

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Volkan İhsan ARSLAN

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

CAM SANAYİİ SOĞUTMA SUYUNUN ARITILMASININ
ARAŞTIRILMASI

119879

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2002

119879

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM SANAYİİ SOĞUTMA SUYUNUN
ARITILMASININ ARAŞTIRILMASI

Volkan İhsan ARSLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ç.Ü
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 18/01/02 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu
İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....
Prof. Dr. Mesut ANIL
JÜRI BAŞKANI

İmza.....
Doç. Dr. Oktay BAYAT
DANIŞMAN

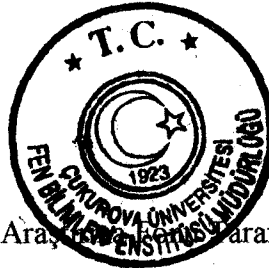
İmza.....
Prof. Dr. Fatih KÖKSAL
ÜYE

İmza.....
Yrd. Doç. Dr. Belgin BAYAT
ÜYE

İmza.....
Yrd. Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No 1944



İmza.....
Prof. Dr. Melih BORAL
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: FBE.2001.YL.71

• Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı,
5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CAM SANAYİİ SOĞUTMA SUYUNUN
ARITILMASININ ARAŞTIRILMASI

VOLKAN İHSAN ARSLAN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Oktay BAYAT

Yıl : 2002

Sayfa : 83

Jüri : Prof. Dr. Mesut ANIL

Prof. Dr. Fatih KÖKSAL

Doç. Dr. Oktay BAYAT

Yrd. Doç. Dr. Belgin BAYAT

Yrd. Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

Bu çalışmada Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası Soğutma suyu sistemindeki suyun borularda meydana getirdiği korozyonun giderilmesine çalışılmıştır. Bunun için soğutma suyundan su örnekleri alındı ve testler yapıldı. İlk metotta değişik tip ve molekül ağırlığında flokülanlar denenerek su örneği flokülasyona tabi tutulmuştur. Sonuçta sadece ultrafiltrasyon kullanılarak yapılan deneylerde soğutma suyundaki mikroorganizmaların %71'i giderilmiştir. Daha sonra *Magnafloc-1011* kullanılarak yapılan flokülasyon deneylerinde ise soğutma suyundaki mikroorganizmaların ise %63'ü giderilmiştir. Son olarak flokülasyon+ultrafiltrasyon işlemi birlikte uygulandığında soğutma suyundaki mikroorganizmaların %82'sinin giderimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Soğutma suyu, ultrafiltrasyon ve flokülasyon

ABSTRACT

Msc. THESIS

INVESTIGATION OF THE TREATMENT OF THE COOLING WATER IN THE GLASS INDUSTRY

VOLKAN IHSAN ARSLAN

DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF CUKUROVA

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Oktay BAYAT
Year: 2002 Page: 83

Jury : Prof. Dr. Mesut ANIL
Prof. Dr. Fatih KOKSAL
Assoc. Prof. Dr. Oktay BAYAT
Assist. Prof. Dr. Belgin BAYAT
Assist. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM

In this study, the treatment of the cooling water was investigated in order to prevent corrosion in the pipes of the water system in Trakya Cam Industry, Tarsus-Mersin Factory. For this, water samples were taken from the cooling water and a test work was applied. The first method conducted was flocculation and some flocculants having different type and molecular weight were used. The results show that, using only ultrafiltration %71 of the microorganisms were removed from the cooling water. Later, using *Magnafloc-1011* in the flocculation tests %63 of the microorganisms were removed from the cooling water.

Finally, flocculation-ultrafiltration experiments were carried out and the results show that %83 of the microorganisms could be removed from the cooling water.

Key Words: Cooling water, ultrafiltration and flocculation

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Oktay BAYAT'ın danışmanlığında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren, destek veren çok değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Oktay BAYAT'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmalarım esnasında her türlü kolaylığı ve çalışma ortamını sağlayan Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı değerli hocam Prof. Dr. Mesut ANIL'a, bu çalışmanın deneysel aşamalarında yardımlarını gördüğüm Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Fatih Köksal'a, Çevre Mühendisliği Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Belgin BAYAT ve Arş. Gör. Bülent SARI'ya teşekkür ederim.

Numunelerin alınmasında her türlü kolaylığı sağlayan Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası Teknik Müdürü Sayın Ertan TANYELİ'ye ve bu çalışmanın yürütülmesi ve yazım aşamasında beni sürekli destekleyen mesai arkadaşlarım Arş. Gör. Yasin ERDOĞAN ve Arş. Gör. İsmail KURUMUŞ'a teşekkür ederim.

Son olarak sürekli manevi desteklerini hissettiğim anneme, babama ve eşim Dr. Saadet ARSLAN'a ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Suyun Genel Özellikleri	2
1.1.1. pH	3
1.1.2. Alkalinite	3
1.1.3. Suyun Asitlik Özelliği	3
1.1.4. Suyun Sertliği	3
1.1.5. Silika (SiO ₂).....	4
1.2. Soğutma Suyu Sistemleri.....	6
1.2.1. Kapalı Devre Soğutma Suyu Sistemleri	7
1.2.2. Açık Devre (Tek Kullanımlı) Soğutma Suyu Sistemleri	8
1.2.3. Yarı Açık Soğutma Suyu Sistemleri.....	8
1.2.3.1. Yarı Açık Soğutma Suyu Sistemlerinde Karşılaşılan Problemler	10
1.2.3.1.(1). Korozyon.....	10
1.2.3.1.(2). Kabuk Oluşumu	12
1.2.3.1.(3). Mikroorganizmalar.....	12
1.3. Su Arıtma Sistemleri.....	13
1.3.1. Havalandırma.....	13
1.3.2. Kimyasal Pıhtılaştırma ve Yumaklaştırma	14
1.3.3. Filtrasyon	15
1.3.4. Havasızlaştırma.....	16
1.3.5. Dezenfeksiyon	16

1.3.6. Kimyasal Yumuşatma.....	17
1.3.7. İyon Değiştiriciler.....	17
1.3.8. Membran Sistemler.....	17
2. GENEL BİLGİLER.....	18
2.1. TRAKYA CAM SANAYİ, TARSUS-MERSİN FABRİKASI.....	18
2.1.1. Kuruluş Aşaması.....	18
2.1.2. Üretim.....	19
2.1.2.1. Ana Üretim Hattı.....	19
2.1.2.1.(1). Fırın.....	19
2.1.2.1.(2). Şekillendirme (Kalay Banyosu).....	21
2.1.2.1.(3). Soğutma.....	21
2.1.2.1.(4). Cam İşleme.....	22
2.1.2.2. Yardımcı Tesisler.....	22
2.1.2.2.(1). Kum Hazırlama.....	22
2.1.2.2.(2). Harman Hazırlama.....	23
2.1.2.2.(3). Su Soğutma Sistemi.....	23
2.1.2.2.(4). Su Yumuşatma ve Demineralizasyon Tesisleri.....	23
2.1.2.2.(5). Hidrojen Üretim Tesisleri.....	23
2.1.2.2.(6). Azot Üretim Tesisleri.....	24
2.1.2.2.(7). Baca Gazı Arıtma Tesisleri.....	24
3. FLOKÜLASYON VE FİLTRASYON.....	25
3.1. Flokülasyon.....	25
3.1.1. Flokülasyonun Mekanizmaları.....	26
3.1.2. Flokülasyonu Etkileyen Faktörler.....	27
3.1.2.1. Polimer Dozajın Etkisi.....	27
3.1.2.2. Karıştırmanın Etkisi.....	28
3.1.2.3. Tane Büyüklüğünün Etkisi.....	28
3.1.2.4. Bulamaç Yoğunluğunun Etkisi.....	28
3.1.2.5. Molekül Ağırlığının Etkisi.....	29
3.1.2.6. pH'ın Etkisi.....	29
3.1.2.7. Asitliğin ve Alkaliliğin Etkisi.....	29

3.1.2.8. Besleme Şeklinin Etkisi.....	30
3.2. Filtrasyon	30
3.2.1. Membran Filtrasyon Teknolojisi	30
3.2.1.1. Mikrofiltrasyon (MF).....	32
3.2.1.2. Nanofiltrasyon (NF).....	33
3.2.1.3. Ters Ozmoz Filtrasyon (TO)	34
3.2.1.4. Ultrafiltrasyon (UF)	35
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	37
4.1. Flokülasyon ve Filtrasyon Uygulamaları.....	37
4.2. Culligan Şirketi Trakya Cam Sanayi Seri Filtrasyon Sistemi	40
4.3. Tekin Kimya A.Ş. Su Arıtma Araştırması.....	45
5. MATERYAL VE METOD.....	47
5.1. Materyal.....	47
5.1.1. Cam Sanayi Soğutma Suyu Genel Özellikleri.....	48
5.2. Metod.....	49
5.2.1. Bulanıklık Tayini	50
5.2.2. Toplam Sertlik Tayini	51
5.2.2.1. Kalsiyum Sertliği Tayini.....	51
5.2.2.2. Magnezyum Sertliği Tayini	52
5.2.3. Klorür (Cl) Tayini.....	52
5.2.4. Alkalinite Tayini	53
5.2.5. pH Tayini	54
5.2.6. Na ve K Tayini.....	55
5.2.7. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Tayini	55
5.2.8. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Tayini (BOİ)	56
5.2.9. Canlı Bakteri Sayımı (CBS) Tayini.....	59
5.2.10. Ultrafiltrasyon Deneyleri	59
5.2.11. Flokülasyon Deneyleri.....	61
5.2.12. Flokülasyon+Ultrafiltrasyon Deneyleri	62
5.2.13. Silt Yoğunluk İndeksi Tayini (SYİ _T).....	63
6. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	64

6.1.Ultrafiltrasyon Deneyleri	64
6.1.1. Ultrafiltrasyon İçin Optimal Hava Basıncının Tespiti.....	64
6.1.2. Ultrafiltrasyonun Culligan Filtresi İle Karşılaştırılması	65
6.1.3. Optimal Hava Basıncında Suyun Ultrafiltrasyonu	67
6.2. Flokülasyon Deneyleri.....	68
6.2.1. Uygun Flokülantın Belirlenmesi.....	68
6.2.2. Optimum Flokülant Miktarı ve Bekleme Süresinin Belirlenmesi	71
6.3. Flokülasyon+Ultrafiltrasyon Deneyleri	72
6.4. Silt Yoğunluk İndeksi Tayini.....	74
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No

Sayfa No

Çizelge 1.1. Suda Bulunabilecek Yabancı Maddelerin Yarattığı Problemler ve Uygulanabilir Arıtma Metotları.....	4
Çizelge 1.2. Soğutma Suyu Sistemlerinde Kullanılan Bazı Metaller ve Kullanım Alanları.....	6
Çizelge 4.1. Culligan Şirketinin Tesis için Önermiş Olduğu Tüketim Miktarları ve Fiyatları	45
Çizelge 5.1. Ham Su Analiz Sonuçları	48
Çizelge 6.1. Membran Ultrafiltrasyon için Optimal Hava Basıncının Tespiti	65
Çizelge 6.2. Membran Filtrenin Culligan Filtresi ile Karşılaştırılması.....	66
Çizelge 6.3. 4 Bar Sabit Hava Basıncında Suyun Ultrafiltrasyonu	67
Çizelge 6.4 Ham Suyun Genel Özellikleri	68
Çizelge 6.5. 1 nolu Kuyu Suyu için Uygun Flokülantın Belirlenmesi.....	69
Çizelge 6.6. Toplama Havuzu için Uygun Flokülantın Belirlenmesi	70
Çizelge 6.7. 1 nolu Kuyu Suyu için Optimum Flokülant Miktarı ve Bekleme Süresinin Belirlenmesi	71
Çizelge 6.8. Toplama Havuzu için Optimum Flokülant Miktarı ve Bekleme Süresinin Belirlenmesi	72
Çizelge 6.9. 1 Nolu Kuyu Suyu Analiz Sonuçları	73
Çizelge 6.10. Toplama Havuzu Suyu Analiz Sonuçları	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil No

Sayfa No

Şekil 1.1. Kapalı Devre Soğutma Suyu Sistemleri.....	7
Şekil 1.2. Açık Devre (Tek Kullanımlı) Soğutma Suyu Sistemleri.....	8
Şekil 1.3. Yarı Açık Soğutma Suyu Sistemleri	9
Şekil 1.4. Havalandırıcı	13
Şekil 2.1. Trakya Cam Sanayii Tarsus-Mersin Fabrikası Genel Üretim Şeması	20
Şekil 3.1. Membran Konsantrasyonu.....	31
Şekil 3.2. Ters Ozmoz Filtrasyon İşlemi Genel Akım Şeması	35
Şekil 3.3. İşletme Maliyetleri Mukayesesi	36
Şekil 4.1. Culligan Seri Filtrasyon Sistemi.....	42
Şekil 5.1. Laboratuar Deney Düzeneği.....	60
Şekil 7.1. T.C.S. Tarsus-Mersin Fabrikası Soğutma Suyu Mevcut Arıtım Sistemi	78
Şekil 7.2. Trakya Cam Sanayi Tarsus-Mersin Fabrikasına Sunulan Çözüm Önerisi	78

1. GİRİŞ

Saf su saydam, renksiz, tatsız ve kokusuzdur. Kimyasal yapı olarak iki atom hidrojen ile bir atom oksijenin birleşmesiyle meydana gelmiştir.



Yeryüzünün 2/3'den fazlası su ile örtülüdür. Su doğada daima hareket halindedir. Deniz, nehir, göl, dere ve nemli topraktan buharlaşan su, sıvı fazdan gaz faza geçer ve bulutları meydana getirir. Bunlar rüzgara bağlı olarak hareket ederler ve su, yağmur, sis, çığ, dolu veya kar halinde tekrar yeryüzüne dönerler. Su yeryüzüne dönerken atmosferde bulunan CO₂ ve SO₂ gazlarını absorblar ve asit yağmurları oluşur.

Su kum gibi gözenekli kısımlardan alt katmanlara süzülür, karşılaştığı değişik karakterdeki yeryüzü katmanları içinde bulunan organik ve inorganik maddeleri çözer. Sudaki yabancı maddeler çözünmüş halde ve askıda katı halde bulunurlar. Örneğin, kalsiyum bikarbonat (Ca(CO₃)₂) suda çözünür ve çözeltisi renksizdir. Ancak bazı suda çözünebilir mineraller suya renk verir ve sudaki çözeltileri berraklaştırır. Askıda katı maddeler ise suda tamamen çözünmez, tanecik halinde bulunurlar ve suya bulanıklılık verirler. İnsan için yararlı olan su çözücü özelliğinden dolayı endüstriyel uygulamalarda kullanılmak istendiğinde gerekli tedbirler alınmadığı takdirde büyük bir tehlike oluşturur. Suyun metalleri yavaş yavaş çözmesi ile korozyon reaksiyonları oluşur (Aydın ve ark., 1998).

Cam üretimi yüksek sıcaklıklarda çalışmayı gerektiren bir prosestir. Bu nedenle üretimin çeşitli evrelerinde gerek prosesteki fazla ısıyı almak ve gerekse de ekipmanı korumak amacı ile soğutma suyu sistemlerinden yararlanılmaktadır. Cam fırınlarında da diğer ağır sanayilerde olduğu gibi açık, yarı açık veya kapalı devre soğutma suyu sistemleri ihtiyaca göre seçilerek kullanılmaktadır.

Trakya Cam Sanayii A.Ş. Mersin Fabrikası teknolojik su olarak adlandırılan yarı açık soğutma suyu sistemi ile *chilled-water* devresi olarak adlandırılan kapalı devre soğutma suyu sistemlerini birlikte kullanmaktadır. Trakya Cam Sanayii A.Ş.

Tarsus-Mersin Fabrikası'nda soğutma suyu sistemi ile ilgili sorunlar Kasım-1997'de mikser palaları ve buna bağlı habbe probleminin yaşanması ile başlamıştır. Mikser palası metali seçimi ve optimizasyonuna yönelik çalışmaların gerçekleştirildiği dönemde soğutma suyu nakil borularında yoğun bir şekilde delinmeler meydana gelmiştir. Ayrıca 4 adet kuyudan alınarak bekleme havuzlarında toplanan soğutma suyu sisteme beslenmeden önce eleklerden geçirilerek süzülmeştir. Fakat bu esnada elekte biriken bakteriler ve yabancı maddeler elekleri tıkararak ömrünün oldukça azalmasına sebep olmaktadır (Aydın ve ark., 1998).

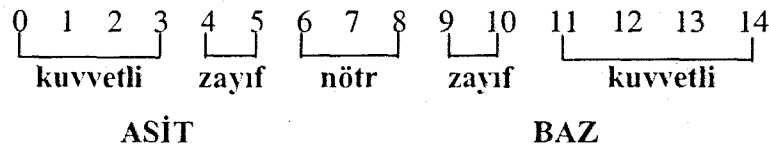
Bu çalışmada yukarıda belirtilen sorunların giderilmesi için gerekli olduğu düşünülen kimyasal oksijen ihtiyacı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, bulanıklık ve bakteri giderimi için flokülasyon-ultrafiltrasyon deneyleri yapılmış elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve öneriler sunulmuştur.

1.1. Suyun Genel Özellikleri

Suyun pH, alkalinite, asidite, sertlik, çözünmüş silika ve iletkenlik gibi özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

1.1.1. pH

Saf suda H^+ iyonu ile OH^- iyonları arasında bir denge vardır. Nötr suda ise H^+ iyonu konsantrasyonu ile OH^- iyonu konsantrasyonu birbirine eşittir, yani $(H^+) = (OH^-) = 10^{-7}$ 'dir. Dolayısıyla nötr suyun pH'ı 7'dir. Aşağıda görülmekte olan pH skalasına göre ;



H^+ iyonu konsantrasyonu arttıkça pH değeri azalmakta ve ortam asit özelliği göstermektedir. H^+ iyonu konsantrasyonu azaldıkça pH değeri artmakta ve ortam baz özelliği göstermektedir. Su sistemlerindeki korozyon ve tortu oluşumunun etkin bir kontrolü için pH ölçümleri gereklidir (Kerestecioğlu, 1998).

1.1.2. Alkalinite

Suyun asitleri nötrleştirme yeteneği, suyun *alkalinitesi* olarak tarif edilir. Suda çözünen CO₂, karbonik asidi oluşturur. Karbonik asit zayıf asittir ve pH'ı 4.3'e kadar düşürür. Bu da metal sistemlerinin korozyona uğramasına sebep olabilecek bir seviyedir. Suyun asitlik, alkalilik özelliğinin bilinmesi suyun arıtılmasında ve korozyon etkisinin kontrolünde yardımcı olur (Kerestecioğlu, 1998).

1.1.3. Suyun Asitlik Özelliği

Suda eriyen bazı gazlar ve kimyasal maddeler suda hidrojen iyonu konsantrasyonunun artmasına neden olurlar. Buna *asitlik* özelliği denir. Sanayi atıkları ve kanalizasyonun karışması da suya asitlik ve alkalilik özelliği verir. Suyun asitlik özelliğinin artması sistemde kullanılan ekipmanlarda korozyona ve delinmelere sebep olabilmektedir (Kerestecioğlu, 1998).

1.1.4. Suyun Sertliği

Suyun sertliği, temas ettiği topraktaki mineralleri çözmesi veya endüstriyel atıkların su içine karışmasıyla meydana gelir. Halk arasında tanımlanan sertlik suyun sabunu tüketme kapasitesidir. Sertlik, suda çözülmüş halde bulunan +2 değerlikli metal tuzların CaCO₃ cinsinden ifade edilmesi olarak tanımlanır. Sert sular endüstride suyun kullanıldığı malzemede tortu ve kabuklaşmaya neden olurlar. Isı transferi güçleşir buna bağlı olarak yakıt sarfıyatı artar (Kerestecioğlu, 1998).

1.1.5. Silika (SiO₂)

Suda çözülmüş halde bulunan silika, uygun şekilde kontrol edilmediği ve gerekli tedbirlerin alınmadığı soğutma sistemlerinde, kazanlarda ve türbinlerde kolaylıkla uzaklaştırılamayan birikintiler oluşturabilir.

Suda bulunabilecek yabancı maddelerin yarattığı problemler ve uygulanabilir arıtma yöntemleri Çizelge 1.1’de verilmiştir (Kerestecioğlu, 1998).

Çizelge 1.1. Suda Bulunabilecek Yabancı Maddelerin Yarattığı Problemler ve Uygulanabilir Arıtma Metotları (Kerestecioğlu, 1998).

	Kimyasal Formül	Sebebi Olduğu Problemler	Arıtma Metotları
Bulanıklık		Suya bulanık görünüm vermesi, su hatlarında ve ekipmanlarda tortu oluşurması	Koagülasyon, çöktürme ve filtrasyon
Sertlik	Ca^{++} , Mg^{++}	Isı değıştirici ekipmanlarda, kazanlarda ve boru hatlarında tortu oluşurması, boyamayı etkilemesi	Yumuşatma, demineralizasyon, kaynatma ve aktif madde uygulamaları
Alkalinite	HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^-	Kazanın çelik malzemelerinin kırılabilir hale gelmesi, bikarbonat ve karbonatın buharla CO_2 oluşurması ve borularda korozyon	Kireç ile yumuşatma, asit uygulama, hidrojen zeolit ile yumuşatma, demineralizasyon ve anyon değışimi ile arındırma
Asitler	H_2SO_4 , HCl	Korozyon	Alkalilerle nötralizasyon
Karbon dioksit	CO_2	Su taşıma borularında korozyon	Havalandırma, çözünmüş gazları giderme ve alkalilerle nötralizasyon
Sülfat	SO_4^{2-}	Suyun katı içeriğini artırır, kalsiyum ile birleşerek tortu oluşturur	Demineralizasyon, ters ozmoz, elektrodializ ve buharlaştırma
Klorür	Cl^-	Suyun katı içeriğini artırır ve suyun korozif özelliği artar	Demineralizasyon, ters ozmoz, elektrodializ ve buharlaştırma
Nitrat	NO_3^-	Suyun katı içeriğini artırır, suyun korozif özelliği artar ve malzemenin metal kırılabilirliğini artırır	Demineralizasyon, ters ozmoz, elektrodializ ve buharlaştırma
Florür	F^+	Endüstriyel olarak önemli bir sorun teşkil etmez	Magnezyum hidroksit, kalsiyum fosfat ile adsorpsiyon ve alüminyum ile koagülasyon

	Kimyasal Formül	Sebeplere Olduğu Problemler	Arıtma Metotları
Silika	SiO ₂	Kazanlarda ve soğutma suyu sistemlerinde tortu, türbin kanatlarında birikinti	Adsorpsiyon, demineralizasyon, ters ozmoz ve buharlaştırma
Sodyum	Na ⁺	Suyun katı içeriğini artırır, OH ⁻ ile birleştiğinde korozyona sebep olur	Demineralizasyon, ters ozmoz, elektrodializ ve buharlaştırma
Demir ve Mangan	Fe ⁺² , Fe ⁺³ , Mn ⁺²	Su boru hatlarında ve kazanlarda tortu oluşumu	Havalandırma, koagülasyon, filtrasyon, kireç ile yumuşatma, temasla filtrasyon ve aktif madde uygulaması
Alüminyum	Al ⁺³	Soğutma sistemlerinde tortu ve kazanlarda birikinti oluşturur	Durultucu ve filtre kullanımı
Oksijen	O ₂	Su boru hatlarında, ısı değiştiricilerde ve kazanlarda korozyona sebep olur	Gaz giderme, sodyum sülfid (SO ₃) ⁻² ve korozyon önleyiciler
Hidrojen sülfür	H ₂ S	Çürük yumurta kokusuna ve korozyona sebep olur	Havalandırma, klorlama ve yüksek baziklikte anyon değiştirici
Amonyak	NH ₃	Bakır ve çinko alaşımlarda korozyona sebebiyet verir	hidrojen zeolitli katyon değiştirici, klorlama ve gaz giderme
Çözünmüş katılar		Proseste etkileşmeye ve kazanlarda köpürmeye sebep olurlar	Kireç ile yumuşatma, hidrojen zeolitli katyon değiştirici, demineralizasyon, ters ozmoz, elektrodializ ve buharlaştırma
Askıda katı madde		Su boru hatlarında, ısı değiştiricilerde ve kazanlarda korozyona sebep olur	Koagülasyon, çöktürme ve filtrasyon
Toplam katılar		Çözünmüş katılar ve askıda katıların toplamı	Çözünmüş katılar ve askıda katı madde için uygulanan işlemler
Organik madde			Berraklaştırma, oksidasyon ve adsorpsiyon
Mikroorganizmalar		Balçık, koku ve tortu oluşumu	Berraklaştırma, sterilizasyon, koagülasyon, çöktürme ve filtrasyon

1.2. Soğutma Suyu Sistemleri

Soğutma suyu sistemlerinde, işletmenin yerleşim alanına ve sistemde kullanılan suyun genel özelliklerine bağlı olarak kullanılacak olan ekipmanlar çok geniş bir yelpazede dağılmaktadır. Soğutma suyu sistemlerinde kullanılan bazı metaller ve kullanım alanları Çizelge 1.2’de verilmiştir. Bu metaller çalışma şartlarına bağlı olarak tek yada birkaçı birlikte kullanılabilir. Sistem dizaynı ve metal/alaşım seçiminde en önemli faktör *KOROZYON*’dur (Sesigür, 1998).

