

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**EGE BÖLGESİ JEOTERMAL SULARINDA LİTYUM,
BOR VE ARSENİK DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ
VE BU ELEMENTLERİN JEOTERMAL SULARDAN
SEÇİMLİ OLARAK AYRILMASI**

Pınar YANAR

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nalan KABAY

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 615.01.00

Sunuş Tarihi: 22.05.2015

Bornova-İZMİR

2015

Sayın Pınar YANAR tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Ege Bölgesi Jeotermal Sularında Lityum, Bor ve Arsenik Düzeylerinin İncelenmesi ve bu Elementlerin Jeotermal Sulardan Seçimli Olarak Ayrılması” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 22/05/2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

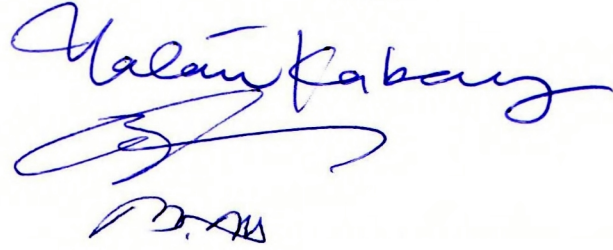
Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Nalan KABAY

Üye : Üye: Prof.Dr.Nuri AZBAR

Üye : Prof.Dr.Melek MERDİVAN

İmza



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Ege Bölgesi Jeotermal Sularında Lityum, Bor ve Arsenik Düzeylerinin İncelenmesi ve bu Elementlerin Jeotermal Sulardan Seçimli Olarak Ayrılması**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

22/05/2015

Pınar YANAR

ÖZET**EGE BÖLGESİ JEOTERMAL SULARINDA LITYUM, BOR VE ARSENİK DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ VE BU ELEMENTLERİN JEOTERMAL SULARDAN SEÇİMLİ OLARAK AYRILMASI**

YANAR, Pınar

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nalan KABAY (Kimya Mühendisliği Bölümü)

Mayıs 2015, 171 Sayfa

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük kısmı fosil kaynaklı enerji ürünleriyle karşılanmaktadır. Enerji kaynaklarının tükenmeye yüz tutması ve çevreye verdikleri zararlar nedeniyle yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları gündeme gelmiştir. Jeotermal enerji de bu kaynaklar arasında çevreci ve yenilenebilir bir kaynak olarak ön plana çıkmaktadır. Jeotermal sular enerji kaynağı olmanın yanı sıra, zengin mineraller içermesi nedeniyle birçok amaçla kullanılmaktadır.

Bu elementlerin sulardan geri kazanılması ve ekonomiye dönüştürülmesi oldukça önemli bir prosestir. Bor yüksek miktarlarda çevreye verildiğinde bitkilerde zehirlenmeye, bitki veriminin düşmesi, gibi birçok etkiye sebep olmaktadır. Ancak geri kazanıldığında endüstriyel alanda geniş kullanım alanına sahiptir. Arsenik ise çevreye verildiğinde kanser gibi tehlikeli hastalıklara sebep olurken geri kazanıldığında tıpta, dişçilikte kullanılabilir. Lityum ise hem pahalı hem de rezervleri azalmakta olan önemli elementlerden biridir. Geri kazanımı yapıldığında cep telefon bataryaları, nükleer füzyon yakıtı gibi endüstriyel uygulamalar da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, jeotermal sulardan membran filtrasyon ve iyon değiştirme yöntemleri birlikte kullanılarak bor, lityum ve arsenik elementlerinin seçimli olarak ayrılması amaçlanmıştır. Jeotermal su SDS Enerji AŞ. tarafından sağlanmıştır.

Jeotermal sudan membran filtrasyonu ile bu elementlerin ayrılması için laboratuvar ölçekli çapraz akışlı düz tabaka membran test ünitesi ((SEPA CF-II, GE) kullanılmıştır. 4 farklı membran (DL, CK, NF-90 ve BW-XLE) kullanılmıştır.

Membran çalışmalarının akabinde iyon değiştirme çalışmaları yapılmıştır. Bor ayrılması için bor seçimli Diaion CRB-02 reçinesi, arsenik ayrılması için ArsenX^{np} reçinesi kullanılmıştır. Lityum ayrılması için lityum seçimli inorganik λ -MnO₂ adsorbanı kullanılmıştır.

Anahtar sözcükler: Jeotermal su, bor, lityum, arsenik, membran filtrasyon, iyon değiştirici reçine, iyon değiştirici adsorban, lityum seçimli adsorban.

ABSTRACT

INVESTIGATION THE LITHIUM, BORON AND ARSENIC LEVELS IN AEGEAN REGION GEOTHERMAL WATERS AND SELECTIVE SEPERATION OF THESE ELEMENTS

YANAR, Pınar

Msc in Environmental Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Nalan KABAY (Chemical Engineering Department)

May 2015, 171 pages

Today, most of the energy need is met by fossil fuel based energy products. Decrease in current exhaustible fossil energy resources and environmental problems caused by some of these resources have brought forward the new and renewable energy resources. Thus, geothermal energy, being a resource which is renewable and environmental among these resources.

Geothermal waters can be utilized due to their rich mineral contents among an energy resource. The recovery of these precious minerals, is a very important process. Boron which exists in geothermal water is required for some metabolic activities of plants, but if the concentration of boron is high, it leads to adverse effects. However, when recovered boron, it has widely used area in industries. Arsenic is also a big problem for environment. Its toxicity and health hazards caused cancer and etc. diseases, but when recovered it can used in medicine and dentistry. Lithium is an expensive and important element because of its declining reserves. Lithium recovery from geothermal waters is important for industrial applications such as production of cell phones batteries and nuclear fusion.

In this study, selective separation of boron, lithium and arsenic from geothermal water using together membrane filtration and ion exchange-method was aimed. Geothermal water samples used were obtained from SDS Enerji AŞ.

A lab scale cross-flow flat-sheet membrane test unit (SEPA CF-II, GE) was used for membrane filtration of these elements from geothermal water. 4 different membranes membran (DL, CK, NF-90 and BW-XLE) are used in studies. After membrane studies, ion exchange studies starts. Boron and arsenic removal studies

were performed by Diaion CRB-02 and ArsenX^{np} ion exchange resins respectively. Lithium recovery studies were carried out by using lithium selective inorganic adsorbent (λ -MnO₂).

Key words: Geothermal water, boron, lithium, arsenic, membrane filtration, ion exchanger resin, ion exchanger adsorbent, lithium selective adsorbent.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ege Üniversitesi Rektörlüğü-BAP (Proje No: 2014-ÇSUAM-005) tarafından desteklenmiştir.

Yüksek lisans tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Nalan Kabay'a, çalışmalarımın başından beri bana yardımcı olan Prof. Dr. Mithat Yüksel'e, Dr. İdil Yılmaz İpek 'e, meslektaşlarım ve arkadaşlarım Selin Özgöz, Cüneyt Kaya, Gökhan Sert, Esra Altıok, Samuel Bunani, Arash Arianfar, Yeşim Soyoğlu, Seyhan Solak,'a çok teşekkür ederim. AAS analizlerinde yardımcı olan M. Akçay'a ayrıca teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarımda kullandığım jeotermal su örneklerini sağlayan SDS Enerji AŞ.'ye, beni her konuda destekleyen yöneticim Osman ŞEN ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam boyunca maddi ve manevi destekleriyle bana güç veren, ilgi ve sabırlarını benden esirgemeyen annem Semra YANAR, babam Erdem YANAR, ağabeyim Levent YANAR, eşi Hülya YANAR, minik Denizim ve Serhat SÖZAL'a ayrı ayrı çok teşekkür ederim.

Pınar YANAR

İZMİR, 2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Jeotermal Enerji.....	1
1.1.1. Dünyada jeotermal enerji	2
1.1.2. Türkiyede Jeotermal enerji.....	6
1.1.3. Jeotermal enerjinin kullanım alanları	7
1.2. Jeotermal Suların Çevresel Boyutu	8
1.2.1. Bor	8
1.2.2. Arsenik	12

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

1.2.3. Lityum	15
1.3. Jeotermal Sulardan Bor, Arsenik ve Lityum Elementlerinin Ayrılması	18
1.3.1. Bor ayırma yöntemleri	18
1.3.2. Arsenik ayırma yöntemleri	21
1.3.3. Lityum ayırma yöntemleri	23
1.4. Membran Filtrasyon Yöntemi	24
1.4.1. Mikrofiltrasyon (MF)	25
1.4.2. Ultrafiltrasyon (UF)	26
1.4.3. Nanofiltrasyon (NF)	26
1.4.4. Ters Ozmos (RO)	27
1.4.5. Membran Filtrasyonu ile Sulardan Bor, Lityum ve Arsenik Giderimi	31
1.5. İyon Değişirme Yöntemiyle Sulardan Bor, Arsenik ve Lityum Ayrılması	33
1.5.1. İyon değişirme yöntemiyle bor giderimi	33
1.5.2. İyon değişirme yöntemiyle arsenik giderimi	35
1.5.3. İyon değişirme yöntemiyle lityum ayrılması	36
1.6. Çalışmanın Amacı	39

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2. DENEYSEL	40
2.1. Materyal	40
2.1.1. Filtre Kağıdı	40
2.1.2. Membranlar	40
2.1.3. İyon değiştirici reçineler / adsorbanlar	42
2.1.4. Jeotermal sular ve kullanılan kimyasallar	45
2.2. Ekipmanlar	47
2.2.1. SEPA CF-II Membran test sistemi	47
2.2.2. Basınç / Vakum pompası	53
2.2.3. Katyon (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Li^+) analiz ekipmanı	54
2.2.4. Bor analizinde kullanılan ekipman	54
2.2.5. Silika ve amonyum analizinde kullanılan ekipmanlar	55
2.2.6. Anyon (Cl^- , SO_4^{2-}) analiz ekipmanı	55
2.2.7. pH metre	56
2.2.8. İletkenlik ölçer	56
2.2.9. Karıştırıcı	57

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.3. Temel hesaplamalar ve tanımlar	57
2.3.1. Giderim hesaplanması	57
2.3.2. Süzüntü akısının hesaplanması	57
3. YÖNTEM	58
3.1. Membran Testleri	58
3.2. Adsorpsiyon Testleri	59
3.3. Analizler	60
3.3.1. Bor analizi	60
3.3.2. Lityum analizi	61
3.3.3. Arsenik analizi.....	62
4. SONUÇLAR	63
4.1. Jeotermal Sulardan Kullanılan Membranlara Ait Süzüntü Akıları	63
4.2. Jeotermal Sulardan As, B ve Li'un Membran Filtrasyonla Giderilmesi.....	63
4.2.1 NF/RO Membranlarıyla iletkenlik giderimi.....	64
4.2.2. NF/RO Membranlarıyla toplam çözünmüş katı madde (TÇK) giderimi	64
4.2.3. NF/RO Membranına ait bikarbonat giderimi	65

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2.4. NF/RO Membranına ait tuzluluk giderimi	66
4.2.5. NF/RO Membranlarıyla silisyum giderimi	66
4.2.6. NF/RO Membranlarıyla amonyum giderimi	67
4.2.7. NF/RO Membranlarıyla sodyum giderimi	68
4.2.8. NF/RO Membranlarıyla potasyum giderimi	68
4.2.9. NF/RO Membranlarıyla lityum giderimi	69
4.2.10. NF/RO Membranlarıyla kalsiyum giderimi.....	70
4.2.11. NF/RO Membranlarıyla magnezyum giderimi.....	70
4.2.12. NF/RO Membranlarıyla ait sülfat giderimi	71
4.2.13. NF/RO Membranlarıyla klorür giderimi	72
4.2.14. NF/RO Membranlarıyla arsenik giderimi.....	72
4.2.15. NF/RO Membranlarıyla ait bor giderimi	73
4.3. Membran Süzüntülerinden ve Konsantre Bileşenlerinden İyon Değişirme Yöntemiyle As, B ve Li Ayrılması.....	74
4.3.1. Bor Ayrılması	74
4.3.2. Lityum Ayrılması	76

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
4.3.3. Arsenik Ayrılması	76
4.3.4. ArsenX ^{np} Reçinesi ile Lityum Adsorpsiyonu.....	77
4.3.5. Diaion CRB-02 Reçinesi ile Lityum Adsorpsiyonu	78
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA.....	80
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	84
ÖZGEÇMİŞ	94
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1.1. 1950-2015 Yılları Arası Kurulu Kapasite(MW) ve Elektrik Üretimi(GWh).....	5
1.2. Poliborat Türünün pH'ın fonksiyonu Olarak Dağılımı, 0.40M Borik Asit	9
1.3. Membran Prosesleri	25
1.4. RO Çalışma Prensibi	28
1.5: Bor Seçimli Bir Reçinenin Yapısı	33
1.6 : Spinel Lityum Manganez Oksit Yapısı	37
1.7: Lityum Manganez Oksit Faz Diyagramı	38
2.1 Spinel LiMn_2O_4 Yapısı (a) Kırmızı Dörtgen (8a) Li Atomları (b) Mavi Sekizgen Mn Atomları (16d) (c).....	43
2.2. Li ve $\lambda\text{-MnO}_2$ Adsorbanının Adsorpsiyon ve Sıyırma Mekanizmasının Şematik Olarak Gösterilmesi.	44
2.3. Laboratuar Ölçekli Sepa CF-II Membran Test Sistemi.....	48
2.4 Hücre Alt Gövdesi	48
2.5. Konsantre Vanası ve Konsantre Manometresi	49
2.6. Hücre Üst Gövdesi Ve Üretim Suyu Levhası.....	49
2.7. Hücre yuvası ve hidrolik el pompası	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
2.8. Besleme Tankı	51
2.9. Yüksek Basınç Pompası	52
2.10. KONTROL PANELİ	52
2.11. Basınç/Vakum Pompası.....	53
2.12. Filtrasyon Hunisi, Destek Bağlantısı, Filtrasyon Erleni, Basınç/Vakum Pompası	53
2.13. Varian 10 Plus atomik Absorpsiyon Spectrofotometresi.....	54
2.14. Jasco v-530 UV/VIS Spectrofotometresi.	54
2.15. Spectroquant Nova 60 Test Kit.....	55
2.16. Shimadzu LC-10 Aİ Model Kromatografi.....	55
2.17.Digital pH Metre (wtw pH 315i/set).....	56
2.18. Mettler Toledo İletkenlik Ölçer	56
2.19. Selecta – Unitronic OR Karıştırıcı.....	57
3.1. Membran Test Sisteminin Şematik Gösterimi.....	58
3.2. Azometin-H Yöntemine Ait Kalibrasyon Grafiği.....	61
3.3. AAS ile Lityum Ölçümüne Ait Kalibrasyon Grafiği.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
4.1. Membranların süzüntü akıplarının karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(◆), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	63
4.2. Membranların iletkenlik giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(◆), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	64
4.3. Membranların TÇK Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(◆),(■), BW-XLE (▲)	65
4.4. Membranların Bikarbonat Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(◆), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	65
4.5. Membranların Tuzluluk Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(◆), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	66
4.6. Membranların Silisyum Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(◆), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	677
4.7. Membranların Amonyum Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(◆), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	67
4.8. Membranların Sodyum Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(◆), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	68
4.9. MEMBRANLARIN POTASYUM GİDERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI CK-RO (●), DL-NF(◆), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	69
4.10. Membranların Lityum Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL- NF(◆), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
4.11.Membranların Kalsiyum Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(♦), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	70
4.12. Membranların Magnezyum Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(♦), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	71
4.13. Membranların Sülfat Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL- NF(♦), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	71
4.14. Membranların Klorür Giderimlerinin Karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(♦), NF-90 (■), BW-XLE (▲).....	72
4.15. Membranların Arsenik Giderimi CK-RO(●), DL-NF(♦), NF-90(■), BW-XLE(▲).....	73
4.16. Membranların Bor Giderimi CK-RO (●), DL-NF(♦), NF-90 (■), BW- XLE (▲).....	74
4.17. NF-90 Membranı Konsantre Ve Süzüntü Çözeltilisinden Diaion CRB-02 Reçinesiyle Bor Ayrılması.....	75
4.18. BW-XLE Membranı Konsantre Ve Süzüntü Çözeltilisinden Diaion CRB-02 Reçinesiyle Bor Ayrılması.....	75
4.19. Λ -mno ₂ ile BW-XLE ve NF-90 Membranlarının Konsantre Bileşenlerinden Lityum Ayrılması.....	76
4.20. BW-XLE ve NF-90 Konsantre Bileşenlerinden ArenenX ^{np} Reçinesi ile Arsenik Ayrılması	77

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
4.21. ArseneX ^{np} Reçinesi İle Lityum Adsorpsiyonu	78
4.22. Diaion CRB-02 reçinesi ile BW-XLE Membranının Süzüntü ve Konsantre Çözeltilerinden Lityum Ayrılması	78
4.23. Diaion CRB-02 reçinesi ile MF-90 Membranının Süzüntü ve Konsantre Çözeltilerinden Lityum Ayrılması	79
5.1. Akım Şeması.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
1.1: 2010 Yılı itibariyle toplam jeotermal kapasite ve kullanım	4
1.2. 2010 Yılı itibariyle jeotermal kullanımın kıtalara göre dağılımı	4
1.3. Bor ile ilgili genel bilgi.....	8
1.4. Arsenik ile ilgili genel bilgi	12
1.5. Lityum ile ilgili genel bilgi	16
1.6. Ticari öneme sahip lityum mineralleri.....	16
2.1. Whatman 41 nolu kağıt filtre özellikleri	40
2.2.CK-RO membran özellikleri.....	40
2.3. DL-NF membran özellikleri	41
2.4.NF-90 membran özellikleri.....	41
2.5.BW-XLE membran özellikleri	42
2.6 Diaion CRB-02'nin tipik kimyasal ve fiziksel karakteristik özellikleri	42
2.7. Arsenik seçici reçinenin kimyasal ve fiziksel karakteristik özellikleri	44
2.8. Kitlere ait ölçüm aralığı	45
2.9. M44 Jeotermal suyun kimyasal özellikleri	46

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge	Sayfa
2.10. M65 Jeotermal suyun kimyasal özellikleri	47
2.11. Membran ünitesi işletme şartları	50
2.12. Membran test ünitesi elemanlarının yapıldığı malzemeler.....	51
2.13. Cihaz ölçüleri ve ağırlıkları	51
3.1. Standart B çözeltilerin 415nm’de absorbans değerleri	61
3.2. Standart Li çözeltilerinin 415nm’de absorbans değerleri	62
5.1. Jeotermal sulardan %madde giderimlerinde membran performanslarının karşılaştırılması.....	80
5.2. BW-XLE ve NF-90 membranlarının süzüntü ve konsantre çözeltilerinde B ,Li ve As derişimleri.....	81
5.3. İyon değıştirme yöntemiyle % B ,Li ve As giderimi.....	81
5.4. İyon değıştirme sonucunda jeotermal suda kalan B ,Li ve As MİKTARLARININ EPA ve WHO deşarj limitleriyle karşılaştırılması	83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamaları
P	basınç (bar)
R	ideal gaz sabiti
T	sıcaklık (°C)
V	hacim
t	zaman (s)
δ	Film kalınlığı (mm)
ρ_i	suyun yoğunluğu (g/cm ³)
$\Delta \pi$	membran osmotik basınc değişimi
ΔP	membrane basınç değişimi
A	su geçirgenlik sabiti
B	tuz geçirgenlik sabiti
C	çözelti içindeki çözünen konsantrasyonu (mg/L)
C_{j0}	membranın besleme çözeltisindeki tuz konsantrasyonu
C_{j1}	membranın süzöntü çözeltisindeki tuz konsantrasyonu
I	ayırışma parametresi
J_i	su akısı
J_j	tuz akısı
R	giderim (%)
V_b	suyun molar hacmi
π	osmotic basınç
Φ	düzeltilme faktörü
C_s	Giderilen maddenin süzöntü suyundaki derişimi
C_b	Giderilecek maddenin besleme suyundaki derişimi

KısaltmalarAçıklamaları

IX

İyon değiştirme

MF

Mikrofiltrasyon

NF

Nanofiltrasyon

RO

Ters Osmoz

UF

Ultrafiltrasyon

1. GİRİŞ

Jeotermal enerji yerin derinliklerindeki kayalar içinde birikmiş olan ısının akışkanlarca taşınarak rezervuarlarda depolanması ile oluşmuş sıcak su, buhar ve kuru buhar ile kızgın kuru kayalardan yapay yollarla elde edilen ısı enerjisidir. Jeotermal kaynaklar yoğun olarak aktif kırık sistemleri ile volkanik ve magmatik birimlerin etrafında oluşmaktadır.

Dünyadaki enerji kaynakları; yenilenemez kaynaklar (kömür, petrol, doğal gaz, nükleer v.b. kaynaklar) ve yenilenebilir kaynaklar (hidrolik, biyomas, jeotermal enerji, rüzgar, güneş, gel-git, dalga, vb.) olarak iki bölüme ayrılabilir. Bunlardan yenilenebilir kaynaklar grubuna giren jeotermal enerji, ülkemiz için önemli bir yer tutmaktadır. Yapılabilecek çok önemli yatırımları türetebilen jeotermal enerjinin, ülkemizde değişik alanlarda kullanımında son 15 yıldır, % 60'ın üzerinde bir artış sağlanmıştır (Verel, 2003).

Jeotermal enerjinin fosil yakıtların yerine kullanılması sera etkisi yapan gaz emisyonlarının azalmasına neden olurken, çevreye fiziksel ve kimyasal zararlı etkileri olabilmektedir. Bu amaçla jeotermal arama, araştırma, geliştirme, kullanım, sondajlar (üretim - reenjeksiyon) ve kullanım sonrası bütün safhalar da; jeolojik göstergelerin mühendislik parametreleri ile birleştirilmesi, son derece disiplinli ve profesyonel ekip çalışmalarının yapılması, kaynağın en ekonomik, en verimli ve en sürdürülebilir şekilde işletilmesi için mutlaka modellenmesi, bu çevre dostu enerji kaynağımızın geleceği açısından hayati önem taşımaktadır. Böylece jeotermal enerjinin verebileceği zararlara karşı önlem alınması ile çevre dostu olması da sağlanmış olacaktır.

1.1. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji; yerkabuğunun derinliklerinde bulunan bir magma odağı tarafından ısıtılan, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş madde içeren sıcak su ve buharın taşıdığı ısı enerjisi olarak tanımlanabilir. Diğer bir deyişle jeotermal enerji; dışa bağımlı olmayan, yerli, yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmeyen, ucuz, güvenilir, çevre dostu ve yeşil bir enerji türüdür (Güneş, 2006) Jeotermal enerjinin, yeraltından üretilen diğer kaynaklardan farklı

olarak önemsenmesi gereken özelliklerinden birisi de dinamik bir yapıya sahip olmasıdır. Üç çeşit jeotermal sistemin varlığı saptanmıştır:

Sıcak Su Sistemi: Yeryüzünde sıcak su esaslı sistemler buhar esaslı sistemlerden yirmi kat daha fazla bulunmaktadır. Sıcak su sisteminde, derindeki hazne kaya içinde, yüksek sıcaklık ve basınç altında, erimiş kimyasal madde bakımından çok zengin, farklı kimyasal özelliklerde sular bulunmaktadır. Bu tür sistemlerden sondajlarla yeryüzüne çıkarılan sıcak su+buhar karışımından elde edilen buhardan elektrik enerjisi üretilmekte, buharı alınmış sıcak su ise, jeotermalin diğer kullanım alanlarında değerlendirilmektedir. Atık su yeraltına re-enjekte edilmektedir (Mertoğlu, 2000).

Kuru Buhar Sistemi: Buhar esaslı sistemler, sıcak su esaslı sistemlerden farklı olarak, çok fazla ısınmış, nem miktarı az sıcaklığı yüksek buhar üretirler. Bu tür buhar, bir enerji kaynağı olarak doğrudan jeotermal santrallere gönderilerek elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bir bakıma bunlar yer kabuğu üzerinde oluşmuş, birer doğal nükleer reaktör olarak kabul edilir (Mertoğlu, 2000).

Sıcak Kuru Kaya Sistemi: Yerküremizde özellikle genç, aktif volkanik kuşaklarda, jeotermal gradyanın çok yüksek olduğu bölgelerde, sıcak su içermeyen yüksek sıcaklığa sahip kızgın kuru kayalar bulunmaktadır. Bu tür sistemlere soğuk su basılarak sıcak su+buhar karışımı alınmakta ve enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Mertoğlu, 2000).

1.1.1. Dünyada jeotermal enerji

Jeotermal enerji, kaynaktan çıkarıldıktan sonra doğrudan veya dolaylı olarak kullanılabilir. Düşük sıcaklıklı (20-70°C) sahalar turizm, seracılık, endüstri, kimyasal madde üretimi, balık yetiştiriciliği gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Orta (70-150°C) ve yüksek sıcaklıklı sahalar (150°C'den fazla) ise başta elektrik üretimi, ısıtma-soğutma gibi alanlarda re-enjeksiyon şartlarına uygun olacak şekilde entegre olarak kullanılabilir.

Bir enerji kaynağı olan jeotermal enerji başlangıçta sadece kaplıca amaçlı kullanılırken, günümüzde geniş kullanım olanakları sunan bir enerji türüne dönüşmüştür. İlk çağlardan beri ilkel yollarla sağlık amaçlı olarak yararlanılan doğal

sıcak su kaynakları ilk defa 1827 yılında İtalya'da borikasit elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra 1904 yılında Larderello (İtalya) yöresinde yine ilk defa jeotermal buhardan elektrik üretimine başlanmış ve 1912 yılında gücü KWe (kilowatt elektrik) olan ilk turbo jeneratör kurulmuştur. 1930'larda ise bu enerji İzlanda'nın Reykjavik kentinde ısıtma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. 1949 yılında Yeni Zelanda Wairakei sahasında turistik bir otele sıcak su temini amacıyla başlanan sığ sondajlara daha sonra, elektrik enerjisi elde edebilmek amacıyla devam edilmiş ve 1954 yılında 200 MWe elektrik kapasiteli bir enerji santrali kurulmuştur. 1960'da Amerika'da, 1961'de Meksika'da ve 1966'da Japonya'da santraller kurularak jeotermal enerjinin kullanımı dünya çapında yayılmıştır. Dünya'da 1955'ten 2000 yılına kadar, jeotermal elektrik üretiminde %17, jeotermal elektrik dışı uygulamalarda ise %87 artış olmuştur (Williamson vd, 2001).

Dünyada jeotermal enerji kurulu gücü 2013 yılı Ağustos ayı itibariyle 11,766 MW'dır. Yıllık elektrik üretim miktarı yaklaşık 68,6 milyar kWh olup, jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülke; ABD, Filipinler, Endonezya, Meksika ve İtalya şeklindedir. Elektrik dışı kullanım ise 50.000 MW'tır. Dünya'da jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 ülke ise Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve Japonya'dır (GEA Nisan,2014). Jeotermalin doğrudan kullanımı 17174 MW termal olup, 3 milyon konut ısıtma eşdeğeridir. Dünyada 10 bin dönüm, Türkiye'de ise 500 dönüm jeotermal sera vardır. Şanlıurfa'daki yaklaşık 250 dönümlük jeotermal seradan Avrupa'ya ihracat yapılmaktadır (GEA Mayıs, 2010)

Jeotermal enerji kullanımı 438,071 TJ/yıl (121,696 GWh/yıl) olup 2005 yılından itibaren %60 artış ve yaklaşık %9,9 oranında yıllık büyüme göstermiştir (Çizelge1.2). Termal enerjinin kullanım dağılımına göre; % 49,0 ısı pompası, % 24,9 banyo ve yüzme, % 14,4 ısıtmacılık (%85' i merkezi ısıtma), %5,3 seracılık ve açık zemin ısıtmacılığı, % 2,7 endüstriyel proses ısıtması, % 2,6 su ürünleri yetiştirme havuzu ısıtması, % 0,4 tarımsal kurutma, % 0,5 kar eritme ve soğutma, % 0,2 diğer kullanımlar için değerlendirilmektedir. Enerji tasarrufu yılda 307,8 milyon varil (46,2 milyon ton) petrol eşdeğeridir. Ayrıca, 46,6 milyon ton karbon ve 148,2 milyon ton CO₂ gazının atmosfere karışmasını engellemiş sayılmaktadır. (Balıkesir Ün., 2014)

Dünyada, jeotermal elektrik santrali bulunan 27 ülke mevcuttur. Bu ülkelerden Yunanistan, Tayvan ve Arjantin'in ekonomik ve çevresel etkenler nedeniyle santrallerini kapatmaları sonucu, santral bulunan ülke sayısı bugün itibariyle 24

olmuştur. Dünya çapında jeotermal elektrik santrallerinin toplam kurulu kapasitesi Çizelge 1.1, 1.2 ve Şekil 1.1' de gösterilmiştir (Bertani, 2010).

Çizelge 1.1: 2010 yılı itibariyle toplam jeotermal kapasite ve kullanım (Balıkesir Ünv. , 2015)

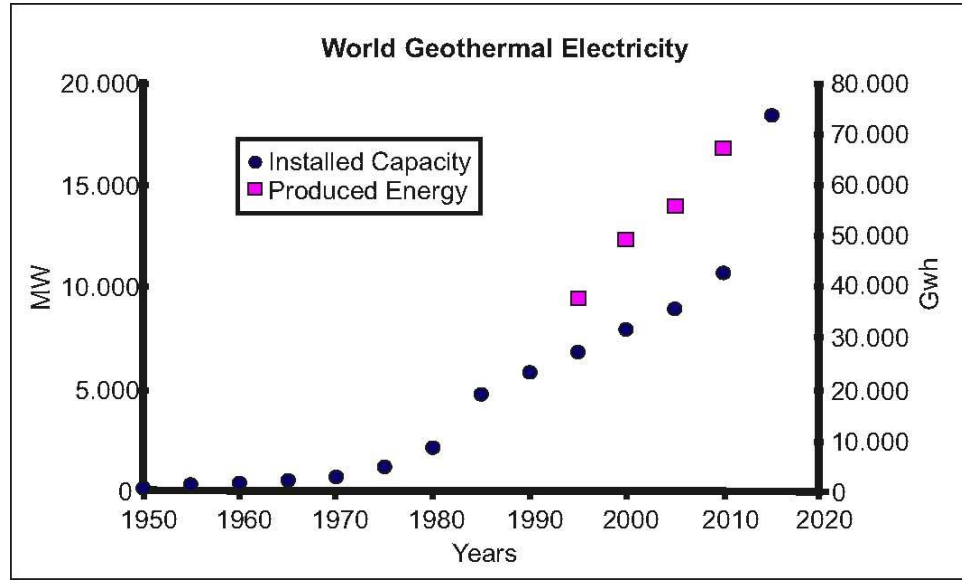
Kullanım	Kurulu Güç(MW)	Yıllık Enerji Kullanımı (GWh/yıl)	Kapasite Faktörü	Kullanım Olduğu Ülke Sayısı
Elektrik Üretimi	10,715	67,246	0,72	24
Doğrudan Kullanım	50,583	121,696	0,27	78

Çizelge 1.2: 2010 yılı itibariyle jeotermal kullanımın kıtalara göre dağılımı (Balıkesir Ünv. , 2015)

	Elektrik üretimi			Doğrudan Kullanımı		
Bölge	%MWe	%GWh/yıl	Ülkeler	% We	%GWh/yıl	Ülkeler
Afrika	1,6	2,1	2	0,1	0,6	7
Amerika	42,6	39,9	6	28,9	18,4	15
Asya	34,9	35,1	6	27,5	33,8	16
Avrupa	14,5	16,2	7	42,5	45,0	37
Okyanusya	6,4	6,7	3	1,0	2,2	3

Dünya çapında 78 ülkede jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı yapılmaktadır. Bu sayı, 1995 yılında 28, 2000 yılında 58, 2005 yılında 72 olarak kaydedilmiş olup son 15 yılda önemli bir artış göstermiştir. Güncel raporlar değerlendirilerek, 2009 yılı sonunda doğrudan kullanım için kurulu termal güç 50,583 MW olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, 2005'ten günümüze yaklaşık 79% luk bir artışı, yıllık % 12.3 büyümeyi ve yıllık 0,27 kapasite faktörünü göstermektedir (Çizelge 1). Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımının ulusal enerji bütçesine katkısı özellikle İzlanda ve Türkiye' de göze çarpmaktadır. İzlanda' da ülkenin ısıtma ihtiyacının %89'u (neredeyse tüm yıl boyunca olan ihtiyaç) jeotermal enerji ile karşılanır. Bu durum ayrıca ülkeye petrol ithalatında 100 milyon ABD\$ tasarruf sağlamaktadır.

Türkiye kurulu kapasitesini (çoğu merkezi ısıtma sistemi olmak üzere) son beş yıl içinde 1,495 MW'tan 2,084 MW değerine çıkartmıştır (Lund, 2006).



Şekil 1.1: 1950-2015 yılları arası kurulu kapasite(MW) ve elektrik üretimi(GWh) (Balıkesir Üniv. , 2015)

2000 yılından bugüne Costa Rica, Karayipler Fransız Guanası, İzlanda, Endonezya, Kenya, Meksika ve Filipinler' de ise yeni santraller kurulmuştur. 2004 yılında Almanya'da 210 kWe ikili sistem, Papua Yeni Gine'de 56 MWe kapasitesinde santral kurulmuştur. Rusya Kamçatka'da 50 MWe kapasiteli yeni bir santral tamamlanmıştır. Yakın zamanlarda, Alaska Chena Hot Springs Resort'ta 74°C jeotermal su ve 4°C soğutma kullanımıyla 200 kW lık bir ikili tesisi kurulmuştur (Lund, 2006)

Jeotermal enerji kullanımı fosil yakıt kullanımı ile yer değiştirmekte ve sera gazı salınımına engel olmaktadır. Jeotermal enerjinin elektrik üretimi ile yer değiştirdiğini düşünürsek dönüşüm verimliliği 0,35 (%35) olarak tahmin edilmektedir. Fosil yakıtlardan tasarruf, dünya tüketiminin yaklaşık üç günlük (1%) eşdeğeridir. (Bertani, 2010)

Jeotermal elektrik üretimindeki büyüme ve gelişme son 40 yıl içinde önemli derecede (yıllık %3-11 arasında) artış göstermiştir. Aynı dönem içinde doğrudan kullanım ise değişme olmaksızın yıllık %10 büyümeyeyle devam etmiştir. Gelecekte,

birleşik ısı ve elektrik santrallerinin gelişmesi büyük önem arz edecektir. En büyük büyüme ise dünyanın her yerinde uygulanabileceği için, jeotermal ısı pompalarının kullanımı ve kurulumu üzerine olacaktır.

1.1.2. Türkiyede jeotermal enerji

Jeotermal enerji ülkemiz için oldukça önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Türkiye jeotermal potansiyel açısından dünyanın ilk 7 ülkesi arasına girmektedir. Türkiye'nin muhtemel jeotermal potansiyelinin tamamı kullanıldığında getireceği ekonomik kazanım yılda 10 milyar \$ değerinden fazladır. İlk ticari jeotermal elektrik santrali 20,4 MW gücünde Denizli-Sarayköy'de kurulmuştur. 2008 yılından itibaren ise jeotermal santral yatırımları hızlanarak devam etmektedir. Aydın, Manisa, İzmir, Denizli, Kütahya ve Çanakkale ilinde birçok elektrik santrali hizmete girmiş ya da kurulum aşamasındadır. 2013 yılı Kasım ayı itibariyle toplam 242 MW'lık elektrik santrali devreye alınmıştır; aynı zamanda 440 MW'lık elektrik santrali de inşaat halindedir. Önümüzdeki bir kaç yıl içerisinde elektrik enerjisi üretiminin toplam 1000 MW'ı bulması öngörülmektedir. Bu dönemde Türkiye'nin jeotermal elektrik üretim kapasitesi Avrupa'da 1., Dünya'da ise 5. sıraya yükselecektir. Ayrıca, bu sahalarda elektrik üretimine entegre olarak, karbondioksit üretimi, merkezi ısıtma, kurutma, seracılık v.b. jeotermal uygulamalar gerçekleştirilmektedir (ŞEN,2013).

Türkiye'nin teorik olarak eski yıllarda hesaplanan toplam jeotermal kapasitesi resmi kayıtlarda 31.500 MW olarak belirtilmiştir. Ancak bu potansiyelin çok daha fazla olduğu son yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya çıkmıştır. Yerli ve yabancı bilim çevrelerinin öngörüsü Türkiye potansiyelinin 60.000 MW ve üzerinde olduğu şeklindedir. Jeotermal elektrik üretim kapasitesinin ise yeni geliştirilen sahalarla birlikte 3000 MW civarında olacağı tahmin edilmektedir (Enerji Bakanlığı,2015).

Türkiye, Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer aldığından oldukça yüksek jeotermal potansiyele sahip olan bir ülkedir. Ülkemizin jeotermal potansiyelini oluşturan alanların % 79'u Batı Anadolu'da, % 8,5'i Orta Anadolu'da, % 7,5'i Marmara Bölgesinde, %4,5'i Doğu Anadolu'da ve % 0,5'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynaklarımızın %94'ü düşük ve orta sıcaklıklı olup, doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, mineral eldesi v.s.) için uygun olup, % 6'sı ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur (EPDK, 2013).

Jeotermal enerji arama çalışmaları son yıllarda canlandırılmış, 2013 yılı sonu itibarı ile Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından bugüne kadar 576 adet, 328.711 m sondajlı arama yapılarak 227 adet saha keşfedilmiş ve doğal çıkışlar hariç, açılan kuyularda 4.900 MWt ısı enerjisi elde edilmiştir (EPDK, 2013).

Ülkemizde, son yıllardaki artışla turizm ve sağlık amaçlı termal tesis sayımız 350'ye ulaşmıştır. Ayrıca 2002 yılında 500 dönüm olan sera ısıtması, 2013 yılı sonu itibarıyla 2924 dönüme; 2002 yılında 30.000 olan konut ısıtması, 2013 yılı sonu itibarıyla 89.443 konuta yükselmiştir (EPDK, 2013).

Jeotermal enerjiyle üretilebilecek elektrik potansiyelimiz ise teorik olarak yaklaşık 2.000 MWe olarak tahmin edilmektedir. 2013 yılı sonu itibarıyla, EPDK'dan üretim lisansı almış olanlarla birlikte ülkemizin jeotermal elektrik üretim potansiyeli 706,4 MWe'e ulaşmıştır. Bu rakamın 2018 yılı sonuna kadar 1.000 MWe'e ulaşması beklenmektedir. Ülkemizde 31 Mart 2015 tarihli TEİAŞ verilerine göre, 12 adet jeotermal enerji santralimiz mevcut olup, kurulu gücümüz 427,4 MWe düzeyine ulaşmıştır (TEİAŞ, 2015).

1.1.3. Jeotermal enerjinin kullanım alanları

Yenilenebilir ve temiz enerji olarak görülen jeotermal enerjinin, oldukça geniş kullanım alanına sahip olması ve entegre kullanılabilmesinin yanı sıra dünyada ve ülkemiz genelinde üretimi ve kullanımı, diğer enerji kaynakları kadar olmasa da dikkat edilmemesi halinde ekolojik dengeyi önemli etkileyebilecek pek çok çevresel ve sosyo-ekonomik etkileri de beraberinde getirmektedir. Jeotermal kaynakların başlıca kullanım alanları;

- Elektrik üretiminde,
- Şehir ısıtma ve soğutmada,
- Tropikal bitki ve balık yetiştirilmesinde,
- Hayvan çiftlikleri, cadde ve havaalanı pistlerinin ısıtılmasında,
- Yüzme havuzu, termal tedavi merkezleri ve diğer turistik tesislerde,
- Yiyeceklerin kurutulması ve sterilizasyonunda, konservecilikte,
- Kerestecilik ve ağaç kaplama sanayiinde, kâğıt ve dokuma endüstrisinde ağartmada,
- Derilerin kurutulması ve işlenmesinde,

- Şeker, ilaç, pastörize süt fabrikalarında,
 - Akışkan içindeki kimyasal maddelerin eldesinde,
 - Tuzlu sulardan ve deniz sularından kimyasal maddelerin elde edilmesinde,
 - Yüksek mineralli suların kozmetik sanayinde kullanılması;
- şeklinde sıralanabilir.

