T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# FARKLI POLİMERİK İNHİBİTÖRLERİN KALSİYUM KARBONAT ÇÖKMESİNE KARŞI HAVUZ KOŞULLARINDA PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

**Murat TÜRKMENOĞLU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Elçin YILMAZ

Şubat, 2023

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# FARKLI POLİMERİK İNHİBİTÖRLERİN KALSİYUM KARBONAT ÇÖKMESİNE KARŞI HAVUZ KOŞULLARINDA PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Murat TÜRKMENOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 14.02.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doc. Dr. Elçin Yılmaz
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Elçin Yılmaz, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Ekin Kıpçak, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Elif Öztürk Er, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Elçin YILMAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Farklı Polimerik İnhibitörlerin Kalsiyum Karbonat Çökmesine Karşı Havuz Koşullarında Performanslarının İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Murat TÜRKMENOĞLU

İmza

# TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında bana her konuda yardımcı olan, bilgilerini, tecrübelerini ve desteklerini esirgemeyen başta tez danışmanım Doç. Dr. Elçin Yılmaz'a, değerli aileme ve akrabalarıma, kardeşlerimden farksız gördüğüm arkadaşlarıma, benim için ikinci bir okul ve aile olan çalıştığım firmama ve okulum olan Yıldız Teknik Üniversitesine sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bütün bu çalışmada emekleri olan herkese hayatım boyunca saygı, sevgi ve minnettarlık ile yaklaşacağım ve paha biçilemez desteklerini her zaman hatırlayacağım.

# İÇİNDEKİLER

**SİMGE LİSTESİ** viii
**KISALTMA LİSTESİ** ix
**ŞEKİL LİSTESİ** x
**TABLO LİSTESİ** xi
**ÖZET** xii
**ABSTRACT** xiv
**1 GİRİŞ** 1
1.1 Literatür Özeti ... 1
1.2 Tezin Amacı ... 3
1.3 Hipotez ... 4
**2 ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK** 5
2.1 Dünyamızda Su ... 5
2.2 Küresel İklim Değişikliği ... 6
2.3 Su Kirliliği ... 8
2.4 Fosfor, Fosfat Ve Fosfonatların Sebep Olduğu Kirlilik ... 9
2.5 Tek Süperfosfat ve Üçlü Süperfosfat Arasındaki Fark ... 11
2.6 Havuz Suları ve Diğer Endüstriyel Sularda En Kullanılan Fosfor Bileşeni 12
2.7 Neden Fosfor, Fosfat, Fosfonat Efektivite Göstermesine Rağmen Kullanılmamalı ... 13
**3 HAVUZLARIN GENEL TANIMI VE SU ÇEVRİMİ** 17
3.1 Havuz Tipleri ... 18
3.1.1 Taşmalı Havuzlar ... 18
3.1.2 Sıyırıcılı Havuzlar ... 19
3.1.3 Sonsuzluk Havuzları ... 19
3.1.4 Prefabrik, Metalik İskeletli Ve Şişme Havuzlar ... 20
3.1.5 Süs Havuzları Ve Diğer Ticari Amaçla Kullanılan Endüstriyel Havuzlar ... 20
3.2 Havuzların Önemli Yapı Malzemeleri ... 21
3.2.1 Denge Tankı ... 22
3.2.2 Filtreler Savaklar ve Sıyırıcılar ... 23
3.2.3 Isıtıcılar ... 24
3.2.4 Havuz Pompaları ... 25

3.2.5 Yapısal Malzemeler ..... 25
3.2.6 Otomasyon Kimyasallar ve Diğer Yapılar ..... 25
3.3 Su Kalitesini Belirleyen Başlıca Etmenler ve Analiz Yöntemleri ..... 26
3.3.1 Bulanıklık ..... 28
3.3.2 Su Sertliği ..... 28
3.3.3 Toplam Alkalinite ..... 29
3.3.4 pH ..... 30
3.3.5 Toplam Çözünmüş Katı Madde ..... 31
3.3.6 İletkenlik ..... 31
3.3.7 Sıcaklık ..... 32
3.3.8 Çözünmüş Oksijen ..... 32
3.3.9 Demir ..... 32
**4 LİTERATÜR ÖZETİ** **33**
4.1 Su Neden Ehlileştirilmelidir ..... 33
4.2 Maliyet Verimliliğinin Artırılması ..... 34
4.3 Çevre ve İnsan Sağlığının Korunması ..... 35
4.4 Mekanik Yöntemlerle Suyun Hazırlanması ..... 36
4.4.1 Koagülasyon ve Flokülasyon ..... 36
4.4.2 Kum Filtre ..... 37
4.4.3 Aktif Karbon ..... 37
4.4.4 İyon Değiştirici Reçineler ..... 38
4.4.5 Mikrofiltrasyon ..... 39
4.4.6 Ultrafiltrasyon ..... 39
4.4.7 Nanofiltrasyon ..... 40
4.4.8 Ters Ozmos ..... 40
4.4.9 Demineralizasyon ..... 41
4.5 Korozyon Ve Tortu Oluşum Mekanizmaları ..... 44
4.5.1 Anot Katot Hücre Korozyon Modeli ..... 45
4.5.2 Birikinti Altı Korozyonu ..... 47
4.5.3 Galvanik Korozyon ..... 48
4.5.4 Erozyon Korozyonu ..... 49
4.5.5 Yüksek ve Düşük pH Korozyon ..... 51
4.5.6 Atmosferik Korozyon ..... 51
4.5.7 Mikrobiyolojik Film Korozyonu ..... 52

4.5.8 Kavitasyon ..... 53
4.5.9 Tortu Oluşum Mekanizması ..... 53
4.6 Korozyon Ve Tortu Mekanizmalarını Etkileyen Faktörler ..... 55
4.6.1 Sıcaklık ..... 55
4.6.2 Akış Hızı ..... 55
4.6.3 Fiziksel Faktörler ..... 55
4.6.4 Çözünmüş Gazlar ..... 56
4.6.5 Klor Ve Diğer Halojenler ..... 57
4.6.6 Birikintiler ..... 57
4.7 Havuzlarda Kullanılan Malzemelerin Üzerinde Birikinti Ve Korozyon ..... 57
4.7.1 Karbon Çelik ..... 58
4.7.2 Bakır Alaşımlı Malzemeler ..... 59
4.7.3 Paslanmaz Çelik ..... 59
4.7.4 Galvanik Metaller ..... 60
4.7.5 Metalik Olmayan Malzemeler ..... 60
4.8 Literatürdeki İnhibitörlerin Karşılaştırılması ..... 61
4.9 Ozon ve Klor Karşılaştırması ..... 62
**5 MATERYAL VE METOT** **64**
5.1 Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar ..... 64
5.2 Kullanılan Kimyasallar ..... 64
5.3 Statik Jar Test Yöntemi ..... 65
5.4 Korozyon Kuponları ..... 67
**6 ARAŞTIRMA BULGULARI** **69**
6.1 Klor İhtiyacı ve Serbest Klor Artıklığı ..... 69
6.1.1 En İyi Klorun Alınması ..... 71
6.2 Fosfonatlar ..... 73
6.3 Organik İnhibe Edici Moleküller ..... 76
6.4 Alkalinite ve pH Ayarlayıcılar ..... 77
6.5 Çöktürücüler ve Filtre Yardımcı Kimyasalları ..... 79
6.6 Statik Jar Test Yöntemi İle İhibisyon Testi ..... 79
6.7 Korozyon Kuponlarının İncelenmesi ..... 93
6.8 Mikrobiyolojik Olarak Uygunluk ..... 95
**7 SONUÇ VE ÖNERİLER** **98**
**KAYNAKÇA** **100**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 107

# SİMGE LİSTESİ

| | |
|---|---|
| W | Ağırlık farkı g, |
| ° | Derece |
| A | Kuponun yüzey alanı $cm^2$ |
| $\mu$m | Mikrometre |
| $\mu$S/cm | Mikrosiemens/Santimetre |
| $mg/dm^2$ | Miligram/Desimetre kare |
| mg/L | Miligram/Litre |
| mm/y | Milimetre/Yıl |
| µm/y | Mikron/Yıl |
| $Ca_0$ | Numune içinde bulunan toplam kalsiyum karbonat |
| $Ca_1$ | Numune içerisinde kimyasal işlem yapıldıktan sonra yüzeylerde kalan kalsiyum karbonat |
| T | Sistemde bulunduğu gün sayısı |
| D | Yoğunluk |
| % | Yüzde |

# KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---|---|
| ATP | Adenozin Trifosfat |
| SAC | Asidik Katyon Değişim Reçinesi |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| DI | Demineralize |
| DNA | Deoksiribo Nükleik Asit |
| EDTA | Etilendiamin Tetraasetik Asit |
| SBA | Güçlü Bazik Anyon Değişim Reçinesi |
| MF | Mikrofiltrasyon |
| MPY | Mils per Year |
| NF | Nanofiltrasyon |
| NTU | Nephelometric Turbidity Unit |
| ORP | Oxidation-Reduction Potential |
| ppm | Parts Per Million |
| pH | Potential Of Hydrogen |
| RNA | Ribonükleik Asid |
| SSP | Single Super Phosphate |
| NACE | Statistical Classification of Economic Activities in the European Community |
| RO | Ters Osmoz |
| ASME | The American Society of Mechanical Engineers |
| TDS | Total Dissolved Solids |
| TSP | Triple Super Phosphate |
| USEPA | U.S. Environmental Protection Agency |
| UF | Ultrafiltrasyon |
| VOC | Volatile Organic Compounds |
| WHO | World Health Organization |
| WAC | Zayıf Asidik Katyon Değişim Reçinesi |
| WBA | Zayıf Bazik Anyon Değişim Reçinesi |

# ŞEKİL LİSTESİ

**Şekil 2.1** Fosforik asit üretim diyagramı .....12
**Şekil 4.1** Koagülasyon ve flokülasyon .....36
**Şekil 4.2** Aktif karbon .....38
**Şekil 4.3** Reçineler .....38
**Şekil 4.4** Membran çalışma koşulları .....39
**Şekil 4.5** Deiyonize su tesisi dizaynı .....42
**Şekil 4.6** Anot katot korozyonu .....46
**Şekil 4.7** Erozyon korozyonu .....50
**Şekil 4.8** Borularda akış .....56
**Şekil 4.9** Çözünmüş katıların korozyon hızına etkisi .....58
**Şekil 5.1** Manyetik karıştırıcı .....64
**Şekil 5.2** Jar test .....66
**Şekil 6.1** %20 klor çözeltileri .....73
**Şekil 6.2** En çok kullanınlan fosfonatlar .....75
**Şekil 6.3** pH değişimine göre karbonatların suda bulunma yüzdeleri .....78
**Şekil 6.4** Filtre kimyasalı ile jar test .....79
**Şekil 6.5** 8'li Manyetik karıştırıcı ve denemeler .....81
**Şekil 6.6** 200 ppm $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri .....84
**Şekil 6.7** 250 ppm $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri .....86
**Şekil 6.8** 300 ppm $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri .....88
**Şekil 6.9** 350 ppm $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri .....90
**Şekil 6.10** 400 ppm $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri .....92
**Şekil 6.11** $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri .....93
**Şekil 6.12** Korozyon kuponları .....95
**Şekil 6.13** Bakteri koloni sayısı gösterimi .....96
**Şekil 6.14** Dipslayt kontrolü .....97

# TABLO LİSTESİ

**Tablo 2.1** Dünyada su rezervlerinin dağılımı .....5
**Tablo 3.1** İçme suyu değerleri.....27
**Tablo 4.1** Yöntemlerin genel bir karşılaştırması.....43
**Tablo 6.1** Klor aktif madde analizleri.....71
**Tablo 6.2** Klor safsızlık analizleri.....72
**Tablo 6.3** Tortu önleyiciler olarak incelenecek polimerler .....82
**Tablo 6.4** 200 ppm $CaCO_3$ bulunan sulu çözeltinin inhibisyon denemesi.....83
**Tablo 6.5** 250 ppm $CaCO_3$ bulunan sulu çözeltinin inhibisyon denemesi.....85
**Tablo 6.6** 300 ppm $CaCO_3$ bulunan sulu çözeltinin inhibisyon denemesi.....87
**Tablo 6.7** 350 ppm $CaCO_3$ bulunan sulu çözeltinin inhibisyon denemesi.....89
**Tablo 6.8** 400 ppm $CaCO_3$ bulunan sulu çözeltinin inhibisyon denemesi.....91
**Tablo 6.9** Korozyon kuponu analizleri .....94

# ÖZET

## Farklı Polimerik İnhibitörlerin Kalsiyum Karbonat Çökmesine Karşı Havuz Koşullarında Performanslarının İncelenmesi

Murat TÜRKMENOĞLU

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Elçin YILMAZ

Fosfor dünya üzerinde sınırlı miktarda bulunan bir elementtir. Canlıların hayatlarını devam ettirebilmeleri için çok önemli yapı taşları olan birçok bileşiğin içerisinde yer alır. Günümüzde besinlerin yetiştirilmesinden hayvanların beslenmesine ve sanayide çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Başta korozyon ve birikintiye karşı çok efektif bir inhibitördür. Fakat kullanıldıktan sonra deşarjı sırasında bulunduğu alanda ötrofikasyona sebep olması nedeniyle hiç çevreci dostu bir bileşik değildir. Ötrofikasyon zamanla diğer canlıların yaşamlarının sonlanmasına sadece o alanda alglerin faaliyet göstermesine sebep olan bir doğa olayıdır. Fosfor ile ilgili bir başka problem ise kaynakların çok sınırlı olması ve gelecek yüzyıl içerisinde artık kullanılabilir fosfor kalmayacağıdır. Bu durum ise besin döngüsü için ciddi bir problemdir. Neredeyse topraktan aldığımız bütün besinler büyüyüp hasat edilebilir hale gelmek için fosfora ihtiyaç duymaktadır. Bu sınırlı kaynağın tarım ve hayvancılık alanları dışındaki kullanımlarına alternatifler bulunması çok elzemdir. Bu bağlamda fosfor bileşenlerinin başlangıçta havuzlarda daha sonrasında soğutma kuleleri gibi farklı endüstriyel kullanımlarının olduğu

alanlarda alternatif kimyasallar bulunmalı veya sentezlenmelidir. Yüzme havuzları, günlük kullanım, sporlar veya diğer birçok etkinlikler yapmak için içerisinde su tutmak üzere tasarlanmış yapılardır. Havuzlar binaların veya yerin altına, yer üstüne hatta bir geminin üzerine bile inşa edilebilir olarak dizayn edilebilmektedir. Havuzlar en yaygın olarak beton, doğal taş, seramik, çeşitli metaller, plastik ve cam elyafı gibi birçok malzemelerden yapılır ve özel bir boyut ve şekilde olabilirler. Su, dünyada fazla miktarda bulunan, hayatın devamlılığı için mutlaka bulunması gereken kokusuz ve tatsız bir kimyasal bileşiktir. Tüm karbon bazlı yaşam, ömrünü devam ettirebilmek için suya ihtiyaç duyar. Suyun, fiziksel ve kimyasal yapısı basit gibi görünse de muazzam özellikler sergiler. Doğada su; katı, sıvı ve gaz olmak üzere 3 şekilde bulunur. Kimyasal olarak ifade edilişi ($H_2O$) olan ve içeriğinde 2 H ve 1 O atomu içeren bir bileşiktir. Ayrıca su, birçok farklı organik ve inorganik bileşiğin mükemmel bir çözücüsüdür. Bu nitelik suyun polar yapısının hemen hemen her malzemeyi çözebilmesinden gelmektedir. Su malzemeler ile temasında gerek ekstrem koşullarda gerekse normal şartlarda korozyona ve birikintilere sebep olacaktır. Dünyadaki artan nüfus ve tüketimi dengeleyebilmesinin en önemli yolu sağlık açısından değerler korunurken verimin en üst seviyeye getirilmesi, daha az atık ile hiçbir kaynağın ziyan edilmeyerek çevreye duyarlı en ekonomik yolların belirlenmesidir. Aksi takdirde çevre ve su kirliliği sonucu ile dünya yaşanamaz bir hal alacak, yetersiz kaynaklardan dolayı birçok insan hastalıklar ve kıtlık gibi korkunç sonuçlar ile yüzleşmek zorunda kalacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** su, havuz, kalsiyum karbonat, inhibitör

# ABSTRACT

## Investigation of Performance of Different Polymeric Inhibitors Against Calcium Carbonate Precipitation in Pool Conditions

Murat TÜRKMENOĞLU

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Doc. Dr. Elçin YILMAZ

Phosphorus is an element found in limited quantities on earth. It is included in many compounds that are very important building blocks for living things to continue their lives. Today, it is used in various fields from agriculture to the feeding of animals and in industry. It is a very effective inhibitor against corrosion and deposits. However, it is not an environmentally friendly compound at all, since it causes eutrophication in the area where it is discharged after use. Eutrophication is a natural phenomenon that causes the algae to operate only in that area, ending the lives of other living things over time. Another problem with phosphorus is that the resources are very limited and there will be no more usable phosphorus in the next century. This is a serious problem for the nutrient cycle. Almost all the nutrients we get from the soil need phosphorus to grow and become harvestable. It is essential to find alternatives to the uses of this limited resource other than agriculture and animal husbandry. In this context, alternative chemicals should be found or synthesized in areas where phosphorus components are initially used in pools and then in different industrial uses such as cooling

towers. Swimming pools are structures designed to hold water for daily use, sports or many other activities. Pools can be designed to be built under buildings or underground, above ground or even on a ship. Pools are most commonly made of many materials such as concrete, natural stone, ceramics, various metals, plastic and fiberglass, and can come in a custom size and shape. Water is an odorless, tasteless chemical compound that is abundant in the world and must be present for the continuity of life. All carbon-based life needs water to survive. Although the physical and chemical structure of water seems simple, it exhibits tremendous properties. In addition, water is an excellent solvent of many different organic and inorganic compounds. This feature comes from the fact that the polar structure of water can dissolve almost any material. When water comes into contact with materials, it will cause corrosion and deposits both in extreme conditions and under normal conditions. The most important way to balance the increasing population and consumption in the world is to maximize efficiency while preserving values in terms of health, and to determine the most environmentally friendly and economical ways without wasting any resources with less waste. Otherwise, the world will become unlivable as a result of environmental and water pollution, and many people will have to face terrible consequences such as diseases and famine due to insufficient resources.

**Keywords:** water, pool, calcium carbonate, inhibitor

# 1
# GİRİŞ

## 1.1 Literatür Özeti

Dünya doğal kaynakların hızla tükendiği ve tükenen kaynakların telafisinin çok güçleştiği bir durumdadır. Çevresel sürdürülebilirlik doğal kaynakların yerinde kullanılarak gelecek kuşaklara aktarılması ve devamlılığının sağlanmasıdır. Sürdürülebilirlik sadece çevrenin korunması değildir, ekolojik, ekonomik ve toplumsal boyutları da bir arada barındıran bütünsel bir yaklaşımdır. Tükendiği zaman yerine konamayacak kaynaklar yerine yenilenebilir ve çevreye duyarlı yöntemlere başvurmayı amaçlar.

Su dünya üzerindeki en iyi çözücülerden biridir. Bu özellik yaşamın devamlılığı için yüksek önem arz etse de suyun kullanıldığı birçok alanda ciddi problemlere sebebiyet vermektedir. Başta kalsiyum karbonatlar olmak üzere suyun yoğun olarak kullanıldığı alanlarda yaygın olarak tortuya ve dolaylı yoldan korozyona sebep olmaktadır. Boru hatlarının ve membranların önemli ölçüde tıkanmasına ve üretim maliyetinin artmasına hatta bazen parçaların kullanılmaz hale gelmesine kadar ilerleyecek süreçler yaşanmaktadır. Ticari olarak kullanılan tortu önleyiciler bu çökmeyi belli miktarlarda önleyebilmektedir. Havuzlar için en yaygın olarak kullanılan ticari tortu önleyici bir fosfor bileşeni olan 1-Hidroksietiliden-1,1-Disfosfonik asittir. Bu fosfor türevlerinin kullanıldığı tek alan havuzlar da değildir. Fabrikaların sirkülasyon sularından, deterjanlara gıda ve tarıma kadar çok geniş bir alanda kullanımı vardır. Her ne kadar bulunduğu sistemi koruma açısından başarılı da olsa uzun vadede dünyaya vereceği zararlar ile fayda zarar karşılaştırmasında zarar boyutu çok yüksektir. Fosfor bazlı inhibitörler ötrofikasyon sorunlarına yol açar. Fosfor deşarjları bu nedenle dünya çapında birçok ülkede düzenlenmektedir ve izin verilen limitler sürekli azalmaktadır. Artan çevresel kaygılar ve deşarj sınırlamaları, depozit önleyici kimyasalların biyolojik olarak kolayca parçalanabilen ve minimum çevresel etkiye sahip biyobozunur antiskalantlara doğru ilerlemeye zorlamaktadır. Bu teknolojiler çok

yeni olup her geçen gün çeşitlenmekte ve farklılaşmaktadır. Uygulama alanları şu anda çok sınırlı olmasına rağmen (maliyetlerin yüksek olması) regülasyonların sınırlandırılmasıyla fosfor deşarjının yapılamayacağı noktaya geldiğimizde bu teknolojilerin kullanımları kaçınılmaz olacaktır.

Çiftçilerin bugün kullandığı ve yediğimiz yiyeceklerde tükettiğimiz fosfor bazlı katkılar, bazı tahminlere göre 50 yıl gibi kısa bir sürede tükenebilir. Jeologlar bütün fosfor yatakları bilmektedirler, ancak bu kaynaklar erişilmesi daha zor ve az miktarda fosfor içermektedir. Bu nedenle, fosfor bileşenlerinin fiyatları şimdiden yükselişe geçmiş ve ilerleyen zamanda yetiştiricilerin gübre almasını dolayısıyla insanların yiyeceklere erişimini zorlaştıracaktır. Fosfor, yaşam için tartışılmaz bir gerekliliktir. DNA'nın ve ATP'deki P'nin omurgasıdır aynı zamanda hücrelerin etrafında enerji taşıyan moleküldür. Bitkiler büyümek için fosfora ihtiyaç duyarlar, bu yüzden çiftçiler binlerce yıldır ekinlerini fosforla beslemektedirler. En ilkel çiftçiler kimyasını anlamadan insanlar gübre olarak hayvanların kemiklerini, hayvan ve insan dışkılarını kullandılar. 1842'de Oxford Üniversitesi'nden, fosforun yeni mineral formlarını asitle işlemek için bir işlemin patentini aldı, amaç besininin bitkiler için daha erişilebilir hale getirilmesiydi ve kısa süre sonra dünyanın ilk insan yapımı gübresini satmaya başladı. Daha sonra, bilim insanları fosforun biraz dolambaçlı bir besin olduğunu keşfettiler. Fosfor, gıda üretimi ve işlenmesinin birçok aşamasında kaybolur. Fosfor mevcudiyetinde ve fiyatında meydana gelen değişikliklerin dünyanın gıda sistemi açısından tehlike oluşturmaktadır [1].

Çıkarılan fosfor yatakları ağırlıklı olarak tarımsal gübre (%80), geri kalanı hayvan yemi ilaveleri (%5) için kullanılırken, %15'i deterjanlar ve diğer endüstriyel uygulamalar gibi endüstriyel kullanımlar içindir [2]. Bazı araştırmacılara göre, Dünya'nın ticari ve uygun fiyatlı fosfor rezervlerinin 50-100 yıl içinde tükeneceği ve 2030'da en yüksek fosfor üretim miktarına ulaşılması bekleniyor. Artan fosfat kullanımının gelecek nesillere olası etkileri belirsizliğini korumaktadır. Bunun nedeni fosfor bileşenlerinin birçok inorganik gübrede ve sanayide önemli bir hammadde olmasıdır. Fosfor konusunda dünyada yaşanabilecek bir kıtlık (veya sadece önemli fiyat artışları) dünyanın gıda güvenliğini olumsuz etkileyecektir [3]. 2021'de Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması, dünya çapında

ekonomik olarak çıkarılabilir fosfat kaya rezervlerinin 71 milyar ton, 2020'de dünya madencilik üretiminin 223 milyon ton, tüketimin ise 47 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir [4].

Şu an nispeten organik disperse edici moleküllerin fiyatları daha yüksek olsa da teknolojini ilerlemesi üretim miktarlarının artması ile gelecekte daha ekonomik hale gelecektirler. Fosfor gıda gibi bu kadar kritik bir alanda ihtiyaç duyulurken, başta havuzlar olmak üzere sonrasında diğer endüstriyel kullanım alanlarında alternatiflere yönelerek en azından gıda üretiminde fosfor yerine yeni yöntemler bulunana kadar kaynakların tükenmesine engel olmak çok daha doğru olacaktır. Aksi takdirde kısa bir süre sonra dünya ciddi bir gıda krizi yaşayacak ve bitkilerimizi yetiştirecek fosfor bileşenleri bulamayacağız.

2007'de yapılan bir araştırmaya göre Amerika Birleşik Devletleri'nde rapor edilen 8.5 milyondan fazla yüzme havuzu vardır. 2006 yılında aynı kapsamda toplam yaklaşık 389.000 yeni yüzme havuzu kurulmuş olup, havuz sayısında bir önceki yıla göre yüzde 2.5'in üzerinde bir artış sağlanmıştır [5]. Günümüzde bu sayı 10 milyonun üzerindedir. Havuzların sayısı dünyada bu kadar hızlı artarken doğal olarak hacimlerde artmaktadır. Bu büyüklükte bir hacmin açığa çıkaracağı atık miktarı da çok yüksek miktarda olacaktır. En başarılı atık yönetimi hiç atık oluşturmamak olacağı için buradan kaynaklanacak fosfor kirliliğini eğer hiç oluşturmazsak havuzlar için en başarılı atık yönetimini de başarmış oluruz.

## 1.2 Tezin Amacı

Havuzlarda kalsiyum karbonat çökmesini önlemek ve korozyona karşı önlem almak için kullanılan 1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asitin ötrifikasyon gibi zararlı oluşumlara sebep olması, ayrıca fosfor bileşenlerinin tarımda kullanılması, fosfor olmadan bitkilerin yetiştirilmesinin mümkün olmaması ve fosforun sınırlı miktarda olması sebebiyle ileride oluşabilecek kullanım ve deşarj kısıtlamalarının, ciddi fiyat artışlarının önüne geçebilmek için alternatif olarak suda çözünen organik bir polimerin bulunması gerekmektedir. Fosfor bileşenleri ayrıca soğutma kuleleri ve deterjan sektörü gibi hacimlerin çok fazla olduğu alanlarda da kullanılmaktadır. İster yüzme havuzu olsun ister soğutma kulesi içerisine eklenen fosforlu koruma bileşeni çok kısa bir süre sonra deşarj edilmek zorunda kalacaktır.

Öncelikle yüzme havuzlarından başlayarak daha sonrasında sanayide de kullanılmak üzere bu polimerlerin belirlenmesi ve performans testlerinin yapılması amaçlanmıştır.

## 1.3 Hipotez

Ötrofikasyonun en büyük sebebi olan fosfor bileşenleri çok ciddi doğa olaylarına sebep olmaktadır. Fosfor her canlının yaşayabilmesi için en gerekli elementlerden birisidir. Gezegenimizin artan nüfusu ile tarımsal ihtiyaçlarının artması, tarım için fosfor bileşenlerinin olmazsa olmaz olması, gelecekte yaşanabilecek fosfor kullanımlarının sınırlandırılması, fiyatlarının ulaşılamaz seviyelere çıkabilecek olması sebebiyle ve ileride yaşanacak fosfor deşarj regülasyonlarının sıkılaşması ile mevcutta kullanılan fosfor içeren yöntemlere karşı çok daha yeni, üstün ve çevreye duyarlı yöntemler geliştirilmesi gerekecektedir. Havuzlarda fosfor bileşenleri ile tortulaşmaya ve korozyona karşı koruma yapmak yerine suda çözünen, doğaya zararlı olmayan, ekonomik ve organik olan bir polimer ile herhangi bir fosfor bileşeni gerekmeksizin daha efektif sonuç alınabilir.

# 2
# ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

## 2.1 Dünyamızda Su

Su, hidrojen ve oksijen kimyasal elementlerinden oluşan ve katı, sıvı ve gaz halde bulunan bir maddedir. Bileşiklerin en bol ve gerekli olanlarından biridir. Oda sıcaklığında tatsız ve kokusuz bir sıvı olup, diğer birçok maddeyi çözme kabiliyetine sahiptir. Dünya yüzeyindeki su, esas olarak okyanuslarda yüzde 97,25, buzullarda yüzde 2,05 ve kalanı tatlı su göllerinde, nehirlerde ve yeraltı sularında bulunur (Tablo 2.1). Dünya nüfusu arttıkça buna su talebi artmakta, su arıtma ve geri dönüşüm giderek daha önemli hale gelmektedir. Hem dünyanın nüfusu hem de sıcaklığı arttığı için yakın gelecekte su sorunlarının yaşanma ihtimali epeyce fazladır [6].

**Tablo 2.1** Dünya su rezervlerinin dağılımı [7]

| **Su Kaynakları** | **Miktar km$^3$** | **%** |
|---|---|---|
| Okyanus, Deniz | 1,338 x10$^9$ | 96,54 |
| Tatlı Su | | |
| Buzullar | 2,406x10$^7$ | 1,74 |
| Yer Altı | 2,340x10$^7$ | 1,69 |
| Göl ve Nehir | 4,282x10$^5$ | 0,013 |
| Buhar veya Nem | 3,095 x10$^4$ | 0,001 |
| Toplam | 1,386x10$^9$ | 100 |

Kullanılabilir su kaynakları dünyanın yaklaşık %2,5 civarındadır ve bunların büyük bölümü buzullardır. Deniz suları doğrudan bazı özel durumlar hariç kullanılamamaktadır. Dünya su kullanımının alana göre oranı yaklaşık %70'i tarım sektöründe, %19 sanayide ve %11 kadar bölümü de içmek veya kullanmak içindir. Bu yüzdeler yaklaşık sayılar olup dünyada bölgelerin gelişmişlik düzeyine göre farklılıklar göstermektedir. Gerek tatlı su kaynaklarının azlığı gerekse bu tatlı suların büyük bir kısmının doğrudan kullanıma uygun olmadığı için çeşitli şartlandırma ve saflaştırma tekniklerini kullanmaya ihtiyaç duyulmuştur. Suyun benzersiz özelliklerinden bazıları yaşam için zorunludur, diğerleri ise canlı organizmaların büyüklüğü ve şekli, nasıl çalıştıkları ve içinde çalışması gereken fiziksel sınırlar veya kısıtlamalar üzerinde etkilere sahiptir [8, 9].

Su molekülünün geometrisi Şekil 1'de gösterilmiştir. 104,5° açı ile 95,7 picometre uzunluğunda iki O – H bağından oluşur. Suyun diğer temel özellikleri boyutu, şekli ve polaritesidir. Bağlanmayan atomlar, elektron orbitallerinin üst üste binmesine yetecek kadar yakın getirilirse, birbirlerini kuvvetli bir şekilde iteceklerdir. Daha büyük mesafelerde, dipol kuvveti nedeniyle iki atom birbirini zayıfça çeker. İtici ve çekici etkileşimlerin kombinasyonu Van der Waals etkileşimi olarak adlandırılır [6].

## 2.2 Küresel İklim Değişikliği

Küresel ısınma veya diğer ifade ediliş şekliyle küresel iklim değişikliği, başlıca atmosfere salınan sera gazlarının neden olduğu etkilerin sonucunda, Dünya üzerinde yıl boyunca kara, deniz ve havada ölçülen ortalama sıcaklıklarda görülen artışa verilen isimdir. Bu önemli duruma sadece sıcaklık değişimi olarak bakılmamalıdır. İklim değişikliği, nehir taşkınlarının bazı yerlerde olduğundan daha fazla veya daha sık olmasına, ancak bazı yerlerde daha küçük ve daha seyrek olmasına neden olabilir. Daha yüksek sıcaklıklar karadan veya okyanuslardan daha fazla suyun buharlaşmasına neden olduğundan, yoğun yağış olaylarının sıklığındaki değişiklikleri etkilemektedir. Akarsuların akışındaki değişiklikler, kışın biriken kar yığınlarının yüksek miktarda ve aynı zamanda erimesi sel oluşumlarına sebebiyet vermektedir.

Büyük sel olayları evlere, yollara, köprülere ve diğer altyapılara zarar verebilir; çiftçilerin ürünlerini yok edebilir. Bunların sonucunda bütün canlılar zarar görebilir ve insanlar dahil birçok canlı bulundukları alandan göç etmek durumunda kalır. Düzenli su baskını, taşkın ovasındaki toprakların besin dengesini korumaya yardımcı olsa da, daha büyük veya daha sık meydana gelen taşkınlar, su yaşamını değiştirerek, su kalitesini bozar, toprak erozyonunu artırarak ekosistemleri bozulmasına neden olacaktır. Su arıtma tesisleri açısından ise yoğun sel baskınları sebebiyle yük çok artacak, sistemler kirletici maddelerle dolacak ve zararlı mikroorganizmaların büyümesini teşvik eden ortamlar sıklaşacaktır.

Sıcaklığın artması sadece sellere yol açmayacak aynı zamanda buzul kütlelerinin erimesi ile okyanus seviyelilerinin yükselmesine sebep olacaktır. Deniz seviyesi dünyanın her yerinde aynı oranda yükselmeyecek ve hatta Kuzey Kutbu gibi bazı yerlerde dünyanın şekli sebebiyle biraz düşecektir. Yerel faktörler, tektonik etkileri, arazilerin çökmesini, gelgitleri, akıntıları ve fırtınaları içerir. Deniz seviyesindeki yükselmeler, kıyı ve ada bölgelerindeki insan popülasyonlarını önemli ölçüde etkileyecektir. Yıllardır devam eden birkaç derecelik ısınmayla birlikte yaygın kıyı taşkınları yaşanacak, daha yüksek fırtına dalgalanmaları ve daha tehlikeli tsunamiler, nüfusların yer değiştirmesi, tarım arazilerinin kaybı ve bozulması ile sonuçlanacaktır. Balıklar, kuşlar ve bitkiler yaşam alanlarının bir kısmını kaybederek deniz ekosistemleri gibi doğal ortamlar da etkilenecektir. Buzulların erimesi ile milyonlarca yıldır donmuş halde bulunan çeşitli mikroplar ve bakterilerde yaşama dönecek ve çok ciddi sağlık sorunların oluşmasına sebep olacaktır [10].

Günümüzde iklimbilimciler (klimatolog) küresel ısınma konusunda hemfikirdirler. Küresel ısınmanın başlıca nedeni $CO_2$ gazıdır. Karbondioksit oranının artışı devam ederse, rekor sıcaklıklar, kuraklıklar, aşırı yağışlar ve seller istisna olmaktan çıkacaktır. Mevcut konsantrasyon hacimce yaklaşık %0,04'tür endüstri öncesi 280 ppm seviyesinden 412 ppm seviyesine yükselmiştir. Gelecekte temiz su kaynaklarının ve korunmuş bir ekosistemin tonlarca değerli metalden daha değerli olacağı ortayken şimdiden suyu ve çevreyi korumanın önemi ortadır [11].

Küresel İklim Değişikliği fosil yakıtların tüketimi, endüstriyel, tarımsal ve günlük aktivite gibi faaliyetlerinin sonucu olarak küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişiklikleridir. Bu iklim değişiklikleri kuraklık, çölleşme, yağışlardaki dengesizlik ve sapmalar, hortum, seller, tsunami, fırtına, vb. meteorolojik olaylarda artışlar gibi belirtilerle kendini gösterir. Paris İklim Anlaşmasına göre, dünyanın ortalama ısısı en fazla 2°C artmalıdır. Bu hedeflere ulaşmak için en önemlilerin arasında fosil yakıt kullanımının bırakılması, az et tüketilmesi ve günlük yaşamda kirleticilerin kullanımının en aza indirgenmesi gelmektedir.