İşletmelerin büyüklüğü ve ihtiyaçlarına bağlı olarak oluşturulan soğutma suyu sistemleri temelde 3 ana grupta toplanmaktadır.

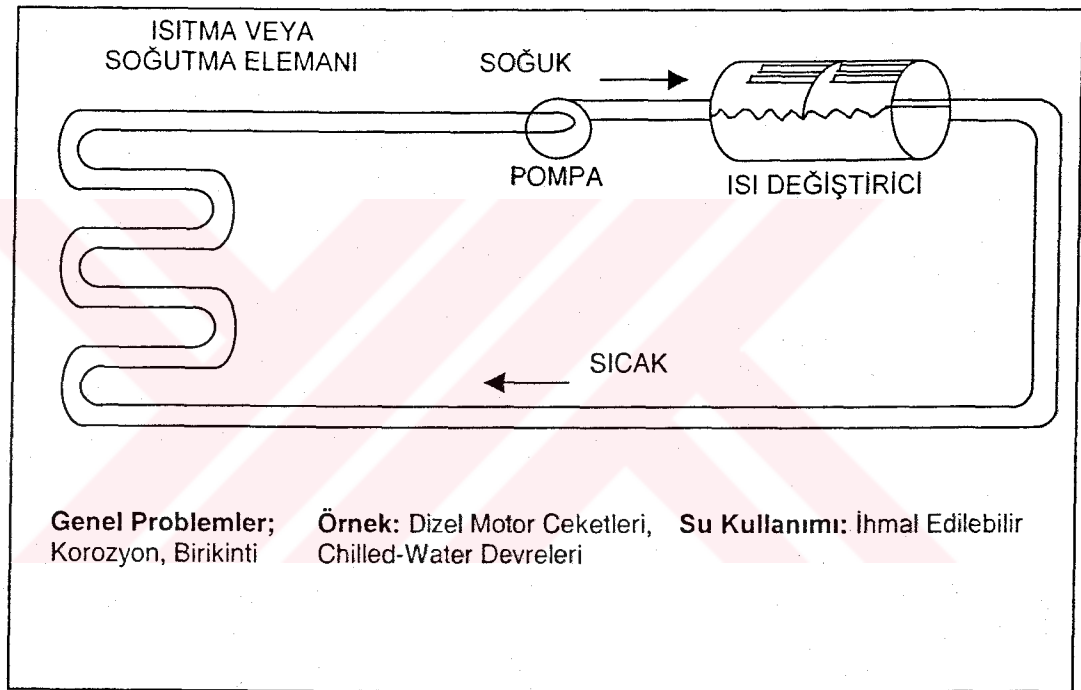
- i Kapalı devre soğutma suyu sistemleri,
- ii Açık devre (tek kullanımlı) soğutma suyu sistemleri,
- iii Yarı açık soğutma suyu sistemleri (Aydın ve ark., 1998).

Çizelge 1.2. Soğutma Suyu Sistemlerinde Kullanılan Bazı Metaller ve Kullanım Alanları (Sesigür, 1998).

Metalin Özelliği		Kullanım Alanı
Karbon Çeliği-Düşük Alaşımlı Çelik		Transfer hatları, ısı değiştirici parçaları, pompa parçaları, fan kanatları, valfler, elekler, akış yönlendiriciler
Dökme Demir		Pompa gövdeleri ve pervaneleri, valfler, boru bağlantı elemanları, geniş çaplı borular
Galvanizli Çelik		Soğutma kulesi parçaları, fan kanatları ve gövdeleri, transfer boruları, bağlantı elemanları
Bronz		Mil yatakları, kanatlar, özel tüpler, ısı değiştirici tüpleri, elekler
Bakır ve Pirinç		Isı değiştirici tüpleri, mil yatakları, valf parçaları, contalar
Kupronikel		Isı değiştirici tüpleri
Paslanmaz Çelik	300 serisi	Plate ısı değiştiriciler, ısı değiştirici tüpleri, pompa gövdeleri ve pervaneleri, kaynatma ve kurutma ekipmanları
	400 serisi	Gerilim korozyonuna dayanıklı tüpler, özel amaçlı ısı değiştirici tüpleri, plate ısı değiştiriciler
Alüminyum		Isı değiştirici tüpleri, transfer boruları
Nikel		Özel amaçlı ısı değiştirici tüpleri, kostik kapları
Titanyum		Deniz suyu kondensörleri, korozyona dayanıklı ekipman

1.2.1. Kapalı Devre Soğutma Suyu Sistemleri

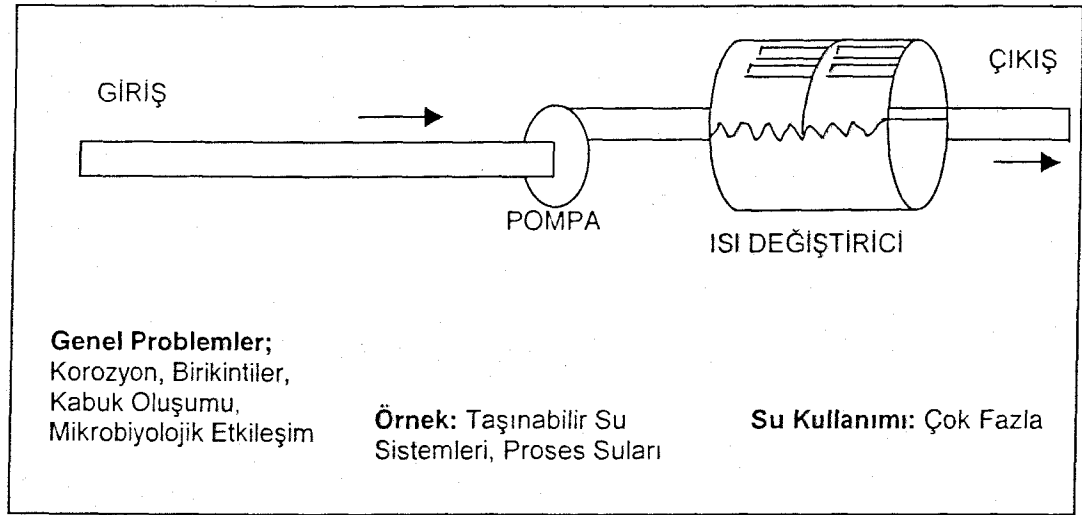
Sistemin çalışmaya başladığı andan itibaren hiçbir su kaybı veya ilavesi söz konusu olmadığı bu tür devrelerin en genel örnekleri otomobil radyatörleri, dizel motor ceketleri ve *chilled-water* devreleridir (Şekil 1.1). Ortalama su sıcaklığı değişimi 5°C'dir. Genel problemleri korozyon ve birikintilerdir (Aydın ve ark., 1998).



Şekil 1.1. Kapalı Devre Soğutma Suyu Sistemleri (Herro, 1993).

1.2.2. Açık Devre (Tek Kullanımlı) Soğutma Suyu Sistemleri

Sistem sürekli olarak taze su ile beslenir ve ısı değişimi görevini yerine getiren su atılır. Su sarfiyatının çok fazla olduğu bu tür sistemlerin en genel örneği taşınabilir soğutma suyu devreleri ve servis sularıdır (Şekil 1.2). Yaşanan problemler; korozyon, birikintiler, kabuk oluşumu ve mikrobiyolojik etkileşimlerdir (Aydın ve ark., 1998).

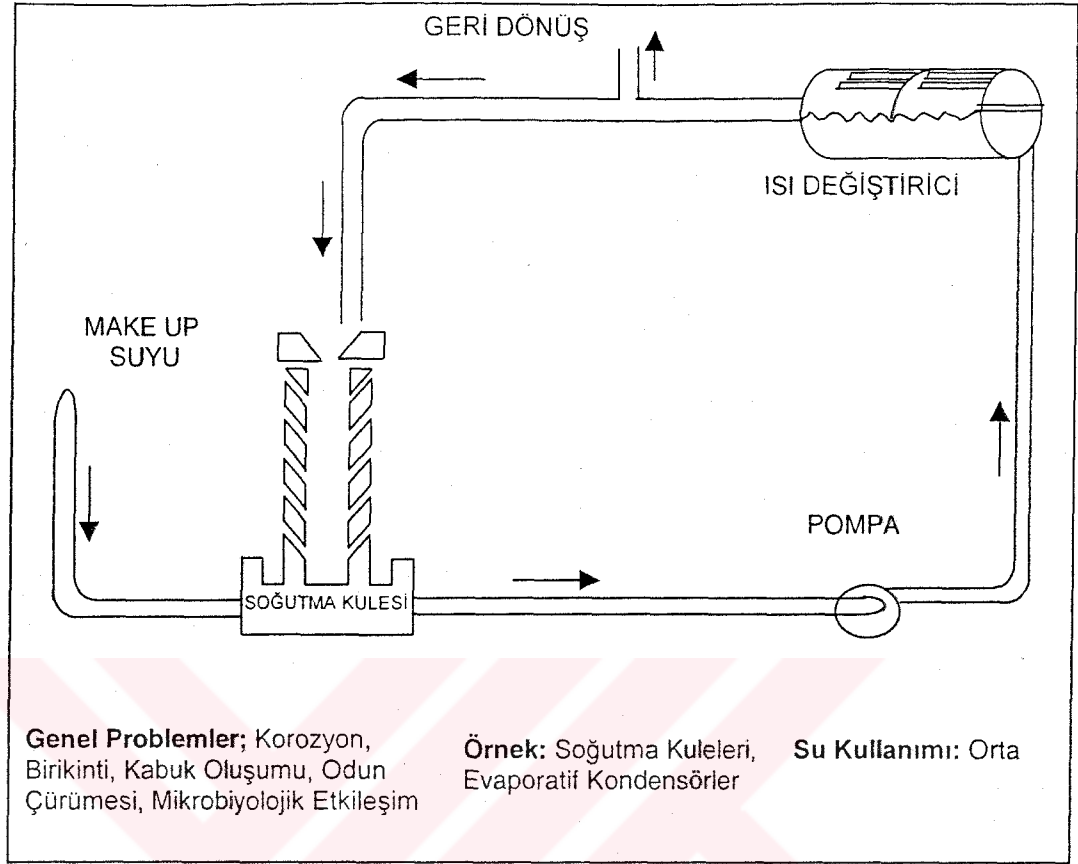


Şekil 1.2. Açık Devre (Tek Kullanımlı) Soğutma Suyu Sistemleri (Herro, 1993).

1.2.3. Yarı Açık Soğutma Suyu Sistemleri

Yarı açık soğutma suyu sistemlerinin diğer sistemlerden farkı, soğutma kulesi içermesidir. Geri dönen su bu kulede serbest düşme ve havalandırma ile soğutulmaktadır. Su kayıpları make-up (taze su) suyu adı verilen su ilavesi ile karşılanmaktadır (Şekil 1.3). Ortalama 20°C su sıcaklık farkının yaşandığı bu sistemlerin genel problemleri korozyon, birikintiler, kabuk oluşumu, odun çürümesi ve mikrobiyolojik etkileşimlerdir (Aydın ve ark., 1998).

İşletmelerin ihtiyaçlarına bağlı olarak yukarıda kısaca açıklanan bu sistemler tek başlarına veya ikili-üçlü kombinasyonlar halinde kullanılmaktadır. Trakya Cam Sanayii A.Ş. Mersin Fabrikası hem kapalı devre hem de yarı açık devre soğutma suyu sistemini birlikte kullanmaktadır.



Şekil 1.3. Yarı Açık Soğutma Suyu Sistemleri (Herro, 1993).

1.2.3.1. Yarı Açık Soğutma Suyu Sistemlerinde Karşılaşılan Problemler

Yarı açık soğutma suyu sistemlerinde karşılaşılan problemleri 3 temel grupta toplamak mümkündür;

- i Korozyon,
- ii Kabuk Oluşumu,
- iii Mikroorganizmalardır.

Korozyonun oluşumu ve ilerlemesi doğrudan soğutma suyu devresinin ömrünü belirlemektedir. Kabuk oluşumu ise ısı aktarımında verimin düşmesine ve bölgesel korozyon oluşumuna neden olmaktadır. Mikroorganizmalar korozyona neden oldukları gibi organik çamur birikintilerini de meydana getirirler. Bu üç faktör bir araya geldiğinde oldukça karmaşık ve çözülmesi güç problemler ortaya çıkmaktadır (Aydın ve ark., 1998).

1.2.3.1.(1). Korozyon

Elektro-kimyasal korozyon metalik yapıların çoğunlukla metal kaybı sonucu bozulmasıdır. Bu bozunma çatlama, aşınma, pas teşekkülü gibi değişik şekillerde kendini gösterir. Korozyon hemen her cins metal boru ve yapı ekipmanlarını tehdit eder ve bunları kullanılmaz hale getirir. Bu nedenle korozyon kontrolü hem sistemlerin kullanım güvenliği açısından hem de ekonomik açıdan son derece önemlidir (Tünay, 1996).

Soğutma suyu devrelerinde korozyon fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik etkenler ile bunların sayılamayacak kadar çok sonuçlarının bir araya geldiği oldukça karmaşık bir problem olmasının yanı sıra anodik ve katodik bölgeleri içeren temel bir elektro-kimyasal hücredir ve aşağıda belirtilen faktörlerden etkilenir;

- i Çözünmüş oksijen konsantrasyonu arttıkça korozyon artar.
- ii Malzemenin cinsine göre pH kritik bir faktör halini alır. Ancak devrelerde genel olarak demir bazlı malzemeler kullanıldığından $\text{pH} \geq 6$ halinde etkisi oldukça zayıftır. Buna karşılık $\text{pH} \leq 4.5$ durumunda ise serbest asit oluşumuna imkan verdiğinden korozyon açısından oldukça tehlikelidir.
- iii Çözünmüş tuzların cinsi ve miktarı çok önemlidir. Eğer klorür ve sülfat tuzları mevcut ise korozyondan korunma engelleyici kullanımı ile dahi oldukça zordur.
- iv Sıcaklık artışı kimyasal reaksiyonu hızlandırmakta, iletkenliği artırmakta ve oksijen yayılma hızını artırdığından suyun viskozitesinin azalmasına neden olmaktadır. Bu etkiler korozyon hızının sıcaklığın bir fonksiyonu olarak artmasına neden olmaktadır.
- v Su sirkülasyon hızının artması korozyonu artırmaktadır.
- vi Farklı metallerin birbirleri ile teması korozyona sebep olur.
- vii Çamur, kum, kil gibi askıda katı maddeler farklı havalandırma bölgeleri yaratarak korozyonu artırır.
- viii Çevre kirliliği taşıdığı H_2S , SO_2 gibi gazların soğutma kulesinde su ile reaksiyona girerek asit oluşumuna sebebiyet vermesi. korozyonu artırıcı bir faktördür.

ix Özellikle tarım arazileri çevresinde kurulan fabrikalarda yeraltı suları ile gelen bakteriler soğutma suyu devresine yerleşerek bakteriyel korozyona sebebiyet verirler (Aydın ve ark., 1998).

Mikrobiyolojik korozyonda ise mikroorganizmalar sisteme beslenen su ile gelir ve soğutma suyu devresinin iç yüzeyinde bir film tabakası şeklinde yerleşir. Mikrobiyolojik korozyona neden olan bakteriler 4 ana grupta toplanır. Bunlar;

i *Sülfat Redükleyici Bakteriler*: En çok rastlanan ve bilinen bakteri türüdür. Anaerobik olan bu bakteri türü pek çok yeraltı suyunda bulunur. 80°C sıcaklığa kadar dayanabilen bu tür, pH 5-9 aralığında yaşayabilmektedir. Bu bakteriler H_2 varlığında sülfatları sülfürlere indirger. Reaksiyon ürünleri $Fe(OH)_2$, FeS ve H_2S dir.

ii *Asit Üreten Bakteriler*: Bu tür bakteriler düşük pH değerlerinde organik ve inorganik asitler üreterek korozyona neden olurlar.

iii *Metal Çöktüren Bakteriler*: Bunlar Fe^{2+} ve Fe^{3+} oksitlerdir. Bazı türleri mangan ve diğer alaşım elementlerini de oksitleyebilmektedir.

iv *Slime Oluşturan Bakteriler*: Düşük oksijen içeren ortamlarda yaşayan bu tür bakteriler çok yumuşak bir slime tabakası oluştururlar. Bu tabaka %99'a kadar su içerebilmektedir. Bu tür bakteriler diğer türlerin yetişebilmesi için ortam hazırlar.

Mikrobiyolojik korozyonun önlenmesi uygun ön işlem, uygun dizayn ve biosit kullanımı ile mümkündür (Sesigür, 1998).

Bu kadar tehlikeli durumlara sebep olabilecek olan korozyonun kontrolü sistemde kullanılan metali yada soğutma suyunu değiştirmekle mümkündür. Metali değiştirmek oldukça pahalı olduğundan çoğunlukla ortamdaki suyun iyileştirmesine çalışmaktadır. Ortamın iyileştirilmesi korozif etki yapan unsurların ortamdaki uzaklaştırılması ile mümkündür. Bunun için suya (ortama) ya flokülasyon işlemi yada filtrasyon işlemi uygulanır (Sesigür, 1998).

1.2.3.1.(2). Kabuk Oluşumu

Kabuk oluşumu ısı transferini azaltmasının yanı sıra pompa maliyetlerini de artırdığından istenmeyen bir oluşumdur. Suyun bünyesindeki kalsiyum, magnezyum, silisyum, fosfor, demir gibi çözünmüş elementler sıcaklık artışı ve diğer etkenler ile

çok küçük boyutta kristal çekirdekleri oluştururlar. Bunlar elektrostatik etki ile boru iç cidarına yönelir ve buraya yerleşerek büyürler (Aydın ve ark., 1998).

1.2.3.1.(3). Mikroorganizmalar

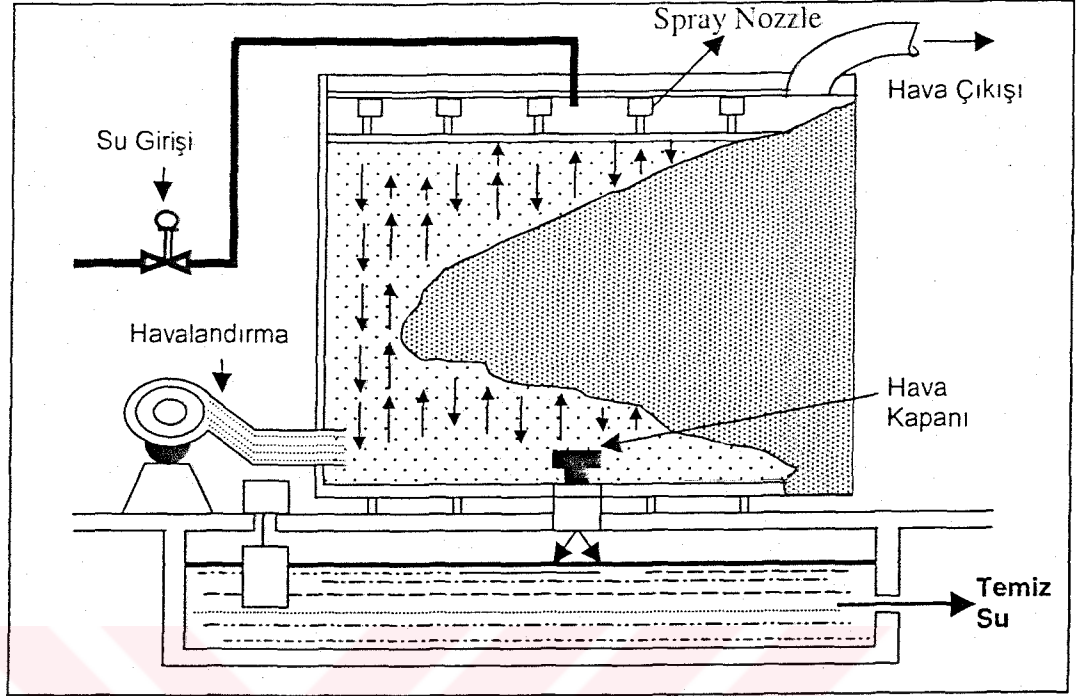
Soğutma suyu devrelerinde rastlanan mikroorganizmalar; algler, fungi ve bakteriler olmak üzere 3 grupta toplanır. Klorofil içeren ve bir tür yosun olan algler soğutma kulelerinde ürer. Işık, hava, CO₂, sıcaklık, organik ve inorganik bileşikler alglerin gelişmesi için uygun zemin oluşturur. Isı değiştirici tüpleri bloke eder, pompa verimini düşürür, organik kirliliği artırır ve birikinti oluşumunu hızlandırır. Fungiler alglerle aynı özellikte olmakla birlikte klorofil içermez. Yaptıkları tahribat soğutma kulesinin odun aksamı üzerindedir (Eroğlu, 1981).

Bazı mikroorganizmaların yaşamaları için en uygun pH ve sıcaklık dereceleri hakkında bilgiler verecek olursak; *thiobacilli* için sıcaklık: 30-35°C; *T. ferrooxidans* için pH: 2, sıcaklık: 35°C; *T. acidophilus* ve *T. organoparus* için pH: 2.5-3, sıcaklık: 35-40°C ve son olarak da *Leptospirillum ferrooxidans* için pH: 1.5-5, sıcaklık: 30°C'dir (Pooley, 1998).

1.3. Su Arıtma Sistemleri

1.3.1. Havalandırma

Çözünmüş gazları (H₂S, CO₂, NH₃ gibi), istenmeyen bileşikleri (Fe, Mn gibi) ve organik kirlenmeyi veren (renk, koku, tat gibi) maddeleri uzaklaştırmak için havalandırma prosesi kullanılır. Şekil 1.4'de görülen havalandırıcıda, yukarıdan spray nozzle (püskürtücü)'lerden püskürtülen su küçük damlacıklara parçalanır ve aşağı düşerken aşağıdan yukarıya doğru gelen hava akımı ile karşılaşır. Suda serbest hale geçen gazlar hava çıkışından uzaklaştırılır.



Şekil 1.4. Havalandırıcı (Kerestecioğlu, 1998).

Eşitlik 1.2 ve 1.3’de çözülmüş gazlar karbonik asit ve H_2S suda kısmen iyon halindedir asit ilavesi ile reaksiyon sol tarafa çevrilir CO_2 ve H_2S ise serbest hale geçer ve hava ile uzaklaştırılması mümkün olur.

