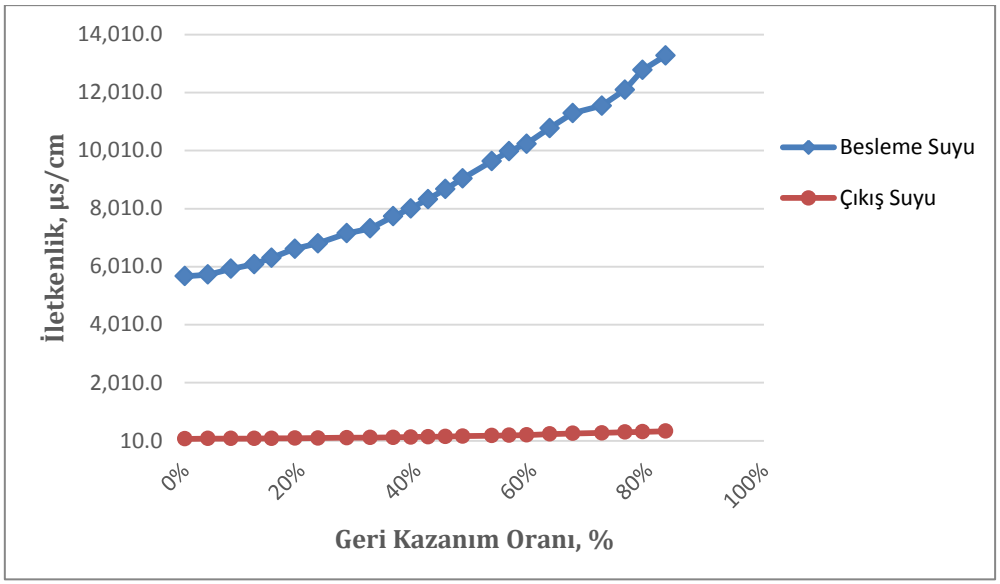
Şekil 8.67. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (23 Temmuz 2018)



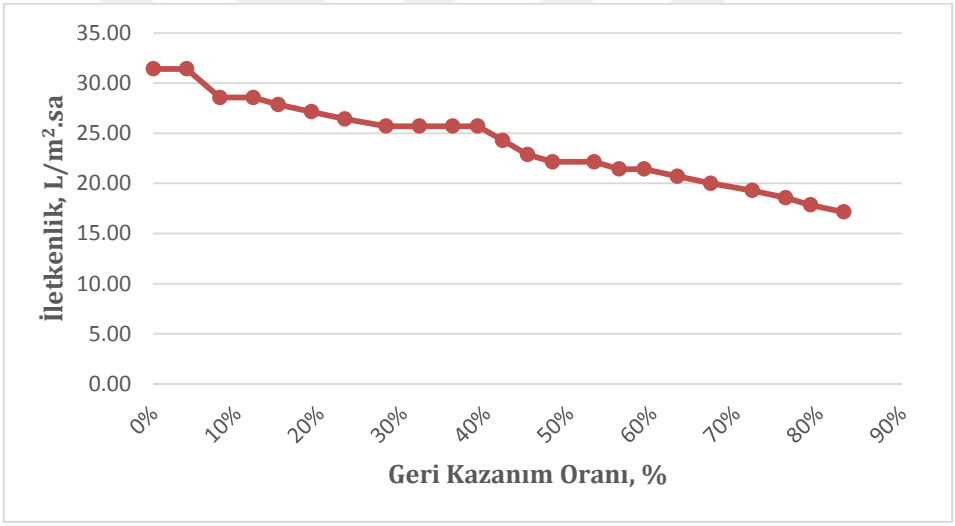
Şekil 8.68. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği

Çizelge 8.31.a. 1. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (24.07.2018)

a)	1. KADEME pH=7.45 KUYU SUYU RO						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	400,0	220,0	5.678,3	73,1	14,00	31,43	1.923,0
4%	400,0	220,0	5.733,5	86,4	14,73	31,43	1.893,0
8%	360,0	200,0	5.935,6	86,5	14,46	28,57	1.926,0
12%	380,0	200,0	6.094,5	87,6	14,62	28,57	1.877,0
15%	375,0	195,0	6.313,1	93,1	14,56	27,86	1.966,0
19%	370,0	190,0	6.622,3	98,9	14,52	27,14	1.954,0
23%	365,0	185,0	6.809,1	104,2	14,69	26,43	2.053,0
28%	355,0	180,0	7.158,0	113,5	14,59	25,71	2.019,0
32%	350,0	180,0	7.326,4	117,6	14,74	25,71	2.008,0
36%	360,0	180,0	7.741,4	126,0	14,79	25,71	1.995,0
39%	365,0	180,0	8.014,4	138,3	14,77	25,71	2.042,0
42%	350,0	170,0	8.335,0	146,2	14,74	24,29	2.010,0
45%	340,0	160,0	8.680,4	154,6	14,80	22,86	1.998,0
48%	335,0	155,0	9.048,5	166,4	14,87	22,14	2.117,0
53%	335,0	155,0	9.641,9	183,1	14,80	22,14	2.085,0
56%	350,0	150,0	9.989,6	194,7	14,85	21,43	1.963,0
59%	350,0	150,0	10.240,1	209,2	15,03	21,43	1.881,0
63%	345,0	145,0	10.781,8	242,1	14,97	20,71	1.982,0
67%	350,0	140,0	11.301,1	264,5	15,05	20,00	1.996,0
72%	335,0	135,0	11.555,2	278,0	15,12	19,29	2.020,0
76%	335,0	130,0	12.107,5	305,7	15,09	18,57	1.893,0
79%	340,0	125,0	12.784,1	320,2	15,08	17,86	1.845,0
83%	330,0	120,0	13.284,4	340,1	15,16	17,14	1.876,0



Şekil 8.69. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (24 Temmuz 2018)



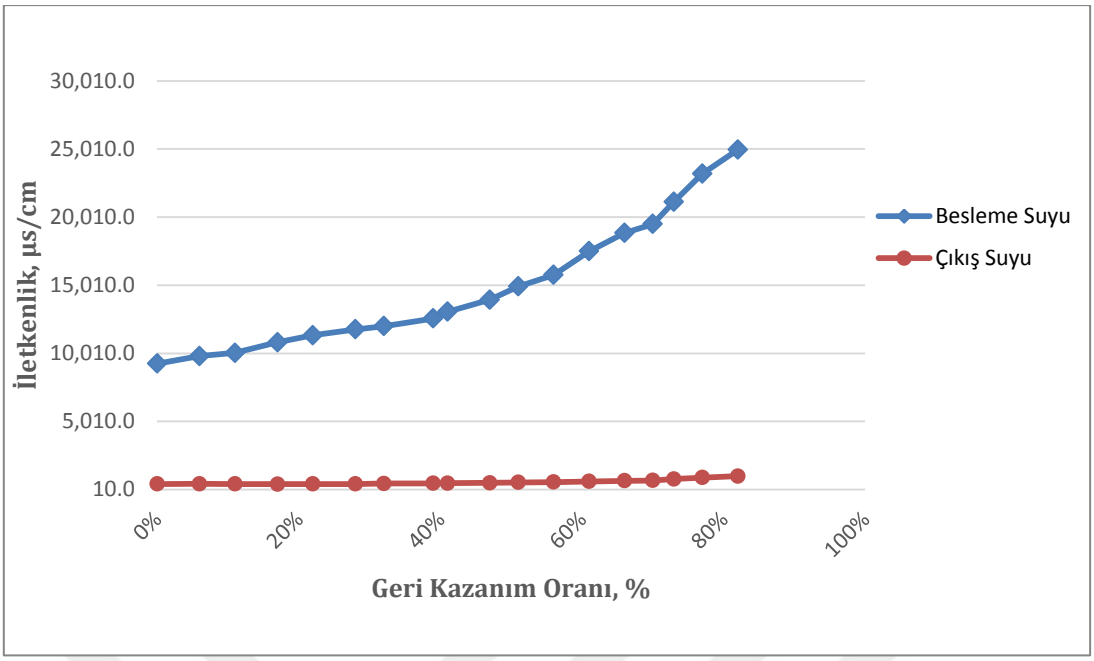
Şekil 8.70. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (24 Temmuz 2018)

Çizelge 8.31.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

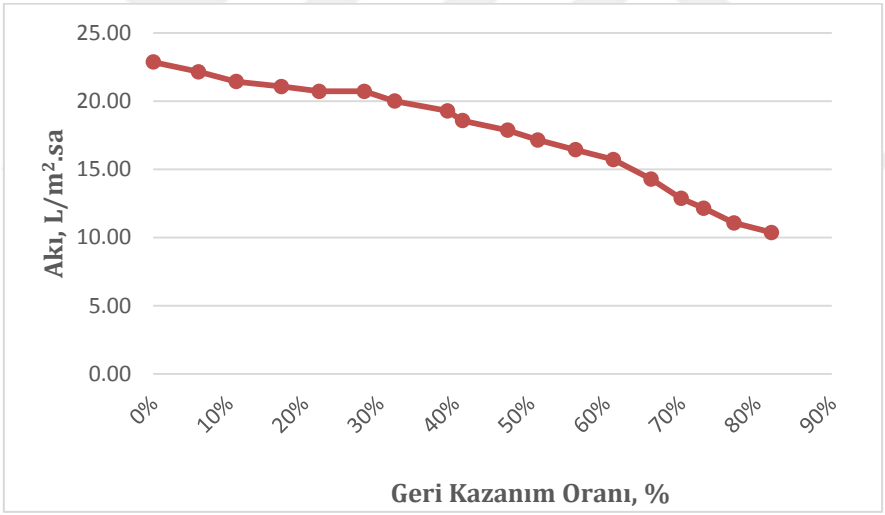
b)	2. KADEME pH=10.61 DENİZ SUYU RO						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI (L/m^2.sa)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	618,6	320,0	9.254,4	420,3	47,52	22,86	105,0
6%	612,8	310,0	9.813,6	435,8	48,58	22,14	103,0
11%	613,3	300,0	10.049,4	416,3	47,94	21,43	99,0
17%	621,5	295,0	10.817,9	414,4	49,38	21,07	101,0
22%	600,9	290,0	11.342,2	418,4	51,29	20,71	109,0
28%	619,2	290,0	11.774,1	425,5	52,04	20,71	98,0
32%	601,2	280,0	12.006,8	460,4	54,35	20,00	96,0
39%	603,3	270,0	12.575,1	468,7	56,60	19,29	101,0
41%	615,0	260,0	13.066,0	483,5	58,20	18,57	103,0
47%	602,6	250,0	13.941,3	501,0	59,79	17,86	105,0
51%	596,0	240,0	14.921,5	535,7	59,83	17,14	109,0
56%	594,5	230,0	15.764,5	559,1	61,78	16,43	106,0
61%	597,8	220,0	17.501,2	603,9	59,39	15,71	89,0
66%	592,1	200,0	18.843,1	655,3	61,64	14,29	93,0
70%	598,0	180,0	19.501,0	681,3	57,80	12,86	101,0
73%	594,6	170,0	21.140,6	787,0	61,09	12,14	110,0
77%	600,0	155,0	23.188,5	886,8	60,65	11,07	114,0
82%	594,1	145,0	24.954,3	999,4	62,21	10,36	126,0

Çizelge 8.31.c. İki Kademeli Kuyu Suyu / Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.780,0	67,0	97,59
As	8,00	0,004	99,95



Şekil 8.71. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (24 Temmuz 2018)

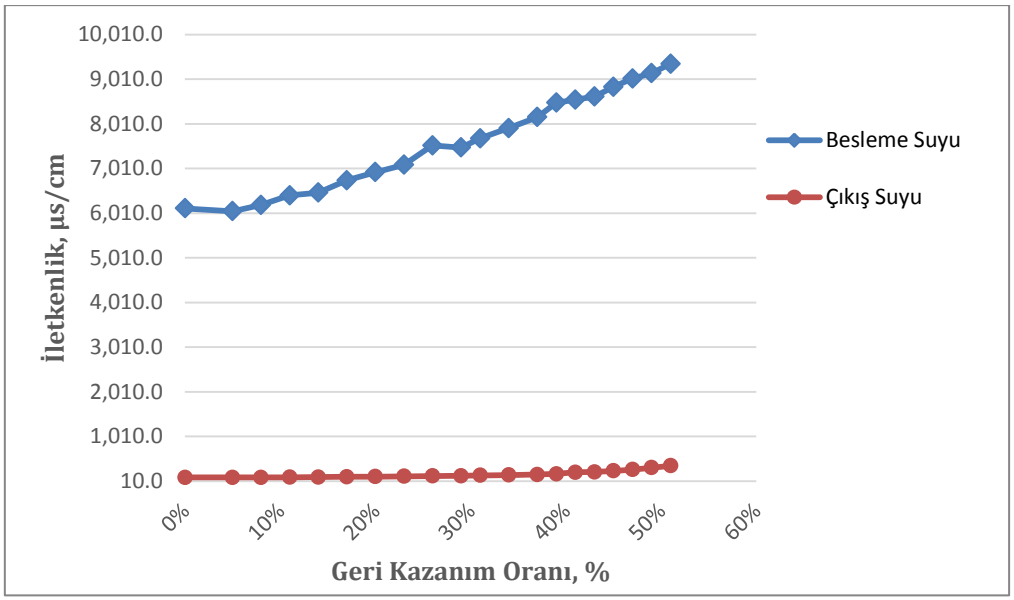


Şekil 8.72. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (24 Temmuz 2018)

