

**ENERJİ SANTRALLERİNDE DEMİNERALİZASYON-SU/BUHAR
DÖNGÜLERİNDE SİLİKAT İYONUNUN *BACILLUS SUBTILIS*
BAKTERİSİ İLE ŞARTLANDIRILMASI**

DENİZ BOZKURT

**YÜKSEK LİSANS
KİMYA ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. SEFA DURMUŞ**

DÜZCE, 2025

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SANTRALLERİNDE DEMİNERALİZASYON-SU/BUHAR
DÖNGÜLERİNDE SİLİKAT İYONUNUN *BACILLUS SUBTİLİS*
BAKTERİSİ İLE ŞARTLANDIRILMASI

Deniz BOZKURT tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Sefa DURMUŞ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Sefa DURMUŞ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Bayram POYRAZ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Murat TUNA

Sakarya Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 16/07/2025

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

16/07/2025

Deniz BOZKURT

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Sefa Durmuş'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme Annem Adalet Bozkurt'a Babam Resul Bozkurt'a, kardeşlerim Esmâ, Gürkan ve Volkan Bozkurt'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının oluşturulması için tüm emeği ile değerli katkılarını esirgemeyen saygıdeğer arkadaşım Dr. Aslıhan Dalmaz'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreç boyunca her zaman yanımda olduğu kesintisiz ve koşulsuz desteğini sunduğu ve tüm bilişim (IT) sorunlarımı büyük bir özveri ile çözdüğü için bilgisayar mühendisi sevgili Qasim Bobby Khan Baburi'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

16/07/2025

Deniz BOZKURT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. TEZİN AMAÇ VE KAPSAMI.....	1
1.2. BUHAR KAZANI VE BUHAR SİSTEMİNE SİLİKATIN ZARARLARI.....	2
1.3. ENERJİ SANTRALLERİNDEKİ TÜRBİNLERE SİLİKATIN ZARARLARI	3
1.4. SOĞUTMA SUYU SİSTEMLERİNDE SİLİKATIN ZARARLARI	3
1.5. TERS OZMOZ CİHAZI MEMBRANLARINA SİLİKATIN ZARARLARI .	3
1.6. SİLİKATIN ZARARLARININ GİDERİMİ	4
2. ÖRNEK TESİSİN TANITIMI	7
2.1. TEKNİK BİLGİLER.....	7
2.1.1. Demineralizasyon Tesis Tanıtımı.....	7
2.1.2. Ham Su Prosesi.....	7
2.1.3. Ön Arıtma Proses Tanıtımı	10
2.1.3.1. Kum Filtre Prosesi.....	11
2.1.3.2. Aktif Karbon Prosesi.....	12
2.1.4. Ters Ozmoz Prosesi.....	14
2.1.4.1. Birinci Kademe Öncesi Kimyasal Besleme	14
2.1.4.2. Birinci Kademe Ters Ozmoz Prosesi.....	17
2.1.4.3. İkinci Kademe Ters Ozmoz Prosesi.....	19
2.1.5. Elektro De-İyonizasyon Prosesi	20
2.1.6. Demineralizasyon Prosesinin Ortam Şartları	25
2.1.7. Demineralizasyon Ürün Suyu Parametreleri	25
3. SU KAYNAKLARI VE YÖNETİMİ	27
3.1. SU KAYNAKLARI (HAM MADDE-HAM SU)	27
3.1.1. Yüzey Suları.....	27
3.1.1.1. Nehirler ve Akarsular.....	27
3.1.1.2. Göller ve Barajlar.....	29
3.1.2. Yer Altı Kuyu Suları.....	32
3.1.2.1. Akiferler	34
3.1.2.2. Kuyular	35
3.1.3. Deniz Suları.....	35
3.2. PROSESTE KULLANILAN SU ÇEŞİTLERİ	38
3.2.1. Ham Su (Ham madde Su).....	38
3.2.2. Soğutma Suyu	38
3.2.3. Besleme Suyu (Buhar Kazanı Suyu).....	39
3.2.4. Saf Su.....	40
3.2.4.1. Arıtma Yöntemleri.....	40

3.2.4.2. Saf Su ve İletkenlik	40
3.2.4.3. Fiziksel Özellikler	41
3.2.4.4. Saf Su ve pH	41
3.2.4.5. Kimyasal Saflık	41
3.2.4.6. Saf Suyun Zorlukları	41
3.2.5. Ultra Saf Su.....	42
3.2.5.1. Saflık Dereceleri	42
3.2.5.2. Üretim Süreci.....	42
3.2.5.3. Ultra Saf Suyun Teknik Özellikleri.....	43
3.2.5.4. Zorluklar ve Riskler	43
3.2.6. Atık Su.....	43
3.2.7. Kazan Suyu (Besleme Suyu).....	44
3.2.7.1. Kazan Suyu Hazırlığı Aşamaları.....	44
3.2.7.2. Silika Giderimi.....	45
3.2.8. Buhar.....	46
3.2.8.1. Buharın Termik Santrallerdeki Rolü.....	46
3.2.8.2. Buhar Türbinleri	47
3.2.8.3. Buhar-Türbin Sisteminde Silika Sorunu.....	47
3.2.8.4. Silikanın Birikiminin Kazan Verimliliği ve Hesaplamaları Üzerindeki Etkisi	48
3.2.9. Silika	49
3.2.9.1. Silika ve Demineralizasyon Sistemleri Üzerindeki Etkisi.....	49
3.2.10. Bacillus subtilis	51
3.2.10.1. Bacillus subtilis'in Ortaya Çıkışı ve Biyolojik Çeşitliliği.....	51
3.2.10.2. Bacillus subtilis'in Çeşitleri ve Kullanım Alanları	52
3.2.10.3. Bacillus subtilis'in Su Ekosistemleri Üzerindeki Etkileri.....	53
3.2.10.4. Bacillus subtilis'in Su Arıtmada Kullanımı.....	53
3.2.10.5. Bacillus subtilis'in Silika Üzerindeki Etkileri	54
3.3. SUYUN SERTLİĞİ	55
3.3.1. Sert Sular	55
3.3.2. Yumuşak Sular	58
3.3.3. Suyun Sertlik Türleri ve Kategorileri	58
4. MATERYAL VE YÖNTEM	60
4.1. KULLANILAN KİMYASALLAR.....	60
4.2. KULLANILAN CİHAZLAR.....	60
4.3. YÖNTEM	61
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
5.1. BEKLEME SÜRESİNİN BACILLUS SUBTILIS AKTİVİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ.....	62
5.2. pH'IN BACILLUS SUBTILIS AKİVİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	63
5.3. DEMİNERALİZASYON SİSTEMİ.....	64
5.3.1. Bacillus subtilis'in Ham Sudaki Silika Konsantrasyonu Üzerindeki Etkisi	64
5.3.2. Bacillus subtilis'in Ön Arıtma Tesisinin Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi.....	64
5.3.3. Bacillus subtilis'in Ters Osmoz Sistemi Üzerindeki Etkisi.....	65
5.3.4. Bacillus subtilis'in Ters Osmoz Membranı Üzerindeki Etkisi ve Atık Su SiO ₂ Konsantrasyonu	65
5.3.5. Bacillus subtilis'in Elektro-Deiyonizasyon Sistemi Verimliliği ve Ürün Suyu SiO ₂ Konsantrasyonu Üzerindeki Etkisi	66
5.4. KAZAN SİSTEMİ	66
5.4.1. Bacillus Subtilis'in Kazan Besleme Suyu Üzerindeki Etkisi	66
5.4.2. Türbin İçin Şartlandırmanın Önemi.....	67
5.5. METOT VALİDASYONU	68

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	70
7. KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	0



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Ters ozmoz sistemi proses akım şeması.	4
Şekil 2.1. Kaskat havalandırma tipi	8
Şekil 2.2. Klorlama çalışma sistemi.....	9
Şekil 2.3. Ham su havuzu bakımı esnasında alınan bir görüntü.	10
Şekil 2.4. Kum filtre prosesi.	11
Şekil 2.5. Kum filtre çalışma prensibi.	11
Şekil 2.6. Aktif karbon prosesi.	13
Şekil 2.7. Aktif karbon çalışma prensibi.....	13
Şekil 2.8. Mikron filtre örnek gösterimi.	19
Şekil 2.9. EDİ proses çalışma prensibine dair bir görüntü.	21
Şekil 4.1. Yöntemin şematik gösterimi.....	61
Şekil 5.1. Bekleme süresinin <i>Bacillus subtilis</i> aktivitesi üzerindeki etkisi.....	63
Şekil 5.2. pH'ın <i>Bacillus subtilis</i> aktivitesi üzerindeki etkisi.	63
Şekil 5.3. Ham suda uzaklaştırma üzerindeki karıştırma süresinin etkisi.	64
Şekil 5.4. Ön arıtma tesisinde sıcaklığın uzaklaştırma üzerindeki etkisi.....	65
Şekil 5.5. <i>Bacillus subtilis</i> 'in kazan besleme suyu üzerindeki etkisi.....	67
Şekil 5.6. Türbin kanatlarında silikanın neden olduğu hasar.....	68

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Buhar kazanları içinde bulunan kazan suyu için maksimum	2
Çizelge 2.1. Kaskat havalandırıcı detayları.	8
Çizelge 2.2. Klor dozaj tankı detayları.	9
Çizelge 2.3. Klor dozajlama teknik detayları.	9
Çizelge 2.4. Ham su havuzu deposu detayları.	10
Çizelge 2.5. Filtre besleme pompaları.	10
Çizelge 2.6. Kum filtre tank teknik detayları.....	12
Çizelge 2.7. Aktif karbon filtre proses teknik detayları.....	14
Çizelge 2.8. HCl dozaj tankı teknik detayları.....	15
Çizelge 2.9. HCl dozaj pompa teknik detayları.	15
Çizelge 2.10 NaOH tank teknik detayları.	16
Çizelge 2.11. NaOH dozaj pompa teknik detayları.	16
Çizelge 2.12. Antiskalant dozaj tankı teknik detayları.	16
Çizelge 2.13. Antiskalant dozaj pompa teknik detayları.	17
Çizelge 2.14. Birinci kademe ters ozmoz ünitesi teknik detayları.....	17
Çizelge 2.15. Birinci kademe ters ozmoz yüksek basınç pompası teknik detayları.	18
Çizelge 2.16. Mikron filtre teknik detayları.	19
Çizelge 2.17. İkinci kademe ters ozmoz prosesi teknik detayları.....	20
Çizelge 2.18. EDİ proses teknik detaylar.	24
Çizelge 2.19. Ultra saf su analiz raporu.....	26

KISALTMALAR

ABMA	Amerika Kazan İmalatçıları Derneği
ASTM	Advancing Standards Transforming Markets
DC	Doğru Akım
DNA	Deoksiribonükleik Asit
EDİ	Elektro-De-iyonizasyon
FRP	Fiber Güçlendirilmiş Plastik
LOD	Dedeksiyon Limiti
LOQ	Tayin Limiti
PE	Polietilen
PLC	Programlanabilir Mantık Denetleyicisi
PTFE	Politetrafloroetilen
PVC	Polivinil Klorür
RO	Ters Ozmoz
RSD	Bağıl Standart Sapma
TOC	Toplam Organik Karbon

SİMGELER

°C	Santigrat derece
°F	Fahrenheit
AC	Alternatif Akım
atm	Atmosfer
cm	Santimetre
°dH	Alman Sertlik Derecesi
dk	Dakika
°eH	İngiliz Sertlik Derecesi
°F	Fransız Sertlik Derecesi
Hz	Hertz
kg	Kilogram
km	Kilometre
L	Litre
smg	Miligram
mL	Mililitre
µm	Mikrometre
µS	Mikrosimens
m	metre
mm	Milimetre
m ²	Metrekare
m ³ /sa	Metreküp/saat
MΩ	Megaohm
ppb	Milyarda bir kısım
ppm	Milyonda bir kısım
rpm	Dakikadaki devir sayısı
sa	Saat

ÖZET

ENERJİ SANTRALLERİNDE DEMİNERALİZASYON-SU/BUHAR DÖNGÜLERİNDE SİLİKAT İYONUNUN *BACILLUS SUBTILIS* BAKTERİSİ İLE ŞARTLANDIRILMASI

Deniz BOZKURT

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Sefa DURMUŞ

Temmuz 2025, 81 Sayfa

Enerji santrallerinde, su-buhar çevrimlerinde demineralize su kullanılmaktadır. Demineralize su; ultrafiltrasyon, ters ozmoz, katyon-anyon (iyon eşanjör) reçine kolonları veya elektro de-iyonizasyon teknikleriyle arıtılarak üretilmektedir. Bu teknikleri kullanırken işletme maliyetlerini azaltarak kullanılan tekniğin ömrünü artırmak için sudaki safsızlıklar giderilerek sistem beslenmektedir. Silis olarak da bilinen silikon dioksit, kimyasal formülü SiO_2 olan bir silisyum oksididir. Buhar/su devresinde bulunan birçok kirleticiden biri olan silis, buhar içinde yüksek çözünürlüğe sahip olması sebebiyle önemlidir. Yüksek basınç ve sıcaklıklarda çalışan kazan sularında bulunan silisin %50'si ayrılmış durumdadır. İyonun fazlalığı yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta çözünmesi durumunda artan konsantrasyon ile kazan sistemlerinde dibe çöker ve kışır oluşmaya başlar. Silikanın diğer safsızlıklardan farkı camın ham maddesi olması sebebiyle çöktüğü sistemde amorf bir yapı oluşturmaktadır. Amorf yapıyı sisteme zarar vermeden temizlemek zor hatta imkansızdır. Ancak son zamanlarda gelişen teknolojilerle birçok şartlandırma yöntemi geliştirilmektedir. Bu çalışmada, gram pozitif bakteri türü olan toprakta yaygın olarak bulunan patojen olmayan, çubuksu yapıya sahip sporlaşabilen bir bakteri türü olan *Bacillus subtilis* ile şartlandırma yapılarak saf su üretimi esnasında en çok sorun teşkil eden SiO_2 minerali safsızlığı üzerindeki etkisi araştırılıp incelenmiştir. Bu sebeple su şartlandırması için bahsedilen ön işlemler tamamlandıktan sonra fotometrik, gravimetrik ve enstrümental silis tayinini gerçekleştirmek üzere UV spektrofotometrede ve yaş metot analizleri yapılarak çalışma tamamlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: *Bacillus subtilis*, Silika, Ters Ozmoz, Su Şartlandırma, Enerji

ABSTRACT

TREATMENT OF SILICATE ION WITH *BACILLUS SUBTILIS* BACTERIA IN DEMINERALIZATION-WATER/STEAM CYCLES IN POWER PLANTS

Deniz BOZKURT

Düzce University
Graduate School, Department of Chemistry
Master's Thesis
Supervisor: Prof. Dr. Sefa DURMUŞ

July 2025, 81 pages

In power plants, demineralized water is used in water-steam cycles. Demineralized water: It is produced by purification by ultrafiltration, reverse osmosis, cation-anion resin columns or electrodeionization techniques. While using these techniques, the system is fed by removing the impurities in the water in order to increase the life of the technique used by reducing the operating costs. Silicon dioxide, also known as silica, is an oxide of silicon with the chemical formula SiO_2 . Silica, one of the many pollutants in the steam/water circuit, is important because of its high solubility in steam. 50% of the silica in boiler waters operating at high pressures and temperatures is dissociated. In case the excess ion dissolves at high pressure and high temperature, it starts to settle to the bottom in the boiler systems with the increasing concentration and scale begins to form. The difference of silica from other impurities is that it forms an amorphous structure in the system in which it precipitates, since it is the raw material of glass. It is difficult or even impossible to clean the amorphous structure without damaging the system. However, many conditioning methods have been developed with the developing technologies recently. In this study, the effect on SiO_2 mineral impurity, which is the most problematic during pure water production, will be investigated and examined by conditioning with *Bacillus subtilis*, a non-pathogenic, rod-like sporulating bacteria species commonly found in soil, which is a gram-positive bacteria species. For this reason, after the pre-treatments for water conditioning are completed, Wet method analyzes will be carried out in the UV spectrophotometer to perform photometric, gravimetric and instrumental silica determination and the study will be completed.

Keywords: *Bacillus subtilis*, Silica, Reverse Osmosis, Water Treatment, Energy

1. GİRİŞ

1.1. TEZİN AMAÇ VE KAPSAMI

Her su örneğinde belirli miktarda silisyum içeren bileşikler bulunmakta olup, su analizlerinde bu bileşikler 200 ppm'e kadar değişen oranlarda tespit edilmektedir. Doğal sularda silikat; reaktif (iyonik) formda, iyonik olmayan kolloidal yapıda ve kristal formda olmak üzere üç farklı şekilde bulunabilmektedir. Doğal sularda bulunan "silisyum" minerali içeren maddeler, sanayide "silikat" olarak adlandırılmaktadır. Suda doyumluk seviyesine ulaşan silikat, kristalleşerek çökmekte ve bu durum, su sistemlerinde tıkanmalara ve ısı yalıtımına neden olmaktadır. Silikat sorununa karşı önlemler alınması işletme ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Silisyum doğada oksijenden sonra en çok bulunan maddedir. Kristal şeklindeki silikat doğal sudaki diğer katılar ile su filtreleri tarafından giderildiği için işletmelerde sorun yaratmamaktadır. İyonize olmayan kolloidal silikatlar, mikron altı boyutlardaki katı partikül yapıları nedeniyle su filtreleme sistemlerinden geçebilmekte, ancak Ultrafiltrasyon (UF) ile etkin bir şekilde sudan ayrılabilir. Suda çözünmüş iyonik formdaki silikat, silikat doyumluğuna ulaşıldığında kristalleşerek çökmekte ve bu durum, tesisatlarda birikmelere ve hasara yol açmaktadır [1]-[5].

Enerji santralleri, buhar kazanları, soğutma kuleleri, ısı eşanjörleri ve ters ozmoz sistemlerinde, silikat kristallerinin birikimi istenmeyen ve onarımı güç arızaların kaynağı olabilmektedir. Silikat, camın ana hammaddesi olduğundan, suyun silikata doyumluğa ulaşmasıyla kristal formda çökmekte ve çözünmesi zor yapılar oluşturarak sistemlerde kalıcı problemlere neden olmaktadır [2]-[6].

Su, en iyi çözücülerden biri olmasına rağmen, sıcaklık ve basınca bağlı olarak silikata ters ozmoz cihazlarının işletilmesi sırasında, suyun silikat çözme kapasitesinin aşılması durumunda, silikat iyonları diğer minerallerle reaksiyona girerek metal yüzeyler üzerinde camsı bir yapıya sahip silikat bileşikleri şeklinde kristallenmektedir. Bu camsı tabakalar, bulundukları yüzeylerde su geçişini engellemekte ve özellikle buhar kazanları ile ısı eşanjörlerinde ısı transferini azaltarak ciddi verimlilik kayıplarına yol açmaktadır. Su sertliğine bağlı oluşan taşlar asidik yıkama yöntemleriyle temizlenebilmektedir;

ancak, silikat kristallerinin metal yüzeylerden kimyasal yöntemlerle uzaklaştırılması oldukça güçtür. Sistemde silikatın yaratabileceği tüm zararlar tam olarak ele alınamasa da, bazı temel etkiler üzerinde durulmaktadır [5],[6].

1.2. BUHAR KAZANI VE BUHAR SİSTEMİNE SİLİKATIN ZARARLARI

Amerika Kazan İmalatçıları Derneği (ABMA), buhar kazanları içinde bulunan kazan suyu için maksimum silikat değerlerini Çizelge 1.1'deki gibi belirlemiştir. Bu değerler kazan besisi suyu değerine ait olmayıp, kazan içindeki suya ait maksimum silikat değerleridir [5]-[7].

Çizelge 1.1. Buhar kazanları içinde bulunan kazan suyu için maksimum silikat değerleri.

Buhar Kazanı İşletme Basıncı (Bar)	Suda Silikat Miktarı (ppm)
0 – 21,0	150
21,0 – 31,5	90
31,5 – 42	40
42,0 – 52,5	30
52,5 ≤	20

Buhar kazanı suyundaki silikat miktarı belirlenen sınırların üzerine çıktığında, silikat buharla birlikte buhar hattına taşınmakta ve buhar vanalarında kristalleşerek vanaların işleyişini engellemekte, böylece kayda değer ısı kayıplarına yol açmaktadır. Ayrıca, kazan içindeki kirli suyun bir kısmının atılarak yerine temiz suyun alınması işlemi olan fazla blöf, hem kimyasal madde hem de su kaybına neden olmaktadır. Blöf ile atılan suyun yerine sisteme verilen demineralize suyun ısıtılması daha fazla enerji gerektirdiğinden, ısı kaynaklı enerji kayıplarını artırmaktadır. Bu durum, daha büyük işletme problemlerinin ortaya çıkmasına da zemin hazırlayabilmektedir. [5]-[8].

1.3. ENERJİ SANTRALLERİNDEKİ TÜRBİNLERE SİLİKATIN ZARARLARI

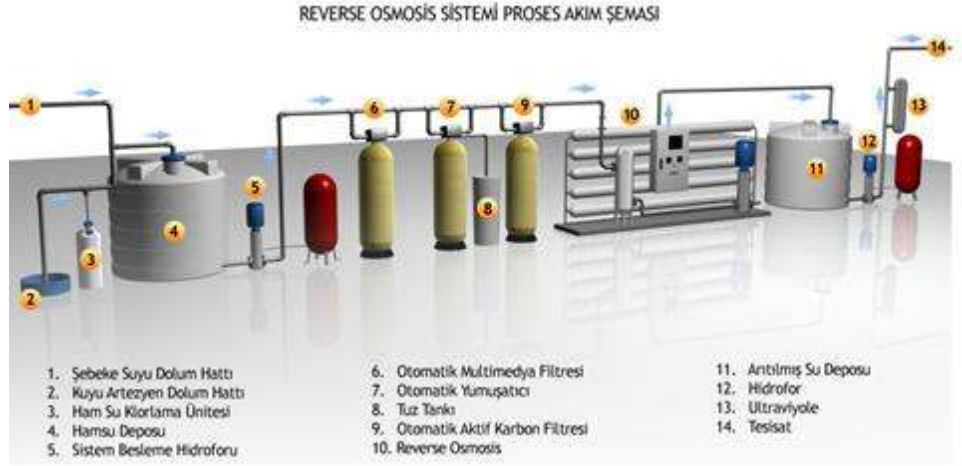
Buhar ile türbin çevirerek elektrik enerjisi üreten santrallerde, silikat maddesinin buhar ile türbin kanatçıklarına gelmesi sonucu, kanatçıklar üzerinde sert silikat kristalleri oluşmaktadır. Bundan dolayı, yüksek devirde dönen türbinde “balans” problemleri yaşanmaktadır. Sonuç olarak uzun günler süren türbin bakımları gerekmektedir ve enerji santrali ekonomik zarara uğramaktadır. Bu sorunu önlemek için buhar kazanı besı suyu silikat iyonundan yeterince arındırma işlemi yapılması zorunludur. Türbinli sistemlerde besı suyunda kabul edilen silikat değeri 5 – 10 ppb seviyesinde olmalıdır [5]-[8].

1.4. SOĞUTMA SUYU SİSTEMLERİNDE SİLİKATIN ZARARLARI

Silikat, ısı eşanjörleri ve soğutma kondenserleri içinde camsı sert tabakalar oluşturmaktadır. Bu problemin yaşanmaması için, işletmeciler besı suyu analizini ve devridaim yapan soğutma suyunun analizini çok sık yaptırmaktadır. Aynı buhar kazanı besı suyunda olduğu gibi, soğutma sistemi besı suyunun da silikat iyonundan arındırılması için birçok işlem den geçmektedir. Ters ozmoz sistemi bunlardan bir tanesidir [5]-[9].

1.5. TERS OZMOZ CİHAZI MEMBRANLARINA SİLİKATIN ZARARLARI

Suyun içindeki safsızlıkların ve silikatın giderimi için ters ozmoz prosesi kullanılmaktadır. Ancak, ters ozmoz besleme suyunda yüksek konsantrasyonda silika bulunduğunda, yeterli ve gerekli önlemler alınmadığında, ters ozmoz cihazı da ham suda bulunan kolloidal silikat ve iyon şeklindeki silikattan dolayı tıkanmaktadır. Ters ozmoz prosesine ait görüntü Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Ters ozmoz sistemi proses akım şeması.

Ters ozmoz cihazı, doğal suyun saflaştırma işlemi sırasında, membranların “ham su” tarafında kalan kısmında safsızlık ve silikat derişimi artmaktadır. Ancak, suyun her bir madde ve silikat için doygunluk sınırı bulunmaktadır. Bu sınır aşıldığında, söz konusu maddeler ve silikat kristalleşmekte ve ters ozmoz membranlarında çökmektedir. Oluşan bu kristaller, suyun akışını engellediği için üretim debisini azaltmakta ve aynı zamanda cihazın tasarlandığından daha yüksek iletkenlikte su üretmesine neden olmaktadır. [2]-[4], [8]-[12].

1.6. SİLİKATIN ZARARLARININ GİDERİMİ

İşletmelerde kullanılan ham suyun tam analizi ve silikat miktarının yılda 3–4 kez periyodik olarak yapılması, sorunun önemli ölçüde çözülmesini sağlamaktadır. Suya sertlik veren safsızlıklar sanayide büyük öneme sahip olmakla birlikte, yukarıda belirtildiği gibi sudaki silikat da ihmal edilemeyecek bir parametredir. Reçineli su yumuşatma cihazları ile sertlik kolayca giderilirken, sudaki silikatın giderimi yalnızca ters ozmoz veya demineralizasyon sistemleriyle gerçekleştirilmektedir.

Suyun silikata doygunluk dereceleri nedeniyle, sudan silikat giderimine gerek kalmaz ve doygunluk seviyesi kontrol edilerek işletme sürdürülebilir. Ancak, silikat miktarının yüksek olduğu durumlarda, buhar kazanı ve su soğutma sistemlerinden yoğun blöf yapılarak silikatın zararı azaltılabilir. Bu yöntem ekonomik olmamakla birlikte, proses suyunun hazırlanması aşamasında silikatın giderilmesi daha uygun ve maliyet etkin bir çözüm sunmaktadır. Silikatın giderimi için yapılacak yatırıma karar verebilmek amacıyla, blöf ile atılan su, enerji ve kimyasalların ekonomik değeri hesaplanmakta ve bu değer,

silikat giderimini sağlayacak yatırım maliyeti ile karşılaştırılmalıdır. Günümüzde silikat giderimi için en uygun yöntem *ters ozmoz* sistemidir. Ters ozmoz, sudan yalnızca silikatu değil, aynı zamanda sertliğin %99'unu ve diğer minerallerin yaklaşık %95'ini uzaklaştırarak buhar kazanı ve soğutma suyu sistemleri için ideal suyu üretmektedir. Mineralleri %95 oranında azaltılmış su ile beslenen buhar kazanında blöf miktarları yaklaşık %95 azalmakta, böylece özellikle blöf sırasında yaşanan yüksek ısı enerjisi kaybı önemli ölçüde azaltılarak işletme ekonomisi iyileştirilmektedir [2]-[9].