## 2.3 Su Kirliliği

Su kirliliği, kimyasallar, çöpler veya mikroorganizmalar gibi yabancı maddelerin yeraltı sularına veya göllere, akarsulara, nehirlere, denizlere ve okyanuslara, herhangi bir yoldan bulaşarak ekosistemlerin doğal işleyişine müdahale etmesidir. Su kütleleri, patojenik mikroorganizmalar, çürüyen organik atıklar, gübreler ve bitki besin maddeleri, toksik kimyasallar, tortular, ısı, petrol ve radyoaktif maddeler dahil olmak üzere çok çeşitli maddelerle kirlenebilir.

Su kirleticileri tek bir nokta kaynaklardan veya dağınık kaynaklardan gelebilir. Nokta kaynak, endüstriyel bir tesisten veya şehir kanalizasyon sisteminden tahliye için kullanılanlar gibi bir boru veya kanaldır. Dağınık veya noktasal olmayan bir kaynak, bir tarım alanından gelen akış gibi çeşitli kirleticilerin su kütlesine girdiği çok geniş ve sınırlandırılmamış bir alandır. Noktasal su kirliliği kaynaklarının kontrolü dağınık kaynaklardan daha kolaydır, çünkü kirlenmiş su toplanıp arıtılabileceği tek bir noktaya iletilmiştir. Dağınık kaynaklardan kaynaklanan kirliliği kontrol etmek zordur ve modern atık su arıtma tesislerinin inşasındaki büyük ilerlemeye rağmen, dağınık kaynaklar su kirliliği sorunlarının büyük bir kısmına neden olmaya devam etmektedir [12].

Evsel kanalizasyon, patojenlerin (hastalığa neden olan mikroorganizmalar) ve çürüyen organik maddelerin birincil kaynağıdır. Patojenler dışkıyla atıldığından, şehir ve kasabalardan gelen tüm kanalizasyonların patojenler içermesi ve potansiyel olarak halk sağlığına doğrudan bir tehdit oluşturması muhtemeldir. Bozulabilir organik madde, su kalitesi için farklı türde bir tehdit oluşturur. Organikler bakteriler ve diğer mikroorganizmalar tarafından doğal olarak

ayrıştığından, suyun çözünmüş oksijen içeriği tükenir. Bu, balıkların ve diğer suda yaşayan organizmaların hayatta kalabilmesi için yüksek düzeyde oksijenin gerekli olduğu göllerin ve akarsuların ekosistemini tehlikeye atmaktadır. Kanalizasyon arıtma prosesleri atık sudaki patojen ve organiklerin seviyelerini azaltır, ancak bunları tamamen ortadan kaldıramamaktadır. Sanayi atıklarından çoğunlukla aromatikler ve ağır metaller bulunmakta iken evsel atık sularda başlıca nitratlar ve fosfatlar bulunur. Bu bileşikler bitkiler için önemli bir besin kaynağıdır. Sudaki aşırı nitratlar ve fosfatlar, alg patlamaları olarak bilinen olağandışı yoğun ve hızlı büyümelere neden olarak alglerin büyümesini teşvik eder. Algler öldüğünde, suda çözünen oksijen azalır çünkü mikroorganizmalar bozunma işlemi sırasında algleri sindirmek için oksijen kullanırlar. Anaerobik organizmalar (yaşamak için oksijene ihtiyaç duymayan organizmalar) daha sonra organik atıkları metabolize ederek, metan ve hidrojen sülfür gibi zararlı gazları serbest bırakırlar. Bir gölün temiz, berrak bir durumdan besin açısından zengin, alg dolu bir duruma ve dolayısıyla oksijen eksikliği, atık dolu bir duruma dönüşmesi sürecine ötrofikasyon denir. Ötrofikasyon, doğal olarak meydana gelen, yavaş ve kaçınılmaz bir süreçtir [13].

## 2.4 Fosfor, Fosfat Ve Fosfonatların Sebep Olduğu Kirlilik

Fosfor bitki, hayvan ve insan yaşamı için olmazsa olmaz bir besindir. Güneş sisteminde en bol bulunan 20 elementten biridir. Yerkabuğunda en fazla bulunan 11. elementtir. Doğal koşullar altında fosfor tipik olarak suda az miktarda bulunur. Ancak insan faaliyetleri sebebiyle birçok tatlı suda aşırı fosfor birikmiştir. Bu, özellikle göllerde aşırı alg büyümesini teşvik ederek su kirliliğine neden olur. İlkbaharda nispeten berrak görünen göller, fosfor tarafından körüklenen alg patlamaları nedeniyle yaz sonunda yeşil bataklıklara benzeyebilir. Sudaki bakteriler ölü algleri hızla tükettiğinde çözünmüş oksijeni de tüketirler. Bazı su kütlelerinde fosfor konsantrasyonu, alglerin ve su bitkilerinin büyümesini sınırlayacak kadar düşüktür. Bu durumda bilim insanları fosforun sınırlayıcı besin olduğunu kabul etmişlerdir. Örneğin, toplam fosfor konsantrasyonu 10 ppb'den daha az olan su kütlelerinde, sular besin açısından fakir olacaktır ve büyük miktarlarda alg ve su bitkilerini desteklemeyecektir. Fakat, 100 ppb den fazla toplam fosfor seviyeleri, göllerde yüksek besine ve alg seviyelerinde artışa neden olacağı için yüksek derecede ötrofik olarak sınıflandırır [14].

Suda fosfor çözünmüş veya çözünmemiş halde bulunabilir. Orto fosfat, fosforun birincil çözünmüş şeklidir ve algler ve su bitkileri tarafından kolaylıkla bünyesine alınabilir. Atık su arıtma tesisleri tarafından deşarj edilen fosforun çoğu çözünmüş haldedir. Çözünmeyen fosforun bir kısmı, algler, bitki ve hayvan dokusu, atık katılar veya diğer organik maddeler gibi organik maddeler bulundurur. Organik bileşiklerin mikrobiyal bozunması, organik fosforu, fosfata dönüştürebilir. Toprak mineral partiküllerindeki fosforun bir kısmı, hem su sütununda hem de dip tortudaki kimyasal ve fiziksel değişiklikler sırasında çözünmüş fosfora da dönüştürülebilir. Suda fosfor formu değiştirdiğinden çoğu bilim insanı, algler gibi su bitkilerinin büyümesini destekleyecek besin miktarını belirlemek için herhangi bir tek form yerine toplam fosforu ölçer. Bazı fosfonatlar biyolojik olarak kolayca parçalanamazken fosfonatlar zamanla fotodegradasyon, hidroliz veya biyodegradasyona karşı bağışık değildir. Bir dizi bakteri, maya ve mantarın, içerdikleri karbon ve fosfora erişebilmeleri için fosfonatları parçalayabildikleri çeşitli biyologlar tarafından ispat edilmiştir [15]. Kısaca fosfonatların fosfat ve fosfora parçalanmaları için;

- Işık (foto-bozunma)
- Çevrede yaygın olarak bulunan bakır, manganez ve demir gibi doğal mineraller katalizi
- Oksidasyon
- Serbest radikal iyonları ile tepkimeler

Fosfat minerali toprakta bulunduğu şekliyle çözünür değildir ve bitkinin erişebilmesi zordur. Bitkilere besin kaynağı olarak sağlanabilmesi için en çok kullanılan ve üretilen fosfor bileşeni tarımda kullanılan gübrelerdir. Tarım kullanımı dışımda ise sabun, diş macunu ve meşrubat gibi çok çeşitli ürünlerde kullanılmaktadır. Kamera filminde ve ampullerin içinde fosfat vardır. Çeliği daha sert ve suyu malzemelere zararını önlemek için kullanılabilir. Kumaş boyamada ve çamaşır yıkamada rol oynar. Çimentoda ve petrol ve gaz kuyularını açmak sırasında kullanılan ilave kimyasallardır. Fosfatlı gübreler, öğütülmüş veya toz haline getirilmiş fosfat kayasına asit eklenerek üretilir. Sülfürik asit kullanılırsa, tekli veya normal, fosfor pentoksit ($P_2O_5$) olarak %16-21 fosfor içeriğine sahip tekli süperfosfat (SSP) üretilir. Fosfat kayasını asitlendirmek için fosforik asit

kullanılırsa, sonuç üçlü süperfosfat (TSP) üretilmiş olur. Üçlü süperfosfat, $P_2O_5$ olarak %43-48 arasında fosfor içeriğine sahiptir. Tekli süperfosfat üretimi, bir reaktörde sülfürik asit ve fosfor kayasının karıştırılmasını ile yapılır. Reaksiyon karışımı, yavaş hareket eden bir konveyör üzerine boşaltılır. Karışım, paketlenmeden ve nakliyeden önce 4 ile 6 hafta süreyle kürlenir. Üçlü süperfosfat gübrelerini üretmek iki farklı işlemle yapılır. Bunlar yığın ve granüldür. Yığın işlemi, tekli süperfosfat işlemine benzer. Granüler üçlü süperfosfat için daha düşük mukavemetli fosforik asit kullanır. Bir bulamaç olan reaksiyon karışımı, bir granülatör içinde geri dönüştürülmüş ince gübrelerin üzerine püskürtülür. Granüller büyür ve daha sonra bir kurutucuya boşaltılır, elenir ve depoya gönderilir. Fosfatlı gübre tesisleri genellikle sülfürik ve fosforik asit üretim tesislerine sahiptir. Sülfürik asit, kükürt dioksit üretmek için erimiş kükürt yakılarak üretilir. Daha sonra oleum içinde absorpsiyon için katalitik olarak kükürt trioksite dönüştürülür. Kükürt dioksit ayrıca pirit cevherinin kavrulmasıyla da elde edilebilir. Fosforik asit, fosfat kayasına sülfürik asit eklenerek üretilir [16].

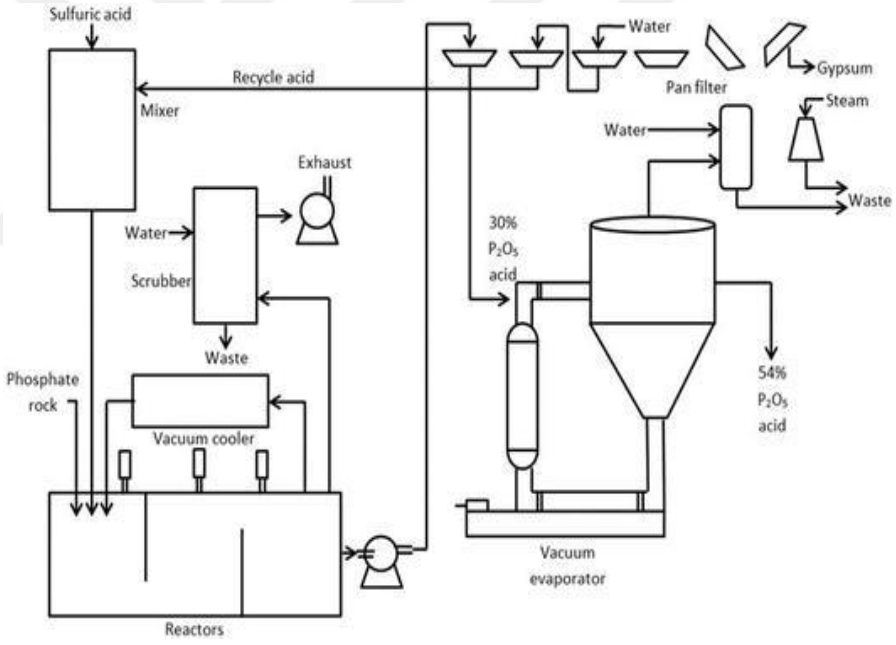
## 2.5 Tek Süperfosfat ve Üçlü Süperfosfat Arasındaki Fark

Tekli süperfosfat veya SSP, nispeten düşük oranda fosfor içeren bir mineral gübredir. İlk ticari sınıf gübredir. Daha önceleri bu tarz gübreler en çok kullanılan fosforlu malzemeydi. Günümüzde üçlü süperfosfatı daha yüksek fosfor yüzdesine sahip olduğu için tekli fosfata tercih edilir. Doğal olarak fosfatlı kayalara sülfürik asit dökerek tekli süperfosfatlı gübre üretebilir. Bu reaksiyonlara fosfatın bir iyileştirmesi olduğu için süperfosfat adı verildi. İlk başlarda insanlar gübrenin üretimi için parçalanmış hayvan kemiklerini kullandılar. Ancak daha sonra, doğal fosfat kayaları hayvanların kemiklerinin kullanımının yerini aldı. Ayrıca, tek bir süperfosfat üretimi hem küçük ölçekte hem de büyük ölçekte yapılabilir. Bu gübreler genellikle kalsiyum monofosfat içerir. Tekli süperfosfatın içeriği yaklaşık %7-9 kadar fosfattır. Kalsiyum içeriği olarak yaklaşık %18-21'dir. Ayrıca bu gübre az olacak miktarda kükürt de içerebilir [17].

Üçlü süperfosfatlar yüksek miktarda fosfor içeren mineralli gübredir. Bu gübre, fosforik asit ilavesiyle doğal fosfat kayasıyla üretilir. Tek süperfosfatın fosfor içeriğinin iki katının fazlasını içerir. Bu gübre yüksek fosfor içeriği nedeniyle

günümüzde yoğun olarak kullanılır. Fosfor eksikliği olan topraklar için kullanımı çok uygundur. Fosfor bitkilerin gelişimi için olmazsa olmazdır. Üçlü süperfosfat bitkilerin besin maddesi olarak sadece fosfor içerir

Süperfosfatlar, ekinlere fosfat minerali sağlayabilen gübrelerdir. Tekli süperfosfat ve üçlü süperfosfat arasındaki temel bir fark vardır. Tekli süperfosfatlar, fosfat kayasıyla ve sülfürik asit ile üretilirken, üçlü süperfosfatlar ise fosfat kayası ve fosforik asittin reaksiyonundan üretilir. Fosfor içeriği ise tekli süperfosfatın ve üçlü süperfosfatın arasındaki başka bir önemli farktır. Kısaca tekli süperfosfatın fosfor içeriği daha düşükken, üçlü süperfosfatın fosfor yüzdesi daha yüksektedir. Ayrıca, tekli fosfat, ek besin olarak bir miktar kükürt içerebilirken, üçlü süperfosfatta bitkiler için başkaca besin katkısı bulunmamaktadır [17].




**Şekil 2.1** Fosforik asit üretim diyagramı [16]

## 2.6 Havuz Suları ve Diğer Endüstriyel Sularda En Kullanılan Fosfor Bileşeni

1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asit; kimya sanayi, metalürji, gübre vb. alanlarda, sirkülasyon suyu sistemlerinde, yüzme havuzlarında, petrol sahası ve düşük basınçlı kazanlarda betonda, tortu ve korozyon önleyici olarak olarak kullanılmaktadır. Boyama endüstrisinde, boya sabitleme maddesi olarak

kullanıldığı gibi evlerde kullanılan deterjanında önemli bir bileşenidir. Sert suyun etkilerini önlemek için deterjanlara ve diğer temizlik maddelerine 1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asit ve tuzları eklenir. Peroksitlerin geçiş metalleri tarafından bozulmasını önlemek için peroksit ağartmada da kullanılır, yüzme havuzu kimyasalları arasında yer almaktadır. Havuzlarda kullanılabilmesinin en önemli nedenlerinden biri Asit/alkali ve klor oksidasyon toleransı diğer organofosforik asitlerden daha yüksektir. 1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asit üretmek için kullanılan birincil hammaddeler ya fosfor asidi fosfor triklorürdür. Üretimi fazla tehlikeli ve çevreye zarar verdiği için dünyanın sadece belirli yerlerinde üretilebilmektedir [18].

## 2.7 Neden Fosfor, Fosfat, Fosfonat Efektivite Göstermesine Rağmen Kullanılmamalı

Fosfor, DNA, RNA, ATP ve diğer biyolojik olarak aktif bileşiklerin çok önemli bir bileşenidir. Mikroplar, bitkiler, hayvanlar ve insanlar dahil onsuz var olamazlar. Fosfat, dünyadaki tüm yaşam için gerekli bir mineraldir ve çiftçilerin tarlalarına büyük miktarlarda eklenir. Ancak kaya fosfatı sınırlı bir kaynaktır ve en büyük kaynaklar istikrarsız yerlerde çıkarılarak rezervi çok az olan veya hiç olmayan birçok ülke için risk oluşturmaktadır. Fosfat kullanımı, küresel nüfus arttıkça ve her yeni talep analiziyle birlikte tükeneceği tahmin edilen tarih yaklaştıkça, son 50 yılda dört kat arttı, bazı bilim adamları bu anın birkaç on yıl sonra gelebileceğini tahmin ediyor. Mevcut kullanım oranlarında, ABD, Çin ve Hindistan da dahil olmak üzere birçok ülkenin yeni nesillere yerel arzlarının bitmeye yakın olduğunu gözlemlenmektedir. Fas ve Batı Sahra bölgesi, açık ara en büyük rezerve ev sahipliği yapıyor ve Çin, Cezayir ve Suriye, Brezilya ile birlikte küresel kaya fosfatının %80'inden fazlasını temsil ediyor. Fosfatın aşırı kullanımı yalnızca kaynakları tüketmekle kalmıyor, aynı zamanda nehirlerde ve denizlerde ölü bölgelere yol açan yaygın kirliliğe de neden oluyor Fosfor kirliliğini iklim değişikliğinden önce gezegenin karşı karşıya olduğu en ciddi sorunlardan biri olarak gösterdi. Küresel gıda üretimini destekleyen fosfatlı gübrelerin sürekli tedarik edilmesi yakın bir krizdir. fosfor fiyatları hızla yükseliyor son zamanlarda ise tüm zamanların en yüksek fiyatına ulaşmıştır [19].

Fosfatlar geleneksel olarak deterjanlar, su sistemlerinde tortu ve korozyonu kontrol etmek için kullanılmıştır. Sert sularda kalsiyum ve magnezyumu şelantlamak suretiyle çamaşır makinasının dayanıklılığı için kullanılmaktadırlar. Fosfat kullanımıyla ilgili temel sorun, ötrofikasyon yoluyla nehirlerde ve göllerde ekolojik hasara neden olma potansiyelidir. Fosfatlar, bitki, alg ve yosunların büyümesi için gerekli olan besin maddelerinde kontrolsüz bir artışa neden olurlar. Nehirlerde ve akarsularda bulunan bitkiler ve algler için bir besin kaynağı görevi görür. Fosfat seviyelerindeki bir artış, genellikle su yüzeyini kaplayan ve güneş ışığının aşağıdaki organizmalara nüfuz etmesini önleyen alg patlamalarıyla sonuçlanan büyümelere sebep olur. Alg ve yosun büyümesinin ilk dalgalanmasından sonra, yüzeyin altındaki bitkiler için ışık eksikliği onların ölmesine neden olur. Bakteriler ölü alg ve yosunları parçalamak için çalışırken çok miktarda oksijen tüketirler ve bu da bölgedeki su içerisinde ciddi oksijen açığına neden olur. Sudaki oksijen seviyelerinin azalması, hayvanların ve bitkilerin yaşamlarının da yaygın şekilde yok olmalarına neden olmaktadır. Bu sorunun ışığında, birçok endüstri fosfat kullanımını sınırlamaya çalışır ve su deşarj limitlerine katı sınırlar getirilmesine devam etmektedir. [20].

Fosfor ayrıca yaygın olarak sert sularda deterjanlarda ve geleneksel şartlandırma kontrol biçimlerinin temel yapı taşıdır. Ancak bazı nedenlerden dolayı bunlardan kaçınılmalıdır. Bu bileşenler ötrofikasyon, yani sucul fauna üzerinde geri dönüşü olmayan ölümcül etkileri olan karmaşık bir yol izleyen alglerin ve yosunların kontrolsüz büyümesine sebep olmaktadırlar. Genellikle atık suyu test ederken Toplam fosfor belirlenir, ne yazık ki bu, fosfatlar ve fosfonatlar arasında ayrım yapılmaz. Ayrıca, fosfonatlar belli bir miktar toksisite de bulundururlar. Etidronik asit diğer ismi ile 1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asit için memelilerde ilgili yapılan araştırmalarda belirli dozajların üzerinde reprotoksisite (doğurganlık azalması) gibi sorunlarla ilgili kesin bir sonuç elde edilememiş olsa da fosfonatlar, insanlar için düşük ila orta derecede toksisiteye sahiptir. Yutulduğunda sindirim sistemi tarafından kolayca emilemezler ve dışkı yoluyla vücuttan atılırlar [21].

Fosfonatlar genellikle fosfatlarla aynı seviyede tortu kontrolü sunma yeteneğine sahiptirler ancak formülasyonlara fosfatlara oranla daha düşük konsantrasyonlarda dahil edilebildikleri için kar maliyet açısından büyük getirileri

bulunur. Böylece daha az aktif malzemeyle benzer miktarda fosfat miktarı tutturulmuş olacaktır. Fosfonatlar biyolojik olarak zor bozunmalarına rağmen, zamanla fotodegradasyon, hidroliz veya biyodegradasyona yenik düşeceklerdir. Fosfonatların ekolojik olarak fosfatlardan daha güvenli olmasına rağmen, tamamen fosfor içermeyen bir ürün çok daha da güvenli olacaktır. Günümüzde çevreye duyarlılık açısından deterjanlar dahil birçok fosforsuz ürünler hayatımızda yerlerini almaya başlamamıştır. Yakın gelecekte çevre ve doğal kaynaklar çok daha önemli hale geleceği için fosfor limitleri de çok daha sıkılaştırılacaktır. Şu anda, Avrupa yasaları (Reg 259/2012/CE), ev tipi çamaşır deterjanlarında 0,5 g/doz ve bulaşık makinesi deterjanlarında 0,3 g/doz fosfor tolerans eşiğini belirtilmiştir [22].

Fosfonatların yıllık üretim miktarı 100 000 metrik tonun üzerindedir [21]. En çok üretilen ve kullanılanlardan biri olan 1-Hidroksietiliden-1,1-Disfosfonik asit ve tuzlarının başlıca kullanımları, su şartlandırma, deterjan ve temizlik uygulamalarında ve kozmetikte ve kağıt, tekstil ve fotoğraf endüstrilerinde ve ayrıca açık deniz petrol kuyusu uygulamalarında kullanılmaktadır. Çevreye deşarjı genellikle atık su tesisleri yoluyla kanalizasyona veya nehirlere verilmesi, petrol kuyusu, gemiler gibi açık denizlerdeki kullanımı deniz ortamının doğrudan maruz kalmasına yol açacaktır. Deşarj edildiği yerlerde, ağırlıklı olarak tortulara ve ötrofikasyona sebep olması beklenir. 1-Hidroksietiliden-1,1-Disfosfonik asit (HEDP) ve tuzları, çevre için tehlike belirten özelliklere sahiptir (yosun için 1 – 10 mg/l aralığında). Doğal sularda abiyotik süreçlerle kısmi bozunma ve gerekli koşullar altında biyolojik bozunma olduğuna dair kanıtlar vardır. Bozunma gerçekleştiğinde doğrudan inorganik fosfata dönüşecektir. Demir ve bakır gibi redoks özelliklerine sahip yaygın olarak bulunan metal iyonlarının mevcudiyetinde, metal katalizli fotodegradasyon hızlı olabilir ve bu da daha fazla biyobozunmayı teşvik eder. Genellikle atık suyu test ederken Toplam fosfor belirlenir, fosfatlar ve fosfonatlar arasında ayrım yapılmaz. Ayrıca, fosfonatlar belli bir miktar toksisite de bulundururlar. Etidronik asit diğer ismi ile 1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asit için memelilerde ilgili yapılan araştırmalarda belirli dozajların üzerinde reprotoksisite gibi sorunlarla ilgili kesin bir sonuç elde edilememiş olmasına rağmen fosfonatlar, insanlar için düşük ila orta derecede

toksisiteye sahiptir. Yutulduğunda sindirim sistemi tarafından kolayca emilemezler ve dışkı yoluyla vücuttan atılırlar. Bu bileşenler ötrofikasyon, yani sucul fauna üzerinde geri dönüşü olmayan ölümcül etkileri olan karmaşık bir yol izleyen alglerin ve yosunların kontrolsüz büyümesine sebep olmaktadırlar [21] [23].

# 3
# HAVUZLARIN GENEL TANIMI VE SU ÇEVRİMİ

Birçok sağlık kulüpleri, spor merkezleri, otellerde ve özel kulüplerde çoğunlukla egzersiz veya eğlence için kullanılan havuzlar bulunur. Dünyanın dört bir yanında açık veya kapalı havuzların kullanımı yaygındır. Oteller, misafirlerinin zamanlarını değerlendirebilecekleri havuzlara sahip olabilirler. Okullar ve üniversiteler gibi eğitim tesislerinde de bazen spor amaçlı eğitim dersleri, eğlence etkinlikleri, yüzme takımları gibi amaçlar için havuzlar bulunur. Sıcak jakuziler ve kaplıcalar, ısıtılan ve daha sonra rahatlama veya hidroterapi için kullanılan sıcak suyla dolu havuzlardır. Özel tasarlanmış yüzme havuzları dalış sporları, su sporları, fizik tedavi, cankurtaranlar ve astronotların eğitimi için de kullanılmaktadır. Yüzme havuzlarında ayrıca isteğe bağlı ısıtma yapılabilir.

Yüzme havuzları, banyo yapmak, yüzmek ve rahatlamak için kullanıma başlaması MÖ 2600'lere kadar uzanmaktadır. İlk ayrıntılı modern havuz, tuğladan yapılmış ve sıvayla kaplı Pakistan'daki eski ve ayrıntılı bir banyo alanı olan Mohenjodaro'nun Büyük Hamamları'dır. Ancak Mohenjodaro muhtemelen yüzme için kullanılmadığı, bilim adamları, dini törenler için kullanıldığına inanmaktadır. Antik dünyada daha fazla insan yapımı havuz ortaya çıkmıştır. Roma ve Yunanistan'da yüzme, ilkokul çağındaki erkeklerin eğitiminin bir parçasıydı ve Romalılar ilk yüzme havuzlarını (banyo havuzlarından ayrı olarak) inşa ettiler. İlk ısıtmalı yüzme havuzu, milattan önce 1. yüzyılda Romalı Gaius Maecenas tarafından yaptırılmıştır. Gaius Maecenas zengin bir Roma lorduydu ve sanatın ilk hamilerinden biri olarak kabul edilmiştir. Ancak, yüzme havuzları 19. yüzyılın ortalarına kadar popüler olmadı. 1837'ye gelindiğinde, İngiltere'nin Londra kentinde dalış amaçlı altı kapalı havuz inşa edildi. 1896 yılında modern olimpiyat oyunlarının başlaması ve yüzme yarışlarının özgün etkinlikler arasında yer almasından sonra, yüzme havuzlarının popülaritesi yayılmaya başlamıştır. Boston'daki Cabot Street Bath, ABD'deki ilk yüzme havuzuydu. 1868'de açıldı ve evlerin çoğunda hamamın olmadığı bir mahalleye hizmet etti [24] [25].

20. yüzyılda, bilim ve teknolojideki bir dizi sıçrama, yüzme havuzlarını yeni bir düzeye taşıdı. Gelişmeler arasında havuza temiz su veren klorlama ve filtrasyon sistemleri oluşmaya başladı. Bu gelişmelerden önce, bir havuzu temizlemenin tek yolu, tüm suyu çıkarmak ve değiştirmekti. Havuzlar modern zamanların bizlere getirdiği ve hayatımızın son yenilikleri arasında yer almaktadır. Yıllar ilerledikçe başka yenilikler ile karşılaşacak da olsak şuan için konfor ve eğlence alanımızın vazgeçilmezi arasında bulunmaktadırlar. İlerleyen yıllar başlarda havuzlarda yaşamadığımız sorunları da beraberinde getirmeye başladı. Bunların içerisinde ilk başta sağlık sorunları yer aldı ve çözümü nispeten kolay oldu. Daha sonra ise mekanik ve kimyasal başka sorunlar gözlemlenemeye başladı. Bunların arasında korozyon, tortu oluşumu, mekanik parçaların kullanılamaz hale gelmesiyle muazzam maliyetlerin açığa çıkmaları gibi ciddi sorunlar bulunmaktaydı [25].

## 3.1 Havuz Tipleri

Havuzlar birçok farklı tip ve şekilde bulunabilirler. İhtiyaca göre insanların içeresine girebildiği gibi insanlara hizmet etmeyen havuzlarda vardır. Bunlara süs hazlarını, sanayide soğutma sularını bekletmek için veya ham suyu dinlendirmek için, balık yetiştirme çiftliklerini, çelik fabrikalarında kütüklerin, halatların veya daha özel dökme parçaların korozyona karşı kaplanması için fosfat ve çinko banyoları, tarımda su depolama için kullanılan havuzları ve atık biriktirmek için kullanılan açık havuzları örnek gösterebiliriz. Her havuz kendi hizmet edeceği durum için özel olarak hazırlanmak birlikte hayatlarımızın içerisinde birçok alanda bulunan yapıları oluşturmaktadırlar. Kullanılma alanına göre içerisinde seramik fayanslar, sadece beton, çeşitli membranlar veya birçok çeşitli polimerik malzeme kullanılarak yapılabilir.

### 3.1.1 Taşmalı Havuzlar

Havuzun tüm çevresi bir taşma kanalı ile çevrilidir. Su hattı havuzun kenarı ile aynı hizada olup bu kanala taşmaktadır. Kanalların üzeri genel olarak savak adı verilen plastik ızgaralar ile kaplanmıştır. Ancak, yüksek kaliteli villa tipi veya site havuzlarında, drenaj kanalının fayans veya taşla kaplanması da mümkündür. Bu kanal daha sonra bir denge tankına açılır.

Denge tankı, havuz seviyesinin hemen altında genellikle yerde bulunan bir su tutabilme deposudur. Taşma kanallarından gelen su, denge tankında toplanır. Buradaki su daha sonra havuza geri gönderilmeden önce filtre sistemine beslenir. Denge tankı tipik olarak betonarme veya plastik malzemeden yapılır. Toplam havuz suyu hacminin %10'unu tutabilmektedir.

Taşmalı seviye sistemi kullanan havuzlar çok daha fazla alana ihtiyaç duyar. Bunun planlama ve çizim aşamalarında dikkate alınması gerekir. İnşaatına başladıktan sonra, havuz tasarımını farklı bir tasarımı da içerecek şekilde değiştirmek çok zor ve maliyetlidir.

### 3.1.2 Sıyırıcılı Havuzlar

Havuz kenarının altına, havuz sıyırıcıları veya Sıyırıcı adı verilen bir cihaz yerleştirilir. Havuz tamamen doldurulmaz, sıyırıcıların su alma açıklığının üçte birinden yarısına kadar olan mesafeye kadar su seviyesi ayarlanır. Sıyırıcı, yüzey suyunu, kir ve döküntülerle birlikte içine çeker. Havuz suyu, taşma havuzlarında olacağı gibi tüm yüzey boyunca değil, sadece bu noktalarda filtrasyon sistemine çekilecektir.

Sıyırıcıların içerisinde kaba filtreler bulunur. Bu filtreler; yaprak, dal parçaları, plastik, saç vb. gibi büyük parçaları tutarlar. Havuzda kaç sıyırıcı olacağının belirlenmesi suyun hacmine bağlıdır. Villa tipi veya site havuzları genellikle 2-4, otel, sportif faaliyetlerin yapılacağı olimpik havuzlar gibi daha büyük havuzlarda 10 veya daha fazla sıyırıcı bulunabilir.

### 3.1.3 Sonsuzluk Havuzları

Infinity pools veya sonsuzluk havuzu olarak da adlandırılır. Suyun bir veya daha fazla kenardan aktığı, sınırsız bir su görsel efekti oluşturan bir yansıtıcı veya yüzme havuzudur. Bu tür havuzlar genellikle, kenarı okyanus veya gökyüzü gibi daha büyük bir su kütlesi ile birleşiyormuş gibi görünecek şekilde tasarlanır. Genellikle otellerde ve yüksek katlı yapılarda bulunabilir. Doğal manzaraları ve şehir manzaralarını çok daha farklı bir bakış açısıyla kullanıcısına sunar.

### 3.1.4 Prefabrik, Metalik İskeletli Ve Şişme Havuzlar

Bu tip havuzlar daha çok portatif ve çok düşük maliyetli olması ile bilinmektedir. Çok küçük olanlarında havuz merdiveni dahi bulunmaz iken nispeten daha büyük olanlarında su çevrimi için küçük bir pompa ve filtre sistemin yanı sıra kimyasal verebilmek için bir dozaj noktası bulunabilmektedir. Bu havuzların hepsi yüzey ve dış mekan havuzlardır. Toprağın veya bir zeminin üzerine yerleştirilerek kullanılabilirler. Diğer havuzlara göre (plastik olanlar hariç) çok fazla metalik malzeme hem havaya hem suya maruz kaldığı için korozyona karşı zayıf kalabilme ihtimali çok yüksektir.

### 3.1.5 Süs Havuzları Ve Diğer Ticari Amaçla Kullanılan Endüstriyel Havuzlar

Süs havuzları verilmiş isminden de anlaşılacağı gibi sadece görüntü amacıyla oluşturulmuş içerisinde hareketli veya hareketsiz su bulunan yapılardır. Amaçları genellikle şehir güzelliğini arttırmak veya bulunduğu yapıya estetik katmaktır. Çeşitli nozzler ile su şovları yapılabilirken şelale gibi ek yapılar eklenerek daha farklı görünümlerde verilebilir. Bu tür havuzlar sadece görüntü amaçlı yapıldığı için su kalitesi hiçbir koşul altında yüzücüler için ayarlanamayacaktır. Bu sebepten ötürü süs havuzlarında yüzmeye çalışmak sağlık açısından hiç uygun olmayacaktır.

Ticari amaçla yapılan havuzlar genellikle balık çiftleri gibi sucul canlıların yetiştirildiği ve satıldığı alanlardır. Balıkların yaşamına uygun olacak şekilde dizayn edilir. Tatlı suda yaşayanlar ve tuzlu suda yaşayanlara göre ayrı bölmeler oluşturulur. Bu alanda genellikle balık parazitleri engellemek amaçlı çalışmalar yapılır ve yaşayan ekosisteme zarar vermemek amacıyla kimyasal kullanımı çok sınırlıdır.

Bir başka ticari havuz tipi ise kimyasal bekleme havuzlarıdır. Bu alanda gerek hammadde, gerek dolumdan önce ürün gerekse atık bekletilebilir. Hepsi kendi içlerinde ayrı ayrıdır ve amaçları farklıdır. Bir tanesinden örnek verecek olursak çöktürme havuzları atık havuzlarıdır. Amacı suyun içerisindeki çözünmüş veya askıda katı maddeleri su havuzda ilerledikçe çöktürmek ve sona gelindiğinde berrak bir su elde etmektedir. Bu su tekrar proseste kullanılabilir veya deşarj edilebilecek seviyede ise uzaklaştırılabilir.

## 3.2 Havuzların Önemli Yapı Malzemeleri

Yer üstü ve yer üstü olmak üzere iki farklı havuz türü vardır. Yerüstü havuzları en ucuz inşaat seçeneğidir ve inşa edilmesi en kolay olanıdır. Tipik olarak prefabrik kitlerden yapılırlar ve bir havuz uzmanı tarafından kolayca monte edilirler. Öte yandan, yer altı havuzları seramik, beton, fiberglas çeşitli metaller ve plastiklerden yapılmaktadır. Bu havuzların tasarımı farklı olmakla birlikte, hepsi aynı temel tesisat ve filtreleme sistemine dayanmaktadır.

