

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AÇIK DEVRE MEKANİK TESİSATLARDA
KOROZYON OLUŞUMU ve KONTROLÜ**

Makine Müh. Metin MERMER

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Olcay KINCAI

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTIMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KOROZYON	2
2.1 Korozyon Hızı	2
2.2 Korozyon Çeşitleri	3
2.2.1 Korozyon Mekanizmasına Göre Korozyon Türleri	3
2.2.1.1 Fiziksel Korozyon	3
2.2.1.2 Kimyasal Korozyon	3
2.2.1.3 Elektro-kimyasal Korozyon	3
2.2.2 Korozyona Uğrayan Yüzeyin Görünümüne Göre Korozyon Türleri	4
2.2.2.1 Homojen Dağılımlı Korozyon	4
2.2.2.2 Çukurcuk Korozyonu	5
2.2.2.3 Seçici Korozyon	5
2.2.2.4 Aralık Korozyonu	6
2.2.2.5 Tane İçi Korozyon	6
2.2.2.6 Kaplama Altı (Tabakalaşma) Korozyonu	6
2.2.2.7 Taneler Arası Korozyon	6
2.2.2.8 Galvanik Korozyon	7
2.2.2.9 Kazımalı Korozyon	7
2.3 Mekanik Zorlamalı Korozyon Türleri	8
2.3.1.1 Hidrojen Gevrekliği	8
2.3.1.2 Gerilmeli Korozyon	9
2.3.1.3 Yorulmalı Korozyon	9
2.3.1.4 Erozyon Korozyonu	9
2.3.1.5 Kavitasyon	9

3.	SUYUN KOROZİF YAPISI	10
3.1	pH Değerinin Su Korozyonuna Etkisi	12
3.2	Akma Hızının Su Korozyonuna Etkisi	12
3.3	Diğer Etkenler.....	13
4.	SULARIN SINIFLANDIRILMASI	14
4.1	İçme Sularının Özellikleri.....	14
4.1.1	Sudaki Potansiyel Hidrojen (pH).....	15
4.1.2	Suyun Rengi	15
4.1.3	Bulanıklık	16
4.1.4	Elektriksel İletkenlik.....	16
4.1.5	Tat ve Koku	16
5.	İÇME SUYU TESİSATLARINDA KOROZYON OLUŞUMU	18
5.1	İçme Suyu Tesisatlarında Korozyon İndeksleri.....	20
6.	İÇME SUYU TESİSATLARINDA KOROZYON OLUŞUMUNU ÖNLEMEK AMACIYLA YAPILMASI GEREKENLER.....	21
6.1	Doğru Projelendirme Esasları.....	21
6.2	Tesisata Uygun Malzeme Seçimi	25
6.3	İşletme Esnasında Alınabilecek Önlemler	25
7.	SU SOĞUTMA SİSTEMLERİ	27
7.1	Soğutma Kulesi Tipleri.....	27
7.1.1	Buharlaştırmalı Kuleler	27
7.1.1.1	Doğal Çekişli Kuleler	27
7.1.1.2	Cebri Çekişli Kuleler	28
7.1.2	Kuru Tip Soğutma Kuleleri	28
7.2	Soğutma Kulelerinin Bileşenleri.....	29
7.2.1	Havuz ve Soğuk Su Kaynağı	29
7.2.2	Kafesler.....	29
7.2.3	Dolgu	30
7.2.4	Sapma Önleyiciler	30
7.2.5	Su Dağıtımı ve Fan Muhafazası	30
7.2.6	Hücre.....	30
7.3	Su Soğutma Kulesi Hesaplamaları	31
7.3.1	Soğutma Kulesi Çalışma Esasları.....	31
7.3.2	Su Soğutma Kulesi İşletme Esasları	34
7.3.3	Derişim Çevrimi (COC)	34
7.3.4	Boşaltım, Buharlaşma, İlave Su ve COC Arasındaki İlişki.....	34
7.4	Su Soğutma Kulelerinde Meydana Gelebilecek Problemler	35
7.4.1	Yaygın Su Soğutma Sistemi Problemleri	35
7.4.2	Lejyoner Hastalığı	37

7.4.3	Madde Birikimi ve Kontrol	38
7.4.4	Kabuklanma	38
7.4.5	Kabuklanma Potansiyelinin Hesaplanması	38
7.4.6	Kalsiyum Karbonat Kabuklanma	39
7.4.7	Kalsiyum Fosfat Kabuklanma	39
7.4.8	Kalsiyum Sülfat Kabuklanma	39
7.4.9	Silisyum Kabuklanma	39
7.4.10	Kontrol İşlemleri İçin COC Hesaplanması	40
7.4.11	Kalsiyum Karbonat Kabuklanma İndeksi	41
7.4.12	Langelier ve Ryznar İndeksleri	41
7.4.13	Pratik (Puckorius) Kabuklanma İndeksi (PSI)	42
7.4.14	Soğutma Suyu Tortu Oluşumu	42
7.4.15	Soğutma Sistemlerinde Paslanma	42
7.4.16	Paslanma Oranı	46
7.5	Soğutma Suyu Tesisatlarında Kontrol Yöntemleri	48
7.5.1	Kabuklanma Kontrol Yöntemleri	48
7.5.1.1	Çözünebilir Kimyasallar Kullanılarak Kalsiyum Karbonat Kabuklanma Kontrolü	49
7.5.1.2	Çözünebilir Polimer Kullanılarak Kalsiyum Karbonat Kabuklanma Kontrolü	50
7.5.1.3	Sulu Çamur Halinde Polimer Kullanılarak Kalsiyum Karbonat Kabuklanma Kontrolü	50
7.5.1.4	Çözünebilir İnhibitör Kullanılarak Kalsiyum Fosfat Kabuklanma Kontrolü	51
7.5.1.5	Çözünebilir İnhibitör Kullanılarak Kalsiyum Sülfat Kabuklanma Kontrolü	51
7.5.1.6	Magnezyum Silikat Kabuklanma Kontrolü	51
7.5.1.7	Silisyum Kabuklanma Kontrolü	52
7.5.2	Tortu Oluşumu Kontrolü	52
7.5.3	Mikrobiyolojik Kontrol	53
7.5.4	Makrobiyolojik Kontrol	58
7.5.5	Paslanma Kontrolü Yöntemleri	58
7.5.6	Etkili Korozyon Kontrolü	59
8.	İSTANBUL'DA BİR YAPININ AÇIK SOĞUTMA KULESİ DEVRESİNDEKİ KOROZYON KORUMA PROGRAMININ İNCELENMESİ	63
8.1	Korozyon Koruma Programının Amacı	63
8.2	Uygulama Yapılan Mahalin Özellikleri	63
8.3	Koruma Programında Kullanılan Kimyasalın Özellikleri	65
8.4	Uygulama İçin Kontrol Kriterleri	65
8.5	Yapılan Analizlerin Yorumlanması	68
8.5.1	COC	69
8.5.2	Sertlik ile COC Arasındaki İlişki	69
8.5.3	İletkenlik ile COC Arasındaki İlişki	70
8.5.4	Kule Suyu SiO ₂ Analizi	71
8.5.5	Korozyon ile Koruma Kimyasalı Arasındaki İlişki	72
9.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
	KAYNAKLAR	75

ÖZGEÇMİŞ.....	77
---------------	----

SİMGE LİSTESİ

A	Toplam alkalinite	[mgCaCO ₃ /l]
B	Boşalan su miktarı	[m ³ /h]
C	Konsantrasyon döngüsü	
H	Sertlik	[mgCaCO ₃ /l]
h	Entalpi	[kJ/kg]
h _h	Havanın entalpisi	[kJ/kg]
DO	Oksijen doygunluğu	
E	Buharlaşan su miktarı	[m ³ /h]
k _m	Bağıl nem sabiti	
K _{so}	Çözünürlük katsayısı	
L	Kuleye giren suyun debisi	[m ³ /h]
G	Kuleye giren havanın debisi	[m ³ /h]
mpy	Korozyon hızı	[mm/yıl]
\dot{m}	Kütlesel debi	[kg/s]
M	İlave su miktarı	[m ³ /h]
M _{Ca}	İlave sudaki kalsiyum miktarı	[ppm CaCO ₃]
M _{Si}	İlave sudaki silisyum miktarı	[ppm]
Q	Soğutma kulesi pompa debisi	[m ³ /h]
R	Soğutma farkı	[°C]
TA	İlave sudaki toplam alkalinite	[ppm CaCO ₃]
t _{f1}	Yaş termometre sıcaklığı	[°C]
t _{w1}	Soğutma kulesinden çıkan suyun sıcaklığı	[°C]

t_{w2}	Soğutma kulesine giren suyun sıcaklığı	[°C]
W	Rüzgar nedeniyle buharlaşan suyun miktarı	[m ³ /h]
w	Özgül nem	[kgsb/kgkh]
\dot{W}	Birim zamanda yapılan iş	[kJ]
\dot{Q}	Birim zamandaki ısı alış-verişi	[kW]
$\Sigma H_{\text{ç}}$	Sistemden çıkan maddelerin toplam entalpisi	[kW]
ΣH_{g}	Sisteme giren maddelerin toplam entalpisi	[kW]

ALT İNDİSLER

a_1	Kuleye giren havanın entalpisi	[kJ/kg]
a_2	Kuleden çıkan havanın entalpisi	[kJ/kg]
w_1	Kuleden çıkan suyun entalpisi	[kJ/kg]
w_2	Kuleye giren suyun entalpisi	[kJ/kg]
b	Havanın kütleli debisi	[kg/s]
b_1	Kuleye giren su buharının kütleli debisi	[kg/s]
s	Kuleye giren ve kuleden çıkan suyun debisi	[kg/s]

KISALTMA LİSTESİ

AMP	Amino-3 (metilen) fosfonik asit
BZT	Benzotriazol
COC	Konsantrasyon döngüsü
ABS	Akronitril Bütadien Stiren
DIC	Çözünmüş Anorganik Karbondioksit
EPA	Çevresel Koruma Ajansı
GL	İçme Suyu İçin Tavsiye Edilebilir Birim
HEDP	Hydroksi Etiliden-Difosfonik Asit
İSS	İlave Su Sertliği
LSI	Langelier Doygunluk İndeksi
MAC	İzin Verilen Maksimum Konsantrasyon
MIC	Mikrobiyolojik Tesirli Çürüme
PBTC	Fosfonobütan-Trikarboksilik Asit
PSI	Pratik Kabuklanma İndeksi
RO	Ters Osmoz
RSI	Ryznar Kararlılık İndeksi
SS	Geçici Katılar
SASA	Sürekli Akışlı Sürekli Açık Sistem
TCU	İçme Suları İçin Renk Göstergesi
TDS	Çözünen Toplam Katı
TTA	Tolitriazol

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Homojen dağılımlı korozyon	5
Şekil 2.2 Çukurcuk korozyonu.	5
Şekil 2.3 Taneler arası korozyon	7
Şekil 2.4 7075-T6 alüminyumda taneler arası korozyon.....	7
Şekil 2.5 Galvanik korozyon	7
Şekil 2.6 Kazımalı korozyon.	8
Şekil 2.7 Gerilme çatlamaşı.....	9
Şekil 2.8 Gerilmeli korozyon	9
Şekil 3.1 Çeliklerde su korozyon hızının akma hızı ile değişimi	13
Şekil 6.1 İçme suyu sıcaklığını 25°C’de sabit tutmak için yapılan proje çizimi	23
Şekil 6.2 İçme suyu tesisatlarında durgun su kullanımını önlemek için yapılan proje çizimi .	24
Şekil 7.1 Tek fanlı cebri çekişli soğutma kulesi bileşenleri.	29
Şekil 7.2 Soğutma kulesi 1. kanun prensip şeması.....	31
Şekil 7.3 Soğutma kulesi entalpi-sıcaklık grafiği.....	33
Şekil 7.4 Soğutma suyu sistemlerinde meydana gelen paslanma tipleri.	43
Şekil 7.5 Halojen türler ile su pH’ı.....	54
Şekil 7.6 Suda bulunan korunmamış yumuşak çelikte pH değerinin paslanma oranına etkisi	59
Şekil 8.1 Tabaka oluşumu ve enerji kaybı arasındaki ilişki	63
Şekil 8.2 Capitol AVM.....	64
Şekil 8.3 Capitol AVM’deki dört numaralı su soğutma kulesi	64
Şekil 8.4 Capitol AVM’deki soğutma grubu akış şeması	66
Şekil 8.5 Capitol AVM’deki otomatik blöf sistemi.....	67
Şekil 8.6 Capitol AVM’deki otomatik blöf sistemi akış şeması	67
Şekil 8.7 Capitol AVM’deki otomatik dozaj sistemi	68
Şekil 8.8 Capitol AVM’deki otomatik dozaj sistemi akış şeması	68
Şekil 8.9 Kule suyu ve ilave su sertlik değeri ile COC arasındaki ilişki.....	69
Şekil 8.10 Sertlik yapışması tayini grafiği.....	70
Şekil 8.11 İletkenlik ile COC arasındaki ilişki grafiği	71
Şekil 8.12 SiO ₂ yapışması tayini grafiği	71
Şekil 8.13 Korozyon ile koruma kimyasalı arasındaki ilişki grafiği	72

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Bazı metallerin deniz suyu ortamındaki galvanik serisi.....	4
Çizelge 2.2 Demirin farklı metallerle kullanılmasında korozyon hızındaki değişimleri.....	8
Çizelge 3.1 Sıcaklık salınımlarına rağmen doyma endeksinin değişmediği bazitite ve pH sınırları	11
Çizelge 3.2 Çeliklerde bileşimin mekanik ve ısıl işlemlerin su korozyonuna etkisi.....	12
Çizelge 4.1 Türkiye için kabul edilen içme suyu özellikleri	17
Çizelge 5.1 Su kalitesi tahminlerinde kullanılan indeksler	20
Çizelge 7.1 Çalışma sıcaklıklarına göre bağıl nem değerleri	35
Çizelge 7.2 Su soğutma sistemlerinde bulunan metallerin ve alaşımların galvanik serisi	44
Çizelge 7.3 Su soğutma sistemlerinde paslanma oranının belirlenmesi için 90 günlük paslanma kuponu testi.....	46
Çizelge 7.4 Bakterilerin büyüme koşulları ve neden oldukları problemler.....	47
Çizelge 7.5 Kabuklanma kontrol yöntemi.....	49
Çizelge 7.6 Tortu oluşumu kontrolü.....	52
Çizelge 7.7 Oksitleyici biyosit etkinliği rehberi.....	53
Çizelge 7.8 Brom açığa çıkarıcı etkenler.....	55
Çizelge 7.9 Soğutma kuleleri için bakteri kontrolü rehberi.....	57
Çizelge 7.10 Korozyon önleyiciyi seçme kriterleri	59
Çizelge 7.11 Dinginleştirme filmi oluşumu ve sonraki koruyucu bakım için yönerge	60

ÖNSÖZ

Seçilen malzemenin ekonomik olmasının yanı sıra uzun ömürlü olması, artan hammadde maliyetleri nedeniyle, günümüzde gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Bu tez çalışmasında açık devre mekanik tesisatlarda malzeme ömrünü kısıtlayan korozyon kavramı ve korozyonun önüne geçilebilirliği ile sebep olduğu problemler konusunda çalışılmıştır.