Demineralize sisteminde iyon değiştirici reçinelerin doygunluğunun giderilmesi (rejenerasyon) sırasında asit ve baz gibi riskli kimyasallar kullanılmakta, bu da işletmeciler için ek risk oluşturmaktadır. Enerji santrallerinde silikat seviyesi 5 – 10 ppb gibi çok düşük düzeylerde istenmektedir. Bu tür durumlarda ters ozmoz sistemi genellikle çift kademeli olarak tasarlanmakta ve ters ozmoz sonrası su, Elektro-De-İyonizasyon (EDI) teknolojisi ile daha da saflaştırılmaktadır. EDİ, 0,06 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile çok düşük iletkenlikte su ürettiği için, bu kadar saf su içinde silikat miktarı ölçülemeyecek kadar azdır. Çift reçineli klasik *demineralize* sistemi ile sudaki silikat, sertlik (doğal sudaki Mg^{2+} , Ca^{2+} gibi iyonlar) ve diğer minerallerin giderilmesi mümkün olmakla birlikte, ters ozmoz sistemine kıyasla işletilmesi daha zordur. Çünkü bu sistem, su yumuşatıcıda olduğu gibi doygunluğa ulaşan reçineler kullanılarak tasarlanmakta ve 24 saat kesintisiz proses suyu temini için çift reçineli klasik demineralize sistemin kurulması gerekmekte, bu da önemli ölçüde yer kaplamaktadır [5]-[10].

Literatürde, *Bacillus subtilis* bakterisi ile silika arasındaki ilişkiyi inceleyen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır;

Groudeva ve Groudev, boksitten silikatların uzaklaştırılmasına yönelik yaptıkları çalışmada, silikatları uzaklaştırmak için spesifik silikat bakteriler kullanmışlardır. Doğada çok yaygın olarak bulunan *Bacillus subtilis* türü bakterinin silikat uzaklaştırmada oldukça başarılı olduğu tespit edilmiş ve bununla birlikte beş günlük kesiksiz biyolojik süresi sonunda silikanın %55'ini uzaklaştırabilmişlerdir [11].

Tian ve arkadaşları, Çin'de termal bir kimya laboratuvarında yaptıkları çalışmada, arıtılmış atık su ile kullanılan bir ısı pompası sistemi ile ilgili plakalı ısı eşanjörlerinde *Bacillus subtilis* tarafından biyolojik kirlenmenin gelişimi üzerinde SiO_2 parçacıklarının etkisi araştırmışlardır [12].

Skorochod ve arkadaşları, silika nanopartiküllerin *Bacillus subtilis* IMV B-7023 bir antioksidan potansiyeli üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Farklı dozlarda nano-SiO₂'in *Bacillus subtilis* IMV B- 7023'ün antioksidan potansiyeli üzerindeki etkisi incelerken, bu nano materyalin belirgin bir prooksidan etki ile karakterize edildiğini tespit etmişlerdir [13].

Choi ve arkadaşları, su arıtma tesisinde ozonlama sırasında *Bacillus subtilis* sporlarının inaktivasyonu, ön arıtmanın etkisi ve ozonlama adımının konumlandırılması üzerine yaptıkları çalışmalarında, bir su arıtma tesisinde bir dizi birim prosesten toplanan çeşitli su türlerinde *Bacillus subtilis* sporlarının ozon ile inaktivasyonunu gerçekleştirmişlerdir [14].

2. ÖRNEK TESİSİN TANITIMI

2.1. TEKNİK BİLGİLER

2.1.1. Demineralizasyon Tesis Tanıtımı

Enerji Demineralize su prosesi, 2 adet kum filtre, 2 adet aktif karbon filtre 2 adet 1. kademe ve 2 adet 2. kademe ters ozmoz ünitesi, degazör, 2 adet EDİ, kimyasal dozlama ve nötralizasyon ünitesinden oluşmaktadır.

2.1.2. Ham Su Prosesi

Demineralizasyon prosesi yedekli olarak 2×10 m³/sa demineralize su ve 2×5 m³/h kullanım suyu üretilmektedir. Ham su 21 m³/sa, maksimum 42 m³/sa debide ham su havuzuna bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Kuyulardan transfer pompalar yardımıyla minimum 1 km mesafede çekilen ham su öncelikle ham su girişine bağlanan kaskat havalandırmasından geçirilmiş ve havanın içindeki oksijen ile suyun havalandırılarak havuza alınması sağlanmıştır. Kaskat havalandırma prosesi, gerekli gazların suda çözünmüş forma dönüşmesi veya su içinde istenmeyen gazların sudan uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Uçucu organik bileşikler ve çeşitli aromatik bileşikler suda koku ve tada sebep olmaktadır. Kaskat havalandırma ile, kötü tat ve koku veren uçucu organik maddeler ve H₂S gibi bileşiklerin giderilmesi, demir ve mangan iyonlarının okside edilmesi, suya oksijen kazandırmak veya CO₂ gidermek veya kazandırmak, su arıtımında eğer giderilmediği takdirde girişim yapabilecek kirleticiler var ise onların uzaklaştırılması (klorlama öncesi H₂S giderimi, yumuşatma öncesi CO₂ giderimi gibi) suların dezenfeksiyonununu sağlamaktadır. Kaskat teknik detayları Çizelge 2.1 ve havalandırma tipine ait görsel Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

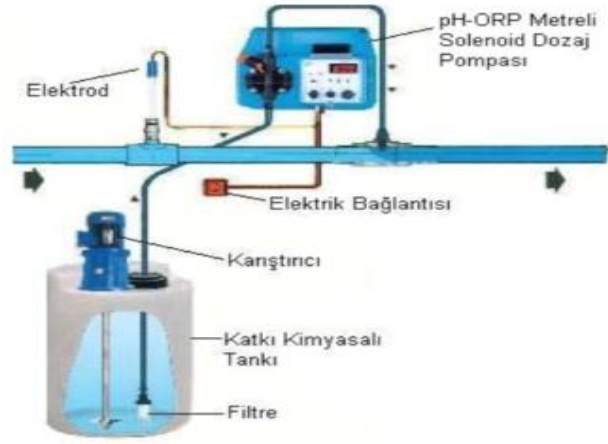


Şekil 2.1. Kaskat havalandırma tipi

Çizelge 2.1. Kaskat havalandırıcı detayları.

Miktar (adet)	1
Tip	Tepsili/3 kat
Kapasite (m ³ /sa)	42
Malzeme	Daldırma sıcak galvaniz çelik
Aksesuar	Giriş-çıkış vanaları ve dolgu malzemeleri

Kaskat havalandırma prosesinin hemen çıkışında, laboratuvarda kırılma noktası klorlama deneyinden elde edilen sonuçlara göre NaOCl ile ön klorlama uygulanmaktadır. Ön klorlama; yapılarda ve çamur tabakasında gelişebilecek veya mevcut mikroorganizmaları yok etmek, durultuculardaki çamurun yüzeye çıkmasını önlemek, renk giderimini sağlamak ve alg büyümesini engellemek amacıyla yapılmaktadır. Tesiste sıvı klor kullanılmakta olup, klor binasında her biri 1100 kilogram kapasiteli toplam 2 adet klor tankı bulunmaktadır. Klor dozaj sistemine ait çalışma prensibi Şekil 2.2’de detaylandırılmıştır. Tank odasından gaz halinde sağlanan klor, dozaj pompaları aracılığıyla istenen miktarda ayarlanmaktadır. Klor, hem dezenfeksiyon sağlamakta hem de oksitleyici özelliği sayesinde organik maddelere bağlı demirin oksidasyonunu gerçekleştirerek giderilmesini sağlamaktadır. Klor dozaj tankına ait teknik detaylar Çizelge 2.2’de, klor dozaj pompasına ait teknik bilgiler ise Çizelge 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.2. Klorlama çalışma sistemi.

Çizelge 2.2. Klor dozaj tankı detayları.

Miktar (adet)	1
Tip	Dik silindirik
Hacim (L)	1100
Malzeme	PE (polietilen)
Aksesuarlar	Hidrostatik seviye ölçer

Çizelge 2.3. Klor dozajlama teknik detayları.

Miktar (adet)	2
Tip	Solenoid Diyafram
Akışkan	%14 aktif klor içeren NaOCl
Kapasite (l/sa)	0-6
Basınç (bar)	6
Malzeme	Gövde ve valfler PVC, diyafram PTFE

Klorlanan su 1200 m³'lük kapalı beton ham su havuzunda depolanmaktadır. Ham su havuzuna ait örnek görsel Şekil 2.3'de ve teknik detayları Çizelge 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Ham su havuzu bakımı esnasında alınan bir görüntü.

Çizelge 2.4. Ham su havuzu deposu detayları.

Miktar (Adet)	3
Tip	Prizmatik
Kapasite (m ³)	1200 ham su
Dizayn Basıncı	atm
Malzeme	Betonarme

2.1.3. Ön Arıtma Proses Tanıtımı

Ön arıtma prosesi tandem olarak adlandırılan çift sistem halinde 2 adet kum filtresi 1 adet yedek ve 2 adet aktif karbon filtresinden 1 adet yedek olarak tasarlanmıştır. Ön filtrasyon besleme pompalarına ait teknik detaylar Çizelge 2.5’de detaylandırılmıştır.

Çizelge 2.5. Filtre besleme pompaları.

Miktar (adet)	3 (1 servis, 1 ters yıkama, 1 yedek)
Kapasite (m ³ /sa)	~24
Basınç (bar)	4
Malzeme	AISI 316

2.1.3.1. Kum Filtre Prosesi

Kum filtreleri, suyun içerisindeki askıda katı maddeler, bulanıklık ve diğer partikülleri tutmaktadır. Bu filtreler, yalnızca katı maddeleri sudan ayırmakla kalmayıp, sonrasında yer alan filtrelerin verimli çalışmasını sağlamaktadır. İyi bir filtrasyon yapılan sistemlerde, sonraki arıtma ekipmanlarına giden yük azalmaktadır; böylece ekipmanların ömrü uzamakta ve arıtma verimliliği artmaktadır. Multimedya Filtreler (kum filtreleri), proses suyu ve içme suyu arıtımında ön arıtma olarak veya atık su arıtma sistemlerinden çıkan arıtılmış suyun bulanıklığının giderilmesinde de kullanılmaktadır. Servis periyodunda, süzülerek filtre katmanları arasında tutulan partiküller, geri yıkama periyodunda deşarj edilerek filtre malzemesinin temizlenerek ortamın tazelenmesi sağlanmaktadır. Şekil 2.4'te, örnek bir tesise ait kum filtrasyon ünitesinin yerleşimi görsel olarak sunulmuştur. Sistem bileşenlerinin çalışma prensibi Şekil 2.5'te şematik olarak açıklanmakta olup, kum filtrasyon sistemine ait teknik özellikler ise Çizelge 2.6'da detaylı biçimde verilmiştir [15].



Şekil 2.4. Kum filtre prosesi.



Şekil 2.5. Kum filtre çalışma prensibi.

Çizelge 2.6. Kum filtre tank teknik detayları.

Tip	KF 125 TO
Çap x Yükseklik (mm)	1250 x 2780
Toplam Debi (m ³ /sa)	24
İşletme Basıncı (bar)	5
Dizayn Basıncı (bar)	8
Dizayn Sıcaklığı	Ortam
Malzeme	St-37
Kaplama/Boyama	İç-dış epoksi boyalı
Dolgu	2x300 kg dereceli çakıl 2x1000 kg kuvarz kum 2 x 360 L antrasit
Aksesuarlar	Filtre nozul plakası, manometreler, pnömatik tahrikli kelebek vanalar, solenoid valfler

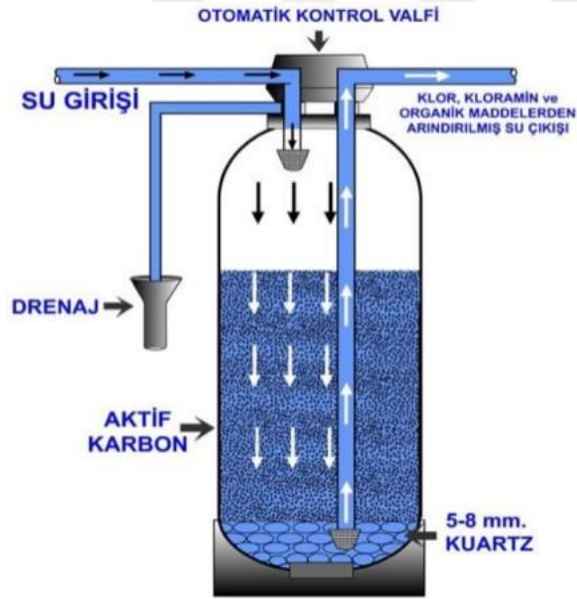
2.1.3.2. Aktif Karbon Prosesi

Aktif karbon filtrelerinde, ham suda bulunan renk, koku ve bakiye klorun giderimi gerçekleşmektedir. Aktif karbon su filtrasyon sistemleri, çözünmemiş halde bulunan organik ve anorganik kirlilikleri de sudan arındırma da kullanılmaktadır. Granül aktif karbonun hammaddesi genellikle çok iyi kaliteli bitumen kömürü, antrasit kömürü veya hindistan cevizi kabuğu olmaktadır. Buhar aktivasyonu metodu ile çok çeşitli boyutlarda ve kapasitelerde üretim yapılmaktadır. Aktifleşme işlemi sonucunda yüzey alanı yaklaşık yüz kat artırılan karbon mineralleri, organik maddeleri tutarak etkin bir filtrasyon sağlamaktadır. Bu nedenle, kullanım ömrü sonunda aktif karbonun performansı önemli ölçüde azaldığından, belirlenen periyotlarda tamamen yenilenmesi gerekmektedir. Aktif karbon ile ilgili dikkat edilmesi gereken bir diğer konu, mineral yatağının bakteri üremesi için uygun ortam oluşturabilmesidir. Çünkü aktif karbon, organik maddeleri bünyesinde biriktirdiğinden, suda bakteri bulunması durumunda bu birikmiş organik madde, bakteriler için besin kaynağı oluşturarak mikrobiyal üremeye zemin hazırlayabilmektedir. Bu gibi durumlarda bakteri kaçışı oluşmaktadır. Bu sebeple aktif karbonun öncesinde ve sonrasında suyun dezenfekte edilmiş olması önemlidir. Şekil 2.6’da örnek bir tesise ait aktif karbon filtrasyon prosesi, sistemin çalışma prensibi ise Şekil 2.7’de şematik olarak

sunulmaktadır. Aktif karbon filtre proses teknik detayları ise Çizelge 2.7’de detaylandırılmıştır [16].



Şekil 2.6. Aktif karbon prosesi.



Şekil 2.7. Aktif karbon çalışma prensibi.

Çizelge 2.7. Aktif karbon filtre proses teknik detayları.

Miktar (adet)	2 (1 yedek)
Tip	AF 125 TO
Çap x Yüksekliği (mm)	1250 x 2780
Toplam Debi (m ³ /sa)	24
İşletme Basıncı (bar)	3
Dizayn Basıncı (bar)	6
Dizayn Sıcaklığı	Ortam
Malzeme	St-37 çeliği
Kaplama/Boyama	İç-dış epoksi boyalı
Dolgu	2x200 kg dereceli çakıl 2x475 kg aktif karbon
Aksesuarlar	Filtre nozul plakası, manometreler, pnömatik tahrikli kelebek vanalar, solenoid valfler

Ön arıtma işlemi gerçekleştirilen filtrelenmiş su mevcut 60 m³'lük kullanma suyu tankına transfer edilmektedir, 5 m³/sa debide filtrelenmiş su kullanım suyu amaçlı olarak bu tanktan alınarak kullanım noktalarına gönderilmektedir. Demineralize su dışında kalan filtrelenmiş su ise ters ozmoz sistemine beslenmektedir.

2.1.4. Ters Ozmoz Prosesi

2.1.4.1. Birinci Kademe Öncesi Kimyasal Besleme

Ters ozmoz ünitesine beslenmeden önce, ön arıtma sürecinden geçirilerek depolanan su, kimyasal şartlandırma işlemine tabi tutulmaktadır. Bu çalışmanın temel amaçlarından biri de, bu aşamada yoğun biçimde kullanılan ağır ticari kimyasalların kullanımını minimize ederek prosesin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğini artırmaktır. Sistem ihtiyacı laboratuvar analiz sonuçları baz alınarak sistem öncesinde sürekli antiskalant kimyasalı dozajlanmaktadır. Antiskalant, kelime anlamı itibariyle kireç oluşumunu önleyici kimyasal maddeyi ifade etmektedir ve piyasada farklı formülasyonlara sahip çeşitleri bulunmaktadır. Bu kimyasallar, ham suyun silika içeriği ya da sertlik derecesi gibi parametrelere göre farklı özelliklerde (örneğin yüksek silika veya yüksek sertlik

toleranslı) temin edilebilmektedir. İşletmeci, ham su analizine dayanarak uygun antiskalant türünü belirlemektedir. Antiskalant dozajına ek olarak, sistemin pH dengesinin sağlanması amacıyla HCl veya NaOH dozlaması yapılabilmektedir. Ham suyun pH değeri istenilen aralıkta ise bu kimyasalların kullanımı gerekmeyebilir; ancak istatistiksel veriler, sistemlerin yaklaşık %80’inde bu kimyasalların kullanıldığını göstermektedir. HCl dozaj tankı teknik detayları Çizelge 2.8’de, HCl dozaj pompa teknik detayları Çizelge 2.9’da, NaOH tank teknik detayları Çizelge 2.10’da ve NaOH dozaj pompa teknik detayları Çizelge 2.11’de verilmiştir [17].

Çizelge 2.8. HCl dozaj tankı teknik detayları.

Miktar (adet)	1
Tip	Dik silindirik
Hacim (L)	1500
Malzeme	PE

Çizelge 2.9. HCl dozaj pompa teknik detayları.

Miktar (adet)	2 (1 yedek)
Tip	Solenoid diyafram
Kapasite (l/sa)	0-6
Basınç (bar)	6
Malzeme	Gövde ve valfler PP FRP, diyafram PTFE

Çizelge 2.100. NaOH tank teknik detayları.

Miktar (adet)	1
Tip	Dik silindirik
Hacim (L)	1500
Malzeme	PE
Miktar (adet)	1

Çizelge 2.11. NaOH dozaj pompa teknik detayları.

Miktar (adet)	2 (1 yedek)
Tip	Solenoid diyafram
Kapasite (l/sa)	0-6
Basınç (bar)	6
Malzeme	Gövde ve valfler PP FRP, diyafram PTFE

Antiskalant dozaj tankı teknik detayları Çizelge 2.12’de ve antiskalant dozaj pompa teknik detayları Çizelge 2.13’te verilmiştir.

Çizelge 2.12. Antiskalant dozaj tankı teknik detayları.

Miktar (adet)	1
Tip	Dik silindirik
Hacim (L)	600
Malzeme	PE

Çizelge 2.13. Antiskalant dozaj pompa teknik detayları.

Miktar (adet)	2 (1 yedek)
Tip	Solenoid diyafram
Kapasite (l/sa)	1,2
Basınç (bar)	10
Malzeme	Gövde ve valfler PP, FRP, diyafram PTFE

2.1.4.2. Birinci Kademe Ters Ozmoz Prosesi

Ön arıtma işleminden geçen ve kimyasal şartlandırılması yapılan ve 60 m³'lük kullanma suyu tankına alınan filtrelenmiş su, demineralize su elde etme amaçlı olarak, yaklaşık 19 m³/sa debi ve 15 bar basınçta 1. kademe ters ozmoz sistemine transfer pompaları aracılığı ile besleme yapılmaktadır. Çizelge 2.14'te 1. kademe ters ozmoza ait teknik detaylar verilmiştir.

Çizelge 2.144. Birinci kademe ters ozmoz ünitesi teknik detayları.

Miktar (adet)	2 (1 yedek)
Su kazanımı	%75
Besleme (m ³ /sa)	~19
Permeat (m ³ /sa)	~14
Konsantrat (m ³ /sa)	~5
Düzen	2/1
Membran boyutu (inch)	8" x 40"
Membran tipi	Spiral wound
Her bir kılıfta membran sayısı (adet)	5
Membran kılıf sayısı (adet)	3
Membran sayısı (adet)	15
Membran yüzey alanı (m ²)	37

Çizelge 2.154 (devamı). Birinci kademe ters ozmoz ünitesi teknik detayları.

Toplam yüzey alanı (m ²)	555
Membran üreticisi	Dow-Filmtec
Membran modeli	Filmtec LE-400

Yüksek basınçlı pompalarla basıncı artırılmış ve hassas filtrelerden geçirilmiş su, membran modüllerine yönlendirilir. 1. kademe ters ozmoz ünitesinde, her biri 5 adet membran içeren 3 adet modül yer almakta olup, toplamda 15 membran kullanılmaktadır. Sistem yaklaşık %75 verimle çalışmakta ve ortalama 14 m³/sa ürün suyu üretmektedir. Bu maksimum verim, işletmeci tarafından sürekli olarak korunmaktadır. 1. kademedan elde edilen ürün suyu, prosesin devamında degazör ünitesine iletilmektedir. Çizelge 2.15'te 1. kademe ters ozmoz yüksek basınç besleme pompası teknik detayları verilmiştir.

Çizelge 2.165. Birinci kademe ters ozmoz yüksek basınç pompası teknik detayları.

Miktar (adet)	2 (1 yedek)
Marka	SUMP-EBARA
Model	EVML 18 14F5/15
Güç, devir sayısı	15 kW 15 kW@2900 rpm
Debi (m ³ /sa)	19
Basınç (bar)	15
Malzeme	AISI 316

Membranların partiküller kirleticiler tarafından tıkanmasını önlemek üzere ters ozmoz girişinde 5 µ seviyesine kadar süzme özelliği olan kartuş filtreler kullanılmaktadır. Kartuş filtreler; ön arıtma prosesinden yeterince arıtılamayan ya da sistemden kaçan, yüksek basınçlı pompaya zarar verebilecek partiküller kirliliğin tutulmasını sağlamaktadır. Örnek proseste kullanılan mikro filtrelerin teknik detayları Çizelge 2.16'da sunulmuştur. Ayrıca, Şekil 2.8'de sahada kullanılmış kirli bir mikro filtre ile temiz bir mikro filtrenin görsel karşılaştırması yer almaktadır.

Çizelge 2.176. Mikron filtre teknik detayları.

Miktar (adet)	1
Malzeme	AISI 316
Toplam Debi (m ³ /sa)	19
Gözenek (μ)	5



Şekil 2.8. Mikron filtre örnek gösterimi.

1. kademe ters ozmoz sisteminin ürün suyu degazörden alınarak transfer pompaları aracılığıyla 2. kademe ters ozmoz sistemine beslenmektedir.

2.1.4.3. İkinci Kademe Ters Ozmoz Prosesi

2. kademe ters ozmoz ünitesinde 2 adet membran modülü, her bir modülün içinde 5 adet olmak üzere toplam 10 adet membran yerleştirilmiştir. 2. kademe ters ozmoz sistemi %80 verim ile çalışmaktadır ve yaklaşık 11 m³/sa su üretilmektedir. Membran prosesinde su, permeat ve konsantrat olmak üzere iki ayrı akıma ayrılmaktadır. Permeat, kullanıma hazır saf suyu temsil ederken; konsantrat, uzaklaştırılan safsızlıkları içeren ve bertaraf edilmek üzere sistemden atılan akımdır. 1. kademe ters ozmoz sisteminden elde edilen konsantrat, atık su arıtma sürecinde nötralizasyon işlemine tabi tutulmaktadır. 2. kademe ters ozmoz sisteminden oluşan ve yaklaşık 3 m³/sa debide olan konsantrat su ise, sistemin geri kazanım verimini artırmak amacıyla ham su deposuna geri beslenmektedir. 2. kademe ters ozmoz prosesi ile ilgili teknik detaylar Çizelge 2.17’de verilmiştir.

Çizelge 2.187. İkinci kademe ters ozmoz prosesi teknik detayları.

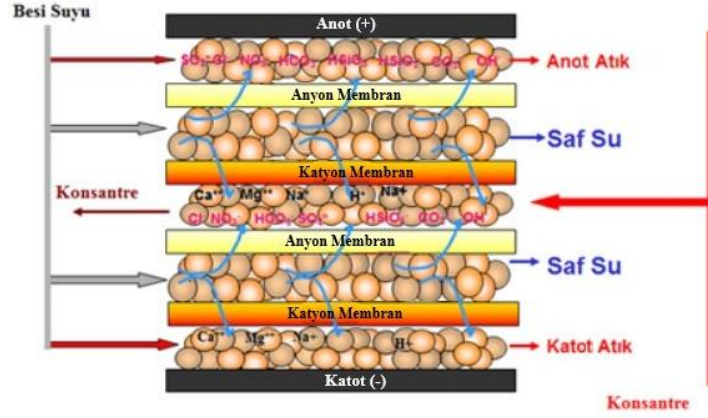
Miktar (adet)	2 (1 yedek)
Su kazanımı	%80
Besleme (m ³ /sa)	~14
Permeat (m ³ /sa)	~11
Konsantrat (m ³ /sa)	~3
Düzen	1/1
Membran boyutu (inch)	8" x 40"
Membran tipi	Spiral sarımlı
Membran kılıf sayısı (adet)	2
Membran sayısı (adet)	10
Membran yüzey alanı (m ²)	37
Toplam yüzey alanı (m ²)	370
Membran üreticisi	Dow-Filmtec
Membran modeli	Filmtec LE-400
Kontrol enstrümanları	Basınç şalteri min. Basınç şalteri max. Debimetre (2 adet ürün suyu hatları) Debimetre (2 adet konsantre hattı) İletkenlik cihazı (ürün suyu hattı)

2. kademe ters ozmoz sisteminden çıkan su ürün suyu tankında toplanmaktadır. 2. kademe ürün suyu deposunda toplanan ürün suyu, pompa vasıtası ile EDİ prosesine beslenmektedir.

2.1.5. Elektro De-İyonizasyon Prosesi

Basit işletme prensibi olarak modül spiral sargı membran teknolojisini, (iyon değiştirici reçine, iyon seçici membran ve direkt deiyonize su akımını birleştiren), kullanmaktadır.

İyon değiştirme, su saflaştırma için 70 yılı aşkın suredir kullanılan bir procestir. İyon değiştirme çözelti içerisindeki bir iyonun, benzer yükle yüklü olan hareketsiz katı reçine partikülüne tutunmuş iyon ile değiştiği tersinir kimyasal reaksiyondur. şekil 2.9’da sisteminin çalışma prensibine dair bir görüntü verilmiştir.