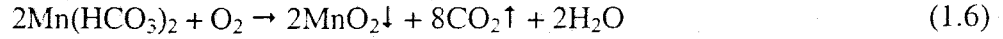
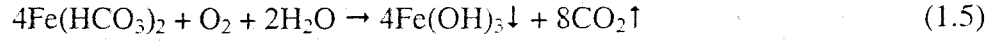


Benzer şekilde eşitlik 1.4’de ortama alkali ilavesi ile OH^- konsantrasyonu artırılır, reaksiyon sol tarafa çevrilir ve NH_3 çıkışı sağlanır.



Eşitlik 1.5 ve 1.6’da ise su içinde +2 değerlikli Fe, Mn gibi metal iyonlarının tuzları hava ile temas ettiği zaman O_2 ile yükseltgenerek $Fe(OH)_3$ ve MnO_2 olarak

çökerler. Demir hidroksit ve mangan dioksit suda çözünmez, havalandırma işleminden sonra durultma (*clarification*) veya filtrasyon ile uzaklaştırılır.



Havalandırma işleminin kullanımını kısıtlayıcılar;

i Ortam sıcaklığı havalandırma verimini önemli ölçüde etkiler. Bu proses soğuk iklimlerde uygun değildir.

ii Çözünmüş gazı uzaklaştırırken suyun oksijenle doymuş hale gelebileceği göz önünde tutularak optimum havalandırma koşullarında çalışmak gerekir (Kerestecioğlu, 1998).

1.3.2. Kimyasal Pıhtılaştırma ve Yumaklaştırma

Su arıtımında yaygın olarak kullanılan arıtma yöntemlerinden birisi de pıhtılaştırma (*koagülasyon*) ve yumaklaştırma (*flokülasyon*) dır. Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma askıda katı maddelerin tümünün yumaklar haline getirilip çöktürülmesidir. Daha sonra çöktürülen askıda katı maddeler sudan uzaklaştırılmakta ve sudaki kolloidal kirlilikler giderilmektedir (Şengül, 1990).

Pıhtılaştırma tam olarak kolloidal haldeki ve askıdaki maddelerin, bazı kimyasal madde ilavesiyle bir araya getirilmesi işlemidir.

Yumaklaştırma ise pıhtılaşmış tanelerin yumaklar haline gelerek büyümesi, gözle görünür ve çökebilir hale gelmesi işlemidir. Yumaklaştırma işleminde poli-elektrolitlerin ilavesi ile büyük organik polimerlerin adsorpsiyonu ve tanecik-polimer tanecik köprüleri oluşumu da gerçekleşmektedir.

Pıhtılaşmanın en çok bilinen tipleri; elektrostatik pıhtılaştırma, adsorptif pıhtılaştırma, köprülü pıhtılaştırma, ortak pıhtılaştırma ve sürüklemeli pıhtılaştırma dır.

Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma su arıtmada şu amaçla uygulanmaktadır;

- i Anyonik ve organik bileşiklerin giderilmesi
- ii Hakiki ve görünen rengin giderilmesi
- iii Zararlı bakterilerin giderilmesi
- iv Tat ve koku oluşturan maddelerin giderilmesi
- v Mikroorganizmaların giderilmesi (Şengül, 1990).

1.3.3. Filtrasyon

Su arıtma sistemlerinde en çok kullanılan yöntemlerdendir. Filtrasyon perdeleme etkisi ile sudaki askıda katı maddeyi ayırmak, bulanıklılığı gidermek, organik maddelerin okside olmasını sağlamak, mikroorganizmaları mümkün olduğunca sudan uzaklaştırmak, demir ve mangani okside etmek için kullanılır (Eroğlu, 1981). Endüstride çok çeşitli filtre tipleri kullanılmasına rağmen su ön arıtma filtreleri çoğunlukla gözenekli taş, kum ve çakıldan oluşan filtrelerdir. Sönmüş kireçle yumuşatma gibi yüksek pH koşullarında kum filtre yerine anrasit filtre kullanılır. Filtrelerde suyun akış yönü yukarıdan aşağıya veya aşağıdan yukarıya olabilir. Süzme verimi, farklı yoğunluğa sahip filtre ortamları kullanılarak artırılabilir (Kerestecioğlu, 1998).

1.3.4. Havasızlaştırma

Çözünmüş oksijen çoğu sularda korozif etki yaratır. Kazanın korozyon kontrolü açısından oksijenin uzaklaştırılması gerekir. Buharla sıyırmayla mekanik olarak veya hidrazin (N_2H_4), sodyum sülfid [$Na(SO_3)_2$] gibi indirgen madde ilavesi ile kimyasal olarak oksijeni uzaklaştırmanın maliyeti çok düşük olduğu için kimyasal yöntemle birlikte kullanılır ve temizleme verimi %99'a kadar ulaşabilir (Kerestecioğlu, 1998).

1.3.5. Dezenfeksiyon

Klorlama, ozonlama, aktif karbon filtreleri ve ultraviyole olmak üzere 4 çeşit dezenfeksiyon yöntemi vardır. Bunlar;

- i Klorlama: Organik madde, bakteri yok edici, demirin oksidasyonu amacıyla suya klor katılmasıdır.
- ii Ozonlama: Suda tat ve koku kontrolü, bakteri ve virüs giderilmesi için kullanılır.
- iii Aktif karbon filtreleri: Sularda tat ve koku kontrolü sağlar, organik madde ile serbest kloru giderir.
- iv Ultraviyole (UV): Bakteri ve alglerin giderilmesinde UV ışınının öldürücü etkisinden yararlanır. UV ışınlarının dalga boyu 200-300 nm arasındadır. UV ışınının bakteriye ulaşip tahrip edebilmesi için suda UV enerjiyi absorblayacak bulanıklık, metal, organik madde ve diğerlerinin olmaması gerekir. Bu sistemin avantajı işlem görecektir suyun içine herhangi bir kimyasal madde ilave edilmemesidir (Kerestecioğlu, 1998).

1.3.6. Kimyasal Yumuşatma

Kimyasal yumuşatma prosesi, ham suyun sertliğini, alkalinitesini, silikasını ve diğer bileşenlerini azaltmak için kullanılır. Elde edilen yumuşatılmış su soğutma kulesi takviye suyu olarak veya iyon değiştirici ile birlikte kullanıldığında kazan takviye suyu veya proses suyu olarak kullanılır. Kimyasal yumuşatma işlemi, soğuk kireçle yumuşatma, suda-kireç yöntemiyle çöktürme, ılık kireçle çöktürme, sıcak kireçle çöktürme, silika azalması, alkalinite azalması veya diğer kirleticilerin azaltılması yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir (Kerestecioğlu, 1998).

1.3.7. İyon Değiştiriciler

Suya sertlik veren iyonun başka bir iyonla eşdeğer sayıda yer değiştirmesidir. Eşitlik 1.7’de görüldüğü gibi kalsiyum iyonu, katyon reçinedeki sodyum iyonu ile yer değiştirir.



(1.7) eşitliği geri dönüşümlü bir reaksiyondur. Reçine kalsiyum iyonu ile doyunluğa erişince derişik NaCl çözeltisi ile yıkanarak rejenere olur. Buna Na-devirli katyon değişimi denir (Kerestecioğlu, 1998).

1.3.8. Membran Sistemler

İyon değişimi ile arıtmada rejenerasyon amacıyla kullanılan tuzlu çözeltide, asit ve baz gibi kimyasallar önemli ölçüde tüketilmekte ve atık oluşmaktadır. Son yıllarda, membran sistemleri ile ham sudan saf su kalitesinde su elde etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca, atık su arıtma tesislerinde membran sistemler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan membran sistemleri; ultrafiltrasyon (UF), ters ozmoz (TO), elektrodializ (ED) ve ters elektrodializ (TE) dir (Kerestecioğlu, 1998).

2. GENEL BİLGİLER**2.1. TRAKYA CAM SANAYİ, TARSUS-MERSİN FABRİKASI****2.1.1. Kuruluş Aşaması**

Türkiye'nin cam ihtiyacını karşılamak üzere 1934 yılında Ulu Önder Atatürk'ün girişimleriyle kurulan Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. 1935 yılından itibaren tüm Türkiye'nin şişe ve cam ev eşyası ihtiyacını karşılamaya başlamıştır.

Türkiye'nin düz cam ihtiyacını karşılamak için 1961 yılında Çayırova Cam Fabrikalarında Pittburg yöntemiyle düz cam üretimine başlanmıştır. Ancak geçen zaman süresince artan düz cam ihtiyacı ve daha kaliteli cam üretimi yapabilmek için 1978 yılında Pilkington firmasıyla yüzdürme sistemi ile düz cam üretimi üzerine lisans anlaşması yapılarak Trakya Cam Sanayi A.Ş. kurulmuştur. Lüleburgaz'da kurulan ilk float fabrikası 1981 yılında üretime geçtikten sonra 1990 yılında 2. float hattı da devreye girmiş ve ülkenin düz cam ihtiyacının karşılanması yanı sıra, yurtdışı ihracatlarında daha büyük atılımlar olmuştur (Şafak, 2001).

Doğan pazar artışlarının neticesinde 3. float hattının Mersin yöresinde kurulması planlanmış ve 1996 yılının Haziran ayında Trakya Cam Sanayi Tarsus-Mersin Fabrikası'nda düz cam üretimine başlanmıştır.

1995 yılında Tarsus-Mersin'de başlayan inşaat çalışmalarının ardından üretim hattını montaj ve devreye alma çalışmaları yapılarak Mayıs 1996'da cam fırını ateşlenmiş ve 1 aylık deneme döneminin sonunda Haziran 1996'da ilk cam üretilmiştir.

Toplam 450 çalışan ile Trakya Cam Sanayi Tarsus-Mersin Fabrikası günlük 770 ton ve 2-10 mm kalınlıklar arasındaki düz cam üretimi ile yurtiçi ve yurtdışı pazarlarının taleplerini karşılamaya devam etmektedir (Şafak, 2001).

2.1.2. Üretim

Şekil 2.1’de genel akım şeması görülen düz cam üretim hattı; ana üretim hattı ve yardımcı ünitelerden oluşmaktadır. (Şafak, 2001).

2.1.2.1. Ana Üretim Hattı**2.1.2.1.(1). Fırın**

Harman hazırlama ünitesinden bantlar yardımıyla gelen uygun fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki cam harmanı, mikserlerde karıştırıldıktan sonra belli orandaki cam kırığı ile karıştırılarak fırın bunkerine ve harman şarjörü yardımıyla fırına beslenmektedir.

Fırına verilen harmanın erimesi için gerekli sıcaklık yakma sisteminde sağlanmaktadır. Yakma sisteminde fırın yanlarındaki 6 adet portta bulunan fuel-oil tanklarından püskürtülen yakıt tankların bağlandığı rejeneratörlerden gelen yakma havası ile karışmakta ve oluşan alev fırın iç sıcaklığının 1550-1600°C’de olmasını sağlamaktadır (Şafak, 2001).

Alevli bölgede eriyen harman, cam eriyiği halinde boyun bölgesindeki karıştırıcılardan geçerek kalay banyosu girişinden önceki dinlendirme bölgesine akmaktadır.

Yakma sisteminde yanma sonucunda oluşan yanma gazları, rejeneratörlerden geçerek baca gazı kanalları ile gaz arıtma ünitesi ve atık ısı kanalından geçtikten sonra doğal emişli bir baca ile atmosfere verilmektedir.

Refrakter ve çelik yapının yüksek sıcaklıktan etkilenmemesi amacıyla yan bloklar ve üst yapı soğutma fanlarıyla fırın girişindeki harman besleme ekipmanı ise su ceketleriyle soğutulmaktadır. Fırındaki istenilen ergime koşullarının sağlanmasının kontrolü amacıyla, fırının çeşitli yerlerinde bulunan sıcaklık ve basınç sensörlerinden alınan sinyaller fırın kumanda odasındaki ölçüm cihazlarına gelmektedir. Ölçüm sonuçları ise bilgisayar sistemi ile otomatik olarak kontrol edilmektedir (Şafak, 2001).

2.1.2.1.(2). Şekillendirme (Kalay Banyosu)

Dinlendirme bölgesinde 1000-1100°C sıcaklıktaki ergimiş cam, brüt çekişe bağlı olarak değişen akış hızında içinde ergimiş kalay bulunan üniteye aktarılmakta ve özgül ağırlık farkından dolayı cam, kalay üzerinde yüzmektedir.

Camın istenilen genişlik ve kalınlıkta şekillendirilebilmesi ünite yanlarındaki toproll makineleri ile sağlanmaktadır. Kalayın banyo atmosferindeki oksijenle birleşmesini önlemek için banyo, atmosfer azot karışımı ile doyurulmaktadır. Ayrıca herhangi bir şekilde banyo atmosferine karışabilecek oksijenin olumsuz bir etkiye neden olmaması için ortama hidrojen gazı da verilir. Banyo içinde şekillendirilen cam su soğutucuları vasıtasıyla soğutularak 600°C'de banyoyu terk etmektedir (Şafak, 2001).

2.1.2.1.(3). Soğutma

Kalay banyosundan şerit halinde çıkan cam, soğutma tüneline kontrollü bir şekilde soğutularak, mekanik mukavemet kazanılması için tavllanır. Dönen çelik rulo grupları üzerinde çekilen camın önceden belirlenmiş olan sıcaklık profiline uygun olarak soğutulması için soğutma tünelinin belirli yerlerinde elektrik ile ısıtma ve fanlarla havalı soğutma yapılmaktadır. Soğutma çıkışında kalıcı ve geçici gerilmelere sahip olan cam yaklaşık 50°C sıcaklıkta cam işlemeye aktarılır (Şafak, 2001).

2.1.2.1.(4). Cam İşleme

Soğutma tüneline çıkan cam şeridi, yüzey gerilmelerini gidermek ve cam yüzeylerinin temizlenmesini sağlamak amacıyla yumuşak ve demineralize suyla yıkanmakta ve daha sonra buhar eranjörü ile ısıtılmış hava yardımıyla kurutulmaktadır.

Yıkamadan çıkan cam gözlemciler tarafından gözlenerek yüzeyde oluşabilecek gözle görülebilen hatalar işaretlenip, hat sonunda hatalı plakalar kırılmaktadır. Camın genel şerit kalitesi ise belli zamanlarda alınan numuneler

üzerinde kalite kontrol elemanları tarafından yapılan çeşitli testler neticesinde belirlenmektedir.

Yıkama ve gözlemden çıkan şerit halindeki cam gelen siparişler doğrultusunda enine ve boyuna kesimlerle plaka haline getirilir ve camın yüzeyi kağıt veya toz ile kaplanarak cam plakaların paket içinde birbirine yapışması engellenir.

Toplamaya hazır hale gelen cam plakaları ana hat ve kollarda yer alan stakerler vasıtasıyla ebatlarına uygun olarak sehpalarda toplanır ve paket halindeki camlar son bir kalite kontrol testinden geçtikten sonra mamul ambarlarında sevkiyat gününe kadar stoklanır (Şafak, 2001).

2.1.2.2. Yardımcı Tesisler

2.1.2.2.(1). Kum Hazırlama

Cam ana hammaddelerinden olan kumun belirli standartları koruması ve temiz olması gerekmektedir. Bu nedenle fabrika sahası içerisinde ocaklardan gelen kum, çeşitli filtrelerden geçirilerek yıkandıktan sonra kullanılmak üzere harman dairesine gönderilmektedir (Şafak, 2001).

2.1.2.2.(2). Harman Hazırlama

Camı oluşturan kum, soda, dolomit, kalker, feldspat, hematit ve kömür hammaddelerinin stoklandığı ve harman reçetesinde öngörülen miktarlarda karıştırılarak cam harmanının oluşturulduğu bölümdür (Şafak, 2001).

2.1.2.2.(3). Su Soğutma Sistemi

Cam üretim hattında ve yardımcı ünitelerde soğutma amaçlı kullanılan su, yaklaşık 350 m derinlikten çıkarılmakta ve 1200 m³ kapasiteli toplama havuzuna beslenmektedir. Havuzdan hidrofor vasıtasıyla 15 µm gözenek çapı olan filtreden 50

m³/s kapasiteyle sisteme su beslenmektedir. Soğutma suyu kapalı devre olarak sirküle etmektedir. Soğutma işlerini yaptıktan sonra 25.000.000 kcal/s kapasiteli atmosfere açık soğutma kulelerinde %1'lik buharlaşma kaybı ile soğutulmakta ve tekrar pompalar ile hatlara sirküle edilmektedir (Şafak, 2001).

2.1.2.2.(4). Su Yumuşatma ve Demineralizasyon Tesisleri

Buhar kazanlarında, soğutma sistemlerinde ve cam yıkamada kullanılan yumuşak suyun ve demineralize suyun ham sudan üretildiği tesislerdir (Şafak, 2001).

2.1.2.2.(5). Hidrojen Üretim Tesisleri

Şekillendirmede (kalay banyosu) kullanılan hidrojen gazının *reforming* yöntemiyle LPG gazından üretildiği tesistir. Yüksek basınç altındaki LPG gazı içindeki doymamış hidrokarbonlar, hidrojen gazı ile doyurulduktan sonra, içindeki sülfürlerden arındırılarak reformer'a gönderilmektedir.

Reformer'da yüksek sıcaklıkta kızgın su buharı ile karışan LPG gazı katalistler vasıtası ile parçalanarak hidrojen, CO₂ ve CO gazlarına dönüşmektedir. Oluşan bu proses gazı soğutulduktan sonra katalistler vasıtasıyla içindeki safsızlık yaratan gazlardan ayrılarak %99.99 saflıkta hidrojen gazı üretilir (Şafak, 2001).

2.1.2.2.(6). Azot Üretim Tesisleri

Şekillendirmede (kalay banyosu) kullanılan azot gazı, basınçlı havadan üretilmektedir. Kompresörler vasıtasıyla sıkıştırılan hava eşanjörlerde soğutulduktan sonra yaklaşık 25°C'de hava ayırıştırma ünitesine girer. Hava içerisindeki nem ve bazı hidrokarbonlar katalistler vasıtasıyla tutularak saflaştırılmış hava soğutma ünitesi'ne gönderilir. Soğutma ünitesi içerisinde yer alan türbinde elde edilen basınç düşümü vasıtasıyla soğutulan hava içerisindeki oksijen, argon ve diğer gazlar -170°C'de sıvı hale geçerek azot gazından ayrışır ve yüksek saflıktaki azot gazı üretilir (Şafak, 2001).

2.1.2.2.(7). Baca Gazı Arıtma Tesisı

Cam fırını yakma sisteminde yakıt olarak fuel-oil kullanıldığı için baca gazı yüksek oranda SO₂ gazı içermektedir. Baca gazında yer alan bu gazların arıtılması için baca gazı arıtma tesisi kurulmuştur.

Baca gazı yüksek sıcaklık altında ufalanmış katı haldeki CaOH tozları ve SO₂ gazları ile tepkimeye girerek CaSO₄'ları oluşturmakta ve bu şekilde gaz halindeki kükürt molekülleri katı hale geçmektedir. Oluşan CaSO₄'ların tutulması için de reaktör çıkışına bir adet elektro filtre yerleştirilmiştir.

Elektro filtrede oluşturulan elektromanyetik alan sayesinde bu toz zerrecikleri toplanarak Çevre Bakanlığı'nın belirlediği normlara uygun baca gazı 130 metre yüksekliğindeki doğal çekişli bacadan atmosfere verilmektedir. Aynı zamanda baca gazı bir ısı kaynağı olduğu için, fabrikanın buhar ihtiyacının karşılandığı atık ısı kazanı da sistemde yer almaktadır (Şafak, 2001).

3. FLOKÜLASYON VE FİLTRASYON

3.1. Flokülasyon

İnce öğütülmüş mineral parçaları ile suyun meydana getirdiği süspansiyonlarda mineral parçacıkları bazen birbirlerinden ayrılarak tek başlarına hareket ederler. Bazen de birbirlerine bağlanarak nispeten yumaklaşarak daha büyük parçalar meydana getirirler. Minerallerin birbirlerinden ayrılarak tek başına süspansiyonda bulunmalarına *dispersiyon (dağılma)*, birbirlerine yapışarak büyük parçalar meydana getirmelerine de *flokülasyon (salkımlaşma)* denilmektedir (Atak, 1982).

Süspansiyonlarda flokülasyonu açıklayan üç önemli özellik vardır. Bunlar; katı-sıvı ara yüzeyindeki iyonlar, *Brown* hareketi ve yüzey enerjisidir (Atak, 1982).

Su arıtma sistemlerinde uygulanan kimyasal işlemler iki ana prosesten oluşur. Bunlar; paralel reaksiyon prosesi yani bakterilerin koagülasyonu ve çözünebilen partiküllerin çökeltilmesi ve yavaşlatıcı parçaların ayrılma prosesi yani partiküllerin flokülasyonu ve floküle olmuş parçacıkların filtrasyonudur.

Flokülasyonun iki ana amacı vardır. Bunlar;

- i Floküle olabilmesi mümkün olan ana partiküllerin koagülasyonla birleştirilmesi,
- ii Floküle olabilen parçacıkların floküle olduktan sonraki karakteristiklerinin tespit edilmesidir (Qdegaard, 1995).

3.1.1. Flokülasyonun Mekanizmaları

Bir süspansiyon içindeki katı mineral parçalarının flokülasyonu 4 farklı şekilde gerçekleştirilir. Bunlar;

- i **Partiküller Arası Çarpışmalar:** Süspansiyon içindeki katı yüzeyleri birbirlerine yeterli derecede yaklaştırıldıkları zaman (örneğin 0.01μ veya daha az) *London-Van der Waals* çekim kuvvetleri itme kuvvetlerinden daha etkin duruma geçerler. Süspansiyonun karıştırılması partiküllerin birbirlerine çok yakınlaşmasına

ve hatta çarpışmasına neden olur. Bunun sonucu *flokülasyon* meydana gelir. Fazla karıştırma salkımlar (*flocs*) arasındaki oldukça zayıf olan bağları koparabileceğinden zararlıdır. Karıştırmanın uygun bir hızda olması gereklidir. Bu şekilde meydana gelen flokülasyon sınırlı derecede gerçekleşmektedir.

ii Elektriksel Şarjların Azaltılması: Elektrik şarjlarının yani zeta potansiyelinin düşürülmesi itme kuvvetlerinin azaltılması ve dolayısıyla daha ileri derecede bir flokülasyonun gerçekleşmesine neden olur. Bu mekanizmada süspansiyon içindeki minerallerin taşıdıkları elektriksel şarjlara zıt işaretli iyonlar ilave edilerek yüzey şarjları nötralize edilmeye çalışılır. Bu görev genellikle NaCl, CaCl₂, Al₂(SO₄)₃ gibi inorganik tuzlar yardımıyla yapılmaktadır. Bu tip pozitif iyonların floküle etme özellikleri değerlikleri ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bunun nedeni yüksek değerlikli katyonların düşük konsantrasyonlarda dahi mineral yüzeylerine daha kolaylıkla absorbe olabilmeleridir.