Çalışma süresinde bana destek olan değerli hocam Prof. Dr. Olcay Kıncay'a, hayatım boyunca her konuda yardımını ve desteğini esirgemeyen aileme, tez aşamasında bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Kimya Yük. Müh. Haluk Ağustos'a, veri tabanı ve uygulama alanlarını kullanıma açtığı için Hydrosafe Aksem Kimya kuruluşunun tüm personeline, Capitol AVM tüm teknik ekibine ve bana bu süreçte yardımcı olan tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mak. Müh. Metin Mermer

ÖZET

Korozyon, malzemelerin kullanıldıkları ortam tarafından kimyasal saldırıya maruz kalması sonucu bozulması olarak tanımlanabilir. Yavaş ilerleyen bu kimyasal reaksiyon, çoğu kez sistemin verimi gözle görülür bir şekilde düşmedikçe farkına varılamaz. Meydana gelen bu verim düşmesi ülkelerin gayri safi milli gelirlerinin yüzde 5'i düzeyindedir. Bu sebeple, sistemlerin devreye alınmalarıyla birlikte korozyondan korunmaya yönelik çalışmalar da başlatılmalıdır.

Korozyonun varlığını hissettirdiği en önemli alanlardan biri mekanik tesisatlardır. Bilindiği gibi, mekanik tesisat denilince akla kullanım suları, sıhhi tesisatlar, ısıtma, klima sistemleri vb. gibi birçok alan gelmektedir. Bu çalışmada, açık devre mekanik tesisatlardaki korozyonun genel yapısı, suyun korozyonu, içme sularının genel özellikleri, içme sularında oluşan korozyon ve önlenmesi için alınması gereken önlemler, soğutma suları, soğutma kulelerinin genel yapıları ve oluşabilecek korozyon tipleri ve oluşan korozyonun kontrolü açıklanmaya çalışılmıştır.

Uygulama olarak, İstanbul'da bulunan Capitol AVM'deki 4 numaralı açık soğutma kulesi incelenmiştir. 2005-2009 tarihleri arasında korozyon koruma programı kapsamında ölçümler yapılarak denetlenen sistemden oluşturulan veri tabanı kullanılarak sertlik, toplam demir, silika miktarlarına bağlı olarak uygulanan korozyon koruma programı irdelenmiştir. Korozif etkiyi en aza indirebilmek için, sistemin devreye alınmasını takiben koruma programına başlanması ve oluşabilecek dalgalanmaların sürekli izleme yöntemiyle denetim altına alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, açık devre mekanik tesisatlar, kullanma suyu, suyun şartlandırılması.

ABSTRACT

Corrosion can be defined as the decomposition of materials that are exposed to chemical assault of their environment. This slowly developing reaction, cannot be determined unless the efficiency of the system decreased obviously. This reduction of efficiency is about 5 percent of the national incomes of the countries. Therefore, by taking the systems into processing, the studies conducted for protection against corrosion must be started. Mechanical installments are one of the important areas where corrosion can be seen. As known, mechanical installments include domestic water, sanitary installations, heating, air conditioning systems and other areas like these. In this study, the general structure of corrosion in open circuit mechanical installments, corrosion of water, general characteristics of domestic water, corrosion that appears in domestic water and the measures that must be taken to prevent it, cooling water, general structures of cooling towers and related corrosion types, and corrosion control are studied.

As an application, number 4 open cooling tower in İstanbul Capitol AVM was examined. The database formed making measurments during the conservation program in the context of corrosion between 2005-2009, was used and the conversation program applied with respect to toughness, total amount of iron metal, silica was studied. It was deduced that to minimize the corrosive effect, the conservation program should be started following the start-up of the system and the fluctuations should be kept under control with the method of continuous monitoring.

Keywords: Corrosion, open loop mechanic installments, domestic water, water treatment.

1. GİRİŞ

Korozyon, metalin içinde bulunduğu ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girerek metalik özelliklerini kaybetmesidir. Metallerin büyük bir kısmı su ve atmosfer etkisine dayanıklı olmayıp, normal şartlar altında bile korozyona uğrayabilir. Bütün metaller doğada mineral olarak buldukları hale dönüşmek eğilimindedir. Doğada mineraller, söz konusu metalin en düşük enerji taşıyan bileşiği yani en kararlı halinde bulunurlar. Bu mineraller özel metalürjik yöntemlerle ve enerji harcanarak metal haline getirilirler. Ancak metallerin çoğu, element halinde, termodinamik olarak kararlı değildir. Uygun bir ortamın bulunması halinde, üzerinde taşımış oldukları kimyasal enerjiyi geri vererek yeniden minimum enerji taşıyan kararlı bileşikler haline dönüşmek isterler. Bu sebeple korozyon olayı enerji açığa çıkararak kendiliğinden yürür. Bazı soy metaller hariç teknolojik öneme sahip bütün metal ve alaşımlar korozyona uğrayabilir.

Günümüzde korozyon kavramı önem kazanarak belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Etkin malzeme kullanılabilirliğini sürdürmek için bu oluşumu önleme, varsa durdurmaya yönelik çalışmalar her geçen gün hız kazanmaktadır.

Korozyon etkileri ilk olarak malzemenin ömrünü kısaltır gibi görülse de, sistem kalitesini bozarak sistemin verimini önemli ölçüde düşürür; oluşan bir takım reaksiyonlar insan sağlığını olumsuz yönde etkiler.

Korozyonu tanımlamak ve anlamak için yalnızca kimya bilgisine sahip olmak yeterli olmaz. Her ne kadar temelinde kimyasal bir reaksiyon olsa da korozyonu önlemek için mühendislik ve tasarım bilgisine ihtiyaç vardır. Çünkü, korozyonun önlenmesinde kimyasal olarak birtakım maddelerden yararlanılsa da daha tasarım aşamasında bazı çözümlerle bu oluşumun önüne geçilebilir.

Gelişen teknolojinin getirdiği bazı yeniliklerle ve çözümlerle bu oluşum mekanik tesisatlarda minimum seviyeye getirilebilmekte hatta daha başlangıç aşamasında önlenmektedir. Uygun tasarımlar, etkin ve uyumlu malzeme kullanımı, işletim esnasında alınabilecek önlemler ile bu mümkün olmaktadır. Mekanik tesisatlarda kullanılan malzemeler genel anlamda demir ve demir esaslı olup bunlarda oluşan korozyon türleri incelenmiş ve içme suyu tesisatlarında, soğutma kulelerinde meydana gelen korozyon türleri açıklanmıştır. Bu oluşan korozyon türlerine göre alınabilecek önlemler hakkında bir çalışma yapılmıştır.

2. KOROZYON

Geleneksel anlamda korozyon, metal ve alaşımlarının çevreleri ile kimyasal ve elektro-kimyasal reaksiyonları sonucu bozunmalarını tanımlamak için kullanılan deyimdir. Ancak yeni bulgular metal olmayan malzemelerin de çevresel koşullardan benzer biçimde etkilendiklerini ortaya koymaktadır.

Korozyon süreci karmaşık bir elektro-kimyasal reaksiyondur. Sistem üzerindeki işletme yükü ve stresi, pH koşulları ve ortamın kimyasal kompozisyonu korozyon oluşumunda önemli bir etkiye sahiptir. Çelik, alüminyum, bakır malzeme ve alaşımlarından oluşan mekanik tesisat boru ve donanımları, O₂ ve suyun bulunduğu her ortamda korozyona uğrar. Kapalı devre mekanik ısıtma-soğutma tesisatlarında, tasarım ölçütleri, su akış hızı, pH, metallerin metalürjik özellikleri, sıcaklık, basınç ve tesisattaki suyun kimyasal içeriği gibi koşullara bağlı olarak korozyon hızı değişmektedir. Korozyonla birlikte bakteri üremesi olasılığı da oldukça yüksektir (Kıncay vd., 2008).

Korozyon elektrokimyasal bir reaksiyondur. Bir reaksiyonun elektrokimyasal yoldan yürüyebilmesi için;

- Potansiyel farkı bulunmalı
- Yük transferi reaksiyonu olmalı
- Sürekli bir akım iletim yolu bulunmalıdır.

2.1 Korozyon Hızı

Korozyon hızı, metalin birim zamandaki çözünme miktarıdır. Bölgesel korozyon söz konusu olduğu sistemlerde korozyon hızı, korozyonun derinlemesine ilerleme hızı biçiminde verilebilir.

- **Doğrusal korozyon hızı**

- < 0,13 mm/yıl: Bu gruptaki metallerin korozyon dayanımları genelde iyidir.
- 0,15-1,3 mm/yıl: Yüksek korozyon hızlarına izin verilen durumlarda bu gruba giren metallerin korozyon dayanımları yeterli olabilir.
- > 1,3 mm/yıl: Bu gruptaki metallerin korozyon dayanımları yetersizdir.

2.2 Korozyon Çeşitleri

Korozyon; korozyon mekanizmasına, korozyon ortamın türüne ve korozyona uğrayan malzemenin görünümüne göre sınıflandırılabilir (Kıncay vd., 2008).

2.2.1 Korozyon Mekanizmasına Göre Korozyon Türleri

2.2.1.1 Fiziksel Korozyon

Organik sıvılar ve ergimiş metallerin neden olduğu korozyon türüdür. Korozyon, doğrudan fiziksel çözünme ve katı hal değişimi ile gerçekleşmektedir. Cıva veya ergimiş alüminyumun metal malzeme yüzeyinde korozyona neden olması fiziksel korozyona örnek olarak gösterilebilir.

2.2.1.2 Kimyasal Korozyon

Bir metal arada her hangi bir aracı olmadan, kimyasal bileşikler meydana getirerek aşırırsa buna kimyasal korozyon denir. Kimyasal korozyonun meydana gelebilmesi için yüksek sıcaklıklara gereksinim vardır. Bu nedenle kimyasal korozyon, iş parçalarının dövülmesi, tavlama ya da sertleştirilmesi sırasında oluşur. Etkilerini metal yüzeyinden kabuk halinde parçalar kalkmasıyla gösterir.

2.2.1.3 Elektro-kimyasal Korozyon

Elektro-kimyasal korozyon metallerin elektrik akımı ile aşınması olayıdır. Ancak korozyonun meydana gelmesi için tek başına elektrik akımının olması yeterli değildir. Elektro- kimyasal korozyonun meydana gelebilmesi için bir elektrolit, bir de iletken malzeme olması gereklidir. Elektrolit iyonlarına ayrılabilen asit, baz ve tuzların sudaki eriyikleridir. Bu nedenle iyon içeren sulu çözeltilere elektrolit adı verilir. Esas olarak sulu çözeltiler için kullanılan elektrolit terimi kapsamına zemin, beton vb. rutubet içeren bazı malzemeler de girer. Bu yüzden metaller zemin, beton gibi malzeme içinde de korozyona uğrayabilir. İletken malzeme ise çoğunlukla korozyona uğrayan malzemedir.

Elektro-kimyasal korozyonda gerilimlerin (potansiyel) sıralamasını gösteren galvanik seri çok önemlidir. Çizelge 2.1'de bazı metallerin deniz suyu ortamındaki galvanik seri değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 Bazı metallerin deniz suyu ortamındaki galvanik serisi

Malzeme	Reaksiyon		Std. Elektrot Potansiyeli [V]
Lityum	Li^+	$+e \Leftrightarrow \text{Li}$	- 3,03
Potasyum	K^+	$+e \Leftrightarrow \text{K}$	- 2,93
Sodyum	Na^+	$+e \Leftrightarrow \text{Na}$	- 2,71
Magnezyum	Mg^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Mg}$	- 2,37
Alüminyum	Al^{+++}	$+3e \Leftrightarrow \text{Al}$	- 1,66
Çinko	Zn^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Zn}$	- 0,76
Krom	Cr^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Cr}$	- 0,74
Demir	Fe^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Fe}$	- 0,44
Kadmiyum	Cd^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Cd}$	- 0,40
Nikel	Ni^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Ni}$	- 0,23
Kalay	Sn^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Sn}$	- 0,14
Kurşun	Pb^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Pb}$	- 0,12
Hidrojen	2H^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{H}_2$	0,00
Bakır	Cu^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Cu}$	+ 0,34
Cıva	Hg^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Hg}$	+ 0,79
Gümüş	Ag^+	$+e \Leftrightarrow \text{Ag}$	+ 0,80
Platin	Pt^{++}	$+2e \Leftrightarrow \text{Pt}$	+ 1,20
Altın	Au^{+++}	$+3e \Leftrightarrow \text{Au}$	+ 1,45

2.2.2 Korozyona Uğrayan Yüzeyin Görünümüne Göre Korozyon Türleri

2.2.2.1 Homojen Dağılımlı Korozyon

En yaygın kullanılan korozyon türüdür. Uzun süreler için hesaplanan ortalama korozyon hızlarının her yerde aynı olduğu kabul edilebilir. Eşit dağılımın başlıca kaynağı anodik ve katodik çevrelerin sürekli olarak yer değiştirmeleridir. Homojen dağılımlı korozyonun yararlı bir işlem olarak değerlendirildiği hallerde vardır. Örneğin, sıcak haddeleme sonucu çeliğin yüzeyini kaplayan oksit tabakalarının uzaklaştırılmasında yararlanılan yol bu tür korozyon koşulunun gerçekleştirildiği kimyasal işlemlerdir.

En yaygın korozyon türü olarak, homojen dağılımlı korozyonun yol açtığı metal kaybı diğer korozyon türlerine oranla yüksektir. Buna karşın en az korkulan korozyon türü olduğunu belirtmek gerekir. Çünkü homojen dağılımlı korozyonun hızı basit laboratuvar deneyleri ile saptanabilir. Böylece saldırgan ortamlara terk edilen parça ve yapıların ömrüne ilişkin tutarlı tahminlere ulaşmak mümkün olur. Şekil 2.1’de homojen dağılımlı korozyon gösterilmiştir (Kıncay vd., 2008).



Şekil 2.1 Homojen dağılımlı korozyon.

2.2.2.2 Çukurcuk Korozyonu

Pasifleşebilen metaller ile halojen iyonu içeren ortamlarda sıkça rastlanır. Malzeme kaybı az, ancak boru kesitine dik ve hızlı ilerleyen korozyon türüdür. Korozyonun çok dar bölgelerde yoğunlaşması sonucu malzeme yüzeyinde oluşan çukurcukların morfolojisi (Şekil 2.2), metal veya alaşımın cinsine göre değişmektedir. Çoğunlukla, metal yapı delindikten sonra korozyon oluşumu fark edilmektedir. Al alaşım, paslanmaz ve çelik çekme boru kesitindeki akış hızlarının azaldığı bölgelerde yaygın görülmektedir. Metal yüzeyindeki süreksizlikler ve mekanik hasarlar ayrıca korozyonu hızlandıran etkenlerdir. NaCl, CaCl₂, MgCl₂, AlCl₃, NaBr ve FeCl₃, CuCl₂ gibi oksitleyici metal iyon klorürlerini içeren ortamlar pH’ın etkisi ile çukurcuk korozyonu hızlandırmaktadır [1].



Şekil 2.2 Çukurcuk korozyonu.