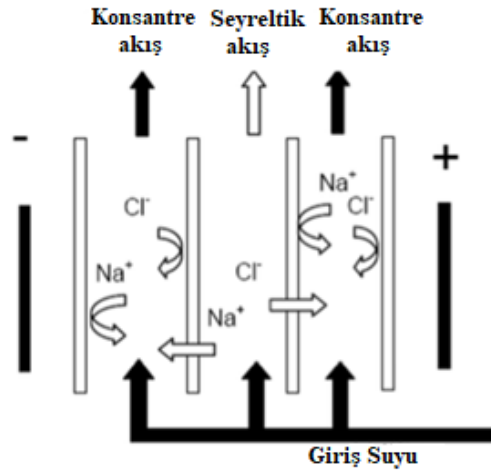


şekil 2.9. EDİ proses çalışma prensibine dair bir görüntü.

Katyon değiştirici ve anyon değiştirici olmak üzere iki tür reçine vardır. Katyon değiştirici reçineler hidrojen (H^+) iyonlarını ya da pozitif yüklü diğer iyonları sudaki safsızlık oluşturan katyonlarla yer değiştirerek serbest bırakır. Anyon değiştirici reçineler hidroksit (OH^-) iyonlarını ya da negatif yüklü diğer iyonları sudaki safsızlık oluşturan anyonlarla değiştirmek için serbest bırakmaktadır.

Reçineler doğgunluğa ulaştığında, üzerlerinde biriken konsantre kirleticilerin giderilmesi ve iyonik yapılarını orijinal formuna geri kazandırmak amacıyla rejenerasyon işlemi uygulanmaktadır. Reçineleri H^+ ve OH^- formuna rejenere etmek için sülfürik asit, hidroklorik asit ve kostik kullanılmaktadır.

EDİ, iyon değiştirici reçinelerin su saflaştırma özelliğini kullanmakla birlikte rejenerasyon gerektirmemektedir. Bu yöntemde, reçineler ile elektrodializ prosesi birleştirilerek suyun etkin bir şekilde saflaştırılması sağlanmaktadır. Elektrodializ sisteminin temel bileşenleri, iyon seçici katyon ve anyon membranları, elektrotlar, konsantre ve seyreltik bölmeler ile doğru akım (DC) kaynağından oluşmaktadır. Sürecin işleyişi şekil 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Elektrodializ süreci.

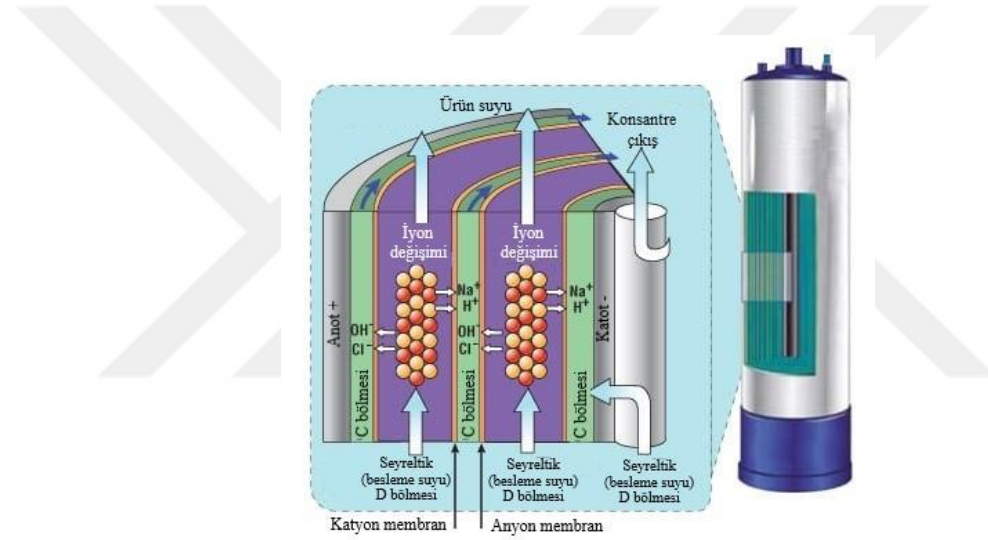
Spiral sarmal EDİ modülleri cam elyafı ile güçlendirilmiş plastik (FRP) basınç kaplarını kullanmaktadır. Plastik kapların uçları sızıntıyı önlemek için kapaklarla kapatılmıştır.

Besleme suyu (seyreltik akım), EDİ modülüne alttan verilmekte ve dikeyde yer alan spiral hücrelerden oluşan “D (seyreltik)” bölmelerine yönlendirilmektedir. Seyreltik akım, dikeyde anyonların ve katyonların geçişine izin veren olmak üzere iki özel tasarlanmış membran arasına yerleştirilmiş iyon değiştirici reçinelerin arasından geçirilmektedir.

DC akımı hücre içerisinde uygulanmaktadır. Katot, negatif DC yükü; anot ise pozitif DC yükünü sağlamaktadır. Oluşan elektriksel alan, su moleküllerinin bir kısmını H^+ ve OH^- iyonlarına ayrıştırmaktadır. Bu iyonlar, katyon ve anyon reçine yüzeylerine tutunarak reçinenin sürekli rejenerasyonunu sağlamaktadır. Pozitif yüklü hidrojen iyonları katyon reçine boyunca hareket eder ve katyon geçirgen membranlardan geçerek, katoda olan elektriksel çekim nedeniyle konsantre bölmesine ulaşır. Benzer şekilde, negatif yüklü hidroksit iyonları anyon reçine boyunca yer değiştirir ve anyon geçirgen membranlardan geçerek anoda olan çekim dolayısıyla konsantre bölmesine yönlendirilir. Katyon membranlar yalnızca katyonların geçişine izin verirken, anyon membranlar sadece anyonların geçişine izin verir; her iki membran da su moleküllerinin geçişine izin vermez. H^+ ve OH^- iyonları konsantre bölmesinde yeniden birleşerek su formuna dönüştürülür.

Elektrolitik iletim, iyon değiştirici reçine yatakları boyunca seyreltme bölgesinde gerçekleşmektedir. İyon değiştirici reçineler, genellikle saf sudan 2-3 kat daha yüksek iletkenliğe sahiptir. Bu reçine yatakları, uygulanan akım sayesinde sürekli olarak rejenerasyon işlemine tabi tutulmaktadır. İyon değiştirici reçine yatakları ile farklı türdeki membranların temas noktasında suyun H^+ ve OH^- iyonlarına elektrolitik parçalanması

ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak, anyon değiştirici membran ile katyon reçine yataklarının ara yüzeyinde, akım kısmen H^+ iyonlarıyla reçine yataklarına ve OH^- iyonlarıyla da membrana taşınır; bu süreç, su moleküllerini H^+ ve OH^- iyonlarına ayırmak için gerekli olan yaklaşık 0,8 V'un aşılmasını takiben gerçekleşir. Besleme suyundaki kirletici iyonlar, H^+ ve OH^- iyonlarıyla yer değiştirerek kendi iyon değiştirici reçinelerine bağlanır; ardından reçine yatağı içinde iyon taşınmasına katılarak membranı geçer ve her iki tarafta bitişik olan konsantre “C” bölmesine yönlendirilir. Kirletici iyonlar bu “C” bölmesinde yakalanırken, konsantre akım su oluşturmak üzere H^+ ve OH^- iyonları ile birlikte sürüklenir. Besleme suyu, seyreltik bölmeden geçerek saflaştırılır ve EDİ modülünden dışarı çıkar. Tüm EDİ modül ürünleri toplanarak saf su olarak sistemden çıkış yapar. Bu süreç Şekil 2.11’de şematik olarak gösterilmiştir.

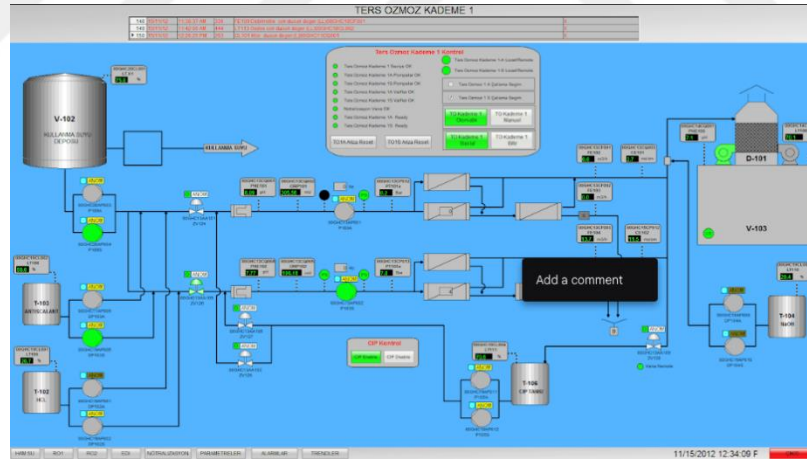


Şekil 2.11. EDİ prosesi.

Konsantre akım, RO besleme suyundan ayrı bir akım, DOWTM EDİ modülüne orta borudan alttan verilir ve düşeyde “C” bölmesi olarak bilinen spiral hücrelere ayrılmaktadır. Sarmal olarak akan konsantre modülün üst kısmında orta boruya geri döner ve atık olarak dışarıya çıkmaktadır. Konsantre akış hızı EDİ modülünün geri kazanım hızı ile belirlenmektedir [18]. Proses otomatik ve sürekli çalışmamaktadır. Tesisin otomasyonu bir PLC ile sağlanmakta olup, SCADA sistemi aracılığıyla kontroller ve anlık değişiklikler takip edilir, sistemde oluşabilecek aksaklıklar izlenebilmektedir. Prosese ait SCADA örnek ekran görüntüsü Şekil 2.12’de sunulmuştur. EDİ sisteminin proses teknik detayları Çizelge 2.18’de verilmiş olup, Şekil 2.13’te ise prosese ilişkin bir görsel yer almaktadır.

Çizelge 2.198. EDİ proses teknik detaylar.

Miktar (adet)	2 (1 yedek)
Tip	EDI-310
EDI besi debisi (m ³ /sa)	11
Üretilen demineralizasyon debisi (m ³ /sa)	10
Konsantrat (m ³ /sa)	1
Su kazanımı	~%90
Modül sayısı	5 adet/ünite
Katot malzemesi	SS 316L
Anot malzemesi	Pt kaplamalı (superlife); Ti bazlı
İmalatçı	DOW



Şekil 2.12. SCADA örnek ekran görüntüsü.



Şekil 2.13. EDİ prosesi saha görüntüsü.

EDİ prosesi urun suyu yani ultra saf su, yüksek hacimli 200 ton büyüklüğündeki tanklara aktarılarak kazan sistemine beslenilmesi için depolanmaktadır.

2.1.6. Demineralizasyon Prosesinin Ortam Şartları

Arıtma tesisi içi sıcaklık sistemin sağlıklı çalışması açısından 15-25 °C arasındaki sıcaklık prosesin ideal çalışma sıcaklığıdır. Prosesin verimli çalışabilmesi için sıcaklık kontrolü kritik öneme sahiptir; çünkü sıcaklık 5 °C'nin altına düştüğünde veya 30 °C'nin üzerine çıktığında proses performansı düşmekte ve çeşitli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, özellikle kış aylarında tesis içerisinde gerekli ısıtma önlemleri alınmalıdır. Ayrıca, tesis ekipmanları doğrudan güneş ışığına maruz kalmamalı ve yağmur gibi dış etkenlerden korunmalıdır. Bunun için kimyasal alanın izolasyonu sağlanarak ekipmanların çevresel etkilerden korunması temin edilmelidir.

2.1.7. Demineralizasyon Ürün Suyu Parametreleri

Son ürün, (EDİ) demineralizasyon prosesi sonucu elde edilen ultra saf su değerleri, yaklaşık olarak Çizelge 2.19'da belirtilen kriterleri karşılamalıdır. Bu değerler sağlandığında, tesisin tüm gereklilikleri yerine getirilmiş, ideal çalışma koşullarına sahip ve sorunsuz işletilen bir prosese sahip olduğu varsayılabilir. Üreticilerin sistem kurulumlarında verdiği değerler genellikle benzer aralıklardadır. Ancak, Çizelge 2.19'da yer alan değerler, örnek tesisin kurulumu sonrası ilk ay yapılan analizlerin ortalama sonuçlarını temsil etmektedir. Sistem işletildikçe, istenmeyen bazı sorunlar ortaya çıkabilir ve ideal şartlardan sapmalar yaşanabilir. Bu sapmalar bazen cihaz kaynaklı,

bazen işletmeci hatalarından, bazen de doğal nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Örneğin, yer altındaki tektonik hareketler prosese giren ham suyun karakteristiğini değiştirebilir veya aşırı yağış nedeniyle yer altı akışkanlarının kaynak sulara karışması benzer etkiler yaratabilmektedir. Bu değişkenlikler, su kalitesinde dalgalanmalara yol açabilmektedir.

Çizelge 2.209. Ultra saf su analiz raporu.

Parametreler	Birim	Analiz sonuçları
Ürün suyu özgül direnci (CaCO_3)	ppm	$\geq 5 \mu\text{cm}$
Toplam değiştirilebilir anyon (CaCO_3)	ppm	≤ 25
Toplam değiştirilebilir katyon	ppm	≤ 25
Karbondioksit	ppm	≤ 5
pH	ppm	5.0-9.0
Sertlik (CaCO_3)	ppm	≤ 0.5
Yağ&Gres	ppm	Yok
Fe, Mn, H_2S	ppm	≤ 0.01
Çözülmüş silika	ppb	≤ 0.5
Toplam organik karbon	ppb	≤ 0.5
Serbest klor	ppb	≤ 0.05
Bulanıklık	NTU	≤ 0.1

3. SU KAYNAKLARI VE YÖNETİMİ

3.1. SU KAYNAKLARI (HAM MADDE-HAM SU)

Enerji sektöründe veya kazan işletmesi olan tüm ağır endüstride suyun kullanımı oldukça önemlidir. İşletmeler, seçim yaparken genellikle iki temel kriteri göz önünde bulundururlar: Birincisi, ekonomik olması; ikincisi ise proses kullanımının ve yönetiminin kolay olmasıdır. Enerji sektöründe, demineralize işlemine tabi tutulacak çeşitli su kaynakları mevcuttur. İşletmeler, prosesin kurulumu öncesinde kullanılacak su kaynağını kesin olarak belirlemek zorundadır; çünkü seçilen membran tipleri ve tüm mühendislik hesaplamaları, suyun fizikokimyasal özelliklerine göre tasarlanmaktadır. Proses işletmeye alındıktan sonra su kaynağının değiştirilmesi teknik ve ekonomik açıdan genellikle tercih edilmemektedir. Bu nedenle, su kaynağı seçimi kritik bir karar olarak değerlendirilir. Yer altı kaynaklarına yakın tesislerde, bu su kaynaklarının kullanımı genellikle en uygun seçenek olarak değerlendirilmektedir. Ancak, deniz kıyısında konumlanan bazı tesislerde, soğutma amaçlı deniz suyu kullanımı yaygın olmakla birlikte, işletme maliyetleri yüksek olduğundan ekonomik açıdan dezavantajlıdır. Enerji santrallerinde genellikle kullanılan ham su kaynakları; baraj, kuyu, nehir ve deniz suları olmakla birlikte, gerektiğinde şebeke suyu da kullanılabilir. Aşağıda, enerji santrallerinde kullanılan başlıca su kaynakları ve bunların karakteristik özellikleri detaylı şekilde ele alınacaktır [19].

3.1.1. Yüzey Suları

Yüzey suları, doğal su kaynaklarından temin edilen ve yeryüzünde biriken su kaynaklarıdır. Enerji santrallerinde en yaygın kullanılan ham su kaynaklarından biri olan yüzey suları; nehirler, akarsular, göller ve barajlar gibi çeşitli kaynaklardan sağlanmaktadır.

3.1.1.1. Nehirler ve Akarsular

Nehirler, sürekli ve düzenli su akışı sağlayarak enerji santralleri için kritik bir su kaynağı olmaktadır. Ancak nehir suyunun kalitesi ve miktarı, santralin bulunduğu coğrafi konuma ve mevsimsel değişimlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Akarsular ve nehirler, doğal su hareket sistemleri olmaları sebebiyle yüksek oranda çözünmüş madde ve tortu içermektedir. Nehir suları, yağışlar, kar erimeleri ve yer altı suları gibi çeşitli

kaynaklardan beslenmekte olup, genellikle içilebilir nitelikte tatlı su kaynağı oluşturmaktadır. Bu sular, nehir yatakları boyunca akarken geniş akarsu havzalarını oluşturmakta ve çeşitli ekosistemlerin sürdürülebilirliğinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, nehir suları farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip çeşitli tiplerde sınıflandırılmaktadır.

Tatlı Su Nehirleri: En yaygın su kaynağı türü olup, içme suyu temini, sulama, sanayi ve enerji üretimi gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır.

Tuzlu Su Nehirleri: Genellikle okyanusa dökülen büyük nehirler tarafından beslenen, tuzluluk oranı yüksek deniz sularıyla karışmaktadır.

Bazık Nehirler: Yüksek pH değerine sahip bu nehirler, genellikle kireçtaşı gibi karbonat kayalarıyla temas ettiğinden dolayı, sular kalsiyum ve magnezyum iyonları açısından zengindir.

Asidik Nehirler: Endüstriyel atıklar, madencilik faaliyetleri veya asit yağmurları nedeniyle asidik pH değerine sahip olan nehirler, genellikle çevresel kirliliğin bir sonucu olup ekosistem dengesinin bozulmasına yol açmaktadır.

Büyük Nehirler: Amazon, Nil ve Mississippi gibi büyük nehirler, dünyanın en uzun ve en hacimli nehirleri arasında yer almakta olup, birçok ülkenin sınırlarından geçerek geniş alanlara su temin etmektedir.

Bu çeşitlerin yanı sıra, nehirlerin özellikleri ve su kalitesi coğrafi, iklimsel, jeolojik ve insan etkilerine bağlı olarak değişmektedir. Termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde yaygın olarak kazan suyu sistemlerinde nehir suyu kullanılmaktadır. Bu tesislerde kömür, petrol veya doğal gaz gibi fosil yakıtların yanmasıyla ısı üretilmekte ve bu ısı buhar üretiminde kullanılmaktadır. Oluşan buhar, türbinler aracılığıyla jeneratörlere yönlendirilerek elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu sistemde kazanlarda buhar üretimi için nehir suyu soğutma amacıyla dolaştırılmakta ve yakıtların yanma sıcaklıklarının düşürülmesini sağlamaktadır. Böylelikle kazanlar daha verimli çalışmakta ve istenen buhar üretimi gerçekleştirilmektedir [18]. Ancak, nehir suyunun bu amaçla kullanılması çevresel etkiler doğurabilmektedir. Suyun sıcaklığındaki artış ve kalitesindeki bozulma gibi faktörler, nehir ekosistemleri üzerinde olumsuz sonuçlar yaratmaktadır. Bu nedenle, termik santrallerde nehir suyu kullanımı; çevresel etkiler ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından titizlikle değerlendirilmelidir.

Nehir ve akarsuların en yaygın genel özellikleri şunlardır;

İyon İçeriği: Nehir ve akarsu suları, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ve Cl^- gibi çözülmüş iyonlar bakımından zengin olmaktadır. Ayrıca, tarım, sanayi ve yerleşim alanlarından kaynaklanan atıklar nedeniyle kimyasal kirlilik içermektedir.

Partikül Seviyesi: Özellikle yağış dönemlerinde kil, kum, toprak ve diğer askıda katı maddeleri içermektedir.

Organik Madde: Yosun, yapraklar ve çürümüş bitki ile hayvan kalıntıları gibi organik maddeler açısından zengin olmakta ve bu durum, arıtma öncesinde suyun biyolojik kirlenmesine yol açmaktadır.

Nehir suyu, genellikle termik santrallerde soğutma suyu olarak kullanılmakta, santralin soğutma sistemlerinde sirküle edildikten sonra nehre geri salınmaktadır. Ancak, nehre geri bırakılmadan önce sıcaklık, çözülmüş oksijen seviyesi ve kirlilik açısından arıtma işlemi uygulanmaktadır [20], [21].

3.1.1.2. Göller ve Barajlar

Göller ve barajlar, nehir sularına kıyasla daha durağan yapıda olan ve genellikle büyük hacimli suyun depolandığı kaynaklardır. Bu su kaynakları, daha stabil ve düzenli bir su temini sağlamak amacıyla tercih edilmektedir.

Barajlar, çoğunlukla nehirler üzerine inşa edilen yapay su depolama tesisleri olarak işlev görmektedir. Su depolama, sulama, içme suyu temini, elektrik üretimi ve taşkın kontrolü gibi çeşitli amaçlarla kullanılmakta olan barajlar, nehir suyunun düzenlenmesini sağlayarak suyun etkin ve verimli yönetilmesine katkıda bulunmaktadır. Barajların inşası ve işletilmesi çeşitli çevresel, sosyal ve ekonomik etkilere yol açmaktadır.

Baraj suları su kaynağı sağlama, elektrik üretimi, çevresel etkiler, sosyal ve ekonomik etkileri vardır [19], [20].

Baraj suları, kullanım amacı, büyüklüğü, coğrafi konumu ve suyun niteliğine bağlı olarak farklı tür ve çeşitlere ayrılmaktadır. Aşağıda, yaygın olarak karşılaşılan bazı baraj suyu türleri verilmiştir.

İçme Suyu Barajları: İçme suyu barajları, yerel halkın içme suyu ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmakta olup, genellikle şehirler veya kırsal bölgeler için temiz ve içilebilir su sağlamaktadır.

Sulama Barajları: Sulama barajları, tarım arazilerinin su ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilmekte olup, genellikle nehirlerden su toplayarak sulama kanalları vasıtasıyla tarım alanlarına su dağıtmaktadır.

Hidroelektrik Barajları: Hidroelektrik barajları, suyun potansiyel enerjisinden elektrik üretmek amacıyla inşa edilmekte olup, suyun yüksekten alçak seviyeye akışı türbinleri döndürerek jeneratörlerde enerji üretimini sağlamaktadır.

Taşkın Kontrolü Barajları: Taşkın kontrolü barajları, aşırı yağış veya sel kaynaklı taşkınları önlemek ya da kontrol altına almak amacıyla inşa edilmekte olup, suyu depolayarak ani su baskınlarını engeller ve suları kontrollü şekilde bırakarak taşkın riskini azaltmaktadır.

Rekreasyonel Barajlar: Termik santraller, suyu soğutmak için genellikle rekreasyonel amaçlı barajlardan su temin etmektedir. Su sporları, balık tutma, yüzmeye, piknik ve diğer eğlence faaliyetleri için su biriktiren tesisler olup, turizm ve rekreasyon açısından popüler alanlar oluşturmaktadır. Bu tür barajlardan su temini, genellikle santralin su soğutma sistemlerine veya buhar üretim süreçlerine yöneliktir.

Endüstriyel Barajlar: Bu tür barajlar, fabrikaların soğutma suyu ve üretim süreçlerinde kullanılan suyun temin edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu baraj suyu türleri, su kaynaklarının farklı kullanım alanlarını karşılamak için tasarlanmış çeşitli baraj türlerini temsil etmektedir.

Bu baraj türleri, termik santrallerin su ihtiyacını karşılamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak santrallerde tercih edilen su kaynağı; tesisin coğrafi konumuna, su temin maliyetine ve çevresel etkilerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Dolayısıyla, su kaynaklarına erişim ve kullanım biçimi, termik santrallerin çevresel etkileri ile sürdürülebilirliğini doğrudan etkileyen kritik bir unsur olmaktadır.

Barajların en yaygın genel özellikleri şunlardır;

Stabil Su Seviyesi: Göller, yüzey sularına kıyasla daha durağan yapıda olduklarından su seviyesi ve akışı mevsimsel değişimlerden daha az etkilenmektedir. Barajlar ise suyun depolanmasını ve kontrollü bir şekilde kullanılmasını sağlayarak yönetilebilirliği artırmaktadır.

Partiküller ve İyon İçeriği: Göller ve barajlar, durağan yapıları nedeniyle tortu birikimi ile çözünmüş iyonlar bakımından zenginlik gösterebilir. Bu özellikleri, organik madde

birikimini ve mikrobiyolojik kirlilik riskini artırmaktadır.

Ekosistem: Göller ve barajlarda yaşayan canlılar, suyun biyolojik özellikleri üzerinde etkili olabilmektedir. Bu nedenle, bu kaynaklardan elde edilen suya mikrobiyolojik arıtma işlemlerinin uygulanması çoğu zaman gerekli hâle gelmektedir.

Göl ve baraj suları, genellikle termik santrallerde buhar kazanlarında kullanılmadan önce arıtma işlemine tabi tutulmaktadır. Arıtılan su, hem soğutma hem de buhar üretimi amacıyla kullanılabilir. Öte yandan, hidroelektrik santrallerde ise barajlardan sağlanan su, doğrudan türbinleri döndürerek enerji üretiminde kullanılmaktadır. Göl suları, enerji santrallerinde kullanılan başlıca yüzey suyu kaynaklarından biri olarak öne çıkmaktadır. Durağan yapıları nedeniyle, nehir ve akarsulara kıyasla daha sabit bir debi ve stabil su seviyesi sağlamaktadır. Ancak, bu durağanlık mikrobiyolojik yük ve organik madde birikimini artırabileceğinden, göl sularının santral sistemlerinde kullanılmadan önce arıtılması gerekmektedir. Ayrıca, içerdiği çözünmüş mineraller ile kolloidal tanecikler varlığı da arıtma sürecinde dikkate alınmalıdır. Göl sularının en yaygın genel özellikleri şunlardır;

Stabil Su Seviyesi: Göl sularında su seviyesi, nehir ve akarsulara kıyasla daha az değişkenlik göstermektedir; bu durum, enerji santrallerine daha öngörülebilir bir su kaynağı temin edilmesini sağlamaktadır.

Organik ve Mikrobiyolojik Kirlilik: Durağan yapısından dolayı, göl suları mikrobiyolojik ve organik madde açısından daha yüksek yüke sahip olabilmektedir; bu nedenle, kullanılmadan önce biyolojik arıtma ve kimyasal dengeleme işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çözünmüş Mineraller: Göl sularında, özellikle yüksek çözünmüş katı madde ve mineral konsantrasyonları bulunmaktadır. Bu maddeler arıtılmadığı takdirde ekipmanlarda korozyon ve kireçlenme sorunlarına neden olmaktadır.

Göl suları, enerji santrallerinde genellikle soğutma suyu veya buhar kazanlarına besleme suyu olarak kullanılmakta olup, büyük hacimleri sayesinde santralin su ihtiyacını karşılayabilmektedir. Ancak bu kullanım öncesinde mutlaka uygun arıtma işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir [20-23].