Bu tür flokülasyon işlemi için en çok kullanılan reaktifler inorganik elektrolitlerdir. Başlıca reaktifler;

- Alüminyum Sülfat [Al₂(SO₄)₃ . 18 H₂O]
- Alüminyum Klorit [AlCl₃ . 6 H₂O]
- Ferrik Klorit [FeCl₃ veya FeCl₃ . 6 H₂O]
- Ferro Sülfat [FeSO₄ . 7 H₂O]
- Polialüminyum Klorit {[Al(OH)₁₅.(SO₄)_{0.125} . Cl_{1.25}]_n}’dir.

iii Sentetik Polimer Molekül Köprüsü ile Flokülasyon: Bu tip flokülasyon suda çözülebilen çok yüksek molekül ağırlıklı sentetik organik polimerlerle yapılmaktadır. Bu polimerlerin bir ucu bir partikül yüzeyine adsorbe olur diğer ucu ise başka bir partiküle bağlanarak bir köprü meydana getirir. Daha yüksek molekül ağırlıklı olanlar aynı anda birden çok partikül yüzeyine adsorbe olarak üç boyutlu bir matris meydana getirebilirler. Genel olarak bu tip flokülantların molekül ağırlıkları arttıkça floküle etme kabiliyetleri de artmaktadır.

iv Doğal Polimer Molekül Köprüsü ile Flokülasyon: Nişasta, reçine, tutkal, jelatin ve aljinat gibi doğal polimerler, köprü yapıcı sentetik flokülantlar gibi fonksiyon göstererek floküle etme özelliğindedir. Ancak bu maddelerin molekül ağırlıkları sentetik polimer flokülantlara göre çok düşüktür ve floküle etme

kabiliyetleri oldukça sınırlıdır. Bu tip flokülantlar günümüzde eskiden olduğu kadar çok kullanılmamaktadır. Ancak, düşük maliyetleri nedeniyle halen kullanılmakta olduğu alanlar vardır.

Sakız, reçine gibi suda çözülebilen polisakkaridler iyonik karakterleri olmadığından geniş bir pH aralığında etkili olabilen flokülantlardır. Tutkal ve jelatinler gibi hayvan dokularından türemiş proteinli maddelerin anyonik ve katyonik grupları vardır ve bunlar hemen her çeşit katıyı floküle edebilmektedirler. Ancak pH ve iyonik kuvvetlerden çabuk etkilenirler. Ağır sulardaki yabancı maddelerin çöktürülmesi için ise kalsiyum aljinat etkili olmaktadır.

Doğal polimer flokülantların başlıca dezavantajları; yüksek dozajlarda kullanılmaları dengesiz solüsyonlar meydana getirmeleri, kalitelerinin çok değişik olması ve meydana getirdikleri salkımların kolay parçalanabilir olmasıdır (İpekoğlu, 1997).

3.1.2. Flokülasyonu Etkileyen Faktörler

3.1.2.1. Polimer Dozajın Etkisi

Herhangi bir süspansiyonun flokülasyon etkisi belli bir optimum dozaj miktarı ile sınırlıdır. Belirlenen bu sınırdan sonra flokülant ilavesi flokülasyonu arttırmaz aksine flokülasyon veriminin düşmesine neden olur. Optimum dozaj maksimum çökelme hızı elde etmek için bir süspansiyona verilebilecek maksimum flokülant miktarı olarak tarif edilebilir. Bu dozaj genellikle laboratuarda yapılan çökelme testleri ile belirlenir.

3.1.2.2. Karıştırmanın Etkisi

Bir süspansiyon içinde sentetik veya doğal flokülantlar kullanılarak meydana getirilen bütün salkımlar fazla ve gereğinden hızlı karıştırma sonucunda koparak parçalanabilirler ve bundan sonra tekrar floküle durumuna geçemezler. Optimum

dozajın üzerinde flokülant kullanılarak meydana getirilmiş salkımlar karıştırmaya tabi tutulduklarında bunların daha kolaylıkla bozulup parçalandıkları belirlenmiştir.

Flokülasyonun gerçekleşmesi sırasında sürekli fakat hafifçe bir karıştırma köprü oluşumunu faydalı yönde etkilemektedir. Düzensiz karıştırma ise bazı bölgelerde flokülant konsantrasyonunun artmasına ve süspansiyonun geri kalan kısmının floküle olamamasına neden olur. Salkımların oluşumu tamamlandıktan sonra karıştırma işlemine devam edilirse floküle olmuş taneciklerin parçalanmasına neden olabilir (İpekoğlu,1997).

3.1.2.3. Tane Büyüklüğünün Etkisi

Ortamda ince tanelerle beraber iri tanelerde bulunuyorsa, ince taneler iri tanelerin etrafında toplanarak tane büyüklüğünü artırırlar. Böylece ince taneler floküle olmadan kısa sürede çökerler (Atak, 1982).

3.1.2.4. Bulamaç Yoğunluğunun Etkisi

Bulamaç yoğunluğu arttıkça, yapışma ihtimali olan tanelerin birbirlerine değme ihtimali de artar. Bu sebeple daha kolay ve hızlı flokülasyon meydana gelir. Salkımların karıştırmaya karşı gösterdikleri dirençte bulamaç yoğunluğu ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Atak, 1982).

3.1.2.5. Molekül Ağırlığının Etkisi

Kullanılan flokülantın molekül ağırlığı arttıkça süspansiyon içindeki partiküller üzerine adsorplanan miktar artmakta ve salkımların meydana gelmesi hızlanmaktadır. Molekül ağırlığının artması hem optimum flokülant dozajı ve hem de çökeltme hızının artmasına neden olmaktadır. Fakat molekül ağırlığı etkin bir flokülasyon için tek başına bir kriter değildir (İpekoğlu, 1997).

3.1.2.6. pH'ın Etkisi

Bulamaç'ın pH'ı minerallerin yüzey şarjlarını tayin etmektedir. Bir bulamaç içinde hemen her mineralin yüzey şarjını sıfır yapan bir pH derecesi vardır. Bazı minerallerin yüzey şarjını sıfır yapan pH değerleri şu şekildedir; SiO_2 için pH: 3, Al_2O_3 için pH: 6.9, Fe_2O_3 için pH: 8.5, SnO_2 için pH: 4.5-7.3'dür.

Sıfır şarj noktasının her iki tarafındaki çok yüksek ve çok düşük pH değerlerinde flokülasyonun meydana gelmesi güçtür. Bunun nedeni partiküller arasındaki itme kuvvetlerinin artması ve dolayısıyla partiküllerin birbirine yapışarak köprü kurma olasılığının azalmasıdır. Yani kısaca flokülantların tiplerine göre sadece belirli pH derecelerinde flokülasyonun verimli olduğu söylenebilir (İpekoğlu, 1997).

3.1.2.7. Asitliğin ve Alkaliliğin Etkisi

Bu etki diğer iyonların etkisi gibi kabul edilebilir. Asitliğin ve alkaliliğin fazla oluşu, ortamda fazla miktarda H^+ veya OH^- iyonu bulunması ile ilgilidir. Fakat bunlar suyu meydana getiren iyonlar olduklarından diğer 1 (bir) değerlikli iyonlara göre çok daha etkilidirler (Atak, 1982).

3.1.2.8. Besleme Şeklinin Etkisi

Besleme noktaları hafif türbülans olan yerlerde seçilmelidir. Flokülant solüsyonları seyreltik olduğu sürece daha üniform bir dağılım söz konusudur. Beslemenin çökelme işleminin yapılacağı yere mümkün olduğu kadar yakın olması istenir. Besleme noktalarının belirli aralıklarla seçilmesi daima daha iyi bir köprüleşme ve daha kuvvetli salkımlar meydana gelmesine yardımcı olur.

3.2. Filtrasyon

Gözenekli bir ortamda katıların tutularak sıvının bu ortamdan geçmesi ve böylece katıların sıvılardan ayrılması yöntemine *filtrasyon* adı verilmektedir.

Genellikle filtre olarak kullanılan ortamın delikleri ayrılması istenen katı tane boyutundan büyük olmakta ve iyi bir filtrasyon işlemi ancak başlangıç anını takiben katı malzeme filtre ortamında birikmeye başladıktan sonra gerçekleşebilmektedir (İpekoğlu, 1997).

3.2.1. Membran Filtrasyon Teknolojisi

Membran filtrasyon teknolojisi atıkların minimize edilmesinde bazı durumlarda verimin, hammadenin, ürünlerin veya suyun geri kazanımının ve yeniden kullanılabilirliğinin maksimum seviyeye ulaştırılmasında önemli rol oynayan bir ayırma prosesidir. Bu yüzden de diğer fiziko-kimyasal veya biyolojik arıtma prosesleriyle kıyaslandığında daha ekonomiktir (Toraman, 2000).

Şekil 3.1'de görülen membran filtrasyon mikroskobik materyal içeren akışkanlardan kolloidal ve partikül bileşikler ayırmada kullanılan bir yöntemdir. Membran filtrasyon teknolojisi ilk olarak 1950'lerde atık suyun temizlenmesi işlemlerinde denenmiş ve geliştirilmiştir. Daha sonra birçok kullanım alanına yayılmıştır. Süt ve meyve suyu sanayiinde, metal ve elektrometal sanayiinde, boya ve tekstil sanayiinde ve atık suyundan içme suyu elde edilmesinde kullanılmıştır (Monika ve Ark., 1991).

Su temini, atık su deşarjı ve atık bertaraf maliyetlerinin gittikçe arttığı ve endüstriyel su ihtiyacının karşılanmasında giderek güçlüklerin yaşandığı günümüzde membran sisteminin ideal bir proses olduğu görünür bir gerçektir. Membran ayırma teknolojisi özellikle aşağıdaki durumlar için uygundur. Bunlar;

- i Büyük miktarlarda proses suyunun kullanıldığı,
- ii Özellikle ekonomik olmayan yada boşaltılması yasal olmayan maddeler içeren büyük miktardaki suyun atık olarak boşaltıldığı,
- iii Geri kazanılabildiğinde proseste veya alternatif olarak diğer kullanıcıların yeniden kullanabileceği değerli malzemelerin boşaltıldığı durumlardır.

Membran filtrasyon teknolojisi atık minimizasyonunun bir parçası olarak kullanılabilen pek çok ayırma tekniklerinden birisidir. Ancak membran sistemleri

özellikle hem suyun hem de hammaddenin geri kazanımı ve yeniden kullanımı için etkili bir yöntemdir (Monika ve Ark., 1991).

Membran teknolojisi genellikle membranın gözenek boyutuna göre sınıflandırılır. Şöyle ki;

Azalan membran gözenek boyutu

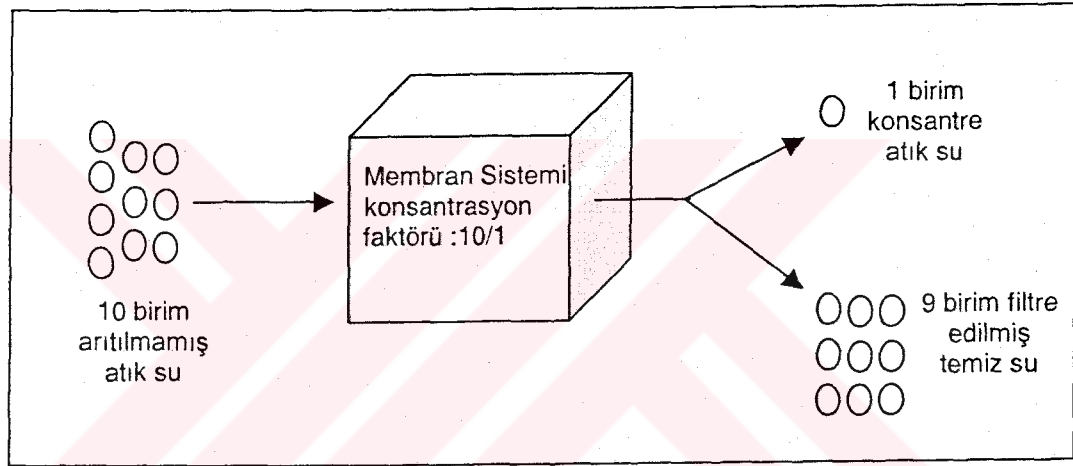


Mikrofiltrasyon (MF)

Ultrafiltrasyon (UF)

Nanofiltrasyon (NF)

Ters Ozmoz (RO)



Şekil 3.1. Membran Konsantrasyonu (Toraman, 2000).

Membran filtreler polimerlerin gözenek çaplarına göre gruplara ayrılır. Bunlar; Ters Ozmoz (TO), Nanofiltrasyon (NF), Ultrafiltrasyon (UF) ve Mikrofiltrasyon (MF)'dur. Ters Ozmoz'un membran açıklığı 0.0005-0.0015 μm , Nanofiltrasyon'un membran açıklığı 0.0015-0.003 μm , Ultrafiltrasyon'un membran açıklığı 0.002-0.2 μm ve Mikrofiltrasyon'un membran açıklığı 0.02-2 μm 'dir (Monika ve Ark., 1991).

Membran filtrelerin yapısı inorganik malzemeler (alümina, zirkonia veya metal) ve organik malzemeler (karbon, selüloz veya karmaşık polimerik moleküller) dir. Membran filtrelerin işletme maliyeti; değiştirilebilen membran bileşenleri, membran filtrenin temizlenmesi, enerji ve işçilikten ibarettir ve oldukça ekonomiktir (İmecon, 2001).

Membran filtrasyon sisteminin ilk kuruluş dizaynı çok karışık olmamakla birlikte takip eden avantajları aşağıdaki gibidir. Bunlar;

- i Yüksek saflıkta su kalitesi elde edilebilmesi,
- ii Membran filtrasyon sisteminin kolaylıkla otomatikleştirilebilmesi,
- iii Modüler dizaynı sayesinde esneklik sağlaması,
- iv Membranları temizlemek için kullanılan kimyasallardan başka kimyasal kullanımına gereksinim olmaması,
- v Sistemdeki suyu tamamen kaplayan virüs ve mikroorganizmaları kolaylıkla temizleyebilmesidir (Knauf, 2000).

Membran filtrasyon sisteminin dezavantajları; membran ömrünün kısa olabilmesi (2-3 yıl), ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve bazı atık suların membran tekniğine uygun olmamasıdır (İmecon, 2001).

Geçmiş yıllarda ekonomik olarak kullanılamayan nehir suyunun temizlenmesinde sadece Ultrafiltrasyon (UF) kullanılmaktaydı, ancak daha sonraki yıllarda daha emniyetli, daha ekonomik ve yüksek kaliteli su elde edilmesini kolaylaştıran Ters Ozmoz (TO) filtrasyon sistemi kullanılmaya başlanmıştır (Knauf, 2000).

3.2.1.1. Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon 0.1-5 µm boyutundaki tanelerin sıvıdan ayrılmasını sağlayan düşük basınçlı (1.38-6.89 bar) bir membran ayırma yöntemidir. Kullanılan membranlar genellikle üniform gözenek boyutuna ve yüksek gözenek yoğunluğuna sahip ince bir polimer filminden yapılır. Polimer veya seramikten yapılan membranlar yüksek sıcaklık uygulamalarına elverişlidir.

Membranların tutulan katı maddeleri mikro gözeneklerden uzaklaştırmak için basınç altında su veya gazla periyodik olarak yıkanmaları gerekmektedir. Arıtılmış atık sulardaki askıda katı madde konsantrasyonlarını azaltmak amacıyla mikrofiltrasyon kullanıldığında biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve bulanıklık gibi parametrelerin tümü azalmaktadır (Toraman, 2000).

Mikrofiltrasyon tekniği;

- i Gıda işleme tesislerinde bakteri uzaklaştırmada,
- ii Elektronik, kimya, ilaç ve gıda sanayiinde saf su üretiminde,
- iii Kimya sanayiinde solvent geri kazanımında,
- iv Ağır metal çökeltilerinin uzaklaştırılmasında,
- v Proses sularından (örneğin cam sanayi) çok küçük partiküllerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır.

Askıda katı madde konsantrasyonlarının 100 mg/l'nin üzerinde olduğu ve dağılımın üniform olmadığı gıda ve endüstriyel atıklara uygulanması giderek eğilim kazanmaktadır. Mikrofiltrasyon işleminin kapasitesi 1-1000 m³/s ve enerji tüketimi 0.5-10 kws/m³'tür (Toraman, 2000).

3.2.1.2. Nanofiltrasyon (NF)

En yeni membran sistemidir ve *yumuşatma membran* olarak da isimlendirilir. Sert sudan içme suyu üretmek için kullanılır. Yüksek basınçta (10.34-20.68 bar) kullanılmaktadır. 0.0015-0.003 µm gözenek açıklığına sahip olup deniz suyu ve tuzlu sulardaki tuzların tutulmasında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Monika ve Ark., 1991).

Nanofiltrasyon işleminin uygulama alanları aşağıda verilmiştir. Bunlar;

- i Boya sanayi atık sularından tekrar kullanım için yüksek kalitede bir su dönüşümü,
- ii Renk, hümik asitler, tuzlar ve organik moleküllerin uzaklaştırılması,
- iii Özellikle mandra ve bira sanayiinde, kostik ve asit temizleme kimyasallarının geri kazanımı,
- iv Askıda katı maddelerin (AKM) uzaklaştırılmasıdır.

Nanofiltrasyon yöntemi askıda katı maddelerin uzaklaştırılmasında konvansiyonel kum filtrelerle göre çok daha üstündür (Toraman, 2000).

3.2.1.3. Ters Ozmoz Filtrasyon (TO)

İyonları ve diğer mikro partikülleri çözültiden ayırmak için son derece küçük gözeneklere sahip (0.0005-0.0015 μm) membranların kullanıldığı ve yüksek basınçlarda uygulanan bir yöntemdir. Sıvı yüksek basınçlı ters ozmoz ünitesinden geçmeden önce eleme-izgara, filtrasyon veya yumuşatma gibi *ön arıtma* işlemlerine tabi tutularak TO ünitesinin zarar görmesi önlenmiş olmaktadır.

Ters ozmoz filtrasyon işlemi 0.1-200 m^3/h akış hızında, 0.0005-0.0015 μm ayırma boyutunda ve 15-30 bar basınçta uygulanmaktadır (Toraman, 2000).

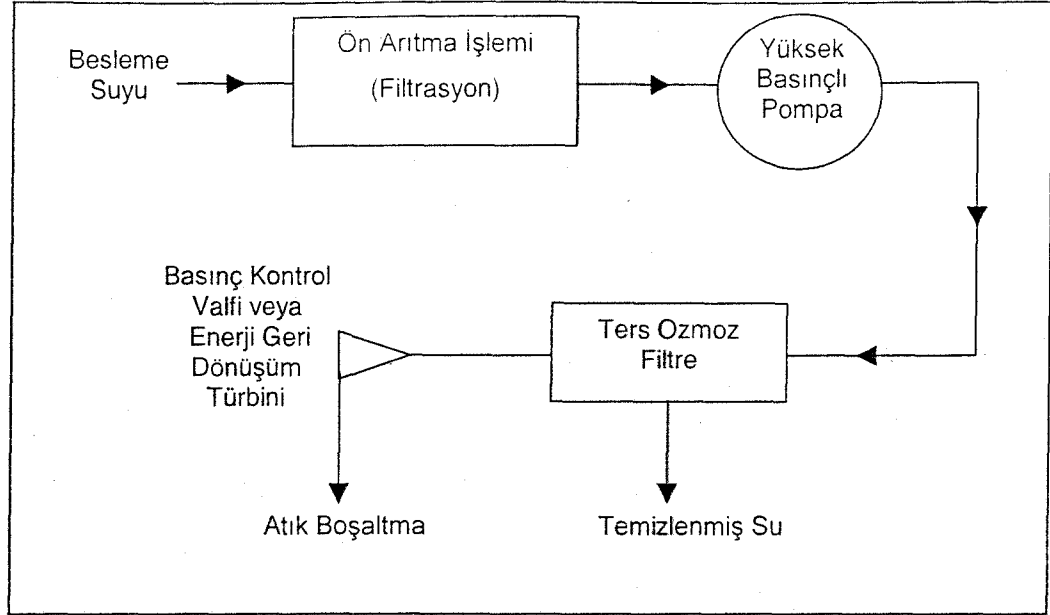
Ters ozmoz filtrasyon işleminin gözle görülebilen en önemli özellikleri;

- i Yüksek su akışı ($\cong 42$ bar),
- ii Yüksek ayırma verimi,
- iii Çok iyi kimyasal kararlılık,
- iv Çok iyi fiziksel kararlılık,
- v Sistemin ucuz olması (özellikle su arıtımında)'dır.

Ters ozmoz filtrasyon işleminin uygulama alanları ise;

- i Gıda ve içki sanayi, metal parlatmada atık minimizasyonu (su atık suyundan ayrılır ve geri dönüşüm sağlanır),
- ii Al, Cu, Ni, Zn ve Pb başta olmak üzere metallerin uzaklaştırılması (%94-98),
- iii Pestisit, benzen gibi organiklerin uzaklaştırılması (%85-90),
- iv Nitrat giderimi (%60-75),
- v Düzenli depolama çözeltisindeki biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve kimyasal oksijen ihtiyacı suyun kaynağına emniyetli bir şekilde boşaltılmasını sağlayacak tuz ve toksik moleküllerin uzaklaştırılmasıdır (Bonnieve, 1975).

Ters ozmoz filtrasyon işleminin genel akım şeması Şekil 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.2. Ters Ozmoz Filtrasyon İşlemi Genel Akım Şeması (Bonnevie, 1975).

3.2.1.4. Ultrafiltrasyon (UF)

Kolloidal malzemenin veya askıda katı maddelerin sudan uzaklaştırılması için kullanılan düşük basınçlı bir fiziksel ayırma prosesidir. TO'nun aksine çok düşük basınçlarda kullanılabilir. Ultrafiltrasyon yöntemi ile mikroorganizmaların sudan uzaklaştırılması işlemi daha verimli ve daha az enerji harcanarak yapılabilir. Membran gözenek açıklığı $0.002-0.2 \mu\text{m}$ 'dir (Bonnevie, 1975).

Ultrafiltrasyon sistemlerinin avantajları şunlardır;

- i Daha az basınç kullanılarak daha yüksek arıtma verimi elde edilebilir,
- ii Enerji tasarrufu sağlanır.

Dezavantajları ise;

- i Sürekli çalışma yapılamaz belli aralıklarla ters yıkama ile filtre temizlenmelidir,

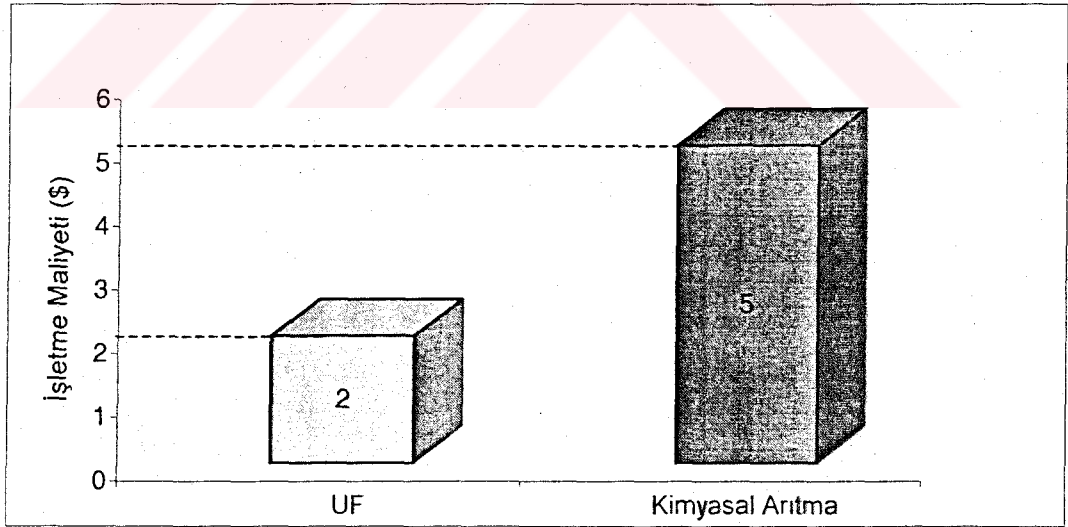
- ii Membran gözeneklerinin tıkanma riski vardır. Çünkü zamanında ters yıkama yapılamayabilir veya iri partiküller çok az gözenek açıklığına sahip olan membranı tıkayabilir,

iii Temizleme hassasiyeti ortamdaki maddelerin ani değişikliği ile doğru orantılı olarak aniden değişebilir (Sluys ve Ark., 1999).