1.2. Jeotermal Suların Çevresel Boyutu

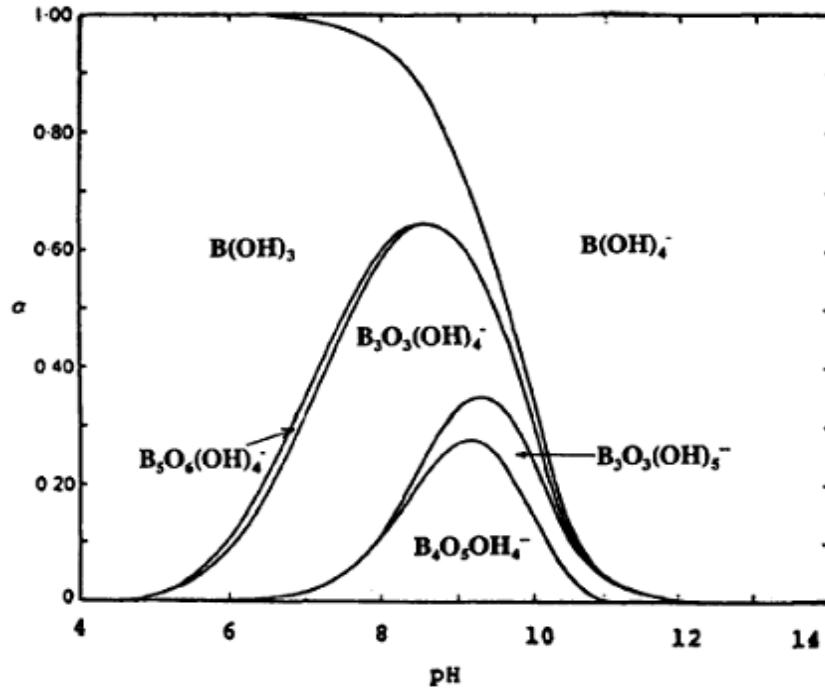
1.2.1. Bor

Bor kayalarda, toprakta ve suda bol miktarda bulunan elementlerden biridir. Kayalardaki bor derişimu bazaltlarda 5 ppm'den, şeyllerde 100 ppm'e kadar bir değişim göstermektedir ve toplamda yer kabuğunda ortalama 10 ppm'dir. Topraklarda bor derişimu 2 ile 100 ppm arasındadır. Deniz suyunda ise ortalama 4,6 ppm bor bulunmaktadır ancak bu oran 0,5 ppm ile 9,6 ppm arasında değişim göstermektedir. Tatlı sudaki bor miktarı normalde 0,01 ppm'den küçük olmakla beraber, bu miktar toprakları yüksek miktarda bor içeren bölgelerde 1,5 ppm'e kadar ulaşır (Morgan, 1980; Woods, 1994). Yiyecek maddeleri, insanların bor tüketimi için bir numaralı kaynaklardır. Son zamanlardaki araştırmalara göre Amerika Birleşik Devletlerinde bir yetişkin, günde ortalama 1 mg bor tüketmektedir. En yüksek miktarda bor bulunduran besin maddeleri meyveler ve fındıktır (Parks ve Edwards, 2005). Bor ile ilgili genel bilgiler Çizelge 1.3'te verilmiştir.

Çizelge 1.3: Bor ile ilgili genel bilgi (Yılmaz, 2012)

Sembol	B
Atom Numarası	5
Atom Ağırlığı	10,811(7) g/mol
Erime Noktası	2349 K (2076 °C)
Kaynama Noktası	4200 K (3927 °C)
Sınıflandırma	Metaloidler
Yogunluk	2,34 g/cm ³
Renk	Koyu kahverengi ve/veya siyah

Yüksek derişimde, bor içeren bor minerallerinde bor, her zaman oksijene bağlanmış bileşikleri halinde bulunur. Bor mineralleri genellikle geçmişinde volkanik ve hidrotermal bir aktivite geçirmiş kıraç bölgelerde bulunur. Borun değişken kimyası ve önemi, boratların trigonal ve tetrahedral bağlanma modelleri oluşturmalarına ve biyolojik açıdan önemli organik fonksiyonel gruplarla kompleks oluşturmalarına bağlıdır. Borik asit dağılımı pH'a bağlı bir fonksiyondur; pH 9,24'ün üzerinde ise suda bulunan tür çoğunlukla $B(OH)_4^-$ anyonu iken, pH 9,24'ün altında ise yüksüz $B(OH)_3$ halindedir. Borik asit suda çözünebilir (5,5 g/100 g çözeltisi, 25°C) ve çözünürlüğü sıcaklık arttıkça artar (Okay vd.,1985). 0,02 M'dan (216 mg/L B) az derişimlerde, yalnızca mononükleer maddeler, $B(OH)_3$ ve $B(OH)_4^-$ bulunur. Polinükleer iyonlar veya halkalı yapılar daha yüksek derişimlerde bulunabilir (Power ve Woods, 1997). Şekil 1. 2 borun polinükleer iyonlarının pH'a karşı dağılımını göstermektedir.



Şekil 1.2: Poliborat türünün pH'ın fonksiyonu olarak dağılımı, 0.40M borik asit (Abu Ali vd., 2005)

1.2.1.1. Borun endüstriyel işlevi

Bor, mekanik özellikleri nedeniyle cam yünü ve cam endüstrisinde kullanılmaktadır. Bor oksit, camın genleşme katsayısını düşürür böylece borosilikat daha yüksek bir şok rezistansa sahip olur. Ayrıca, bor cama yüksek bir dayanıklılık sağlar (Woods, 1994).

Bor, deterjanların ve ağartıcıların üretilmesinde de kullanılmaktadır. Sodyum perborat biçimindeki bor deterjanlara ağartıcı etkeni olarak eklenir. Sodyum perboratın hidrolizi hidroperoksit iyonu oluşturur (Parks ve Edwards, 2005). Aktifleştirici bir madde olmadan bu işlem sadece 60°C'den yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Ayrıca, üreaz enzimini engelleyerek amonyak oluşumunu önlediği için kokuyu azaltmak amacıyla bebek bezlerine ve hayvanların yatması için kullanılan otlara eklenmiştir (Woods, 1994).

Borun nükleer özellikleri nedeniyle de birçok işlevi vardır. Element halinde bor, büyük nötron yakalama tesir kesiti sayesinde nükleer reaktörlerin alaşım kontrol çubuklarında kullanılır (Okay vd.,1985). Aynı özellik tıp kurumlarının ^{10}B 'u kanser hastalarının tedavisinde, nötron yakalama adı verilen bir yöntemle kllanmasını sağlanmıştır.

Son yıllarda yapılan bir yenilik de, patenti Millennium Cell, Inc. tarafından alınan, borun yakıt hücresi olarak kullanılmasıdır. Sodyum borhidrür suda çözünür ve bir katalizörün üzerinden geçirilerek sıvı boraks ve hidrojen gazı oluşturulur. Sonra, hidrojen yakıt hücresinde kullanılarak elektrik ve suya dönüştürülür (Parks ve Edwards, 2005). Borhidrür yakıt hücresinin avantajı hidrojenin her istenildiğinde üretilabiliyor olması ve diğer yakıt hücrelerinde olduğu gibi bir depolama sorununun olmamasıdır. Açıkça görülen dezavantajı ise, boraksın borhidrür biçimine geri dönüştürülmesi gerektiğidir (ABC News, 2001). Rohm ve Haas, sodyum borhidrürün, ABD'deki tek üreticisidir. Borhidrür üretimi, borik asidin trimetilborata, sodyumun sodyum hidrüre dönüştürüldüğü ve trimetilboratın (TMB) sodyum hidrürle tepkimeye girerek sodyum borhidrür oluşturduğu karışık bir tepkime serisinden oluşur (Mannsville Kimyasal Ürünler A.Ş., 1999). Halen, bazı tasarımcılar bu teknolojinin önümüzdeki on yılda da varlığını sürdüreceğini düşünmektedir (Nisan, 2002).

1.2.1.2. Borun sağlık etkileri

Bitkilerde bor eksikligi ve bor zehirlenmesi arasında kucuk bir aralik vardır (Parks ve Edwards, 2005). Bor, karbonhidrat metabolizmasında, şeker translokasyonunda, polen çimlenmesinde, hormonların aktifleşmesinde, meristemin normal büyümesinde ve işleminde, nükleik asit sentezinde ve membran yapısı ve işlevinde rol almaktadır (Howe, 1998). Bor eksikliğinin belirtileri arasında kökün ve yaprakların büyümesinin durması, kabukların ayrılması, enzimli tepkimelerin gecikmesi, polen çimlenmesinin azalması ve hatta bitki ölümü bulunmaktadır (Wells ve Whitton, 1977). Bitkilerde bor zehirlenmesinin başlangıç evreleri, yaprak uçlarından başlayarak yaprağın sarımtıraklaşmasını kapsamaktadır. Ölen sararmış dokuların ardından yaprak kaybı gelir. Bu da bitkinin fotosentez kapasitesinde ve üretkenliğinde azalmaya sebep olur (Lovatt ve Dugger, 1984).

Bor eksikligi, pH'ı yüksek sert topraklarda görülebilir çünkü bu koşullar altında bor kolay tutulabilecektir (Howe, 1998). Bor zehirlenmesi de bor açısından zengin topraklarda veya borla kirlenmiş sulama sularına maruz kalmış veya bor açısından zengin gübrelerin fazla uygulandığı, çamurlu pis suya maruz kalmış veya uçucu küllerin olduğu topraklarda görülebilir (Nable vd., 1997). Bazı bitkiler, bora diğerlerinden daha duyarlıdır (Parks ve Edwards, 2005). Duyarlı bitkiler, sadece 0,3 mg/L bor içeren sulama sularına dayanabilirler, diğer daha dayanıklı bitkilerse 4 mg/L bor içeren sulama sularında bile yaşayabilirler (Keren ve Bingham, 1985). Bor besinsel açıdan hayvanlar için önemlidir. Bor, çenedeki uzun kemiklerin büyüme plaklarının olgunlaşmasını arttırmaktadır (Hunt, 1994).

Borun, özel biyokimyasal bir işlevi belirlenemediği için, insanların beslenmesinde gerekli bir element olduğu saptanmamıştır (Nielsen, 2000). Ancak, bu olayı kanıtlamak için, çok güçlü ikincil bir bulgu vardır. Bor, insanlarda, kalsiyum metabolizmasında ve kullanılmasında önemlidir (Nielsen, 2004). Borun diğer faydaları, beyin fonksiyonunun gelişmesini, psikomotor tepkileri, menopoz sonrası bayanlarda östrojen alımının tepkilerini kapsamaktadır (Nielsen, 1992). Borun, sağlıklı kemik ve eklemlerin oluşmasında rol oynadığı kanıtlanmıştır (Newnham, 1994). Newnham çalışması ve daha başka birçoğu, borun kireçlenmenin önlenmesinde ve tedavisinde etkili olduğunu göstermektedir.

1.2.2. Arsenik

Arsenik elementinin yerkabuğunda dağılımı incelendiğinde, volkanik aktivitenin yoğun olduğu alanlar, kükürt yatakları, fosil ve güncel hidrotermal ve jeotermal akışkanlarda epitermal altın yatakları, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki akiferler, kıtasal rift zonlarındaki skarn zonları ve kıtasal borat yatakları en belirgin jeolojik ortamlardır. (Helvacı, 2008) Arsenik elementi ile ilgili genel bilgiler Çizelge 1.4’te verilmiştir.

Çizelge 1.4: Arsenik ile ilgili genel bilgi (Wikipedia,2015)

Sembol	As
Atom Numarası	33
Atom Ağırlığı	74,9216 (2) g/mol
Erime Noktası	1090 K (817°C)
Kaynama Noktası	887 K (617 °C)
Sınıflandırma	Metaloitler
Yogunluk	5.727 g/cm ³
Renk	Metalik gri

Arsenik (As), içlerinde element halinde arsenik, sülfürler, oksitler, arsenatlar ve arsenitleri de kaplayan 200 den fazla mineralde esas bileşen olarak bulunur. Bunlardan pek çoğu cevher minerali ya da ayrışma ürünleridir. Bu minerallere doğal çevrede az rastlanılmaktadır. Arsenik cevher mineralleri, kadmiyum, kurşun, gümüş, altın, antimuan, fosfor, volfram ve molibdenle birlikte yüksek oranda geçiş metallerini de barındırır (Smedley ve Kinniburgh, 2007).

Arsenik elementinin doğal sulardaki oranları çok geniş bir aralığa sahip olup, 0,5 ppm’den az ve 5000 ppm’den fazla oranlara kadar çıkabilmektedir. Arsenik elementince zengin yeraltısuları yerel olarak jeotermal alanlarda ve sülfid minerallerinin oksidasyona uğradığı maden işletme faaliyetlerinin bulunduğu alanlarda yaygındır.

Yeraltı suyunun kalitesi her zaman kayaçlar ve topraklardan gelen iz elementlerin doğada bulunuşu ve hazne kayaçlardaki olumsuz jeokimyasal tepkimelere bağlı olarak garanti de edilemez. Bu iz elementler yeterince yüksek

miktarlara ulaştığında toksik etkiler gösterebilir. Yeraltı sularındaki en başta gelen doğal kirleticilerden birisi de arseniktir. Uzun dönemde ortaya çıkabilecek sağlık riskleri yönünden içme sularındaki en tehlikeli kirletici olan arsenik Uluslararası Kanseri Araştırma Kurumu (IARC)'na göre insanlarda kansere sebep olan element olarak belirtilmiştir (Atabey, 2009).

Yeraltı sularında bulunan kadmiyum, cıva, kurşun gibi toksik eser elementlere göre arsenik, hem yükseltgen hem de indirgen koşullarda ve doğal sularda belirli pH değerlerinde (pH 6,5-8,5) karakteristik olarak bulunan hareketli bir elementtir. As doğada genellikle üç değerlikli arsenit As (+3) ya da beş değerlikli arsenat As (+5) oksianyonları şeklinde bulunmaktadır (Smedley ve Kinniburgh, 2002).

Dünyada yeraltısularında arsenik problemi olan ülkeler arasında Arjantin, Şili, Meksika, Hindistan (Batı Bengal), Bangladeş, Kuzey Çin, Tayvan, Vietnam, Macaristan, Romanya ve batı ABD'deki yeraltı suyu hazne kayaları gösterilebilir. Ülkemizde yeraltı sularına arsenik bulaşmış olan ve risk taşıyan yöreler olarak Emet-Hisarcık (Kütahya) havzası, Nevşehir ile İzmir yöreleri, Ege ve Orta Anadolu grabenleri, jeotermal kaynaklar ile madencilik etkinlikleri olan yöreler sayılabilir.

Ülkemizde, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, atıkların kentsel düzenli depolama sahalarına kabul edilebilmeleri için As içeriğinin 0.05-0.2 ppm olması gerekmektedir. (Resmi gazete 25755, 2005)

1.2.2.1. Arseniğin endüstriyel işlevi

Arsenik, pestisit, herbisit ve akarisit formülasyonlarında, yağlı boya sanayinde, seramikçilik ve ağaç koruyucusu olarak, sülfürik asit üretiminde, kanatlı ve domuz yemlerinde katkı maddesi olarak, kanser ilaçlarında, dişçilikte (As_2O_3) kullanılan toksik bir elementtir. Tüm bu alanlar, arseniğin besinlere bulaşmasına sebep olmaktadır. Arseniğin bir sistemden diğer bir sisteme geçişi genellikle su ile olmaktadır. Evsel atıklar ve tarım gibi insan aktiviteleri sonucu su arsenik ile kontamine olabilmektedir (Welch vd., 2000, Nordstrom, 2002, Edvantoro vd., 2003; 2004, Bolan vd., 2006, McLaren vd., 2006).

1.2.2.2. Arseniğin sağlık etkileri

Arsenik, yer kabuğunun doğal oluşumuna katılan elementlerdendir. Bu nedenle tđm canlılarda ve ekosistemlerde iz halinde bulunur. Ancak canlılardaki bulunma dđzeyi; endđstriyel etkinliklere, canlının beslenme koşulları ve beslenme şekline gđre değişir. Bu doğrultuda insan ve hayvanlara yansıyan arsenik derişimi giderek artmaktadır (Klassen vd., 1991). Arsenik embriyolarda kronik etkilere, DNA hasarlarına veya kanserlere sebep olabilir (Dons ve Beck 1993, Berg vd. 1997). Ayrıca doğal sularda arsenik bazı mikroorganizmalar tarafından çeşitli formlarına dđnđřtđrđlmekte ve bđylece arsenik biyotayı çeşitli şekilde tehdit etmektedir (He vd., 2009).

Deniz řrđnlerinde arsenik miktarı tolerans sınırının (2,6 ppm) đstđnde olmaktadır. Örneğin yengeçte 4,8 ppm, planktonda 11,2-49,4 ppm arsenik saptanmıştır (Vural 2005). İçme suyunda kabul edilebilir arsenik derişimi Dđnya Sağlık Örgđtđ (WHO 1993) ve Avrupa Birliği verilerine gđre; 10 $\mu\text{g/L}$; Çevre Koruma Ajansı'na gđre 5 $\mu\text{g/L}$ 'dir (EPA, 2010).

Sigara dumanı, birçok bđcek ve ot öldürücü tarım ilacı, insanlardaki pek çok hastalıkta daha önce kullanılmış olan bazı ilaçlar ile günümüzde akut promiyelositik lösemi tedavisinde kullanılan ilaçlarda (arsenik- As_2O_3) arsenik içermektedir. Deniz canlılarından bazıları (balıklar, midye ve istiridyeler) organik arsenik bileşiklerini önemli miktarlarda doğal olarak biriktirirler. Bu nedenle insanlar deniz řrđnlerini tüketerek organik arsenik bileşiklerine maruz kalabilirler. Organik arsenik bileşikleri genelde vücutta daha az değişikliğe uğrar ve daha hızlı atılırlar. İnorganik arsenik bileşiklerine gđre toksisiteleri daha azdır (Atabey, 2012).

Toprakta 0,1-0,5 mg/kg, bitkilerde 0,1-1,0 mg/kg, bazı hayvan dokularında 0,1-0,5 mg/kg, doğal sularda 0,2-1,0 $\mu\text{g/L}$ arsenik bulunmaktadır. Arsenik, çözeltiler içerisinde arsenit (As^{+3}) ve arsenat (As^{+5}) katyon kompleksleri oluşturarak bulunmaktadır. Üç değerlikli arseniğin beş değerlikli arseniğe gđre daha toksik olduğu bilinmektedir. Ayrıca içme sularındaki inorganik arsenik bileşiklerinin besinler içerisinde bulunan organik arsenik bileşiklerine gđre çok daha zehirli olduğu kabul edilmektedir. İnorganik arseniğe solunum yoluyla insanların etkilenmesi, başlıca madencilik ve kömür santrallerinde ve sigara kullanımı ile olmaktadır. İnorganik arsenik, uzun dönemde ortaya çıkabilecek sağlık riskleri yönünden içme

sularının en tehlikeli kirleticisidir. Bu nedenle içme sularındaki arsenik kirliliği, 70'den fazla ülke ve yaklaşık 137 milyon insanın sağlığını olumsuz olarak etkileyen küresel bir tehdit olarak algılanmaktadır. Çünkü 57 milyon insanın içme sularındaki As düzeyinin 50 µg/L'nin üzerinde, 137 milyon insanın içme sularında As'nin 10 µg/L'nin üstünde olduğu belirtilmiştir (Ravenscroft, 2007).

Yüksek derişimlerdeki arsenik ile kirlenmiş içme sularını uzun süreli kullanma, geniş ölçekte sağlık sorunlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bunlar deride hipo/hiper-pigmentasyon ve hiperkeratoz, vasküler hastalıklar, gözde konjunktivit, nöropati, kronik öksürük ve deride melanom olmayan kanser ve iç organ kanserleri (başta akciğer ve mesane olmak üzere) olarak özetlenebilir. Birçok ülke 1997 öncesindeki litre başına 50 µg/L düzeyinde arsenik içeren suları kullanmayı sürdürmesine karşın, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 1997 yılından sonra içme sularında kabul edilebilir arsenik değerini litre başına 10 µg/L değerine düşürmüştür. Çoğu yeraltı suyu bu değerlerin altında arsenik içermesine rağmen, birçok yeraltı suyu yüksek arsenik oranları içermektedir (Atabey, 2012).

1.2.3. Lityum

Lityum, Yunanca 'da taş anlamına gelen "lithos" isminden gelmektedir. Bu ismin verilmesinin nedeni lityumun bir mineral kaynağında keşfedilmesi, ancak diğer önemli IA grubu elementleri olan sodyum ve potasyumun bitkisel kaynaklarda keşfedilmesidir. Lityumun ilk tanımlanması 1817 yılında Johan August Arfvedson'un daha sonra spodümen [$\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$] olarak adlandırılan mineral üzerinde yaptığı çalışmalar sonucu olmuştur. Alkali metallerin ilk elementi ve en hafifidir (Büyükburç vd., 2002). Öteki alkali metallerin tersine, canlı dokularda bulunmaz. Oldukça elektropozitiftir. Havada hemen reaksiyon verir, hatta alevlenerek Li_2O meydana getirir. Bu yüzden gaz yağı veya inert gaz ortamında saklanır. Oda sıcaklığında katıdır. Lityum ile ilgili genel bilgiler Çizelge 1.5'te verilmiştir.

Çizelge 1.5: Lityum ile ilgili genel bilgi (Wikipedia, 2015)

Sembol	Li
Atom Numarası	3
Atom Ağırlığı	6.941(2) g/mol g/mol
Erime Noktası	453.69 K (180.54 °C)
Kaynama Noktası	1615 K (1342 °C)
Sınıflandırma	Alkali metaller
Yogunluk	3 g/cm ³
Renk	Beyaz

Lityumun yeryüzündeki ortalama derişimi yaklaşık %0,006 oranında olup dünyanın litosfer ve hidrosfer katmanlarında bulunmaktadır. Deniz suyunda yaklaşık 0,1 ppm lityum olduğu sanılmaktadır. Lityumun doğadaki ana kaynakları killer, mineraller ve salamuralar (tuzlu yeraltı suları) olup, ticari ölçekte üretimi mineraller ve salamuralardan yapılmaktadır. Yaklaşık 150'den fazla lityum mineralinin varlığı bilinmesine rağmen, bunların çok azının ticari olarak önemi bulunmaktadır. Ticari olarak öneme sahip lityum mineralleri; spodümen, petalit, lepidolit ve amblygonit olarak adlandırılmaktadır. (Çizelge 1.6) Bu bileşikler kayaçların içerisinde eser miktarlarda bulunmaktadır. Lityum kayaçların %2-6'sını oluşturmakta, ancak bu bölgelerde bulunan salamuralarda lityum miktarı 50-200 ppm arasında değişmektedir. Bu yüzden lityumun kazanımında bu su kaynakları kullanılmaktadır (Miyai vd., 1987).

Çizelge 1.6: Ticari öneme sahip lityum mineralleri (Sailer, 2000)

Mineral	Formül	Teorik % LiO ₂	Ticari % LiO ₂
Spodümen	LiAl(Si ₂ O ₆)	8,0	1,5-7,0
Lepidolit	K ₂ (LiAl) ₅₋₆ [Si ₆₋₇ Al ₂₋₁ O ₂₀ (OH,F) ₄]	Değişken	3,0-4,0
Petalit	LiAl(Si ₄ O ₁₀)	4,9	3,0-4,5
Amblygonit	LiAl(PO ₄)(F,OH)	10,1	8,0-9,0

Salamuralardan lityum kazanımı, madencilik yöntemlerine göre hem daha ucuz hem de daha kolaydır. Salamuralardan lityum kazanımı için gerekli olan lityum

miktarı, mineraller ve killere göre çok daha azdır. Lityum kazanımı için en önemli parametre Mg:Li oranı olup, bu oranın en çok 6:1 olması istenmektedir. Bu oran arttıkça, proses maliyeti de artmaktadır. Lityumun sanayi için kullanılan en önemli bileşiği Li_2CO_3 olup, hem mineral hem de salamuralardan elde edilmektedir.

Lityum mineralleri ile bunların işlenmesi ve göllerden direkt olarak elde edilen Li_2CO_3 çeşitli endüstri sektörlerinde hammadde olarak kullanılmaktadır. Lityum mineralleri üretiminde Avustralya (Gwalia), Zimbabve (Bikita) ve Kanada (Tanco) sırasıyla 150.000 ton, 55.000 ton ve 21.000 ton üretim kapasiteleriyle dünyada en önemli üretici konumunda yer almaktadırlar (Tamlin vd., 2002). Li_2CO_3 üretiminde ise Salar de Atacama'daki salamuralardan üretimi gerçekleştiren SQM Chemicals ilk sırada yer almaktadır. (Büyükburç, 2003)

Kurşunlu alaşımları yataklama malzemesi olarak kullanılır. Alüminyumlu alaşımları korozyona dayanıklıdır. Isı kapasitesinin yüksek oluşu nedeniyle ısı aktarımında lityumdan yararlanır. Lityum karbonat, diğer lityum bileşiklerinin elde edilmesinde, lityum bromür ve klorür ise nem çekici olarak da kullanılır.

1.2.3.1. Lityumun endüstriyel işlevi

Lityumun çok çeşitli endüstrilerde kullanım alanı bulunmakta olup; seramik, cam, alüminyum, yağ, eczacılık ve pil sektörü bunlar içerisinde en önemlilerindendir. Ayrıca çeşitli metallerle alaşımlar da oluşturmaktadır (Li-Al, Li-Mg alaşımları). Seramik sektöründe lityum karbonat ya da mineral olarak kullanılan lityum, erime sıcaklığının ve ısıl genleşme katsayısının düşmesini sağlarken, akışkanlığı da artırmaktadır. Ayrıca lityum kullanılması ile daha toksik bileşiklerin kullanılmasının önüne geçilmektedir. Amerika'da piroseramik sektörü lityum talebinin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır.

Düşük demir içerikli spodümen ile petalit camın fiziksel özelliklerini artırmaktadır. Cam üreticileri, beher ve şişe cam üretimlerinde lityumu kullanarak daha hafif ve daha ince kalınlığa sahip ürünler elde etmektedirler. Lityum karbonat ya da lityum florit alüminyum potalara katılarak verimin artmasını sağlamaktadır. Ucuz olması dolayısıyla lityum karbonat daha çok tercih edilmektedir. Hücreye eklenen lityum karbonat, kriyolit ile reaksiyona girerek daha az yakıt tüketimini ve daha iyi

akım verimini sağlamaktadır. Ayrıca flor emisyonlarının da %20-30 kadar azalmasına neden olmaktadır (Büyükburç, 2003).

Lityum bileşikleri A vitaminin sentezinde ve manik depresif hastalığının tedavisinde kullanılmaktadır. Gres yağı sektöründe kullanılan lityum bileşikleri, yüksek sıcaklık aralıklarında bile çalışma imkanı sağlamakta olup, suya karşı direncin artmasını da sağlamaktadır. Yüksek enerji yoğunluğu, düşük kütle ve diğer çevresel ve performans özellikleri lityumun, ikincil ( arj edilebilen) pil sektöründe taşınabilir elektronik cihazlardan araçlar için g   sağlayıcı olmasına kadar geniş bir aralıkta kullanımını sağlamaktadır. Li-metal anotların kullanımı kolayca yanıcı hale gelmesinden dolayı zamanla durdurulmasına rağmen polimerik Li-iyon elektrolitleri kullanarak bu problemin ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Pil sektöründe lityumun kullanımının artacağı düşünülmektedir. Lityum-Alüminyum alaşımları düşük yoğunlukları ve elastik modüllerinin daha yüksek olmasından dolayı diğer alüminyum alaşımlarına göre uçak gövdesinde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. (Tamlin, 2002)

1.2.3.2. Lityumun sağlık etkileri

Lityum basta duygu durum bozuklukları olmak üzere psikiyatride pek çok hastalıkta ve notropeni tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı lityum bileşikleri, beyin rahatsızlıkları ve psikolojik hastalıkların tedavisinde kullanılan ilaçların içeriğinde yer alır. (Eker ve Eker, 2010) Endüstride geniş bir kullanım alanı olmasına karşın mesleki zehirlenme seyrektrir. İlaç olarak kullanıldığında, terapotik indeksinin dar olması ve diğer ilaçlarla etkile mesi nedeniyle sıklıkla zehirlenmeye yol acar. Lityum tedavisi alan olguların yaklaşık %75-90'ı, tedavilerinin herhangi bir döneminde hafif zehirlenme belirti ve bulguları gösterir (Biyotip,2015)

1.3. Jeotermal Sulardan Bor, Arsenik ve Lityum Elementlerinin Ayrılması

1.3.1. Bor ayırma yöntemleri

Sulardan bor giderimi için uygulanan temel yöntemler arasında çökeltme-koagülasyon, adsorpsiyon, elektrokoagülasyon, iyon değişimi, RO yer almaktadır. Ancak bu yöntemlerle bor gideriminde meydana gelen bazı kısıtlardan dolayı standartlar sağlanamamaktadır. Bu yöntemler, özellikle düşük bor derişimlerinde

çeşitli sınırlamalara sahiptir. Mesela, RO yöntemi, normal pH şartlarında jeotermal sulardan bor giderimi için yetersiz kalmaktadır. Bu yöntemde pH'ın yükseltilmesi bor giderimini arttırsa da, yüksek pH tortu oluşturma, korozyon ve yüksek maliyet gibi dezavantajlara sahiptir. Elektrokoagülasyon yöntemi ile yapılan bir çalışmada bor gideriminde alüminyum, demir ve çinko elektrot denenmiş ve yüksek bor derişimlerde % 90'ın üzerinde verim elde edilmiştir. Herhangi bir kimyasal madde ilavesi gerektirmeden ve oldukça makul bir elektrik enerjisi tüketimi ile (maksimum 0,8 kWsaat/m³) yüksek bor giderme verimi elde edilmesi laboratuvar ölçekli modellerden tam ölçekli modellere geçiş için umut verici olmuştur. (Başkan ve Atalay, 2012)

Sulardan bor giderimi amacıyla gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise kimyasal koagülasyon yöntemi ile elektrokoagülasyon yöntemi karşılaştırılmıştır. Elektrokoagülasyon yönteminde alüminyum elektrotların, kimyasal koagülasyon yönteminde ise koagülant olarak alüminyum klorürün kullanıldığı çalışmalarda, elektrokoagülasyon ile çok daha yüksek bor giderme verimi elde edilmiştir. Elektrokoagülasyon yöntemi ile optimum koşullarda elde edilen verim % 90'ın üzerinde iken, kimyasal koagülasyon kullanılarak sadece %24 verim elde edilebilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda yüksek uygulama ve rejenerasyon maliyetine rağmen içme sularından bor giderimi için en uygun yöntemin borat anyonları ile kompleks oluşturan bor seçici reçinelerin kullanımı olduğu görülmüştür. Ancak bu yöntemle bor giderimi çok da ekonomik olmadığı için daha etkili ve ekonomik bir teknolojiye ihtiyaç duyulmaktadır. (Ayhan, 2006)

Son yıllarda, bazı sorpsiyon prosesleri, bazı yeni materyallerin kullanılmaya başlanmasından dolayı sulardan toksik maddelerin gideriminde etkili yöntemler olarak önem kazanmışlardır.

Günümüzün ticari bor seçimli reçineleri (BSR), öncelikle N-metil-D-glukamin (1-amino-1-deoxy-D-glucitol; NMG) fonksiyonel grubuna sahip, makroporus, çapraz bağlı polistiren reçinelerdir, bir litre reçine hacmine 0.9 mol NMGye sahipken, bor için işletme kapasiteleri nedense daha düşüktür. Kullanılabilir işletme kapasitesi, büyük ölçüde, beslemedeki bor miktarına, işletim akış hızına, rejenerasyon verimine ve çıkış bor konsantrasyonunu kesme sınırına dayanır (Marston vd., 2005).

Standart iyon değiştirme prosesinin aksine, bor seçimli reçinelerin NMG grupları, boru kovalent kimyasal tepkime ve kompleks oluşum ile yakalarlar. Geniş bir pH aralığında, borik asit, daha kararlı olan sis-diol borat ester kompleksi oluşturmak için, bir sis-diol çiftinin fonksiyonel grubuyla birleşir (Marston vd., 2005).

Bor giderimi prosesinde, BSR bor tutma kapasitesini doldurduğunda, polimere bağlı sis-diol borat ester kompleksi hidrolize uğrar ve bor asitle yıkanarak reçineden sıyrılır. Bu boru serbest bırakan hidroliz 1.0'den dūřuk pH'larda nispeten daha kolaydır; bu nedenle, borik asitin BSR'den, hızlı ve tamamen sıyrılması için nispeten daha yüksek konsantrasyonlarda asit gerekir (Marston vd., 2005).

NMG fonksiyonel grubu, stirenik omurgaya tersiyer nitrojen köprü atomuyla bağlandığından, sıyırma basamağında fazladan asite ihtiyaç duyulur. Asitle tepkimeye girip konjuge asit tuzunu oluştururken tersiyer amin atomunun hidronyum iyonu isteğini gidermek için litre BSR başına 0.9 mol asit gereklidir. NMG nitrojenlerinin fazla asit tüketmesinin sonucu olarak, sıyırma prosesi için, tek başına hidroliz için gerekenden, daha çok asit gerekir. Sadece, NMGnin köprüleme nitrojen atomları protonlarla birleştikten sonra, asit, boru serbest bırakan hidroliz tepkimesini hızlandırmaya yetecek miktarda, sis-diol borat ester kompleksleri etrafında toplanır (Marston vd., 2005).

Aslında borun tamamen sıyrılması, sıyırma asidinin iki yatak hacminden biraz fazlasıyla gerçekleşebilir. Bu yöntem yaygın olarak kullanılan, birkaç yatak hacminde 1 M sülfirik asit ve birkaç yatak hacmi yıkama suyu gerektiren yöntemden (Kunin ve Preuss, 1964) belirgin şekilde farklıdır. Ayrıca, bor sıyrılmasında farklı sülfirik asit konsantrasyonları da araştırılmıştır (Samatya, 2002).

Recepoglu ve Beker (1991) ve sonra da Nadav (1999), alkali rejenerasyonu olmadan, tek aşamalı sıyrılma ihtimalini araştırmışlardır. Yüksek tamponlu besleme stokları için tek aşamalı (sadece asit sıyrılması) proses ekonomik olsa bile dūřuk tamponlu besleme, SWRO sznts gibi, için Kunin ve Preuss'un (1964) klasik koşullarına benzer, 2 aşamalı (asit sonra da baz) sıyrılma/rejenerasyon protokolü en iyi performansı getirmiştir.

İyon değiştirici proseslerde, bor tuzunun zayıf dağılımı, gl bazık iyon değiştirici gerektirmektedir, böylece çözeltideki bütün anyonlar tutulacaktır. Bu da çok büyük rejenerasyon maliyetlerine neden olacaktır. Bu nedenle, bor seçimli iyon değiştirici, ekonomik olarak bor gideriminin tek çözümüdür (Kunin ve Preuss, 1964).

Su ve atıksuların adsorpsiyon yöntemi ile arıtımında düşük maliyetli ve kolaylıkla elde edilebilir materyallerin kullanılması ile ilgili son yıllarda oldukça fazla araştırma bulunmaktadır. Adsorpsiyon, düşük kirletici derişimlerinde nispeten daha kullanışlı ve ekonomik bir yöntemdir.

1.3.2. Arsenik ayırma yöntemleri

Sulardan arsenik giderimi için uygulanan temel yöntemler arasında oksidasyon, konvansiyonel koagülasyon/filtrasyon (KF), koagülasyon destekli mikrofiltrasyon (KM), oksidasyon/filtrasyon, kireç-soda ve iyon değiştirme yöntemleri yer almaktadır. Ancak bu yöntemlerle arsenik gideriminde meydana gelen bazı sorunlar nedeniyle standartlar sağlanamamaktadır.

Oksidasyon ile arseniğin arıtımında kimyasal form önemli olmaktadır. Yeraltı suyunda arsenik genellikle arsenit (As^{3+}) olarak bulunduğu için, sudan etkin biçimde uzaklaştırılabilmesi amacıyla öncelikle arsenat (As^{5+}) formuna dönüştürülmesi gereklidir. Arsenata yükseltgenme işlemi, yükseltgeyici madde (oksidan) ilavesi ile arıtma prosesinin başında gerçekleşir. Oksidasyon ile sudaki arsenik giderilmez, ancak arsenitin arsenata yükseltgenerek takip eden süreçlerde (kimyasal çöktürme, filtrasyon, membran süreçler, vb.) uzaklaştırılması sağlanır. (Alparslan vd., 2010)

Konvansiyonel Koagülasyon/Filtrasyon (KF) sürecinde sudaki katı maddeler ve kolloidler uzaklaştırılır. KF sürecinin koagülasyon aşamasında, tanecikler yumak oluşturacak şekilde bir araya gelir, oluşan yumaklar keltim havuzlarında ve/veya granüler malzemenin bulunduğu konvansiyonel filtrelerde tutularak sudan uzaklaştırılır. Kullanılan koagülant, taneciklerin bir araya gelmesini engelleyen yükleri nötralize ederek itme etkisini azaltır ve taneciklerin yumak oluşturmasını kolaylaştırır. En yaygın kullanılan koagülanlar demir ve alüminyum tuzlarıdır. Uygun işletme koşullarında demir veya alüminyum tuzları ile çok yüksek oranda ($> \%90$) arsenik giderimi elde edilebilmekte ve arsenik derişimi $1 \mu g/L$ seviyesinin altına inebilmektedir (Cheng vd., 1994).

Koagülasyon işlemi sonrasında çökebilir forma dönüştürülen arsenik bileşikleri çökeltim veya filtrasyon gibi işlemlerle sudan ayrılır. Konvansiyon arıtma süreçlerinde klasik filtreler ile gerçekleştirilen bu fiziksel ayırma işlemi KM yönteminde membran kullanılarak (mikrofiltrasyon) yapılır. Konvansiyonel filtreler yerine mikrofiltrasyonun kullanılması mikrobiyolojik etkenlerin etkin biçimde uzaklaştırılması, boyut olarak küçük yumakların dahi membran yüzeyinde tutulması (daha az koagülan kullanılması), arıtma tesisi kapasitesinin artması gibi bazı yararları olduğu belirtilmektedir (Muilenberg, 1997).

Oksidasyon/Filtrasyon (OF) içme suyu demir ve mangan giderimine yönelik olarak kullanılan bir sistemdir. Proses, özellikle yeraltı sularında çözünmüş formda bulunan demir ve manganın oksidasyonu ile çökebilir bileşiklerin oluşması ve ardından filtrelerde bu bileşiklerin tutulması prensibiyle çalışmaktadır. Suda arsenik bulunduğu anda öncelikle çözünmüş demir ve arsenik (As^{3+}) okside olmakta, ardından arsenik (As^{5+}) demir hidroksit bileşiklerine adsorplanarak filtrelerde tutulmaktadır (Alparslan vd., 2010).