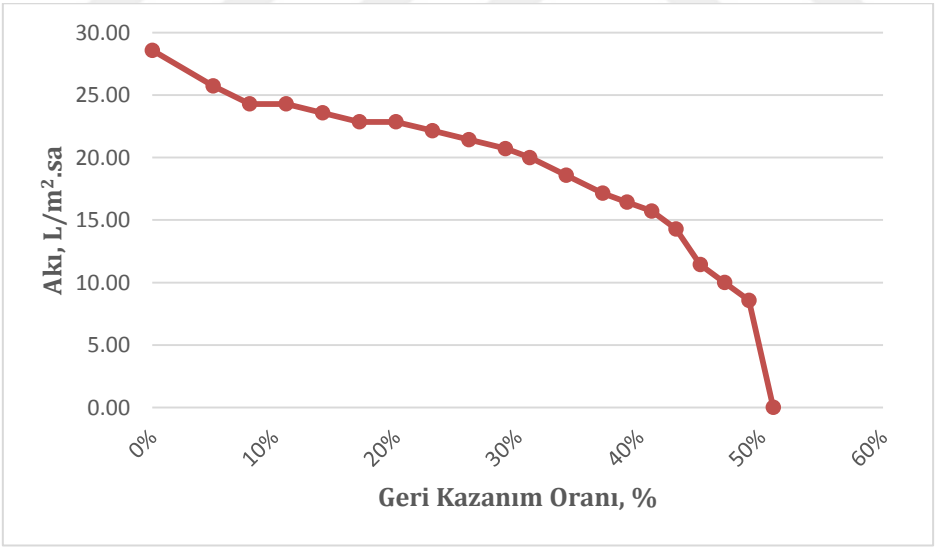
Çizelge 8.32.a. 1. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (25.07.2018)

a) **1. KADEME pH=7.96 KUYU RO**

Geri Kazanım Oranı	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI ($L/m^2.sa$)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	380,0	200,0	6.118,7	94,6	15,00	28,57	1.386,0
5%	360,0	180,0	6.055,8	92,9	14,97	25,71	1.326,0
8%	350,0	170,0	6.192,4	94,2	14,99	24,29	1.377,0
11%	350,0	170,0	6.410,3	97,8	14,96	24,29	1.359,0
14%	345,0	165,0	6.469,6	102,1	15,00	23,57	1.402,0
17%	350,0	160,0	6.746,5	107,0	15,02	22,86	1.389,0
20%	340,0	160,0	6.929,9	111,8	15,03	22,86	1.395,0
23%	335,0	155,0	7.095,2	120,2	14,98	22,14	1.379,0
26%	330,0	150,0	7.528,3	127,9	14,99	21,43	1.423,0
29%	325,0	145,0	7.479,2	131,5	15,08	20,71	1.440,0
31%	330,0	140,0	7.686,0	140,2	15,08	20,00	1.418,0
34%	320,0	130,0	7.915,2	147,6	15,13	18,57	1.429,0
37%	300,0	120,0	8.162,6	159,1	15,19	17,14	1.417,0
39%	305,0	115,0	8.484,8	173,6	15,25	16,43	1.452,0
41%	290,0	110,0	8.553,2	206,8	15,31	15,71	1.460,0
43%	280,0	100,0	8.621,0	217,1	15,34	14,29	1.433,0
45%	260,0	80,0	8.837,4	239,4	15,42	11,43	1.427,0
47%	250,0	70,0	9.024,6	268,9	15,45	10,00	1.412,0
49%	250,0	60,0	9.143,5	313,9	15,47	8,57	1.421,0
51%	<250	<60	9.355,0	355,1	15,49	-	1.418,0



Şekil 8.73. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (25 Temmuz 2018)



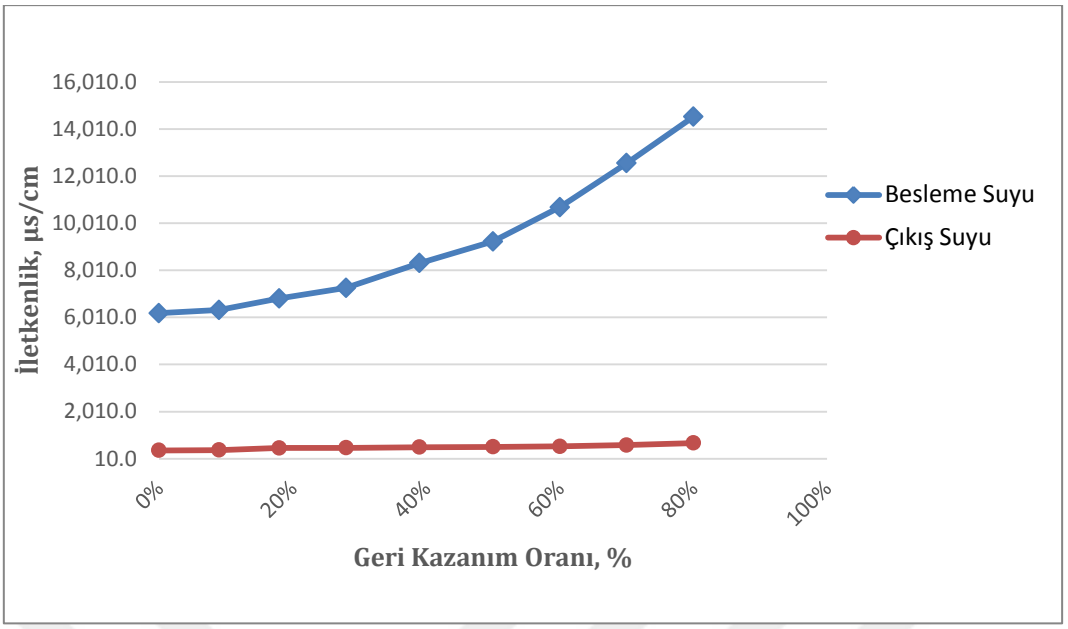
Şekil 8.74. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (25 Temmuz 2018)

Çizelge 8.32.b. 2. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

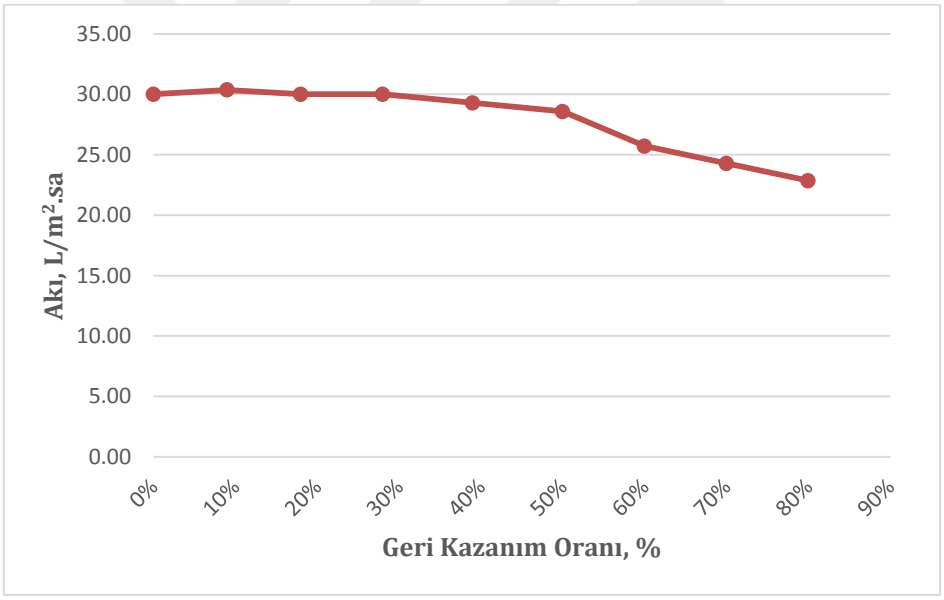
b)	2. KADEME pH=10.65 DENİZ RO						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	610,1	420,0	6.185,6	360,8	42,15	30,00	79,0
9%	616,1	425,0	6.323,5	372,5	45,70	30,36	81,0
18%	614,9	420,0	6.812,9	465,0	51,86	30,00	78,0
28%	606,1	420,0	7.260,0	473,2	54,48	30,00	79,0
39%	602,2	410,0	8.312,9	498,2	58,65	29,29	81,0
50%	610,0	400,0	9.231,4	512,8	61,21	28,57	83,0
60%	613,9	360,0	10.684,2	533,1	57,43	25,71	77,0
70%	612,8	340,0	12.558,2	585,9	61,78	24,29	77,0
80%	613,7	320,0	14.526,7	677,5	60,92	22,86	78,0

Çizelge 8.32.c. İki Kademeli Kuyu Suyu / Deniz Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2503,0	56,0	97,76
As	7,20	0,004	99,94



Şekil 8.75. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (25 Temmuz 2018)



Şekil 8.76. 2. Kademe Akı- Geri Kazanım Oranı Grafiği (25 Temmuz 2018)

İletkenlik-Geri Kazanım Oranı grafikleri incelendiğinde besleme suyundaki iletkenliğin artmasına paralel olarak geri kazanım oranınında ciddi bir artış olduğu görülmektedir. Akı-Geri Kazanım Oranı grafikleri incelendiğinde ise geri kazanım oranı arttığında akı değerinde ise önemli düzeyde azalma olduğu görülmektedir.

8.6. Kireç İlavesiz Atık Suda İki Kademeli Deniz Suyu RO / Kuyu Suyu RO Membranı Uygulaması

Kireç ilave edilmemiş göletten alınan 1 ton ham atık su, UF membranından geçirildikten sonra NaOH ilavesi ile ilk kademe pH değeri 7.0, 7.5 ve 8.0 değerlerine ayarlanmış ve Deniz suyu RO membranından geçirilmiştir. 1. Kademe ürün suyunun pH'ı 10.5 değerine getirildikten sonra Kuyu suyu RO membranı ile 2. Kademe arıtım yapılmıştır. Çalışma sonucunda %92-96 oranında bor giderimi, %98-100 oranında ise arsenik giderimi elde edilmiştir. Pilot tesiste yapılan analizlerin sonuçları ve belirli günlerde yapılan deneylere ait kireç ilavesiz suda Deniz suyu / Kuyu suyu RO membranı iki kademeli olarak ilerleyen proseste elde edilen farklı geri kazanım oranlarındaki Bor miktarları Çizelge 8.33 ve Çizelge 8.34'te verilmiştir. Gün gün yapılan deneylere ait iletkenlik-akı-giderim verimlerine ait sonuçlar aşağıda ilgili çizelge ve şekillerde görülmektedir (Çizelge 8.35-37 ve Şekil 8.77-88).

Çizelge 8.33. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları

TARİH	PİLOT TESİS GİRİŞ SUYU				PİLOT TESİS UF ÜRÜN SUYU				PİLOT TESİS RO ÜRÜN SUYU				GİDERİM VERİMİ	
	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (%)	As (%)
26.07.2018	2.865,00	8,000	7,042	4.490,00	2.823,00	5,200	7,060	4.470,00	841,00 206,00	0,052 0,160	7,288 8,290	320,00 471,00	92,81	98,00
27.07.2018	2.466,00	4,000	7,062	4.520,00	2.668,00	4,800	7,067	4.510,00	628,00 87,00	0,080 0,008	8,031 9,047	926,00 242,00	96,47	99,80
30.07.2018	2.801,00	7,200	7,100	4.830,00	2.812,00	6,000	7,084	4.810,00	692,00 188,00	0,064 0,016	8,168 8,601	694,00 317,00	93,29	99,78

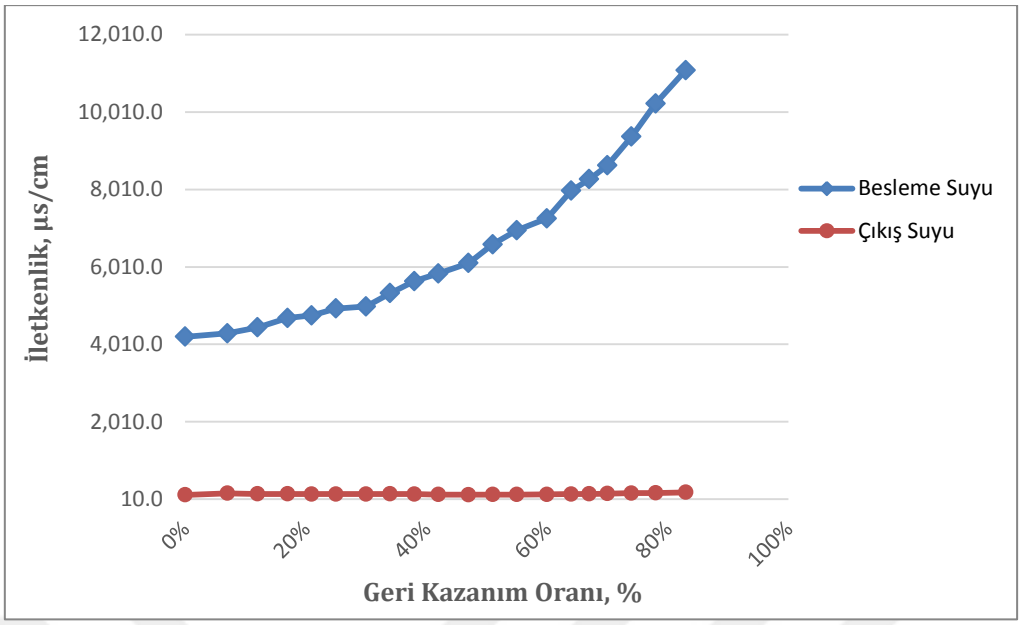
Çizelge 8.34. Kireç İlavesiz Suda İki Kademeli Deniz Suyu /Kuyu Suyu RO Membranı İle Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları

TARİH	UF GİRİŞ	UF ÇIKIŞ	1. KADEME RO ÇIKIŞ (50%)	1. KADEME RO ÇIKIŞ (60%)	1. KADEME RO ÇIKIŞ (70%)	1. KADEME RO ÇIKIŞ (80%)	2. KADEME RO ÇIKIŞ (50%)	2. KADEME RO ÇIKIŞ (60%)	2. KADEME RO ÇIKIŞ (70%)	2. KADEME RO ÇIKIŞ (80%)	RO KONSANTRE (1. KADEME)	RO KONSANTRE (2. KADEME)
	(ppm)	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*
26.07.2018	3.046,0	3.185,0	764,0	770,3	809,9	859,6	236,6	217,6	227,8	229,6	14.070,0	3.269,0
27.07.2018	3.072,0	3.222,0	683,3	676,3	700,4	697,2	106,6	1.418,0	95,9	8,3	14.140,0	2.868,0
30.07.2018	3.155,0	3.217,0	709,9	673,1	723,9	753,7	197,4	199,2	218,1	238,6	14.410,0	2.881,0