2.2.2.3 Seçici Korozyon

İlke olarak, elektro-kimyasal gerilim dizisinde birbirinden çok uzak metallere imal edilen

alaşımlar seçici korozyona uğramaktadır. Seçici korozyonun bozucu etkisi malzemenin uğradığı mukavemet kaybıdır. Korozyonun etkili olduğu bölgelerde çekme mukavemetinin sıfıra indiği kabul edilmektedir. Büyük ölçüde mukavemet kaybına uğrayan parçaların dış görünümünde renk değişimi dışında korozyona ait emareler görülmektedir. Pirinç malzemelerde ve lamel grafitli dökme demirlerde sıkça rastlanılan bu korozyon türü, alaşımdaki belirli bir metalin veya fazın öncelikli çözünmesi sonucu oluşur. Zn miktarı %15'den fazla olan pirinç (Cu-Zn) alaşımında seçici korozyon daha hızlı oluşmaktadır. Zn çözünmesi ile meydana gelen seçici korozyon sonucunda geriye kalan bakır malzemesi pirincin sarı rengini kırmızı renk olarak değiştirmektedir. Pirinçlerdeki çinkonun ayrılıp buharlaşması, bakır alüminyum alaşımlarında alüminyumun ayrılması, dökme demirlerde demirin çözünmesi gibi.

2.2.2.4 Aralık Korozyonu

Cıvata ve perçin gibi birleştirmelerden dolayı oluşan veya kaplamaların altında kalan dar aralıkta oluşan bir korozyon türüdür. Bu tür dar aralıklar içerisinde durgun çözelti bulduran yerlerdir. Bu bölgelere oksijen difüzyonu zordur. Metaller üzerinde biriken kir ve birikintilerin altında da bu tür korozyona rastlamak mümkündür. Bazı makine parçalarında montaj esnasında yok edilemeyen bu bölgeler aralık korozyonu için en uygun ortamlardır ve korozyon oluşumu bu bölgelerden başlar. Aralık genişledikçe korozyon etkenliğini kaybeder ve genişliğin birkaç milimetreden fazla olduğu bölgelerde bu korozyon türü nadiren görülür.

2.2.2.5 Tane İçi Korozyon

Genellikle yük altında çalışan parçalarda görülen tane içi korozyonda; tane içi anot, tane sınırı ise katot görevi üstlenmektedir.

2.2.2.6 Kaplama Altı (Tabakalaşma) Korozyonu

Endüstride ve deniz ortamlarında Al ile alaşımlarında sıkça görülmektedir. İki metal tabakası arasındaki nem sonucu tabakaların birbirinden ayrılması şeklinde ortaya çıkmakta ve oluşan hasar, haddeleme yönünde uzanan tane sınırlarında meydana gelmektedir.

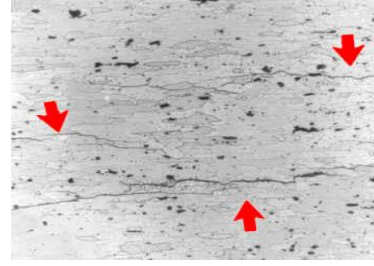
2.2.2.7 Taneler Arası Korozyon

Tane sınırlarının amorf yapıda olması dolayısıyla tane sınırlarının potansiyel farkı içine göre daha büyük olduğundan, daha soy yapıda olan tane içi korunur ve tane sınırı korozyona uğrar. Östenitik paslanmaz çeliklerde görülen krom karbür çökmesi bu korozyon türüne örnek

olarak gösterilebilir. Şekil 2.3 ve 2.4'te taneler arası korozyon örneği verilmiştir [2].



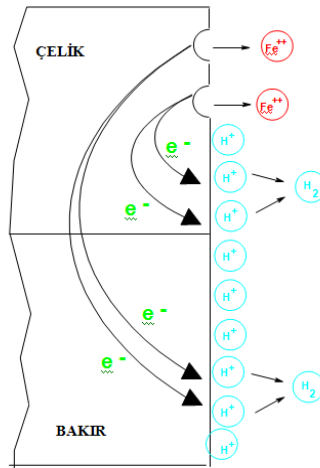
Şekil 2.3 Taneler arası korozyon.



Şekil 2.4 7075-T6 alüminyumda taneler arası korozyon (resim genişliği 500 μm).

2.2.2.8 Galvanik Korozyon

Elektrolitik sıvı ortamında, elektrik potansiyelleri farklı iki metal veya alaşımlarda ortaya çıkmaktadır. Malzemelerden daha soy olanı katot, diğeri ise anot olarak davranmakta ve anot olarak davranan malzeme korozyona uğramaktadır (Şekil 2.5). Malzemelerin galvanik seriye göre seçmek ve aralarında iyi bir yalıtım yapmak, bu korozyon türünün önlenmesi için en etkili yöntem olarak bilinmektedir. Korozyona uğrayacak kısımlar diğerkısımlara oranla et kalınlığı daha fazla yapılmakta ve bu kısımların gerektiğinde kolay değiştirilmesine olanak sağlayacak tasarımlar yapılmaktadır (Görenler, 2007).



Şekil 2.5 Galvanik korozyon.

2.2.2.9 Kazımalı Korozyon

Yeterli yük altında birbirleri üzerinde ileri geri hareket eden metal yüzeylerde görülen bozunma türüdür. Metallerin birbirine sürtmesi sonucunda ortama giren O_2 , korozyon oluşumuna sebep olmaktadır. Şekil 2.6'da da görüldüğü gibi bozunan yüzeylerin görünümü

çok sayıda oksit parçaları ile çevrelenmiş çukurcuklardan oluşmaktadır. Oluşan oksit parçacıklar ara yüzeyden uzaklaştırması mümkün olmamaktadır. Çizelge 2.2’de demirin farklı metallerle kullanılmasında korozyon hızındaki değişimler gösterilmiştir (Kıncay vd., 2008).



Şekil 2.6 Kazımalı korozyon.

Çizelge 2.2 Demirin farklı metallerle kullanılmasında korozyon hızındaki değişimleri (ortam: %1 NaCl)

Eşlenen Metal	Ağırlık Kaybı [mg / hafta]
Magnezyum	0,0
Çinko	0,4
Kadmiyum	0,4
Alüminyum	9,8
Antimon	153,1
Wolfram	176,0
Kurşun	183,2
Kalay	171,1
Nikel	181,1
Bakır	18

2.3 Mekanik Zorlamalı Korozyon Türleri

2.3.1.1 Hidrojen Gevrekliği

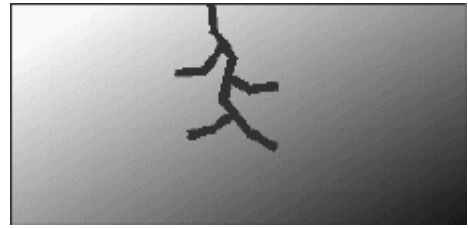
Hacim merkezli kübik kafes yapısına sahip olan metallerde daha sık meydana gelmektedir. Petrol ve kimya endüstrisinde sıklıkla görülmektedir. Katot reaksiyonu sonucu oluşan hidrojen malzeme içerisinde basınç bölgeleri oluşturmakta ve iç gerilmelere ve çatlaklara yol açmaktadır (Görenler, 2007).

2.3.1.2 Gerilmeli Korozyon

NH_3 , SO_2 içeren endüstri ve deniz ortamında, yapısında mikro çatlak içeren ve gerilme altında çalışan parçalarda görülmektedir. Gerilme ile korozif etkenlerin azaltılması ve malzeme seçimi korozyon hızı düşürülebilmektedir. Yüksek basınçlı kaplar, buhar kazanları, içten yanmalı motor silindir gömlekleri, pompa mili ve rotor gibi mekanik yapılarda görülmektedir (Şekil 2.7 ve 2.8).



Şekil 2.7 Gerilme çatlaması.



Şekil 2.8 Gerilmeli korozyon.

2.3.1.3 Yorulmalı Korozyon

Dinamik yük altında çalışan malzemelerde görülen tane içi bir korozyon türüdür. Dinamik yükler altından çalışan malzemeler, yorulma nedeniyle dayanabilecekleri gerilmeden daha küçük gerilmelerin etkisi altında çatlayabilirler .

Yorulma kırılması, gevrekler ve gerilmeli korozyonda olduğu gibi çatlaklar genellikle transgranular olmasına karşın dallanma biçiminde değildir (Yüksek, 2005).

2.3.1.4 Erozyon Korozyonu

Metal malzeme ile ortam akışkanı arasındaki bağıl hızın yüksek olduğu durumlarda oluşan korozyon türüdür. Özellikle akmakta olan sıvının yön değiştirdiği noktalarda, boru hatlarında, dirseklerde, pompalarda sıklıkla görülen korozyon türüdür. Aşındırıcı etki nedeni ile metal çözünmesi/kaybı artmaktadır.

2.3.1.5 Kavitasyon

Sıvı içinde malzeme yüzeyine yakın yerlerde oluşan korozyon türüdür. Akış esnasında bazı noktadaki basınç değişimi nedeniyle su buhar kabarcıkları oluşmakta ve kabarcıklar, yüzeyin pürüzlü bir noktasına temas ettiğinde patlayarak, malzemede hasar oluşturmaktadır.

3. SUYUN KOROZİF YAPISI

Suların korozyon etkenliğini belirleyen etmenler öncelikle, su içinde çözülmüş oksijen miktarı ile karbonik asit, kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonat miktarlarıdır. Bunların dışındaki çözülmüş maddelerin etkileri ihmal edilebilir. Kalsiyum ve magnezyum karbonatı büyük miktarda içeren sular sert diğerleri ise yumuşak olarak tanımlanırlar. Yumuşak sular sert sulara oranla daha saldırgandır. Bunun nedeni karbonatlarla aşırı doymuş sularda öncelikle kalsiyum karbonatın ayrışarak metal yüzeyinde ince bir tabaka oluşturmasıdır. Bu tabaka elektronların geçişine izin vermediğinden metalle ortam arasında etken bir engeldir ve oluştuğu yerlerde korozyon olayı son bulur. Suların korozyona yol açıp açmayacakları ilk aşamada doyma endeksi ile belirlenir.

Doyma endeksi: $pH(\text{gerçek}) - pH_s$

pH (gerçek), suyun bilinen usullerle ölçülerek bulunan pH değeridir. Doyma pH değeri olarak adlandırılan pH_s suyun kalsiyum karbonatla denge halini tanımlayan bir büyüklüktür. Suyun pH değerinin pH_s değerini aşması ile (pozitif doyma endeksi) bu denge kalsiyum karbonatın katı bir faz halinde ayrışması yönünde bozular. Aksi halde (negatif doyma endeksi) suyun içerdiği tüm kalsiyum karbonat çözünerek sıvı faza geçmiş olur (Doruk, 1982b).

Doyma endeksinin yukarıda bahsedilen yöntemlerle bulunabilmesi ancak laboratuvar analizlerini gerektirmektedir. Suyun saldırganlığı hakkındaki kabaca bilgi ise şu yöntemle edinilebilir. Suyun pH değeri ölçülür, suya toz halinde kalsiyum karbonat ilave edilir ve doyma durumunu sağlamak için bir süre beklenir, pH değeri yeniden ölçüldüğünde artma görülürse suyun saldırgan olduğu sonucuna varılır. Bu yöntemde son olarak ölçülen pH değerinin doyma pH değerine (pH_s) eşit olması beklenemez. Bunun nedeni işlem sırasında kalsiyum karbonat miktarının değişmesidir. Kalsiyum karbonatla işlemden önce ve sonra suyun asitle titrasyonunda harcanan çözelti miktarları arasındaki fark doyma endeksi için daha iyi bir göstergedir. Metallerin su korozyonuna karşı korunmalarının önemli koşulu homojen yapı ve boşluksuz bir kalsiyum karbonat tabakasının metal yüzeyinde oluşabilmesidir. Bu doyma endeksinin pozitif fakat çok yüksek olmaması ile sağlanır. Doyma endeksi için kabul edilen en uygun değer +0,5' tir. Bu değer aşıldığı sularda, özellikle yüksek sıcaklıklarda, kalsiyum karbonat ayrışımı çok hızlı olacağından metal yüzeyinde oluşan tabaka korozyona karşı etken bir engel olma özelliğini kaybeder. Sıcaklığı sürekli değişen sistemler bu açıdan ayrı bir önem taşırlar. Bazı araştırmaların sonuçlarına göre belirli pH değeri ve bazitite sınırları içinde kalmak kaydı ile doyma endeksi değişmemektedir. Çizelge 3.1'de sıcaklık

salınımlarına rağmen doyma endeksinin değişmediği bazitite ve pH değeri sınırlarını göstermektedir. Bu sınırlar içinde kalmak kaydı ile tabaka oluşumu arzulandığı gibi yavaş ve homojen olabilmektedir. Bazı ilavelerle (Ca(OH)_2 , Na_2CO_3 , NaOH , H_2SO_4 , CO_2 vb.) suyun bileşimini Çizelge 3.1’de verilenlere uygun hale getirmek mümkündür (Doruk, 1982b).

Çizelge 3.1 Sıcaklık salınımlarına rağmen doyma endeksinin değişmediği bazitite ve pH sınırları

Bazitite (ppm CaCO_3 olarak)	pH (Oda sıcaklığında ölçülen)
50	8,1 – 8,65
100	8,6 – 9,2
150	8,9 – 9,7
200	8,9 – 9,7

Sulardaki oksijen kalsiyum karbonat çökelimini dolaylı olarak etkiler. Oksijen reaksiyonunun olduğu bölgeler hidroksil iyonları bakımından zenginleşir ($\text{O}_2 + 2\text{H}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$). Bunun sonucu olarak su bazik özellik kazanır ve kalsiyum karbonat tabakası elektronların geçişine izin vermediğinden oksijen reaksiyonu ancak serbest yüzeylere kayarak oluşumunu sürdürür. Artan bazitite nedeni ile bu kısımlar da kalsiyum karbonat ile kaplanarak korozyon olayının yer alabildiği alanlar giderek küçülür. Yüzeyin tamamının kaplanması ile korozyon olayı durarak etkenliğini kaybeder. Ayrıca, oksijenin oluşturduğu demir oksitler (Fe(OH)_3) kalsiyum karbonat tabakasının bileşimine girerek yapısını sıklaştırır ve böylece korozyona karşı daha etken bir engel oluşmasına olanak sağlarlar. Bu koşul sayesinde ki, demir ve demir türünden malzemeleri koruyucu diğer önlemlere başvurmaksızın su temini ve iletiminde başarı ile kullanmak mümkün olabilmektedir. Sonuç olarak, doyma endeksi negatif olan sular korozyona yol açarlar. Korozyon hızı çözülmüş oksijen miktarı ile artar. Oksijen içermeyen sularda korozyon hızı pH değeri ile değişir. Nötr sularda (pH: 7) korozyon hızı ihmal edilebilir düzeydedir. Ancak düşen pH değeri ile artış gösterir. Doyma endeksi negatif olan suların saldırganlığını bazik özellikte ilavelerle (Ca(OH)_2 , Na_2CO_3 vb.) sınırlamak mümkündür. Başvurulabilecek diğer bir önlem, suların hava ile temas yüzeyini geniş tutarak karbondioksitin ayrışmasına olanak sağlamaktır. Bu suyun kaynağına kurulan kule ve benzeri yöntemlerle gerçekleştirilir.

