

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**BİGADIÇ BOR İŞLETMESİ SİMAV AÇIK OCAK TABAN
SUYUNDAN TERS OSMOZ YÖNTEMİ İLE BOR GİDERİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Volkan DUMAN

BALIKESİR, Temmuz 2012

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BİGADIÇ BOR İŞLETMESİ SİMAV AÇIK OCAK TABAN
SUYUNDAN TERS OSMOZ YÖNTEMİ İLE BOR GİDERİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Volkan DUMAN

BALIKESİR, Temmuz 2012

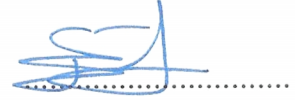
KABUL VE ONAY SAYFASI

Mehmet Volkan DUMAN tarafından hazırlanan “BİGADIÇ BOR İŞLETMESİ SİMAV AÇIK OCAK TABAN SUYUNDAN TERS OSMOZ YÖNTEMİ İLE BOR GİDERİMİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 25/07/2012 tarihinde yapılmış olup aşağıda isimleri ve ünvanları verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

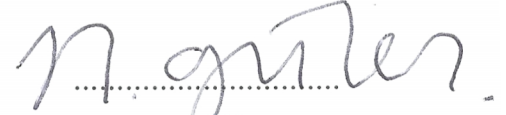
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Elif ÖZMETİN



Üye
Prof. Dr. Halil GÜLER



Üye
Yrd. Doç. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Hilmi NAMLI

.....

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2012/75 no'lu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**BİGADIÇ BOR İŞLETMESİ SİMAV AÇIK OCAK TABAN SUYUNDAN
TERS OSMOZ YÖNTEMİ İLE BOR GİDERİMİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEHMET VOLKAN DUMAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI : YRD. DOÇ. DR. ELİF ÖZMETİN)

BALIKESİR, TEMMUZ 2012

Bu çalışmanın amacı, dünyanın en önemli kolemanit ve üleksit türü bor madeni yataklarını barındıran Bigadiç Bor İşletmesi Simav Açık Ocak tabanında biriken 150 ± 50 mg/L bor konsantrasyonuna sahip taban suyunu, İtalyan GEL firması tarafından tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiş olan iki kademeli ters osmoz sistemine sahip Mobil Pilot Arıtma Tesisi ile 2 mg/L'nin altına indirerek Simav Çayı'na deşarjını sağlamaktır. Çalışma parametreleri olarak sıcaklık, pH, basınç ve giriş bor konsantrasyonu seçilmiş ve bu parametrelerin bor giderimine etkisi incelenmiştir. Tesiste gerçekleştirilen denemeler sonucunda; pH ve basınç arttıkça bor giderim yüzdesi artmakta, sıcaklık ve giriş bor konsantrasyonu arttıkça bor giderim yüzdesi azalmaktadır. Özellikle pH değişiminin bor giderim verimi üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Tesise giren ham suyun tez çalışma süresi boyunca ortalama bor konsantrasyon değeri 142.25 mg/L olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda tesis için belirlenen en uygun şartlar altında ($T_1, T_2 = 20$ °C ve $P_1 = 10$ bar, $P_2 = 8$ bar) 1. kademe ters osmoz ünite girişi pH>10 ve 2. kademe ters osmoz ünite girişi pH>10.50 olduğunda tesisin bor giderim yüzdesi % 99'un üstüne çıkmıştır. Tesis için oluşturulan aylık değerlendirme raporları kullanılarak yıllık veriler ve ekonomik analiz ortaya koyulmuştur. Bu verilere göre; 2010 yılı için 1 m³ temiz su üretim maliyeti 2.74 TL; 2011 yılı için ise 1 m³ temiz su üretim maliyeti 2.91 TL'dir. Arıtma Tesisi'ne ait giderler arasında en büyük paylar enerji ve kistiğe aittir; 2010 yılı için kostik tüketim payı % 25.93, enerji tüketim payı % 22.11 olarak; 2011 yılı için kostik tüketim payı % 21.92, enerji tüketim payı % 28.40 olarak hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: bor giderimi, ters osmoz, ekonomik analiz, yüksek pH

ABSTRACT

BORON REMOVAL FROM BASE WATER ORIGINATING IN SIMAV OPEN PIT MINE OF BIGADIC BORON WORK BY MEANS OF REVERSE OSMOSIS

MSC THESIS

**MEHMET VOLKAN DUMAN
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. ELİF ÖZMETİN

BALIKESİR, JULY 2012

In this study, the base water originating in Simav Open Pit Mine containing the most important reserves of colemanite and ulexite boron minerals in itself, has a boron concentration of 150 ± 50 mg/L, was treated to < 2 mg/L with the help of Mobile Waste Water Treatment Pilot Plant which was designed with 2-phase reverse osmosis system and produced by Italian GEL Company and this treated water was discharged to the Simav River. Temperature, pH, pressure and inlet boron concentration were chosen as research parameters and influences of these parameters were analyzed. According to the results of test runs; the efficiency of boron removal increases when inlet pH and inlet pressure increase; the efficiency of boron removal decreases when the inlet temperature and inlet boron concentration increase. The results show us that especially variation of pH has a deep effect on boron removal efficiency. During research period the average boron concentration of inlet raw water is calculated as 142.25 mg/L. Under normal operating conditions determined for the pilot plant ($T_1, T_2 = 20$ °C ve $P_1 = 10$ bar, $P_2 = 8$ bar) if the inlet pH of 1st RO stage is above 10.00 and the inlet pH of 2nd RO stage is above 10.50, boron removal efficiency goes up above 99 %. By means of monthly assesment reports of the plant, yearly data and an economic analysis belonging to the plant were figured out. According to these data; the cost of 1 m³ treated water is 2.74 TL in 2010, the result for the year 2011 is 2.91 TL/m³. According to the cost analysis of the plant over years energy and caustic consumptions took the biggest parts; it is concluded that the percentage of caustic consumption is 25.93 and the percentage of energy consumption is 22.11 in the year 2010; the percentage of caustic consumption is 21.92 and the percentage of energy consumption is 28.40 in the year 2011.

KEYWORDS: boron removal, reverse osmosis, economical analysis, high pH

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1 Bor Elementi ve Bor Mineralleri.....	3
2.2 Dünya’da ve Türkiye’de Bor.....	8
2.3 Türkiye’de Bor Madenciliği ve Rafine Bor Ürünlerinin Üretimi.....	10
2.4 Borun Çevresel Etkileri.....	13
2.4.1 Yönetmeliklerde Bor için Belirlenen Limit Değerler.....	15
2.4.2 İyon Değiştirme.....	21
2.4.3 Ters Osmoz.....	21
2.5 Eti Maden’e Bağlı İşletmelerdeki Üretim Faaliyetleri ve Atıksu Oluşumları.....	28
2.5.1 Kırka Bor İşletme Müdürlüğü.....	29
2.5.2 Emet Bor İşletme Müdürlüğü.....	29
2.5.3 Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü.....	30
2.5.4 Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü.....	30
2.5.5 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü.....	34
2.5.5.1 Bigadiç Bor Madenlerinin Mineralojisi ve Kökenleri.....	35
2.5.5.2 İşletme Faaliyetleri.....	36
2.5.5.2.1 Açık Ocaklar.....	36
2.5.5.2.1.1 Tülü Açık Ocağı.....	36
2.5.5.2.1.2 Acep Açık Ocağı.....	37
2.5.5.2.1.3 Simav Açık Ocağı.....	38
2.5.5.2.2 Konsantratör Tesisi ve Kırma-Öğütme Tesisi.....	39
2.5.5.3 İşletme Faaliyetleri Sonucu Ortaya Çıkan Atıksular.....	41
3. ARAÇLAR ve YÖNTEMLER	48
3.1 Araçlar.....	48
3.1.1 Tesis Tanımı.....	49
3.1.1.1 Çökeltme Tankları.....	50
3.1.1.2 Birinci Kademe pH Ayarlama Sistemi.....	51
3.1.1.3 Klorlama Sistemi.....	52
3.1.1.4 Ham Su Depolama Tankı.....	53
3.1.1.5 Ham Su Pompalama Sistemi.....	53
3.1.1.6 Kum Filtresi.....	54
3.1.1.7 Aktif Karbon Filtre.....	54

3.1.1.8 Su Yumuşatma Ünitesi.....	55
3.1.1.9 İkinci Kademe pH Ayarlama Sistemi.....	56
3.1.1.10 Birinci Faz Ters Osmoz Sistemine Girişteki Mikrofiltrasyon Üniteleri.....	57
3.1.1.11 Birinci Faz Ters Osmoz Sistemine Ait Antiskalant Dozajlama Ünitesi.....	58
3.1.1.12 Birinci Faz Ters Osmoz Sistemi.....	59
3.1.1.13 Üçüncü Kademe pH Ayarlama Sistemi.....	61
3.1.1.14 Ara Ürün Stok Tankı.....	61
3.1.1.15 Ara Ürün Pompalama Sistemi.....	62
3.1.1.16 İkinci Faz Ters Osmoz Sistemine Girişteki Mikrofiltrasyon Ünitesi.....	62
3.1.1.17 İkinci Faz Ters Osmoz Sistemine Ait Antiskalant Dozajlama Ünitesi.....	63
3.1.1.18 İkinci Faz Ters Osmoz Sistemi.....	63
3.1.1.19 Dördüncü Kademe pH Ayarlama Sistemi.....	68
3.1.1.20 Artırılmış Su Deposu.....	68
3.1.2 Proses Tanımı.....	69
3.1.3 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar.....	73
3.2 Yöntem.....	74
3.2.1 Karmin Yöntemi.....	74
3.2.2 Volumetrik (Titrasyon) Metot.....	77
3.2.3 Deneysel Çalışmalar.....	79
3.2.4 Atıksuyun Özellikleri.....	81
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	82
4.1 Sıcaklığın Bor Giderimine Etkisi.....	82
4.1.1 Yüksek Bor Konsantrasyonlarında Sıcaklığın Bor Giderimine Etkisi.....	83
4.1.2 Düşük Bor Konsantrasyonlarında Sıcaklığın Bor Giderimine Etkisi	84
4.2 Basıncın Bor Giderimine Etkisi.....	86
4.2.1 Yüksek Bor Konsantrasyonlarında Basıncın Bor Giderimine Etkisi	86
4.2.2 Düşük Bor Konsantrasyonlarında Basıncın Bor Giderimine Etkisi	89
4.3 Giriş Bor Konsantrasyonunun Bor Giderimine Etkisi.....	91
4.3.1 Yüksek Bor Konsantrasyonlarında Sisteme Giriş Değerinin Bor Giderimine Etkisi.....	91
4.3.2 Düşük Bor Konsantrasyonlarında Sisteme Giriş Değerinin Bor Giderimine Etkisi.....	92
4.4 pH'nın Bor Giderimine Etkisi.....	96
4.4.1 Yüksek Bor Konsantrasyonlarında pH Değerinin Bor Giderimine Etkisi.....	97
4.4.2 Düşük Bor Konsantrasyonlarında pH Değerinin Bor Giderimine Etkisi.....	104
4.5 Ekonomik Analiz.....	110
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	116
6. KAYNAKLAR.....	120

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Türkiye’de en büyük rezervlere sahip bor cevheri türleri a) Kolemanit b) Üleksit c) Tinkal.....	10
Şekil 2.2	: Eti Maden’e bağlı işletmeler.....	12
Şekil 2.3	: Su molekülü ve diğer impüritelerin boyutlarının karşılaştırılması.....	22
Şekil 2.4	: Ters osmoz sisteminin çalışma prensibi.....	23
Şekil 2.5	: Osmotic basınç şeması.....	23
Şekil 2.6	: Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları atıksu yerleri ve miktarları (2005 yılı verileri).....	31
Şekil 2.7	: Bor Grubu Fabrikaları’nın atık oluşumundaki payları.....	32
Şekil 2.8	: Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları Arıtma Tesisi basitleştirilmiş akım şeması.....	33
Şekil 2.9	: Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü’ne ait işletme sahasının üstten görünümü.....	34
Şekil 2.10	: Tülü Açık Ocağı.....	36
Şekil 2.11	: Acep Açık Ocağı.....	37
Şekil 2.12	: Simav Açık Ocağı.....	38
Şekil 2.13	: Proses ve ocak suyu akış şeması.....	43
Şekil 3.1	: Simav Açık Ocak Taban Suyu Bor Arıtımı Mobil Pilot Tesisi...	48
Şekil 3.2	: Atıksu Arıtma Tesisi’nin genel görünüşü.....	50
Şekil 3.3	: Çökeltme tankları.....	51
Şekil 3.4	: Ham su depolama tankı.....	53
Şekil 3.5	: Ham su şartlandırma işlemini gerçekleştiren filtrasyon üniteleri	56
Şekil 3.6	: Birinci faz ters osmoz sisteminin girişindeki mikrofiltrasyon ünitelerine ait ekipmanlar.....	58
Şekil 3.7	: Birinci faz ters osmoz sistemi.....	60
Şekil 3.8	: Ara ürün stok tankı.....	61
Şekil 3.9	: İkinci faz ters osmoz sisteminin girişindeki mikrofiltrasyon Ünitesine ait ekipmanlar.....	62
Şekil 3.10	: İkinci faz ters osmoz sistemi.....	65
Şekil 3.11	: Mobil Pilot Arıtma Tesisi’nde kullanılan membranlar a) Yandan görünüm b) Üstten görünüm.....	67
Şekil 3.12	: Hydranautics ESPAB+ Membran boyutları.....	68
Şekil 3.13	: Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav Açık Ocak Taban Suyu Bor Arıtımı Mobil Pilot Tesisi Akım Şeması.....	72
Şekil 3.14	: Kalibrasyon eğrisi örneği.....	76
Şekil 4.1	: Deneme 1 (Yüksek bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi).....	83

Şekil 4.2	: Deneme 2 (Düşük bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi).....	84
Şekil 4.3	: Deneme 3 (Düşük bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi).....	85
Şekil 4.4	: Deneme 4 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi).....	87
Şekil 4.5	: Deneme 5 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi).....	88
Şekil 4.6	: Deneme 6 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi).....	89
Şekil 4.7	: Deneme 7 (Düşük bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi).....	90
Şekil 4.8	: Deneme 8 (Yüksek bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi).....	92
Şekil 4.9	: Deneme 9 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi).....	93
Şekil 4.10	: Deneme 10 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi).....	94
Şekil 4.11	: Deneme 11 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi).....	95
Şekil 4.12	: Deneme 12 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi).....	96
Şekil 4.13	: Deneme 13 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	97
Şekil 4.14	: Deneme 14 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	98
Şekil 4.15	: Deneme 15 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	99
Şekil 4.16	: Deneme 16 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	100
Şekil 4.17	: Deneme 17 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	101
Şekil 4.18	: Deneme 18 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	102
Şekil 4.19	: Deneme 19 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	103
Şekil 4.20	: Deneme 20 (Düşük bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	104
Şekil 4.21	: Non-iyonik borik asit molekül yapısı.....	107
Şekil 4.22	: Borat anyonu molekül yapısı.....	107

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Başlıca bor minerallerinin kimyasal bileşimi.....	4
Çizelge 2.2 : Başlıca bor minerallerinin minerolojik özellikleri.....	6
Çizelge 2.3 : Tabiatda bulunan bor minerallerinin kimyasal adları ve formülasyonları.....	7
Çizelge 2.4 : Dünya bor rezervleri (Bin Ton – B ₂ O ₃).....	8
Çizelge 2.5 : Bor ürünleri ve üretim tesisleri.....	12
Çizelge 2.6 : Başlıca rafine bor ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri...	13
Çizelge 2.7 : Dünya üzerinde farklı kıtalarda bulunan ülkelerin kişi başına günlük bor mazurietü değeri.....	14
Çizelge 2.8 : Metalik olmayan maden sanayi (Bor Cevheri) ve kimya sanayi (Perborat ve Diğer Bor Ürünleri Sanayi).....	16
Çizelge 2.9 : Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değeriendirilmesi için geliştirilmiş tablo.....	17
Çizelge 2.10 : Bitkilerin bor'a karşı dayanıklılık dereceleri.....	18
Çizelge 2.11 : Kaynak ve içme sularının kimyasal parametrik değeri.....	20
Çizelge 2.12 : Ters osmoz ile reddedilen iyonlar, metaller, organik maddeler pestisitler ve giderilme yüzdeleri.....	26
Çizelge 2.13 : Tülü Açık Ocağı'na ait damarların cevher cinsi ve kalınlıkları.....	37
Çizelge 2.14 : Simav Açık Ocağı'na ait damarların cevher cinsi ve kalınlıkları.....	39
Çizelge 2.15 : Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Konsantratör Tesisi'nde üretilen konsantr ürünlerin B ₂ O ₃ tenörleri.....	40
Çizelge 2.16 : Bigadiç Bor İşletmesi katı atık ve atıksu stoklama alanı bilgileri.....	42
Çizelge 2.17 : Bigadiç Bor İşletmesi katı atık ve atıksu oluşum değeri.....	44
Çizelge 2.18 : Öngörülen arıtma tesisinin etkisi ile Bigadiç Bor İşletmesi'ne ait revize katı atık ve atıksu oluşum değeri.....	45
Çizelge 2.19 : Bigadiç Bor İşletmesi Açık Ocaklarına ve Çamköy Atık barajına ait suların analiz sonuçları.....	47
Çizelge 3.1 : Mobil Pilot Arıtma Tesisi'nin genel özellikleri.....	49
Çizelge 3.2 : Sıvı kostiğin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	52
Çizelge 3.3 : Sodyum Hipoklorit'in kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	52
Çizelge 3.4 : Kum Filtresinin teknik özellikleri.....	54
Çizelge 3.5 : Aktif Karbon Filtrasyon Ünitesinin teknik özellikleri.....	55
Çizelge 3.6 : İkinci kademe pH ayarlama sisteminde kullanılan asitin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	57
Çizelge 3.7 : Sistemde kullanılan antiskalantın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	59
Çizelge 3.8 : Ters osmoz membranları (1. faz).....	60
Çizelge 3.9 : Borulama (1. faz).....	60

Çizelge 3.10	: Yüksek Basınç Pompası (1. faz).....	60
Çizelge 3.11	: Debi ölçerler (1. faz).....	60
Çizelge 3.12	: Ters osmoz membranları (2. faz).....	64
Çizelge 3.13	: Borulama (2. faz).....	64
Çizelge 3.14	: Yüksek Basınç Pompası (2. faz).....	64
Çizelge 3.15	: Debi ölçerler (2. faz).....	64
Çizelge 3.16	: Hydranautics ESPAB+ Membran özellikleri.....	66
Çizelge 3.17	: Çökeltme tanklarında oluşan çökeleğin kimyasal ve mineralojik analizi.....	70
Çizelge 3.18	: İkinci kademe ters osmoz sisteminde $pH \geq 11.00$ için yapılan çalışma.....	80
Çizelge 3.19	: Arıtma Tesisi'ne beslenecek ham suyun özellikleri.....	81
Çizelge 4.1	: Deneme 1 (Yüksek bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi).....	83
Çizelge 4.2	: Deneme 2 (Düşük bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi).....	84
Çizelge 4.3	: Deneme 3 (Düşük bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi).....	85
Çizelge 4.4	: Deneme 4 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi).....	86
Çizelge 4.5	: Deneme 5 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi).....	87
Çizelge 4.6	: Deneme 6 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi).....	88
Çizelge 4.7	: Deneme 7 (Düşük bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi).....	89
Çizelge 4.8	: Deneme 8 (Yüksek bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi).....	91
Çizelge 4.9	: Deneme 9 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi).....	92
Çizelge 4.10	: Deneme 10 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi).....	93
Çizelge 4.11	: Deneme 11 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi).....	94
Çizelge 4.12	: Deneme 12 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi).....	95
Çizelge 4.13	: Deneme 13 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	96
Çizelge 4.14	: Deneme 14 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	98
Çizelge 4.15	: Deneme 15 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	99
Çizelge 4.16	: Deneme 16 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	100
Çizelge 4.17	: Deneme 17 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	101

Çizelge 4.18	: Deneme 18 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	102
Çizelge 4.19	: Deneme 19 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	103
Çizelge 4.20	: Deneme 20 (Düşük bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi).....	104
Çizelge 4.21	: Kostik dozajı yapılmadan çalıştırılan 1. kademe ters osmoz sistemi.....	105
Çizelge 4.22	: Kostik dozajı yapılmadan çalıştırılan 2. kademe ters osmoz sistemi.....	106
Çizelge 4.23	: Optimum çalışma değerleri.....	110
Çizelge 4.24	: Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav Açık Ocak Taban Suyu Bor Arıtımı Mobil Pilot Tesisi aylık çalışma parametreleri Nisan 2011.....	111
Çizelge 4.25	: Arıtma Tesisi 2010 yılı çalışma parametreleri.....	113
Çizelge 4.26	: Arıtma Tesisi 2011 yılı çalışma parametreleri.....	115
Çizelge 4.27	: Simav Açık Ocak Taban Suyu arıtımı için kurulan Arıtma Tesisi'ne ait giderlerin yıllara göre yüzdesel dağılımları.....	115
Çizelge 4.28	: 100 m ³ /saat temiz su üretimi gerçekleştirmesi planlanan Arıtma Tesisi'ne ait giderlerin yıllara göre dağılımları.....	115

SEMBOL LİSTESİ

ppm	: Milyonda bir
ppb	: Milyarda bir
mg/L	: Kütle konsantrasyon birimi
μS/cm	: İletkenlik birimi
RO	: Ters Osmoz
UF	: Ultra Filtrasyon
h/h	: hacim/hacim oranı
PE	: Polietilen
Abs	: Absorbans
K_a	: Ayrışma katsayısı
pK_a	: - logK _a
P_{IN}	: Inlet pressure of RO stage
P_{OUT}	: Outlet pressure of RO stage
F	: NaOH çözeltisinin faktörü
S	: NaOH sarfiyatı (mL)
N	: NaOH çözeltisinin normalitesi
T	: Potasyum Hidrojen Ftalat ağırlığı
e	: Potasyum Hidrojen Ftalat ekivalent gramı = 204.2291
C_p	: Üretilen temiz suyun bor konsantrasyonu
C_f	: Ham suyun bor konsantrasyonu

ÖNSÖZ

Eti Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nde Laboratuvar Başmühendisi olarak görev yapmaktayım. İşletmemizdeki atık su problemine çözüm bulabilmek amacıyla seçilen tez konumun endüstriyel işletmelerde karşılaşılan çevresel problemlere ışık tutacağı inancındayım. Bu süreçte benden destek ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Elif ÖZMETİN'e, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Cengiz ÖZMETİN'e, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Atık Müdürlüğünde görev yapan Yrd. Doç. Dr. Ahmet GÜNAY'a, Bandırma Bor ve Asit Fabrikalarında Arge Başmühendisi olarak görev yapan Nuray DEMİREL'e en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışması sırasında bana her türlü desteği veren eski Bigadiç Bor İşletme Müdürü İbrahim KAYANDAN, yeni Bigadiç Bor İşletme Müdürü Seyit ÇOBANER ve Teknik Müdürümüz Yavuz GENÇOĞLU'na çalışmalarımı rahatlıkla yürütmem için bana sundukları imkanlardan dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam esnasında karşılaştığım sorunların çözümü hakkında bana fikir veren GEL Firması Ürün Müdürü Piero Camera ve META Mühendislik Arıtma Şirketi çalışanlarına ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Tez hazırlama sürecinde manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme ve Tuğba Şahin'e teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Teknolojinin insan hayatını kolaylaştıran faydalarının yanında insan sağlığı ve çevre sorunları açısından istenmeyen etkileri de her geçen gün artarak ortaya çıkmaktadır. Gelişen teknolojilere dayalı olarak artan çevre sorunları, atık çözeltilerin arıtılmasını gerekli kılmıştır. Doğadan faydalanırken doğayı gözetme son zamanlarda üstünde sıklık ile durulan bir konu olmuştur. Dünyada var olan ekosistemlerin % 80'nin bozulmuş olması da bu durumun önemini gösterir niteliktedir [1]. Artan çevre kirliliğinin önüne geçilmesi ve gelecek nesillere daha temiz ve yaşanılabilir bir dünya bırakmak adına özellikle teknolojik buluşların yönlendirmiş olduğu sanayi alanındaki ilerlemeler sonucu kurulan birçok endüstri kuruluşunun, üretim sonrası oluşan atıklarını uygun yöntemler ile bertaraf etmesi gerekmektedir. Özellikle dünyanın yaklaşık % 80'ni kaplayan suyun kirlenmesinin önüne geçilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda atık sulu çözeltilerin arıtımı için birçok yöntem geliştirilmiştir. Atık su arıtma, gün geçtikçe hızlı bir şekilde kirlenmekte olan temel yaşam kaynağı suyun ıslah edilmesi içindir. Bu arıtım işlemi kimyasal, fiziksel, biyolojik yolların yanında son zamanlarda teknolojinin imkanlarıyla geliştirilen ileri ve son arıtma metodları ile yapılabilmektedir;

a) Kimyasal Arıtma : Çeşitli kimyasallar kullanılarak atıksu içerisindeki kirleticileri sudan çöktürerek alma yöntemidir.

b) Biyolojik Arıtma : Endüstriyel atık suların çeşitli bakteriler yardımı ile biyolojik süreçlerde arıtılması yöntemidir.

c) Fiziksel Arıtma : Hiçbir kimyasal ve bakteri kullanmadan, fiziksel yollarla ve cazibe ile atık suyun ızgara ve benzeri düzenekleri ile temizlenmesi işlemine fiziksel arıtma denir.

d) İleri ve Son Arıtma Metodları : Arıtma tesisi çıkış suyu deşarj kriterlerinin çok sıkı olduğu, konvansiyonel arıtma sistemleri ile deşarj standardının sağlanamadığı ve atıksuyun yeniden kullanımının amaçlandığı yerlerde ileri arıtım teknikleri kullanılmaktadır. İleri atıksu arıtma teknolojisi klasikleşmiş ikincil arıtma yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda gerekli olur, ikincil arıtma ile

giderilemeyen kirleticiler; azot, fosfor, bor yada ağır metaller gibi anorganik maddeler olabildiği gibi, sentetik organik maddeler ya da renk, koku, bulanıklık gibi parametreler de olabilir. İleri arıtma, ikincil arıtmadan sonra ya da ikincil arıtma yerine kullanılabilir.

Madencilik sektöründe geri kazanım ve atıkların bertarafı için yukarıda bahsi geçen arıtma türleri kullanılmaktadır. Madencilik sektöründe kullanılan geleneksel yöntemler, özellikle bor konsantrasyonu yüksek ocak taban suları ile maden işletmelerinde cevher zenginleştirme ile ortaya çıkan atıksuları ve rafine bor ürünleri üretimine dayalı proseslere sahip sanayi kuruluşlarının bor içerikli atıksularını bertaraf etmekte yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden hem kimyasal hem fiziksel arıtımın içinde bulunduğu ve gelişmiş filtrasyon tekniklerini içinde barındıran prosesler ile bor giderimi gerçekleştirilmektedir.

Dünyadaki en büyük kolemanit türü bor yataklarını barındıran Bigadiç yöresinde, canlıların bor toksisitesinden etkilenmemesi için, ocakların işlenmesi sonucu ortaya çıkan taban suları ve Konsantratör Tesisi'nde gerçekleştirilen zenginleştirme işleminde ortaya çıkan şlam adı verilen süspansiyonun bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bor konsantrasyonu yüksek atıksuların deşarjının gerçekleştirilebilmesi için 2 mg/L sınır değerinin altına çekilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ters osmoz prensibiyle çalışan 2 kademeli Mobil Pilot Arıtma Tesisi kullanılarak Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nün en büyük ocağı olan Simav Açık Ocak taban suyunun bor konsantrasyonunun 2 mg/L'ye düşürülerek Simav Çayı'na deşarjının gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Atıksudan bor giderimi esnasında sıcaklık ve giriş bor konsantrasyonu gibi kontrol edemediğimiz değerlerin sistemin bor giderim verimine etkisi incelenmiş ve kontrol altında tuttuğumuz basınç ve pH'ın normal şartlar altında optimize değerleri saptanmaya çalışılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Bor Elementi ve Bor Mineralleri

Bor elementi 1808 yılında, Fransız kimyagerler Joseph Gay-Lussac ve Louis Thenard tarafından keşfedilmiştir. Periyodik sistemin üçüncü grubunun başında bulunan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopundan oluşur [2]. Bor; Atom ağırlığı 10.811, yoğunluğu 2.84 gr/cm³, ergime noktası 2348 Kelvin ve kaynama noktası 4002 Derece olan, metal ile ametal arası yarı iletken özelliklere sahip bir elementtir. “B” sembolü ile tanınan bor elementi yer kabuğunda ortalama 10 ppm, denizlerde ortalama 4.6 ppm konsantrasyonda bulunmaktadır [3].

Bor doğal koşullarda elemental halde bulunmaz, oksijen ile bağlanmış olarak bulunur. Bu bileşiğe borat adı verilir. Bor elementi, doğada değişik oranlarda boroksit (B₂O₃) bileşiği ile 150’den fazla mineralin yapısı içinde yer almaktadır [4]. Bor madenlerinin değerleri genellikle içindeki B₂O₃ ile ölçülmekte, yüksek oranda B₂O₃ bileşiğine sahip olanlar daha değerli kabul edilmektedir. Genelde içinde kil ve diğer empüriteleri barındıran boraks halindedir. Bunlar arasında en önemlileri ve ticari değeri en yüksek olanlar; borat tuzları tinkal, kolemanit, üleksit ve kernittir. Çizelge 1’de ticari açıdan öneme sahip bazı bor minerallerinin içerdiği bor oksit oranları ve diğer kimyasal bileşimleri verilmiştir;

Çizelge 2.1 Başlıca bor minerallerinin kimyasal bileşimi

MİNERALİN ADI	B ₂ O ₃ %	H ₂ O %	CaO %	Na ₂ O %	MgO %	Cl %	SiO ₂ %	MnO ₂ %
Sassolite	56,30	43,70	-	-	-	-	-	-
Colemanite	50,81	21,90	27,20	-	-	-	-	-
Pandermite	49,84	18,00	32,00	-	-	-	-	-
İnyoite	37,62	42,20	20,20	-	-	-	-	-
Mayerhofferite	46,72	28,30	25,00	-	-	-	-	-
Boraks	36,51	47,20	-	16,20	-	-	-	-
Kernite	51,02	26,30	-	22,70	-	-	-	-
Borasit	62,50	-	-	-	31,40	7,90	-	-
Üleksit	42,95	35,50	13,80	7,70	-	-	-	-
Hydroboracite	50,53	26,10	13,50	-	9,80	-	-	-
Sussexide	34,10	8,80	-	-	15,60	-	-	41,50
Datolite	21,80	5,60	35,00	-	-	-	37,60	-
Donburite	28,40	-	22,80	-	-	-	48,80	-
Hawlite	44,49	11,40	28,60	-	-	-	15,30	-

Volkanik etkinlikle eşzamanlı oluşan sıcak su kaynakları ve hidrotermal çözeltiler, boratların oluşumu için en uygun ortamlardır. Borat yataklarının kimyasal çökeltme sonucu gölsel ortamlarda oluşabilmesi için volkanik etkinliğin yanı sıra boratların birikim oluşturabilecekleri bir havuza ihtiyaç vardır. Ayrıca, kurak - yarı kurak bir iklimin hüküm sürmesi başka bir koşuldur. Borat yatakları için gerekli olan bor genellikle;

- Volkanik faaliyetler sonucu çıkan buhar ve eriyiklerden
- Kayaçların içindeki borun fiziksel ve kimyasal etkenler nedeniyle ayrışarak serbest hale gelmesiyle oluşan borik asit ve eriyebilir boratlardan

- Būnyesinde bor tutan bitkilerin çürūmesi ve kavkılarında bor bulunan hayvanların ōlmesi ile az miktarda aıēa çıkan borlardan saēlanmaktadır.

Farklı oluēum Őekilleri ve bileēimler, dūnyanın farklı bŐlgelerinde deēiēik bor minerallerinin ortaya çıkmasına neden olmuētur. Çizelge 2.2 ve 2.3'te bu mineraller arasında en ōnemli olanlarının dūnya ūzerinde buldukları bŐlgeler, fiziksel ōzellikleri ve ampirik formūlleri verilmiētir.

Çizelge 2.2 Başlıca bor minerallerinin minerolojik özellikleri

MİNERALİN ADI	RENGİ	YOĞUNLUK	SERTLİK	KIRILMA VE YARILMA	KRİSTAL ŞEKLİ	BULUNDUĞU BÖLGE veya ÜLKE
Sassolit	Beyaz	1,48	1	Bazal	Triklinik	İtalya Volkan Kraterleri
Kolemanit	Beyaz Renksiz	2,42	4	Prizmatik	Monoklinik Prizmatik	Türkiye - Amerika
Pandermit	Beyaz	2,40	3,5	Kompakt	Triklinik	Türkiye - Arjantin
İnyoit	Beyaz	1,87	2	Plak Halinde	Monoklinik	Türkiye - Amerika
Mayerhofferit	Beyaz	2,12	2	Plak Halinde	Triklinik	Türkiye - Amerika
Boraks	Beyaz Mavimsi	1,70	2,5	Gevrek Konkoidal	Monoklinik Prizmatik	Kaliforniya - Tibet - Türkiye
Kernit	Beyaz Renksiz	1,95	3	Tam	Monoklinik	Kaliforniya
Borasit	Beyaz Renksiz	2,90	7	Konkoidal	Ortorombik	Amerika
Üleksit	Beyaz	1,97	2,5	Gevrek Tozlanır	Monoklinik Triklinik	Türkiye - Amerika - Şili - Arjantin
Probertit	Şeffaf	2,14	3,6	Tam	Monoklinik	Amerika
Hidroborasit	Beyaz	2,00	2	Ezilir	Monoklinik	Saksonya - Kalifornia
Havlit	Beyaz	2,58	3,5	Plak Halinde	Monoklinik	Türkiye - Amerika
Bakerit	Beyaz Renksiz	2,70	4,5	Kompakt	Monoklinik	Amerika
Datolit	Beyaz, Sarı, Yeşilimsi Gri	3,00	5	Konkoidal	Monoklinik	Türkiye - Amerika
Danburit	Şarap Sarı Renksiz Bej	3,00	7	Gayri muntazam	Ortorombik	Amerika - İsviçre
Homilit	Siyah	3,38	5	Tabular	Monoklinik	Norveç
Kapelenit	Yeşilimsi Kahve	4,40	6	Konkoidal	Hegzogonal	Norveç
Manandonit	Beyaz	2,89	2,5	Bazal	Ortorombik Monoklinik	Madagaskar
Akzinit	Gri, Yeşil, Kahve, Bal Rengi	3,27	7	Konkoidal	Triklinik	Amerika - İtalya - Fransa - Japonya
Pinakiolit	Siyah	3,88	6	Konkoidal	Ortorombik Monoklinik	İsveç
Hambergit	Grimsi Beyaz	2,34	7,5	Ortokonkoidal	Ortorombik	Norveç - Madagaskar
Kaliborit	Beyaz Renksiz	2,13	3,5	Tam	Monoklinik	Norveç
Jeremejevit	Renksiz Uçuk Sarı	3,28	6,5	Konkoidal	Ortorombik Hegzagonal	Baykal Dağları
Tinkalkonit	Beyaz	1,88	-	Toz Halinde	Hegzagonal	-

Çizelge 2.3 Tabiatta bulunan bor minerallerinin kimyasal adları ve formülasyonları

MİNERALİN ADI	KİMYASAL ADI	FORMÜLÜ
Sassolit (Borik Asit)		$B(OH)_3$
Kolemanit	Kalsiyum Borat	$2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$
Pandermit	"	$4CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 7H_2O$
Priseit	"	$5CaO \cdot 6B_2O_3 \cdot 7H_2O$
İnyoit	"	$2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 13H_2O$
Tercit	"	$4CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 20H_2O$
Mayerhofferit	"	$2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 7H_2O$
Boraks (Tinkal)	Sodyum Borat	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 10H_2O$
Kernit (Razorit)	"	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 4H_2O$
Tinkalkonit	"	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 5H_2O$
Borasit	Mağnezyum Borat	$5MgO \cdot 7B_2O_3 \cdot MgCl_2$
Pinnoit	"	$2MgO \cdot 2B_2O_3 \cdot 6H_2O$
Patenoit	"	$MgO \cdot 4B_2O_3 \cdot 4H_2O$
Ascharit	"	$2MgO \cdot B_2O_3 \cdot H_2O$
Szaibelvit	"	$10MgO \cdot 4B_2O_3 \cdot 6H_2O$
İnderit	"	$2MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 15H_2O$
Kurnakevit	"	$2MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 15H_2O$
Suanit	"	$2MgO \cdot B_2O_3$
Sulphoborit	Mağnezyum Sülfatlı Borat	$4MgO \cdot 2B_2O_3 \cdot 2MgSO_4 \cdot 9H_2O$
Üleksit	Sodyum-Kalsiyum Borat	$Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 16H_2O$
Probertit	"	$Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 10H_2O$
Hidroborasit	Mağnezyum Kalsiyum Borat	$CaOMgO \cdot 2B_2O_3 \cdot 16H_2O$
İnderborit	"	$CaOMgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 11H_2O$
Larderellit	Amonyum Borat	$(NH_4)_2O \cdot 5B_2O_3 \cdot 5H_2O$
Lagonit	Demirli Borat	$Fe_2O_3 \cdot 3B_2O_3 \cdot 3H_2O$
Ludvigit	"	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot FeO \cdot Fe_2O_3$
Vonsenit	"	$3(FeMg)O \cdot B_2O_3 \cdot FeO \cdot Fe_2O_3$
Magnesioludvigit	Demirli Borat	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot MgO \cdot Fe_2O_3$
Pinakiolit	Manganezli Borat	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot MnO \cdot Mn_2O_3$
Nordanskioldin	Kalaylı Borat	$CaO \cdot SnO_3 \cdot B_2O_3$
Hulsit	"	$12(FeMg)O \cdot 2Fe_2O_3 \cdot SnO_2$
Paigeit	"	$30FeO \cdot 5Fe_2O_3 \cdot SnO_2 \cdot 6B_2O_3 \cdot 5H_2O$
Fluoborit	Fluorlu Borat	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot 3Mg(FOH)_2$
Lunenburgit	Fosfatlı Borat	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 8H_2O$
Kaliborit	Potaslı Borat	$K_2O \cdot 4MgO \cdot 11B_2O_3 \cdot 18H_2O$
Warviekit	Titanlı Borat	$(MgFe)_3 \cdot TiB_2O_3$
Rhodizit	"	(Al Be Mg Na) hidroborat
Sussekite	Çinkolü-Borat	$H(Mn Zn Mg) B_3O_3$
Jeremejevite	Aliminli Borat	$AlBO_3$
Tünelit	Stransiyumlu Borat	$SrO \cdot 3B_2O_3 \cdot 4H_2O$
Veatohit	"	$4SrO \cdot 11B_2O_3 \cdot 7H_2O$
Hawlit	Silikat	$4CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 5H_2O$
Bakerit	"	$8CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 6H_2O$
Datolit	"	$2CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$
Danburit	"	$CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2$
Homilit	"	$3(CaFe)O \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2$
Searlesit	"	$NaB(SiO_3)_2 \cdot H_2O$
Camselit	"	$2(MgFe)O \cdot B_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$
Manondonit	Lityumlu Silikat	$H_{24} \cdot Li_4 \cdot Al_{14} \cdot B_4 \cdot Si_5 \cdot O_{53}$
Axinit	Silikat	(Ca Al) Bor Silikat
Dumortierit	"	$8Al_2O_3 \cdot B_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$
Kahnit	"	$4CaO \cdot B_2O_3 \cdot As_2O_5 \cdot 4H_2O$
Tritomit (Turmalin Grubu)		$(Ce, La, Y, Th)_3(SiB)_3(O, OH, F)_{13}$
İdokreyz		$Ca_{10}Mg_2Al_4(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH)_4$

2.2 Dünya’da ve Türkiye’de Bor

Dünya bor minerali rezervleri başlıca üç kuşakta bulunmaktadır;

- ABD’nin Güneybatı Bölgesi - Mojave Çölü
- Güney – Orta Asya Alp Kuşağı (Türkiye’nin de dahil olduğu kuşak)
- Güney Amerika And Kuşağı

Çizelge 2.4 Dünya bor rezervleri (Bin Ton – B₂O₃) [5]

ÜLKE	GÖRÜNÜR EKONOMİK REZERV	MUHTEMEL MÜMKÜN REZERV	TOPLAM REZERV	TOPLAM REZERVDEKİ PAY (%)
Türkiye	227000	561000	788000	67.00
A.B.D.	40000	40000	80000	6.80
Rusya	40000	60000	100000	8.50
Çin	27000	9000	36000	3.10
Arjantin	2000	7000	9000	0.80
Bolivya	4000	15000	19000	1.60
Şili	8000	33000	41000	3.50
Peru	4000	18000	22000	1.90
Kazakistan	14000	1000	15000	1.30
Sırbistan	3000	0	3000	0.30
TOPLAM (Bin Ton)	369000	807000	1176000	100.00

Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya’da yer almaktadır. Çizelge 2.4’te ülkelerin toplam bor rezervindeki payı gösterilmektedir. Dünya toplam bor rezervi sıralamasında Türkiye % 67’lik payı ile ilk sıradadır [5]. Yapılan son çalışmalar Türkiye’nin toplam rezervdeki payının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ülkemizde bulunan “bor”un kalitesi de diğer ülkelerdeki rezervlere oranla daha yüksektir.