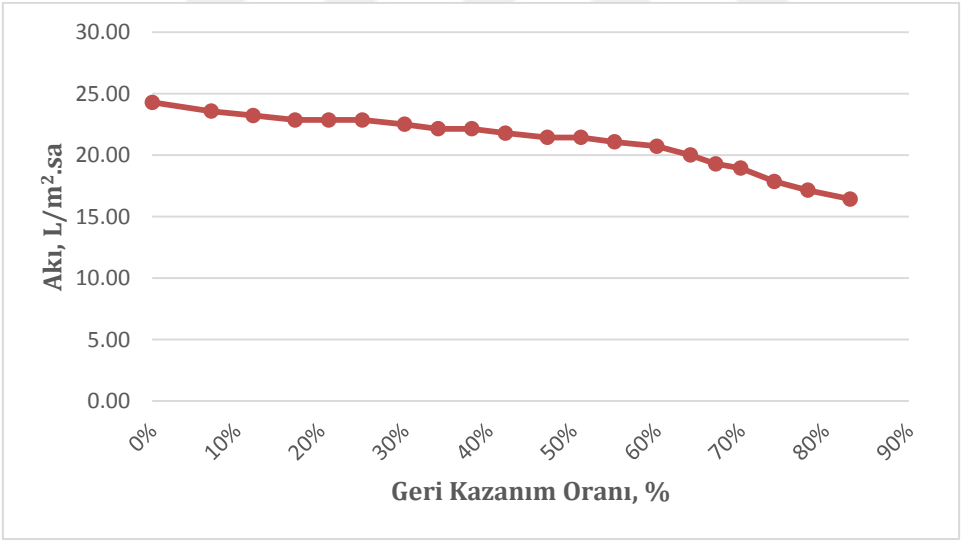
Çizelge 8.35.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (26.07.2018)

a) 1. KADEME pH=7.04 DENİZ SUYU RO

Geri Kazanım Oranı	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI ($L/m^2.sa$)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	608,7	340,0	4.204,5	119,5	46,73	24,29	789,0
7%	601,6	330,0	4.292,4	161,0	49,02	23,57	782,0
12%	623,8	325,0	4.444,4	147,1	49,79	23,21	786,0
17%	621,8	320,0	4.690,0	145,6	50,55	22,86	772,0
21%	606,6	320,0	4.755,4	143,8	51,00	22,86	773,0
25%	621,2	320,0	4.933,0	144,2	51,62	22,86	789,0
30%	616,2	315,0	4.989,0	144,1	52,53	22,50	772,0
34%	614,6	310,0	5.331,1	144,8	53,48	22,14	769,0
38%	614,1	310,0	5.641,7	142,8	54,28	22,14	765,0
42%	619,0	305,0	5.840,9	128,7	55,23	21,79	781,0
47%	606,1	300,0	6.107,4	127,1	56,35	21,43	769,0
51%	614,5	300,0	6.591,1	128,7	57,84	21,43	764,0
55%	620,7	295,0	6.955,7	129,9	58,98	21,07	773,0
60%	603,2	290,0	7.262,2	135,9	60,66	20,71	770,0
64%	611,5	280,0	7.977,8	141,3	61,98	20,00	792,0
67%	619,6	270,0	8.273,3	148,1	61,65	19,29	802,0
70%	609,5	265,0	8.630,4	154,1	62,72	18,93	810,0
74%	611,7	250,0	9.373,5	168,2	60,91	17,86	816,0
78%	601,7	240,0	10.230,4	173,2	62,83	17,14	859,0
82%	609,4	230,0	11.090,8	187,5	61,51	16,43	846,0



Şekil 8.77. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (26 Temmuz 2018)



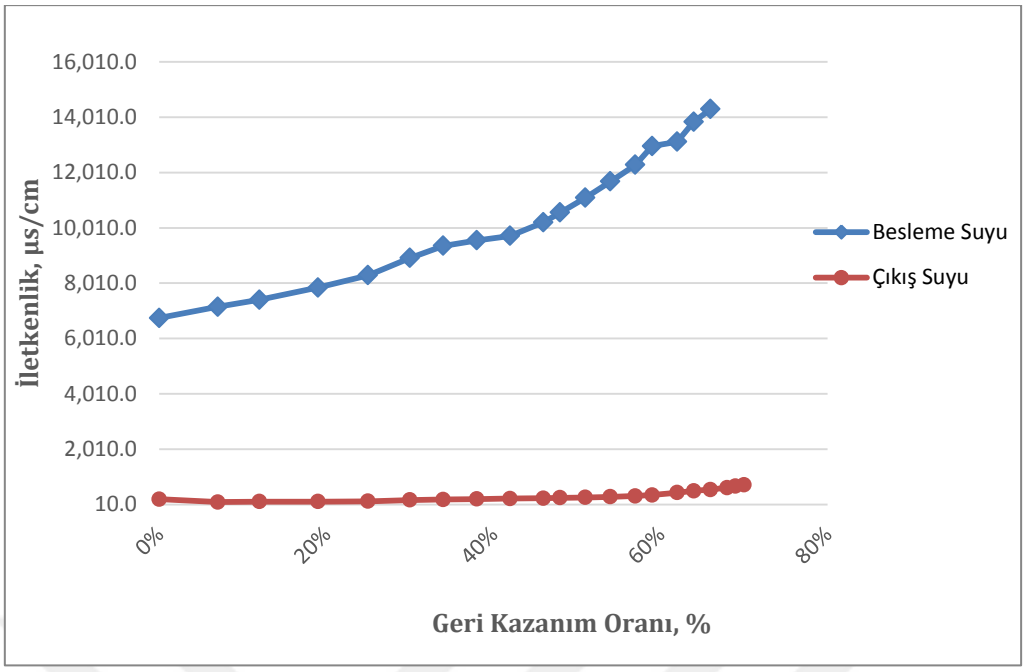
Şekil 8.78. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (26 Temmuz 2018)

Çizelge 8.35.b. 2. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

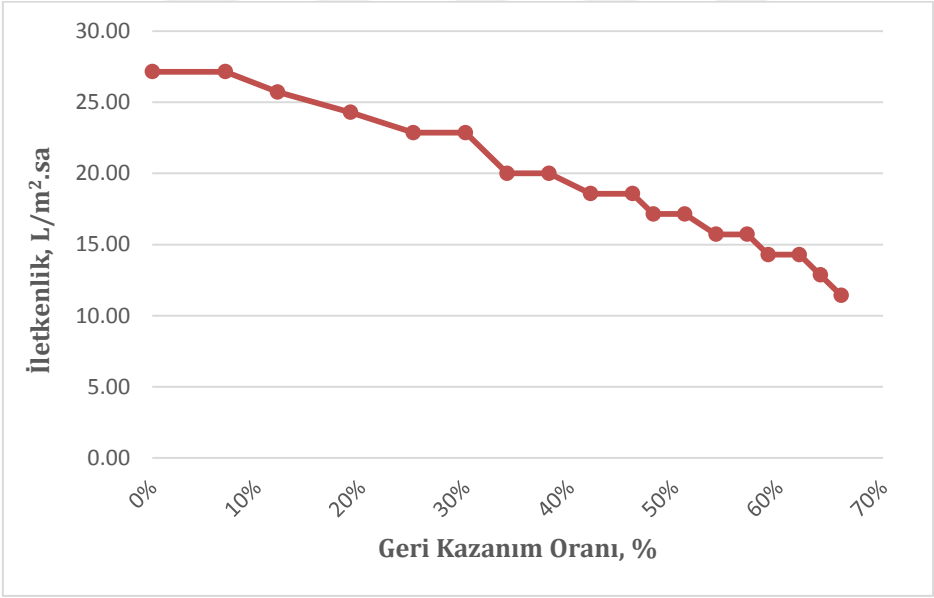
b)	2. KADEME pH=10.51 KUYU SUYU RO						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	310,0	190,0	6.753,5	202,7	15,00	27,14	232,0
7%	320,0	190,0	7.155,2	103,3	15,02	27,14	219,0
12%	310,0	180,0	7.410,3	115,4	15,04	25,71	226,0
19%	290,0	170,0	7.851,7	120,1	14,69	24,29	231,0
25%	290,0	160,0	8.295,5	129,8	14,67	22,86	222,0
30%	290,0	160,0	8.920,8	173,5	14,75	22,86	226,0
34%	270,0	140,0	9.361,8	190,8	14,76	20,00	221,0
38%	260,0	140,0	9.554,7	211,5	14,95	20,00	218,0
42%	250,0	130,0	9.720,1	228,5	15,02	18,57	231,0
46%	260,0	130,0	10.212,4	240,2	15,31	18,57	219,0
48%	250,0	120,0	10.563,1	254,6	15,28	17,14	226,0
51%	260,0	120,0	11.093,6	271,3	15,46	17,14	237,0
54%	240,0	110,0	11.683,4	290,6	15,50	15,71	227,0
57%	230,0	110,0	12.287,2	319,7	15,52	15,71	221,0
59%	220,0	100,0	12.965,6	353,4	15,54	14,29	218,0
62%	210,0	100,0	13.121,2	442,6	15,59	14,29	226,0
64%	200,0	90,0	13.839,1	504,5	15,67	12,86	222,0
66%	180,0	80,0	14.301,3	552,3	15,76	11,43	217,0
68%	160,0	60,0	14.928,1	620,9	15,82	8,57	226,0
69%	160,0	60,0	15.360,0	680,4	15,77	8,57	222,0
70%	160,0	60,0	15.730,8	717,2	15,82	8,57	228,0

Çizelge 8.35.c. İki Kademeli Deniz Suyu / Kuyu Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2503,0	56,0	97,76
As	7,20	0,004	99,94



Şekil 8.79. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı (26 Temmuz 2018)

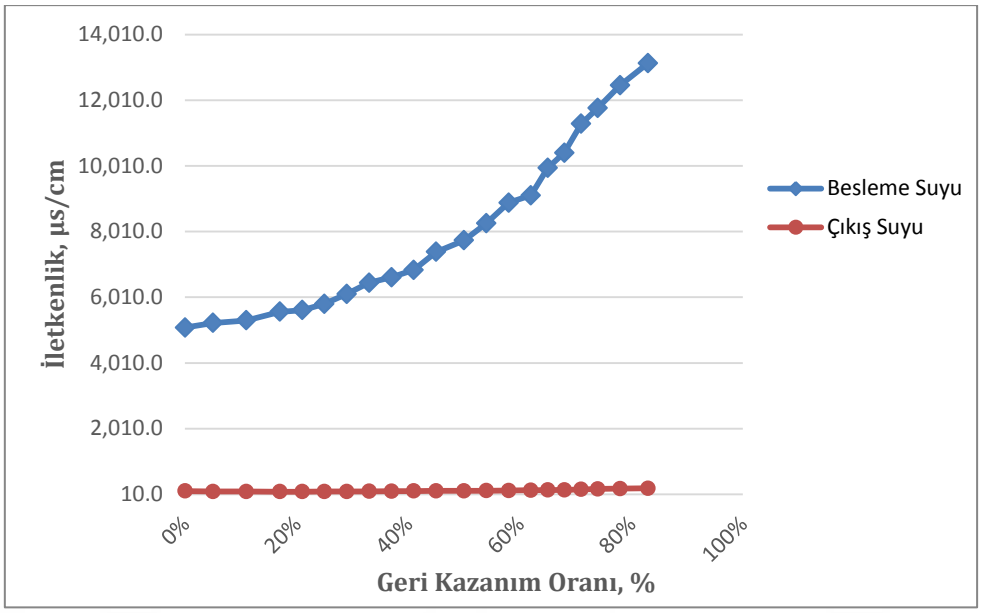


Şekil 8.80. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (26 Temmuz 2018)

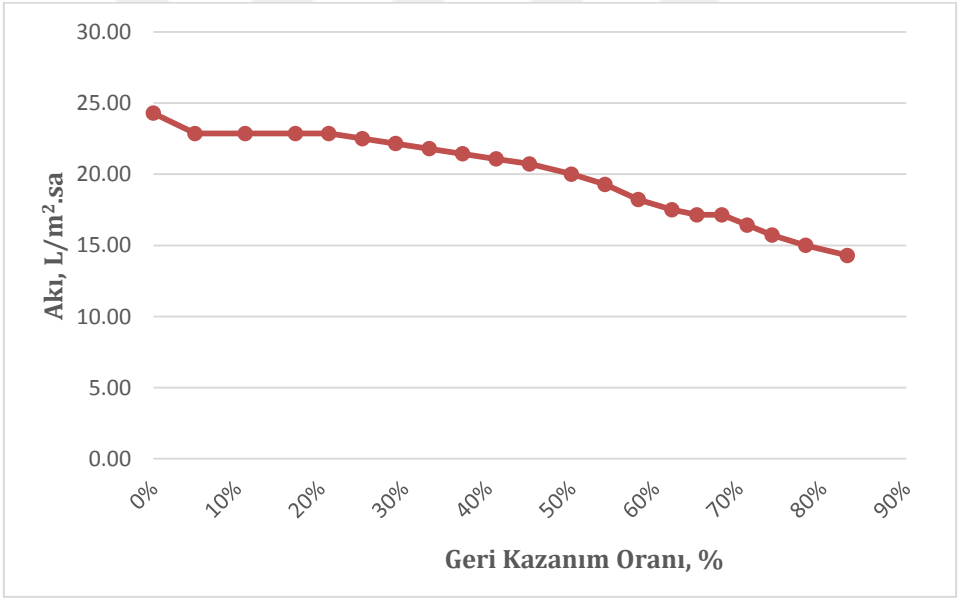
Çizelge 8.36.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (27.07.2018)

a) 1. KADEME pH=7.56 DENİZ SUYU RO

Geri Kazanım Oranı	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI ($L/m^2.sa$)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	606,8	340,0	5.087,5	107	45,06	24,29	712,0
5%	613,6	320,0	5.225,2	95,3	53,05	22,86	711,0
11%	600,5	320,0	5.303,4	92,1	55,09	22,86	699,0
17%	597,7	320,0	5.567,0	90,4	56,12	22,86	689,0
21%	600,9	320,0	5.615,5	91,7	57,41	22,86	702,0
25%	596,4	315,0	5.804,3	92,9	58,55	22,50	706,0
29%	601,2	310,0	6.109,8	94,4	59,34	22,14	695,0
33%	595,7	305,0	6.450,7	98,6	60,20	21,79	693,0
37%	602,6	300,0	6.617,4	102,9	61,11	21,43	689,0
41%	600,9	295,0	6.838,1	107,1	62,06	21,07	695,0
45%	599,5	290,0	7.391,2	111,7	62,91	20,71	679,0
50%	595,5	280,0	7.740,4	114,1	61,34	20,00	683,0
54%	595,9	270,0	8.259,5	120,3	62,81	19,29	691,0
58%	599,0	255,0	8.887,8	122,7	57,66	18,21	676,0
62%	592,0	245,0	9.111,3	131,3	59,22	17,50	687,0
65%	595,7	240,0	9.944,2	137,5	60,74	17,14	701,0
68%	591,2	240,0	10.408,1	144,2	62,14	17,14	692,0
71%	590,2	230,0	11.291,2	158,8	62,56	16,43	700,0
74%	591,4	220,0	11.769,9	172,4	61,58	15,71	695,0
78%	591,4	210,0	12.465,4	180,1	62,95	15,00	697,0
81%	598,5	200,0	13.136,0	190,2	62,41	14,29	697,0