3.1 pH Değerinin Su Korozyonuna Etkisi

Su tanımına giren ortamların pH değeri 4-10 arasında değişir. Havalandırılmış, yani çözülmüş oksijen içeren sularda korozyon hızının pH değeri ile değişmediği kabul edilebilir. Daha önce de açıklandığı gibi korozyon hızını belirleyen tek faktör su içinde çözülmüş oksijen miktarıdır. pH değerinin küçülmesine paralel olarak hidrojen reaksiyonu artan bir etkenlikle oksijen reaksiyonu yanında yer alır. pH değerinin üst sınır ötesine itilmesi ile pasifleşme başlar ve korozyon hızında azalma görülür.

Burada gözden kaçmaması gereken önemli bir ilişki su korozyonunun malzemenin iç yapısı ve bileşimine duyarlık göstermemesidir. Çünkü; korozyon hızı yalnızca suda içerilen oksijen miktarına bağlıdır. Bu nedenle malzeme özelliklerinin korozyon hızını önemli ölçüde etkilemesi beklenemez. Örneğin, Çizelge 3.2’de demir cinsinden olan farklı bileşim ve iç yapıya sahip malzemelerin sularda birbirlerine yakın hızlarla çözüldüklerini ortaya koymaktadır. O halde farklı usullerle imal edilen çelik ve dökme demir türlerini su korozyonuna karşı aynı başarı ile kullanmak mümkündür (Doruk, 1982a).

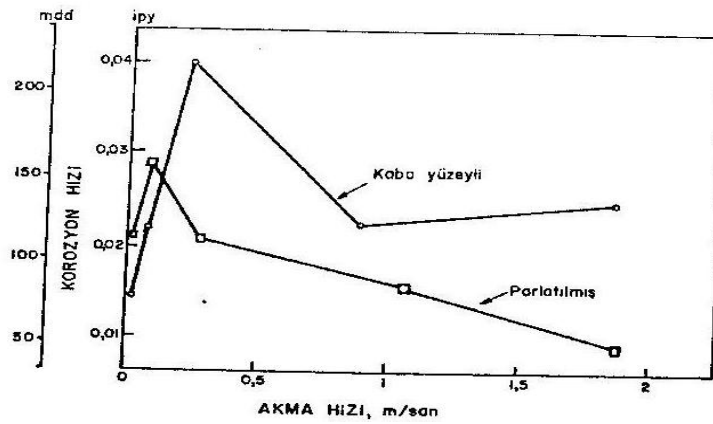
Çizelge 3.2 Çeliklerde bileşimin mekanik ve ısıl işlemlerin su korozyonuna etkisi

Karbon (%)	İşlemler	Ortam	Korozyon Hızı (mg/dm ² gün)
0,39	Soğuk çekilmiş 500°C’de tavllanmış	Damıtık Su, 65°C	19,8
0,39	900°C’de 20 dak. normalizasyon tavına terk edilmiş	Damıtık Su, 65°C	18,6
0,39	800°C’den hızla soğutulmuş 300-800°C arasında farklı sıcaklıkta tavllanmış	Damıtık Su, 65°C	18,1
0,05	-	% 3 NaCl, 25°C	7,67
0,32	-	% 3 NaCl, 25°C	8,77

3.2 Akma Hızının Su Korozyonuna Etkisi

Şekil 3.1, düşük karbonlu çeliklerde su korozyonunun akma hız ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Başlangıçtaki hız artışı ortamda çözülmüş oksijenin metal yüzeyine daha

çabuk ulaşması ile izah edilebilir. Ancak hızın belirli bir değeri aşması ile metal yüzeyine aktarılan oksijen miktarı metalin pasifleşmesine yetebilir. Pasifleşmenin gerçekleşmesi halinde artan akma hızına karşılık korozyon hızında azalma görülür. Pasifleşme için yeterli akma hızı metalin pasifleşme eğilimi yanında yüzey kabalığına ve suyun aralığına bağlıdır. Klor iyonunu bol miktarda içeren sularda (örneğin deniz suyu) pasifleşme gerçekleşmeyeceğinden artan akma hızına paralel olarak korozyon hızında sürekli artış görülür. Akma hızının yeterli değerlere ulaşması sonucu mekanik etkiler farklı şekillerde kendilerini hissettirirler. Bunun gözlemlerime yansıyış biçimi korozyon hızının yeniden artış göstermesidir.



Şekil 3.1 Çeliklerde su korozyon hızının akma hızı ile değişimi

3.3 Diğer Etkenler

Suda çözülmüş oksijenin metal yüzeyine ulaşma hızı sıcaklıkla artar. Bunun doğal sonucu korozyon hızının sıcaklıkla artmasıdır. Ancak 80°C'nin üstündeki sıcaklıklarda oksijen sudan ayrışarak korozyon hızının giderek düşmesine yol açar. Oksijenin ayrışmasına olanak vermeyen kapalı sistemlerde korozyon hızının sıcaklıkla artışı süreklidir.

Su içinde çözülmüş tuzlar bir yandan suyun oksijen çözünürlüğünü diğer yandan da elektrik iletkenliğini etkilerler. Bu iki faktör karmaşık bir biçimde suyun en etken olduğu tuz konsantrasyonunu belirler. Örneğin suya maksimum etkenlik kazandıran sodyum klorür konsantrasyonu %3 yakınındadır (deniz suyu bileşimi). Nötr olmayan tuzlar sulara asit veya bazik özellik kazandırarak korozyon hızını dolaylı olarak etkilerler (Doruk, 1982a).

4. SULARIN SINIFLANDIRILMASI

Sular kullanım amaçlarına ve kriterlerine göre sınıflandırılabilir. Ancak, kalite kriterleri kullanım amaçlarını da belirlediğinden kalite kriterlerinin suların sınıflandırılmasında esas alınması gerekir.

Buna göre sular,

- **Kullanım amaçlarına göre:**

- İçme suları
- Rekreasyon suları
- Şifalı özellikleri bulunan sular,
- Sulama suyu

- **Kaynaklarına göre:**

- Yüzeysel suları (dere, çay, nehir, göl, baraj vb.)
- Yeraltı suları

şeklinde incelenebilir.

4.1 İçme Sularının Özellikleri

İçme suları, genel olarak içme, yemek yapma, temizlik vb. amaçlar için kullanılan ve TS 266'daki koşullara uygun, toplumun içme ve kullanma gereksinimleri için kullanıldığı şehir şebekeleri, kuyu, çeşme ve yine aynı amaçlarla kullanılmak üzere teknik usullerle arıtılmış dere, nehir ve göl, baraj suları ile kaynak sularıdır. İçme suları berrak, tortusuz, renksiz olmalı, çürük, yosun, küf, H₂S, amonyak, bataklık vb. kokular bulunmamalıdır. Buna suyun organoleptik özellikleri de denilir.

Renksiz ve kokusuz bir madde olan suyun, lezzetini içerisinde eriyik halinde bulunan karbondioksit ve ısıyı vermektedir. Suyun içerisindeki karbondioksitin 300 mg/l'den az olmaması istenir. Suyun fazla bulanık olmasının kirlilik göstergesi olarak alınması gerekmektedir. Toplam katı madde miktarının litrede 500 mg'ı aşmaması gerekmektedir. Su normalde renksizdir ve suyun renginin 5 platin kobalt ünitesini aşması durumunda renk özelliğini yitirmesi nedeniyle içilebilir olarak kabul edilmemesi gerekmektedir. Çok bulanık

yüzeysel suları arıtım işleminden sonra özel çöktürme işlemlerine tabi tutularak içerisindeki asılı parçacıklarının ve bulanıklık nedenlerinin giderilmesi sağlanır. Toplam katı maddeler, renk, bulanıklık derecesi, tat, koku, demir, manganez, bakır, çinko, kalsiyum, magnezyum, sülfatlar suyun kirlilik göstergesi olarak alınmaktadır. Ayrıca sülfatlar, klorürler, fenolik gruplarda suyun kalitesini ve içilebilirliğini azaltan önemli kirlilik göstergeleri olarak ele alınmalıdır. Suyun pH değeri de önemli bir değerlendirme faktörüdür. pH ölçümü su değerlendirmesinde basit ve kolay uygulanabilir bir yöntem olarak oldukça yararlıdır. İçme suyunun tanımlanmasında aşağıda sayılan bazı özelliklerden söz edilebilir. Bu özellikler içme suyunu tanımlamadaki özelliklerdir (Küçükgül ve Özdağlar, 2004).

4.1.1 Sudaki Potansiyel Hidrojen (pH)

Su içindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunu 10 tabanına göre negatif logaritması pH değeri olarak tanımlanmaktadır. pH'ı 7 olan sular nötr sular olarak bilinir. Bunlarda H^+ ve OH^- iyonları denge halindedir. Bu tür suların asit ve alkali reaksiyonları yoktur. H^+ iyonu konsantrasyonunun artması ile pH'ın değeri 7'nin altına düşer ve su asit karakter kazanır.

OH^- iyonu konsantrasyonunun artması ile pH 7'nin üzerinde değer alır ve su bazik karakter taşır. pH değerleri 0-14 arasında değişir. Genel olarak yeraltı suları pH'ı 7'den küçük olan ve asit özelliği taşıyan sulardır. Yüzeysel sularda genellikle pH'ı 8'den büyük değer taşıyan bazik sulardır. İçme sularındaki pH değeri 6,5 – 8,5 arasında uygun görülmektedir.

4.1.2 Suyun Rengi

Sudaki renk çözülmüş halde bulunan maddelerin (safsızlıkların) meydana getirdiği "hakiki renk" (sudaki bulanıklığı oluşturan askıdaki madde giderildikten sonraki renk) olabileceği gibi, sudaki çökebilir veya koloidal askı maddelerinden de ileri gelebilen "izahiri renk" (yalnız suyun kendi rengi olmayıp, orijinal numune filtre veya santrifüj edilmeksizin, doğrudan doğruya ölçülen renk) de olabilir. Kısaca renk, doğal metalik iyonlar (demir ve mangan vb.) humus, turba materyalleri, algler, yabancı otlar ve sanayi atıklarından dolayı meydana gelebilir.

İnsanların çoğu 15 TCU üzerindeki rengin farkına varırlar. Aşırı renk klorlamayla, ozonlamayla veya diğer oksidanlarla azalır. İçme sularında renk belirleyen değer 15 TCU dan az olması gerekir. TS 266 revizyonunda içme sularının rengi, tavsiye edilen değeri GL olarak 1 mg/l, izin verilebilecek maksimum değer MAC olarak 20 mg/l olarak verilmektedir (Küçükgül ve Özdağlar, 2004).

4.1.3 Bulanıklık

Bulanıklık kil, süt, ince parçalanmış organik maddeler, yosunlar, diatometreler, demir bakterileri ve diğer mikroorganizmaların oluşturduğu haldir. Bulanıklık kum gibi askıda olan maddelerden ileri geliyorsa tehlikeli olmayıp çökelme ve filtrasyonla giderilebilir. Kil gibi koloidal maddelerin giderilmesi ise çok güçtür.

4.1.4 Elektriksel İletkenlik

Genel olarak bütün sular elektrik içerir. İyon konsantrasyonu ile bu iletkenlik artar. Özgül elektriksel iletkenliğin ölçüsü olarak microohm/cm kullanılır. Bu, +25°C'deki 1 cm³ suyun iletkenliğini ifade eder. İletkenlik, bir dereceye kadar sudaki iyon konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Ancak, bu orantı, iletkenliği 50.000 microohm/cm. den fazla olan sular için geçerli değildir. Özgül elektriksel iletkenlik de, içme ve sulama suları sınıflandırılmasında bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Elektriksel iletkenlik suyun elektrik akımını iletme kapasitesi veya çözeltinin elektrik akımını geçirmeye karşı gösterdiği dirençtir. Bu özellik suda iyonize olan maddelerin toplam konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlıdır, iyonların yer değiştirme hızı üzerine sıcaklığın etkisi vardır. Yeni damıtılmış damıtık suyun iletkenliği 0,5-2 mikroohm/cm olur. Zamanla havanın karbondioksitinin absorpsiyonu ile bu değer 2-4 mikroohms/cm olur. İletkenliği ampirik formülle çarpılarak (0,55-0,9) sudaki çözülmüş madde miktarı bulunabilir (Yalçın ve Koç, 2000).

4.1.5 Tat ve Koku

Suların, içinde erimiş halde bulunan maddeler (NaCl₂, MgCl₂, CaSO₄vb.) ve organizmalar (Diyatome, Klorofise, Siyanofise, Protozoa, Krustacelerve Alglar) suda belli bir miktardan fazla bulunursa, sulara özel koku ve tat vermektedir. Bu tat ve kokular çok değişiktir. Sular tuzlu, acı, ekşi tatda ve balıksı, küfümsü, baharatsı, otsu vb. kokuda olabilir. Çizelge 4.1'de Türkiye için kabul edilebilen içme suları özellikleri gösterilmiştir (Yalçın ve Koç, 2000).

Çizelge 4.1 Türkiye için kabul edilen içme suyu özellikleri (TS-266)

		Ö.Min.D*	İ.V.Max.D**
1. İçilebilme özelliğine etki eden maddeler	İletkenlik	400 µS/cm	2000 µS/cm
	Toplam Tuz	500 mg/l	1500 mg/l
	Demir (Fe)	0,3 mg/l	1,0 mg/l
	Mangan (Mn)	0,1 mg/l	0,5 mg/l
	Potasyum (K)	10 mg/l	12 mg/l
	Sodyum (Na)	20 mg/l	175,0 mg/l
	Kalsiyum (Ca)	75 mg/l	200 mg/l
	Magnezyum (Mg)	50 mg/l	150 mg/l
	Sülfat (SO ₄)	200 mg/l	400 mg/l
	Klorür (Cl)	200 mg/l	600 mg/l
	pH	7,0 – 8,5	6,5 – 9,2
2. Kirlenmeyi belirten maddeler	Toplam organik madde	3,5 mg/l	-

* Öngörülen minimum değer.