Erken Neojen döneminde yaşanan tektonik olaylar sonucunda Anadolu’nun batı bölgesinin oluşumu etkilenmiş ve volkanik dönemin sonunda göllere doğru akan bor bakımından zengin lavlar ve doymuş su çözeltileri buralarda uygun şartlar altında konsantre hale gelerek bugünkü bor rezervlerinin temelini oluşturmuştur. Volkanik dönemin sonunda göllere doğru akan bor bakımından zengin lavlar BİGADİÇ

(Balıkesir) ve KESTELEK (Bursa)'daki rezervleri oluşturmuştur. EMET (Kütahya) ve KIRKA (Eskişehir)'deki rezervler doymuş tuzlu su çözeltilerinin uygun şartlar altında konsantre hale gelmesiyle oluşmuştur.

Ülkemizde ilk kez 1865 yılında kurulan Fransız bir şirket tarafından, Balıkesir iline bağlı Susurluk ilçesinin 9 km güneyindeki Aziziye bölgesinde bulunan, bir kalsiyum borat türü olan pandemit rezervi işletilmeye başlanmıştır. 1900'lü yılların başında ise Amerikan firması "Borax Consolidated Limited" şirketi dünya bor üretiminin neredeyse tamamını kontrol eder duruma gelmiştir [3].

Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşu ve devrimler ile birlikte hızla başlayan yapılanma çalışmaları kapsamında 1935 yılında Etibank ve MTA kurulmuştur. 1978 yılında çıkarılan 2172 sayılı yasa ile bor madenleri ile ilgili tüm faaliyetlerin yürütümü Etibank'ın sorumluluğuna verilmiştir ve o dönemden beri Türkiye'de bor rezervleri devlet eliyle işletilmektedir [3].

Türkiye'de ticari öneme sahip 3 tip bor cevheri bulunmaktadır. Eskişehir'in Kırka beldesinden çıkan TİNKAL ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), Balıkesir'in Bigadiç ilçesinden çıkan ÜLEKSİT ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), Kütahya'nın Emet ilçesinden, Bursa'nın Kestelek beldesinden ve Balıkesir'in Bigadiç ilçesinden çıkan KOLEMANİT ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) Türkiye'de bulunan en büyük rezervlere sahip bor cevheri türleridir. Şekil 2.1'de Türkiye'de ticari değeri olan 3 tip bor mineralinin resimleri gösterilmektedir.

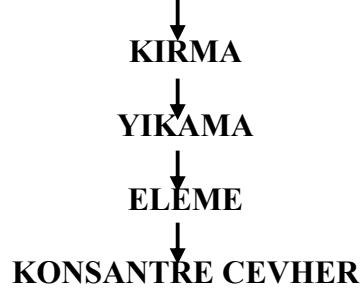


Şekil 2.1 Türkiye’de en büyük rezervlere sahip bor cevheri türleri; a) Kolemanit, b) Üleksit, c) Tinkal

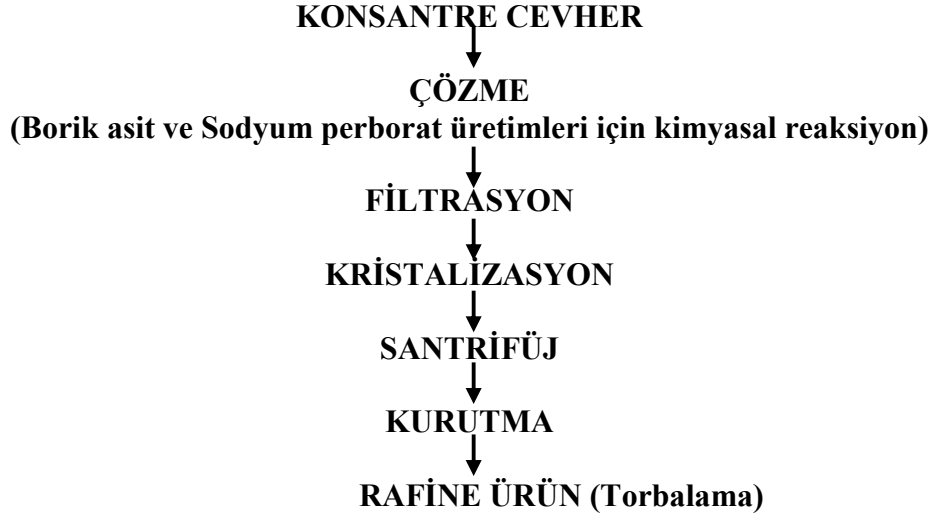
2.3 Türkiye’de Bor Madenciliği ve Rafine Bor Ürünlerinin Üretimi

Genellikle açık ocak madenciliği ile yapılan ham bor ürünleri üretimi basit olarak aşağıdaki aşamalar ile ifade edilebilir [3];

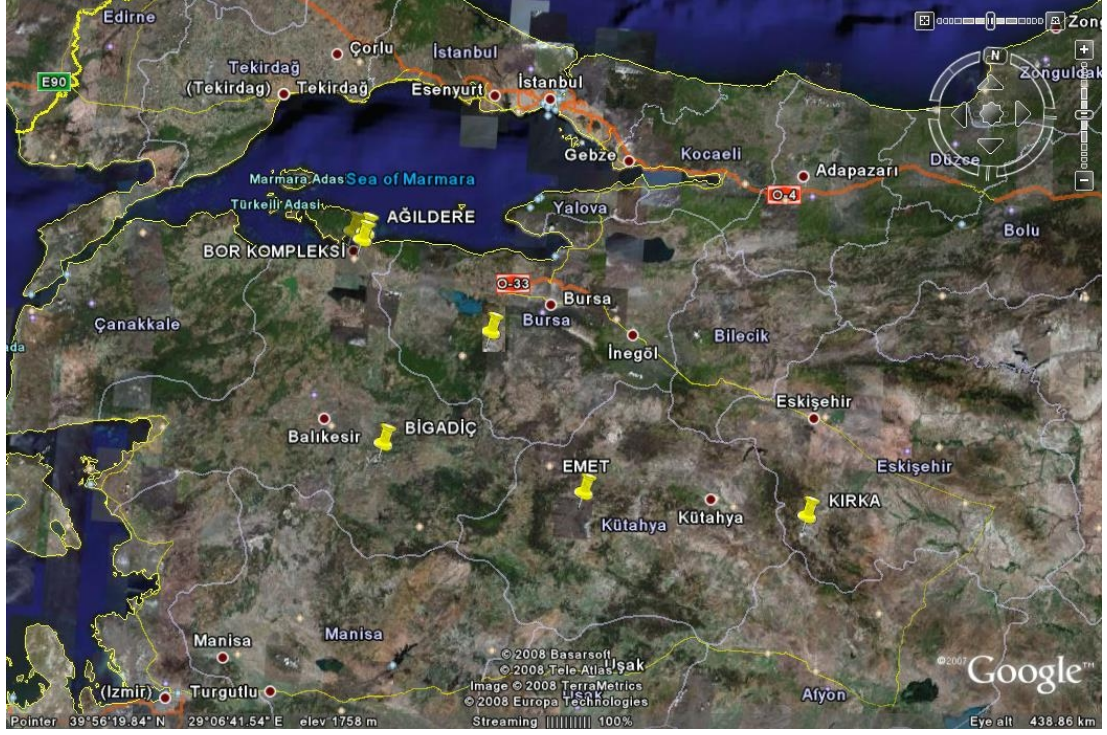
AÇIK OCAK MADENCİLİĞİ



Rafine ürün üretimi için ise temel olarak aşağıdaki işlemler uygulanmaktadır;



Türkiye’de bulunan bor rezervlerinin tamamını işleten Eti Maden’e bağlı 5 işletme bulunmaktadır. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü’ne bağlı bu 5 işletmenin bulunduğu yerler Şekil 2.2’deki haritada işaretlenmiştir ve işletmelerde üretilen ürünler de Çizelge 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Eti Maden'e bağlı işletmeler

Çizelge 2.5 Bor ürünleri ve üretim tesisleri

ETİ MADEN İŞLETMELERİ	ÜRÜNLER
Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları	Borik Asit, Sodyum Perborat Monohidrat, Sodyum Perborat Monohidrat, Boraks Deka Hidrat, Boraks Penta Hidrat, Bor Oksit, Eti DOT-67
Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü	Konsantre Kolemanit, Konsantre Üleksit, Öğütülmüş Kolemanit, Öğütülmüş Üleksit
Emet Bor İşletme Müdürlüğü	Konsantre Kolemanit, Borik Asit
Kırka Bor İşletme Müdürlüğü	Boraks Deka Hidrat, Boraks Penta Hidrat, Susuz Boraks, Kalsine Tinkal, Konsantre Tinkal
Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü	Konsantre Kolemanit

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından, kurulduğu tarih olan 1935 yılından bugüne kadar, konsantre ve bor kimyasalları ve eşdeğeri ürün üretim kapasitesi ivmeli bir şekilde devamlı artmıştır. 1 milyon 312 bin ton/yıl bor kimyasalları ve eşdeğeri ürün, 2 milyon 450 bin ton/yıl konsantre bor ürünleri üretim kapasitesi oluşturulmuştur [6]. Çizelge 2.6'da Eti Maden İşletmeleri

tarafından üretilen başlıca rafine bor ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.6 Başlıca rafine bor ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [3]

	Borik Asit	Boraks Pentahidrat	Boraks Dekahidrat	Susuz Boraks	Bor Oksit
CAS No. (Chemical Abstracts Service Registry No.)	10043-35-3	12179-04-3	1303-96-4	1330-43-4	1303-86-2
Formülü	H ₃ BO ₃	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	Na ₂ B ₄ O ₇	B ₂ O ₃
Molekül Ağırlığı	61.83	291.35	381.43	201.27	69.62
Bor İçeriği (%)	17.48	14.85	11.34	21.49	31.06
Fiziksel Görünüşü	Beyaz kristal, granül veya toz	Beyaz kristal, granül veya toz	Beyaz kristal, granül veya toz	Beyaz veya renksiz camsı granül	Beyaz veya renksiz camsı granül
Özgül Ağırlığı (20 °C)	1.51	1.81	1.73	2.37	2.46
Susuz Kristalin Ergime Sıcaklığı (°C)	450	742	742	742	450
Suda Çözünürlük (ağırlıkça %)	4.72@20 °C 27.53@100° C	3.60@20 °C 50.15@100°C	4.71@20 °C 65.63@100°C	2.48@20°C 34.5@100°C	Hızla H ₃ BO ₃ dönüşür.

2.4 Borun Çevresel Etkileri

Bor elementi yer kabuğunun bileşimini oluşturan elementler arasında sayılmamaktadır. Doğada; toprak, kayalar ve suda ortalama 10 ppm Bor bulunmaktadır. Karalar ve sular olarak ayrı ayrı incelemek gerekirse; toprağın bor içeriği genelde ortalama 10 – 20 ppm olmakla birlikte ABD'nin batı bölgeleri ve Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda, deniz

suyunda 0.5-9.6 ppm aralığında ve tatlı sularda 0.01-1.5 ppm aralığında bor bulunmaktadır [7].

Son zamanlarda artan endüstriyel gelişmeler artan çevre sorunlarını da beraberinde getirmekte ve yaşadığımız dünyanın dengesini bozmaktadır. Özellikle bor endüstrisinin yoğun şekilde geliştiği bölgelerde atıklar büyük bir sorun teşkil etmekte, yaşayan canlılar ve bölge için bir tehdit oluşturmaktadır.

Bor'un biyolojik önemi ve metabolizma üzerine etkileri hakkında çalışmaları olan Nielsen Forest H. biyokimyasal verilerin eksikliğine rağmen 1 – 13 mg Bor/gün arasının hem insanlar hem de hayvanlar için güvenli limit değerler olduğu sonucuna varmıştır [8]. Bu veriyi destekleyen bir başka çalışma da 2008 yılında Prof. Dr. Sıtkı Şaylı ve arkadaşlarının (2007) yapmış olduğu çalışmadır. Bu çalışmaya göre bor açısından zengin bir alan olan Bigadiç bölgesinde yaşayanların günlük bor maruziyeti değerlendirilmiştir ve sonuç olarak 6.77 mg Bor/gün değeri bulunmuştur. Bu maruziyete bağlı herhangi bir hastalık belirlenmediği de ortaya konulmuştur. Bor bakımından normal konsantrasyon değerlerine sahip bölgelerde, sağlıklı bir beslenme programı uygulayan her insanın meyveler, sebzeler ve tahıllar kanalı ile günde 1 – 3 mg civarında bor aldıkları ortaya konulmuştur [8]. Sıtkı Şaylı ve arkadaşlarının çalışmasında Türkiye dahil 5 ülke için verilen günlük bor maruziyetleri Çizelge 2.7'de gösterilmiştir;

Çizelge 2.7 Dünya üzerinde farklı kıtalarda bulunan ülkelerin kişi başına günlük bor maruziyeti değerleri [8]

ÜLKE	Günlük Bor Maruziyeti (mg)
TÜRKİYE	1.26
AMERİKA	1.04 – 1.11
ALMANYA	1.61 – 1.79
MEKSİKA	1.89 – 2.36
KENYA	1.94 – 2.03

Şu ana kadar yapılan çalışmalar ile belirlenmiş limit değerleri koruyarak canlıların uygun şartlarda yaşamlarına devam etmeleri için, son yıllarda artan

endüstriyel gelişmelerin beraberinde getirdiği çevre sorunlarını uygun yöntemlerle bertaraf etmeliyiz. Aksi takdirde bölgedeki insanları, hayvanları ve bitkileri tehlikeye atmış oluruz. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) insanlarda ve hayvanlarda yüksek bor maruziyetinin üremeye olumsuz etkilerinin olduğunu ifade etmiştir. Her ne kadar bu bildirim siyasi bir yaklaşımı barındırdığı bilinse de, ortada önemsenmesi gereken bir durumun olduğu göz ardı edilmemelidir.

2.4.1 Yönetmeliklerde Bor için Belirlenen Limit Değerler

Ülkenin yeraltı ve yerüstü kaynaklarının korunması ve en uygun biçimde kullanımının sağlanması için su kirliliği kontrol mekanizmasının sistematik bir şekilde işlemesi gerekmektedir. Ülkemizde, bu mekanizmanın istenilen doğrultuda işlemesi adına belirli bakanlıklar tarafından yönetmelikler oluşturulmuş ve ardından çıkarılan tebliğler ile de uygulamaya geçilmesi sağlanmıştır. İçme – kullanma sularında ve sulama sularında bor konsantrasyon değerleri yönetmeliklerce belirlenmiştir.

Alıcı ortam, atıksuların deşarj edildiği veya dolaylı olarak karıştığı göl, akarsu, kıyı ve deniz suları ile yer altı suları gibi yakın veya uzak çevreyi ifade eden tanımdır. Bor sınır değerleri, atıksuların deşarj edileceği alıcı ortamın özelliklerine göre değişiklikler arz etmektedir. Deniz suyuna deşarj kriterleri, Çevre Orman Bakanlığı'nın 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" içerisinde "Maden Sanayi Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları" ve "Kimya Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları" başlıkları altında verilen Bor Cevheri ve Rafine Bor Ürünleri için hazırlanmış tablolarda belirlenmiştir. Hem maden sanayii için hem de kimya sanayii için verilmiş bu tablolar birebir aynıdır ve Çizelge 2.8'de parametrelerin sınır değerleri, 2 saatlik kompozit numune bazında gösterilmektedir.

Çizelge 2.8 Metalik olmayan maden sanayi (Bor Cevheri) ve kimya sanayi (Perborat ve Diğer Bor Ürünleri Sanayi)

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	mg/L	100
BOR (B)	mg/L	500*
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)	-	8
pH	-	6 - 9

*Alıcı ortamda, Teknik Usuller Tebliğinde yer alan Tablo 4 Sulama Sularının Sınıflandırılmasında esas alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri ve Tablo 9 “Bitkilerin Bor Mineraline karşı dayanıklılıklarına göre sulama sularının sınıflandırılması kriterlerindeki Bor limit değerlerinin aşılması şarttır. Aşılması durumunda limit Bakanlıkca azaltılır.

Alıcı ortam, 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”nde “Kıtaıçi Su Kaynağı” olarak ifade edilen; karalarda bütün yapay ve doğal yeraltı ve yüzeysel suları, denizle bağlantısı olan su kaynaklarında ise tatlı su sınır noktasına kadar olan sular, tanımına uygun özellikler taşıyor ise, bor konsantrasyonu için sınır değerlerin belirlenmesi özel şartlara bağlanmıştır. Genellikle kıtaıçi su kaynakları, herhangi bir işlem görmeden sulama suyu olarak kullanılmaktadırlar. Bu sebeple sulamanın yapılacağı bölgede yetişen bitki türleri özellikle bor konsantrasyonu sınır değerleri için belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu doğrultuda Çevre Orman Bakanlığı’nın yayınlamış olduğu “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”nde, atıksuların sulama suyu olarak kullanılan kıtaıçi su kaynaklarına deşarjında veya araziye direkt olarak verilmeye uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametrelerin bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu olduğu belirtilmektedir. Atıksudaki çözülmüş tuzlar, bor, ağır metal ve benzeri toksik maddeler yörenin iklim şartlarına, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilmekte, bitkiler tarafından alınabilmekte veya suda kalabilmektedir. Bu nedenle arıtılmış atıksuların arazide kullanılması ve bertarafı söz konusu ise suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler açısından öngörülen sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra, bölgenin toprak özellikleri, iklim, bitki türü ve sulama metodu gibi etkenler de dikkate alınmalıdır. Spesifik olarak Bor konsantrasyonu söz konusu olduğunda ortada çok hassas bir dengenin var olduğu

görülecektir. Aslında, bütün bitkilerin normal gelişmeleri için az bir miktar “bor”a ihtiyaçları vardır. Ancak “bor”un bitkilere gerekli miktarı ile zehirlilik seviyesi arasında çok dar bir sınır vardır ve bu sınır bitki türlerine göre değişmektedir. Toprakta veya sulama suyunda kritik sınırların üstünde bor bulunması bitki yapraklarında sararma, yanma ve yarılmalara, olgunlaşmamış yapraklarda dökülme ve büyüme hızının yavaşlaması ile verimde azalmaya neden olmaktadır. Çevre Orman Bakanlığı’nın, 20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usüller Tebliği”ne göre; Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tabloda, sulama suları üç sınıfa ayrılmıştır;

Çizelge 2.9 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo

Parametreler	Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok (I. sınıf su)	Az – orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
Tuzluluk				
İletkenlik	µS/cm	< 700	700-3000	>3000
Toplam çözünmüş Madde	mg/L	< 500	500-2000	>2000
Geçirgenlik				
SAR _{Tad}	0-3	EC ≥ 0.7	0.7-0.2	< 0.2
	3-6	≥ 1.2	1.2-0.3	< 0.3
	6-12	≥ 1.9	1.9-0.5	< 0.5
	12-20	≥ 2.9	2.9-1.3	< 1.3
	20-40	≥ 5.0	5.0-2.9	< 2.9
Özgül iyon toksisitesi				
Sodyum (Na)				
Yüzey sulaması	mg/L	< 3	3-9	> 9
Damlatmalı sulama	mg/L	< 70	> 70	
Klorür (Cl)				
Yüzey sulaması	mg/L	< 140	140 –350	> 350
Damlatmalı sulama	mg/L	< 100	> 100	
Bor (B)	mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0

Fakat yönetmelikte, ülkemizde bazı yörelerde bor elementinin taşıdığı önem dolayısıyla, Çizelge 2.9’da verilen sulama suyu sınıflandırmalarına ek olarak bitkilerin Bor’a dayanıklılığını göz önünde bulunduran ek bir arıtılmış atıksu sulama suyu sınıflandırmasına gerek duyulmuştur. Çizelge 2.10’da bitkilerin Bor’a karşı hassasiyet dereceleri verilmiştir.

Çizelge 2.10 Bitkilerin bor'a karşı dayanıklılık dereceleri

Bitki ismi	Hassaslık*			
	Toleranslı Bor: > 4.0 mg/L	Orta toleranslı Bor: 2.0-4.0 mg/L	Orta hassas Bor: 1.0-2.0 mg/L	Hassas Bor: 0.5-1.0 mg/L
Tarla bitkileri				
Arpa		√		
Fasulye				√
Mısır		√		
Pamuk	√			
Yer fıstığı				√
Yulaf		√		
Sorgum	√			
Şeker pancarı	√			
Buğday				√
Sebzeler				
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Kızmızı pancar	√			
Lahana		√		
Havuç			√	
Kereviz		√		
Salatalık			√	
Marul		√		
Soğan				√
Patates			√	
Domates	√			
Şalgam		√		
Yem bitkileri				
Kaba yonca	√			
Arpa (at yemi)				√
Börülce				√
Meyveli ağaçlar				
Kayısı				√
Böğürtlen				√
Üzüm				√
Portakal				√
Şeftali				√
Erik				√

*Hassaslık, iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişebilir.

Sonuç olarak, “bor” konsantrasyonu sınır değerlerinde Çizelge 2.10’da verilen tablo belirleyici rol oynamaktadır. Ülkemizden örnek vermek gerekirse, Bor endüstrisinin kimya sektöründe ve maden sektöründeki öncü işletmeleri Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları ile Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, atıksularını bahsi geçen

yönetmeliklerdeki tabloları baz alarak berataraf etmek durumundadırlar. Daha az tehlikeli maddeler grubuna giren “bor”un, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Müdürlüğü’nün 26.11.2005 tarih ve 26005 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği”ne göre deniz, kıyı ve haliç sularındaki maksimum konsantrasyonu 3 mg/L sınırını geçmemelidir ve bu alıcı ortamlara maksimum 500 mg/L ile deşarj edilmelidir. Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları, atıksularını denize deşarj etmek zorunda olduğundan, atıksu bor konsantrasyon değerini 500 ppm’in altına çekip, deşarj edilen bölgedeki suyun bor değeri 3 ppm üzerine çıkmayacak şekilde, drenaj işlemini gerçekleştirmek durumundadır. Bigadiç Bor İşletmesi’nde ise durum daha farklı bir boyuttadır. Bu işletmede biriken atıksuların, sulama suyu olarak kullanılan Simav Çayı’na deşarj edilebilmesi için bor konsantrasyon değerinin 2 mg/L’nin altında olması gerekmektedir. Bu bölgede yetişen bitki örtüsü, Çizelge 2.10’da verilen bor konsantrasyonu sınır değerlerine göre “orta hassas” kategorisine girmektedir, bu nedenle izin verilen maksimum bor konsantrasyonu 2 mg/L’dir. Sulama suyu olarak kabul edilen çay, nehir ve derelere deşarjın da bu limiti geçemeyeceği yasal olarak belirlenmiştir.

Sulama dışında, içme ve kullanma söz konusu olduğunda, bu kategori insani bir tüketimi de barındırdığı için çok daha hassas bir konu durumundadır. Sağlık Bakanlığı’nın, 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular” hakkındaki yönetmeliğine göre; kaynak suyu, içme suyu, içme-kullanma sularında bor konsantrasyonu maximum 1 ppm olmalıdır. Çizelge 2.11’de içme suyunda bor ve diğer parametreler için belirlenen sınır değerler verilmiştir.

Çizelge 2.11 Kaynak ve içme sularının kimyasal parametrik değerleri

PARAMETRE	PARAMETRİK DEĞER	BİRİM
Akrilamid	0.10	µg/L
Antimon	5.0	µg/L
Arsenik	10	µg/L
Benzen	1.0	µg/L
Benzo (a) piren	0.010	µg/L
Bor	1.0	mg/L
Bromat	10.0	µg/L
Kadmiyum	5.0	µg/L
Krom Bakır	50.0	µg/L
Siyanür	2.0	µg/L
1,2 – dikloretan	3.0	µg/L
Epikloridin	0.10	µg/L
Florür	1.50	mg/L
Kurşun	10.0	µg/L
Civa	1.0	µg/L
Nikel	20.0	µg/L
Nitrat	50.0	mg/L
Nitrit	0.50	mg/L
Pestisitler	0.10	µg/L
Toplam Pestisitler	0.50	µg/L
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar	0.10	µg/L
Selenyum	10.0	µg/L
Tetrakloreten ve Triklöreten	10.0	µg/L
Trihalometanlar - toplam	100.0	µg/L
Vinil Klorür	0.50	µg/L

Çalışmanın konusu olan “*Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Atıksuları'nın*” sulama suyu olarak kullanılan Simav Çayı’na deşarj edilecek olması nedeniyle 2 ppm sınır değerinin altına indirilmesi gerekmektedir. Çünkü bu bölgede yetişen bitki türü, yönetmelikçe bor konsantrasyonu hassasiyeti 1.0 – 2.0 mg/L olan “*orta hassas*” bitki türü sınıflandırmasına sokulmuştur. Fakat şimdiye kadar yapılan çalışmalar göstermiştir ki, bor bileşiklerinin arıtımında klasik yöntemler yeterli olamamaktadır. Bu yüzden ileri metodlarının kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Sulama sularında izin verilen maksimum bor konsantrasyonunun 2 ppm olması ve sulama suyu olarak kabul edilen çay, nehir ve derelere deşarjın da bu limiti geçemeyeceği yasal olarak belirlenmiştir. Bu yüzden bu arıtımın başarıyla gerçekleşmesi için ileri arıtma metodlarından *iyon değiştirme* ve *ters osmoz* yönteminin en uygun iki alternatif olduğu düşünölmüştür.

2.4.2 İyon Değiştirme

İçme sularının arıtılması, kimyasal fabrika atıklarının zararsız hale getirilerek doğaya değarj edilmesi, analiz yapılamayacak kadar düşük konsantrasyona sahip herhangi bir çözeltilinin analiz yapabilmek için derişik hale getirilmesi veya atıktaki değerli elementlerin geri kazanılması amacıyla yapılan kimyasal işlemlerin başında iyon değiştirme yöntemi gelmektedir [9].

İyon değişimi bir adsorpsiyon ve sorpsiyon prosesidir. Bunula birlikte iyon değişimi, katı yapı üzerindeki kalıcı olmayan değişikliğin olduğu yerdeki sıvı ve katı arasındaki döneşümlü iyon değişimi olarak da tanımlanabilir. İyon değişimi genellikle endüstriyel atıklardan metallerin giderilmesi amacıyla kullanılır [9].

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü atıksuları üzerinde iyon değiştirme yöntemi ile yapılan çalışmalar sonucunda arıtılacak atıksuyun bor konsantrasyonunun uygulanacak yöntem için yüksek olması ve konsantrasyonu düşürmek için atıksuyun ön şartlandırmaya tabi tutulması gerektiğinden arıtma maliyetleri ve işletme giderleri yüksek olacağı öngörülmüştür.

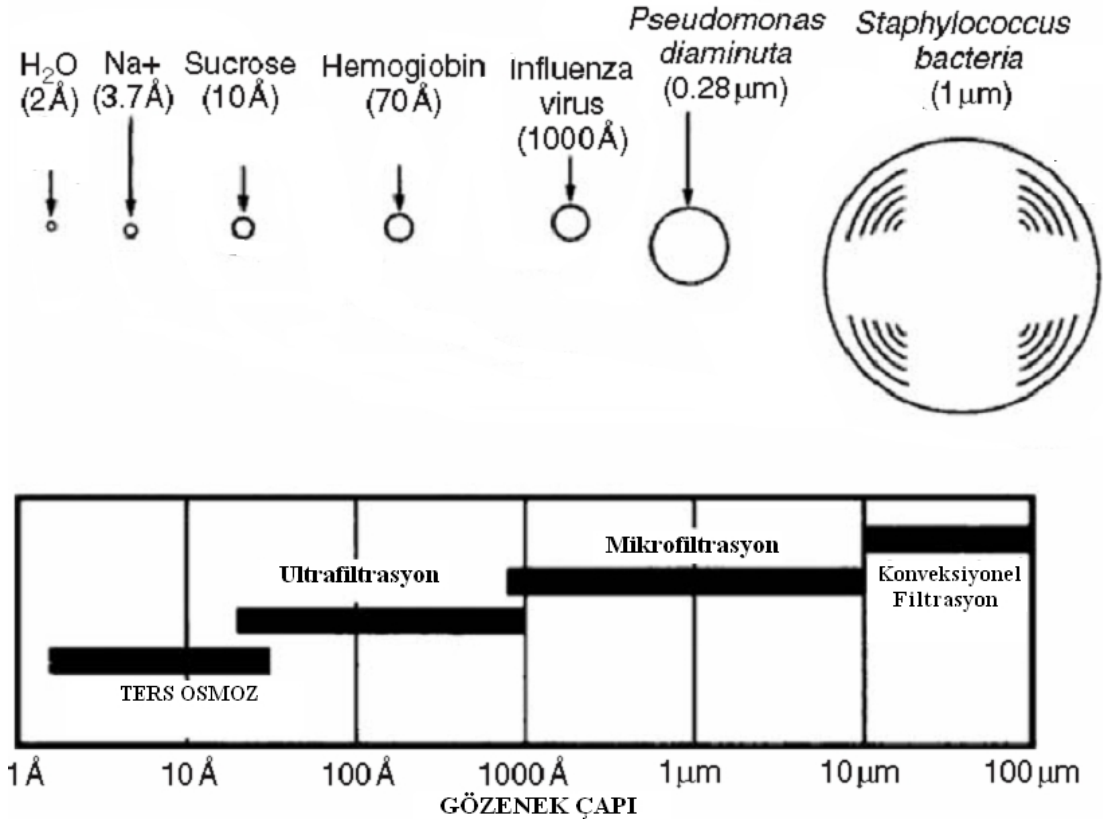
Yapılan çalışma, Rohm&Haas Company adlı firmaya ait bir program üzerinde simülasyon yöntemiyle gerçekleştirilmiş olup, anılan firma tarafından programdaki reçine bilgilerinin çok sağlıklı olması ve simülasyon programında elde edilen sonuçların da neredeyse %100'e yakın hassasiyetle uygulamaya döneştürülebileceği ifade edilmiştir. Bu simülasyon çalışmasında bulunan sonuçlar değarj şartlarını sağlamadığı gibi işletme giderlerinin ve arıtma maliyetlerinin de çok fazla olacağını ortaya koymuştur. Bu bağlamda Bigadiç Bor İşletmesindeki bor içerikli suların arıtımına yönelik farklı arıtım sistemlerinin arayışına gidilmiştir. Bu çerçevede Ters Osmoz Sisteminin borlu suların arıtımında hem ekonomik yönden hem de çıkış suyu kalitesi açısından daha uygun olacağı öngörülmüştür.

2.4.3 Ters Osmoz (RO)

1970'lerden bu yana tüm dünyada su arıtımında membran teknolojileri kullanılmaktadır. Bugün yüzlerce üretim prosesinde, atık su arıtımı ve su saflaştırma

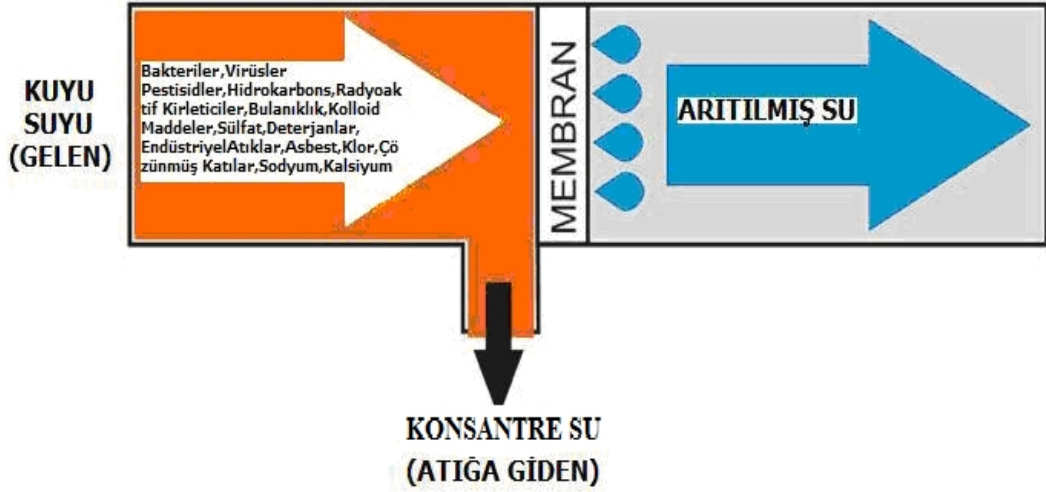
işlemlerinde düşük işletme maliyetleri ile efektif arıtımı mümkün kılan membran teknolojileri mevcuttur.

Bunlardan kuyu suyu arıtma işlemlerinde kullanılan RO, mümkün olan en hassas filtrasyon prosesidir. RO sistemi suda çözülmüş iyon halindeki katyonların ve anyonların bile sudan ayrıştırılabilmesini sağlar.



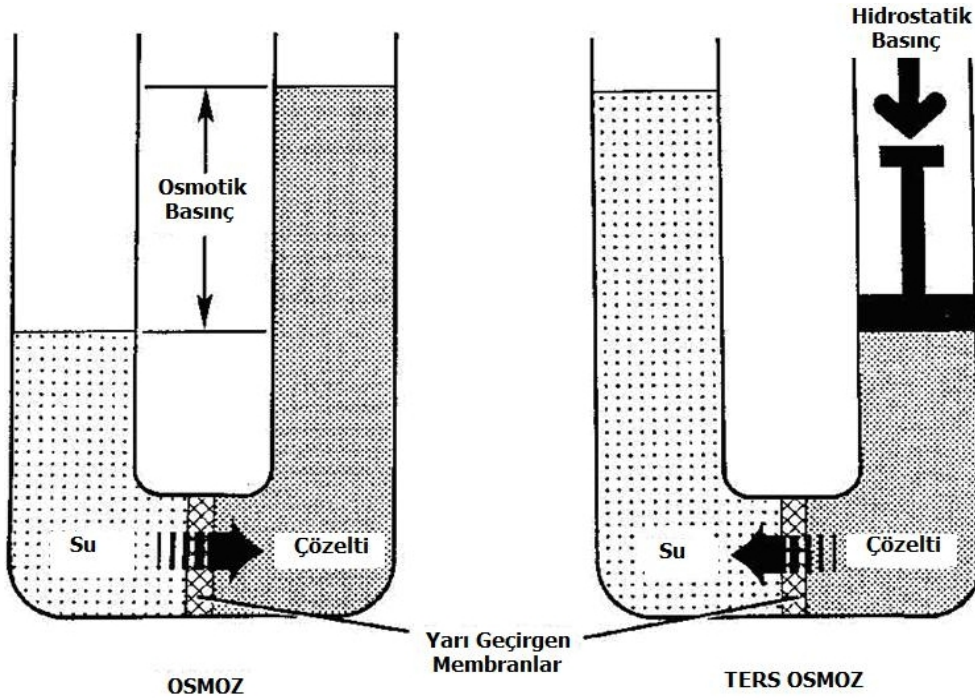
Şekil 2.3 Su molekülü ve diğer impürütelerin boyutlarının karşılaştırılması [10]

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. Su, oda sıcaklığında (20 – 30 °C) doğadaki en küçük çaplı moleküllerden biridir. Ters osmoz sistemler özellikle suda çözünür halde bulunan sudan daha büyük molekülleri reddeder [11]. RO sistemleri genel olarak yatay akış prensibine göre çalışır ve yatay akışın membran yüzeyinde sürekli bir temizleme etkisi vardır.



Şekil 2.4 Ters osmoz sisteminin çalışma prensibi [12]

Ters Osmoz prosesinde, 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, membranın üzerinde kalan sıvının konsantrasyonu arttıkça sıvının membranın diğer tarafına geçirilmesi sürecinde de artmaktadır.