Şekil 8.81. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (27 Temmuz 2018)



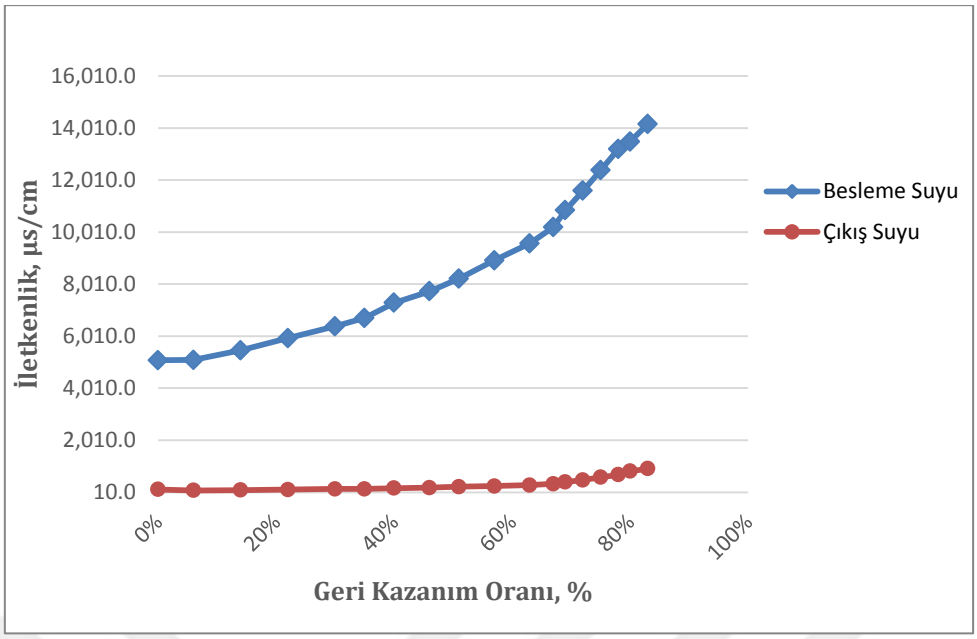
Şekil 8.82. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (27 Temmuz 2018)

Çizelge 8.36.b. 2. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

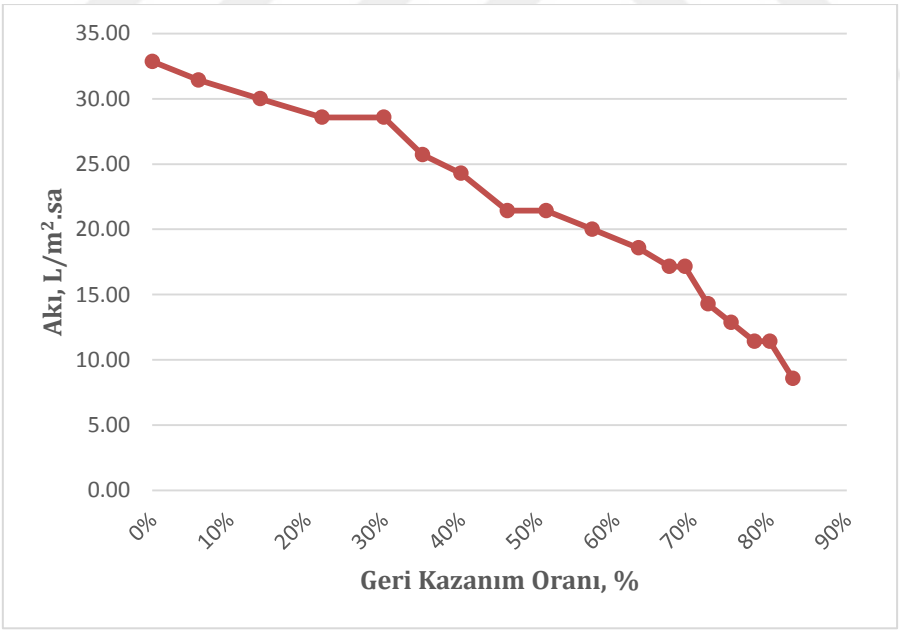
b)	2. KADEME pH=10.61 KUYU SUYU RO						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	350,0	230,0	5.083,1	120,2	14,74	32,86	112,0
6%	340,0	220,0	5.092,4	79,4	14,37	31,43	108,0
14%	330,0	210,0	5.465,6	92,1	14,41	30,00	106,0
22%	320,0	200,0	5.929,6	111,5	14,72	28,57	102,0
30%	320,0	200,0	6.390,4	136,4	14,93	28,57	109,0
35%	300,0	180,0	6.708,2	137,6	14,96	25,71	106,0
40%	290,0	170,0	7.293,0	169,7	15,00	24,29	104,0
46%	270,0	150,0	7.737,4	186,3	15,08	21,43	108,0
51%	270,0	150,0	8.220,6	220,8	15,14	21,43	107,0
57%	260,0	140,0	8.920,4	248,2	15,18	20,00	104,0
63%	250,0	130,0	9.573,4	282,4	15,21	18,57	102,0
67%	240,0	120,0	10.198,8	336,4	15,23	17,14	98,0
69%	240,0	120,0	10.848,4	403,2	15,26	17,14	96,0
72%	230,0	100,0	11.600,7	479,6	15,28	14,29	95,0
75%	220,0	90,0	12.383,7	583,1	15,33	12,86	92,0
78%	210,0	80,0	13.200,2	686,6	15,39	11,43	89,0
80%	200,0	80,0	13.486,8	819,7	15,43	11,43	84,0
81%	180,0	60,0	14.164,1	920,6	15,46	8,57	86,0

Çizelge 8.36.c. İki Kademeli Deniz Suyu/KuyuSuyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2466,0	87,0	96,47
As	4,00	0,008	99,80



Şekil 8.83. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (27 Temmuz 2018)

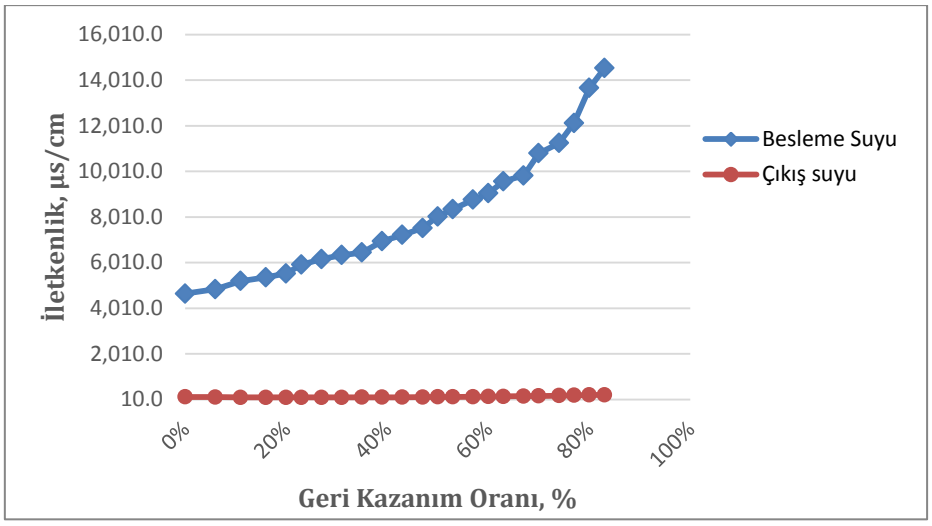


Şekil 8.84. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (27 Temmuz 2018)

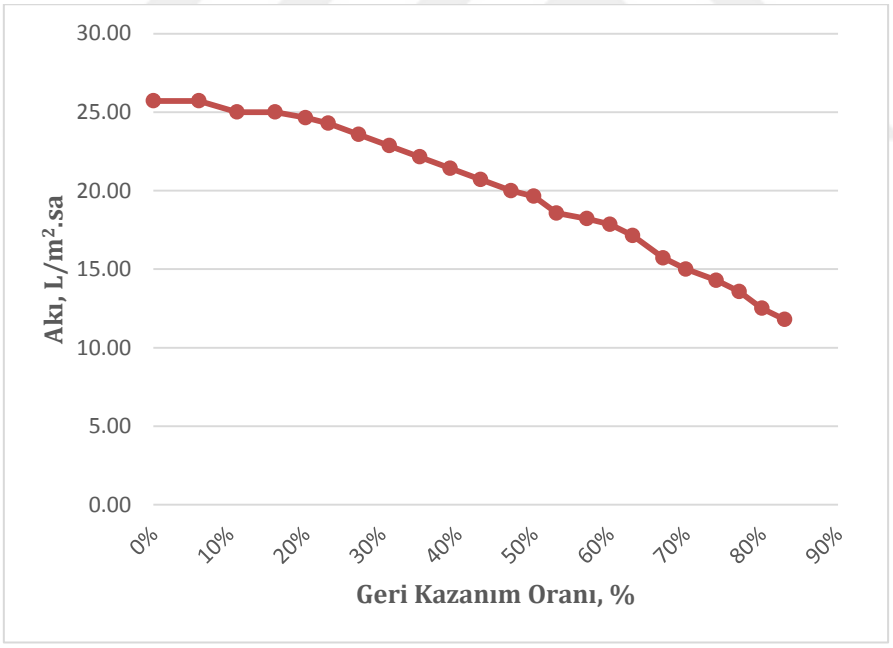
Çizelge 8.37.a. 1. Kademe Deniz Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (30.07.2018)

a) **1. KADEME pH=7.96 DENİZ SUYU RO**

Geri Kazanım Oranı	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI ($L/m^2.sa$)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	615,2	360,0	4.645,9	123,5	37,75	25,71	731,0
6%	603,7	360,0	4.844,7	110,9	40,04	25,71	729,0
11%	605,4	350,0	5.200,8	97,7	41,95	25,00	719,0
16%	610,9	350,0	5.361,1	98,3	43,42	25,00	722,0
20%	607,5	345,0	5.531,6	98,9	44,88	24,64	699,0
23%	599,0	340,0	5.916,4	99,0	46,46	24,29	686,0
27%	602,7	330,0	6.165,7	99,8	48,03	23,57	702,0
31%	599,9	320,0	6.337,1	101,4	49,45	22,86	706,0
35%	595,4	310,0	6.453,8	103,5	51,24	22,14	704,0
39%	613,4	300,0	6.948,3	104,9	52,84	21,43	697,0
43%	618,0	290,0	7.222,2	109,0	54,62	20,71	706,0
47%	607,6	280,0	7.523,4	111,6	55,76	20,00	701,0
50%	610,1	275,0	8.028,8	118,0	57,11	19,64	710,0
53%	615,8	260,0	8.349,7	123,1	58,24	18,57	685,0
57%	607,0	255,0	8.767,7	128,7	58,71	18,21	693,0
60%	601,0	250,0	9.046,4	136,2	59,95	17,86	673,0
63%	611,2	240,0	9.574,0	141,9	61,63	17,14	701,0
67%	619,8	220,0	9.829,1	155,4	57,20	15,71	719,0
70%	608,2	210,0	10.803,7	164,4	58,48	15,00	720,0
74%	606,8	200,0	11.250,4	176,2	60,08	14,29	726,0
77%	612,4	190,0	12.127,2	187,5	61,81	13,57	736,0
80%	618,6	175,0	13.664,0	205,3	60,77	12,50	754,0
82%	605,8	165,0	14.534,3	213,4	61,98	11,79	749,0



Şekil 8.85. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (30 Temmuz 2018)



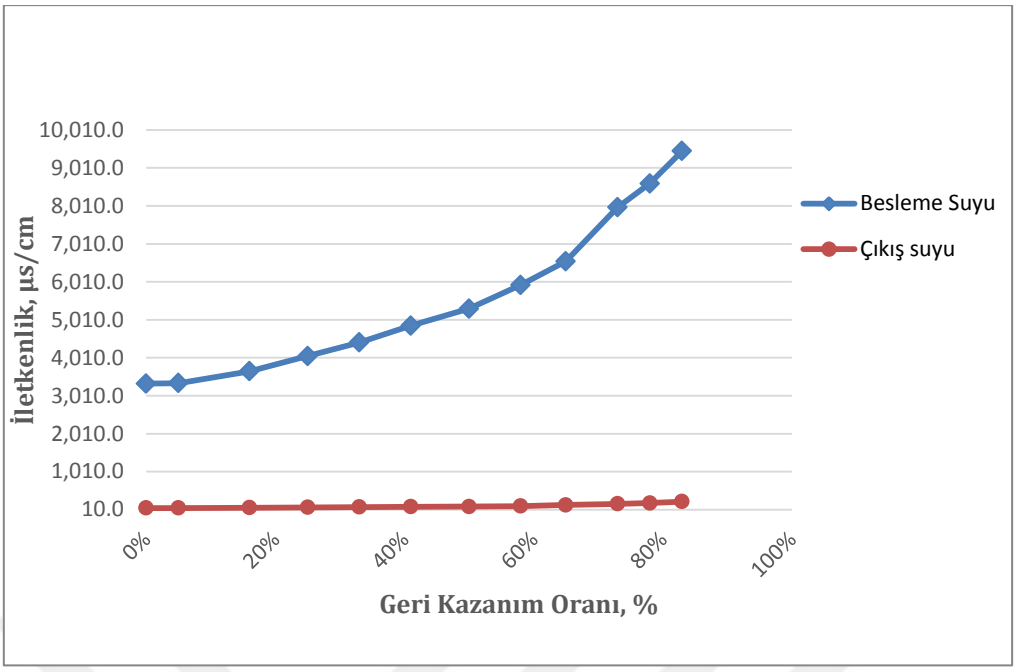
Şekil 8.86. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (30 Temmuz 2018).