Kireç-Soda (KS) yöntemi, koagülasyon flokülasyon çökeltim işlemlerinin uygulandığı bir kimyasal arıtma sürecidir. Temelde sertlik gidermek için kullanılmakla birlikte, bu süreçte arsenik giderimi de sağlanabilmektedir. KS yönteminde arsenat giderimi kalsiyum karbonat, magnezyum hidroksit ve demir hidroksit oluşumuyla kontrol edilir. Kalsiyum karbonat ve magnezyum hidroksit, sertlik giderimi işleminde kireç ve kostik soda eklenmesiyle oluşur. Demir hidroksit ise suda doğal olarak bulunan veya koagülant olarak dışarıdan eklenen demir iyonlarının hidroksil iyonlarıyla birleşerek çökmesiyle meydana gelir. Kimyasal arıtma süreçlerinde verimi etkileyen pH, başlangıç derişimi, suda bulunan diğer iyonlar, karıştırma süresi gibi faktörler KS sürecinin de verimini etkiler. Yapılan çalışmalar As^{5+} formundaki arsenik bileşiklerinin daha yüksek verim ile arıtılabildiğini ortaya koymaktadır. KS ile yumuşatma yönteminde As^{5+} ve As^{3+} arıtımı için optimum pH sırasıyla yaklaşık 10,5 ve 11 olarak ifade edilmektedir (Alparslan vd.,2010).

1.3.3. Lityum ayırma yöntemleri

Deniz suyu, tuzlu su ve jeotermal sulardan lityumun geri kazanımında adsorpsiyon, iyon değişimi, solvent ekstraksiyonu ve birlikte çöktürme gibi birçok yöntem kullanılmaktadır (Chitrakar, 2001). Bu yöntemlerden, iyon değiştirme işleminde kullanılan reçineler çok etkili değildir. Bunun nedeni sularda diğer tuzların yüksek miktarda bulunması ve sudaki lityumun oldukça düşük derişimde olmasıdır. Lityum miktarı düşük olduğu için reçineler tarafından giderilememektedir. Ancak bazı inorganik iyon değiştiriciler lityum için yüksek seçicilik gösterirler (Abe ve Chitrakar, 1987).

Lityum iyonlarına yüksek seçiciliği olan inorganik adsorbanlara lityum iyon eleği adı verilir. Düşük zehirlilik, düşük maliyet, yüksek kimyasal kararlılık ve yüksek lityum adsorpsiyon kapasitesi gibi dikkate değer özellikteki lityum iyon elekleri, tuzlu göl sularından ve deniz suyundan lityum iyonunun geri kazanılması için uygundur. İnorganik adsorbentler içinde, spinel-tür sulu mangan oksit, lityum iyonlarına karşı yüksek ilgisinden dolayı kullanılan bir adsorbandır. λ - MnO_2 , $\text{MnO}_2[0.31\text{H}_2\text{O}]$ ve $\text{MnO}_2[0.5\text{H}_2\text{O}]$ sırasıyla LiMn_2O_4 , $\text{Li}_{1.33}\text{Mn}_{1.67}\text{O}_4$, $\text{Li}_{1.6}\text{Mn}_{1.6}\text{O}_4$ 'den elde edilmekte ve bu adsorbanlar sulu çözeltilerden lityumu adsorblamada yüksek performans göstermektedirler (Ma vd., 2011).

Son yıllarda, deniz suyundan lityumun seçimli olarak geri kazanımında, katyon değiştirici reçine ve çözücü emdirilmiş reçineler birlikte kullanarak araştırmalar yapılmıştır (Nishihama vd., 2011). Ayrıca farklı özütleyici reaktif karışımlarının emdirilmesiyle hazırlanan çözücü emdirilmiş reçinelerle elde edilen sinerjik etkiyle, lityumun seçimli olarak adsorpsiyonu incelenmiştir (Onishi vd., 2010).

Son birkaç yılda, yüksek sıcaklıklarda çalışıldığında meydana gelen kapasite kayıplarını gidermek ve lityum mangan oksit bileşiklerini geliştirmek için birçok çalışmalar yapılmıştır. (Premanand vd., 2002; Striebel vd., 2002; Tucker vd., 2002; Hwang vd., 2002). Ancak, lityum iyon pillerinde pozitif elektrot olarak kullanılan lityum mangan oksit, yüksek sıcaklıkta bozunmaktadır. Bu duruma da karbon negatif elektrodunda ciddi kapasite kayıplarının olmasına ve lityum mangan oksitten çözünen mangan iyonlarının karbon elektrotu üzerinde çökerek birikmesine neden olmuştur (Tsunekawa vd., 2002). Bu yüzden pozitif elektrot olarak lityum

manganez oksit kullanıldığında mangan çözünmesini engellemek amacıyla farklı malzemeler kullanılarak araştırmalar yapılmaktadır. Mangan çözünmesiyle ilgili literatürde bir çok çalışma ile karşılaşılmaktadır (Xia vd., 1997; Lee vd., 2000; Yamane vd., 2001; Yamane vd., 2002; Saitoh vd., 2003).

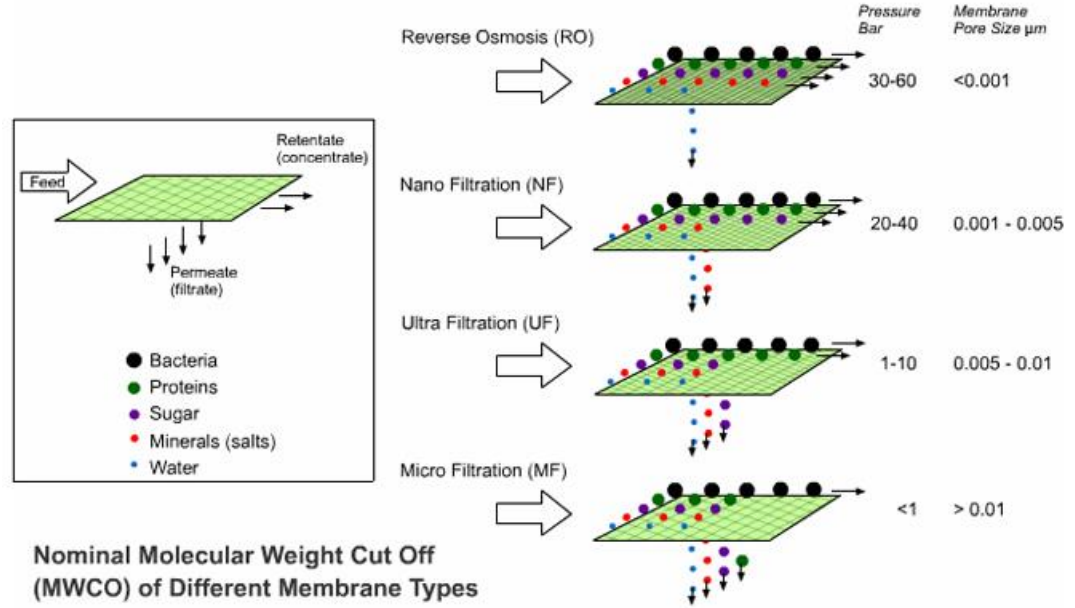
$\text{Li}_{1.33}\text{Mn}_{1.67}\text{O}_4$ 'ten türetilen spinel tip manganez oksit $\text{MnO}_2 \cdot 0,31\text{H}_2\text{O}$, sulu çözeltilerde lityuma karşı yüksek seçiciliğe ve yüksek kararlılığa sahip olduğu için lityum seçici adsorban olarak kullanılabilir (Miyai vd., 1994). Chitrakar vd. (2001) $\text{Li}_{1.6}\text{Mn}_{1.6}\text{O}_4$ 'ten çıkarak yeni bir lityum seçici adsorban olan $\text{MnO}_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ geliştirmiştir. Bu yeni manganez oksit bileşiği iyon değiştirme kapasitesinin diğer mangan oksitlerden daha fazla ve kimyasal kararlılığı sadece tetravalent manganez içerdiğinden dolayı yüksek olması nedeniyle iyi bir adsorban olmuştur (Chitrakar vd., 2001).

Salar de Atacama'daki Lityum üretim sisteminde, lityum içeren salamura 30m derinlikteki kuyulardan pompalanıp, güneş enerjisi ile buharlaştırma yapılarak iyon derişimi artırılmaktadır. Daha sonra CaCl_2 katılarak sülfat iyonunun jips olarak çökmesi sağlanmaktadır. Magnezyum, potasyum ve sodyumun sülfat olarak çökmeleri sağlandıktan sonra, tikner ve santrifüj yöntemiyle çok daha yoğun lityum içeren salamura elde edilmektedir. Bu salamuranın lityum içeriği %4-6 arasına kadar artırılmış olup, içinde safsızlık olarak bor ve magnezyum bulunmaktadır. Li_2CO_3 çöktürülmeden önce bor uzaklaştırılır ve magnezyumda kireç ve soda külü ile yapılan iki aşamalı çöktürme işlemi ile prosesten ayrılır. İyice saflaştırılmış salamura doymun soda külü çözeltisi ile reaksiyona sokularak Li_2CO_3 çöktürülür. Salar de Atacama'daki gölün magnezyum/lityum oranı 6,4 olmasına rağmen, lityum içeriğinin çok yüksek olması ve bölgenin kurak olmasından dolayı buharlaştırmanın kolayca sağlanması nedeniyle proses çok ekonomiktir. Yine bu salamuradan lityum eldesi sırasında ayrılan bor tuzları daha sonra sülfürik asit ile reaksiyona tabi tutulup, borik asit (H_3BO_3) elde edilmektedir (Büyükburç, 2003).

1.4. Membran Filtrasyon Yöntemleri

Membranlar seçici bariyer görevi yapmaktadırlar. Membran özelliğine göre, su içerisinde bulunan maddelerden bazıları geçerken bazıları da geçişini tamamlayamaz ve membran tarafından bloke olur. Suyun membrandan geçişi için itici kuvvete ihtiyaç

vardır. Su arıtımında bu kuvvet çoğunlukla basınçtır. Basınç etkisiyle çalışan membran prosesleri Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Membran Prosesleri (Esc, 2015)

1.4.1. Mikrofiltrasyon (MF)

MF ile uzaklaştırılan partiküller yaklaşık 0.1-1 mikron aralığındadır. Genelde askıda katı maddeler ve büyük kolloidler MF ile sudan ayrılırken makro moleküller ve çözünmüş maddeler membrandan geçer. MF uygulamaları arasında bakterilerin, flok maddelerin veya askıda katı maddelerin uzaklaştırılması sayılabilir. Transmembran basıncı 0.7 bardır (Kitiş vd., 2009a).

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

1.4.2. Ultrafiltrasyon (UF)

UF ile bütün çözülmüş tuzlar ve küçük moleküller membrandan geçer. UF ile uzaklaştırılan maddeler arasında kolloidler, proteinler, mikrobiyolojik kontaminantlar ve büyük organik moleküller vardır. Bu membranların moleküler ağırlık cut-off (kesme) değerleri 1000-100.000 arasındadır. Transmembran basıncı 1-7 bardır (Kitiş vd., 2009a).

UF başlıca, tekstil endüstrisi atık sularının arıtılması ve boyarmadde geri kazanımında, kağıt endüstrisi atık sularının arıtılmasında, metal endüstrisinde yağ emülsiyonlarının konsantre edilmesi ve atık su geri kazanımında, deri endüstrisi atık sularının arıtılmasında ve geri kazanımında (yağ, protein ve metal) kullanılmaktadır (Kaya, 2007).

1.4.3. Nanofiltrasyon (NF)

Yaklaşık 1 nm büyüklüğündeki partikülleri uzaklaştırır. Bu yüzden “nanofiltrasyon” olarak adlandırılır. NF, MF ve RO arasında çalışır. Bu yöntem ile molekül ağırlığı 200-400’den büyük organik moleküller sudan ayrılır. Aynı zamanda çözülmüş tuzların % 20-98’i uzaklaştırılır. Tek değerlikli anyonları olan (monovalent) tuzlar (NaCl , CaCl_2) %20-80 oranında uzaklaştırılırken çift değerlikli anyonları olan (divalent) tuzlar % 90-98 oranında ayrılırlar. Tipik uygulamalar arasında; yüzey sularından renk ve toplam organik karbonun uzaklaştırılması, kuyu suyundan sertlik ve radyumun uzaklaştırılması, gıda ve atıksu uygulamalarında organik maddelerin anorganik kısımdan ayrılması sayılabilir (Kitiş vd., 2009a).

NF membranları ile tek değerlikli tuzların büyük bir kısmı tutulmamaktadır. Daha az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu dirençten dolayı, MF ve UF’den daha yüksek basınçlarda işletilirler. NF membranları ile genellikle 5-30 bar arasında çalışılır. NF prosesi ters ozmos (RO) prosesine göre daha düşük işletme basınçlarında çalışmaktadır. Ters ozmos’dan farklı olarak yüksek tuz konsantrasyonlarında ve daha düşük basınçlarda bile yüksek akı sağlanabilmektedir. Fakat tuz giderme verimi ter ozmos membranlarından oldukça düşüktür. UF ile karşılaştırıldığında ise NF ile daha yüksek miktarlarda organik madde giderimi gerçekleşmektedir (Kaya, 2007).

NF prosesi ile sulardan sertlik ve pestisit giderilmesi, tekstil endüstrisinde atıksuların arıtılması ve boyarmadde 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, makina yıkama sularının arıtılması ve geri kazanılması alanlarında yapılmış çalışmalar bulunmaktadır (Kaya, 2007).

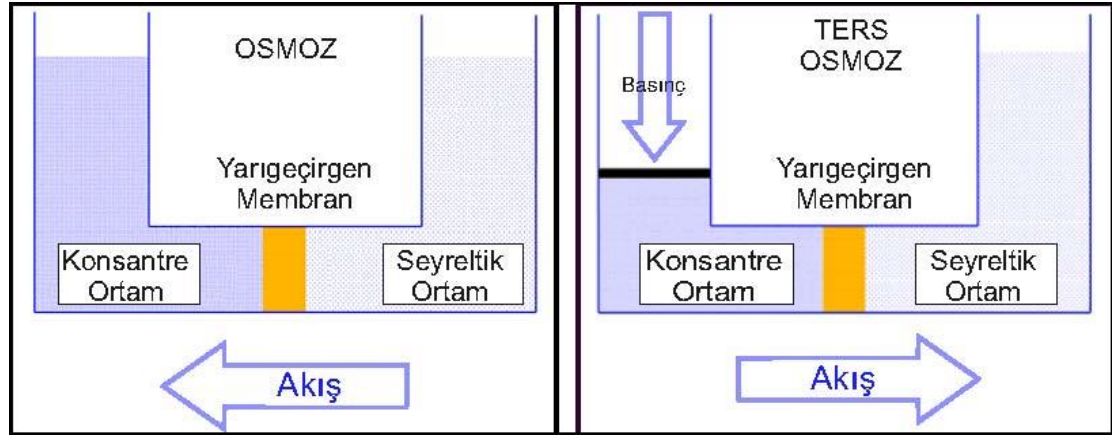
1.4.4. Ters Ozmos (RO)

RO yöntemi ile arıtım, ticari olarak ilk kez 1968 yılında kullanılmıştır ve son 20 senedir çok ciddi bir gelişme göstermiştir. Bu fark edilir ciddi gelişimde yapılan çalışmaların etkisi büyüktür. Bugün yüzlerce üretim prosesinde, atık su arıtımı ve su saflaştırma işlemlerinde düşük işletme maliyetleri ile efektif arıtımı mümkün kılan RO teknolojileri mevcuttur. RO sistemi suda çözünmüş iyon halindeki katyonların ve anyonların bile sudan ayrılmasını sağlar.

Literatürde RO yöntemi ile alakalı birçok çalışma bulunmaktadır. Baltasar Penate ve Lourdes Garcia Rodriguez (2012), RO yöntemiyle deniz suyu arıtımı teknolojilerinin tasarımında bugünkü ve gelecekteki eğilimleri incelemişlerdir. Bu çalışma, bu alanda en önemli yeniliklerin ve gelecekteki eğilimlerin kapsamlı bir araştırmasıdır. Maria Dina Afonso vd. (2004), içilebilir su üretimi için RO yöntemiyle yeraltı suyu arıtımının teknik ve ekonomik olarak uygulanabilirliğini araştırmışlardır.

RO sistemlerinde ana ekipman olarak yarı geçirgen membran kullanılır. Suyun, membranın diğer tarafına basınç yardımıyla geçirilebilen kısmı büyük ölçüde saflaştırılırken geçemeyen kısım, konsantre hale gelerek safsızlıklar ile beraber atık hattına gönderilmektedir. RO sistemleri özellikle suda çözünür halde bulunan sudan daha büyük molekülleri giderir (Öztürk, 2009). RO sistemleri genel olarak çapraz akış (cross-flow) prensibine göre çalışır ve çapraz akışın membran yüzeyinde sürekli bir temizleme etkisi vardır. RO prosesinin çalışma prensibi Şekil 1.4'te verilmiştir.

RO yönteminde, sıvının membranın diğer tarafına geçirilebilmesi için bir itme gücüne ihtiyaç vardır. Gereken itme gücü ise pompa basıncı ile elde edilir. Basınç yükseldikçe itme gücü artar. Ayrıca itme gücü, membran üzerinde kalan çözelti derişimi arttıkça, çözeltinin membranın diğer tarafına geçirilme süresi de artmaktadır.



Şekil 1.4. RO çalışma prensibi

RO sisteminin en önemli avantajı, iyon mertebesinde filtrasyon yaparak sudaki sertlik ve alkalinite gibi parametrelerin yanı sıra tüm diğer çözünmüş tuzların da büyük ölçüde giderilmesini sağlamaktır. İçerdiği yüksek tuzluluk nedeniyle kullanma ve içme suyu için uygun olmayan jeotermal su, acı su, kuyu suyu ve deniz suyundan, RO yöntemiyle yüksek kaliteli su elde edilebilmektedir. RO, saflaştırılacak olan akışkanların içinden geçmesine izin veren ancak kalan kirleticileri tutan yarı geçirgen nitelikte bir membran ile çalışır. Çoğu RO teknolojileri membranın sürekli olarak kendi kendini temizlemesini mümkün kılan çapraz akış prensibinden yararlanır. Akışkanların bir kısmı membrandan geçerken kalan kısmı ileriye doğru devam ederek membran yüzeyinde tutulmuş olan maddeleri süpürür. (Duman, 2012)

RO aşağıdaki sanayi dallarında kullanılmaktadır (Ünlü vd., 2008);

- Deri Sanayi: KOI %99, Azot %98 ve fosfor ise %100 oranında giderilebilmektedir.
- Çelik Sanayi: Klasik metodlarla giderilemeyen yüksek iletkenliğe sahip atıksu arıtılmaktadır.
- Metal Kaplama Sanayi: Verimliliği oldukça yüksek olup, atıksu %95 oranında geri kazanılabilmektedir.
- Meyve Suyu Sanayi: RO yöntemiyle konsantre meyve suyu üretmek mümkün olmaktadır. İşlem sonucu ayrılan su, kullanma suyu olarak kullanılabilir.
- Fosforik, Sülfürik, Hidroklorik ve Asetik Asit Üretimi: Üretim esnasında oluşan asidin konsantre hale gelmesinde kullanılmaktadır.

- Zeytinyağı Üretimi: Atıksudaki KOI değeri oldukça yüksektir. Yağ içindeki organik maddeleri gidermek amacıyla kullanılmaktadır. Arıtılan su sulama amacıyla kullanılmaktadır.

RO yöntemine ait temel prensipler

Ozmotik basınç şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\pi = -\frac{R \cdot T}{V_b} \ln(x_w) \quad (1.1)$$

Π , Ozmotik basınç, V_b , suyun molar hacmi, x_w , suyun mol fraksiyonu ve R , ideal gaz sabitidir.

Seyreltik çözeltilerde ozmotik basınç, ideal gaz ilkeleri ile aynı formda olan Van't Hoff's kuralı kullanılarak hesaplanmaktadır (Baker, 2004).

$$\pi = \frac{n_s}{V} R \cdot T \quad \text{veya} \quad \pi = C \cdot R \cdot T \quad (1.2, 1.3)$$

Hesaplanabilir ideal olmayan ve çözeltide iyonların dağıtımını içine alan, Van't Hoff's kuralı şu şekilde yeniden yazılabilir (Baker, 2004):

$$\pi = i\phi C \cdot R \cdot T \quad (1.4)$$

I , Çözünenin dağılması ile üretilen çözünenin her molündeki moleküller ve iyonların sayısına eşdeğer olan ayrışma parametresidir ve Φ , sayılabilir non-idealiteyi içine alan düzeltme faktörüdür (Fritzman vd., 2001).

RO membran işlemlerinde, tuz ve su süzüntü akıları çözelti-difüzyon taşınma mekanizmasına göre tanımlanmaktadır. Su akısı, J_i basınç ve derişim eğimi ile membrana karşı aşağıdaki denklemler ile bağlantılıdır (Baker, 2004):

$$J_i = A(\Delta P - \Delta\pi) \quad (1.5)$$

ΔP membrana karşı basınç farkıdır, $\Delta\pi$ membrana karşı ozmotik basınç diferansiyeli ve A sabittir.

Bu denklem göstermektedir ki, uygulanan düşük basınçta $\Delta P < \Delta\pi$ olduğu zaman normal ozmos ile seyreltik kısımdan membranın konsantre tuz çözeltisi tarafına su akar, $\Delta P = \Delta\pi$ olduğu zaman akış olmaz ve uygulanan basınç ozmotik basınçtan yüksek olduğunda $\Delta P > \Delta\pi$ ise, konsantreden membranın seyreltik tuz çözeltisi tarafına su akar.

RO membranına karşı tuz akısı J_j aşağıdaki denklem ile tanımlanmaktadır (Baker,2004):

$$J_j = B(C_{j0} - C_{jl}) \quad (1.6)$$

B, tuz geçirgenlik sabiti C_{j0} ve C_{jl} sırasıyla membranın besleme ve süzöntü bölümlerindeki tuz derişimleridir. Süzöntü çözeltisindeki tuz derişimleri genellikle beslemede çözeltisindeki derişimden daha azdır bu nedenle aşağıdaki gibi basitleştirilmiştir (Baker, 2004):

$$J_j = BC_{j0} \quad (1.7)$$

Bu iki denklemden uygulanan basıncın, su akışına uygun olduğu elde edilir fakat tuz akısı basınçtan bağımsızdır. Bu, membranın basınç artışına karşı daha seçici olacağı anlamına gelmektedir (Baker, 2004).

Seçicilik pek çok yolla ölçüle bilinmektedir, ancak geleneksel olarak, tuz giderimi R olarak ölçülmektedir ve şu şekilde tanımlanmaktadır (Baker, 2004):

$$R = \left[1 - \frac{C_{jl}}{C_{j0}} \right] \times 100\% \quad (1.8)$$

Membranın süzöntü tarafındaki tuz derişiminin membran akıları ile ilişkili olduğu aşağıdaki ifade ile belirtilmektedir:

$$C_{jl} = \frac{J_j}{J_i} \times \rho_i \quad (1.9)$$

ρ_i , su yoğunludur (g/cm³). Denklem (1.1)'in (1.5)'e kombinasyonu tarafından membran giderimi şu şekilde açıklanabilir (Baker, 2004):

$$R = \left[1 - \frac{\rho_i \cdot B}{A(\Delta P - \Delta \pi)} \right] \times 100\% \quad (1.10)$$

1.4.5. Membran filtrasyonu ile sulardan bor, lityum ve arsenik giderimi

Sulardan bor ve arsenik giderimi yapılırken en çok kullanılan membran prosesleri, ED, NF, RO'dur. Literatürde lityum gideriminde mebran sistemlerinin kullanımına pek rastlanmamıştır.

Sulardan Bor'un ED ile giderimiyle ilgili birçok çalışmalara rastlanmıştır (Melnik vd., 1999; Turek vd., 2007). Bu çalışmalara bakıldığında pH<9 olduğunda ED ile borik asit giderimi ya da borat iyonlarının taşınımının düşük olduğu (Melnik vd., 1999; Banasiak vd.,2009) görülmüş ve maksimum bor gideriminin %87 olduğu belirtilmiştir. pH 9 olduğunda ED ile bor gideriminin sadece %20'ler düzeyinde olduğu, daha yüksek pH'larda ise bor gideriminin daha yüksek olabileceği raporlanmıştır (Kabay vd., 2008). Banasiak vd.'nin (2009) yaptığı çalışmalarda orta tuzluluktaki sularda (5 g/L NaCl) pH<9 iken maksimum bor giderimin %40 olduğu bildirilmiştir. Başka bir çalışmada borik asit çözeltisinden (5mg/L), pH 9'a ayarlanıp RO yöntemiyle bor giderilmeye çalışılmış ve giderim %69 olarak bulunmuştur (Öztürk vd., 2008). Öner vd. (2011) jeotermal sulardan çapraz akışlı tabakalı RO metoduyla bor, silis ve tuz giderimi üzerinde çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarda 4 farklı membranın performansları karşılaştırılmıştır. Süzüntüde bor derişimlerinin içme ve sulama suyu standartlarına uygun olduğu gözlemlenmiştir. Membran testlerinde farklı basınçlarda çalışılmış ve basınç arttıkça bor gideriminin arttığı görülmüştür (Öner vd., 2011)

RO yöntemiyle bor giderimi üzerine yapılan çalışmalar sonucunda endüstriyel olarak faaliyet gösteren tesisler kurulmuştur. Yapılan bazı çalışmalar göstermiştir ki; RO yöntemiyle bor giderimi artırılabilir. Bu konu ile ilgili verilebilecek en güzel örneklerden biri Ashkelon-İsrail'de kurulmuş olan tesistir. RO yöntemiyle deniz suyu arıtımı yapan tesis düşük bor derişimine sahip temiz su üretimi için 2005 yılında devreye alınmıştır. 330000 m³/gün üretim kapasitesine sahip olan tesis, <0,3 mg/L bor derişimli içme suyu üretimi gerçekleştirmektedir. Ashkelon'da kurulu olan

tesis, RO sistemlerinde yüksek pH işleyişine güzel bir örnektir (Gorenflo vd., 2007). Ticari olarak kullanılmakta olan TorayTM UTC-80-AB membranı, FilmtecTM SW30HR membranları ile deniz suyundan bor giderimi bakımından kıyaslanmış ve yapılan çalışmalarda pH'ın bor giderimi üzerindeki etkileri incelenmiştir (Kabay vd., 2008). Song vd. (2009) yüksek pH değerlerinde %99'dan fazla bor giderimi sağlanabileceği; buna karşılık nötr pH değerlerinde bor gideriminin %40-80 seviyelerinde olduğu görülmüştür.

Membran prosesleriyle arsenik giderimi yapılırken MF ve UF yöntemleri kullanılmamaktadır. Çünkü bu prosesler büyük gözenek ve düşük çalışma basıncına sahiptir. Arsenik molekülleri ise oldukça küçük moleküllerdir ve MF ve UF membranlarının gözeneklerden rahatlıkla geçebilirler. RO membranları özellikle polivalent iyonların yani arsenik oksiyonların giderimi için uygundur. Bu proseslerde kullanılacak pH aralığı 3-11'dir. (Clifford, 1999).

Elektrodiyaliz ünitesinde, katyon ve anyon değiştirici reçineler kullanıldığında As (V) gideriminin As (III) gideriminden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (Kartinen ve Cristopher, 1995). Son dönemde membran teknolojileriyle arsenik gideriminde elektro-ultrafiltrasyon (EUF) yöntemi geliştirilmiştir. EUF yöntemi arsenik gideriminde etkili olmuştur. Bu yöntemle pH 10'da %71 pH 6 iken > % 90 As (V) giderimi elde edilmiştir. (Weng vd., 2005).

Sato vd. (2002) NF yöntemi ile arsenik giderimi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Yaptıkları çalışmalarda NF'nin As (V) ve As (III) 'ün birlikte gideriminde çok etkili olmadığı görülmüştür. Ancak NF ile As (V) %95 oranında giderilmiştir. Bunların yanında, arseniğin toksik formu olan As(III) iyonun %75'ten fazlası herhangi bir kimyasal eklenmeden giderilmiştir (Sato vd., 2002)

RO ile arsenik gideriminde pH'ın etkisi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Kang vd., 2000). Yapılan çalışmalarda arsenik bileşiklerinin gideriminin, NaCl giderimiyle orantılı olduğu görülmüştür. pH 3-10 aralığında iken As (V) giderimi As (III) gideriminden çok daha fazladır.

1.5. İyon Değiştirme Yöntemiyle Sulardan Bor, Arsenik ve Lityum Ayrılması

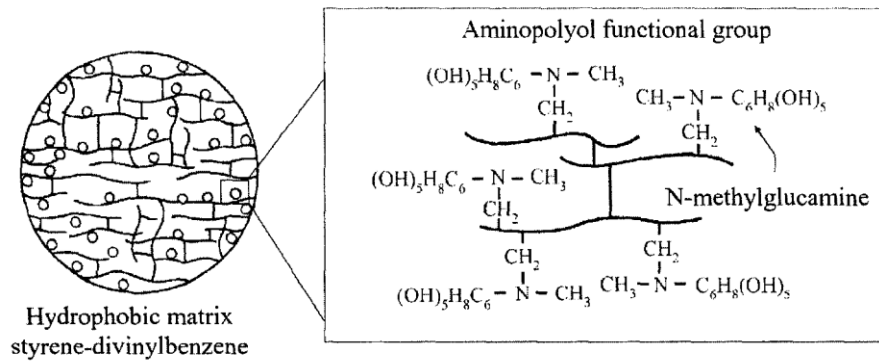
Bigadiç Bor İşletmesi atık suları kullanılarak iyon değiştirme yöntemi ile yapılan bir çalışmada arıtılacak atık suyun bor derişiminin uygulanacak yöntem için yüksek olması ve derişimi düşürmek için atık suyun ön şartlandırmaya tabi tutulması gerektiğinden arıtma maliyetleri ve işletme giderlerinin yüksek olacağı belirtilmiştir (Duman, 2012).

Bigadiç Bor İşletmesindeki bor içerikli suların arıtımına yönelik farklı arıtım sistemlerinin arayışına da gidilmiştir. Bu çerçevede RO yönteminin borlu suların arıtımında hem ekonomik yönden hem de çıkış suyu kalitesi açısından daha uygun olacağı öngörülmüştür (Duman, 2012).

1.5.1. İyon değiştirme yöntemiyle bor giderimi

İyon değiştirme proseslerinde, bor miktarının az olduğu durumlarda güçlü bazik iyon değiştiriciler kullanılmaktadır. Bu iyon değiştiricilerle çözeltideki bütün anyonlar tutulduğu için rejenerasyon maliyeti düşmektedir. Bu yüzden bor gideriminde iyon değiştirme en ekonomik yöntemdir (Kunin ve Preuss, 1964).

Günümüzün ticari bor seçimli reçineleri (BSR), öncelikle N-metil-D-glukamin (1-amino-1-deoxy-D-glucitol; NMG) fonksiyonel grubuna sahip, makro gözenekli, çapraz bağlı polistiren reçinelerdir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5: Bor seçimli bir reçinenin yapısı (Soto ve Camacho, 2005).

Diaion CRB 02 bor seçimli reçine ile Kızıldere Jeotermal Güç İstasyonu atık suyundan bor giderimi çalışılmış ve reçine 10 kez kullanılarak, reçinenin tekrarlı kullanım performansı ölçülmüştür. Kolon çalışmasında reçine kapasitesi 20 mg-Bor/L derişimine sahip atık su için 2,91–1,86 mg-Bor/g-reçine aralığında değişmiştir. Kolon kullanım verimi % 63,1– %64,3 aralığında hesaplanmıştır (Kabay vd., 2004).

Dowex 2×8 isimli güçlü bazik reçine ile bor giderimi çalışılmış ve reçinenin maximum kolon kapasitesi 13,94 mg-Bor/g-reçine olarak hesaplanmıştır. Ayrıca reçinenin kolon kullanım verimi %88–93 aralığında ve rejenerasyon verimi %97–71 aralığında hesaplanmıştır (Köse vd., 2008).

Bor gideriminde Dowex-XUS 43594.00 ve Purolite S 108 reçineleri de kullanılmıştır.(Kabay vd., 2007). Ayrıca Amberlite IR 743 isimli bor reçinesi ile boraks çamurundan bor kazanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Kıpçak vd., 2007) Çalışmada kesikli ve sürekli prosesler kullanılmıştır ve kolon çalışması sonuçları Yoon-Nelson ve Thomas modelleri kullanılarak modellenmiştir. Matejka vd. (2007) Purolite D 4123 isimli bor reçinesi ile RO süzüntü suyundan bor giderimini çalışmışlardır. Ayrıca yapılan bu çalışmada bor seçimli fiber adsorbanlar kullanılmıştır. Fiber adsorbanın boru, iyon değıştirici reçineden daha hızlı adsorpladığı tespit edilmiştir. DS-247 s, DS-248 s ve DS-248v fiber adsorbanlarının kapasiteleri sırasıyla 1; 1,2;1,2 mol/kg olarak elde edilmiştir (Matejka vd., 2007).

Diaion CRB 02 ve Purolite S 108 reçineleri kullanılarak, jeotermal sudan bor giderimi ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır (Kabay vd., 1999). Kabay vd. (2004) Diaion CRB 01-02 ve Purolite S 108 1-2 reçineleri kullanılarak jeotermal sudan bor giderimini inceledikleri bir başka çalışmada, bu reçinelerin bor giderim kapasitelerini karşılaştırmışlardır (Kabay vd., 2004)

Hwang vd. (2007) Amberlite IR 743 reçinesi ile bor giderimini incelemişler, yapılan çalışmada reçine miktarı, başlangıç pH, sıcaklık ve bor derişiminin bor giderimine etkisi incelenmiştir. Reçine ile bor giderimi, bor derişiminin artmasıyla azalmış ve sıcaklığın artmasıyla ise artmıştır. Çalışılan pH değerleri 4; 7; 8,5; 11 dir ve optimum pH değeri 8,5 olarak hesaplanmıştır (Hwang vd., 2007).

Boncukçuoğlu vd. (2004) Amberlite IR 743 reçinesi ile atıksudan bor giderimini çalışmışlardır. Yapılan çalışmada reçine miktarı, bor derişimi, karıştırma

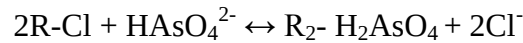
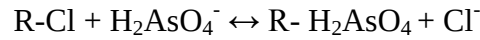
hızı ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Artan reçine miktarı ile bor giderimi artarken, artan bor derişimi ile bor giderimi azalmıştır ayrıca karıştırma hızı ve sıcaklığın önemli bir etkisi olmamıştır (Boncukoğlu vd, 2004). Jacob (2007) RO sistemi ile iyon değişim prosesini etkili bir biçimde birleştirmiştir. Bu proses birleşimi işletme maliyetini de düşürmüştür (Jacop, 2007)

1.5.2. İyon değiştirme yöntemiyle arsenik giderimi

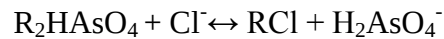
Arsenik giderimi sentetik iyon değiştirici reçinelerle yapılabilir. Fonksiyonel grup olarak kuaterner amin gruplar $N^+(CH_3)_3$ tercih edilmektedir. Bu reçinelerin As(V) giderimi oldukça iyidir, çözelti içerisinde kalan arsenik miktarı $1\mu g/L$ 'den daha azdır. Aynı reçinelerle As(III) giderilemediği için ön oksidasyon basamağına gerek duyulmaktadır (Ravenscroft vd., 2009).

Genellikle iyon değiştirici reçineler önce hidroklorik asit ile muamele edilir. Bunun sebebi klorür iyonlarıyla As(V) iyonlarının daha kolay yer değiştirmesidir. Arsenik giderimi pH ve çözelti derişimine bağlıdır. $HAsO_4^{2-}$ 'in adsorplanma yeteneği, $H_2AsO_4^-$ 'den daha fazladır. TDS, selenyum, florür, nitrat ve özellikle sülfat gibi diğer anyonlar ciddi bir şekilde iyon değişimini engellemektedir. Askıda katı maddeler, çökmüş demir molekülleri de tıkanıklıkların olmasına neden olabilmektedir (Kartinen vd., 1995).

Güçlü bazik anyon değiştirici reçineler aşağıda verilen reaksiyonlara göre sudan arsenik giderimi yapabilmektedir:



Reçinede tutulan As(V) iyonlarını gidermek için yapılan rejenerasyon reaksiyonu aşağıda verilmiştir (Korngold vd., 2001):



Ficklin (1983) As(III) ve As(V) iyonlarını güçlü anyon değiştirici reçine (Dowex 1 $\times$ 8; 100–200 mesh, asetat form) ile ayırmıştır. As(V) iyonları reçine tarafından alı

konulmuş, As(III) iyonları ise reçineden geçmiştir (Ficklin, 1983). Arsenat giderimi için vinil benzil klorürden anyon değiştirici fiberler sentezlenmiştir (Dominguez vd., 2003).

Iesan vd. (2004), içme sularından arsenik gideriminde güçlü bazik anyon değiştirici reçineler kullanarak kolon çalışmaları yapmıştır. Purolite A-300E (stiren, Tip II, jel, dimetil hidroksietilamonyum fonksiyonel grup), Purolite A-520E (stiren, Tip I, makro gözenekli, trimetil amonyum fonksiyonel grup), Purolite A-530E (stiren, Tip I, makro gözenekli, trimetil amonyum fonksiyonel grup), Purolite A-555E (stiren, Tip I/III, makro gözenekli, kuaterner amonyum fonksiyonel grup), Sybron A 554 (stiren, Tip II, jel, dimetil hidroksietilamonyum fonksiyonel grup), Purolite A-250E (stiren, Tip II, opak jel, dimetil hidroksietilamonyum fonksiyonel grup) reçinelerini birbirleriyle karşılaştırmıştır. Güçlü bazik anyon tip II olan Purolite-250 reçinesiyle; pH 7,5-8,0 aralığında iken başlangıçta 200 ppb As(V) iyonu bulunan çözeltideki As derişimi 10 ppb'den düşük seviyelere kadar indirilmiştir. Bu durumda içme suyu standartlarına uygun su elde edilmiştir. Arsenik gideriminde sülfat seçici reçineler (Purolite A-250), nitrat seçici reçinelerden (Purolite-520E ve Imac HP555) daha üstün olma eğilimindedir (Iesan vd., 2004).

1.5.3. İyon değiştirme yöntemiyle lityum ayrılması

Jeotermal su, tuzlu su ve deniz sularından lityum kazanımı yapılırken adsorpsiyon, birlikte çöktürme ve solvent ekstraksiyonu gibi yöntemler kullanılmaktadır. Jeotermal sulardan lityum geri kazanımı için kullanılan en uygun yöntem adsorpsiyondur, çünkü sadece lityuma karşı yüksek seçiciliğe sahip inorganik iyon değiştirici malzemeler kullanılmaktadır. Son 20 yılda jeotermal sulardan lityum kazanım verimini arttırmak için çeşitli inorganik adsorbanlar kullanılarak çalışmalar yapılmıştır (Chitrakar vd., 2001).