Şekil 2.5 Osmotic basınç şeması [12]

RO sisteminin en önemli avantajı, iyon mertebesinde filtrasyon yaparak sudaki sertlik ve alkalinite gibi parametrelerin yanı sıra tüm diğer çözülmüş tuzların da büyük ölçüde giderilmesini sağlamaktır. İçerdiği yüksek tuzluluk nedeniyle kullanma ve içme suyu için uygun olmayan 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 faydalanır. Akışkanların bir kısmı membrandan geçerken kalan kısmı ileriye doğru devam ederek membran yüzeyinde tutulmuş olan maddeleri süpürür.

RO bakteri, tuzlar, şeker, proteinler, partiküller, boyar maddeler ve 150-200 dalton mertebesinde ve daha büyük molekül ağırlığına sahip diğer maddeleri giderebilir. RO ile iyon giderme verimi partikül yüklerinin etkisi ile artar. Bunun anlamı, tuzlar gibi iyonik yüke sahip olan çözülmüş iyonların membran tarafından giderilmesi, organikler gibi yüksüz maddelerin giderilmesine göre daha yüksek verimle gerçekleşir. Partikülün boyutu ne kadar büyük ve iyonik yükü ne kadar yüksek ise RO membranı tarafından giderilmesi o kadar verimlidir.

Membran maliyeti bir RO veya UF cihazının maliyetinin % 15-40 arasında değişen bir oranına tekabül etmesinden dolayı membran seçiminin dikkatli yapılması zorunludur. Pek çok membran tipi mevcuttur ve her biri kendine has niteliklere sahiptir. Membran seçiminde; kimyasal maddelere tolerans, mekanik uygunluk, yıkanabilirlik, kirleticileri giderme performansı, akış performansı ve maliyet dikkate alınmalıdır.

Diğer mekanik cihazlarda olduğu gibi, çapraz akış filtrasyon cihazları da tasarım ve kullanılan malzeme birbirini tam olarak karşıladığında en verimli şekilde çalışabilir. Doğru membran seçildikten sonra, uygun çapraz akış değerleri, basınçları ve ürün suyu verimlerini temin eden bir tasarım yapılması gereklidir. İyi bir tasarım neticesinde istikrarlı bir performansa sahip, daha az sıklıkta membran temizlenmesi

veya değiştirilmesini gerektiren, makul miktarlarda enerji tüketen ve asgari seviyede işletme takibine ihtiyaç gösteren bir cihaz ortaya koyacaktır.

Bu hususların çoğunun gerçekleşmesi, aynı zamanda çapraz akış ünitelerinin giriş suyunun bir ön arıtıma tabi tutulması ile mümkün olabilir. Membran arıtımı öncesine suyu uygun şekilde şartlandırarak ekipmana yapılacak yatırım, toplam maliyete oranla çok daha düşük kalmakla birlikte sağlayacağı yüksek fayda nedeniyle oldukça önemli bir yatırım olacaktır.

Girişte 5 mikrona kadar sudaki çözünmeyen maddeleri sudan ayırmaya yönelik olarak kartuş veya torba filtre kullanılması bir zorunluluktur. Aynı zamanda bulanıklığı giderecek ve demir, mangan gibi okside olmuş metalleri filtre edebilecek çok katmanlı filtrelerin kullanımı çoğu zaman faydalıdır, benzer şekilde tuzları çözünür halde tutmak için asit ve antiskalant veya biyolojik üreme sonucu oluşacak tıkanmayı (biofouling) engellemek için biyosid dozlanması amacıyla dozaj pompalarının kullanılması gereklidir. Giriş suyunun niteliğine bağlı olarak, çöktürme tankları veya aktif karbon filtreler gibi ön arıtma ünitelerinin kullanımı da söz konusu olabilir.

İyi bir ön arıtma ile çapraz akış prensibi ile alışan RO cihazındaki membran öngörülenden daha fazla bir işletme yükü getirmeyecektir. Bunun sonucu optimum performans ve en düşük birim maliyet olarak ortaya çıkacaktır.

Çapraz akış filtrasyonu, özellikle 0.1 mikrondan daha küçük boyuta sahip çözünmüş safsızlıkların gideriminde benzersiz bir filtrasyon ve saflaştırma kabiliyetine sahiptir. Çapraz akış prosesi sürekli olarak membran yüzeyini süpürerek tutulan safsızlıkların birikmesini engelleyerek membran filtrasyon proseslerini etkin kılmaktadır. Başarılı bir işletme, iyi membran seçimine, cihaz tasarımına ve ön arıtmaya dayalıdır.

Bu yöntem aşağdaki sanayi dallarında kullanılmaktadır [13];

- 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 : Ters osmoz metoduyla konsantre meyve suyu üretmek mümkün olmaktadır. İşlem sonucu oluşan su, sulama amacıyla 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.

Çizelge 2.12 Ters osmoz ile reddedilen iyonlar, metaller, organik maddeler, pestisitler ve giderilme yüzdeleri [11]

Anyonlar, Katyonlar, Organikler, Pesti sitler	Giderme (%)	Anyonlar, Katyonlar, Organikler, Pesti sitler	Giderme (%)
Alüminyum	97-98	Nikel	97-99
Amonyum	85-95	Nitrat	93-96
Arsenik	94-96	Fosfat	99+
Bakteriler	99+	Polifosfatlar	98-99
Bikarbonat	95-96	Potasyum	92
Bromür	93-96	Pirojen	99+
Kadmiyum	96-98	Radyoaktivite	95-98
Kalsiyum	96-98	Radyum	97
Klorür	94-95	Selenyum	97
Kromat	90-98	Silika	85-90
Krom	96-98	Silikat	95-97
Bakır	97-99	Gümüş	95-97
Siyanür	90-95	Sodyum	92-98
Demir 2 siyanür	98-99	Sülfat	99+
Florür	94-96	Sülfid	96-98
Demir	98-99	Çinko	98-99
Kurşun	96-98	* Virus	99+
Magnezyum	96-98	* Insecticides	97
Mangan	96-98	* Deterjanlar	97
Cıva	96-98	* Herbicides	97
% TÇM	95-99	Bor	50-70
Tiyosülfat	96-98	* Bunlar tahminidir.	
Selenyum	90-95		

Ters Osmoz Sisteminin arıtmada son derece etkili bir yöntem olmasının yanı sıra işletmeler açısından bazı dezavantajlarının olduğu da bir gerçektir.

Ters Osmoz Sisteminin avantajları [13];

- Tesis ilk yatırım maliyeti düşüktür.
- İnsan müdahalesine gerek olmadan tam otomatik olarak çalışır.
- İşletme masrafı ve enerji sarıyatı düşüktür.
- Üniteleri her açıdan korozyona karşı dayanıklıdır.
- Son teknoloji ile üretilmiş olup, mikroprosesör kumandalıdır.

Ters Osmoz Sisteminin dezavantajları [13];

- Arıtma sonucunda sistemden çıkan suyun yaklaşık % 35-40'ı sisteme giren sudan daha yoğun bir kirliliktedir.
- Çıkan suyun istenilen değerlerde olması için giriş suyu özelliklerinin mümkün olduğunca sabit olması/tutulması gerekmektedir.

Ters osmoz yöntemi ile arıtım, ticari olarak ilk kez 1968 yılında kullanılmıştır ve son 20 senedir çok ciddi bir yükseliş göstermiştir [14]. Bu fark edilir ciddi gelişimde yapılan çalışmaların etkisi büyüktür. Literatürde ters osmoz yöntemi ile alakalı birçok çalışma bulunmaktadır. Baltasar Penate ve Lourdes Garcia Rodriguez (2012), ters osmoz yöntemiyle deniz suyu arıtımı teknolojilerinin tasarımında bugünkü ve gelecekteki eğilimleri incelemişlerdir. Bu çalışma, bu alanda en önemli yeniliklerin ve gelecekteki eğilimlerin kapsamlı bir araştırmasıdır [15]. Maria Dina Afonso ve arkadaşları (2004), içilebilir su üretimi için ters osmoz yöntemiyle yeraltı suyu arıtımının teknik ve ekonomik olarak uygulanabilirliğini araştırmışlardır [16]. H. Kirk Johnston (1975) ağır metal katyonlarının ters osmoz giderimini incelemiştir ve selülöz asetat ters osmoz membranlarını kullanarak çeşitli metal klorürlerin seçici giderimini tanımlamıştır [17]. Bu tez çalışmasının da konusu olan bor gideriminde ise; buharlaştırma, çöktürme, reçine ile giderim ve ters osmoz yöntemiyle giderim olmak üzere çeşitli metodlar denenmiştir. Bu metodlar arasında son dönemlerde özellikle ters osmoz yöntemiyle bor giderimi üzerine yapılan çalışmalar artış göstermiştir ve endüstriyel olarak üretime geçirilen tesisler kurulmuştur. Çizelge 2.12'de gösterildiği üzere bor dışında bütün parametrelerde ters osmoz ile sağlanan giderim % 90'ın üzerindeyken, bor skalada en dipte yer almaktadır. Fakat yapılan

bazı çalışmalar göstermiştir ki; ters osmoz yönteminde bor giderim verimi arttırılabilmektedir. Bu konu ile ilgili verilebilecek en güzel örneklerden biri Ashkelon-İsrail’de kurulmuş olan tesistir. Andreas Gorenflo ve arkadaşları (2007), düşük bor konsantrasyonlu temiz su üretimi için 2005 yılında devreye alınmış, ters osmoz yöntemiyle deniz suyu arıtımı yapan Ashkelon-İsrail’de kurulu bir tesisi araştırma konusu yapmışlardır. 330000 m³/gün üretim kapasitesine sahip olan tesis, <0.3 mg/L bor konsantrasyonlu içme suyu üretimi gerçekleştirmektedir. Ashkelon’da kurulu olan tesis ters osmoz sistemlerinde yüksek pH işleyişine güzel bir örnektir [18]. H. Köseoğlu ve N. Kabay (2008) ticari olarak kullanılmakta olan: Toray™ UTC-80-AB ve Filmtec™ SW30HR membranlarını kullanarak hazırladıkları model çözelti ile deniz suyunu bor giderimi bakımından kıyaslamışlardır. Çalışmalarında toplam çözünmüş katı (TDS) ve pH’ın bor giderimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [19]. Maung Htun Oo ve Lianfa Song (2009) yüksek pH değerlerinde % 99’dan fazla bor giderimi sağlanabileceği; buna karşılık nötr pH değerlerinde bor gideriminin % 40-80 seviyelerine düştüğü sonucuna varmışlardır [20].

2.5 Eti Maden’e Bağlı İşletmelerdeki Üretim Faaliyetleri ve Atıksu Oluşumları

Açık Ocak Madenciliği, Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları haricinde Eti Maden’e bağlı olan işletmelerin hepsinde yapılmaktadır. Ocakların tabanında bulunan su, yüksek miktarda bor konsantrasyonuna sahip olması ve devamlı boşaltılması gerektiği için atıksu oluşumunun önemli bir faktörüdür. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü İşletmeler arasında açık ocak madenciliğinin en aktif şekilde yapıldığı işletmedir. Ayrıca çıkarılan bor ürünleri fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçerek rafine bor ürünleri üretilmekte ve bu üretim sürecinde bor içerikli atıksular oluşmaktadır. Rafine Bor Ürünlerinin çeşit olarak en fazla üretildiği İşletme Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları’dır. Bu İşletmede diğer İşletmelerde üretilen rafine bor ürünlerinin yanı sıra farklı ürünler de üretilmektedir. Oluşan atıksuların bertarafı ile ilgili çalışmalara yön vermek için Eti Maden iki önemli işletmesine arıtma tesisi kurmuştur; Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları’nda çöktürme yöntemiyle

çalışan bir sistem mevcuttur, Bigadiç Bor İşletme M¼d¼rl¼ę¼ sahasında ise ters osmoz y¼ntemiyle bor arıtımı yapan pilot bir tesis kurulmuştur.

2.5.1 Kırka Bor İşletme M¼d¼rl¼ę¼

Kırka Bor İşletmesi, Eskişehir ili Seyitgazi ilçesi, Kırka beldesinde bulunmaktadır. 1970 yılında şantiye faaliyetine geçilen işletmede 1975 yılından itibaren konsantrat¼r tesisinde konsantre tinkal ¼retimine, 1984 yılında devreye alınan Bor T¼revleri Tesisi ile katma değeri y¼ksek bor ¼r¼nlerinin ¼retimine geçilmiştir. İşletme açık ocağından yılda ortalama 2 milyon ton % 26 B₂O₃ ten¼rl¼ t¼venan tinkal cevheri ¼retilerek, 600 bin ton/yıl kapasiteye ulaşan tesislerde rafine ¼r¼ne (Boraks Pentahidrat) d¼n¼řt¼r¼lmektedir. İşletme açık ocağı tabanından 30 gram/litre B₂O₃ bor konsantrasyonuna sahip atıksu ile rafine ¼r¼n ¼retim tesislerinden gelen atıksular yine işletme sahası içerisinde oluşturulan g¼letlerde biriktirilmektedir. G¼letlerin bor konsantrasyonu yaklaşık 12 gram/litre B₂O₃ olarak belirlenmiştir. şu aşamada g¼letler uzun m¼ddet İşletmenin atıksularını depolayacak kapasiteye sahiptir. İşletmede bir arıtma tesisi mevcut değildir.

2.5.2 Emet Bor İşletme M¼d¼rl¼ę¼

Emet Bor İşletme M¼d¼rl¼ę¼, K¼tahya'nın Emet ilçesinde 1958 yılından beri faaliyette bulunmaktadır. İşletmenin Hisarcık ve Espey açık ocaklarından yılda ortalama 1 milyon ton % 28-30 B₂O₃ ten¼rl¼ t¼venan kolemanit cevheri ¼retilmektedir. ¼retilen t¼venan cevheri rafine bor ¼r¼nlerine d¼n¼řt¼r¼lmesi amacı doğrultusunda konsantrat¼r tesislerinde zenginleştirilmektedir. ¼retilen ¼r¼nlerin çoğunluğu işletmede 120 bin ton/yıl kapasiteli tesiste, Borik Asit ¼retiminde kullanılmakla birlikte, bir kısmı Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme M¼d¼rl¼ę¼'ne ait tesislerde Borik Asit ¼retiminde kullanılmakta, bir kısmı ise konsantrat¼r tesisinde işlenerek iç ve dış piyasaya konsantre kolemanit olarak da arz edilmektedir. İşletmede atıksu oluşumuna neden olan 3 b¼lge bulunmaktadır; Borik Asit Tesisi, Espey Açık Ocağı ve Konsantrat¼r¼ ve Hisarcık Açık Ocağı ve Konsantrat¼r¼. Bu ¼ç b¼lge için 3 ayrı atık barajı inşa edilmiş ve b¼t¼n atıksular buradaki g¼letlerde biriktirilmektedir. şu anki kapasiteler uzun m¼ddet atıksuyu

depolayacak durumdadır. Emet Bor İşletme Müdürlüğü sahası içinde bir arıtma tesisi mevcut değildir.

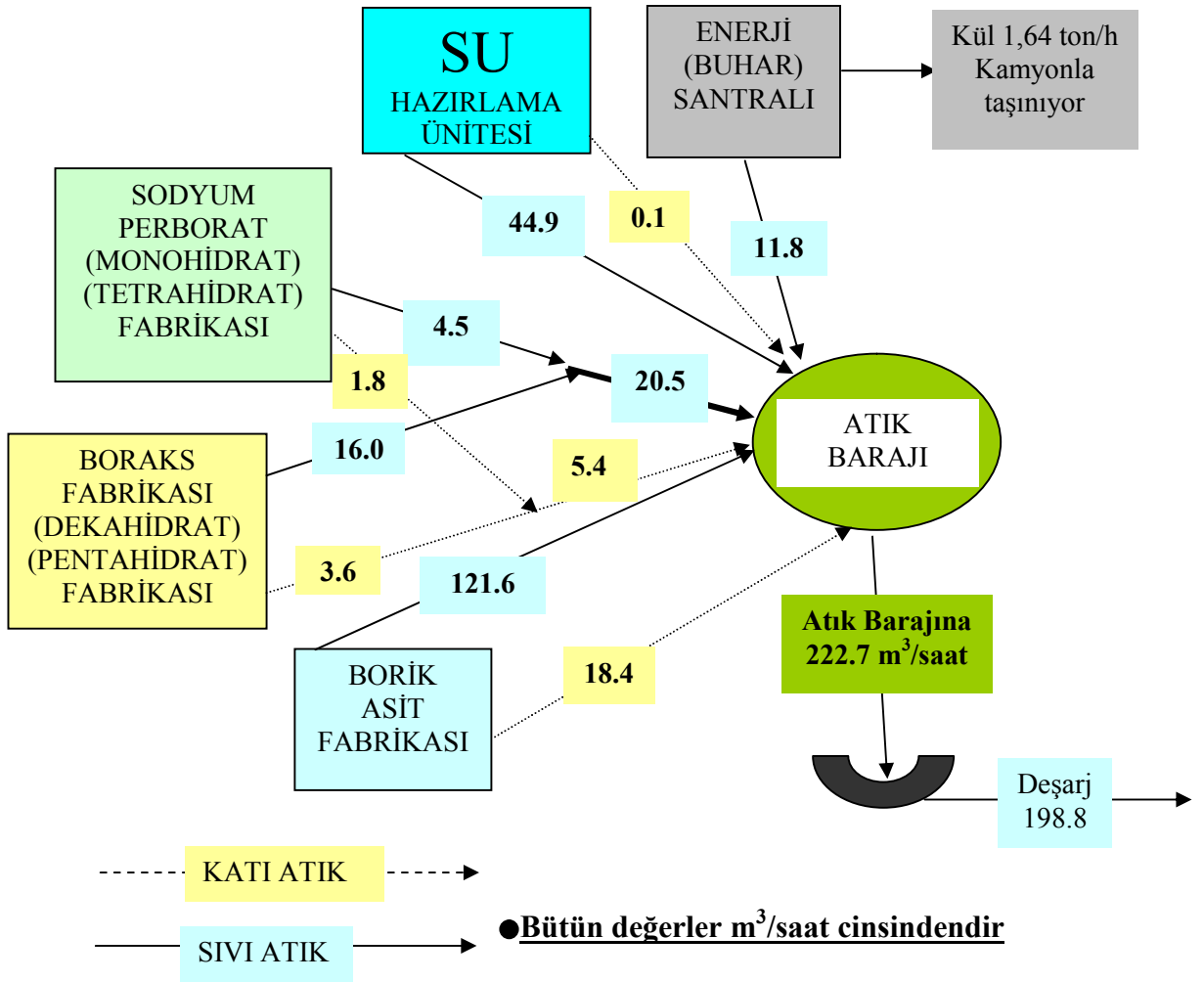
2.5.3 Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü

Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü Bursa iline bağlı Kemalpaşa ilçesinin Kestelek beldesinde bulunmaktadır. İşletme açık ocağından yılda 200 bin ton % 29 B₂O₃ tenörlü tüvenan kolemanit cevheri üretilmektedir. Üretilen tüvenan cevher 100 bin ton/yıl kapasiteli konsantratör tesisinde zenginleştirilerek konsantre kolemanit üretilmektedir. İşletme açık ocağından, işletme sınırları içinde kalan Emet Çayı'na ve konsantratör tesisine giden iki atıksu deşarj hattı bulunmaktadır. Zaman zaman konsantratör tesisinin su ihtiyacının bir kısmı açık ocaktan karşılanmaktadır ve konsantratör tesisinden çıkan sulu katı atık (şlam) İşletme arazisi içinde oluşturulan sızdırmaz göletlerde biriktirilmektedir. Göletlerin kapasiteleri, İşletme faaliyetleri göz önünde bulundurulduğunda uzun müddet atık depolamaya imkan sağlayacak boyuttadır. İşletme açık ocağından çıkan yaklaşık 80 ppm Bor konsantrasyonlu suyun büyük miktarı, Emet Çayı ile birleşmekte ve çayın seyreltme etkisiyle 2 ppm'in altına düşerek Orhaneli Çayı'na deşarj edilmektedir. Bu konsantrasyon değeri yönetmeliklerde belirlenen limit değerlerle örtüşmektedir dolayısıyla şu aşamada Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü'nün bir arıtma tesisine ihtiyacı yoktur. İşletme içerisinde oluşan bor içerikli atıksular bertaraf edilerek kontrol altında tutulabilmektedir.

2.5.4 Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü

Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları, Balıkesir iline bağlı Bandırma ilçesinde 1967 yılından beri üretim faaliyetinde bulunmaktadır. Eti Maden'in Bandırma'daki tesislerinde tinkal ve kolemanit hammaddeleri işlenerek boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, sodyum perborat tetrahidrat/monohidrat, borik asit ve Bor Oksit üretimleri gerçekleştirilmektedir. Ayrıca 240 bin ton/yıl kapasiteli Sülfürik Asit Tesisi'nde teknik ve yüksek kalite sülfürik asit üretilmektedir. Tesislerde çeşitli noktalarda değişik karakterde açığa çıkan sıvı ve katı atıklar birleştirildikten sonra hidrolik bir hatla Ağıldere atık barajına gönderilmektedir. Yürürlükte olan

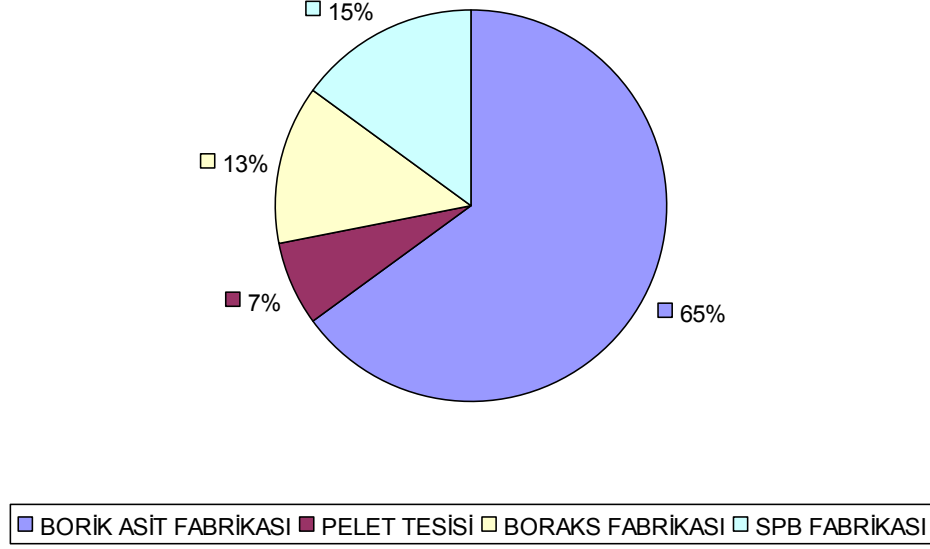
yönetmeliklere göre bu atıksudaki Bor (B), Sülfat (SO₄), Askıda Katı Madde (AKM) ve zehirlilik parametrelerinden özellikle Arsenik, sınırları geçmektedir. Barajda katılar çökmekte suyun bir kısmı hidrolik hat ile akışkanlığı sağlamak amacıyla kullanılmak üzere üretim tesislerine geri gönderilmekte, 150 - 200 m³/saat arasında değişen debilerdeki atıksu denize deşarj edilmektedir. Şekil 2.6'da atık barajını besleyen hatlar ve bu hatların m³/saat cinsinden değerleri verilmiştir.



Şekil 2.6 Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları atıksu yerleri ve miktarları (2005 Yılı Verileri)

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi atıksu oluşumunda en büyük yüzde Borik Asit Tesisine aittir. Şekil 2.7'de Borik Asit Tesisi ve diğer bor grubu fabrikalarının atıksu oluşumundaki yüzdeler verilmiştir.

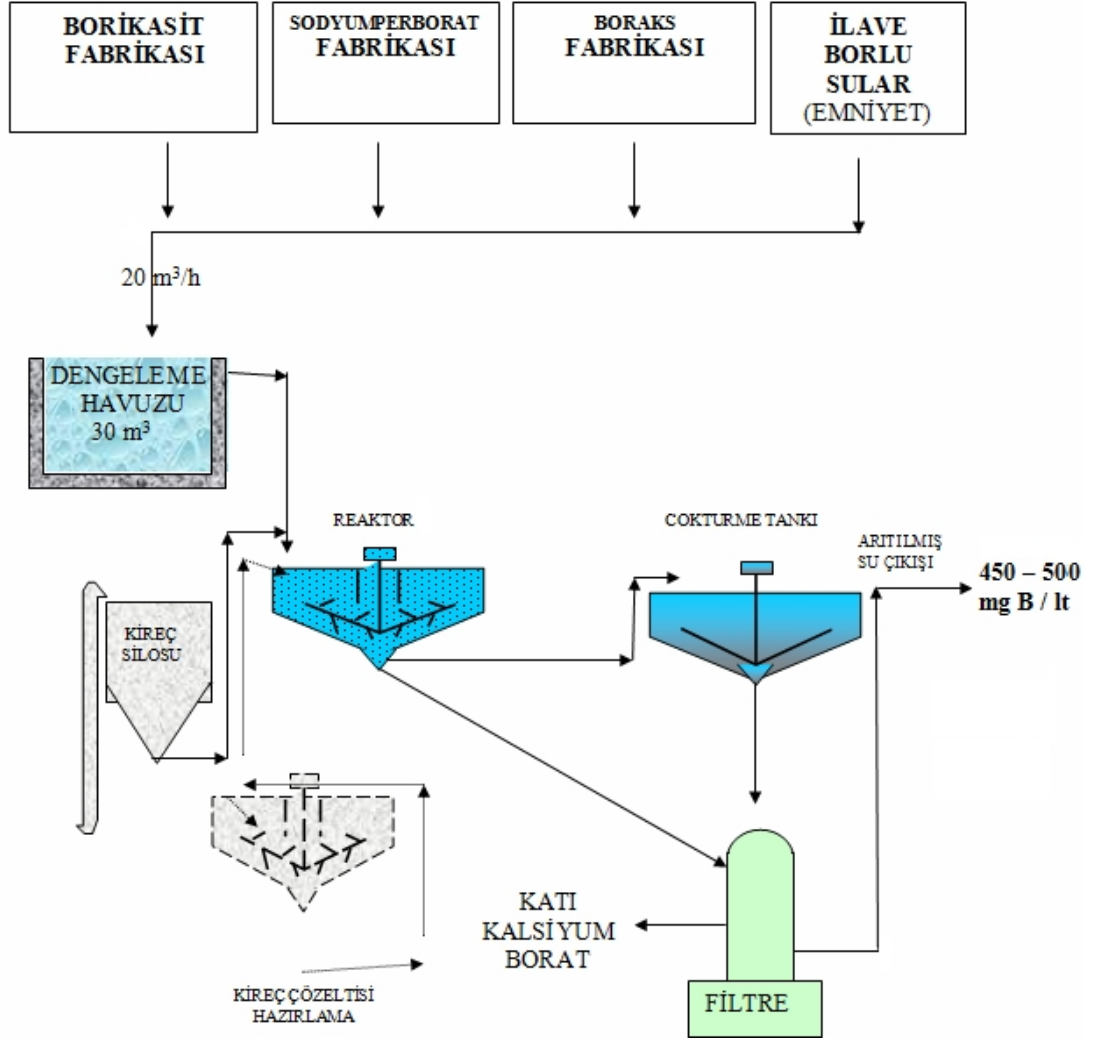
BOR GRUBU FABRİKALARI ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARINA GÖRE ATIK DURUMU



Şekil 2.7 Bor Grubu Fabrikaları'nın atık oluşumundaki payları

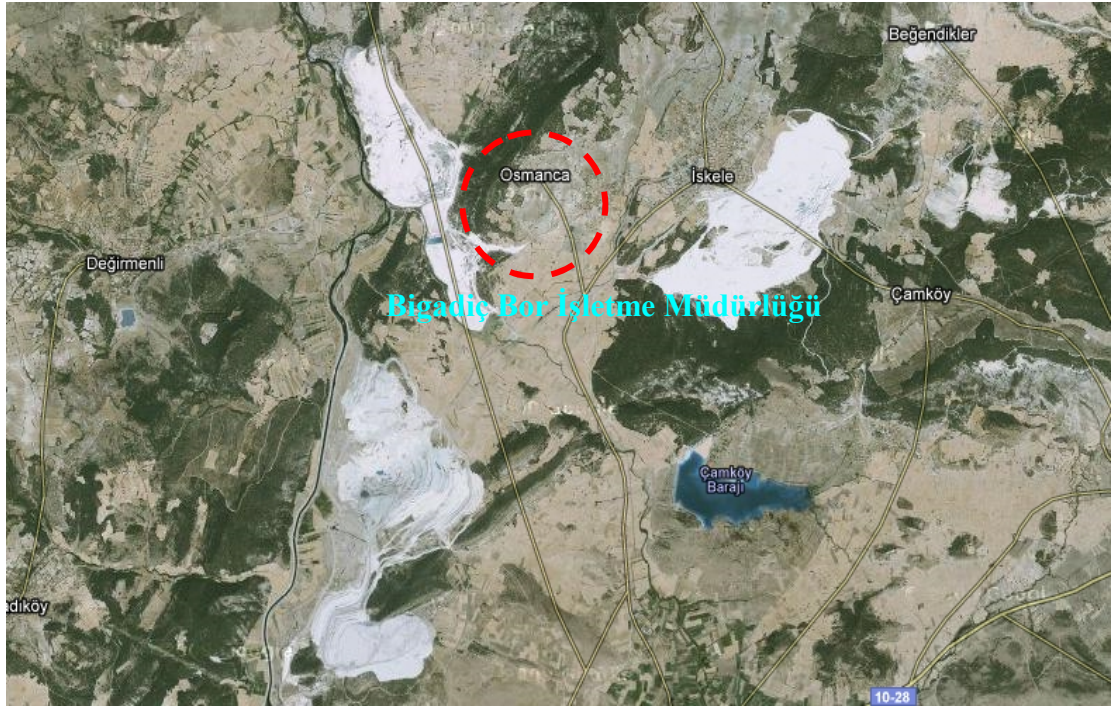
Denize deşarj edilen atıksuyun yönetmelikteki sınır değerlere getirilmesi için bir arıtma tesisi kurulmuştur. Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları işletme sahasında bulunan Bor Grubu Fabrikaları'ndan gelen atıksular toplanarak dengeleme havuzuna gönderilmektedir. Burada ilave sular ile bor konsantrasyonu 10000 ppm' e düşürülmeye çalışılır. 10000 ppm değeri kritik bir değerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda bu konsantrasyonda kireç ile hızlı bir reaksiyon alınmakta ve hızlı bir çökeltme işlemi olmaktadır. Arıtma tesisi 10000 ppm değerinin üzerinde atıksuyu da bazı durumlarda arıtmaktadır. Konsantrasyonun yüksekliği bekleme süresini etkilemektedir. Daha sonra reaktöre alınan ham su sönmüş kireç ile muamele edilir ve pH değeri 11.50'ye ulaşmıca kadar kireç eklentisine devam edilir. Katı çökelek, reaktörün alt kısmından alınarak filtreye yönlendirilir ve taşkanı çöktürme tanklarına gönderilir. Burada dinlendirilen sıvı - katı karışımı çözeltinin yine alt kısmından katı faz alınarak filtrelere gönderilir. Safsızlıklarından arınmış su ise asit ile uygun pH aralığına getirilerek denize deşarj edilir. Arıtılmış suyun bor konsantrasyonu 500 ppm Bor'un altına düşürülmüştür ve nihai ürünün pH'ı ise 6 – 9 arasına getirilip deşarj edilmiştir. Filtrelerden alınan katı atık ise kurutulur ve yapısında % 32-35

arasında B_2O_3 barındıran bu ürün asit borik fabrikasına gönderilerek proseste ham madde olarak kullanılır. Şekil 2.8’de Arıtma Tesisi’nin akım şeması görülmektedir.



Şekil 2.8 Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları Arıtma Tesisi basitleştirilmiş akım şeması

2.5.5 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü



Şekil 2.9 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'ne ait işletme sahasının üstten görünümü

Yöredeki Bor yataklarının bulunuşu, 1950 yılında Muharrem Girgin isimli amatör madencinin Çamköy yakınlarında topladığı örneklerin Dr. H. Yakal tarafından Kolemanit olduğunun tespiti ile olmuştur.

Özel sektör tarafından işletilmekte olan maden ocakları, Fransız Şirketin saha sınır anlaşmazlığının büyümesinden dolayı Bakanlar Kurulu Kararı ile 13.02.1976 tarihinde bugünkü Tülü Açık Ocak İşletmesinin bulunduğu sahanın Etibank'a verilmesi ile Etibank Bölgede madencilik faaliyetlerine başlamıştır.

08.04.1976 tarihinde Emet Müessesesine bağlı "Etibank Bigadiç Kolemanit Şantiyesi" olarak kurulup, 01.01.1984 tarihinde "Etibank Bigadiç Madenleri İşletmeleri Müessese Müdürlüğü" ve 01.05.1998 tarihi itibariyle Eti Bor A.Ş. Genel Müdürlüğüne bağlı İşletme Müdürlüğü haline getirilmiştir. Ocak 2004 tarihinden itibaren yeniden bir yapılanma gerçekleştirilmiş ve Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı bir İşletme Müdürlüğü olmuştur.

İşletme Müdürlüğü Bigadiç ilçesinin 12 km Kuzeydoğusunda Osmanca köyü hudutları içinde kurulmuştur. İşletmede halen üç adet açık ocakta Kolemanit ve Üleksit cevherleri üretilmektedir. 2009 yılı sonu itibari ile 570 milyon ton kolemanit ve 49 milyon ton üleksit olmak üzere toplamda 619 milyon ton maden rezervi tespit edilmiştir ve bu üç adet açık işletme maden ocağından yılda 800 bin ton % 29-31 B₂O₃ tenörlü tüvenan Kolemanit ve Üleksit cevheri üretilmektedir. Yıllık üretimin 1 milyon ton olduğu farz edilse bile şu anda yaklaşık 600 yıllık rezervin olduğu öngörülmektedir. Çıkarılan cevherler 975 bin ton/yıl kapasiteli Konsantratör Tesisi'nde konsantre hale getirilip satılmaktadır. Kıırma –Harmanlama Tesisi 1993 yılı sonunda devreye alınmıştır, Öğütme Tesisi ise -25 mm konsantre kolemanit cevherlerinden -75 mikrona öğütülerek satılması için 30000 ton/yıl kapasiteli olarak kurulmuş ve Haziran 1998 de üretime başlamıştır. Şu anda 300 bin ton/yıl kapasiteye çıkarılmıştır.

2.5.5.1 Bigadiç Bor Madenlerinin Mineralojisi ve Kökenleri

Bigadiç bor madenleri yıllarca dünyanın yüksek tenörlü kolemanit ve üleksit ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayan en büyük üleksit ve kolemanit yataklarıdır. Bigadiç madenleri Neojen Döneminde tuzlu göllerin çökmesiyle kuzeydoğu-güneybatı istikametinde oluşmuştur. Borlara tüfler, killer ve kireçtaşları yataklık eder.

Bor mineralleri birbirlerinden diajenez sırasında kalın tüflerce ayrılmış iki zon halinde oluşmuştur. Her iki zonda da kolemanit ve üleksit hakimdir fakat alt zonda havlit, probertit ve hidroborasit, üst zonda inyoit, meyerhofferit, pandemit, tertşit, hidroborasit, havlit, tunnelit ve rivadavit gibi diğer bor mineralleri de yer alır. Her iki zondaki kolemanit modülleri de muhtemelen direkt olarak ayrılmış sedimanlı solüsyonların çökmesiyle oluşmuş ve devam eden getirilerle büyümüştür. Kolemanit ve üleksit damar şeklinde alterasyonlar gösterir, minerallerin birbirine geçişi yoktur ve sınırları genellikle birbirinden kesin şekilde ayrılır. Çünkü bu mineraller kolaylıkla çözünerek saflaşırlar, saydam kolemanit ve üleksite sık sık nodüllerin boşluklarında ve çatlaklarında rastlanılır. Bazı kolemanit ve üleksitin erimesiyle yerleri tamamen kalsit ile dolmuştur.

2.5.5.2 İşletme Faaliyetleri

2.5.5.2.1 Açık Ocaklar

2.5.5.2.1.1 Tülü Açık Ocağı



Şekil 2.10 Tülü Açık Ocağı

Tülü ocağı 1976 yılında Etibank'a devredilmiş olup, ilk yıllarda (1976-1977) kapalı ocak olarak çalışılmıştır. Daha sonra açık işletme olarak faaliyete geçmiştir. İşletmenin alt boratlı birim içerisinde açılmış tek ocağı olan Tülü Açık Ocağı'nda ortalama örtü tabakası kalınlığı 50 metre olup, cevher zonu kalınlığı 27 metredir ve ortalama tenörü % 28.14 B₂O₃ olan 5 adet cevher damarı bulunmaktadır.

Çizelge 2.13 Tülü Açık Ocağı'na ait damarların cevher cinsi ve kalınlıkları

<u>Damar No</u>	<u>Cevher Cinsi</u>	<u>Kalınlığı (m)</u>
1	Kolemanit	0.75
2	Kolemanit	3.00
3	Kolemanit	3.00
4	Kolemanit+ Üleksit	10.50
5	Kolemanit	0.75

2.5.5.2.1.2 Acep Açık Ocağı



Şekil 2.11 Acep Açık Ocağı

Buradaki cevherleşmenin daha çok hidrotermal çözeltilerin çökeltim alanına taşması ve içeriğine bağlı olarak değiştiği, bunun sonucu olarak havzaya gelen malzemenin farklı olması nedeniyle yatak içinde çeşitli mineraller oluştuğu ve sonuçta birbirine geçişli mercekli yataklanma meydana geldiği görüşü hakimdir. Mercekli, geçişli ve değişken yataklanma bölgede üleksit ve kolemanit oluşumlarının geçişli ve ardalı yapılarını meydana getirmiştir.

Acep Açık Ocağı'nda cevher zonu kalınlığı 20 - 25 metre arasında değişmektedir. Zon içinde kalınlığı 2 - 12 metre arasında değişen bir ana damar ile

kalınlığı 0.5 - 2 metre arasında değişen 1 ile 3 adet merceksi damarlar bulunmaktadır. Ocağın batısında ve orta kesimlerinde ana damarın çoğunluğunu üleksit minerali oluşturur ve kolemanit minerali bu damarın alt ve üstünde, yer yer de damar içinde üleksitle ardalanmalı olarak bulunur. Ocağın doğu ve güneydoğusuna doğru ana damar yanal olarak kolemanite geçişlidir. Ortalama örtü tabakası kalınlığı 56 metre, ortalama cevher zonu kalınlığı 17 metre ve net cevher kalınlığı 8 metredir. Maden yatağındaki kolemanit cevherinin ortalama tenörü % 32.19 B₂O₃, üleksit cevherinin ortalama tenörü % 32.90 B₂O₃ ve genel tenör % 32.64 B₂O₃'tir.