Çizelge 8.37.b. 2. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

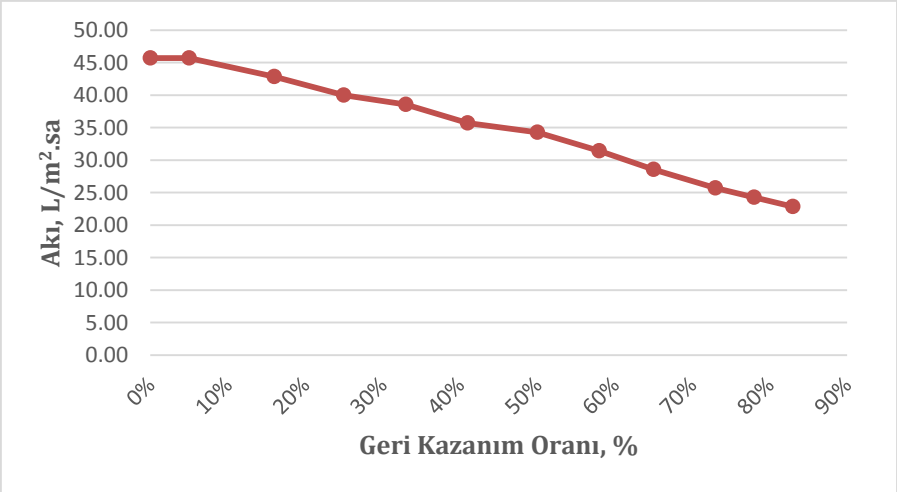
b)	2. KADEME pH=10.42 KUYU SUYU RO						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	460,0	320,0	3.326,4	50,8	13,63	45,71	189,0
5%	480,0	320,0	3.342,2	52,8	13,65	45,71	186,0
16%	440,0	300,0	3.652,9	62,0	13,77	42,86	192,0
25%	420,0	280,0	4.051,1	71,6	13,84	40,00	199,0
33%	410,0	270,0	4.412,3	78,3	13,91	38,57	189,0
41%	390,0	250,0	4.856,1	85,5	13,97	35,71	193,0
50%	350,0	240,0	5.302,6	91,9	14,08	34,29	198,0
58%	360,0	220,0	5.926,1	103,6	14,33	31,43	199,0
65%	340,0	200,0	6.550,3	132,7	14,40	28,57	206,0
73%	320,0	180,0	7.969,3	160,6	14,50	25,71	218,0
78%	310,0	170,0	8.596,2	185,3	14,63	24,29	239,0
83%	300,0	160,0	9.455,1	221,5	14,71	22,86	229,0

Çizelge 8.37.c. İki Kademeli Deniz Suyu / KuyuSuyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2679,0	188,0	92,98
As	7,20	0,016	99,78



Şekil 8.87. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (30 Temmuz 2018)



Şekil 8.88. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (30 Temmuz 2018)

İletkenlik-Geri Kazanım Oranı grafikleri incelendiğinde besleme suyundaki iletkenliğin artmasına paralel olarak geri kazanım oranınında kayda değer bir artış olduğu görülmektedir. Akı-Geri Kazanım Oranı grafikleri incelendiğinde ise geri kazanım oranı arttığında ise akı değerinde belirgin bir azalma olduğu görülmektedir.

8.7. Kireç İlavesiz Atık Suda İki Kademeli Kuyu Suyu RO / Kuyu Suyu RO Membranı Uygulanması

Kireçlenmemiş göletten alınan 1 tonluk ham atık su, UF membranından geçirildikten sonra NaOH ilavesi ile ilk kademe pH değeri 7.0, 7.5 ve 8.0 değerlerine ayarlandı ve Kuyu RO membranından geçirildi. 1. Kademe ürün suyunun pH'ı 10.5 değerine getirildi ve Kuyu RO membranı ile 2. Kademe arıtım yapıldı. Çalışma sonucunda %66-93 oranında bor giderimine, %92-98 oranında arsenik giderimine ulaşıldı. Pilot tesiste yapılan analizlerin sonuçları ve belirli günlerde yapılan deneylere ait kireç ilavesiz suda Kuyu suyu RO membranı iki kademeli olarak ilerleyen proseste elde edilen farklı geri kazanım oranlarındaki Bor miktarları Çizelge 8.38 ve Çizelge 8.39'da verilmiştir. Gün gün yapılan deneylere ait iletkenlik-akı-giderim verimlerine ait sonuçlar aşağıda ilgili çizelge ve şekillerde görülmektedir (Çizelge 8.40-41 ve Şekil 8.89-96).

Çizelge 8.38. Besleme ve Çıkış Suyundaki Bor ve Arsenik Giderim Sonuçları

TARİH	PİLOT TESİS GİRİŞ SUYU				PİLOT TESİS UF ÜRÜN SUYU				PİLOT TESİS RO ÜRÜN SUYU				GİDERİM VERİMİ	
	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (ppm)	As (ppm)	pH	İletkenlik (µs/cm)	B (%)	As (%)
1.08.2018	2.679,00	4,000	7,125	4.520,00	2.652,00	8,000	7,120	4.500,00	1.640,00 176,00	0,160 0,040	7,522 8,942	620,00 662,00	93,43	99,00
2.08.2018	2.557,00	6,000	7,128	4.530,00	2.557,00	4,000	7,096	4.520,00	1.427,00 352,00	0,080 0,120	7,508 9,262	520,00 1.100,00	86,23	98,00
6.08.2018	2.727,00	8,000	7,066	4.680,00	2.791,00	4,800	7,053	4.680,00	1.507,00 921,00	0,304 0,640	8,688 7,621	2.710,00 585,00	66,23	92,00

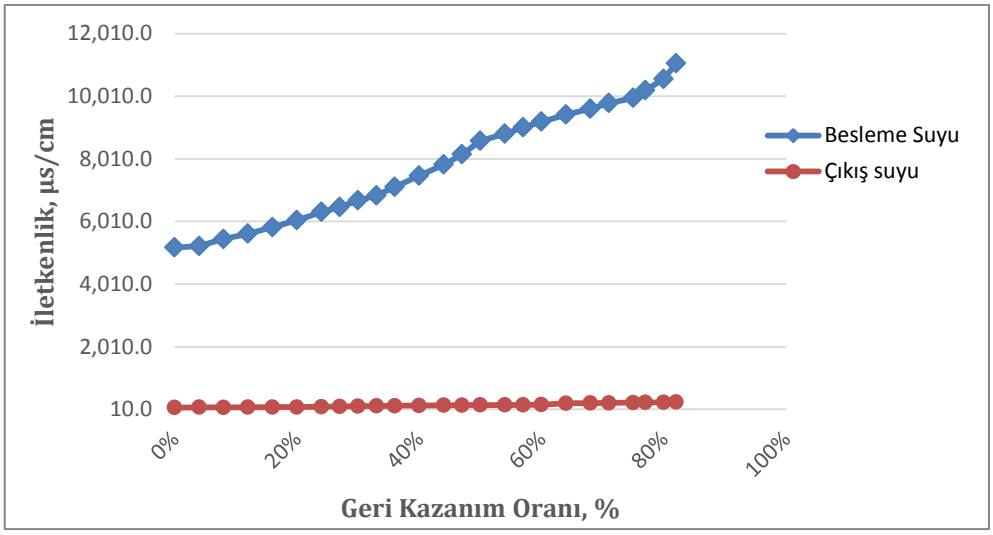
Çizelge 8.39. Kireç İlavesiz Suda İki Kademeli Kuyu Suyu/Kuyu Suyu RO Membranı İle Farklı Geri Kazanım Oranlarındaki Bor Miktarları

TARİH	UF GİRİŞ	UF ÇIKIŞ	1. KADEME								2. KADEME					RO KONSANTRE (1. KADEME)	RO KONSANTRE (2. KADEME)
			RO ÇIKIŞ (25%)	RO ÇIKIŞ (30%)	RO ÇIKIŞ (35%)	RO ÇIKIŞ (50%)	RO ÇIKIŞ (60%)	RO ÇIKIŞ (70%)	RO ÇIKIŞ (80%)	RO ÇIKIŞ (30%)	RO ÇIKIŞ (40%)	RO ÇIKIŞ (50%)	RO ÇIKIŞ (60%)	RO ÇIKIŞ (70%)	RO ÇIKIŞ (80%)		
	(ppm)	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*	*(ppm)*
1.08.2018	3.120,0	3.118,0	-	-	-	1.805,0	1.846,0	1.875,0	1.856,0	194,3	170,0	327,5	-	-	-	5.924,0	3.458,0
2.08.2018	2.954,0	3.106,0	-	-	-	1.464,0	1.517,0	1.727,0	1789,0	245,7	224,7	344,6	-	-	-	5.586,0	3.615,0
6.08.2018	3.079,0	3.142,0	1.821,0	1.647,0	1.553,0	-	-	-	-	-	-	615,6	853,8	838,8	915,3	14.850,0	3.000,0

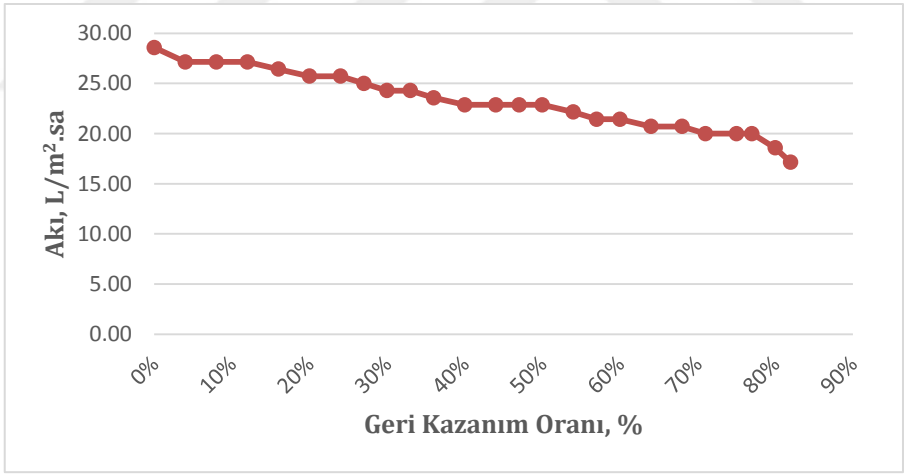
Çizelge 8.40.a. 1. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (01.08.2018)

a) 1. KADEME pH=7.06 KUYU RO

Geri Kazanım Oranı	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI ($L/m^2.sa$)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	320,0	200,0	5.177,2	68,4	15,01	28,57	1.809,0
4%	310,0	190,0	5.225,5	75,5	15,04	27,14	1.789,0
8%	310,0	190,0	5.452,2	74,1	15,06	27,14	1.796,0
12%	310,0	190,0	5.619,2	75,2	15,02	27,14	1.792,0
16%	305,0	185,0	5.827,5	81,0	15,04	26,43	1.803,0
20%	300,0	180,0	6.047,4	85,3	15,00	25,71	1.807,0
24%	300,0	180,0	6.312,2	94,1	14,93	25,71	1.798,0
27%	285,0	175,0	6.471,5	102,1	14,96	25,00	1.812,0
30%	280,0	170,0	6.679,6	112,8	14,98	24,29	1.806,0
33%	280,0	170,0	6.838,9	120,9	15,00	24,29	1.803,0
36%	275,0	165,0	7111,1	125,7	15,01	23,57	1.807,0
40%	270,0	160,0	7.472,1	132,6	15,03	22,86	1.800,0
44%	270,0	160,0	7.828,4	138,8	15,02	22,86	1.813,0
47%	270,0	160,0	8.156,8	143,2	14,99	22,86	1.802,0
50%	265,0	160,0	8.586,7	146,9	15,01	22,86	1.805,0
54%	260,0	155,0	8.806,3	151,4	15,00	22,14	1.826,0
57%	260,0	150,0	9.016,2	155,2	14,94	21,43	1.819,0
60%	245,0	150,0	9.195,6	159,8	15,00	21,43	1.846,0
64%	245,0	145,0	9.421,3	206,8	14,98	20,71	1.842,0
68%	240,0	145,0	9.612,5	211,2	14,93	20,71	1.856,0
71%	240,0	140,0	9.791,1	217,9	14,94	20,00	1.875,0
75%	240,0	140,0	9.951,2	224,1	14,91	20,00	1.871,0
77%	230,0	140,0	10.205,3	230,6	15,02	20,00	1.863,0
80%	220,0	130,0	10.563,6	235,0	15,03	18,57	1.856,0
82%	220,0	120,0	11.058,3	243,8	15,12	17,14	1.859,0



Şekil 8.89. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (1 Ağustos 2018)



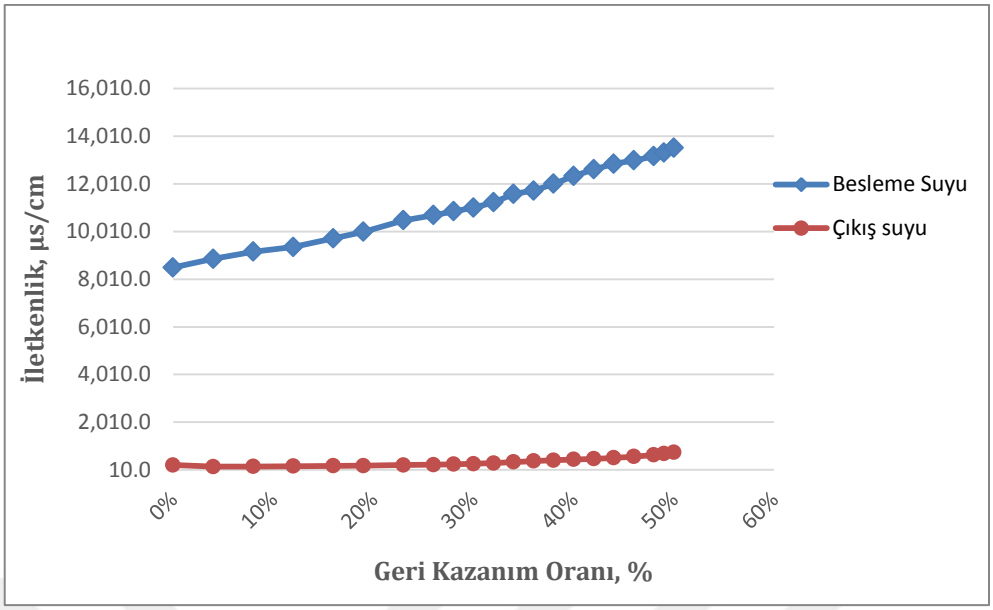
Şekil 8.90. 1. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (1 Ağustos 2018)