Bakterilerin, alglerin ve diğer mikroorganizmaların büyümesi, durgun suda yüzmeyi sağlık açısından tehlikeli hale getirmektedir. Su ne kadar durağan olursa, sağlık riski o kadar yüksek olacaktır. Çoğu durumda, durgun 2 güne kadar makul ölçüde güvenli kalacaktır. Dezenfektan seviyeleri, suyun ne kadar süre güvenli kalacağı konusunda önemli bir rol oynar. Havuzlar suyu mümkün olduğunca karıştıracak ve sirküle edecek şekilde tasarlanmalıdır. Her sirkülasyon sistemi, giriş ve çıkış hatlarından oluşur. Giriş hatları, suyu havuz havuzundan pompa ve filtreleme sistemlerine doğru çeken, emen veya vakumlayan hatlardır. Atık su hatları, suyu pompa ve filtreleme sistemlerinden uzağa havuza geri döndüren hatlardır. Suyun tam sirkülasyonunu etkin bir şekilde sağlamak ve ölü noktaları önlemek için tüm sistem bileşenleri birlikte çalışmalıdır. Ölü noktalar, su hareketinin az olduğu, dolaşımın zayıf olduğu alanlardır. Dezenfektanlar bu alanlara ulaşmayabilir, bakteriler yosun ve algler engellenmeden çoğalabilir. Açık havuzlarda, sirkülasyonun diğer birçok olası nedenine ek olarak, rüzgar ve hava koşulları da su akış düzenini bozabilir ve ölü noktaların oluşmasına neden olabilir [26].

Bu nedenle, bir havuzun ana amacı, su kimyasını dengede tutmak için gereken diğer kimyasalların yanı sıra, dezenfektan kimyasalları havuz boyunca sürekli olarak sirküle etmektir. Emiş tarafı, suyu dolaşım sistemine çeken (veya emen) kısımdır. Savaklardan ve sıyırıcılardan, ana tahliyeleri emme hatlarını içerir. Filtre sistemi, emme tarafından çekilen suyu işleyen ve temizleyen sistemdir ve ön filtre, pompa, filtre ve bazen bir ısıtıcı, kimyasal besleyicisini içerir. Geri dönüş tarafı, filtrelenmiş suyu havuzunuza geri iten (veya geri döndüren) dönüş hatlarını, dönüş jetlerini karışımını içerir.

Tasarım yapılırken suyun tamamının filtreden kaç saatte geçeceği hesap edilmek zorundadır. Sırasıyla sirkülasyon aşağıdaki aşamalardan geçer;

- Su yüzey savaklarından veya Sıyırıcılarda bulunan boşluklar vasıtasıyla havuzu terk ederek sirkülasyona başlar.
- Bir miktar su dip emiş ile deşarj edilir.
- Havuz sirkülasyon pompası suyu emerek filtrelere doğru iter.
- Çöktürücü bir kimyasal kullanılacaksa su kum filtreye girmeden dozajlanır.
- Su filtrelerden geçerek taşıdığı kirlilikleri bırakır.
- Kimyasallar bu noktadan sonra dozajlanabilir veya elle manuel olarak doğrudan havuza atılabilir.
- Gerekirse su ısıtılabilir.
- Su havuza geri beslenir.

### 3.2.1 Denge Tankı

Denge tankına bazen sabit seviye tankı da denilmektedir. Sistem içinde sürekli su temini sağlar. Bu tanklar genellikle, tanktan çıkan su üzerinde neredeyse sabit bir basma basıncını korumak için tank içindeki sıvı seviyesini kontrol eden bir şamandıra valfi ile donatılmıştır. Şebeke Suyu Beslemeli Havuzdaki buharlaşama sırasında sistemdeki su kaybını bu bölüme besleme suyu ile ilave edilir. Denge tankının birincil kullanımı, yüzme havuzunda bulunan yüzücülerin vücutlarının yer değiştirmesinden kaynaklanan fazla suyun depolanması içindir. Tanklı bir havuz, havuzda kaç kişi olduğuna bakılmaksızın sabit bir derinliği korur. Yüzme havuzu denge tankı içerisinde denge tankı kontrol seviyesi kullanılmaktadır. Denge tankları, havuzdaki suyun doğru seviyede kalmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Yüzey seviyesinde suyu taşmalı havuz sistemine sahip havuzlarda, bir denge tankı gereklidir. Bunun nedeni, yüzey seviyesindeki bir havuzda, havuz suyunun sürekli olarak yüzeyden drenaj kanalına taşmasıdır. Örneğin, aynı anda 20 kişi yüzey seviyesine kadar dolu bir havuza girerse, drenaj kanallarına bu insanların hacmine eşdeğer su taşacaktır. Bu 20 kişi hemen dışarı çıkarsa, havuz suyu seviyesi önemli ölçüde düşecek ve su artık yüzeyden kanallarına taşamayacaktır. Böylece yüzey suyu çekme sisteminin işlevselliğini devre dışı kalacak, yani kirliliği ortadan kaldıracak. Sirkülasyon işlemi duraksamış olacaktır.

Sıyırıcılı drenaj sistemlerine sahip havuzlarda her zaman bir denge tankı yoktur, ancak olanlar çok daha iyi su kalitesi oluşacaktır. Denge tankları ayrıca havuzdaki su yerine buradaki su kullanıldığından havuz su seviyeleri üzerinde bir etkisi olmadan filtrelerin geri yıkamasının gerçekleşmesini sağlar. Denge tankları, tuvalet rezervuarına genel olarak benzer bir şekilde çalışır. Bir klozet sifonu çekildiğinde, rezervuar boşalır ve ardından rezervuarın üst kısmında bulunan ve temiz su besleme vanasını otomatik olarak kapatan küresel vanaya ulaşana kadar tekrar temiz su ile doldurulur. Yüzme havuzu denge tanklarının yıllık olarak boşaltılması ve temizlenmesi gerekir.

### 3.2.2 Filtreler Savaklar ve Sıyırıcılar

Sirkülasyon işlemi havuzun savaklarında veya sıyırıcılarında başlar. Bunlar, havuzun duvarına veya su hattına yerleştirilmiş ekipmanlardır. Sıyırıcı sepeti veya savakların çıkış kısmına yerleştirilen bir sepet filtre yapraklar ve böcekler gibi kalıntıları yakalar, böylece hattın aşağısındaki filtreyi tıkamaz. Ek olarak, sıyırıcı sepetleri havuza eklenen kloru dağıtmak için de kullanılabilir. Bu, sepete klor tabletini ekleyerek yapılır. Sıyırıcı havuzun yüksek akışlı bir alanı olduğundan, su sepet üzerinden hareket edecek ve tableti etkin bir şekilde çözecektir. Ana tahliyeler, havuzdaki suyun pompaya ve filtrelere çekilmesinin birincil yoludur. Ana gider, havuzun en dip kısmında yer alır. Çoğu havuzda bir tane bulunur, ancak daha büyük havuzlarda birden fazla ana drenaj olabilir. Filtreleme işlemi sırasında havuzdan gelen kirli su, filtrenin giriş borusundan geçerek tank içindeki su dağıtım başlığına gider. Yerçekimi suyu aşağı çekerken, sahip olduğunuz filtre tipine bağlı olarak kum ve kalıntıları yakalar. Filtrelerin giriş ve çıkışında basınç göstergeleri bulunur. Göstergeler giriş borusunda çıkıştan çok daha fazla basınç gösteriyorsa, bu, çok fazla birikinti bulunduğunun ve filtre kartuşlarının geri yıkamanın veya temizlemenin zamanının geldiğinin bir göstergesidir. Havuz suyu arıtma sistemlerinin düzgün çalışmasının asıl amacı farklı süspansiyonları sudan uzaklaştırmaktır. Bunlar yağ, saç, deri, kum, toz gibi birçok istenmeyen atık olabilir. Bu işlem su tesisatın diğer kısımlarını mekanik hasara karşı korur. Günümüzde havuzlarda en basit filtre türü, tek tip filtrasyon yatağına sahip tek katmanlı basınç filtreleridir. Bu sistem iki farklı tane boyutuna sahip kum veya çakıldan oluşur. Bu çözüm çok popülerdir, ancak filtrasyon verimliliğini artırmak

için yapılan çalışmalar, filtre yatağının iki veya üç katman çeşitli malzemelerden oluştuğunda çok daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya çıkarmıştır. Çok katmanlı filtrelerin doldurulması genellikle çakıl, kuvars kumu, antrasit veya aktif karbon ile yapılmaktadır [27].

Tüm havuzlar, istinasız filtre gerektirir. Su, pompanızdan doğrudan filtrenize akmalıdır. Filtreye girdikten sonra su ya havuzunuza geri döner ya da ısıtıcı gibi diğer ekipmanlardan geçer. Etkinliğini korumak için filtrelerin tutarlı bir şekilde temizlenmesi gerekir. Kum filtreler bir başka bölümde çok açıklayıcı anlatıldığı için burada kısaca bahsedilmiştir.

### 3.2.3 Isıtıcılar

Havuza ısıtıcısı eklemek isteğe bağlı bir özelliktir, ancak özellikle daha soğuk bir iklimde yaşıyorlarsa birçok havuz sahibinin ilgi duyduğu bir özelliktir. Neredeyse bütün otellerin havuzlarında daha rahat bir yüzme ortamı sağlamak ve yüzme sezonunu uzatarak yüzücülerin konforu için ısıtıcı bulundurulur. Aralarından seçim yapabileceğiniz üç tür ısıtıcı vardır: güneş enerjisi, gaz veya ısı pompaları (elektrik). Güneş panelleri, güneş ışığından yararlanmak temiz ve masrafsız enerji için kullanır. Gazlı ısıtıcılar, ısı pompaları, havadan ısı çekerek ve havuz suyuna göndererek çalışır. İçerisinde genellikle propan bulunmaktadır. Elektrikli ısıtıcılar ise içerisinde bobinler olan metalik hatlardır. Her durumda su ısı değiştiricilere temas edecektir.

Su, pompa ve filtreden sonra ısıtıcıya girer ve dönüş hatlarından havuza geri döner. Dönüş hatları için en iyi yer, ısı yükseldiği için havuzun zeminidir. Bu, ısıtıcınızın etkinliğini en üst düzeye çıkaracaktır. Isıtıcılar ayrıca kaplıcalar ve sıcak küvetler için kullanılır. Yüzme havuzu ısıtıcıları giderek daha popüler hale gelmektedir. Soğuk suda yüzmek zorlayıcı ve keyifsiz bir durum olması sebebiyle ve havuz suyunun büyük bir bölümünün borulamalarda ve diğer kısımlarda olması havuzun ne kadar çok güneş görürse görsün tam olarak ısınamamasına sebep olmaktadır. Isıtıcı olmadığı durumda sıcak su sirkülasyon ile soğuk borulamalardan ve kapalı alanlardan geçerken soğuyacak ve havuza dönecektir.

### 3.2.4 Havuz Pompaları

Havuz sisteminin kalbi pompadır. Pompanın üzerindeki elektrik motoru, pervaneleri koruma içinde döndürür ve suyu çeşitli çizgisel hızlarda hareket ettirir. Su, sıyırıcılardan emildiğinde, havuz pompalarına kar. Bir havuz pompasını yalnızca suyu itmek veya pompalamak olarak düşülebilir, ancak bu yaptığının yalnızca yarısıdır. Sorumlu olduğu ilk şey, havuz suyunu ana giderlere ve sıyırıcılara çeken emiş oluşturmaktır. Bu yaklaşık 3 beygir gücü olan bir motorla çalışan pervanesi tarafından yapılır. Havuz boyutunuza bağlı olarak, büyük su kütlelerinin hareket etmesi için daha güçlü bir pompa veya daha fazla sayıda pompaya ihtiyacınız olabilir. Pompanın içerisindeki pervaneler havuz suyunu filtrasyon sistemine çekmek için bir vakum oluşturur. Pompalar Tek hızlı ve değişken hızlı pompalar olabilir. Değişken hızlı pompalar, su sirkülasyonu üzerinde daha fazla kontrol sağlamaları, daha az enerji tüketmeleri ve aylık faturalarınızda tasarruf etmenizi sağladığı için günümüzde tercih edilen pompalardır.

### 3.2.5 Yapısal Malzemeler

Birçok irili ufaklı malzeme bu kısma girmektedir. Havuzların ışıklarından boru hatlarında kullanılan valflere, Emiş için kullanılan ızgaralardan basma hattındaki nozzlealara, merdivenlerden havuza değişiklik katmak için kullan şelalelere kadar sayısız opsiyon bulunmaktadır. Hepsi yapılarına ve kullanılan malzemelere göre çeşitli maliyetler getirse de önemli olan en uzun süre kullanımı sağlanmalıdır. Nozzlelar tıkanmaya meyilli iken emiş ızgaraları ve merdivenler korozyona daha meyillidir. Havuzun içerisindeki nereyse görünen her kısmını kaplayan seramik taşlar korozyona mükemmel dayanım sağlarken üzerinde tortu biriktirmesi ise çok olasıdır. Kalsiyum karbonat tortuları yalnızca asit ile temizlenebildiğinden bu tortuları seramik yüzey üzerinden yüzeye zarar vermeden ayırabilmek mümkün olmayacaktır. Bu sebepten sertlik tortularını birikmemek çok ciddi önem sarf edecektir.

### 3.2.6 Otomasyon Kimyasallar ve Diğer Yapılar

Otomasyonlar havuzlardan soğutma kulelerine kadar çok geniş kullanım alanına sahip elektronik cihazlardır. Basit olanları sadece pH veya iletkenlik ölçerken

karmaşık olanları pH, iletkenlik, orp, iz element, klorür, korozyon hızı, akış hızı, sıcaklık gibi birçok parametreyi ölçebilecek kadar gelişmiş bir cihazdır. Parametreler otomasyon üzerine girilirse, otomatik kimyasal dozajı ve blöf işlemlerini de yapabilmekte olan bu cihazların kullanımı hızla artmaktadır. Otomasyonlar bu parametreleri ölçmek için çeşitli problar kullanmaktadırlar. Bu problar iyi bakılmadığı takdirde bozulmaya meyilli oldukları için epey maliyete sebep olabileceklerdir.

Havuzlar içerisinde kullanılacak kimyasala göre seçilecek dozaj pompaları, Havuzun sirkülasyonunu sağlayan pompalara göre çok daha küçük olacaktır. Genellikle 2 $m^3/h$ gibi çok küçük pompalar tercih edilmesinin sebebi kimyasalı doğru dozajda verebilmek ve fazla sarfiyatın önüne geçebilmek içindir. Dozaj pompaları gelişmiş bir otomasyon kullanılacaksa doğrudan otomasyona bağlanabilir ki bu pH kontörlü açısından çok daha verimli olacaktır. Ayrıca otomasyona bağlanamayacaksa manuel olarak hesaplanan kimyasal değerlerini basması sağlanabilir.

## 3.3 Su Kalitesini Belirleyen Başlıca Etmenler ve Analiz Yöntemleri

Su elektriksel olarak nötrdür, ancak oksijenin elektronegatifliği hidrojenden çok daha fazla olduğu için elektron dağılımı oksijenin etrafında yoğunlaşır. Birçok molekül, hem hidrofilik hem de hidrofobik grupları içerir. Suyun farklı grupları çözme kabiliyeti, farklı grupları, yapıları veya hidrofilik grupların su içerisinde dağılmasına yol açar. Böylelikle su içerisinde istenmeyen safsızlıklar bulunmuş olur. Bu safsızlıklar su eğer içme suyu için, sanayide buhar kazanları, soğutma kuleleri veya yüzme havuzlarında kullanılacaksa ciddi sorunlara yol açacaktır. Şekil 3.1'de içme suyu için parametreler yer almaktadır. Bu parametrelerden en az bir tanesi bile üst limitten fazla olursa su içmeye uygun olmayacaktır [28].

**Tablo 3.1** İçme suyu değerleri [28]

| Parametre (ppm) | Kabul Edilebilir Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|
| Toplam Çözünmüş Katı | 500 | 1500 |
| Renk (pt co) | 5 | 50 |
| Tat | - | - |
| Koku | - | - |
| Bulanıklık (NTU) | 5 | 25 |
| Klorür | 200 | 600 |
| Demir | 0,1 | 1 |
| Mangan | 0,05 | 0,5 |
| Bakır | 0,05 | 1,5 |
| Çinko | 5 | 15 |
| Kalsiyum | 75 | 200 |
| Magnezyum | 30 | 150 |
| Sülfat | 200 | 400 |
| Toplam Sertlik ($CaCO_3$) | 100 | 500 |
| Nitrat | 45 | 500 |
| Amonyum | - | - |
| pH | 7-8 | 9,2 |

Yanında belirtilmeyenler pH hariç birimi ppm'dir.

Kazan besleme suları ve türbine giden buharlarda ise durum daha farklıdır. Kazanın ve türbinin güvenli bölgede çalışması istenir. Çünkü yüksek basınç ve sıcaklıkta çalışan çok pahalı ekipmanlar olduklarından, beslenen su kalitesi de birçok parametreye bağlı olacaktır. Sınırlayıcı parametreler sebebiyle su parametrelerinde iyileştirmeye gidilmeye ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaçtan ötürü su saflaştırma ekipmanları ve yöntemleri bulunmuştur. Havuzlar için ise daha farklı parametreler söz konusu olacaktır. Her ne kadar sınırlayıcı değerler verilmiş olsa bile bu değerler sistemleri korozyona veya tortuya karşı korumayacak ek tedbirler gerekli olacaktır. Su kalitesini belirleyen birçok parametre vardır. Bunlardan başlıcaları; bulanıklık, sertlik, alkalite, pH, TDS, İletkenlik, Sıcaklık, Çözünmüş oksijen silis ve demirdir [29].

### 3.3.1 Bulanıklık

Suda çözünmemiş doğal ve natürel olmayan katı malzemeler suya bulanıklık verir. Çöktürme ve süzdürme işlemi ile giderilebilir. Çeşitli filtrasyon yöntemleri (mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon) ile tamamen azaltılabilir. Birimi NTU (Nephelometric Turbidity Unit)'dir. 2 yöntem ile tayin edilebilir. İlk yöntem kalibrasyon çözeltilerinin hazırlanmasıdır. Örnek numune hazırlanmış kalibrasyon çözeltilerinin yanına getirilir ve bulanıklığı belirlenir. İkinci yöntem için spektrofotometre gereklidir [30].

### 3.3.2 Su Sertliği

Suyun içindeki çözünmüş Ca ve Mg tuzları suyun ne kadar sert olduğunu belirler. Suların sertliği, yumuşatma işlemleri ile giderilip daha sonrasında proseslerde make-up olmak üzere kullanılabilir. Ayrıca sular sertliğinden giderilip kullanma suyu olarakta kullanabilecektir. Yüksek sertlik evlerdeki çamaşır makinalarından duş başlıklarına ciddi sorunlar oluşturmaya meyillidir. Oteller alışveriş merkezleri veya, hastaneler gibi büyük tesislerde su tesisleri bulunmaktadır. Su sertliği analizi için kullanılan araçlar; mezür, büret, erlendir. Kullanılacak kimyasallar ise; saf su, 0,01M EDTA, buffer tablet, %10 amonyak solüsyonu [31]. Analiz Prosedürü;

- Mezür ve erleni saf su veya numune ile çalkalayın.
- Erlene 50 ml numune alın.

- Numune üzerime birkaç damla amonyak %10'luk damlatılır. Amaç pH'ı 10 üzerine çıkarmaktır.
- 1 adet buffer tablet hazırlanan numuneye ilave edilir. Buffer tablet çözünene kadar karıştırılır.
- 0,01M EDTA ile kırmızı renk yeşile dönünceye kadar titrasyona devam edilir. Sarfiyat kaydedilir.
- Aşağıdaki formülasyonu kullanarak sonucu hesaplanır.

$$\text{TH (ppm } CaCO_3) = \frac{m \times s \times F \times N \times 1000}{T} \quad (3.1)$$

m: $CaCO_3$'ın ekivalent ağırlığı

s: EDTA sarfiyatı (ml)

F: EDTA faktörü

N: EDTA normalitesi

T: numune miktarı (ml)

İkinci bir yöntem olarak sertlik kiti kullanılabilir. Bu kitler genellikle Alman, İngiliz veya Fransız sertliği cinsinden bulmak için yapılır. Sertlik kitinin içerisinde 1 adet tampon çözelti 1 adet Alman, İngiliz veya Fransız cinsinden titrasyon kimyasalı vardır. Renk kırmızından yeşile dönünceye kadar 1 damla olacak şekilde damlatılır. Kaç damla içerisinde renk dönerse gerekli dönüşümler yapılarak istenilen sertlik birimi cinsinden hesaplama yapılabilir.

- Alman Sertliği 1 dH = 17,8 ppm $CaCO_3$
- İngiliz Sertliği 1 E = 14,3 ppm $CaCO_3$
- Fransız Sertliği 1 Fr = 10 ppm $CaCO_3$

### 3.3.3 Toplam Alkalinite

Suyun içeriğinde bulunmakta olan $OH^-$, $CO_3^{-2}$, $HCO_3^-$ iyonlarının miktarları alkaliniteyi belirler. Alkalinite pH ile doğrudan ilgili değildir fakat birbirleri ile ilişkilidirler. Alkalinitesi 1000 ppm $CaCO_3$ ile ifade edilen bir sıvı 7, pH olabilirken 10ppm $CaCO_3$ olan başka bir sıvının pH'ı 11 olabilir.

p-Alkalite = $OH^- + ½ (CO_3^{-2})$ m-Alkalite = $CO_3^{-2} + HCO_3^- + OH$ (3.2)

Kullanılan Araçlar; mezür, büret, erlendir. Kullanılan kimyasallar; saf su, fenolftalein, metil oranj, 0,1 N $H_2SO_4$. [32] Analiz Prosedürü;

- Mezür ve erlen saf su veya numune ile çalkalanır.
- Erlene 50 ml numune alınır.
- Birkaç damla fenol ftalein indikatörü damlatılır (pH > 8,2 ise pembe renk oluşur) , renksiz oluncaya kadar 0,1N $H_2SO_4$ ile titrasyona devam edilir.
- Birkaç damla metil oranj ekleyin ve büreti kaldığı yerden renk turuncuya dönünceye kadar titrasyona devam edilir.
- Toplam $H_2SO_4$(s) sarfiyatını kullanarak m- alkaliteyi hesap edilir.

$$\text{Alkalinite (ppm } CaCO_3) = \frac{m \times s \times F \times N \times 1000}{T} \quad (3.3)$$

m: $CaCO_3$'ın ekivalent ağırlığı

s: $H_2SO_4$ sarfiyatı (ml)

F: $H_2SO_4$ faktörü

N: $H_2SO_4$ normalitesi

T: numune miktarı (ml)

### 3.3.4 pH

Suyun içerisinde bulunan $H^+$ iyonlarının eksi alınarak logaritmasıdır. pH = 1 ise su kuvvetli asidik özellik göstermekte, pH = 13 ise su kuvvetli alkali özellikte, pH = 7 ise su nötr özellik göstermektedir. Kullanılan araçlar; pH metre taşınabilir ya da laboratuvar tipi, pH probu Analiz Prosedürü;

- Ölçümü yapılacak numune oda sıcaklığına getirilmelidir. pH sıcaklık ile ters orantılı olarak değişir. Optimum ölçüm sıcaklığı 20-25°C civarındadır. Numune sıcak veya soğuksa belirtilen sıcaklık aralığına getirilmelidir.
- pH eprobu önce saf su, sonra numune ile temizlenir.
- Prob numuneye daldırıp, kısa bir süre çalkalanır ve ekranda sabitlenene değer sonuçtur.

- Eğer pH metrede AR ve Run Enter tuşları mevcut ise sırasıyla AR, Run Enter yaparak sabitlendiği değeri ölçümün sonucu olarak kaydedilir.
- Ölçüm sonrası pH elektrotu saf su ile yıkanır. Prob 3 N KCl içeren koruyucu kılıfına yerleştirilerek muhafaza edilmelidir.

İkinci bir yöntem olarak pH tabletleri kullanılabilir. Analiz kitine göre renk farklılık gösterse de ekipmanın kutusunun üzerindeki pH'ı renge göre ifadeler yer alır

Üçüncü bir yöntem olarak pH kağıdı kullanılabilir. Benzer bir şekilde kutunun üzerinde kağıdın alacağı renklere göre ifadeler yer alır.

### 3.3.5 Toplam Çözünmüş Katı Madde

Su içerisinde çözünmüş, suyun iletkenliğini arttıran tüm tuzların miktarını söyler. Kullanıldığı prosese göre belirli standartları sağlaması gerekmektedir. Suyun içeriğini belirten en önemli etkenlerden bir tanesidir. İletkenlikle bağıntılıdır. İletkenlik kısmında nasıl hesap edilebileceği ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

### 3.3.6 İletkenlik

Suyun içerisinde iyonlaşmış olarak içeriğindeki çözünmüş malzeme miktarını belirtir. (Suyun akım taşıma kapasitesidir). Su saf halde iken iletkenlik değeri bulunmayacaktır. Testin amacı İletkenlik ve TDS değerlerini bulmak için yapılır. Kullanılan Araçlar; taşınabilir ya da laboratuvar tipi iletkenlik cihazı, iletkenlik probu. [33]Analiz Prosedürü;

- İletkenlik probunu önce saf su ile yıkanır.
- Prob numuneye daldırıp ölçüm değeri alınır.

Eğer iletkenlik $< 4000\ \mu S$ /cm ise TDS = 0,5 x iletkenlik değeri

Eğer iletkenlik 4000 – 10000 $\mu S$ /cm ise TDS = 0,65 x iletkenlik değeri

Eğer iletkenlik > 10000 μs/cm ise TDS = 0,89 x iletkenlik değeri

(1000 $\mu S$/cm = 1 ms/cm)

- İletkenlik sıcaklık ile değişim göstermektedir. Optimum ölçüm sıcaklığı 20-25°C civarındadır. . Numune sıcak veya soğuksa belirtilen sıcaklık aralığına getirilmelidir.

### 3.3.7 Sıcaklık

Suyun kendisi ile ilgili analiz yaparken optimum sıcaklıkta olması istenir veya sıcaklık çevirme hesapları yapılır. Bunun sebebi ise bir analiz sonucundan bahsedilirken aksi ifade edilmediği takdirde numunenin optimum sıcaklıklar altında analizinin yapıldığı ve sonuçların yine optimum sıcaklıkta elde edildiği kabul edilir. Optimum ölçüm sıcaklığı 20-25°C civarındadır. Numune sıcak veya soğuksa belirtilen sıcaklık aralığına getirilmelidir. Ayrıca sıcaklık proseste oluşacak korozyonun veya tortu oluşumunu belirleyen durumlardan bir tanesidir. Sıcaklık arttıkça korozyon hızı artmaktadır. Sıcaklık arttıkça depozit oluşumu da hızlanır. Korozyon ve tortunun ifade edildiği bölümlerde daha ayrıntılı olarak ifade edilecektir.

### 3.3.8 Çözünmüş Oksijen

Gazların sıvılar içinde çözünme miktarı sıcaklık, basınç ve gazın cinsine bağlıdır. Polar gazlar (HCl, $NH_3$ gibi) çok daha yüksek miktarda çözünürken, nonpolar gazlar ($O_2$,$N_2$ gibi) çok daha az çözünürler.

### 3.3.9 Demir

Demir, elemental simgesi Fe, atom numarası 26 olan kimyasal bir elementtir. Demir, dünya yüzeyinde en olarak bulunan dördüncü mineral ve yer kabuğunda en bol bulunan metaldir. Dünyanın merkezindeki sıvı çekirdeğin de tek bir demir kristali olduğu söylenir, ancak bunun bir demir-nikel alaşımı olması kuvvetle muhtemeldir. Demir suda genellikle 3 halde bulunur. Bunlar çözünmüş halde, kolloidal ve organik demir olmak üzere ayrılmaktadır. Çözünmüş demir zamanla suyu kırmızı turuncu bir renge dönüştürecektir. Kolloidal demir çapı çok küçük (0,1 ile 0,001 mikron) su içerisinde kırmızı turuncu parçalar halinde parlak olarak gözükecektir. Organik demir ise bakterilerin sebep olduğu su içerisinde floklar halinde görünebilen bir yapıya sahiptir. Suda demir olması korozyon olduğunu göstermektedir. Analiz için gerekli ekipmanlar; spektrofotometre ve demir reaktifi. [34]Analiz prosedürü;

- Spektrofotometreden 265 numaralı program seçilir
- Numune içerisine demir reaktifi eklenir ve 3 dk beklenir.
- Daha sonra numune spektrofotometrede okunarak sonuç elde edilir.

# 4
# LİTERATÜR ÖZETİ

Su, dünya için her zaman önemli bir doğal kaynaktır. Yaşamakta olan tüm canlıların varlığı için gereklidir. İnsan uygarlıklarının su arasındaki yakın ilişki, neredeyse tüm eski uygarlıkların hepsinin büyük nehirlerin kıyılarında ortaya çıkması gerçeğiyle ifade edilebilir. Günümüzde su, insanların sağlığını ve keyifli yaşamını sürdürmek ve değerli doğal ve endüstriyel ürünler yapmak için en önemli doğal kaynaktır. Diğer yandan, su kaynaklarının azlığı ve su kirliliğinin ortaya çıkması gibi suyla ilgili sosyal sorunlar da uzun zamandır hayatımızdadır. Çözüm bulunması gereken önemli sorunlar olarak kalmaya devam etmektedirler. Bu sorunlar, nüfusun artması, nüfusun büyük şehirlerde yoğunlaşması, sanayilerin gelişmesi vb. yaşam biçimlerimizi doğal çevre ile uyumlu hale getirmemizi ve sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirmemizi gerektirmektedir. Su ile ilgili sorunlarımızı çözmek ve insan toplumunu doğa ve çevresi ile uyumlu hale getirmek için, suyun doğasının bilimsel olarak anlaşılmalıdır. Su hazırlama teknolojilerinin geliştirilmesi de ayrıca önemli bir rol oynamaktadır. Bu alandaki araştırma ve geliştirme, yalnızca kimya, fizik, mikrobiyoloji, metalürji vb. ile ilgili temel bilgileri değil, aynı zamanda kimya mühendisliği, makine mühendisliği, elektrik mühendisliği ve malzeme mühendisliği gibi geniş uygulamalı bilim bilgisini de gerektirir.

## 4.1 Su Neden Ehlileştirilmelidir

Doğal sular, askıda katı maddeleri, mikroorganizmaları, çözünmüş tuzları ve gazları içerir. Su içerisinde çözünmüş maddeler, su kullanan sistemlerde çeşitli sorunlara neden olmaktadır. İnsanlar için içme suyu söz konusu olduğunda, askıda katı maddeler ve mikroorganizmalar sağlık üzerinde kötü bir etki yapacaktır. Soğutma sularında ve kazan sistemlerinde ise kalsiyum karbonat gibi moleküller, ısı eşanjörlerinin ve kazanların ısı transfer yüzeyleri üzerinde tortu olarak birikirler. Birikme ısıl verimlerin azalmasına sebep olur. Bu da ekstra bir yakıt maliyeti olarak karşımıza çıkar. Çözünmüş oksijen, bu sistemlerden oluşan

metallerin korozyona uğramasına neden olur ve kullanım ömürlerini kısaltır. Mikroorganizmalar, ısı eşanjörü boru yüzeyleri vb. üzerinde büyüyebilir ve balçık oluşturabilir. Bu durum ısı eşanjörlerinin termal verimlerini azaltır ve bazen depozit altı korozyonuna neden olur. Aynı kalitede su kullanılsa bile sistemlerin çalışma koşullarına bağlı olarak suyun sebep olacağı problemlerin çeşitleri ve dereceleri her zaman değişmektedir. Sudan kaynaklanan problemleri önlemek için uygun bir şartlandırma programının uygulanması kaçınılmazdır. Program seçimi, su kalitesi, su kullanımı, hedeflenen bir sistemin çalışma koşulları vb. dikkate alınarak dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Kullanılan malzemeden çıkacağı maksimum sıcaklığa, kullanım amacından işi bittikten sonra deşarja kadar her ayrıntı incelikle düşünülmeli ve ona göre önlem alınmalıdır.

## 4.2 Maliyet Verimliliğinin Artırılması

Geleneksel olarak, "maliyet verimliliği" kelimesi, karbon çeliğinin korozyon hızını 10 mg/dm$^2$·gün'ün altına, 0,05 mm/y'nin altına veya 3 mpy'ın altında düşürmek için, yapılması geren bir şartlandırma etkisinin anlamına gelir. Bu noktada iki amaç vardır. İlki sistemin çok daha uzun ömürlü olmasıdır. Eğer 40 yıl çalışabilecek şekilde dizayn edildiyse bu sürenin düşmesini önlemek hatta ömrünü uzatmaktır. İkincisi ise içeriğindeki suyun daha ekonomik olarak kullanılabilmesidir. Sonuçta bu sistemler için en büyük maliyet suyun kendisi ve sebep olduğu sorunlardır. Toplam maliyet performansını düşüren su kimyasalları kullanıcılar tarafından talep edilmesinin sebebi de budur. Çünkü bu sistem şayet gerektiği gibi çalışmazsa üreteceği değerden çok daha büyük zarara sebep olacaktırlar. Fabrika ise bütün üretim duracak, havuz gibi bir sistemse hizmet veremeyeceği için olumsuz bir imaj verecektir. [35] Bir yüzme havuzu sisteminin, toplam işletme maliyeti şu kalemlerden oluşur;

- Kimyasal maliyet,
- Su maliyeti,
- Güç (elektrik) maliyeti,
- Personel gideri (havuzun temizliğinden, kimyasalların kullanılmasından sorumlu kişi),
- Havuzun bakım maliyeti,

- Havuzun kurulum maliyeti,

Su şartlandırma programının performansı, bu maliyetler üzerinde büyük bir etki sağlar. Havuzun içerisindeki basit mekanik parçalar bile o yaz alınacak bütün kimyasallardan daha pahalı olabilmektedir. Kimyasal maliyet, genellikle, operasyonun toplam maliyetin çok küçük bir bölümünü kaplar.

## 4.3 Çevre ve İnsan Sağlığının Korunması

Havuzun, soğutma kulesinin veya kazanın içerisine koyacağımız suyun tamamı görevini tamamladıktan sonra atık su arıtma tesisleri aracılığıyla veya doğrudan çevreye deşarj edilecektir. Bu nedenle, boşaltılan su kalitesi, atık su için yerel yönetmelikleri karşılamalıdır. Günümüzde, bütün deşarj parametreleri açık ve net bir şekilde regülasyonlarla düzenlenmiştir. Asıl amaç bütün işletme maliyetlerini düşürürken malzemelerin ömrünü arttırmak olsa da bunu insan ve çevreyi koruyarak yapabilmek en zorlu ve önemli kısmıdır. Bu bilincin çerçevesinde havuz içerisine seçilecek malzemelerin, kimyasalların ve suyun kendisin en doğru şekilde ayarlanması gerekir aksi takdirde dünyanın en verimli havuzunu bile inşa etsek sadece uzaktan bakmakla kalmamız gerekecektir. Dünya çapında giderek daha fazla ülke, atık arıtma tesisleri için 0,2 mg/L'ye kadar düşen toplam fosfor sınır değerlerini hedeflemektedir. Gelecekte, doğal kaynakların daha azalacağı düşünüldüğünde bu belirtilen sayının çok daha aşağılara hatta belki hiç olmayacak şekilde deşarj edilmesi gerekecektir [15].

Kullanacağımız malzemeler ve kimyasallar için yeşil kimyanın yenilenebilir kimyasalların seçimi, enerji verimliliği, kirliliğin önlenmesi gibi 12 maddesinin tamamına özel olarak dikkat edilmelidir. Bir başka önemli konu olan karbon ayak izinin azaltılması da çok büyük önem arz etmektedir. Su kimyasallarının güvenliği, yaşam döngüleri, üretimleri, nakliyeleri, depolamaları, kullanımları ve bertarafları boyunca güvence altına alınmalıdır. Bir sistemi verimli ve uzun ömürlü hale getirirken başka bir tarafta dünya gibi harika bir ekosisteme zarar verilmemelidir. Bizler dünyaya iyi bakmalıyız ki, dünyamızda bizi besleyip korumaya devam edebilsin. Bu nedenle, su tasarrufu yapılan işlemlerinin yaygınlaştırılması, sorunları önlemek için su iyileştirme kimyasallarının performanslarının

geliştirilmesi gerektirir. Kimyasal ve mekanik işlemlerin birliktelikleri ile hem su tasarrufu sağlanır hem de malzeme verimliliği artırılır.