2.5.5.2.1.3 Simav Açık Ocağı



Şekil 2.12 Simav Açık Ocağı

Simav Açık Ocağı 1979 yılında ‘‘Devletçe İŐletilecek Madenler Hakkındaki Yasa’’ uyarınca Őayakı Madencilik Şirketi’nden devir alınmıştır. Simav’da bor rezervlerinin açık işletme yöntemi ile üretilmesi amacıyla 1997 yılında proje çalışmaları tamamlanmıŐ olup, 200.000 ton/yıl kapasiteli Simav Açık İŞletme Projesi uygulamaya konularak 1998 yılında dekapaj faaliyetlerine başlanmıştır. Bölgede; kolemanit miktarı 20 milyon 520 bin ton, üleksit miktarı 7 milyon 600 bin ton olarak

hesaplanmıştır. Maden yatağındaki kolemanit cevherinin ortalama tenörü % 30.52 B₂O₃, üleksit cevherinin ortalama tenörü % 31.21 B₂O₃ ve genel tenör % 30.59 B₂O₃'tir.

Simav Açık Ocak sahasında cevherleşme 6 damar halinde görülmektedir. Cevher damarları arasında 3-6 m. kalınlığında kil-kireçtaşı-marn tabakaları mevcuttur. Damarlara ait cevher cinsi ve kalınlıkları Çizelge 2.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.14 Simav Açık Ocağı'na ait damarların cevher cinsi ve kalınlıkları

Damar No	Cevher Cinsi	Kalınlığı (m)
1	Kolemanit	2-4
2	Kolemanit	4-5
3	Kolemanit, Üleksit	5-10
4	Üleksit, Kolemanit	3-5
5	Üleksit, Kolemanit	1-3
6	Kolemanit	1-2

2.5.5.2.2 Konsantratör Tesisi ve Kırma-Öğütme Tesisi

Konsantratör Tesisi, 1980 yılında tek vardiya çalışılacağı planlanarak 150 bin ton/yıl tuvönan cevher işleyecek kapasitede kurulmuştur. 1990 yılında vardiya sayısının artırılması ve ek ünitenin devreye girmesi ile kapasite 600 bin ton/yıl seviyesine yükseltilmiştir. Artan öğütülmüş kolemanit ve üleksit talebini karşılamak üzere gerekli konsantre ürünün sağlanabilmesi için, 2006 yılı yatırım programına alınan III. Konsantratör Tesisi, 01.11.2007 tarihinde devreye alınarak, Tesis kapasitesi 975 bin ton/yıl'a çıkartılmıştır.

Ocaklardan gelen tuvönan cevherler konsantratörün ham madde silosuna beslenerek, paletli besleyici ile ızgaralı elekten geçirilir. Silo ağzındaki ızgaralı elekten geçen cevherlerin boyutu 400 mm'nin altındadır. Iızgaralı elekten geçen tuvönan cevher, çeneli kırıcıya beslenir. Çeneli kırıcıdan çıkan, -125 mm'ye kırılmış tuvönan cevher ile ızgaralı elek altına geçen -125 mm boyutundaki tuvönan cevher, konveyör bant ile mekik banda aktarılır ve bu mekik bant vasıtasıyla ıslatma havuzlarına, boyutu 125 mm'nin altına indirgenmiş tuvönan cevher beslenir.

$\frac{1}{4}$ 'ü su ile doldurulan 500 m³ ve 300 m³'lük 7 adet ıslatma havuzuna alınan -125 mm'ye kırılmış olan tuvönan cevher, suyun içerisinde bekletilerek, bünyesindeki kil ve çamurun şişmesi sağlanır. Daha sonra gezer köprü vinç vasıtası ile yıkama ünitesinin bunkerlerine beslenir. Bunkerlerdeki tuvönan cevher, kazıyıcı besleyiciler ile yıkama tamburlarına beslenir. Bu aşamada su kullanılarak yıkanan cevherler, tromel eleklerde elenir ve elek üstü malzeme, insan gücü kullanılarak el ile temizlemek suretiyle triyaj bandına beslenir ve triyajı yapılarak konsantre ürün silosuna aktarılır. Tromel eleğin gözenek açıklığı 25 mm'dir ve elde edilen elek üstü malzeme 25 mm ile 125 mm arasında değişen boyutlara sahip konsantre bir üründür. Cevher içerisinden seçilen pasalar ise konveyör bantlarla pasa silosuna atılır.

Tromel elek altı olan -25mm tane boyutlu cevher titreşimli eleğe verilerek buradan elek üstü malzeme olan, +6 / -25 mm ebatlı konsantre cevher, klasifikatörler vasıtası ile konveyör bandına beslenir ve buradan da konsantre ürün silosuna aktarılır.

Titreşimli elek altı malzeme olan -6 mm tane boyutundaki konsantre cevher ise toplama tanklarına alınarak buradan klasifikatör vasıtası ile bantlara alınır ve konsantre cevher silosuna aktarılır. Sonuç olarak konsantre ürünler üç ayrı fraksiyonda 25-125 mm, 6-25 mm ve -6 mm olmak üzere ayrı ayrı stoklanmakta ve satışa sunulmaktadır. Zenginleştirme işlemi sonucunda elde edilen konsantre ürünlerin % B₂O₃ değeri Çizelge 2.15'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.15 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Konsantratör Tesisi'nde üretilen konsantre ürünlerin B₂O₃ tenörleri

KONSANTRE ÜRÜN	% B ₂ O ₃
25-125 mm Kolemanit	42±1
6-25 mm Kolemanit	36±1
-6 mm Kolemanit	27±1
6-125 mm Üleksit	38+1/-2
-6 mm Üleksit	26±1

Konsantratör Tesisinde yıkanan ve zenginleştirilen cevherler tenör ve karakteristiklerine göre stok sahasında stoklanır. Öğütme için istenilen özellikteki

cevher buradaki stoklardan belirli miktarlarda karıştırılarak istenilen kompozisyonda cevher, Kırma-Öğütme tesisi bunkerine kamyonlarla beslenir. Öğütme tesisi, Kırma Tesisi'nde -25 mm tane boyutuna getirilmiş %42 B₂O₃ tenörlü kolemanit veya üleksit cevherlerinin -75 µ ve -45 µ tane boyutuna kadar mikronize öğütme işlemini gerçekleştirir.

Konsantratör Tesisi'nden çıkan atıksular ve beraberinde taşıdığı yaklaşık -0.2 mm boyutundaki katı malzeme ise şlam havuzunda biriktirilir. Buradan şlam pompaları ile yaklaşık 5 km uzaklıktaki Çamköy Atık Barajı'na atılır.

2.5.5.3 İşletme Faaliyetleri Sonucu Ortaya Çıkan Atıksular

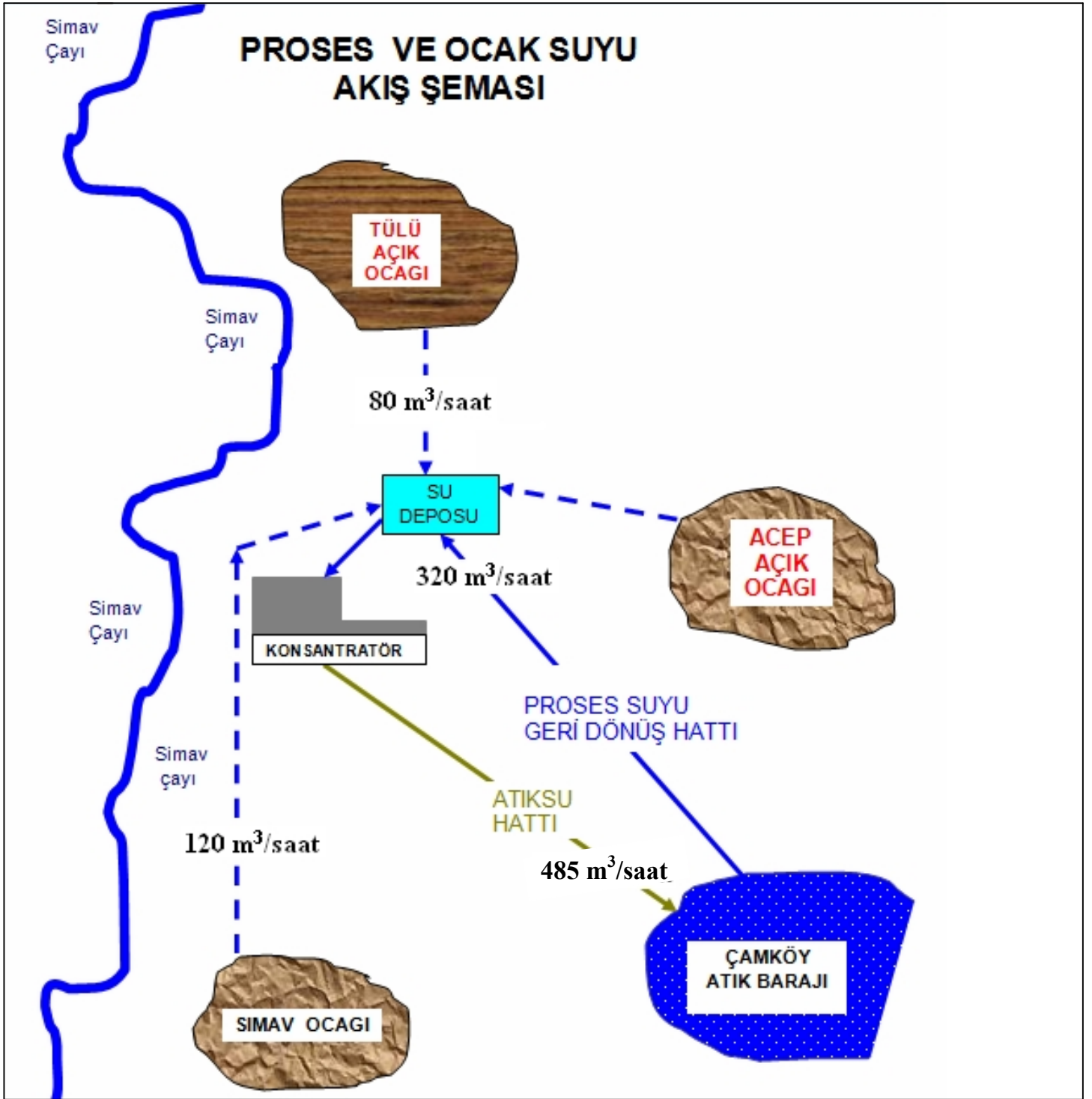
Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nde kolemanit ve üleksit cevherleri konsantratör tesislerinde sulu sistemler ile zenginleştirilmektedir. Sistemden çıkan şlam denilen sulu ince atık, pompalar ile Çamköy Atık Barajı'na basılmakta; ince atık barajda çökelmeye bırakılmakta, katisından ayrılan su ise tekrar kullanılmak üzere konsantratör su deposuna gönderilmektedir. Simav, Tülü ve Acep Açık Ocakları'ndan gelen taban suları da toplanarak Atık Barajı'na gönderilmektedir. Atık Barajı'nda ocak taban suları ve Konsantratör Tesisi'nden gelen ince atıktan dolayı sürekli bir seviye artışı olmaktadır. Barajın geniş bir yüzey alanına sahip oluşu ile buharlaşma etkisinin artması sonucu uzaklaşan su, miktar olarak barajdaki birikimden azdır. Deşarj ve alıcı ortam noktalarından alınan su numunelerinin analizlerinde alıcı ortam değerleri mevzuatın öngördüğü değerlerin üzerinde çıktığından barajdan su deşarjına izin verilememektedir. Bunun sonucunda baraj seviyesi her geçen gün artmaktadır ve maksimum kapasitesine ulaşmak üzeredir.

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nde atıkların ve atıksuların stoklanması amacıyla Çamköy Atık Barajı dışında Konsantratör yakınında 4 adet küçük boyutlu atık göleti bulunmaktadır. Anılan atık stoklama alanlarının 2007 yılı sonu itibariyle durumları Çizelge 2.16'da sunulmuştur.

Çizelge 2.16 Bigadiç Bor İşletmesi katı atık ve atıksu stoklama alanı bilgileri

GÖLET NO	YAPIM YILI	HACİM m³	ALAN m²	DOLULUK ORANI %
1	1979	240000	52000	100
2	1983	685000	86000	100
3	1989	608000	70000	100
4			50000	100
Çamköy Barajı	1995	9000000	628429	1/13 ü katı, kalan kısmı su ile dolu
TOPLAM			886429	

Çizelge 2.16'daki bilgilerin ışığında küçük göletler ve Çamköy Atık Barajı maksimum kapasitelerine ulaşmış durumdadır. Barajın 1/13'ü katı atık ile dolu olup geriye kalan kısım tamamen su ile doludur. Bu bölgede atıksuyun arıtımı ile iki hedef gözetilmektedir; işletmenin uzun yıllar katı atıklarını depolaması için önemli ölçüde bir boşluğun oluşması ve atıksuyun çevreye vereceği zararın bertaraf edilerek çevrenin korunması.



Şekil 2.13 Proses ve ocak suyu akış şeması

Konsantrator Tesisi'nde su için bir kütle dengesi kurar isek; Simav Açık Ocağı taban suyu debisi $120 \text{ m}^3/\text{saat}$, Tülü Açık Ocağı taban suyu debisi $80 \text{ m}^3/\text{saat}$ ve Çamköy Atık Barajı'ndan basılan su miktarı ise $320 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'tir. Acep Açık Ocağı ender olarak işletildiğinden, tabandan gelen suyun miktarı kayda değer bir

büyükte değıldir. Ayrıca ihtiyaca binaen keson kuyulardan temiz su çekilmektedir. Konsantratör Tesisi'nin besleme suyu olarak kullanılan üç ana su geliri, tesis yakınındaki su deposunda toplanmaktadır. Bu verilerden de anlaşıldığı gibi Konsantratör Tesisi için ocaklardan ve barajdan alınan su miktarı toplamda 520 m³/saat olmaktadır. Tesisten, sulu ince katı atık şeklinde Çamköy Atık Barajı'na gönderilen şlam ise 485 m³/saat'tir. Aradaki farkı oluşturan etkenler, İşletme yakınındaki atık göletlere gönderilen atık su ve Konsantratör Tesisi'nde miktar olarak fazla olan su kayıplarından oluşmaktadır.

Konsantratör Tesisi kütle dengesindeki verileri kullanarak Çamköy Atık Barajı su kütle dengesini inceler isek; Konsantratör Tesisi'nden baraja basılan atığın debisi, 465 m³/saat suyun ve 20 m³/saat katı atığın toplamı olarak 485 m³/saat ve barajdan tesisin su deposuna basılan suyun debisi ise 320 m³/saat'dir. Aradaki 165 m³/saatlik farkın 145 m³/saati atıksu, 20 m³/saati ise ince katı atıktan oluşmaktadır. Sonuç olarak her saat Çamköy Atık Barajı'nda 145 m³ su ve 20 m³ katı atık birikmektedir. Yapılan çalışmalara göre bölgedeki buharlaşmanın, bölgedeki yağışın yaklaşık iki katı kadar olduğu sonucuna varılmasına rağmen, buharlaşmanın etkisi birikimi önleyecek boyutta olmadığından su seviyesi artmakta ve barajın ömrünü bitirmektedir.

Çizelge 2.17 Bigadiç Bor İşletmesi katı atık ve atıksu oluşum değerleri

	FİİLİ KAPASİTE (m ³ /gün)	GÜNLÜK ÇALIŞMA (saat/gün)	FİİLİ KAPASİTE (m ³ /saat)
Sisteme Sürekli İlave olan Taze Su Miktarı	Sürekli besleme yoktur		
Simav Ocağı Pompa Kapasitesi (1)	2880	24	120
Tülü Ocağı Pompa Kapasitesi (2)	1920	24	80
Toplam (1+2)	4800	24	200
Çamköy Barajı'ndan Basılan Su (3)	7680	24	320
Sisteme Dahil Olan Toplam Su Miktarı (1+2+3)	12480	24	520
Çamköy Barajı'na Basılan Katı Atık	480	24	20
Çamköy Barajı'na Giden Toplam Su+Şlam (4)	11640	24	485
Buharlaşma (5)	2040	24	85
Yağış (6)	960	24	40
Çamköy Barajı'nda Şişme (4+6-3-5)	2880	24	120
Yıllık Tesisin Çalışma Süresi (Gün)	312		
Yıllık Çamköy Barajı'nın Yükselme Miktarı (m ³ /yıl)	898560		

Çizelge 2.17’de gösterilen verilere göre, Çamköy Barajı’ndaki şişme miktarı Simav Açık Ocağı taban suyu gelirine eşit değerdedir. Dolayısıyla işletmenin en büyük açık ocağı konumunda olan Simav Açık Ocağı’na bir arıtma tesisinin kurulmasının Çamköy Atık Barajı’ndaki seviye yükselişini önleyeceği düşünülerek, arge çalışmaları bu bölgede yoğunlaşmıştır. Simav Açık Ocağı’nda saatte 100 m³’lük atıksu miktarını bertaraf edecek bir tesisin varlığı öngörülerek Çamköy Barajından konsantratörün ihtiyacına binaen tesise gönderilen su, arıtma tesisi kapasitesi kadar arttırılmış ve Çizelge 2.17 tekrardan revize edilmiştir. Revize edilen değerler Çizelge 2.18’de gösterilmektedir

Çizelge 2.18 Öngörülen arıtma tesisinin etkisi ile Bigadiç Bor İşletmesi’ne ait revize katı atık ve atıksu oluşum değerleri

	FİİLİ KAPASİTE (m ³ /gün)	GÜNLÜK ÇALIŞMA (saat/gün)	FİİLİ KAPASİTE (m ³ /saat)
Sisteme Sürekli İlave olan Taze Su Miktarı	Sürekli besleme yoktur		
Simav Ocağı Pompa Kapasitesi (1)	2880	24	120
Öngörülen Arıtma Tesisinin Kapasitesi (2)	-2400	24	-100
Tülü Ocağı Pompa Kapasitesi (3)	1920	24	80
Toplam (1+2+3)	2400	24	100
Çamköy Barajı'ndan Basılan Su (4)	7680	24	420
Sisteme Dahil Olan Toplam Su Miktarı (1+2+3+4)	10080	24	520
Çamköy Barajı'na Basılan Katı Atık	480	24	20
Çamköy Barajı'na Giden Toplam Su+Şlam (5)	9240	24	485
Buharlaştırma (6)	2040	24	85
Yağış (7)	960	24	40
Çamköy Barajı'nda Şişme (5+7-4-6)	480	24	20
Yıllık Tesisin Çalışma Süresi (Gün)	312		
Yıllık Çamköy Barajı'nın Yükselme Miktarı (m ³ /yıl)	149760		

Çizelge 2.18’de sarı renk ile belirtilmiş satırlar incelendiğinde, öngörülen kapasitede bir arıtma tesisinin varlığı ile Çamköy Atık Barajı’nda sudan kaynaklı bir artışın önüne geçilecek ve sadece ince boyutlu katı atıkların depolanmasına imkan sağlanacaktır. Bu bağlamda çizelgede verilen değer yada bu değerden daha fazla kapasite ile çalışacak büyük bir arıtma tesisinin kurulumu öncesinde, sorunları ve sonuçları net bir şekilde değerlendirebilmek adına Simav Açık Ocağı arazisine 10 m³/saat kapasite ile ham su işleyen mobil pilot arıtma tesisi kurulmuştur. Bunun yanında arıtma tesisinin bu bölgede konuşlandırılması ve diğer atıksu oluşum bölgelerinin tercih edilmemesinin sebepleri arasında; Simav Açık Ocağı’nın Bigadiç

Bor İşletme Müdürlüğü'nün en fazla üretim sağladığı maden sahası olmasının sonucunda oluşan ocak su gelirinin diğer açık ocaklara göre fazla olması yanında kimyasal yapı bakımından incelendiğinde bor konsantrasyonunun diğer bölgelere göre düşük olması ve Çamköy Atık Barajı'ndaki bor konsantrasyonuna benzeyen, giderek artan bir değişkenliğin söz konusu olmaması, sadece mevsimsel değişikliklerin gözlenmesi sayılabilir. Çamköy Atık Barajı bor konsantrasyonu değerleri 2003 senesinde ortalama 336.87 ppm, 2004 senesinde ortalama 371.85 ppm, 2005 senesinde ortalama 428.11 ppm, 2006 senesinde ortalama 438.19 ppm, 2007 senesinde ortalama 529.95 ppm ve 2008 senesinde ortalama 542.36 ppm olarak tespit edilmiştir. Giderek artan bu konsantrasyon arıtma tesisi için bir dezavantaj olarak görülmüştür. Ocak taban suları ve Çamköy Barajı kimyasal içerik açısından incelendiğinde arsenik dışındaki bütün parametreler, Simav Ocağı'nda diğer bölgelere göre en düşük değerlere sahiptir.

2008 yılında başlatılan çalışma ile birlikte Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Çamköy Atık Barajı, Simav Açık Ocağı ve Tülü Açık Ocağı sularından yıl içerisinde belirli periyotlarla numuneler alınarak, söz konusu 3 bölgedeki kimyasal analiz sonuçları ortalama değerler olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 2.19'da verilmiştir.

Çizelge 2.19 Bigadiç Bor İşletmesi Açık Ocaklarına ve Çamköy Atık Barajına ait suların analiz sonuçları

PARAMETRELER (ppm)	Simav Açık Ocağı	Tülü Açık Ocağı	Çamköy Barajı
Sodyum	140.00	47.00	110
Potasyum	8.00	3.00	10
Magnezyum	25.00	14.00	20
Kalsiyum	60.00	423.00	203
Stronsiyum	6.00	10.00	14
Baryum	G	G	G
Mangan	0.01	0.01	0.01
Demir	0.01	G	G
Sülfat (SO ₄)	380.00	1085.00	800
Kadmiyum	G	G	G
Alüminyum	G	G	G
Kurşun	G	G	G
Bor	152.00	252.00	562
Arsenik	0.75	0.20	0.5
Kobalt	G	G	G

G : Görülmedi (Deteksiyon limitlerinin altında)

PARAMETRELER	BİRİMİ	Simav Açık Ocağı	Tülü Açık Ocağı	Çamköy Barajı
pH	-	8.50	8.46	8.47
İletkenlik	µS/cm	1926±10	1932±10	2210±10
Toplam Sertlik	mgCaCO ₃ /L	250±5	1178±1	492.3±0.8
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/L	18.0±5.7	10.0±5.7	22.0±5.7
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/L	<5	<5	<5
Askıda Katı Madde	mg/L	32.2±0.6	3.0±0.6	5.6±1.1
Klor (Cl ⁻)	mg/L	14.9±0.3	11.5±0.3	19.9±0.3

3. ARAÇLAR ve YÖNTEMLER

3.1 Araçlar

Bu çalışma, atıksulardan bor giderimini sağlamak için ileri arıtma metodu olan ters osmoz sistemine dayanarak dizayn edilmiş, tamamen otomatik olarak çalışan, Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü sahası içerisindeki Simav Açık Ocağı'na kurulan Mobil Pilot Arıtma Tesisi'nde gerçekleştirilmiştir. İtalyan menşeli GEL Hydrotechnology Firması'nın tasarımını ve üretimini gerçekleştirmiş olduğu bu tesis, 40' konteyner içine monte edilmiş olup, içerisindeki ekipmanları paslanmaz çelik şase üzerine oturtulmuştur. Pilot Tesisin resmi Şekil 3.1'de, genel özellikleri ise Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Simav Açık Ocak Taban Suyu Bor Arıtımı Mobil Pilot Tesisi

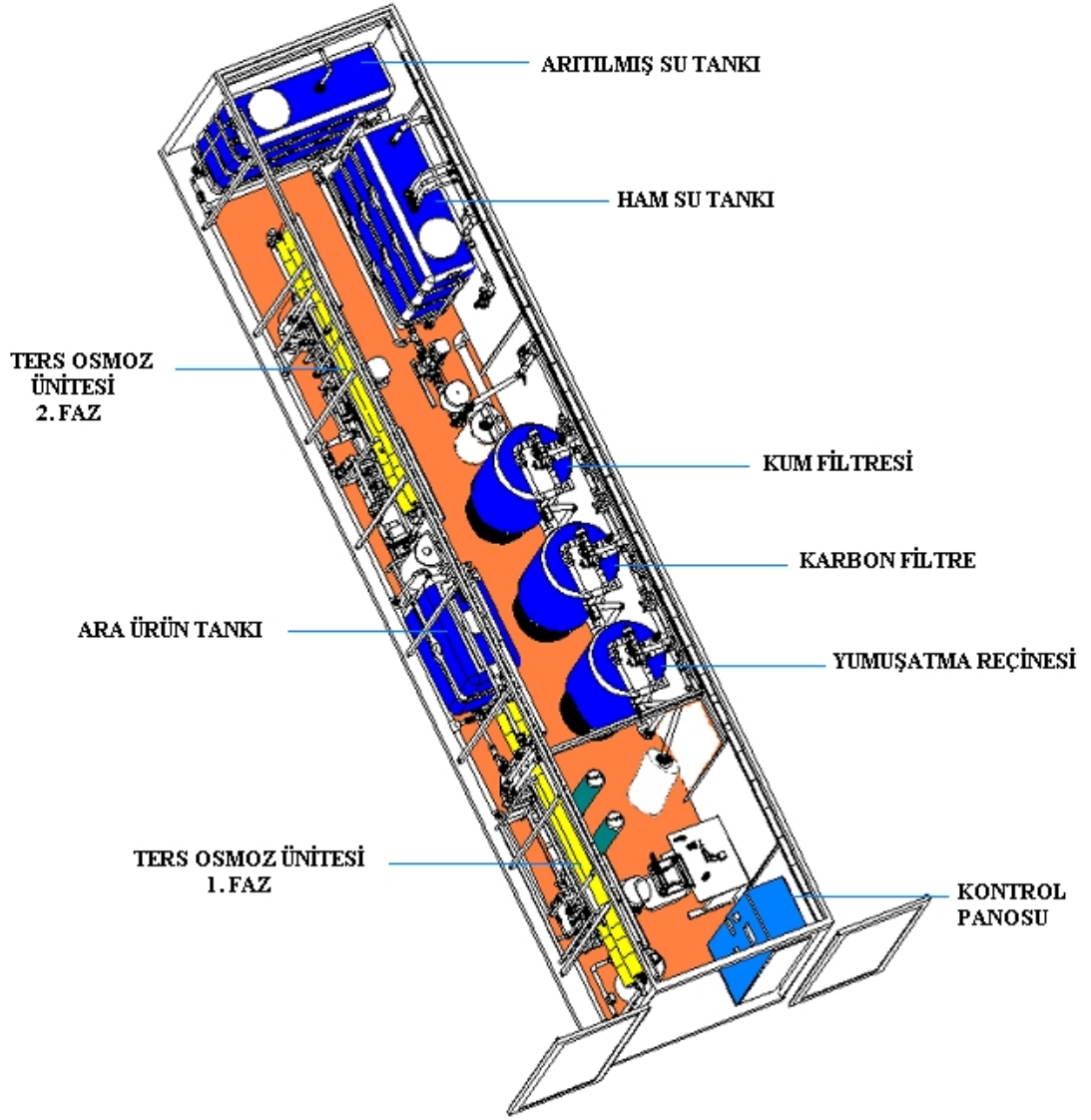
Çizelge 3.1 Mobil Pilot Arıtma Tesisi'nin genel özellikleri

Giriş suyu basınç aralığı	2 – 6 bar
Max ürün üretimi	120000 lt/gün
Max ürün debisi	5000 lt/saat
Ham su debisi	10000 lt/saat
Konsantre atıksu debisi	4000 lt/saat
Max giriş TDS	1500 ppm
Tuz Giderimi	> 90 %
Giriş Ph aralığı	6.5 - 7.5
Minimum giriş suyu sıcaklığı	12 °C
Maximum giriş suyu sıcaklığı	25 °C
Minimum çalıştırma hava sıcaklığı	4 °C
Maximum çalıştırma hava sıcaklığı	35 °C
Sistem giriş voltajı	380 V 50 Hz 3 Faz +/- 10%
Max güç tüketimi	22 KW
Boyutlar (L x H x Z)	12123 mm x 2795 mm x 2442 mm

Bor madenciliği, konsantre ve rafine bor üretimi, suyun bolca bulunduğu ve su kullanımının yoğun olduğu proseslerdir. Bu yüzden bor sektöründe atıksuların kontrolünü en iyi şekilde yapmak gerekir. Türkiye’de bor arıtımında bir ilk olan bu tesisin kuruluşunun temel amacı proses ve çevre sularını deşarj edilebilir özelliklere getirmek için başlatılan arge çalışmalarına yön vermektir. Mobil Pilot Arıtma Tesisi ocak tabanından sorunsuz su alabilmek ve arıtılmış su drenajını yapabilmek için en uygun şekilde açık ocak sahası içerisinde Simav Çayı’na yakın bir yere konuşlandırılmıştır.

3.1.1 Tesis Tanımı

Çökeltme tankları dışında atıksu arıtma sisteminin tamamı, boyutları (L:12m x H: 2,4m x W: 2,3m) olan konteyner içinde kurulmuştur. Şekil 3.2’de sistemin ana elemanlarının konteyner içindeki yerleşim şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Pilot atıksu arıtma tesisinin genel görünüşü

3.1.1.1 Çökeltme Tankları

Şekil 3.3'te resimleri gösterilmiş olan konteyner dışına yerleşik 10 ton kapasiteli 2 adet polietilen (P.E.) tank, girişte 90 μ 'luk filtreden geçen ham suyun içerisinde bulunan 90 μ altı partiküllerin ve kostik dozajından sonra koloidal yapıda oluşan CaCO₃ ve Mg(OH)₂'nin çökeltmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemle sudaki Ca ve Mg iyonları pH değerinin yükselmesiyle çökelmekte ve su sertliğinin bir kısmı giderilmektedir.



Şekil 3.3 Çökeltme tankları

3.1.1.2 Birinci Kademe pH Ayarlama Sistemi

Bu sistem membranlı dozaj pompası, kimyasal depolama tankı ve pH ölçüm probundan oluşmaktadır. PE malzemedен üretilmiş olan depolama tankı 100 litre kapasiteye sahiptir. Bu tank, içerisinde % 30 (h/h)'luk kostik ihtiva etmektedir. Kullanılan kostiğin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Kostik ilavesini yapan membranlı dozaj pompasının maksimum çalışma kapasitesi ise 10 litre/saat'tir. Kostik dozajı, ham suyun çökeltme tanklarına ulaşmasından önce, 90 mikronluk filtreyi geçtikten sonra yapılmaktadır. En fazla sarf edilen kimyasal kostik olduğu için bu depolama tankının dolumu çok sık periyotlarla yapılmaktadır. Yaklaşık 12 saatte bir boşalan depolama tankı tamamlanmaktadır.

Çizelge 3.2 Sıvı kostiğin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Ürün Adı	Sodyum Hidroksit (Sıvı Kostik)
Formülü	NaOH
Molekül Ağırlığı	40
Renk	Renksiz
Kaynama Noktası	120 °C
pH (1,0 M çözelti 20 °C)	14
Çözeltinin Tanımı	% 30'luk Kostik-su karışımı (kütle/kütle)
Koku	Kokusuz
Yoğunluk	1,32 g/cm ³

3.1.1.3 Klorlama Sistemi

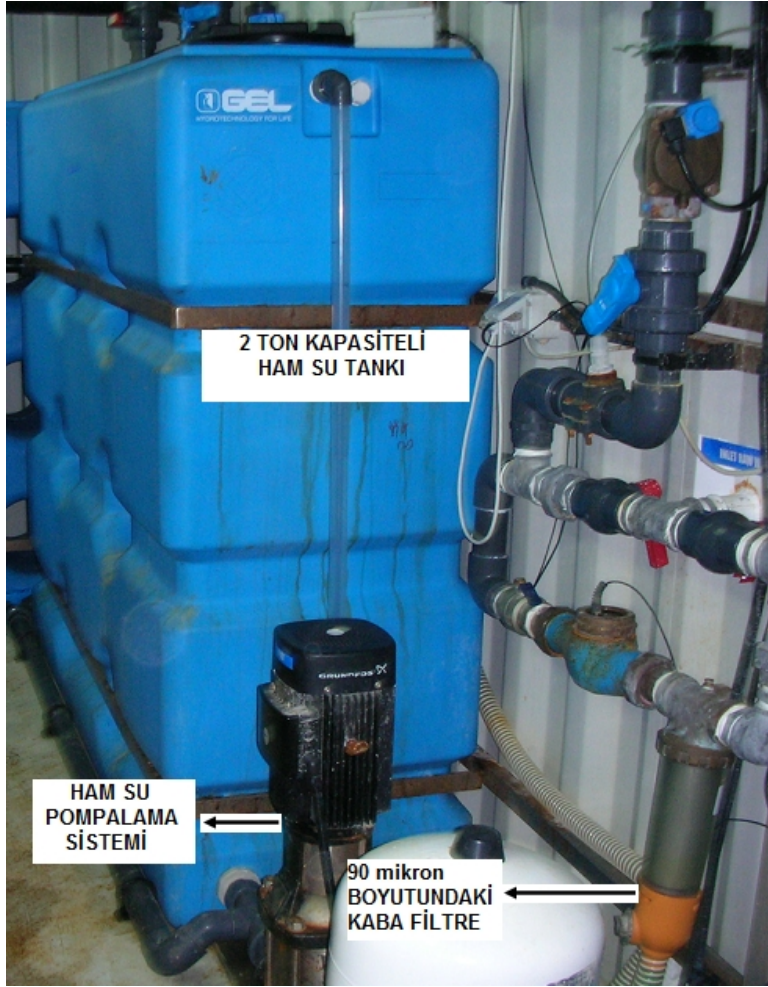
Sudaki patojen organizmaların yok edilmesi veya etkisiz hale getirilmesi için en yaygın metodlardan birisi klorlama yöntemidir. Arıtma tesisine beslenen ham su içerisinde mikrobiyolojik oluşumlar yoğun olmadığı halde güvenlik için proste klorlama işlemi uygulanmaktadır. Dozlama işlemi, 30 litre kapasiteye sahip bir konteyner içine seyreltilerek koyulan sodyum hipoklorit kimyasalının maksimum çalışma kapasitesi 4 litre/saat olan dozajlama pompası kullanılarak sabit atımda basılması ile yapılmaktadır. Çizelge 3.3'te klorlama sisteminde kullanılan sodyum hipokloritin fiziksel ve kimyasal özellikleri gösterilmiştir. Tesiste en az kullanılan kimyasal sodyum hipoklorit olduğundan, konteyner dolun periyodu en uzun olan sistem de klorlama sistemidir. Haftada bir konteyner dolunu sodyum hipoklorit seyreltilerek yapılmaktadır.

Çizelge 3.3 Sodyum Hipoklorit'in kimyasal ve fiziksel özellikleri

Ürün Adı	Sodyum Hipoklorit
Formülü	NaClO
Molekül Ağırlığı	74.4
Renk	Açık Yeşil-Sarı
Kaynama Noktası	101 °C
pH	11.50 – 13.00
Çözeltinin Tanımı	% 12 (mevcut klor)
Yoğunluk	1,165 g/cm ³

3.1.1.4 Ham Su Depolama Tankı

Çökeltme tanklarında gözle görülür partiküllerden arındırılmış, klor dozajı yapılmış ve bir miktar sertliği giderilmiş olan ham su, konteyner içinde kapasitesi 2 ton olan PE malzemedan üretilmiş tank içerisinde toplanır. Tankın resmi Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Ham su depolama tankı

3.1.1.5 Ham Su Pompalama Sistemi

Ham su tankında toplanan suyu sisteme istenen debi ve basınçta gönderebilmek için çok kademeli, santrifüj tip, paslanmaz çelikten yapılmış bir pompa yerleştirilmiştir. Pompanın nominal kapasitesi 10 m³/saat ve nominal gücü ise 2.2 kW'tır.

3.1.1.6 Kum Filtresi

Çok katmanlı kum filtresi, sudaki tortuyu ve askıda katı maddeleri, gidermek için kullanılmaktadır. Ters yıkamaları zamana bağlı olarak otomatik bir şekilde programlamak için filtre üzerinde dijital kontrol paneli bulunmaktadır. Hidroprnömatis valf ve kontrol paneli , plastik malzemeden ihtiva olmuştur. Çok katmanlı kum filtresinin gövdesi poliamid kaplı plastikten üretilmiştir ve 600 litrelik iç hacme sahip olan tank, filtre malzemesi olarak çok katmanlı kuvars kum ihtiva etmektedir. Çizelge 3.4'te kum filtresinin teknik özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Kum Filtresinin teknik özellikleri

Akış Hızı	10 m ³ /saat
Geri Yıkama Debisi	10 m ³ /saat
Max. Giriş Suyu Sıcaklığı	25 °C
Max. Ortam Sıcaklığı	40 °C
Rejenerasyon Süresi	25 dakika
Bağlantı Çapı	2"
Boyutlar	Yükseklik: 189 cm Çap: 89 cm

3.1.1.7 Aktif Karbon Filtre

Kum filtresinden sonra gelen aktif karbon filtre, serbest kloru, istenmeyen kokuları ve kimyasal kirleticileri (atrazin, hidrokarbonlar v.b.) uzaklaştırmada kullanılmaktadır. Çizelge 3.5'de resmi gösterilen karbon filtre, zaman sayaçlıdır ve ters yıkamaları zamana bağlı olarak otomatik şekilde programlayabilecek dijital kontrol paneli bulunmaktadır. Filtrenin hidroprnömatis valf ve kontrol paneli, plastik materyalden ihtiva olmuştur. Karbon filtrenin gövdesi poliamid kaplı plastikten üretilmiştir ve 600 litrelik iç hacme sahip olan tank içerisinde granül aktif karbon ihtiva etmektedir.