** İzin verilen maksimum değer.

5. İÇME SUYU TESİSATLARINDA KOROZYON OLUŞUMU

Su dağıtım sistemlerinin yapısında bulunan birçok metal, suyun varlığında kararsızdır ve korozyon olarak bilinen prosese, yani çözünebilir forma dönüşmeye ya da bozunmaya eğilimlidir. Korozyonun oluşma hızını birçok kimyasal ve fiziksel parametre etkilemektedir. Çok hızlı ya da aşırı derecede yavaş gerçekleşebilir. Korozyon ürünlerinin ve prosesin kararlı son ürünlerinin özellikleri büyük öneme sahiptir. Eğer bunlardan biri suda çözünür ise korozyon hızlı gerçekleşir. Bununla birlikte, korozyon ürünlerinin çözünmeyen olduğu durumlarda su yüzeyinde koruyucu kireç tabakası oluşabilir ve korozyon daha yavaş gerçekleşir. Çözünmeyen korozyon ürünleri sadece sızdırmaz tabaka oluşturduğunda koruyucudur. Eğer sünger benzeri ya da tiftik bir kütle oluşturursa korozyon devam eder ve su kalitesinin bozulmasına, borunun taşıyıcı kapasitesinin azalmasına ve kalıntı klordan korunabilen mikrobiyal gelişimlere (biyofilmlere) yol açar. Korozyon ayrıca suyla temasta olan metallerin elektriksel özellikleri tarafından da çok fazla etkilenir. Değişik metaller suyla temaslarında elektrik yükü geliştirmeye değişik eğilimler gösterirler ve bu fark galvanik sistemlerde kendini gösterir. Değişik iki metal (ya da elektriksel iletkenliğe sahip diğer maddeler) temasta olduğunda negatif elektrotta çözünen metalde galvanik hücre oluşur. Galvanik hücreler korozyona itici güç sağlarlar. Korozyon hızı, temelde çözünmüş reaktiflerin metal yüzeylerine transfer olduğu yerdeki ve reaksiyonun olduğu yerden başka yere transfer edildiği yerdeki hız tarafından kontrol edilir. Bundan dolayı, korozyon hızları sudaki iyonların artan derişimleri ve ayrıca artan türbülans ile doğrusal olarak artar.

Çok yüksek su hızlarında, korozyon hızı erozyon korozyonu sonucunda yükselebilir. Genel olarak diğer kimyasal reaksiyonlarla, sıcaklık arttıkça korozyon hızı da artar. Belli metaller pasifasyon olarak bilinen olaya maruz kalırlar. Demir, nikel, krom ve bunların alaşımlarını kapsayan bu metaller için belli voltaj uygulamaları korozyon hızında ciddi düşüşlere yol açar. Bu amaçla anodik korumayı içeren bazı korozyon kontrol yöntemlerinden faydalanılır. Bakır, kurşun ve çinko korozyonu anodik koruma ile kontrol edilemez. Çözünmüş oksijen, korozyon hızını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Korozyon reaksiyonuna direkt olarak katılır ve çoğu durumda çözünmüş oksijen derişimi arttıkça korozyon hızı da artar. pH; çözünürlüğü, reaksiyon hızını ve bazı derecelerde korozyon reaksiyonlarındaki çoğu metal türlerinin yüzey kimyalarını kontrol eder.

Metal yüzeyinde koruyucu film oluşumuyla ilgili olduğundan oldukça önem taşır. Dağıtım sistemlerinde kullanılan metallerin korozyonunda klorür iyonunun agresif hareketinin önemine dair artan birçok delil vardır. Kalıntı klorun korozyon hızını etkilediğine dair bazı

bilgiler mevcuttur. İçme suyunda sıcaklık 15°C'den büyükse, pH 6,5 civarındaysa, karbondioksit derişimi 5 mg/l'den büyükse ve su yumuşaksa kalıntı klor korozyona yol açan agresif bir karakter sergiler.

İçme suyu şebekesi boruları içerisinde en çok etkilenecek türler demir bileşimli döküm borulardır. Ancak şebekede bu borularla ilişkide olan bakır, kurşun ve benzeri metaller de korozyon açısından incelenmelidir. Bakır boru tesisatı, genel korozyona, etkin saldırıya ve oyuk korozyonuna maruz kalabilir. Bakırın genel korozyonu, en çok yumuşak, pH'ı 6,5'in altındaki asidik suların birleşik etkisi ile gerçekleşir. 60 mg/l CaCO₃ sertliğinden daha az sertlikteki sular bakıra çok agresiftir. Bundan dolayı böyle sular bakır borularla transfer edilmemeli ya da bakır kaynakıcılarda ısıtılmamalıdır. Etkin saldırı, aşırı akış hızlarının bir sonucudur ve yüksek sıcaklıktaki ve düşük pH'taki yumuşak suyla daha da kötü bir hal alır.

Bakırın oyuklaşması 5 mg/l'nin üzerindeki karbondioksit derişimindeki sert yeraltı sularının ve yüksek oksijen seviyesinin birleşik etkisi için kullanılır. Organik renk (hümik maddeler) içeren yüzeysel sular oyuk derişimi ile ilişkilendirilebilir. Genel ve oyuk korozyonu problemlerinin yüksek oranı, koruyucu oksit tabakası henüz oluşmamış yeni borularda görülür. Kurşun korozyonu su kalitesine ters etkiye sahiptir. Kurşun boru tesisatı eski evlerde hala yaygındır; kurşun lehimler özellikle bakır boruları bağlamak için geniş çapta kullanılmıştır. Kurşun çok sayıdaki formlarda pH'a bağlı olarak suda kararlıdır. Kurşun çözünürlüğü, çözünmeyen kurşun karbonatlarının oluşumları ile büyük çapta kontrol edilir. Kurşunun çözünürlüğü, denge karbonat derişimindeki önemli düşüşten dolayı, pH'ın 8,0'ın altına düşmesiyle önemli miktarda artar. Bundan dolayı kurşun korozyonu düşük pH ve düşük alkaliniteyedeki sularda maksimum olma eğilimindedir. Kontrol yöntemi olarak pH 8,0-8,5 aralığında tutulabilir. Mikroorganizmalar, düşük pH'lı ve yüksek korozif iyon derişimli bölgeler oluşturarak, oksidasyon proseslerine aracı olarak ya da korozyon ürünlerini gidererek ve koruyucu yüzey filmlerini bozarak boru maddesinin korozyonunda önemli bir rol oynayabilir. Korozyonu oluşturan en önemli bakteriler, sülfat indirgeyen bakteriler ve demir bakterileridir. Ayrıca nitrat indirgeyen bakteriler ve metan üreten bakteriler de aynı rolleri oynayabilirler. Mikroorganizmaların neden olduğu korozyon, dağıtım sistemlerinde kalıntı klor derişiminin korunmadığı, özellikle suyun uzun süre bekleyebildiği uç noktalarda ve hızın düşük olduğu yerlerde problem yaratabilir. Ayrıca bu korozyon çeşidi, boru iç yüzeylerindeki ağır kireç oluşumlarının yerinden çıkarıldığı ya da çok fazla korozyon ürünlerinin oluştuğu yerlerde de problem yaratabilir (Küçükgül ve Özdağlar, 2004).

5.1 İçme Suyu Tesisatlarında Korozyon İndeksleri

Her çeşit özel suyun korozyon potansiyelini karakterize etmek için geliştirilmiş çok sayıda indeks vardır. Bu indekslerin çoğu metal yüzeyi üzerindeki kalsiyum karbonat kireci ile tortu oluşturma eğiliminde olan suyun daha az korozif olacağı kabulüne dayanır. Bunlardan birisi Langelier Doygunluk İndeksidir (LSI). Suyun gerçek pH'ı ile aynı alkaliniteye ve kalsiyum sertliğindeki suyun katı kalsiyum karbonat ile dengede olduğu pH olan doymuluk pH'ı arasındaki farktır. Kalsiyum sertliğine ve alkaliniteye ek olarak, doymuluk pH'nın hesaplanmasında, toplam çözülmüş maddelerin derişimi ve sıcaklığı göz önünde tutulur. Doygunluk pH'ından daha yüksek pH'a sahip sular (pozitif LSI) kalsiyum karbonat ile fazlasıyla doymuştur. Bunun tersi olarak, doymuluk pH'ından daha düşük pH'a sahip sular (negatif LSI) kalsiyum karbonat ile doymamıştır ve bundan dolayı agresif olarak düşünülür (bundan dolayı kireç tabakasını yerinden çıkarmaya eğilimli olur). Nomograflar, doymuluk pH'ının belirlenmesini basitleştirmek için uygundur. İdeal olarak, şebekeye verilen su doymuluk pH'ında ya da bu değerin biraz üzerinde olmalıdır. Langelier indeksi ve benzeri diğer indeksler (Çizelge 5.1) su kalitesi tahminlerinde yardımcı olabileceği görülmüştür. Bununla birlikte, kalsiyum karbonat kirecinin her zaman koruyucu olacağı ve bu tabakayı oluşturamayan suyun her zaman korozif olduğu kabulü kompleks olan bu olayı basitleştirir. Klorür ve sülfat derişimlerinin bikarbonat derişimlerine oranının (Larson oranı), demir ve çeliği bozan suyun korozifliliğin miktarını belirlemek için faydalı olduğu görülmüştür. Benzer bir yaklaşımla, pirinç donanımlardan çinko çözünmesi konusunda da kullanılabilir (Küçükgül ve Özdağlar, 2004).

Çizelge 5.1 Su kalitesi tahminlerinde kullanılan indeksler

<p>Agresive Index (AI)</p> $AI = pH + \log[(A)(H)]$
<p>Ryznar Stability Index (RSI)</p> $RSI = 2pH_s - pH$
<p>McCauley Driving Force Index (DFI)</p> $DFI = Ca^{++}(ppm) \times CO_3(ppm) / K_{so} \times 10^{10}$
<p>Riddick Corrosion Index (CI)</p> $CI = 75/Alk CO_2 + \frac{1}{2} (Sertlik - Alk) + Cl^- + 2N \times (10/SiO_2) \times ((DO+2)/(Sa+DO))$
<p>Langelier Saturation Index (LSI)</p> $LSI = pH - pH_s$

6. İÇME SUYU TESİSATLARINDA KOROZYON OLUŞUMUNU ÖNLEMENİN AMACIYLA YAPILMASI GEREKENLER

İçme suyu tesisatlarında daha tasarım aşamasında alınabilecek önlemlerle korozyon oluşumu minimum seviyede tutulabilir. Bu yöntem sistem işletmeye girmeden önce alınabildiği için korozyon oluşumunu önlemek adına yapılabilecek en uygun ve ucuz yöntemdir.

6.1 Doğru Projelendirme Esasları

Boşaltma sırasında tesisat içerisinde herhangi bir yerde su kalmayacak bir biçimde tasarım yapılmalıdır. Atmosfere açık depo ve tanklarda su boşaltma deliğine doğru bir eğim verilmelidir. Su da diğer gıda maddeleri gibi uzun süreli bekletilirse besleyici (gıda) özelliğini kaybedecektir. Bu sebeple tesisattaki su sıklıkla yenilenebilmelidir. Uzun süre tesisatta durağan kalmamalıdır. Oksijen yetersizliğinden koruma tabakası oluşumu kesilir.

Korozyonla bozunmaları öncelikle ve kısa sürede beklenen parçaların kolay değiştirilebilir olmasına özen gösterilmelidir. Örneğin, gerekli işlemlerin kolay ve kısa zamanda tamamlanabilmesi için rotoru sık değiştirilecek bir pompanın bağlı bulunduğu sistemden ayrılması gerekiyorsa, bu zorunluluk projelendirilme aşamasında göz önüne alınmalıdır.

Projesi yapılan tesisatta ayrı birimler mevcutsa (örneğin, öğrenci yurdu için idari kısım ve öğrencilerin kaldığı kısımlar) bu birimler için bağımsız tesisatlar düşünülerek uygun yerlere vanalar ve filtreler kullanılmalıdır.

Tesisattaki suyun durgun olabileceği ölü kısımların oluşmayacağı tasarımlar yapılmalıdır (durgun su korozyon hızını ve mikroorganizma oluşumunu hızlandırmaktadır). Örneğin tesisatta kullanılan Y tipi filtrelerde filtre süzgecinin bulunduğu hazne kısmı aşağıya değil de yana doğru bakacak şekilde montaj edilerek tesisattaki su boşaltılsa dahi bu haznedeki su kalmasının önüne geçilmiş olur.

Ortamın yüksek hızla akması ve çarpma etkisine neden olabilecek keskin yön değişimlerine zorlanması, erozyonlu korozyon bakımından olumsuzdur. Özellikle erozyonlu korozyona belirli ölçüde duyarlılık gösteren malzemelerin kullanılması halinde akma hızı yeterli ölçülendirme ile sınırlandırılmalı ve akma yönündeki zorunlu değişimler büyük yarıçaplı ve geniş açılı dirseklerle sağlanmalıdır.

Uygun projelendirme ve izolasyon ile sıcaklık dağılımının homojen olmasına çalışılmalıdır. Sıcaklığın yükselmesi korozyon hızının yerel olarak artmasına yol açar. Yerel sıcaklık

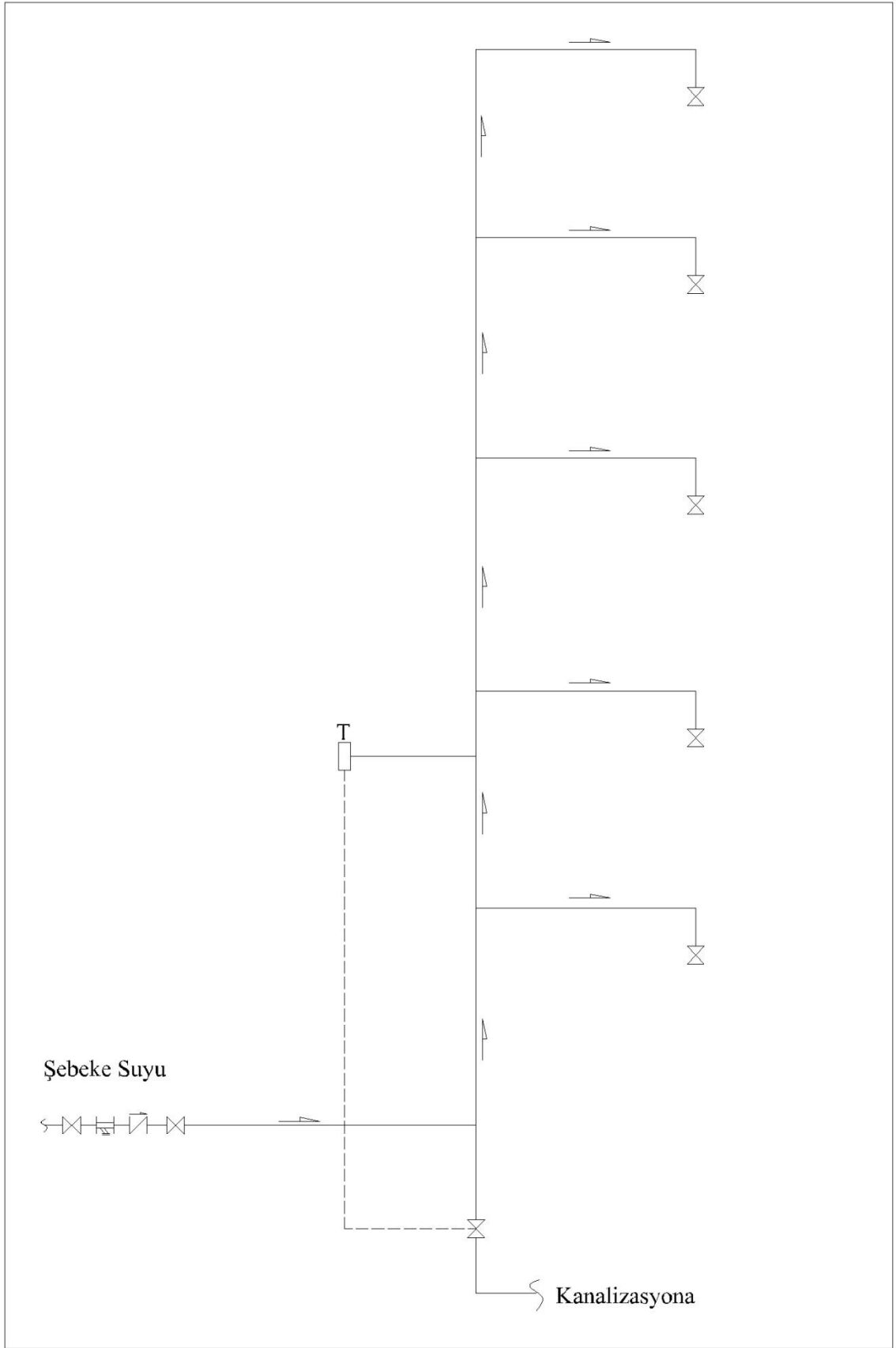
düşmesinin de korozyon bakımından olumsuz sonuçları görülebilir. Örneğin içme suyu boruları kazan dairesinden geçirilmemeli, kazan dairelerine içme suyu kollektörü yapılmamalıdır.