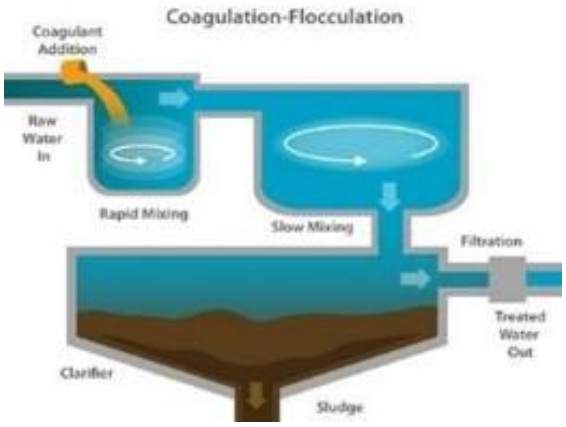
## 4.4 Mekanik Yöntemlerle Suyun Hazırlanması

Kuyudan, akarsudan, gölden veya denizden alınan suyun öncelikle ön arıtmaya gönderilmesi gereklidir. Ön arıtma bazen basit bir filtrasyon olabileceği gibi kimi zaman aşama aşama ilerleyen daha karmaşık bir düzenden oluşabilir. Bu tamamen suyun hangi kalitede istendiğine bağlıdır. Ön arıtmayı 3 aşamada inceleyebiliriz. Bunlar;

- Dinlendirme
- Koagülasyon ve sedimantasyon
- Filtrasyon

### 4.4.1 Koagülasyon ve Flokülasyon

Çökmesi istene parçacıkların çoğunun negatif yükü vardır. Partiküllerin dış çeperlerinde katyonik yük oluşur. Parçacıklar arasındaki itme kuvveti, yerçekimi kuvvetinden daha güçlüdür ve sonuç olarak parçacıklar süspansiyonda kalır. Askıda kalma durumunu bozmak için zeta potansiyeli değiştirilerek çökme işlemi gerçekleştirilir (şekil 4.1). Bunu için çeşitli koagülantlar ve polielektrolitler kullanılır. Havuzlarda genelde sadece alüminyum klorür kullanılır ve bu koagülant fazlasıyla yeterli olmaktadır.



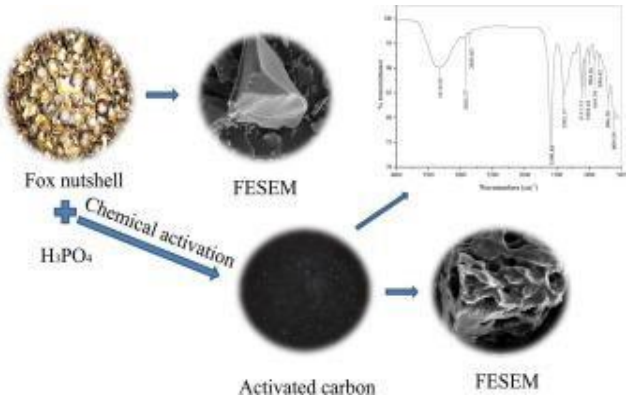

**Şekil 4.1** Koagülasyon ve flokülasyon [36]

### 4.4.2 Kum Filtre

Kum filtreleri, yaygın filtreleme türünden biridir ve su şartlandırma işleminde bir basamak olarak kullanılır. Üç ana şekilli vardır; hızlı kum filtreleri, yukarı akışlı kum filtreleri ve yavaş kum filtresidir. Her üç haldeki kum filtresi dünyada genelinde su endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hızlı kum filtreleri ve yukarı akışlı kum filtrelerinde çöktürücü kimyasalların etkin bir şekilde olması gerektirirken, yavaş kum filtreleri %90 - % 99 arası patojenlerin uzaklaştırdığı için, kimyasala ihtiyaç duymadan tat ve koku için iyi kaliteli su üretebilir. Kum filtreleri, su şartlandırma tesislerinde kullanıldığı gibi, evlerde bulunan su arıtma cihazları içinde kullanılır [37]. Gerek atmosferden gelen gerekse çöktürme işlemlerinden arta kalan katı parçacıklar sistemler için çok tehlikelidir. Askıda katı madde miktarı arttıkça borularda erozyona sebep olacaktır. Her havuzda bulunan olmazsa olmaz ekipmanlardan bir tanesidir.

### 4.4.3 Aktif Karbon

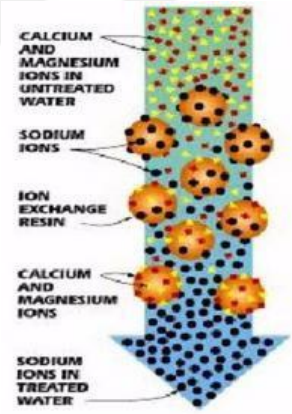
Aktif karbon filtreler, tipik olarak granüler veya toz halinde blok formunda, son derece gözenekli olduğu düşünülen küçük karbon parçalarıdır. Aktif karbon çok yüksek bir yüzey alanına sahiptir. Geniş yüzey alanı, bu karbon filtrelerin geleneksel karbondan daha fazla kirletici ve alerjen adsorbe etmesini sağlar. Adsorpsiyon, havadaki veya sudaki organik bileşiklerin, aktif karbonla kimyasal olarak reaksiyona girerek filtreye yapışmasına neden olan bir işlemdir. Aktif karbon ne kadar gözenekli olursa, o kadar fazla kirletici madde yakalayacaktır. Bu filtreler ev havası şartlandırma sistemlerindeki tehlikeli bileşikleri uzaklaştırmak için de kullanılabilir. Karbon su şartlandırmada, hava filtreleme ve çeşitli gazların elde edilmesi amacıyla kullanılabilir. Solunum maskeleri, şekerin saflaştırılması ve değerli madenlerin, özellikle altının geri kazanılması da dahil bir dizi başka prosesler amacıyla da kullanılır. Ayrıca sigara filtrelerinde ve otomobillerde kullanılan özel ekipmanlarda kullanılabilir. Suyu filtrelerken, kömür karbon filtreleri en uçucu organik bileşikler (VOC), tat ve koku gibi malzemeleri gidermede etkilidir (şekil 4.2) [38].




**Şekil 4.2** Aktif karbon [39]

### 4.4.4 İyon Değiştirici Reçineler

İyon değiştiriciler, su sertliğini yumuşatmak veya demineralize su üretebilmek için en yaygın olarak kullanılan bir su sistemidir. İyon değiştirme, kalsiyum gibi istenmeyen çözünmüş iyonların benzer bir yüke sahip olan başka iyonlar ile değiştirilmesi prensibine dayanan spesifik kimyasal bir işlemi tarif etmektedir. İki farklı iyon grubuna ayrılır, pozitif yüklü katyonlar ve negatif yüklü anyonlar vardır.

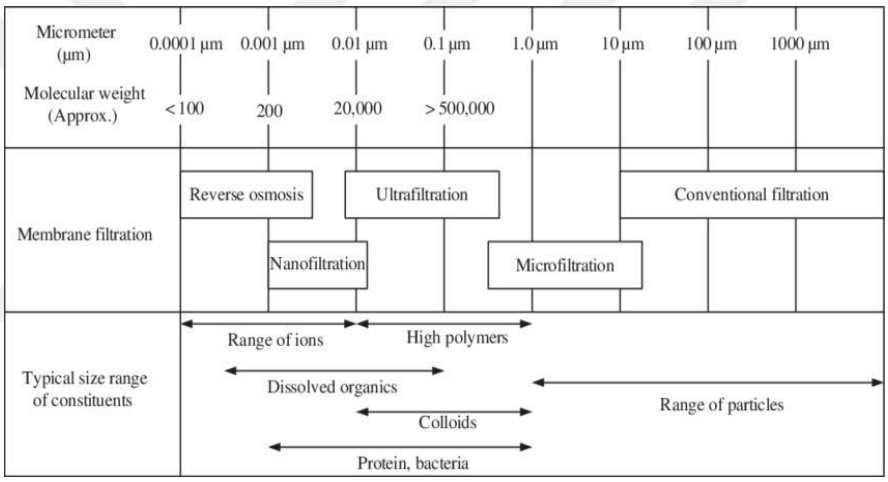



**Şekil 4.3** Reçineler [40]

Suyu tuzlardan arındırmak için kullanılan iyon değiştirme reçineleri, Na-R şeklindedir. Ham su şekil 4.3'de gösterildiği gibi bu reçineyi içeren yataktan geçirildiğinde, ham sudaki $Ca^{2+}$ ve $Mg^{2+}$ gibi sertliğe sebep olan bileşenler iyon değişim reçinesinin $Na^{+}$ iyonları ile değiştirilir ve reaksiyonlarda gösterildiği gibi yumuşatılmış su elde edilir [41].

### 4.4.5 Mikrofiltrasyon

En basit membran tipi olarak tanımlanır. Ayırma işleminde, membranlar gözenekli bir bariyer görevi görmektedir. Su membran aracılığıyla basınç farkı ile içeriğinden ayrım ayrılır. Membranların gözenekleri, genellikle 0.1 ile 20 $\mu$m aralığındadır. Daha özel işler için farklı boyutlarda membranlar üretilebilir. Bu Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Su numunelerinde askıda katı maddelerin miktarının saptanması için analitik bir ekipman olarak kullanıldığından, genellikle 0.45 $\mu$m gözenek boyutu olarak kullanımı tercih edilmektedir. Membranlar, selüloz asetat ve poliamid gibi birçok farklı malzemelerden yapılabilmektedir. Birim yüzey alanı başına gözenek şekli, miktarı veya konfigürasyonu değiştirilerek su üretimi oranları ve kalitesi değiştirilebilir.




**Şekil 4.4** Membran çalışma koşulları [42]

### 4.4.6 Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon, ağır metaller gibi inorganik kirleticilerin, askıda katı maddelerin ve kirletici organik bileşiklerin uzaklaştırılması için kullanılan seçici geçirgen membranlardır. Parçacığın boyutlarına bağlı olarak, ağır metallerin, makromoleküllerin ve gözenek boyutu 5 ile 20 nm arasında değişen katıların ayrılması için farklı tiplerde ultrafiltrasyon membranları kullanılabilir. Bu işlemin avantajları, daha az yer gereksinimi ve düşük itici güçtür. Bunlarla birlikte, yüksek maliyeti ve kirlenmesi ile ilgili sorunları sebebiyle, uygulaması sınırlıdır. Virüsler ve bakteriler ultrafiltrasyon yöntemi ile kolaylıkla sudan ayrılabilirler. Günlük kullanım amacıyla yeterli kaliteye sahip su üretebilse bile neredeyse hiçbir tuzu su

içerisinden ayırmayacak ve bir miktar organik maddenin geçmesine izin verecektir. Şebeke suyundan veya Deniz suyundan doldurulmak istenen havuzlar için yeterli kalitede su üretebilir [43].

### 4.4.7 Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon, iyonik veya moleküler partikülleri filtreleyebilme kabiliyeti açısından ters ozmos ve ultrafiltrasyon arasında yer alan, hidrostatik basınçla çalışan bir membran sistemidir. Nanofiltrasyon membranların, seramik veya organik gözenekleri olabilir. Boyutları, 0,5-1 nm aralığında olan nano boyutta gözenekleri bulunmaktadır. Ters ozmos ve ultrafiltrasyon ile karşılaştırıldığında, nanofiltrasyonun tanımlanması her zaman zor bir süreçte olmuştur. Kütle transferi mekanizması, membran yapısına, membran ve taşınan moleküller arasındaki etkileşimlere bağlıdır. Ayırma verimliliğinin, eleme etkisi veya çözünmüş moleküllerin difüzyonu özellikleri ile yönetilebilmektedir. Bir nanofiltrasyon ünitesinin çalışması için üç parametre çok önemlidir; membrandan geçen akış, çözünmüş maddelerin filtreleme kabiliyeti ve verimlilik. Birçok proses için yeterli kalitede su üretilebilir. Nanofiltrasyon membranının toplam sertliğin %96-98'ini, elektriksel iletkenliğin %79-89'unu ve toplam çözünmüş katının (TDS) %79-89'unu tutma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir [44].

### 4.4.8 Ters Ozmos

Ters ozmos, diğer yöntemlerden ayrıca saf su üretmek için, katı, çözünmüş organiklerin, bakterin, kolloidlerin geçişini engelleyen iç içe geçmiş membranlardan oluşan bir sistemdir. Ters ozmos membranları tarafından filtrelenmiş suya ürün suyu veya filtrat denir. Atık su ve gözeneklerden geçemeyen çözmüş maddeler, atık su veya konsantre olarak adlandırılır. Ozmos terimi, iki bölme arasında yarı geçirgen olan bir zar ile ayrıldığında, suyun hangi yönde yapacağı hareketini tarif eder, böylece su, düşük çözünen konsantrasyon alanından yüksek çözünmüş konsantrasyona doğru hareket edecektir Ozmos biyolojik yaşamın devamlılığı için olmazsa olmaz bir doğa olayıdır.

Ters ozmos işleminde, su hidrostatik basınç kullanılarak, yani ozmos terimi ile zıt yönde veya bir ozmotik gradiyenine karşı zorlama ile yapılır. Ozmotik basıncın üstesinden gelebilmek için gereken basınç veya enerji miktarı, beslenen suyun

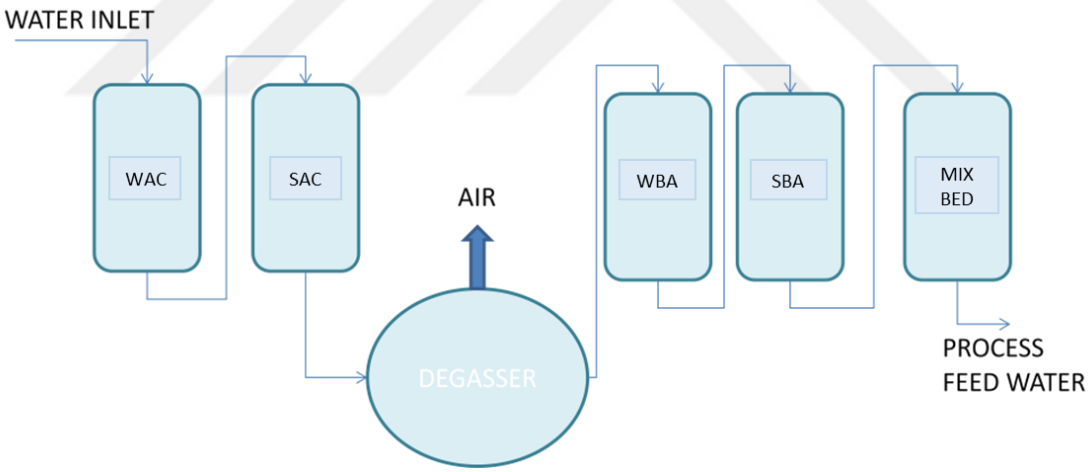
çözünmüş iyonik içeriğine bağlıdır. Ters ozmos sistemleri 1000 ppm çözmüş madde başına yaklaşık 10psi güç gerektirir. Böylece, ters ozmos, membranları boyunca bir hidrostatik basınç gradyanı üretmek için yüksek miktarda enerjiye bağımlı olacaktır. Gerekli enerji miktarı, suyun iletkenliği yani çözünmüş katıların miktarı artmasıyla daha da artacaktır. Ters ozmos sistemleri genel olarak ön filtreler, pompalar, akış ve basınç kontrolleri, membranlar ve çeşitli monitörlerden oluşur. Su membran boyunca ilerlerken, suyun bir kısmı akışa zorlanır ve membrandan geçirilir, zarı geçemeyen geri kalanlar drenaja yönlendirilir veya geri dönüştürülür. Süzüntü ve konsantre akışın bu şekilde yönlendirilmesi, zarın sürekli olarak yıkanması ve membranların kirlenmesinin önlenmesi için doğal bir işlem sağlar. Ters osmoz sisteminin verimliliği, sistemdeki basınç, beslenen suyunun bileşeni, beslenen suyunun sıcaklığı ve beslenen suda çözünmüş gazların seviyesi gibi bir dizi faktörden etkilenir. Baz durumlarda 2 ozmos ünitesi arka arkaya bağlanabilir. Buradaki amaç su kaybını azaltarak verimliliği arttırmaktır. Osmozlardan %50 saf su olarak membrandan çıkarken suyun kalanı atık olarak ikinci ozmos ünitesine gider. Buradan da beslenen suyun yarısı saf su olarak alığında verim %75 seviyelerine kadar çıkacaktır. Bu yöntem, çift aşamalı bir ters ozmos sistemi olarak ifade edilir [45].

Ters ozmos sistemleri genel olarak ortam sıcaklığında çalışır ve en önemlisi, buharlaştırma işlemlerinde olduğu gibi, suyun uzaklaştırılması için faz değişikliği gibi şartları yoktur. Ters ozmos, ürünün eşzamanlı konsantrasyonu, fraksiyonlanması, saflaştırılmasına ve tek bir ünite işleminde birden fazla görevin yerine getirilmesini sağlayan çok verimli bir ekipmandır. Üründe pH veya kimyasal değişiklik yapmazken, ısıl olarak bozulmanın yanı sıra lezzet ve beslenme kayıplarının olduğu buharlaştırma işlemi ile karşılaştırıldığında, bitmiş ürünün kalite özellikleri ve besin değeri üzerinde minimal bir etkiye sahiptir [46] [47].

### 4.4.9 Demineralizasyon

Demineralizasyon, hem katyonik hem de anyonik iyon değiştirici reçinelerinin kullanımını ile saf su üretme yöntemidir. Demineralizasyon işleminin ilk aşaması, Güçlü Asidik Katyon Değişim Reçinesi (SAC) reçinesi ile Zayıf Asidik Katyon Değişim Reçinesi (WAC) reçinesi kullanılır. Daha sonraki aşamada ise Güçlü Bazik

Anyon Değişim Reçinesi (SBA) ve Zayıf Bazik Anyon Değişim Reçinesi (WBA) kullanılacaktır. Böylece tam demineralizasyon gerçekleşmiş olur. Burada ki amaç sudaki bütün iyonların yakalanabilmesidir. Bu iyonlar yerine suya $OH^-$ ve $H^+$ iyonları verilir. Reçine, suyun gerekli kalitede üretilmediği durumlarda rejenerasyon gerekli olacaktır. Reçinelerin tükenmesi veya dolması suyun çıkış yaptığı yere takılan bir iletkenlik probu tarafından tespit edilebilir. İletkenlik çözünmüş iyon konsantrasyonunu gösterdiği için yükseldiğinde, rejenerasyon döngüsünü başlatmak için takip edilir. Alternatif ve yaygın bir seçenek ise güçlü katyon reçineleri ve anyon reçineleri üniform karışımları içeren karışık yataklar başka bir ifade ile mixed bed kullanılmasıdır. Enerji üretiminde yüksek basınçlı kazanlardan buhar üretimi için gerekli olan su saflığını karşılayacaktır. Nükleer enerji santralleri gibi özel ihtiyaçların olduğu alanlarda bu reçineler uygundur. Reaktör devrelerinde nötron ile aktive olabilen malzemelerden kaynaklanabilecek potansiyel sorunları azaltmak için yüksek saflıkta olan nükleer dereceli reçineler kullanılır [48] [49].




**Şekil 4.5** - Deiyonize su tesisi dizaynı

Deiyonize suyun iletkenliği 0.05 $\mu$S /cm seviyelerine kadar indirebilir, bu değer 18 megohm-cm (MΩ) direncine karşılık gelir. Deniz suyunun iletkenliği 50 mS /cm'dir ve içme suyunun iletkenliği 200 ile 800 $\mu$S/cm'dir. Bir RO ünitesinin nüfuz değeri, çalışma basıncına ve besleme konsantrasyonuna göre değişlik gösterebilir. Tipik olarak, RO suyunun iletkenliği, deiyonize su değeri ile içme suyu değeri (0.05 $\mu$S/cm-200 $\mu$S/cm) arasında olacaktır [49] [50]. Tablo 4.1 yöntemlerin genel bir karşılaştırılması verilmiştir.

**Tablo 4.1** Yöntemlerin genel bir karşılaştırması

| **Proses** | **İtici Güç** | **Kullanım alanı** |
|---|---|---|
| İyon Değiştiriciler | İyon Değişim Entalpisi | Su yumuşatma üniteleri, madenler, endüstriyel veya sıcak su kazanları, evler |
| Mikrofiltrasyon(MF) | Hidrostatik Basınç Gradyanı | Ön arıtma, içecek endüstrisi, arıtma ve biyolojik stabilizasyon, gıda ve ilaç endüstrilerinde sterilizasyon, bakterilerin uzaklaştırılması, berraklaştırma |
| Ultrafiltrasyon(UF) | Hidrostatik Basınç Gradyanı | Yağ/su emülsiyonunun ayrılması, petrol türevlerinin ayrılması(wax asfalt vs), elektroforetik boya, makromoleküllerin ve virüsün uzaklaştırılması, meyve suyu üretimi |
| Nanofiltrasyon(NF) | Hidrostatik Basınç Gradyanı | Deniz suyundan proses suyu üretimi, içme suyu üretimi, atık su arıtma (endüstriyel, kağıt, tekstil vs.), petrol endüstrisi, alkol ayırma, gıda konsantre etme |
| Ters Osmoz(RO) | Hidrostatik Basınç Gradyanı | Deniz suyundan proses suyu üretimi, İçme suyu üretimi, Atık su arıtma (endüstriyel, kağıt, tekstil vs.), petrol endüstrisi, alkol ayırma, gıda konsantre etme |
| Demineralize(DI) | İyon Değişim Entalpisi ve Elektrik Potansiyeli Gradyanı | Enerji tesisleri, ilaç, gıda, analiz, yüksek saflıkta su üretim tesisleri, rafineriler |

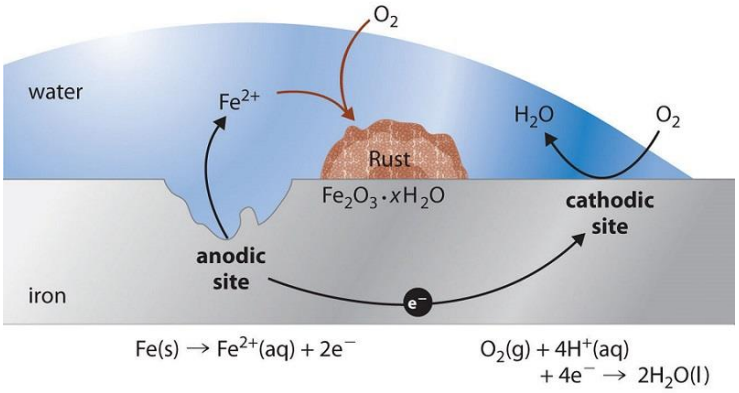
## 4.5 Korozyon Ve Tortu Oluşum Mekanizmaları

Su sistemlerinde korozyon ve tortu oluşması maliyetli bir sorundur. Soğutma kuleleri ve havuzların içerisinde bulunan ısı değiştiriciler, uygun şekilde korunmadığı takdirde, havaya, suya ve hatta diğer metallere maruz kaldığında zarar görmeye müsait yapıda malzemelerden yapılmışlardır. Kontrol edilmezse çatlaklara, sızıntılara ve yapısal bozukluklara neden olarak ürün kontaminasyonuna, hatta sistemin tamamen arızalanmasına neden olabilir. Çözünmüş tuzlar, pH, sıcaklık, basınç, çözünmüş gazlar, çizgisel hız, mikrobiyoloji korozyon sürecinin ana bileşenleridir. En yüksek işletme verimliliğini korumak için devam eden bir korozyon ve tortu kontrol programı esastır. Yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'nde, su ve atık su sistemlerindeki korozyonla ilişkili maliyetlerin yıllık 50 milyar doları aştığı tahmin edilmektedir [51]. Dünya üzerindeki herkes bu zararları minimuma indirmek için çalışmalar yapmaktadır. Çünkü en iyi tasarruf eldekinden en uzun süre verim alabilmektir. Korozyon sebebiyle kaynaklanan metal kaybı sistemin ömrünü azaltırken, bakım maliyetlerini artırır. Sonuç olarak daha sık ekipman arızasına neden olur. Korozyon ayrıca su akışını engelleyen, ısı transferi yapan yüzeyleri bozan ve su sistemlerinde verimliliği azaltan tortular üretebilir. Farklı korozyon türlerinde temel bir anlayış, korozyonla ilgili sorunları teşhis etmenize ve çözmenize yardımcı olur. Korozyon çeşitleri tipik olarak genel ve yerel olarak kategorize edilir. Korozyon, koruması bulunmayan bir metal yüzey üzerinde eşit olarak ilerler. Fakat lokal korozyonda, ise genellikle spesifik bir bölge etkilenmektedir ve genel korozyona göre çok daha hızlı delinmelere veya ekipman arızalarına sebebiyet verecektir. Korozyon birçok farklı şekilde karşımıza çıkabilecekten aşağıda en çok karşılaştıklarımız açıklanacaktır. Korozyonun malzemeye verdiği hasar, sadece yüksek maliyetli onarım ve değiştirme için değil, aynı zamanda bu kamu risklerinin oluşmasına da neden olur.

Korozyon, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerin gelişimini olumsuz etkileyen küresel bir sorundur. Sürekli olarak tahminler yapılmaktadır ve son zamanlarda NACE, korozyonun maliyeti üzerinden yakından incelenmeler yapmaktadır. Buna göre korozyonun yıllık olarak dünyaya maliyeti, toplam gayri safi yurtiçi hasılatının %3,4'üne eşdeğer olan yaklaşık 2,5 trilyon ABD dolarıdır [52].

### 4.5.1 Anot Katot Hücre Korozyon Modeli

Anodik alanda veya anotta metal oksidasyonunun bir sonucu olarak metal kaybı meydana gelir. Hidrokarbon taşıyan borulardan içinde sadece su taşıyan borulara kadar her türlü sistemde yaşanabilecek bir problemdir Bu durumda demir $Fe^{0}$ suda çözünür ve $Fe^{+2}$ iyonun meydana getirir. $Fe^{+2}$ oluşumunun bir sonucu olarak, katodik alanda veya katotta bir oksitleyici ile reaksiyona girmek üzere metalden akan iki elektron ayrılır. Elektron, bu durumda reaktanlardan biri olarak düşünülmelidir. Metaldeki potansiyel, elektron konsantrasyonu ile orantılıdır. Anot elektron kaybettiği için daha pozitif bir yüke doğru hareket eder. Katot elektron aldığı için negatif bir potansiyeli artmaktadır. Suda oksijenin ve iyonların difüzyon hareketi iki farklı neden sebebiyle meydana gelir. Sebeplerden biri, sistemin yükünü korunması gerektiğinden oluşan yükleri dengelemektir. Oksijen bir elektron alıcısı olarak metale doğru hareket eder ve elektronlar tarafından indirgenir. Korozyon sırsında çözeltiye verilen metal iyonları örnek olarak demir için $Fe^{+2}$ gibi oluşturulan pozitif yükü dengelemek için anyonlar anoda doğru yönelir. Anodik ve katodik bölgelerdeki farklılıkların metalde oluşturduğu potansiyel, korozyon sürecinin itici gücüdür. Potansiyeli ifade edecek olursak, bir su hattındaki basınç gibidir. Basınç bu su hatlarında ne kadar yüksek olursa, akış o kadar yüksek olacaktır. Korozyon hızları, potansiyelden kaynaklanan akımın akışı ile orantılı olarak artacaktır. Daha yüksek miktarda potansiyel, daha yüksek bir elektron akışına ve dolayısıyla daha yüksek miktarda korozyon oranına sebep olacaktır. Anot ve Katotun hücresinin modeli, sürecin uygun gösterim şekli olsa bile, anotlar ve katotlar metal yüzeyi üzerinde her zaman tek bir noktada kalmamaktadırlar. Her metal yüzeyi üzerinde sayısız miktarda anodik ve katodik alanlar bulunmaktadır. Bu anodik ve katodik alanlar genellikle şekillendirme ve kaynak gibi diğer metal işleme operasyonlarından kaynaklanan yüzey düzensizliklerinden dolayı olur [53] [54]. Şekil 4.6 Anot Katot reaksiyonlarını göstermektedir.




**Şekil 4.6** Anot katot korozyonu [55]

#### 4.5.1.1 Anodik Reaksiyonlar

Elektrokimyasal hücrenin her bir bölgesindeki reaksiyonlara yarım hücre reaksiyonları denir. İkisi birlikte tam bir hücre reaksiyonu oluşturacaktırlar [52]. Anodik yarı hücre reaksiyonu genellikle şu şekilde ifade edilir;

Demir: $Fe^{0} \rightarrow Fe^{+2} + 2e^{-}$ (4.1)

Bakır: $Cu^{0} \rightarrow Cu^{+1} + e^{-}$ (4.2)

Asil metaller korozyona karşı daha düşük bir eğilime sahiptir ve korozyonun meydana gelmesi için daha yüksek potansiyeller gerektirir. Platin ve altın asil metallere örnek olarak verilebilir.

#### 4.5.1.2 Katodik Reaksiyonlar

Katodik reaksiyonlar, oksitleyici olan malzemelerin indirgenmesiyle sistemden elektronların uzaklaştırılmasının bir ifadesidir. Su içerisinde bulunan oksijen molekülleri ($O_2$) katodik alana doğru hareket edecektir. Elektrik devresini tamamlamak için katotda doğru akan elektronlar metal yüzeyinde hidroksit iyonlarını ($OH^-$) oluşturur [52]. Kimyasal olarak reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;

$O_2 + H_2O + 2e^{-} \rightarrow 2(OH^{-})$ (4.3)

pH ne kadar düşükse, katodik bölgelerde elektronların alınması daha fazla $H^+$ olduğundan korozyon o kadar hızlı gerçekleşecektir.

### 4.5.2 Birikinti Altı Korozyonu

Birikinti altı korozyonu, esas olarak su, hidrokarbon veya diğer kimyasal malzemeleri taşıyan boruların iç yüzeyinde oluşan tortuların etrafında veya altında oluşur. Bu birikintiler tercihen durgun veya aralıklı akış koşullarında veya akış hızının minimum olduğu alanlarda boruların dibinde, dirseklerde oluşmaktadır. Birikinti altı korozyonun arkasındaki asıl itici güç, korozyon oluşumuna teşvik eden tortuların sebep olduğu kimyasal ve fiziksel farklılıklardır. Bu farklılıkların örnekleri arasında pH farkı, belirli iyonların veya moleküllerin daha yüksek veya daha düşük konsantrasyonu örneğin oksijen veya diğer aşındırıcı türler ve tortuların altında mikrobiyolojik aktivitenin varlığı sayılabilir. Bazen tüm bu faktörlerin bir kombinasyonu da oluşabilmektedir. Bu nedenle, tortuların altında oluşturulan mikro ortam, korozyon hücresinin kurulmasından ve aşındırıcı saldırının başlatılmasından büyük ölçüde sorumludur. Korozyon mekanizmalarını anlamak ve azaltma stratejileri geliştirmek için değerli bilgiler sağlayabilir. Birikinti altı korozyonu, tortunun özelliklerine ve metal ile ara yüzeyindeki yerel koşullara bağlı olarak farklı mekanizmalar izleyerek ilerleyebilir. Özellikle katı birikintilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, altında oluşan ortamları büyük ölçüde etkiler ve bu nedenle meydana gelen korozyon süreçleri üzerinde büyük bir etki yaratır. Endüstriyel tortular organik, inorganik veya biyolojik malzemelerden oluşabilir, ancak daha sıklıkla bu fazların değişik türleri ve bileşimleri olan karmaşık yapılardır. Ayrıca, benzer bileşimlere sahip tortular için bile, tortu içindeki ayrı bileşenlerin dağılımı, depozitin parçacık boyutu, kalınlığı, sağlamlığı gibi potansiyel yapısal farklılıklar nedeniyle farklı korozyon davranışı gözlemlenebilir. Bazı tortular ayrıca yapıları içinde su veya diğer sıvıları biriktirme yeteneğine de sahip olabilir Bunlar daha sonra depozit altında kurulan korozyon hücresi için elektrolit görevi görerek çeşitli boru delinmelerine veya malzemelerin zarar görmesine sebep olmaktadır. Korozyonun asıl sebeplerinden biride birikintinin altında pH'ın daha hızlı düşmesidir. Mikrobijolik olaylar sonucu bakterilerin üzerinde gerçekleşen kimyasal süreçler pH'ı daha da aşağıya çeker ve korozyon hızları ciddi şekilde yükselecektir [56].

### 4.5.3 Galvanik Korozyon

Galvanik korozyon, daha asil metalin korunduğu ve daha aktif metalin korozyona meyilli olduğu spesifik bir korozyon çeşididir. Bir elektrolitte iki farklı metal elektriksel temas halinde olduğunda meydana gelen korozyon hasarını ifade eder. Galvanik korozyonun sistem içerisinde muhtemel olup olmadığını, anot olarak hangi metalin korozyona uğrayacağını ve korozyonun hangi metal üzerinde ne kadar hızlı ilerleyeceğini tahmin etmek için bir çizelge kullanılabilir. [57] Galvanik korozyonun meydana gelmesi için üç koşulun tümü mevcut olmalıdır;

- Elektrokimyasal olarak farklı metaller mevcut olmalıdır.
- Metaller elektriksel temas halinde olmalıdır.
- Metaller bir elektrolite maruz bırakılmalıdır.

Metallerin ve metal alaşımlarının tümü, belirli bir elektrolitte bir metalin aktif hale gelme eğiliminin göreceli bir ölçüsü olan farklı elektrot potansiyellerine sahiptir. Bir metal ne kadar aktif veya daha az soyluysa, elektrolitik bir ortamda anot oluşturma olasılığı o kadar yüksektir. Aynı şeklide metal ne kadar soyluysa, aynı ortamda katot oluşturma olasılığı o kadar yüksektir. Elektrolit, metal iyonlarını anottan katoda hareket ettirerek iyon hareketi için bir kanal görevi görür. Sonuç olarak anot metali normalde olduğundan daha hızlı paslanırken, katot metali daha yavaş paslanır ve bazı durumlarda hiç paslanmayabilir. [57] Galvanik korozyon oranlarını etkileyen ana faktörlerden bazıları şunlardır;

- Malzemeler arasındaki potansiyel fark.
- Katot verimliliği.
- Bağlı malzemelerin yüzey alanları oranı.
- Malzemeler ve elektrolit arasındaki bağlantının elektrik direnci.