Ultrafiltrasyon yönteminin kullanıldığı yerler aşağıda verilmiştir. Bunlar;

- i Mikroorganizmalar, mikromoleküller ve yağ emülsiyonlarının ayrılmasında,
- ii Protein, enzim ve hormonların konsantre edilmesinde,
- iii Gıda proses sularından bakteri ve virüs ayrılmasında,
- iv Boya, kolloidal malzemelerin ve 10 ppm'e kadar yağın uzaklaştırılmasında,
- v Kağıt, gıda ve içme suyu endüstrisinde,
- vi Lignin gibi belirli ürünlerin geri kazanımında kullanılmaktadır.

Ultrafiltrasyon yöntemi 100 l/gün'den, 65 m³/gün ve daha fazla hacimlerdeki atık sulara uygulanabilmektedir. Ayrıca Şekil 3.3'de de görüldüğü gibi işletme maliyeti m³ başına 2 \$'dan biraz fazladır. Arıtma kimyasalları kullanılmadığı için arıtılan sudaki çözünmemiş ve askıda katı maddelerin oranı daha düşük ve geri dönüşümü kimyasal olarak arıtılmış sudan daha kolaydır (Toraman, 2000).



Şekil 3.3. İşletme Maliyetleri Mukayesesi (Toraman, 2000).

4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde hem yurtdışında cam sanayi soğutma suyunun flokülasyon ve filtrasyonu ile ilgili yapılmış olan çalışmalara hem de Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikasında yapılmış olan deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

4.1. Flokülasyon ve Filtrasyon Uygulamaları

0.02-10 µm gözenek açıklığına sahip filtrele basıncı hava verilerek proses suyu mikrofiltrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu çalışmada mikrofiltrasyon işleminden önce suya sentetik polimer flokülant verilerek flokülasyon işlemi uygulanmıştır. Flokülasyon işlemine başlamadan önce uygun flokülant tespiti için 4 adet katyonik, 1 adet noniyonik ve 1 adet de anyonik flokülant denenmiştir. Bu flokülantlar Floc-2835, Cysep-4052, Superfloc-494, Superfloc-498 (katyonik), Superfloc N-300 (noniyonik) ve Superfloc A-100 (anyonik)'dir (Sung Kim ve Ark., 2001).

Yapılan deneylerde %5, %2.5 ve %0.5 dozajları denenmiş ve en uygun flokülant ile dozaj miktarı tespit edilmiştir. Sonuçlara göre en uygun flokülant ve dozaj miktarı % 83.3 başarı grafiği ile *Floc-2835* (%5)'dir. Daha sonra en uygun karıştırma süresi için 1, 3, 5 ve 10 dakika denenerek en uygun olan sürenin 5 dakika olduğu görülmüştür. Karıştırma hızı 300 dev/dk'dır.

Floküle edilen proses suyu mikrofiltrasyon işlemine tabi tutulmuş ve su filtreden 0.27-0.34 bar basınçta 2 dakikada geçirilmiştir. Böylece sudaki mikroorganizmaların, askıda katı maddelerin ve diğer kirleticilerin temizlenmesi sağlanarak proses suyu sisteme verilebilecek hale getirilmiştir (Sung Kim ve Ark., 2001).

Siene (Fransa) nehir suyundaki doğal organik maddelerin temizlenmesi için 3 farklı flokülant kullanılarak flokülasyon işlemi uygulanmıştır. Bu flokülantlar; ferric klorür (FeCl_3), alüminyum sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ve alüminyum poliklorosülfat ($\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{(3n-m-2k)}(\text{SO}_4)_k$)'tır. Flokülasyon ve koagülasyon işlemlerinin verimi

suyun pH'ına bağlıdır. Ferric klorür için en uygun pH: 5.5, alüminyum sülfat ve alüminyum poliklorosülfat için ise en uygun pH: 7 olarak tespit edilmiştir.

Nehir suyu analiz edilerek ortalama pH (20°C'de): 7.7 ve bulanıklık 27 NTU tespit edilmiş ve ortamdaki tehlikeli organikler ise *polysaccharide* (PS), protein (PR) ve *polyhydroxyaromatics* (PHA) olarak belirlenmiştir. Bu suyun temizlenebilmesi için JAR testi uygulanmasına karar verilmiştir (Ritter ve ark., 1999).

Deneye hazırlanan numunenin (500 ml nehir suyu) öncelikle NaOH ve HCl (0.1 N) ile pH'ı ayarlanmış daha sonra her bir flokülant belirlenen miktarlarda (20-120 mg/l ferric klorür, 20-100 mg/l alüminyum sülfat ve alüminyum poliklorosülfat) ilave edilerek 40 rpm hızda 30 dakika karıştırılmıştır. 10 dakika dinlendirildikten sonra gerekli analizler yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda PS için uygun flokülantın %60 başarı ile alüminyum sülfat olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde PHA için ise en uygun flokülantın %61 başarı ile ferric klorür olduğu görülmüştür. Fakat nehir suyundaki PR molekülleri bu üç flokülant kullanılarak ortamdan uzaklaştırılamamıştır. Başarı sadece %3'lerde kalmıştır. Deney sonunda başarılı olan flokülasyon işlemlerinden sonra nehir suyu 0.45 µm gözenek açıklığına sahip membran filtre ile filtrasyona tabi tutulmuş ve temizlenme verimi artırılmıştır (Ritter ve ark., 1999).

İtalya/Pisa'daki cam sanayii soğutma suyundaki küçük parçacıkların flokülasyon, sedimentasyon ve filtrasyon yöntemleri kullanılarak temizlenmesine çalışılmıştır. Farklı özelliklerde flokülantlar kullanılmış ve bunların içerisinde en uygun olanı tespit edilmiştir (Bresci, 1996).

Öncelikle ham suyun analizi yapılmış ve küçük parçacıkların 3.5 µm olduğu görülmüştür. Ayrıca spektrofotometre'de ölçülen bulanıklıkta 3932 FTU gibi oldukça yüksek bir değer çıkmıştır. Bu aşamadan sonra suyun temizlenebilmesi ve istenmeyen parçacıkların çöktürülmesi için 5 farklı flokülant denenmiştir. Bunlar alüminyum sülfat kökenli A, B, C flokülantları ve kationik kökenli D, E flokülantlarıdır.

Yapılan deneylerde 0-6 g/l aralığında değişik dozajlarda A, B, C, D ve E flokülantları soğutma suyuna ilave edilmiş ve 20 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra 10, 30 ve 60 dakika dinlendirilerek numune çöktürülmüştür. Çöken

numune 0.45 µm gözenek açıklığına sahip filtreden geçirilerek temizlenme verimi bulunmuştur. Elde edilen filtre keki 105°C'de kurutulmuştur (Bresci, 1996).

Yapılan deneyler sonucunda çökeltme hızları tespit edilmiştir ayrıca bu cam sanayi soğutma suyu için uygun flokülantların A ve E olduğu belirlenmiş ve uygun dozaj miktarları da 1 g/l olarak tespit edilmiştir (Bresci, 1996).

Jurang şirketinin endüstriyel çalışma suyunun temizlenmesi için yapılan bu çalışmada koagülasyon, sedimentasyon ve filtrasyon işlemleri denenmiştir. Öncelikle suya yaklaşık 0.2 mg/l *Polyaluminum Chloride* karıştırılarak koagülasyon ve flokülasyon yapılmıştır. Daha sonra su numunesi geri yıkamalı cartridge filtreden (0.45 µm) geçirilerek bulanıklığı 9 TE/F'den 2 TE/F'e düşürülmüştür.

Bu çalışmada suyun temizlenmesi aşamasında elde edilen başarı %85 civarındadır ve işletmeye getireceği ek maliyet 2 \$/m³'tür (Chin, 1996).

Kore'deki Han nehrinden alınan su numuneleri üzerinde yapılan incelemelerde toplam organik karbon (TOC), pH ve bulanıklığa bakılmış ve Alüm kullanılarak su floküle edilmiştir. Daha sonra 0.22 µm'lik membran filtre kullanılarak mikrofiltrasyon işlemi uygulanmıştır. Alınan su numunesi JAR testine tabi tutulmuştur (Lee, 2000).

Öncelikle kullanılan alüm'ün ve pH'ın etkisine bakılmıştır. Bunun için 4-9 pH aralığında 0-150 mg/l aralığındaki farklı dozajlarda alüm kullanılmıştır. Su numunesi önce 3 dakika 100 rpm'de, sonra 20 dakika 30 rpm'de karıştırıldıktan sonra 60 dakika dinlendirilmiştir. Floküle edilmiş olan su numunesi 0.2 ve 0.5 bar basınçlarda 0.22 µm'lik membran filtrede mikrofiltrasyona tabi tutulmuştur.

Sonuç olarak iki ayrı koşulda bulanıklığın %80'i giderilmiştir. Bu iki koşul; pH'ın 5 alüm dozajının ≤ 20 mg/l olduğu durum ve pH'ın 6-8 aralığında alüm dozajının ise 10 mg/l olduğu durumdur (Lee, 2000).

Avustralya'daki bir işletmede yapılan bu çalışmada suda bulunan *Cyanobacteria*'ların ferfic chloride kullanılarak floküle edilmesine çalışılmıştır. Bu işlem için öncelikle su numunesi alınmış, alınan su numunesine önce 15 mg/l FeCl₃ eklenmiş ve 8000 rpm hızda 10 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra ikinci denemede

30 mg/l FeCl_3 ilave edilmiş aynı hızda ve sürede karıştırma yapılmıştır. Floküle edilen su numuneleri 0.22 μm 'lik filtreden geçirilerek filtrasyona tabi tutulmuştur.

Sonuçta ferric chloride (FeCl_3) kullanılarak yapılan flokülasyon işleminde kayda değer bir başarı sağlanamamıştır. Fakat bu konudaki çalışmalara devam edilmektedir (Chow, 1998).

Bir başka çalışmada ise; *Escherichia coli* bakterilerinin flokülasyon koşulları incelenmiştir. Yapılan deneylerde 0.19, 0.5, 1 ve 2 g/l bakteri konsantrasyonlarında, 0-125 mg/g HCl içerisinde bakterilerin floküle olma başarıları incelenmiştir. pH 5'te bakteriyel konsantrasyonlar 200 rpm hızda 10 dk karıştırıldıktan sonra 2 saat ve 24 saat bekletilerek floküle olma %'lerine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 1 g/l konsantrasyondaki bakteri %75 başarıyla floküle edilmiştir. 0.5 ve 2 g/l de ise flokülasyon başarılı olmamıştır.

Daha sonra polimerlerin etkisine bakılmıştır. Bu işlemde F_A (*fraction of acetylated units*) konsantrasyonları değiştirilerek flokülasyonun değişimi incelenmiştir. Flokülasyon için en uygun şartları sağlayan F_A 'nın 0.01 ile 0.49 olduğu görülmüştür. Son olarak pH'nin etkisine bakılmış ve pH 4-7.8 aralığında denenmiştir. F_A 0.49 kullanılarak yapılan deneyler sonucunda F_A 0.49 için pH %90 başarı ile 7.6 bulunmuştur. pH 7.6'nın üzerine çıkılınca flokülasyonun bozulduğu görülmüştür (Strand, 2001).

4.2. Culligan Şirketi Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası Seri Filtrasyon Sistemi

Culligan şirketinin pilot tesis olarak işletmeye kurduğu ve deneme çalışmalarına başladığı sistem 4 ana başlıktan oluşmaktadır. Bunlar;

i **Koagülasyon Sistemi:** Alüminyum sülfat kullanılarak yapılan koagülasyon işleminde aşağıdaki teknik özelliklere sahip 6 adet *Culligan Feeder* (9 l/s) kullanılmaktadır.

Teknik Özellikler;

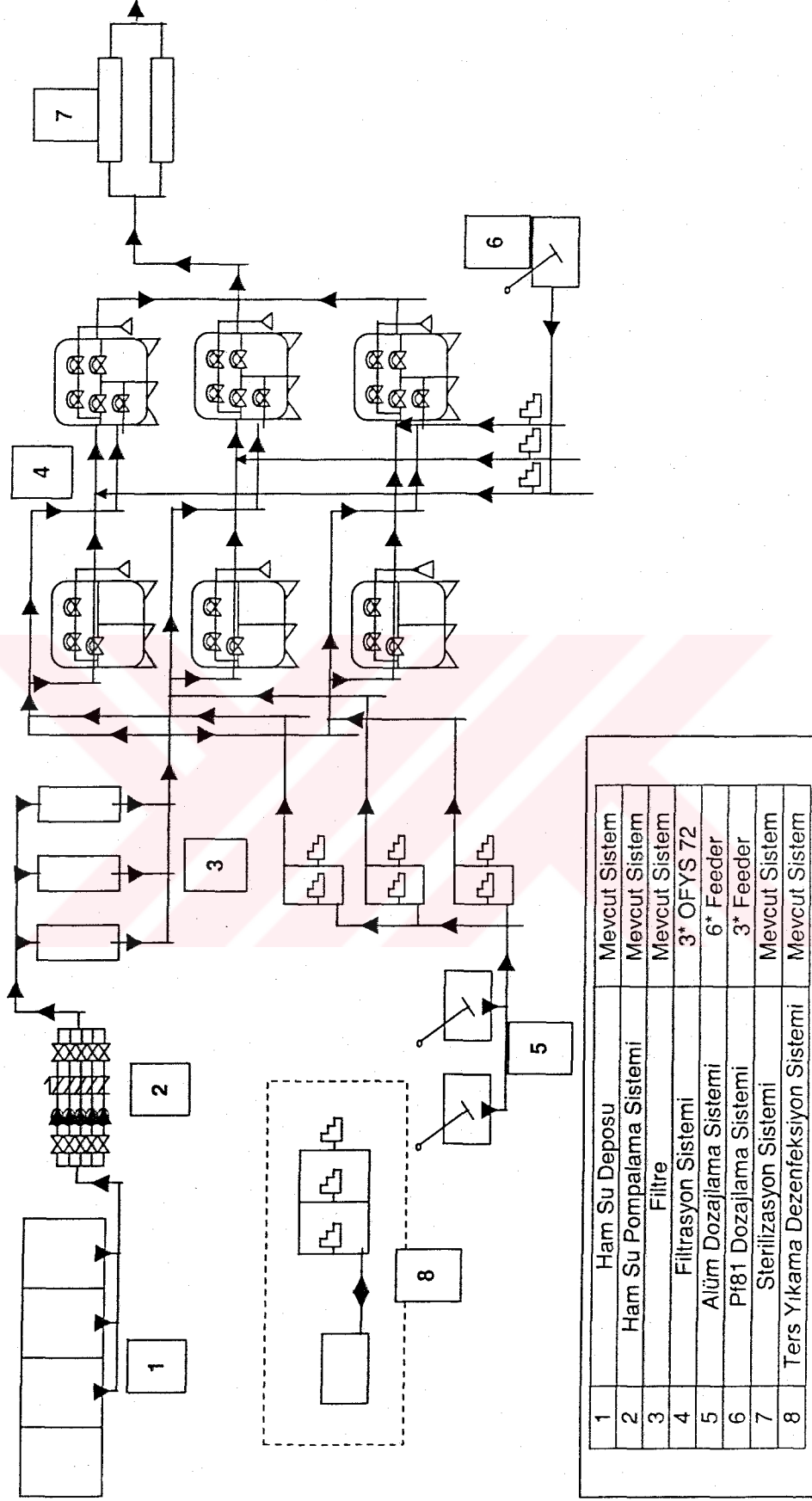
1. Kapasite : 9 l/s

2. Basınç : 7 bar
3. Strok Sayısı : 73 dev/dk.
4. Harcadığı Güç : 90 Watt
5. Kimyasal Tankı : 500 L kapasiteli polietilen (2 adet)
6. Karıştırıcı : 0.25 kW paslanmaz çelik malzeme, destekli ve tanka montajlı (2 adet)

Şekil 4.1’de görülen sistemde öncelikle *Culligan Feeder* koagülasyon tankı ile besleme suyu koagüle edilir. Öncelikle besleme suyu tanka verilir, ardından kimyasal tankındaki alüminyum sülfat belli miktarda sisteme düzenli olarak beslenir, karıştırıcı yardımıyla karıştırılır ve dinlendirilerek çöktürülür. Temizlenmiş olan su filtrasyon sistemine beslenir (Culligan, 2001).

ii Filtrasyon Sistemi: Sudaki bulanıklık, renk, askıda katı maddeler ve manganın arıtılması için filtrasyon sistemi uygulanmaktadır. Tesiste suyun arıtım işlemi Şekil 4.1’de görülen sistemde seri olarak çalışan iki adet *Culligan OFSY 72* filtrasyon ünitesinde gerçekleştirilir. OFSY seri bağlı 2 grup çok katmanlı filtrenin kullanıldığı bir filtrasyon sistemidir. Her bir ünite ise birbirine seri olarak bağlı 2 filtre grubundan oluşur. Filtre gruplarının her biri birbirine paralel bağlı 1.8 m çapında 2 adet basınçlı filtre tankı içermektedir. Filtreler tümüyle aynı katmanlardan oluşur. Birinci grup filtreden çıkan sudaki olabilecek bulanıklık kaçışları ikinci grup filtrede filtre edilerek önlenir ve böylece çıkış suyunun daima berrak olması garanti altına alınır (Culligan, 2001).

Her bir filtre tankının içerisine sudaki askıda katı madde, bulanıklık oluşturan koloidal parçacıklar ve mikroorganizmaların arıtımını sağlayan filtre mineralleri yerleştirilmiştir. Filtre minerallerinin miktarları, kimyasal yapıları ve granülometrik özellikleri itibariyle uzun çalışmalar sonucu belirlenmiş farklı katmanlardan oluşmaktadır. Filtrasyon işlemini gerçekleştiren en üstte bulunan iki katman, düşük yoğunluk ve iri tanecik boyutlarına sahip olan özel bir antrasit (*Cullicite*) ve daha yüksek yoğunluk ve ufak tanecikli silika mineralinden (*Cullsan*) oluşmaktadır. Her ikisi de kimyasal yapıları itibariyle aşınmaya ve kırılmaya karşı son derece dayanıklı ve su ile kimyasal reaksiyonlara girmeyecek niteliktedir (Culligan, 2001).



Şekil 4.1. Culligan Seri Filtrasyon Sistemi

Filtrasyon işlemi suyun filtre tankı içerisinde mineral katmanları arasında yukarıdan aşağıya doğru akması ile gerçekleştirilir. Filtreye girmekte olan suya tesiste bulunan dozaj sistemi tarafından alüm ilave edilir. İlave edilen alüm, suda bulunan kolloidal parçacıkları yumaklaştırarak filtre edilebilir duruma getirir. Bu şekilde hazırlanan su filtre katmanlarında kademeli olarak filtre edilerek en altta bulanıklık ve renk oluşturan askıda katı maddelerden, tortudan ve belli ölçülerde mikroorganizmalardan arındırılmış olur. Bu şekilde suyun bulanıklık derecesi 0.1 NTU değerinin altına indirilmektedir ki bu rakam içme suları için izin verilen maksimum kirliliğin 1/40'ı kadardır (Culligan, 2001).

Filtrasyon sisteminde suyun akışı hidrolik diyafram vanalar tarafından kumanda edilmektedir. Filtrasyon sistemi belirli bir çalışma süresinden sonra filtre minerali üzerinde biriken tortulardan dolayı tıkanma noktasına gelir. Sistem bu durumda otomatik olarak kendini geri yıkama işlemine alır (haftada 1 kez). Ters yıkama işlemi yüksek debideki suyun normal işletmedeki su akış yönünün aksi istikametinde akarak filtre mineralini yıkaması ve üzerine yerleşmiş tortuyu bulunduğu yerden sökerek ortamdan uzaklaştırmasıdır. Bu işlem sırasında sistemdeki ham su kullanılmaktadır ve böylece ek suya ihtiyaç bulunmamaktadır. Daha sonra kirli su drenaj kanalı vasıtasıyla tesis dışına gönderilir. Temizleme işlemi tamamlanmış olan filtre tekrar arıtma işlemine devam etmek üzere sisteme eklenir. Culligan OFSY 72 filtrasyon sistemi ile aşağıdaki avantajlar sağlanmış olur. Bunlar;

- i Filtre edilen suyun kalitesi tek filtrasyonla elde edilenin çok üzerindedir.
- ii Filtrasyon süresi boyunca üretilen su kalitesi sabit kalır.
- iii Uygulanmaya başlanmasının ardından filtre sistemi anında en yüksek kaliteyi vermeye başlar.
- iv Çok yüksek seviyede bulanık olan sular (500 mg/l askıda katı madde) bile başarıyla arıtılabilir.
- v İşlem ani ve büyük boyutta olsa bile ham su bulanıklığındaki değişimlerden etkilenmez.
- vi Filtrasyon hızındaki ani değişiklikler ve kesintiler filtrasyon kalitesini önemli ölçüde etkilemez.

- vii Filtrasyon hızı yüksek dolayısıyla sistem performansı da aynı derecede yüksektir.
- viii Gerekli montaj alanı çok küçüktür.
- ix Sistem tamamen otomatiktir, zamanla, basınç kaybı ile veya kalite kaybı ile programlanabilir.
- x Ham su ters yıkamada da kullanılabilir, böylece artırılmış sudan tasarruf sağlanmış olur.
- xi Koagülant ve flokülant tasarrufu sağlar (1/20 oranında) (Culligan, 2001).

iii Polimer Enjeksiyon Sistemi: Chem PF-81 flokülantı sisteme verilerek flokülasyon işlemi gerçekleştirilir. 3 adet *Culligan FEEDER 9 l/s* ve otomatik dozaj pompası kullanılarak sisteme polimer enjeksiyonu yapılır.

iv Ters Yıkama Dezenfeksiyon Sistemi: Haftada 1 defa geri yıkama işleminde klor ilavesi ile filtre yatağının dezenfeksiyonu ve durulanması sağlanır. Bu işlem esnasında *sodyum hipoklorit (NaOCl)* kullanılmaktadır.

Pilot tesiste bulunan tüm ekipmanların çalışması panodan kontrol edilmektedir. Cihazlar otomatik olarak çalışmaktadır. Panoda sistemin izlenmesi ve kontrol için aşağıdaki cihazlar bulunmaktadır. Bunlar;

1. Ekipmanlara ait şalterler ve ana anahtar,
2. Pano üzerinde arıza ikaz lambası ve otomatik çalıştırma düğmesi,
3. Kontrol düğmeleri ve sistemin çalışması için gerekli tüm diğer aksesuarlardır.

Pilot tesisin işletmeye getireceği ek maliyette hesaplanmış ve Culligan şirketinin tesis için önermiş olduğu tüketim miktarları ve fiyatları Çizelge 4.1'de verilmiştir (Culligan, 2001).

Çizelge 4.1. Culligan Şirketinin Tesis için Önemmiş Olduğu Tüketim Miktarları ve Fiyatları (Culligan, 2001).

Sarf Malzemesi	Öngörülen Tüketim (üretilen 1 m ³ su için)	Birim Maliyet
Sodyum Hipoklorit	0.6 ml	0.16 \$/l
Alüm	10 g	0.20 \$/kg
PF 81	0.5 g	2.50 \$/kg
Kimyasal Gideri	864 kg/ay	173 \$/ay
Enerji Tüketimi	400 kws/ay	

4.3. Tekin Kimya A.Ş. Su Arıtma Araştırması

14-15.05.1998 tarihinde Trakya Cam Sanayi A.Ş. fabrikasından alınan su numuneleri analiz edilerek suyun arıtılması ve bu sorunun giderilmesi için aşağıdakiler önerilmektedir.