Çizelge 8.40.b. 2. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

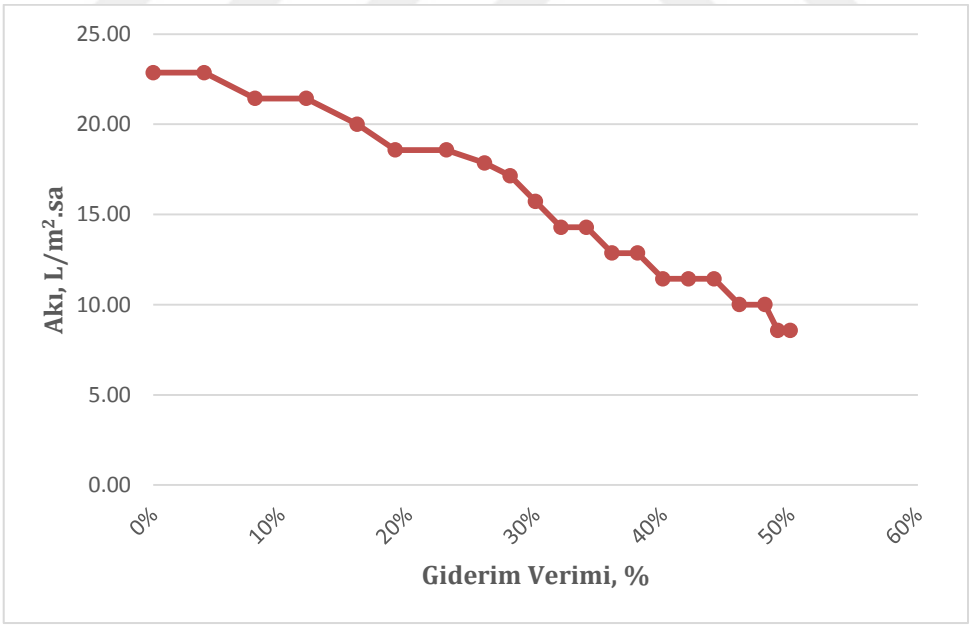
b)	2. KADEME pH=10.45 KUYU SUYU RO						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	280,0	160,0	8.500,2	207,4	37,42	22,86	201,0
4%	280,0	160,0	8.864,3	144,3	37,55	22,86	199,0
8%	270,0	150,0	9.163,7	153,3	37,77	21,43	203,0
12%	270,0	150,0	9.359,4	166,3	37,82	21,43	212,0
16%	260,0	140,0	9.725,1	175,1	37,73	20,00	196,0
19%	250,0	130,0	10.001,4	186,3	37,66	18,57	186,0
23%	250,0	130,0	10.483,8	211,4	37,81	18,57	188,0
26%	245,0	125,0	10.698,2	227,1	37,76	17,86	196,0
28%	240,0	120,0	10.856,1	243,6	37,80	17,14	191,0
30%	230,0	110,0	11.012,3	267,3	37,77	15,71	194,0
32%	220,0	100,0	11.233,2	291,1	37,85	14,29	186,0
34%	220,0	100,0	11.587,6	339,4	37,87	14,29	182,0
36%	210,0	90,0	11.725,3	381,9	37,95	12,86	189,0
38%	210,0	90,0	12.011,4	410,8	37,98	12,86	178,0
40%	200,0	80,0	12.344,8	444,5	38,04	11,43	170,0
42%	200,0	80,0	12.619,8	473,0	38,10	11,43	179,0
44%	200,0	80,0	12.856,3	512,3	38,19	11,43	201,0
46%	190,0	70,0	12.998,1	566,1	38,31	10,00	203,0
48%	190,0	70,0	13.168,2	635,6	38,40	10,00	283,0
49%	180,0	60,0	13.315,6	695,6	38,52	8,57	279,0
50%	180,0	60,0	13.520,1	745,5	38,70	8,57	327,0

Çizelge 8.40.c. İki Kademeli Kuyu Suyu /Kuyu Suyu RO Sisteminde B ve As Giderim Verimleri

c)	B ve As Giderim Verimleri		
	GİRİŞ (ppm)	**ÇIKIŞ (ppm)**	**VERİM (%)**
B	2.679,0	176,0	93,43
As	4,00	0,040	99,00



Şekil 8.91. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (1 Ağustos 2018)

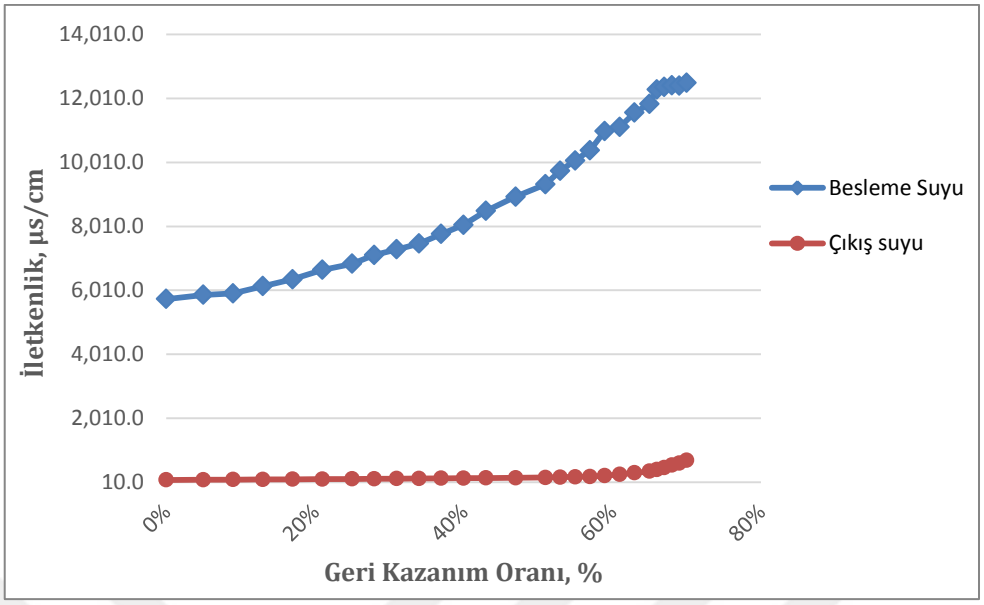


Şekil 8.92. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (1 Ağustos 2018)

Çizelge 8.41.a. 1. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri (02.08.2018)

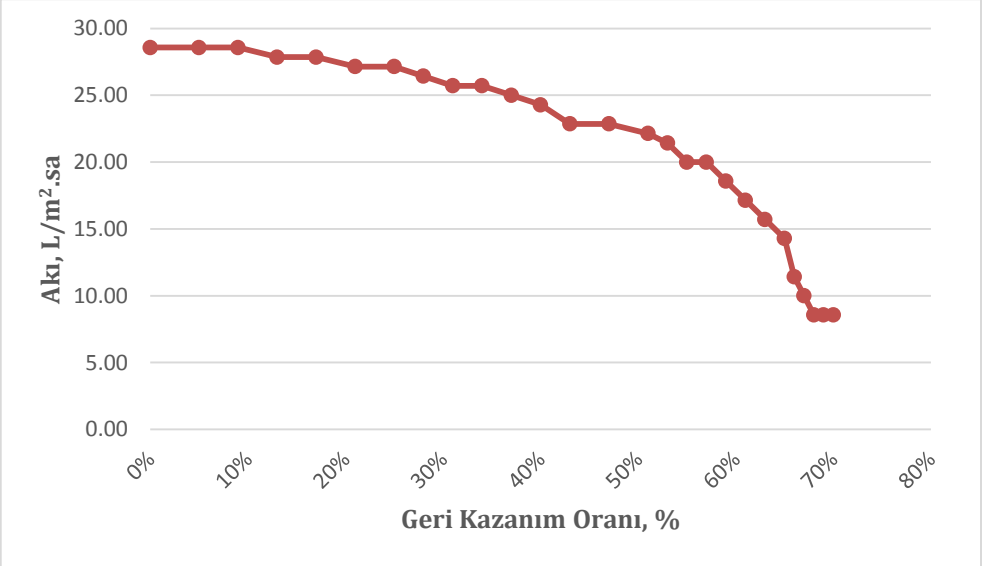
a) 1. KADEME pH=7.48 KUYU SUYU RO

Geri Kazanım Oranı	RO GİRİŞ (L/sa)	RO ÜRÜN (L/sa)	İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)	İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)	BASINÇ (bar)	AKI (L/m^2.sa)	ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)
0%	320,0	200,0	5.733,9	82,4	15,10	28,57	1.385,0
5%	320,0	200,0	5.865,7	86,3	15,11	28,57	1.389,0
9%	320,0	200,0	5.909,7	93,0	15,18	28,57	1.402,0
13%	315,0	195,0	6.135,5	97,2	15,18	27,86	1.396,0
17%	315,0	195,0	6.352,1	102,6	15,16	27,86	1.392,0
21%	310,0	190,0	6.647,5	108,1	15,15	27,14	1.399,0
25%	310,0	190,0	6.839,2	111,5	15,17	27,14	1.412,0
28%	305,0	185,0	7.112,3	117,1	15,18	26,43	1.422,0
31%	300,0	180,0	7.288,4	120,0	15,16	25,71	1.416,0
34%	300,0	180,0	7.466,5	125,8	15,15	25,71	1.413,0
37%	295,0	175,0	7.770,0	130,2	15,16	25,00	1.432,0
40%	290,0	170,0	8.052,4	135,9	15,18	24,29	1.439,0
43%	280,0	160,0	8.489,5	141,7	15,20	22,86	1.449,0
47%	280,0	160,0	8.932,2	147,5	15,22	22,86	1.435,0
51%	275,0	155,0	9.318,5	157,6	15,24	22,14	1.464,0
53%	270,0	150,0	9.743,9	165,5	15,25	21,43	1.468,0
55%	260,0	140,0	10.065,2	175,2	15,27	20,00	1.485,0
57%	260,0	140,0	10.384,5	186,5	15,28	20,00	1.479,0
59%	250,0	130,0	10.982,7	210,4	15,31	18,57	1.496,0
61%	240,0	120,0	11.111,1	257,6	15,33	17,14	1.517,0
63%	230,0	110,0	11.561,2	300,2	15,39	15,71	1.502,0
65%	220,0	100,0	11.835,2	351,4	15,43	14,29	1.511,0
66%	200,0	80,0	12.281,9	400,7	15,50	11,43	1.586,0
67%	190,0	70,0	12.360,2	460,9	15,55	10,00	1.593,0
68%	180,0	60,0	12.415,3	540,2	15,58	8,57	1.602,0
69%	180,0	60,0	12.404,1	600,3	15,63	8,57	1.653,0
70%	180,0	60,0	12.491,1	695,2	15,68	8,57	1.727,0



Şekil 8.93. 1. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği

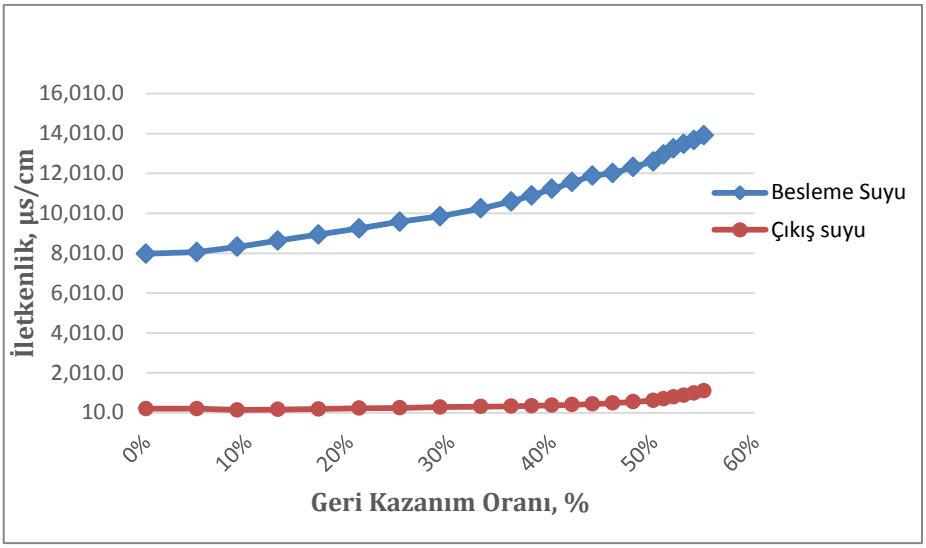
(2 Ağustos 2018).