Çizelge 3.5 Aktif karbon filtrasyon ünitesinin teknik özellikleri

Akış Hızı	10 m ³ /saat
Geri Yıkama Debisi	10 m ³ /saat
Max. Giriş Suyu Sıcaklığı	25 °C
Max. Ortam Sıcaklığı	40 °C
Rejenerasyon Süresi	25 dakika
Bağlantı Çapı	2"
Boyutlar	Yükseklik: 189 cm Çap: 89 cm

3.1.1.8 Su Yumuşatma Ünitesi

Çökeltme tanklarında, kostik ilavesi ile Ca ve Mg iyonlarının bir kısmı giderilmiş olan ham su, sertliğe neden olan geride kalan Ca ve Mg iyonlarından su yumuşatma ünitesi ile kurtulmaktadır. Bu işlem tesis için son derece önemlidir aksi halde az bir miktar sertlik mevcut olsa dahi kostik ilavesiyle Ca ve Mg iyonları koloidal bir yapı oluşturmakta ve membranların yüzeyinde birikme meydana gelmektedir, bu durum da ters osmoz membranlarındaki basıncı zamanla arttırmakta ve sistem daha fazla enerji harcamaktadır. 600 litrelik kapasiteye sahip olan yumuşatma ünitesi, içerisinde sertliğe sebebiyet veren Ca ve Mg iyonlarını sudan uzaklaştıran ve bünyesine alan katyonik reçineyi barındırmaktadır. Yumuşatma ünitesindeki katyonik reçinenin 1 litresi 1 m³ suda 6 Fransiyum sertliği gidermektedir. Reçinenin rejenerasyonu tuzlu su ile yapılmaktadır. Rejenerasyonu zamana bağlı olarak otomatik şekilde programlayabilmek için ünite üzerinde digital kontrol paneli bulunmaktadır. Zamanlayıcıda giriş suyunun sertlik değeri fransiyum cinsinden girilerek, ünitenin rejenerasyon periyodu ayarlanabilmektedir. Sertlik değeri de ocak taban suyunda diğer parametreler gibi hava şartlarına göre değişmektedir dolayısıyla sisteme giren ham suda her ay sertlik analizi yapılarak kayda değer bir değişiklik olduğunda analiz sonucu elde edilen değer, zamanlayıcının hafızasına girilir. Bor giderimini gerçekleştirmek için yüksek pH'da çalışıldığı için sistemin bu aşaması büyük önem arz etmektedir. Tutulamadan geçen Ca ve Mg iyonları yüksek pH'da membranlar üzerinde çökelmekte ve membran basıncını arttırmaktadır. Şekil 3.5'te ön arıtma sistemine ait 3 adet filtrasyon tankının resimleri gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Ham su şartlandırma işlemini gerçekleştiren filtrasyon üniteleri

3.1.1.9 İkinci Kademe pH Ayarlama Sistemi

Su yumuşatma ünitesinden çıkan suyun pH değeri 1. faz ters osmoz sistemine giriş için uygun değere getirilmelidir. Çökeltme işlemini gerçekleştirmek için kostik dozajıyla pH değeri bir hayli yükseltilmektedir, su yumuşatma ünitesinden sonra mevcut olan asit tankı ile suyun pH değeri ilave edilen kostiğin membranların üzerinde aşırı yük oluşturmaması için uygun değere getirilmektedir.

Bu sistem membranlı dozaj pompası, kimyasal depolama tankı ve pH ölçüm probundan oluşmaktadır. PE malzemeden üretilmiş olan depolama tankı 100 litre kapasiteye sahiptir. Bu tank, içerisinde % 32 (h/h)'luk asit çözeltisi ihtiva etmektedir. Kullanılan asitin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Asit ilavesini yapan membranlı dozaj pompasının maksimum çalışma

kapasitesi ise 5 lt/saat'tir. Gelen suyun pH'ı, beslenen suyun debisinin ve sertlik değerinin değişkenliği sebebiyle asit dozajlama ünitesine farklı değerlerde ulaşmaktadır. Bu sebeple 100 litrelik tankın boşalma periyodu devamlı olarak değişmektedir.

Çizelge 3.6 İkinci kademe pH ayarlama sisteminde kullanılan asitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Ürün Adı	Hidroklorik Asit
Formülü	HCl
Molekül Ağırlığı	36.47
Renk	Renksiz
Kaynama Noktası	80 °C
pH (0.1 M çözelti)	1.00
Çözeltinin Tanımı	% 32 Asit – su karışımı (kütle/kütle)
Yoğunluk	1,159 g/cm ³

3.1.1.10 Birinci Faz Ters Osmoz Sistemine Girişteki Mikrofiltrasyon Üniteleri

Ters osmoz membranlarına giriş öncesi, güvenlik için bir mikrofiltrasyon sistemi konulmuştur. Membranların uzun ömürlü olması adına mikron boyutunda olan partiküller bu sistemde tutulmaktadır. Mikrofiltrasyon sisteminin giriş ve çıkışında, içleri gliserin ile doldurulmuş paslanmaz çelikten üretilmiş manometreler bulunmaktadır. Giriş ve çıkış manometreleri arasındaki farka bakılarak sistemde bulunan kartuşların değişimi yapılmaktadır. Sistemin güvenli bir şekilde çalışması için drenaj muslukları ve kartuş değişimlerinin sorunsuz gerçekleştirilmesi için hava alma boruları monte edilmiştir. Bu sistem iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım, filtrasyon hassasiyeti 20 mikron olan, korozyona dayanıklı polipropilen iplikten üretilen 7 adet 40" boyutunda kartuş filtre ihtiva etmektedir. Bu ünitenin dayanabileceği maksimum basınç değeri 8 bar'dır. İkinci kısım ise filtrasyon hassasiyeti 5 mikron olan, korozyona dayanıklı 7 adet 40" boyutunda kartuş filtre ihtiva etmektedir. Bu ünitenin de bir önceki ünite gibi dayanabileceği maksimum basınç değeri 8 bar'dır. Şekil 3.6'da mikrofiltrasyon ünitelerinin resimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Birinci faz ters osmoz sisteminin girişindeki mikrofiltrasyon ünitelerine ait ekipmanlar

3.1.1.11 Birinci Faz Ters Osmoz Sistemine Ait Antiskalant Dozajlama Ünitesi

Antiskalant, ters osmoz sistemlerinde kullanılan, membran elementlerinin tıkanmasını geciktiren kimyasalın genel ismidir. Membran yüzeyindeki tıkanmanın sebebi silika, kalsiyum ve magnezyum gibi iyonlardır. Kireç önleyici olarak da tanımlanan antiskalantlar, yüksek kireç ve kirlilik çözme kapasitesi ile yüzey birikimini önleyerek membran elementlerinin temizlenme sürelerini uzatmaktadır. Kostik ilavesi ile yüksek pH değerleriyle çalışan Bor Arıtma Tesisi'nde antiskalant kullanımı membranlar açısından büyük önem taşımaktadır. Çizelge 3.7'de sistemde kullanılan antiskalant kimyasalının fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.7 Sistemde kullanılan antiskalantın fiziksel ve kimyasal özellikleri

pH	1,50 (23 °C)
Özgül Ağırlık	1,16 (20 °C)
Donma Noktası	-30 °C
Dozajlama Aralığı	2 – 10 ppm
Kimyasal Yapısı	Fosforsuz, Poliakrilik Asit
Fiziksel Görünüm	Sıvı
Parlama Noktası	> 100 °C
Tutuşma Derecesi	> 200 °C
Viskozite	150 mPa.s (23 °C)
COD	700 mg/g

Antiskalant dozajlama sistemi; membranlı dozaj pompası, kontrol paneli, emme ve basma boruları, kimyasal içindeki katı partiküller için filtre, seviye probu ve PE malzemeden üretilmiş 100 litrelik kapasiteye sahip depolama tankından oluşmaktadır. Antiskalant dozajını yapan membranlı dozaj pompasının kapasitesi 4 litre/saat'tir. Tankın dolumu 3 günde bir yapılmaktadır.

3.1.1.12 Birinci Faz Ters Osmoz Sistemi

Birinci kademe ters osmoz ünitesinden saatte yaklaşık 10 m³(maksimum değer) su geçebilmektedir. Normal şartlar altında, arıtılmış su akış debisi 6 m³/saat'tir. Arıtılmış su ve konsantre su basıncı 2 bar civarındadır. Sistem yine normal şartlar altında 13 -15 bar arasında çalışmaktadır. Ortam şartlarına göre pano üzerinde bulunan inverter kullanılarak daha düşük basınçlarda da çalışmak mümkündür. Sistem verimi maksimum % 60'a kadar çıkabilmektedir. Bu değer göz önüne alındığında 10 m³/saat kapasite ile çalışan 1. kademe ters osmoz sisteminin atık su debisi de 4 m³/saat olacaktır. Birinci faz ters osmoz sistemi; membranlar, düşük basınç ve yüksek basınç hatları, yüksek basınç pompası, arıtılmış su ve atıksu debi ölçerleri ve basınç göstergelerinden oluşmaktadır. Sistemin resmi Şekil 3.7'de sisteme ait ekipmanların özellikleri ise Çizelge 3.8, Çizelge 3.9, Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Ters osmoz membranları (1. faz)

Membran malzemesi	Poliamit
Kılıf çapı	8 cm
Kapanış tipi	3 segmentli
Membran sayısı	6

Çizelge 3.9 Borulama (1. faz)

Düşük basınç borusu malzemesi	PVC
Yüksek basınç borusu malzemesi	Paslanmaz çelik
Düşük basınç borusu valf malzemesi	Paslanmaz çelik

Çizelge 3.10 Yüksek basınç pompası (1. faz)

Pompa tipi	Çok kademeli dikey tip santrifüj
Pompanın gücü	11 kW
Malzeme	Paslanmaz çelik
Besleme	380-50 Hz - T

Çizelge 3.11 Debi ölçerler (1. faz)

N° Ölçüm	3 (Ara ürün, Konsantre, Geri Dönüşüm)
Tipi	Hall Etkili



Şekil 3.7 Birinci faz ters osmoz sistemi

3.1.1.13 Üçüncü Kademe pH Ayarlama Sistemi

3. kademe pH ayarlama sistemi, 1. faz ters osmoz ünitesinden, pH değeri giriş değerine göre düşük olarak çıkan arıtılmış suyun pH değerini, ilk aşamada tutulamayan Bor'un giderimini gerçekleştirebilmek adına uygun aralıklarda tutmak için sisteme dahil edilmiştir. Kimyasal depolama tankı, dozaj pompası ve pH ölçüm probu bu sistemi oluşturmaktadır. 100 litrelik kapasiteye sahip depolama tankı içerisinde kostik ihtiva etmektedir. Tank içerisindeki kostik – su karışımı çözelti % 5.67 (kütle/kütle)'lidir. Dozajlama işlemini yapan sayaçlı membran pompasının maksimum çalışma kapasitesi 5 litre/saat'tir. Tankın dolun periyodu giriş suyunun pH değerine göre değişmektedir.

3.1.1.14 Ara Ürün Stok Tankı

Birinci faz ters osmoz ünitesinden çıkan arıtılmış su, kostik dozajıyla pH değeri yükseltilerek ara ürün stok tankında toplanmaktadır. Şekil 3.8'de resmi gösterilen ara ürün stok tankı PE malzemeden üretilmiş olup, 1 tonluk kapasiteye sahiptir.



Şekil 3.8 Ara ürün stok tankı

3.1.1.15 Ara Ürün Pompalama Sistemi

Ara ürün stok tankında toplanan arıtılmış su, paslanmaz çelik yatay tip çok kademeli santrifüj pompa ile 2. faz ters osmoz sistemi girişindeki mikrofiltrasyon sistemine basılmaktadır. Pompanın nominal kapasitesi 10 m³/saat, nominal gücü ise 4 kW'tır.

3.1.1.16 İkinci Faz Ters Osmoz Sistemine Girişteki Mikrofiltrasyon Ünitesi

İkinci kademe ters osmoz membranlarına giriş öncesi, güvenlik için bir mikrofiltrasyon sistemi konulmuştur. Ara ürün tankında muhafaza edilen suyun içerisine membranlara olumsuz etkileri olabilecek partiküllerin kaçması muhtemeldir. Bu yüzden ara ürün pompasından sonra 3 adet 20" boyutunda kartuş filtre sisteme dahil edilmiştir. Kartuş filtrelerin filtrasyon hassasiyeti 5 mikrondur. Şekil 3.9'da ikinci faz ters osmoz sisteminin girişinde bulunan mikrofiltrasyon ünitelerinin resimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9 İkinci faz ters osmoz sisteminin girişindeki mikrofiltrasyon ünitesine ait ekipmanlar

3.1.1.17 İkinci Faz Ters Osmoz Sistemine Ait Antiskalant Dozajlama Ünitesi

Antiskalant dozajlama sistemi, hem 1. faz ters osmoz sisteminde hem de 2. faz ters osmoz sisteminde aynı ekipmanlardan oluşmaktadır; membranlı dozaj pompası, kontrol paneli, emme ve basma boruları, kimyasal içindeki katı partiküller için filtre, seviye probu ve PE malzemeden üretilmiş 100 litrelik kapasiteye sahip depolama tankı. Antiskalant dozajını yapan membranlı dozaj pompasının kapasitesi 4 litre/saat'tir. Tankın dolumu 3 günde bir yapılmaktadır. Kullanılan kimyasalın özellikleri Çizelge 3.8'de gösterilmiştir. Seyreletme oranı, 2. faz sisteme ait antiskalant dozajlama ünitesinde 1. faza göre iki kat daha fazladır.

3.1.1.18 İkinci Faz Ters Osmoz Sistemi

İkinci kademe ters osmoz ünitesinden normal şartlar altında saatte yaklaşık 6 m³ su geçmektedir. Yine normal şartlar altında, arıtılmış su akış debisi 5 m³/saat, konsantre su akış debisi ise 1 m³/saat'tir. Arıtılmış su ve konsantre su basıncı 2 bar civarındadır. Sistem yine normal şartlar altında 8 - 10 bar arasında çalışmaktadır. Ortam şartlarına göre pano üzerinde bulunan inverter kullanılarak daha düşük basınçlarda veya daha yüksek basınçlarda çalışmak mümkündür. Sistem verimi, 2. kademe ters osmoz ünitesi için verilen normal şartlar altındaki arıtılmış su miktarı ve işlenen su miktarı gözetilerek % 83.3 olarak hesaplanmıştır. İnverter kullanılarak pompa basıncı arttırıldığında daha yüksek verimler elde etmek de mümkündür. İkinci faz ters osmoz sistemi; membranlar, düşük basınç ve yüksek basınç hatları, yüksek basınç pompası, arıtılmış su ve atıksu debi ölçerleri ve basınç göstergelerinden oluşmaktadır. Sistemin resmi Şekil 3.10'da, sisteme ait ekipmanların özellikleri ise Çizelge 3.12, Çizelge 3.13, Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 Ters osmoz membranları (2. faz)

Membran malzemesi	Poliamit
Kılıf çapı	8 cm
Kapanış tipi	3 segmentli
Membran sayısı	4

Çizelge 3.13 Borulama (2. faz)

Düşük basınç borusu malzemesi	PVC
Yüksek basınç borusu malzemesi	Paslanmaz çelik
Düşük basınç borusu valf malzemesi	Paslanmaz çelik

Çizelge 3.14 Yüksek basınç pompası (2. faz)

Pompa tipi	Çok kademeli dikey tip santrifüj
Pompanın gücü	7.5 kW
Malzeme	Paslanmaz çelik
Besleme	380-50 Hz – T

Çizelge 3.15 Debi ölçerler (2. faz)

N° Ölçüm	3 (Ara ürün, Konsantre, Geri Dönüşüm)
Tipi	Hall Etkili



Şekil 3.10 İkinci faz ters osmoz sistemi

Birinci ve ikinci faz ters osmoz sistemlerinde kullanılan membranlar aynı tip, marka ve modele sahiptir. Enerji Tasarruflu Poliamit malzemedan mamul, son dönemde içme ve atık su tesislerinde, şişeleme ve sanayi tesislerinde sıkça kullanılan **Hydranautics** marka **ESPAB+** model ters osmoz membranları Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'ne kurulan Mobil Pilot Arıtma Tesisi'nde de kullanılmıştır. Çizelge 3.16'da membran özellikleri verilmiştir.

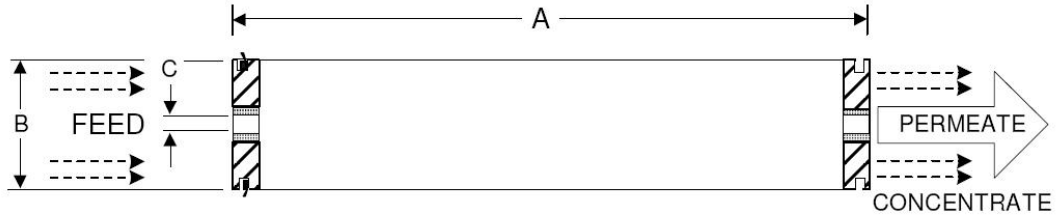
Çizelge 3.16 Hydranautics ESPAB+ Membran özellikleri [21]

	MEMBRAN ANA UNSURLARI	ESPAB+
PERFORMANS	Süzüntü Akış Hızı	34.1 m ³ /gün
	Tuz Giderimi	% 99.3 (99.0 min.)
	Bor Giderimi (Ortalama) at pH=10	% 99.6
TİP	Konfigürasyon	spiral sarım
	Membran Polimer	Kompozit Poliamit
	Membran Aktif Alanı	40.8 m ²
UYGULAMA VERİLERİ	Uygulanan Maksimum Basınç	41.37 bar
	Maksimum Klor Konsantrasyonu	< 0.1 ppm
	Maksimum İşletme Sıcaklığı	45 °C
	pH aralığı	2 - 11
	Maksimum Giriş Bulanıklığı	1.0 NTU
	Maksimum Giriş SDI(15 dak.)	5.0
	Maksimum Giriş Akış Hızı	17.0 m ³ /saat
	Herhangi bir element için; Minimum "Konsantre / Süzüntü" Akış Hızı Oranı	5:1
	Her element için Maximum Basınç Düşüşü	0.69 bar

Mobil Pilot Arıtma Tesisi'nde kullanılan membranların resimleri Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Şekil 3.12'de ise membranların boyutları, yan kesit profili ile birlikte verilmiştir.



Şekil 3.11 Mobil Pilot Arıtma Tesisi'nde kullanılan membranlar a) Yandan görünüm b) Üstten görünüm



A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Weight, lbs. (kg)
40.0 (1016)	7.89 (200)	1.125 (28.6)	36 (16.4)

Şekil 3.12 Hydranautics ESPAB+ Membran boyutları [21]

3.1.1.19 Dördüncü Kademe pH Ayarlama Sistemi

Ters osmoz sistemleri genellikle, 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”nde yer alan “Kıtaiçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” başlıklı tablosuna göre, 1. sınıf kalitede arıtılmış su üretmektedir. Yönetmelikteki bu tabloya göre 1. sınıf kaliteye giren suların pH değeri 6.5 – 8.5 arasında olmalıdır. Bu yüzden Mobil Pilot Arıtma Tesisi’ne son bir pH ayarlama sistemi eklenmiştir. 4. kademe pH ayarlama sistemi, kimyasal depolama tankı, dozaj pompası ve pH ölçüm probundan oluşmaktadır. 100 litrelik kapasiteye sahip depolama tankı içerisinde aşırı seyreltik asit çözeltisini ihtiva etmektedir. Tank içerisindeki asit - su karışımı çözelti % 0.50 (kütle/kütle)’lidir. Dozajlama işlemini yapan sayaçlı membran pompasının maksimum çalışma kapasitesi 5 litre/saat’tir. Tankın dolun periyodu çıkış suyunun pH değerine göre değişmektedir.

3.1.1.20 Arıtılmış Su Deposu

İkinci faz ters osmoz ünitesinden çıkan arıtılmış su, pH değeri 6.5 – 8.5 arasına getirilerek arıtılmış su deposu toplanmaktadır. Stok tankı PE malzemeden üretilmiş olup, 2 tonluk kapasiteye sahiptir. Burada toplanan temiz su bir pompa vasıtasıyla Simav Çayı’na gönderilmektedir.

3.1.2 Proses Tanımı

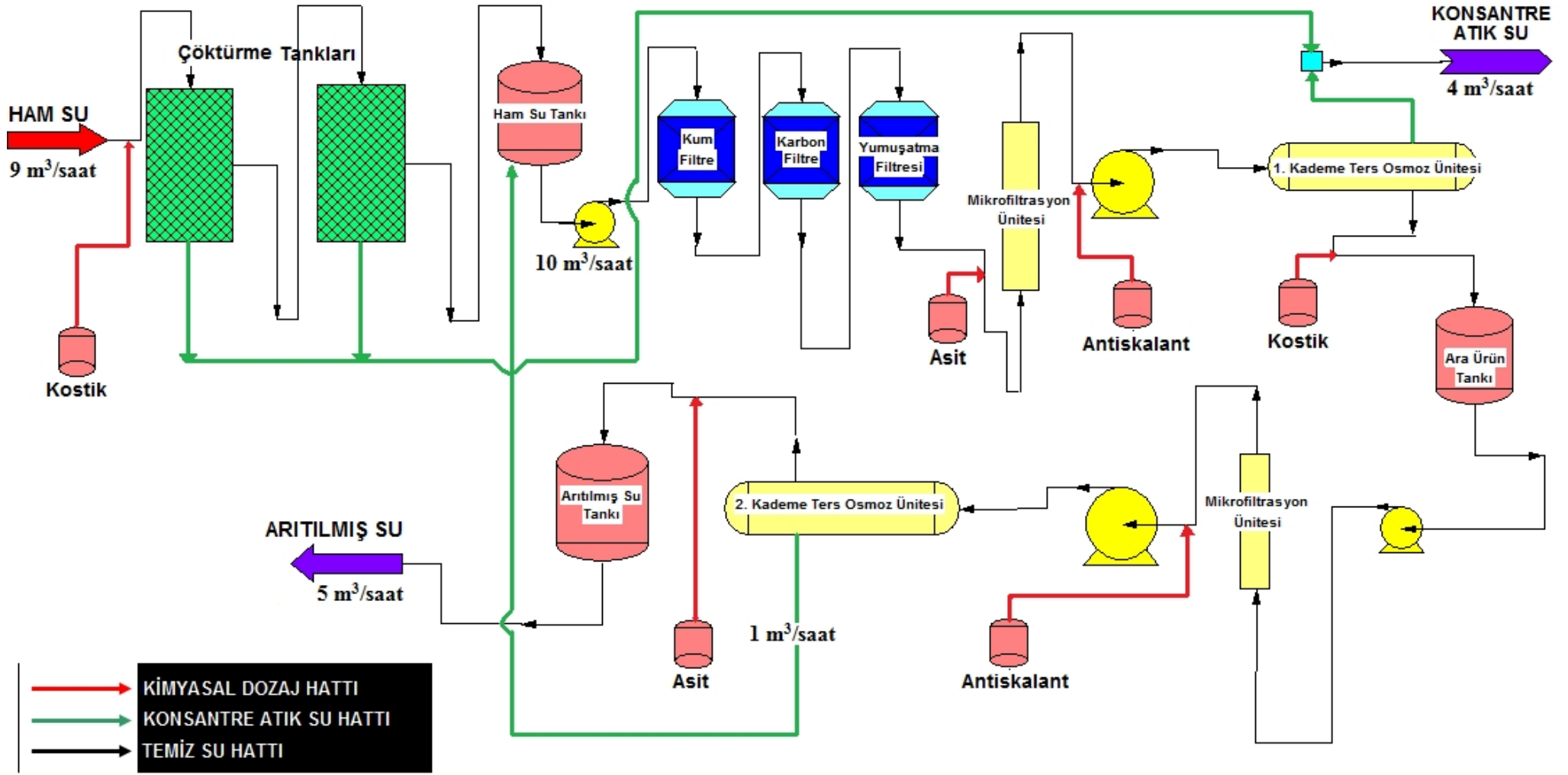
Simav Açık Ocak taban suyu, biri 200 kW diğeri 160 kW gücünde iki adet pompa ile pompaların seviyesinden 110 metre yüksekte bulunan Mobil Pilot Bor Arıtma Tesisî'nin girişine basılmaktadır. Yüksek basınç ile gelen ham suyun basıncı bir regülatör vasıtasıyla, tesis için en uygun basınç değerine getirilerek sisteme girmesi sağlanmaktadır. Arıtma Tesisî'nin genel özelliklerinde belirtildiği gibi uygun basınç değeri aralığı 2 – 6 bar'dır. Değişkenlik arz etmesine rağmen genelde ham su 3 bar giriş basıncı değerine sahiptir. Giriş kısmında bulunan 3 adet küresel vana ile debi ayarı da yapılmaktadır. Konteyner içine giren ham su, 90 µ boyutundaki katı partikülleri tutan kaba filtreden geçtikten sonra, dezenfeksiyon için klorlanmakta ve çökelme işleminin gerçekleşebilmesi için kostik dozajıyla uygun pH aralığına getirilmektedir. Yapılan çalışmalar çökelme işleminin uygun biçimde gerçekleşebilmesi için pH değerinin 10.50 – 11.20 arasında olması gerektiğini göstermiştir. 11.20 değerinin üzerine çıkılmasının, çökelek oluşumu ve oluşum hızında herhangi bir etki yapmadığı, sadece kostik sarfiyatını arttırdığı gözlemlenmiştir. Çizelge 3.17'de çökelme tanklarının dibinde oluşan çökeleğin kimyasal ve mineralojik analizi verilmiştir. Çökelek içindeki parametreler; ham suyun hava şartlarına bağlı konsantrasyon değişimlerine, ortam sıcaklığına ve ocak taban suyu seviyesinin düşmesiyle ham su içerisindeki askıda katı madde miktarının artmasına bağlı olarak aşırı değişimler göstermektedir. Çizelge 3.18'de verilen aralıklar, belirli periyotlarla alınan çökelek numunelerinin analiz sonuçlarından yola çıkılarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.17 Çökeltme tanklarında oluşan çökeleğin kimyasal ve mineralojik analizi

Parametreler	Birim	Sonuç
B ₂ O ₃	%	3.23 – 8.67
CaO	%	26.09 – 37.35
MgO	%	8.70 – 16.24
SrO	%	1.82 – 3.57
Na ₂ O	%	1.27 – 4.02
Fe ₂ O ₃	%	0.16 – 0.05
Li	mg/L	150 – 200
Al	mg/L	715 – 1018
As	mg/L	1183 – 5143
K	mg/L	302 – 567
XRD ANALİZİ (mineralojik analiz)		CaCO ₃ Mg(OH) ₂

Çökeltme tanklarında gerçekleşen dozajlama işlemi ile sertlik değerinde yaklaşık yarı yarıya bir düşüş sağlanmaktadır, reaksiyonun daha iyi gerçekleştiği sıcak havalarda sertlik düşüşü daha fazla olmaktadır. Sertliği bir miktar azaltılmış ham su konteyner içindeki ham su depolama tankına gelmektedir. Burada toplanan ham su, ters osmoz membranlarına giriş öncesinde şartlandırılmak amacıyla bir hidrofor vasıtasıyla filtrasyon tanklarına gönderilir. Kum filtresinde, su içerisindeki askıda katı maddeler tutulur, karbon filtrede serbest klor ile organik kimyasal kirleticileri tutularak istenmeyen kokular giderilir ve ham su, içerisinde katyonik reçine barındıran yumuşatma tankından geçirilerek çökeltme işleminden sonra geride kalan Ca ve Mg iyonlarının giderilmesi sağlanır. Yumuşatma tankından çıkan suyun sertliği 2 Fr değerini geçmemektedir, bu durumda yüksek pH değeriyle çalışılmasına rağmen ters osmoz membranları için bir sıkıntı oluşturmamaktadır. Çökeltme işlemini gerçekleştirmek için yükseltilebilir pH değerinin tekrardan uygun aralığa getirilebilmesi için asit dozlanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken konulardan biri, 1. kademe ters osmoz membranlarının üzerine aşırı yük bindirmemektir. Suda çözünmüş halde bulunan iyonik maddelerin giderilmesini sağlayan ilk ekipman 1. kademe ters osmoz ünitesi olması sebebiyle, pH değerini aşırı derecede yükseltmek, membranlara kostikten dolayı ekstra bir yük getirecektir. Dolayısıyla membranlara giriş öncesinde 2. kademe pH ayarlama sistemi ile suyun pH değeri uygun aralıklara getirilmektedir.

Filtrasyon tanklarından çıkan su, içeriğinde membran yüzeylerinde birikim yapabilecek mikron boyutundaki partiküllerin sisteme girmemesi için ilk önce 20 mikron daha sonra 5 mikron boyutundaki kartuşları barındıran mikrofiltrasyon sisteminden geçerek, 1. kademe ters osmoz ünitesine ait 11kW gücündeki pompa vasıtasıyla ters osmoz membranlarına basılır. Membranlara giriş öncesi, yüzey birikimini önlemek amacıyla suya antiskalant dozlanır. Sistemin dizayn kapasitesi 10 m³/saat'tir fakat 2. kademe ters osmoz sisteminin, konsantre atıksuyu tekrardan konteyner içindeki ham su depolama tankına gönderilmektedir, dolayısıyla arıtma tesisinin işlediği ham su miktarı 9 m³/saat civarındadır. Kontrol panosu üzerindeki "inverter"lar kullanılarak işlenen su miktarında değişiklikler yapılabilmektedir. Ters osmoz ünitesine giren suyun ve çıkan arıtılmış suyun iletkenlik ve sıcaklık değerleri, konsantre atıksuyun ve arıtılmış suyun debisi, her iki kademe ters osmoz ünitesi için de kontrol panosundan dijital olarak okunabilmektedir. 1. kademe ters osmoz ünitesinden çıkan arıtılmış su, ara ürün deposunda stoklanmakta, konsantre su ise atıksu hattına gönderilmektedir. Arıtılmış su, ara ürün tankına gönderilmeden önce 3. kademe pH ayarlama sistemi ile pH değeri uygun aralıklara getirilmektedir. Membranlardan geçen suyun pH değeri düşmüştür ve bor giderimi için 2. kademe ters osmoz ünitesine, arıtılacak olan su yüksek pH değeri ile girmelidir. 4 kW nominal güce sahip bir pompa vasıtasıyla ara ürün tankında 3. kademe pH ayarlama sistemi ile pH ayarı yapılarak stoklanan su, 2. kademe ters osmoz ünitesi öncesinde konuşlandırılmış 3 adet 5 µ boyutundaki kartuş filtrelerden geçmektedir. Bu sayede ara ürün tankına bulaşabilecek katı partiküller burada tutulabilmektedir. 2. kademe ters osmoz membranlarına giriş öncesinde suya antiskalant kimyasalı dozlanır. Ardından su, 7.5 kW gücündeki pompa ile ters osmoz membranlarına gönderilir. Buradan çıkan konsantre su tekrardan sisteme beslenir, arıtılmış su ise 4. kademe pH ayarlama sistemi ile yönetmeliklerde 6.5 – 8.5 olarak belirlenen sınır değerleri gözetilerek uygun pH değerine getirilip, arıtılmış su deposunda toplanır ve ardından bir hidrofor vasıtasıyla Simav Çayı'na basılır. 2. kademe ters osmoz sisteminden çıkan konsantre su, arıtma tesisine beslenen ham suya nazaran çok daha kaliteli bir sudur. Bundan dolayı tesise tekrardan beslenmektedir ve bu sayede tesis veriminde de artış olmaktadır. Şekil 3.13'te Arıtma Tesisi'nin akım şeması gösterilmektedir.



BİGADIÇ BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ ARITMA TESİSİ AKIM ŞEMASI

Şekil 3.13 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav Açık Ocak Taban Suyu Bor Arıtımı Mobil Pilot Tesisi Akım Şeması

3.1.3 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

Çökeltme tanklarının dibinde oluşan çökeleğin mineralojik analizi, Rigaku marka *D/MAX-2200 Ultima+/PC model X-Işını Difraktometresi* ile gerçekleştirilmiştir. XRD cihazı, malzemelerin kristalografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesini sağlayan hasarsız analiz yöntemiyle ölçüm yapmaktadır [22].

Toz numunelere uygulanan X-ışını difraksiyonu sonucu kristal yapısının yanısıra, tane boyutu ve tercihli yönlenme gibi özellikler belirlenebilir. Aynı zamanda, içerdiği fazlar hakkında bilgi sahibi olunmayan numunelerin analizi sonucunda elde edilen verilerin ilgili veri tabanı ile karşılaştırılması sonucu numunenin içerdiği fazlar belirlenebilir [22]. Çökeltme tanklarının dibinden alınan katı sıvı karışımı numuneler etüvlerde kurutulup suyundan arındırıldıktan sonra, katı malzeme halkalı değirmende öğütülüp XRD analizi için hazır hale getirilmiştir.

Aynı çökelek numunesinde, elementel analiz ise X-Işını Floresan Spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizde *Rigaku marka ZSX Primus II model XRF cihazı* kullanılmıştır.

X-Işını Floresan (XRF) spektroskopisi elementel analiz ve kimyasal analiz amacıyla kullanılan bir yöntemdir. X-ışınlarına maruz kalan malzemelerin atomları iyonize olurlar. İyonize olan atomlar bir veya daha fazla sayıda elektron kaybederler. Yüksek enerjili x-ışınları atomların daha içteki yörüngelerinden elektronların koparılmasını sağlayabilir. İç yörüngeden elektron yitilmesi bu yörüngede bir boşluk oluşmasına ve üst yörüngelerdeki elektronları bu boşluğu doldurmasına neden olmaktadır. Bu durumda iki yörünge arasındaki enerji farkına karşılık gelecek şekilde foton biçiminde enerji açığa çıkar. Bu ışıma malzemede bulunan atomların karakteristik enerjisine sahip radyasyon biçiminde gerçekleşir. Bu enerjilerin tespit edilmesi ile malzeme niceliksel ve niteliksel olarak karakterize edilir [23].

Alınan su numunelerinde bor analizleri için *Hach Lange marka DR5000 model UV-VIS Spektrofotometre cihazı* kullanılmıştır. DR5000 Spektrofotometre, görünür ve ultraviyole dalgaboylarında test yapmak için kullanılır ve 190-1100 nm dalgaboyu aralığında tarama yapabilmektedir. İç aksamında bulunan gazlı tungsten

lamba görünür spektrumda (320-1100 nm), döteryum lamba ise UV spektrumda (190-360 nm) ışık yayar.

3.2 Yöntem

Bor analizi, belirli zamanlarda sistem parametrelerini değiştirerek alınan numunelerde, 10 ppm bor konsantrasyonunun altında olan değerlerde UV Spektrofotometre cihazını kullanarak “Karmin Yöntemi” ile gerçekleştirilmiştir. Bu metot, karminin derişik sülfürik asit içindeki çözeltisi ile Bor’un konsantrasyonuna bağılı olarak verdiği kırmızı rengin ışık absorbsiyonunun spektrofotometrede okunması esasına dayanır. Bu metot, 1. kademe ve 2. kademe ters osmoz ünitelerinden çıkan arıtılmış suyun analizinde kullanılmıştır. 10 ppm bor konsantrasyonu değerinin üzerinde konsantrasyona sahip numunelerde ise volumetrik (titrasyon) metot kullanılmıştır.

3.2.1 Karmin Yöntemi

Bor, sülfürik asitin varlığında karminik asit ile borun reaksiyonu sonucu oluşan kırmızımsı mavimsi rengin ışık absorbsiyonunun spektrofotometrede okunması ile analiz edilmektedir. Rengin yoğunluğu numunenin bor konsantrasyonu ile doğru orantılıdır.

Spektrofotometre, saf su cihazı, desikatör, etüv, saat camı, huni, 1 L’lik balon joje, 125 mL’lik konik balon, 100 mL’lik cam beher veya balon joje deneyde kullanılan aygıtlar ve laboratuvar malzemeleridir.

% 98 (kütle/kütle)’lik sülfürik asit, % 37 (kütle/kütle)’lik hidroklorik asit, karminik asit (% 98’lik sülfürik asit içinde ağırlıkça % 0.05’lik karmin çözülür [0.92 g/L]. Hazırlanan karminik asit çözeltisi 1 haftadan fazla kullanılmaz), borik asit çözeltisi (1000 ppm bor) ya da stok bor çözeltisi (5.719 gram %99.9999’luk ultra saf borik asitin saf su içerisinde çözülmesiyle elde edilir. Bu işlemde önce saf borik asit 50 °C’de 6 saat boyunca etüvde bekletilerek nemi giderilir.) karmin yönteminde kullanılan kimyasallardır.

Kalibrasyon eğrisinin çizilmesi için izlenen yol aşağıda aktarılmıştır;

- Hazırlanan 1000 ppm bor konsantrasyonuna sahip stok bor çözeltisi 1:10 oranında saf su ile seyreltilerek bor konsantrasyonu 100 ppm'e düşürülür. Bu çözeltiden 0 – 2.5 – 5 – 7.5 – 10 mL çekilerek 100 mL'lik balon jöjelere koyulur. Bu 5 çözelti cihazın standart çözeltileridir. "0" olarak ifade edilen hacimde 100 mL'lik balon jöje tamamen saf su ile doldurulur ki bu numune kör olarak spektrofotometrede okutularak cihazı sıfır optik yoğunluğuna ayarlamaktadır.

- Hazırlanan standart çözeltilerin her birinden 100 mL'lik cam beherlere 2'şer mL alınır.

- Bütün standart çözeltilere 2'şer damla % 37'lik HCl eklenir.

- 10 mL % 98'lik H₂SO₄ azar azar ve dikkatlice çözeltilerin üzerine eklenir.

- Asit eklentisiyle ısınan çözeltilerin oda sıcaklığına gelmesi için beherler saat camı ile kapatılıp 30 dakika bekletilir.