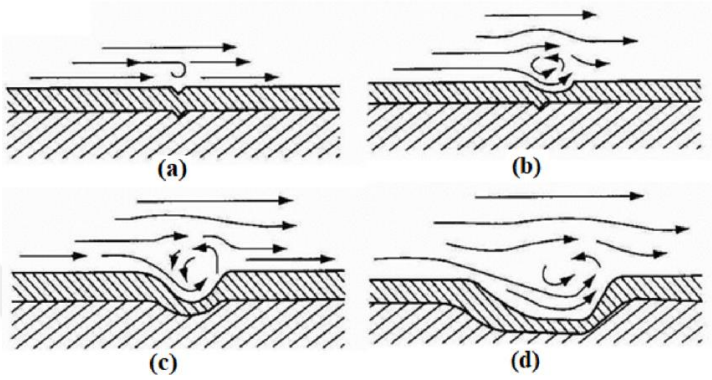
Sistemde deniz suyu kullanılmak istediğinde durum bu korozyon çeşidi için kontrolü daha zor şartları oluşturmaktadır. Deniz suyundaki galvanik serideki metaller birbirinden ne kadar uzaksa, ikisi arasındaki korozyon farkı ve hız o kadar büyük olur. Örneğin çinko, platin ile temas ettiğinde tuzlu suda çok hızlı bir şekilde paslanır, ancak 304 paslanmaz çeliğin 316 paslanmaz çelikle temas etmesi birbirleri üzerinde çok az etkiye sahip olacaktır. [57] Galvanik korozyondan kaçınmak için en yaygın tekniklerden bazıları şunlardır;

- Elektriksel Olarak Yalıtım - İki farklı metal arasındaki elektron akışının engellenmesine elektriksel yalıtım denir. Elastomer bazlı malzemeler, polimerler, kaplamalar veya parçalar yerleştirerek birbirine bağlı metallerin temas noktaları arasında iletken olmayan bir malzemeler ile sağlanabilir.
- Elektrolit Malzeme İzolasyonu - Bu yöntem ile amaç elektrolitin bağlantılı metallerden ayrılması sağlanır. Elektrolitler, galvanik olan hücrelerde redoks reaksiyonlarına neden olan iyonlardan oluşan ortamdır. Pratik olarak ifadesi, metalin alt tabakasını elektrolitten korumak amacıyla boyalar, kaplamalar, yağlar, gresler ve diğer suyu iten bileşikler kullanılabilir.
- Uygun Metal Seçimi - Galvanik korozyon önleme, bu elektrokimyasal reaksiyonun birincil itici gücü olan temas eden metaller arasındaki potansiyel farkı en aza indirerek de sağlanabilir. İki metalin birbiri arasında elektrotun potansiyelinin farkı ne kadar yüksek olursa olsun, korozyon hızı da o kadar şiddetli olacaktır. Seri olarak birbirlerine temasta bulunan metallerin seçilmesi, potansiyel olarak farkını ve galvanik korozyonun olasılığını azaltmaya yardımcı olur.
- Korozyon Önleyici Bileşiklerin Uygulanması - Korozyonu önleyiciler, elektrolit ortama eklendiklerinde galvanik korozyona sebep olan reaksiyonları sınırlayan süreçleri başlatacak olan sıvı veya gaz bileşiklerdir. En etkili inhibitörler ise elektrolit ortamda çözünmüş oksijeni uzaklaştırabilenlerdir. Oksijenin giderilmesi redüksiyonu engelleyecektir.
- Katot/Anot Alanlarını Yok Etmek - Galvanik korozyon, katotun anot alanına oranından doğrudan etkilenecektir. Buradaki oran ne kadar büyükse, ortaya çıkacak korozyonun hızı ve şiddeti o kadar büyük olacaktır. Bu sebeple, tasarım aşamalarında anodik metalin alanı katodik metalinkine göre oldukça geniş yapılmalıdır.

### 4.5.4 Erozyon Korozyonu

Erozyon korozyonu, korozyon ve sıvı akışından kaynaklanan fiziksel aşınmanın birleşiminden kaynaklanır. Hemen hemen tüm metaller bir tür erozyon-korozyona karşı hassastır. Erozyon korozyonunu metal yüzey üzerindeki herhangi bir türbülanslı sıvının yüksek hızda akışının neden olacağı, korozyonun ve erozyonun oluşturacağı birleşik etkidir. Genellikle boruların iç yüzeylerinde görülen

çukurlaşma ve yüksek çizgisel hızlar türbülansın ana nedenidir. Türbülanslı koşullarda erozyon oranı artar ve akışkanın basımcın etkisiyle borularda sızıntılara neden olabilir. Erozyon korozyonun oluşmasının en büyük sebeplerinden biri de kötü işçiliktir. Borulardaki çapaklar kurulum sırasında giderilmediğinde, bu iç çapaklar lokal türbülansa neden olur ve sıvının düzgün akışını engeller [58]. Şekil 4.7 erozyon korozyonun oluşumunu göstermektedir.




**Şekil 4.7** Erozyon korozyonu [59]

Akışkan bir borudan akarken, akışkanın hızı ve yüzeye karşı hareket eden akışkanın fiziksel etkisi, hareketli akışkanın aşındırıcı etkisi ile birleşir. Bu da hızlandırılmış bir metal kaybına neden olur. Metal genellikle, sıvı tarafından aşındırılan ilk kısım olan koruyucu bir filme sahiptir. Film bittiğinde, asıl metal tabaka korozyona maruz kalır. Bu tür korozyon, daralma alanlarında yaygındır. Bunlar, birikintilerin olduğu, boruların bağlantı ve giriş yerleri, pompa kanatlarının olduğu alanlar ve ayrıca yüksek debilerin olduğu bütün diğer yerlerdir. [58] [59] Erozyon korozyonu, aşağıdaki yöntemlerden uygulanarak biri ile önlenebilir veya azaltılabilir;

- Boruları düzene sokarak borudaki sıvının türbülansını azalmalıdır.
- Yüksek akış hızlarını azaltmak için sıvının hızını kontrol edilmelidir.
- Korozyona dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır.
- Korozyon önleyiciler ve katodik koruma yapılmalıdır.
- Tüm boru sisteminin çapaklarının alındığından emin olunmalıdır.
- Büzülmeleri önlemek için boru sistemindeki keskin açıları daha yumuşak açılarla değiştirilmelidir.

### 4.5.5 Yüksek ve Düşük pH Korozyon

pH terimi, hidrojen iyonu konsantrasyonunun hesaplanma şeklinden türetilmiştir, hidrojen iyonu ($H^+$) konsantrasyonunun negatif logaritmasıdır. pH 0 ile 14 arasında birimsiz bir ifadedir. Suyun asidik veya bazik olma durumunu belirtmek için kullanır. Metal uzun süreli olarak düşük pH'a maruz kalma durumunda çok hızlı bir biçimde korozyona uğrayacaktır. Düşük pH'da, hidrojenin oluşumu, metalin yüzeyinde koruyucu film oluşumu olasılığını ortadan kaldırma eğilimindedir. Koruyucu tabaka olmadan metal düşük pH'lı suya sürekli olarak maruz kalacak ve suda çözünmeye devam edecektir. Fakat bu pH'ı arttırıp yüksek seviyelerde takip edelim olarak algılanmamalıdır. Yüksek pH'da düşük pH kadar tehlikelidir.

Yüksek pH bulunan çözeltilerden kaynaklanan korozyon türüdür. Diğer korozyon türleri kadar yaygın değildir, ancak önemli sorunlar ortaya çıkarabilir. Paslanmaz çelik, karbon çelik ve nikel alaşımları gibi metaller, yüksek pH'lı çözeltilerden önemli ölçüde etkilenmezler. Alüminyum ve galvanizli metaller, amfoterik metaller olduklarından (hem asit hem de baz ile reaksiyona girerler) yüksek pH'lı çözeltilerde kolayca korozyona uğrarlar. Bakır alaşımları, hidroksit bazlı çözeltilerde korozyona direnmelerine rağmen, su içerisinde amonyak çözündüğünde bozunabilir veya çatlayabilir. Bu tip korozyon pH kontrolü düzenli yapıldığı için havuzlarda pek karşılaşılmayacaktır. Fakat her duruma karşı suya herhangi bir kaynaktan amonyak gelmesi durumunda ısıtıcıların yapısında bulunan bakır kısımlar ciddi zarar görecek ve yüksek maliyetler çıkmasına sebep olacaktır [60].

### 4.5.6 Atmosferik Korozyon

Atmosferik korozyon, bir malzemenin özelliklerinin elektrokimyasal olarak yüzeyinin malzemeyi çevreleyen atmosferik bileşenler ile diğer reaksiyonları nedeniyle bozulması ve tahribatıdır. Oksijen ve su varlığında havayla teması olan metalin oksitlenmesi en büyük örneğidir. Oksijen gibi birçok farklı atmosferik maddeler metallerin aşınmasına sebep olur. Dünyanın kendi atmosferindeki oksijen ve su buharından oluşan ortamının, demir yüzeylerinin kademeli olarak korozyonuna neden olmak için yeterlidir. Pas olarak bildiğimiz demir oksit bu

şekilde meydana gelir. Korozyon metalin mikro yapısını değiştirir ve ve kullanım ömrünü önemli ciddi anlamda azaltır. Atmosferik korozyona sebep olan hayati faktörler; sis, çiy, yağış ve bağıl nemden kaynaklanır. Tamamen kuru bir atmosferde oksijen ve karbondioksit hiçbir şekilde korozyona sebebiyet vermez. Kükürt ve klor, ortamda elektrolitler oluşturarak korozyonu şiddetlenmesine sebep olur. Ortam sıcaklığı ve hava basıncı da doğrudan korozyonu etkiler. Yüksek sıcaklıklarda bazı elektrolitler oldukça reaktif hale gelir. Korozyonu sağlayan kritik nem her metale özel bir faktördür. Atmosferik korozyon, endüstriler, araçlar ve konut yapıları gibi dış mekan kurulumlarının yanı sıra iç mekan kurulumlarını da etkilediği için yaygındır. Atmosferik korozyon kendiliğinden oluşur ancak yavaşlatılabilir, önlenebilir ve kontrol edilebilir ancak asla durdurulamaz. Bunun nedeni, yaygın olarak kullanılan metallerin bazı soy metaller dışında yeryüzünde saf halde bulunmamalarıdır. Metaller genellikle cevherlerde, oksijen, hidrojen ve kükürt içeren kimyasal bileşiklerde bulunur. Bu tarz bir korozyondan korunmanın en temel yolu ise metal yüzeyi ile havanın bağlantısı kesmektir [61].

### 4.5.7 Mikrobiyolojik Film Korozyonu

Mikrobiyolojik olarak etkilenen korozyon terimi, bakterilerin önemli bir rol oynadığı korozyon süreçlerini tanımlar. Algler, bakteriler ve mantarlar dahil olmak üzere, mikroorganizmaların varlığı ve faaliyetleri nedeniyle, yani insan gözüyle tek tek görülemeyen organizmaların sebep olduğu bir korozyon biçimidir. Bu korozyon, mikroorganizmaların büyümesini destekleyebilecek ortamlarda meydana gelir. Bununla birlikte, bakteriler doğrudan metale saldırmazlar. Çoğu Mikrobiyolojik korozyon vakasında, bakteri üremesiyle ilişkili metabolik yan ürünler genellikle asidik bileşikler olduğu için alttaki metale saldırır veya reaksiyona girerler. Algler ve diğer fotosentetik bakteriler, su içeriğinde birikebilen oksijeni üretmek için ışığı kullanır. Geceleri ise algler solunum yaparak oksijeni $CO_2$'ye dönüştürür. Lokalize solunum-fotosentez, farklı havalandırma hücrelerine ve lokalize anotlara ve katotlara yol açabilir. Diğer bir tür ise elementel kükürt veya tiyosülfatın ($S_2O_3^{-2}$) indirgenmesi, nötr pH değerlerinde kararlı olan hidrojen sülfit iyonunun ($HS^-$) üretimi ile sonuçlanır. Daha asidik pH değerlerinde, $HS^-$ hidrojen sülfüre ($H_2S$) dönüşür. Sülfür ($S^{2-}$) sadece çok bazik

(pH >12) koşullarda oluşur. Bu türe ise Sülfür indirgen bakteriler veya SRB olarak tanımlanır [62].

### 4.5.8 Kavitasyon

Kavitasyon, çoğunlukla pompa kanatlarında, valflerde ve motorların su tarafında bulunan erozyon korozyonun özel bir şeklidir. Bu korozyon, hızlı, yerel metal kaybı üretmek için yeterli kuvvetle metal yüzeyinde veya yakınında buhar kabarcıklarının ani oluşumu ve patlamasından kaynaklanır. Bu durum, sıvı hızlı ve yüksek basınç değişikliklerine maruz kaldığında meydana gelebilir. Pompa çarkı gibi bariz durumların yanı sıra, kararsız sıvı akışı veya hızlı basınç değişikliklerinin meydana geldiği her yerde kavitasyon meydana gelebilir. Diğer hassas yerler arasında metal yüzeylerdeki keskin süreksizlikler, akış yönünün değiştiği yerler veya akış geçidinin kesit alanının değiştiği yerler bulunur. Benzer şekilde, metal bir yüzeydeki bir sıvıdaki türbülans nedeniyle boşlukların çökmesinden kaynaklanan lokalize saldırı olarak tanımlanmıştır. Örneğin, bir santrifüj pompalarda bu tür hasarlar metal parçaları fiziksel olarak parçalayabilir veya daha hafif durumlarda normalde bulunması gereken koruyucu oksit tabakaları yerinden çıkarabilir. Koruyucu oksit filmi tekrar tekrar çıkarılır ve yeniden şekillendirilirse bu arada kalan sürelerde metal kaybı meydana gelir, dolayısıyla korozyon sürecinin toplam metal kaybına katkısı olur. Kavitasyon erozyonu metal parçaların arızalanmasına, hatta ciddi kazalara ve büyük ekonomik kayıplara neden olabilir. Aynı zamanda mekanik, kimyasal ve elektro-kimyasal faktörlerin ortak etkileşimini içeren karmaşık bir olgudur [63].

### 4.5.9 Tortu Oluşum Mekanizması

Havuz suyu, kalsiyum, magnezyum ve demir bileşikleri dahil olmak üzere birçok mineral türü içerir. Normalde bu mineraller suda çözülür; yüksek konsantrasyonlarda, çözelti içerisinden çıkarlar ve genellikle tortu olarak adlandırılan sert, yoğun kristallere dönüşürler. Kontrol edilmezse, tortuları oluşacaktır ve gerek boruların, nozzeların tıkanmasına gerekse ısıtma eşanjörlerinde verim kaybına neden olacaktır. Tortu oluşumu ısı değiştiriciler gibi malzemelerin üzerinde olduğu takdirde ciddi ekonomik kayıplara sebep olacaktır. Isı değiştiricilerin et kalınlıkları özel olarak ince yapılmaktadır. Bu sayede iki

akışkanın sıcaklık farkları sayesinde enerji birinden diğerine daha kolay geçebilmektedir. Tortu bu yüzeyleri kapladığı zaman et kalınlıkları artmakta, tortular birer yalıtkan malzeme gibi davranmakta ve dolayısıyla enerji akışı azalmaktadır. Ayrıca bu tortular korozyon kontrol kimyasallarının korozyonu engellemesine bile izin vermeyecektir. Spesifik bazı korozyon mekanizmalarının çalışmasına sebep olacaktır. En çok gerçekleşecek mekanizma ise depozit altı korozyonu olacaktır. Depozitlerin altında mikro ortamlar oluşacağı için genel bir su analizi ile farklılar gösterecektir. Hiçbir problem yok gibi gözükse bile depozitlerin altında korozyon hızla ilerleyecek ve yine ekonomik olarak sorunlara yol açacaktır.

Tortu oluşumu, parçacıkların bir yüzey üzerinde birikmesi, çoğalması ve sonunda tıkanıklıklara neden olması anlamına gelir. Su içindeki kalsiyum karbonat, magnezyum kalsiyum sülfat, baryum sülfat ve stronsiyum sülfat, magnezyum silikat ve çeşitli demir bileşikleri gibi moleküllerin çökelmesine bağlı olarak bu tıkanıklar meydana gelecektir. Çoğu doğal su, nispeten yüksek konsantrasyonlarda kalsiyum, magnezyum ve bikarbonat iyonları içerir. Sebebi ise bu atomlar yer kürede çokça bulunmaktadır. Su yer yüzüne indiğinden itibaren hepsini çözmeye başlayacak ve bünyesine alacaktır.

1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asit metal iyonları ile kompleks oluşturarak kristal modifikasyonu ile tortu oluşumunu engellerken kullanacağımız organik molekül bundan tamamen farklı olarak eşik değer inhibisyonu ve dispersyon yöntemi ile tortu oluşumuna engel olacaktır. Kısaca bunlardan bahsetmek gerekirse;

- Kristal modifikasyonu: Kristal şekillerini bozabilme özelliğidir, bu da yumuşak ve yapışma dayanımı az tortu oluşumuna yol açar. Tortu kristalleri amorf yapıda olup mekanik yöntemlerle dahil bulundukları yerden hareket edebilmelerine olanak sağlanır.
- Eşik değer inhibisyonu: Çözünür durumda olan spesifik olarak seçilmiş tuzların aşırı doymuş çözeltilerini su içerisinde hiçbir şekilde çökmeden sirkülasyonda tutma yeteneğidir.

- Dispersiyon: Kristallerin veya kolloidal partiküllerin üzerine adsorbe olma ve kristalleri ayrı tutma eğiliminde olma durumudur. Anyonik veya katyonik yük veren uzun zincirli yapılar kullanılabilir. Anyonik bir molekül seçilecek olursa amaç katyonun yükünü değiştirerek bileşik yapmasını engellemektir.

## 4.6 Korozyon Ve Tortu Mekanizmalarını Etkileyen Faktörler

### 4.6.1 Sıcaklık

Sıcaklıktaki her artış, çoğu kimyasal reaksiyonun hızını arttırır. Bu nedenle, sıcaklıkta yaşanan bir artış, katodik reaksiyonu daha hızlı ilerlemesine sebep olduğu için korozyon hızını arttırır. Oksijen difüzyon hızı da artan sıcaklıkla iyileştirilir Açık devridaim sistemlerinde yumuşak çelik üzerindeki oksijen korozyonu genellikle yaklaşık 180°F'de (80°C) zirve yapar ve daha sonra azalır, çünkü azalan oksijen çözünürlüğü, artan sıcaklığın neden olduğu artan reaksiyon kinetik hızlarını dengeler [64].

### 4.6.2 Akış Hızı

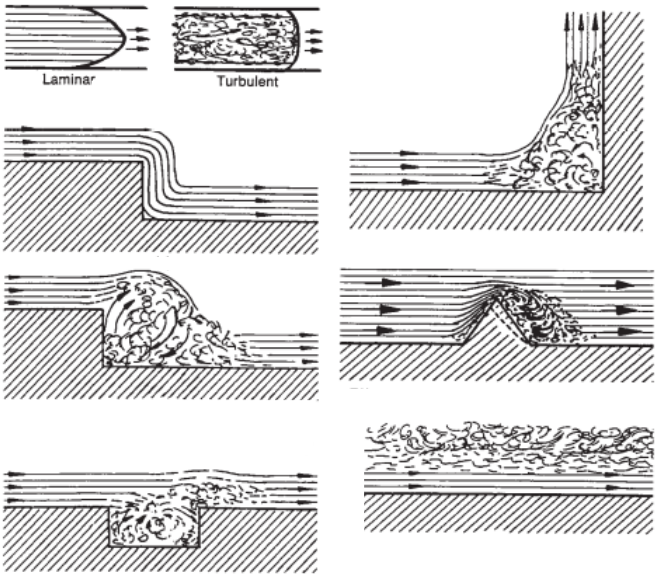
Genel olarak, su hızındaki bir artışla korozyon hızındaki artış doğru orantılıdır. Bununla birlikte, akış değiştikçe korozyon hızlarında başka birçok faktör de rol oynayabilir. Yüksek ve düşük akış hızlarının korozyon mekanizmaları üzerine olumlu ve olumsuz etkileri olabilir. Olumsuz etkilerden bazıları şunlardır:

- Çok yüksek su hızlarında erozyon korozyonu meydana gelmektedir.
- Düşük akış veya durgun koşullar, askıda kalmış malzemenin boruların alt taraflarına ve diğer bileşenlerin alt yüzeylerine yerleşmesine izin vererek depozit altı korozyonu teşvik edecektir.
- Yüksek akış hızlarında, sistemin kaldırabileceğinden daha fazla suyu itmeye çalışarak pompanızın motorunu aşırı yüklemiş olursunuz ve ayrıca boru sistemine zarar verme riskiniz ortaya çıkacaktır.

### 4.6.3 Fiziksel Faktörler

Sistemlerdeki fiziksel faktörler, artan lokal olarak bulunan korozyona neden olur. Zayıfça birleştirilmiş yüzeyler örnek olarak kaynak bağlantıları tarafından oluşturulan yarıklar korozyona yol açabilir. Durağan veya düşük akışlı alanlar, bu alanlarda bulunabilecek birikinti, düşük oksijen konsantrasyonları veya

mikrobiyal büyüme nedeniyle korozyon sorunlarının oluşmasına enden olabilen bir etkendir. Paslanmaz çelik gibi bazı metaller, oksijen konsantrasyonu çok düşükse korozyona karşı daha hassastır. Şekil 4.8'de gösterildiği gibi mekansal uyumsuzluklar, erozyon korozyonu gibi sorunları da teşvik edebilir.




**Şekil 4.8** Borularda akış

### 4.6.4 Çözünmüş Gazlar

$CO_2$ ve $O_2$, çoğu sistemde endişe duyulan başlıca gazlardır. Su içerisinde bulunan $CO_2$ içeriğinin arttırılması pH'ı düşürecektir ve korozyonu artırır. Oksijen tek başına korozyona ikili bir role sahiptir. Olumlu tarafı, paslanmaz çelik gibi malzemeler korozyona dirençli olabilmek için oksijene ihtiyaç duyarlar, olumsuz tarafı ise oksijen çoğu metalik malzemede korozyonun en büyük sebeplerinden biridir. Oksijen metalden elektronları ayırarak katodik reaksiyona sebep olacaktır. Hidrojen sülfür ($H_2S$)ve amonyağa ($NH_3$); oksijen ($O_2$) ve karbon dioksitten ($CO_2$) daha az sıklıkla karşılaşılmaktadır. Ancak her ikisi de hem demir hem de bakır malzemelerin korozyonu üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Hidrojen sülfürler her zaman anodik alanı depolarize etme eğiliminde bulunan bisülfid ve sülfür iyonlarına iyonize olurlar. Amonyak, normalde koruyucu bakır oksit veya bakır karbonat yüzey filmlerinde bakır ile çözünür kompleksler oluşturarak bakır ve bakır alaşımlarının korozyon hızını arttırır. Bu iki molekülde kaynak suyundan havuza gelebilmektedir. [65]

### 4.6.5 Klor Ve Diğer Halojenler

Klor gibi diğer oksitleyici ajanlar metal yüzeylerdeki pasifleştirici filmlere müdahale edebilir. Bu durum paslanmaz çelik gibi metaller için korozyon hızlarını dramatik olarak arttıracaktır. . Bazı durumlarda, klor gibi halojenler, bakır ve bakır alaşımları üzerindeki triazol bazlı filmlerle reaksiyona girebilir ve filmi soyarak korozyon oranlarını yükseltebilir. Ozon, bakır alaşımlarına karşı çok agresiftir.

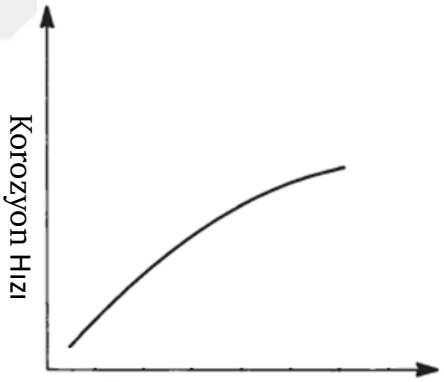
### 4.6.6 Birikintiler

Her tür birikinti potansiyel olarak, oksijen veya iyon konsantrasyon hücrelerinin oluşumundan tortu altı korozyona neden olabilir. Tortular, sülfat indirgeyen bakterilerin büyümesi için anaerobik ortamlar oluşturarak, tortulaşma sorununu artırabilen veya korozyonu doğrudan etkileyebilen bakterileri barındırabilir.

## 4.7 Havuzlarda Kullanılan Malzemelerin Üzerinde Birikinti Ve Korozyon

Su kimyasının korozyon üzerinde güçlü ve değişken bir etkisi vardır. Kimyasal olarak korozyon bir oksidasyon/redüksiyon (redoks) reaksiyonudur. Sadece çözeltide çözünen metal değildir, elektron transferini, korozyon ürünlerinin reaksiyonunu ve iyonların hareketini içerir. Elektron kaybı oksidasyondur, anotta meydana gelir. Elektronların kazanımı indirgemedir katotta gerçekleşir, oksijen indirgeme bölgesidir. Çözeltideki katyonlar katoda doğru hareket eder (katotta meydana gelen anyon üretiminden kaynaklanan negatif yük nedeniyle). Pozitif metal iyonlarının üretiminden kaynaklanan yük sebebiyle anyonlar anoda göç eder. Bu reaksiyonların her birine yarım hücre reaksiyonu denir. İki reaksiyon aynı hızda çalışmalıdır, aksi takdirde süreç gerçekleşemez. Yükseltgenme/indirgeme reaksiyonları, türler arasında elektron transferini içerir ve elektrokimyasal bir işlemdir. Bu reaksiyonların itici gücü, reaksiyonlar arasındaki elektriksel potansiyel farkıdır. Bir alanın neden anodik hale geldiğini açıklamaya yardımcı olur ve farklı hücrelerin neden korozyon sürecini hızlandırdığını açıklamaya yardımcı olur. Bunun nedeni sadece oksijenin hücrenin dışında bulunması değil, aynı zamanda farklı konsantrasyonların elektrik potansiyelinde bir fark oluşturmasıdır. Anot ve katot arasında bulunan potansiyel farkı, korozyon

reaksiyonunu yönlendirir. Örnek olarak nitrik asit gibi oksitleyici asitler paslanmaz çeliği pasifleştirecektir, ancak karbon çeliğe ciddi derecede zarar verir. Altın gibi metaller, çoğu asidin aşındırıcı etkisine karşı zarar görmez. Alüminyum ve çinko gibi amfoterik metaller hem asit hem de baz ile reaksiyona girer. Kkorozyon hızı pH'a göre her iki uçta da yüksektir. Bakır gibi bazı metaller asitte çözünür, ancak bazda çözünmez (çözeltide çözünmüş amonyak içerdiği durumlar hariç). Metalin çözünürlüğünü artıracak şeyler korozyonu da artıracaktır. Şelantlama (EDTA) özelliği olan kimyasallar metal iyonunun çözünürlüğünü artırarak birçok metalde korozyonu artırabilir. Düşük pH'da sudaki $H^+$ artışı, katotta hidrojen iyonları azaldığından katodik reaksiyonun hızını artırmaktadır. Anodik reaksiyonun bir sonucu olarak çözünen metal iyonlarının çoğu asidik koşullarda daha fazla çözünür. Havuzlarda karbon çelikten paslanmaz çeliğe, bakırdan plastiğe birçok farklı tipte malzeme kullanılmaktadır. Hepsinin korozyona karşı gösterdiği davranış farklı olsa da malzemelerin ömrünü bitiren yegane olayda budur. Şekil 4.9'da çözünmüş katı konsatrasyonan karşı korozyon hızı incelenmiştir.




**Şekil 4.9** Çözünmüş katıların korozyon hızına etkisi

### 4.7.1 Karbon Çelik

En ekonomik malzemelerden biri olması sebebiyle borulamalarda ve birçok yapı malzemesinde en çok karşılaştığımız malzemedir. Sudaki çözünmüş oksijenden ve çözünmüş iyonlar nedeniyle suyun aşındırıcılığından etkilemesi sebebiyle çok çeşitli korozyon mekanizmalarına maruz kalır. Karbon çeliğin korozyonu pH'a duyarlıdır. Düşük pH'da korozyona uğrayacaktır. Yüksek pH koşulları altında,

karbon çeliği korozyonu yüksek sıcaklıkta ve yüksek alkali tuz konsantrasyonunda önemli olacaktır. Diğer bütün kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi, korozyon hızı da sıcaklıkla birlikte artar. Bu oluşan korozyon ürünleri genellikle demir oksitlerden oluşan kahverengi veya turuncu pastır. .Demir oksit tortuları, suda çözünen demirden de kaynaklanır. Bu da zararlı tortular oluşturur. Karbon çelikten yapılan ısı değiştiriciler ve ekipmanlar, iyi bir sistem kontrolü gerektirir. Korozyonu en aza indirmek için doğru kimyasalların, doğru konsantrasyonlar altında, çelik yüzeyinde yoğun bir pasif film oluşturması sağlanmalıdır, bu da korozyonu kabul edilebilir seviyelerde tutacaktır. 3 mpy'den (75 μm/y) daha az metalin et kalınlığında kayıp olması yeterli korumanın sağlandığını ifade eder.

### 4.7.2 Bakır Alaşımlı Malzemeler

Bakır ve bakır alaşımları havuzlarda karşılaşılabilen başka bir metaldir. Bakır alaşımları genellikle ısı iletkenliğine daha fazla ihtiyaç duyulduğunda kullanılırlar. Bu alaşımlar genellikle sudaki oksijene, çelikten daha dayanıklıdır. Bakır korozyonunun oksidasyon ürünü olarak oluşan bakır iyonları ($Cu^{+2}$), demir korozyonundan kaynaklanan demir iyonlarından ($Fe^{+2}$) çok daha fazla çözünürlüğe sahiptir. Bakır ayrıca, bina ısıtmaları ve soğutma sistemlerindeki serpantinlerinde ve çelik fabrikalarında sürekli döküm sistemlerininde bulunan kalıplarında bulunabilir. Bakır alaşımlarında genellikle lokal korozyon ve yüzeyde diğer malzemelerin birikmesi sonucu tortu altı korozyonları gözlemlenmektedir. Gerekli kontroller yapılması durumunda, 0,2 mpy'den (5 μm/y) daha düşük korozyon seviyerleri kabul edilebilir olarak değerlendirilir [66].

### 4.7.3 Paslanmaz Çelik

Paslanmaz çelik alaşımını oluşturmak için gereken %11 veya daha fazla krom eklenerek çelik "paslanmaz" veya yüksek derecede korozyona dayanıklı malzeme hale getirilir. Birçok paslanmaz çelik sınıfı mevcuttur. En yaygın olan paslanmaz çelikler 304 ve 316'dır. 304 kalite %18-20 krom ve %8-10 nikel içerir, bu nedenle genellikle 18/8 paslanmaz çelik olarak adlandırılır. 316 kalite %16-18 krom, %10-14 nikel ve %2-3 molibden içermektedir. Oksijenin ortamda varlığında, yüzeyde daha fazla korozyonu önleyen yoğun bir krom oksit filmi oluşur. Paslanmaz çelik korozyona karşı çok dayanıklıdır. Fakat su içerisinde klorür içeriği arttıkça depozit

altı korozyonu ve çatlamaya karşı hassastır. Klorür içeren sularda paslanmaz çelikleri etkileyen özel bir çatlama korozyonu şekillendirir [67].

### 4.7.4 Galvanik Metaller

Galvanizli çelik genellikle çelik yüzeyinde bir çinko metal kaplama içermesidir. Bu yapılan kaplama, çeliğin erimiş olan çinkoya daldırılması ile veya elektrokaplama yapılarak üretilebilir. Galvanizli metal panellerde, borularda veya conta gibi küçük parçalarda bulunabilir. Çinko tabaka hem koruyucu bir kaplama olarak hem de anot olarak işlev görecektir. Çinko, altındaki çeliği korumak için korozyona uğrayacak, metal malzeme sağlam kalmaya devam edecektir. Bu durumda Çinko aşındıktan ve yüzeyde korumasız alanlar açığa çıkıncaya kadar devam edecektir. Çinko amfoteriktir, yani yüksek ve düşük pH'da korozyona uğramaya meyillidir. Çinko yüzeyden aşındıkça, genellikle beyaz renkli, fiziksel olarak gözenekli ve gevrek olan ve “beyaz pas” olarak adlandırılan çinko oksitleri, hidroksitleri veya karbonatları oluşur. Bu katman koruyucu değildir [68]. Galvanizli malzeme için tehlikenin başladığı anlar;

- pH 6’dan küçükse veya 9’dan büyükse
- pH'ı yaklaşık 8,3'ü aşan soğutma suyuna veya $CaCO_3$ olarak 300 mg/L'den yüksek alkaliliğe maruz kalma
- Sirkülasyon suyunda $CaCO_3$ olarak kalsiyum sertliği $<50$ mg/L
- Seviyelerde sülfat, klorür ve nitrat anyonları $>250$ mg/L

### 4.7.5 Metalik Olmayan Malzemeler

Havuzların duvarlarındaki seramik malzemelerden, dolgularına, plastik veya ahşaptan havuzun yapımında kullanılan betona kadar çeşitli metal olmayan malzemeler kullanılmaktadır. Diğer bir Elektrokimyasal anlamda kesin olarak korozyon reaksiyonları olmasa da, metalik olmayan malzemelerin kimyasal veya biyolojik bozunması bir sorun olabilir. Bazı durumlarda, havuzların çalışma parametrelerinin uygun olmayacak şekilde işlenmesi veya yetersiz kontrolü nedeniyle bozulmalar daha da kötüleşecektir. Aşağıdakiler, metal olmayan malzemelerin havuzlarda bozunma yollarından bazılarına örneklerdir.

- Suyun anlık olarak asit seviyesinin artması, havuzdaki betona veya seramiğe da zarar verebilir. Asitli malzemelerin saldırısı, seramikleri kaldırarak doğrudan havuzun kendisi olan betona zarar verebilir,
- Plastik bileşenler ve kauçuk contalar genellikle çoğu klora karşı dirençlidir, ancak yüksek oksitleyici konsantrasyonlarında problemler ortaya çıkabilir. Contalar ozona karşı özellikle hassas olabilir ve sertleşip bükülmez hale gelerek contanın kaybolmasına neden olabilir. Ozon sıklıkla kullanılmaz, ancak bazı havuzlarda etkili bir biyosit olabilir. Plastik dolgular, havuz savakları ve sıyırıcılar ultraviyole ışıkla bozunabilir.
- Havuzlarda çeşitli kaplama malzemeleri kullanılmaktadır. Bunlar boru sacları ve denge havuzu içerisinde epoksi kaplamalar olabilir. Kaplama eksik veya fiziksel olarak hasar görmüşse, su metale nüfuz ederek bölgesel korozyona neden olabilir. Ortaya çıkan korozyon ürünleri, birikintiye veya borularda ve ekipmanlarda doğrudan hasara sebep olabilir
- Birikinti doğrudan havuz içerisindeki nozzları, boruları veya ekipmanları tıkayabilir. Ayrıca ısı değiştiriciler üzerinde oluşan birikinti doğrudan enerji verimliliğini ve ekipman çalışma ömrünü azaltacaktır.

## 4.8 Literatürdeki İnhibitörlerin Karşılaştırılması

Literatürde bulunan bir araştırmaya göre 1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asit, Aminotris Metilfosfonik asit, poliakrilat (PA), akrilik asit ve alilsülfonik asit kopolimeri (PAC) $CaCO_3$ inhibisyonu için karşılaştırılması yapılmıştır. Yöntem olarak kalsiyum karbonat içeren sistem, daha önce 25 °C'de termostatlanmış kalsiyum klorür ve sodyum karbonat çözeltilerinin stokiyometrik oranında eklenerek elde edilmiştir. Sistem 30 saniye karıştırıldı, bu da reaktiflerin çözelti içinde üniform dağılımını sağladı ve çökelti oluşum hızını arttırmıştır. $CaCO_3$ konsantrasyonu 250 ppm, çözeltinin pH'ı 10.2 olarak ayarlanmıştır. İnhibitörlerin konsantrasyonu 4 ppm'dir. İnhibitörlerin kalsiyum karbonatın çökelmesini önleme etkinliği, iki açık laboratuvar tekniği kullanılarak belirlenmiştir. İnhibitörlerinin etkinliğinin belirlenmesi, fosfor içeren inhibitörler HEDP ve ATMP'nin seçilen koşullarda kalsiyum karbonatın çökelmesini tamamen bastırdığını göstermiştir. Polimerik antiskalantlar PA ve PAS daha az etkili olmuştur. Araştırmaya göre

kalsiyum karbonatın çökelmesini önlemek için farklı türde tortu önleyiciler karşılaştırılmıştır. 4 ppm'lik bir konsantrasyonda antiskalantların bir takım etkinlikleri HEDP> ATMP> PAS> PA olarak değerlendirilmiştir.