Pompalama sırasında emilerek ortama karışan hava, içerdiği oksijen nedeni ile, pasifleşme eğilimi zayıf olan metallerde korozyon hızını artırır. Projelendirilme esnasında tesisata su ile birlikte hava emilmesini minimum düzeye indireyecek önlemler alınmalıdır.

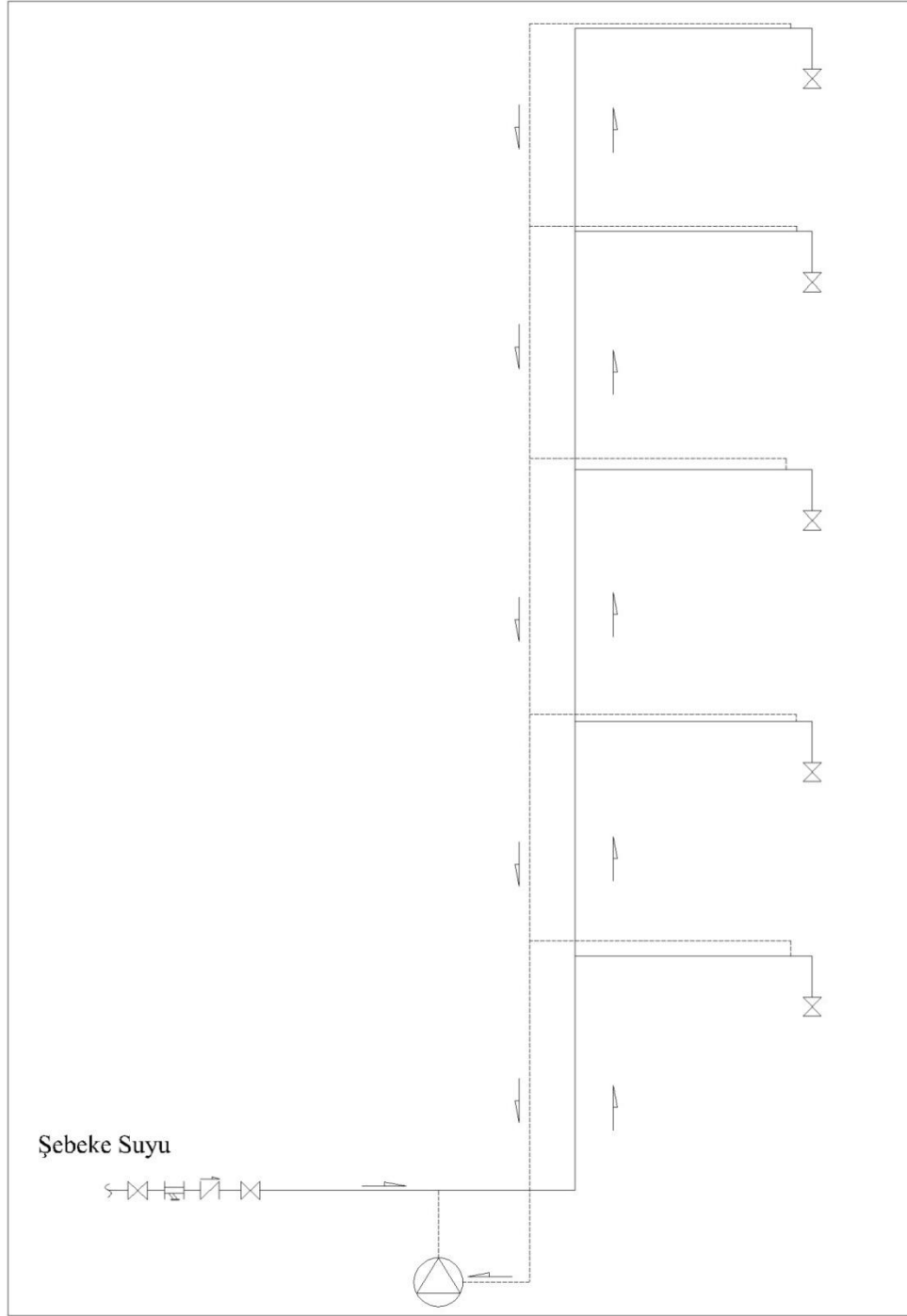
Aşağıda verilen iki örnekte görüldüğü gibi tesisattaki su sıcaklığını 25°C dolaylarında tutarak korozyon olayının önüne geçilebilir.

Şekil 6.1'de su sıcaklığını 25°C'de sabit tutmak için beş dairesel bir apartman için gerekli tesisatın akım şeması gösterilmiştir. Şebekeden giren su uzun süre kullanılmadığı takdirde ısınacaktır; durgun haldeki su hem koroziv bir yapıya, hem de mikroorganizmaların üremesi için gerekli bir zemin oluşturacaktır. Bunu önlemek için ana kolon hattının en alt kısmına bir vana eklenir. Kolon hattına bağlanan sıcaklık ölçer ile kontrol edilen vana vasıtasıyla ana hattaki su istenilen sıcaklığa geldiği zaman boşaltılır ve şebekeden yeni suyun sisteme girmesi sağlanır.

Şekil 6.2'de soğuk su ve sirkülasyon tesisatı gösterilmiştir. Beş dairesel bir apartmanda suyun durgun kalmasını önlemek amacıyla yapılması gereken sirkülasyon hattı şekildeki gibi olmalıdır. Sirkülasyon hatları her bir kullanım çıkışına kadar taşınır. Sisteme ilave edilen bir sirkülasyon pompası yardımı ile tesisatta bulunan mevcut şebeke suyu kullanım olmadığı zamanlarda da sürekli hareket halindedir ve suyun durgun halde bulunmasına izin verilmez. Bu şekilde durgun suyun yaratacağı olumsuzluklar önlenmiş olur.



Şekil 6.1 İçme suyu sıcaklığını 25°C'de sabit tutmak için yapılan proje çizimi



Şekil 6.2 İçme suyu tesisatlarında durgun su kullanımını önlemek için yapılan proje çizimi

6.2 Tesisata Uygun Malzeme Seçimi

Korozyona tabi olarak görev yapan sistem ekipmanlarının cidar kalınlıklarının yeterli korozyon payını içermesi gerekmektedir. İlke olarak, ortalama korozyon hızı ve öngörülen çalışma ömründen hesaplanan aşınma derinliğinin iki katı korozyon payı olarak alınır. Böylece sağlanan garanti payı homojen olmayan korozyon türlerine (çukurcuk korozyonu) karşı da çoğu kez yeterlidir (Doruk, 1982b).

Galvanik dizide birbirlerinden uzak olan metal veya alaşımların eşleştirilmesi olanaklar ölçüsünde önlenmeye çalışılır. Bu tür eşleşmeler kaçınılmaz bir zorunluluk olarak ortaya çıkınca ayrı cinsten olan metaller yalıtkan bir conta veya ara parçaları kullanılarak yalıtılır. Örneğin, galvanizli çelik borudan önce bakır boru kullanılması.

6.3 İşletme Esnasında Alınabilecek Önlemler

Konutlarda küçük ölçekli nötralizasyon filtreleri veya ilave baz katkısı kullanılır. Böylece pH ve suyun sertliği artırılmış olur. Nötralizasyon filtrelerindeki kimyasal tepkimeler aşağıdaki şekilde gerçekleşir.



Suyun sertliğinin 120 mg CaCO₃/l'den büyük olması sağlanmalıdır. Su haznelerinde veya barajda bu durum sağlanabilir. Nötralizasyon filtreleri şebeke basıncının düşmesine yol açabilir. pH:6'ya düşmedikçe kostik dozlama yapılmamalıdır. Filtrelerin bakımı ve işletilmesi başlı başına bir sorundur. Haznede yapılacak bir iyileştirme için sertliği veya alkaliniteyi veya her ikisini birlikte arttırmak gerekir. Ayrıca boru çeperleri izlenmesi gereklidir. Karbonatlı film tabakasının oluşması gözleninceye kadar sertlik arttırılabilir. Konutlardaki bakır boruların özellikle sıcak su taşıyan çelik borularla bağlantı elemanları elektrik iletkenliği olmayan malzemeden seçilerek monte edilmelidir. Bu durum, akımın kesilmesine yol açarak galvanik korozyonu engelleyecektir (Küçükgül ve Özdağlar, 2004).

Su haznelerinde sıcaklık artışı ve askıda katı madde derişimi korozyon hızını arttırıcı bir faktördür. Klorür de aynı şekilde korozyon için güçlü bir destekçi maddedir. Yumuşak suların korozyonunda en önemli faktörlerden biri de kalsiyum ve magnezyum açığının fazla olmasıdır. Ayrıca tuzlu sular sodyum klorür açısından zengin olduğu için elektriksel

iletkenliği arttırarak korozyon artışına yol açarlar. Çözünmüş materyaller zamanla boru içlerinde tıkanmaya veya basınç kayıplarına da yol açar.

Su şebekelerindeki korozyonun kontrolü için en yaygın olarak uygulanan yöntemler; pH kontrolü, karbonat sertliğini arttırmak ya da sodyum polifosfat, silikat ve çinko ortofosfat gibi korozyon inhibitörleri eklemektir. Kullanılacak kimyasalların türü ve dozu, su arıtımında kullanılan diğer kimyasallar ile uyum içinde olmalıdır. pH kontrolü önemli bir yaklaşım olmasına rağmen, her zaman göz önünde tutulması gereken husus bu işlemin su arıtımında diğer parametreleri nasıl etkileyeceğidir. Polifosfatlar, çözelti fazında suya ilave edilebilen uzun polimerik zincir yapısındaki moleküllerdir. Uygulama sonucu boru iç yüzeylerinde monomoleküler film tabakası oluşturarak korozyonu engellerler. Bu uygulama için uzun süreli dozlama yapılmalı ve şebekede sürekli olarak izleme yapılmalıdır. Şebekede özellikle demir boruların yer aldığı bölgede uygulama dozu 1,0 mg/l değerinden başlanarak izlenmeli gerektiğinde doz arttırılarak çözünmüş demir derişiminin standartların altına kadar düşmesi sonucu optimizasyona gidilir.

Bakırın çözünmesi üzerinde yapılan araştırmalar DIC ve pH'ın içme suyundaki bakır seviyeleri için önemli olduğunu kanıtlar. DIC, pH ile kurşun çözünürlüğü arasındaki ilişkiler de kısmen bilinmektedir. pH'ı arttırmak ve/veya DIC'ı düşürmekle korozyon kontrolünü başarmak mümkündür. pH ve DIC' ye bağlı olarak suda H_2CO_3 ya da $CO_2(aq)$ şeklinde çözünmüş CO_2 fraksiyonları bulunur. Havalandırma bu CO_2 'yi giderir sonra da pH'ı arttırır, DIC'ı düşürür. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki korozif sular (düşük pH, yüksek CO_2 derişimi ve düşük sertlik) havalandırma ile arıtımı uygulandığında, arıtmadan önce ve sonra CO_2 ile DIC ve pH'la olan ilişkiye bağlı olarak, havalandırmanın kurşun ve bakır korozyonuna etkisi incelenmiştir. Baştaki su kalitesi koşullarında havalandırmanın kurşun ve bakır korozyon kontrolü için alternatif olduğu kanıtlanmıştır. CO_2 giderildikçe pH artar, DIC düşer. İkincil fayda ise VOC, radon ve demir giderimi havalandırmayla sağlanabilir. İşletmeler için havalandırmanın maliyeti düşüktür. Az donanım ve operasyon gerektirdiği için küçük tesislerde tercih edilebilir. Bunun yanı sıra düşük DIC içeren sular, kalsiyum karbonat bozunması ve mikrobiyolojik aktivitelerin artması için potansiyel oluşturduğundan dolayı havalandırma uygulamasında limitler vardır ve belirli kıstaslara göre uygulanır.

Doyma endeksi pozitif hale getirilir. Tesisattaki su hızı 0,5 m/s altına düşmemelidir. Karbonat sertliği 35 mg/l $CaCO_3$ olmalı, ancak su hızının 0,5 m/s altına düştüğu hallerde 105 mg/l'den büyük olmalıdır. Düşük akma hızı ve düşük karbonat sertliklerinde suda içerilen klor iyonu miktarı 50 mg/l'den fazla olmamalıdır. İndirgenmiş buharlaşma artığı 600 mg/l indirgenmiş kızırdırma artığı ise 550 mg/l'yi aşmamalıdır.

7. SU SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Endüstride birçok işlemde su soğutma amacı ile kullanılmaktadır. Çeşitli işlemlerden geçmiş bu suyu mevcut kaynakları tüketmeden tekrar kullanabilmek, sudan istenmeyen ısıyı uzaklaştırmak, bunu zararsız ve ucuz olarak çevreye atabilmek ancak bir soğutma kulesi ile mümkündür.

7.1 Soğutma Kulesi Tipleri

Su soğutma kuleleri işlevlerini görme anlamında iki türdür:

- Buharlaştırmalı tip soğutma kulesi
- Kuru tip soğutma kulesi

Buharlaştırmalı tip soğutma kulesi genelde sadece soğutma kulesi olarak anılır. Isı enerjisi bu tipte yaklaşık % 80 oranında buhar (buharlaşma yolu ile), % 20 oranında temas (kondüksiyon) yoluyla dışarı atılır. Kuru tip soğutma kuleleri ise kapalı sistem olup ısının tamamı kondüksiyon yoluyla dışarı atılır.

7.1.1 Buharlaştırmalı Kuleler

Buharlaşma gizli ısısından yararlandıkları için, soğutma en ekonomik olarak bu tipte sağlanır. Sistem, suyun sınırsız bir küpte soğutulmasına benzerdir. Buradaki soğuma, küpün çeperlerinden çok az miktarda kaçan suyun, küpün içinde ısıyı çekmesi gibi olur. Soğutma kulesine giren su, dağıtım sistemi ve dolgu vasıtası ile pulverize olur. Bunun üzerinden geçirilen hava suyun buharlaşmasına yardım eder ve suyun içindeki ısı buharlaşma yolu ile atmosfere atılır. Suyun buharlaşma miktarı genelde her 6-7 °C soğutma için devreden suyun % 1'i kadardır.