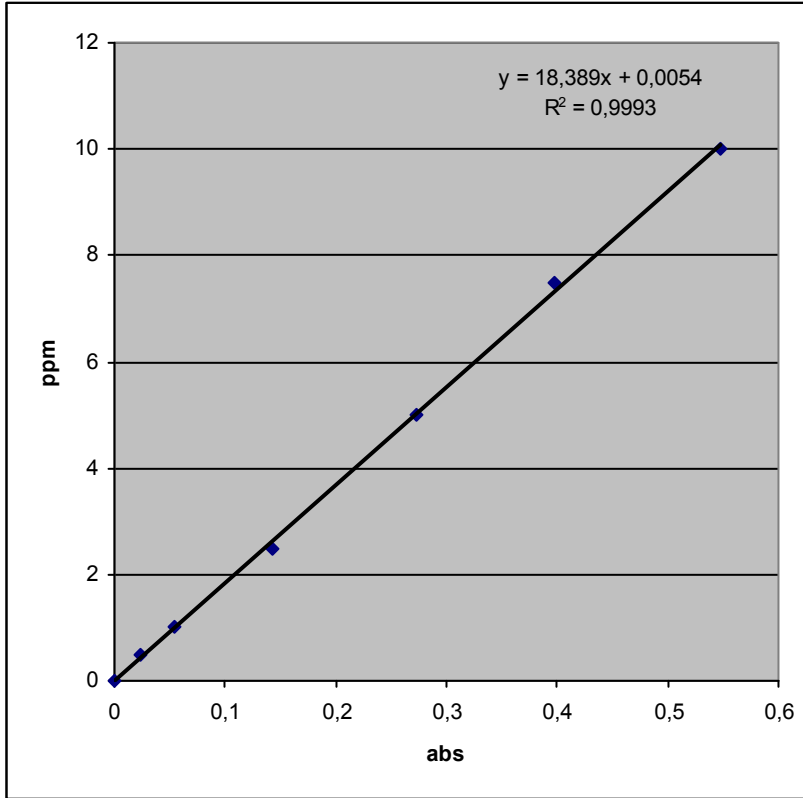
- Soğuma işleminden sonra her behere 10 mL karminik asit çözeltisinden ilave edilerek dikkatlice karıştırılır ve tekrar saat camları ile kapatılarak 60 dakika beklemeye alınır.

- Spektrofotometre 585 nanometre dalga boyuna ayarlanıp KÖR (borsuz çözelti) ile "0" optik yoğunluğuna ayarlanır.

- Standartlar cihazda okutularak optik yoğunlukları (absorbans) ölçülerek kaydedilir.

- Standart çözeltilerin mg/L (ppm) olarak bor konsantrasyonları dikey eksene, optik yoğunluk (absorbans) değerleri yatay eksene yazılarak kalibrasyon eğrisi oluşturulur. Örnek kalibrasyon eğrisi Şekil 3.14'te verilmiştir.

Standart Çözeltilerin Bor Konsantrasyonu (ppm)	Optik Yoğunluk Değerleri (abs)
0	0
0,5	0,023
1	0,054
2,5	0,143
5	0,273
7,5	0,398
10	0,548



Şekil 3.14 Kalibrasyon eğrisi örneği

Numuneler üzerinde yapılan bor analizi aşağıda aktarıldığı gibidir;

- Su numunesinden 100 mL'lik cam beherlere 2 mL alınır.
- 2 damla % 37'lik HCl eklenir.
- 10 mL % 98'lik H₂SO₄ azar azar ve dikkatlice eklenir.
- Beherin üzeri saat camıyla kapatılarak 30 dakika soğumaya bırakılır.
- Ardından 10 mL karminik asit eklenir.
- Tekrardan saat camı kapatılarak 60 dakika beklemeye alınır.
- Borsuz çözeltiye karşı 585 nm dalga boyunda "0" optik yoğunluğuna ayarlanan cihazda okutularak absorbans değeri kaydedilir.

- Standart çözeltilerle çizilen kalibrasyon grafiği baz alınarak bulunan absorbanans değerine karşılık gelen konsantrasyon değeri numunenin bor konsantrasyonunu verecektir.

3.2.2 Volumetrik (Titrasyon) Metot

Sudaki borik asit, bağ gevşetici olarak mannitol (veya gliserin) ilavesiyle monoasite dönüştürülerek kuvvetli bir bazın ayarlı çözeltisiyle indikatör karşısında titre edilir. Bu analiz metodunda dikkat edilecek bazı hususlar vardır. NaOH'den etkilenen; karbonat, bikarbonat, NH₃, Fe, Al gibi madde ve iyonlar titrasyon ortamından uzaklaştırılmalıdır. Borikasit'in buhar içinde uçucu olması sebebiyle ısıtımlarda 80 °C üzerine çıkılmamalı ve beherin üzeri saat camı ile kapatılmalıdır.

Saf su cihazı, 0,0001 gram hassasiyete sahip terazi, etüv, spatül, fırça, 400 mL'lik cam beher, 100 mL'lik ölçü kabı, saat camı, cam huni, beyaz band süzgeç kağıdı, büret deneyde kullanılan aygıtlar ve laboratuvar malzemeleridir.

Volumetrik metotta kullanılan kimyasal malzemeler aşağıda verilmiştir;

- (1+3)'lük H₂SO₄ : Analitik saflıkta bir hacim H₂SO₄ (d=1.84 g/cm³) ve 3 hacim saf suyun üzerine yavaş yavaş ilave edilerek ve karıştırılarak hazırlanır.

- (% 0.1)'lik metil kırmızısı indikatörü : 1 gr metil kırmızısı, 600 mL etil alkol ve 400 mL saf su karışımında çözülür.

- 0.1 N NaOH çözeltisi : 4 gr analitik saflıktaki NaOH saf su ile litreye tamamlanarak çözülür.

- (% 0.1)'lik fenolftalein indikatörü : 10 gr fenolftalein etil alkol ile litreye tamamlanarak çözülür.

- % 98'lik teknik saflıkta Mannitol

- 0.5 N NaOH çözeltisi : 20 gr analitik saflıkta NaOH saf su ile 1 litreye tamamlanır.

- 0.2 N NaOH çözeltisi : 8 gr analitik saflıkta NaOH saf su ile 1 litreye tamamlanarak çözülür.

Volumetrik metotun uygulanışı aşağıda aktarılmıştır;

- 2 adet 500 mL'lik erlene 100'er mL su numunesi alınır.
- 4 damla metil kırmızısı (% 1'lik) damlatılır ve 1-2 damla (1+3)'lük H₂SO₄ damlatılarak renk pembe-kırmızı yapılır.
- Erlenlerin üzerine huni konularak 5 dakika kaynatılır, renk açılırsa bir miktar daha asit ilave edilir. Bu kaynatma işlemi ile CO₂ ortamdan uzaklaştırılır.
- Erlen muhteviyatı, su banyosu veya atmosferde oda sıcaklığına kadar soğutulur. Huniler erlen içine kaynatılmış ve soğutulmuş saf su ile yıkanır.
- 0.1 N NaOH ile ortam nötr hale dikkatli bir şekilde getirilerek renk sarı yapılır.
- 6 damla fenolftalein (% 1'lik) damlatılır. Üzerine 5-6 gram (2-3 spatül) mannitol ilave edilir.
- 0.1 N NaOH ile titrasyon yapılır. Renk dönümüne yakın 1-2 gram daha mannitol ilave edilir. Renk değişmezse (sabit kalırsa) titrasyona son verilir. Eğer renk açılırsa titrasyona soğan kabuğu rengi (hafif pembemsi) sabit kalıncaya kadar devam edilir.

$$B \text{ (ppm)} = F \times S \times 108.12 \times N \quad (3.1)$$

F = NaOH çözeltisinin faktörü

S = NaOH sarfiyatı (mL)

N = NaOH çözeltisinin normalitesi

108.12 = Geçiş faktörü

Yukarıda bahsi geçen bor analiz yöntemleri ile elde edilen sonuçlardan bor giderim verimi yüzdesel olarak hesaplanmıştır. Bor giderim yüzdesi (3.2) formülasyonu ile hesaplanmıştır;

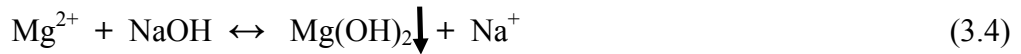
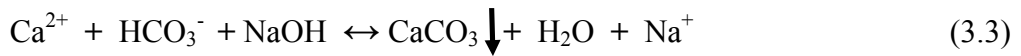
$$\text{Bor Giderimi (\%)} = (1 - C_p/C_f) \times 100 \quad (3.2)$$

Formülde C_f = ham suyun bor konsantrasyonunu, C_p = üretilen temiz suyun bor konsantrasyonunu sembolize etmektedir. Yüksek bor konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda arıtma tesisinin birinci aşamasında bulunan 1. kademe ters osmoz sisteminin giriş ve çıkış numuneleri kullanılmıştır, düşük bor konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda ise 2. kademe ters osmoz sisteminin giriş ve çıkış numuneleri kullanılmıştır.

3.2.3 Deneysel Çalışmalar

Sistemde 4 farklı kademe pH ayarlanmaktadır. Birinci kademe pH ayarlama sistemi ile amaçlanan ham suyun sertliğini gidermek iken ikinci ve üçüncü kademe pH ayarlama sistemleri bor giderimini sağlamak adına yapılmaktadır. Son olarak 2. kademe ters osmoz ünitesinin çıkışında yapılan asit dozajıyla, deşarj edilecek suyun pH değeri yönetmeliklerde belirlenen sınır değerler arasına getirilerek çaya salınmaktadır.

Çökelme tanklarının işlevi tesis açısından büyük önem taşımaktadır. Ana görevi olan ham su sertliğini düşürmenin yanında, 90 mikronluk filtreden geçen partiküller için de bir çökelme bölgesi oluşturmaktadır. Çizelge 3.17'deki çökelek numunesinin kimyasal analiz sonuçları incelenirse bu işlevini de yerine getirdiği açıkça görülecektir. Özellikle çökelek içindeki bor ve stronsiyum miktarları kalsiyum ve magnezyum miktarlarından sonra en fazla bulunan parametrelerdir. Çökelekteki bor ve stronsiyumun, 10 ppb stronsiyum ve maksimum 200 ppm bor içeren ham sudan gelemeyeceği ortadadır. Suda çözünen stronsiyum miktarı çok düşüktür ve yapılan analizlerde kostik dozajı öncesinde ve sonrasında herhangi bir şekilde bor ve stronsiyum konsantrasyon değerleri değişmemektedir. Dolayısıyla buradan, ocak tabanından gelen bu parametrelerin kaynağının katı partiküller olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. XRD cihazında çökeleğin mineralojik analizi yapılarak, yapısal olarak içeriğinde CaCO_3 ve $\text{Mg}(\text{OH})_2$ bulunduğu belirlenmiştir. Bu çökeltileri oluşturan kimyasal tepkimeler (3.3) ve (3.4)'de gösterilmiştir;



Ters osmoz kademelerinin barındırdığı membranların, tesisin teknik özelliklerini içeren kılavuzda öngörülen ömür süresince kullanılabilmesi için ham suyun pH değerinin 11.00 üzerinde uzun süre çalıştırılmasının uygun olmayacağı bu sistemin üretimini gerçekleştiren İtalyan GEL firması tarafından belirtilmiştir. Alınan numunelerin sonuçları incelendiğinde görülmektedir ki, ham su içerisindeki Bor'un neredeyse tamamının uzaklaştırılması için pH değerinin 11.00 üzerine çıkarılmasına

gerek kalmamaktadır. Bu iki sebep ile birlikte arıtılmış sudaki bor konsantrasyonu için yönetmelikteki belirtilen limit değeri de (**2 ppm**) göz önünde bulundurularak, çalışmalarda pH değişiminin bor giderimi üzerindeki etkisi incelenirken ham suyun pH değeri 11.00 üzerine, sistemin vereceği sonucu görmek adına ender olarak ve kısa süreliğine çıkarılmıştır. Bu kısa süreli çalışmada deneme numuneleri 2. kademe ters osmoz ünitesinden alınmıştır. Kostik dozajı, membranlara aşırı yük bindirmemek adına, ham su ile ilk karşılaşan 1. kademe ters osmoz ünitesi için daha hassas bir konudur, bu yüzden ilk kademe pH değeri 11.00'ın üzerine çıkarılmamıştır. Çizelge 3.18'de numunelerin alındığı sırada panoda okunan sistem parametreleri ve alınan numunelere ait analiz sonuçları görülmektedir.

Çizelge 3.18 İkinci kademe ters osmoz sisteminde $pH \geq 11.00$ için yapılan çalışma

TARİH	19.02.2010		
SAAT	14:05	14:38	15:45
İLETKENLİK GİREN (μS)	208.00	211,00	244,00
SICAKLIK GİREN ($^{\circ} C$)	22.00	22,00	22,00
İLETKENLİK ÇIKAN (μS)	13.00	17,00	19,00
SICAKLIK ÇIKAN ($^{\circ} C$)	21.00	23,00	23,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN ($m^3/saat$)	5.13	5,13	5,04
AKIŞ HIZI KONSANTRE ($m^3/saat$)	1.06	0,95	1,24
P_{IN} (bar)	8,20	9,20	9,20
P_{OUT} (bar)	-	8,20	8,50
pH_{RO2} GİREN	11,00	11,02	11,20
BOR GİRİŞ (ppm)	13,30	8,87	8,31
BOR ÇIKIŞ (ppm)	0,37	0,00	0,00
BOR GİDERİM VERİMİ (%)	97,22	100,00	100,00
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ (%)	93,75	91,94	92,21

Çizelgede pembe renkte gösterilen kısım, 2. kademe ters osmoz ünitesine giren suyun pH değerini göstermektedir ve sarı renkte olan kısım ise arıtılmış suyun bor konsantrasyonunu ppm cinsinden göstermektedir.

3.2.4 Atıksuyun Özellikleri

Ocak taban sularının kimyasal özellikleri, mevsimsel şartlara göre değişimler gösterebilmektedir. Çamköy Barajı suyunda giderek artış gösteren konsantrasyonlardan farklı bir biçimde, ocak taban sularındaki değişim mevsimsel olarak gözlenir. Sıcaklığın etkisiyle buharlaşmaya ve yağışa göre konsantrasyonlarda artış ve azalışlar gözlenmektedir. Bu nedenle arıtma tesisinin tasarımı beslenecek suda görülen maksimum konsantrasyon değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.19'da Simav Açık Ocak taban suyunun bor konsantrasyonu dışındaki bütün parametreleri maksimum değerler gözetilip verilmiştir ve bor için tüm yıl gözetilerek ulaşabileceği minimum ve maksimum konsantrasyon değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.19 Arıtma Tesisi'ne beslenecek ham suyun özellikleri

Numune Adı	Na	K	Mg	Ca	Sr	Ba	Cr	Mn	Fe	SO ₄	Ni	Cd	Al	Pb	As	B	Co
Simav Ocak Suyu	231	14	43	68	10	0,06	G	0,01	0,01	731	G	G	0,06	G	1,1	150 ± 50	G

NOT: Tabloda yer alan veriler **ppm** cinsinden olup **maksimum** değerlerdir.

G: Cihaz dedeksiyon limitinin altında (**0,01 ppm**)

Parametreler	Birimi	Simav Ocak Suyu
pH	-	7-9
Bulanıklık	NTU	<67.5
İletkenlik	µS/cm	2200±50
Toplam Sertlik	mgCaCO ₃ /L	<350
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/L	18.0±5.7
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/L	<5
Askıda Katı Madde	mg/L	32.2±0.6
Klor(Cl)	mg/L	14.9±0.3
SDI	-	<5.60
Silika	mg/L	<25

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Arıtma tesisindeki çalışmalarda, bor giderimine; *pH*, *sıcaklık*, *basınç* ve *giriş bor konsantrasyonu* parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Çalışmalar esnasında karşılaşılan en büyük dezavantaj tesise giren ham suyun değerlerindeki değişim olmuştur. Ocak tabanından alınan su, küçük bir gölet olduğu için iklim şartlarından çok çabuk etkilenmekte ve maden ocağında işlenen damara göre suyun değerleri çok kısa sürede değişebilmektedir. Dolayısıyla sabit kompozisyonlara sahip ham su ile çalışmak güç olmuştur. Fakat bu durum yaşanan dezavantajın aksine bizlere çeşitli konsantrasyonlarda sonuçları değerlendirme imkanını sunmuştur.

Deneysel çalışmalarda manuel olarak değişimi yapılabilen iki parametre: *ters osmoz pompa basınçları* ve *pH değerleri* kontrol panosu üzerinden değiştirilmiştir. Fakat sıcaklık, ham su bor konsantrasyon değerleri ve iletkenlik değerleri şartlara bağımlı olarak değişim göstermişlerdir. Sıcaklık değerini sadece mevsimsel şartlar ve hava durumu belirlerken; ham su bor konsantrasyonunda ve iletkenlik değerinde hem hava durumu hem de ocakta işlenen damar belirleyici rol oynamaktadır. Çünkü Simav Ocağı kolemanit ve üleksit olmak üzere iki cevher türü ihtiva etmektedir ve bu bor cevheri türlerinin sudaki çözünürlükleri farklıdır.

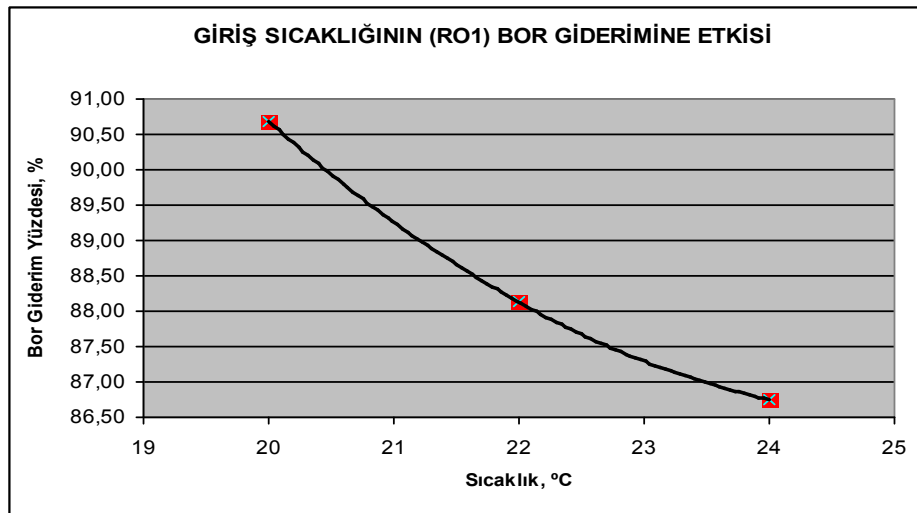
4.1 Sıcaklığın Bor Giderimine Etkisi

Sıcaklığın bor giderimi üzerine etkisini incelemek adına üç deneme yapılmıştır. Yüksek bor konsantrasyonlarındaki etkiyi görmek için tesisin 1. kademe ters osmoz ünitesinde bir deneme, düşük bor konsantrasyonlarındaki etkiyi görmek için tesisin 2. kademe ters osmoz ünitesinde iki deneme yapılmıştır.

4.1.1 Yüksek Bor Konsantrasyonlarında Sıcaklığın Bor Giderimine Etkisi

Çizelge 4.1 Deneme 1 (Yüksek bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi)

NUMUNENİN TANIMI		1	2	3
İLETKENLİK GİREN	µS	2178,00	2238,00	2227,00
SICAKLIK GİREN (DEĞİŞKEN)	° C	20,00	22,00	24,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	97,00	250,00	285,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	20,00	22,00	24,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	6,10	5,83	6,00
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,78	3,18	3,52
P _{İN} (SABİT)	bar	10,00	9,80	10,00
P _{OUT}	bar	8,50	8,00	8,20
pH _{RO1} GİREN (SABİT)	-	10,25	10,25	10,25
BOR GİRİŞ		155,40	155,40	155,40
BOR ÇIKIŞ		14,48	18,45	20,59
BOR GİDERİM VERİMİ		90,68	88,13	86,75
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ		95,55	88,83	87,20

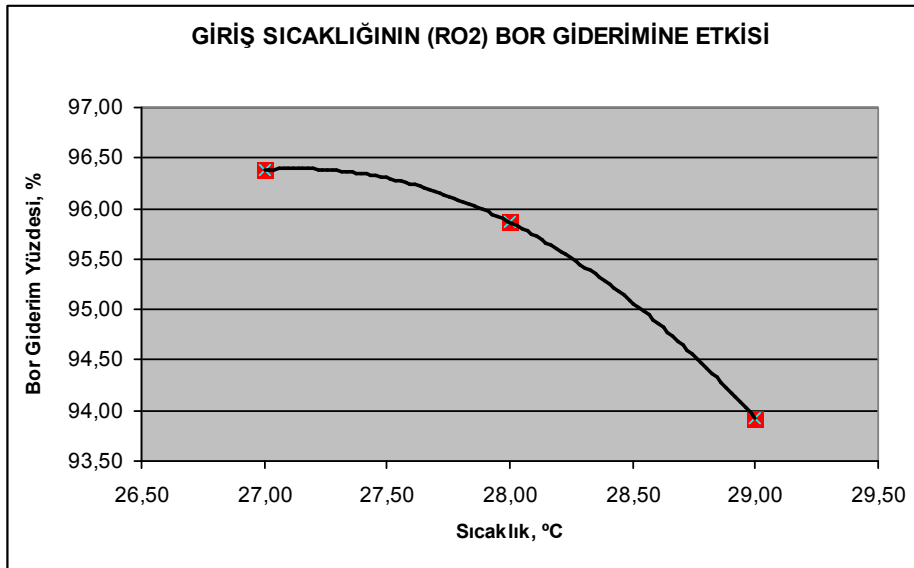


Şekil 4.1 Deneme 1 (Yüksek bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi)

4.1.2 Düşük Bor Konsantrasyonlarında Sıcaklığın Bor Giderimine Etkisi

Çizelge 4.2 Deneme 2 (Düşük bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi)

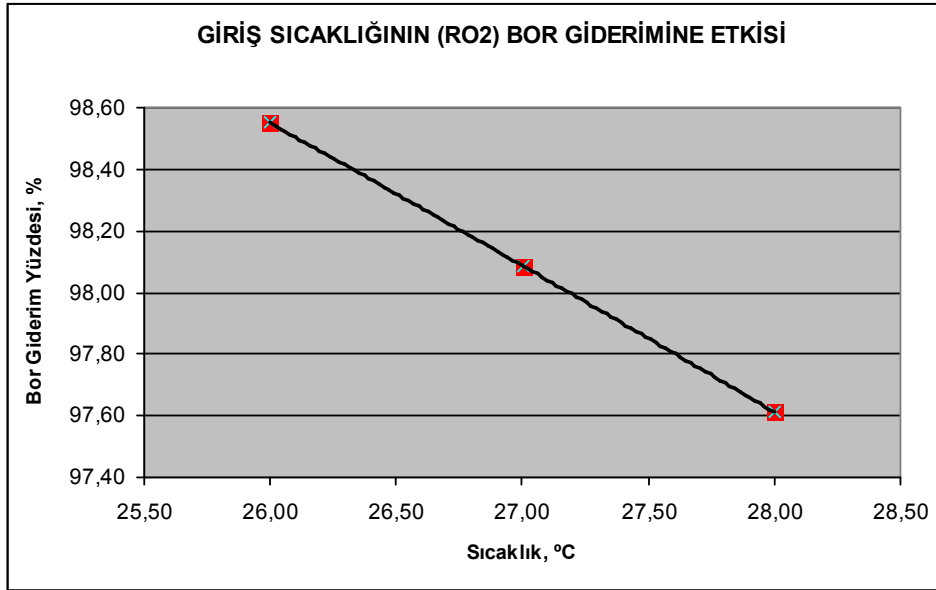
NUMUNENİN TANIMI		4	5	6
İLETKENLİK GİREN	μS	308,00	369,00	354,00
SICAKLIK GİREN (DEĞİŞKEN)	$^{\circ}\text{C}$	27,00	28,00	29,00
İLETKENLİK ÇIKAN	μS	32,00	39,00	42,00
SICAKLIK ÇIKAN	$^{\circ}\text{C}$	28,00	29,00	30,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m^3/sa	5,52	5,52	5,52
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m^3/sa	0,74	0,72	0,72
P_{IN} (SABİT)	bar	7,00	7,00	7,00
P_{OUT}	bar	6,80	6,80	6,80
pH_{RO2} GİREN (SABİT)	-	10,70	10,70	10,70
BOR GİRİŞ				
BOR GİRİŞ	ppm	23,22	27,55	17,28
BOR ÇIKIŞ				
BOR ÇIKIŞ	ppm	0,84	1,14	1,05
BOR GİDERİM VERİMİ				
BOR GİDERİM VERİMİ	%	96,38	95,86	93,92
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ				
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	89,61	89,43	88,14



Şekil 4.2 Deneme 2 (Düşük bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.3 Deneme 3 (Düşük bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi)

NUMUNENİN TANIMI		7	8	9
İLETKENLİK GİREN	µS	324,00	338,00	316,00
SICAKLIK GİREN (DEĞİŞKEN)	° C	26,00	27,00	28,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	45,00	46,00	44,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	27,00	28,00	29,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,56	5,55	5,57
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	0,69	0,69	0,69
P _{IN} (SABİT)	bar	7,00	7,00	7,00
P _{OUT}	bar	6,60	6,60	6,60
pH _{RO2} GİREN (SABİT)	-	10,80	10,80	10,80
BOR GİRİŞ	ppm	15,17	13,07	16,33
BOR ÇIKIŞ	ppm	0,22	0,25	0,39
BOR GİDERİM VERİMİ	%	98,55	98,09	97,61
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	86,11	86,39	86,08



Şekil 4.3 Deneme 3 (Düşük bor konsantrasyonlarında sıcaklığın bor giderimine etkisi)

Burada gösterilen üç denemenin sonuçlarını grafikleriyle beraber değerlendirmek gerekirse; sıcaklık arttıkça bor giderim yüzdesinin azaldığı gözükülecektir. Sıcaklık arttıkça membranların gözenekleri genişleşerek açılmakta ve

temizlenen su kalitesinde bir düşüş meydana gelmektedir. Pinhas Gluckstern ve Menahem Priel (2003) çalışmalarında, Mekorot adındaki İsrail firmasının 6.8-8.0 pH değerleri arasında yaptıkları test çalışmalarında sıcaklık arttıkça bor giderim verimindeki düşüşü doğruladıklarını bildirmişlerdir. Mekorot tarafından yapılan test çalışmalarında, çalışmanın yapıldığı zamanda endüstriyel boyutta kullanılan ters osmoz membranları ile ileri teknoloji ürünü membranların karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışmada flux değerinin 15.6 l/mh olduğu bir sistemde pH=8 iken 25 °C’de % 89.9 bor giderimine ulaşılrken, sıcaklığın 30 °C çıktığı durumda bor giderim yüzdesi 87.3 değerine gerilemiştir [24].

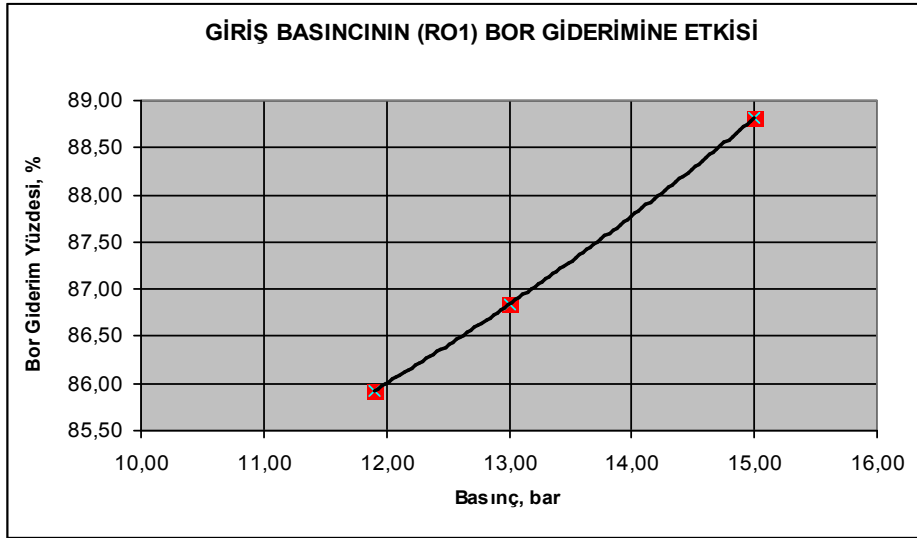
4.2 Basıncın Bor Giderimine Etkisi

Basıncın bor giderimi üzerine etkisini incelemek adına dört deneme yapılmıştır. Yüksek bor konsantrasyonlarındaki etkiyi görmek için tesisin 1. kademe ters osmoz ünitesinde üç deneme, düşük bor konsantrasyonlarındaki etkiyi görmek için tesisin 2. kademe ters osmoz ünitesinde bir deneme yapılmıştır.

4.2.1 Yüksek Bor Konsantrasyonlarında Basıncın Bor Giderimine Etkisi

Çizelge 4.4 Deneme 4 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi)

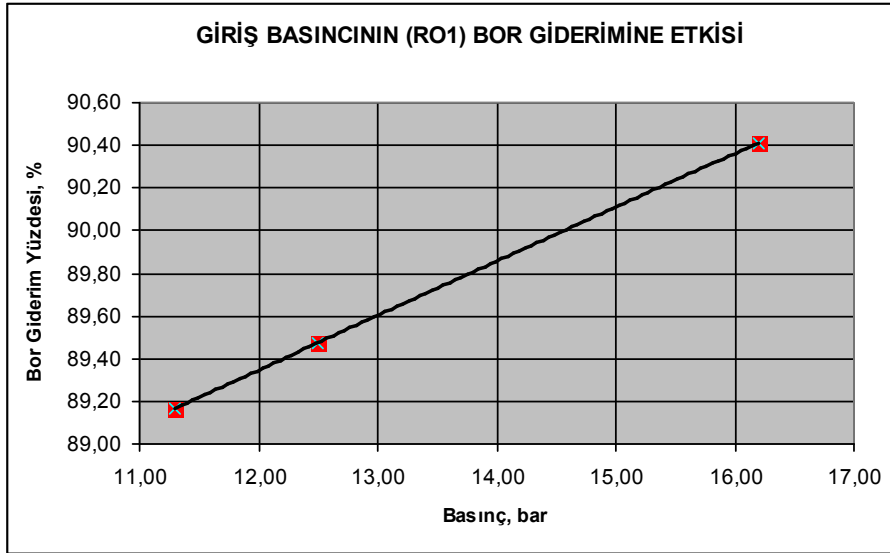
NUMUNENİN TANIMI		10	11	12
İLETKENLİK GİREN	µS	2203,00	2045,00	1931,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	28,00	28,00	28,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	347,00	326,00	295,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	29,00	29,00	29,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,96	6,02	6,12
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,28	3,28	3,28
P _{İN} (DEĞİŞKEN)	bar	11,90	13,00	15,00
P _{OUT}	bar	10,35	11,00	13,80
pH _{RO2} GİREN (SABİT)	-	10,40	10,40	10,40
BOR GİRİŞ	ppm	146,98	151,63	159,33
BOR ÇIKIŞ	ppm	20,69	19,96	17,82
BOR GİDERİM VERİMİ	%	85,92	86,84	88,82
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	84,25	84,06	84,72



Şekil 4.4 Deneme 4 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.5 Deneme 5 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi)

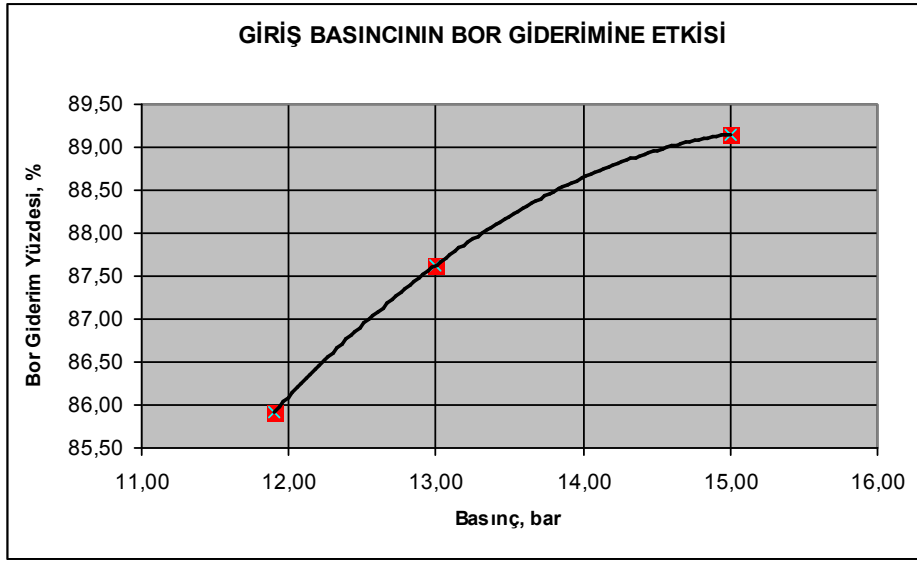
NUMUNENİN TANIMI		13	14	15
İLETKENLİK GİREN	µS	2200,00	2186,00	2155,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	27,00	27,00	27,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	310,00	316,00	277,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	28,00	28,00	27,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	6,05	6,08	6,08
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,44	3,42	3,44
P _{İN} (DEĞİŞKEN)	bar	11,30	12,50	16,20
P _{OUT}	bar	10,00	11,00	14,90
pH _{RO2} GİREN (SABİT)	-	10,60	10,60	10,60
BOR GİRİŞ	ppm	156,38	155,15	157,71
BOR ÇIKIŞ	ppm	16,94	16,33	15,12
BOR GİDERİM VERİMİ	%	89,17	89,47	90,41
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	85,91	85,54	87,15



Şekil 4.5 Deneme 5 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.6 Deneme 6 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi)

NUMUNENİN TANIMI		16	17	18
İLETKENLİK GİREN	µS	2203,00	1920,00	2056,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	28,00	28,00	28,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	347,00	354,00	351,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	29,00	29,00	29,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,96	6,08	6,01
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,28	3,28	3,28
P _{IN} (DEĞİŞKEN)	bar	11,90	15,00	13,00
P _{OUT}	bar	10,35	13,50	11,40
pH _{RO2} GİREN (SABİT)	-	10,40	10,40	10,40
BOR GİRİŞ	ppm	146,98	159,33	152,85
BOR ÇIKIŞ	ppm	20,69	17,28	18,91
BOR GİDERİM VERİMİ	%	85,92	89,15	87,63
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	10,80	10,80	10,80

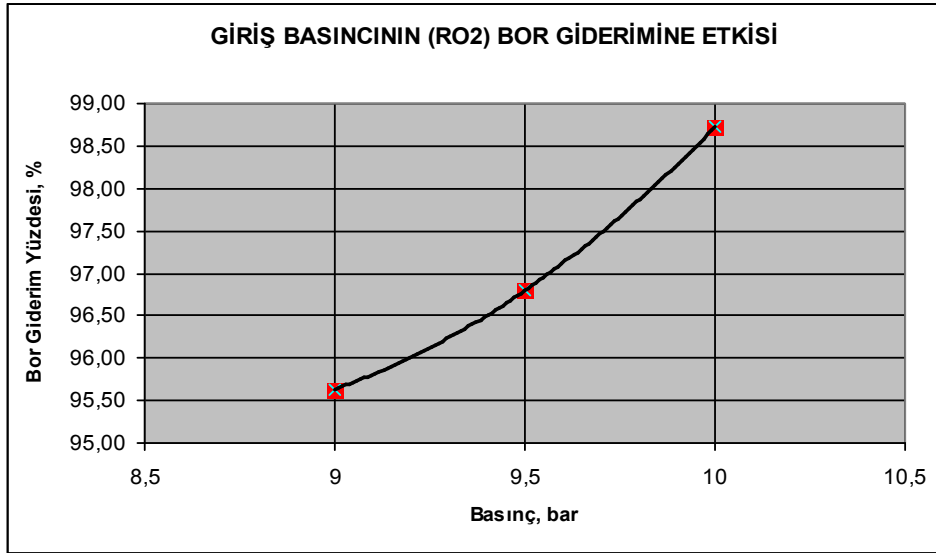


Şekil 4.6 Deneme 6 (Yüksek bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi)

4.2.2 Düşük Bor Konsantrasyonlarında Basıncın Bor Giderimine Etkisi

Çizelge 4.7 Deneme 7 (Düşük bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi)

NUMUNENİN TANIMI		19	20	21
İLETKENLİK GİREN	μS	80,00	126,00	125,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	$^{\circ}\text{C}$	19,00	19,00	19,00
İLETKENLİK ÇIKAN	μS	7,00	17,00	17,00
SICAKLIK ÇIKAN	$^{\circ}\text{C}$	20,00	20,00	20,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m^3/sa	5,39	5,43	5,59
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m^3/sa	0,85	0,83	0,82
P_{IN} (DEĞİŞKEN)	bar	9,00	9,50	10,00
P_{OUT}	bar	8,50	9,00	9,00
$\text{pH}_{\text{RO2 GİREN}}$ (SABİT)	-	10,60	10,60	10,60
BOR GİRİŞ	ppm	7,79	8,43	10,97
BOR ÇIKIŞ	ppm	0,34	0,27	0,14
BOR GİDERİM VERİMİ	%	95,64	96,80	98,72
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	91,25	86,51	86,40



Şekil 4.7 Deneme 7 (Düşük bor konsantrasyonlarında basıncın bor giderimine etkisi)

Tesis tanımında bahsedildiği üzere, membranlar üzerindeki basınç, kontrol panosu üzerinde bulunan inverter sayesinde artırılarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Yukarıda sonuçları verilen üç denemede görüldüğü gibi basınç değerleri arttıkça bor giderim yüzdeleri de artmaktadır. Membranlardaki sürücü gücün artması temiz su akış hızını arttırmakta ve birim zamanda daha fazla suyun membranlardan geçmesini sağlamaktadır. Bu durum seyrelmenin etkisi ile temiz sudaki bor konsantrasyonunun azalmasına sebebiyet vermiştir. Buradaki en önemli konulardan biri de membran pompalarının çalışma basıncının maliyetler açısından büyük önem arz etmesi sebebiyle optimize bir değere ayarlanması ve fazla enerji harcamaktan kaçınılması gerektiğidir. Prats ve arkadaşları (2000) ters osmoz membranlarında bor giderimine pH ve basıncın etkisini incelemişlerdir. Bor gideriminin normal şartlar altında % 40-60 arasında belirtildiği çalışmalarında, 9.5 ve üzeri pH değerlerinde ve aynı zamanda artan basınçla birlikte bor gideriminde de artış olduğu tespitinde bulunmuşlardır [25]. Pinhas Gluckstern ve Menahem Priel çalışmalarında Mekorot firmasının test denemelerinde ulaştığı sonuçları sunmuşlardır. Bu sonuçlarda basınçla birlikte artan flux değerlerinin bor giderimine etkisi net bir şekilde gözlenmektedir. 25 °C’de nötr pH değerinde; flux değeri 12.6 l/mh iken bor giderimi % 85.3, flux değeri 15.6 iken bor giderimi % 88.6 olarak bulunmuştur. 30 °C’de nötr pH değerinde; flux değeri 12.6 l/mh iken bor giderimi % 83.7, flux değeri 15.6 iken bor giderimi % 86.3 olarak bulunmuştur [24].