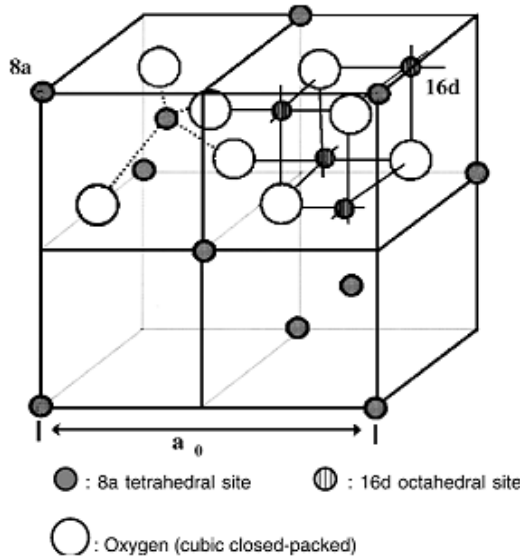
Bu adsorbanlar arasında; mangan dioksit bazlı adsorban ve onun bileşikleri yüksek adsorpsiyon kapasitesi nedeniyle, en uygun adsorban malzeme olarak görülmektedir. Şarj edilebilir ve birincil pillerde, mangan bazlı malzemeler, kimyasal katalizör, moleküler elek ve katot malzemesi olarak kullanılmaktadır. Chitrakar (2001); mangan oksitlerin elektrokimyasal özelliklerinin morfoloji, kütle yoğunluğu ve kristal yapıya bağlı olduğu konusuna dikkat çekmiştir. Mangan

oksitlerin düşük boyutlu yapılarının geliştirilmesinde, bu malzemelerin boyutları kendine özgü özelliklerinden biridir (Chitrakar vd., 2001).

Analiz, jeokimya ve su kirliliği kontrolü için jeotermal sular ve deniz sularından lityum ekstraksiyonu yapılırken, MnO_2 'in çeşitli polimorfik formları (α -, β -, γ -, δ - ve λ - tipleri) oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Spinel tip sulu manganer oksitler sadece lityum iyonlarına karşı yüksek ilgi ve seçiciliğe sahip malzemelerdir (Chitrakar vd., 2001).

Spinel tip manganer oksitler $(\text{Li})[\text{Li}_x\text{Mn}_{2-x}]\text{O}_4$ formülü ile ifade edilebilir. LiMn_2O_4 , $\text{Li}_{1,33}\text{Mn}_{1,67}\text{O}_4$, $\text{Li}_{1,14}\text{Mn}_{1,86}\text{O}_4$ vb. gibi spinel Li-Mn oksitleri oluşturarak 8a altıgen () ve 16d sekizgen [] şeklinde göstermekte, x 0-0,33 aralığında değişmekte ve oksijen atomları kapalı kübik d paketli oksijen çerçeveleri oluşturmaktadır. Lityumca zengin manganer spinel malzemesi olan $\text{Li}_{1,6}\text{Mn}_{1,6}\text{O}_4$ Chitrakar tarafından katyon eksikliği olan altıgen kafeste $(\text{Li}_{2-x-y}\text{Mn}_{x+y})$ 16c($\text{Mn}_{2-w-z}\text{Li}_{w+z}$) 16dO_4 şeklinde hazırlanmıştır (Wang vd., 2006).

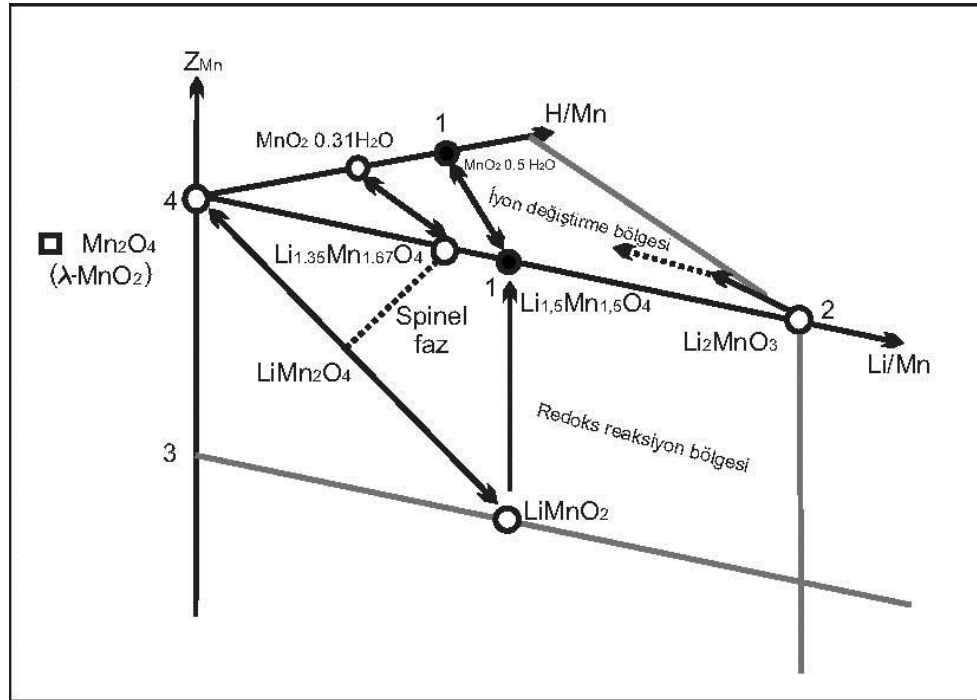
Spinel tip LiMn_2O_4 , oksijen atomları kapalı kübik paket (CCP) ya da yüzey merkezli kapalı paket (FCP) yapısı, ve beklenen iyonik çapın tersine, Mn iyonları sekizgen yapı (16d) ve Li iyonları altıgen yapı (8a) olacak şekilde gösterilmiştir (Şekil 1.6) (Chitrakar vd., 2001).



Şekil 1.6 : Spinel lityum manganer oksit yapısı (Wang vd., 2003)

Sulu çözeltilerden spinel tipli Li-Mn oksitlerin lityum ekstraksiyon reaksiyonlarıyla ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. Bu reaksiyon mekanizmaları redoks tip, iyon değiştirici tip ve ortak tip olarak sınıflandırılmaktadır. Her iki $\text{Li}_{1.33}\text{Mn}_{1.67}\text{O}_4$ and $\text{Li}_{1.6}\text{Mn}_{1.6}\text{O}_4$ bileşikleriyle de %100 tetravalent manganee elde edilmiştir, Li ekstraksiyonu genellikle iyon değiştirici ve küçük oranlı redoks reaksiyonlardır (Chitrakar et al., 2001).

Şekil 1.7’de proton tipli manganee oksitlerin, Li/Mn ve H/Mn mol oranlarının bulunduğu faz diyagramı verilmiştir. Dikeyde proton yokken manganee değeri değeri belirlenmiş, bu bölgeye de redoks bölgesi denilmiştir. Yatay düzlemde, manganee değeri değeri değişmiyor ancak lityum ve proton değeri değeri değişmektedir, burası da iyon değişim bölgesi olarak adlandırılmıştır.



Şekil 1.7: Lityum manganee oksit faz diyagramı (Chitrakar et al., 2001)

1.6. Tez Çalışmasının Amacı

Bu çalışmada; Ege Bölgesi jeotermal sularında lityum, bor ve arsenik düzeylerinin incelenmesi ve bu elementlerin jeotermal sulardan seçimli olarak ayrılması amaçlanmıştır. Bu yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen suyun kalitesi farklı analitik yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

Çalışma ile, günümüzde büyük bir sorun haline gelen jeotermal atık su problemine ışık tutulması, yüksek mineral kaynağı olan jeotermal suların ekonomiye kazandırılması aynı zamanda toksik olan maddelerin bu sulardan uzaklaştırılarak, çevresel etkilerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL

2.1. Materyal

2.1.1. Filtre Kağıdı

Çalışmalar başlamadan önce jeotermal su süzgeç kağıdından geçirilerek süzülmüştür. Kullanılan kağıt filtrenin özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Whatman 41 Nolu kağıt filtre kağıdının özellikleri (Sigma-aldrich,2015).

Şekil	Daire
Filtrasyon Hızı	0.22 psi ıslak
	54 s/100 mL
Çap	125 mm
Kalınlık	220 µm
% Atık giderimi	≤0.007%
Gözenek boyutu	20-25 µm (Particle retention)
Ortalama ağırlık	85 g/m ²

2.1.2. Membranlar

Çalışılan membranların özellikleriyle ilgili bilgiler Çizelge 2.2, 2.3, 2.4 ve 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.2.CK-RO Membran özellikleri (GE, 2015)

Üretici Firma	GE Water & Process Technologies
İşletme Basıncı	200 psi (414 - 1,379 kPa)
İşletme Debisi	10-18 GFD (17-30 LMH)
Maksimum işletme Basıncı	450 psi (3,103 kPa)
Maksimum Sıcaklık*	86°F (30°C)
pH aralığı*	5.0-6.5
Klor Toleransı (mg/L)*	Maksimum 1ppm

*Sürekli prosesler için

Çizelge 2.3. DL-NF Membran özellikleri (GE, 2015)

Üretici Firma	DL-NF
İşletme Basıncı	-
İşletme Debisi	5 – 20 GFD (8 – 34 LMH)
Maksimum işletme Basıncı	600psi (4,137kPa) if T < 95°F (35°C) 435psi (3,000kPa) if T > 95°F (35°C)
Maksimum Sıcaklık	122°F (50°C)
pH aralığı	3-9
Klor Toleransı (mg/L)	500 ppm , kloru uzaklaştırma önerilir

*Sürekli prosesler için

Çizelge 2.4. NF-90 Membran Özellikleri (Filmtech, 2015)

Üretici Firma	FILMTEC™
Membran Tipi	Poliamid ince kompozit film
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	45
Maksimum Çalışma Basıncı (bar)	41
pH aralığı, sürekli çalışmada^a	2-11
Maksimum Besleme Debisi (m³/h)	15,9
Maksimum Besleme Yoğunluk İndeksi (SDI)	5
Klor Toleransı (mg/L)	<0,1
Dengelenmiş tuz giderimi NaCl^b	85-95
Dengelenmiş tuz giderimi MgSO₄^b (%)	<97.0

^a Sürekli çalışmada pH>10 iken maksimum sıcaklık 35°C. ^b Test koşulları: 2,000 mg/L NaCl, 0.48 MPa, 25°C and 15% geri kazanım. ; 2,000 mg/L MgSO₄, 0.48 MPa, 25°C ve 15% geri kazanım.

Çizelge 2.5.BW-XLE Membran Özellikleri (Filmtech, 2015)

Üretici Firma	FILMTEC™
Membran Tipi	Poliamid ince kompozit film
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	45
Maksimum Çalışma Basıncı (bar)	41
pH aralığı, sürekli çalışmada^a	2-11
Maksimum Besleme Debisi (m³/h)	15,9
Maksimum Besleme Yoğunluk İndeksi (SDI)	5
Klor Toleransı (mg/L)	<0,1

^a Sürekli çalışmada pH>10 iken maksimum sıcaklık 35°C.

2.1.3. İyon değiştirici reçineler / adsorbanlar

2.1.3.1. Bor seçimli Diaion CRB-02 reçinesi

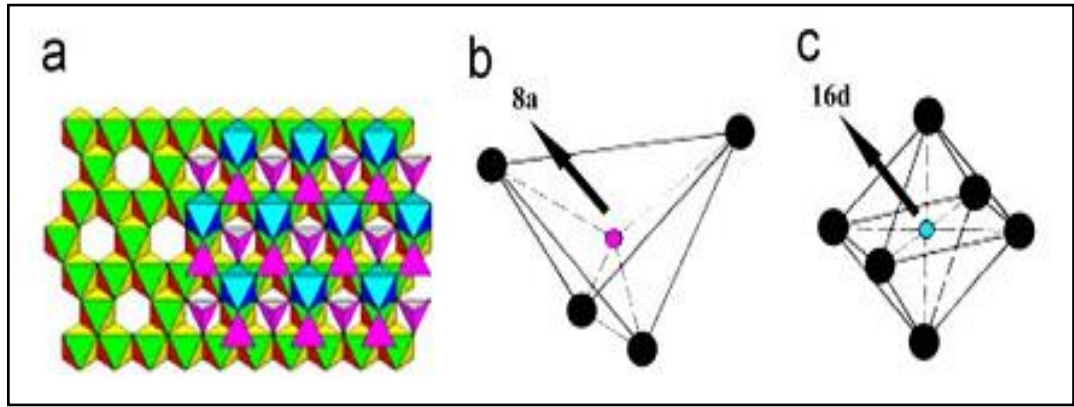
N-glukamin tipi şelatlayıcı reçine; Diaion CRB 02 Japon Mitsubishi Chemicals'dan temin edilmiştir. Karakteristik özellikleri, Çizelge 2.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.6 Diaion CRB-02'nin tipik kimyasal ve fiziksel karakteristik özellikleri (Kabay vd., 2004)

Yapısal tür	Çok gözenekli
Gönderilen iyon biçimi	OH-biçiminde
Nakliyat yoğunluğu (g/dm³) (yakl.)	635
Nem miktarı (%)	50-60
Değişim kapasitesi	Asit 0.6 meq/cm ³ (dk.)
Elek aralığı	118-300 µ
Etkili boyut (mm)	0.355-0.500
Düzenlilik katsayısı	1.6 (maks.)
İşletme sıcaklığı (°C)	100 °C (maks.) OH-biçimi
Etkili pH aralığı	6-10

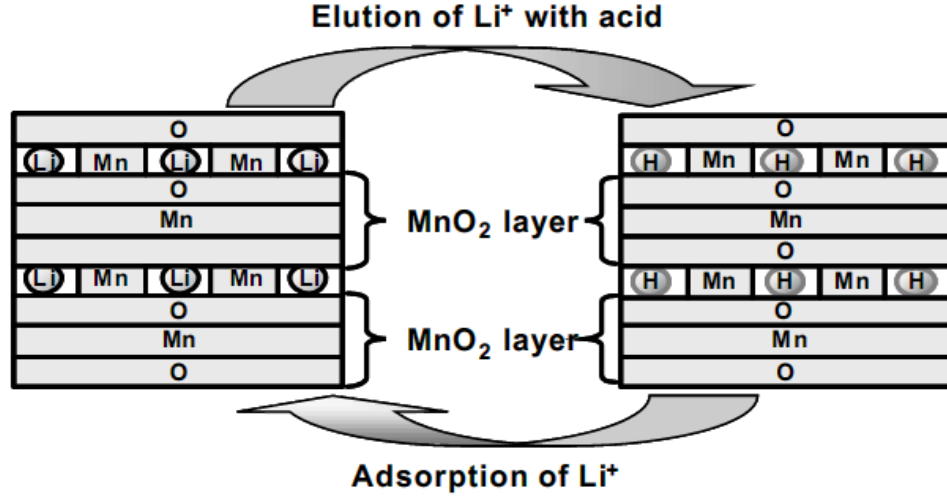
2.1.3.2. Lityum seçici λ -tip Manganez Dioksit (λ -MnO₂) adsorbanı

λ -tip manganez dioksit (λ -MnO₂) adsorbanı jeotermal sulardan Li⁺'u seçimli olarak kazanmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu adsorban spinel tip lityum dimanganez tetra-oksit (LiMn₂O₄) kullanılarak, Li⁺ ve H⁺ arasında iyon değişimi yaparak hazırlanmıştır (Yoshizuka vd., 2002). Spinel LiMn₂O₄'te, O atomları kübik kapalı veya yüz-merkezli kapalı yapıda ve beklentilerin tersi olan iyonik çaplı, Mn atomları sekizgen (16d) ve Li ise dörtgen yapıda (8a) olarak şekil 2.1'de gösterilmiştir (Zhang vd., 2010).



Şekil 2.1 Spinel LiMn₂O₄ yapısı (a). Kırmızı dörtgen (8a) Li atomları (b) Mavi sekizgen Mn atomları (16d) (c). (Zhang vd., 2010).

LiMn₂O₄ adsorbanı kullanılmadan önce H⁺ formuna dönüştürülmelidir. Bunun için de 5 g adsorban, 30°C'de 24 saat boyunca 5 kez 1L 1.0 M HCl ile muamele edilmiştir. Asitle yıkandıktan sonra adsorban, pH'ı 4-5'in altında olan deiyonize su ile yıkanmış, sonra 30°C'de 24 saat boyunca 1L NH₄⁺ / NH₃ tampon çözeltisiyle (pH=8.12) muamele edilmiştir. Bu uygulamalar tamamlandıktan sonra 5 µm membran filtresi ile filtre edilmiş, daha sonra kütlesi sabit kalana kadar hava kurutma ve vakum kurutması yapılmıştır. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. Li ve λ -MnO₂ adsorbanının adsorpsiyon ve sıyırma mekanizmasının şematik olarak gösterilmesi (Yoshizuka, et al., 2002).

2.1.3.3. Arsenik seçici ArsenX^{np} reçinesi

Arsenik ayrımı yapılırken kullanılan ArsenX^{np} reçinesinin özellikleri Çizelge 2.7.'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Arsenik seçici reçinenin kimyasal ve fiziksel karakteristik özellikleri (Köseoğlu, 2009)

Reçine	ArsenX ^{np}
Fonksiyonel Grup	FeO(OH)
Polimer Matriks	Çapraz bağlı polistiren
Renk	Kırmızımsı kahverengi
Partikül boyutu, mm	0.300-1.200
Toplam Kapasite, g/L	0.5-4
İşletme Sıcaklığı	80°C, max
İşletme pH	4.5 - 8.5

2.1.4. Kullanılan kimyasallar ve jeotermal sular

2.1.4.1. Kimyasallar

Yapılan çalışmada gerekli olan kimyasallar; bor, amonyum-azotu ve silika analizlerinde, bikarbonat analizinde HCl, sülfat ve klorür IC analizlerinde mobil faz ve pH ayarlama için kullanılmıştır. Kullanılan kimyasallar aşağıda belirtilmiştir.

- Spectroquant Amonyum test kiti (MERCK)
- Spectroquant Silika test kiti (MERCK)
- Vanilik asit (iyon kromatografisi)
- MDEA (iyon kromatografisi)
- Ultra saf su (Milli-Q)
- HCl (0.04835 M)
- Azomethine-H
- Askorbik asit
- Amonyum asetat
- Glasiyal asetik asit
- EDTA disodyum tuzu

Analizlerde kullanılan kimyasal kitlere ait ölçüm aralığı Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Kitlere ait ölçüm aralığı

Test kiti	Ölçüm hücresi	Ölçüm Aralığı (mg/L)
Amonyum kiti (NH ₄ -N)	10 mm	0.05-3
	50 mm	0.01-0.5
Silikat kiti (Si)	10 mm	0.5-50
	50 mm	0.005-0.75

2.1.4.2. Jeotermal sular

Analizlerde iki farklı jeotermal su örneği kullanılmıştır. Jeotermal sular Aydın ili Morali bölgesinde 2 farklı sahaya ait sondajlardan alınmıştır. Jeotermal sular M65 ve M44 olarak numaralandırılmıştır. Bu jeotermal sular için çeşitli testler yapılmıştır.

İlk olarak membran filtrasyon yöntemi kullanılarak, bu sulardan ne kadar Li, B ve As giderimi yapılabildiği test edilmiştir. Membran filtrasyon işlemlerinde 4 çeşit (2 adet RO ve 2 adet NF) membran kullanılmıştır. Bu membranların giderimine bakılmış ve en iyi iki membran seçilerek deneylerin adsorpsiyon kısmına geçilmiştir. Lityum, bor ve arsenik giderimi için ayrı ayrı adsorpsiyon testleri yapılmıştır. Çizelge 2.8 ve 2.9'da kullanılan jeotermal sulara ait kimyasal analiz sonuçlarıyla ilgili bilgiler verilmiştir. Jeotermal sular doğal kaynaklı sular olduğu için farklı tarihlerde alınan bu örneklerin analiz sonuçlarında değişiklik olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.9. M44 Jeotermal Suyun Kimyasal Özellikleri

Analiz Yapılan Yer		Hacettepe Üniversitesi	Özel Bir Şirket	Kendi Çalışmalarım
pH		8.1	7.8	8.4
EC (µS/cm)		6600.0	7635.0	6020.0
Derişim (mg/L)	* B	35.0	47.0	60.0
	■ SiO ₂	183.0	149.0	79.0
	■ Na ⁺	1315.0	1645.0	1252.0
	■ K ⁺	78.1	205.0	125.0
	■ Mg ²⁺	75.4	52.9	37.8
	■ Ca ²⁺	39.7	18.1	14.6
	◆ CO ₃ ⁻²	0.0	0.0	0.0
	◆ HCO ₃ ⁻	1370.9	1549.0	1836.3
	● Cl ⁻	1428.3	2017.5	1424.6
	● SO ₄ ²⁻	68.7	37.3	46.3
	■ NO ₂ ⁻	<0.01	<0.02	<0.01
	■ NO ₃ ⁻	<0.01	<0.02	<0.01
	■ NH ₄	38.7	12.0	9.3
	F ⁻	7.9	ND*	ND*
	Br ⁻	<0.01	ND*	ND*
	■ Li ⁺	8.1	4.1	4.1
	● As	ND*	ND*	0.039

*Spektrofotometrik

■Kit

■AAS

●IC

◆Titrimetrik

Hacettepe Üniversitesi Örnek Alım Tarihi: 28.06.2013

Özel Şirket Örnek Alım Tarihi: 22.02.2014

Çalışmalarım sırasında Örnek Alım Tarihi: 17.11.2013

Çizelge 2.10. M65 Jeotermal Suyun Kimyasal Özellikleri

Analiz Yapılan Yer		Hacettepe Üniversitesi	Özel Bir Şirket	Kendi Çalışmalarım
pH		8,2	8,4	8,5
EC (µS/cm)		6912,0	6330,0	6350,0
Derişim (mg/L)	* B	60,8	46,0	47,3
	■ SiO ₂	200,3	155,0	574,0
	■ Na ⁺	1557,8	1510,0	1482,0
	■ K ⁺	87,3	175,0	100,7
	■ Mg ²⁺	24,4	19,5	9,8
	■ Ca ²⁺	20,1	16,6	14,5
	◆ CO ₃ ²⁻	0,0	0,0	0,0
	◆ HCO ₃ ⁻	1326,6	1150,0	1666,3
	● Cl ⁻	1707,7	1910,0	1752,0
	● SO ₄ ²⁻	44,3	35,0	60,0
	■ NO ₂ ⁻	<0,01	<0,02	<0,01
	■ NO ₃ ⁻	<0,01	<0,02	<0,01
	■ NH ₄	<0,01	10,1	7,8
	F ⁻	5,2	ND*	ND*
	Br ⁻	4,0	ND*	ND*
	■ Li ⁺	7,7	2,6	6,1
	● As	ND*	ND*	0,033

*Spektrofotometrik

■Kit

■AAS

●IC

◆Titrimetrik

Hacettepe Üniversitesi Örnek Alım Tarihi: 24.01.2014

Özel Şirket Örnek Alım Tarihi: 19.02.2014

Çalışmalarım sırasında Örnek Alım Tarihi: 12.04.2014

2.2. Ekipmanlar

2.2.1. SEPA CF-II membran test sistemi

Deneysel çalışmalarda laboratuvar ölçekli, çapraz akışlı, düz tabakalı membran test sistemi (SEPA CF II GE-Osmonics) kullanılmıştır. Test ünitesi, kontrol paneli, hidrolik el pompası, yüksek basınç pompası ve su depolama tankları, özel imalat paslanmaz çelik iki katlı bir masa üzerine monte edilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.3. Laboratuvar Ölçekli SEPA CF-II Membran Test Sistemi

- **Düz tabakalı membran test ünitesi**

Membran ünitesi; hücre alt gövdesi, hücre üst gövdesi ve hücre yuvasından oluşmaktadır.

- **Hücre alt gövdesi**

Hücre alt gövdesi üzerinde o-ringler (Şekil 2.4a), besleme tablası (Şekil 2.4b) ve tekli dikdörtgen membran (Şekil 2.4c) bulunmaktadır.



a. O-ringler



b. Besleme Levhası



c. Membran

Şekil 2.4. Hücre alt gövdesi

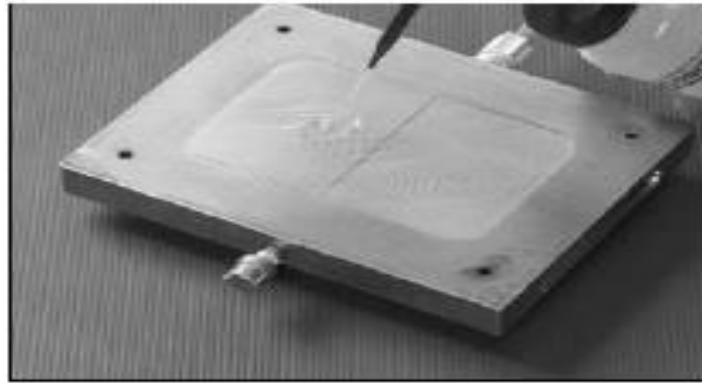
Çift o-ringler sayesinde, hücre gövdesi sızdırmazlığı sağlanmaktadır. Gövde üzerinde bulunan işaret direkleri besleme tablası üzerine membran yerleştirilmesinde yardımcı olmaktadır. Hücre alt gövdesi ile bağlantılı konsantre vanası ve konsantre manometresi bulunmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Konsantre vanası ve konsantre manometresi

- **Hücre üst gövdesi**

Hücre üst gövdesi üzerinde üretim suyunu toplayan tabakanın yeri bulunmaktadır.(Şekil 2.6)



Şekil 2.6. Hücre üst gövdesi ve üretim suyu levhası

- **Hücre yuvası**

Hücre üst gövdesi hücre alt gövdesinin üzerinde bulunan işaret direkleri üzerine konularak, hücre gövdesi hücre yuvasına yerleştirilir.



Şekil 2.7. Hücre yuvası ve hidrolik el pompası

Hücre yuvasının alt bölgesinde yüksek basınç bağlantısı bulunmaktadır. Yüksek basınç sağlayıcısı olarak hidrolik el pompası (Enerpac, maksimum basınç 69 bar) kullanılmaktadır (Şekil 2.7).

Çizelge 2.11’de düz tabakalı membran test ünitesinin işletme şartları gösterilmektedir.

Çizelge 2.11. Membran ünitesi işletme şartları

Efektif Membran Alanı	140 cm ²
Hacim	70 ml
Maksimum Basınç	69 bar
Maksimum Sıcaklık	177°C
pH Aralığı	Membrana bağlı

Çizelge 2.12’de membran test ünitesi elemanlarının yapıldığı malzemeler verilmektedir.

Çizelge 2.12. Membran test ünitesi elemanlarının yapıldığı malzemeler

Hücre Gövdesi Yapısı	316 Paslanmaz Çelik
Gövde	Anodize aliminyum
Atık Hattı Vanası	316 Paslanmaz Çelik
Atık Hattı Manometresi	316 Paslanmaz Çelik
O-ring	Viton

Çizelge 2.13’de cihaz ölçüleri ve ağırlıkları gösterilmektedir.

Çizelge 2.13. Cihaz ölçüleri ve ağırlıkları

PARÇA	BOYUT (cm)	AĞIRLIK (kg)
Hücre Gövdesi	16.51 x 21.3 x 5.0	28
Gövde	20 x 28 x 20	21
Membran	19.1 x 14	0.5
Üretim suyu toplayıcısı	14.6 x 9.5	0.5

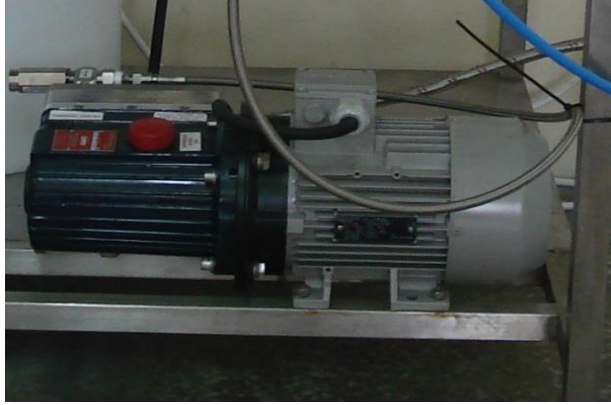
- **Besleme tankı**

Çalışmalarda, yüksek yoğunluklu polietilenden yapılmış (30 L hacminde) besleme tankı kullanılmıştır (Şekil 2.8).

**Şekil 2.8.** Besleme tankı

- **Pompa**

Besleme pompası olarak, maksimum kapasitesi 11.3 L/dk ve maksimum basıncı 69 bar olan Hydra Cell D/G-03-X tipi yüksek basınç pompası (Şekil 2.9) kullanılmıştır.



Şekil 2.9. Yüksek basınç pompası

- **Kontrol paneli**

Besleme çözeltisinin akış hızını ayarlamak için, yüksek basınç pompasının bağlı olduğu frekans ayarlayıcısı (Siemens) Şekil 2.10'da gösterilen kontrol panelinin içine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.10. Kontrol paneli

2.2.2. Basınç / Vakum pompası

Deneylerde jeotermal suyun ön filtrasyon işlemi için Pall Life Sciences firması tarafından üretilen, maksimum vakum kapasitesi 61 cm Hg, maksimum basınç kapasitesi 60 psig ve motor gücü 1.8 hp olan basınç/vakum pompası kullanılmıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Basınç/Vakum pompası

Basınç/vakum pompasının, cam filtrasyon hunisi, destek bağlantısı ve filtrasyon erleni ile bağlantısı bulunmaktadır. Filtrasyon huni kapasitesi 300 ml, erlen kapasitesi 1 L ve membran filtre çapı 47 mm'dir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Filtrasyon hunisi, destek bağlantısı, filtrasyon erleni, basınç/vakum pompası

2.2.3. Katyon (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Li^+) analiz ekipmanı

Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Li^+ iyon derişimleri Varian 10 Plus Model Atomik Absorpsiyon Spectrofotometresi ile ölçölmüştür. (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Varian 10 Plus Atomik Absorpsiyon Spectrofotometresi.

2.2.4. Bor analizinde kullanılan ekipman

A JASCO V-530 UV/VIS Spectrofotometresi (Şekil 2.14) Spectrofotometrik bor analizinde kullanılmıştır.



Şekil 2.14. JASCO V-530 UV/VIS Spectrofotometresi.

2.2.5. Silika ve amonyum analizinde kullanılan ekipmanlar

Silika ve Amonyum analizlerinde Spectroquant Nova 60 test kiti kullanılmıştır. (Şekil 2.15)



Şekil 2.15. Spectroquant Nova 60 test kit.

2.2.6. Anyon (Cl^- , SO_4^{2-}) analiz ekipmanı

Klorür ve Sülfat analizleri için Shimadzu model iyon kromatografi cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Shimadzu LC-10 Ai model kromatografi

2.2.7. pH metre

Su örneklerinin pH değerleri portative dijital pH metre ile ölçülmüştür.(WTW pH 315i/SET) (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Digital pH metre (WTW pH 315i/SET)

2.2.8. İletkenlik ölçer

Bütün TÇK, iletkenlik, tuzluluk ve sıcaklık değerleri portatif Mettler Toledo iletkenlik ölçer ile ölçülmüştür. (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Mettler Toledo İletkenlik Ölçer

2.2.9. Çalkalayıcı

Adsorpsiyon çalışmalarında Şekil 2.19’da verilen . Selecta – Unitronic OR kullanılmıştır.



Şekil 2.19. Selecta – Unitronic OR Karıştırıcı

2.3. Temel Hesaplamalar ve Tanımlar

2.3.1. Giderim

Yapılan testler sonunda madde giderimleri yüzde olarak aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$R (\%) = \frac{(C_b - C_s)}{C_b} * 100 \quad (3.1)$$

2.3.2. Süzüntü akısın

Her bir test için kullanılan membranlara ilişkin süzüntü akısı aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\text{Süzüntü akısı} \left(\frac{L}{m^2s} \right) = \frac{\text{Süzüntü hacmi (L)}}{\text{Membran alanı (m}^2\text{) x Zaman (s)}} \quad (3.2)$$

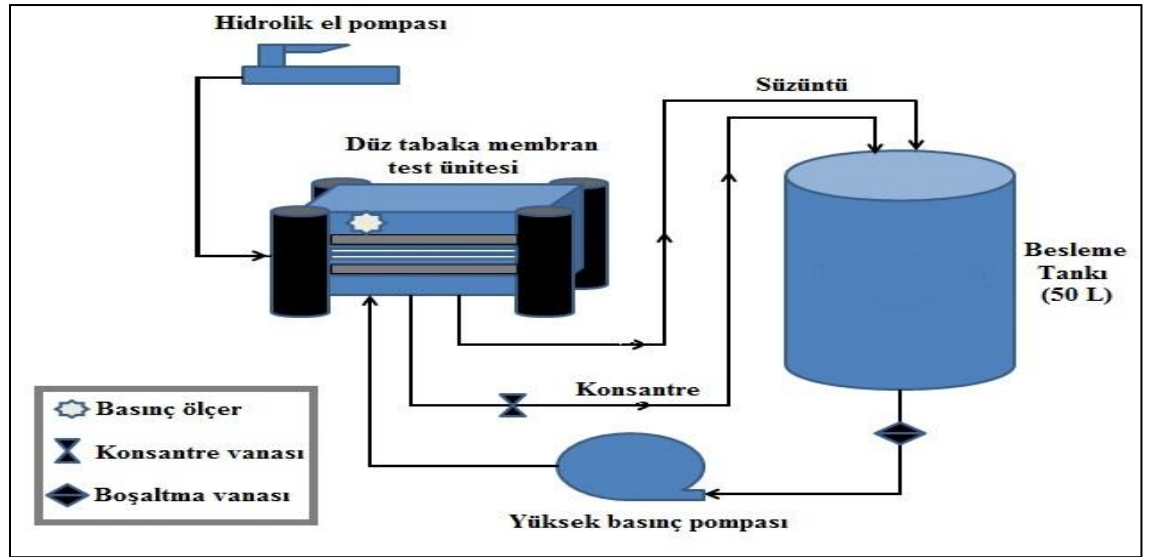
3. YÖNTEM

3.1. Membran Testleri

Bu çalışmada, jeotermal sulardan lityum, bor ve arsenik giderilmesi amaçlanmıştır. Bunun için dört farklı tipte membran kullanılmıştır. Bu membranlardan ikisi NF diğer ikisinde RO membranıdır. Jeotermal suyun ön arıtma işleminde filtre kağıdı (WHATMAN 41) kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan jeotermal su örnekleri, SDS Enerji tarafından Aydın ili Morali ilçesinden temin edilmiştir. Deneylerde aynı bölgeden farklı iki kuyudan (M65 & M44 kuyuları) alınan jeotermal su örnekleri kullanılmıştır.

Laboratuvar ölçekli çapraz akışlı, düz tabakalı membran test ünitesi (SEPA CF II, Osmonics)'nde 10 bar basınçta membran test çalışmaları yapılmıştır. Hücrenin maksimum işletme basıncı 69 bar olup, membran test ünitesi 19 cm x 14 cm'lik (7.5"x 5.5") aktif yüzey alanı 140 cm² olan her tip düz tabaka membran ile uyum sağlamaktadır. Membran sistemine ilişkin akım şeması, Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Deneylere başlamadan önce hücre gövdesi hücre yuvasına yerleştirilerek, hidrolik el pompası (Enerpac, maksimum basınç 69 bar) ile uygulanan yüksek basınç sayesinde hücre gövdesi, yuva içerisine sıkıştırılmaktadır.



Şekil 3.1. Membran test sisteminin şematik gösterimi

Besleme tankında bulunan jeotermal su, yüksek basınç pompası vasıtasıyla (Hydra Cell D/G-03-X Tipi) hücre gövdesinin altında bulunan noktadan RO membran test ünitesine pompalanmaktadır (Şekil 3.1). Jeotermal su, test hücresi içine membran yüzeyine teğet olarak giriş yapmaktadır. Jeotermal suyun bir kısmı membran içinden süzülerek, ürün su (süzüntü) olarak hücre gövdesinin üstünde bulunan toplayıcı kanalı ile yüzeye çıkar. Ürün su, hücre gövdesinin üst kısmında bulunan üretim çıkış hattından alınır. Jeotermal suyun membran yüzeyinden geçemeyen kısmı (konsantre) ise, konsantre vanası ile kontrol edilen konsantre hattı ile sistemden alınır. Süzüntü ve konsantre besleme tankına geri gönderilir. Membran hücre basıncı ve konsantre akış hızı, konsantre vanası yardımıyla ayarlanır.

Dört saatlik deney süresince, süzüntü ve konsantre besleme tankına geri beslenerek, sabit 15 L'lik besleme hacmi ve sabit konsantre akış hızında (26,67 L/s) çalışılmıştır. Her 30 dakikada bir; tüm analizlerin yapılabilmesi için süzüntüden, konsantreden ve besleme tankından örnekler alınmıştır. Her deneyde en az 24 saat saf suda bekletilmiş membranlarla tekrarlı çalışmalar yapılmıştır.

3.2. Adsorpsiyon Testleri

Membran testlerin akabinde adsorpsiyon testleri yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı maksimum oranda giderimin sağlandığı minimum reçine/ adsorban miktarını tayin etmektir. Bu amaçla, oda sıcaklığında (25°C) 24 saat süren tekrarlı adsorpsiyon çalışmaları model çalkalayıcıda (Selecta – Unitronic OR) yapılmıştır.

Bor sorpsiyonu yapılırken farklı miktarlarda (0,005, 0,01, 0,02, 0,05, 0,075, 0,1, 0,2 g) Diaion CRB-02 reçinesi kullanılmıştır. Membran çalışmaları sonucunda bor jeotermal sudan tam anlamıyla giderilemediği için bor sorpsiyonunda hem süzüntü hemde konsantre çözeltileri kullanılmıştır.

Arsenik adsorpsiyonu yapılırken çeşitli miktarlarda (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 g) ArsenX^{np} reçinesi kullanılmıştır. Arsenik için membran çalışmalarında yüksek giderim sağladığı için, arsenik sorpsiyonu için farklı membranlara ait sadece konsantre çözeltileri kullanılmıştır.

Lityum adsorpsiyonu yapılırken çeşitli miktarlarda (0,05, 0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 g) λ -MnO₂ adsorbanı kullanıldı. Lityum membran çalışmalarında yüksek giderim sağladığı için, adsorpsiyon çalışmalarında sadece farklı membranların konsantre çözeltileri kullanılmıştır.

Bu çalışmaların akabinde arsenik ve bor seçimli reçinelerle lityum adsorpsiyonu yapılmıştır. Çalışmalarda çeşitli miktarlarda ArsenX^{np} reçinesi (0,05, 0,1, 0,2, 0,3,0,4 g) ve Diaion CRB-02 reçinesi (0,005, 0,01, 0,02, 0,05, 0,075, 0,1, 0,2 g) kullanılmıştır.

Analizler

3.2.1. Bor analizi

Azomethine Yöntemi

Reaktifler:

Azomethine-H Çözeltisi: Plastik bir kap içerisinde 100 ml saf suya 1,0 g Azomethine-H ve 2,0 askorbik asit eklenir ve yaklaşık 1 saat boyunca çözelti homojen hale gelene kadar karıştırılır. Bu çözelti her analiz için günlük olarak yapılmalıdır.

Tampon Çözeltisi: 100 ml suyun içerisinde 50,0 g amonyum asetat çözünür. Elde edilen çözelti içerisine 25,0 ml glasiyal asetik asit ve 1,400 g EDTA disodyum tuzu eklenir.