Önce bir flokülasyon yapılarak (örneğin $Al_2(SO_4)_3$ kullanılarak) çöktürme yapılabilir. Filtrasyondan çıkan su bir mekanik filtreden geçirilir ve bu işlemler tekrarlanarak verim artırılmış olur. Son olarak arıtılmış olan su kireç reaktörüne gönderilerek kireçlenerek sisteme beslemeye hazır hale gelir (Akçın, 1998).

Diğer bir önerilebilecek yöntemde ise sırasıyla şu işlemlere yer verilerek suyun arıtılması sağlanabilir. Bunlar;

- i Flokülasyon: Flokülant olarak $Al_2(SO_4)_3$ veya Al_2O_3 50 g/l kullanılarak su floküle edilir,
- ii Filtrasyon: Flokülasyona tabi tutulan su 0.6-0.8 mm gözenek açıklığına sahip antrasit filtreden geçirilir,
- iii Filtrasyondan sonra su U.V cihazı kullanılarak dezenfekte edilir,
- iv Dezenfekte edilen su bir Aktif Karbon Ünitesinden geçirilerek korozif etkisi ortadan kaldırılır,

- v Daha sonra su TO sisteminden geçirilir,
- vi Temizlenmiş olan su soğutma sistemine verilebilir (Akçın, 1998).



5. MATERYAL VE METOD**5.1. Materyal**

Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası soğutma suyu sistemlerinde kullanılan kuyu suyu 4 farklı kuyudan pompalarla işletmeye gönderilmekte ve besleme suyu olarak adlandırılan bu sular 400'er m³'lük 3 ayrı dinlendirme tankında toplanmaktadır. Toplama havuzunda 2, 3 ve 4 nolu kuyulardan gelen sular toplanmaktadır. 1 nolu kuyu suyu ise diğer kuyulara göre daha kirli olduğu için soğutma suyu sisteminde kullanılmamaktadır.

Ham su numunesinin dayanma süresi çok kısıtlı olduğu için yapılan her deney öncesinde o deney için yeterli olacak kadar numune uygun taşıma şartları sağlanarak işletmeden alınmıştır.

Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikasından alınan ham su numuneleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına getirilerek steril şişelere konulmuş ve deneylerin yapılacağı laboratuvarlara götürülmüşlerdir. Gerektiğinde numuneler soğutucuda + 4°C'de saklanmışlardır.

5.1.1. Toplama Havuzu Suyu ve 1 Nolu Kuyu Suyu Genel Özellikleri (Ham Su)

Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikasından alınan ham su numuneleri üzerinde askıda katı madde (AKM), bulanıklık, Cl, tuzluluk, toplam sertlik (Ca, Mg), geçici sertlik (HCO₃, CO₃), Na, K, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve canlı bakteri sayımı (CBS) deneyleri yapılmış ve ham suyun genel özellikleri tespit edilerek sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ham Su Analiz Sonuçları

Özellik	Toplama Havuzu	1 nolu Kuyu Suyu
Bulanıklık (TE/F)	3	9
Cl (mg/l)	102.4	204.8
HCO ₃ (mg/l)	12	36
CO ₃ (mg/l)	186	224
Ca CO ₃ (mg/l)	114.7	15
Mg CO ₃ (mg/l)	136.1	25.1
K (mg/l)	8.11	7.3
Na (mg/l)	108.5	275.4
KOİ (mg/l)	4.8	7.92
BOİ (mg/l)	1.73	2.93
CBS (cfu/ml)	88	138

Deneylerde kullanılan membran filtrenin verilen katalog özellikleri şunlardır: filtre yüzeyi hidrofob polyeater, dış yüzeyi polipropilen, çap 6.8 cm, kullanılabilir maksimum basınç 4.1 bar, kullanılacak numunenin maksimum sıcaklığı 60°C ve filtrenin gözenek açıklığı 45µm'dir. Ayrıca kullanılan bazı flokülantların genel özellikleri ise;

Alüminyum Sülfat $Al_2(SO_4)_3$: Molekül ağırlığı 342.15, yoğunluğu 2.71g/cm³, ergime noktası 770°C, 100 ml'deki çözünme %'si soğuk suda 31.3, sıcak suda 98.1

Ferric Chloride $FeCl_2.6H_2O$: Molekül ağırlığı 270.3, ergime noktası 37°C, kaynama noktası 280-285°C, 100 ml'deki çözünme %'si soğuk suda 91.9, sıcak suda 100 (Weast, 1979).

Superfloc A110: Anyoniktir, yoğunluğu 0.8 g/cm³'dür. Maden endüstrisinde, içmesuyu üretiminde, belediyelerin su yumuşatma tesislerinde, endüstriyel amaçlı kullanılan su ve atıksuların temizlenmesinde kullanılmaktadır. Bütün superfloc çöktelticiler gibi A110'da normal şartlarda zehirsizdir. Avantajları;

- i Hızlı çökeltme yüzdesine sahiptir.

- ii Geniş pH aralığında çalışılabilmektedir.
- iii Düşük dozlarda etkilidir,
- iv Yüksek molekül ağırlığına rağmen kolayca eriyebilmektedir,
- v Katı ürün olarak depolanabilmektedir.

Magnafloc-1011: Anyoniktir, molekül ağırlığı oldukça yüksektir bu yüzden suda çözünme %'si oldukça düşüktür. *Magnafloc-1011* sülfürlü ve oksitli metallerin flokülasyonunda, kömürün ve kömür atığının sedimantasyonunda, kömürün ultrafiltrasyonunda, tuz ve killerin sedimantasyonunda, atıksuyunun geri kazanımında, asit liçinde bakırın temizlenmesinde ve sülfür ekstraksiyonunda kullanılmaktadır.

Magnafloc-352: Katyoniktir, molekül ağırlığı çok yüksek değildir. *Magnafloc-352* bakır ve çinkonun asit liçinden temizlenmesinde, metal hidroksitlerin flokülasyonunda ve bazı metallerin flokülasyonunda kullanılmaktadır.

5.2. Metod

Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikasında cam üretimi esnasında soğutma suyu olarak kullanılan bu kuyu sularının hem camın kalitesini bozmaması hem de sisteme zarar vermemesi istenmektedir. Bunun için fabrikada soğutma suyu olarak kullanılan kuyu suları sisteme verilmeden önce filtreden geçirilmektedir. Fakat bu filtreler hem suyun tam olarak temizlenmesini sağlayamamakta hem de çok çabuk tıkanmaktadır. Bu durumda işletmeye çok fazla zarar vermektedir yani tam olarak temizlenmemiş su sisteme beslendiği için borularda ve işletmedeki makine ve ekipmanlarda korozyona sebebiyet vermektedir. Ayrıca daha da önemlisi cam kalitesini düşürebilmektedir. Bu çalışmada cam sanayi soğutma suyu temizlenerek sistemdeki korozyon, bulanıklık gibi problemler mümkün olduğunca azaltılmaya çalışılmıştır.

Öncelikle yapılan her deneyde su numunesinin incelenen askıda katı madde (AKM), bulanıklık, Cl, tuzluluk, toplam sertlik (Ca, Mg), geçici sertlik (HCO_3 , CO_3), Na, K, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve canlı bakteri sayımı (CBS) gibi özellikleri için yapılan testler aşağıda özetlenmiştir.

5.2.2.1. Kalsiyum Sertliği Tayini

Sularda en bol bulunan elementlerden birisi kalsiyum olup bol bulunurluk sırasında beşinci olarak yer almaktadır. Suyun kireçtaşı, dolomit ve jips içeren araziden geçmesi sonucu suya geçer. Sulardaki düşük kalsiyum içeriği metalik borularda korozyona, yüksek kalsiyum içeriği de borularda CaCO_3 tabakası oluşumuna neden olur (Clesceri ve ark., 1998).

Deney öncesi gerekli reaktifler pH ayarlaması için NaOH, indikatör olarak müreksit (amonyum purpurat) ve 0.01 M EDTA (etilendiamintetraasetik asit veya tuzları) hazırlanır. Deneyin yapılışında ise önce 50 ml su numunesine 1-2 ml NaOH ilavesi ile pH 12-13'e ayarlanır. Daha sonra numuneye müreksit indikatörü ilave edilir ve suyun rengi pembeleşir. En son suyun rengi pembeden mora dönüşene kadar yavaş yavaş EDTA ilave edilerek sürekli karıştırılır ve EDTA sarfiyatı ölçülür. Eşitlik 5.1 yardımıyla da kalsiyum sertliği belirlenmiş olur (Clesceri ve ark., 1998).

$$\text{CaCO}_3 = \frac{A \times B \times 1000}{\text{ml numune}} \quad (5.1)$$

A : Numunenin titrasyonu için sarf edilen ml EDTA miktarı

B : 1 ml EDTA'nın mg CaCO_3 eşdeğeri

5.2.2.2. Magnezyum Sertliği Tayini

Magnezyum doğal suların ana elementlerinden birisidir ve bolluk sırasında sekizinci olarak yer alır. Magnezyum sertliğinin en önemli bileşenlerindendir. 125 mg/l den daha büyük magnezyum konsantrasyonları katartik ve diürotik etki yapar. Kimyasal yumuşatma ve iyon değiştirme magnezyum ve magnezyum ile ilgili sertlikleri gidermede en çok kullanılan yöntemlerdir (Clesceri ve ark., 1998).

Deney öncesi gerekli reaktifler pH ayarlaması için nitrik asit (HNO_3), indikatör olarak metil red (metilen) ve 0.01 M EDTA (etilendiamintetraasetik asit veya tuzları) hazırlanır. Deneyin yapılışında ise önce 50 ml su numunesine 1-2 ml

HNO₃ ilavesi ile pH 9-10'a ayarlanır. Daha sonra numuneye metil red indikatörü ilave edilir ve suyun rengi açık mavi olur. En son suyun rengi sarıya dönüşene kadar yavaş yavaş EDTA ilave edilerek sürekli karıştırılır ve EDTA sarfıyatı ölçülür. Eşitlik 5.2 yardımıyla da magnezyum sertliği belirlenmiş olur.

$$\text{Mg (mg/L)} = \frac{A \times 218.5}{\text{ml numune}} \quad (5.2)$$

A : mg Mg₂P₂O₇

5.2.3. Klorür (Cl) Tayini

Klorür, Cl⁻ halindeki klor formudur. Su ve atık sularda rastlanan en önemli anorganik anyonlardandır. Eğer sudaki klorür içeriği sodyum klorür (NaCl) tuzundan ileri geliyorsa düşük konsantrasyonlarda bile suda belirgin bir tuzluluk tadı oluşturmaya yeterlidir. Diğer taraftan eğer klorür kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) katyonları ile mevcutsa yüksek konsantrasyonlarda bile suda tuzlu bir tat oluşmaz. Atık sulardaki klorür içeriği içme sularına kıyasla çok daha fazladır. Yüksek klorür içeriği metalik borulara ve aksamına zarar verir. Tuzlu atık sular zirai alanlar ve bitkiler için de oldukça zararlıdır (Clesceri ve ark., 1998).

Deney öncesi gerekli reaktifler pH ayarlaması için NaOH, indikatör olarak potasyum kromat (K₂CrO₄), titrasyon için 0.0141 N gümüş nitrat (AgNO₃) ve sodyum klorür (NaCl) çözeltisi hazırlanır. Deneyin yapılış aşamasında ise pH'ı 7-10 civarında olan numuneler doğrudan titre edilir. pH'ları bu aralıkta olmayan numuneler NaOH ile pH'ları 7-10 aralığına ayarlanır. Daha sonra numuneye 1 ml potasyum kromat indikatör çözeltisi katılır. Standart gümüş nitrat çözeltisi yavaş yavaş ilave edilerek numune pembemsi sarı renge dönüşene kadar sürekli karıştırılır. Sonunda şahit numune ile aynı titrasyon işlemi tekrarlanır. Bu metotta genellikle şahit için kullanılan gümüş nitrat sarfıyatı 0.2-0.3 ml kadardır. Eşitlik 5.3 yardımıyla da klorür hesaplanır (Clesceri ve ark., 1998).

$$Cl = \frac{(A - B) \times N \times 35450}{\text{ml numune}} \quad (5.3)$$

A : Numune için saf edilen ml gümüş nitrat (AgNO_3) titrasyon maddesi

B : Şahit numune için saf edilen ml gümüş nitrat (AgNO_3) titrasyon maddesi

N : AgNO_3 'ın normalitesi

5.2.4. Alkalinite Tayini

Bir suyun alkalinitesi asitleri nötralize etme kapasitesinin bir ölçüsüdür. Doğal suların alkalinitesi çoğunlukla zayıf asitlerin tuzlarından oluşmaktadır. Karbondioksitin (CO_2) topraktaki temel maddelerle olan reaksiyonu gereğince oluşan bikarbonatlar (HCO_3^-) alkalinitenin önemli bir kısmını meydana getirmektedir. Bazı özel koşullarda doğal sularda karbonat (CO_3^{2-}) ve hidroksit (OH^-) alkalinitesi de bulunabilmektedir.

Deneyisel amaçlarla alkaliniteyi hidroksit (OH^-), karbonat (CO_3^{2-}) ve bikarbonat (HCO_3^-) alkalinitesi olmak üzere 3 grupta toplamak mümkündür. Bu 3 çeşit alkalinite 2 indikatör yardımıyla, 0.02 N sülfürik asitle titre edilerek tayin edilebilir. Kullanılan indikatörler fenolftaleyn ve metil oranjdır. Su hidroksit ve karbonat içerdiği zaman fenolftaleyn pembe renk verir. Asitle titrasyonda pembeden renksiz hale geçtiğinde pH 8.2-8.3'tür. Metil oranj bu 3 alkaliniteden birinin bulunması halinde sarı renk verir, asit varlığında kırmızıya döner. Hidroksit (OH^-) ve bikarbonat (HCO_3^-) alkalinitesi aynı numunede birlikte bulunamaz.

Deney öncesi gerekli reaktifler pH ayarlaması için 0.02 N sülfürik asit (H_2SO_4), metil oranj çözeltisi, fenolftaleyn çözeltisi, 0.02 N Na_2CO_3 ayar çözeltisidir. Deneyin yapılışı ise 50 ml su numunesi alınır, 3 damla fenolftaleyn ilave edilir. Pembe renk oluşuyorsa renk giderilene kadar 0.02 N sülfürik asitle titre edilir, sarfiyat ölçülür. Aynı örneğe 3 damla metil oranj ilave edilir. renk sarıdan kırmızıya dönüşünceye kadar 0.02 N sülfürik asitle titre edilir ve sarfiyat ölçülür. Sonuç eşitlik 5.4 yardımıyla hesaplanır (Clesceri ve ark., 1998).

$$\text{Toplam Alkalinite (mg/L CaCO}_3\text{)} = \frac{B \times N \times 50000}{\text{ml örnek}} \quad (5.4)$$

B : ml olarak sarf edilen toplam sülfürik asit miktarı (fenolftaleyn + metil oranj)

N : Sülfürik asit çözeltisinin normalitesi

5.2.5. pH Tayini

pH bir çözeltinin asitlik özelliğinin göstergesi olup hidrojen iyonu aktivitesinin eksi (-) logaritmasına eşittir. pH değeri su temininde koagülasyon, dezenfeksiyon, su yumuşatma ve korozyon kontrolü gibi işlemlerde göz önüne alınır. Biyolojik süreçlerde pH istenen mikroorganizmaların yaşamasına uygun olacak şekilde ayarlanır. Doğal suların çoğunun pH değeri 4-9 arasındadır. pH değeri karbonat (CO_3^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-), karbondioksit (CO_2), korozyon ve diğer asit baz dengeleri hesaplarında kullanılır. PH kolorimetrik yada elektrometrik olarak ölçülebilir. Kolorimetrik yöntemde renk, bulanıklık, tuzluluk, kolloidal maddeler ve bazı yükseltgen ve indirgenler engelleme yaptıkları için kolorimetrik yöntem pek uygun değildir (Clesceri ve ark., 1998).

pH ölçümünün standart yöntemi hidrojen elektrotu yöntemidir. Ancak cam elektrotun girişimlerden daha az etkilenmesi ve hidrojen elektrotun yaygın kullanım için elverişli olmaması gibi nedenlerle ölçüm çoğunlukla cam elektrotla yapılmaktadır.

pH metre ile ölçüm yapılmadan önce tampon çözelti hazırlanarak pH metrenin ayarı yapılır. Daha sonra okuması yapılacak numuneye pH metrenin cam elektrotu batırılır ve dijital göstergeden görülen değer sabitleninceye kadar beklenir. Son olarak sabitlenen değer okunur ve numunenin pH'ı belirlenmiş olur. Aynı zamanda pH metre ile numunenin sıcaklığı da okunabilmektedir. Dijital göstergede pH değerinin altında sıcaklık değeri de görülebilmektedir (Clesceri ve ark., 1998).

5.2.6. Na ve K Tayini

2, 4, 6, 8 ve 10 ppm'lik standart Na ve K çözeltileri Alev Fotometresinde okutulur. Bulunan değerlere göre grafik çizilir ve doğrunun denklemi bulunmuş olur. Daha sonra örnekler okutulur ve bulunan değerlere göre Na ve K konsantrasyonları belirlenmiş olur (Clesceri ve ark., 1998).

5.2.7. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Tayini

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini numunedeki organik maddenin kimyasal olarak oksidasyonu için gerekli oksijen miktarını ölçmeye yarar. Nehir kirlenmesi ve endüstriyel atıkların incelenmesi çalışmalarında hızlı sonuç veren bir deney olduğu için önemlidir. Yöntem tüm organik maddenin kuvvetli oksitleyici maddelerle asit ortamda oksitlenebilecekleri esasına dayanmaktadır. Toksik madde içeren bazı atıkların organik yüklerinin belirlenmesi için bu test veya toplam organik karbon (TOC) tayini uygulanabilecek başlıca yöntemlerdir (Clesceri ve ark., 1998).

Deneye tabi tutulacak numunelerin gecikme olmaksızın analizi gerekmektedir. Çökebilan katı maddeleri içeren numuneler blender'den geçirilerek homojen hale getirilir. Analizden önce bir gecikme olmuş ise yada olacak ise numunenin sülfürik asit ile asitlendirilmesi gerekir. Yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) içeren atıklar için volümetrik kaplarda seyreltme yapılır.

Deney için gerekli reaktifler; standart potasyum bikromat ($K_2Cr_2O_7$) çözeltisi, pH ayarlaması için sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi, standart 0.1 N demir amonyum sülfat [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$] reaktifi, ferroin indikatör çözeltisi, civa sülfat ($HgSO_4$), gümüş sülfat ($AgSO_4$) ve sülfamik asit (nitrat girişimi olduğu zaman kullanılır) tir.

Deneyin yapılışında 50 ml numune veya 50 ml'ye seyreltilmiş daha az miktardaki numune 500 ml'lik KOİ balonuna alınır. 1 g $HgSO_4$, kaynama taşı ve 5 ml H_2SO_4 katılır. H_2SO_4 yavaşça karıştırılarak ilave edilir, soğutulur, 25 ml $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi ilave edilir ve karıştırılır. KOİ balonuna 70 ml gümüş sülfatlı sülfürik asit ilave edilir ve tekrar karıştırılır. Geri soğutucuya bağlanarak KOİ balonundaki karışım 2 saat ısıtılarak geri destile edilir. 2 saat sonunda ısıtıcı

kapatılarak soğutma yapılır. Karışım destile su ile 350 ml'ye getirilerek oda sıcaklığına kadar soğutulur. Bikromatın ($K_2Cr_2O_7$) fazlası 2-3 damla ferroin indikatörü ilave edilerek titre edilir. Titrasyon sonu olarak, rengin mavimsi yeşilden kırmızımsı kahverengiye dönüştüğü an alınır ve eşitlik 5.5 yardımıyla kimyasal oksijen ihtiyacı hesaplanır veya 2 saat ısıtmadan sonra soğutularak oda sıcaklığına getirilen su numunesi spektrofotometrede okunarak kimyasal oksijen ihtiyacı değeri elde edilmiş olur (Clesceri ve ark., 1998).

$$KOİ \text{ (mg/L)} = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{\text{ml numune}} \quad (5.5)$$

A : Şahit için sarf edilen $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ miktarı

B : Numune için saf edilen $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ miktarı

N : $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 'ın normalitesi

5.2.8. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Tayini (BOİ)

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) tayini atık suların ve kirletilmiş suların relatif oksijen ihtiyaçlarını belirlemek üzere standartlaştırılmış laboratuvar işlemlerini kullanan ampirik bir deneydir. Bu deney arıtma tesislerine gelen atıkların kirlilik yüklerinin ölçümünde ve arıtma sistemlerinin verimlerinin (BOİ giderme verimi) hesabında önemli bir parametredir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerlerinin mukayesesi deneylerin aynı koşullarda yapılması halinde mümkündür. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı için alınan numuneler numune alınması ve saklanması esnasında belli bir ayrışma gösterebilirler. Deney başlamadan önce numuneler birkaç gün bekletilirse gerçek biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerinden daha düşük değerler elde edilir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacının değişimini azaltmak üzere tüm numunelerin $+4^\circ C$ 'de veya daha düşük sıcaklıklarda saklanması ve numune alındıktan sonra en geç 24 saat içerisinde analiz edilmesi gerekir (Clesceri ve ark., 1998).

Düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlu numunelerin biyokimyasal oksijen ihtiyacı tayininden önce havalandırılmaları gerekir. Difüze havalandırma sureti ile

numune havalandırılarak en az 7 mg/l çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonu içermesi sağlanır. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı deneyinde bir atığın tamamen stabilize olması için çok uzun bir süre gerekmektedir. Bu nedenle 5 günlük süre standart olarak kabul edilmiştir.

Deney için gerekli reaktifler; destile su (su 0.01 mg/l'den az bakır içermeli, klor, organik madde ve asit içermemelidir), fosfat tampon çözeltisi (bu tampon çözeltinin pH'ı 7.2 olmalıdır), magnezyum sülfat ($MgSO_4$) çözeltisi, kalsiyum klorür ($CaCl_2$) çözeltisi, demir III klorür ($FeCl_3$) çözeltisi, asit ve alkali çözeltiler (asidik veya bazik numunelerin nötralizasyonu için kullanılır) ve sodyum sülfat (Na_2SO_3) çözeltisidir (günlük olarak hazırlanmalıdır). Çözünmüş oksijen tayini için gerekli reaktifler; mangan, sülfat çözeltisi, alkali iyodür asit reaktifi, sodyum tiyosülfat çözeltisi ve nişasta çözeltisidir (Clesceri ve ark., 1998).

Deneye başlamadan önce analiz yapılacak numuneye aşılama yapılmalıdır. Aşılamanın amacı atık suya organik maddeyi oksitleme özelliğine sahip biyolojik nüfusun (mikroorganizmaların) verilmesidir. Bu tip mikroorganizmalar evsel atık sularda, yüzeysel sularda ve klorlanmamış çıkış sularında mevcut olduklarından aşılama işlemi bu tip suların biyokimyasal oksijen ihtiyacı analizlerinde kullanılmamalıdır. Eğer numune klorlama, yüksek sıcaklık ve farklı pH değerleri sonucu çok az miktarda mikroorganizma içeriyorsa veya hiç mikroorganizma içermiyorsa bu numunelerin aşılama işlemi gerekir. Standart aşılama maddesi çöktürülmüş ve +20°C'de 24-36 saat saklanmış evsel atık sudur. Genellikle kullanılan aşı miktarı 1-2 ml/l'dir.

Deney öncesi ön işlemlerde kostik alkalinite veya asidite içeren numuneler pH 7.0'a kadar H_2SO_4 veya NaOH ilavesi ile nötrale edilir. Kalıntı klor içeren numuneler ya 1-2 saat bekletilir yada klor kalıntıları Na_2SO_3 ilavesi ile giderilir.