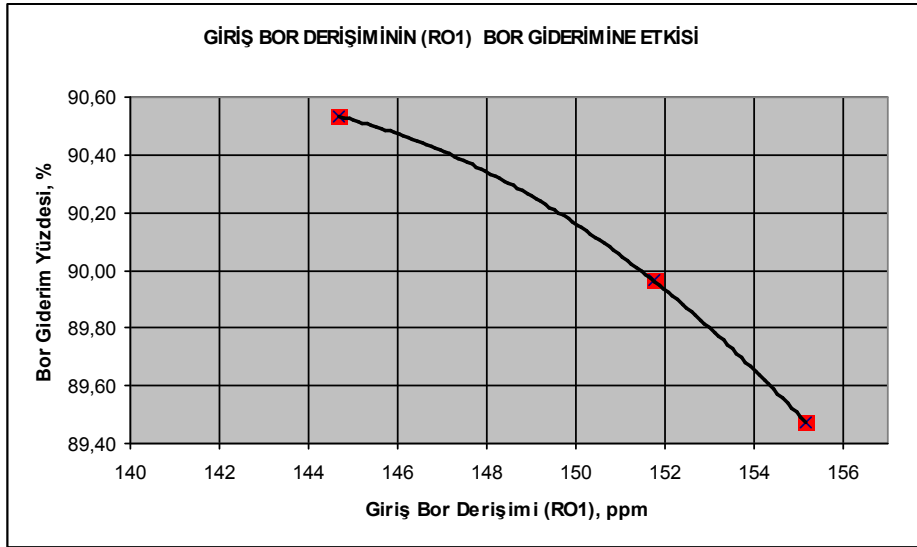
4.3 Giriş Bor Konsantrasyonunun Bor Giderimine Etkisi

Giriş bor konsantrasyonunun bor giderimi üzerine etkisini incelemek adına altı deneme yapılmıştır. Yüksek bor konsantrasyonlarındaki etkiyi görmek için tesisin 1. kademe ters osmoz ünitesinde bir deneme, düşük bor konsantrasyonlarındaki etkiyi görmek için tesisin 2. kademe ters osmoz ünitesinde dört deneme yapılmıştır.

4.3.1 Yüksek Bor Konsantrasyonlarında Sisteme Giriş Değerinin Bor Giderimine Etkisi

Çizelge 4.8 Deneme 8 (Yüksek bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi)

NUMUNENİN TANIMI		22	23	24
İLETKENLİK GİREN	µS	2123,00	2125,00	2186,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	27,00	27,00	27,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	185,00	295,00	316,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	27,00	27,00	28,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	6,12	6,10	6,08
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,05	3,25	3,42
P _{IN} (SABİT)	bar	13,00	13,00	13,00
P _{OUT}	bar	11,80	11,50	11,50
pH _{RO2} GİREN (SABİT)	-	10,60	10,60	10,60
BOR GİRİŞ (DEĞİŞKEN)	ppm	144,70	151,75	155,15
BOR ÇIKIŞ	ppm	13,70	15,23	16,33
BOR GİDERİM VERİMİ	%	90,53	89,96	89,47
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	91,29	86,12	85,54

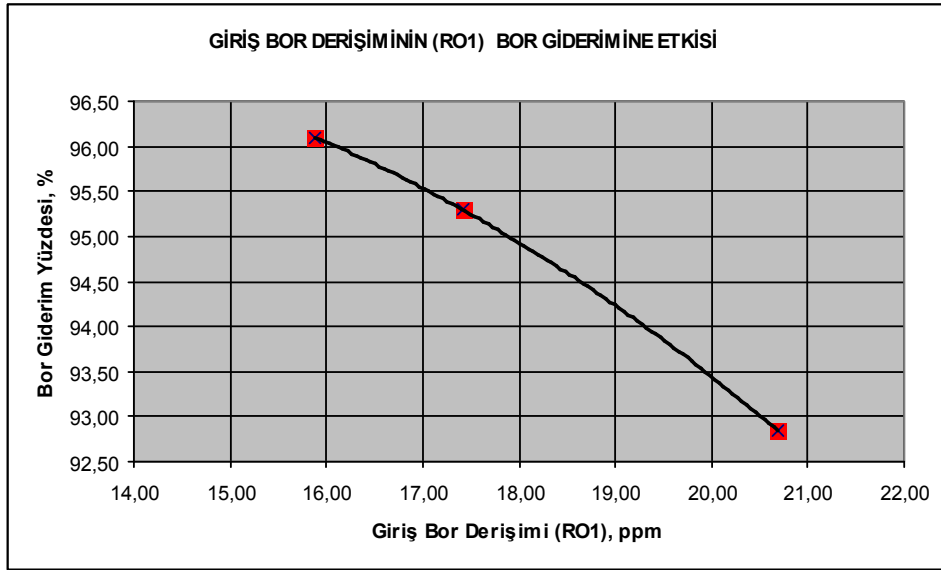


Şekil 4.8 Deneme 8 (Yüksek bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi)

4.3.2 Düşük Bor Konsantrasyonlarında Sisteme Giriş Değerin Bor Giderimine Etkisi

Çizelge 4.9 Deneme 9 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi)

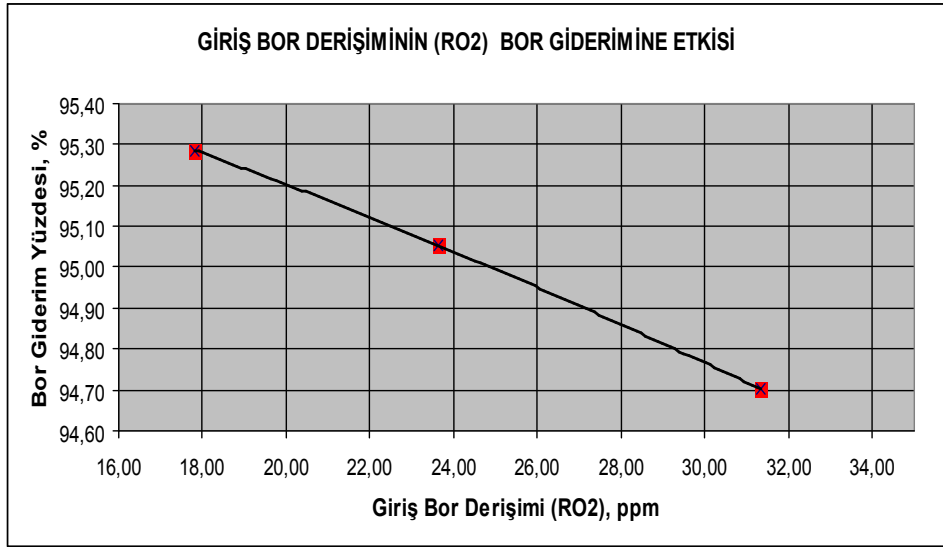
NUMUNENİN TANIMI		25	26	27
İLETKENLİK GİREN	µS	328,00	339,00	347,00
SICAKLIK GİREN	° C	29,00	29,00	29,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	58,00	56,00	54,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	29,00	29,00	29,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,52	5,50	5,57
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	0,68	0,69	0,72
P _{IN} (SABİT)	bar	7,00	7,00	7,00
P _{OUT}	bar	6,50	6,50	6,50
pH _{RO2} GİREN (SABİT)	-	10,60	10,60	10,60
BOR GİRİŞ (DEĞİŞKEN)	ppm	15,89	17,42	20,69
BOR ÇIKIŞ	ppm	0,62	0,82	1,48
BOR GİDERİM VERİMİ	%	96,10	95,29	92,85
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	82,32	83,48	84,44



Şekil 4.9 Deneme 9 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.10 Deneme 10 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi)

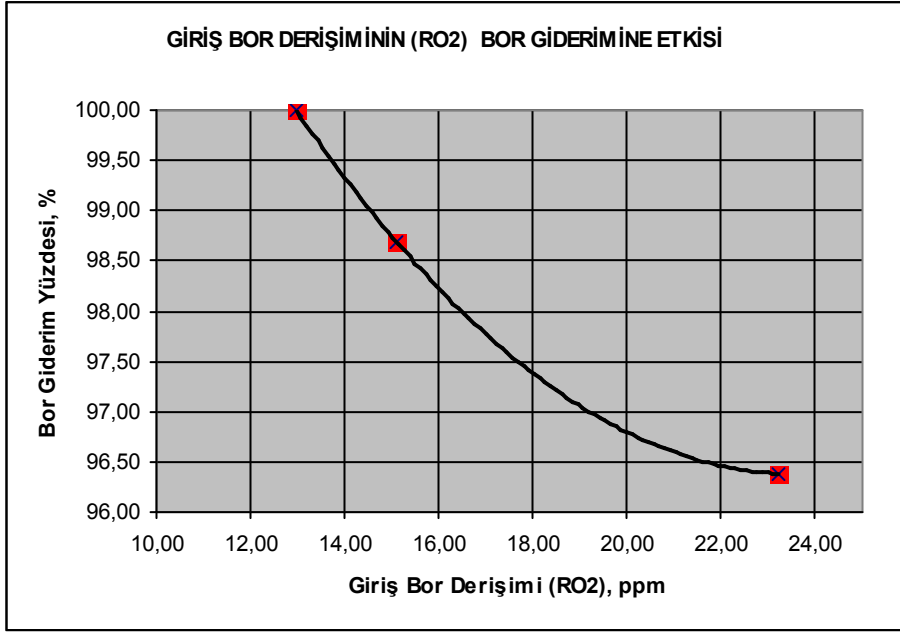
NUMUNENİN TANIMI		28	29	30
İLETKENLİK GİREN	μS	295,00	330,00	368,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	$^{\circ}\text{C}$	29,00	29,00	29,00
İLETKENLİK ÇIKAN	μS	44,00	45,00	44,00
SICAKLIK ÇIKAN	$^{\circ}\text{C}$	30,00	30,00	30,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m^3/sa	5,52	5,52	5,50
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m^3/sa	0,66	0,68	0,72
P_{IN} (SABİT)	bar	7,00	7,00	7,00
P_{OUT}	bar	6,80	6,50	6,80
$\text{pH}_{\text{RO2 GİREN}}$ (SABİT)	-	10,70	10,70	10,70
BOR GİRİŞ (DEĞİŞKEN)	ppm	17,82	23,65	31,33
BOR ÇIKIŞ	ppm	0,84	1,17	1,66
BOR GİDERİM VERİMİ	%	95,29	95,05	94,70
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	85,08	86,36	88,04



Şekil 4.10 Deneme 10 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.11 Deneme 11 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi)

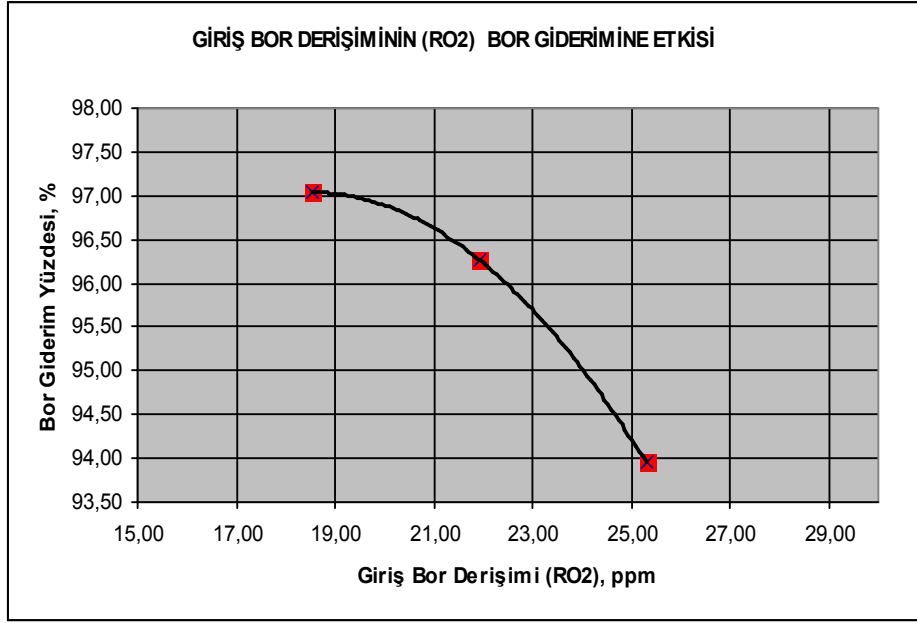
NUMUNENİN TANIMI		31	32	33
İLETKENLİK GİREN	µS	292,00	277,00	308,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	27,00	27,00	27,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	43,00	55,00	32,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	28,00	28,00	28,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,52	5,52	5,52
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	0,72	0,72	0,74
P _{IN} (SABİT)	bar	7,00	7,00	7,10
P _{OUT}	bar	6,50	6,50	6,80
pH _{RO2} GİREN (SABİT)	-	10,70	10,70	10,70
BOR GİRİŞ (DEĞİŞKEN)	ppm	12,96	15,12	23,22
BOR ÇIKIŞ	ppm	0,00	0,20	0,84
BOR GİDERİM VERİMİ	%	100,00	98,68	96,38
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	85,27	80,14	89,61



Şekil 4.11 Deneme 11 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.12 Deneme 12 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi)

NUMUNENİN TANIMI		34	35	36
İLETKENLİK GİREN	µS	338,00	324,00	310,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	32,00	32,00	32,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	48,00	44,00	41,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	33,00	33,00	33,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,50	5,57	5,50
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	0,64	0,64	0,66
P _{İN} (SABİT)	bar	6,40	6,40	6,40
P _{OUT}	bar	6,00	6,00	6,00
pH _{RO2} GİREN (SABİT)	-	10,80	10,80	10,80
BOR GİRİŞ (DEĞİŞKEN)	ppm	18,55	21,93	25,30
BOR ÇIKIŞ	ppm	0,55	0,82	1,53
BOR GİDERİM VERİMİ	%	97,04	96,26	93,95
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	85,80	86,42	86,77



Şekil 4.12 Deneme 12 (Düşük bor konsantrasyonlarında giriş bor konsantrasyonunun bor giderimine etkisi)

Yukarıda tesis şartları, analiz ve grafik sonuçları verilen dört denemede görüldüğü üzere 2. ters osmoz sistemine giren suyun bor konsantrasyonu düştükçe bor giderim verimi de artmaktadır.

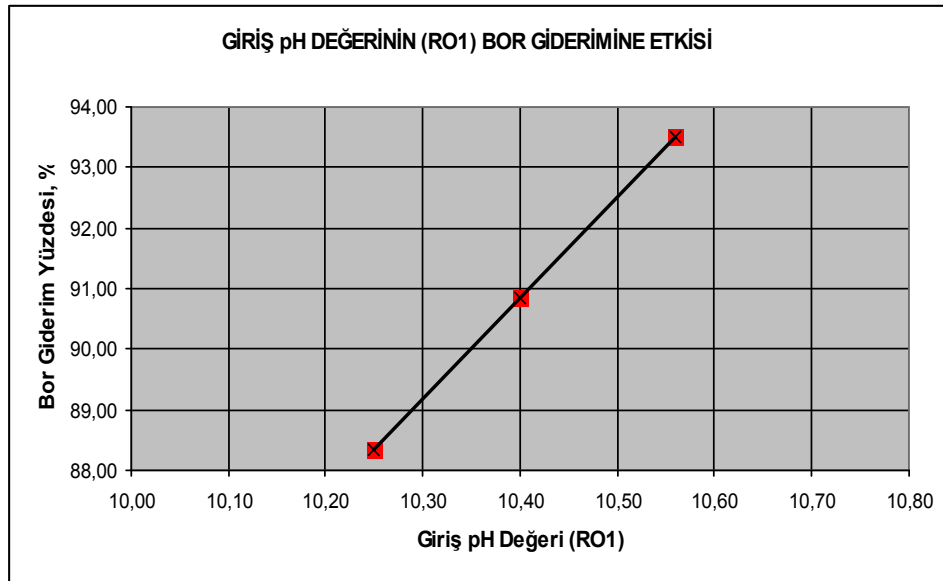
4.4 pH'ın Bor Giderimine Etkisi

pH'ın bor giderimi üzerine etkisini incelemek adına sekiz deneme yapılmıştır. Yüksek bor konsantrasyonlarındaki etkiyi görmek için tesisin 1. kademe ters osmoz ünitesinde yedi deneme, düşük bor konsantrasyonlarındaki etkiyi görmek için tesisin 2. kademe ters osmoz ünitesinde bir deneme yapılmıştır.

4.4.1 Yüksek Bor Konsantrasyonlarında pH Değerinin Bor Giderimine Etkisi

Çizelge 4.13 Deneme 13 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

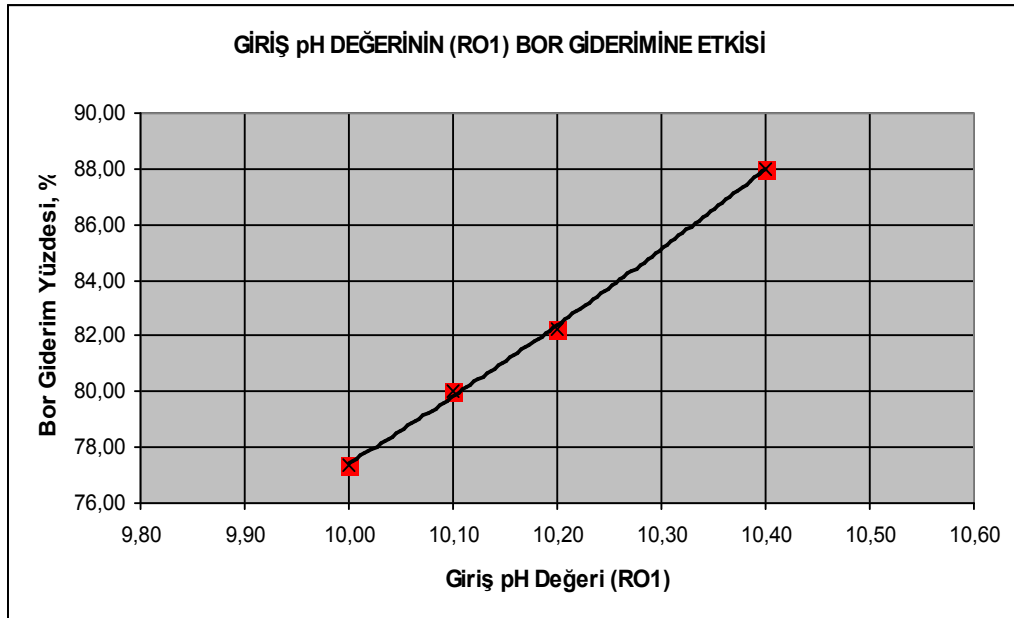
NUMUNENİN TANIMI		37	38	39	
İLETKENLİK GİREN	µS	2238,00	2189,00	2133,00	
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	22,00	22,00	22,00	
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	250,00	175,00	94,00	
SICAKLIK ÇIKAN	° C	22,00	22,00	22,00	
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,83	6,00	6,08	
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,18	3,46	3,65	
P _{IN} (SABİT)	bar	9,50	9,50	9,50	
P _{OUT}	bar	8,00	8,00	8,00	
pH _{RO2} GİREN (DEĞİŞKEN)	-	10,25	10,40	10,56	
BOR GİRİŞ		ppm	150,40	148,00	152,95
BOR ÇIKIŞ		ppm	17,55	13,57	9,94
BOR GİDERİM VERİMİ		%	88,33	90,82	93,73
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ		%	88,83	92,01	95,59



Şekil 4.13 Deneme 13 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.14 Deneme 14 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

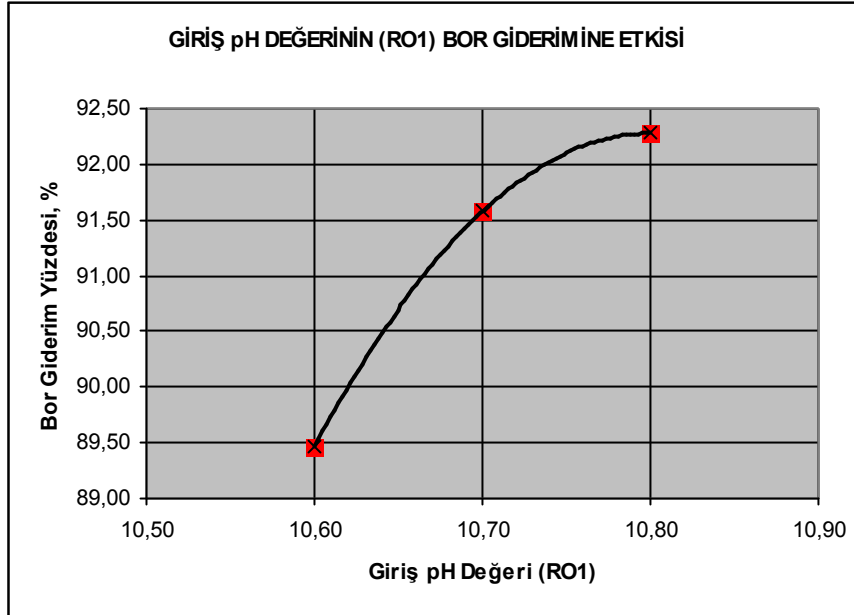
NUMUNENİN TANIMI		40	41	42	43
İLETKENLİK GİREN	μS	2211,00	2244,00	2244,00	2244,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	$^{\circ}\text{C}$	25,00	25,00	25,00	25,00
İLETKENLİK ÇIKAN	μS	416,00	416,00	408,00	291,00
SICAKLIK ÇIKAN	$^{\circ}\text{C}$	25,00	26,00	26,00	26,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m^3/sa	6,12	6,12	6,10	6,10
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m^3/sa	3,51	3,56	3,51	3,51
P_{IN} (SABİT)	bar	13,10	13,10	13,10	13,10
P_{OUT}	bar	11,90	12,00	12,00	11,90
pH_{RO2} GİREN (DEĞİŞKEN)	-	10,00	10,10	10,20	10,40
BOR GİRİŞ	ppm	146,12	146,12	146,12	146,12
BOR ÇIKIŞ	ppm	33,08	29,22	25,92	17,50
BOR GİDERİM VERİMİ	%	77,36	80,00	82,26	88,02
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	81,18	81,46	81,82	87,03
pH_{hamsu}	-	10,85	10,80	10,80	10,82



Şekil 4.14 Deneme 14 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.15 Deneme 15 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

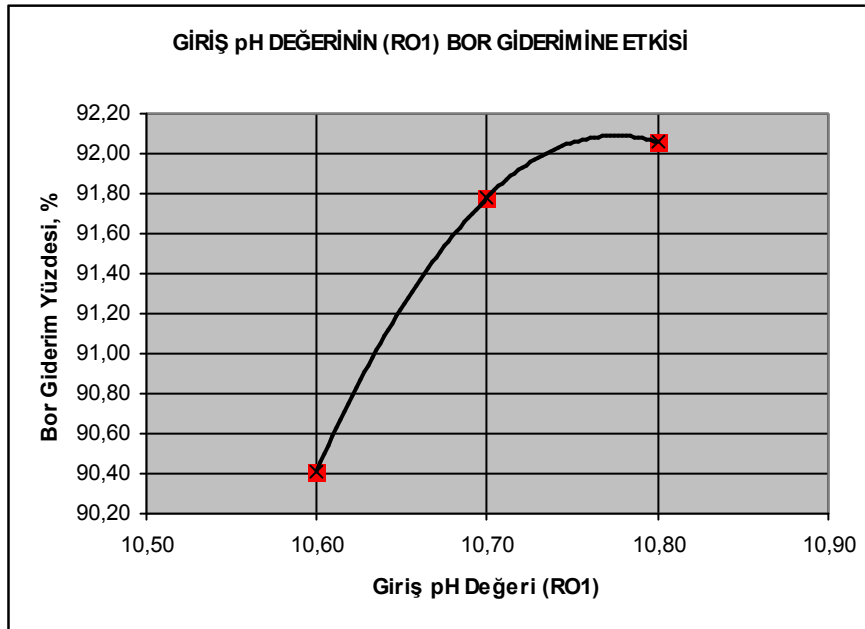
NUMUNENİN TANIMI		44	45	46
İLETKENLİK GİREN	µS	2186,00	2200,00	2200,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	26,00	26,00	26,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	338,00	316,00	316,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	28,00	28,00	28,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	6,08	6,08	6,08
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,42	3,42	3,40
P _{İN} (SABİT)	bar	12,50	12,50	12,50
P _{OUT}	bar	11,00	11,00	11,00
pH _{RO2} GİREN (DEĞİŞKEN)	-	10,60	10,70	10,80
BOR GİRİŞ	ppm	155,15	155,15	155,15
BOR ÇIKIŞ	ppm	16,33	13,07	11,98
BOR GİDERİM VERİMİ	%	89,47	91,58	92,28
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	84,54	85,64	85,64



Şekil 4.15 Deneme 15 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.16 Deneme 16 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

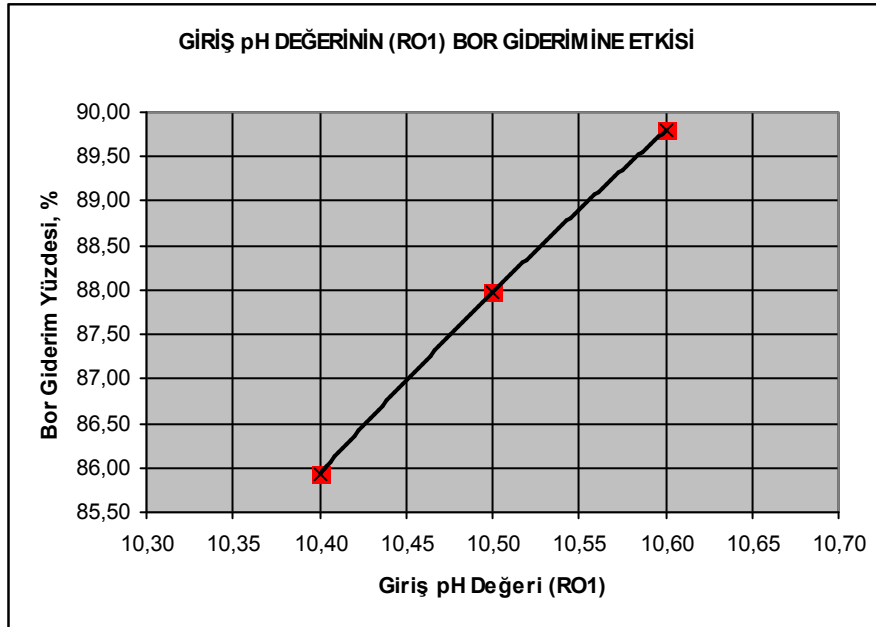
NUMUNENİN TANIMI		47	48	49
İLETKENLİK GİREN	µS	2155,00	1972,00	1972,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	27,00	27,00	27,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	277,00	292,00	292,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	27,00	28,00	28,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	6,08	6,08	6,08
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,44	3,46	3,46
P _{İN} (SABİT)	bar	16,10	16,10	16,10
P _{OUT}	bar	14,90	14,90	14,90
pH _{RO2} GİREN (DEĞİŞKEN)	-	10,60	10,70	10,80
BOR GİRİŞ	ppm	157,71	157,71	157,71
BOR ÇIKIŞ	ppm	15,12	12,96	12,53
BOR GİDERİM VERİMİ	%	90,41	91,78	92,06
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	87,15	85,19	85,19



Şekil 4.16 Deneme 16 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.17 Deneme 17 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

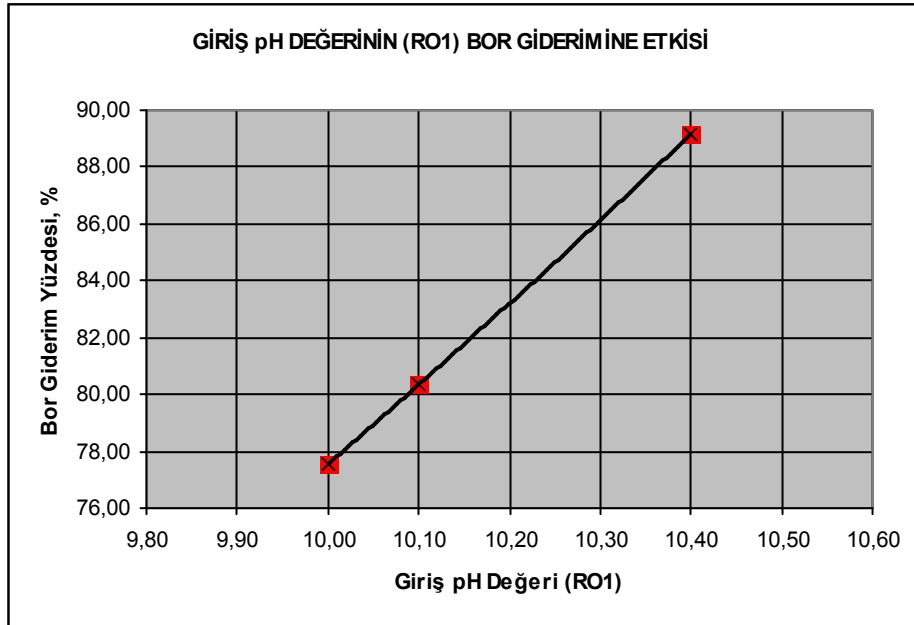
NUMUNENİN TANIMI		50	51	52
İLETKENLİK GİREN	µS	2203,00	2203,00	2172,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	28,00	28,00	28,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	347,00	339,00	332,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	29,00	29,00	29,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,96	6,08	6,08
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,28	3,25	3,28
P _{İN} (SABİT)	bar	11,90	11,90	11,90
P _{OUT}	bar	10,35	10,30	10,20
pH _{RO2} GİREN (DEĞİŞKEN)	-	10,40	10,50	10,60
BOR GİRİŞ	ppm	146,98	144,81	149,42
BOR ÇIKIŞ	ppm	20,69	17,42	15,24
BOR GİDERİM VERİMİ	%	85,92	87,97	89,80
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	84,25	84,61	84,71



Şekil 4.17 Deneme 17 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.18 Deneme 18 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

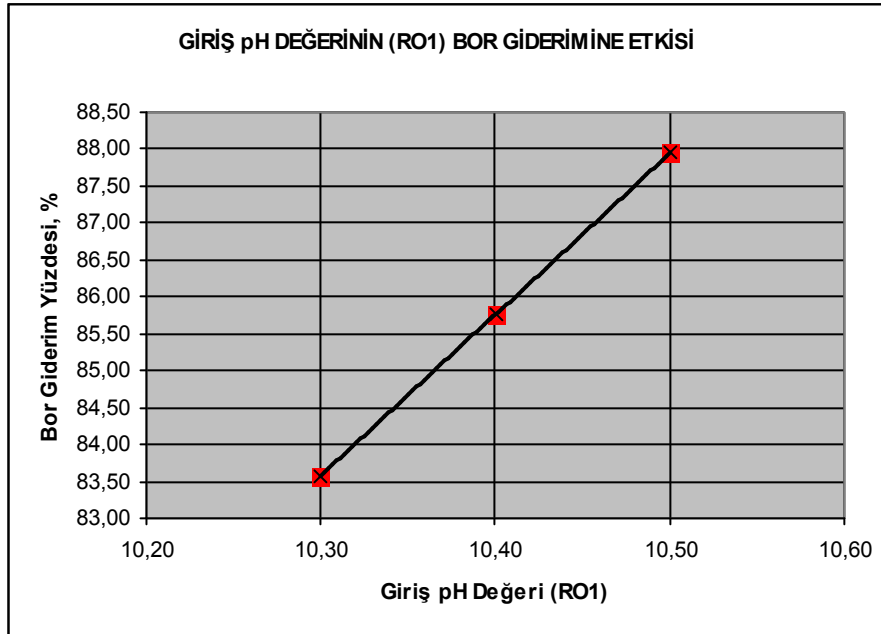
NUMUNENİN TANIMI		53	54	55
İLETKENLİK GİREN	µS	1882,00	1907,00	1920,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	28,00	28,00	28,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	384,00	368,00	354,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	28,00	29,00	29,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	6,10	6,08	6,08
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,30	3,33	3,28
P _{İN} (SABİT)	bar	14,60	15,00	15,00
P _{OUT}	bar	13,40	13,60	13,50
pH _{RO2} GİREN (DEĞİŞKEN)	-	10,00	10,10	10,40
BOR GİRİŞ	ppm	154,00	159,33	159,33
BOR ÇIKIŞ	ppm	34,57	31,33	17,28
BOR GİDERİM VERİMİ	%	77,55	80,34	89,15
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	79,60	80,70	81,56



Şekil 4.18 Deneme 18 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

Çizelge 4.19 Deneme 19 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

NUMUNENİN TANIMI		56	57	58
İLETKENLİK GİREN	µS	1968,00	1945,00	1901,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	31,00	31,00	31,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	310,00	324,00	338,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	33,00	33,00	33,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	6,08	6,08	6,08
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,28	3,25	3,24
P _{IN} (SABİT)	bar	11,30	11,30	11,30
P _{OUT}	bar	10,00	10,00	10,00
pH _{RO2} GİREN (DEĞİŞKEN)	-	10,30	10,40	10,50
BOR GİRİŞ	ppm	154,00	154,00	154,00
BOR ÇIKIŞ	ppm	25,30	21,93	18,55
BOR GİDERİM VERİMİ	%	83,57	85,76	87,95
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	84,25	83,34	82,22



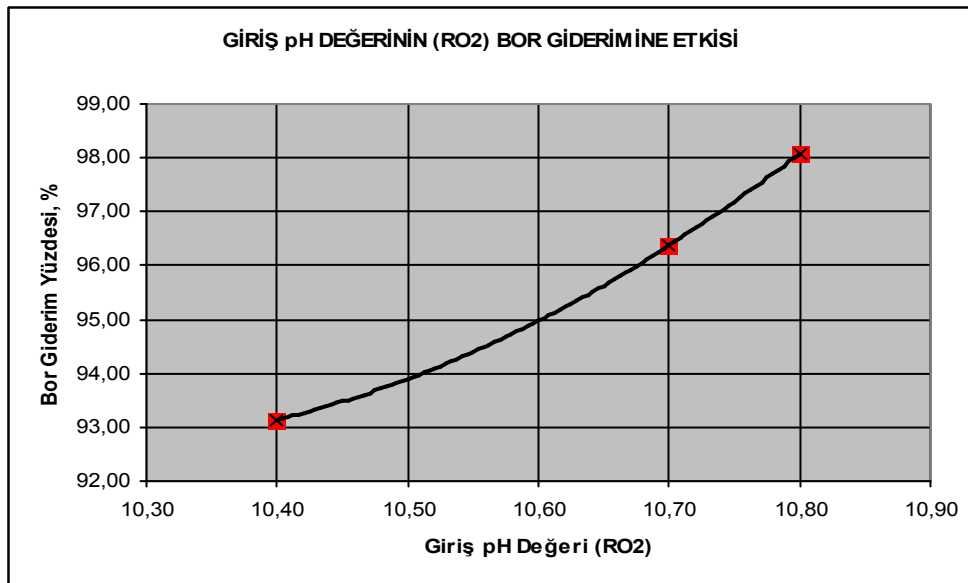
Şekil 4.19 Deneme 19 (Yüksek bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

4.4.2 Düşük Bor Konsantrasyonlarında pH Değerinin Bor Giderimine

Etkisi

Çizelge 4.20 Deneme 20 (Düşük bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

NUMUNENİN TANIMI		59	60	61
İLETKENLİK GİREN	µS	185,00	292,00	338,00
SICAKLIK GİREN (SABİT)	° C	27,00	27,00	27,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	19,00	43,00	46,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	28,00	28,00	28,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,50	5,52	5,55
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	0,69	0,72	0,69
P _{İN} (SABİT)	bar	7,00	7,00	7,00
P _{OUT}	bar	6,50	6,50	6,60
pH _{RO2} GİREN (DEĞİŞKEN)	-	10,40	10,70	10,80
BOR GİRİŞ	ppm	13,70	13,50	13,07
BOR ÇIKIŞ	ppm	0,94	0,49	0,25
BOR GİDERİM VERİMİ	%	93,14	96,37	98,09
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	89,73	85,27	86,39



Şekil 4.20 Deneme 20 (Düşük bor konsantrasyonlarında pH'ın bor giderimine etkisi)

Bor gideriminde, denemelerde kullanılan değişkenlerden en önemlisi olan pH'nın etkisini görmek adına yukarıdaki pH ile ilgili yapılan çalışmalara ilaveten sistem, kostik kullanılmadan ve asit dozlanarak hafif bazik olan ham suyun pH değeri düşürülerek çalıştırılmıştır. Çizelge 4.21 ve Çizelge 4.22'deki veriler, ham su sisteme direkt olarak beslenerek elde edilmiştir ve herhangi bir pH ayarı yapılmaksızın ters osmoz membranlarından geçirilmiştir.