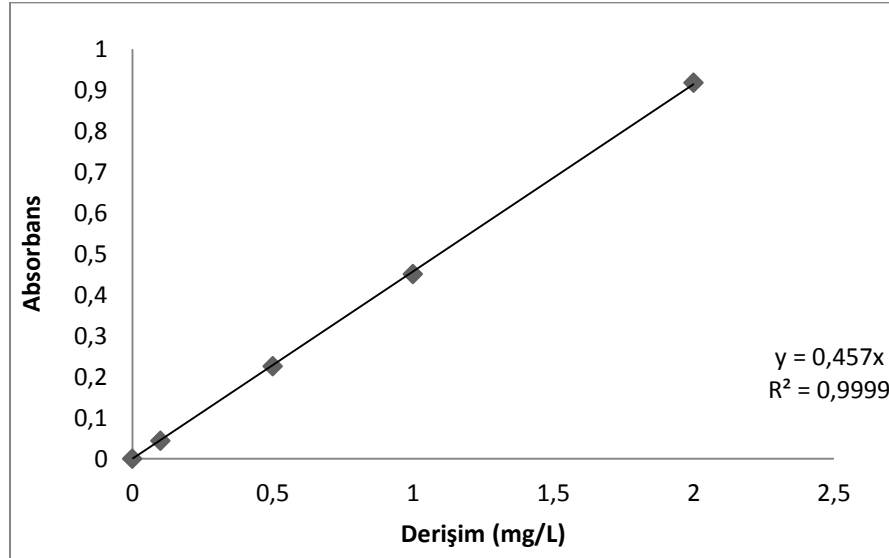
Azomethine-H Yönteminin Prosedürü:

1. Bir plastik kaba örnekten 10 ml koyulur. Üzerine 2,5ml Azomethine-H çözeltisi ve 2,5 ml tampon çözeltisi eklenir.
2. Bu karışım oda sıcaklığında karanlık bir ortamda karıştırmadan 1 saat bekletilir.
3. 1 saatin sonunda spektrofotometreden örneklerin absorbanları 415 nm'de okunur.

Azomethine-H analizinde kalibrasyon eğrisini çizmek için 0,1, 0,5, 1 ve 2 mg/L standart bor çözeltileri kullanılmıştır. Bu standart çözeltilerin 415 nm’de absorbans değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Azomethine-H yönteminin kalibrasyon grafiği de Şekil 3.2’de verilmiştir.

Çizelge3.1: Standart Bor Çözeltilerinin Absorbans Değerleri

Bor Derişimi (mg/L)	Absorbans
0	0
0,1	0,0441
0,5	0,2254
1	0,4507
2	0,9179



Şekil 3.2: Azomethine-H Yöntemine Ait Kalibrasyon Grafiği

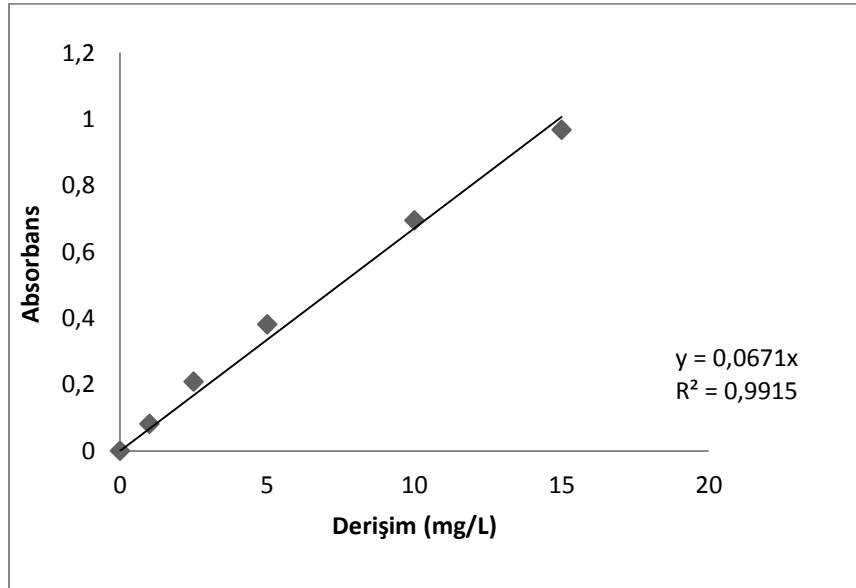
3.2.2. Lityum analizi

Standart lityum çözeltilerini elde etmek için ilk önce 100 mg Li/L stok çözeltisi hazırlanmıştır. Bunun içinde 1L saf su da 5,3280 g lityum karbonat (Li_2CO_3) çözülmüştür.

Lityum analizleri asetilen hava karışımı ile atomik adsorpsiyon spektrofotometresi (VARIAN Spectra AA) kullanılarak yapılmıştır. Lityum standart çözeltilerinin kalibrasyon grafiği Şekil 3.3'te, absorbans değerleri ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Standart Li Çözeltilerinin Absorbans Değerleri

Lityum Derişimi (mg/L)	Absorbans
0	0
1	0,081
2,5	0,209
5	0,381
10	0,695
15	0,968



Şekil 3.3: AAS ile Li Ölçümüne Ait Kalibrasyon Grafiği

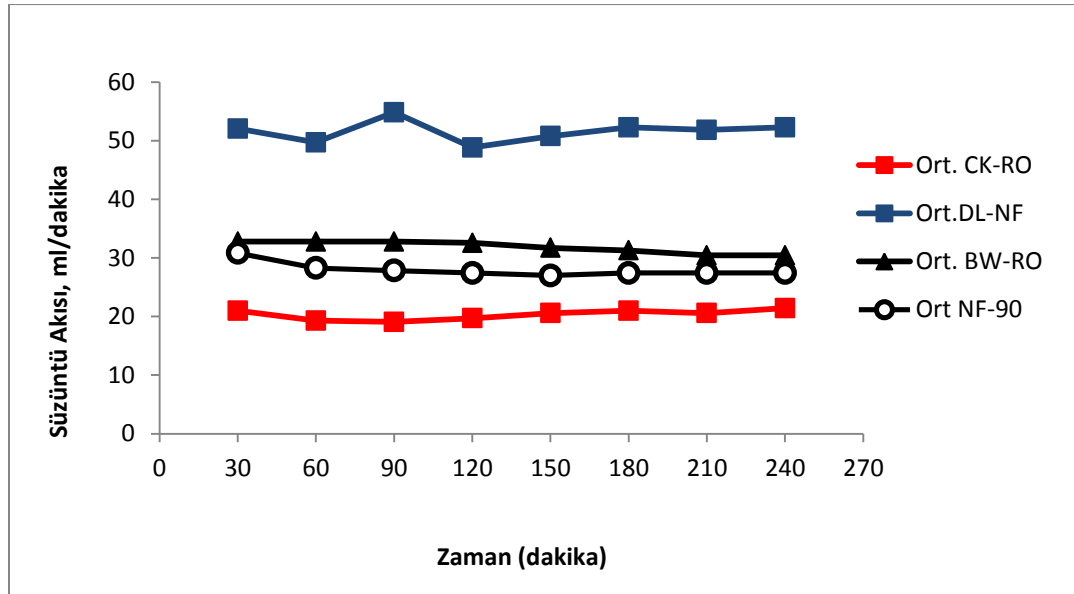
3.2.3. Arsenik analizi

As analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Atık Su Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Analizlerde ICP yöntemi kullanılmıştır.

4. SONUÇLAR

4.1. Jeotermal Sularda Kullanılan Membranların Süzüntü Akıları

Membran çalışmalarından basınç sabit tutularak (10 bar) membranların süzüntü akıları karşılaştırılmıştır. En yüksek süzüntü akısı DL-NF membranına ait olup ortalama 51,6 L/m²h, sonra BW-XLE RO membranının ortalama 31,8 L/m²h, NF-90 membranının ortalama 28,0 L/m²h ve CK-RO membranının ortalama 20,3 L/m²h olarak hesaplanmıştır. Çalışmalarda kullanılan membranlara ait süzüntü akılarının karşılaştırılmasına ait grafik Şekil 4.1 'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Membranların süzüntü akılarının karşılaştırılması CK-RO (●), DL-NF(♦), NF-90 (■), BW-XLE (▲)

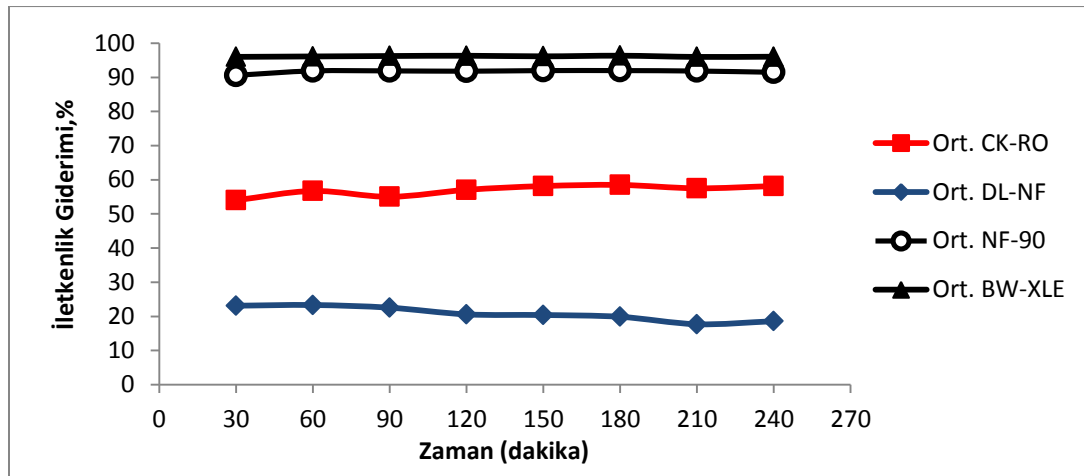
4.2. M44 Jeotermal Suyundan As, B ve Li'un Membran Filtrasyonu ile Giderilmesi

Yapılan membran çalışmaları sırasında jeotermal sularda lityum bor ve arsenik elementlerinin dışında analizlerde yapılmıştır. Bunlar; iletkenlik, toplam çözünmüş katı madde (TÇK), tuzluluk, sodyum, potasyum, magnezyum, kalsiyum, sülfat, klorür, silisyum, amonyum ve bikarbonattır. Şekil 4.2 – 4.16 'da verilen grafiklerde her bir membran ile yapılan iki çalışmada elde edilen ortalama giderim değerleri

verilmiştir. Grafiklerden de anlaşılabacağı gibi, en iyi sonuçlar BW-XLE RO membranı ile elde edilmiştir. Bu membranı NF-90 NF membranı izlemiştir. NF-90 NF membranı olmasına rağmen, CK RO membranından çok daha iyi giderim yapabilmektedir. DL NF membranının ise giderim değerleri oldukça düşüktür.

4.2.1. NF/RO membranlarıyla iletkenlik giderimi

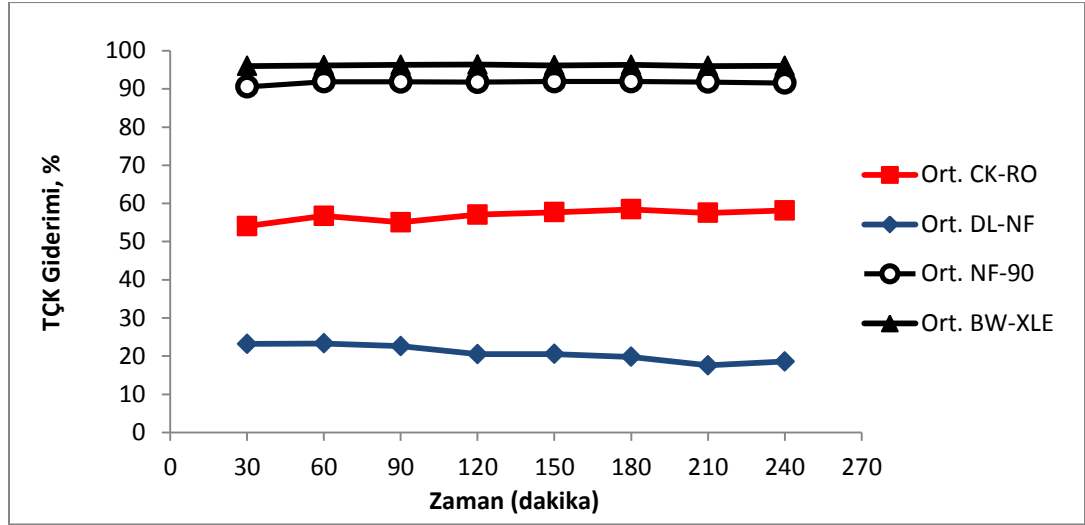
Şekil 4.2’de membranlara ait zamana karşı iletkenlik giderimlerine ait 2 çalışmanın ortalaması verilmiştir. RO membranlarının gözenek yapısı, NF membranına göre daha yoğun olduğundan bu membranın iletkenlik giderimi daha iyidir. DL-NF membranıyla iletkenlik giderimi %20,8’lerde iken, CK-RO membranın iletkenlik giderimi %56,9 civarında olmuştur. NF-90 membranının iletkenlik giderimi %91,6 düzeyinde iken, BW-XLE RO membranına ait ortalama iletkenlik giderim değeri ise %96,2’dir.



Şekil 4.2. Membranların iletkenlik giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.2. NF/RO membranlarıyla toplam çözünmüş katı madde (TÇK) giderimi

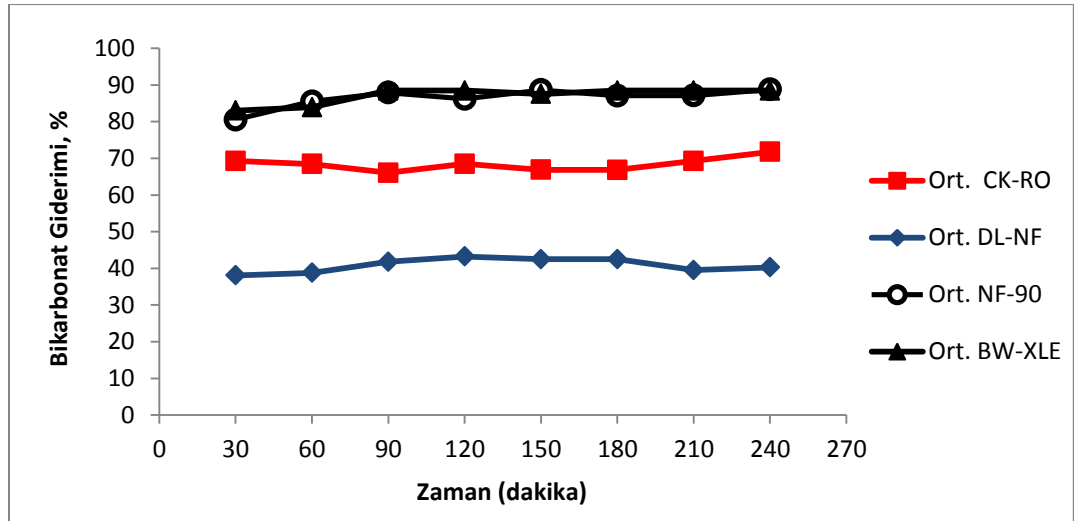
Membranlara ait zamana karşı ortalama TÇK giderimleri Şekil 4.3’te verilmiştir. DL membranına ait ortalama TÇK giderimi %20,8, CK membranına ait giderim %56,8, NF-90 membranında ait giderim %91,6 iken; BW-XLE membranında ise ortalama giderim %96,2 düzeyinde olmuştur.



Şekil 4.3. Membranların TÇK giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.3. NF/RO membranlarıyla bikarbonat giderimi

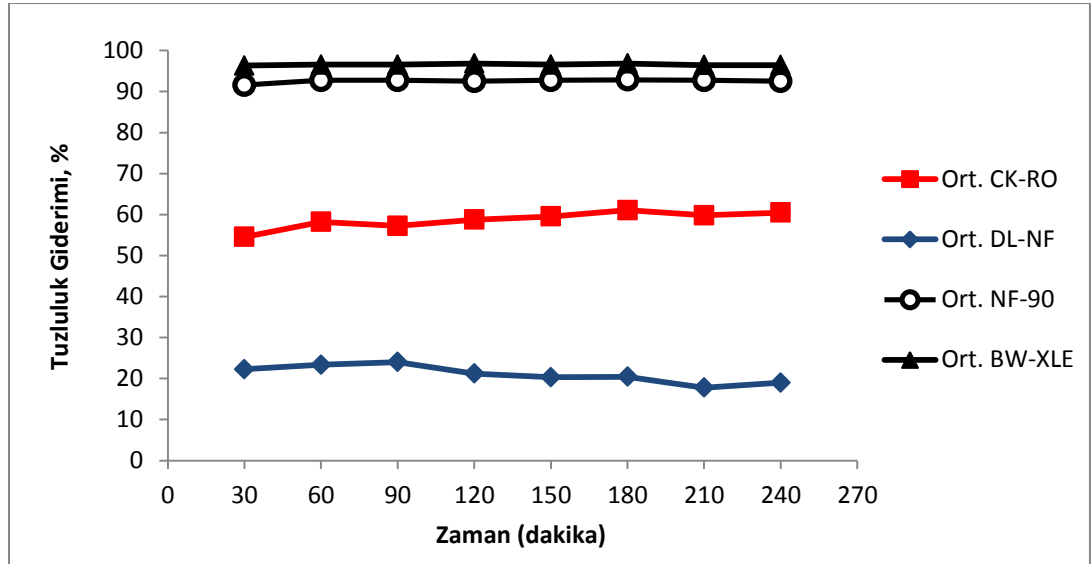
Şekil 4.4'te membranlara ait zamana karşı bikarbonat giderimleri verilmiştir. DL ve CK, membranlarına ait ortalama bikarbonat giderimi sırasıyla %40,8 ve %68,4'dür. Bikarbonat giderimi NF-90 membranı için %86,4, BW-XLE membranı için bikarbonat giderimi ise %87,1 düzeyinde elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Membranların bikarbonat giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.4. NF/RO membranlarıyla tuzluluk giderimi

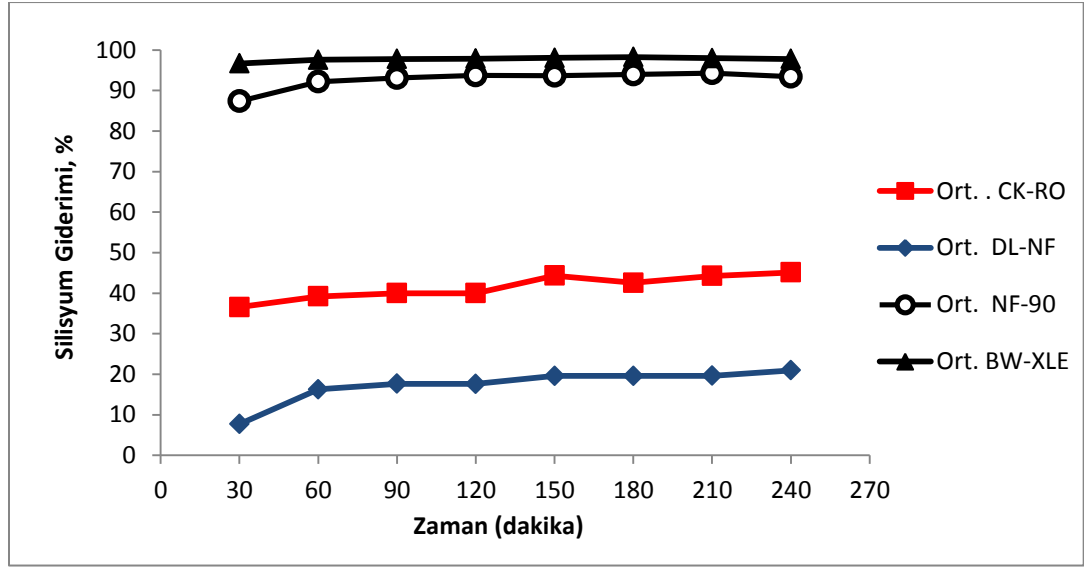
Tuzluluk gideriminin de, toplam çözünmüş katı madde ve iletkenlikte olduğu gibi en iyi giderim performansını BW-XLE membranı göstermiştir. DL, CK, NF-90 ve BW-XLE membranlarıyla ortalama tuzluluk giderim sırasıyla %21,0, %58,7, %92,6 ve %96,6'dır. Şekil 4.5'te membranlara ait zamana karşı tuzluluk giderimleri verilmiştir.



Şekil 4.5. Membranların tuzluluk giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.5. NF/RO membranlarıyla silisyum giderimi

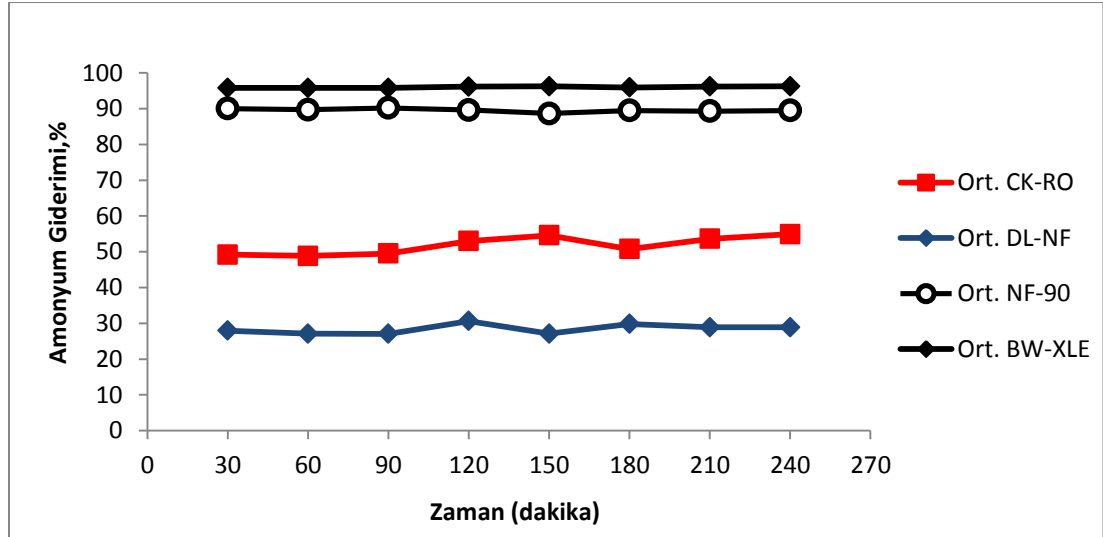
Silisyum gideriminde DL-NF membranıyla %17,3 düzeyinde giderim elde edilmiştir. CK membranıyla %41,5 BW-XLE ve NF-90 membranları ile %90'ın üzerinde giderim elde edilmiştir. Şekil 4.6'da membranlara ait zamana karşı silisyum giderim performansları verilmiştir.



Şekil 4.6. Membranların silisyum giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.6. NF/RO membranlarıyla amonyum giderimi

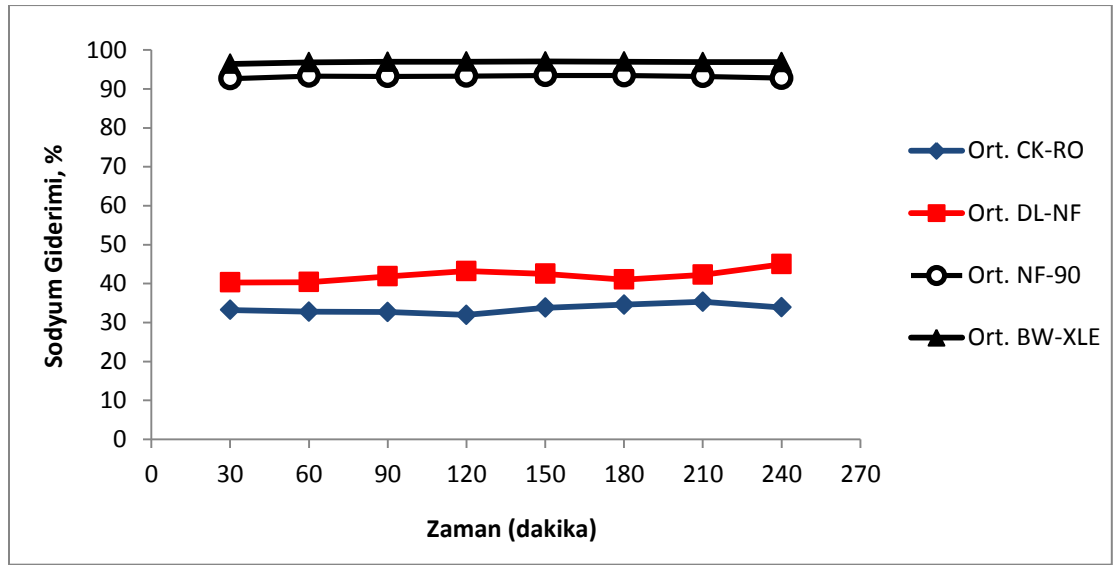
Şekil 4.7’de membranların zamana karşı amonyum giderimleri verilmiştir. DL, CK ve NF-90 ve BW-XLE membranlarına ait ortalama amonyum giderimi sırasıyla % 28,4, % 51,8,% 89,5 ve % 96’dır.



Şekil 4.7. Membranların amonyum giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.7. NF/RO Membranlarıyla sodyum giderimi

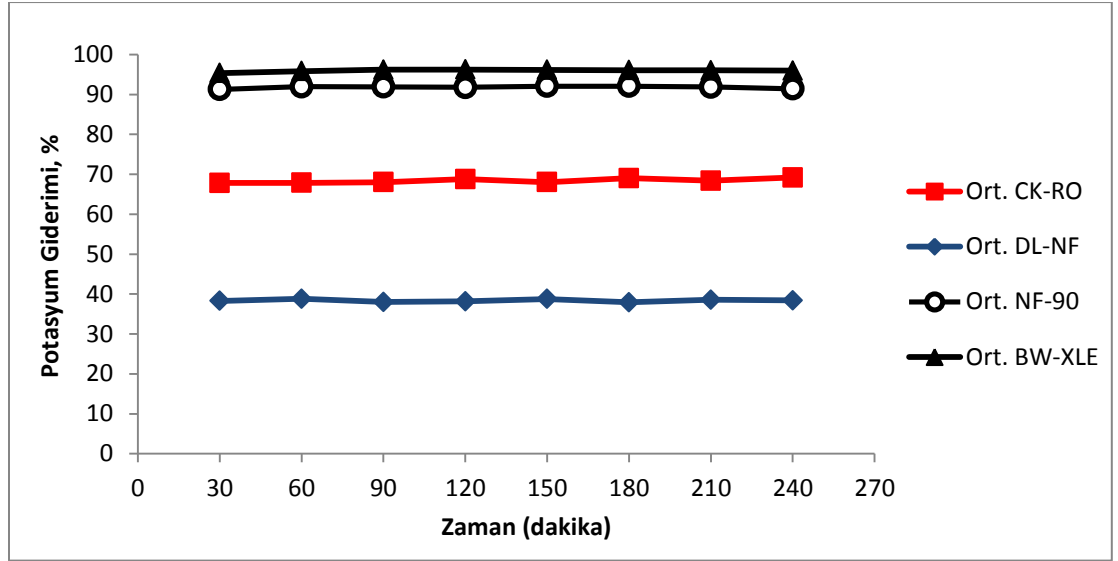
Şekil 4.8’de farklı membranların zamana karşı sodyum giderimleri verilmiştir. NF ile tek değerlikli iyonlar (monovalent) %20-80 oranında uzaklaştırılırken, RO membranları ile bu değer %95-99 arasındadır. DL, CK, NF-90 ve BW-XLE membranlarıyla sodyum giderimleri de bu değerler arasındadır. NF membranı olan DL ve NF-90 membranların da ortalama sodyum giderimi sırasıyla %33,5 ve %93,1 iken, RO membranı olan CK membranının sodyum giderimi %42,1 düzeyindedir. BW-XLE membranın da ise bu değer %96,8’dir.



Şekil 4.8. Membranların sodyum giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.8. NF/RO membranlarıyla potasyum giderimi

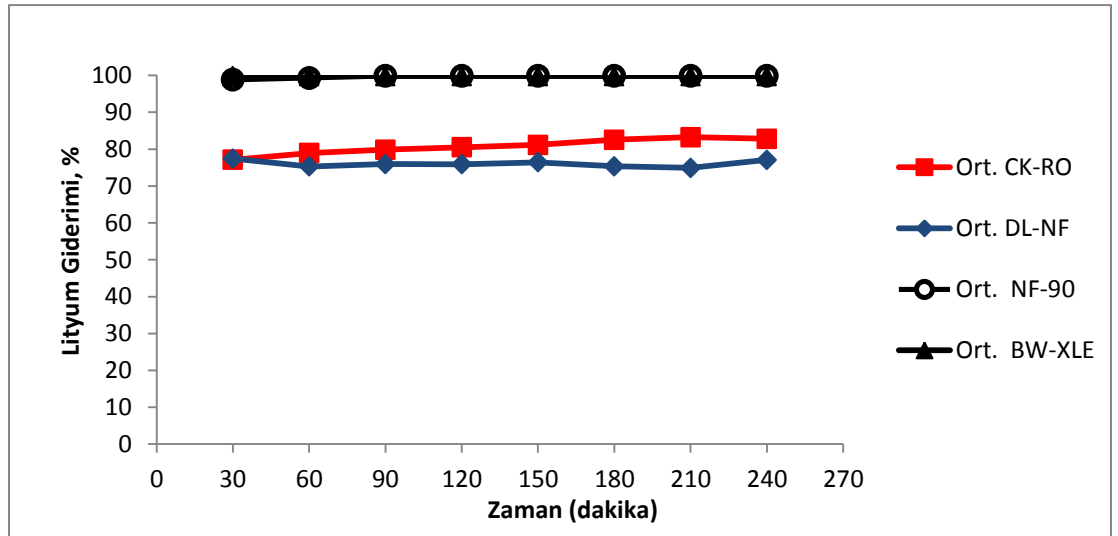
DL,CK, NF-90 ve BW-XLE membranlarına ait potasyum giderimi sırasıyla %38,3,% 68,4,% 91,8 ve %95,9’dır. Zamana karşı giderim değişimleri Şekil 4.9’de verilmiştir.



Şekil 4.9. Membranların potasyum giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.9. NF/RO membranlarıyla lityum giderimi

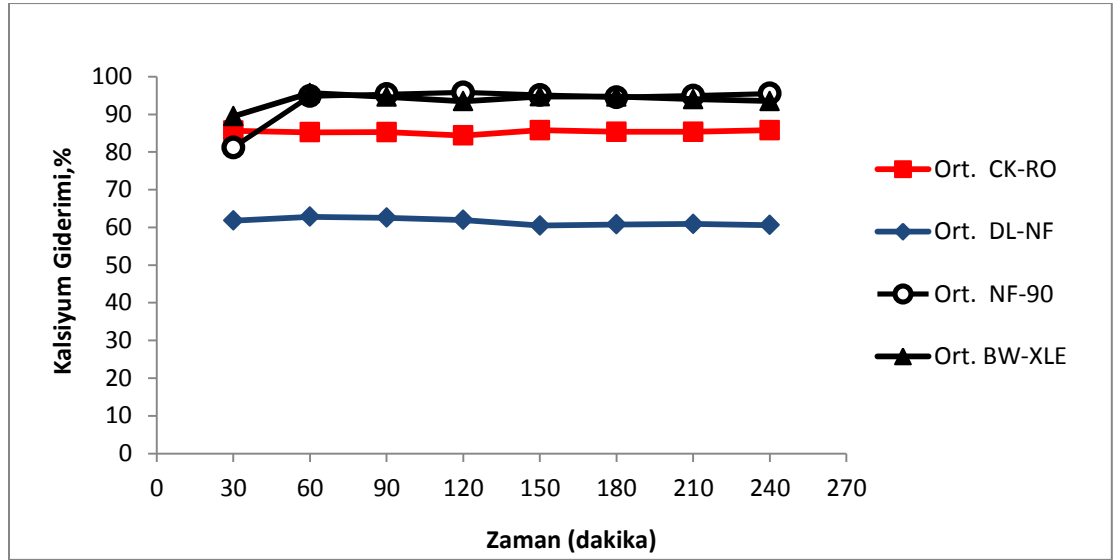
Şekil 4.10’da membranların lityum giderimleri verilmiştir. DL ve CK membranlarına ait lityum giderimleri sırasıyla %76,0 %80,8 iken; NF-90 ve BW-XLE membranlarına ait giderim ise %99,7’dir.



Şekil 4.10. Membranların lityum giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.10. NF/RO membranlarıyla kalsiyum giderimi

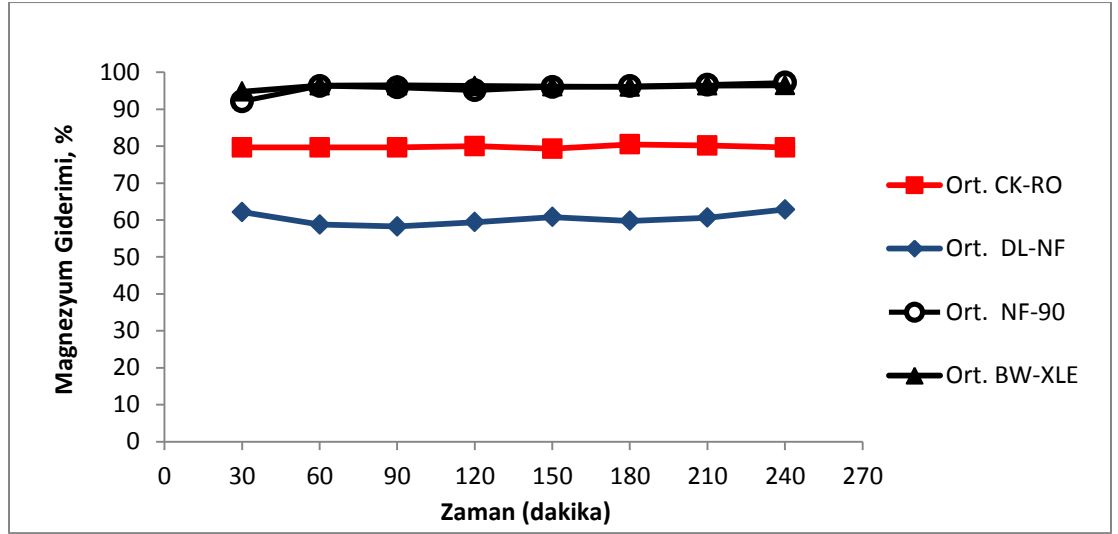
Şekil 4.11’de membranların zamana karşı kalsiyum giderimi verilmiştir. Tek değerlikli iyonların aksine çift değerlikli iyonların NF ile giderimi %90-98 arasındadır. Yaptığımız çalışmada NF-90 membranlarıyla ortalama kalsiyum giderimi %93,4 iken, DL membranında bu değer %61,5’dir. RO membranı ile çift değerlikli iyonların giderimi yüksek düzeydedir. CK membranlarıyla kalsiyum giderimi %85 iken, BW-XLE membranlarıyla ortalama kalsiyum giderimi %93,7 olmuştur.



Şekil 4.11. Membranların kalsiyum giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.11. NF/RO membranlarıyla magnezyum giderimi

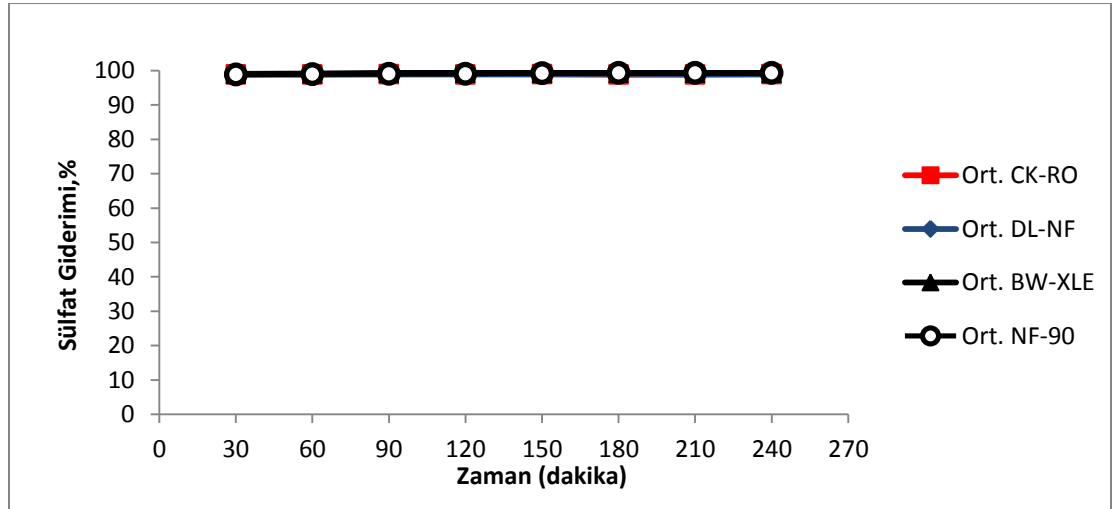
Şekil 4.12’de membranların zaman karşı magnezyum giderimleri verilmiştir. En yüksek magnezyum giderimi %96 ile NF-90 ve BW-XLE ile elde edilmiştir. CK membranlarıyla ortalama magnezyum giderimi %79,8 iken, DL membranlarıyla bu değer %60,3’tür.



Şekil 4.12. Membranların magnezyum giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.12. NF/RO membranlarıyla sülfat giderimi

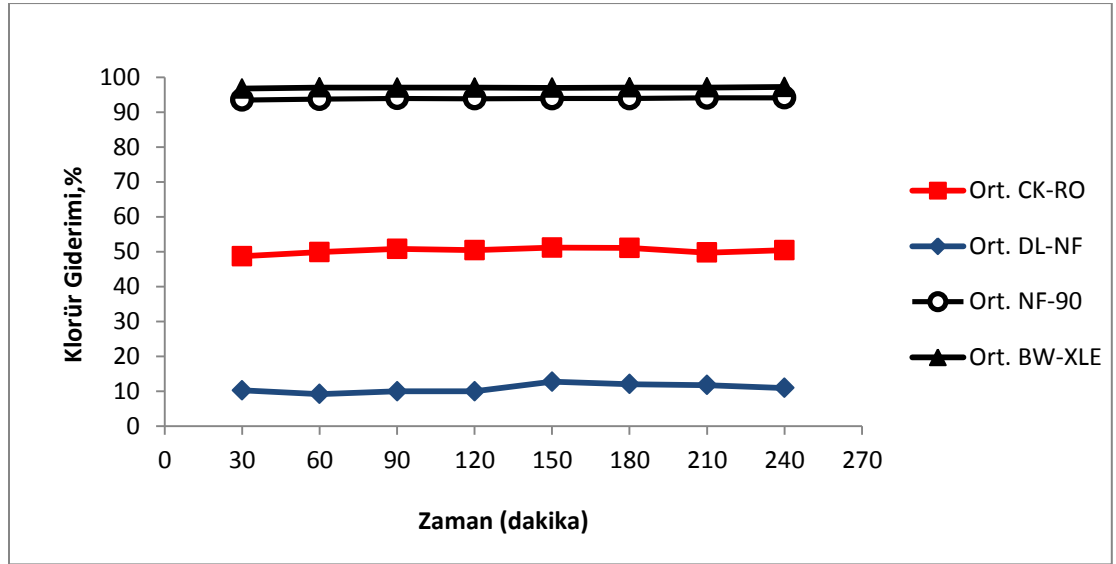
Şekil 4.13'te membranların zamana karşı sülfat giderimleri verilmiştir. Bütün membranlar %99'un üzerinde giderim vermiştir. Bunun nedeni tek değerlikli iyonların aksine çift değerlikli iyonların yükünün daha fazla olmasıdır. Dolayısıyla bu durum sülfatın membranlar tarafından uzaklaştırılmasını kolaylaştırmıştır.