Hava çekişi açısından kuleler iki türdür:

- Doğal çekişli kuleler
- Cebri çekişli kuleler

7.1.1.1 Doğal Çekişli Kuleler

Doğal çekişli kuleler,

- Karşı akışlı kuleler
- Çapraz akışlı kuleler

olarak ikiye ayrılırlar. Bir üçüncü şekil de fan destekli olmaktadır. Bu kuleler çok özel şartlarda, yazın doğal hava sirkülasyonunun yetmediği zamanlarda, hava girişine konulan

fanlar ilave hava sirkülasyonu yaratırlar. Hava su karışımı karşı akışlı kulelerde 180°, çapraz akışlı kulelerde 90°'dir. Karşı akışlı kuleler hem teorik hem pratik açıdan, özellikle son yıllarda, çapraz akışlı kulelere üstünlük sağlamışlardır.

7.1.1.2 Cebri Çekişli Kuleler

Cebri çekişli kuleler hava çekişi açısından ikiye ayrılırlar:

- Cebri çekişli kuleler
- Cebri itişli kuleler

Ayrıca, cebri çekişli kuleler kuramsal açıdan kendi aralarında üçe ayrılırlar:

- Karşı akışlı kuleler
- Çapraz akışlı kuleler
- Paralel akışlı kuleler

Bu kulelerde fan grubu kulelerin üstündedir. Bunlardan en yaygın olanı karşı akışlı kulelerdir. Cebri itişli kuleler genelde alttan ve yandan üfleme grubu olan kulelerdir. Doğrudan cebri itişli denen kulede fan alttan olup, yeni denemeye başlanmıştır. Genelde cebri itişli kuleler, cebri çekişlilere nazaran biraz daha fazla fan gücüne ihtiyaç gösterirler. Ancak bakım kolaylıkları vardır. Cebri kulelerde çok yaygın olarak aksiyel ve kısmen radyal fan kullanılır.

Cebri çekişli özel kuleler ;

- Hibrid kule hem ıslak hem kuru tiptir. Kule üzerinden çıkan buhar kuru tiptedir. Isı değiştiricide ısıtıldığı için görünmez; böylece şehir içinde kalan fabrikalarda kullanılmaya uygundur.
- Fluid Cooler (akışkan soğutucusu) suyun bir ısı değiştirici paketinden sonra bir dolgu üzerinden geçirilerek soğutulmasını sağlar. Isı değiştirici paketinden geçirilerek soğutulacak nesne su, demineralize su, gaz, buhar olabilir.

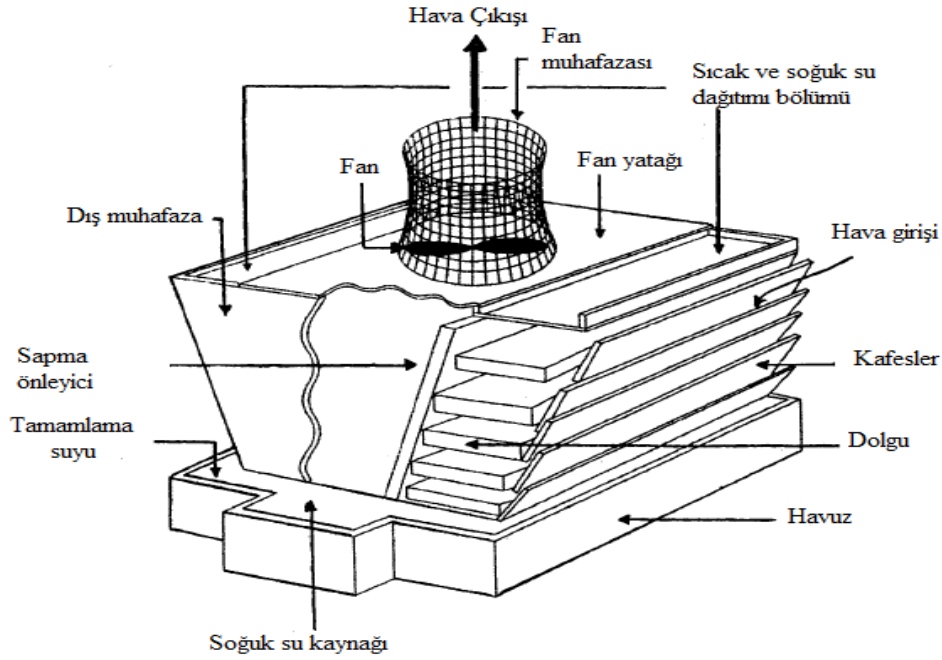
7.1.2 Kuru Tip Soğutma Kuleleri

Kuru tip soğutma kuleleri ilk yatırımları ve işletimleri açısından buharlaştırmalı tiplere göre daha maliyetlidir; çünkü kuru tipte soğutma, hava yoğunlaştırıcısında gerçekleşirken, buharlaştırmalı kulelerinde PVC, ahşap gibi ana yapı maddeleri kullanılır. Kuru tip soğutma kulelerinde soğutulacak akışkan borular içinde akmaktadır; soğutulacak akışkanda proses sonucu herhangi bir kayıp olmamaktadır. Su kaybının olmamasının istenildiği durumlarda kullanılırlar. Kuru tip soğutucularda kule kuru termometre şartlarına göre çalışmaktadır. Bu nedenle düşük sıcaklıklara düşmek zor olmaktadır. Fakat tüm bu yan etkilerine rağmen daha

sağlıklı bir ortam sağlamaktadır. Ancak, buharlaştırılmalı soğutma kulelerinde rastlanılan lejyoner hastalığını önlemesine karşın, yüklü maliyeti ve soğutma aralığının düşük olması nedeniyle sanayide çok tercih edilmezler.

7.2 Soğutma Kulelerinin Bileşenleri

Şekil 7.1’de tek fanlı cebri çekişli soğutma kulesi gösterilmektedir. Kulenin ana parçaları arasında havuz, soğuk su kaynağı, kafesler, dolgu, su dağıtımı ve fan yatağı, sapma önleyiciler, fan, fan çıkışı ve dış muhafaza bulunmaktadır (Duruk, 1994).



Şekil 7.1 Tek fanlı cebri çekişli soğutma kulesi bileşenleri.

7.2.1 Havuz ve Soğuk Su Kaynağı

Havuz kısmı, soğutma kulesinin altında yer alan, soğuk suyu toplamaya yarayan ve tamamlama suyunun sisteme ekleneceği kısım olarak da kullanılan bölümdür. Soğuk su kaynağı kısmı, suyun içinde bulunan dolaşım pompalarının yer aldığı havuzun derinleştirilmiş kısmıdır. Havuz betondan, tahtadan, metalden ya da fiberglastan imal edilmiş olabilir.

7.2.2 Kafesler

Kafesler kulenin tahta, plastik, çimento ya da fiberglastan imal edilmiş ve yatay olarak döşenmiş düz ya da dalgalı bir yapıya sahip kısımlarıdır. Kafeslerin ana görevi havanın kuleye girdiği açıklıklardan suyun soğutma kulesinden dışarı sıçramasını önlemektir. Kafesler

genellikle hava akış yönüne belli bir açı ile yerleştirilirler.

7.2.3 Dolgu

Dolgu kulede hava ve suyun karıştığı dahili kısımdır. Sistemde su dolgu üzerine akar. Su ve hava dolgu malzemesinin üzerinde karışır, böylelikle soğutulur ve buharlaşır. İki tip dolgu vardır: sıçratma dolgu ve film dolgu. Akan su sıçratma dolgu üzerine çarpar, sıçrar ve daha küçük su damlacıklara ayrılır. Bu durum buharlaşma hızını artırır. Sıçratma dolgu tahta çita ya da çubuklardan, plastikten ya da seramik kaplamadan imal edilir. Film dolgu sıkı plastik malzemeden üretilmiş suyun film dolgu üzerinde akmasını sağlayan ve büyük bir yüzey oluşturarak hava film yüzeyi üzerinde dolaşırken buharlaşma oranını en üst düzeye çeken, bal peteği şeklinde yapıdır.

7.2.4 Sapma Önleyiciler

Sapma önleyiciler, yüksek verimlilikle su damlalarını havadan ayırarak ve geri kazanılmış suyu soğutma kulesine kazandırarak, su kaybını en aza indirger. Genellikle dolgu ve su sprelerinden sonra, soğutma kulesinin hava çıkışlarından hemen önce bulunurlar. Sapma önleyiciler aynı zamanda buhar önleyiciler olarak da bilinirler.

7.2.5 Su Dağıtımı ve Fan Muhafazası

Kesit akış soğutma kulesinde, geri dönen sıcak su akışını düzenli olarak kule dolgusuna dağıtılmasında sıcak su havuzu kullanılır. Karşı akış soğutma kulesinde su spreleri sıcak suyu dağıtmak için kullanılır. Fan muhafazası su spreji sisteminin fan ve motorunu destekler. Genellikle silindir olan yapı fanı çevreler ve ılık, nemli havanın soğutma kulesinden boşaltılmasını sağlar.

7.2.6 Hücre

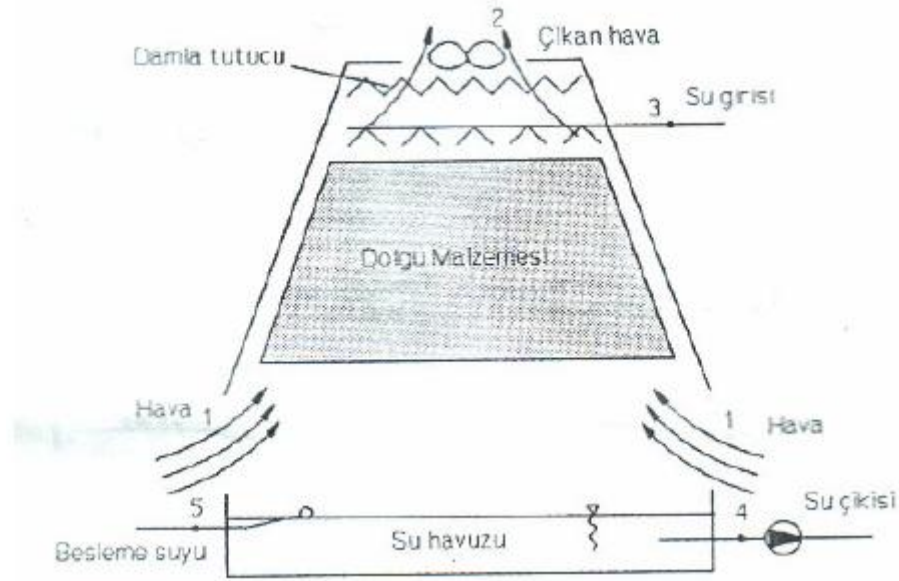
Hücre, fan bölümünün içinde bağımsız bir ünite olarak yer alabileceği, büyük bir soğutma kulesinin en küçük alt birimidir. Bir muhafaza, hücre fanı tarafından indüklenmiş hava akışının hücre dolgusu ve buhar önleyiciden geçmesini sağlamak amacıyla bitişik hücreleri birbirinden ayırmalıdır.

7.3 Su Soğutma Kulesi Hesaplamaları

7.3.1 Soğutma Kulesi Çalışma Esasları

Suyun ancak yüzeyinden soğutma yapılabildiğinden, bu özellik soğutma kulelerinin tasarımında ve inşasında esas olmuştur. Su mümkün olan en yüksek soğutma randımanına erişebilmesi için olabildiğince çok parçacıklara ayrılmalıdır; bu sayede hava ile temas edecek olan suyun yüzeyi artmış olacaktır. Bunu sağlamak üzere, soğutma kulelerinin iç kısımlarında basamaklı şekilde üst üste yerleştirilen dolgu maddeleri kullanılmıştır. Su, soğutma kulesinin üst kısmında bulunan dağıtıcı oluklar vasıtasıyla akıtılır; bu işleme yağmurlama denilir. Su soğutma yüzeyini oluşturan dolgu basamaklarına çarparak partiküllere ayrılır. Diğer bir taraftan, fanlar veya doğal olarak yaratılan atmosferik hava sirkülasyonu sonucu suyun bir kısmı buharlaşır; buhar haline geçebilmesi için ısı çeker dolayısıyla suyu soğutur (Duruk, 1994).

- Soğutma Kulelerinde 1. Kanun



Şekil 7.2 Soğutma kulesi 1. kanun prensip şeması.

Sürekli akışlı sürekli açık sistem (SASA) olan bir soğutma kulesinde, kontrol hacmi için süreklilik denklemleri şu şekildedir:

$$\text{Hava için : } \dot{m}_{h1} = \dot{m}_{h2} = \dot{m}_b \quad (7.1)$$

$$\text{Su için : } \dot{m}_{b1} + \dot{m}_{s3} + \dot{m}_{s5} = \dot{m}_{b2} + \dot{m}_{s4} \quad (7.2)$$

$$\text{Burada, } \dot{m}_{s3} = \dot{m}_{s4} \quad (7.3)$$

$$\dot{m}_{s5} = \dot{m}_{b2} - \dot{m}_{b1} = \dot{m}_b (w_2 - w_1) \text{ olur.} \quad (7.4)$$

$$\text{Burada, } \dot{W}_A = 0, \dot{Q}_A = 0, \Delta PE = \Delta KE = 0$$

Fan işi göz önüne alınmazsa, SASA için birinci kanun:

$$\Sigma H_c = \Sigma H_g \text{ olur.}$$

Gerekli düzenlemeler yapıldığında,

$$\dot{m}_b \dot{h}_{h2} + \dot{m}_{b2} \dot{h}_{b2} + \dot{m}_{s4} \dot{h}_{s4} = \dot{m}_h \dot{h}_{h1} + \dot{m}_{b1} \dot{h}_{b1} + \dot{m}_{s3} \dot{h}_{s3} + \dot{m}_{s5} \dot{h}_{s5} \quad (7.5)$$

denklemini elde edilir (Duruk, 1994).