## 4.9 Ozon ve Klor Karşılaştırması

Ozonun insanlar ve dünya için sayısız faydaları (Ozon tabakası güneşten dünyaya gelen zararlı UV ışınlarını engeller, stratosferde dünya yüzeyinin yaklaşık 15-40 kilometre üzerinde yer alır.) onu modern ve çevreci bir su dezenfeksiyon çözümü haline getirmektedir. COVID-19 sonrası dönemde, özellikle kapalı alanlarda yüzeyleri temizlemek için ozon kullanımı çok ciddi seviyelerde artmıştır. Özellikle modern işletmelerde, sürdürülebilirlik açısından ozon kullanımının klora karşı tercih edildiği ortadadır.

Yiyecek ve içecek endüstrisinde çalışan hemen hemen herkes, ticari mutfakların ve su hatlarının temizlenmesinin önemini ve dezenfeksiyonunun, bakteriyel enfeksiyonlardan korumanın ne kadar için kritik olduğunu bilir. Klor, yüzeyleri dezenfekte etmek ve içme su hatlarını temizlemek için kullanılan en yaygın bir yöntemdir. Oksijen molekülü ile yakından ilgili olan ozon, dünyamızda doğal olarak oluşur. Ozonun moleküler bileşimi onu daha reaktif hale getirir. Ozonun etkili bir dezenfektan olmasının nedeni bu moleküler reaktivitedir. Biyolojik canlılar için bu, anında nötralizasyon anlamına gelir. Safsızlıklar su moleküllerinden bir filtre ile kolayca ayrılabilirler. Ozon molekülünden geriye kalanlar ise oksijene parçalanarak, güvenli ve kararlı hale gelir [69].

Klor, uzun yıllardır dezenfeksiyon için geleneksel olarak kullanılan kimyasal bir işlem olmuştur. Herhangi bir kişinin sıvı, toz veya tablet formundaki kloru suya doğru miktarda ekleyerek kolayca halledebileceği basit bir işlem gerektirir. Klor etkilidir çünkü sudaki kimyasal hemen hemen her bakterinin yapısını bozar ve onları nötralize edebilir. Ancak klorlama işlemi yapmak, suyun hacmine ve sirkülasyon debisine bağlı olarak farklı miktarda zaman alabilir [69].

Buna karşılık, ozonlama yapmak bakteri veya virüsleri yok etmede eşit derecede etkilidir. Ozon işi daha kısa zaman içinde yapar. Ozon, yüksek konsantrasyonda ozonlanmış su çözeltisi oluşturarak suda çözünür. 1 ppm ozonlu su, 50 ppm klor çözeltisine eşdeğerdir ve mükemmel oksidasyon performansı sağlar [70].

Bu kadar etkili yöntem olmasına rağmen ozonun kullanımını zorlaştıran sebepler bulunmaktadır. Klor plastik bidonlarda transfer edilebilirken, ozonun depolanması oldukça zordur. Ozon çok fazla miktarda taşınması güvenlik sebeplerinden dolayı pek mümkün olmamaktadır. Bu durumda ozonun bir tesiste uygulanabilmesi için yerinde üretilmesi gerektiği anlamına gelir. Oksijenin elektrolitik ozon üretimi olarak bilinen elektrik yüklerine maruz bırakarak yapılabilir. Bir havuza basit bir klor tabletin atılmasıyla karşılaştırıldığında, ozonlama işleminin çok daha yüksek maliyette olduğu ortadadır.

Maliyet dezavantajının yanında ozon bir artı ile getirmektedir. Klor yüksek pH'lı su ortamında düşük etkinlik gösterirken, ozonlama, suyun pH seviyesini değiştirmeden pH spektrumu boyunca eşit derecede etkilidir. Her ne kadar sülfürik asitin fiyatı çok düşük olsa da, kullanım sırasındaki riskleri düşünüldüğünde pH ayarlama gerekliliği olmaması ozon için önemli bir artıdır. Ozonun oksidasyon ve dezenfeksiyon kabiliyeti üstün özellikler gösteriyor olsa da, gerekli ekipmanı satın alıp kurmanın klor kadar uygun maliyetli olmadığı unutulmamalıdır. Gelecekte yaşanacak teknolojik gelişmeler ile ozon jeneratörlerinin orta ve uzun vadede çok daha uygun maliyetlere gelmesi beklenmektedir.

# 5
# MATERYAL VE METOT

## 5.1 Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar

Wisd MS-MP8 çoklu manyetik karıştırıcı, WTW Profiline pH/Cond 3320 Set 2 Portatif pH, İletkenlik Ölçer Sentix 41 / Tetracon 325, Lovibond jar test, Velp tekli ısıtıcılı manyetik karıştırıcı (Şekil 5.1), Katı madde analiz cihazı, manyetik balık, HACH DR900 spektrofotometre, WSA-224 analitik terazi, karbon çelik kuponları, büret, beher, numune kabı kullanılmıştır.



**Şekil 5.1** Manyetik karıştırıcı

## 5.2 Kullanılan Kimyasallar

Analizler için EDTA, $H_2SO_4$, KOH, buffer tablet, %56 ve %65 klor, Poliakrilik Asit (PAA), Poliakrilik Asit Sodyum Tuzu (PAAS), Akrilik Asit / Akrilamido-Metil-Propan Sülfonat (AA/AMPS), Poliepoksisüksinik Asit Sodyum Tuzu (PESA), Poliaspartik Asit Sodyum Tuzu (PASP), Hidrolize Polimaleik Anhidrit (HPMA), 1-Hidroksietiliden-1,1-Disfosfonik asit (HEDP) kullanılmıştır.

## 5.3 Statik Jar Test Yöntemi

Havuz suyunda çoğu sertlik ve korozyona karşı herhangi bir stabilizör kullanımı oldukça sınırlıdır. Bunun sebebi gerek maliyeti azaltmak gerekse korozyonun ve sertliğin sebep olabileceği zararlardan habersiz olmaktadır. Bu kullanımı sınırlı olan stabilizörün tek kullanıldığı örnek 1-Hidroksietiliden-1,1-Disfosfonik asittir. Düşük kalsiyum sertliklerinde fazlasıyla efektif olan bu kimyasal sertlik değerleri arttıkça efektivitesi düşmektedir. Bütün bunların yanında fosfor yapısı içermesi ötrofikasyona sebebiyet vermektedir. Gelecekte yaşanacak fosfor deşarj regülasyonlarının sıkılaştırılması ile kullanımı pekte mümkün olmayacaktır. Ayrıca tarım alanında kullanılabilecek fosforun havuzlara verilip çok hızlı bir şekilde çöp olması da ayrı bir problemdir. Bu sebepten öncelikle havuzlarımızdan başlamak üzere fosforsuz koruma yöntemleri bulunabilmesi açısından 1-Hidroksietiliden-1,1-Disfosfonik asidinin fosfor içermeyen diğer kimyasallara göre karşılaştırılması yapılmalı ve en efektif yönteme karar verilmelidir. Statik jar test yöntemi sertliğin ne kadarının kontrol altına alındığını tespit etmek için en ideal yöntem iken korozyon tarafına bakabilmek için korozyon kuponu kullanımı gerekmektedir. Statik jar test yöntemi için gerekli malzemeler;

- Test edilecek aynı karakteristikte su numuneleri
- Test edilecek kimyasallar
- 10 g/litre $Na_2CO_3$ sulu çözelti
- 250 ml beher
- Manyetik karıştırıcı
- %1 HCl çözeltisi
- 0,1M EDTA çözelti
- Titrasyon için büret
- %5 KOH çözeltisi
- Mikropipet
- Jar Test (Şekil 5.2)




**Şekil 5.2** Jar Test

$CaCO_3$ konsantrasyonu ve pH istenildiği gibi ayarlanır. Amaç su için en uygun konsantrasyonun belirlenmesi dolayısıyla en ekonomik değerlerin bulunmasıdır. Kimyasalın over doz olduğu noktaya kadar dozaja devam edilir. Bu nokta iki şeklide tespit edilebilir. İlk olarak kimyasal artık daha fazla etki göstermiyordur. İkinci olarak kimyasal daha fazla dozaja rağmen efektivitesini kaybediyordur. İnhibisyon derecesinin aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\%\ inhibisyon = \frac{\mathrm{m}Ca_0 - \mathrm{m}Ca_1}{\mathrm{m}Ca_0} x100 \qquad (5.1)$$

[$Ca_0$] Numune içinde bulunan toplam kalsiyum karbonat,

[$Ca_1$] Numune içerisinde kimyasal işlem yapıldıktan sonra yüzeylerde kalan kalsiyum karbonat

[m] Miktar ppm,

Yöntem, kalsiyum karbonatın kristalleşmesini hızlandırmak için yüksek miktarda karbonat içeren bir su kullanılarak çökme hızının arttırılması buna karşın kimyasalın bu çökmeyi hangi yüzde ile ihibe edebileceğinin ölçülmesine dayanır. Önemli olan, başka bir konu ise sonuçların analitik olarak ifade edilebilmesi, gerekli tekrarlanabilirliğe sahip olması dolayısıyla kimyasal seçimi yapabilmek ve ayrıca dozaj hakkında bir ipucu elde etmek için güçlü bir yöntemdir. Daha iyi sonuçlar elde etmek için tüm testlerin aynı su numunesinden yapılması ve aynı

zamanda aynı çalkalama ve aynı yerde dinlendirilmesi çok önemlidir. Hata yapılmasına karşın, en iyisi, aynı denemenin bir kaç kez tekrarlanması ve sonuçlar tutarlı ise uygunluğu kabul edilmelidir.

1. Beherin yüzeylerine yapışan kalsiyum karbonat olmamasından emin olmak için beherleri %1 HCl solüsyonu ile temizlenmelidir.
2. Beherlerde kalan HCl'den kurtulmak için suyla dikkatlice durulanır.
3. Her bir behere 150 ml denemesi yapılacak su koyulur.
4. Kimyasallar suya dozajlanır. 1 ppm doğrudan dozaj için çok küçük bir miktar olacağından numuneyi doğru ölçebilmek için seyreltilmesi daha doğru olacaktır.
5. 20 ml $Na_2CO_3$ çözeltisi hazırlanır. Denemede eş zamanlı dozaj yapılabilmesi için küçük beherlere alınır.
6. Karıştırıcı açılır ve denemesi yapılacak su ve eklenen kimyasal yaklaşık 1 dakika karıştırılır.
7. $Na_2CO_3$ tüm beherlere aynı zamanda eklenir.
8. Çözeltiyi su üzerine ekledikten sonra 2 dakika karıştırmaya devam edilir.
9. Karıştırıcı kapatılır testler 4 saat dinlenmeye alınır.
10. 4 saat sonrasına beherler boşaltılır. Boş kalan beherlerin yüzeylerindeki $CaCO_3$ çökeltisi gözlemlenir.
11. Her behere 150 ml %1 HCl eklenir. Amaç beherin duvarlarında çökmüş olan $CaCO_3$ moleküllerinin tekrar çözünür hale gelmesini sağlamaktır
12. Çözeltiyi KOH çözeltisi pH = 10,5 olacak şekilde nötralize edilir.
13. EDTA ile sertlik tayini yapılır.
14. Bütün denemeler 5'er kez tekrar edilecek ve sonuçların ortalaması yazılacaktır. Böylelikle hem tekrarlanabilirlik kontrol edilmiş olacak hem de yapılabilecek küçük hataların yanlış sonuçlar vermesi engellenmiş olacaktır.

## 5.4 Korozyon Kuponları

Korozyon kuponları, soğutma kulesi gibi sistemi için meydana gelen korozyon oranlarının bir tahminini veren basit bir araçtır. Bu korozyon kuponları ayrıca, gözlemlenecek sistemde meydana gelen korozyonun şeklinin görsel bir ifadesini de sunar. Su sistemlerinde zamanla oluşan korozyonu tespit etmek için korozyon

kuponları kullanılır. İlk olarak sisteme yerleştirilmeden tartılırlar. Sisteme suyun akış yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde Korozyon kuponları yerleştirilirken kullanılan teknik, sonucu büyük ölçüde etkileyecektir. Belirlenen süre geçtikten sonra sistemden çıkarılır kurulanır ve son tartım alınır. Zaman içinde korozyon kuponlarında meydana gelen değişiklikler korozyonu tanımlayabilmenin etkili bir yollarından biridir. Bir kimyasal programının etkili bir şekilde çalıştığından emin olmak için önemli göstergelerden biridir. Sadece sistemde akışın olduğu bir yere yerleştirmek yeterli olduğu için kullanımları nispeten kolaydır.

Korozyon hızının mil/yıl olarak hesabı için kullanılan kullanılan formül;

$$Mpy = \frac{22{,}3\ x\ \mathrm{W}\ x\ 1000}{A\ x\ D\ x\ T} \tag{5.2}$$

W: Ağırlık farkı g

A: Kuponun yüzey alanı $in^2$

D: Yoğunluk karbon çelik için 7,85 $g/cm^3$

T: Sistemde bulunduğu gün sayısı

# 6
# ARAŞTIRMA BULGULARI

Yüzme havuzu suyun da kullanılan en yaygın kimyasal klordur. Dezenfekte edici etki ile sadece bakteri ve algleri yok etmekle kalmaz, aynı zamanda organikler ve kloraminler gibi diğer malzemeleri oksitler. Regülasyonlar gereği klorun kullanılarak havuz suyuna enjekte edilmesini gerektirir. Suya klor eklendiğinde, Hipokloröz asit adı verilen zayıf bir asit üretilir. Suya oksitlenme ve dezenfekte etme özelliğini veren klor değil bu asittir. Uygun klorlama ve filtreleme, havuz suyuna berrak bir görünüm kazandırır. Klor katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilir. Her türün gücü, malzeme içindeki hem dezenfektan hem de oksitleyici olarak etkili olan klor miktarına göre belirlenir. Klorlar çeşitlerine göre;

- Sıvı klor (sodyum hipoklorit) %12-16 kullanılabilir klor içerir. (Buna karşın, ev tipi çamaşır suyu genellikle yaklaşık %5 klor içerir.)
- Katı klor (toz, granül veya tablet) Kalsiyum Hipoklorit - %65-75 kullanılabilir klor. Klorlu İzosiyanüratlar yaklaşık %55. C. Lityum Hipoklorit - %30-35 mevcut klor.
- Gaz Klor, %100 kullanılabilir klor içerir. Bu madde oldukça zehirlidir ve bu nedenle kullanıldığında özel prosedürler gerektirir.

## 6.1 Klor İhtiyacı ve Serbest Klor Artıklığı

Klor, ticari olarak sıvı ve katı formlarda mevcuttur ve suda dezenfektan olarak kullanımı yaygındır. Hipokloritler, klor dioksit ve organik klor gibi klor bileşikleri değişen derecelerde kullanışlılığa sahiptir. Önemli klor uygulamalarından bazıları biyodezenfeksiyon, tat, renk ve koku kontrolü, amonyak ve diğer azotlu organiklerin uzaklaştırılması, hidrojen sülfür oksidasyonu, demir ve manganez giderimidir. Klor suda çözüldüğünde ana oksitleyici madde hipokloröz asittir. Havuz suyuna klor verildiğinden, dezenfeksiyon ve oksidasyon süreçlerinde daima bir kısım tüketilir. Tüketilen mevcut klorun bu kısmına klor ihtiyacı denir. Klor talebi karşılandıktan sonra kalan hipokloröz asit, serbest klor olarak adlandırılır. Havuzu klor için test ettiğimizde okuduğumuz sonuç serbest kloru ifade eder.

Serbest klor kalıntısının her zaman havuz boyunca en az 1,0 ppm olmasını gerektirir [71] .

- Amonyaktan monokloramin oluşumu;

$$HOCl + NH_3 = NH_2Cl + H_2O \quad (6.1)$$

Hipokloröz Asit + Amonyak = Monokloramin + Su

- Monokloraminden kloramin oluşumu;

$$HOCl + NH_2C = NHCl_2 + H_2O \quad (6.2)$$

Hipokloröz Asit + Monokloramin = Dikloramin + Su

- Dikloraminden trikloramin oluşumu

$$HOCl + NHCl_2 = NHCl_3 + H_2O \quad (6.3)$$

Hipokloröz Asit + Dikloramin = Trikloramin + Su

Mevcut serbest klorun bir kısmı, kloraminler oluşturmak için azot içeren bileşiklerle reaksiyona girer. Yaygın bir azot kaynağı ter ve idrardan üretilen amonyaktır. Kloraminler güçlü bir klor kokusu yayar ve gözleri tahriş eder. Kloraminlerin varlığı, birçok insanı suda çok fazla klor olduğu düşüncesine sevk eder; aslında durum tam tersidir. Kloraminleri ortadan kaldırmak için havuza, bağlı klor seviyesinin 8-10 katı kadar şok klor dozajlanmalıdır. Şok klor %65'lik kalsiyum hipoklorittir. Kloraminleri oksitleyerek sadece serbest kloru bırakır. Yüzücü yüküne bağlı olarak, kloramin oluşumunu kontrol etmek için bir havuzun sıcak havalarda haftada bir, aksi takdirde ayda bir kez şok klorlanması önerilir. Dünya üzerindeki bütün toz klorlar neredeyse Çin'de üretilmektedir. Gerek prosesin çok tehlikeli olması gerekse de çevresel şartları sağlamanın çok zor olması sebebiyle üretim alanı çok dardır. Fakat klorun alınırken dikkat edilmesi gereken

kısımları mevcuttur. Aksi takdirde alınacak ürünün aktif maddesi az olacak, ciddi kirlilik barındıracak veya nem kaptığı için aktivite oranları ciddi düşecektir.

### 6.1.1 En İyi Klorun Alınması

3 farklı yöntem ile klorların uygunluk analizi yapılmıştır. İlk analiz olarak klorun aktif maddesine bakılacaktır. Kullanılan Araçlar; titrasyon için dereceli pipet, tartım aleti, karıştırıcıdır. Kullanılan Kimyasallar; %20'lik asetik asit çözeltisi, saf su, KI, nişasta indikatörü, $Na_2S_2O_3$.

Analiz Prosedürü;

- Klor numunesinden 0,1 – 0,2 gr arası tartım alınır.
- Üzerine 20 ml %20'lik asetik asit çözeltisi eklenerek numune çözülür. Gerekirse bir miktar saf su eklenebilir.
- Numune çözüldükten sonra 0,5 gr KI eklenir.
- Son olarak 4 damla nişasta indikatörü eklenip karıştırmaya devam edilir.
- 0,1 N $Na_2S_2O_3$ ile renksiz çözelti elde edilene kadar titre edilir.
- Sarfiyat ml olarak kaydedilir.

Aktif klor yüzdesi % = (Sarfiyat * 0,355) / (numune tartımı)

Teknik özellikleri ve hammadde kapsamı incelenen %56'lık stabilize klor, %65 stabilizörsüz klor isimli ürünler incelenmiş olup aşağıda detaylandırılmıştır. %56'lık stabilize klor ve %65 stabilizörsüz klor genel kalite kontrol parametrelerine tam olarak uyum gösterdiği şahit numuneler üzerinde görülmüştür. %56'lık stabilize klor ve %65-%70 stabilizörsüz şok klor tam anlamı ile performans gösterileceği öngörülmektedir. İlk olarak taahhüt edilen aktif madde oranları (Tablo 6.1) oranlarının varlığı bu kontrol edilmiştir.

**Tablo 6.1** Klor aktif madde analizleri

| | %56 Klor | %65 Stabilizörsüz Klor |
|---|---|---|
| Görünüm | Beyaz Granül | Beyaz Granül |
| % Aktif Madde | 56,2 | 68,7 |

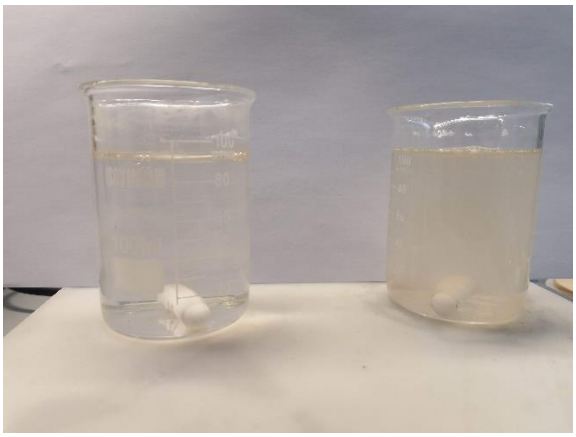
Spektler numune üzerinde kontrol edilmiştir. Bu sonuçlara göre %56'lık stabilize klor ve %65'lık stabilizörsüz klor kullanım için uygundur.

İkinci olarak klorun ne kadar kirlilik bulundurduğu incelenmiştir. Bu incelemenin amacı havuzlarda yoğun miktarda kullanılan klor her eklemede havuzun dibine kirlilik bırakmadır. Kirlilik miktarı arttıkça öncelikli olarak kum filtreleri çalışma yoğunluğu arttığı için ters yıkama sıklığı artacak ve dolayısıyla fazla su kullanımına sebep olacaktır. Ayrıca bu kirlilikler borulardan taşınırken, çizgisel akış hızı ile boruları malzemesi fark etmeksizin jilet gibi çizecek ve ciddi tahribatlara yol açacaktır. Son olarak ise kirlilik havuz içerisinde kaldığı müddetçe yüzücüler için çok çirkin bir görüntü oluşturacaktır. Bütün ürünlerin %1 ve %56'lık stabilize klorların ayrıca %20'lik çözeltileri hazırlanmıştır.

Klor üretildiği prosese göre içerisinde yoğun miktarda kirlilik ihtiva edebilir. Bu durum havuzlar dibinde zamanla (1-2 hafta) yoğun kirlilik görülmesine sebep olacaktır. Hem görüntü kirliliğine hem de daha sık temizlik yapılmasına sebebiyet verecektir. İstenilen ürün dipte minimum kirlilik bırakan, temiz klordur. %1 çözeltide bu kirlilik pek gözükmeyecek olsa da %20 çözeltide kirlilik net olarak gözükecektir. Tablo 6.2 fiziksel olarak klorların incelenmesidir. Şekil 6.1'de ise klordaki kirlilik gösterilmiştir.

**Tablo 6.2** Klor safsızlık analizleri

| | %56 Klor | %65 Stabilizörsüz Klor |
|---|---|---|
| %1 çözelti | Berrak sıvı | Hafif bulanık sıvı |
| %20 çözelti | Hafif sarımsı sıvı ve dipte çok az bir miktar çökelti | Bulanık sıvı ve dipte bir miktar çökelti |



**Şekil 6.1** %20 klor çözeltileri

%56'lık klor numunesi bir miktar kirli olsa da havuzlar için mevcut piyasa şartlarında fazlasıyla uygun durumdadırlar. Kirlilik üretim sırasındaki şartlar sebebiyle oluşmakta ve çoğunlukla demir ve toprak bileşenlerini barındırmaktadır. Sağlık için bir sorun teşkil etmese de havuz içerisindeki kirliliği arttıracak filtrelere ekstra yük getirecek ve aynı zamanda insan gücü ile yapılan temizliğin süresini arttıracaktık. %65'lik stabilizörsüz klor ise fazlasıyla temizdir, neredeyse hiçbir safsızlık bulunmamaktadır. Bulanıklığın sebebi kalsiyumun suda çözünürlüğünün az olması sebebiyledir ve dipteki tortu çözünemeyen klorlardır.

Son olarak klor granülleri birbirine yapışmamalıdır. Ambalajın içerisine hava veya su alıp almadığını kontrol etmenin en kolay yoludur. Klorun topaklanmadan dağılmaları istenir. %56'lık stabilize klor ve %65 stabilizörsüz klor topaklanmadan dağılmıştır. Yapılmasının sebebi paket bir kez açıldıktan sonra klorun degrede olma hızı çok yüksektir. Etkinliğini normalden hızlı kaybedecek bir kimyasal da test sonuçları üzerine hatalar getirmeye sebep olacaktır.

## 6.2 Fosfonatlar

Fosfonatlar (veya fosfonik asitler), fosfor kimyasal sembol (P), karbon (C), oksijen (O) ve hidrojen (H) içerikli büyük moleküllerdir. Çeşitli fosfonatlar doğal olarak ve birçok farklı organizma türünde bulunur. Fosfonatların organizmalardaki metabolik işlevleri arasında hücre sinyali, hücre zarı moleküllerinin metabolizması ve doğal antibiyotiklerin biyolojik sentezi yer alır. Bazı bakteri, maya ve mantarlar fosfonatları parçalayabilir ve bunları besin ve/veya fosfor kaynağı olarak kullanabilir. Genel kimyasal ifadeleri $-CH_2-PO_3H_2$ olarak yazılabilir. Fosfonat

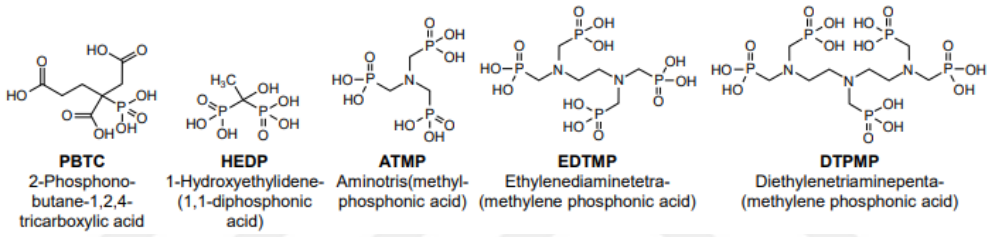
molekülleri benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikler gösterir [72]. Bu özelliklerden bazıları ise şunlardır;

- Suda yüksek çözünürlük
- Çeşitli mineral yüzeylerde güçlü adsorpsiyon
- Metal iyonlarını ayırma yeteneği
- Su sertliği tortularının inhibisyonu veya modifikasyonu
- Korozyona veya oksidasyona karşı direnç
- Asitlik, alkalilik veya düşük/yüksek sıcaklıklar gibi zorlu koşullar altında kararlılık

Doğada bakteriler fosfonatların parçalanmasında önemli bir rol oynar. Çevrede doğal fosfonatların mevcudiyeti nedeniyle, bakteriler besin kaynakları olarak fosfonatları metabolize etme yeteneği geliştirmiştir. Bazı bakteriler büyüme için fosfor kaynağı olarak fosfonatlar kullanılmaktadır. Aminofosfonatlar, bazı bakteriler tarafından tek azot kaynağı olarak da kullanılabilir. Endüstride kullanılan fosfonatlar doğal fosfonatlardan çok daha büyük olmaları, yüksek negatif yük taşımaları ve metallerle kompleks oluşturmaları nedeniyle büyük ölçüde farklıdır. 1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asit kanalizasyon arıtma tesislerinden gelen çamurla yapılan biyolojik bozunma testleri, herhangi bir bozulma belirtisi göstermemektedir. Kimyasal olarak kararlıklarının yüksek olması sebebiyle istenilen yerde bozunma göstermeyip suyun deşarj edildikten sonra veya arıtma çamurunun bırakıldığı yerlerde bozunma gösterebilmektedirler. Bu da uzun vadede ötrofikasyon gibi büyük sorunlara yol açmaktadır. Su şartlandırma sırasında fosfonatların biyolojik bozunması söz konusu değildir, ancak Fe(III)-komplekslerinin varlığında ışıkla bozunması çok hızlıdır. Aminopolifosfonatlar ayrıca Mn(II) mevcudiyetinde hızla oksitlenir ve atık suda kararlı parçalanma ürünleri oluşur. Çevredeki fosfonatlar hakkında bilgi eksikliği, doğal sularda eser konsantrasyonlarda tayinlerinin analitik problemleriyle bağlantılıdır. Fosfonatlar, doğal sularda esas olarak Ca ve Mg-kompleksleri olarak bulunur [73] [74].

En önemli fonksiyonel gruplarında fosfor barındırdıkları içen bazı durumlarda deşarj sırasında problem oluşturmaktadır. En sık rastlanan 2-Fosfonobütan-1,2,4-Trikarboksilik asit (PBTC), 1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asit (HEDP),

Aminotris(Metilfosfonik asit) (ATMP), Etilendiamintetradır. (Metilen Fosfonik asit) (EDTMP) ve Dietilentriaminpenta-(Metilen Fosfonik asit) TSPP ve STPP'dir. Soğutma kulelerinde ve kapalı su çevrimi yapılan sistemlerde ve havuzlarda yaygın olarak kullanılırlar. Gelecekte fosfor deşarj limitleri daha da kısıtlanacağı için bu durum çok daha fazla önem arz edecektir. Fosfonatların çalışma tarzları daha basit yapıdaki akrabaları olan orto fosfatlara benzer olup düzenli $CaCO_3$ kristallerinin arasına girerek amorf yapılar oluşturmaktır. Böylelikle kristaller çökse bile sert bir yapıya sahip olmayacaktır ve fiziksel yollarla sistemden uzaklaştırılabilecektir. Her halükarda işlerini bitirdikten bir süre sonra ise yapı taşlarını kalana kadar doğada parçalanacaklardır. Şekil 6.2 en çok karşılaşılan fosfonat numunelerini ifade etmektedir.




**Şekil 6.2** En çok kullanılan fosfonatlar

1996 Ulusal Su Kalitesi Envanterinden elde edilen veriler, akarsuların yüzde 14'ünün, göllerin yüzde 20'sinin ve haliçlerin yüzde 22'sinin besin açısından bozuk olduğunu tespit etmiştir. Aşırı alg büyümesini kontrol etmek için, USEPA, göllere giren akarsulardaki toplam fosfor için 0,05 mg/L ve akan sular için toplam fosfor için 0,1 mg/L'lik bir önerilen sınır belirlemiştir. Bozulmamış alanlarda akarsulardaki toplam fosfor konsantrasyonları genellikle 0,02 mg/L'den azdır. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan fosfor ihtiva eden maddelerinin nehirlere girişi, ekolojiyi olumsuz yönde etkileyen ve nehirlerin içme suyu temini ve rekreasyonu için kullanımını sınırlayan ötrofikasyona yol açabilir. Fosfor bileşenleri her ne kadar doğal bulunsa da su içerisinde yaklaşık olarak 1-10 $\mu$g/l kadardır [75] [76].

Yakın gelecekten itibaren soğutma kuleleri dahil birçok endüstriyel su tesisleri, mekanizmaları ve hatları hiçbir fosfor ürünü kullanılmaksızın şartlandırılacaktır. Hali hazırda bazı firmalar şartlandırma yapılmasını isterken hiçbir fosfor, fosfat

veya fosfonat olmaksızın uygulamaların yapılmasını istemektedir. Soğutma suları nispeten temiz sular oldukları için doğrudan doğaya deşarj edilebilirler. Fakat içeriğine fosfor, çinko, krom, molibdat, nitrit gibi koruma kimyasalları eklenirse artık deşarj limitleri geçişmiş olacak ve ek arıtma yapılması doğal olarak ek maliyetlerin açığa çıkmasına sebep olacaktır. Havuz suları da bazı durumlarda doğrudan deşarj edilebildiği için bütün deşarj limit yükümlülüklerini yerine getirmeleri gerekecektir.

## 6.3 Organik İnhibe Edici Moleküller

Disperse edici moleküller olarak da adlandırılan dağıtıcı maddeler, irili ufaklı birçok malzemeyi ayırmaya yarayan yüzey aktif maddeler veya çözücü bileşikleri içeren kimyasallardır. Çökmeyi veya topaklanmayı önlemek için ilave edilen aktif bir maddedir. Disperse edici moleküller ilk olarak petrol ve ağır dizel yağlarda kullanılmışlardır. Ayrıca motor yağlarında, hava araçlarının yakıtlarında, birçok dişli yağında ve beton gibi malzemelerde kullanılırlar. Disperse edici olan bu moleküller ayrıca yumuşatıcılar, plastikltifiyanlar veya süper plastikleştiriciler olarak da bilinebilmektedirler. Otomobil motorlarında kullanılan yağlama yağlarına, silindir duvarlarında birikintilerin oluşmasını engellemek için ve yanma odasında, pistonların üzerinde tortu oluşumunu önlemek için dispersiyon ajanları eklenmesi gibidir. Bunlarla birlikte disperse edici moleküller, motor parçalarını temiz tutmak için motor yağlarında bulunan temel katkı maddeleridir. Hem sulu hem de susuz ortamlarda yüksek performans gösterirler. Başka bir örnek verecek olursak su kullanımını azaltmak için ve sabit çökme özelliğini korumak için beton karışımlarına bu kimyasallar da kullanılabilir. Bu durum betonu daha da güçlü ve su geçirmesine karşı daha dayanıklı hale getirecektir. Disperse edici moleküller fosfonatların aksine $CaCO_3$ moleküllerinin çökmesine müsaade etmeyecektir.

Eğer bu özel polimer zincirlerini havuzlarda kullanmak istiyorsak bazı özellikleri içlerinde aramamız gerekmektedir. Bunlardan en önemlisi ise klor dayanımıdır. Kullanacağımız ortam yüksek miktarda aktif klor ihtiva edeceği için çalışma şartlarının uyum sağlaması gerekecektir. Aksi takdirde zincir yapılar bozulacak ve görevlerini yerine getiremeyecektir. Bu bağlamda yapılan araştırmalar ve

denemeler sonucunda çalışmamızda kullanabileceğimiz dispersant özelliği gösterecek polimerik yapılar;

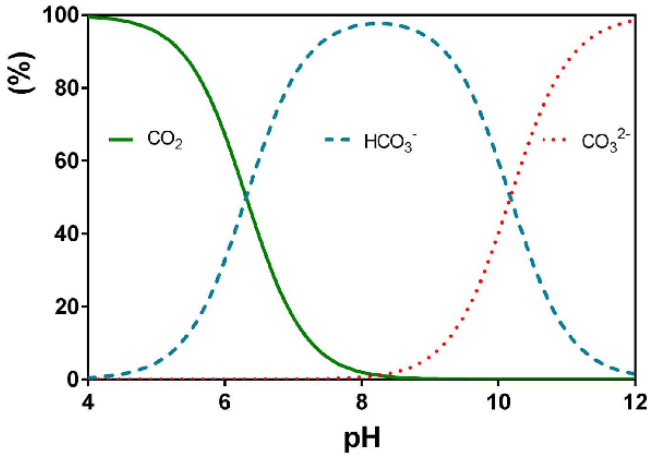
- Poliakrilik Asit (PAA)
- Maleik / Akrilik Asit Kopolimer (MA/AA)
- Akrilik Asit / Akrilamido-metil-propan sülfonat (AA/AMPS)
- Poliepoksisüksinik Asit (PESA)
- Poliaspartik Asit Sodyumu (PASP)
- Hidrolize Polimaleik Anhidrit (HPMA)

olarak belirlenmiştir.