Şekil 4.13. Membranların sülfat giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.13. NF/RO membranlarıyla klorür giderimi

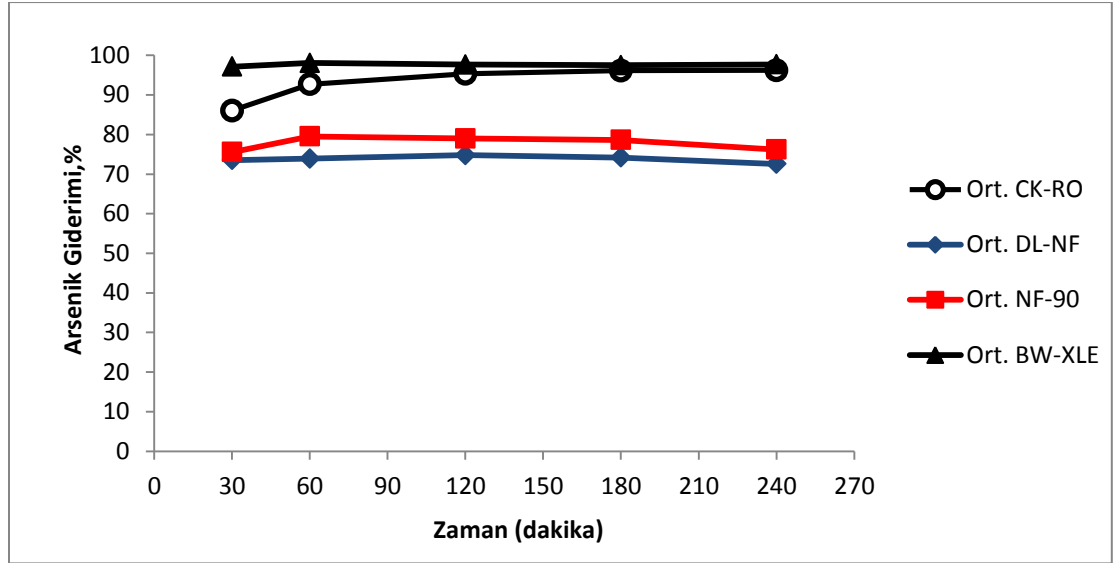
Şekil 4.14'te membranlara ait zamana karşı klorür giderimleri verilmiştir. DL membranı hariç diğer membranlar yüksek klorür giderimi vermiştir. Sodyum ve potasyum gideriminde olduğu gibi en düşük giderim %10,9 ile DL membranı ile gözlenmiştir. CK membranlarıyla ortalama klorür giderimi %50,3 iken, NF-90 membranlarıyla ortalama klorür giderim %93,8'dir. BW-XLE membranlarıyla ortalama klorür giderim ise %97,0'dır.



Şekil 4.14. Membranların klorür giderimlerinin karşılaştırılması CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.2.14. NF/RO membranlarıyla arsenik giderimi

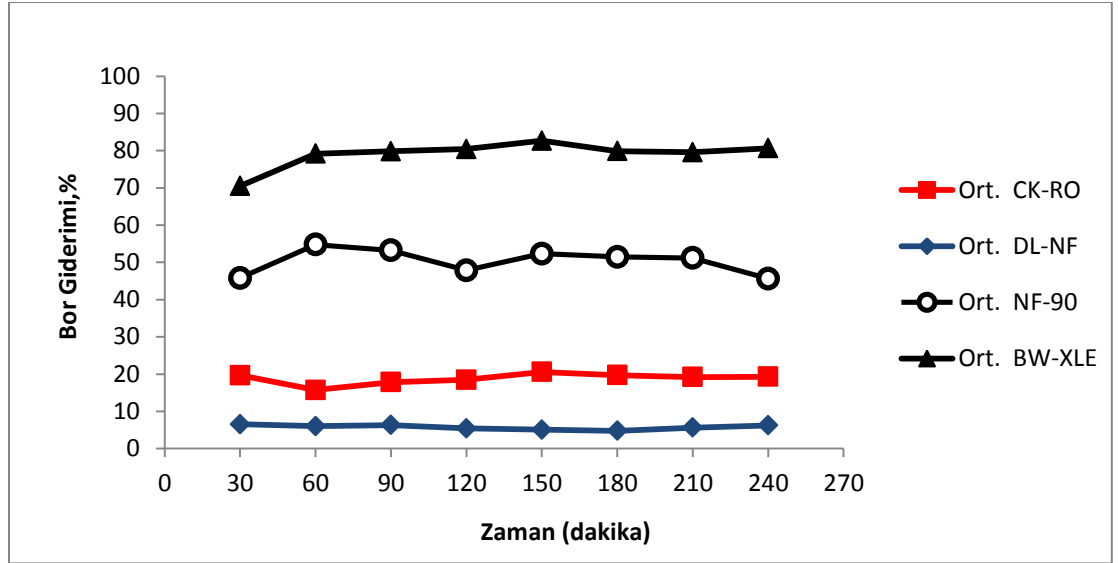
Şekil 4.15'te membranların zaman karşı arsenik giderimleri verilmiştir. DL ve CK membranlarına ait arsenik giderimi sırasıyla, %73,8 ve %77,8 olarak elde edilmiştir. NF-90 membranlarıyla ortalama giderim %93,3 iken, BW-XLE membranlarıyla giderim ise %97,6'dır.



Şekil 4.15. Membranların arsenik giderimi CK-RO (○), DL-NF(♦), NF-90 (■), BW-XLE (▲)

4.2.15. NF/RO membranlarıyla bor giderimi

Şekil 4.16’da membranların zamana karşı bor giderimleri verilmiştir. Genel olarak membranların bor giderimleri diğer iyonlara göre çok daha düşüktür. Membran filtrasyon yöntemi, normal pH şartlarında jeotermal sulardan bor giderimi için yetersiz kalmaktadır. Bu yöntemde pH’ın yükseltilmesi, bor giderimini arttırmaktadır. Çünkü bor pH yükseldiğinde borik asit formunda olan bor, anyonik borat formuna geçmektedir. DL membranının bor giderimi %5,76, CK membranının bor giderimi %18,8, NF-90 membranlarıyla ortalama bor giderimi %50,3 iken, BW-XLE membranlarıyla bor giderimi ise %79,1 olmuştur.



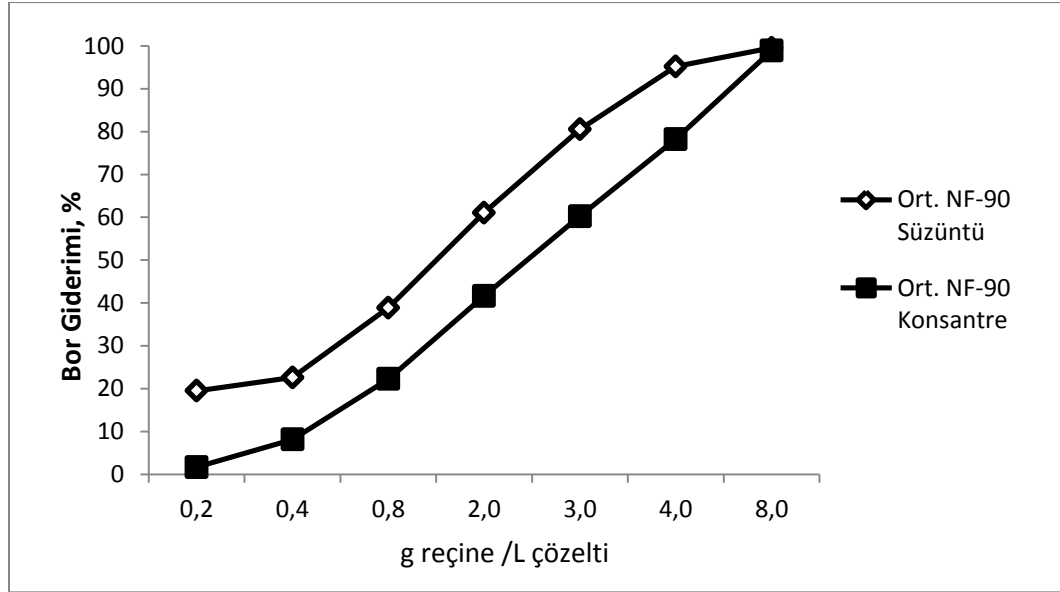
Şekil 4.16. Membranların bor giderimi CK-RO (■), DL-NF(♦), NF-90 (○), BW-XLE (▲)

4.3. Membran Süzüntülerinden ve Konsantre Bileşenlerinden İyon Değiştirme Yöntemiyle As, B ve Li Ayrılması

İyon değiştirme yöntemiyle B, As, Li ayrılması için membran çalışmalarında en iyi performans sergileyen NF-90 ve BW-XLE RO membranlarıyla süzüntü ve konsantre örnekleri kullanılmıştır. Bu örneklerden arsenik, lityum ve bor adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır.

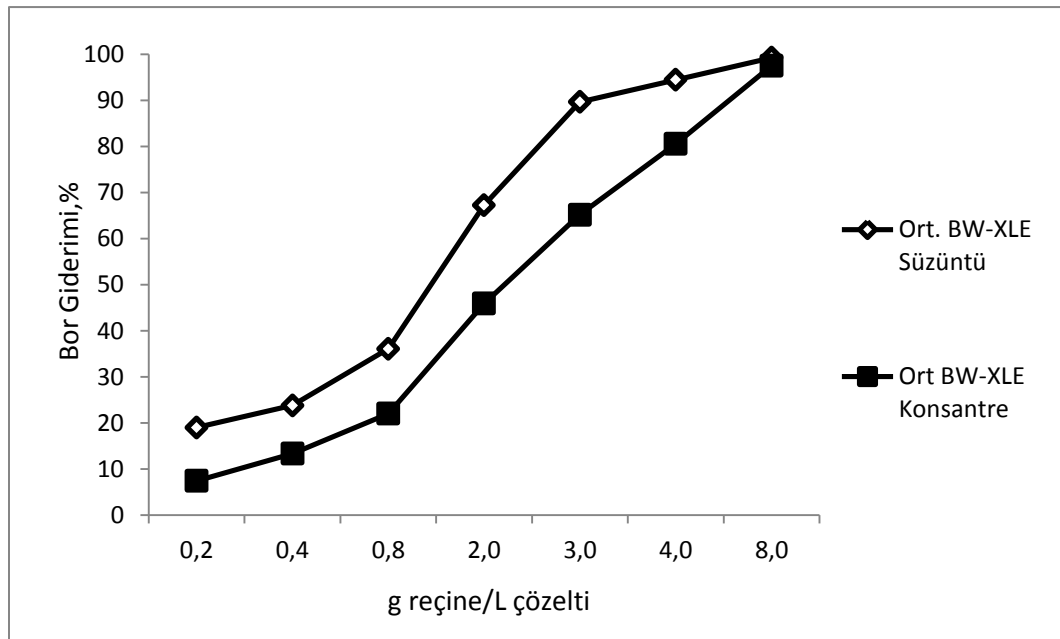
4.3.1. Bor ayrılması

NF/RO membranlarının süzüntü ve konsantre bileşenlerinden bor ayrılması için Diaion CRB-02 reçinesi kullanılmıştır. Şekil 4.17’de adsorpsiyon için kullanılan reçine miktarına karşı bor giderimi hem NF-90 süzüntüsü hemde NF-90 konsantre bileşeni için grafiğe geçirilmiştir. Reçine miktarı arttıkça her iki ortamda da bor ayrılması artmıştır. Çalışmaların sonucunda reçinelerin derişimi 8 g/L olduğunda borun hemen hemen tamamı her iki çözeltiden de ayrılmıştır.



Şekil 4.17. NF-90 membranı konsantre ve süzöntü çözeltisinden Diaion CRB-02 reçinesiyle bor ayrılması

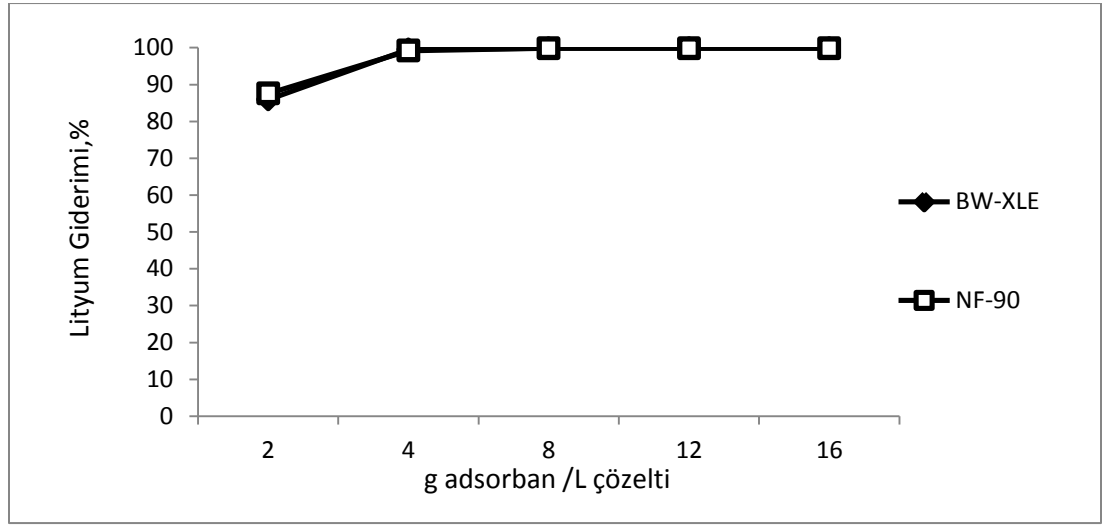
BW-XLE RO membranı için elde edilen sonuçlar Şekil 4.18’de gösterilmektedir. Her iki membran içinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.18. BW-XLE membranı konsantre ve süzöntü çözeltisinden Diaion CRB-02 reçinesiyle bor ayrılması

4.3.2. Lityum Ayrılması

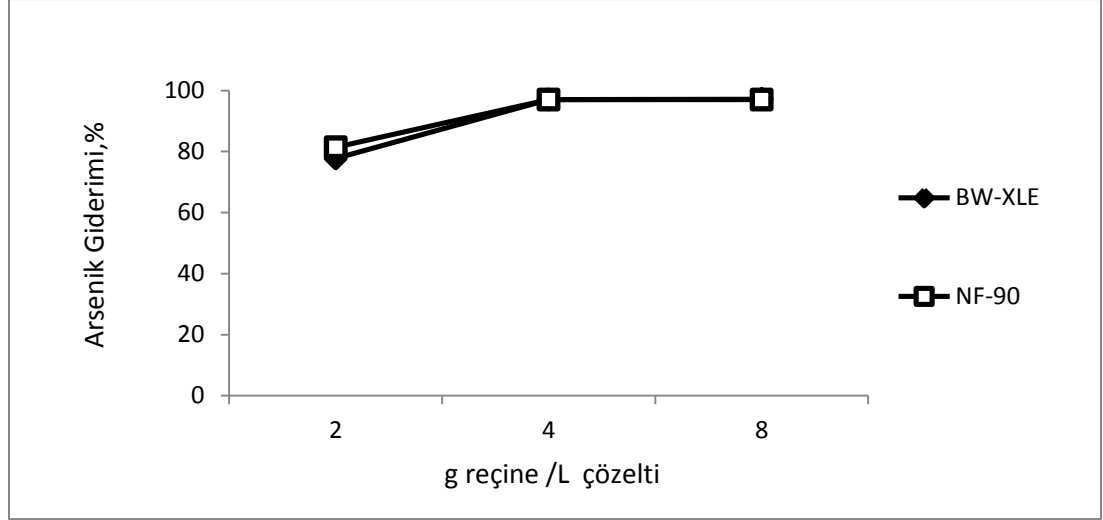
NF/ RO membranlarının konsantre bileşenlerinden lityum ayrılması için λ -MnO₂ ile adsorbsiyon çalışmaları yapılmıştır. Bu membranların jeotermal sulardan lityum giderimleri %99'un üzerinde olduğu için, süzüntüden lityum giderimi çalışılmamıştır. Konsantre çözeltisindeki lityum derişim ise 6,74 mg/L düzeyindedir. Şekil 4.19'da görüldüğü gibi her iki membranın konsantre bileşenleri ile 4g λ -MnO₂/L ile %99 düzeyinde lityum ayrılması mümkün olmuştur.



Şekil 4.19. λ -MnO₂ ile BW-XLE ve NF-90 membranlarının konsantre bileşenlerinden lityum ayrılması

4.3.3. Arsenik Ayrılması

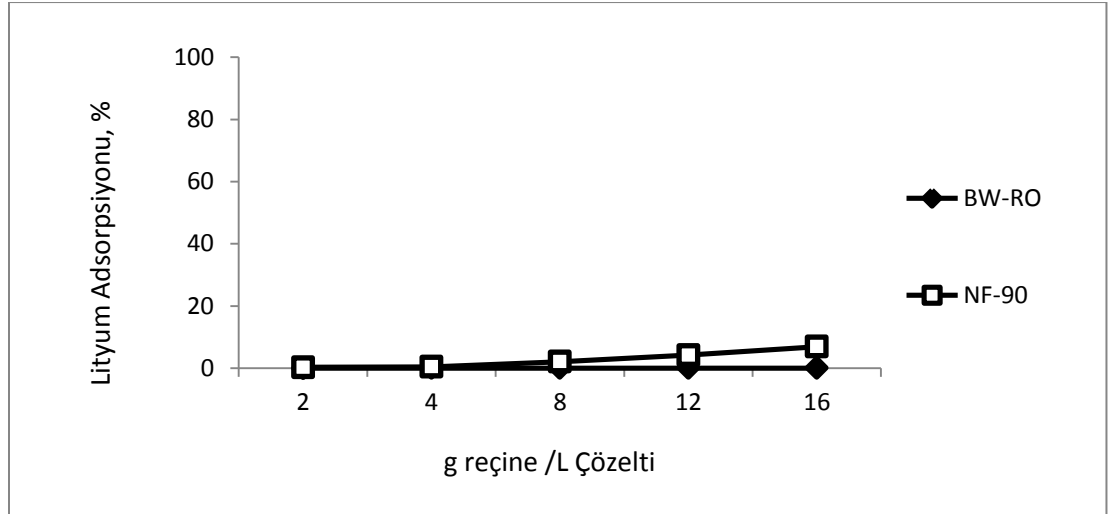
Hem NF-90 hem BW-XLE membranları %90'ın üzerinde arsenik giderimi sağladıkları için, sadece konsantre bileşenlerinden arsenik ayrılması çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla arsenik seçimli ArsenX^{np} reçinesi kullanılmıştır. Şekil 4.20'de görüldüğü gibi gerek BW-XLE gerekse NF-90 membranlarının konsantre bileşenlerinden ArsenX^{np} reçinesi ile (4g/L) %99 düzeyinde arsenik ayrılması mümkün olmuştur.



Şekil 4.20. BW-XLE ve NF-90 konsantre bileşenlerinden ArsenX^{np} reçinesi ile arsenik ayrılması

4.3.4. ArsenX^{np} Reçinesi ile Lityum Adsorpsiyonu

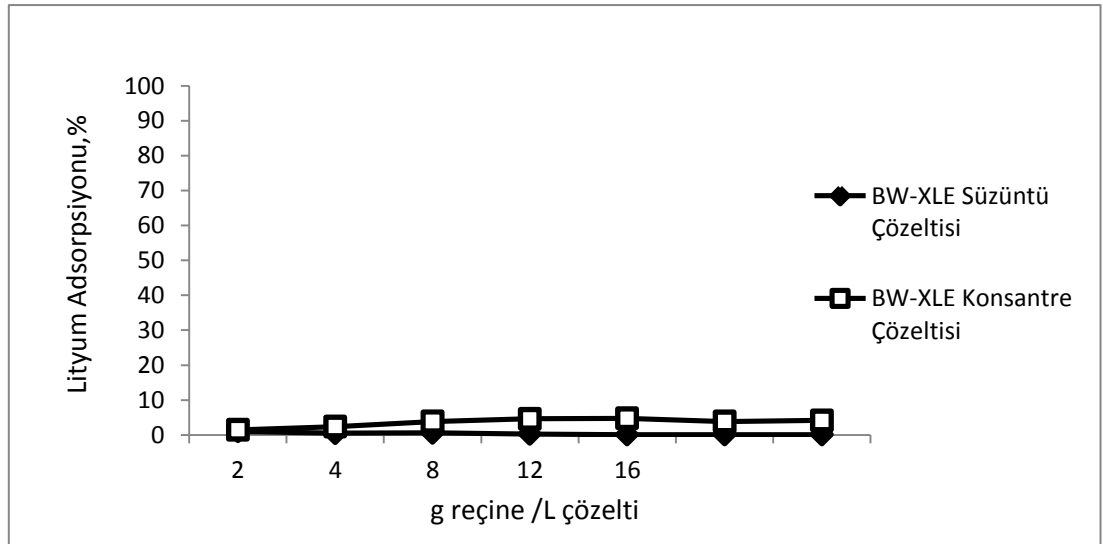
NF-90 ve BW-XLE membranlarıyla lityum ve arsenik giderimi yüksek oranda olduğu için konsantre çözeltisi lityum ve arsenik bakımından zenginleşmiştir. Aynı şekilde konsantre bileşen içinde bir miktar borda bulunmaktadır. Bu bağlamda lityum ve arsenik adsorpsiyonunda kullanılan adsorbanların diğer iyonları tutup tutmadığına bakılması gerekmektedir. Bunun için ilk olarak ArsenX^{np} reçinesiyle lityum adsorpsiyonu kontrol edilmiştir. Şekil 4.21’de görüldüğü gibi arsenik adsorpsiyonunun maksimum olduğu 4 g/L reçine derişiminde tutulan lityum değeri yok denecek kadar azdır. Reçine derişimi 16 g/L çıkarıldığında da lityum giderimi sadece %8 düzeyine gelmektedir.



Şekil 4.21. ArsenX^{np} reçinesi ile lityum adsorpsiyonu

4.3.5. Diaion CRB-02 Reçinesi ile Lityum Adsorpsiyonu

Bor seçimli Diaion CRB-02 reçinesiyle bor adsorpsiyonu için yapılan çalışmalarda hem NF-90 hemde BW-XLE membranlarının konsantre ve süzüntü çözeltileri kullanılmıştır. Bor her iki membranın hem süzüntü hemde konsantre bileşeninde bulunduğu için her iki çözeltiliden de Diaion CRB-02 reçinesiyle lityum adsorpsiyonu incelenmiştir (Şekil 4.22-4.23).



Şekil 4.22. Diaion CRB-02 reçinesi ile BW-XLE membranının süzüntü ve konsantre çözeltilerinden lityum ayrılması



Şekil 4.23. Diaion CRB-02 reçinesi ile NF-90 membranının süzüntü ve konsantre çözeltilerinden lityum ayrılması

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Membran filtrasyon ve iyon değiştirme çalışmaları yapılarak jeotermal sularda bulunan Li, As ve B gibi elementlerin ayrılması için çalışmalar yapılmıştır. Çizelge 5.1’de farklı türde NF ve RO membranlarının madde giderimleri verilmiştir. Çizelge 5.1’den anlaşılacağı gibi CK RO membranı olmasına rağmen NF membranı gibi davranırken, NF-90 membranı da RO membranı gibi davranmıştır.

Çizelge 5.1. Jeotermal sulardan % madde giderimlerinde membran performanslarının karşılaştırılması

	DL	CK	NF-90	BW-XLE
İletkenlik	20,8	56,9	91,6	96,2
TK	20,8	56,8	91,6	96,2
Tuzluluk	21,0	58,7	92,6	96,6
B	5,76	18,8	50,3	79,1
SiO ₂	17,3	41,5	92,7	97,7
Na ⁺	33,5	42,1	93,1	96,8
K ⁺	38,3	68,4	91,8	95,9
Mg ²⁺	60,3	79,8	95,7	96,1
Ca ²⁺	61,5	85	93,4	93,7
HCO ₃ ⁻	40,8	68,4	86,4	87,1
Cl ⁻	10,9	50,3	93,8	97,0
SO ₄ ²⁻	99,9	98,8	99,1	99,3
NH ₄	28,4	51,8	89,5	96,0
Li ⁺	76,0	80,8	99,7	99,8
As	73,8	77,8	93,3	97,6

Elde edilen sonuçlara göre madde gideriminde en iyi performansı NF-90 ve BW-XLE membranları vermiştir. Bu membranların sznt ve konsantre bileşenlerindeki ortalama Li, B ve As derişimleri izelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. BW-XLE ve NF-90 membranlarının süzüntü ve konsantre çözeltilerinde B,Li ve As derişimleri

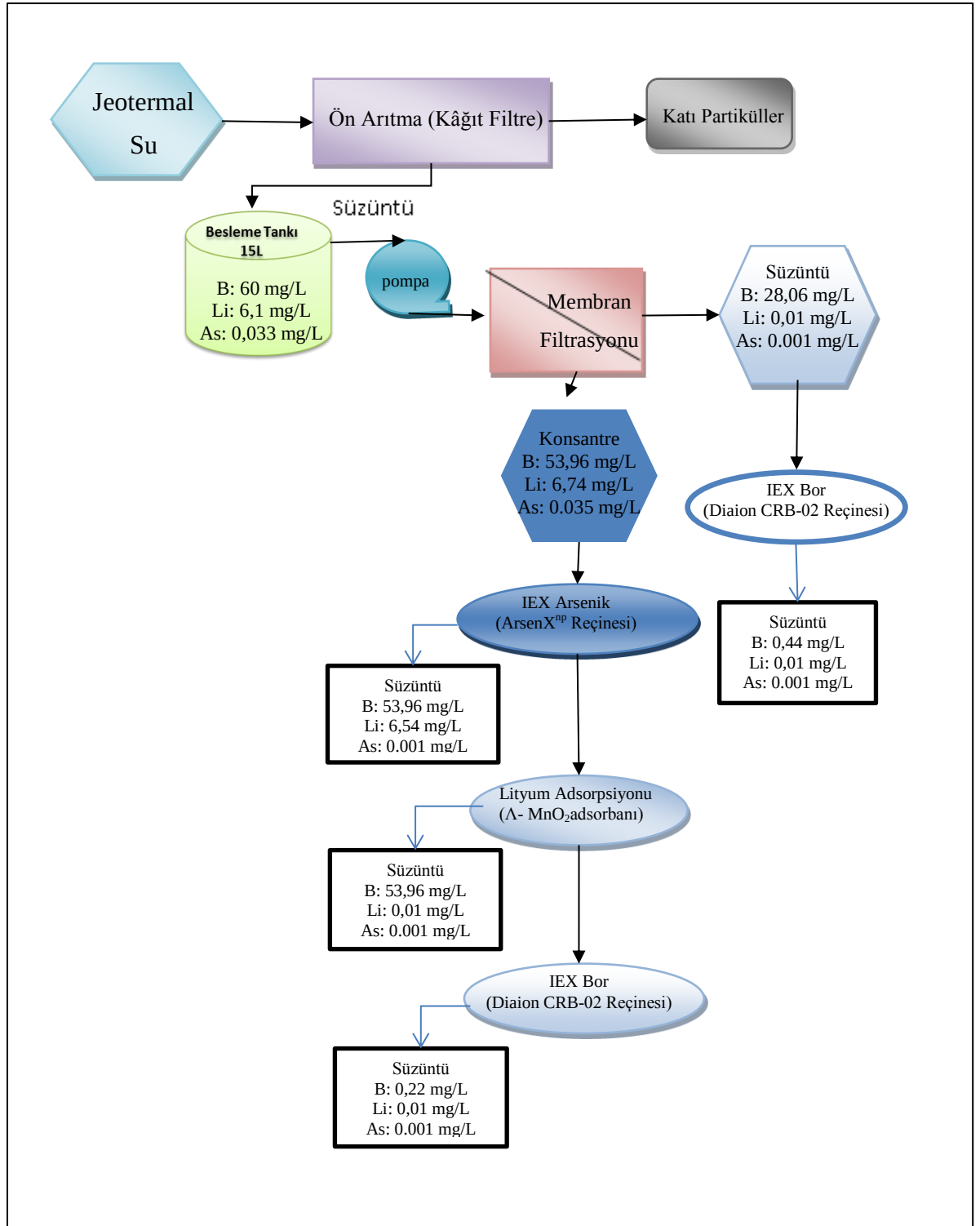
	BW-XLE		NF-90	
(mg/L)	Süzüntü	Konsantre	Süzüntü	Konsantre
B	28,06	53,96	33,22	51,71
Li	0,01	6,74	0,01	6,74
As	0,001	0,035	0,01	0,033

Çizelge 5.2’den anlaşılacağı gibi, jeotermal sulardan Li, B ve As elementinin ayrı ayrı giderilmesi için tek başına membran filtrasyon yeterli olmamaktadır. Bu yöntemin adsorpsiyon yöntemiyle kombine edilmesi gerekmektedir. Bu düşünceyle kombine prosesin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Şekil 5.1’de kombine prosesin akım şeması verilmiştir.

İyon değıştirme/adsorpsiyon sonucu toksik maddelerin jeotermal sudaki miktarları Çizelge 5.3 ve 5.4’te verilmiştir. Bu suyun çevreye zarar vermeden yüzey sularına atılabilmesinin uygunluğunu değerlendirmek amacıyla EPA (Environmental Protection Agency) ve WHO (World Health Organization) standartları da çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.3. İyon değıştirme yöntemiyle % B, Li ve As giderimi

Element	BW-XLE (Süzüntü Çözeltisi)	BW-XLE (Konsantre Çözeltisi)	NF-90 (Süzüntü Çözeltisi)	NF-90 (Konsantre Çözeltisi)
B	% 99,19	% 99,22	% 99.99	% 99.79
Li	-	%99,85	-	%99,85
As	-	%97,14	-	%96,97



Şekil 5.1. Akım Şeması

Çizelge 5.4. İyon değiştirme sonucunda jeotermal suyun süzüntü ve konsantre bileşenlerinde tutunmadan kalan B, Li ve As miktarının EPA ve WHO değarj limitleri ile karşılaştırılması

Element	BW-XLE (Süzüntü Çözeltisi)	BW-XLE (Konsantre Çözeltisi)	NF-90 (Süzüntü Çözeltisi)	NF-90 (Konsantre Çözeltisi)	EPA Değarj Limiti*	WHO Değarj Limiti**
B	0,44mg/L	0,22 mg/L	0,31 mg/L	0,11 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L
Li	-	0,1 mg/L	-	0,1 mg/L	***	***
As	-	0,001 mg/L	-	0,001 mg/L	0,01 mg/L	0,01 mg/L

* EPA, 2015

** WHO, 2015

*** Lityum için bir değarj limiti bulunmamaktadır.

Yapılan çalışmaların sonucunda toksik As ve B minerallerini değarj limitlerinin altına düşürecek seviyede giderim sağlamıştır. Lityum toksik bir element olmadığı için onunla ilgili değarj kriteri bulunmamaktadır. Ancak Li ve B oldukça önemli ve kullanım alanı fazla olan elementlerdir. Bu yüzden jeotermal sulardan B ve Li'nin geri kazanılarak ekonomiye katkıda bulunulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abe M. and Chitrakar R.**, 1987, Synthetic Inorganic Ion-Exchange Materials. XLV. Recovery of Lithium from Seawater and Hydrothermal Water by Titanium (IV) Antimonate Cation Exchanger, *Hydrometallurgy*, 19, 117-128 pp.
- Abu A. H., Dembitsky M. V. and Srebnik Morris**, 2005, Contemporary Aspects of Boron: Chemistry and Biological Applications, *Elsevier*, Amsterdam, The Netherlands, 591 p.
- Afonso, M. D., Jaberb, J. O. and Mohsen, M. S.**, 2004, Brackish Groundwater Treatment by Reverse Osmosis in Jordan, *Desalination*, 164, 157-171 p.
- Alpaslan M. N., Dölgen D., Boyacıoğlu H. Ve Sarptaş H.**, 2010, İçme Suyundan Kimyasal Yöntemlerle Arsenik Giderimi, *İTÜ Dergisi*, 20, 15-25 s.
- Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi and R., Tchobanoglous, G.**, 2007, Water Reuse Issues, Technologies, and Applications, *McGraw Hill*, New York.
- Atabey E.**, 2009, Arsenik ve Etkileri, *MTA Yerbilimleri ve Kültür Serisi*, 3, 91 s.
- Ayhan S.**, 2006, Yeni Yöntemle Jeotermal Sulardan Borun Kazanılması ve Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
- Badruk, M.**, 2001, Jeotermal Enerji Uygulamalarında Çevre Sorunları, *Teskon 2001 Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri Ve Tasarımı Seminer Kitabı*, 262-263 s.
- Badruk, M., Kabay, N., Demircioğlu, M., Mordoğan, H., and İpekoğlu, U.**, 1999, Removal of boron from wastewater of geothermal power plant by selective Ionexchange Resins. I. Batch sorption-Elution Studies, *Separation Science and Technology*, 34, 2553-2569 pp.
- Balıkesir Üniversitesi**, Jeotermal Enerji, http://www.balikesir.edu.tr/index.php/baun/birim/gonen_jeotermal_enstitusu/menu/9101 erişim tarihi: 04.05.2015