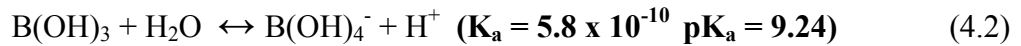
Çizelge 4.21 Kostik dozajı yapılmadan çalıştırılan 1. kademe ters osmoz sistemi

DENEME 21		1. TERS OSMOZ SİSTEMİ	
İLETKENLİK GİREN	µS	1287,00	1482,00
SICAKLIK GİREN	° C	20,00	18,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	34,00	340,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	20,00	19,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,39	6,05
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	3,86	5,24
P _{İN}	bar	14,00	17,00
P _{OUT}	bar	12,30	15,00
pH _{RO2} GİREN	-	9,02	8,84
BOR GİRİŞ	ppm	129,66	124,68
BOR ÇIKIŞ	ppm	63,17	58,74
BOR GİDERİM VERİMİ	%	51,28	52,89
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	97,36	77,06

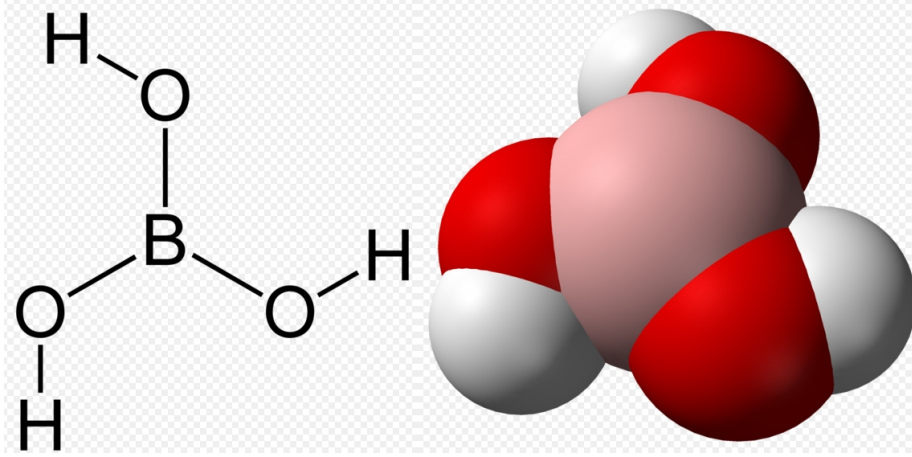
Çizelge 4.22 Kostik dozajı yapılmadan çalıştırılan 2. kademe ters osmoz sistemi

DENEME 22		2. TERS OSMOZ SİSTEMİ
İLETKENLİK GİREN	µS	34,00
SICAKLIK GİREN	° C	20,00
İLETKENLİK ÇIKAN	µS	15,00
SICAKLIK ÇIKAN	° C	20,00
AKIŞ HIZI ARA ÜRÜN	m ³ /sa	5,04
AKIŞ HIZI KONSANTRE	m ³ /sa	0,84
P _{IN}	bar	9,50
P _{OUT}	bar	8,80
pH _{RO2} GİREN	-	8,60
BOR GİRİŞ	ppm	63,17
BOR ÇIKIŞ	ppm	41,00
BOR GİDERİM VERİMİ	%	35,10
İLETKENLİK GİDERİM VERİMİ	%	55,88

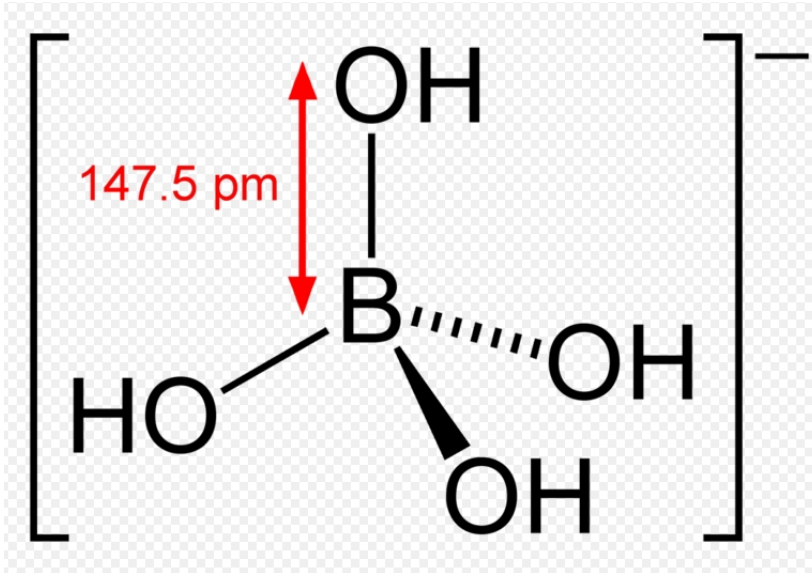
Çizelge 4.21 ve 4.22’de verilen değerlerden görüldüğü gibi kostik kullanımı ile arttırılan pH, bor giderimi için büyük önem taşımaktadır. Fakat bu noktada pH artışı için kullanılan kostiğin bor gideriminde oynadığı rolü iyi anlamak adına borun su içerisinde hangi yapılarda bulunduğu incelenmelidir. Sulu çözeltilerde bor, B(OH)₃ veya B(OH)₄⁻ gibi hem monomerik yapılarda hem de polimerik anyonlar halinde bulunabilmektedir. Borik asit [B(OH)₃], kuvvetli bir Lewis asit olması sebebiyle saf su ile olan tepkimesinde okso asitlerden ayrı bir tavır gösterir. Bunun sonucunda suya teorik olarak verebileceği 3 proton olmasına karşın aşağıdaki denklem doğrultusunda sudan bir [OH]⁻ grubu alır ve bir [H]⁺ iyonunun açığa çıkmasını sağlar [26];



Yukarıda verilen denklemde belirtilen ayrışma katsayısı, borik asitin çok zayıf bir asit olduğunu göstermektedir. Bor nötr pH seviyelerinde su içerisinde non-iyonik borik asit formunda bulunmaktadır ve yukarıdaki denklem doğrultusunda suda borat anyonu bulunmaktadır.



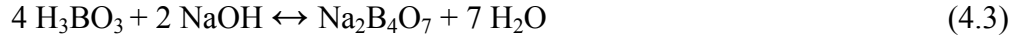
Şekil 4.21 Non-iyonik borik asit molekül yapısı [26]



Şekil 4.22 Borat anyonu molekül yapısı [27]

Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de yapıları gösterilmiş olan monomerik yapılar sadece bor konsantrasyonu çok düşük sularda oluşmaktadır [28]. Bor konsantrasyonu 0.025 mol/L’nin (~ 270 ppm) üzerinde olan sulu çözeltilerde farklı polimerik borat iyonları oluşmaya başlamaktadır. Bu noktada pH seviyeleri büyük önem arz etmektedir. Borik asit pH = (7 – 8) seviyelerinde olduğu zaman neredeyse hiçbir şekilde iyonize olmamakta, pH = 9 seviyesinin üzerine çıktığında borat ve poliborat oluşumları hızlanarak iyonize olmaktadır. 0.025 mol/L ve üzeri bor konsantrasyonuna sahip bir suyun pH değeri nötr seviyeden pH=10 değerine

yaklaştıka poliborat anyonları oluşmaktadır [27] ve pH seviyesi bu aralıka arttıka bu iyonların konsantrasyonları da su içerisinde artmaktadır. Bu polianyonlardan en çok bilineni $[B_4O_7]^{2-}$ iyonudur ve aşağıdaki reaksiyon doğrultusunda oluşmaktadır;



Suyun içerisinde borat ve poliborat anyonlarının bulunması borun membranlar tarafından tutulumunu arttırmaktadır. Çünkü borik asit non-iyonik formda trigonal düzlemsel yapıda ve yüksüz olduğu için membranlardan geçişi kolaylaşmaktadır ve bu da bor giderim verimini düşürmektedir. Çizelge 4.21 ve 4.22’de gösterilen kostik dozajı yapılmadan uygulanan denemelerde bor giderim verimi kostik dozajı yapılanlara nazaran son derece düşmüştür. Bu durum da gösteriyor ki, suyun pH seviyesi düşük kaldığında su içerisinde tetrahedral yapıya sahip borat iyonları ve büyük yer kaplayan (bulky) niteler olan poliboratlar son derece düşük seviyelerde kalmıştır.

Simav Açık Ocak taban suyunun 100 – 200 ppm arasında seyreden bor konsantrasyon değerleri ve arıtma tesisinde yüksek pH seviyelerinde çalışıldığı dikkate alındığında, su içerisinde $B(OH)_4^-$ ve $[B_4O_7]^{2-}$ iyonları bulunduğu tahmin edilmektedir. Bu yapılar yüklü ve özellikle $[B_4O_7]^{2-}$ poliborat anyonu $4xBO_2$ ünitelerinden oluşan büyük bir polianyon olduğundan bor giderim verimini arttırmaktadırlar. Maung Htun Oo borun nötral pH seviyelerinde borik asit formunda olduğunu ve borik asitin yüksek pH seviyelerinde borat anyonuna ayrıştığını ileri sürmüştür. Ters osmoz membranlarını kullanarak yüksek pH seviyelerinde % 99’a ulaşan bor gideriminin nötral pH seviyelerinde % 40-80 arasında düştüğü sonucuna ulaşmıştır [20]. Pinhas Glueckstern and Menahem Priel çalışmalarında düşük ve nötral pH seviyelerinde ters osmoz membranları ile bor gideriminin limitli olduğunu belirtmişlerdir. Farklı tip ters osmoz membranlarının nominal test şartlarında 5-6 ppm arasında bor konsantrasyonuna sahip deniz suyunda ulaşacakları bor giderim yüzdeleri verilmiştir. Ayrıca pH=11 değerinde bor gideriminin % 98-99 aralığına ulaştığını bildirmişlerdir [24].

Tesise giren ham suyun bor konsantrasyonu çalışma süresi boyunca ortalama 142.25 mg/L olarak hesaplanmıştır. Tesis için hesaplanan ortalama bor

konsantrasyon değerinin, Mobil Pilot Arıtma Tesisinde 2 mg/L'nin altına inmesi için araştırma parametrelerinde optimize değerler belirlenmeye çalışılmıştır. Tesisin genel özelliklerinde giriş su sıcaklığının minimum 12 °C, maksimum 25 °C olması gerektiği belirtilmiştir. Sıcaklık düştükçe temiz su akış hızının düştüğü ve basıncın yükselmesi ile enerji sarfiyatının arttığı gözlenmiştir. Bu problem ile karşılaşmamak için uygun sıcaklığın 20 °C'nin olması gerektiği düşünölmektedir. Kontrol edilemeyen sıcaklık ve ham su bor konsantrasyonu değerlerinin yanında kontrol edilebilen pH ve basınç parametreleri değerlendirilecek olursa; basıncın pH parametresine oranla bor giderim yüzdesi üzerinde etkisinin daha az olduğu çalışma sonuçları incelendiğinde rahatlıkla görölecektir. Hem akım şemasına göre tesise minimum 9 m³/saat su alıp minimum 5 m³/saat temiz su üretimi gerçekleştirmek adına hem de tesis basınç değerlerini enerji sarfiyatlarını yükseltmemek için, 1. kademe ters osmoz sistemi için giriş basınç değerinin 10 bar, 2. kademe ters osmoz sistemi için 8 bar olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Belirlenen bu parametreler ışığında pH için optimum verilere ulaşılmıştır. 1. kademe ters osmoz ünite girişi pH>10 ve 2. kademe ters osmoz ünite girişi pH>10.50 olduğunda tesisin bor giderim yüzdesi % 99'un üstüne çıkmıştır ve temiz su bor konsantrasyon değerinin 2 ppm'in altında güvenli bölgede üretildiği sonucuna varılmıştır. Bu durum Çizelge 4.23'te verilen çalışma sonucu ile de ortaya konmuştur. Bu çalışmada 142.25 ppm konsantrasyon değerini yaklamak için 20 tonluk polietilen bir tankta taban suyu, arıtma tesisinden çıkan temiz su ile seyreltilmiştir.

Çizelge 4.23 Optimum çalışma değerleri

		RO1	RO2
µS	İLETKENLİK GİREN	1796,00	250,00
° C	SICAKLIK GİREN	20,00	20,00
µS	İLETKENLİK ÇIKAN	286,00	18,00
° C	SICAKLIK ÇIKAN	20,00	20,00
m ³ /saat	AKIŞ HIZI (TEMİZ SU)	5,85	5,40
m ³ /saat	AKIŞ HIZI (KONSANTRE)	3,46	0,50
bar	P _{IN}	10,00	8,00
bar	P _{OUT}	7,90	7,50
-	pH _{RO1} GİREN	10,01	10,52
ppm	BOR GİRİŞ	142,29	22,82
ppm	BOR ÇIKIŞ	22,82	1,28
%	BOR GİDERİM VERİMİ	83,96	94,39
TOPLAM BOR GİDERİMİ			99,10

4.5 Ekonomik Analiz

Arıtma Tesisi'nin çalıştığı süre boyunca, sistemin çalışma parametreleri kullanılarak ekonomik açıdan aylık değerlendirmeler yapılmıştır. Çizelge 4.24'te örnek olarak Nisan ayına ait rapor gösterilmiştir.

Çizelge 4.24 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav Açık Ocak Taban Suyu Bor Arıtımı Mobil Pilot Tesisi aylık çalışma parametreleri Nisan 2011

TOPLAM ÇALIŞMA SÜRESİ		DURUŞLAR								İŞLENEN HAM SU	TEMİZ SU ÜRETİMİ
		İşletme Kaynaklı		Tesis Kaynaklı		Diğer Duruşlar		Toplam			
Gün	Saat	Gün	Saat	Gün	Saat	Gün	Saat	Gün	Saat	Ton	Ton
28	3	0	1	0	41	0	3	1	21	4830	2736
MALZEME-GİDER ADI		BİRİM FİYAT				TÜKETİMLER		GİDERLER (TL)			
ANTİSKALANT		25.00		TL/kg		45.24 kg		1,131.00			
ARITMA TUZU		0.20		TL/kg		5,070.00 kg		1,014.00			
NaOH		0.30		TL/kg		5,321.91 kg		1,596.57			
NaClO		2.00		TL/kg		15.21 kg		30.42			
HCl		1.10		TL/kg		844.48 kg		928.93			
40" 20 µ KARTUŞ		17.00		TL/adet		0.00 adet		0.00			
ENERJİ		0.20		TL/Kwh		9,715.00 Kwh		1,943.00			
BAKIM-ONARIM		20.00		TL/gün		30.00 gün		600.00			
İŞÇİLİK		200.00		TL/gün		30.00 gün		6,000.00			
TOPLAM AYLIK MALİYET (İşçilik hariç)								TL		7,243.92	
TOPLAM AYLIK MALİYET (İşçilik dahil)								TL		13,243.92	
1 m³ temiz su maliyeti (İşçilik hariç)								TL/m ³		2.65	
1 m³ temiz su maliyeti (İşçilik dahil)								TL/m ³		4.84	
HAM SU AKIŞ HIZI								ton/saat		7.16	
TEMİZ SU AKIŞ HIZI								ton/saat		4.05	
TESİS VERİMİ (Temiz su[ton] / Ham su[ton])								%		56.65	

DURUŞ NEDENLERİ

TESİS KAYNAKLI DURUŞLAR	
- 1. kademe ters osmoz sisteminin giriş basıncının yüksekliğinden dolayı tesis durduruldu ve kimyasal yıkama yapıldı.	15 saat
- 20 tonluk çöktürme tankında flokülatör atığı temizlendi.	1 saat
- Kum filtresi, karbon filtre, yumuşatma tankı yüksek basınç farkından dolayı asit ile yıkatılıp durulama yapıldı.	5 saat
- Tesisin temiz su tahliye borusu kırıldı.	3 saat
- 1. kademe pH ayarlama sistemi içerisindeki bağlantılar, pH probu ve karıştırıcı sökülerek temizlendi	3 saat
- Teknik servis, 1. kademe ve 2. kademe ters osmoz ünitelerine ait membranların yerlerini değiştirdi.	8 saat
- Konteyner içindeki ham su tankının elektronik valfindeki arıza giderildi.	6 saat
İŞLETME KAYNAKLI DURUŞLAR	
- Ocak taban suyu pompasındaki elektrik arızası.	1 saat
DİĞER DURUŞ NEDENLERİ	
- Şebeke elektriğindeki kesinti sebebiyle tesis çalışmadı.	3 saat

Kimyasal kullanım miktarları ve diğer giderler, şartlara bağlı olarak değişimler gösterdiği için ekonomik analiz sonuçları da bu bağlamda değişmektedir. Çizelge 4.25 ve Çizelge 4.26'da 2010 ve 2011 yılları içerisinde, tesisin çalıştırıldığı günler baz alınarak bulunan sonuçlar verilmiştir. Çizelge 4.25 ve Çizelge 4.26'da *bakım-onarım ve işçilik maliyetleri* hesaplanırken *fili çalışma süresi* ve *tesis kaynaklı duruşların süresi* kullanılmıştır. *İşletme kaynaklı duruşlar* ve *diğer duruş nedenleri* bertaraf edilebilir ve edilmesi gereken sorunlar kaynaklıdır. Fakat *tesis kaynaklı duruşlar* prosesin kaynaklı duruşları işaret etmektedir. Prosesin iyileştirilmesiyle bir kısım tesis kaynaklı sorunlardan da kurtulmak mümkündür ama bu sistem hali hazırda kurulu düzeniyle değerlendirilmiştir. 2010 ve 2011 yılında yapılan değerlendirmeler incelenirken dikkat edilmesi gereken husus; 2010 yılı için çalışmanın Mayıs ayında başlamış olması ve 2011 yılı için Mayıs ayında sonlanmış olmasıdır. Aşağıdaki çizelgelerde işçilik hariç ve işçilik dahil maliyetleri ayrı şekilde gösterilmiştir. Bu tesis, araştırma-geliştirme çalışmaları için kurulmuş pilot bir tesistir. Burada çalışan işçilerin sayısı sistem 4 – 5 kat artsa dahi değişmeyecektir. Dolayısıyla pilot tesisin maliyetleri arasında yüzdesel olarak büyük bir yer tutan işçilik maliyeti, tam kapasiteli bir sistemde sonuçları bu derece etkileyecek bir konumda olmayacaktır.

Çizelge 4.25 Arıtma Tesisi 2010 yılı çalışma parametreleri

TOPLAM ÇALIŞMA SÜRESİ		TESİS KAYNAKLI DURUŞLAR			İŞLENEN HAM SU	TEMİZ SU ÜRETİMİ
Gün	Saat	Gün		Saat	Ton	Ton
109	6	59		9	16852	7935
MALZEME-GİDER ADI		BİRİM FİYAT		TÜKETİMLER		GİDERLER (TL)
ANTİSKALANT	25,00	TL/kg	77,18	kg	1.929,50	
ARITMA TUZU	0,20	TL/kg	7.755,00	kg	1.551,00	
NaOH	0,30	TL/kg	18.795,12	kg	5.638,54	
NaClO	2,00	TL/kg	109,77	kg	219,54	
HCl	1,10	TL/kg	3.066,50	kg	3.373,15	
40" 20 µ KARTUŞ	17,00	TL/adet	35,00	adet	595,00	
40" 5 µ KARTUŞ	17,00	TL/adet	14,00	adet	238,00	
20" 5 µ KARTUŞ	6,50	TL/adet	3,00	adet	19,50	
ENERJİ	0,20	TL/Kwh	24.040,00	Kwh	4.808,00	
BAKIM-ONARIM	20,00	TL/gün	168,63	gün	3.372,60	
İŞÇİLİK	200,00	TL/gün	168,63	gün	33.726,00	
TOPLAM AYLIK MALİYET (İşçilik hariç)					TL	21.744,83
TOPLAM AYLIK MALİYET (İşçilik dahil)					TL	55.470,83
1 m³ temiz su maliyeti (İşçilik hariç)					TL/m ³	2,74
1 m³ temiz su maliyeti (İşçilik dahil)					TL/m ³	6,99
HAM SU AKIŞ HIZI					ton/saat	6,43
TEMİZ SU AKIŞ HIZI					ton/saat	3,03
TESİS VERİMİ (Temiz su[ton] / Ham su[ton])					%	47,09

Çizelge 4.26 Arıtma Tesisi 2011 yılı çalışma parametreleri

TOPLAM ÇALIŞMA SÜRESİ		TESİS KAYNAKLI DURUŞLAR			İŞLENEN HAM SU	TEMİZ SU ÜRETİMİ
Gün	Saat	Gün		Saat	Ton	Ton
86	12,50	9		20	15200	8104
MALZEME-GİDER ADI		BİRİM FİYAT		TÜKETİMLER		GİDERLER (TL)
ANTİSKALANT	25,00	TL/kg	118,08	kg		2.952,00
ARITMA TUZU	0,20	TL/kg	15.870,00	kg		3.174,00
NaOH	0,30	TL/kg	17.223,20	kg		5.166,96
NaClO	2,00	TL/kg	88,71	kg		177,42
HCl	1,10	TL/kg	2.729,68	kg		3.002,65
40" 20 µ KARTUŞ	17,00	TL/adet	21,00	adet		357,00
40" 5 µ KARTUŞ	17,00	TL/adet	7,00	adet		119,00
20" 5 µ KARTUŞ	6,50	TL/adet	0,00	adet		0,00
ENERJİ	0,20	TL/Kwh	33.465,00	Kwh		6.693,00
BAKIM-ONARIM	20,00	TL/gün	96,35	gün		1.927,08
İŞÇİLİK	200,00	TL/gün	96,35	gün		19.270,83
TOPLAM AYLIK MALİYET (İşçilik hariç)					TL	23.569,11
TOPLAM AYLIK MALİYET (İşçilik dahil)					TL	42.839,94
1 m³ temiz su maliyeti (İşçilik hariç)					TL/m ³	2,91
1 m³ temiz su maliyeti (İşçilik dahil)					TL/m ³	5,29
HAM SU AKIŞ HIZI					ton/saat	7,32
TEMİZ SU AKIŞ HIZI					ton/saat	3,90
TESİS VERİMİ (Temiz su[ton] / Ham su[ton])					%	53,32

Çizelge 4.25 ve Çizelge 4.26'daki verilerde görülmektedir ki üretilecek 1 metreküp su, işçilik hariç 3.00 TL'yi geçmemektedir. İşçilik dahil edildiğinde sonuç 2 kattan daha fazla artış göstermektedir, fakat tesis pratik çalışma verileri göz önüne alındığında 3 – 4 m³/saat arasında temiz su üretimi gerçekleştiren bir tesistir, bu ölçekli bir tesiste işçilik giderler arasında büyük bir yer kaplamaktadır. Fakat büyük ölçekli bir arıtma tesisinde işçilik giderleri, maliyetler üzerindeki bu derece fazla olan etkisini kaybedecektir. Bu farklılığın daha açık görülebilmesi adına şu an kurulu düzeniyle çalışan arıtma tesisi ve 100 m³/saat temiz su üretecek bir arıtma tesisi için giderlerin yıllara göre yüzdesel dağılımları Çizelge 4.27 ve Çizelge 4.28'de verilmiştir. 100 m³/saat temiz su üretimini gerçekleştirecek bir tesisi yine aynı sayıdaki işçi ile çalıştırmak mümkün olabilecektir fakat daha büyük tesis daha ihtimamlı bir kontrol gerektireceğinden işçi sayısı 2 katına çıkartılmış olarak ve bakım-onarım masraflarının da 3 katına çıkarılmış olarak giderlerin yüzdesel dağılımları bulunmuştur. Diğer gider kalemlerinin revizyonu, üretilecek temiz

suyun, hali hazırda kurulu olan arıtma tesisinin ürettiği temiz suya oranı ile bulunacak katsayı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.27 Simav Açık Ocak Taban Suyu arıtımı için kurulan Arıtma Tesisi'ne ait giderlerin yıllara göre yüzdesel dağılımları

GİDERLERİN YILLARA GÖRE YÜZDESEL DAĞILIMLARI					
		2010 Yılı (TL)	% Dağılım	2011 Yılı (TL)	% Dağılım
HAMMADDE ve MALZEME	KOSTİK	5638,54	10,16	5166,96	12,06
	DİĞER HAMMADDE ve MALZEME GİDERLERİ	7925,69	14,29	9782,07	22,83
	TOPLAM	13564,23	24,45	14949,03	34,90
ENERJİ		4808,00	8,67	6693,00	15,62
BAKIM - ONARIM		3372,60	6,08	1927,08	4,50
İŞÇİLİK		33726,00	60,80	19270,83	44,98

Çizelge 4.28 100 m³/saat temiz su üretimi gerçekleştirmesi planlanan Arıtma Tesisi'ne ait giderlerin yıllara göre dağılımları

GİDERLERİN YILLARA GÖRE YÜZDESEL DAĞILIMLARI					
		2010 Yılı (TL)	% Dağılım	2011 Yılı (TL)	% Dağılım
HAMMADDE ve MALZEME	KOSTİK	186090,43	27,21	132486,15	22,11
	DİĞER HAMMADDE ve MALZEME GİDERLERİ	261573,93	38,25	250822,31	41,86
	TOPLAM	447664,36	65,46	383308,46	63,97
ENERJİ		158679,87	23,20	171615,38	28,64
BAKIM – ONARIM		10117,80	1,48	5781,24	0,96
İŞÇİLİK		67452,00	9,86	38541,66	6,43

Çizelge 4.27 ve Çizelge 4.28 incelendiğinde, tesis büyüdükçe enerji, kostik kullanımı ve diğer hammadde ve malzeme giderlerinin yüzdesel payları tüketimler arasında artmaktadır fakat bakım-onarım ve işçilik masraflarının yüzdesel değerleri ise azalmaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Mobil Pilot Bor Arıtma Tesisi'nde yapılan çalışmalar; *sıcaklık, pH, basınç ve ham suya ait bor konsantrasyonu* parametrelerinin bor giderimine etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışma konusu olan parametrelerden; pH ve basınç, kontrol panosu üzerinden ayarlanabilirken; sıcaklık ve giriş bor konsantrasyonu değerleri, mevsimsel şartlara ve ocağın durumuna bağımlı kalmıştır. Arıtma Tesisi'nde alınacak önlemler sayesinde ham suya ilave edilen kostiğin özellikle soğuk havalarda homojen bir şekilde karışmadaki problemleri ve ham suyun sertliğindeki değişimlerin yumuşatma tankının rejenerasyon sayısını etkilemesi gibi sorunlar aşılabilir. Tesis için yapılacak bir dengeleme havuzu ile bor konsantrasyonundaki değişim minimuma inecek ve ocak ile bağlantı kesildiğinden bor konsantrasyonu, ocak içerisindeki kolemanit ve üleksit damarlarının etkisinden kurtulmuş olacak; aynı zamanda ham suyun sertliğini etkileyen kalsiyum ve magnezyum içeren killi yapıların etkisi de bertaraf edilecektir. Ham su sıcaklığının mevsimsel şartlara göre değişimini engellemek için ise bir ısı eşanjörü kullanılabilir.

Çalışma sonuçlarına göre; kontrol edilebilen parametreler olan **pH** ve **basınç arttıkça** bor giderim yüzdesi azalmıştır. Kontrol edilemeyen **sıcaklık** ve **giriş bor konsantrasyonu arttıkça** bor giderim yüzdesinde düşüş gözlenmiştir. Sıcaklıktaki artış, ters osmoz membranlarının gözeneklerinde genleşmeye neden olmakta ve bu durum üretilen suyun bor konsantrasyonunda artışa sebebiyet vermektedir. Ters osmoz membranları üzerindeki basıncın artırılmasıyla birim zamanda geçen su miktarı artmıştır. Akış hızının artmasıyla ham suyun içerisindeki borat molekülleriyle beraber diğer safsızlıkların konsantrasyonlarında da azalma gözlenmiştir ve ürün olarak daha temiz bir su elde edilmiştir. Basınç artışı enerji sarfiyatı manasına geldiğinden, giderler arasında önemli bir yere sahip olan enerji, maliyetlerin artmaması için kontrol altında tutulması gereken bir parametredir. Basınç ve enerji bağıntısını irdelerken pH değerinin bu iki parametreyi nasıl etkilediği de ortaya koyulmalıdır. Sistemde gerçekleştirilen çalışmalar göstermiştir ki; pH değeri arttıkça bor gideriminde de artış olmaktadır. Sulu çözeltilerde bor, $B(OH)_3$ veya $B(OH)_4^-$ gibi hem monomerik yapılarda hem de polimerik anyonlar

halinde bulunabilmektedir. Borik asit çok zayıf bir asittir ve nötr pH seviyelerinde su içerisinde non-iyonik borik asit formunda bulunmaktadır. Borik asit, suya teorik olarak verebileceği 3 proton olmasına karşın sudan bir $[\text{OH}]^-$ grubu alır ve bir $[\text{H}]^+$ iyonunun açığa çıkmasını sağlar, fakat iyonlaşma katsayısı çok düşük olduğundan bu reaksiyonun gerçekleşmesi sonucu ortaya çıkan $\text{B}(\text{OH})_4^-$, H^+ iyonlarının konsantrasyonları çok düşüktür. Tetrahedral yapıya sahip borat iyonlarının $[\text{B}(\text{OH})_4^-]$ ve büyük yer kaplayan (bulky) üniteler olan poliboratların $[(\text{B}_4\text{O}_7)^{2-}]$ kostik dozajıyla pH değeri yükseldiğinde su içerisinde konsantrasyonları artmakta ve membranlarda tutulan bor miktarı bu sayede yükselmektedir. Sonuç olarak bor giderimi için tesis yüksek pH seviyelerinde çalışmak zorundadır. yüksek pH seviyelerinde yapılan çalışmalar, membranlar için bir tehlikenin göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermiştir. Tesisteki birinci kademe pH ayarlama sisteminin ve su yumuşatma ünitesinin en önemli amaçlarından biri membranlar üzerinde birikmeye neden olacak kolloit yapıdaki CaCO_3 ve $\text{Mg}(\text{OH})_2$ partiküllerinin oluşumunu sağlayan Ca ve Mg elementlerinin minimuma indirilmesini sağlamaktır. Eğer bu iki sistemde sertlik yeterince giderilmez ise membran yüzeyinde birikme gerçekleşmekte, bu durum da basıncın yükselmesine sebebiyet vererek enerji tüketimini arttırmaktadır. Bu sebepten ham su, membranlara girmeden önce sertliğinden tamamen arındırılmalıdır.

Ocak tabanında bulunan su birikintisi küçük bir gölet olduğu için iklim şartlarından ve ocak içerisindeki yapılardan ciddi olarak etkilenmektedir. Dolayısıyla bor konsantrasyonları devamlı değişken bir şekilde tesise ulaşmıştır ve sonuç olarak yapılan çalışmalar göstermiştir ki bor konsantrasyon değeri yükseldikçe bor giderim yüzdesi azalmıştır. 2007 yılında Singapur Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Maung Htun Oo ve Lianfa Song'un "Effect of pH and Ionic Strength on Boron Removal by RO Membranes" adlı makalelerinde atıfta buldukları Y. Magara ve A. Tabata'ya ait "Development of Boron Reduction System for Sea Water Desalination" adlı tezin içeriğinde ham su bor konsantrasyonu 35 mg/L'nin altında olduğu durumlarda, bor gideriminin giriş bor konsantrasyonundan bağımsız olduğu ifade edilmiştir [20]. Yaptığımız çalışmalar göstermiştir ki; 35 mg/L'nin altında da "giriş bor konsantrasyonu" bor giderim yüzdesini etkilemektedir. Çizelge 4.9-10-11-12'de yapılan çalışma sonuçları

incelendiğinde 35 mg/L'nin altındaki konsantrasyon değerlerindeki etkinin boyutu görülecektir.

Arıtma Tesisi'nin çalıştığı süre boyunca, sistemin çalışma parametreleri kullanılarak aylık değerlendirmeler yapılmıştır. Aylık değerlendirme raporlarında tüketilen malzeme ve kimyasalların miktarları ve birim fiyatları, çalışma ve duruş süreleri, işlenen ham su ve üretilen temiz su miktarları bulunmaktadır. Bu değerler kullanılarak; işçilik hariç ve işçilik dahil olmak üzere: toplam aylık maliyet ve 1 m³ temiz su üretim maliyeti, ham su akış hızı, temiz su akış hızı ve tesis verimi hesaplanmıştır. Yıl sonunda aylık değerlendirme raporları değerlendirilip Arıtma Tesisi için yıllık bir rapor düzenlenmiştir. Bu raporlara göre; 2010 yılı için 1(bir) m³ temiz su üretim maliyeti işçilik hariç 2.74 TL, işçilik dahil 6.99 TL'dir, 2011 yılı için 1(bir) m³ temiz su üretim maliyeti işçilik hariç 2.91 TL, işçilik dahil 5.29 TL'dir. Tesis verimi ise 2010 yılı için % 47.09 ve 2011 yılı için % 53.32 hesaplanmıştır.

Arıtma Tesisi'ne ait giderlerin yüzdesel dağılımları incelendiğinde; 2010 yılı için kostik tüketimi % 10.16, diğer hammadde ve malzeme tüketimi % 14.29, enerji tüketimi % 8.67, bakım-onarım maliyeti % 6.08, işçilik giderleri % 60,80 olarak bulunmuştur. 2011 yılı için ise kostik tüketimi % 12.06, diğer hammadde ve malzeme tüketimi % 22.83, enerji tüketimi % 15.62, bakım-onarım maliyeti % 4.50, işçilik giderleri % 44,98 olarak bulunmuştur. Burada ulaşılan verilerden de görüldüğü gibi işçilik giderlerinin oranı çok yüksektir. Çalışmaların gerçekleştirildiği Arıtma Tesisi pilot bir tesistir dolayısıyla burada çalışan işçi sayısı sistemin kapasitesi 4-5 kat arttığı durumda da aynı sayıda kalabilecektir. Bu durum göz önüne alındığında, pilot tesisin maliyetleri arasında yüzdesel olarak büyük bir yer tutan işçilik maliyeti, daha yüksek kapasiteli bir sistemde sonuçları bu derece etkileyecek bir konumda olmayacaktır. Bu durumu somut bir şekilde görebilmek için Çizelge 4.28'de 100 m³/saat temiz su üretimi gerçekleştirmesi planlanan Arıtma Tesisi'ne ait giderlerin yıllara göre dağılımları hesaplanarak gösterilmiştir. Çizelge 4.28'e göre; 2010 yılı için kostik tüketimi % 27.21, diğer hammadde ve malzeme tüketimi % 38.25, enerji tüketimi % 23.20, bakım-onarım maliyeti % 1.48, işçilik giderleri % 9,86 olarak bulunmuştur. 2011 yılı için ise kostik tüketimi % 22.11, diğer hammadde ve malzeme tüketimi % 41.86, enerji tüketimi % 28.64, bakım-onarım maliyeti % 0.96, işçilik giderleri % 6,43 olarak bulunmuştur.

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav Açık Ocak taban suyu ile gerçekleştirilen çalışmaların yanında, bor konsantrasyon değeri 500 ± 50 mg/L olan Çamköy Barajının suyu aynı sistem ve aynı yöntem ile denenebilir. Eğer tatmin edici sonuçlar alınabilirse kurulması planlanan Arıtma Tesisi'nin yerleşke alternatiflerinden birisi de Simav Açık Ocağı'nın yanında Çamköy Barajı olabilir. Baraj suyu dinlenmiş bir su olduğu için katı partiküllerinden ayrılmış bir durumdadır ve 9 milyon m³'lük yüksek kapasitesiyle dış etkiler karşısında ciddi değişimler yaşamayan ve kimyasal kompozisyon açısından Simav Açık Ocak taban suyuna göre daha kararlı bir yapıya sahiptir.

6. KAYNAKLAR

- [1] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı (Sayı:78), Çevre ve İnsan, Ankara (Aralık 2009), 2.
- [2] Angın, M. H. ve Yılmaz, A., “Tekstil Tipi Cam Elyafı Ön Fizibilite Etüdü, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü”, (2003).
- [3] Altun, F., *BOR*, Ankara: Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, (2005).
- [4] “2008 Faaliyet Raporu, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü”, (2008).
- [5] “2010 Faaliyet Raporu, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü”, (2010).
- [6] “2009 Faaliyet Raporu, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü”, (2009).
- [7] Güler, H., “Bor Elementi, Bileşikleri ve Mineralleri ile İlgili Genel Bilgiler [online]”, (10 Mayıs 2010), <http://bor.balikesir.edu.tr/bor.html>, (2003).
- [8] Şaylı, B. S., et al., “Estimation of Human Daily Boron Exposure in a Boron-Rich Area”, *British Journal of Nutrition*, 98, 571-575, (2007).
- [9] Aydın, Ö., “Borik Asit Çözeltilerinde İyon Değişimi Yöntemi ile Kalsiyum, Magnezyum ve Demir Giderimini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2006).
- [10] R. W. Baker, “Overview of Membrane Science and Technology”, *Membrane Technology and Applications*, ISBN: 0-470-85445-6, John Wiley & Sons, 7, (2004).
- [11] Öztürk, M., “Ters Osmoz Sistemleri ile Tuzlu/Atık Suların Arıtımı”, TBMM Çevre Komisyonu, Ankara, (2009).
- [12] MB Water Technologies, “Reverse Osmosis [online]”, (28 Haziran 2010), <http://www.nehawater.com/product-reverseosmosis.htm>, (2009).

- [13] Ünlü, M. İ. ve Özyetiş, Ö., “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, (2008).
- [14] Aqua Safe Water Filtration Systems, “Reverse Osmosis [online]”, (25 Temmuz 2010), <http://www.aquasafe.com.au/reverse-osmosis.html>, (2010).
- [15] Penate, B. and Rodriguez, L. G., “Current Trends and Future Prospects in the Design of Seawater Reverse Osmosis Desalination Technology”, *Desalination*, 284, 00119164, 1-8, (2012).
- [16] Afonso, M. D., Jaberb, J. O. and Mohsen, M. S., “Brackish Groundwater Treatment by Reverse Osmosis in Jordan”, *Desalination*, 164, 157-171, (2004).
- [17] Johnston, H. K., “Reverse Osmosis Rejection of Heavy Metal Cations”, *Desalination*, 16, 2, 205-224, (1975).
- [18] Gorenflo, A., Brusilovsky, M., Faigon, M. and Liberman, B., “High pH Operation in Seawater Reverse Osmosis Permeate: First Results from the World’s Largest SWRO Plant in Ashkelon”, *Desalination*, 203, 82-90, (2007).
- [19] Köseoğlu, H., Kabay, N., Yüksel, Yüksel, M. and Kitis, M., “The Removal of Boron from Model Solutions and Seawater Using Reverse Osmosis Membranes”, *Desalination*, 223, 126-133, (2008).
- [20] Htun Oo, M. and Song, L., “Effect of pH and Ionic Strength on Boron Removal by RO Membranes”, *Desalination*, 246, 605-612, (2009).
- [21] Nitto Denko Co., “Hydranautics Membrane: ESPAB+ [online]”, (04 Nisan 2012), <http://www.membranes.com/docs/8inch/ESPAB+.pdf>, (2009).
- [22] İstanbul Teknik Üniversitesi, İ.T.Ü., “X-Işını Difraktometresi [online]”, (13 Mayıs 2010), <http://www.cercom.itu.edu.tr/xrd.html>
- [23] İstanbul Teknik Üniversitesi, İ.T.Ü., “X-Işını Floresan Spektrometresi [online]”, (13 Mayıs 2010), <http://www.cercom.itu.edu.tr/xrf.html>
- [24] Glueckstern, P. and Priel, M., “Optimization of Boron Removal in Old and New SWRO Systems”, *Desalination*, 156, 219-228, (2003).

- [25] Prats, D., Chillon-Arias, M.F. and Pastor, M., “Analysis of the Influence pH and Pressure on the Elimination of Boron in Reverse Osmosis”, *Desalination*, 128, 269-273, (2000).
- [26] Wikipedia Foundation, Inc., “Boric Acid [online]”, (22 Temmuz 2010), http://en.wikipedia.org/wiki/Boric_acid, (2012).
- [27] Wikipedia Foundation, Inc., “Borate [online]”, (22 Temmuz 2010), http://en.wikipedia.org/wiki/Borate#Aqueous_chemistry, (2012).
- [28] Schilde, U. and Uhlemann, E., “Extraction of Boric Acid from Brines by Ion Exchange”, *International Journal of Mineral Processing*, 32, 295-309, (1991).