## 6.4 Alkalinite ve pH Ayarlayıcılar

Alkalinite ile pH doğrudan bağlantılı olmasalar da birbirleri ile ilişkilidirler. pH, protonların [$H^+$] konsantrasyonudur. Öte yandan, bir çözeltinin alkalinitesi, asitleri nötralize etme yeteneği olarak ifade edilmektedir. Alkalinite, suyun tamponlama yeteneğinin ölçüsü olarak da ifade edilebilir. Fakat her zaman yüksek alkalinite yüksek pH anlamına gelmeyecektir. Alkalinite esas olarak karbonat ($CO_3^{2-}$) ve bikarbonaları ($HCO_3^-$) ifade etmektedir. Özellikle bikarbonat en güçlü tampondur ve Ka 4.7 x $10^{-11}$ değeri aşırı yüksektir. pH 12 gibi çok yüksek pH değerlerinde, hidroksit ve karbonat iyonları konsantrasyonu o kadar yüksektir ki, pH düşmeden önce bunların yeterince nötralize edilmesi için önemli miktarda asit gerekecektir. Bu nedenle, pH 10'un üzerindeki alkaliliğe katkıda bulunan hidroksitler ve karbonatlar olarak kabul edilir. Yaklaşık olarak pH 10 ile 6 arasındayken alkaliniteden bikarbonat molekülleri sorumlu olacaktır. pH 4 değerinin de altına indiği takdirde artık ortamda alkaliniteden söz etmek mümkün olmayacaktır. Bütün karbonatlar karbondioksitin sulu halleri olan karbonik asitlere dönüşeceklerdir. Bütün bu reaksiyonlar tersinir özelliğe sahip olduklarından pH değiştikçe çözelti içerisinde karbonatın bulunma şeklide değişecektir [77]. Şekil 6.3 karbonatın pH değişimi sırasındaki formlarını ifade eder.

$$CO_2(aq) + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow HCO_3^- + H^+ \leftrightarrow CO_3^{-2} + 2H^+ \quad (6.4)$$

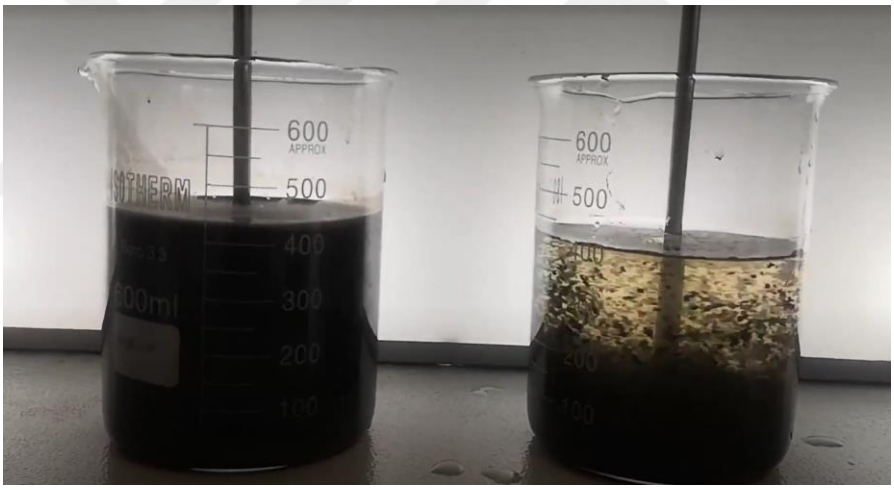



**Şekil 6.3** pH değişimine göre karbonatların suda bulunma yüzdeleri [77]

Ters ozmos (RO) ve nanofiltrasyon (NF) membran sistemlerinde, beslemeye göre konsantrede artan pH'ın arkasındaki birincil itici güç bikarbonattır. Bikarbonatlar, membran tarafından reddedildikçe konsantrasyonları artar, gazlar membranlardan geçebildikleri için $CO_2$ konsantrasyonları sabit kalır. Bikarbonat ve karbonik asit arasındaki artan oran, karbondioksit yönünde kaymaya, daha fazla serbest asitin emilmesine ve böylece sabit bir pH değerinde su üretilememesine pH'ın değişmesine sebep olacaktır. Genellikle de ozmoslardan çıkan suyun pH değeri 5,5- 6,5 aralığında olmaktadır. Havuzlar için pH klor aktivitesi ve korozyonu sınırlayabilmek açısından önem arz etmektedir. Ayrıca insan vücudu içinde en optimum pH nötr olanlar olduğu için her ne kadar korozyon açısından zorlayıcı da olsa pH'lar serbest klorun aktivitesi de düşünüldüğünde 7,2-7,5 aralığında tutulmaya çalışılacaktır. $OCl^-$ (hipoklorit iyonu) ayrıca aktif bir öldürücü bileşendir ve HOCl ile birlikte "serbest kullanılabilir klor" olarak adlandırılır. HOCl, öldürme gücünde $OCl^-$'den kabaca seksen kat daha etkilidir, çünkü büyük ölçüde yüksüz HOCl hücre duvarlarına nüfuz etmede daha etkilidir. pH olarak sınırlanmamızın sebebi de buradan gelmektedir. pH'ı ayarlamak için birçok asit kullanabilecekken; nitrik asidin aşırı tehlikeli olması, hidroklorik asit aralarından en tehlikesiz olmasına rağmen suya yüksek miktarda $Cl^-$ iyonları vermesi ve paslanmaz çelik parçalarda pitting ve stres korozyonuna sebep olması sebebiyle sülfürik asit kullanılacaktır.

## 6.5 Çöktürücüler ve Filtre Yardımcı Kimyasalları

Havuzlarda koagülantlar ve flokülanlar iki amaçla kullanılabilmektedir. İlki havuz suyunda kirlilik anlık olarak aşırı yükseldiyse ve su boşaltılmak istenmiyorsa, ikincisi ise sürekli olarak filtreye destek amaçlı kullanılır. Floklaştırıcı kimyasallar tipik olarak filtre tarafından çıkarılamayacak kadar küçük olan kirliliklerin daha büyük bir kütle halinde bir araya toplanmasına neden olurlar. Havuz topaklaştırıcı, filtrenin önüne sürekli olarak verilebileceği gibi, havuza doğrudan da verilebilir. Bu durumda havuzun dibine çöken ve çıkarılması için manuel vakumlama gerektiren daha büyük kümeler oluşturur. Filtrelerin önüne verilmesi durumda ise, havuz filtresinin normalde yakalayamayacağı büyüklükte parçalar flok haline gelip büyüyecek ve filtre performansı artacaktır. Şekil 6.4 filtre kimyasalı kullanılırsa ve kullanılmazsa ne olacağının göstermektedir. Sağ tarafta bulunan beherde kimyasal mevcuttur.




**Şekil 6.4** Filtre kimyasalı ile Jar Test

## 6.6 Statik Jar Test Yöntemi İle İhibisyon Testi

$CaCO_3$ konsantrasyonu 200-400 ppm aralığında, çözeltinin pH'ı 7,2-7,4 aralığında kalacak şekilde ayarlamalar yapılmıştır. Amaç su için en uygun konsantrasyonun belirlenmesi dolayısıyla en ekonomik değerlerin bulunmasıdır. Dozajlar 0,5 ppm den başlayarak 4 ppm'e kadar yapılmıştır. Kimyasalları fazla kullanmanın pek bir yarar sağlamadığı aksine zarar getirdiği de ayrıca ispat edilmiştir. İnhibisyon derecesi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\% \, inhibisyon = \frac{\mathrm{m}Ca_0 - \mathrm{m}Ca_1}{\mathrm{m}Ca_0} x100 \quad (6.5)$$

[$Ca_0$] Numune içinde bulunan toplam kalsiyum karbonat,

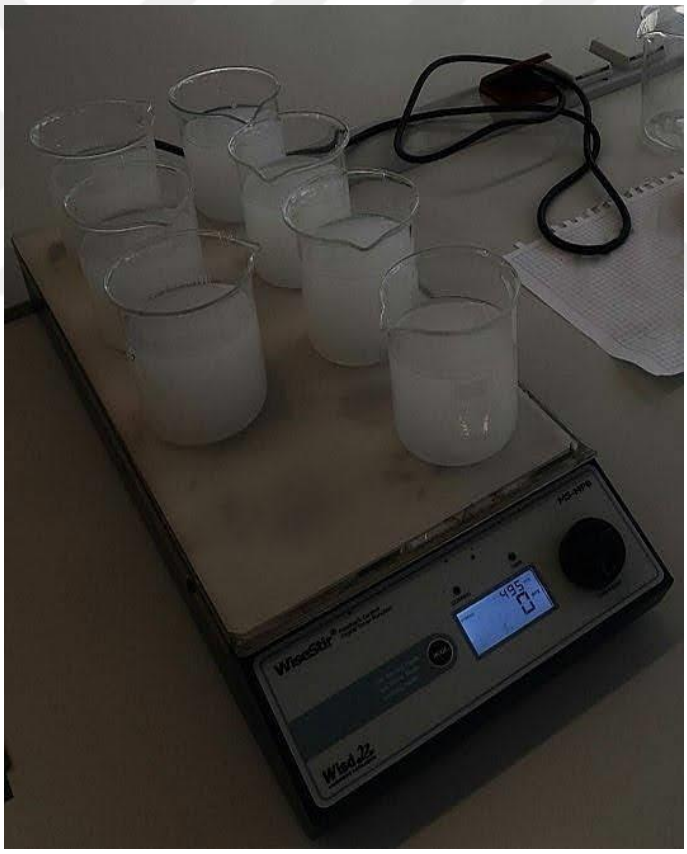
[$Ca_1$] Numune içerisinde kimyasal işlem yapıldıktan sonra yüzeylerde kalan kalsiyum karbonat

[m] miktar ppm,

Yöntem, kalsiyum karbonatın kristalleşmesini hızlandırmak için yüksek miktarda karbonat içeren bir su kullanılarak çökme hızının arttırılması buna karşın kimyasalın bu çökmeyi hangi yüzde ile ihibe edebileceğinin ölçülmesine dayanır. Önemli olan, başka bir konu ise sonuçların analitik olarak ifade edilebilmesi, gerekli tekrarlanabilirliğe sahip olması dolayısıyla kimyasal seçimi yapabilmek ve ayrıca dozaj hakkında bir ipucu elde etmek için güçlü bir yöntemdir. Daha iyi sonuçlar elde etmek için tüm testlerin aynı su numunesinden yapılması ve aynı zamanda aynı çalkalama ve aynı yerde dinlendirilmesi çok önemlidir. Hata yapılmasına karşın, en iyisi, aynı denemenin bir kaç kez tekrarlanması ve sonuçlar tutarlı ise uygunluğunun kabul edilmesidir. Deneyin yapılışı;

1. Beherin yüzeylerine yapışan kalsiyum karbonat olmamasından emin olmak için beherler %1 HCl solüsyonu ile temizlenmelidir.
2. Beherlerde kalan HCl'den kurtulmak için suyla dikkatlice durulanır.
3. Her bir behere 150 ml denemesi yapılacak su koyulur. Bu denemede özel olarak hazırlanmış 200-400 $CaCO_3$ sertlik içeren sular kullanılmıştır.
4. Denenecek kimyasal suya dozajlanır. 1 ppm doğrudan dozaj için çok küçük olacağından olacağından, numuneyi doğru ölçebilmek için seyreltilmesi daha doğru olacaktır. 1/1000 şeklinden seyreltme yapılmıştır.
5. Her test için 20 ml daha önceden hazırlanmış %1 $Na_2CO_3$ beherlere eş zamanlı dozaj yapılabilmesi için hazırlanmalıdır.
6. Karıştırıcı açılır ve denemesi yapılacak su ve eklenen kimyasal yaklaşık 1 dakika karıştırılır.
7. $Na_2CO_3$ tüm beherlere aynı zamanda eklenir.
8. Çözeltiyi su üzerine ekledikten sonra 2 dakika karıştırmaya devam edilir.
9. Karıştırıcıyı kapatılır testler 4 saat dinlenmeye alınır.

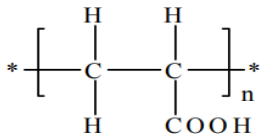
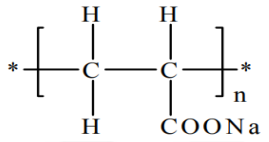
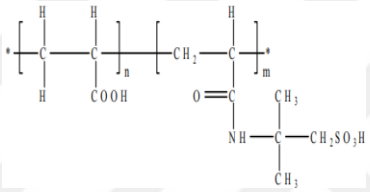
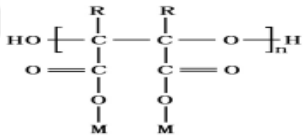
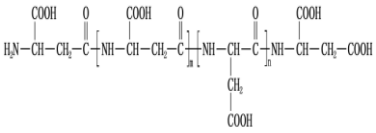
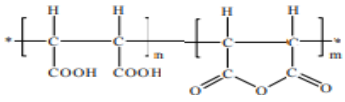
10. 4 saat sonrasına beherler boşaltılır. Boş kalan beherlerin yüzeylerindeki $CaCO_3$ çökeltisi gözlemlenir.
11. Her behere 150 ml %1 HCl eklenir. Amaç beherin duvarlarında çökmüş olan $CaCO_3$ moleküllerinin tekrar çözünür hale gelmesini sağlamaktır.
12. Çözeltiyi KOH çözeltisi pH=10,5 olacak şekilde nötralize edilir.
13. EDTA ile sertlik tayini yapılır.
14. Bütün denemeler en az 5'er kez tekrar edilir ve sonuçların ortalaması yazılacaktır. Böylelikle hem tekrarlanabilirlik kontrol edilmiş olacak hem de yapılabilecek küçük hataların yanlış sonuçlar vermesi engellenmiş olacaktır.
15. Aynı anda birçok deneme yapılacağı için çoklu manyetik karıştırıcı gerekmektedir. Şekil 6.5 kullanılan 8'li manyetik karıştırıcıyı göstermektedir.



**Şekil 6.5** 8'li manyetik karıştırıcı ve denemeler

Tablo 6.3'de kullanılacak polimerik kimyasallar incelenmiştir.

**Tablo 6.3** Tortu önleyiciler olarak incelenecek polimerler

| Polimer Adı | Formülü | %Katı Madde |
|---|---|---|
| Poliakrilik Asit (PAA) |  | 48,14 |
| Poliakrilik Asit Sodyum Tuzu (PAAS) |  | 50,49 |
| Akrilik Asit / Akrilamido-Metil-Propan Sülfonat (AA/AMPS) |  | 48,22 |
| Poliepoksisüksinik Asit Sodyum Tuzu (PESA) |  | 40,73 |
| Poliaspartik Asit Sodyum Tuzu (PASP) |  | 41,01 |
| Hidrolize Polimaleik Anhidrit (HPMA) |  | 48,30 |

M, $Na^+$, $H^+$ veya $K^+$ anlamına gelir, R, H veya $C_{1-4}$ alkil anlamına gelir.

Bu kısımda kullanılan bütün polimerler toksik olmayan, suda çözünen ve yüksek klor dayanımı olan kimyasallardır. Kağıt yapımı, dokuma, boyama, seramik, boyama, petrol vb. endüstri alanlarında geniş kullanım alanları bulunmaktadır.

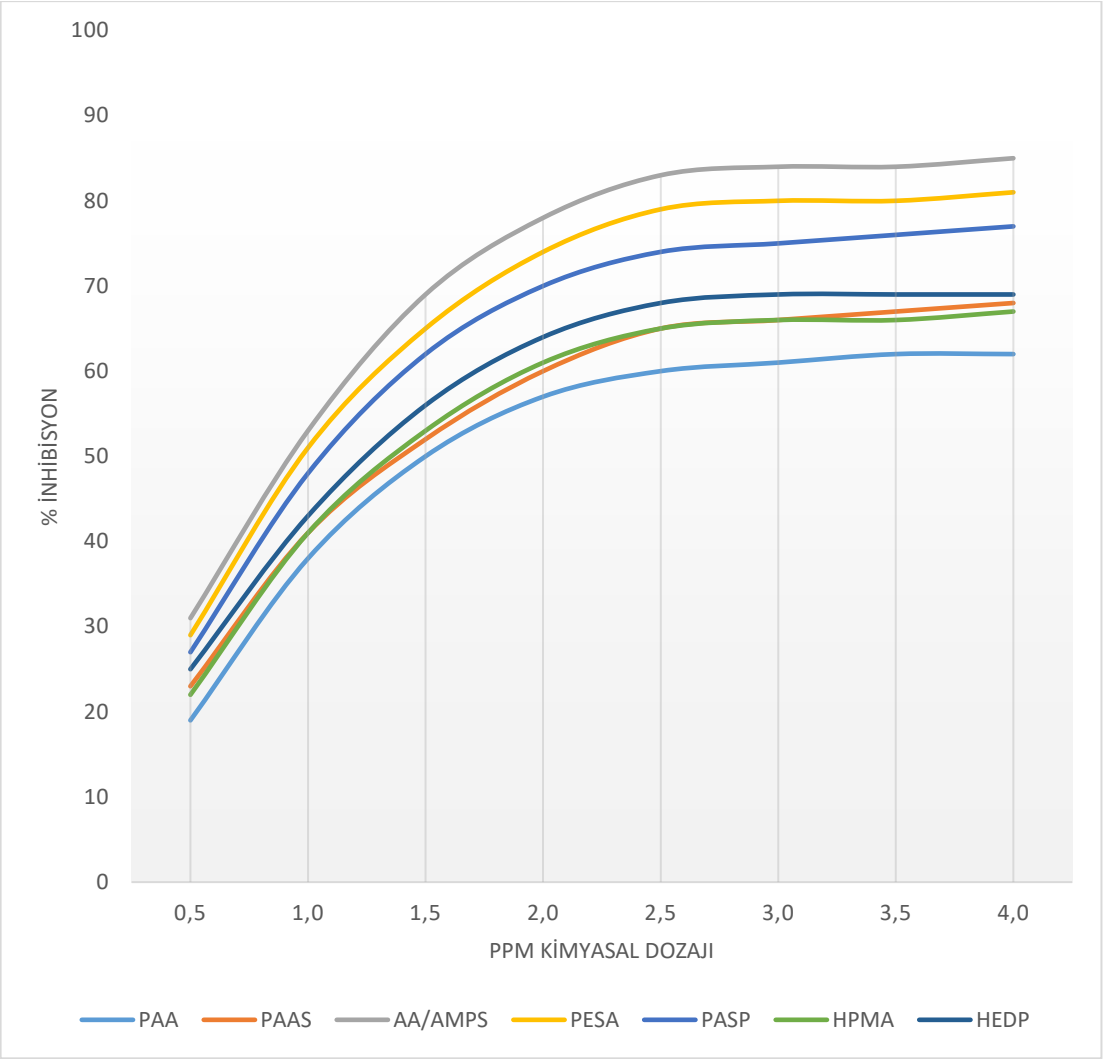
Havuza besleme suyu olarak verilecek suyun özellikleri; pH 7,34 iletkenlik 589 $\mu$S/cm, toplam sertlik 178 $CaCO_3$, toplam alkalinite 90 ppm $CaCO_3$'dır. 200-400 ppm $CaCO_3$ sertlik için yapılacak denemeler boyunca $CaCl_2$ ile ayarlanacak, pH 7,2-7,4 aralığında olacak, sıcaklık 25°C ve 1-1,5 ppm serbest klor olacak kadar klor ilavesi yapılacaktır.

200 ppm $CaCO_3$ içeren sulu çözelti için yapılan kimyasal dozajları ve bu beherin duvarlarına yapışmış $CaCO_3$ kalıntıları aşağıdaki tabloda ifade edilmiştir.

**Tablo 6.4** 200 ppm $CaCO_3$ bulunan sulu çözeltinin inhibisyon denemesi

| **Kullanılan Kimyasal** | **Yapılan dozajlar(ppm) karşısında beherde kalan $CaCO_3$ miktarı(ppm)** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0,5** | **1** | **1,5** | **2** | **2,5** | **3** | **3,5** | **4** |
| **PAA** | 162 | 124 | 100 | 86 | 80 | 78 | 76 | 76 |
| **PAAS** | 154 | 118 | 96 | 80 | 70 | 68 | 66 | 64 |
| **AA/AMPS** | 138 | 94 | 62 | 44 | 34 | 32 | 32 | 30 |
| **PESA** | 142 | 98 | 70 | 52 | 42 | 40 | 40 | 38 |
| **PASP** | 146 | 104 | 76 | 60 | 52 | 50 | 48 | 46 |
| **HPMA** | 156 | 118 | 94 | 78 | 70 | 68 | 68 | 66 |
| **HEDP** | 150 | 114 | 88 | 72 | 64 | 62 | 62 | 62 |

Tablo 6.4'de bulunan sonuçlar Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



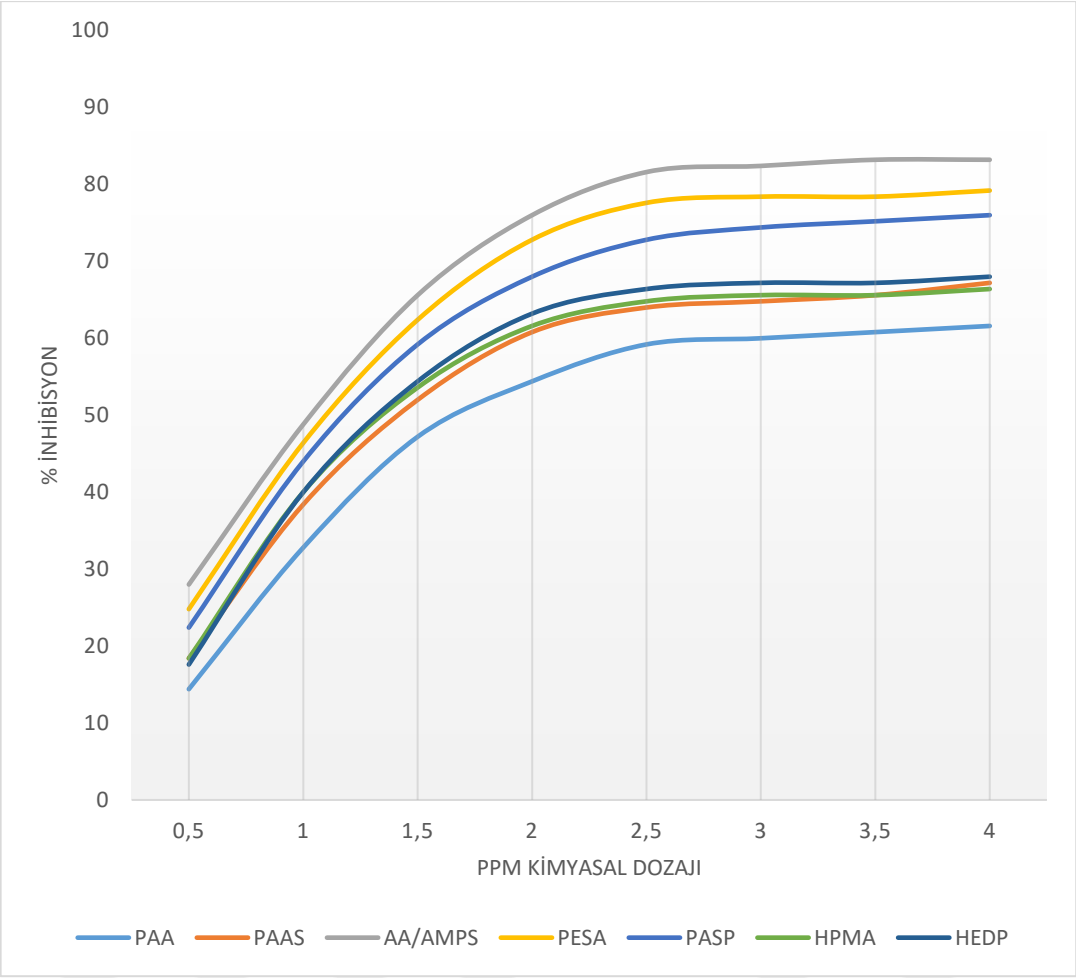

**Şekil 6.6** 200 ppm $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri

250 ppm $CaCO_3$ içeren sulu çözelti için yapılan kimyasal dozajları ve bu beherin duvarlarına yapışmış $CaCO_3$ kalıntıları Tablo 6.5'de verilmiştir.

**Tablo 6.5** 250 ppm $CaCO_3$ bulunan sulu çözeltinin inhibisyon denemesi

| Kullanılan Kimyasal | Yapılan dozajlar (ppm) karşısında beherde kalan $CaCO_3$ miktarı (ppm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0,5** | **1** | **1,5** | **2** | **2,5** | **3** | **3,5** | **4** |
| **PAA** | 214 | 168 | 132 | 114 | 102 | 100 | 98 | 96 |
| **PAAS** | 204 | 154 | 120 | 98 | 90 | 88 | 86 | 82 |
| **AA/AMPS** | 180 | 128 | 86 | 60 | 46 | 44 | 42 | 42 |
| **PESA** | 188 | 134 | 94 | 68 | 56 | 54 | 54 | 52 |
| **PASP** | 194 | 140 | 102 | 80 | 68 | 64 | 62 | 60 |
| **HPMA** | 204 | 150 | 116 | 96 | 88 | 86 | 86 | 84 |
| **HEDP** | 206 | 150 | 114 | 92 | 84 | 82 | 82 | 80 |

Tablo 6.5'de bulunan sonuçlar Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



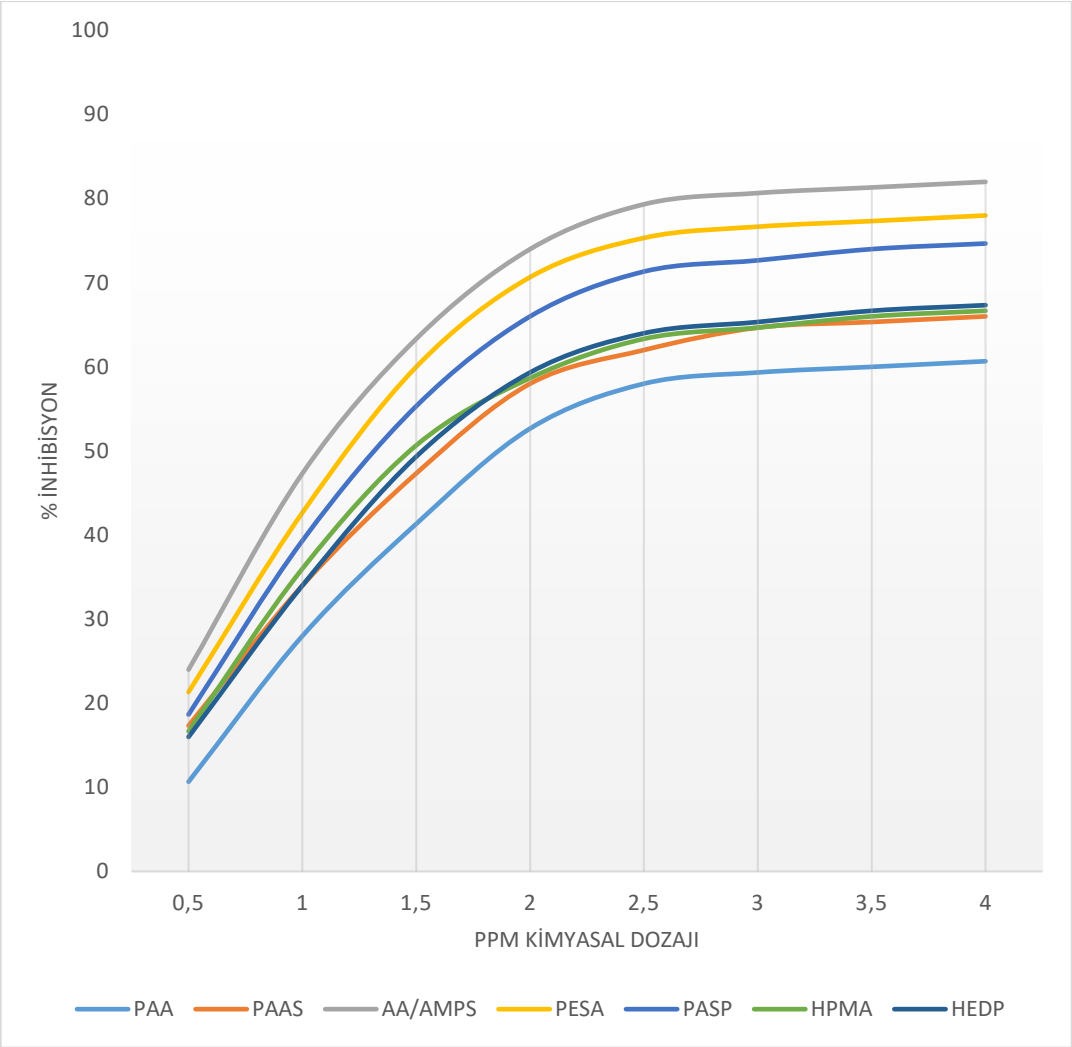

**Şekil 6.7** 250 ppm $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri

300 ppm $CaCO_3$ içeren sulu çözelti için yapılan kimyasal dozajları ve bu beherin duvarlarına yapışmış $CaCO_3$ kalıntıları Tablo 6.6'da verilmiştir.

**Tablo 6.6** 300 ppm $CaCO_3$ bulunan sulu çözeltinin inhibisyon denemesi

| Kullanılan Kimyasal | Yapılan dozajlar(ppm) karşısında beherde kalan $CaCO_3$ miktarı(ppm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 |
| PAA | 268 | 216 | 176 | 142 | 126 | 122 | 120 | 118 |
| PAAS | 248 | 198 | 158 | 126 | 114 | 106 | 104 | 102 |
| AA/AMPS | 228 | 158 | 110 | 78 | 62 | 58 | 56 | 54 |
| PESA | 236 | 172 | 120 | 88 | 74 | 70 | 68 | 66 |
| PASP | 244 | 182 | 134 | 102 | 86 | 82 | 78 | 76 |
| HPMA | 250 | 192 | 148 | 124 | 110 | 106 | 102 | 100 |
| HEDP | 252 | 198 | 152 | 122 | 108 | 104 | 100 | 98 |

Tablo 6.6'de bulunan sonuçlar Şekil 6.8'da gösterilmiştir.



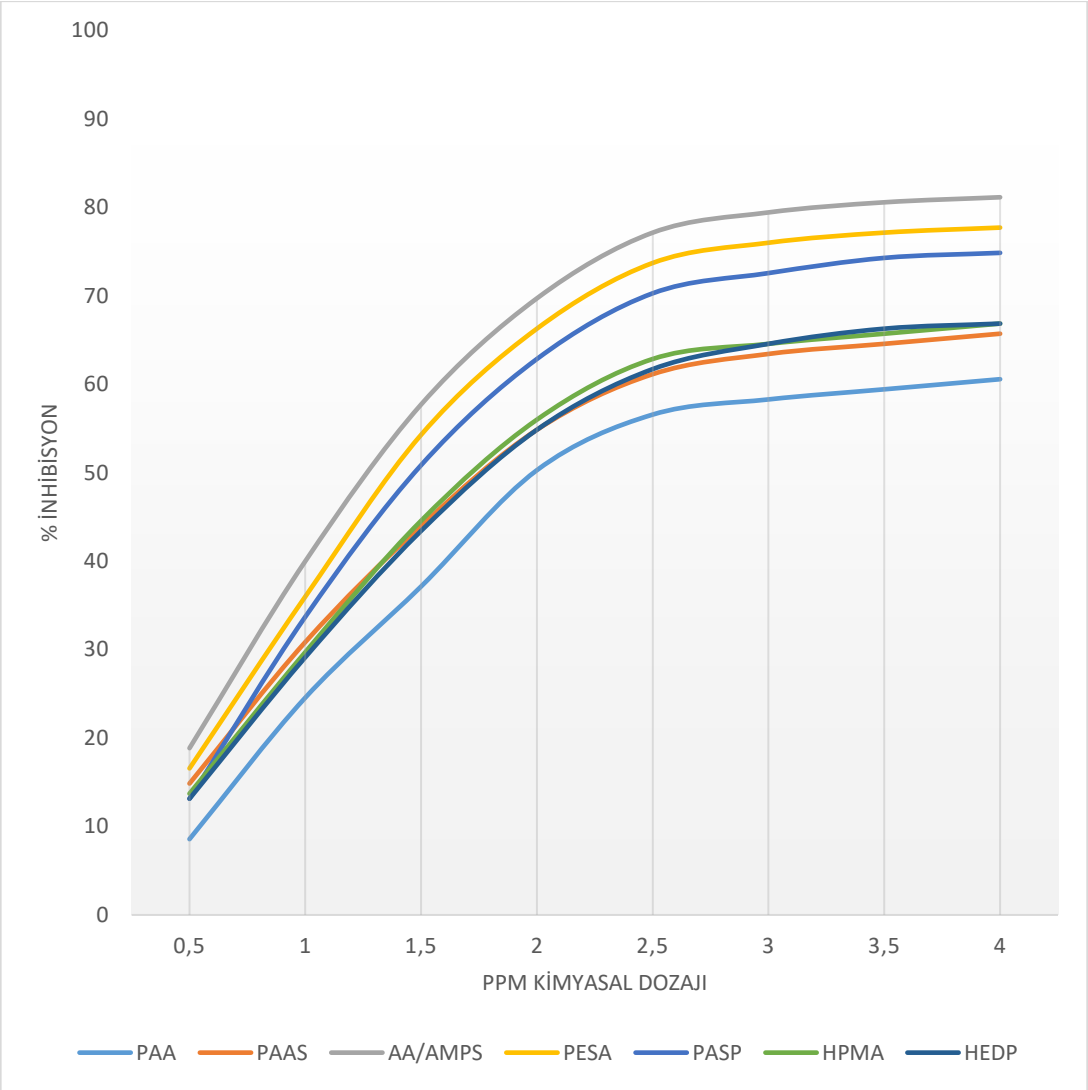

**Şekil 6.8** 300 ppm $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri

Tablo 6.7'de 350 ppm $CaCO_3$ içeren sulu çözelti için yapılan kimyasal dozajları ve bu beherin duvarlarına yapışmış $CaCO_3$ kalıntıları ifade edilmiştir.

**Tablo 6.7** 350 ppm $CaCO_3$ bulunan sulu çözeltinin inhibisyon denemesi

| Kullanılan Kimyasal | Yapılan dozajlar(ppm) karşısında beherde kalan $CaCO_3$ miktarı(ppm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 |
| PAA | 320 | 264 | 220 | 174 | 152 | 146 | 142 | 138 |
| PAAS | 298 | 242 | 196 | 158 | 136 | 128 | 124 | 120 |
| AA/AMPS | 284 | 210 | 148 | 106 | 80 | 72 | 68 | 66 |
| PESA | 292 | 224 | 160 | 118 | 92 | 84 | 80 | 78 |
| PASP | 304 | 232 | 172 | 130 | 104 | 96 | 90 | 88 |
| HPMA | 302 | 246 | 194 | 154 | 130 | 124 | 120 | 116 |
| HEDP | 304 | 248 | 198 | 158 | 134 | 124 | 118 | 116 |

Tablo 6.7'de bulunan sonuçlar Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



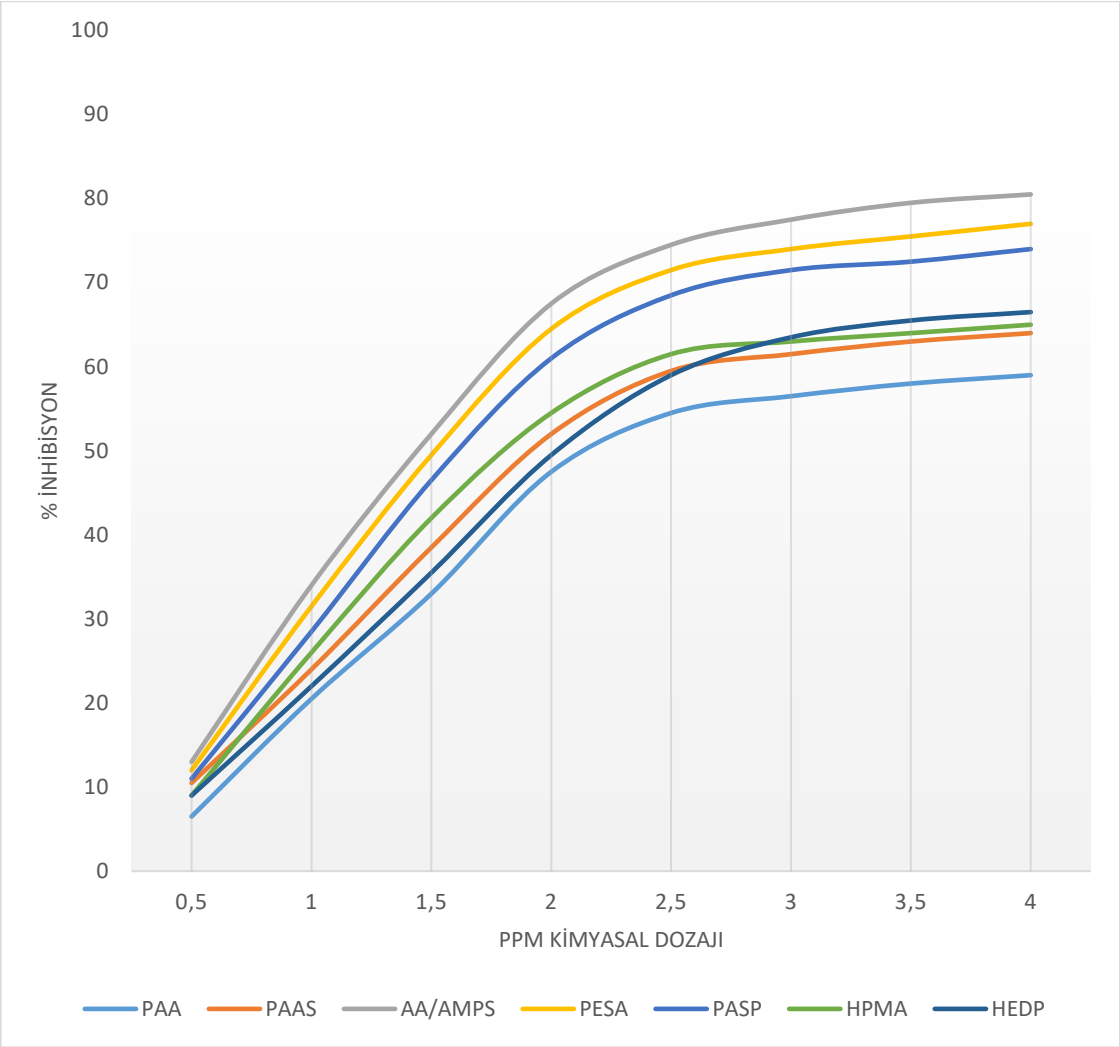

**Şekil 6.9** 350 ppm $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri

Tablo 6.8'de 400 ppm $CaCO_3$ içeren sulu çözelti için yapılan kimyasal dozajları ve bu beherin duvarlarına yapışmış $CaCO_3$ kalıntıları ifade edilmiştir.