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Başkan B. M. ve Atalay N.**, 2012, İçme ve Sulama Sularında Bor Kirliliği ve Bor Giderme Yöntemleri, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20, 78-84 s.
- Biyotip**, Lityum Sağlık Etkileri, <http://www.biyotip.com/images/File/e.pdf> (erişim tarihi, 04.05.2015)
- Banasiak, L.J. and Schafer, A.I.**, 2009, Removal of boron fluoride and nitrate by electrodialysis in the presence of organic matter, *Journal of Membrane Science*, 334,101-109 pp.
- Brammer H. and Ravenscroft P.**,2009, Arsenic in groundwater: A threat to sustainable agriculture in South and South-east Asia, *Environment International*,35, 647–654 pp.
- Büyükburç A.**,2003, Lityum: Gelecekte Önemi Artacak Mı , *Araştırma*
- Büyükburç A., D. Maraşlıoğlu, U. Bilici ve M. Gündüz**, 2002, Bor Cevheri Ve Yan Kayaçlarda Lityum İçeriğinin Belirlenmesi, *Eti Holding AR-GE Dai. Bşk*
- Chen, J., W. H. Rulkens and H. Bruning**, 1997, Photochemical Elimination of Phenols and COD in Industrial Wastewaters, *Water Science Technology*, 35, 231–238 pp.
- Cheng, R.C., Liang, S., Wang, H.C. and Beuhler, J.**, 1994, Enhanced coagulation for arsenic removal, *Journal of the American Water Works Association*, 9, 79-90 pp.
- Chitrakar R., Kanoh H., Miyai Y., and Ooi K.**, 2001, Recovery of Lithium from Seawater Using Manganese Oxide Adsorbent ($H_{1.6}Mn_{1.6}O_4$) Derived from $Li_{1.6}Mn_{1.6}O_4$, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40, 2054-2058 pp.
- Clifford, D.**, 1999, Ion Exchange And İnorganic Adsorption, In: Letterman, A.(Ed.), Water Quality and Treatment, AWWA, McGraw Hill, NewYork.
- Dons, C. and Beck P.A.**,1993, Priority hazardous substances in Norway, *Norwegian State Pollution Control Reports*, 93, 22-115 pp.
- Dominguez, L., Economy J., Benak, K. and Mangun, C. L.**, 2003, Anion Exchange Fibers For Arsenate Removal Derived From A Vinylbenzyl Chloride Precursor, *Polymer Advantage Technology*, 14, 632–637 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- DOW FILMTECH**, Ürün Özellikleri, <http://www.lenntech.com/products/membrane/filmtec-.htm>, (erişim tarihi : 7 Mart 2015).
- Drioli, E. and Giorno, L.**, 2009, Membrane Operations: Innovative Separations and Transformations, Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Duman M. V.**, 2012, Bigadiç Bor İşletmesi Simav Açık Ocak Taban Suyundan RO Yöntemi İle Bor Giderimi, Yüksek Lisans Tezi , *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir
- Eker D. Ö. ve Eker M. Ç.** , 2010, Lityumun Metabolik Yan Etkileri, Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar
- European Union (EU)**, 1998, Su standartları, <http://www.lenntech.com/who-eu-water-standards.htm>
- Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, Jeotermal Enerji, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>, 2015, (erişim tarihi 04.05.2015)
- ESC**, Nanofiltrasyon, <http://www.esc.com.tr/tr/urunler-detay/nanofiltrasyon/> (erişim tarihi 04.05.2015)
- Ficklin, W.H.**, 1983, Separation of arsenic(III) and arsenic (V) in ground waters by ion- exchange, *Talanta*, 30, 371–373 p.
- Gorenflo, A., Brusilovsky, M., Faigon, M. and Liberman, B.**, 2007, High pH Operation in Seawater Reverse Osmosis Permeate: First Results from the World's Largest SWRO Plant in Ashkelon, *Desalination*, 203, 82-90 pp.
- Helvacı C.**, 2008, Doğada Bor ve Arsenik Elementlerin İlişkisi, Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyumu Kitabı, 116-117 s.
- Howe, P. D.** ,1998, A Review of Boron Effects in the Environment, *Biological Trace Element Research*, 66, 153–166 pp.
- Htun O, M. and Song, L.**, 2009, Effect of pH and Ionic Strength on Boron Removal by RO Membranes, *Desalination*, 246, 605-612 pp.
- Hwang, B.J., Santhanam, R., Huang, C.P., Tsai, Y.W. and Lee, J.F.**, 2002, LiMn_2O_4 Core Surrounded by $\text{LiCo}_x\text{Mn}_{2-x}\text{O}_4$ Shell Material For Rechargeable Lithium Batteries, *Journal of Electrochemical Society*, 149, 694-698 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- İlgar, R.**,2005, Ekolojik Bakışla Jeotermal Kaynaklara Dualist Yaklaşım, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 4, 96 s.
- Iesan, C., Bapat, S.S. , Fries, B., Coman, D. and Florea, D.**, 2004, Arsenic Removal from drinking water by ion exchange resins, *Environmental Engineering and Management Journal*, 3, 283-291 pp.
- Şen O**, Jeotermal Enerji, [http:// jeotermalmuhendislik. Com /index. php/ jeotermal](http://jeotermalmuhendislik.Com/index.php/jeotermal) , (Erişim tarihi 22 Nisan 2015)
- Johnston, H. K.**, 1975, Reverse Osmosis Rejection of Heavy Metal Cations, *Desalination*, 16 (2), 205-224 p.
- Kabay, N., Yılmaz, I., Yamac, S., Samatya, S., Yüksel., M., Yüksel, U., Arda, M., Sağlam, M., Iwanaga, T., and Hirowatari, K.**, 2004, Removal and Recovery of Boron from Geothermal Wastewater by Selective Ion Exchange Resins. I. Laboratory Tests, *Reactive&Functional Polymers*, 60, 163–170 pp.
- Kabay, N., Yılmaz I., Yamac, S., Yüksel, M., Yildirim, N., Aydoğdu, O., Iwanaga. T., and Hirowatari, K.**, 2004, Removal and recovery of boron from geothermal wastewater by selective ion-exchange resins-II. Field Tests, *Desalination*, 167, 427-438 pp.
- Kabay, N., Yılmaz, I., Bryjak, M. and Yuksel, M.**, 2006, Removal of boron from aqueous solutions by hybrid ion exchange-membrane process, *Desalination*, 198, 158-165 pp.
- Kahveci H. , Ipek Ö. , Kabay N. , Yüksel M. ve Akçay M.**, 2003, İkili Karışımlardan Tek ve Çift Değerlikli İyonların Elektrodializ Yöntemi ile Ayrılmalari, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü
- Kartinen, E. and Christopher, M.**, 1995, An Overview of Arsenic Removal Processes, *Desalination*, 103, 79-85 pp.
- Kang, M., Kawasaki, M., Tamada, S., Kamei, T. and Magara, Y.**, 2000, Effect of pH on the Removal of Arsenic and Antimony Using Reverse Osmosis Membranes, *Desalination*, 131, 293–298 pp.
- Kaya, Y.**, 2007, Nanofiltrasyon ile Proses Sularından Organik Maddelerin Geri Kazanımının Araştırılması, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 199 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kaya, Y. ve Barlas, H.**, 2003, Kimya endüstrisinde atık yönetimi amaçlı membran uygulamaları, XVII. Ulusal Kimya Kongresi. 8-11 Eylül, İstanbul, 386 s.
- Keren R. and Bingham F. T.**, 1985, Boron in water soils and plants, Adv. Soil. Sci.1, 119-276 pp.
- Kirk-Othmer**, Lithium and Lithium Compounds, Cilt 15, 434 s.
- Kitiş, M., Köseoğlu, H., Gül, N. ve Ekinci, F. Y.**, 2003, Atıksu Arıtımı Ve Geri Kazanımında Membran Bioreaktörleri, V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Adana, 463-480 s.
- Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H. ve Bekaroğlu, Ş.**, 2009a, Su Ve Atıksu Arıtımında İleri arıtma Teknolojileri- Arıtılmış atıksuların Geri Kullanımı, Ders notu, T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı, 63 s.
- Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H., Harman, B.İ., Civelekoğlu, G., Sayılğan, E., Bekaroğlu, Ş.Ş. ve Çelik, E.**, 2009b, Membran Biyoreaktör (MBR) Prosesleri- Genel Değerlendirme, Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, Kasım 2-3, İstanbul, 208 s.
- Klassen, C.D.**, 1991, Principles of Toxicology, *Pharmacological Basis of Therapeutics*, Eight ed. McGraw- Hill, 49–61 pp.
- Korngold, E., Belayev, N. and Aronov L.**, 2001, Removal of arsenic from drinking water by anion exchangers, *Desalination*, 141, 81-84 p.
- Köseoğlu, H., Kabay, N., Yüksel, Yüksel, M. and Kitis, M.**, 2008, The Removal of Boron from Model Solutions and Seawater Using Reverse Osmosis Membranes, *Desalination*, 223, 126-133 pp.
- Köse, T.E. and Öztürk, N.**, 2008, Boron Removal from Aqueous Solutions by ion Exchange Resin, COLUMN SORPTION-Elution Studies, *Journal of Hazardous Materials*, 152, 744-749 pp.
- Li, X., Liu, R., Wu, S., Liu, J., Cai, S. and Chen, D.**, 2011, Efficient Removal of Boron Acid by N-methyl-D-Glucamine Functionalized Silica-Polyallylamine Composites and Its Adsorption Mechanism, *Journal Colloid Interface Science*, 361, 232-237 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Li-Wen Ma, Bai-Zhen Chen, Ya Chen and Xi-Chang Shi**, 2011, Preparation, Characterization and Adsorptive Properties of Foam-Type Lithium Adsorbent, *Microporous and Mesoporous Materials*, 142, 147–153 p.
- Lovatt C. J. and Bates L. M.**, 1984, Early Effects of Excess Boron on Photosynthesis and Growth of Cucurbita Pepo, *J. Exp. Bot*, 35, 297–305 pp.
- Lund, Bertani**, 2010, Dünyada Jeotermal Enerji Kullanım Raporu, *Dünya jeotermal kongresi 2010*, (wgc2010)-Endonezya-bali,2010 www.jkbb.org.tr/WGC.doc
- Marston C., Busch M. and Prabhakaran S.**,2005, Conference paper of EDS Conference on Desalination and Environment, *Santa Margaritha Liquer*, Italy, 22-26 pp.
- Mertoğlu, O.**,2000, Türkiye’deki Jeotermal Enerji Uygulamalarının Çok Yönlü Önemi ve Dünyadaki Yeri, *Mühendis ve Makina*, Sayı 485, Ankara, 1.
- Melnik, L., Goncharuk, V., Butnyk, I. and Tsapiuk, E.**, 2007, Development of the Sorption Membrane Gren Technology for Boron Removal From Natural and Wastewaters, *Desalination*, 205, 206-213 pp.
- Miyai, Y., Ooi, K., Nishimura, T. and Kumamoto, J.**, 1994, Lithium Adsorptive Properties of a New Selective Adsorbent Derived From $\text{Li}_{1.33}\text{Mn}_{1.67}\text{O}_4$, *Journal of Seawater Science Japan* 48, 411-415 pp.
- M. Mann and P. Spath**, 2005, Life Cycle Assessment of Coal-Fired Power Generating System, 570, 25119.
- Morgan V.**, 1980, Boron Geochemistry, *From Mellor's Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry*, A2, 5 p.
- Mordoğan H. ve Helvacı C.**, 1994, Lityumun Tersiyer Bor Yatakları ve Güncel Göllerdeki Varlığı, Dağılımı ve Kazanılma Olanakları.
- M.Sailer**, 2000, Lithium Takes Charge, *Industrial Minerals*, 37 p.
- Muilenberg, T.**, 1997, Microfiltration Basics: Theory and Practice, Membrane Technology Conference, New Orleans, LA.
- Nable O. R., Banuelos G. S. and Paull J. G.**,1997, Boron toxicity, *Plant and Soil* 193, 181–198 pp.
- Newnham R.**, 1994, Essentiality of Boron for Healthy Bones and Joints, *Environ Health Perspect*, 83–85 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nielsen F. and Shuler T.**, 1992, Studies of the Interaction Between Boron and Calcium, and Its Modification by Magnesium and Potassium in rats, Effects on Growth, Blood Variables, and Bone Mineral Composition, *Biol Trace Elem Res*, 35, 225–237 pp.
- Nielsen FH.** ,1998, The Justification for Providing Dietary Guidance for the Nutritional Intake of Boron, *Biol Trace Elem Res* ,66, 319– 330 pp.
- Nielsen FH.**, 2000, Importance of Making Dietary Recommendations for Elements Designated as Nutritionally Beneficial, Pharmacologically Beneficial, or Conditionally Essential, *J Trace Elem Exp Med*,13, 113–129 pp.
- Nielsen, F. H.** ,2000, The Emergence of Boron as Nutritionally Important Throughout the Life Cycle, *Nutrition* 16, 512-514 pp.
- Nielsen FH.** ,2004, Dietary Fat Composition Modifies the Effect of Boron on Bone Characteristics and Plasma Lipids in Rats, *Biofactors* 20, 161–171 pp.
- Nishihama S., Onishi K. and Yoshizuka K.**, 2011, Selective Recovery Process of Lithium from Seawater Using Integrated Ion Exchange Methods, *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 29, 421–431 pp.
- Onishi K., Nakamura T., Nishihama S. And Yoshizuka K.**, 2010, Synergistic Solvent Impregnated Resin for Adsorptive Separation of Lithium Ion, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49, 6554–6558 pp.
- Okay O., Güçlü H., Soner E. Ve Balkaş T.**, 1985, Boron Pollution in the Simav River, Turkey and Various Methods of Boron Removal, *Water Res.*, t9, 7, 857-862 pp.
- Özdemir, M. and Kıpçak, İ.**, 2007, Boron Recovery From Borax Sludge Using Solid-Liquid Extraction Followed by Sorption with a Boron Selective Resin in Column , *Environmental Progress*, 26, 375-383 pp.
- Öztürk, M.**,2009, RO Sistemleri ile Tuzlu/Atık Suların Arıtımı, TBMM Çevre Komisyonu, Ankara.
- Parschova, H., Mistova, E., Matejka, Z., Jelinek, L., Kabay, N., and Kausinen, P.**,2007, Comparison of Several Polymeric Sorbents for Selective Boron Removal From Reverse Osmosis Permeate, *Reactive&Functional Polymers*, 67, 1622- 1627 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Parks, J.L. and Edwards, M.**, 2005, Boron in the Environment, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 35, 81-114 pp.
- Penate, B. and Rodriguez, L. G.**, 2012, Current Trends and Future Prospects in the Design of Seawater Reverse Osmosis Desalination Technology, *Desalination*, 284, 1-8 pp.
- Premanand, R., Durairajan, A., Haran, B., White, R. and Popov, B.**, 2002, *Journal of Electrochemical Society*, 149, A54-59 pp.
- Premanand, R., Durairajan, A., Haran, B., White, R. and Popov, B.**, 2002, *Journal of Electrochemical Society*, 149, A54-59 pp.
- Power P. P. and Woods G. W.**, 1997. The Chemistry of Boron and Its Speciation in Plants, *Plant and Soil*, 193, 1–13 pp.
- Ravenscroft, P., Brammer, H. and Richards, K.**, 2009, Arsenic Pollution: a Global Synthesis, *Wiley-Blackwell*, Oxford, UK.
- Sato, Y., Kang, M., Kamei, T. and Magara, Y.**, 2002, Performance of Nanofiltration for Arsenic Removal, *Water Resources*, 36, 3371–3377 pp.
- Saitoh, M., Yoshida, S., Yamane, H., Sano, M., Fujita, M., Kifune and K., Kubota, Y.**, 2003, Capacity Fading Of The Acid-Treated Lithium Manganese Oxides In High-Temperature Storage, *Journal of Power Sources*, 122, 162-168 pp.
- Serpen, U., Aksoy, N., Ongur, T. and Korkmaz, E.D.**, 2009, Geothermal Energy in Turkey: 2008 Update, *Geothermics*, 38, 227–237 pp.
- Smedley P.L. and Kinniburgh, D.G.**, 2002, A Review of the Source, Behavior and Distribution of Arsenic in Natural Waters, *Aplied Geochemistry*, 17, 517-568 pp.
- Smedley, P.L., Knudsen, J. and Maiga, D.**, 2007, Arsenic in Groundwater From Mineralized Proterozoic Basement Rocks of Burkina Faso, *Aplied Geochemistry*, 22, 1074-1092 pp.
- Smedley, P.L., Zhang, M-Y, Zhangm G-Y and Luo, Z-D.**, 2003, Mobilization of Arsenic and Other Trace Elements in Fluvio-lacustrine Aquifers of the Huhhot Basin, Inner Mongolia, *Aplied Geochemistry*, 18, 1453-1477 pp.
- Striebel, K.A., Sakai, E. and Cairns, E.J.**, 2002, Impedance Studies of the Thin Film LiMn_2O_4 / Electrolyte Interface, *Journal of Electrochemical Society*, 149, 61-67 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tucker, M.C., Reimer, J.A. and Cairns, E.J.**, 2002, A ^7Li NMR Study of Capacity Fade in Metal-Substituted Lithium Manganese Oxide Spinel, *Journal of Electrochemical Society*, 149, A574-585 pp.
- Turek, M., Bandura, B. and Dydo, P.**, 2008, Electrodialytic Boron Removal from SWRO permeate, *Desalination*, 223, 17-22 pp.
- Toka, B.**, Jeotermal Enerji, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Görüş/Rapor, Ankara, 2004, 11 s.
- Tsunekawa, H., Tanimoto, S., Marubayashi, R., Fujita, M., Kifune, K. and Sano, M.**, 2002, Capacity Fading of Graphite Electrodes Due to the Deposition of Manganese Ions on Them in Li-ion Batteries, *Journal of Electrochemical Society*, 149, A1326-1332 pp.
- USGS Mineral Commodity Summaries**, Lithium 2003
- Ünlü, M. İ. ve Özyetiş, Ö.**, 2008, Bigadiç Bor İşletmesi Çamköy Atık Barajı Seviyesinin Yükselme Miktarı ile Nedenlerinin Belirlenmesi ve Su Arıtım Çalışmaları Raporu, Eti Maden İşletmeleri Teknoloji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara
- Viraraghavan, T., Subramanian, K.S. and Aruldoss J.A.**, 1999, Arsenic in Drinking Water-Problems and Solutions, *Water Science and Technology*, 2, 69-76 pp.
- Vural, N.**, 2005. Toksikoloji, A.Ü.Ecz.F. Yayınları No: 73, Ankara, A.Ü. Basımevi, 1-20 s.
- Verel, A. R.**, 2003, Jeotermal Enerjinin Tanıtımı ve Kullanımı, *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 418, Ankara, 58 s.
- Walker, M., Seiler, R.L. and Meinert, M.**, 2008, Effectiveness of Household Reverse-Osmosis Systems in a Western U.S. Region With High Arsenic in Groundwater, *Science of the Total Environment*, 389, 245-252 pp.
- Wells, A.J. and Whitton, J.S.**, 1977, A petrochemical survey. 3. Boron. N.Z., *Journal of Science*, 20, 317-331 pp.
- Weng, Y.H., Han Chaung-Hsieh, L., Lee, H.H., Li, K.C. and Huang, C.P.**, 2005, Removal of arsenic and humic substances (HSs) by electro-ultrafiltration (EUF), *Journal of Hazardous Materials*, 122, 171-176 pp.
- Weir, J.R. and Fisher, R.S.**, 1972, Toxicologic Studies of Borax and Boric Acid, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 23, 351-364 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Welch, A.H., Westjohn, D.B., Helsel, D.R. and Wanty, R.B.** ,2000, Arsenic in Groundwater of the United States: occurrence and geochemistry, *Groundwater*, 38, 589–604 pp.
- Woods, W.G.**, 1994, An Introduction to Boron: History, Sources, Uses, and Chemistry, *Environmental Health Perspectives*, 102, Supplement 7.
- World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe**, 2000, *1-Air Quality Guidelines Second Edition*, Copenhagen, Denmark.
- World Health Organization (WHO)**, 2003, Guidelines for Drinking-water Quality-Second addendum to third edition, World Health Organization, Geneva.
- Wikipedia**, Arsenik, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Arsenik> erişim tarihi, 04.05.2015
- Wikipedia**, Lityum, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Lityum> erişim tarihi, 04.05.2015
- Xia, Y. and Yoshio, M.**, 1997, Optimization of Spinel $\text{Li}^{1+}_x\text{Mn}^{2+}_y\text{O}_4$ as a 4 V Li-cell Cathode in Terms of a Li-Mn-O Phase Diagram, *Journal of Electrochemical Society*, 144, 4186-4195 pp.
- Yamane, H., Inoue, T., Fujita, M. and Sano, M.**, 2001, A causal study of the capacity fading of $\text{Li}_{1.01}\text{Mn}_{1.99}\text{O}_4$ cathode at 80°C, and the suppressing substances of its fading, *Journal of Power Sources*, 99, 60-65 pp.
- Yamane, H., Saitoh, M., Sano, M., Fujita, M., Sakata, M., Takada, M., Nishibori and E., Tanaka N.**, 2002, Cycle performance in each state-of-charge in LiMn_2O_4 , *Journal of Power Sources*, 149 , A1514-1520 pp.
- Yamane, H., Inoue, T., Fujita, M. and Sano, M.**, 2001, A Causal Study of the Capacity Fading of $\text{Li}_{1.01}\text{Mn}_{1.99}\text{O}_4$ Cathode at 80°C, and the Suppressing Substances of Its Fading, *Journal of Power Sources*, 99, 60-65 pp.
- Yılmaz Ipek, I., Holdich, R., Kabay, N., Bryjak, M., and Yüksel, M.**, 2007, Kinetics Behaviour of Boron Selective Resins for Boron Removal Using Seeded Microfiltration System, *Reactive&Functional Polymers*, 67, 1628-1634 pp.
- Yılmaz O.**, 2012, 10 soruda bor, Enerjide Hedef, 6 s.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, Soyad : Pınar YANAR

Cinsiyet : Kadın

Doğum Tarihi : 06.07.1986

Doğum Yeri : Polatlı/Ankara

Medeni Durumu : Bekar

Uyruk : T.C

Sürücü Belgesi : B sınıfı

İletişim Bilgileri

Adres : Ataşehir Mah. 8020/5 Sok. No:4/12 Çiğli/İZMİR

Cep Telefonu : (530) 5286019

Elektronik Posta : pnrynr@hotmail.com

Eğitim Bilgileri

Yüksek Lisans

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Bölümü (2015-devam ediyor)

Tez Konusu: Ege Bölgesi Jeotermal Sularında Lityum, Bor Ve Arsenik Düzeylerinin İncelenmesi Ve Bu Elementlerin Jeotermal Sulardan Seçimli Olarak Ayrılması

Danışman: Prof.Dr.Nalan Kabay

Lisans (2005-2010)

Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü

Bitirme Derecesi: 2,54 /4

Orta Okul ve Lise (1997-2004)

Polatlı Anadolu Lisesi

Bitirme Derecesi: 4,40

Nitelikler

Bilgisayar Bilgisi

İşletim Sistemi : Windows

Paket Programlar : MS Office (Word/ Excel/ Powerpoint), Global Mapper, CorelDraw X5, ChemCad, MatLab, Map Source

Yabancı Dil : İyi Derecede İngilizce

Hobiler : Yüzme, puzzle, seyahat etme

Sertifikalar

- ISO 9001:2008 Kalite Yönetim Sistemi Temel Eğitimi (İLTEM)
- ISO 9001 Kalite - Denetim - İç Denetçilik Sertifikası (CPA DANIŞMANLIK)
- ISO 14001 Çevre Kalite Yönetim Sistemi (CPA DANIŞMANLIK)
- ISO 22000 HACCP Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi (CPA DANIŞMANLIK)
- OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Kalite Yönetim Sistemi (CPA DANIŞMANLIK)
- Stratejik Yönetim (CPA DANIŞMANLIK)

Staj Deneyimi**Petkim Petro-Kimya Holding AŞ.**

25.06-24.07.2007 25 İş Günü / AR-GE Laboratuvarı

Petkim Petro-Kimya Holding AŞ.

15.07-14.08.2008 25 İş Günü / Alçak Yoğunluklu Polietilen -Tübüler Fabrikası

İş Deneyimi**1. İş Veren:** En-Er Mühendislik (Alme Kimya) – Kuşadası - Aydın**İşe Giriş:** 01.01.2011-01.11.2011**Görevi:** Kimya Mühendisi**2. İş Veren:** SDS Enerji AŞ.**İşe Giriş:** 01.04.2012-halen**Görevi:** Kimya Mühendisi

EKLER

- EK 1 CK – RO Membran çalışmaları
- EK 2 DL – NF Membran çalışmaları
- EK 3 NF – 90 Membran çalışmaları
- EK 4 BW – XLE Membran çalışmaları
- EK 5 Bor adsorpsiyon çalışmaları
- EK 6 Lityum adsorpsiyon çalışmaları
- EK 7 Arsenik adsorpsiyon çalışmaları
- EK 8 Yapılan çalışmalarda kullanılan membranlara ait süzüntü akı değerleri

EK 1

CK – RO Membran çalışmaları

Ek 1 A. CK-RO Membranı ile Yapılan İletkenlik Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.2)

1. ÇALIŞMA					2. ÇALIŞMA				
Zaman	İletkenlik (mS/cm)				Zaman	İletkenlik (mS/cm)			
Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %	Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %
30	6.07	2.29	6.12	64.61	30	6.42	3.82	6.48	43.42
60	6.19	2.16	6.23	66.62	60	6.52	3.59	6.6	46.82
90	6.3	2.36	6.36	63.52	90	6.62	3.61	6.7	46.53
120	6.38	2.27	6.49	64.91	120	6.73	3.43	6.81	49.19
150	6.58	2.27	6.61	64.91	150	6.77	3.28	6.86	51.42
180	6.6	2.18	6.68	66.31	180	6.93	3.33	6.98	50.68
210	6.71	2.24	6.75	65.38	210	6.97	3.4	7.06	49.64
240	6.93	2.27	6.83	64.91	240	7.05	3.28	7.14	51.42

Ek 1 B. CK-RO Membranı ile Yapılan TÇK Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.3)

1. ÇALIŞMA					2. ÇALIŞMA				
Zaman	TÇK(mg/L)				Zaman	TÇK(mg/L)			
Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %	Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %
30	3040	1143	3070	64.64	30	3210	1908	3240	43.47
60	3090	1080	3120	66.59	60	3260	1795	3300	46.81
90	3150	1180	3180	63.50	90	3310	1804	3350	46.55
120	3190	1133	3250	64.95	120	3360	1717	3410	49.13
150	3270	1162	3300	64.05	150	3380	1642	3430	51.35
180	3300	1092	3340	66.22	180	3470	1666	3490	50.64
210	3360	1118	3380	65.41	210	3480	1700	3530	49.63
240	3460	1135	3410	64.89	240	3530	1641	3570	51.38

Ek 1 C. CK-RO Membranı ile Yapılan Bikarbonat Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.4)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Bikarbonat			Zaman	Bikarbonat		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection n %
30	1836,31	0,00		30	1928,12	0,00	
60	1836,31	428,47	76,67	60	1928,12	734,52	61,90
90	1836,31	459,08	75,00	90	1928,12	734,52	61,90
120	1836,31	489,68	73,33	120	1928,12	795,73	58,73
150	1836,31	428,47	76,67	150	1928,12	765,13	60,32
180	1836,31	459,08	75,00	180	1928,12	795,73	58,73
210	1836,31	489,68	73,33	210	1928,12	765,13	60,32
240	1836,31	428,47	76,67	240	1928,12	734,52	61,90

Ek 1 D. CK-RO Membranı ile Yapılan Tuzluluk Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.5)

1. ÇALIŞMA					2. ÇALIŞMA				
Zaman	Tuzluluk (psu)				Zaman	Tuzluluk (psu)			
Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %	Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %
30	3.42	1.25	3.53	65.42	30	3.63	2.09	3.7	43.67
60	3.53	1.16	3.56	67.91	60	3.59	1.91	3.7	48.52
90	3.54	1.24	3.61	65.70	90	3.61	1.9	3.71	48.79
120	3.56	1.2	3.64	66.80	120	3.69	1.83	3.76	50.67
150	3.69	1.23	3.64	65.98	150	3.75	1.74	3.77	53.10
180	3.67	1.13	3.7	68.74	180	3.78	1.73	3.8	53.37
210	3.77	1.17	3.74	67.63	210	3.8	1.78	3.81	52.02
240	3.74	1.2	3.72	66.80	240	3.83	1.7	3.85	54.18

Ek 1E. CK-RO Membranı ile Yapılan Silisyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.6)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	SiO ₂			Zaman	SiO ₂		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	79			30	66		
60	54	30.00	46.85	60	61	44	26.26
90	59	27.00	52.17	90	57	44	26.26
120	55	28.00	50.39	120	57	42	29.61
150	54	28.00	50.39	150	60	42	29.61
180	53	25.00	55.71	180	59	40	32.96
210	51	27.00	52.17	210	60	40	32.96
240	50	27.00	52.17	240	58	38	36.31

Ek 1 F. CK-RO Membranı ile Yapılan Amonyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.7)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Amonyum			Zaman	Amonyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	9.3	3.5	56.19	30	7.1	3	42.18
60	8.9	3.4	57.44	60	6.5	3.1	40.26
90	7.2	3.6	54.94	90	5.4	2.9	44.11
120	7.4	3.2	59.94	120	4.9	2.8	46.04
150	7.5	3.1	61.19	150	4.4	2.7	47.97
180	7.3	3.4	57.44	180	4.6	2.9	44.11
210	7.9	3.1	61.19	210	5.1	2.8	46.04
240	8.4	3.2	59.94	240	4.8	2.6	49.89

Ek 1 G. CK-RO Membranı ile Yapılan Sodyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.8)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Sodyum			Zaman	Sodyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	1164	662	34.21	30	952	642	32.26
60	938	662	34.21	60	986	651	31.31
90	880	674	33.02	90	990	641	32.37
120	966	682	32.22	120	960	647	31.74
150	910	648	35.60	150	966	644	32.05
180	962	628	37.59	180	986	648	31.63
210	976	634	36.99	210	828	629	33.63
240	1008	654	35.00	240	878	637	32.79

Ek 1 H. CK-RO Membranı ile Yapılan Potasyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.9)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Potasyum			Zaman	Potasyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	125	36.25	70.09	30	118.2	36.1	65.60
60	127.8	36.8	69.64	60	104	35.55	66.12
90	117	35.25	70.92	90	97.6	36.55	65.17
120	128.2	33.95	71.99	120	109.6	36.15	65.55
150	107.6	34.9	71.20	150	81.2	36.85	64.88
180	113.8	33.25	72.57	180	89	36.25	65.45
210	117.6	35.05	71.08	210	115.6	36	65.69
240	130.8	34.4	71.62	240	115	34.9	66.74

Ek 1 I. CK-RO Membranı ile Yapılan Lityum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.10)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Lityum			Zaman	Lityum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	4.45	0.82	80.05	30	4.25	1.17	74.19
60	4.55	0.76	81.51	60	4.65	1.07	76.40
90	4.4	0.76	81.51	90	4.5	0.99	78.16
120	4.6	0.74	82.00	120	4.5	0.95	79.04
150	4.55	0.76	81.51	150	4.5	0.87	80.81
180	4.4	0.62	84.92	180	4.5	0.9	80.15
210	4.5	0.56	86.38	210	4.5	0.9	80.15
240	1.2	0.68	83.46	240	4.75	0.81	82.13

Ek 1 J. CK-RO Membranı ile Yapılan Kalsiyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.11)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Kalsiyum			Zaman	Kalsiyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	35	4.35	87.44	30	40.2	6.1	83.84
60	32.8	4.05	88.31	60	40.4	6.75	82.12
90	32.4	4.2	87.88	90	37	6.55	82.65
120	33.4	4.45	87.16	120	37.4	6.95	81.59
150	36	3.95	88.60	150	36.6	6.45	82.92
180	34.6	4.05	88.31	180	38	6.65	82.39
210	37	3.85	88.89	210	35.8	6.85	81.86
240	32.8	3.7	89.32	240	36.4	6.7	82.25

Ek 1 K. CK-RO Membranı ile Yapılan Magnezyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.12)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Kalsiyum			Zaman	Kalsiyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	14.6	2.55	82.51	30	15.8	3.45	76.76
60	15	2.75	81.14	60	14.6	3.25	78.11
90	14.2	2.7	81.48	90	15	3.3	77.77
120	15.6	2.65	81.82	120	14.8	3.25	78.11
150	14.2	2.6	82.16	150	14.6	3.5	76.42
180	14.2	2.55	82.51	180	14.8	3.2	78.44
210	14.4	2.45	83.19	210	14.2	3.4	77.10
240	14.2	2.55	82.51	240	14.6	3.45	76.76

Ek 1 L. CK-RO Membranı ile Yapılan Sülfat Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.13)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Sülfat			Zaman	Sülfat		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	48.7	0.49	98.88	30	38.2	0.50	98.69
60	50.6	0.46	98.95	60	37.3	0.50	98.68
90	46.2	0.48	98.91	90	37.2	0.42	98.89
120	44.5	0.46	98.96	120	38.3	0.48	98.74
150	45.3	0.43	99.03	150	38.4	0.49	98.72
180	38.5	0.50	98.85	180	37.9	0.49	98.71
210	39.7	0.49	98.89	210	37.1	0.48	98.47
240	35.9	0.47	98.93	240	36.9	0.44	98.84

Ek 1 M. CK-RO Membranı ile Yapılan Klorür Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.14)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Klorür			Zaman	Klorür		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	1532	611.40	57.08	30	1452.45	881.15	40.28
60	1545.4	605.48	57.50	60	1443.54	851.52	42.29
90	1547	600.46	57.85	90	1498.7	830.7	43.70
120	1525.45	594.52	58.27	120	1407.48	847.23	42.58
150	1325	582.93	59.08	150	1468.23	838.14	43.20
180	1193.73	581.46	59.18	180	1501.56	841.27	42.98
210	1407	602.80	57.69	210	1498.26	858.54	41.81
240	1243.6	598.96	57.95	240	1506.18	842.21	42.92

Ek 1 N. CK-RO Membranı ile Yapılan Arsenik Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.15)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Arsenik			Zaman	Arsenik		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	57,76	3,51	93,92	30	55,88	12,20	78,17
60	57,76	2,01	96,52	60	55,88	6,22	88,87
120	57,76	1,71	97,04	90	55,88	3,55	93,65
180	57,76	1,45	97,49	120	55,88	2,92	94,77
240	57,76	1,50	97,40	150	55,88	2,77	95,04

Ek 1 O. CK-RO Membranı ile Yapılan Bor Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.16)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Bor			Zaman	Bor		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	59.70	43.50	23.70	30	57.82	49.42	15.65
60	56.83	46.26	18.86	60	60.02	51.20	12.60
90	54.31	43.89	23.01	90	58.96	51.14	12.72
120	56.19	44.78	21.45	120	59.75	49.49	15.54
150	57.56	42.95	24.66	150	57.12	48.92	16.51
180	57.10	42.77	24.98	180	55.96	50.11	14.47
210	60.80	44.56	21.84	210	56.13	48.87	16.58
240	55.31	43.73	23.30	240	56.90	49.64	15.27

EK 2**DL – NF Membran çalışmaları**

Ek 2 A. DL-NF Membranı ile Yapılan İletkenlik Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.2)

1. ÇALIŞMA					2. ÇALIŞMA				
Zaman	İletkenlik (mS/cm)				Zaman	İletkenlik (mS/cm)			
Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %	Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %
30	6.36	5.35	6.47	19.02	30	6.49	4.98	6.65	27.23
60	6.42	5.40	6.48	18.26	60	6.64	4.90	6.61	28.40
90	6.52	5.31	6.61	19.62	90	6.66	5.10	6.76	25.48
120	6.58	5.52	6.68	16.44	120	6.83	5.15	6.91	24.75
150	6.63	5.43	6.68	17.81	150	6.96	5.27	7.05	23.00
180	6.62	5.48	6.70	17.05	180	7.02	5.29	7.10	22.70
210	6.80	5.65	6.84	14.47	210	7.15	5.41	7.18	20.95
240	6.92	5.69	6.95	13.87	240	7.00	5.25	7.12	23.29

Ek 2 B. DL-NF Membranı ile Yapılan Tuzluluk Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.3)

1. ÇALIŞMA					2. ÇALIŞMA				
Zaman	Tuzluluk (psu)				Zaman	Tuzluluk (psu)			
Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %	Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %
30	3.65	3.08	3.77	17.54	30	3.66	2.77	3.85	27.03
60	3.64	3.05	3.72	18.34	60	3.73	2.72	3.75	28.35
90	3.72	2.96	3.78	20.75	90	3.74	2.76	3.84	27.30
120	3.74	3.08	3.80	17.54	120	3.81	2.85	3.86	24.93
150	3.79	3.11	3.79	16.73	150	3.81	2.89	3.87	23.87
180	3.73	3.12	3.79	16.47	180	3.84	2.87	3.89	24.40
210	3.78	3.18	3.81	14.86	210	3.88	3.01	3.90	20.71
240	3.83	3.16	3.82	15.39	240	3.90	2.94	3.97	22.56

Ek 2 C. DL-NF Membranı ile Yapılan Bikarbonat Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.4)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Bikarbonat			Zaman	Bikarbonat		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	2030,14	1316,02	35,18	30	2125,35	1254,81	40,96
60	2030,14	1316,02	35,18	60	2125,35	1224,20	42,40
90	2030,14	1224,20	39,70	90	2125,35	1193,60	43,84
120	2030,14	1193,60	41,21	120	2125,35	1162,99	45,28
150	2030,14	1224,20	39,70	150	2125,35	1162,99	45,28
180	2030,14	1224,20	39,70	180	2125,35	1162,99	45,28
210	2030,14	1316,02	35,18	210	2125,35	1193,60	43,84
240	2030,14	1285,41	36,68	240	2125,35	1193,60	43,84

Ek 2 D. DL-NF Membranı ile Yapılan TÇK Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.5)

1. ÇALIŞMA					2. ÇALIŞMA				
Zaman	TÇK(mg/L)				Zaman	TÇK(mg/L)			
Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %	Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %
30	3.18	2.67	3.27	19.18	30	3.24	2.49	3.32	27.19
60	3.21	2.70	3.24	18.27	60	3.32	2.45	3.30	28.36
90	3.26	2.65	3.30	19.79	90	3.33	2.55	3.38	25.44
120	3.29	2.76	3.34	16.46	120	3.41	2.58	3.46	24.56
150	3.32	2.71	3.34	17.97	150	3.48	2.63	3.52	23.10
180	3.31	2.74	3.35	17.06	180	3.51	2.65	3.55	22.51
210	3.40	2.83	3.42	14.34	210	3.57	2.71	3.59	20.76
240	3.46	2.84	3.48	14.04	240	3.50	2.63	3.56	23.10

Ek 2 E. DL-NF Membranı ile Yapılan Silisyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.6)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	SiO ₂			Zaman	SiO ₂		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	88.00	74.00	5.93	30	69.00	65.00	9.44
60	82.00	66.00	16.10	60	68.00	60.00	16.41
90	78.00	66.00	16.10	90	70.00	58.00	19.20
120	74.00	65.00	17.37	120	70.00	59.00	17.80
150	74.00	63.00	19.92	150	72.00	58.00	19.20
180	72.00	63.00	19.92	180	70.00	58.00	19.20
210	71.00	64.00	18.64	210	68.00	57.00	20.59
240	74.00	63.00	19.92	240	71.00	56.00	21.98

Ek 2 F. DL-NF Membranı ile Yapılan Amonyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.7)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Amonyum			Zaman	Amonyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	11.80	8.20	27.93	30	9.80	7.80	28.00
60	10.10	8.40	26.17	60	8.70	7.80	28.00
90	10.70	8.30	27.05	90	11.20	7.90	27.08
120	11.00	7.80	31.45	120	11.50	7.60	29.85
150	11.70	8.50	25.29	150	11.50	7.70	28.92
180	11.20	8.20	27.93	180	11.40	7.40	31.69
210	11.90	8.20	27.93	210	11.30	7.60	29.85
240	12.00	8.30	27.05	240	10.30	7.50	30.77

Ek 2 G. DL-NF Membranı ile Yapılan Sodyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.8)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Sodyum			Zaman	Sodyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	1494.00	760.00	39.15	30	1216	715	41.49
60	1258.00	755.00	39.55	60	1284	718	41.24
90	1232.00	780.00	37.54	90	1220	658	46.15
120	1340.00	745.00	40.35	120	1166	659	46.07
150	1236.00	775.00	37.94	150	1236	646	47.14
180	1056.00	782.00	37.38	180	1270	676	44.68
210	1256.00	770.00	38.35	210	1278	657	46.24
240	1196.00	732.00	41.39	240	1042	628	48.61

Ek 2 H. DL-NF Membranı ile Yapılan Potasyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.9)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Potasyum			Zaman	Potasyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	136.00	82.80	36.41	30	110.40	65.40	40.18
60	149.40	83.90	35.56	60	115.20	63.40	42.01
90	123.20	84.00	35.48	90	104.40	65.00	40.55
120	144.40	83.50	35.87	120	108.60	65.10	40.46
150	129.60	82.20	36.87	150	111.00	64.90	40.64
180	131.60	83.20	36.10	180	108.00	65.90	39.73
210	103.20	83.50	35.87	210	114.00	64.20	41.28
240	128.60	83.70	35.71	240	108.20	64.40	41.10

Ek 2 I. DL-NF Membranı ile Yapılan Lityum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.10)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Lityum			Zaman	Lityum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	5.70	1.24	78.86	30	5.30	1.26	75.97
60	6.25	1.40	76.14	60	5.30	1.34	74.45
90	6.45	1.48	74.77	90	5.45	1.20	77.12
120	5.70	1.46	75.11	120	5.05	1.22	76.74
150	5.70	1.38	76.48	150	5.30	1.24	76.36
180	5.60	1.44	75.45	180	5.05	1.30	75.21
210	5.80	1.40	76.14	210	5.15	1.38	73.69
240	5.60	1.46	75.11	240	5.05	1.10	79.03

Ek 2 J. DL-NF Membranı ile Yapılan Kalsiyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.11)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Kalsiyum			Zaman	Kalsiyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	33.60	13.90	58.08	30	35.20	11.90	65.47
60	34.40	13.20	60.19	60	35.60	11.90	65.47
90	31.60	12.90	61.09	90	34.80	12.40	64.02
120	33.40	13.50	59.28	120	33.00	12.20	64.60
150	32.60	13.70	58.68	150	33.20	13.00	62.28
180	33.00	13.60	58.98	180	34.40	12.90	62.57
210	34.20	13.90	58.08	210	33.80	12.50	63.73
240	32.40	14.20	57.17	240	35.40	12.40	64.02

Ek 2 K. DL-NF Membranı ile Yapılan Magnezyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.12)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Magnezyum			Zaman	Magnezyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	15.00	6.00	59.40	30	14.20	5.10	64.91
60	14.80	6.50	56.02	60	13.80	5.60	61.47
90	14.60	6.70	54.66	90	14.40	5.55	61.81
120	15.40	6.25	57.71	120	14.80	5.65	61.12
150	14.20	6.10	58.72	150	14.20	5.40	62.84
180	13.80	6.35	57.03	180	13.80	5.45	62.50
210	14.40	6.30	57.37	210	14.80	5.25	63.88
240	15.40	6.05	59.06	240	15.00	4.85	66.63

Ek 2 L. DL-NF Membranı ile Yapılan Sülfat Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.13)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Sülfat			Zaman	Sülfat		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	49.54	0.74	98.25	30	41.7	0.49	99.00
60	45.73	0.72	98.29	60	46.6	0.49	99.01
90	42.28	0.81	98.08	90	49.8	0.46	99.07
120	33.4	0.65	98.46	120	53.68	0.47	99.05
150	29.7	0.85	97.98	150	51.7	0.48	99.03
180	44.65	0.62	98.53	180	50.2	0.42	99.14
210	44.7	0.79	98.13	210	52.4	0.48	99.03
240	37.9	0.71	98.32	240	51.94	0.44	99.11

Ek 2 M. DL-NF Membranı ile Yapılan Klorür Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.14)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Klorür			Zaman	Klorür		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	1489.2	1319	10.80	30	1502.6	1398.26	9.73
60	1306.8	1350	8.71	60	1505.2	1398.74	9.70
90	1435.9	1311.4	11.32	90	1549.78	1414.34	8.70
120	1420.1	1324.5	10.43	120	1623.1	1401.01	9.56
150	1521.45	1301.89	11.96	150	1586.23	1340.47	13.46
180	1517.2	1316.72	10.96	180	1547.07	1345.75	13.12
210	1546.3	1324.96	10.40	210	1549.98	1345.13	13.16
240	1532.1	1352.65	8.53	240	1571.66	1342.24	13.35

Ek 2 N. DL-NF Membranı ile Yapılan Arsenik Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.15)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Arsenik			Zaman	Arsenik		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	48,32	13,07	72,95	30	39,86	10,31	74,13
60	48,32	13,30	72,48	60	39,86	9,83	75,34
120	48,32	12,98	73,14	90	39,86	9,38	76,47
180	48,32	13,25	72,58	120	39,86	9,64	75,82
240	48,32	14,15	70,72	150	39,86	10,20	74,41

Ek 2 O. DL-NF Membranı ile Yapılan Bor Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.16)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Bor			Zaman	Bor		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	57.35	52.79	6.41	30	56.32	54.76	6.66
60	55.90	54.32	3.69	60	57.70	53.74	8.39
90	56.93	54.28	3.77	90	60.12	53.44	8.91
120	57.17	54.95	2.59	120	60.12	53.81	8.28
150	54.91	55.24	2.06	150	57.00	53.93	8.08
180	56.62	54.91	2.64	180	58.97	54.58	6.96
210	54.10	55.20	2.14	210	56.21	53.32	9.12
240	54.10	53.94	4.37	240	56.17	53.89	8.13