3.1.2. Yer Altı Kuyu Suları

Yer altı suları, yer kabuğunun altında bulunan ve dünya üzerindeki suyun önemli bir bölümünü oluşturan su birikintileridir. Bu sular, akifer adı verilen kayaç ve tortul tabakalar arasındaki boşluklarda depolanmaktadır. İnsanlar için temel içme suyu kaynağı olmanın yanı sıra, tarımsal sulama, sanayi ve diğer kullanım alanlarında da yaygın şekilde değerlendirilmektedir. Ancak yer altı sularının sürdürülebilir yönetilmemesi durumunda aşırı kullanım, kirlenme ve su seviyelerinde düşüş gibi ciddi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Akademik araştırmalar, yer altı suyunun hareketi, yenilenebilirliği, kirlenme riskleri, hidrolojik döngüdeki rolü ile insan faaliyetlerinin etkilerini kapsamlı şekilde incelemektedir. Bu çalışmalar, yer altı sularının korunması ve sürdürülebilir yönetimi için stratejiler geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle yer altı sularının kirlenme risklerinin analizi, belirli bölgelerdeki kirlenme potansiyelinin değerlendirilmesi, kirlilik kaynaklarının tespiti ve yayılma mekanizmalarının anlaşılması üzerine odaklanılmaktadır. Bununla birlikte, yer altı suyu konusu yerbilim disiplinlerinin de ilgi alanına girmekte olup, bu alanda daha kapsamlı araştırmalar yapılması ve bütüncül bir bakış açısıyla ele alınması gerekmektedir. Böylece, hem su kaynaklarının korunması hem de geleceğe yönelik etkili yönetim politikalarının geliştirilmesi mümkün hale gelmektedir.

Yer altı suyunun akifer karakterizasyonu ve modellemesi, bir akiferin hidrolik özelliklerinin belirlenmesi ve matematiksel modeller aracılığıyla su akışı ile taşınımının analiz edilmesini içermektedir. Bu tür çalışmalar, yer altı suyunun hareketi hakkında daha derin ve ayrıntılı bir bilgi sağlamaktadır. Ayrıca, iklim değişikliklerinin yer altı suyu kaynakları üzerindeki etkilerinin incelenmesi; su miktarı, kalitesi ve dağılımı üzerindeki değişimleri anlamaya yönelik araştırmaların artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmalar, gelecekteki iklim senaryolarına uygun sürdürülebilir yer altı suyu yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Yer altı suyunun tarımsal sulamadaki rolü ve etkileri üzerinde yapılan analizler, tarım faaliyetlerinin su kaynakları üzerindeki baskısını değerlendirmekte ve verimliliği artırmaya yönelik en iyi uygulamaların belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

Kömür, doğal gaz veya petrol gibi fosil yakıtların yanmasıyla elektrik üreten termik santraller, büyük miktarda kuyu suyuna ihtiyaç duymaktadır. Su, ya soğutma kulelerinde buharlaştırılmakta ya da doğrudan santralin soğutma sistemine pompalanmaktadır.

Bunun yanı sıra, kuyu suyu kullanımı yalnızca termik santrallerle sınırlı kalmayıp nükleer santrallerde de yaygın şekilde uygulanmaktadır. Nükleer santrallerde, reaktörlerin soğutulması için büyük miktarlarda su gerekmekte olup, bu su genellikle yakınlardaki nehirler veya denizlerden temin edilmektedir. Ancak bazı nükleer santrallerde yer altı suyunun kullanımı da söz konusu olmaktadır. Reaktörlerin soğutulmasında kullanılan su, reaktörden geçtikten sonra ısı değişim sistemleri aracılığıyla tekrar çevreye verilmektedir. Bununla beraber, kuyu suyu santrallerin kullanımı, çevresel olumsuzluklara ve risklere yol açabilmektedir. Özellikle yer altı suyunun aşırı çekilmesi, su seviyelerinin düşmesine ve yer altı su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, kullanılan suyun geri verilmesi sırasında suyun sıcaklığının artması çevresel etkileri artırmaktadır. Bu sebeple, sürdürülebilirlik sağlanması amacıyla alternatif çözümler geliştirilmelidir. Yer altı suyunun sürdürülebilir şekilde kullanımı için dengeli ve etkili yönetim stratejileri oluşturulmalıdır. Bazı alternatifler arasında geri dönüşümlü su kullanımı, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı santrallerin tercih edilmesi ve su tasarrufu teknolojilerinin uygulanması yer almaktadır. Bu tezin amaçlarından biri de su kaynaklarının korunmasına katkı sağlamaktır. Su kaynakları önemli bir değer olduğundan, enerji santralleri kurulum aşamasında tüm detaylar titizlikle ve hesaplanarak değerlendirilmelidir. En küçük atıklar bile geri dönüşüme kazandırılarak sistem altyapısı oluşturulmalıdır. Enerji santrallerinde yer altı suyu kullanımı, su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve çevresel etkiler bakımından titizlikle değerlendirilmesi gereken önemli bir konudur. Bu bağlamda, santrallerin kurulumu ve işletimi sürecinde çevresel etkilerin minimize edilmesi ve su kaynaklarının korunmasına yönelik gerekli önlemlerin alınması zorunludur. Kuyu suyu yönetimi ise, suyun temininden arıtılmasına ve bertarafına kadar olan bütün aşamaları kapsamaktadır. Söz konusu sürecin sistematik olarak incelenmesi, sürdürülebilirlik ve çevresel duyarlılık açısından etkin bir yönetim stratejisinin oluşturulmasına temel teşkil etmektedir.

Su Temini: Santrallerdeki kuyu suyu yönetimi, yer altı suyunun temin edilmesiyle başlamaktadır. Bu süreç, kuyu sondajı ile akiferlerden suyun çıkarılması ve pompa sistemleri aracılığıyla yüzeye taşınması şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Su Arıtma ve İşleme: Çekilen yer altı suyu, genellikle santralin soğutma sistemi veya diğer proseslerde kullanılmadan önce arıtılmakta veya işlenmektedir. Arıtma işlemi, suyun kirlilik seviyelerinin azaltılmasını ve santral ekipmanlarının korunmasını hedeflemektedir. Bu işlem kapsamında tortu, kireç ve diğer katı maddelerin uzaklaştırılması gerçekleştirilmektedir.

Su Kullanımı: Arıtılmış veya işlenmiş su, santralin soğutma sistemlerine veya diğer proseslere pompalanmaktadır. Soğutma işlemi sonrasında, su ya yeniden kullanıma yönlendirilmekte ya da uygun şartlarda akarsuya bırakılmaktadır.

Su Geri Dönüşümü ve Atılması: Bazı durumlarda, kullanılan su geri dönüştürülerek tekrar kullanılabilir. Ancak geri dönüşümün mümkün olmadığı ya da suyun kirli olduğu durumlarda, atık suyun güvenli şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu süreçte, atık suyun çevresel etkilerinin en aza indirilmesi sağlanmalıdır.

Sürdürülebilirlik ve Yönetim: Kuyu suyu yönetimi, suyun sürdürülebilir biçimde kullanılmasını ve çevresel etkilerin en aza indirilmesini içermektedir. Bu süreç, suyun etkin kullanımını, atık suyun uygun şekilde bertaraf edilmesini ve su kaynaklarının korunmasını sağlamak üzere etkili yönetim stratejilerinin uygulanmasını kapsamaktadır. Söz konusu süreçler, santrallerdeki kuyu suyu yönetiminin temel unsurlarını oluşturmaktadır. Ancak her santral ve bölgenin farklı koşullara sahip olması nedeniyle, kuyu suyu yönetimi her zaman tesisin ihtiyaçlarına ve çevresel şartlara göre özelleştirilmek zorundadır.

Yer altı suları, yer yüzeyinin altındaki akiferlerden veya rezervuarlardan çekilen su kaynaklarıdır. Doğal filtreleme süreçlerinden geçmeleri sebebiyle genellikle daha temiz olmalarına karşın, bazı mineraller açısından zengin olabileceğinden arıtılması gerektirir [20-24].

3.1.2.1. Akiferler

Akiferler, yer altında suyun biriktiği geçirgen kaya veya toprak katmanlarıdır. Enerji santralleri için güvenilir ve sürekli su kaynağı temin edebilmektedir. Akiferlerin en yaygın genel özellikleri şunlardır;

Mineral İçeriği: Yer altı suyu, genellikle kalsiyum, magnezyum, demir ve diğer mineraller açısından zengin olup, bu durum suyun sertleşmesine ve kireç oluşumuna neden olmaktadır.

Düşük Partikül Seviyesi: Yer altı suyu, yüzey su kaynaklarına kıyasla daha az partikül ve kolloidal tanecikler bulundurmamakla birlikte, mineraller ve çözünmüş katı maddeler açısından yüksek konsantrasyonlara sahip olmaktadır.

Daha Az Organik Madde: Yer altı suyu, yüzey sularına kıyasla daha az organik madde içermektedir. Bu durum biyolojik kirlenme riskinin daha düşük olmasını sağlamakla birlikte, mikroorganizmalar tespit edilebilir.

Yer altı suları, enerji santrallerinde soğutma suyu veya kazan besleme suyu olarak kullanılmaktadır. Ancak, yüksek mineral içeriği nedeniyle suyun yumuşatılması ya da iyon değişimi yöntemleriyle arıtılması gerekmektedir. Yer altı suyu, genellikle yüzey sularına kıyasla daha az biyolojik arıtma ihtiyacı gösterse de, kimyasal arıtma uygulamaları zorunlu olmaktadır [24-26].

3.1.2.2. Kuyular

Enerji santrallerinde kullanılan yer altı suları genellikle kuyular aracılığıyla temin edilmektedir. Kuyular, yer altındaki su tabakalarına erişmek amacıyla açılmakta ve su, pompa sistemleri ile yüzeye çıkarılmaktadır.

Kuyuların genel özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

Su Kalitesi: Kuyulardan çekilen suyun kalitesi, bulunduğu akiferin jeolojik ve kimyasal yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bazı kuyular yüksek mineral içeriğine sahip olmaktadır.

Mineral İçeriği: Yer altı suyunda özellikle kalsiyum, magnezyum ve demir gibi minerallerin yüksek konsantrasyonlarda bulunması mümkündür. Bu mineraller, enerji santrallerinde kullanılan ekipmanlarda kireç oluşumuna neden olarak performansın düşmesine yol açabilir.

Tuzlu Su: Kıyı bölgelerinde yer alan kuyularda, yer altı suyuna deniz suyu karışması sonucu tuz oranı artabilmektedir. Bu durum, ileri düzey arıtma ve suyun uygun hale getirilmesini gerektirmektedir.

Kuyulardan çekilen yer altı suyu, enerji santrallerinde farklı süreçlerde kullanılabilir. Ancak, özellikle yüksek mineral içeriği nedeniyle bu suyun önceden arıtılması gerekmektedir. Ayrıca, kuyu suyu debisinin doğal olarak sınırlı olması sebebiyle, büyük ölçekli enerji santrallerinde tek başına yeterli bir su kaynağı sağlaması mümkün olmamaktadır [23-32].

3.1.3. Deniz Suları

Deniz suları, Dünya yüzeyinin yaklaşık %71'ini kaplayan ve küresel hidrolojik döngüde önemli bir rol oynayan geniş tuzlu su kütleleridir. Denizlerin kimyasal bileşimi; sıcaklık, tuzluluk ve mineral içerikleri gibi fizikokimyasal parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ortalama olarak, deniz suyu her litre için yaklaşık 35 gram çözünmüş tuz ve çeşitli mineraller içermektedir. Bu tuzların büyük bir kısmı (%85) sodyum klorürden

oluşmakta olup, magnezyum, kalsiyum ve potasyum gibi diğer iyonlar da önemli oranda bulunur. Deniz suyunun tuzluluğu, çeşitli doğal ve çevresel faktörlerin etkisiyle dalgalanabilmekle birlikte genel olarak sabit bir aralıkta seyretmektedir. Ekolojik açıdan deniz suları, birçok organizmanın yaşam alanını oluşturmakta ve besin zincirinin temelini teşkil etmektedir. Bu özellikleriyle deniz suları, hem biyolojik çeşitlilik hem de küresel su döngüsünün devamlılığı açısından kritik öneme sahiptir.

Deniz suları, termal kapasitesi ve hareket kabiliyeti sayesinde iklim sistemlerinin düzenlenmesinde ve dünya ikliminin oluşumunda kritik bir rol oynamaktadır. Denizlerin ısıyı depolama ve dağıtma yetenekleri, atmosferle etkileşimleri yoluyla bölgesel ve küresel iklim koşullarını önemli ölçüde etkilemektedir.

Santraller, elektrik enerjisi üretiminde çeşitli kaynakları kullanmakla birlikte, bazı işletmeler soğutma amaçlı olarak deniz suyunu tercih etmektedir. Özellikle termik santraller, buhar üretimi için yüksek miktarlarda su talep etmekte ve bu suyun temininde deniz suları yaygın şekilde kullanılmaktadır. Deniz suyunun termik santrallerde soğutma suyu olarak tercih edilmesinin başlıca sebepleri arasında; genellikle bol miktarda bulunması, kesintisiz tedarik imkanı sağlaması ve içme suyu olarak değerlendirilmeyip çevresel açıdan daha az rekabet yaratması yer almaktadır. Bununla birlikte, deniz suyunun santrallerde kullanımı çevresel açıdan çeşitli riskler taşımaktadır. Deniz suyunun alınması ve kullanımı sırasında deniz ekosistemlerine zarar verme ihtimali bulunmakta; ayrıca, kullanım sonrası deniz suyunun sıcaklığının artması ve kimyasal yapısının değişmesi su kalitesinin bozulmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, deniz suyu kullanımının çevresel etkilerinin titizlikle değerlendirilmesi ve uygun yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle santrallerden deşarj edilen sıcak suyun yeniden soğutulması ekonomik açıdan zorlayıcı olsa da, deniz ekosistemlerinin korunması açısından bu tür önlemlerin alınması geleceğe yönelik sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır.

Deniz suyu, özellikle kıyı bölgelerinde konumlanan enerji santralleri için önemli bir ham su kaynağıdır. Soğutma işlemlerinde yaygın olarak kullanılsa da, yüksek tuz içeriği ve mineraller nedeniyle deniz suyunun kullanımı özel arıtma yöntemleri ve koruyucu önlemler gerektirmektedir. Bu durum, santral ekipmanlarının korozyon ve kireçlenmeye karşı korunmasını sağlamak amacıyla uygun su şartlandırma süreçlerinin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Deniz sularının en yaygın genel özellikleri şunlardır;

Tuz İçeriği: Deniz suyu, yüksek oranda çözünmüş tuz içeriğine sahiptir; toplam

Çözünmüş katılar seviyesi genellikle yaklaşık 35,000 ppm düzeyindedir. Bu durum, deniz suyunun kazan besleme suyu veya diğ er hassas uygulamalarda doğrudan kullanılmasını güçleştirmektedir.

Partiküller ve Organik Madde: Deniz suyu kolloidal tanecikler, plankton, algler ve diğ er deniz organizmalarını içermekte olup, bu bileşenler suyun biyolojik olarak kirlenmesine neden olabilmektedir.

Korozyon Potansiyeli: Yüksek tuz içeriği nedeniyle deniz suyu, metaller üzerinde g   l  bir korozyon potansiyeline sahiptir; dolayısıyla, deniz suyu ile temas eden ekipmanların dayanıklı malzemelerden imal edilmesi gerekmektedir.

Genel olarak, deniz suyu kıyı bölgelerindeki termik santrallerde soğutma suyu olarak kullanılmakta, soğutma sistemlerinde ısı transferini sağladıktan sonra denize geri deşarj edilmektedir. Ancak, deniz suyu kazanlarda veya buhar sistemlerinde doğrudan kullanılmamaktadır;    nk  yüksek tuz içeriği, yüksek sıcaklıklarda kireçlenme ve korozyon gibi olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Ters Ozmoz: Deniz suyu, enerji santrallerinde kazan besleme suyu olarak kullanılacaksa, ters ozmoz sistemiyle arıtılmaktadır. Ters ozmoz, sudaki    z n m ş tuzları ve mineralleri gidererek yüksek saflıkta su elde edilmesini sağlamaktadır.

Soğutma: Deniz suyu, büyük hacimlerde bulunması ve doğal soğutma özelliklerine sahip olması nedeniyle enerji santrallerinin soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Ancak,  evre yönetmelikleri sıcak suyun denize geri salınmasına ilişkin düzenlemeler içermektedir.

Sonuç olarak, enerji santrallerinde kullanılan ham su kaynakları; santralin bulunduğu bölgedeki doğal kaynaklara ve su ihtiyacına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yüzey suları, yer altı suları ve deniz suyu gibi farklı kaynaklar, santral operasyonlarının sürekliliği açısından kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, bu su kaynakları çeşitli mineraller, partiküller, organik maddeler ve    z n m ş iyonlar içerebildiğinden, enerji santrallerinde kullanılan suyun arıtılması; sistem verimliliğinin artırılması ve ekipman ömrünün uzatılması açısından zorunludur [33-35].

3.2. PROSESTE KULLANILAN SU ÇEŞİTLERİ

Enerji santrallerinde kullanılan su, tesisin türüne ve uygulanan teknolojilere bağlı olarak farklı niteliklerde olabilmektedir. Su, elektrik üretiminde temel bir bileşen olup buhar üretimi, soğutma ve temizleme gibi birçok kritik süreçte kullanılmaktadır. Ancak suyun kalitesi, santral verimliliğini ve ekipman ömrünü etkilediğinden dolayı enerji santrallerinde kullanılan farklı su türleri ve bu suların özellikleri daha ayrıntılı olarak incelenmelidir.

3.2.1. Ham Su (Ham madde Su)

Enerji santralinde işlenmemiş, doğrudan doğal su kaynaklarından temin edilen sudur. Bu su; göller, nehirler, yer altı su kaynakları veya deniz gibi kaynaklardan elde edilebilmektedir. Ancak, içerdiği mineraller, partiküller ve mikroorganizmalar nedeniyle enerji santrallerinde kullanılmadan önce arıtılması gerekmektedir. Ham suyun genel özellikleri şunlardır:

İyon İçeriği: Ham su, doğal su kaynaklarına bağlı olarak Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- gibi iyonlar ve mineral içerebilir.

Partiküller ve Organik Madde: Ham su, doğal süreçlerle sudan çöken kil, kum gibi partikülleri ve organik materyalleri (yosun, bitki artıkları) içerebilir.

Kirlilik: Ham su, genellikle endüstriyel atıklar, tarımsal kirlilik, biyolojik kirlleticiler gibi çeşitli safsızlıklar içerebilir.

Ham su, genellikle enerji santralinin soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır; ancak bu amaçla kullanılmadan önce belirli düzeylerde arıtılması gerekmektedir. Örneğin, partiküllerin ve organik maddelerin filtrelenmesi zorunludur [36].

3.2.2. Soğutma Suyu

Enerji santrallerinde en yoğun su kullanımı, soğutma sistemlerinde gerçekleşmektedir. Soğutma suyu, termik enerji santrallerinde buhar türbinlerinden çıkan sıcak buharın yoğunlaştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Su, buharla temas ederek ısıyı alır ve yoğunlaşarak tekrar su haline dönüşür; bu süreç, santralin termal verimliliğinin artırmaktadır. Soğutma suyunun genel özellikleri şunlardır;

İletkenlik: Soğutma suyunun iletkenliği düşük olmalıdır, çünkü yüksek iletkenlik, ekipmanlarda korozyona neden olabilir.

Kirlilik Seviyesi: Soğutma suyunda belirli miktarda çözünmüş tuzlar ve mineraller olabilir, ancak bunlar, sistemde birikinti veya kireçlenme oluşturmamalıdır.

Soğutma sistemleri genellikle iki yöntem kullanır.

Devre Soğutma: Su, nehir, göl veya deniz gibi kaynaktan alınır ve işlevini yerine getirdikten sonra kaynağa geri bırakılır.

Kapalı Devre Soğutma: Su bir soğutma kulesinde dolaştırılır ve tekrar kullanılır. Bu süreçte su, buharlaşma yoluyla soğur ve eksilen su yerine takviye eklenir.

Soğutma suyu, termik enerji santrallerinde en yaygın kullanılan su türüdür. Yoğunlaştırıcılar, ısıнын buharı soğutarak yoğunlaştırdığı yerlerdir ve burada kullanılan suyun kalitesi, sistem verimliliğini etkilemektedir. Ayrıca soğutma sistemlerinde kullanılan suyun içeriği, borularda ve ekipmanlarda kireç birikmesini önlemek amacıyla düzenli olarak kontrol edilmelidir [37].

3.2.3. Besleme Suyu (Buhar Kazanı Suyu)

Besleme suyu, enerji santrallerinde kullanılan en önemli su türlerinden biridir. Bu su, buhar kazanlarına beslenerek ısıtılır ve buhar üretimini sağlar. Besleme suyunun kalitesi, kazanlarda birikinti ve korozyon oluşumunu engellemek açısından büyük önem taşımaktadır. Kazan suyu yüksek sıcaklık ve basınca maruz kaldığı için, suyun safsızlık içermemesi hayati önemi bulunmaktadır. Besleme suyunun genel özellikleri şunlardır;

İyon İçeriği: Besleme suyu, neredeyse tamamen iyonlardan arındırılmış olmalıdır. Özellikle Ca^{2+} ve Mg^{2+} gibi sertlik oluşturan iyonlar, kazan borularında kireç birikimine ve performans kaybına neden olmaktadır.

Direnç: Besleme suyunun direnci çok yüksek olmalıdır. Ultra saf su seviyesinde yüksek direnç değerlerine ulaşılması, iyonların minimum seviyede olduğunu göstermektedir.

pH Değeri: Besleme suyu hafif bazik (pH 8-9 aralığında) olmalıdır, çünkü asidik karakterdeki su kazanlarda korozyona neden olmaktadır.

Arıtma: Bu suyun arıtılması genellikle ters ozmoz, iyon değişimi ve demineralizasyon süreçleriyle gerçekleştirilmektedir.

Besleme suyu özellikle buhar kazanlarında kullanılmaktadır. Buhar kazanının verimli çalışabilmesi için suyun tamamen saf ve kimyasal olarak kararlı olması gerekmektedir. Herhangi bir safsızlık, yüksek sıcaklıklarda kazanın iç yüzeylerinde birikintiler

oluşturmakta ve bu durum verim kaybına neden olmaktadır [37-42].

3.2.4. Saf Su

Saf su, kimyasal bileşim olarak sadece H₂O moleküllerini içermektedir. Bu, içerisinde herhangi bir iyon, çözünmüş gaz, organik madde veya başka kimyasal bileşik bulunmadığı anlamına gelmektedir. Doğada nadiren karşılaşılan en yüksek saflıkta su, saf sudur; çünkü doğal su kaynakları her zaman çeşitli çözünmüş maddeler ve safsızlıklar içermektedir [43].

3.2.4.1. Arıtma Yöntemleri

Saf su elde etmek için yaygın kullanılan arıtma yöntemleri şunlardır:

Distilasyon: Suyun buharlaştırılması ve ardından yoğunlaştırılmasıyla su moleküllerinin safsızlıklardan ayrıştırılması yöntemidir. Su kaynatıldığında oluşan buhar yoğunlaştırılarak saf su elde edilmektedir.

Ters Ozmoz: Suyu yarı geçirgen zardan yüksek basınç altında geçirerek çözünmüş iyonları ve safsızlıkları uzaklaştırmaktadır. Ters ozmoz genellikle içme suyu arıtma sistemlerinde kullanılmaktadır.

Deiyonizasyon (Demineralizasyon): İyon değişim reçineleri kullanılarak sudaki iyonların (örn. Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺) sudan uzaklaştırıldığı bir süreçtir. Bu işlem sonucunda, elektrik iletkenliği oldukça düşük olan deiyonize su elde edilmektedir.

Ultra-filtrasyon: Mikron boyutlarındaki filtreler aracılığıyla partikül ve mikroorganizmalar sudan uzaklaştırılmaktadır; ancak bu yöntem iyonların giderilmesinde genellikle etkili olmamaktadır.

3.2.4.2. Saf Su ve İletkenlik

Saf su, iyon konsantrasyonunun çok düşük olması nedeniyle elektrik iletkenliği açısından zayıftır. Normal içme suyu, Na⁺, Cl⁻ ve Mg²⁺ gibi iyonlar içererek elektrik iletimini sağlarken, saf sudan bu iyonlar uzaklaştırılsa bile iletkenlik yaklaşık 0,055 µS/cm seviyesine düşmektedir. Ancak saf su, atmosferle temas ettiğinde karbon dioksit absorbe ederek hafif asidik bir yapıya bürünmekte ve bu durum elektrik iletkenliğinin artmasına neden olmaktadır.

3.2.4.3. Fiziksel Özellikler

Saf suyun yoğunluğu 1 g/cm³'tür (4°C'de). Ancak sıcaklık arttıkça yoğunluk düşmektedir. Atmosferik basınç altında saf suyun kaynama noktası 100°C'dir. Çözünmüş maddeler eklenirse, suyun kaynama noktası artabilir. Saf su 0°C'de donar. Ancak suyun içerdiği çözünmüş maddeler, bu noktayı düşürebilir. Saf suyun buharlaşması için gerekli olan ısı miktarı yüksektir, bu da suyun enerjiyi depolama kapasitesinin yüksek olmasına neden olur (örneğin, buharlaşma entalpisi yaklaşık 40,65 kJ/mol).

3.2.4.4. Saf Su ve pH

Tam anlamıyla saf suyun pH değeri 7 olmalıdır. Ancak saf su, çevresiyle etkileşime girdiğinde pH'ı değişebilir. Örneğin, saf su havayla temas ettiğinde atmosferdeki karbon dioksiti absorbe eder ve suyun içinde karbonik asit (H₂CO₃) oluşur. Bu, suyun hafif asidik hale gelmesine (pH ~5.5-6.5) yol açabilir.

3.2.4.5. Kimyasal Saflık

Saf su, laboratuvar deneylerinde kullanıldığında, kimyasal reaksiyonları etkileyebilecek safsızlıklardan tamamen arındırılmış olmalıdır. Çözünmüş iyonlar veya kimyasal maddeler, reaksiyonların hızını, yönünü ve sonucunu değiştirebilir. Saf suyun kimyasal saflığı şu şekilde sınıflandırılabilir:

Tip I: Ultra saf su kalitesidir. Hassas analitik işlemler ve yüksek hassasiyetli deneyler için kullanılır (örn. nükleer ve moleküler biyoloji çalışmaları).

Tip II: Genel laboratuvar çalışmaları için kullanılan sudur. Çoğu kimyasal deney ve analitik işlem için yeterli saflıktadır.

Tip III: Yüksek safsızlık içermeyen işlemler için kullanılır. Örneğin, cam eşyaların temizlenmesi gibi laboratuvar işlemlerinde tercih edilir.