**Tablo 6.8** 400 ppm $CaCO_3$ bulunan sulu çözeltinin inhibisyon denemesi

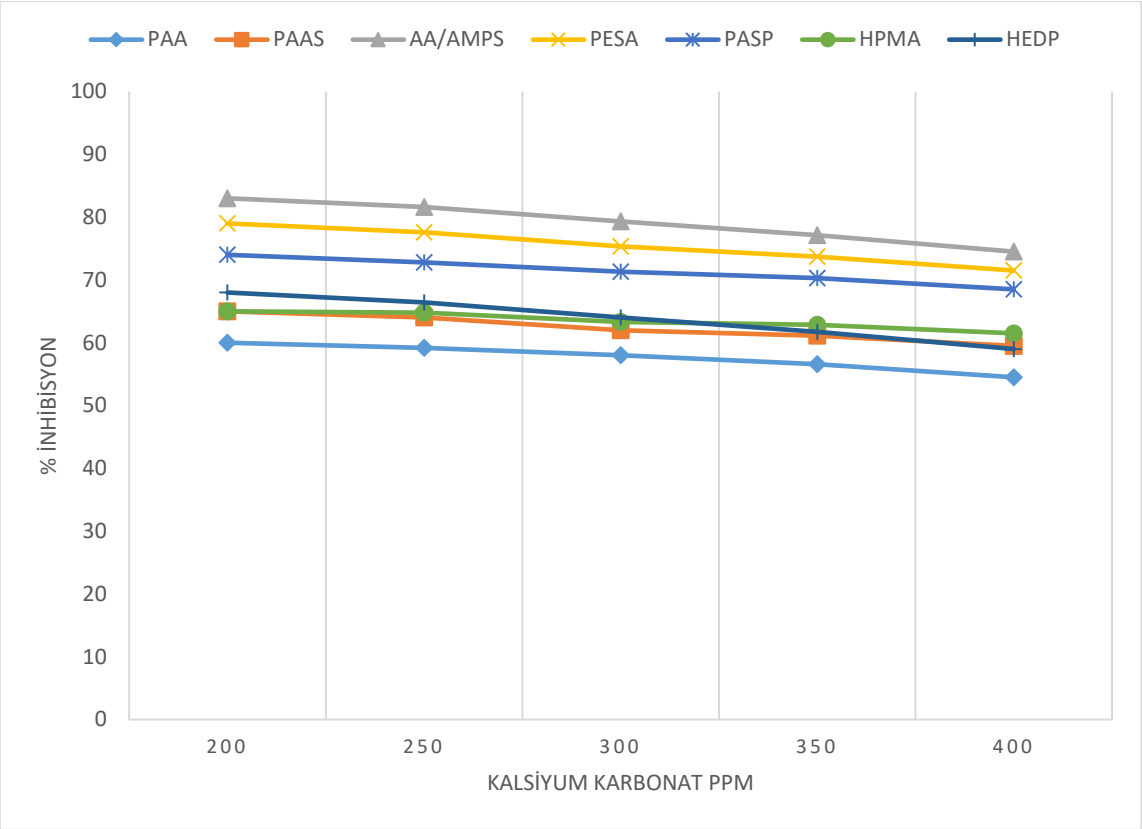
| Kullanılan Kimyasal | Yapılan dozajlar(ppm) karşısında beherde kalan $CaCO_3$ miktarı(ppm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 |
| PAA | 374 | 318 | 268 | 210 | 182 | 174 | 168 | 164 |
| PAAS | 358 | 304 | 246 | 192 | 162 | 154 | 148 | 144 |
| AA/AMPS | 348 | 264 | 192 | 130 | 102 | 90 | 82 | 78 |
| PESA | 352 | 274 | 202 | 142 | 114 | 104 | 98 | 92 |
| PASP | 356 | 286 | 214 | 156 | 126 | 114 | 110 | 104 |
| HPMA | 364 | 296 | 232 | 182 | 154 | 148 | 144 | 140 |
| HEDP | 364 | 312 | 258 | 202 | 164 | 146 | 138 | 134 |

Tablo 6.8'in bulunan sonuçlar şekil 6.10'da gösterilmiştir.




**Şekil 6.10** 400 ppm $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri

Sonuçların daha kolay ifade edilebilmesi açısında tablolardaki veriler tek grafik üzerine yerleştirilmiştir. Sonuçların ortalamasını alacak olursak AA/AMPS > PESA > PASP > HEDP > HPMA > PAAS > PAA en iyiden en kötü performansa doğru sıralanmış olacaklardır. 2,5 ppm için sonuçlar Şekil 6.11'de gösterildiği gibi ifade etmek gerekirse yukarıdaki sırayla aynı olmak üzere; 79,12 > 75,43 > 71,38 > 63,82 > 63,50 > 62,33 > 57,65 şeklinde sonuçlar elde edilmiştir. 4 ppm dozaj için sonuçlar ise AA/AMPS > PESA > PASP > HEDP > HPMA > PAAS > PAA olarak sıralanacak ve sayısal olarak; 82,37 > 78,58 > 75,30 > 67,54 > 66,38 > 66,18 > 60,77 bulunmuştur.




**Şekil 6.11** $CaCO_3$ için yapılan inhibisyon denemeleri

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda AA/AMPS en başarı olan seçilmiştir. İnhibisyonun daha rahat görünebilmesi için Şekil 6.11'de tüm sonuçlar tek bir grafik üzerinde sunulmuştur. Korozyonu inceleyebilmek için ise öncelikle sadece klor ile en ilkel yöntem, daha sonra 1-Hidroksietiliden-1,1-Difosfonik asit ile klasik şartlandırma, en sonda ise yeni önerdiğimiz yöntem fosforsuz şartlandırma ile pilot ölçekli olarak denecektir. Su karakteristiğinin takip edilebilmesi için düzenli analizler yapılacak ve 3 deneme içinde su kalitesi aynı seviyede tutulacaktır.

## 6.7 Korozyon Kuponlarının İncelenmesi

Korozyon kuponu, belirli bir işletim sisteminde meydana gelen korozyon oranlarının nicel bir tahminini veren basit ve çok etkili bir araçtır. Bu kuponlar ayrıca, gözlemlenen sistemde meydana gelebilecek korozyon tipinin görsel bir ifadesini de sunar. Su sistemlerinde zamanla oluşan korozyonu tespit etmek için korozyon kuponları kullanılır. İlk olarak sisteme yerleştirilmeden tartılırlar. Sisteme suyun akış yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde korozyon kuponları yerleştirilirken kullanılan teknik, sonucu büyük

ölçüde etkileyecektir. Belirlenen süre geçtikten sonra sistemden çıkarılır kurulanır ve son tartım alınır. Zaman içinde korozyon kuponlarında meydana gelen değişiklikler korozyonu tanımlayabilmenin etkili yollardan birisidir. Sadece sistemde akışın olduğu bir yere yerleştirmek yeterli olduğu için kullanımları nispeten kolaydır.

Korozyon hızının mil/yıl olarak hesabı için kullanılan kullanılan formül;

$$Mpy = \frac{22{,}3\ x\ \mathrm{W}\ x\ 1000}{A\ x\ D\ x\ T} \qquad (13)$$

W: Ağırlık farkı g

A: Kuponun yüzey alanı $in^2$

D: Yoğunluk karbon çelik için 7,85 $g/cm^3$

T: Sistemde bulunduğu gün sayısı

Kuponlar yukarıdaki deney sırasına göre yazılmıştır, sonuçları ve değerleri mpy cinsindendir, 3 kuponda ASTM D 2688 – 94 makalesinde bahsedildiği şekilde incelenmiştir (Tablo 6.9).

**Tablo 6.9** Korozyon kuponu ölçümleri

| | | | |
|---|---|---|---|
| **W=** | 0,1019 | 0,0433 | 0,0374 |
| **T=** | 35 | 35 | 35 |
| **A=** | 1,4136 | 1,4136 | 1,4136 |
| **Karbon çelik mpy** | 5,85079 | 2,48615 | 2,14739 |

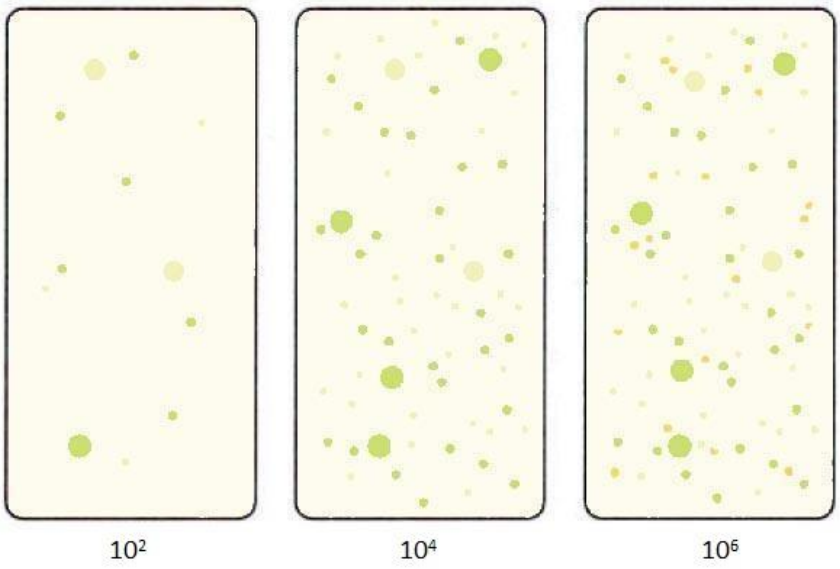


**Şekil 6.12** Korozyon kuponları

Şekil 6.12'de korozyon kuponları gözükmektedir. Kuponları değerlendirirken; korozyon hızı mpy cinsinden < 1 ise mükemmel korozyon hızı, 1-3 mpy aralığında iyi bir korozyon hızı, 3-5 mpy aralığında ne kötü ne iyi denilebilecek bir korozyon hızı >5 ise kötü bir korozyon hızı olarak kabul edilir. Bu durumdan her iki kimyasal da yeterli koruma sağlamıştır. 35 gün sayısı sınırlı bir dönem içinde deneme yapıldığı için nispeten az bir süredir. 60 gün gibi bir sürede yapılacak denemede korozyon hızları bir miktar daha az çıkacaktır.

## 6.8 Mikrobiyolojik Olarak Uygunluk

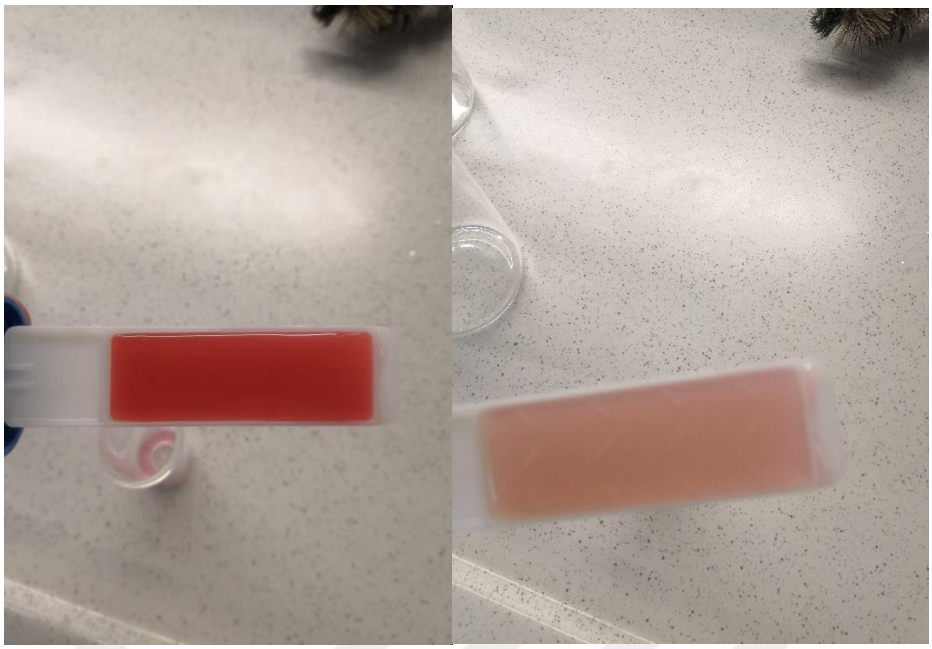
Bir dipslayt, sıvıların veya yüzeylerin mikrobiyal içeriği için kullanımı kolay bir test yöntemidir. Numune toplamak için sıvıya daldırılabilen veya yüzeye bastırılabilen steril bir kültür ortamı içerir. Su sistemlerinde bakterilerinin kontrolüne yönelik kılavuzda açıklandığı gibi daldırmalı slayt tanımı, sıvıların mikrobiyal içeriğini test etmenin bir yoludur. Numune alınacak sıvıya daldırılabilen steril bir kültür ortamı taşıyan plastik bir taşıyıcıdan oluşur. Daha sonra mikrobiyal büyümeye izin vermek için inkübe edilir. Ortaya çıkan mikrobiyal koloniler, bir çizelgeye referansla tahmin edilir (Şekil 6.13).




**Şekil 6.13** Bakteri koloni sayısı gösterimi

Dipslayt, birçok sistemde ve genellikle soğutma sistemlerinde mikrobiyal aktiviteyi ölçmenin ve izlemenin en yaygın yöntemidir. Mikrobiyolojik aktivitenin konsantrasyonunu belirlemek için kullanılan bir renk sayım tablosu ile birliktedir. Doğru bir sonuç elde etmek için tüm daldırma slaytları 30-35°C'de 48 saat etüv veya bakteri inkübitöründe muhafaza edilmelidir. Numune suyundaki herhangi bir bakteri büyüyecek ve koloniler oluşturacaktır. Dipslayt kutusunda verilen referans tablosu ile karşılaştırıldığında, numunedeki bakteri sayısını belirlemek mümkündür. Süreklilik için, test her yapıldığında kuluçka süresinin ve sıcaklığın tutarlı olmasını sağlamak önemlidir.

Soğutma kulesi suyu kullanılarak haftalık olarak test edilmelidir. Mikrobiyolojik testlerin önemli olduğu durumlarda zamanlamanın tutarlılığı ve yakın zamanda biyosit uygulanmışsa numune alınmamalıdır. Numunenin berraklığı bakteriyolojik aktivitenin göstergesi değildir ve numunenin berraklığından bağımsız olarak test yapılmalıdır. Eğer kullanılan kimyasal program etkiliyse hiçbir bakteri kolonisi dipslayt yüzeyinde oluşmayacaktır.



**Şekil 6.14** Dipslayt kontrolü

Denemeler boyunca dipslayt ile kontrol yapılmıştır. Hiçbir şekilde mikroorganizma kolonisine rastlanmamıştır. Şekil 6.14'de bu gösterilmiştir.

# 7
# SONUÇ VE ÖNERİLER

Su dünyamız üzerindeki yaşamın devam etmesini sağlayan birincil kaynaklardan biridir. Gerek içme suyu olarak veya temizlik için, gerek tarımda ve sanayide kullanmak için su paha biçilemez bir kaynaktır. Fakat her zaman doğada bulunduğu gibi kullanıma uygun değildir. Bütün dünyada endüstriyel olarak kullanımı çok yaygındır. Kullanım sırasında oluşabilecek korozyon ve tortuya karşıda önem olarak genellikle her zaman fosfor bileşenli ürünler kullanılmaktadır. Fosforun tükenecek bir kaynak olması, kullandıktan sonra ötrofikasyon gibi bazı sorunlara yol açması ve gelecekte fiyatının çok yüksek sayılara ulaşabilecek olması sebebiyle alternatiflere ihtiyaç vardır. Bu durumda biyobozunur organik ürünlere yönelmek sürdürülebilirlik açısından en uygun çözüm olacaktır. Yapılan denemelerde mevcut fosfor ürününe karşı belirli koşullar altında çok daha efektif olabilecek organik yapıya sahip kimyasallar bulunmuştur. Sonuçların ortalamasını alacak olursak AA/AMPS > PESA > PASP > HEDP > HPMA > PAAS > PAA en iyiden en kötü performansa doğru sıralanmış olacaklardır. 2,5 ppm için sonuçları ifade etmek gerekirse yukarıdaki sırayla aynı olmak üzere 79,12 > 75,43 > 71,38 > 63,82 > 63,50 > 62,33 > 57,65 şeklinde sonuçlar elde edilmiştir. 4 ppm dozaj için sonuçlar ise AA/AMPS > PESA > PASP > HEDP > HPMA > PAAS > PAA olarak sıralanacaktır. Sayısal olarak ifade edilirse 82,37 > 78,58 > 75,30 > 67,54 > 66,38 > 66,18 > 60,77 bulunmuştur. Korozyon performanslarına baktığımızda ise bir miktar daha kötü sonuç elde edilmiş olsa bile yeterli düzeyde olduğu için kullanıma uygundur. Mevcutta kullanılan bir fosfor ürünü olan 1-Hidroksietiliden-1,1-Disfosfonik asite karşı çok daha efektif olan 3 adet organik polimer bulunmuştur ve bunlardan ikisi %100 biyobozunur olabilmektedir. Her ne kadar AA/AMPS toksisite barındırmamasına rağmen ve en efektif sonuç alınmış olmasına rağmen %100 biyobozunur olmadığı için PESA ve PASP üzerine yoğunlaşmak daha çevre dostu bir yaklaşım olacaktır.

Çalışmanın devamında yapılabilecek öneriler ise başka ve zamanla yeni olarak üretilecek toksisite barındırmayan, biyobozunur polimerlerin performanslarını

incelemek veya soğutma kuleleri ve deterjanlar gibi bu fosfor ürünün diğer kullanım alanlarında bu polimerlerin efektivitesine bakmak gelecektir. Soğutma kulesi gibi daha karmaşık bir alanda sadece kalsiyum karbonata karşı inhibisyon efektivitesi ve korozyon dayanımı yeterli olmayacaktır. Silikatlar, sülfatlar, demir bileşikleri ve birçok başka çökebilen anyon ve katyonların ilişkisini ayrı ayrı ve daha sonrasında bir bütün halinde incelemek gerekecektir. Bu ve daha sonrasında yapılacak çalışmalar ile zaten çok sınırlı miktarda olan fosfor kaynaklarının tükenmesi daha uzun vadeye yayılacaktır. Kazanılan bu zaman ile tarım sektöründe kullanılan fosforlu katkılara alternatif ve ötrofikasyon gibi sorunlara sebep olmayan çevre dostu başka yöntemler geliştirilebilecektir. Böylelikle insanların en önemli ihtiyacı olan besin çevrimi de zarar görmemiş olacaktır.

# KAYNAKÇA


[1] J. Rosen, «Farmers are facing a phosphorus crisis. The solution starts with soil,» National Geographic, 14 10 2020. [Çevrimiçi]. Available: https://www.nationalgeographic.com/science/article/farmers-are-facing-a-phosphorus-crisis-the-solution-starts-with-soil. [Erişildi: 2021 7 18].

[2] A. &. B. P. &. S. J. &. C. J. &. M. H. Smit, «Phosphorus in agriculture: global resources, trends and developments. Report to the Steering Committee Technology Assessment of the Ministry of Agriculture,» Plant Research International Report, The Neetherlands, Wageningen, 2009.

[3] R. Amundson, A. A. Berhe, J. W. Hopmans, C. Olson, A. E. Sztein ve D. L. Sparks, «Soil and human security in the 21st century,» *American Association for the Advancement of Science,* no. 348, 2015.

[4] U.S. Geological Survey, «Phosphate Rock,» Mineral Commodity Summaries, 2021.

[5] J. &. H. J. Lee, Swimming Pool Water Use Analysis by Observed Data and Long term Continuous Simulation, University of Florida, 2008.

[6] S. S. Zumdahl, «Water,» Encyclopedia Britannica, 19 6 2022. [Çevrimiçi]. Available: https://www.britannica.com/science/water.

[7] P. H. Gleick, «Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources,» Oxford University Press, New York, 1993. [Çevrimiçi]. Available: https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth.

[8] L. J. Henderson, The fitness of the environment; an inquiry into the biological significance of the properties of matter, Andesite Press, 2015.

[9] P. Gleick, The World’s Water: The Biennial Report on Freshwater Resources, Washington, DC: Island Press, 2014.

[10] J. Holder, N. Kommenda ve J. Watts, «The three-degree world: cities that will be drowned by global warming,» The Guardian, 3 November 2017. [Çevrimiçi]. Available: https://www.theguardian.com/cities/ng-interactive/2017/nov/03/three-degree-world-cities-drowned-global-warming.

[11] National Oceanic and Atmospheric Administration, «Carbon dioxide now more than 50% higher than pre-industrial levels,» NOAA, 3 June 2022.

[Çevrimiçi]. Available: https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels.

[12] U.S. Environmental Protection Agency, «Basic Information about Nonpoint Source (NPS) Pollution,» EPA, 7 July 2022. [Çevrimiçi]. Available: https://www.epa.gov/nps/basic-information-about-nonpoint-source-nps-pollution.

[13] M. v. Sperling, «Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal,» IWA Publishing, Brazil, 2007.

[14] M. E. S. B. E. E. C. D. S. G. W. S. H. H. H. J. T. N. E. W. S. J. B. S. J. E. S. James J. Elser, «Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems,» *Ecology letters,* cilt 10, no. 12, pp. 1135-1142, 2007.

[15] O. H. D. A. a. R. M. E. Rott, «Behavior of PBTC, HEDP, and Aminophosphonates in the Process of Wastewater Treatment,» *Water,* cilt 12, no. 1, p. 53, 2020.

[16] M. S. W. a. J. R. M. B. V. Salas, Phosphoric Acid Industry: Problems and Solutions", in Phosphoric Acid Industry - Problems and Solutions, London, United Kingdom: InTechOpen, 2017.

[17] P. N. Cheremisinoff, Waste Minimization and Cost Reduction for the Process Industries, Elsevier Science, 1995.

[18] J. a. G. C. Fischer, Analogue-based Drug Discovery, John Wiley & Sons, 2006.

[19] M. S. A. D. T. a. H. R. P. Blackwell, «Phosphorus Use Efficiency and Fertilizers: future opportunities for improvements,» *Frontiers of Agricultural Science and Engineering - FASE,* cilt 6, no. 4, pp. 332-340, 2019.

[20] J. R. V. David W. Schindler, The Algal Bowl: Overfertilization of the World's Freshwaters and Estuaries, California: University of Alberta Press, 2008.

[21] HERA, Human & Environmental Risk Assessment, «Phosphonates,» 6 9 2004. [Çevrimiçi]. Available: https://www.heraproject.com/files/30-f-04-%20hera%20phosphonates%20full%20web%20wd.pdf. [Erişildi: 5 4 2022].

[22] A. J. &. Environment, «Implementation of the Danube River Basin – Action 5 and Action 7,» 20 12 2013. [Çevrimiçi]. Available: https://waterquality.danube-region.eu/wp-content/uploads/sites/13/sites/13/2019/09/DMRS_PA4_A5_A7_final_corrected.pdf. [Erişildi: 12 9 2022].

[23] OECD Assessments, «Sids Initial Assessment Profile,» 20 4 2004. [Çevrimiçi]. Available: https://hpvchemicals.oecd.org/ui/handler.axd?id=dc4c08b0-d151-4359-97de-c43d99669a95. [Erişildi: 28 4 2022].

[24] T. P. Wiseman, «MAECENAS AND THE STAGE,» *Papers of the British School at Rome,* no. 84, p. 131–155, 2016.

[25] J. Wiltse, Contested Waters: A Social History of Swimming Pools in America, Univ of North Carolina Press, 2009.

[26] Q. C. L. Z. S. C. R. W. H. Z. W. &. S. J. He, «Natural sunlight induced rapid formation of water-born algal-bacterial granules in an aerobic bacterial granular photo-sequencing batch reactor.,» *Journal of hazardous materials,* cilt https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.051, p. 222–230, 2018.

[27] J. &. L. A. Wyczarska-Kokot, «The Influence of the Filtration Bed type in the Pool Water Treatment System on Washings Quality,» *Ecological Chemistry and Engineering,* cilt 26, no. 10.1515/eces-2019-0039, pp. 535-545, 2019.

[28] World Health Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, Minnesota Üniversitesi: World Health Organization, 1997.

[29] American Society of Mechanical Engineers. Boiler and Pressure Vessel Committee, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Michigan University: ASME Press, 1983.

[30] Hach Company/Hach Lange GmbH, «DR900 Colorimeter Turbidity,» 4 2013. [Çevrimiçi]. Available: https://www.hach.com/colorimeters/dr900-colorimeter/family-downloads?productCategoryId=35547203827. [Erişildi: 5 5 2022].

[31] T. E. Baxter, «Hardness by EDTA Titration,» 2 7 2017. [Çevrimiçi]. Available: https://www.cefns.nau.edu/~teb/ambl/sop/SOP_AMBL_104A_Hardness.pdf. [Erişildi: 7 5 2022].

[32] T. E. Baxter, «Alkalinity and Endpoint pH Determination by Acid Titration Curve,» 7 4 2017. [Çevrimiçi]. Available: https://www.cefns.nau.edu/~teb/ambl/sop/SOP_AMBL_103B_AcidTitrationCurve.pdf. [Erişildi: 7 5 2022].

[33] A. F. Rusydi, «Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review,» *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science,* cilt 012019, no. doi :10.1088/1755-1315/118/1/012019, p. 118, 2018.

[34] Hach Company/Hach Lange GmbH, «DR900 Colorimeter Iron, Total,» 1 2014. [Çevrimiçi]. Available: https://www.hach.com/colorimeters/dr900-colorimeter/family-downloads?productCategoryId=35547203827. [Erişildi: 7 5 2022].

[35] B. S. C. Stephen D. Cramer, ASM Handbook, Virginia University: ASM International, 1990.

[36] T.P.Sivanandan, «What is Coagulation-Flocculation,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.water-chemistry.in/2009/06/what-is-coagulation-flocculation/. [Erişildi: 2022 8 20].

[37] D. D. Borikar, «Evaluations Of Conventional, Slow Sand Filtration, Ozone, Ozone/H2O2 And Uv/H2O2 Treatments For Decontamination Of The Selected Ppcps And Edcs And Their Effect On Thms Formation Potential,» The University of British Columbia, Vancouver, 2014.

[38] F. R. R. Harry Marsh, Activated Carbon, Elsevier, 2006.

[39] &. J. H. Kumar, «Preparation and characterization of high surface area activated carbon from Fox nut (Euryale ferox) shell by chemical activation with H3PO4,» *Results in Physics,* no. 6, 2016.

[40] T. Klenck, «Water Softenning 101,» *Popular Mechanics,* 1998.

[41] D. Reichenberg, «Properties of Ion-Exchange Resins in Relation to their Structure. III. Kinetics of Exchange,» *Journal of the American Chemical Society,* cilt 3, no. 75, pp. 589-597, 1953.

[42] C.-K. &. S. R. Chiam, «Purification of Aquacultural Water - Conventional and New Membrane-based Techniques,» *Separation and Purification Reviews,* no. 40, pp. 126-160, 2011.

[43] C.-K. &. S. R. Chiam, «Purification of Aquacultural Water - Conventional and New Membrane-based Techniques,» *Separation and Purification Reviews,* no. 40, pp. 126-160, 2011.

[44] A. &. J. A. Izadpanah, «The Ability of a Nanofiltration Membrane to Remove Hardness and Ions from Diluted Seawater,» *Water,* no. 4, pp. 283-294, 2012.

[45] S. I. J. E. T. A. E. Wimalawansa, «Purification of Contaminated Water with Reverse Osmosis: Effective Solution of Providing Clean Water for Human Needs in Developing Countries.,» *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering,* cilt 3, no. 12, 2013.

[46] E. K. H.N. Lazarides, «Membrane Techniques Principles of Reverse Osmosis,» %1 içinde *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*, Academic Press, 2003, pp. 3827-3833.

[47] I. &. P. S. Elsherbiny, «Enhancing the Efficiency of Membrane Processes for Water Treatment,» *Membranes,* cilt 11, no. 3, p. 215, 2021.

[48] J. Korkisch, CRC Handbook of Ion Exchange Resins, 6. cilt, CRC Press, 1988.

[49] H. Strathmann, Membranes and Membrane Separation Processes, 2005.

[50] Van London Co. - pHoenix, «Conductivity Guide,» 1961. [Çevrimiçi]. Available: http://www.vl-pc.com/tasks/render/file/?fileid=10CA7CE7-B9B7-08EF-AD30B324EEF84B9D. [Erişildi: 19 5 2022].

[51] R. Menon, «Water infrastructure is so bad,» The Nation, 17 11 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://www.thenation.com/article/environment/water-flint-plumbing/. [Erişildi: 2022 8 10].

[52] D. Verma, «Density Functional Theory (DFT) as a Powerful Tool for Designing Corrosion Inhibitors in Aqueous Phase,» %1 içinde *Advanced Engineering Testing*, 10.5772/intechopen.78333, 2018, pp. 87-96.

[53] J. &. F. B. &. M.-R. L. &. M. G. V. F. &. R.-R. R. &. S. R. J. &. S. R. Izquierdo, «Evaluation of the corrosion protection of steel by anodic processing in metasilicate solution using the scanning vibrating electrode technique,» *Electrochimica Acta,* no. 178, pp. 1-10, 2015.

[54] A. &. H. B. Atshan, «Effect of Anode Type and Position on the Cathodic Protection of Carbon Steel in Sea Water.,» 2013.

[55] «Corrosion,» LibreTexts, [Çevrimiçi]. Available: https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_Missouri/MU%3A__1330H_(Keller)/20%3A_Electrochemistry/20.8%3A_Corrosion.

[56] S. &. E. K. &. S. D. Standlee, «Under deposit corrosion from iron sulfide,» %1 içinde *NACE - International Corrosion Conference Series*, 2011.

[57] S. Dexter, Galvanic Corrosion, University of Delaware, 1958.

[58] M. &. J. B. &. A. S. Stack, «Models and mechanisms of erosion-corrosion in metals,» %1 içinde *Tribocorrosion of Passive Metals and Coatings*, Woodhead Publishing, 2011, pp. 153-187.

[59] M. &. Ö. M. M. Güner, «Wear and Its Effects in Centrifugal Pumps,» *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences,* cilt 3, no. 29, pp. 569-582, 2019.

[60] J. Richardson, Corrosion in Alkalis, 10.1016/B978-044452787-5.00195-5. , 2010.

[61] L. &. M. Y. &. K. R. Veleva, «Atmospheric Corrosion,» %1 içinde *Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection*, ASM International, 2003, pp. 196-209.

[62] B. &. L. J. Little, «Microbiologically Influenced Corrosion,» %1 içinde *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 10.1002/0471238961.micrlitt.a01, 2009, pp. 1-42.

[63] C. &. Z. Q. &. Z. X. &. Y. Y. Lin, «Cavitation Erosion of Metallic Materials,» *International journal of georesources and environment,* cilt 10.15273/ijge.2018.01.001. , no. 4, pp. 1-8, 2018.

[64] X. &. W. Y. &. D. Q. &. J. W. &. S. F. &. L. R. Yan, «Research progress on factors affecting oxygen corrosion and countermeasures in oilfield development,» %1 içinde *E3S Web of Conferences*, 2019.

[65] L. S. M. Z. a. C. W. Zhonghua Yang, «Factors Influencing the CO2 Corrosion Pattern of Oil–Water Mixed Transmission Pipeline during High Water Content Period,» *Atmosphere,* cilt 13, no. 10, 2022.

[66] M. C. a. P. Cristiani, «Experiences Of On-Line Monitoring Of Microbial Corrosion And Antifouling On Copper Alloys Condenser Tubes,» %1 içinde *International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning*, Milan, 2011.

[67] J. &. M. J.-D. &. S. P. &. P. L. Charles, «The ferritic stainless family: The appropriate answer to nickel volatility,» *Revue de Métallurgie,* cilt 106, no. 3, pp. 124-139, 2009.

[68] Evapco, «White Rust,» 1 2002. [Çevrimiçi]. Available: http://www.infrastructure.alberta.ca/Content/docType306/Production/Technical%20Presentation%2031%20White%20Rust.pdf. [Erişildi: 2022 8 11].

[69] A. &. A. J. &. M. M. Hossen, «Advantages of Ozone Disinfection Method for Water Purification over Chlorine Disinfection-a review.,» %1 içinde *International Conference on Science and Technology*, 2022.

[70] «Chlorine Solution vs Aqueous Ozone: The Debate in Professional Sanitation,» BES Group, 13 10 2020. [Çevrimiçi]. Available:

https://www.besgroups.com/en/2020/10/13/chlorine-solution-vs-ozonated-water-%E2%80%A8%E2%80%A8the-debate-in-professional-sanitation/. [Erişildi: 19 8 2022].

[71] J. M. Donohue, «Water Conditioning, Industrial,» %1 içinde *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)*, Academic Press, 2003, pp. 671-697.

[72] J. Svara, N. Weferling ve T. Hofmann, «Phosphorus Compounds, Organic,» %1 içinde *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Weinheim, 2008.

[73] J. S. Z. &. X. Y. Huang, «The Evolution of Microbial Phosphonate Degradative Pathways,» *Journal of Molecular Evolution,* no. 61, p. 682–690, 2005.

[74] B. Nowack, «Environmental Chemistry of Phosphonates,» *Water Research,* cilt 37, no. 11, pp. 2533-2546, 2003.

[75] M. R. W. Walter K. Dodds, «Nitrogen, Sulfur, Phosphorus, and Other Nutrients,» %1 içinde *Freshwater Ecology (Third Edition)*, Academic Press, 2020, pp. 395-424.

[76] New Jersey Department of Environmental Protection, «Technical Manual for Phosphorus Evaluations,» 8 2008. [Çevrimiçi]. Available: https://www.nj.gov/dep/dwq/pdf/p-manual-07-30-08.pdf. [Erişildi: 22 8 2022].

[77] O. &. C. T. &. S.-J. K. Pedersen, «Underwater Photosynthesis of Submerged Plants – Recent Advances and Methods,» *Frontiers in plant science.,* no. 4, 2013.

# TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

## Konferans Bildirileri

1. M. Türkmenoğlu, E. Yılmaz «Su Hazırlama Havuzlar Ve Endüstri İçin Uygulamaları» *9. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi (UBCAK)* p. 126-134*,* 2022