EK 3
BW – XLE Membran çalışmaları

Ek 3 A. BW-XLE Membranı ile Yapılan İletkenlik Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.2)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	İletkenlik (mS/cm)		Rejection	Zaman	İletkenlik (mS/cm)		Rejection
Dak.	Bes.	Süz.	%	Dak.	Bes.	Süz.	%
30.00	6.35	0.24	96.45	30	6.78	0.32	95.56
60.00	6.48	0.233	96.56	60	6.92	0.31	95.69
90.00	6.56	0.244	96.40	90	7.06	0.28	96.11
120.00	6.87	0.233	96.56	120	7.14	0.28	96.11
150.00	6.99	0.247	96.35	150	7.33	0.29	95.97
180.00	6.91	0.241	96.44	180	7.32	0.27	96.25
210.00	7.05	0.261	96.14	210	7.36	0.3	95.83
240.00	6.97	0.262	96.13	240	7.68	0.29	95.97

Ek 3 B. BW-XLE Membranı ile Yapılan TÇK Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.3)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	TÇK(mg/L)		Rejection	Zaman	TÇK(mg/L)		Rejection
Dak.	Bes.	Süz.	%	Dak.	Bes.	Süz.	%
30.00	3.18	0.12	96.47	30	3.39	0.16	95.56
60.00	3.24	0.116	96.59	60	3.46	0.153	95.75
90.00	3.28	0.121	96.44	90	3.52	0.139	96.14
120.00	3.43	0.116	96.59	120	3.57	0.139	96.14
150.00	3.49	0.123	96.38	150	3.67	0.145	95.97
180.00	3.46	0.121	96.44	180	3.66	0.138	96.17
210.00	3.52	0.13	96.18	210	3.68	0.15	95.83
240.00	3.49	0.131	96.15	240	3.84	0.147	95.92

Ek 3 C. BW-XLE Membranı ile Yapılan Bikarbonat Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.4)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Bikarbonat			Zaman	Bikarbonat		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	1666.28	336.66	79.80	30	1775.10	244.84	86.21
60	1666.28	306.05	81.63	60	1775.10	244.84	86.21
90	1666.28	183.63	88.98	90	1775.10	214.24	87.93
120	1666.28	183.63	88.98	120	1775.10	214.24	87.93
150	1666.28	214.24	87.14	150	1775.10	214.24	87.93
180	1666.28	183.63	88.98	180	1775.10	214.24	87.93
210	1666.28	183.63	88.98	210	1775.10	214.24	87.93
240	1666.28	183.63	88.98	240	1775.10	214.24	87.93

Ek 3 D. BW-XLE Membranı ile Yapılan Tuzluluk Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.5)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Tuzluluk (psu)		Rejection	Zaman	Tuzluluk (psu)		Rejection
Dak.	Bes.	Süz.	%	Dak.	Bes.	Süz.	%
30.00	3.54	0.12	96.76	30	3.74	0.16	95.90
60.00	3.55	0.11	97.03	60	3.8	0.15	96.15
90.00	3.61	0.12	96.76	90	3.83	0.14	96.41
120.00	3.75	0.11	97.03	120	3.87	0.13	96.67
150.00	3.84	0.12	96.76	150	3.92	0.14	96.41
180.00	3.81	0.11	97.03	180	3.89	0.13	96.67
210.00	3.81	0.13	96.49	210	3.97	0.14	96.41
240.00	3.8	0.13	96.49	240	4.09	0.14	96.41

Ek 3 E. BW-XLE Membranı ile Yapılan Silisyum Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.6)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	SiO ₂			Zaman	SiO ₂		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	569	19.00	96.55	30	523	17	96.82
60	549	9.00	98.36	60	521	15	97.20
90	551	9.00	98.36	90	532	14	97.38
120	567	9.00	98.36	120	534	12	97.76
150	542	9.00	98.36	150	536	10	98.13
180	534	9.00	98.36	180	538	12	97.76
210	532	10.00	98.18	210	564	12	97.76
240	532	12.00	97.82	240	541	12	97.76

Ek 3 F. BW-XLE Membranı ile Yapılan Amonyum Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.7)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Amonyum			Zaman	Amonyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	7.4	0.35	95.53	30	7.4	0.3	96.08
60	7.7	0.34	95.65	60	7.9	0.31	95.94
90	7.9	0.36	95.39	90	8.2	0.29	96.21
120	8.1	0.32	95.91	120	7.1	0.28	96.34
150	8.3	0.31	96.04	150	7.4	0.27	96.47
180	7.9	0.34	95.65	180	7.7	0.29	96.21
210	7.7	0.31	96.04	210	7.9	0.28	96.34
240	7.6	0.32	95.91	240	7.6	0.26	96.60

Ek 3 G. BW-XLE Membranı ile Yapılan Sodyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.8)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Sodyum			Zaman	Sodyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	148.20	49.20	96.72	30	158.60	61.50	96.16
60	146.20	43.00	97.13	60	154.00	55.50	96.54
90	146.00	43.10	97.12	90	154.40	51.00	96.82
120	145.40	43.20	97.12	120	156.00	49.70	96.90
150	149.00	43.60	97.09	150	157.10	47.50	97.04
180	154.00	44.80	97.01	180	158.70	48.00	97.01
210	155.00	44.90	97.00	210	162.70	51.40	96.79
240	156.90	46.50	96.90	240	175.30	50.40	96.86

Ek 3 H. BW-XLE Membranı ile Yapılan Potasyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.9)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Potasyum			Zaman	Potasyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	10.75	4.76	95.84	30	11.45	6.47	94.87
60	11.00	4.12	96.40	60	13.54	5.98	95.26
90	12.70	4.19	96.34	90	12.45	4.96	96.07
120	11.90	4.32	96.22	120	11.52	4.75	96.24
150	10.60	4.30	96.24	150	13.78	4.95	96.08
180	11.60	4.35	96.20	180	12.46	5.09	95.97
210	12.80	4.42	96.14	210	11.78	5.14	95.93
240	10.90	4.41	96.14	240	13.78	5.27	95.82

Ek 3 I. BW-XLE Membranı ile Yapılan Lityum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.10)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Lityum			Zaman	Lityum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	6.06	0.01	99.84	30	6.1	0.01	99.84
60	6.07	0.01	99.84	60	6.03	0.01	99.84
90	6.17	0.01	99.84	90	6.03	0.01	99.84
120	6.06	0.01	99.84	120	6.08	0.01	99.84
150	6.05	0.01	99.84	150	5.96	0.01	99.84
180	6.09	0.01	99.84	180	6.19	0.01	99.84
210	6.25	0.01	99.84	210	6.08	0.01	99.84
240	6.06	0.01	99.84	240	6.1	0.01	99.84

Ek 3 J. BW-XLE Membranı ile Yapılan Kalsiyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.11)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Kalsiyum			Zaman	Kalsiyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	10.00	0.58	94.10	30	9.60	1.46	84.86
60	9.80	0.32	96.75	60	9.80	0.53	94.50
90	9.50	0.62	93.69	90	9.90	0.42	95.65
120	9.30	0.97	90.14	120	9.80	0.31	96.79
150	9.50	0.58	94.10	150	9.70	0.45	95.33
180	9.80	0.45	95.42	180	9.50	0.58	93.99
210	10.00	0.41	95.83	210	9.50	0.75	92.22
240	10.80	0.36	96.34	240	9.50	0.90	90.67

Ek 3 K. BW-XLE Membranı ile Yapılan Magnezyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.12)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Kalsiyum			Zaman	Kalsiyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	20.30	0.82	95.79	30	22.00	1.24	93.74
60	19.10	0.64	96.71	60	20.30	0.77	96.11
90	19.60	0.70	96.40	90	20.10	0.70	96.47
120	19.60	0.72	96.30	120	19.60	0.74	96.26
150	19.80	0.75	96.15	150	19.50	0.76	96.16
180	20.10	0.78	95.99	180	19.30	0.78	96.06
210	21.00	0.65	96.66	210	19.90	0.76	96.16
240	21.10	0.59	96.97	240	20.50	0.80	95.96

Ek 3 L. BW-XLE Membranı ile Yapılan Sülfat Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.13)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Sülfat			Zaman	Sülfat		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	62.7	0.67	99.02	30	55	0.66	99.00
60	65	0.46	99.32	60	56	0.70	98.94
90	67	0.42	99.39	90	62	0.50	99.24
120	71	0.41	99.40	120	64	0.50	99.24
150	72	0.42	99.38	150	68	0.50	99.24
180	72	0.41	99.40	180	76	0.50	99.24
210	73	0.43	99.37	210	77	0.50	99.24
240	74	0.45	99.34	240	78	0.50	99.24

Ek 3 M. BW-XLE Membranı ile Yapılan Klorür Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.14)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Klorür			Zaman	Klorür		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	1753	53	96.97	30	1742	63.00	96.49
60	1762	44	97.49	60	1761	60.00	96.65
90	1768	48	97.26	90	1789	58.00	96.77
120	1771	52	97.03	120	1792	54.00	96.99
150	1745	54	96.92	150	1785	53.00	97.04
180	1731	54	96.92	180	1812	51.00	97.16
210	1742	52	97.03	210	1825	52.00	97.10
240	1756	48	97.26	240	1865	52.00	97.10

Ek 3 N. BW-XLE Membranı ile Yapılan Arsenik Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.15)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Arsenik			Zaman	Arsenik		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	34.62	0.54	98.44	30	37.17	1.54	95.86
60	34.62	0.50	98.56	60	37.17	0.90	97.58
120	34.62	0.52	98.50	90	37.17	1.18	96.83
180	34.62	0.59	98.30	120	37.17	1.23	96.69
240	34.62	0.37	98.93	150	37.17	1.30	96.50

Ek 3 O. BW-XLE Membranı ile Yapılan Bor Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.16)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Bor			Zaman	Bor		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	44.28	12.25	71.47	30	37.76	11.15	69.52
60	43.36	8.81	79.49	60	34.43	7.72	78.88
90	43.67	8.32	80.64	90	37.08	7.68	79.00
120	42.91	8.22	80.87	120	35.68	7.30	80.05
150	42.60	7.47	82.60	150	36.88	6.32	82.71
180	41.32	7.58	82.35	180	37.80	8.26	77.42
210	40.57	8.34	80.59	210	37.81	7.83	78.58
240	40.57	7.67	82.14	240	35.93	7.63	79.15

EK 4
NF - 90 Membran çalışmaları

Ek 4 A. NF-90 Membranı ile Yapılan İletkenlik Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.2)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	İletkenlik (mS/cm)		Rejection	Zaman	İletkenlik (mS/cm)		Rejection
Dak.	Bes.	Süz.	%	Dak.	Bes.	Süz.	%
30	7.32	0.72	90.72	30	8.11	0.828	90.48
60	7.44	0.59	92.45	60	8.3	0.755	91.32
90	7.69	0.603	92.27	90	8.53	0.737	91.53
120	7.85	0.594	92.38	120	8.53	0.764	91.22
150	7.77	0.577	92.60	150	8.75	0.752	91.36
180	8.07	0.585	92.50	180	8.94	0.742	91.47
210	8.2	0.62	92.05	210	8.89	0.726	91.66
240	8.08	0.63	91.92	240	9.38	0.779	91.05

Ek 4B. NF-90 Membranı ile Yapılan TÇK Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.3)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	TÇK(mg/L)		Rejection	Zaman	TÇK(mg/L)		Rejection
Dak.	Bes.	Süz.	%	Dak.	Bes.	Süz.	%
30.00	3.66	0.36	90.72	30	4.06	0.414	90.37
60.00	3.72	0.29	92.56	60	4.15	0.377	91.23
90.00	3.85	0.301	92.28	90	4.26	0.369	91.42
120.00	3.92	0.297	92.38	120	4.27	0.382	91.12
150.00	3.88	0.289	92.59	150	4.37	0.376	91.26
180.00	4.03	0.293	92.49	180	4.47	0.371	91.37
210.00	4.1	0.31	92.05	210	4.44	0.363	91.56
240.00	4.04	0.316	91.90	240	4.69	0.38	91.16

Ek 4 C. NF-90 Membranı ile Yapılan Bikarbonat Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.4)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Bikarbonat			Zaman	Bikarbonat		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	1826.10	397.87	78.21	30	1962.13	336.66	82.84
60	1826.10	244.84	86.59	60	1962.13	306.05	84.40
90	1826.10	214.24	88.27	90	1962.13	244.84	87.52
120	1826.10	275.45	84.92	120	1962.13	244.84	87.52
150	1826.10	244.84	86.59	150	1962.13	183.63	90.64
180	1826.10	244.84	86.59	180	1962.13	244.84	87.52
210	1826.10	214.24	88.27	210	1962.13	275.45	85.96
240	1826.10	153.03	91.62	240	1962.13	275.45	85.96

Ek 4 D. NF-90 Membranı ile Yapılan Tuzluluk Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.5)

1. ÇALIŞMA					2. ÇALIŞMA				
Zaman	Tuzluluk (psu)				Zaman	Tuzluluk (psu)			
Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %	Dak.	Bes.	Süz.	Kon.	Rejection %
30	3.65	3.08	3.77	17.54	30	3.66	2.77	3.85	27.03
60	3.64	3.05	3.72	18.34	60	3.73	2.72	3.75	28.35
90	3.72	2.96	3.78	20.75	90	3.74	2.76	3.84	27.30
120	3.74	3.08	3.80	17.54	120	3.81	2.85	3.86	24.93
150	3.79	3.11	3.79	16.73	150	3.81	2.89	3.87	23.87
180	3.73	3.12	3.79	16.47	180	3.84	2.87	3.89	24.40
210	3.78	3.18	3.81	14.86	210	3.88	3.01	3.90	20.71
240	3.83	3.16	3.82	15.39	240	3.90	2.94	3.97	22.56

Ek 4 E. NF-90 Membranı ile Yapılan Silisyum Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.6)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	SiO ₂			Zaman	SiO ₂		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	546	39.00	92.72	30	588	104	82.03
60	540	44.00	91.79	60	594	43	92.57
90	538	36.00	93.28	90	592	41	92.92
120	532	32.00	94.03	120	589	38	93.43
150	532	35.00	93.47	150	586	36	93.78
180	532	35.00	93.47	180	582	32	94.47
210	532	32.00	94.03	210	562	32	94.47
240	532	32.00	94.03	240	523	42	92.74

Ek 4 F. NF-90 Membranı ile Yapılan Amonyum Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.7)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Amonyum			Zaman	Amonyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	8.1	0.75	90.97	30	8.2	0.95	89.05
60	8.3	0.79	90.49	60	8.6	0.96	88.94
90	7.9	0.78	90.61	90	8.8	0.89	89.74
120	8.2	0.88	89.41	120	8.7	0.88	89.86
150	8.6	0.95	88.56	150	8.5	0.98	88.71
180	8.4	0.82	90.13	180	8.3	0.97	88.82
210	8.5	0.86	89.65	210	8.9	0.96	88.94
240	8.8	0.88	89.41	240	9	0.91	89.51

Ek 4 G. NF-90 Membranı ile Yapılan Sodyum Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.8)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Sodyum			Zaman	Sodyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	167.10	133.00	92.51	30	194.70	142.00	92.81
60	169.70	110.60	93.77	60	192.70	141.60	92.83
90	175.60	111.00	93.75	90	192.00	143.30	92.74
120	173.60	111.90	93.70	120	191.80	140.00	92.91
150	182.50	110.00	93.80	150	191.90	134.60	93.18
180	204.00	109.00	93.86	180	195.60	138.00	93.01
210	185.70	112.00	93.69	210	198.60	142.00	92.81
240	184.30	122.90	93.08	240	210.30	148.40	92.48

Ek 4 H. NF-90 Membranı ile Yapılan Potasyum Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.9)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Potasyum			Zaman	Potasyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	10.75	10.29	91.00	30	11.45	10.61	91.59
60	11.00	8.97	92.16	60	13.54	10.43	91.73
90	12.70	9.00	92.13	90	12.45	10.42	91.74
120	11.90	9.22	91.94	120	11.52	10.52	91.66
150	10.60	8.85	92.26	150	13.78	10.21	91.91
180	11.60	8.77	92.33	180	12.46	10.31	91.83
210	12.80	9.45	91.74	210	11.78	10.11	91.99
240	10.90	9.91	91.33	240	13.78	10.64	91.57

Ek 4 I. NF-90 Membranı ile Yapılan Lityum Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.10)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Lityum			Zaman	Lityum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	7.41	0.02	99.74	30	7.61	0.16	97.90
60	7.51	0.06	99.22	60	7.42	0.05	99.34
90	7.63	0.01	99.87	90	7.46	0.01	99.87
120	7.69	0.01	99.87	120	7.48	0.01	99.87
150	7.63	0.01	99.87	150	7.62	0.01	99.87
180	7.85	0.01	99.87	180	7.74	0.01	99.87
210	7.79	0.01	99.87	210	7.78	0.01	99.87
240	7.85	0.02	99.74	240	7.85	0.01	99.87

Ek 4 J. NF-90 Membranı ile Yapılan Kalsiyum Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.11)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Kalsiyum			Zaman	Kalsiyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	9.50	2.74	75.82	30	11.20	1.59	86.54
60	10.90	0.39	96.56	60	10.80	0.82	93.06
90	15.90	0.56	95.06	90	11.10	0.52	95.60
120	10.90	0.59	94.79	120	11.30	0.38	96.78
150	10.80	0.68	94.00	150	11.80	0.44	96.27
180	10.70	0.78	93.12	180	12.50	0.48	95.94
210	10.80	0.65	94.26	210	13.10	0.52	95.60
240	11.10	0.50	95.59	240	14.30	0.54	95.43

Ek 4 K. NF-90 Membranı ile Yapılan Magnezyum Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.12)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Magnezyum			Zaman	Magnezyum		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	5.70	0.54	92.70	30	15.00	1.42	91.49
60	6.50	0.22	97.03	60	15.20	0.75	95.51
90	7.40	0.32	95.68	90	15.50	0.65	96.11
120	6.30	0.52	92.97	120	17.20	0.46	97.24
150	7.50	0.35	95.27	150	17.40	0.55	96.70
180	9.30	0.29	96.08	180	18.50	0.61	96.34
210	9.00	0.27	96.35	210	20.30	0.52	96.88
240	9.10	0.23	96.89	240	20.40	0.42	97.48

Ek 4 L. NF-90 Membranı ile Yapılan Sülfat Giderim Çalışması Sonuçları (Şekil 4.13)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Sülfat			Zaman	Sülfat		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	74	0.90	98.77	30	67	0.80	98.82
60	71	0.77	98.94	60	68	0.70	98.96
90	72	0.80	98.90	90	65	0.60	99.11
120	73	0.88	98.79	120	62	0.50	99.26
150	74	0.60	99.18	150	69	0.50	99.26
180	75	0.50	99.31	180	68	0.50	99.26
210	71	0.50	99.31	210	70	0.50	99.26
240	76	0.50	99.31	240	72	0.50	99.26

Ek 4 M. NF-90 Membranı ile Yapılan Klorür Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.14)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Klorür			Zaman	Klorür		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	1763	161	90.77	30	1746	67.00	96.21
60	1726	156	91.06	60	1756	65.00	96.33
90	1763	149	91.46	90	1765	64.00	96.38
120	1745	146	91.63	120	1769	69.00	96.10
150	1743	141	91.92	150	1785	74.00	95.82
180	1731	139	92.03	180	1774	75.00	95.76
210	1742	137	92.15	210	1786	71.00	95.99
240	1762	134	92.32	240	1796	72.00	95.93

Ek 4 N. NF-90 Membranı ile Yapılan Arsenik Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.15)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Arsenik			Zaman	Arsenik		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	43.61	8.52	80.46	30	43.64	12.80	70.67
60	43.61	7.75	82.23	60	43.64	10.12	76.81
120	43.61	7.68	82.39	90	43.64	10.65	75.60
180	43.61	8.27	81.04	120	43.64	10.38	76.21
240	43.61	9.47	78.28	150	43.64	11.27	74.18

Ek 4 O. NF-90 Membranı ile Yapılan Bor Giderim Çalışması Sonuçları
(Şekil 4.16)

1. ÇALIŞMA				2. ÇALIŞMA			
Zaman	Bor			Zaman	Bor		
Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %	Dak.	Besleme (mg/L)	Süzüntü (mg/L)	Rejection %
30	37.94	19.98	48.07	30	41.50	22.65	43.53
60	36.38	16.63	56.78	60	40.88	18.93	52.80
90	36.09	17.41	54.76	90	40.69	19.35	51.74
120	36.72	19.37	49.67	120	38.22	21.64	46.04
150	38.19	17.16	55.41	150	40.21	20.33	49.31
180	36.96	18.14	52.85	180	39.49	20.02	50.08
210	42.58	18.24	52.60	210	39.21	20.14	49.78
240	42.58	20.62	46.40	240	40.30	22.09	44.92

Ek 5
Bor adsorpsiyon çalışmaları

Ek 5 A. NF- 90 Membranının Konsantre Çözeltilisi ile Bor Ayrılması (Şekil 4.17)

Besleme suyu: M44 1. Kuyu				
Bor		NF-90 (Konsantre Çözeltilisi)		
Zaman	Diaion CRB-02 Reçine Derişimi	Absorbans Değeri	Besleme	Giderim
Saat	g/L		mg/L	%
40 saat (24 saat çalkalama+16 saat bekleme)	0,2	0,47	51,71	1,34
	0,4	0,43	51,71	9,36
	0,8	0,35	51,71	26,05
	2,0	0,28	51,71	40,10
	3,0	0,19	51,71	59,46
	4,0	0,12	51,71	75,03
	8,0	0,001	51,71	99,79

Ek 5 B. NF- 90 Membranının Konsantre Çözeltilisi ile Bor Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.17)

Besleme suyu: M44 1. Kuyu				
Bor		NF-90 (Konsantre Çözeltilisi)		
Zaman	Diaion CRB-02 Reçine Derişimi	Absorbans Değeri	Besleme	Giderim
Saat	g/L		mg/L	%
40 saat (24 saat çalkalama+16 saat bekleme)	0,2	0,46	51,71	2,02
	0,4	0,44	51,71	6,90
	0,8	0,39	51,71	18,48
	2,0	0,27	51,71	43,17
	3,0	0,18	51,71	61,05
	4,0	0,09	51,71	81,47
	8,0	0,01	51,71	97,99

Ek 5 C. NF- 90 Membranının Süzüntü Çözeltisi ile Bor Ayrılması (Şekil 4.17)

Besleme suyu: M44 1. Kuyu				
Bor		NF-90 (Süzüntü Çözeltisi)		
Zaman	Diaion CRB-02 Reçine Değişimi	Absorbans Değeri	Besleme	Giderim
Saat	g/L		mg/L	%
40 saat (24 saat çalkalama+16 saat bekleme)	0,2	1,19	33,22	21,64
	0,4	1,17	33,22	22,75
	0,8	0,80	33,22	47,09
	2,0	0,59	33,22	61,23
	3,0	0,28	33,22	81,86
	4,0	0,09	33,22	93,79
	8,0	0,014	33,22	99,06

Ek 5 D. NF- 90 Membranının Süzüntü Çözeltisi ile Bor Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.17)

Besleme suyu: M44 1. Kuyu				
Bor		NF-90 (Süzüntü Çözeltisi)		
Zaman	Diaion CRB-02 Reçine Değişimi	Absorbans Değeri	Besleme	Giderim
Saat	g/L		mg/L	%
40 saat (24 saat çalkalama+16 saat bekleme)	0,2	1,25	33,22	17,35
	0,4	1,18	33,22	22,45
	0,8	1,05	33,22	30,69
	2,0	0,59	33,22	60,88
	3,0	0,32	33,22	79,15
	4,0	0,05	33,22	96,61
	8,0	0,000	33,22	99,99

Ek 5 E. BW-XLE Membranının Konsantre Çözeltilisi ile Bor Ayrılması (Şekil 4.18)

Besleme suyu: M44 1. Kuyu				
Bor		BW-XLE (Konsantre Çözeltilisi)		
Zaman	Diaion CRB-02 Reçine Derişimi	Absorbans Değeri	Besleme	Giderim
Saat	g/L		mg/L	%
40 saat (24 saat çalkalama+16 saat bekleme)	0,2	0,46	53,96	7,52
	0,4	0,44	53,96	11,05
	0,8	0,37	53,96	25,28
	2,0	0,28	53,96	43,23
	3,0	0,17	53,96	66,00
	4,0	0,07	53,96	86,15
	8,0	0,004	53,96	99,19

Ek 5 F. BW-XLE Membranının Konsantre Çözeltilisi ile Bor Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.18)

Besleme suyu: M44 1. Kuyu				
Bor		BW-XLE (Konsantre Çözeltilisi)		
Zaman	Diaion CRB-02 Reçine Derişimi	Absorbans Değeri	Besleme	Giderim
Saat	g/L		mg/L	%
40 saat (24 saat çalkalama+16 saat bekleme)	0,2	0,46	53,96	7,34
	0,4	0,42	53,96	15,61
	0,8	0,40	53,96	18,71
	2,0	0,25	53,96	48,56
	3,0	0,18	53,96	64,33
	4,0	0,12	53,96	74,96
	8,0	0,02	53,96	95,80

Ek 5 G. BW-XLE Membranının Süzüntü Çözeltisi ile Bor Ayrılması (Şekil 4.18)

Besleme suyu: M44 1. Kuyu				
Bor		BW-XLE (Süzüntü Çözeltisi)		
Zaman	Diaion CRB-02 Reçine Değişimi	Absorbans Değeri	Besleme	Giderim
Saat	g/L		mg/L	%
40 saat (24 saat çalkalama+16 saat bekleme)	0,2	1,05	28,06	17,77
	0,4	0,98	28,06	23,59
	0,8	0,83	28,06	35,63
	2,0	0,39	28,06	69,86
	3,0	0,09	28,06	92,62
	4,0	0,05	28,06	96,10
	8,0	0,010	28,06	99,22

Ek 5 H BW-XLE Membranının Süzüntü Çözeltisi ile Bor Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.18)

Besleme suyu: M44 1. Kuyu				
Bor		BW-XLE (Süzüntü Çözeltisi)		
Zaman	Diaion CRB-02 Reçine Değişimi	Absorbans Değeri	Besleme	Giderim
Saat	g/L		mg/L	%
40 saat (24 saat çalkalama+16 saat bekleme)	0,2	1,02	28,06	20,25
	0,4	0,97	28,06	24,01
	0,8	0,81	28,06	36,55
	2,0	0,45	28,06	64,67
	3,0	0,17	28,06	86,71
	4,0	0,09	28,06	92,79
	8,0	0,010	28,06	99,22

Ek 6
Lityum adsorpsiyon çalışmaları

Ek 6 A. NF-90 Membranının Konsantre Çözeltisi ile Lityum Ayrılması (Şekil 4.19)

1. ÇALIŞMA				
Besleme suyu: M44 1. Kuyu		Membran: NF-90		
λ -MnO ₂ Reçine Miktarı	λ -MnO ₂ Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	Konsantre Çözeltisi	Giderim
g	g/L	mg/L	mg/L	%
0,05	2	6,74	0,83	87,69
0,1	4	6,74	0,10	98,52
0,2	8	6,74	0,01	99,85
0,3	12	6,74	0,01	99,85
0,4	16	6,74	0,01	99,85

Ek 6 B. NF-90 Membranının Konsantre Çözeltisi ile Lityum Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.19)

2. ÇALIŞMA				
Besleme suyu: M44 1. Kuyu		Membran: NF-90		
λ -MnO ₂ Reçine Miktarı	λ -MnO ₂ Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	Konsantre Çözeltisi	Giderim
g	g/L	mg/L	mg/L	%
0,05	2	6,74	0,85	87,39
0,1	4	6,74	0,01	99,85
0,2	8	6,74	0,01	99,85
0,3	12	6,74	0,01	99,85
0,4	16	6,74	0,01	99,85

Ek 6 C. BW-XLE Membranının Konsantre Çözeltisi ile Lityum Ayrılması (Şekil 4.19)

1. ÇALIŞMA				
Besleme suyu:M 44 1. Kuyu		Membran: BW-XLE		
λ -MnO ₂ Reçine Miktarı	λ -MnO ₂ Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	Konsantre Çözeltisi	Giderim
g	g/L	mg/L	mg/L	%
0,05	2	6,74	1,10	83,68
0,1	4	6,74	0,06	99,11
0,2	8	6,74	0,01	99,85
0,3	12	6,74	0,01	99,85
0,4	16	6,74	0,01	99,85

Ek 6 D. BW-XLE Membranının Konsantre Çözeltisi ile Lityum Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.19)

2. ÇALIŞMA				
Besleme suyu:M 44 1. Kuyu		Membran: BW-XLE		
λ -MnO ₂ Reçine Miktarı	λ -MnO ₂ Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	Konsantre Çözeltisi	Giderim
g	g/L		mg/L	%
0,05	2	6,74	0,80	88,13
0,1	4	6,74	0,01	99,85
0,2	8	6,74	0,01	99,85
0,3	12	6,74	0,01	99,85
0,4	16	6,74	0,01	99,85

Ek 6 E. BW-XLE Membranının Konsantre Çözeltilisinden ArsenX Reçinesi ile Lityum Ayrılması (Şekil 4.21)

1. ÇALIŞMA				
Besleme suyu:M65 1. Kuyu		Membran: BW-XLE		
ArsenX Reçinesi Miktarı	ArsenX Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	Konsantre Çözeltisi	Adsorplama
g	g/L		mg/L	%
0,05	2	6,71	6,71	0,00
0,1	4	6,71	6,71	0,02
0,2	8	6,71	6,71	0,05
0,3	12	6,71	6,70	0,08
0,4	16	6,71	6,70	0,08

Ek 6 F. BW-XLE Membranının Konsantre Çözeltilisinden ArsenX Reçinesi ile Lityum Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.21)

2. ÇALIŞMA				
Besleme suyu:M65 1. Kuyu		Membran: BW-XLE		
ArsenX Reçinesi Miktarı	ArsenX Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	Konsantre Çözeltisi	Adsorplama
g	g/L		mg/L	%
0,05	2	6,71	6,71	0,02
0,1	4	6,71	6,71	0,02
0,2	8	6,71	6,71	0,03
0,3	12	6,71	6,71	0,03
0,4	16	6,71	6,71	0,05

Ek 6 G. NF-90 Membranının Konsantre Çözeltilisinden ArsenX Reçinesi ile Lityum Ayrılması (Şekil 4.21)

1. ÇALIŞMA				
Besleme suyu: M44 1. Kuyu		Membran: NF-90		
ArsenX Reçinesi Miktarı	ArsenX Reçine Derişimi	Besleme Çözeltilisi	Konsantre Çözeltilisi	Adsorplama
g	g/L	mg/L	mg/L	%
0,05	2	6,86	6,82	0,58
0,1	4	6,86	6,84	0,29
0,2	8	6,86	6,68	2,62
0,3	12	6,86	6,57	4,23
0,4	16	6,86	6,46	5,83

Ek 6 H. NF-90 Membranının Konsantre Çözeltilisinden ArsenX Reçinesi ile Lityum Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.21)

2. ÇALIŞMA				
Besleme suyu: M44 1. Kuyu		Membran: NF-90		
ArsenX Reçinesi Miktarı	ArsenX Reçine Derişimi	Besleme Çözeltilisi	Konsantre Çözeltilisi	Adsorplama
g	g/L	mg/L	mg/L	%
0,05	2	6,86	6,86	0,00
0,1	4	6,86	6,82	0,58
0,2	8	6,86	6,75	1,60
0,3	12	6,86	6,57	4,23
0,4	16	6,86	6,31	8,02

Ek 6 I. BW-XLE Membranının Konsantre Çözeltisinden Diaion CRB-02 Reçinesi ile Lityum Ayrılması (Şekil 4.22)

1. ÇALIŞMA				
Besleme suyu:M44 1. Kuyu		Membran: BW-XLE		
Diaion CRB-02 Reçine Miktarı	Diaion CRB-02 Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	BW-XLE Süzüntü Çözeltisi	Adsorplama
g	g/L		mg/L	%
0,005	0,2	0,01	0,0099	1,00
0,01	0,4	0,01	0,01	0,50
0,02	0,8	0,01	0,01	0,60
0,05	2	0,01	0,01	0,30
0,075	3	0,01	0,01	0,10
0,10	4	0,01	0,01	0,10
0,20	8	0,01	0,01	0,10

Ek 6 J. BW-XLE Membranının Konsantre Çözeltisinden Diaion CRB-02 Reçinesi ile Lityum Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.22)

2. ÇALIŞMA				
Besleme suyu:M44 1. Kuyu		Membran: BW-XLE		
Diaion CRB-02 Reçine Miktarı	Diaion CRB-02 Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	BW-XLE Konsantre Çözeltisi	Adsorplama
g	g/L		mg/L	%
0,005	0,2	6,71	6,61	1,49
0,01	0,4	6,71	6,55	2,38
0,02	0,8	6,71	6,45	3,87
0,05	2	6,71	6,40	4,62
0,075	3	6,71	6,39	4,77
0,10	4	6,71	6,45	3,87
0,20	8	6,71	6,43	4,17

Ek 6 K. NF-90 Membranının Konsantre Çözeltisinden Diaion CRB-02 Reçinesi ile Lityum Ayrılması (Şekil 4.23)

1. ÇALIŞMA				
Besleme suyu: M44 1. Kuyu		Membran: NF-90		
Diaion CRB-02 Reçine Miktarı	Diaion CRB-02 Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	NF-90 Süzüntü Çözeltisi	Adsorplama
g	g/L	mg/L	mg/L	%
0,005	0,2	0,21	0,21	1,43
0,01	0,4	0,21	0,21	2,38
0,02	0,8	0,21	0,20	2,86
0,05	2	0,21	0,21	1,90
0,075	3	0,21	0,20	3,33
0,10	4	0,21	0,20	4,29
0,20	8	0,21	0,20	4,29

Ek 6 L. NF-90 Membranının Konsantre Çözeltisinden Diaion CRB-02 Reçinesi ile Lityum Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.23)

2. ÇALIŞMA				
Besleme suyu: M44 1. Kuyu		Membran: NF-90		
Diaion CRB-02 Reçine Miktarı	Diaion CRB-02 Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	NF-90 Konsantre Çözeltisi	Adsorplama
g	g/L	mg/L	mg/L	%
0,005	0,2	6,86	6,70	2,33
0,01	0,4	6,86	6,67	2,77
0,02	0,8	6,86	6,65	3,06
0,05	2	6,86	6,62	3,50
0,075	3	6,86	6,62	3,50
0,10	4	6,86	6,64	3,21
0,20	8	6,86	6,64	3,21

Ek 7**Arsenik adsorpsiyon çalışmaları**

Ek 7 A. BW-XLE Membranının Konsantre Çözeltilisinden ArsenX Reçinesi Kullanılarak Arsenik Ayrılması (Şekil 4.20)

1. ÇALIŞMA				
Besleme suyu: M44 1. Kuyu		Membran: BW-XLE		
ArsenX Reçinesi Miktarı	ArsenX Reçine Derişimi	Besleme Çözeltilisi	Konsantre Çözeltilisi	Giderim
g	g/L		mg/L	%
0,05	2	0,035	0,0037	89,43
0,2	8	0,035	0,0011	96,86
0,4	16	0,035	0,0010	97,14

Ek 7 B. BW-XLE Membranının Konsantre Çözeltilisinden ArsenX Reçinesi Kullanılarak Arsenik Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.20)

2. ÇALIŞMA				
Besleme suyu: M44 1. Kuyu		Membran: BW-XLE		
ArsenX Reçinesi Miktarı	ArsenX Reçine Derişimi	Besleme Çözeltilisi	Konsantre	Giderim
g	g/L		mg/L	%
0,05	2	0,0350	0,0119	66,00
0,2	8	0,0350	0,0010	97,14
0,4	16	0,0350	0,0010	97,14

Ek 7 C. NF-90 Membranının Konsantre Çözeltilisinden ArsenX Reçinesi Kullanılarak Arsenik Ayrılması (Şekil 4.20)

1. ÇALIŞMA				
Besleme suyu: M44 1. Kuyu		Membran: NF-90		
ArsenX Reçinesi Miktarı	ArsenX Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	Konsantre Çözeltisi	Giderim
g	g/L	mg/L	mg/L	%
0,05	2	0,0330	0,0034	89,70
0,2	8	0,0330	0,0010	96,97
0,4	16	0,0330	0,0010	96,97

Ek 7 E. NF-90 Membranının Konsantre Çözeltilisinden ArsenX Reçinesi Kullanılarak Arsenik Ayrılması (tekrar çalışması) (Şekil 4.20)

2. ÇALIŞMA				
Besleme suyu: M44 1. Kuyu		Membran: NF-90		
ArsenX Reçinesi Miktarı	ArsenX Reçine Derişimi	Besleme Çözeltisi	Konsantre Çözeltisi	Giderim
g	g/L	mg/L	mg/L	%
0,05	2	0,0330	0,0089	73,03
0,2	8	0,0330	0,0010	96,97
0,4	16	0,0330	0,0010	96,97

Ek 8**Yapılan çalışmada kullanılan membranlara ait süzöntü akı değerleri**

Ek 8 A DL-NF Membranlarıylasüzöntü akı değerleri (Şekil 4.1)

Zaman	Q Süzöntü	Q Süzöntü (tekrar çalışması)	Q Süzöntü ort	Q Süzöntü ort
Dak.	mL/dak	mL/dak	mL/dak	L/ h m²
30	7,80	16,50	12,15	52,1
60	8,20	15,00	11,60	49,7
90	9,60	16,00	12,80	54,9
120	7,80	15,00	11,40	48,9
150	8,20	15,50	11,85	50,8
180	8,40	16,00	12,20	52,3
210	8,20	16,00	12,10	51,9
240	8,40	16,00	12,20	52,3

Ek 8 B CK-RO Membranlarıylasüzöntü akı değerleri (Şekil 4.1)

Zaman	Q Süzöntü	Q Süzöntü (tekrar çalışması)	Q Süzöntü ort	Q Süzöntü ort
Dak.	mL/dak	mL/dak	mL/dak	L/ h m²
30	3,8	6	4,9	21,0
60	3,8	5,2	4,5	19,3
90	3,8	5,1	4,45	19,1
120	3,8	5,4	4,6	19,7
150	4	5,6	4,8	20,6
180	4	5,8	4,9	21,0
210	4,4	5,2	4,8	20,6
240	4,4	5,6	5	21,4

Ek 8 C BW-XLE Membranlarıylasüzüntü akı değerleri (Şekil 4.1)

Zaman	Q Süzüntü	Q Süzüntü (tekrar çalışması)	Q Süzüntü ort.	Q Süzüntü ort.
Dak.	mL/dak	mL/dak	mL/dak	L/ h m ²
30	7	8,30	7,65	32,8
60	7	8,30	7,65	32,8
90	7	8,30	7,65	32,8
120	7	8,20	7,60	32,6
150	6,8	8,00	7,40	31,7
180	7	7,60	7,30	31,3
210	6,8	7,40	7,10	30,4
240	7	7,20	7,10	30,4

Ek 8 D NF-90 Membranlarıylasüzüntü akı değerleri (Şekil 4.1)

Zaman	Q Süzüntü	Q Süzüntü (tekrar çalışması)	Q Süzüntü ort.	Q Süzüntü ort.
Dak.	mL/dak	mL/dak	mL/dak	L/ h m ²
30	6,8	7,6	7,20	30,9
60	6,8	6,4	6,60	28,3
90	6,8	6,2	6,50	27,9
120	6,6	6,2	6,40	27,4
150	6,4	6,2	6,30	27,0
180	6,8	6	6,40	27,4
210	6,8	6	6,40	27,4
240	6,8	6	6,40	27,4