3.2.4.6. Saf Suyun Zorlukları

Saf su, çevresine karşı yüksek reaktivite gösterebilir. Örneğin, çok saf su metal yüzeylerden iyon çekme eğiliminde olduğundan, korozyon veya metal çözünmesine yol açabilir. Ayrıca, saf suyun üretimi enerji gereksinimi yüksek bir süreç olduğundan, büyük miktarlarda üretimi maliyetli olmaktadır. Kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle saf su, birçok endüstride ve bilimsel çalışmada kritik öneme sahiptir. İletkenliği, saflığı ve kimyasal reaksiyonlara duyarlılığı sebebiyle saf suyun kalitesi, kullanılacağı uygulamalara uygun şekilde titizlikle kontrol edilmekte ve korunmaktadır [43-45].

3.2.5. Ultra Saf Su

Ultra saf su genellikle kimyasal saflığa ve düşük iletkenliğe sahiptir. Sudaki toplam organik karbon (TOC), çözünmüş gazlar ve katı maddeler çok düşük seviyelere indirilmiştir.

3.2.5.1. Saflık Dereceleri

Ultra saf suyun saflık derecesi, sektörde kullanılacağına bağlı olarak değişmektedir. Saflık dereceleri aşağıdaki parametrelerle belirlenmektedir;

Toplam Organik Karbon: Ultra saf suda TOC seviyesi, genellikle <5 düzeyinde olması suyun içinde neredeyse hiç organik madde bulunmadığını göstermektedir.

İletkenlik: Ultra saf suyun iletkenliği, 0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$ veya daha düşük bir seviyede olması iyonların sudan tamamen uzaklaştırıldığını göstermektedir.

Direnç: Ultra saf suyun tipik direnci 18,2 M Ω .cm civarındadır.

İyon ve Partikül Konsantrasyonu: Ultra saf su, katı parçacıklardan tamamen arındırılarak nanometre boyutlarına kadar filtrelenmektedir.

Bakteriyel Saflık: Ultra saf suyun bakteri içermesi, özellikle biyoteknoloji ve ilaç endüstrisinde mikroorganizmaların varlığı, ürünleri ve süreçleri olumsuz etkilemektedir [46].

3.2.5.2. Üretim Süreci

Üretim süreci farklı birkaç arıtma aşamasını içermektedir;

Ters Ozmoz: İlk aşamada, büyük moleküller ve çözünmüş iyonlar ters ozmoz membranları aracılığıyla uzaklaştırılmaktadır. Ters ozmoz suyu, ultra saf su için bir ön işlem olarak kabul edilmektedir.

Deiyonizasyon: Suyun içerisindeki iyonları uzaklaştırmak için iyon değişim reçinelerinin kullanıldığı bir süreçtir. Hem katyonlar hem de anyonlar sudan uzaklaştırıldığı için, suyun iletkenliğini azaltır.

Elektrodeiyonizasyon: Deiyonizasyon sürecini sürekli hale getiren teknolojiye sahip EDİ, hem iyonların sudan uzaklaştırılması hem de iyon değişim reçinelerinin yenilenmesi için elektrik akımını kullanarak, safsızlıkların iyonlaşmış formları sudan neredeyse tamamen uzaklaştırılmaktadır.

Ultrafiltrasyon: 0,2 µm veya daha küçük gözenek boyutlarına sahip filtreler kullanılarak mikro ve nanometre boyutundaki partiküller ve bakteriler sudan arındırılmaktadır.

UV Oksidasyonu: UV ışınımı, organik molekülleri parçalar ve daha basit bileşenlere ayırarak toplam organik karbon seviyesini düşürmektedir.

Gaz Arıtma: Çözünmüş oksijen ve karbondioksit gibi gazların arındırılması için gaz çıkarıcı sistemler kullanılmaktadır.

3.2.5.3. *Ultra Saf Suyun Teknik Özellikleri*

İyon İçeriği ve Kimyasal Safılık: Ultra saf su, Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} gibi iyonların, çözünmüş gazların ve partiküllerin tamamen sudan uzaklaştırılmış formudur.

Partikül ve Bakteri Seviyesi: Nano boyutta partiküllerin uzaklaştırılması ve mikroorganizmaların sudan tamamen arındırılması, ultra saf suyun bakteriyel saflık seviyesinin en üst düzeye çıkarılmasını sağlamaktadır.

Termodinamik Kararlılık: İyon içermemesi, suyun havadaki karbondioksit gazını absorbe etme eğilimini artırmaktadır. Bundan dolayı suyun hava ile temasının minimize edilmesi gerekmektedir.

Ultra saf su, yarı iletken üretimi, ilaç endüstrisi, biyoteknoloji ve genetik araştırmalar, enerji santralleri gibi çeşitli yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılmaktadır.

3.2.5.4. *Zorluklar ve Riskler*

İyon absorbe etme eğiliminden dolayı metal yüzeylerin korozyona uğramasına neden olmaktadır. Ayrıca, reaktif olması atmosferle temas ettiğinde hızlıca gazları ve partikülleri absorbe etmektedir. Bu nedenle, uygun koşullar altında saklanmalı ve taşınmalıdır [46-49].

3.2.6. **Atık Su**

Enerji santralleri, operasyonları sırasında kullanılan suyun, iyonlar, mineraller ve organik bileşikler içeren kısmını dışarı atmaktadır. Atık su, çevreye salınmadan önce arıtılmalı ve kirletici maddelerden arındırılmalıdır. Çoğu enerji santrali, atık suyu arıtmak için ileri arıtma sistemleri kullanmaktadır. Genellikle işlem sırasında yüksek sıcaklıklara maruz kalan atık su çevreye zarar vermemesi için soğutma işlemi uygulanmaktadır.

Sonuç olarak enerji santrallerinde kullanılan suyun çeşitleri, santral tipine ve süreçlerine göre büyük farklılıklar göstermektedir. Soğutma suyu, besleme suyu, ultra saf su gibi

türler, termal verimlilik ve ekipman ömrü üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Saf su ve ultra saf su gibi saflaştırılmış sular, özellikle yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışan buhar kazanları ve türbinler için hayati önem taşırken, soğutma suyu genellikle daha düşük saflık seviyesine sahip olabilir. Ancak her durumda, suyun kalitesi ve saflık derecesi enerji santrallerinin performansını ve sürdürülebilirliğini belirleyen kritik bir faktördür [50-52].

3.2.7. Kazan Suyu (Besleme Suyu)

Kazan suyu hazırlama ve yönetimi, termik santrallerde enerji üretim sürecinde hayati öneme sahiptir. Kazan suyu, buhar türbinlerini çalıştırmak için yüksek basınç ve sıcaklıkta buhara dönüştürülen suyun en kritik bileşenidir. Kazan suyu kalitesi, santralin verimliliğini ve uzun ömürlülüğünü doğrudan etkilemektedir. Özellikle kazan suyundaki safsızlıklar, silika gibi maddeler büyük problemlere yol açabilir. Bu çalışmada, kazan suyunun hazırlanma aşamaları, silikanın yol açtığı sorunlar ve verim hesapları detaylı olarak ele alınmıştır.

Kazan suyunun hazırlanması ve şartlandırılması, termal santrallerde ve endüstriyel buhar üretim sistemlerinde kritik bir süreçtir. Uygun su kalitesinin sağlanamaması, kazanların verimliliğini azaltabilir, ekipmanların ömrünü kısaltabilir ve maliyetli hasarların oluşmasına yol açabilir. Özellikle suyun içinde bulunan bazı kirleticiler, kazan operasyonları üzerinde doğrudan etkili olabilir. Bunlardan en önemlisi silikadır (SiO_2). Silika, kazan sistemlerinde önemli problemlere neden olabilen bir kirleticidir ve uygun şekilde yönetilmezse, ciddi operasyonel ve ekonomik kayıplar doğurabilir [53].

3.2.7.1. Kazan Suyu Hazırlığı Aşamaları

Kazan suyunun hazırlanmasında ilk adım, suyun ham halindeki kirleticilerden arındırılmasıdır. Bu işlem, suyun içerisindeki kaba katı maddeleri, koloidal kirleticileri, organik maddeleri ve çözünmüş gazları uzaklaştırması amaçlanmaktadır. En yaygın kullanılan ön arıtma yöntemleri şunlardır;

Ham Su Arıtımı: Doğrudan doğal kaynaklardan alınan ham su, kalsiyum, magnezyum, bikarbonat, sülfat, klorür ve özellikle silika (SiO_2) gibi mineraller içermektedir. Bu mineraller, buhar sistemlerinde kireçlenme ve birikimlere neden olarak sistemin verimliliğini düşürmektedir. İlk aşamada, ham su ön filtrelerden geçirilerek büyük parçacıklar, kum ve tortular uzaklaştırılmaktadır.

Kimyasal Koagülasyon ve Çöktürme: Suyu kimyasal maddeler (genellikle alüminyum sülfat veya demir klorür) eklenerek suyun içindeki çözünmüş maddeler ile çöktürülmektedir. Bu işlem, suyun bulanıklığını ve renklenmesini sağlayan küçük partikülleri ve kolloid maddeleri sudan uzaklaştırmaktadır.

Filtrasyon: Çöktürmeden sonraki bu işlemde su, kum, aktif karbon gibi filtre malzemelerinden geçirilerek kalan partiküller sudan uzaklaştırılarak ince taneli partiküller, mikroorganizmalar ve kolloidal maddeler tutulmaktadır.

Yumuşatma (İyon Değiştirme): Ca^{2+} ve Mg^{2+} gibi suyun sertliğini artıran iyonların reçineler aracılığıyla sodyum iyonları ile yer değiştirerek suyun kireçlenme riskini azaltmaktadır ve borularda, türbinlerde ve kazanlarda kireç tortusu oluşumunu önlemektedir.

Demineralizasyon: Katyon ve anyon değiştirici reçineler kullanılarak, suyun içindeki tüm pozitif ve negatif yüklü iyonlar sudan uzaklaştırılmaktadır. Demineralize su, kazan sistemlerinde kullanılabilecek en yüksek kalitedeki sudur.

Ters Ozmoz: Membran teknolojisi kullanılarak sudaki çözünmüş iyonların ve partiküllerin uzaklaştırıldığı bir arıtma yöntemidir. Yüksek basınç altında su, yarı geçirgen bir membran üzerinden geçirilir ve sadece su molekülleri membranı geçerken, silika ve diğer çözünmüş maddeler sistemden ayrılır [54].

3.2.7.2. Silika Giderimi

Yüksek sıcaklık ve basınçta buharla birlikte sürüklenerek türbin kanatlarına yerleşen silikanın verim kaybına neden olması, kazanın en büyük problemlerinden biridir. Silikanın giderimi için ters ozmoz, iyon değiştirici reçineler ve elektrodializ yöntemleri tercih edilmektedir. Özellikle iyon değişim süreçlerinde, silika hem katyon hem de anyon değişim ünitelerinden geçerek sudan tamamen uzaklaştırılabilir.

Silikanın neden olduğu sorunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Kireçlenme ve Tıkanma: Silika, kazanda buharlaşma ile taşınarak boruların ve türbin kanatlarının yüzeylerinde sert bir tabaka oluşturarak ısı transferini engeller ve ekipmanın verimliliğini düşürür. Türbin kanatlarında biriken silika, mekanik aşınmalara ve korozyona yol açabilir.

Türbin Performansı: Silika, türbin kanatlarının yüzeyine yapışması aerodinamik yapıları bozmaktadır. Bu durum, türbinlerin verimli çalışmasını engeller ve enerji üretiminde

düşürür. Sonuç olarak, türbin kanatlarında silika birikimi, bakım sürelerinin uzamasına ve sistemin daha sık arıza yapmasına neden olmaktadır.

Bakım Maliyeti: Silika birikimi, kazanın ve türbinlerin düzenli olarak temizlenmesi maliyetli ve zaman kaybıdır. Santralin bakım süreleri arttıkça, operasyon maliyetleri de doğru orantılı olarak artmaktadır [55].

Verim: Kazan verimliliği, kazan içerisindeki yakıt enerjisinin ne kadarının buhara dönüştürüldüğünü belirleyen bir parametredir. Verimlilik hesaplaması, kazanın ısı verimliliğini ve buhar üretimi sırasında oluşan kayıpları dikkate alır.

Çıkan buhar enerjisi, buharın kütlesi ve entalpisine bağlı olarak hesaplanır. Giren yakıt enerjisi ise yakıtın kalorifik değerine ve kazan içerisinde yanan yakıt miktarına göre belirlenir.

Silika tortusu, ısı transferini engellediği için daha fazla yakıt tüketimi gerektirir. Enerji santrallerinde, kazanların yakıt verimliliği genellikle %90'ın üzerinde olmalıdır, ancak silika birikimi nedeniyle bu verimlilik %10-20 oranında düşebilir. Dolayısıyla, silika giderimi ve kazan suyu yönetimi, enerji santrallerinin uzun ömürlü ve verimli çalışması için hayati öneme sahiptir [53-58].

3.2.8. Buhar

Termik santrallerde buhar ve türbinler, elektrik enerjisi üretim süreçlerinin temelini oluşturmaktadır. Buhar, enerjinin iletimini sağlayarak, türbinler aracılığıyla mekanik enerjiye, daha sonra da jeneratörlerle elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Buhar kalitesi, türbinlerin verimliliğini ve güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Silika gibi safsızlıkların varlığı, buharın türbinler üzerindeki etkisini olumsuz yönde etkileyerek santral performansında ciddi düşüşlere yol açmaktadır.

3.2.8.1. Buharın Termik Santrallerdeki Rolü

Buhar, termik santrallerde enerji taşıyıcısı olarak kullanılmaktadır. Kömür, doğalgaz, biyokütle vb. yakıtlardan elde edilen ısı, suyu buhara dönüştürmektedir. Yüksek basınç ve sıcaklıktaki buhar, santrallerdeki türbinleri döndürerek mekanik enerji üretmektedir. Buhar sistemi, ısı enerji dönüşümünün merkezi olup aşağıdaki aşamaları içerir:

Su Hazırlama ve Arıtma: Kazan suyunun safsızlıklardan arındırılması, buhar üretiminde en kritik adımlardan biridir. Buhar sistemine giren suyun safsızlık içermesi, buhar kalitesini ve türbinlerin verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

Buhar Üretimi: Kazanlarda su, yüksek sıcaklıklara ısıtılarak buhara dönüştürülmektedir. Buharın basıncı ve sıcaklığı, enerji verimliliği açısından önemlidir. Genellikle süper kritik veya ultra süper kritik basınç ve sıcaklıklarda çalışılmaktadır.

Buharın Kullanımı: Üretilen buhar, yüksek basınçta türbinlere yönlendirilerek türbin kanatları üzerinde hızla genişlemesi mekanik enerji açığa çıkarmaktadır. Türbinler, jeneratörleri döndürerek elektrik enerjisi üretmektedir [59].

3.2.8.2. Buhar Türbinleri

Buhar türbinleri, termik santrallerde buharın enerjisinden yararlanarak jeneratörleri çalıştıran makinelerdir. Temel çalışma prensibi, belli bir basınç ve hızı, türbin kanatlarına çarparak dönme hareketi üretmesidir. Türbinler genel olarak iki ana tipte olabilir:

Darbe (Impulse) Türbinler: Buharın kinetik enerjisi, sabit hızda türbin kanatlarına çarpar ve mekanik enerji üretmektedir. Bu tür türbinlerde, buhar basıncı sabit kalır, ancak hızındaki değişim enerji üretimine katkı sağlamaktadır.

Reaksiyon Türbinler: Buhar, kanatlar arasında genişlerken hem hız hem de basıncında azalma meydana gelmektedir. Bu tip türbinler, buharın basınç ve hız enerjisini aynı anda kullanarak enerji üretmektedir.

Türbinlerin verimliliği, kullanılan buharın kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Yüksek basınç ve sıcaklıkta, safsızlıklardan arındırılmış buhar kullanıldığında türbin verimliliği en üst düzeye çıkmaktadır. Ancak, buharın içinde bulunan katı partiküller, kimyasal bileşenler veya çözünmüş gazlar türbin kanatlarında erozyon ve korozyon gibi problemlere neden olabilmektedir. Bu da türbin verimliliğini düşürür ve bakım maliyetlerini artırmaktadır [60].

3.2.8.3. Buhar-Türbin Sisteminde Silika Sorunu

Buharın içerdiği silika, yüksek basınç ve sıcaklıklarda buhar fazına geçer ve türbin kanatlarında birikme yaparak, verimlilik kayıplarına ve ekipman hasarına yol açmaktadır.

Silika, su içinde çözünmüş halde bulunur ve kazanda buhar üretimi sırasında buharla birlikte taşınabilmektedir. Bu taşınma, özellikle yüksek sıcaklık ve basınç altında silikanın buhar fazına geçişine bağlıdır. Silikanın çözünürlüğü sıcaklıkla artmakta, bu nedenle buhar sisteminde buhar fazına geçen silika miktarı, sistem sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Kritik buhar sıcaklıklarının (300 °C'nin üzeri) aşılması durumunda silikanın buhar fazına geçerek taşınabilir hale gelmesi, buhar türbinlerinde birikime ve

performans kaybına neden olan ciddi bir sorun oluşturur. Türbin kanatlarına yerleşen silika, zamanla kalın ve sert bir tabaka oluşturmaktadır. Bu birikim, ısı transferinin azalmasına, mekanik aşınım, bakım sürelerinin uzamasına neden olmaktadır [61].

3.2.8.4. Silikanın Birikiminin Kazan Verimliliği ve Hesaplamaları Üzerindeki Etkisi

Silika sadece türbinlerde değil, kazan verimliliğinde de büyük problemlere yol açmaktadır. Kazanda biriken silika tortuları, kazan borularında tıkanmalara ve ısı transferinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda, kazanlar daha fazla yakıt tüketmesine rağmen aynı miktarda buhar üretememektedir. Silika birikimi nedeniyle kazan verimliliği %5-15 oranında düşebilmektedir. Kazan verimliliği, kazana verilen yakıt enerjisinin ne kadarının buhara dönüştüğünü göstermektedir. Silika tortusu nedeniyle kazan verimliliğinde %10'a varan kayıplar görülebilir. Santrallerde türbin ve kazan verimliliği, silika gibi safsızlıkların neden olduğu verim kayıpları dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Türbin verimliliği, türbine giren buhar enerjisinin ne kadarının mekanik enerjiye dönüştürüldüğünü göstermektedir.

Silika birikimi sonucunda üretilen mekanik enerji azalır, bu da verimliliğin düşmesine neden olur. Örneğin, silika birikimi %5'lik bir enerji kaybına yol açabilir.

Silika kaynaklı sorunları en aza indirmek için santrallerde su arıtma ve buhar kalitesini iyileştirme stratejileri uygulanmaktadır. Bu stratejiler, silikanın sudan tamamen uzaklaştırılmasını ve kazan-türbin sistemlerine ulaşmamasını amaçlamaktadır. İyon değiştirici reçineler, ters ozmoz ve demineralizasyon gibi teknikler, buhar-türbin sistemlerinde silikanın uzaklaştırılması amacıyla tercih edilmektedir.

Buhar ve türbinler, termik santrallerde enerji üretiminin en kritik bileşenleridir. Ancak, bu sistemlerin verimliliği, kullanılan buharın saflığına ve buhar içindeki safsızlıkların miktarına bağlıdır. Silika gibi safsızlıklar, buhar sistemlerinde ciddi problemlere yol açarak türbinlerin performansını düşürmekte ve bakım maliyetlerini artırmaktadır. Bu nedenle, silika giderme yöntemlerinin uygulanması, santral verimliliği açısından büyük öneme sahiptir. Termik santrallerde buhar-türbin-silika ilişkisi dikkate alınarak, bu sistemlerin verimliliği artırılmakta ve enerji üretiminde sürdürülebilirlik sağlanabilmektedir [60-64].

3.2.9. Silika

Silika, doğada geniş ölçekte bulunan ve çoğunlukla kuvars formunda rastlanan bir bileşiktir. Silika, kayaların aşınmasıyla, volkanik süreçlerle ve diğer jeolojik olaylarla oluşmaktadır. Su kaynaklarına yağmur suyu, yer altı suları veya yüzey akıntılarıyla taşınabilmektedir. Özellikle yer altı suları, kayalarla temas ettiğinde silika çözünerek suya karışmakta ve bu çözelti santrallere besleme suyu olarak gelmektedir.

Silikanın oluşumu ve su sistemlerindeki gelişimi aşağıdaki süreçlerle açıklanabilir:

Doğal Erozyon: Silika, doğal erozyonla yer kabuğundaki kuvars minerallerinin yıpranmasıyla ortaya çıkmaktadır. Rüzgâr, yağmur ve sıcaklık farklılıkları, kayaların aşınmasına neden olmakta, bu süreç sonucunda silika çözülerek su kaynaklarına karışmaktadır.

Kimyasal Çözünme: Doğadaki silika, suyun pH ve sıcaklığına bağlı olarak çözünmektedir. Yer altı suları ve yüzey suları, özellikle asidik veya alkali ortamlarda silikayı çözerek suya taşımaktadırlar. Özellikle yer altı suları daha yüksek oranda çözünmüş silika içermektedirler.

Volkanik Kaynaklar: Volkanik aktivite sonucu oluşan lavların katılaşması sırasında silika içerikleri doğrudan çevreye yayılmakta ve yüzey akıntılarıyla su sistemlerine karışabilmektedirler.

Silikanın su sistemlerinde çözünürlüğü, sıcaklık ve pH ile ilişkilidir. Termik santrallerdeki yüksek sıcaklık, su buharlaşırken silikanın tekrar katı forma dönüşmesine neden olur ve bu da tortu oluşumunu hızlandırmaktadır. Silikanın su sistemlerinde çözünürlüğü, sıcaklık ve pH ile ilişkilidir [63-65].

3.2.9.1. Silika ve Demineralizasyon Sistemleri Üzerindeki Etkisi

Demineralizasyon sistemleri, suyu saflaştırmak için iyon değişimi ya da ters ozmoz gibi yöntemleri kullanılmaktadır. Silika, reaktif ve kolloidal olmak üzere iki formda bulunabilir. Reaktif silika çözünmüş halde bulunur ve iyon değişim sistemleri ile membranlarda kolaylıkla tutulabilirken, kolloidal silika çözünmemiş süspansiyon halinde olduğu için arıtılması daha zordur.

Silika, termik santrallerde kullanılan demineralizasyon sistemlerinde büyük sorunlar yaratmaktadırlar. Demineralizasyon, besleme suyundan mineralleri ve diğer istenmeyen bileşenleri uzaklaştırmak için kullanılan işlemleri içermektedir. Silikanın bu sistemlerde

neden olduğu problemler, aşağıda detaylandırılmıştır:

İyon Değişim Reçineleri: Standart katyon ve anyon reçineleri, silika üzerinde sınırlı etkiye sahiptir, özellikle kolloidal formdaki silika bu reçinelerden geçebilir ve sonraki aşamalarda sorun yaratabilir.

Ön Arıtma: Sudaki büyük partikülleri ve askıda katı maddeleri uzaklaştırmayı amaçlamaktadır. Ancak, silika genellikle çözünmüş halde bulunduğu için bu aşamada tamamen giderilemez. Ön arıtma aşamasında koagülant ve flokülantlar kullanılsa da, çözünmüş silika bu işlemlerle giderilememektedir. Bu nedenle, bu aşamadan geçen su belirli oranda silika içermeye devam eder ve sonraki arıtma süreçlerinde sorunlara yol açabilmektedir.

Filtrasyon: Sudaki ince parçacıkları ve organik maddeleri gidermek için kullanılmaktadır. Genellikle kum veya aktif karbon filtreleri kullanılarak gerçekleştirilen bu işlemde silika, fiziksel olarak tutulmamaktadır. Filtrasyon süreci boyunca sudaki silika konsantrasyonu değişmediğinden, bu durum sonraki arıtma sistemlerinde daha yüksek yük oluşmasına neden olmaktadır.

Ters Ozmoz: Basınç uygulanan yarı geçirgen bir membran aracılığıyla suyu saflaştıran membran temelli bir sistemdir. Ancak çözünmüş silika, membran yüzeylerinde birikerek zarar vermektedir. Bu birikim, suyun akış hızını düşürmekte ve membranların verimliliğini azaltmaktadır. Membranlar düzenli olarak temizlenmediğinde tıkanmalar artmakta ve sistem performansında belirgin bir düşüş yaşanmaktadır.

Ters ozmoz membranları reaktif silikayı önemli ölçüde azaltabilir, ancak kolloidal silika karşısında yetersiz kalmaktadır. Bu durum, sistem verimliliğini azaltmaktadır ve daha sık membran temizliği ya da değişimi gerektirmektedir.

Yüksek performans gösteren bir ters ozmoz sisteminde silika ret oranı %90'a kadar çıkabilir; ancak verimsizlikler enerji maliyetlerini artırabilir ve sistemin durmasına sebep olabilir. Ters ozmoz membranlarında yeterli silika giderimi sağlanamadığında ise sistem performansı düşer ve işletme maliyetleri önemli ölçüde artmaktadır.

Ultrafiltrasyon: Mikro düzeydeki parçacıkları uzaklaştıran bir arıtma yöntemi olan ultrafiltrasyon, çözünmüş silika moleküllerinin moleküler boyutta olması nedeniyle bu molekülleri tutamamaktadır. Bu yöntem, sudaki daha büyük maddeleri ve askıda katı partikülleri giderirken, çözünmüş silika arıtma sürecinden etkilenmeden geçmektedir.

ElektroDeiyonizasyon: Ters ozmozun ardından uygulanan bir saflaştırma işlemi olan EDİ, iyon değişimi ve elektriksel alan kullanarak suyun arıtılmasını sağlar. Ancak silika iyonik bir bileşik olmadığından, bu aşamada etkili şekilde giderilememektedir. Silika, sistemdeki iyon değişim reçinelerinde birikerek bu sistemlerin verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilir.

Kazan Verimliliği Üzerindeki Etki: Kazanlarda besleme suyu içerisindeki silika, yüksek sıcaklık altında buharla taşınır ve kazanın iç yüzeylerinde tortu biriktirir. Silika tortuları, ısı transferini engelleyerek enerji kayıplarına neden olur.

Buhar Türbinlerindeki Etki: Kazan sistemlerinden gelen buharla taşınan silika, türbin kanatlarında birikim yaparak türbinin aerodinamik performansını düşürmektedir. Türbin kanatlarında biriken silika tortuları, kanatların yüzey pürüzlülüğünü artırarak, buharın türbin içinde serbestçe akmasını engellemektedir.

Silikanın termik santrallerde hem kazanlar hem de türbinler üzerinde büyük etkileri vardır. Silika birikimi, enerji üretim kapasitesini azaltarak santralin verimliliğini önemli ölçüde düşürmektedir. Bu nedenle, silikanın etkin bir şekilde kontrol edilmesi, santralin verimliliğini artırmak ve ekonomik kayıpları en aza indirmek için kritik öneme sahiptir [62-67].