Deneyin yapılışında ise öncelikle seyreltme suyu hazırlanır. Seyreltme suyu mikroorganizmaların yaşaması ve gelişmesini kolaylaştıracak anorganik tuzlar ihtiva etmeli, toksik elementleri ihtiva etmemeli, doygunluğa yakın çözünmüş oksijeni bulunmalıdır. Bu amaçla +20°C'deki destile su kullanılır. Destile su havalandırılır ve ağzı kapatılarak korunur. İstenen hacimde destile su uygun bir kaba alınır ve 1 l su başına 1 ml fosfat tamponu, 1 ml $MgSO_4$ çözeltisi, 1 ml $CaCl_2$ çözeltisi ve 1 ml

FeCl₃ çözeltisi ilave edilir. Bu karışım karıştırılarak veya bir hava pompası ile havalandırılır. Çözünmüş oksijen (ÇO) tayininde ise seyreltilmiş ve havalandırılmış olan numunenin çözünmüş oksijen miktarı oksijen elektrotu yardımıyla veya Winkler metodu ile bulunur. Deneye başlamadan önce seyreltilmiş ve havalandırılmış olan suyun çözünmüş oksijeni okunur. Daha sonra seyreltme suyu aşıl原因arak aynı gün biyokimyasal oksijen ihtiyacı deneyi için kullanılır. Deney için hazır durumda olan numune +20°C'de, 5 gün süre ile karanlıkta inkübe edilir. 5 gün sonunda inkübatörden alınan numunede çözünmüş oksijen tayini yapılır ve su numunesinin biyokimyasal oksijen ihtiyacı değeri eşitlik 5.6 yardımıyla hesaplanır (Clesceri ve ark., 1998).

$$BOİ \text{ (mg/L)} = \frac{(\text{ÇO}_1 - \text{ÇO}_2) \times V}{\text{ml numune}} \quad (5.6)$$

ÇO₁ : Bekletme öncesi çözünmüş oksijen miktarı

ÇO₂ : Bekletme sonrası çözünmüş oksijen miktarı

V : Beher hacmi

5.2.9. Canlı Bakteri Sayımı (CBS) Tayini

Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikasından alınan ve özel steril taşıma kapları içerisinde Mikrobiyoloji Laboratuvarına getirilen su numuneleri en geç 2 saat içerisinde mikrobiyolojik yöntemlerle değerlendirilmek üzere steril serum fizyolojik ile log10 tabanına göre 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ ve 10⁻⁶'ya kadar dilüe edildi. Her dilüsyondan 3'er tane kanlı ve EMB plaklarına 0.1 ml ekim yapıldı. Ekimler yapıldıktan sonra besi yerleri +37°C'lik etüvde 18 saat inkübasyona bırakıldı (Finegold).

Plakların incelenmesinde çıplak gözle sayılabilir (en az 10 cfu) koloni üreyen dilüsyonlara ait plaklar bakteri sayımı için kriter olarak kabul edildi. Bakteri sayımında standart sapması %10'un üzerinde olan plaklar değerlendirme dışı bırakıldı ve diğer plakların sayımı yapılarak sonuçlandırıldı (Isenberg).

5.2.10. Ultrafiltrasyon Deneyleri

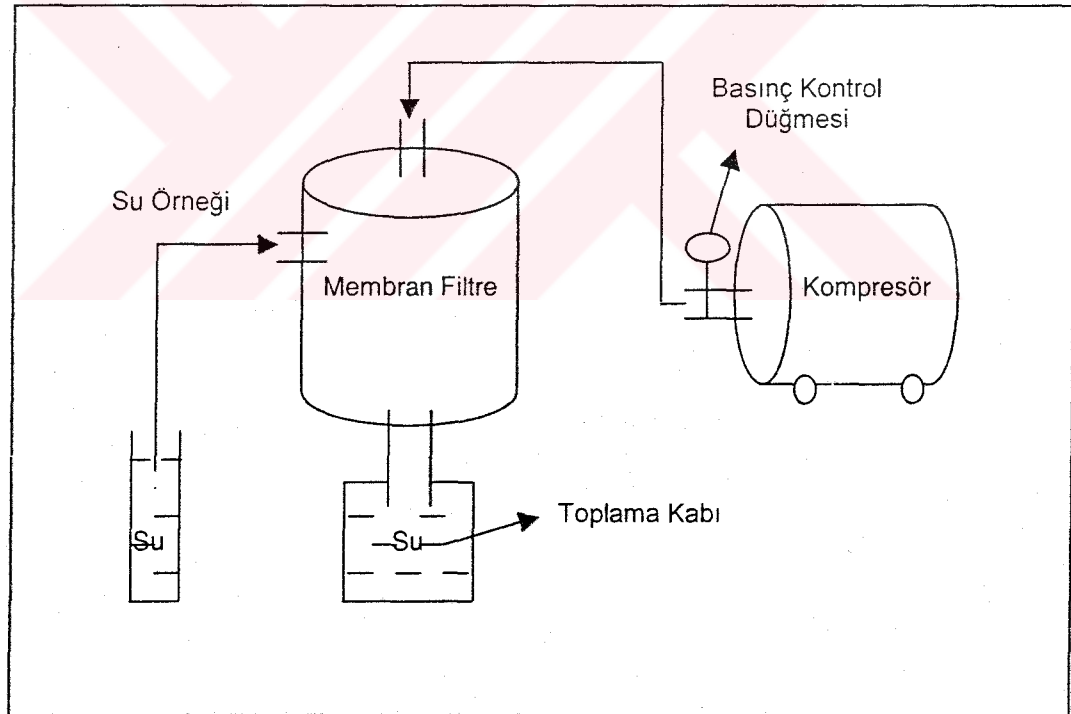
Ultrafiltrasyon deneyleri TS 9396 (Su Kalitesi-Sularda Silt Yoğunluk İndeksi Tayini)'da belirtilen şartlara uyan membran filtre temin edilerek yapılmıştır. Filtre laboratuvar ölçekli olup filtrenin dış yüzeyi polipren, çapı 6.8 cm, maksimum sıcaklık dayanımı 60°C ve maksimum basınç dayanımı 4.1 bar'dır. Ayrıca filtre iki ayrı parçadan oluşmakta ve bu parçalar ısıtılarak birbirine yapıştırılmıştır. Filtrenin üst kısmında hava giriş noktası bulunmakta alt kısmında da numune çıkışı sağlayan ağız bulunmaktadır. Ayrıca yan tarafta ise basınç ayarlaması için emniyet supabı vardır. Ultrafiltrasyon deneyleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında hazırlanan deney düzeneğinde yapılmıştır (Şekil 5.1).

Ultrafiltrasyon deneylerinde ilk olarak membran filtre için en uygun hava basıncını belirlemek amacıyla Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası 1 nolu kuyu ve toplama havuzundan yaklaşık 4'er litre su numuneleri alınmış ve aynı gün üniversiteye getirilerek filtreden geçirilmiştir. Getirilen su numuneleri önce 3 bar basınç altında filtreden geçirilmiş ve analiz için steril şişelere doldurulmuştur. Daha sonra 4 bar basınç altında filtreden geçirilerek bu numune de aynı şekilde steril şişelere doldurularak; bulanıklık, toplam sertlik, Cl, KOİ ve BOİ analizleri için Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarlarına, geçici sertlik, Na ve K analizleri için Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Kimya Laboratuvarına ve canlı bakteri sayımı (CBS) analizi için de Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Bölümü Laboratuvarına götürülmüş ve analizleri yapılmıştır. Deney sonuçları araştırma bulgularında verilmiştir.

İkinci deneyde ise Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikasında kurulu bulunan pilot ölçekli Culligan filtreleri ile bu çalışmada kullanılmakta olan filtrenin verimlerini kıyaslamak amacıyla Culligan filtresine beslenmekte olan 1 nolu kuyudan ve Culligan filtre çıkışından alınan yaklaşık 2'şer litre su numuneleri üniversiteye getirilerek analizlerin yapılması için hazırlanmıştır. 1 nolu kuyudan alınan su numunesi deneyler için filtreye numune besleme noktasından bir şırınga yardımıyla beslenmiş ve üstten 4 bar sabit basınç verilerek yaklaşık 1 litre su numunesi filtre edilmiştir. Daha sonra laboratuvarda filtre edilen su numunesi ile

Culligan filtre çıkışı su numunesi steril şişelere doldurularak; bulanıklık, toplam sertlik, Cl, KOİ, BOİ, geçici sertlik, Na, K ve canlı bakteri sayımı (CBS) analizleri için yukarıda belirtilen laboratuarlara götürülmüş ve analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar araştırma bulgularında verilmiştir.

Ultrafiltrasyon deneylerinin sonuncusunda ise ultrafiltrasyon işlemi için belirlenmiş olan uygun hava basıncında (4 bar) su numuneleri filtre edilmişlerdir. Bunun için Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası 1 nolu kuyu ve toplama havuzundan alınan yaklaşık 2'şer litre su numuneleri aynı gün üniversiteye getirilerek belirlenen hava basıncında membran filtreden geçirilerek steril şişelere doldurulmuş ve bulanıklık, toplam sertlik, Cl, KOİ, BOİ, geçici sertlik, Na, K ve canlı bakteri sayımı (CBS) analizleri için ilgili laboratuarlara götürülmüş ve analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar araştırma bulgularında verilmiştir.



Şekil 5.1. Laboratuvar Deney Düzeneği

5.2.11. Flokülasyon Deneyleri

Flokülasyon deneyleri membran filtreye beslenen suyun besleme öncesinde temizlenebilirliğini görmek, filtrenin yükünü biraz olsun azaltmak ve filtre ömrünü arttırmak amacıyla yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak su numunesi membran filtreye beslenmeden önce su floküle edilerek suyun temizlenme verimi belirlenmeye çalışılmıştır.

Flokülasyon işlemi için öncelikle su numunesine en uygun flokülanın tespiti için bir seri deney yapılmış ardından da belirlenen en uygun flokülanın en uygun dozajı belirlenmeye çalışılmıştır. Uygun flokülan tespiti için *Magnafloc-1011*, *Magnafloc-352*, *Superfloc-A110*, *Aliüm* ve $FeCl_3$ flokülanları denenmiştir. Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası 1 nolu kuyu ve toplama havuzundan getirilen su numuneleri 1 (bir) gün önceden Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Kimya Laboratuvarında 0.01 g/l ve 0.001 g/l dozajlarında hazırlanan flokülanlarla 1 l su numunesine 1 ml flokülan ilave edilerek karıştırıcıda 210 dev/dk'da 20 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra karıştırılmış olan su numuneleri sırasıyla 10, 30 ve 60 dakika dinlendirilmiş ve çöktürülmüştür. Floküle olmuş su numunelerinden yaklaşık 500 ml alınarak gerekli analizlerin yapılması için ilgili laboratuvarlara götürülmüş ve aynı gün analizleri yapılmıştır. Deney sonuçları araştırma bulgularında verilmiştir.

İkinci flokülasyon deneyinde ise belirlenmiş olan uygun flokülanın miktarının tespiti için tekrar Trakya Cam Sanayi, Mersin-Tarsus Fabrikası 1 nolu kuyu ve toplama havuzundan getirilen su numuneleri 1 (bir) gün önceden Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Kimya Laboratuvarında 0.01 g/l, 0.005 g/l ve 0.001 g/l dozajlarında hazırlanan flokülanlarla 1 l su numunesine 1 ml flokülan ilave edilerek karıştırıcıda 210 dev/dk'da 20 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra karıştırılmış olan su numuneleri sırasıyla 10, 30 ve 60 dakika dinlendirilmiş ve çöktürülmüştür. Floküle olmuş su numunesinden yine yaklaşık 500 ml alınarak gerekli analizlerin yapılması için ilgili laboratuvarlara götürülmüş ve aynı gün analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar araştırma bulgularında verilmiştir.

Flokülasyon deneylerinde yapılan tüm deneylerde işlemler 2'şer tekrarlı yapılmış ve kontrollü olarak ortalamaları alınmıştır.

5.2.12. Flokülasyon+Ultrafiltrasyon Deneyleri

Uygun flokülant ve dozajı belirlendikten sonra su numuneleri öncelikle bir önceki deneyde belirlenen uygun flokülant ve dozajıyla floküle edilir ve daha sonra floküle olmuş su numunesi membran filtreye verilerek ultrafiltrasyon işlemine tabi tutulur ve suyun temizlenme verimine bakılır. Böylece yapılan bu işlemin uygunluğu tespit edilmiş olur.

Bu deneylerde öncelikle Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası 1 nolu kuyu ve toplama havuzundan getirilen su numuneleri önceden belirlenmiş olan en uygun flokülant 1 litre su numunesine yine önceden belirlenmiş olan en uygun dozajda ilave edilerek karıştırıcıda 210 dev/dk hızda 20 dakika karıştırılmış ve önceden belirlenmiş olan en uygun bekleme süresinde dinlendirilerek su numunesi floküle edilmiştir. Daha sonra floküle olmuş su numunesi 4 bar sabit hava basıncında çalışan membran filtreye beslenerek filtre edilmiş ve filtre edilen yaklaşık 1 litre nihai su numunesi laboratuarlara götürülerek analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar araştırma bulgularında verilmiştir.

Flokülasyon+ultrafiltrasyon deneylerinde yapılan tüm işlemler 2 tekrarlı yapılmış ve kontrollü olarak ortalamaları alınmıştır.

5.2.13. Silt Yoğunluk İndeksi Tayini (SYİ_T)

Silt yoğunluk indeksi tayini sularda partikül halinde bulunan maddenin miktarını tayin etmek için uygulanmaktadır. Kuyu suyu, filtre edilmiş su veya arıtılmış akıntılar gibi bulanıklığı düşük olan sulara da uygulanabilir. Silt yoğunluk indeksi partikül halindeki maddeyi uzaklaştırmak için kullanılan su arıtım ekipmanlarının ve sistemde kullanılan suyun kirlilik durumunu kontrol etmek için uygulanan bir yöntemdir.

Silt yoğunluk indeksinin tespit edilebilmesi için TS 9396'da belirtilmiş olan formülden faydalanılmıştır. Bu indeksin tespiti için Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikasından alınan 500 ml soğutma suyu numunesi 0.45 µm gözenek açıklığına sahip membran filtreden geçirilerek geçen süre (t_g) okunmuştur.

Daha sonra deney sonuna kadar geçen toplam akış zamanı (T) belirlenmiş en son olarak da T deney zamanından sonra getirilen 500 ml su numunesi filtreden geçirilerek geçen süre (t_f) tespit edilmiştir. Daha sonra belirlenen bu değerler eşitlik 5.6'da yerine konularak silt yoğunluk indeksi tespit edilmiş ve sonuçları araştırma bulgularında verilmiştir.

Silt yoğunluk indeksi membran filtrenin imalatçısına bağlı olarak değişebilmektedir.

$$SYI_T = \frac{\left[1 - \frac{t_i}{t_f}\right]}{T} \times 100 \quad (5.6)$$

T : Geçen toplam akış zamanı (dakika)

t_i : İlk 500 ml numuneyi toplamak için gerekli olan zaman (saniye)

t_f : T deney zamanından sonra numunenin 500 ml'sini toplamak için gerekli olan zaman (saniye) (TS 9396).

6. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada işletmedeki borularda korozyona ve kireçlenmeye, filtrelerde tıkanmaya, işletmedeki soğutma sistemine ve ürünün kalitesine olumsuz etkileri bulunan sorunların giderilmesine çalışılmış, elde edilen sonuçlar ve bulgular bu bölümde verilmiştir.

Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikasındaki bu sorunların başlıca kaynağının soğutma suyu olduğu önceden tespit edilmiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak soğutma suyunun temizlenmesine çalışılmış ve gerekli testler yapılmıştır.

6.1. Ultrafiltrasyon Deneyleri

Soğutma suyunun temizlenmesi işlemlerine öncelikle ultrafiltrasyon ile başlanmıştır. Membran filtreden geçirilen ham sudaki askıda katı maddelerin, bulanıklığın, kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacının (BOİ) ve canlı bakteri sayısı (CBS) özelliklerine bakılarak ultrafiltrasyon işleminin suyu temizleme verimi hakkında yorumlar yapılmış ve ultrafiltrasyon işleminin tek başına yeterli olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

6.1.1. Ultrafiltrasyon için Optimal Hava Basıncının Tespiti

Ultrafiltrasyon işlemi için en uygun hava basıncını belirlemek amacıyla Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası 1 nolu kuyu ve toplama havuzundan yaklaşık 4'er litre su örnekleri alınmış ve aynı gün Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne getirilerek önce 3 bar sabit basınç altında filtreden geçirilmiş ve gerekli analizler için steril şişelere doldurulmuştur. Daha sonra 4 bar sabit basınç altında filtreden geçirilerek bu numune de aynı şekilde steril şişelere doldurularak gerekli analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Membran Ultrafiltrasyon için Optimal Hava Basıncının Tespiti

Özellik	T. Havuzu Ham Su	Hava Basıncı (bar)		1 Nolu Ham Su	Hava Basıncı (bar)	
		3	4		3	4
Bulanıklık (TE/F)	3	1	0	9	3	0
Cl (mg/l)	102.4	102.4	102.4	204.8	204.8	204.8
HCO ₃ (mg/l)	12	12	12	36	36	36
CO ₃ (mg/l)	186	186	186	224	224	224
Ca CO ₃ (mg/l)	114.7	111.3	107.5	15	13.9	12
Mg CO ₃ (mg/l)	136.1	130.3	122.8	25.1	24.8	22.2
K (mg/l)	8.11	8.11	8.11	7.3	7.3	7.3
Na (mg/l)	108.5	107.6	99.8	275.4	270.8	262.7
KOİ (mg/l)	4.8	4.3	2.73	7.92	5.42	1.38
BOİ (mg/l)	1.73	1.08	0.72	2.93	2.08	0.88
CBS (cfu/ml)	88	82	40	138	103	42

Çizelge 6.1 incelendiğinde 4 bar sabit hava basıncında yapılan ultrafiltrasyon işlemi 3 bar sabit hava basıncında yapılandan daha verimlidir. Çünkü soğutma suyunun bulanıklığı 9 TE/F'den 6 TE/F'ye, kimyasal oksijen ihtiyacı 4.8 ml/g'dan 2.73 ml/g'a, biyokimyasal oksijen ihtiyacı 1.73 mg/l'den 0.72 mg/l'ye ve canlı bakteri sayısı da 88 cfu/ml'den 40 cfu/ml'ye düşürülmüştür. Buda göstermektedir ki soğutma suyu 4 bar sabit basınçta temizlenme verimi daha iyidir. Bunun için daha sonraki tüm membran ultrafiltrasyon deneylerinde 4 bar sabit hava basıncı kullanılmıştır.

6.1.2. Ultrafiltrasyonun Culligan Filtresi ile Karşılaştırılması

Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikasında kurulu bulunan pilot ölçekli Culligan filtreleri (Şekil 4.1) ile bu çalışmada kullanılmakta olan membran filtrenin verimlerini karşılaştırmak amacıyla Culligan filtresine beslenmekte olan 1 nolu

kuyudan ve Culligan filtre çıkışından alınan yaklaşık 2'şer litre su numuneleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne getirilerek analizlerin yapılması için hazırlanmıştır. Culligan filtresine beslenmekte olan 1 nolu kuyu suyu öncelikle membran filtreden geçirilmiş ve daha sonra analizler için steril şişelere konulmuştur. Daha sonra su Culligan filtre çıkışı su numunesi de steril şişelere doldurularak, gerekli analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Membran Filtrenin Culligan Filtresi ile Karşılaştırılması

Özellik	Ham Su	Culligan Filtresi	Membran Filtre
Bulanıklık (TE/F)	9	4	0
Cl (mg/l)	204.8	204.8	204.8
HCO ₃ (mg/l)	36	36	36
CO ₃ (mg/l)	224	224	224
Ca CO ₃ (mg/l)	15	13.6	12.5
Mg CO ₃ (mg/l)	25.1	22.8	22.3
K (mg/l)	7.3	7.3	7.3
Na (mg/l)	275.4	270.4	262.3
KOİ (mg/l)	7.92	5.1	1.34
BOİ (mg/l)	2.93	1.83	0.85
CBS (cfu/ml)	138	89	41

Çizelge 6.2'deki sonuçlar incelendiğinde işletmede kurulu bulunan pilot ölçekli Culligan filtrelerinin istenilen verimde temizleme yapamadığı görülmektedir. Ancak bu çalışmada kullanılan membran filtrenin Culligan filtrelerinden yaklaşık olarak %50 daha iyi verimle çalıştığı görülmüştür.

6.1.3. Optimal Hava Basıncında Suyun Ultrafiltrasyonu

Çizelge 6.1’de tespit edilmiş olan uygun hava basıncına yani 4 bar sabit basınca göre Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası 1 nolu kuyu ve toplama havuzundan alınan su numuneleri laboratuarda filtre edilmiş ve gerekli analizlerin yapılarak Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. 4 Bar Sabit Hava Basıncında Suyun Ultrafiltrasyonu

Özellik	Toplama Havuzu Ham Su	Toplama Havuzu Filtre Sonrası	1 nolu Kuyu Suyu Ham Su	1 nolu Filtre Sonrası
Bulanıklık (TE/F)	3	0	9	0
Cl (mg/l)	102.4	102.4	204.8	204.8
HCO ₃ (mg/l)	12	12	36	36
CO ₃ (mg/l)	186	186	224	224
Ca CO ₃ (mg/l)	114.7	107.2	15	12.5
Mg CO ₃ (mg/l)	136.1	123.2	25.1	22.3
K (mg/l)	8.11	8.11	7.3	7.3
Na (mg/l)	108.5	98.69	275.4	262.3
KOİ (mg/l)	4.8	2.72	7.92	1.34
BOİ (mg/l)	1.73	0.7	2.93	0.85
CBS (cfu/ml)	88	39	138	41

4 bar sabit hava basıncında yapılan membran ultrafiltrasyon deneylerinde görülmektedir ki bu çalışma için en önemli kriterler olarak sayılan bulanıklık, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve canlı bakteri sayımı sonuçlarında toplama havuzu suyunda yaklaşık %55-60 başarı ile temizleme sağlanırken, 1 nolu kuyu suyunda %71 başarı ile temizleme sağlanmıştır.

6.2. Flokülasyon Deneyleri

Trakya Cam Sanayi, Tarsus-Mersin Fabrikası soğutma suyunun temizlenmesi işleminde alternatif bir yöntem olarak flokülasyon deneyleri yapılmıştır. Flokülasyon deneyleri toplama havuzu ve 1 nolu kuyudan alınan su örneklerine uygulanmıştır. Bu deneyde de soğutma suyunun temizlenebilirliğine bakılmış ve temizleme verimine göre ultrafiltrasyon işlemiyle kıyaslanmıştır. Ayrıca bu işlemin tek başına yeterince verimli olup olmadığına bakılmıştır. Flokülasyon deneylerinde öncelikle uygun flokülant tespit edilmiş daha sonra da bu flokülanta göre yeterli miktar ve çöktürme için geçen optimum bekleme süresi belirlenmiştir. Yapılan tüm deneyler 2 tekrarlı yapılmış ve kontrollü olarak ortalamaları alınmıştır.

6.2.1. Uygun Flokülantın Belirlenmesi

Uygun flokülantın belirlenmesi için Trakya Cam Sanayi, Mersin-Tarsus Fabrikası toplama havuzu ve 1 nolu kuyudan su numuneleri alınmıştır. Yapılan deneylerde su numuneleri üzerinde 5 farklı flokülant (*Magnafloc-1011*, *Magnafloc-352*, *Superfloc-A110*, *Aliim* ve *FeCl*) denenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'da verilmiştir. Ayrıca ham suyun genel özellikleri de Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar *Magnafloc-1011* ve *Aliim* kullanıldığında çok yakın olmaktadır. Dolayısıyla her iki çöktürücü ile deneyler aynı koşullarda tekrarlanmıştır.