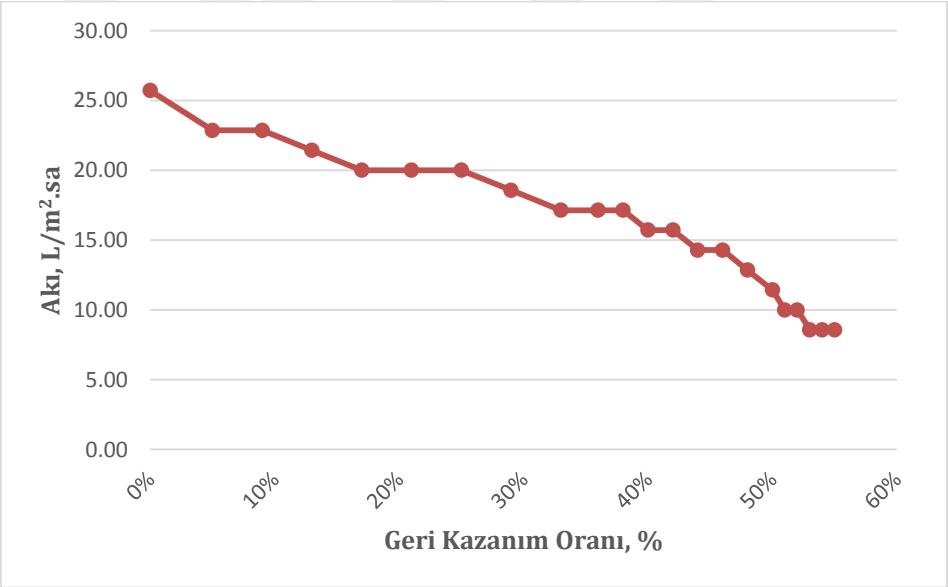
Şekil 8.94. 1.Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (2 Ağustos 2018)

Çizelge 8.41.b. 2. Kademe Kuyu Suyu RO Sisteminde Yapılan Arıtmaya Ait Analiz Verileri

b)	**2. KADEME pH=10.47 KUYU SUYU RO**						
Geri Kazanım Oranı	**RO GİRİŞ (L/sa)**	**RO ÜRÜN (L/sa)**	**İLETKENLİK GİRİŞ (µs/cm)**	**İLETKENLİK ÇIKIŞ (µs/cm)**	**BASINÇ (bar)**	**AKI ($L/m^2.sa$)**	**ÇIKIŞ BOR DEĞERİ (ppm)**
0%	300,0	180,0	7.982,4	211,2	15,02	25,71	238,0
5%	280,0	160,0	8.065,4	210,9	15,08	22,86	236,0
9%	280,0	160,0	8.323,4	143,1	15,14	22,86	229,0
13%	270,0	150,0	8.639,2	164,0	15,19	21,43	249,0
17%	260,0	140,0	8.942,4	190,1	15,21	20,00	222,0
21%	260,0	140,0	9.249,1	228,7	15,28	20,00	236,0
25%	260,0	140,0	9.589,1	250,9	15,34	20,00	240,0
29%	250,0	130,0	9.859,1	286,6	15,33	18,57	246,0
33%	240,0	120,0	10.251,5	308,1	15,34	17,14	249,0
36%	240,0	120,0	10.603,2	331,3	15,38	17,14	229,0
38%	240,0	120,0	10.905,3	354,4	15,40	17,14	237,0
40%	230,0	110,0	11.231,1	376,1	15,43	15,71	225,0
42%	230,0	110,0	11.572,3	405,1	15,44	15,71	234,0
44%	220,0	100,0	11.898,2	439,8	15,48	14,29	245,0
46%	220,0	100,0	12.020,5	487,5	15,47	14,29	262,0
48%	210,0	90,0	12.336,1	552,8	15,44	12,86	312,0
50%	200,0	80,0	12.611,7	614,2	15,46	11,43	345,0
51%	190,0	70,0	12.955,5	708,9	15,44	10,00	326,0
52%	190,0	70,0	13.263,4	793,4	15,47	10,00	319,0
53%	180,0	60,0	13.483,7	874,5	15,46	8,57	346,0
54%	180,0	60,0	13.687,9	985,9	15,48	8,57	339,0
55%	180,0	60,0	13.925,4	1101,1	15,49	8,57	337,0



Şekil 8.95. 2. Kademe Besleme - Çıkış Suyu İletkenlik - Geri Kazanım Oranı Grafiği (2 Ağustos 2018)



Şekil 8.96. 2. Kademe Akı - Geri Kazanım Oranı Grafiği (2 Ağustos 2018)

İletkenlik-Geri Kazanım Oranı grafikleri incelendiğinde besleme suyundaki iletkenliğin artmasına paralel olarak geri kazanım oranınında kayda değer bir artış olduğu görülmektedir. Akı-geri kazanım oranı grafikleri incelendiğinde ise geri kazanım oranı arttığında akı değerinde ise büyük miktarda azalma olduğu görülmektedir.

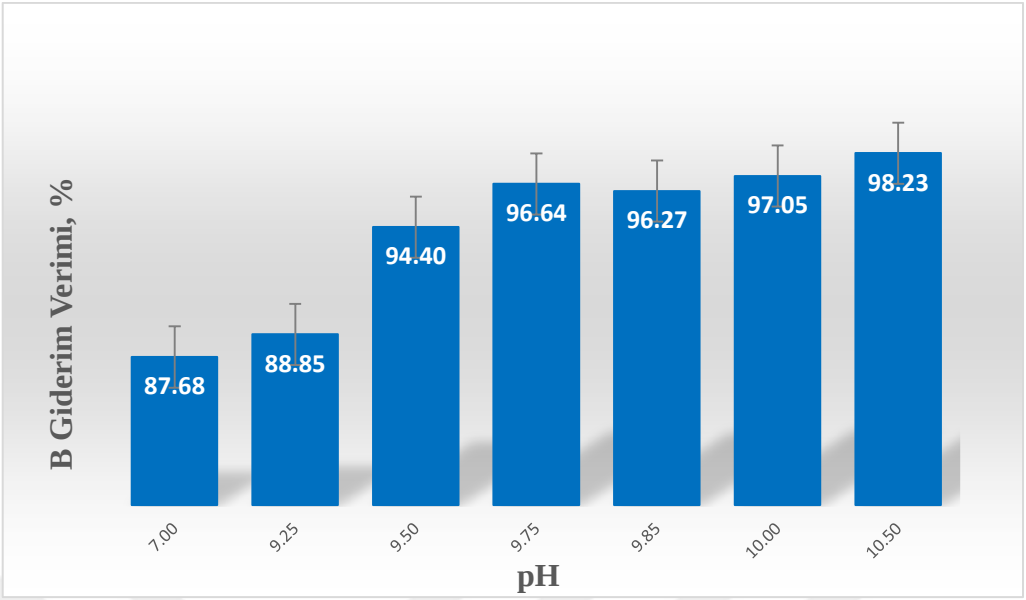
8.8. pH'ın Giderim Verimine Etkisi

Borun geri kazanılmasında ortamın pH'ı en önemli parametrelerden biridir. Yapılan araştırmalarda pH 6 civarında %10 gibi bir verim elde edilirken, pH 13'e yükseldiğinde %90'ları aşan geri kazanım verimlerinin elde edildiği sonucuna varılmıştır. Çözeltide bulunan bor miktarının artmasına bağlı olarak da denge pH'ına ulaşılırken, pH değerinin artması bor geri kazanımı da pozitif yönde etkilemektedir.

Deneysel çalışma kapsamında bor giderimini artırmak için çeşitli pH değerlerinde çalışılmıştır. NaOH ilave edilerek pH değeri 7-11'e ayarlanmıştır. Çalışmalar sonucunda pH'ın artmasıyla bor giderim verimi artış göstermiş, pH 10.5'de maksimum verime ulaşılmıştır (>% 98). Elde edilen analiz sonuçları Çizelge 8.42 ve Şekil 8.97'de verilmiştir. Bu sonuçlar neticesinde özellikle 2 kademeli ilerleyen ters osmoz çalışmalarında 2. kademede pH=10.5'de çalışmalar yürütülmüştür.

Çizelge 8.42. pH'ya Bağlı Bor Giderim Verim Değerleri

pH	Bor Giriş (ppm)	Bor Çıkış (ppm)	Giderim Verimi (%)
7,00	2.710,0	334,0	87,68
9,25	2.672,0	298,0	88,85
9,50	2.984,0	167,0	94,40
9,75	2.737,0	92,00	96,64
9,85	2.898,0	108,0	96,27
10,00	2.882,0	85,00	97,05
10,50	2.941,0	52,00	98,23



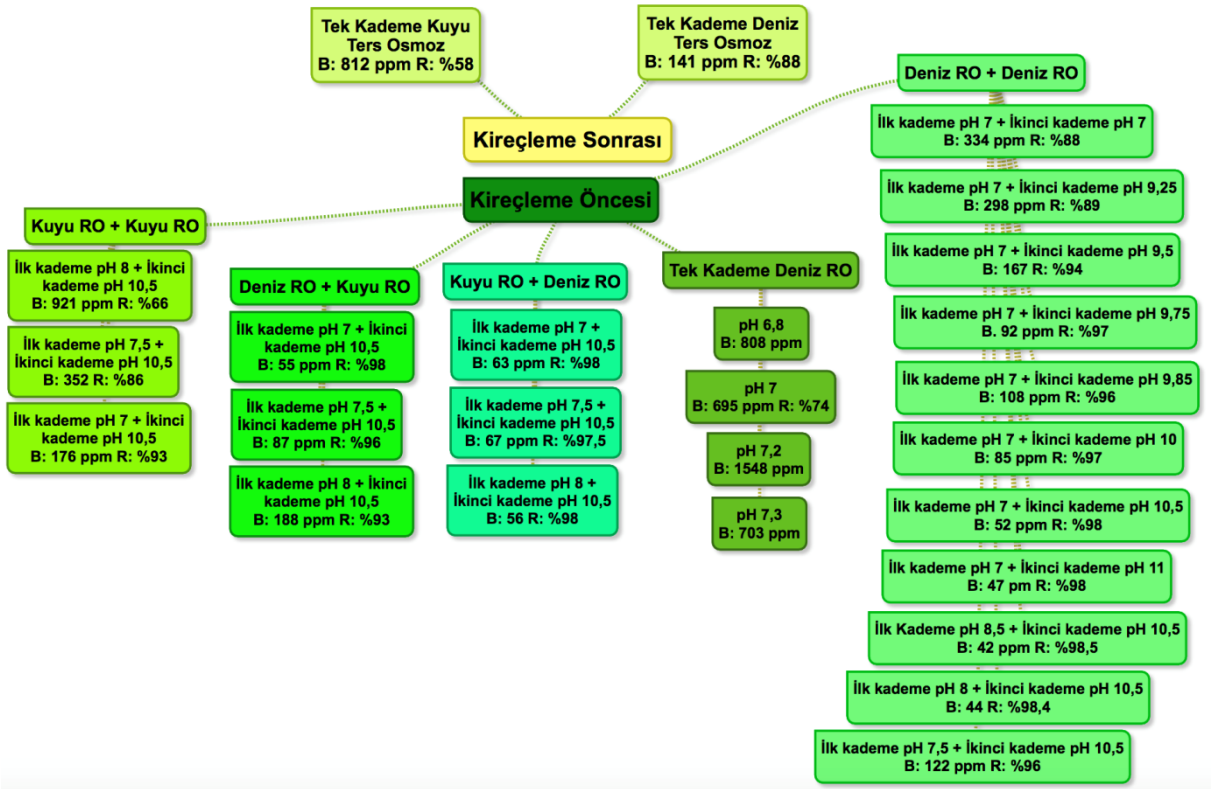
Şekil 8.97. pH'ın Bor Giderim Verimine (%) Etkisi

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda artan çevre kirliliği ve nüfus, su kaynaklarının azalmasına ve kullanımının sınırlanmasına neden olmuştur. Üstelik doğaya ciddi zararları bulunan atık suların bilinçsizce çevreye deşarjları, bu sorunları artırmaktadır. Bunun önüne geçmek için atık suların yeniden kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların sanayide uygulanması sonucu yeni su kaynaklarının tüketimi azalır ve atık suların deşarjları sonucu alıcı su ortamlarının kalitesinin de bozulması önlenmiş olur.

Bu çalışmada da pilot ölçekli membran sistemleri çalışmalarının bor giderim verimi sonuçları özet olarak Şekil 9.1.'de verilmiştir. Emet Bor İşletme Müdürlüğü Espey Bölgesinde bulunan kireçleme ünitesi sonrası alınan sularda tek kademe kuyu suyu ters osmoz membranı uygulandığında %58 bor giderimi görülürken tek kademe deniz suyu ters osmoz membranı uygulandığında %88 bor giderimi görülmüştür. Deniz suyu ile %88 civarında giderme verimi görülmesine karşın membranların suyun sertliğine bağlı olarak tıkanması ve düşük performans görülmesi problemleri ile karşılaşılmıştır. Şekil 9.2.'de kireçleme sonrası alınan suyun pompada ve modüllerde yarattığı negatif etki görülmektedir.

Kireçleme sonrası suyun kullanılmasının işletme açısından problem olacağı düşünüldüğü ve uzun vadeli uygulanabilir bulunmadığı için kireçleme öncesi su alınarak yeni çalışmalar yapılmıştır. Kuyu suyu RO membranları ve deniz suyu RO membranları çeşitli konfigürasyonlarda denenmiştir.Tek kademe deniz suyu RO membranı ile çıkış bor konsantrasyonu 700 ppm mertebelerine indirilebilmiştir. Ancak tek kademenin yeterli olmayacağı anlaşılıp iki kademeli çalışmalara geçilmiştir. Kireç ilavesi yapılmadan RO membranları ile yapılan denemelerde ise 1. kademe ve 2. kademelerde deniz suyu RO membranı kullanılan tasarımda %98,95 bor giderimine ve %100 arsenik giderimine ulaşılmıştır.