3.2.10. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis, toprak ve su ortamlarında yaygın olarak bulunan, gram-pozitif bir bakteridir. İlk kez 1835 yılında Christian Gottfried Ehrenberg tarafından tanımlanmış olup, uzun süre boyunca tarım ve sanayi alanında biyoteknolojik uygulamalar için kullanılmıştır. Doğal olarak çevre koşullarına karşı oldukça dirençli olan bu bakteri, biyofilmler oluşturarak çevre koşullarına adaptasyon gösterir ve spor oluşturma yeteneği sayesinde zorlu ortamlarda hayatta kalabilir.

3.2.10.1. *Bacillus subtilis*'in Ortaya Çıkışı ve Biyolojik Çeşitliliği

Bacillus subtilis, doğada yaygın olarak bulunan ve saprofitik yaşam sürdüren bir bakteri türüdür. Toprak, bitki kökleri, su ve organik maddelerle zenginleştirilmiş ortamlarda yaygın olarak bulunur. Spor oluşturma yeteneği sayesinde ekstrem koşullarda (yüksek sıcaklık, kuraklık, UV ışını, kimyasal maruziyet gibi) bile uzun süre hayatta kalabilir. *Bacillus subtilis*, çevresel stres faktörleri altında spor formuna geçerek dayanıklılığını artırır. Bu sporlar, neredeyse sınırsız bir süre boyunca uygun koşullar oluşana kadar

canlılığını sürdürebilir [68].

3.2.10.2. *Bacillus subtilis*'in Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Bacillus subtilis subsp. Nubtilis: Bu alt tür, *Bacillus subtilis*'in tipik formu olarak kabul edilir ve biyoteknoloji, endüstri ve tarımda yaygın olarak kullanılır. Enzim üretimi, biyoremediasyon (çevresel kirleticilerin biyolojik yollarla giderilmesi) ve probiyotik etkileri ile bilinir. Endüstriyel enzim üretimi, probiyotikler ve biyoremediasyon alanlarında kullanılırlar.

Bacillus subtilis var. Natto: Bu alt tür, geleneksel Japon gıdası olan Natto'nun gıda fermantasyonunda, sağlık destek ürünleri olarak kullanılır. Fermente soya fasulyesi olan Natto, sağlık açısından önemli özellikler taşıyan bir gıdadır. Bu bakterinin ürettiği enzimler, özellikle nattokinaz enzimi, kan dolaşımını iyileştiren ve pıhtılaşmayı önleyen etkileriyle tanınır.

Bacillus subtilis var. Spizizenii: Bu alt tür, laboratuvar araştırmalarında ve genetik çalışmalarda DNA ve protein yapılarını incelemek için yaygın olarak kullanılan bir varyanttır. Genetik modifikasyonlar, protein sentezi ve moleküler biyoloji çalışmalarında tercih edilir.

Bacillus subtilis subsp. Inaquosorum: Bu alt tür, *Bacillus subtilis*'in sucul ortamlarda bulunan bir varyantıdır ve sucul ekosistemlerde biyofilm oluşturma kapasitesi ile bilinir. Su kirliliği ile mücadelede ve biyoremediasyon çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Bu varyant, özellikle su kaynaklarındaki organik kirleticilerin ve ağır metallerin biyolojik olarak giderilmesinde kullanılır.

Bacillus subtilis subsp. Toyonensis: Bu alt tür, hayvan yemi probiyotiği olarak kullanılan bir çeşit olup, özellikle hayvan sağlığını iyileştirmek ve sindirimi desteklemek için tercih edilir. Hayvan beslenme endüstrisinde yaygın olarak kullanılır.

Bacillus subtilis var. Amyloliquefaciens: Bu alt tür, özellikle nişasta bazlı substratlar üzerinde büyüeyebilen ve güçlü amilaz enzimleri üretebilen bir çeşittir. Bu enzimler, nişasta ve şeker bazlı süreçlerde etkili olduğundan, gıda ve içecek endüstrisinde yaygın olarak kullanılır.

Bacillus subtilis subsp. Mojavensis: Bu varyant, kurak ve yarı kurak bölgelerde bulunur. Bitki büyümesini teşvik eden özellikleri nedeniyle tarımsal biyokontrol ajanı olarak kullanılır. Bu alt tür, bitkilerin stres koşullarına karşı direncini artırır ve bazı patojenik

mikroorganizmalarla mücadelede etkili olabilir.

Bacillus subtilis subsp. Krietiensis: Bu alt tür, özellikle deniz ortamlarından izole edilmiştir. Deniz mikroorganizmaları üzerinde yapılan biyoteknolojik çalışmalar için potansiyel bir model organizma olarak kabul edilir ve deniz suyu ekosistemlerinde biyolojik arıtma çalışmalarında kullanılır [69], [70].

3.2.10.3. Bacillus subtilis'in Su Ekosistemleri Üzerindeki Etkileri

Biyofilmler ve Ekosistem Etkileri: *Bacillus subtilis*, doğal su ekosistemlerinde biyofilm oluşturarak suyun mikrobiyal yapısına katkıda bulunur. Bu biyofilmler, bakterilerin çevreye karşı koruma sağlayan yapılarını oluşturan mikrobiyal topluluklardır. *Bacillus subtilis*'in biyofilmleri, su kirliliğini kontrol altına almak ve su sistemlerinde ağır metal, organik kirleticiler gibi zararlı maddelerin birikimini engellemek için kullanılır.

Ağır Metaller Üzerindeki Etkisi: *Bacillus subtilis*, biyofilm yapısı aracılığıyla ağır metalleri bağlayabilir ve bu metalleri daha az zararlı formlara dönüştürebilir. Bu özellik, özellikle endüstriyel atık sularının temizlenmesi açısından önemlidir.

Su Kirliliği Üzerindeki Rolü: *Bacillus subtilis*, organik kirleticilerin biyodegradasyonunda önemli bir rol oynar. Bakterinin enzimatik sistemi, çeşitli organik kirleticilerin parçalanmasını sağlayarak su kalitesini iyileştirir. Özellikle petrol hidrokarbonları gibi su ekosistemlerine zarar veren maddelerin bozunmasında etkili olduğu bilinmektedir.

Hidrokarbonlar: *Bacillus subtilis*, petrol türevi kirleticileri biyolojik yollarla bozundurarak su ekosistemlerine zarar veren bu maddelerin temizlenmesinde rol oynar.

Organik Kirleticiler: Organik maddelerin, *Bacillus subtilis* tarafından üretilen enzimler aracılığıyla parçalanması, suyun kimyasal dengesini korur ve suyun biyolojik oksijen ihtiyacını azaltır [70- 75].

3.2.10.4. Bacillus subtilis'in Su Arıtmada Kullanımı

Bacillus subtilis, su arıtma süreçlerinde biyolojik arıtım ajanı olarak kullanılabilecek potansiyele sahiptir. Özellikle biyofilm oluşturma yeteneği, suyu kirleten maddelerin biyolojik yollarla giderilmesine olanak tanır. Biyoremediasyon süreçlerinde önemli bir yere sahip olan *Bacillus subtilis*, hem endüstriyel hem de evsel atık suların arıtımında aktif olarak kullanılabilir.

Biyofilm Temelli Arıtma: *Bacillus subtilis* biyofilmleri, su arıtma sistemlerine entegre

edilerek organik ve anorganik kirleticilerin etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar. Biyofilmler, arıtma tanklarının yüzeylerinde veya filtre sistemlerinde kullanılarak kirleticileri tutar ve biyolojik olarak parçalar.

Biyofilm Filtreleri: *Bacillus subtilis* biyofilmleri, su arıtma filtrelerinde kullanıldığında, organik maddelerin ve kirleticilerin biyolojik olarak arıtılmasına katkı sağlar. Özellikle ağır metaller ve petrol türevli kirleticiler üzerinde etkili olduğu bilinmektedir.

Endüstriyel Atık Suların Arıtımı: *Bacillus subtilis*, petrol, kimya ve metal endüstrilerinden kaynaklanan atık suların biyolojik olarak arıtımında yaygın olarak kullanılır. Bu bakterinin enzimatik kapasitesi, organik kirleticileri etkili bir şekilde parçalayarak suyun temizlenmesini sağlar. Endüstriyel atık sularda bulunan ağır metaller ve organik maddeler, *Bacillus subtilis*'in biyofilm ve enzim üretim yetenekleri sayesinde su ortamından uzaklaştırılabilir.

Biyosorpsiyon Teknolojisi: *Bacillus subtilis*, ağır metallerin su ortamından uzaklaştırılmasında biyosorpsiyon teknolojilerinde de kullanılmaktadır. Bu süreçte, *Bacillus subtilis* hücre yüzeyleri, çözünmüş ağır metalleri ve diğer inorganik kirleticileri bağlayarak suyun arıtılmasına katkı sağlar [76-81].

3.2.10.5. *Bacillus subtilis*'in Silika Üzerindeki Etkileri

Bacillus subtilis, silika birikimini kontrol etmek ve bu minerali biyolojik yollarla çözmek için potansiyel bir mikroorganizmadır. Silika, su sistemlerinde ve termik santrallerde önemli bir sorun teşkil eder. Özellikle kazan sistemlerinde buharla birlikte taşınan silika, türbinlerde birikerek verim kaybına ve mekanik arızalara yol açar. *Bacillus subtilis*, silika üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler gösterebilir.

Biyosilikat Çökmesi: *Bacillus subtilis*, bazı koşullar altında silika çözünmesini teşvik edebilir. Bakterinin ürettiği organik asitler ve enzimler, silika partiküllerinin çözünmesini hızlandırarak su ortamındaki silika birikimini azaltır. Bu süreç, özellikle su arıtma ve endüstriyel sistemlerde silika sorununu çözmeye kullanılabilir.

Enzimatik Aktivite: *Bacillus subtilis*'in ürettiği bazı enzimler (örneğin, silikatazlar), su içindeki çözünmüş silikayı bozundurarak silika konsantrasyonunu düşürebilir. Bu enzimler, silikayı daha küçük ve çözünür formlara ayırarak suyun mineral yapısını düzenler.

Biyofilm Yoluyla Silika Bağlama: *Bacillus subtilis* biyofilmleri, su arıtma sistemlerinde silika partiküllerini bağlayarak sistem dışına atılmasını kolaylaştırır. Biyofilm yapıları, su içinde bulunan silika partiküllerini filtreleyerek yüzeylerine tutar ve bu partiküllerin borularda veya ekipmanlarda birikmesini önler. Silika, *Bacillus subtilis* biyofilmleri aracılığıyla etkili bir şekilde kontrol altına alınabilir [82-87].

3.2.10.6. Termik Santrallerde Buhar Sistemlerinde Silika Giderimi

Termik santrallerde buhar sistemlerinde silika birikimi ciddi bir sorun teşkil etmektedir. *Bacillus subtilis* biyofilmleri, buhar kazanı ve su hazırlama sistemlerinde kullanılarak silika birikimini azaltabilir. Bu sayede, silikanın buhar sistemine taşınması engellenir ve türbinlerde silika kaynaklı verim kayıpları minimize edilir.

Sonuç olarak *Bacillus subtilis*, biyoteknoloji ve su arıtma uygulamalarında çok çeşitli kullanım potansiyeline sahip önemli bir mikroorganizmadır. Su ekosistemlerinde biyofilmler oluşturarak hem kirleticileri etkili bir şekilde giderir hem de suyun kimyasal ve biyolojik dengesini sağlar. Ayrıca, silika birikimini azaltma ve kontrol altına alma yeteneği, termik santrallerde ve diğer endüstriyel sistemlerde *Bacillus subtilis*'in kullanımını daha cazip hale getirmektedir [88, 89].

3.3. SUYUN SERTLİĞİ

3.3.1. Sert Sular

Sertlik seviyesi genellikle miligram kalsiyum karbonat eşdeğeri (CaCO_3 mg/L) biriminde ölçülür. Bu mineraller, yer altı kayaları ve topraklarla temas ettiklerinde eriyerek sulara karışmaktadır.

Karbonat veya diğer alüminyum silikatların ve demir bileşiklerinin çökmesi sonucu filtre açıklıkları ve akifer boşluklarında, bunların bıraktığı depozitin birikmesi şeklinde olur. Kalsiyum karbonat su içerisinde çözünmemiş karbondioksit miktarının belli bir oran olarak çözelti halinde yer altı suyu tarafından taşınmaktadır. Suyun çözelti halindeki karbondioksit taşıma miktarı ise basınca bağlı olarak değişmektedir. Yüksek basınç altında fazla karbondioksit bulunmaktadır. Kuyudan su pompalanmaya başlandığında, suyun akiferden kuyuya akabilmesi için gerekli olan eğimi sağlayacak bir basınç farkına ihtiyaç duyulur ve bu durum, düşüm konisi oluşumu nedeniyle kuyu cidarına doğru hidrostatik basınçta bir azalmaya yol açmaktadır. Bu basınç düşmesi sonucunda bir

miktar karbondioksit açığa çıkar. Su içinde karbondioksit miktarı ile belirli bir dengede bulunan kalsiyum karbonat, bu dengenin bozulması nedeniyle akifer boşluklarında ve filtre açıklıklarında çökmeye başlar. Aynı şekilde basınç farkı sonucunda karbondioksitin bir kısmının serbest hale gelmesi demir bileşiği ve manganezin çökmesine sebep olmaktadır. Normal yer altı suyu rejimindeki herhangi bir değişiklik sebebi ile denge bozularak kabuklanma meydana gelmektedir. Yer altı suyu, akifer içerisinde normal koşullarda oldukça yavaş hareket eder. Özellikle taneli yapıya sahip formasyonlarda bu hareket daha da yavaşlamaktadır. Dolayısıyla kuyu cidarına erişmesi çok uzun zaman içerisinde olur ve bu yavaş akım altında bütün çözünmemiş mineral tuzları belli bir eşitlik altında yer altı suyu tarafından taşınmaktadır. Yer altı suyunun durumundaki herhangi bir değişim, örneğin tektonik hareketler veya sezonluk tarımsal ilaçlamalar gibi etkenler, çözelti sisteminin dengesini bozmaktadır. Basınç değişiminin kalsiyum karbonat çökmesine neden olduğu gibi, hız değişimi de jel formundaki demir ve manganez hidroksitlerin birikimine yol açmaktadır. Bu durum, çözünmemiş bazı maddelerin çökmesine sebep olmaktadır. Demir bakterileri, yer altı suyunda bulunan karbon bileşikleri özellikle karbondioksit ve karbonmonoksit ile beslenmektedir. Bu organizmaların metabolik faaliyetleri sonucunda, demir bakterileri demiri çözünmeyen oksitlere dönüştürürler. Bakteriler ise diğer çözünmemiş mineral tuzları tarafından tutulur ve bu süreç sonunda kuyu filtresi çevresinde kabuklanma oluşur. Silt ve kil toplanması ise bilhassa filtre açıklıklarının çok küçük olması halinde veya kuyunun iyi inkişaf edilmemesi durumlarında görülmektedir. Kabuklanmaya sebep olan suyun sertliğini önlemek için kuyu projesi hazırlanırken bazı hususların göz önüne alınması işletmenin verimliliğini artırır. Birinci husus, kuyu için seçilen filtrenin maksimum açık alana sahip olmasıdır böylece suyun kuyuya giriş hızı kritik hız olarak kabul edilen 3 cm/s'den düşük tutulur ve hızdan kaynaklanan büyük denge bozulmaları önlenir. İkinci husus ise bazı durumlarda belirli bir miktar suyu temin edebilmek için pompa veriminin düşük olması halinde pompaj süresinin uzatılmasıdır aksi takdirde kuyu içindeki fazla düşüm ve basınç değişimi nedeniyle çözelti dengesi bozulabilir. Üçüncü husus belli miktarda suyu bir veya birkaç kuyudan almak yerine daha fazla sayıda küçük debili kuyulardan temin ederek düşümün minimum seviyede tutulması ve dolayısıyla basınç değişiminin azaltılmasıdır. Dördüncü husus ise lokal koşullar dikkate alınarak periyodik bakım programı oluşturulması ve bu bakımın en az yılda bir kez yapılmasının sağlanmasıdır. Kabuklanmanın başladığı herhangi bir yerde su numunesi alınarak analiz yapılması ve kabuklanmaya sebep olan materyalin belirlenmesi öncelikli olmalıdır. Kalsiyum karbonat

önemli bir bileşen olmakla birlikte bu materyalin genellikle tek başına değil bir veya birkaç bileşiğin karışımı halinde bulunduğu unutulmamalıdır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre bu bileşenlerin ayrı ayrı tespit edilmesi kabuklanma sorunlarının çözümü için uygulanacak yöntemlerin ve kullanılacak kimyasal maddelerin doğru seçimi açısından büyük önem taşımaktadır. Asit, kalsiyum karbonatı çözerken, çözünmemiş silikatlar ve alüminyum silikatlar üzerinde etkili değildir. Demir oksit ve organik madde varlığı ise demir bakterilerinin faaliyet gösterdiğine işaret etmektedir. Bu bakterilerin kontrolü için klor veya polifosfat uygulanması gereklidir. Kuyu temizliği genellikle kabuklanma en ileri seviyeye ulaşmadan yapılmamaktadır. Ancak verimde belirgin bir düşüş ya da kuyu düşümünün maksimum seviyeye erişmesi durumunda kimyasal müdahale zorunlu hale gelir. Ayrıca kuyularda asitleme işlemi sırasında uygulanan asidin filtrenin dışına taşarak tüm alanlara homojen olarak ulaştığı kabul edilmemelidir. Verilen asit, boşlukların en fazla olduğu ve en uygun bölgelerle temas ederken kapalı alanlara nüfuz edemez. Bu nedenle kuyuda asitleme işlemine başlamadan önce temas yüzeyini artırmak amacıyla kuyu geliştirilir ve kapsamlı bir temizleme yapılır, ardından asit uygulanır. Asit sürekli karıştırılarak pompa vasıtasıyla kuyudan transfer edilir. Kabuklanma yeterince giderilmediğinde, transfer edilen proses veya endüstriyel tesislerde sert suyun yol açtığı çökelti birikimi ve boru tıkanıklıkları gibi problemler ortaya çıkar. Bu durum tesislerin bakım maliyetlerini artırmakta ve üretkenliği düşürmektedir. Yer altı sularında oluşan sertlik kaynaklı sorunlara yönelik çeşitli çözüm yöntemleri bulunmaktadır. Benzer sorunlar, günlük yaşamda kullandığımız kullanım sularında da gözlemlenebilir. Sert suyun etkilerini azaltmak için birkaç yöntem vardır, evlerde su arıtma sistemleri veya endüstriyel tesislerde su arıtma sistemleri kullanılabilir. Suyun sertliğini azaltmak için iyon değişim veya ters ozmoz gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bazı endüstriyel işletmelerde, sudaki sertliği azaltmak için sertlik giderici kimyasallar kullanılmaktadır. Proses suyunun kuyulardan temin edilmesi durumunda ve kabuklanma gözlemlendiğinde, kuyularda düzenli olarak inkişaf çalışmaları yapılmalı ve analiz sonuçlarına dayanarak uygun yöntemler belirlenmelidir. Bu kapsamda asit temizliği gibi derinlemesine bakım uygulamalarına başvurulmalıdır. Ayrıca, sert suyun etkilerini azaltmak için kullanılan özel reçineler, suyun kalitesini artırarak çeşitli kullanım alanlarında sorunları önlemektedir [90-92].

3.3.2. Yumuşak Sular

Suyun sertliği, sistemin çalışmasını kalitesini etkileyen endüstriler için önemli bir parametredir. Kalsiyum önleyici yaklaşımda, kalsiyum taşlarının nüksetme riski daha düşük olduğu için yumuşak su tüketimi tercih edilmektedir. Suyun yumuşatılması için kullanılan yaygın yöntemler kimyasal çöktürme ve iyon değişimidir. Kimyasal çöktürme yönteminde, alkali katkı maddeleri eklenerek suyun pH'ı yükseltilir ve bikarbonatlar karbonatlara dönüşerek çökmektedir. Kalsiyum ve magnezyum karbonatlarının çözünürlüğünün sınırlı olması nedeniyle bu yöntemle suyun sertliği tamamen giderilemez. İyon değiştirici reçineler çok sayıda ticari ve endüstriyel kullanımda bulunmaktadır. Özellikle soğutma ve ısıtma sistemlerinde, buhar üretiminde ve imalatla sorunlara yol açabilen iyonik safsızlıkların giderilmesi için uygundur. Sıradan polimerik reçineler genellikle katyonların çözüldüğü uzaklaştırıldığı iyon değiştirme işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu tür reçineler ya güçlü asidik sülfonik ya da zayıf asidik karboksilik işlevler içermektedir. Polimerik reçineler ve zeolitler genellikle endüstriyel atık su arıtma işlemlerinde genellikle tercih edilmektedir. İyon değiştirme işleminde değişim verimliliği; iyon konsantrasyonu, reçinenin yapısı, iyonların difüzyon hızı, iyon ve reçine boyutu ile doğrudan ilişkilidir. Reçinenin gözenekliliğini belirleyen divinilbenzen oranı, bu süreçte belirleyici bir rol oynar. Ayrıca, reçine içerisindeki divinilbenzen miktarı, normal çalışma koşullarında reçinenin şişme ve büzülme davranışını da önemli ölçüde etkiler. İyon değişim reaksiyonu bir difüzyon süreci olduğu için, iyonların difüzyon hızları değişim kinetiği üzerinde doğrudan etkilidir. Özellikle büyük ölçekli atık su arıtımında kullanılan iyon değiştirici reçinelerin yüksek maliyeti, işletme giderlerini artırmakta [37] ve bu nedenle alternatif yöntemlerin araştırılmasını gerekli kılmaktadır [93, 94].

3.3.3. Suyun Sertlik Türleri ve Kategorileri

Sertlik, geçici sertlik ve kalıcı sertlik olarak iki türe ayrılır. Geçici sertlik, karbonat sertliği olarak da bilinir. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatlar nedeniyle oluşur ve kaynatıldığında bu iyonlar çöker, böylece suyun sertliği azalır. Kaynama sırasında, kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonat çöker. Kalıcı sertlik ise, kalsiyum ve magnezyum sülfat veya klorür formunda olduğunda oluşur. Bu tür sertlik kaynatma yoluyla giderilemez ve kimyasal yollarla arıtılması gerekir (örneğin, iyon değiştirme yöntemiyle) [95], [96].

Orta Sert Su: Yumuşak suya kıyasla daha fazla kalsiyum ve magnezyum iyonu içerir ancak bu iyonların miktarı hala yönetilebilir düzeydedir. Orta sert su, evsel kullanımlarda yaygın olup sabun ile biraz daha az köpürme sağlar. Evlerde bulaşık ve çamaşır makinelerinde orta sert su kullanıldığında mineral tortusu oluşumu görülebilir, ancak bu genellikle büyük bir problem oluşturmaz.

Sert Su (121-180 mg/L CaCO₃): Kalsiyum ve magnezyum iyonlarının daha yüksek seviyelerde olduğu sudur. Bu su türü, özellikle sabun ve deterjanların etkinliğini azaltır ve temizlik işlemlerinde ekstra su tüketimine neden olabilir. Ayrıca sert su, boru hatları ve ısıtma sistemlerinde kireçlenmeye neden olarak enerji verimliliğini azaltabilir. Sert suyun endüstriyel uygulamalarda kullanımı, korozyon ve tortu birikimi gibi teknik sorunlara yol açabilir.

Çok Sert Su (>180 mg/L CaCO₃): Kalsiyum ve magnezyum iyonlarının yoğun olduğu su türüdür. Bu suyun kullanımı, özellikle endüstriyel sistemlerde ciddi problemlere yol açabilir. Çok sert su, boruların tıkanmasına ve su ısıtıcılarının verimliliğinin düşmesine neden olur. Ayrıca bu su türü, evsel kullanımlarda sert tortu ve sabun köpüğünün yetersizliğine sebep olur. Çamaşır makineleri, bulaşık makineleri ve su ısıtıcılar gibi cihazlarda bu tür suyun uzun süreli kullanımı cihaz ömrünü kısaltabilir [90-98].

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. KULLANILAN KİMYASALLAR

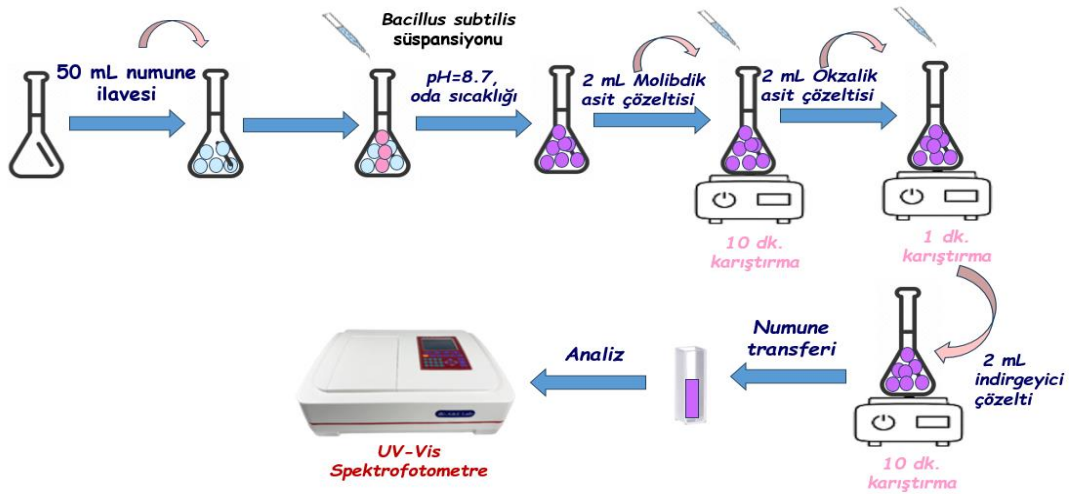
Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta olup, daha fazla saflaştırma işlemine tabi tutulmadan kullanıldı. Molibdik asit ($\text{MoO}_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})_2$), hidroklorik asit (HCl), sodyum hidroksit (NaOH), oksalik asit ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) ve 4-(metilamino)fenol sülfat indirgeyici çözeltiyi oluşturmak için kullanıldı ve sodyum disülfid kimyasalları Merck firmasından temin edildi. Silika stok çözeltileri, deiyonize su içerisinde sodyum metasilikat (Na_2SiO_3) ile 100 mg mL^{-1} konsantrasyonda hazırlandı. Farklı konsantrasyonlarda silikanın çalışma çözeltileri, ana stok çözeltisinin uygun konsantrasyonlara seyreltilti. Bu çalışmada kullanılan biyosorbent olan *Bacillus subtilis*, Türkiye’de Pamukkale travertenlerinin alt bölgelerindeki termal su yataklarından izole edildi. *Bacillus subtilis* bakterilerini üretmek için 250 mL Nutrient Broth (NB) besiyeri kullanıldı. Ortamın pH’ı, fermantasyonu sağlamak için 0,1 mol/L HCl veya NaOH ile ayarlandı ve ardından otoklavlandı. Otoklavlama adımından sonra, her vial 2,5 mL ($3,6 \times 10^7$) hücre süspansiyonu aşılandı ve ardından, 35 °C’de 120 rpm’de çalkalandı.