Çizelge 6.4 Ham Suyun Genel Özellikleri

	Bulanıklık (TE/F)	CBS (cfu/ml)	pH
1 Nolu Kuyu Suyu	9	138	9.4
Toplama Havuzu Suyu	3	88	9.3

Çizelge 6.5. 1 nolu Kuyu Suyu için Uygun Flokülantın Belirlenmesi

Flokülant Cinsi	Miktar (g/l)	Bekleme Süresi (dk)	Bulanıklık (TE/F)	CBS (cfu/ml)	pH
Magnafloc 1011	0.01	10	2	65	9.4
		30	1	53	9.3
		60	1	52	9.3
	0.001	10	2	61	9.5
		30	1	57	9.4
		60	1	56	9.4
Magnafloc 352	0.01	10	3	98	9.8
		30	2	76	9.3
		60	2	70	9.3
	0.001	10	2	80	9.6
		30	2	77	9.5
		60	2	69	9.4
Superfloc A110	0.01	10	4	108	9.9
		30	2	80	9.7
		60	2	80	9.4
	0.001	10	2	67	9.5
		30	2	69	9.5
		60	3	85	9.6
Alüm	0.01	10	4	102	10.6
		30	2	65	9.2
		60	1	54	9.1
	0.001	10	3	82	9.4
		30	2	71	9.3
		60	1	60	9.3
FeCl ₃	0.01	10	6	133	10.1
		30	6	133	10.1
		60	5	120	9.9
	0.001	10	5	122	9.9
		30	5	121	9.8
		60	4	107	9.7

Çizelge 6.6. Toplama Havuzu için Uygun Flokülanın Belirlenmesi

Flokülan Cinsi	Miktar (g/l)	Bekleme Süresi (dk)	Bulanıklık (TE/F)	CBS (cfu/ml)	pH
Magnafloc 1011	0.01	10	2	56	9.4
		30	1	48	9.3
		60	1	47	9.3
	0.001	10	2	58	9.5
		30	1	50	9.4
		60	1	50	9.4
Magnafloc 352	0.01	10	2	60	9.5
		30	2	58	9.5
		60	1	52	9.4
	0.001	10	2	62	9.6
		30	2	60	9.5
		60	1	54	9.4
Superfloc A110	0.01	10	2	59	9.4
		30	2	57	9.3
		60	1	52	9.3
	0.001	10	2	61	9.5
		30	2	58	9.4
		60	1	53	9.3
Alüm	0.01	10	2	60	9.5
		30	1	54	9.4
		60	1	53	9.4
	0.001	10	2	61	9.6
		30	1	55	9.5
		60	1	53	9.4
FeCl ₃	0.01	10	3	68	9.7
		30	2	68	9.7
		60	2	65	9.6
	0.001	10	3	72	9.8
		30	3	70	9.7
		60	2	67	9.6

6.2.2. Optimum Flokulant Miktarı ve Bekleme Süresinin Belirlenmesi

Bir önceki deneyde benzer sonuçlar elde edilen 2 flokulant (*Magnafloc-1011* ve *Alüm*) 0.01 g/l, 0.005 g/l ve 0.001 g/l flokulant miktarları kullanılarak karıştırılmış, 10, 30 ve 60 dakika bekleme süresinde bekletildikten sonra elde edilen deney sonuçları Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7 incelendiğinde en uygun flokulantın Magnafloc-1011 olduğu görülmektedir. Ayrıca bu flokulantın kullanılan optimum flokulant miktarı 0.005 g/l ve bekleme süresinin de 30 dakika olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.7. 1 nolu Kuyu Suyu için Optimum Flokulant Miktarı ve Bekleme Süresinin Belirlenmesi

Flokulant Cinsi	Magnafloc-1011									Alüm								
Miktar (g/l)	0.01			0.005			0.001			0.01			0.005			0.001		
Bekleme Süresi (dk)	10	30	60	10	30	60	10	30	60	10	30	60	10	30	60	10	30	60
Bulanıklık (TE/F)	2	1	1	2	1	1	2	1	1	4	2	1	4	3	1	3	2	1
CBS (cfu/ml)	65	53	52	60	52	52	61	57	56	102	65	54	95	68	59	82	71	60
pH	9.4	9.3	9.3	9.5	9.4	9.4	9.5	9.4	9.4	10.6	9.2	9.1	9.8	9.6	9.3	9.4	9.3	9.3

Çizelge 6.8. Toplama Havuzu için Optimum Flokülant Miktarı ve Bekleme Süresinin Belirlenmesi

Flokülant Cinsi	Magnafloc-1011									Alüm								
Miktar (g/l)	0.01			0.005			0.001			0.01			0.005			0.001		
Bekleme Süresi (dk)	10	30	60	10	30	60	10	30	60	10	30	60	10	30	60	10	30	60
Bulanıklık (TE/F)	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1
CBS (cfu/ml)	55	48	48	58	49	49	58	51	51	61	53	53	61	55	54	62	56	57
pH	9.3	9.3	9.2	9.4	9.3	9.3	9.5	9.4	9.4	9.7	9.6	9.6	9.5	9.5	9.4	9.8	9.7	9.7

6.3. Flokülasyon + Ultrafiltrasyon Deneyleri

Trakya Cam Sanayi, Mersin-Tarsus Fabrikası toplama havuzu ve 1 nolu kuyudan su numuneleri alınarak flokülasyon+ultrafiltrasyon deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneylerde öncelikle suların ham su analizleri yapılmış, daha sonra kalan sudan numune alınarak önceden belirlenmiş olan şartlarda su floküle edilmiştir. Bunun için yaklaşık 2 litre su numunesine *Magnafloc-1011* flokülantı ilave edilerek karıştırılmış ve çöktürülmüştür. Su numunesi çöktükten sonra alınan numunede gerekli analizler yapılmış, 1 nolu kuyu suyu ve toplama havuzu suyu sonuçları Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10'da verilmiştir. Floküle edilmiş olan su numuneleri membran filtreye verilerek filtre edilmiş ve analizleri yapılarak 1 nolu kuyu suyu ve toplama havuzu suyu sonuçları Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. 1 Nolu Kuyu Suyu Analiz Sonuçları

Özellik	Ham Su	Flokülasyon Sonrası	Flokülasyon+Ultrafiltrasyon Sonrası
Bulanıklık (TE/F)	9	2	0
Cl (mg/l)	204.8	204.8	204.8
HCO ₃ (mg/l)	36	36	36
CO ₃ (mg/l)	224	224	224
Ca CO ₃ (mg/l)	15.3	12.7	9.8
Mg CO ₃ (mg/l)	25.6	23.6	20.1
K (mg/l)	7.3	7.3	7.3
Na (mg/l)	274.7	266.2	251.9
KOİ (mg/l)	7.88	1.44	0.97
BOİ (mg/l)	2.95	0.92	0.53
CBS (cfu/ml)	141	47	24

Çizelge 6.10. Toplama Havuzu Suyu Analiz Sonuçları

Özellik	Ham Su	Flokülasyon Sonrası	Flokülasyon+Ultrafiltrasyon Sonrası
Bulanıklık (TE/F)	3	1	0
Cl (mg/l)	102.4	102.4	102.4
HCO ₃ (mg/l)	12	12	12
CO ₃ (mg/l)	186	186	186
Ca CO ₃ (mg/l)	114.9	109.7	97.6
Mg CO ₃ (mg/l)	135.8	125.5	118.2
K (mg/l)	8.11	8.11	8.11
Na (mg/l)	109	99.78	89.8
KOİ (mg/l)	4.75	2.95	2.08
BOİ (mg/l)	1.74	0.92	0.52
CBS (cfu/ml)	90	46	17

Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9'a göre 1 nolu kuyu suyunda flokülasyon sonrası %67, flokülasyon+ultrafiltrasyon sonrası %83'lük bir giderim sağlanırken, toplama havuzu suyunda ise flokülasyon sonrası %49, flokülasyon+ultrafiltrasyon sonrası %82'lik bir giderim sağlanmıştır.

6.4. Silt Yoğunluk İndeksi Tayini

Trakya Cam Sanayi, Mersin-Tarsus Fabrikası soğutma suyu kullanılarak yapılan deneyler sonucunda TS 9396'ya göre her *Silt yoğunluk indeksi* belirlenmiş ve sonucu aşağıda verilmiştir. Öncelikle filtreden 500 ml su geçirilerek t_i zamanı bulunmuş daha sonra 15 dakika boyunca filtreden su geçilirmiş (T), son olarak da T zamanından sonra filtreden tekrar 500 ml su geçirilmiş ve t_f tespit edilmiştir.

Elde edilen bilgiler eşitlik 5.6'da yerine konularak her bir su numunesi için *Silt yoğunluk indeksi* belirlenmiştir.

$$SYİ_T = \frac{\left[1 - \frac{t_i}{t_f}\right]}{T} \times 100 \quad (5.6)$$

T: Geçen toplam akış zamanı (dakika)

t_i : İlk 500 ml numuneyi toplamak için gerekli olan zaman (saniye)

t_f : T deney zamanından sonra numunenin 500 ml'sini toplamak için gerekli olan zaman (saniye) (TS 9396).

Toplama Havuzu Suyu için *Silt Yoğunluk İndeksi* ;

t_i : 180 sn,

t_f : 240 sn,

T: 15 dk

$$SYİ_T = \frac{1 - \frac{180}{240}}{15} \times 100 \Rightarrow SYİ_T = 1.66$$

Silt yoğunluk indeksi partikül halindeki maddeyi uzaklaştırmak için kullanılan su arıtım ekipmanlarının ve sistemde kullanılan suyun kirlilik durumunu kontrol etmek için uygulanan bir yöntemdir. Buna göre belirlenmiş olan bu silt yoğunluk indeksi değeri artmaya başlayınca sistemde kullanılacak olan membran filtrede veya sisteme verilen soğutma suyunda bir kirlenme olabileceği düşünülmelidir. Bu sayede hem membran filtrenin temizlenmesi gereken zaman belirlenmiş olacak hem de soğutma sistemine beslenen suyun kontrolü sağlanmış olacaktır.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Trakya Cam Sanayi Mersin-Tarsus Fabrikası soğutma suyundan alınan su numuneleri üzerine yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda verilmektedir.

- İlk aşama deneylerinde membran filtrasyon için en uygun hava basıncının belirlenmesine çalışılmıştır. Bunun için toplama havuzu ve 1 nolu kuyu suyundan alınan su numuneleri 3 bar ve 4 bar sabit hava basıncına tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre toplama havuzundan alınan örneklerde 3 bar sabit basınçta sudaki aerobik mezofilik mikroorganizmaların %6.82'si giderilebilirken, 4 bar sabit basınçta ise %54.55'i giderilmiştir. Aynı şekilde 1 nolu kuyu suyu için elde edilen sonuçlar da 3 bar sabit basınçta sudaki mikroorganizmaların %25.36'sı giderilirken, 4 bar sabit basınçta ise %69.56'sı giderilmiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılabileceği üzere her iki su numunesi için de ultrafiltrasyon işlemi 4 bar sabit hava basıncında daha verimlidir.

- İşletmede halen pilot ölçekte denemeleri yapılan Culligan şirketinin kurmuş olduğu filtrasyon sistemi ile bu çalışmada kullanılan ultrafiltrasyon sistemi karşılaştırılmıştır. Buna göre, Culligan şirketinin kurmuş olduğu filtrasyon sisteminin suyu temizleme verimi %35.50 de kalırken bu çalışmada kullanılan sistemin suyu temizleme verimi %70.29 olarak bulunmuştur. Buradan da açıkça görüldüğü gibi **Culligan şirketinin işletmeye kurmuş olduğu filtrasyon sistemi yeterince verimli ve işletmenin sorunlarını giderebilecek kadar başarılı değildir.**

- Ayrıca 4 bar sabit basınç altında yapılan deneylerde mikroorganizmaların giderilmesinin yanı sıra kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerleri de incelenmiş ve toplama havuzu suyundaki kimyasal oksijen ihtiyacı %43.33, 1 nolu kuyu suyundaki kimyasal oksijen ihtiyacı ise %83.08 azatılmıştır. **Bu sonuçlara göre özellikle 1 nolu kuyu suyundaki organik ve inorganik maddeler önemli ölçüde giderilmiştir.**

- Soğutma suyunun biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) değerleri incelendiğinde toplama havuzu suyundaki biyokimyasal oksijen ihtiyacı %59.54,

1 nolu kuyu suyundaki biyokimyasal oksijen ihtiyacı **%70.99** azaltılmıştır. Buna göre soğutma suyundaki organik maddeler oldukça azaltılmıştır.

- Sisteme beslenen soğutma suyunun temizlenmesi için alternatif bir yöntem olarak flokülasyon işlemi denenmiştir. 5 farklı flokülant denenmiş (*Magnafloc-1011*, *Magnafloc-352*, *Superfloc-A110*, *Alüm* ve $FeCl_3$) ve optimum şartları sağlayan flokülant tespit edilmiş ve başarı verimi incelenmiştir. Buna göre her flokülant için uygun besleme miktarı ve bekleme süresinin tespitine çalışılmıştır. **Elde edilen sonuçlara göre en uygun flokülant, 0.005 g/l besleme miktarı ve 30 dk çöktürme süresi ile *Magnafloc-1011* olarak belirlenmiştir.**

- Ayrıca kullanılan diğer flokülantlardan Alüm de oldukça başarılı olurken diğer 2 flokülant yeterince verimli olamamıştır. Deneylerde kullanılan $FeCl_3$ (Ferric Chloride) flokülantı suyun daha çok kirlenmesine neden olmuştur.

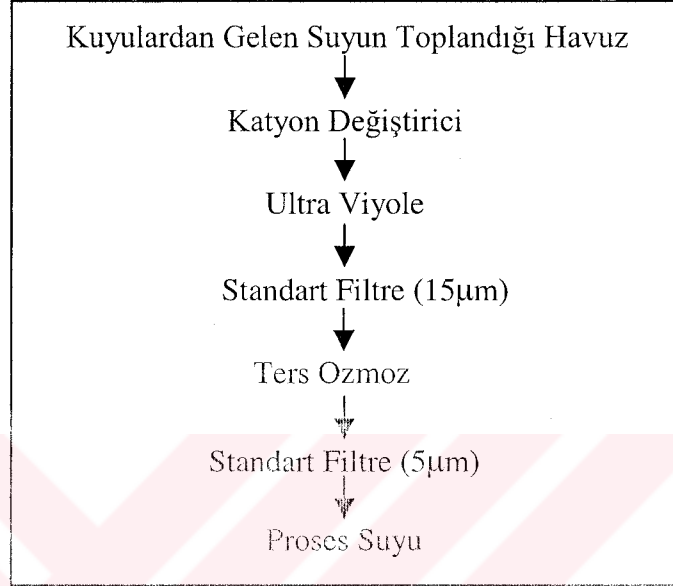
- Flokülasyon işleminde en iyi verimi sağlayan *Magnafloc-1011* ile 1 nolu kuyu suyundaki mikroorganizmaların **%62.32'si** giderilmiştir. Toplama havuzu suyundaki mikroorganizmaların **%44.31'i** giderilmiştir. **Bu sonuçlara göre flokülasyon işleminin tek başına verimli bir giderim gerçekleştiremediği görülmüştür.**

- Flokülasyon ve ultrafiltrasyon işlemlerinin her ikisinde de ayrı ayrı yeterince verim sağlanamamıştır. Bundan dolayı soğutma suyu numuneleri önce en uygun şartları sağlayan flokülant ile flokülasyona tabi tutulmuş, flokülasyondan çıkan numune ultrafiltrasyona tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlarda, 1 nolu kuyu suyundaki aero mezofilik mikroorganizmalar **%83** oranında giderilmiş, toplama havuzu suyundaki aero mezofilik mikroorganizmalar ise **%82** oranında giderilmiştir.

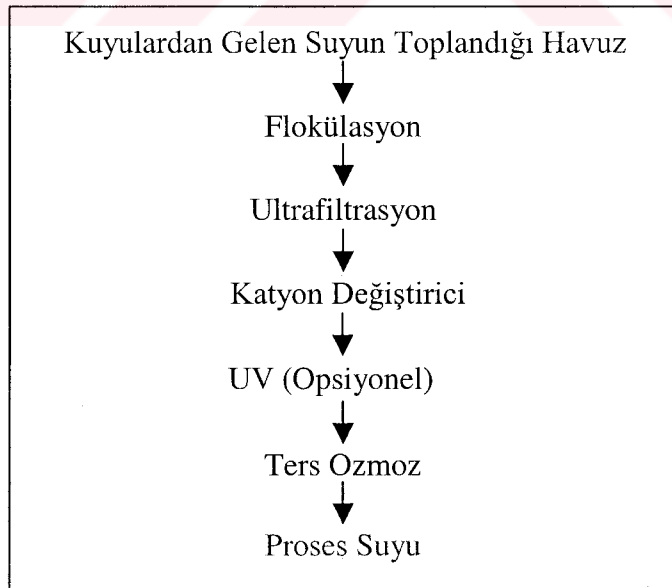
- Flokülasyon+Ultrafiltrasyon işlemine tabi tutulan su numuneleri diğer işlemlere göre oldukça verimli olmuştur. Bu sayede işletmede sıkça rastlanan soğutma suyu borularında korozyon ve filtrelerde tıkanma problemleri ortadan kaldırılmış olacaktır.

- Kullanılan soğutma suyunun silt indeks tayini yapılmış ve Trakya Cam Sanayi Tarsus-Mersin Fabrikası soğutma suyunun silt indeksi **1.66** olarak belirlenmiştir.

- Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alınarak Trakya Cam Sanayi Tarsus-Mersin Fabrikası soğutma suyu mevcut arıtım sistemi Şekil 7.1’de ve önerilen soğutma suyu arıtma sistemi Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.1. Trakya Cam Sanayi Tarsus-Mersin Fabrikası Soğutma Suyu Mevcut Arıtım Sistemi



Şekil 7.2. Trakya Cam Sanayi Tarsus-Mersin Fabrikasına Sunulan Çözüm Önerisi

KAYNAKLAR

- AKÇIN, A., 1998. T.C.S. Mersin Fabrikası Su Arıtma Araştırma Raporu. 14s. (yayınlanmamış)
- ATAK, S., 1982. Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması. İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul, 222 s.
- AYDIN, A., ÇORUMLUOĞLU, O., KERESTECİOĞLU, A., SESİGÜR, H., ve FIÇICIOĞLU, N., 1998. T.C.S. Mersin Fabrikası Su Sistemlerinin İncelenmesi. Rapor No: 540, 17s. (yayınlanmamış)
- BONNEIVE, M., 1975. Sorption and Filtration Methods for Gas and Water Purification. Nato Science Committee, Noordhoff-Leyden, Series E, Volume 13, 38-46 pp.
- BRESCI, B., CIALDELLA, M. L., PETARCA, L., and VITOLO, S., 1996. Resources-Conservation and Recycling. Italy, Volume 17, 27-35 pp.
- CHIN, K. K., 1996. Pretreatment to Producture Ultrapure Water from Reclaimed Sewage. Desalination, Volume 106, 269-272 pp.
- CHOW, C. W. K., HOUSE, J., VELZEBOER, R. M. A., DRİKAS, M., BURCH, M. D., and STEFFENSEN, D. A., 1998. The Effect of Ferric Chloride Flocculation on Cyanobacterial Cells. Water Resource, Volume 32, Issue 3, 808-814 pp.
- CLESCERI, L. S., GREENBERG, A. E., and EATON, A. D., 1998. Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater. American Public Health Assorction, Edition 20, 235 pp.

- CULLIGAN ARITIM TEKNOLOJİLERİ SAN. TİC. A.Ş., 2001. T.C.S. Mersin Fabrikası Seri Filtrasyon Sistemi Projesi. Proje No: G0836, 11 s. (yayınlanmamış)
- EROĞLU, V., 1981. Su Tasfiyesi. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 3. Baskı, 313 s.
- FINEGOLD, M. S., and BARON, J. E., Diagnostic Microbiology. Bailey and Scott's 7th Edition, The C.V. Mosby Company, Formulas and Preparation of Culture Media and Reagents, 873-874 pp.
- HERRO, M. H., and PORT, R. D., 1993. The Nalco Guide to Cooling Water System Failure Analysis. Nalco Chemical Company, McGraw-Hill Printing House, 320 pp.
- ISENBERG, D. H., Clinical Microbiology Procedures Handbook. American Society for Microbiology, Processing and Interpretation of Lower Respiratory Tract Specimens. Volume 1, 15-16 pp.
- İPEKOĞLU, Ü., 1997. Susuzlandırma (Katı-Sıvı Ayırımı) ve Yöntemleri. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 2. Baskı, No: 179, 112 s.
- KERESTECİOĞLU, A., 1998. Suyun Özellikleri ve Arıtma Prosesleri. Rapor No: 539, 19 s.
- KIM, S. J., AKEPRATHUMCHAI, S., and WICKRAMASINGHE, S. R., 2001. Flocculation to Enhance Microfiltration. Journal of Membrane Science, Volume 182, 161-172 pp.
- KNAUF, R., 2000. From River Water to High Quality Process Water. Filtration&Separation, Volume 37, Issue 6, 24-25 pp.

LEE, J. D., LEE, H. S., JO, H. M., PARK, K. P., LEE, H. J., and KWAK, J. W., 2000. Effect of Coagulation Conditions on Membrane Filtration Characteristics in Coagulation-Microfiltration Process for Water Treatment. Environmental Science Technology, Volume 34, 3780-3788 pp.

MONIKA, K., PHELPS, M., and PHELPS, B. W., 1991. Crossflow Membrane Filtration High-Purity Water Systems. Osmonics Inc, U.S.A., 10-15 pp.

QDEGAARD, H., 1995. Optimization of Flocculation/Filtration in Chemical Wastewater Treatment. Water and Science Technology, Britain, Volume 31, Issue 3-4. 73-82 pp.

POOLEY, F. D., 1998. The Role of Biohydrometallurgy in Mineral Processing. Innovations in Mineral and Coal Processing, Rotterdam, 435-446 pp.

RITTER, V. A., MASION, A., BOULANGE, T., RYBACKI, D., and BOTTERO, J. Y., 1999. Removal of Natural Organic Matter by Coagulation-Flocculation. Environmental Science Technology, Volume 33, Issue 17, 3027-3032 pp.

SLUYS, J., BOENINK, H., and FUTSELAAR, H., 1999. Production of Process Water Using Membrane Filtration. Membrane Technology, Issue 108, 5-11 pp.

STRAND, P. S., VANDVİK, S. M., VARUM, K. M., and QSTGAARD, K., 2001. Screening of Chitosans and Conditions for Bacterial Flocculation. Biomacromolecules, Volume 2, 126-133 pp.

ŞAFAK, S., 2001. T.C.S. Mersin Fabrikası İşeltme Tanıtım Broşürü. 18 s. (yayınlanmamış)

ŞENGÜL, F., ve KÜÇÜKGÜL, Y. E., 1990. Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler. D.E.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, No 153, 2. Baskı, 211 s.

TORAMAN, Ö. Y., 2000. Sanayi Atıkları ve Atık Su Arıtma Uygulamaları. 15s.

T.S. 9396, 1991. Su Kalitesi-Sularda Silt Yoğunluk İndeksi Tayini. Ankara, 6 s.

TÜNAY, O., 1996. Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, No 1582, 1. Baskı, 155 s.

WEAST, R., 1979. Handbook of Chemistry and Physics. Florida, U.S.A., 59th edition, pp 273-274.

www.environmental-expert.com

www.imecon.ch

www.nalco.com

www.osmonics.com

ÖZGEÇMİŞ

05.11.1976 tarihinde Giresun'un Eynesil ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Türkiye'nin çeşitli yerlerinde tamamladıktan sonra 1994 yılında Ç.Ü. Maden Mühendisliği'ni kazandı. 1998 yılında mezun olduktan sonra, aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başlayarak aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu görevini sürdüren Volkan ARSLAN, evli ve İngilizce bilmektedir.