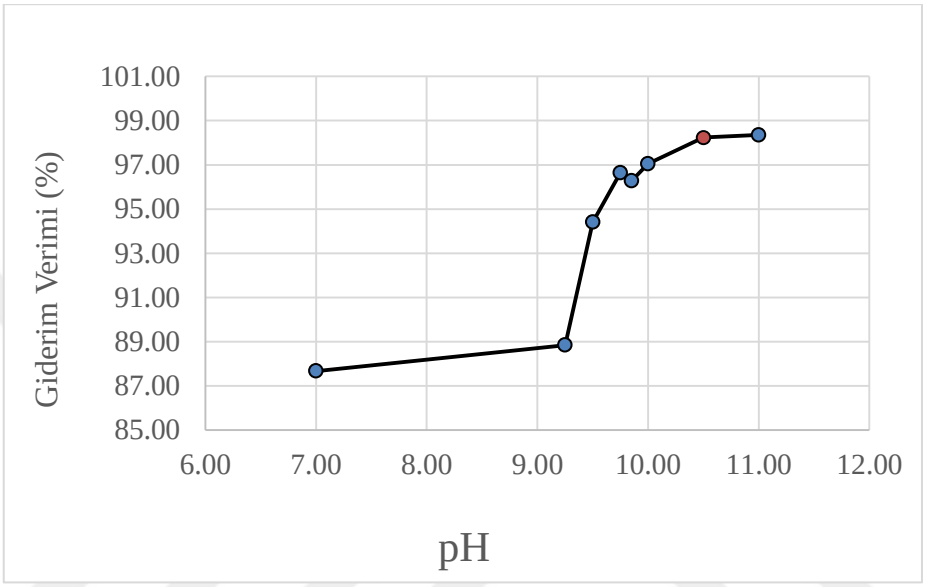
Şekil 9.1.Pilot Ölçekli Ters Osmoz Çalışması Özet Sonuçları



Şekil 9.2.Kireçleme Sonrası Alınan Suyun Yarattığı İşletme Problemleri

İlk olarak önce deniz suyu RO membranı ve ardından tekrar deniz suyu RO membranı kullanılarak yapılan iki kademeli çalışmalarda önce ilk kademe pH değeri 7'de olmak üzere giderek artan pH'larda denemeler yapılmıştır. Şekil 9.3.'te verildiği gibi ikinci kademe pH değeri arttıkça membranların bor giderme verimlerinin de arttığı görülmüştür. En optimum pH değerinin 10,5 olduğu görülmektedir. pH'ın 11'e çıkarılmasının giderme verimine önemli bir katkısı olmamıştır. Ayrıca ilk kademe pH değeri yükseltilerek yapılan

çalışmalarda bor giderimi bir miktar daha artmıştır. İlk kademe pH değerinin 8,5 olduğu ikinci kademenin ise 10,5 olduğu çalışmada 42 ppm bor çıkışı ve %98,5 bor giderimi görülmüştür. Ancak ilk kademe pH değerinin yükseltilmesi membranların tıkanma ihtimalini de arttırmaktadır. Yapılan çalışmalarda ilk kademe için optimum pH değerinin 7 olduğu anlaşılmıştır.



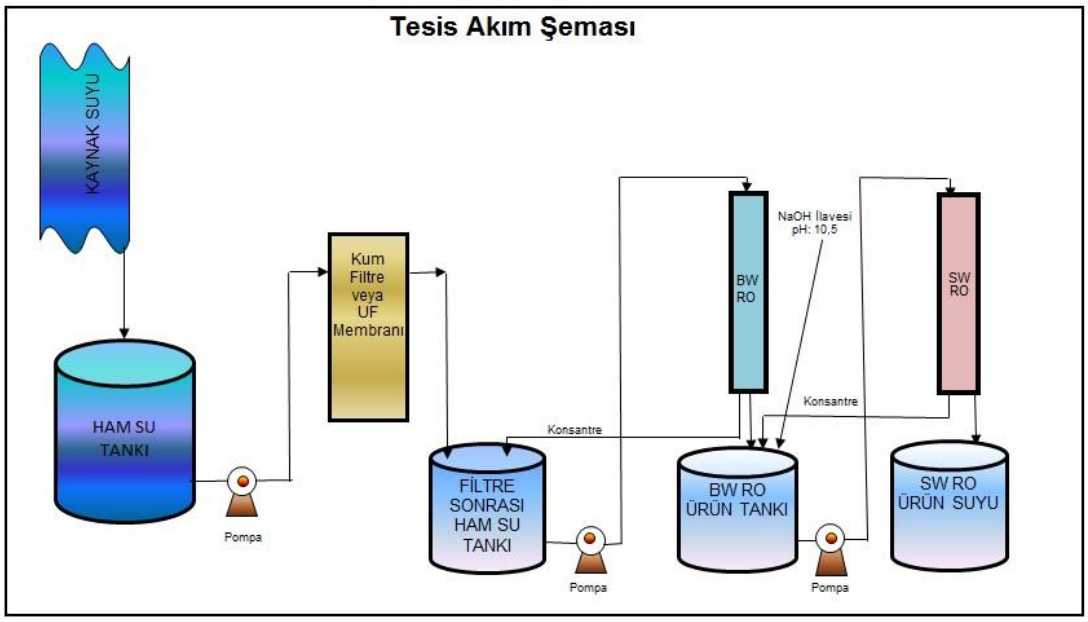
Şekil 9.3.pH'ın Bor Giderim Verimine Etkisi

Sonraki çalışma adımında iki kademe olacak şekilde önce kuyu suyu RO membranı ardından deniz suyu RO membranı ve önce deniz suyu RO membranı ardından kuyu suyu RO membranı denenmiştir. Her iki işletme konfigürasyonunda da %98 bor giderme değerlerine çıkılabilmiştir. Ancak enerji ihtiyacı ve tıkanma potansiyeli bakımından önce kuyu suyu RO membranı ve ardından deniz suyu RO membranı ile çalıştırmanın daha uygun olacağına karar verilmiştir.

Çok yüksek basınçlara çıkılmadan iki kademeli kuyu suyu ters osmoz membranı konfigürasyonu ile de deneme yapılmıştır. Burada daha düşük enerji maliyeti ile nasıl bir bor gideriminin sağlanabileceği araştırılmıştır. İlk kademe pH değeri kademeli olarak yükseltilirken ikinci kademe pH değeri 10,5 olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmalarda da %93 bor giderimi değerlerine ulaşılmıştır.

Ayrıca, bu çalışma sonucu elde edilen arıtılmış su, 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı resmi gazatede yayınlanarak yürürlüğe giren, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKKY) belirtilen, daha önceki bölümlerde bulunan ve Çizelge 5.7'deki değerleri de sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalarda en optimum konfigürasyonun önce kuyu suyu RO membranı ile pH 7 değerinde filtrasyon yapılması ve ikinci kademede 10,5 pH değerinde deniz suyu RO membranı ile filtrasyon yapılması olduğu anlaşılmıştır. Şekil 9.4.'te yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre oluşturulmuş tavsiye proses dizaynı verilmektedir.



Şekil 9.4. Espey Bölgesi Kaynak Suyu İçin Tavsiye Edilen Akış Diyagramı

Tavsiye edilen sistem ile elde edilen su kalitesinin, Tesiste kullanılan suların kalitesi ile karşılaştırılması ve pilot ölçekli membran sistemine beslenmeden önceki atık suyun analiz değerleri Çizelge 9.1.'de verilmiştir. Seçilen sistem ile elde edilen suyun yumuşak su sınıfına girdiği söylenebilir. Çözünmüş madde oranı çok düşük olsa da 2.kademe öncesi pH değeri NaOH ile ayarlandığı için su içerisinde sodyum oranı beklenenden yüksektir ve su bu sebeple demineralize su sınıfına girmemektedir. Bor içeriği ise tesiste kullanılan suyun bor içeriğinden oldukça yüksektir. Ancak, arıtılmış suyun bor içeriğinin yüksek olmasının, borik asit veya konsantre kolemanit üretim prosesinde kullanılmasına engel teşkil etmeyeceği düşünülmektedir.

Çizelge 9.1. Pilot tesiste elde edilen Su Kalitesinin Tesiste Kullanılan Su Değerleriyle Karşılaştırılması

Analizler	Birim	2018 Temmuz Değeri	2018 Temmuz Değerleri			Seçilen Sistem
		Kaynak Suyu Değerleri	Ham Su	Yumuşak Su	Demi. Su	
pH	--	7,04	7,76	8,16	8,69	8,50
Toplam Sertlik	--	3.600,00	285,00	2,50	0,00	--
İletkenlik	**µS/cm**	4.970,00	399,00	400,00	0,80	546,00
B	**(mg/lt)**	2856,00	1,61	1,50	0,51	63,00
As	**(mg/lt)**	3,20	0,60	0,80	0,00	0,008
Fe	**(mg/lt)**	0,11	0,01	0,01	0,01	--
Cl	**(mg/lt)**	323,00	3,45	2,76	5,87	5,90
SO_4	**(mg/lt)**	3.176,00	25,18	24,75	1,30	0,60
Ca	**ppm**	609,00	83,90	0,09	0,01	< 0,125
Mg	**ppm**	474,00	8,20	0,00	0,00	< 0,125
Na	**(mg/lt)**	290,00	9,40	123,00	0,01	152,80
K	**(mg/lt)**	13,50	3,30	0,17	0,00	0,50
SiO_2	**(mg/lt)**	40,37	27,18	22,62	6,96	--
KOİ	**(mg/lt)**	--	--	--	--	40,00
Balık Biyodeneyi (ZSF)		--	--	--	--	>8

KAYNAKLAR DİZİNİ

Anon., 2018,Eti Maden İşletmeleri,[Çevrimiçi] Available at: http://www.etimaden.gov.tr/ [%1 tarihinde erişilmiştir29 08 2018], .

Aslan, M., 2016,Membran Teknolojileri,Ankara: Türkiye Çevre Koruma Vakfı, 275 s.

Balahorli, V., 2011,Düzenli Depolama Sahalarında Oluşan Sızıntı Sularının Membran Biyoreaktör ve Nanofiltrasyon Teknolojisi ile Arıtımı, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 119 s.

BASF, 2018,http://www.inge.basf.com/ev/internet/inge/en/. [Çevrimiçi] Available at: http://www.inge.basf.com/ev/internet/inge/en/function/conversions:/publish/content/inge/Support_Downloads/downloads/Technical_Specifications_dizzerP_E_inge.pdf [%1 tarihinde erişilmiştir30 Aralık 2018].

Bayar, D., 2001,Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyonla Bor Giderimi ve Deney Tasarımı, Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 99 s.

Çalışır, M., 2010,Ardışık Kesikli Aktif Çamur Sisteminde Arıtılmış Sentetik Tekstil Terbiyesi Atık Sularında Renk Giderimi Ve Ekonomik Analizi, Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 101 s.

Demirçivi, P., 2008,Atık Sulardan Kesikli ve Sürekli Sistemlerle Bor Giderimi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 94 s.

Dırak, S., 2011,Eti Maden Müdürlüğü Kırka Bor İşletmesi Bor Endüstri Atıklarında Eser Elementlerin Tayini ve Lityumun Kazanılması, Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 83 s.

Duman, M. V., 2012,Bigadiç Bor İşletmesi Simav Açık Ocak Taban Suyundan Ters Osmoz Yöntemi İle Bor Giderimi, Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 122 s.

DuPont, 2018,https://www.dupont.com/water.html. [Çevrimiçi] Available at: https://www.dupont.com/content/dam/Dupont2.0/Products/water/literature/609-00377.pdf[%1 tarihinde erişilmiştir30 Aralık 2018].

Erden, B., 2008,Borlu Atık Suların Farklı Doğal Malzemelerle Arıtılmasının Araştırılması, Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 112 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kabay, N., Güler, E. ve Bryjak, M., 2010, Boron in seawater and methods for its separation,Desalination, Cilt 261, pp. 212-217.

Karakaş, İ. H., 2008,Bor Endüstrisi Atıksularının Nanofiltrasyonla Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 72 s.

Karcıoğlu, Z., 2009,Endüstriyel Atıksulardan Kimyasal Koagülasyon Yöntemi ile Bor Giderimi, Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 123 s.

Kaya, Y., 2007,Nanofiltrasyon ile Proses Sularından Organik Maddelerin Geri Kazanımının Araştırılması, İstanbul: Fen Bilimleri Enstitüsü 198 s.

Kheriji, J., Tabassi, D., Bejaoui, I. ve Hamrouni, B., 2016, Boron Removal from Model Water by RO and NF Membranes Characterized Using S-K Model,Membrane Water Treatment, 7(3), pp. 193-207.

Kitiş, M., Yiğit, N. Ö., Köseoğlu, H. ve Bekaroğlu, Ş., 2009,Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri-Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı, s.l.: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 63 s.

Köseoğlu, H., Kabay, N., Yüksel, M. ve Kitiş, M., 2007, The Removal of Boron from Model Solutions and Seawater Using Reverse Osmosis Membranes. Desalination, Issue 223, pp. 126-133.

Koyuncu, İ. ve vd., 2018,Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları,Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 554 s.

Koyuncu, İ. ve vd., 2013,Atık Su Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi. İstanbul: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 434 s.

Lenntech, 2018,https://www.lenntech.com/. [Çevrimiçi] Available at: https://www.lenntech.com/products/LG-Chem/LG-BW-4040-ES/LG-BW-4040-ES-Brackish-Water-RO-Element/index.html[%1 tarihinde erişilmiştir30 Aralık 2018].

Özbay, İ. ve Kavaklı, M., 2008,Türkiye'de ve Diğer Ülkelerde Arıtılmış Atıksların Geri Kazanım Uygulamalarının İncelenmesi,Kocaeli, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, pp. 1052-1065.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004,Gazete Resmi,[Çevrimiçi] Available at: http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.7221vesourceXmlSearch=veMevzuatIliski=0[%1 tarihinde erişilmiştir30 Aralık 2018].

Tabakcı, M., 2006,Toksik Anyon Ve Katyonların Kaliksarenler Kullanılarak Nanofiltrasyon Ve Adsorpsiyon Teknikleriyle Giderilmesi, Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 170 s.

Tanık, A., Öztürk, İ. ve Cüceloğlu, G., 2015,Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri, Ankara: Türkiye Belediyeler Birliği, 136 s.

Taş, B., 2013,Nanomalzemeler Kullanılarak Üretilen Düzplaka Membranların Ve Membran Biyoreaktörlerde (Mbr) Kullanılması Ve Biyokirlenme Davranışları, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 110 s.

TMMOB, 2016,Bor Raporu, Ankara: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, 62 s.

Üncü, Ü. R. ve Özkan , İ. F. Düz., 2014,Bor Çalıştayı,Ankara, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 180 s.

Uslu, A. S., 2010,Fonksiyonel Hale Getirilmiş PVC Esaslı Adsorban ile Sulu Çözeltilerden Bor Giderimi, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 53 s.

Uylaş, M., 2013,Seyitgazi Yöresi (Eskişehir) İçme Sularında Bor Seviyelerinin Araştırılması, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 74 s.

Yalçın, B., 2008,Membran Prosesler Kullanılarak Sulardan Bor Uzaklaştırılması, Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 73 s.

Yavuz, E., 2010,Jeotermal Sulardan Ters Ozmos Yöntemi İle Bor Giderimi, İzmir: Ege Üniversitesi, 134 s.

Yenmez, N., 2009, Stratejik Bir Maden Olarak Bor Minerallerin Türkiye için Önemi,Coğrafya Dergisi, Issue 19, pp. 59-94.

Zincir, E., 2013,Modifiye Edilmiş Perlit ile Atıksulardan Bor Giderimi, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 67 s.