4.2. KULLANILAN CİHAZLAR

Deneyisel çalışmalar için gerekli olan çözeltilerin hazırlanmasında Water Story marka Dream Plus I Finesta model deiyonize su cihazı, numune sıcaklığının ayarlanmasında Shin Saeng marka SHPM-10 model manyetik karıştırıcı ve demineralizasyon sisteminin her bir basamağından alınan numunelerin anlık pH’ının ölçülmesinde WTW marka Inolab Multi 9630 IDS model pH metre kullanıldı. Çalışma süresince çözeltilerin hazırlanmasında kullanılan kimyasal maddelerin tartımı Mettler Toledo marka ML204T model hassas terazi kullanılarak yapıldı. Su-buhar çevriminin her bir basamağından alınan numunelerin ölçümleri WTW marka AES60-2U model spektrofotometre cihazında ve su-buhar çevriminde alınan numunelerin özgül iletkenlik ölçümleri WTW marka Cond 3110 model cihazında ölçüm yapıldı. Silika tayini 800 nm dalga boyunda gerçekleştirildi.

4.3. YÖNTEM

Sistemde biriken silikaya karşı bakterilerin etkinliğini araştırmak için prosesten alınan 50 mL su örneği balon jojeye aktarıldı. *Bacillus subtilis* ilavesinden önce, proses suyu numunesinin toplam silika konsantrasyonu 41,8 mg/L olup, bunun 37,6 mg/L'si çözülmüş halde ve 4,2 mg/L'si askıda silikadır. Ham su numunesinin diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri; pH 7,3, elektriksel iletkenlik 1560 μ S/cm, toplam çözülmüş katılar 1648 mg/L, toplam sertlik 90,1 °F, kalsiyum 185,8 mg/L, magnezyum 106,1 mg/L, bikarbonat 413 mg/L CaCO_3 şeklinde, sülfat 550 mg/L ve toplam organik karbon 5,7 mg/L. Silika analizi Advancing Standards Transforming Markets (ASTM) standartlarına göre gerçekleştirildi [99], [100]. Silika miktarını belirlemek için 3 mL hacmindeki *Bacillus subtilis* süspansiyonu (3×10^8 CFU/mL konsantrasyonuna eşdeğer) alınan numunenin üzerine ilave edildi. Ardından işlem için optimum koşulların pH 8,7 ve oda sıcaklığı şeklinde olması sağlandı ve silika tayini için gerekli ön adım tamamlandı. Daha sonra, optimum koşullara sahip bu numunenin 10 mL hacimli balon jojeye alındı ve 2 mL % 10 (w/v) molibdik asit çözeltisi ilave edildi. Daha sonra, bu karışım bir manyetik karıştırıcıda 10 dakika karıştırıldı. Bu adımdan sonra, 2 mL hacimde 4-(metilamino)fenol sülfat indirgeyici çözelti eklendi ve karıştırma işlemi 10 dakika daha sürdürüldü. Reaksiyondan sonra, ölçüm için hazırlanan numune UV küvetine aktarıldı ve UV-Vis spektrofotometresi ile analiz edildi. Tüm deneyler üç tekrar halinde gerçekleştirildi. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir.

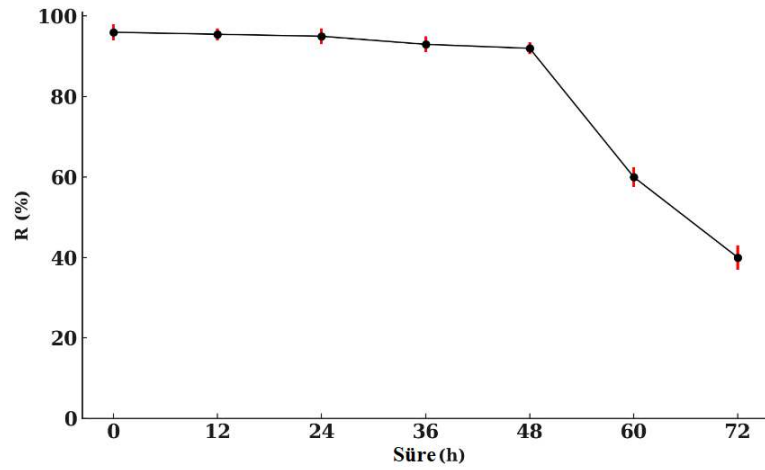


Şekil 4.1. Yöntemin şematik gösterimi.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. BEKLEME SÜRESİNİN *BACILLUS SUBTILIS* AKTİVİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

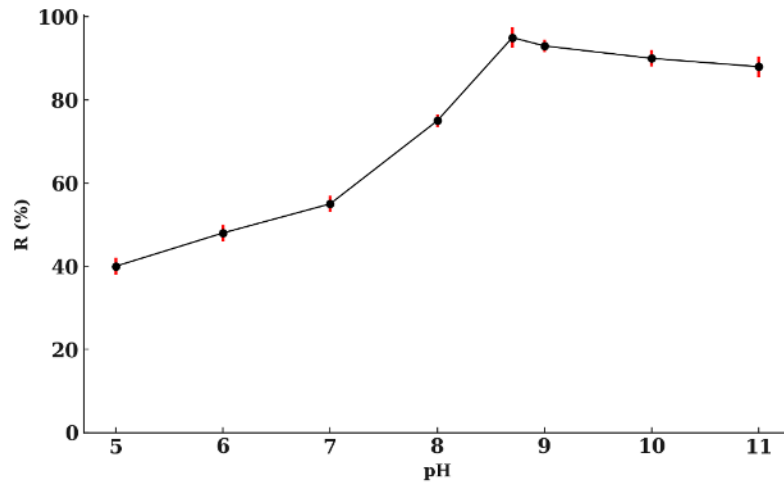
Bacillus subtilis ilave edilen demineralizasyon ve kazan suyu sistemlerinin her bir basamağından alınan örnekler 0-72 saat aralığında bekletilerek, SiO₂ içeriğindeki değişim incelendi. Çalışmada yer alan işlem sistemin her bir basamağından alınan örneklerle uygulanmış olup, analiz sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde, *Bacillus subtilis* bakterisi ile yapılan şartlandırmada 48 saate kadar silika miktarında düşük miktarda kayıp meydana geldiğini ve 48 saat sonra sabitlendiği gösterdi. Bu sonuç, prosesin tüm basamaklarından alınan su örneklerinde silika analizi yapmak için *Bacillus subtilis* aktivitesinin ve gideriminin 48 saate kadar hala aktif olduğunu göstermektedir. Aynı işlem 48 saat sonunda proses basamaklarından alınan su örneklerine uygulandığında ise analiz sonucunda *Bacillus subtilis* aktivitesinin azaldığı görüldü. Bu aşamada anlatılmak istenen, proses basamaklarından alınan su örneklerinde herhangi bir süre beklenmeden *Bacillus subtilis* bakterisi ile şartlandırmanın uygunluğudur. Prosedür, hem numune işlem adımlarından alındığında hem de *Bacillus subtilis* ile belirtilen süreler boyunca inkübe edildiğinde etkinliğini belirlemek için uygulandı. Sonuç olarak, 0-72 saat aralığında yapılan optimizasyon, *Bacillus subtilis* bakterisinin etkinliğinin numune kaç saat bekletildikten sonra devam edip etmediğini kontrol etmektir. Bu değer 48 saatin sonunda sabitlendiği ve uzaklaştırma değerinin (R) azaldığı gösterildi. Bekleme süresinin *Bacillus subtilis* aktivitesi üzerindeki etkisi Şekil 5.1’de verilmiştir. Prosedürün bekleme süresi olmadan uygulanması, işletme maliyetlerini azaltarak süreçler için işletme kolaylığı sağlamak, zaman kaybını önlemek ve dış depolama gereksinimini ortadan kaldırmak açısından avantajlı olacağı düşünülmektedir.



Şekil 5.1. Bekleme süresinin *Bacillus subtilis* aktivitesi üzerindeki etkisi.

5.2. pH'IN *BACILLUS SUBTILIS* AKTİVİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

pH optimizasyonunun amacı, *Bacillus subtilis* süspansiyonu eklendiğinde sistemin ideal pH aralığında çalışmasını kontrol etmektir. pH değişikliği, süreç boyunca farklı aşamalarda kontrol edildi ve tüm süreç aşamaları için gerekli değeri belirlemek amacıyla belirli pH aralıklarında optimizasyon yapıldı. Sürecin tüm aşamalarından elde edilen sonuçlara göre, pH kontrolü, değişen koşullar altında bakteriyel aktivitenin daha güvenilir bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu amaçla, prosesin tüm aşamalarında pH'ın silika giderimi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla pH 5-11 değerleri arasında bir yöntem uygulandı. Tüm proses adımları için silika gideriminin sağlandığı optimum pH değeri 8,7 olarak belirlendi [101], [102]. pH'ın *Bacillus subtilis* aktivitesi üzerindeki etkisi Şekil 5.2'de verilmiştir.

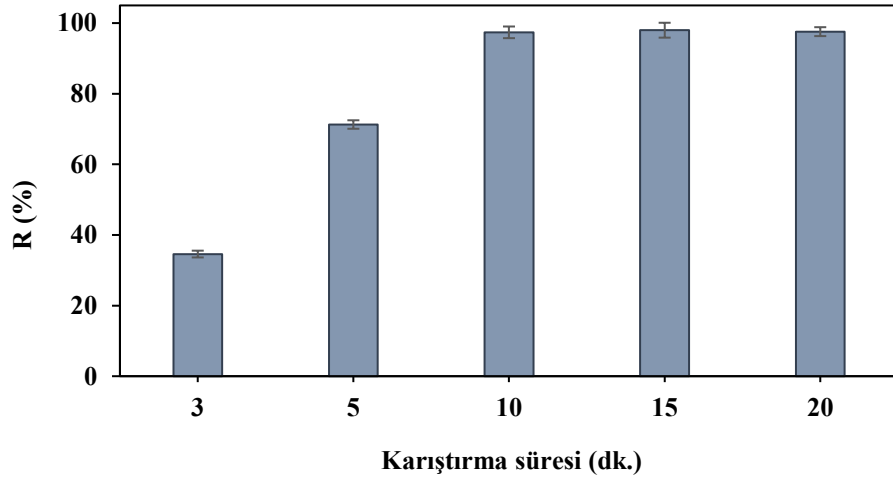


Şekil 5.2. pH'ın *Bacillus subtilis* aktivitesi üzerindeki etkisi.

5.3. DEMİNERALİZASYON SİSTEMİ

5.3.1. *Bacillus subtilis*'in Ham Sudaki Silika Konsantrasyonu Üzerindeki Etkisi

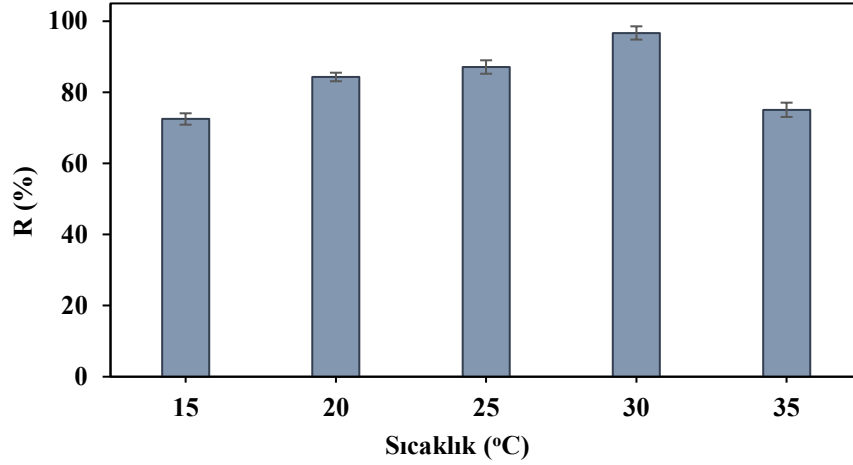
Çalışmada, ham su için analiz edilecek numunenin ilk alındığı andaki özgül ortam koşulları önemlidir. Bu nedenle ham su numunesinin alındığı noktadaki başlangıç sıcaklığı, pH ve iletkenlik değerleri ölçüldü. Ham su numunesinin alındığı noktadaki başlangıç sıcaklığı 15 °C, pH'ı 7,23, iletkenliği ise 1726 μ S/cm olduğu belirlendi. Ham suda SiO₂ analizi yapmak için yöntemin uygulanması sonucu elde edilen veriler Şekil 5.3'de görüldüğü gibi, karıştırma süresinin ham sudaki *Bacillus subtilis* bakterisinin aktivitesine olan etkisi incelendi. Yapılan incelemeler sonucunda 10 dk'ya kadar giderimde artış meydana geldiği, ancak 10 dk'dan sonra giderimde bir değişim olmadığı görüldü.



Şekil 5.3. Ham suda uzaklaştırma üzerindeki karıştırma süresinin etkisi.

5.3.2. *Bacillus subtilis*'in Ön Arıtma Tesisinin Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi

Ön işlem prosesi ham sudan besleme suyu almaktadır. Ön işlemin ve demineralizasyon prosesinin ideal çalışma sıcaklığı 15-35 °C'dir. Ayrıca, ideal çalışma sıcaklığı mevsimsel olarak 15-35 °C arasında değişmektedir. Bu nedenle, *Bacillus subtilis* aktivitesi bu sıcaklıklarda incelendi ve etkisi değerlendirildi (Şekil 5.4). Ön arıtma tesisi üzerindeki aktivitesi, belirtilen sıcaklık aralığında *Bacillus subtilis* ile ön koşullandırma yapılarak incelendi. Sıcaklık arttıkça SiO₂ miktarında çok az değişiklik olduğu gözlemlendi. Ayrıca *Bacillus subtilis* bakterilerinin 30 °C'de etkili bir şekilde çalıştığı tespit edildi.



Şekil 5.4. Ön arıtma tesisinde sıcaklığın uzaklaştırma üzerindeki etkisi.

5.3.3. *Bacillus subtilis*'in Ters Osmoz Sistemi Üzerindeki Etkisi

Ters ozmozda çözünmeyen metal silikatların oluşumu da bir diğer sorundur. Bu durumu önlemek için yumuşatma işleminin uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle besleme suyundan alınan numuneler laboratuvarında detaylı olarak incelendi. Öncelikle sahadaki spesifik çevre koşulları belirlenerek prosesteki şartlandırma oranları belirlendi. Daha sonra ters ozmoz öncesi numunenin alındığı noktalardaki başlangıç sıcaklığı, pH ve iletkenlik değerleri ölçüldü. Ters ozmoz öncesi su numunesinin yerinde yapılan ölçüm değerlerinden sıcaklığın 20 °C, pH'ın 7,20, iletkenliğin ise 1510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olduğu bulundu. Ters ozmoz öncesi dozlanan kimyasallar arasında membran koruma amaçlı silika bazlı antiskalant, sistemin pH'ını dengelemek amacıyla NaOH ve HCl kullanılmıştır. Ters ozmoz öncesi arıtmada kullanılan bu kimyasalların varlığında *Bacillus subtilis*'in SiO_2 üzerine etkisi de araştırıldı. Analiz için ham suya 0-10 mL *Bacillus subtilis* eklenerek işlem gerçekleştirildi. SiO_2 analizi sonucunda *Bacillus subtilis* olmayan ham su örneğindeki SiO_2 miktarı oldukça yüksek iken, 3 mL *Bacillus subtilis* bulunan ham su örneğindeki SiO_2 miktarının azaldığı görüldü. Daha fazla eklendiğinde ise değerin sabit kaldığı belirlendi.

5.3.4. *Bacillus subtilis*'in Ters Osmoz Membranı Üzerindeki Etkisi ve Atık Su SiO_2 Konsantrasyonu

Ters ozmoz membranlarında biyofilm büyümesi membranın içindeki su hızını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle mikrobiyolojik organizmalar membrana girdiğinde burada çoğalarak biyofilm oluştururlar. Bunun sonucunda membranlardaki basınç kaybı

artar, üretim debisi azalır ve sonuç olarak sistemin üretim verimliliği düşerek üretim kayıplarına neden olmaktadır. Ancak membrandan önce verilen antiskalant yerine yaklaşık bir ay boyunca % 5-10-15-20-30 oranında *Bacillus subtilis* ilavesiyle oluşturulan çözelti sisteme dozlanarak sistemin şartlandırılması sağlandı. Bu dozaj oranlarının belirlenmesinin, performans-maliyet karşılaştırmasını kolaylaştırmak için mevcut antiskalant kimyasalının dozaj oranı ile aynı olması tercih edildi. Bir aylık deneme süresi boyunca membran verimliliği gözlem altında tutuldu. Mevcut antiskalant kimyasalı yerine aynı miktarda *Bacillus subtilis* kullanıldığında silika miktarının giderilmesinde yüksek verim sağlandığı belirlendi. Bu sonuç, kullanılan bakterilerin sisteme faydalı olduğu, biyofilm oluşturmadığı, membranlardan geçen akı miktarını azalttığı, membran geçirgenliğini artırdığı ve SiO₂ gibi sudaki diğer safsızlıkların arıtımında etkili olduğunu gösterdi. Çalışmanın analiz sonuçları, *Bacillus subtilis*'in bu aralıktaki çalışma basıncından etkilenmediğini gösterdi. Çalışma süresince ek kimyasal işlem uygulanmadı.

5.3.5. *Bacillus subtilis*'in Elektro-Deiyonizasyon Sistemi Verimliliği ve Ürün Suyu SiO₂ Konsantrasyonu Üzerindeki Etkisi

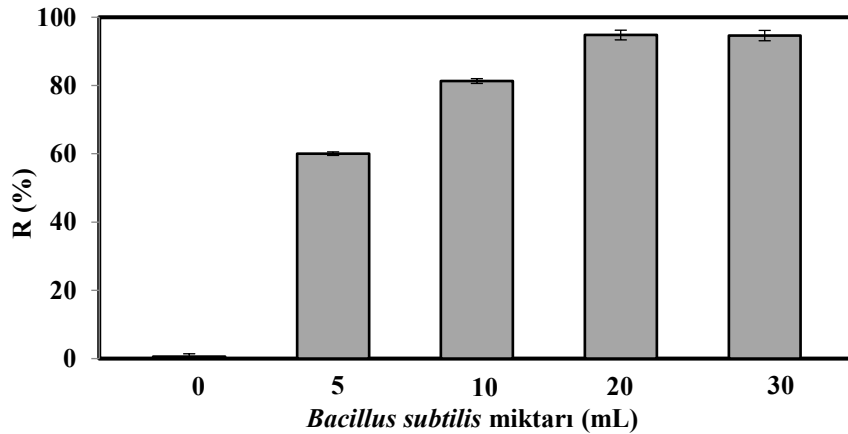
EDİ ürün suyu üzerinde yapılan çalışmada, atık su miktarının azaldığı ve ürün kapasitesinin arttığı tespit edildi. Ayrıca, bu süreç ideal pH (8,7), atık ve basınç koşullarını (2 bar) korundu. Bu çalışma sırasında, sistemin prosesinde önemli parametrelerden biri olan pH üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı ve sistemin işletme basıncını stabilize ettiği belirlendi. Ayrıca, *Bacillus subtilis* koşullandırması EDİ öncesinde yapılan ve analiz sonuçlarından, sistemde kullanılan kimyasal miktarına eşdeğer, %30 oranında bir iyileşme sağlandığı görüldü. EDİ modülünün membran geçirgenliğindeki artış, pH-basınç stabilitesi, atık su basınç-miktar stabilitesi ve ürün suyu miktarının stabilitesinden anlaşılmaktadır (EDİ üreticisi tarafından belirlenen maksimum ürün suyu miktarı=10 ton). Ayrıca, *Bacillus subtilis* koşullandırması kimyasal koşullandırma yerine uygulandığında, membran ömrünün uzatılabileceği ve iki yıldan fazla kullanılabileceği gözlemlendi.

5.4. KAZAN SİSTEMİ

5.4.1. *Bacillus Subtilis*'in Kazan Besleme Suyu Üzerindeki Etkisi

Silikatlar, kazan borularında son derece kalıcı tortular oluşturduğundan, bunların türbin bileşenlerine buharlaşarak taşınması kritik bir sorundur. Kazan besleme suyunun

bileşimi, kirleticilerin belirli bir kazan tasarımının tolerans limitlerini aşmadan makul seviyelerde yoğunlaşmasını sağlamalıdır. Eğer besleme suyu bu gereksinimleri karşılamazsa, kirleticilerin uzaklaştırılması için ön işlem gereklidir. Ancak, kirleticilerin tamamen uzaklaştırılması her zaman gerekli değildir, çünkü kazan içinde kimyasal işlemle etkili ve ekonomik bir şekilde giderilebilir. Herhangi bir besleme suyu için kirletici gereksinimleri, besleme suyu kullanım oranına ve belirli kazan tasarımına (basınç, ısı transfer oranı vb.) bağlıdır. Sonuç olarak, besleme suyu saflığı gereksinimleri önemli ölçüde değişebilir [103]. Kazan suyu yumuşatma kimyasalları, suyun sertliğine ve diğer faktörlere bağlı olarak sürekli veya aralıklı olarak eklenmelidir. Çözünmüş oksijenle reaksiyona giren ve su temin sisteminde kireçlenmeyi ve korozyonu engellemek için kullanılan kimyasallar, işlem sırasında sürekli olarak su temin sistemine verilmelidir. Kazandan 45 °C’de örnek alındı ve soğutucuda soğutulmaya bırakıldı, ardından sıcaklık normal seviyeye getirildikten sonra örnek işlendi. Bu durum, kazan sistemi için istenilen durumu temsil etmektedir. ABMA standardına göre, sistem ideal koşullarda çalışmaktadır. Bu durumda kazan besleme suyuna 0-30 mL arasında farklı hacimlerde *Bacillus subtilis* ilave edildi. Bu değer, kazan besleme suyu koşullandırılmasında kullanılan kimyasal orana göre belirlendi. 20 mL *Bacillus subtilis* kullanıldığında maksimum silika giderimi elde edildi. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.5’te verildi.

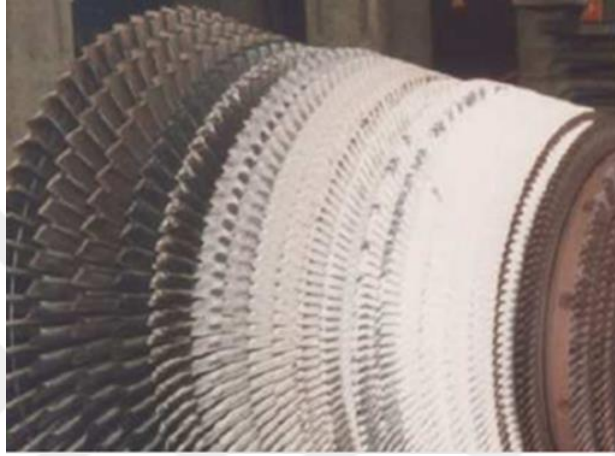


Şekil 5.5. *Bacillus subtilis*’in kazan besleme suyu üzerindeki etkisi.

5.4.2. Türbin İçin Şartlandırmanın Önemi

Herhangi bir koşulda doğrudan buhar koşullandırması uygulanmaz, bu nedenle buharın kimyasal kalitesi, besleme suyu ve kazan suyu kontrolünü sağlamak için uygulanan önlemlere bağlıdır. Bu nedenle, besleme suyu ve kazan suyu koşullandırması çok önemlidir. Çünkü en önemli hedeflerden biri, buhar yolundaki (örneğin borular, vanalar

ve türbin parçaları) tortuları ve korozyonu önlemektir. Buharın saflığı yüksek olmalıdır. Türbinde genişleme sırasında silika aşırı doymuş hale gelebilir. Kanatlara biriken silika, türbin verimliliğinin kaybına ve ciddi hasar oluşturmaktadır. Yük altında buhar borusunda biriken tuzlar, önemli hava girişi veya kalan buharın yoğunlaşmasının ardından, boşalma sırasında konsantre çözümlerin gelişmesine neden olmaktadır (Şekil 5.6) [104]. Bu etki, özellikle yeniden ısıtıcılar, türbinler ve bazı besleme ısıtıcıları için dikkate alınması gereken bir durumdur. Mekanik arızalara neden olmanın yanı sıra, türbin çalışırken meydana gelen stres, korozyon çatlaması gibi diğer korozyon türlerini başlatabilir.



Şekil 5.6. Türbin kanatlarında silikanın neden olduğu hasar.

Koşullandırma sonrası periyodik bakım sırasında, türbin kanatlarının kirlenmediği ve uzun süreli kullanımdan sonra uygun bir stabilize ediciye ihtiyaç duyulmadan temiz olduğu gözlemlendi. Bu, sistemde taşınan buharın, besleme suyu ve kazan suyu koşullandırılmasının yeterli şekilde yapıldığını ve *Bacillus subtilis* koşullandırmasının ayrıca besleme suyundaki silika ve diğer kirleticileri azalttığını göstermektedir.

5.5. METOT VALİDASYONU

Silika analizi için kullanılan yöntemin kalibrasyon denklemi, tespit sınırı, geri kazanım değerleri, korelasyon katsayısı ve kantifikasyon sınırı gibi bazı validasyon parametreleri incelendi. Tüm analizler 25 °C’de gerçekleştirildi. Kalibrasyon doğruluğunun sağlanması ve analitik yöntemin geçerliliğinin doğrulanması için her çözelti üçer kez hazırlandı. Çalışmada elde edilen veriler değerlendirilerek bir kalibrasyon grafiği oluşturuldu. Tekrar edilebilirliği belirlemek için gün içi ve günler arası standart sapmalar incelendi. Aynı konsantrasyonda oluşturulan beş farklı örnek çözeltisinin sonuçları arasındaki bağıl

standart sapma (% RSD) değeri %2'den az olup, bu da analitik yöntemin hassasiyetini göstermektedir. Bu çalışmada, dedeksiyon limiti (LOD) ve kabul edilebilir tekrar edilebilirlik ve tayin limiti (LOQ), 3 Sb/m ve 10 Sb/m değerleri kullanılarak belirlendi. (Sb, standart sapma ve m, kalibrasyon denkleminin eğimi). Optimum deneysel koşullar altında, SiO₂ için tespit sınırı 0,0375 mg/mL, kantifikasyon sınırı 0,1136 mg/mL ve korelasyon katsayısı 0,9997 olarak belirlendi. Ayrıca, kalibrasyon denklemi $y = 0.0253x + 0.0032$ olup, geri kazanım değerleri %96,5 ile %103,2 arasında değişerek yöntemin doğruluğunu gösterdi.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Su, hava ve topraktaki kimyasal kirlilik, çevreye her geçen gün daha da alarm verici hale gelmektedir. Bu çalışma, enerji santrallerinde veya su/buhar döngüsü gerektiren tüm süreçlerde kimyasal iyileştirme yerine ekonomik ve daha çevre dostu bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle, kapalı döngülerdeki en büyük problemlerden biri olan silika sorununa dair bazı ön araştırmalar yapıldı. Çalışmanın saha uygulaması gerçekleştirilirken, endüstriyel su ve buhar döngülerindeki silikat kaynaklı kirliliğin giderilmesi üzerinde nasıl bir etkisi olduğu görmek amacıyla ön testler yapıldı. Bir özel sanayi kuruluşunun su ve buhar döngülerindeki sıcaklık ve karıştırma süresi gibi farklı aşamalardan alınan parametrelerin etkisini ve her bir aşama için daha önemli olan parametreleri araştırmak için *Bacillus subtilis* bakterisi silika içeren örneklerle eklendi ve elde edilen sonuçlar incelendi. *Bacillus subtilis* bakterisinin silika üzerinde biyosorpsiyonu, büyük ölçüde biyokütlenin aktif bölgelerine bağlı olduğu görüldü. Canlı ve aktif bir metabolizmaya sahip olduklarından, direnç ve biyosorpsiyon mekanizmaları bir bütün olarak çalışmaktadır. *Bacillus subtilis* bakterisinin aktif bölgeleri sayesinde silika biyosorpsiyonu etkin bir şekilde gerçekleştirildi. Ayrıca, çalışmanın önemli bulgularından biri, *Bacillus subtilis*'in yalnızca silikayı değil, suyun içerisindeki diğer kirlleticilerin miktarını da azalttığına bulunmasıdır. Silikanın yanı sıra *Bacillus subtilis* tedavisinin suyun diğer su kaynaklı kirleticilerini de etkin bir şekilde azalttığı ortaya koydu. Özellikle ham proses suyu ve kazan sistemlerinde, toplam sertlik (1,76'dan 0,88 mg/L'ye), magnezyum (106,1'den 54,8 mg/L'ye), kalsiyum (185,8'den 91,2 mg/L'ye) ve toplam çözünmüş katılar gibi önemli azalmalar gözlemlendi. Bu azalmalar, geleneksel kimyasal dozajlama yapılmadan elde edildi ve bu biyolojik yaklaşımın silika ve ikincil kirleticiler kontrolündeki çift faydasını vurgulamaktadır. Aynı zamanda, birçok benzer çalışmaya farklı bir boyut kazandırarak, bir ön fikir oluşturmaktadır. En önemlisi, atık su arıtma alanındaki ihtiyaçları güçlü bir şekilde etkileyerek, sanayide sürekli sorun olan bir konuda ülkemiz adına ekonomik anlamda büyük bir katma değer sağlayacaktır. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen bilgiler ışığında, çevreyi buhar su döngüsü için kullanılan tonlarca kimyasaldan koruması ve büyük bir ekonomik kazanç sağlaması, çalışmanın diğer avantajlı yönlerini ortaya koymaktadır. Ayrıca, sürecin ömrünü uzatmak ve işletme kolaylığı sağlamak açısından da faydalı olacaktır.

7. KAYNAKLAR

- [1] S. Kuşaklı, “*Bacillus subtilis*’in peyniraltı suyu içerisinde fermantasyonu ile polisakkarit ve surfaktin üretiminin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2011.
- [2] Ü. Özkan, “Tekstil endüstrisi proses suyu hazırlanmasında membran proseslerin uygulanması,” Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [3] M. Öztıp, “Kapalı devre buhar tesisatlarında korozyon oluşumu ve kontrolü,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [4] F. Kılıçcıoğlu, “Jeotermal kuyularda kalsit ve silika çökelmelerine karşı kullanılacak inhibitör çeşitleri ve çalışma mekanizmalarının incelenmesi,” *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, TESCON 2009*, İzmir, Türkiye, 2009, ss. 297–303.
- [5] I. Nishida, Silica and metal silicate deposits, Z. Amjad and K. D. Demadis (Editörler), *Water-Formed Deposits*. Sidney, Avustralya: Elsevier, 2022, ss. 195-211.
- [6] E. Burkut, *Proses suyu hazırlama sistemleri ve işletimi*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Teknik Sektör Yayıncılık, 2022.
- [7] E. Burkut, “Sudaki silikat’ın su sistemlerine zararları, su ve çevre teknolojileri,” *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, c. 13, sayı 114, ss. 26-28, 2018.
- [8] E. Burkut, “Buhar kazanı besı suyu hazırlama teknikleri içinde ters osmos cihazının ekonomik yeri,” *Termodinamik*, sayı 64, 1997.
- [9] K. Vollmayr, W. Kob, K. Binder, “Cooling-rate effects in amorphous silica: A computer-simulation study,” *Physical Review B*, c. 54, sayı 22, ss. 15808, 1996.
- [10] M. Mermer, “Açık devre mekanik tesisatlarda korozyon oluşumu ve kontrolü,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.

- [11] V. I. Groudeva & S. N. Groudev, "Bauxite dressing by means of *Bacillus circulans*," *Automatica*, c. 13, sayı 18, ss. 257–263, 1983.
- [12] L. Tian, X. D. Chen, Q. P. Yang, J. C. Chen, Q. Li, & L. Shi, "Effect of silica dioxide particles on the evolution of biofouling by *Bacillus subtilis* in plate heat exchangers relevant to a heat pump system used with treated sewage," *Chemical Engineering Journal*, c. 188, ss. 47–56, 2012.
- [13] I. O. Skorochood, A. O. Roy, & I. K. Kurdish, "Influence of silica nanoparticles on antioxidant potential of *Bacillus subtilis* IMV B-7023," *Nanoscale Research Letters*, c. 11, sayı 139, ss. 1-6, 2016.
- [14] Choi, M. Cho, Y. Lee, J. Choi, & J. Yoon, "Inactivation of *Bacillus subtilis* spores during ozonation in water treatment plant: Influence of pre-treatment and consequences for positioning of the ozonation step," *Chemosphere*, c. 69, sayı 5, ss. 675–681, 2007.
- [15] K. Ellis, & W. E. Wood, "Slow sand filtration," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, c. 15, sayı 4, ss. 315–354, 1985.
- [16] H. Marsh, & F. R. Reinoso, *Activated Carbon*. Amsterdam, Hollanda: Elsevier, 2006.
- [17] A. Ruiz-García, & J. Feo-García, "Antiscalant cost and maximum water recovery in reverse osmosis for different inorganic composition of groundwater," *Desalination and Water Treatment*, c. 73, ss. 46–53, 2017.
- [18] J. H. Song, "Transport phenomena of metal ions in a continuous electrodeionization system and applications in water treatment processes," Doktora tezi, *Electrodeionization System and Applications in Water Treatment Processes Bölümü*, Gwangju Bilim ve Teknoloji Enstitüsü (GIST), Gwangju, Güney Kore, 2006.
- [19] H. Koch, & S. Vögele, "Dynamic modelling of water demand, water availability and adaptation strategies for power plants to global change," *Ecological Economics*, c. 68, sayı 7, ss. 2031-2039, 2009.
- [20] J. Veerman, M. Saakes, S. J. Metz, & G. J. Harmsen, "Electrical power from sea and river water by reverse electrodialysis: a first step from the laboratory to a real power plant," *Environmental Science & Technology*, c. 44, sayı 23, ss. 9207-9212, 2010.

- [21] C. Crampes, & M. Moreaux, "Water resource and power generation," *International Journal of Industrial Organization*, c. 19, sayı 6, ss. 975-997, 2001.
- [22] D. P. Loucks, & E. Van Beek, *Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications*, Cham, İsviçre: Springer, 2017.
- [23] T. V. Cech, *Principles of Water Resources: History, Development, Management, and Policy*, New Jersey, A.B.D.: John Wiley & Sons, 2018.
- [24] W. N. Tibbet, "An investigation of groundwater and surface water interactions near a small stream in Prince Edward island," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, New Brunswick Üniversitesi, Fredericton, Kanada, 2017.
- [25] P. N. M. Schipper, M. J. M. Vissers, & A. M. A. P. Van der Linden, "Pesticides in groundwater and drinking water wells: overview of the situation in the Netherlands," *Water Science and Technology*, c. 57, sayı 8, ss. 1277–1286, 2008.
- [26] F. Yalçındağ, "Kuyu verimine tesir eden faktörler üzerine düşünceler", *Bilimsel Madencilik Dergisi*, c. 9, sayı 1, ss. 27–37, 1970.
- [27] S. M. Rao, & P. Mamatha, "Water quality in sustainable water management," *Current Science*, c. 87, sayı 1, ss. 942–947, 2004.
- [28] O. J. Guerra, & G. V. Reklaitis, "Advances and challenges in water management within energy systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 82, ss. 4009–4019, 2018.
- [29] S. Pfister, P. Bayer, A. Koehler, & S. Hellweg, "Environmental impacts of water use in global crop production: hotspots and trade-offs with land use," *Environmental Science & Technology*, c. 45, sayı 13, ss. 5761–5768, 2011.
- [30] L. W. Mays, *Water Resources Engineering*, New Jersey, A.B.D.: John Wiley & Sons, 2010.
- [31] M. Bošnjaković, M. Stojkov, & M. Jurjević, "Environmental impact of geothermal power plants," *Tehnički vjesnik*, c. 26, sayı 5, ss. 1515–1522, 2019.

- [32] S. D'Antonio, & D. Salerno, "Environmental impact of water use in power plants," *Environmental Science & Technology*, c. 53, sayı 12, ss. 7215–7222, 2019.
- [33] R. González-Bravo, F. Nápoles-Rivera, J. M. Ponce-Ortega, & M. M. El-Halwagi, "Involving integrated seawater desalination-power plants in the optimal design of water distribution networks," *Resources, Conservation and Recycling*, c. 104, ss. 181-193, 2015.
- [34] M. Cohen, I. Ianovici, & D. Breschi, "Power plant residual heat for seawater desalination," *Desalination*, c. 152, sayı 1-3, ss. 155-165, 2003.
- [35] J. Vernet, & H. Wenzel, "Sustainable water management in power plants," *Journal of Cleaner Production*, c. 196, ss. 707–718, 2018.
- [36] K. Abdiyev, S. Azat, E. Kuldeyev, D. Ybyraiymkul, S. Kabdrakhmanova, ... & S. Sultakhan, "Review of slow sand filtration for raw water treatment with potential application in less-developed countries," *Water*, c. 15, sayı 11, ss. 2007, 2023.
- [37] J. K. Kim, & R. Smith, "Cooling water system design," *Chemical Engineering Science*, c. 56, sayı 12, ss. 3641–3658, 2001.
- [38] Lenntech, *Characteristics of boiler feed water*. [Online]. Erişim: <https://www.lenntech.com/applications/process/boiler/boiler-feedwater-characteristics.htm>.
- [39] A. Bhatia, "Improving energy efficiency of boiler systems," *Continuing education and development engineering*, ss. 1-55, 2012.
- [40] S. Vidojkovic, A. Onjia, B. Matovic, N. Grahovac, V. Maksimovic, & A. Nastasovic, "Extensive feedwater quality control and monitoring concept for preventing chemistry-related failures of boiler tubes in a subcritical thermal power plant," *Applied Thermal Engineering*, c. 59, sayı 1–2, ss. 683–694, 2013.
- [41] J. R. Abrial, "Steam-boiler control specification problem," *Formal Methods for Industrial Applications: Specifying and Programming the Steam Boiler Control*, c. 1165, ss. 500-509, 2005.

- [42] W. C. Bauman, J. Eichhorn, & L. F. Wirth, "Silica-free boiler feed water by ion exchange," *Industrial & Engineering Chemistry*, c. 39, sayı 11, ss. 1453–1457, 1947.
- [43] M. C. De Andrés, J. Doria, M. Khayet, L. Pena, & J. I. Mengual, "Coupling of a membrane distillation module to a multieffect distiller for pure water production," *Desalination*, c. 115, sayı 1, ss. 71–81, 1998.
- [44] N. Savage, & M. S. Diallo, "Nanomaterials and water purification: opportunities and challenges," *Journal of Nanoparticle research*, c. 7, ss. 331–342, 2005.
- [45] H. Buiteveld, J. H. M. Hakvoort, & M. Donze, "Optical properties of pure water," *Proceedings of the SPIE, Ocean Optics XII*, Bergen, Norveç, 1994, ss. 174–183.
- [46] L. A. Melnik, & D. A. Krysenko, "Ultrapure water: properties, production, and use," *Journal of Water Chemistry and Technology*, c. 41, ss. 143–150, 2019.
- [47] J. Wood, J. Gifford, J. Arba, & M. Shaw, "Production of ultrapure water by continuous electrodeionization," *Desalination*, c. 250, sayı 3, ss. 973–976, 2010.
- [48] X. Zhang, Y. Yang, H. H. Ngo, W. Guo, H. Wen, X. Wang, ... & T. Long, "A critical review on challenges and trend of ultrapure water production process," *Science of The Total Environment*, c. 785, ss. 147254, 2021.
- [49] K. Li, I. Chua, W. J. Ng, & W. K. Teo, "Removal of dissolved oxygen in ultrapure water production using a membrane reactor," *Chemical Engineering Science*, c. 50, sayı 22, ss. 3547–3556, 1995.
- [50] G. Tchobanoglous, F. L. Burton, & H. D. Stensel, *Wastewater engineering Treatment and Reuse*, New York, A.B.D.: Metcalf & Eddy Inc, 1991.
- [51] T. J. Casey, *Unit treatment processes in water and wastewater engineering*. Dublin: John Wiley & Sons, 1997, ss. 166–170.
- [52] M. Boller, "Small wastewater treatment plants—a challenge to wastewater engineers," *Water Science and Technology*, c. 35, sayı 6, ss. 1–12, 1997.

- [53] A. M. Shahalam, A. Al-Harthy, & A. Al-Zawhry, "Feed water pretreatment in RO systems: unit processes in the Middle East," *Desalination*, c. 150, sayı 3, ss. 235–245, 2002.
- [54] A. Maartens, P. Swart, & E. P. Jacobs, "Feed-water pretreatment: methods to reduce membrane fouling by natural organic matter," *Journal of Membrane Science*, c. 163, sayı 1, ss. 51–62, 1999.
- [55] R. W. Bowman, L. C. Gramms, & R. R. Craycraft, "High-silica waters in steamflood operations," *SPE Production & Facilities*, c. 15, sayı 2, ss. 123–125, 2000.
- [56] J. S. Gill, "Silica scale control," *Corrosion* 98, ss. 98226, 1998.
- [57] P. von Hirtz, "Silica scale control in geothermal plants—Historical perspective and current technology," R. DiPippo (Editör), *Geothermal Power Generation*. Cambridge, United Kingdom: Woodhead, 2016, ss. 443-476.
- [58] O. W. Flörke, H. A. Graetsch, F. Brunk, L. Benda, S. Paschen, ... & D. Shiffmann, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. New Jersey, A.B.D.: John Wiley & Sons, 2008.
- [59] B. S. Panigrahi & K. Ganapathysubramanian, Boiler water treatment, Z. Amjad and K. D. Demadis (Editörler), *Mineral scales and deposits*, Amsterdam, Hollanda: Elsevier, 2015, ss. 639-655.
- [60] A. Chaibakhsh & A. Ghaffari, "Steam turbine model," *Simulation Modelling Practice and Theory*, c. 16, sayı 9, ss. 1145-1162, 2008.
- [61] G. Okamoto, T. Okura, & K. Goto, "Properties of silica in water," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, c. 12, sayı 1-2, ss. 123–132, 1957.
- [62] R. Y. Ning, "Reactive silica in natural waters—A review," *Desalination and Water Treatment*, c. 21, sayı 1–3, ss. 79–86, 2010.
- [63] T. S. Mahadevan, & J. Du, "Evaluating water reactivity at silica surfaces using reactive potentials," *The Journal of Physical Chemistry C*, c.122, sayı 18, ss. 9875-9885, 2018.

- [64] H. Yang, C. Li, C. Wei, M. Li, X. Li, Z. Deng, & G. Fan, "Molybdenum blue photometry method for the determination of colloidal silica and soluble silica in leaching solution," *Analytical Methods*, c. 7, sayı 13, ss. 5462–5467, 2015.
- [65] G. Okamoto, T. Okura & K. Goto, "Properties of silica in water," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, c. 12, sayı 1-2, ss. 123-132, 1957.
- [66] T. Koo, Y. J. Lee, & R. Sheikholeslami, "Silica fouling and cleaning of reverse osmosis membranes," *Desalination*, c. 139, sayı 1–3, ss. 43–56, 2001.
- [67] A. G. Fane, R. Wang, & Y. Jia, "Membrane technology: past, present and future. In *Membrane and desalination technologies*" (pp. 1-45). Totowa, NJ: Humana Press, 2010.
- [68] Á. T. Kovács, "*Bacillus subtilis* Trends in microbiology," *Microbiology*, c. 27, sayı 8, ss. 724-725, 2019.
- [69] F. Topçal, M. DIĞRAK, & R. Gündoğan, "Topraktan izole edilen bacillus türlerinin tanımlanması ve bakteriosin üretimlerinin belirlenmesi," *Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 4, sayı 2, ss.57-67, 2014.
- [70] X. Zhang, A. Al-Dossary, M. Hussain, P. Setlow, & J. Li, "Applications of *Bacillus subtilis* spores in biotechnology and advanced materials," *Applied and Environmental Microbiology*, c. 86, sayı 17, e01096-20, 2020.
- [71] H. Zokaeifar, N. Babaei, C. R. Saad, M. S. Kamarudin, K. Sijam, & J. L. Balcazar, "Administration of *Bacillus subtilis* strains in the rearing water enhances the water quality, growth performance, immune response, and resistance against *Vibrio harveyi* infection in juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*," *Fish & Shellfish Immunology*, c. 36, sayı 1, ss. 68-74, 2014.
- [72] S. U. Ain, Impact on water quality of aquarium after adding *Bacillus subtilis* in aquarium. R. Z. Abbas, T. Akhtar, R. Asrar, A. M. A. Khan and Z. Saeed (editörler), *Complementary and Alternative Medicine: Feed Additives*. Faisalabad, Pakistan: Unique Scientific Publishers, 2024, pp: 154-162.

- [73] M. Sperfeld, C. Rauschenbach, G. Diekert, & S. Studenik, "Microbial community of a gasworks aquifer and identification of nitrate-reducing *Azoarcus* and *Georgfuchsia* as key players in BTEX degradation," *Water Research*, c. 132, ss.146-157, 2018.
- [74] Ç. Küçük, "Bitki probiyotik bakteriler: bitkiler üzerindeki rolleri ve uygulamalar," *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, c. 2, sayı 1, ss. 1-15, 2019.
- [75] E. Ş. Çelik, S. Ergün, & S. Yılmaz, "*Bacillus subtilis* ve *Lactobacillus plantarum* probiyotik bakterilerinin bazı balık patojenleri üzerine in vitro antagonistik etkisi," *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, c. 4. sayı 2, ss. 278-284, 2019.
- [76] A. Huertas, B. Barbeau, C. Desjardins, A. Galarza, M. A. Figueroa, & G. A. Toranzos, "Evaluation of *Bacillus subtilis* and coliphage MS2 as indicators of advanced water treatment efficiency," *Water Science and Technology*, c. 47, sayı 3, ss. 255-259, 2003.
- [77] D. Oemcke, & J. H. V. Leeuwen, Seawater ozonation of *Bacillus subtilis* spores: implications for the use of ozone in ballast water treatment," *Ozone: Science & Engineering*, c. 26, sayı 4, ss. 389-401, 2004.
- [78] Y. Shao, H. Zhong, L. Wang, & M. M. Elbashier, "Use of *Bacillus subtilis* D9 to purify coastal aquaculture wastewater and improve grass carp resistance to *Vibrio* infection," *Aquaculture Environment Interactions*, c. 13, ss. 249-258, 2021.
- [79] J. X. Li, J. Gao, X. G. Luo, Y. Guo, J. Xiao, & T. C. Zhang, "Functions of *Bacillus subtilis* BS7.29 in wastewater treatment," Proceedings of the 2010 International Conference on Digital Manufacturing & Automation, ICDMA 2010, Çangşa, Çin, 2010, ss. 753–756.
- [80] S. A. Craik, D. W. Smith, M. Belosevic, & M. Chandrakanth, "Use of *Bacillus subtilis* spores as model micro-organisms for ozonation of *Cryptosporidium parvum* in drinking water treatment," *Journal of Environmental Engineering and Science*, c. 1, sayı 3, ss. 173–186, 2002.
- [81] B. Meekwamdee, & W. Suebsaiprom, "Study on effective of *Bacillus subtilis* for domestic wastewater treatment in the Royal Thai Army Chemical Department Area," *Journal of Namibian Studies*, c. 34, sayı S2, ss. 3459–3472, 2023.

- [82] M. U. Mera, & T. J. Beveridge, "Mechanism of silicate binding to the bacterial cell wall in *Bacillus subtilis*," *Journal of Bacteriology*, c. 175, sayı 7, ss. 1936-1945, 1993.
- [83] M. M. Urrutia, & T. J. Beveridge, "Formation of fine-grained metal and silicate precipitates on a bacterial surface (*Bacillus subtilis*)," *Chemical Geology*, c. 116, sayı 3-4, ss. 261-280, 1994.
- [84] H. Afifudin, W. Nadzarah, M. S. Hamidah, & H. N. Hana, "Microbial participation in the formation of calcium silicate hydrated (CSH) from *Bacillus subtilis*," *Procedia Engineering*, c. 20, ss. 159-165, 2011.
- [85] P. Wattiau, M. E. Renard, P. Ledent, V. Debois, G. Blackman, & S. Agathos, "A PCR test to identify *Bacillus subtilis* and closely related species and its application to the monitoring of wastewater biotreatment," *Applied microbiology and biotechnology*, c. 56, ss. 816-819, 2001.
- [86] L. Tian, X. D. Chen, Q. P. Yang, J. C. Chen, Q. Li, & L. Shi, "Effect of silica dioxide particles on the evolution of biofouling by *Bacillus subtilis* in plate heat exchangers relevant to a heat pump system used with treated sewage," *Chemical Engineering Journal*, c. 188, ss. 47-56, 2012.
- [87] M. A. T. Zakaria, S. Z. Sakimin, M. R. Ismail, K. Ahmad, & S. Kasim, "A field evaluation of Sodium Silicate and *Bacillus subtilis* on the growth and yield of bananas following Fusarium Wilt Disease infection," *Sustainability*, c. 15, sayı 4, ss. 3141, 2023.
- [88] P. Pedenaud, C. Goulay, F. Pottier, O. Garnier, & B. Gauthier, "Silica-scale inhibition for steam generation in OTSG boiler," *SPE Production & Operations*, c. 21, sayı 1, ss. 26-32, 2006.
- [89] O. H. Krikorian, "Thermodynamics of the silica-steam system," *Symposium on Engineering With Nuclear Explosives*, Nevada, A.B.D., 1970, ss. 481-492.
- [90] M. I. Veríssimo, J. A. Oliveira, & M. T. S. Gomes, "Determination of the total hardness in tap water using acoustic wave sensors," *Sensors and Actuators B: Chemical*, c. 127, sayı 1, ss. 102-106, 2007.

- [91] M. Shariati-Rad, & S. Heidari, "Classification and determination of total hardness of water using silver nanoparticles," *Talanta*, c. 219, ss. 121297, 2020.
- [92] C. Li, C. Liu, Z. Cao, M. Shan, & Y. Bing, "Effect and mechanism of induced crystallization softening treatment on water quality in drinking water distribution system with high hardness water source," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, c. 11, sayı 5, ss. 110474, 2023.
- [93] P. H. Gleick, "Water management: Soft water paths," *Nature*, c. 418, sayı 6896, ss. 373–373, 2002.
- [94] M. R. Moore, "Lead in drinking water in soft water areas—health hazards," *Science of the Total Environment*, c. 7, sayı 2, ss. 109–115, 1977.
- [95] H. Frančáková, M. Solgajová, & Š. Dráb, "Water hardness as an important parameter of pH," *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, c. 2, sayı 1, ss. 2043–2051, 2013.
- [96] W. P. R. T. Perera, Water hardness and health, M. N. V. Prasad and M. Vithanage (Editörler), *Medical Geology: En route to One Health*. New Jersey, A.B.D.: John Wiley & Sons, 2023, ss. 129–141.
- [97] C. E. Boyd, & C. E. Boyd, "Total hardness," *In: Water Quality*, Cham , İsviçre: Springer Nature, 2015, ss. 179–187.
- [98] *Standard Test Method for Silica in Water*, ASTM D859-00, 2017.
- [99] B.R. Manno, I. K. Abukhalaf, & J. E. Manno, "A simple spectrophotometric assay for the measurement of soluble silica in water," *Journal of Analytical Toxicology*, c. 21, ss.503-505, 1997.
- [100] S. Faza, J. Kwok, & O. Salah, "*Application of high-strength and corrosion-resistant ASTM A1035 steel reinforcing bar in concrete high-rise construction*," Council on Tall Buildings and Urban Habitat 8th World Congress, CTBUH 2008, Dubai. 2008, ss. 1-6.
- [101] A. W. Danial, & F. M. Dardir, "Copper biosorption by *Bacillus pumilus* OQ931870 and *Bacillus subtilis* OQ931871 isolated from Wadi Nakheil, Red Sea, Egypt," *Microbial Cell Factories*, c. 22, ss. 152, 2023.

- [102] C. Thongchom, T. Laemthong, P. Sangkeaw, N. Yamasamit, & S. Keawsawasvong, "Evaluation of encapsulated *Bacillus subtilis* biomortars for use under acidic conditions," *Scientific Reports*, c. 14, ss. 25947, 2024.
- [103] M. Soltani, K. Ghosh, S. H. Hoseinifar, V. Kumar, A.J. Lymbery, S. Roy, & E. Ringø, "Genus *Bacillus*, promising probiotics in aquaculture: aquatic animal origin, bio-active components, bioremediation and efficacy in fish and shellfish," *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, c. 27, ss. 331-379, 2019.
- [104] *VGB-Standard Feed Water, Boiler Water and Steam Quality For Power Plants / Industrial Plants*, VGB-Standard VGB-S-010, 2011.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Deniz BOZKURT

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Kimya Bölümü	Düzce Üniversitesi	2025
Lisans	Kimya Bölümü	Fırat Üniversitesi	2012
Lise	Fen	Samsun Cumhuriyet Anadolu Lisesi	2007

TEZDEN ÇIKAN YAYIN

1. Bozkurt, D., Dalmaz, A., & Durmuş, S. (2025). Treatment of silicate Ion with *Bacillus subtilis* bacteria in demineralization-water/steam cycles in power plants. *Turkish Journal of Analytical Chemistry*, 7(2), 220-227.