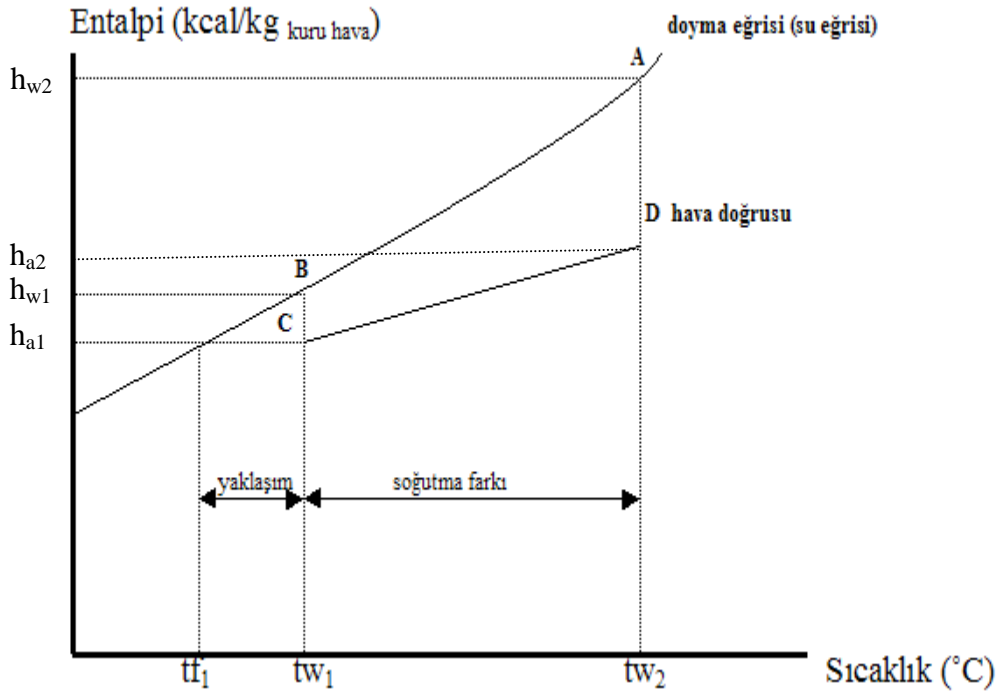
Suyun buharlaşma ile soğutulmasından elde edilebilecek ideal soğuk su sıcaklığı atmosferik havanın yaş termometre sıcaklığıdır; bu sıcaklık soğutma kulesinin suyu soğutabileceği minimum sıcaklıktır. Soğutma kulesinde damlacıklar halinde getirilmiş sıcak su, yaş termometre sıcaklığı kendisinden düşük olan bir hava akımı içinden geçer. Bu esnada suyun bir kısmı buharlaşarak sıcak su ısı kaybeder ve soğur. Soğutma kulelerinin soğutma fonksiyonu başlıca iki yolla sağlanır:

- Kuleye giren havanın ısınması
- Kuleye giren suyun bir kısmının buharlaşması

Kuleye giren havanın ısınması yoluyla soğutma şöyle gerçekleşir: 1 kg ağırlığında 21,1°C sıcaklık ve % 60 bağıl nem ile giren hava, kuleyi 35°C sıcaklık % 90 bağıl nemde terk eder ise 3,33 kcal ısı çeker; bu durumda havanın sıcaklığı artmış olur. Kuleye giren suyun bir kısmının buharlaşması yoluyla soğutma ise şöyle gerçekleşir: suyun buharlaşması nedeniyle 13,3 kcal ısı sudan dışarı çekilir ve 1 kg hava yaklaşık olarak 16,7 kcal ısı almış olur. Böylece bu 16,7 kcal ısının % 20'si sıcaklığın doğrudan etkisi ile % 80'i ise buharlaşma etkisi ile sudan alınmış olur.

Hava tamamen doymuş duruma geçene kadar suyu buharlaştırabilme özelliğine sahiptir; havanın bünyesinde barındırabileceği su miktarı, kuleye girme sıcaklığı, doyma mertebesi ve bağıl nem ile doğrudan alakalıdır. Başka bir deyimle havanın sıcaklık ve bağıl nemin artması ile buharlaşan su miktarı da artar. Normal bir kuru termometre cihazının hava akımına karşı

tutulduğunda göstermiş olduğu derece değerinin kuru termometre sıcaklığıdır. Havanın tamamen doymun hale geçmesi durumunda kuru termometre derecesi ile yaş termometre derecesi birbirine eşit olur. Bundan başka, havanın kuru termometre sıcaklığı nedeniyle hava ile su arasında belirli miktarda bir fiziksel ısı aktarımı yer alır fakat bunun etkisi, kulenin ana soğutma fonksiyonu değildir; sıcak su ile temasa gelen havanın yaş termometre sıcaklığına bağlıdır. Buna göre havanın kuru termometre sıcaklığı ne olursa olsun, kulenin çalışması belirli bir yaş termometre sıcaklığı için sabittir.



Şekil 7.3 Soğutma kulesi entalpi-sıcaklık grafiği

Sıcak suyun soğutulabileceği en düşük sıcaklık, t_{f1} olarak gösterilen havanın yaş termometre sıcaklığıdır ve teorik olarak mümkün olmasına rağmen gerçekte mümkün değildir. Bu nedenle su çıkış sıcaklığı ile havanın yaş termometresi arasındaki farka yaklaşım denilir; bu değer pratikte 2°C ila 3°C derece yaklaşım sağlanır, 5°C de sıkça rastlanılan bir değerdir.

Soğutma farkı, soğutma kulesine giriş ve çıkıştaki su sıcaklıkları arasındaki farkı göstermektedir. Şekil 7.3'deki t_{w2} değeri kuleye giren suyun sıcaklığıdır, t_{w1} değeri ise kuleden çıkan soğutulmuş suyun sıcaklığıdır; bu iki değer arasındaki farka soğutma farkı (R) denir. Burada C-D doğrusu kuleye giren ve çıkan havanın sıcaklık-entalpi değişimini gösteren doğrudur. C noktasında yatayda okunan değer çevre havasının kuleye giriş entalpisini (h_{a1}), D noktasında yatayda okunan değer ise kuleden çıkan havanın entalpisini (h_{a2})

göstermektedir. C-D doğrusunun eğimi kuleye giren suyun debisi ve havanın debisinin oranına eşittir (L/G). C-D doğrusunun hesabı aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$h_{a_2} = h_{a_1} + \frac{L}{G} \times R \quad (7.6)$$

Kuleden çıkan suyun sıcaklığı B noktasından dikeyde inildiğinde tw_1 değeridir, entalpisi ise yatayda hw_1 değeridir; kuleye giren suyun sıcaklık ve entalpi değerleri A noktasında dikeyden tw_2 ve yataydan hw_2 değerlerini gösterir. Suyun entalpisi ile havanın entalpisi arasındaki farka itici güç, tahrik entalpisi denilir. hw_2 değeri aynı zamanda kuleye giren suyun ısı tutumunu da göstermektedir.

$$\text{İtici güç (tahrik entalpisi)} = h_w - h_a \quad (7.7)$$

7.3.2 Su Soğutma Kulesi İşletme Esasları

Soğutma kulelerinde buharlaşma sonucu kaybedilen su tamamlama suyu (ilave su) ile tamamlanır. Su ayrıca, sistemdeki sızıntılar nedeni ile (istenmeden boşaltım) ve istenen boşaltım olarak kaybedilen suyu tamamlamak için de eklenir.

7.3.3 Derişim Çevrimi (COC)

COC soğutma kulelerinde su kullanımı verimliliğini tanımlamada sıklıkla kullanılan bir terimdir. COC ilave su miktarı ve boşaltım suyu miktarı arasındaki ilişkiyi gösterir. COC soğutma kulesi suyunun toplam mineral miktarının ilave sudaki toplam mineral miktarına ya da diğer çeşit su hacimlerine göre ölçümüdür. Yüksek miktar COC yüksek su kullanımı verimliliğini gösterir. Büyük bir kısım soğutma kulesi 3 ila 10 arasında değişen COC değeri ile çalışır. 3 kabul edilebilir verimliliği gösterirken, 10 çok iyi verimliliği gösterir. 5 ila 7 arasında değişen COC miktarının maddi açıdan en etkin değerler olduğu bulunmuştur (Basham vd., 2005).

7.3.4 Boşaltım, Buharlaşma, İlave Su ve COC Arasındaki İlişki

Seçilmiş bir COC değerinde çalışan sistem için oluşan boşaltım oranı, soğutma suyu buharlaşma kayıpları kullanılarak hesaplanabilir. Sistemde öncelikle buharlaşma miktarı hesaplanmalıdır. Çizelge 7.1'de bağıl nem değerleri gösterilmiştir (Basham vd., 2005).

$$E = \frac{Q}{100} \times \Delta T [(T-1,6667) \times k_m + 0,1098] \quad (7.8)$$

Çizelge 7.1 Çalışma sıcaklıklarına göre bağıl nem değerleri

Kondenser su giriş-çıkış sıcaklık farkı	< % 30	% 30-90	> % 90
> 7,2°C	0,0013	0,0013	0,0013
3,9 - 7,2°C	0,0029	0,0019	0,0010
< 3,9°C	0,0058	0,0032	0,0010

Buharlaşma miktarı hesaplandıktan sonra nihai buharlaşma, soğutma kulesinin verimi ile çarpılarak bulunur. Buharlaşma miktarı bulunduğundan sonra blöf (boşaltım) hesabı için COC_{kritik} değeri bulunmalıdır.

$$COC_{kritik} = \frac{\text{Kimyasalın çalıştığı en yüksek sertlik, alkalinite, silika veya iletkenlik}}{\text{İlave su sertlik, alkalinite, silika veya iletkenlik}}$$

COC_{kritik} bulunduğundan sonra blöf miktarı :

$$B = \frac{E}{COC_{kritik} - 1} \text{ olarak hesaplanır.} \quad (7.9)$$

Sistem için gerekli toplam ilave su miktarı:

$$M = B + E + W^* \quad (7.10)$$

7.4 Su Soğutma Kulelerinde Meydana Gelebilecek Problemler

7.4.1 Yaygın Su Soğutma Sistemi Problemleri

Su ile ilgili problemler sistemin çalışamaz hale gelmesine, donanım verimliliğinin düşmesine,

* W rüzgar etkileri olduğundan etkisi çok azdır ve ihmal edilebilir düzeydedir.

donanımların tamamen değiştirilmesine ve hastalık yapıcı mikroorganizmaların hastalık riskini ortaya çıkarmasına neden olur. Açık tekrar dolaşımli soğutma sistemleri, bir defalık soğutma sistemlerine göre havayı ve suyu karıştıran tasarımlarından dolayı, bu tip problemlerle daha fazla karşılaşma potansiyeline sahiptir. Bu tarz sudan kaynaklanan problemler madde birikimi, paslanma ya da mikrobiyolojik organizmalar ile ilgilidir ve aşığıdaki 5 nedenden dolayı ortaya çıkarlar.

- Soğutma kuleleri aslında büyük, hava ile temas eden sistemlerdir ve bu durum mikroorganizmaların, gazların, toz ve kirlerin soğutma suyu içerisine taşınmasına, böylelikle hastalık yapıcı mikroorganizmaların yaşamaları için uygun bir ortam oluşmasına olanak sağlarlar. Bu tarz maddelerin birikimi sistemde paslanmaya yol açabilir.
- Sistemde bulunan uygun şekilde işlem görmemiş ve yeterli kaliteye sahip değilse paslanma, kabuklanma ve madde birikimine neden olur. Bu tarz problemlerle karşılaşabilme potansiyeli suyun buharlaşması, mineral konsantrasyonu ve 54°C'ye kadar olan soğutma suyu sıcaklığı gibi sisteminin doğasından ve çalışma şartlarından kaynaklanır.
- Düzenli olarak tamamlama suyu eklenmesi mineral bileşenlerini artmasına ve madde birikimi oluşmasına ve paslanmaya neden olur. Boşaltım kontrolü ve uygun su işleme tekniklerinin uygulanması bu problemlerin görülme sıklığını en aza indirebilir.
- Film dolgu üzerinde az miktarda su barındırabilir, bu durum hava deliklerinin tıkanmasına yol açar ve su buharlaşmasını engelleyerek soğutma kulesinin verimliliğinin düşmesine yola açabilir.
- Günümüzde ısı değiştiricilerin kullanılması ile birlikte soğutma kulelerinin verimliliği geçmişe göre artmıştır, fakat ısı değiştirici kullanımı beklenmeyen su problemleri oluşturabilir (ısı değiştirici yüzeylerinde alg ve mantar oluşumları vb.).

Soğutma suyu işlemenin öncelikli amacı su soğutma sisteminin çalışma verimliliğini sağlamak ve soğutma suyu ile temasta olan parçaları korumaktır. Bu amaçlar soğutma suyunda madde birikimi, paslanma, mikrobiyolojik oluşum gibi zararlı durumlar kontrol altına alınarak ya da en aza indirgenerek sağlanır. İşletme programları çevreye uyumluluk, güvenlik, suyun korunumu ve kimyasal madde ücreti limitleri gibi özellikler göz önünde bulundurularak yapılır [3].

7.4.2 Lejyoner Hastalığı

Lejyoner hastalığı son yıllarda daha çok görülür veya bilinir hale gelmiştir. Bu konudaki kayıtlar çok sağlıklı değildir. Bu hastalığın tanısıyla kayda geçen çok üzerinde var olduğu bilinmektedir. Hastalık tanındıkça kayıtları daha sağlıklı bir hale gelmektedir. Örneğin, İngiltere’de yılda 1000 üzerinde hasta, hastane kayıtlarında yer almaktadır. Bu hastalık, Lejyonella bakterisi (*Legionella pneumophilla*) tarafından oluşturulan ve ölüme yol açabilen ciddi bir zatürre tipi hastalıktır. Lejyonella nemli ve sulu ortamda yaşar ve çoğalır. En yaygın bulaşma yolu binalardaki sıhhi tesisat ve klima tesisatıdır. Özellikle oteller, hastaneler iş merkezleri ve fabrikalar gibi büyük sistemlerde karşılaşılır.

Solunabilen aerosolde (pülverize haldeki su ile hava karışımında) su tanecik büyüklükleri 1 ile 5 mikron çap aralığındadır. Tanecik çapı küçüldükçe tehlike riski artar. Çünkü 5 mikron ve altındaki su zerrecikleri akciğerin en derin noktalarına kadar geçebilir ve bunlar tekrar kolayca dışarı atılamaz. Öte yandan küçük tanecikler hava akımları ile çok uzak mesafelere (soğutma kulelerinden 3 km mesafelere kadar) taşınabilir.

Lejyoner hastalığının oluşabilmesi için Lejyonella bakterisi ile kirlenmiş suyun aerosol halinde solunması gerekir. Böylece mikrop akciğere ulaşarak hastalığı oluşturabilir.

Hastalık riski solunan mikrop sayısı ile orantılıdır. Solunan aerosol ne kadar yoğun bir biçimde Lejyonella ile kirlenmişse ve bu aerosol ne kadar yoğun ise, aynı oranda hastalığa yakalanma riski vardır.

Bir diğer önemli risk faktörü de temas süresidir. Duş yaparken temas süresi dakikalar mertebesinde dir. Halbuki bir terapi havuzunda veya jakuzide bu süre daha uzundur. Örneğin bir soğutma kulesinden kaynaklanarak kirlenmiş bir binada her gün 8-10 saat temas süresi söz konusudur. Hastanelerde veya evlerde karşılaşılan bazı özel durumlarda ise sürekli temas mümkündür.

Özetle, Lejyonella bir bakteridir. Suda ve nemli ortamda yaşamını sürdürür. Suyun 5 – 8,5 pH değerleri yaşamı için uygun değerlerdir. 6,9 pH Lejyonella’nın yaşamı için en uygun ortamı oluşturur. 5 – 68°C sıcaklık aralığı yaşamı için sınır değerlerdir. 25 - 45°C hızlı çoğalma sıcaklık aralığıdır. 37°C su sıcaklığında 2 saatte 2 kat çoğalır. 48 saat sonunda sayısal olarak patlama yaparak, tehdit edici boyuta ulaşır. Pülverize su içinde solunum yolu ile akciğerden alınır. Hastalığı alma riski, solunan mikrop sayısı ile orantılıdır. Kirlenmiş pülverize su ile temas süresinin fazla olması risk faktörünü artırır. Solunum ile alındıktan 2 – 10 gün kuluçka döneminden sonra çoğalarak enfeksiyon yapar. Belirtileri, kuru öksürük, solunum sıkıntısı, halsizlik, bitkinlik, baş ağrısı, kas kasılmaları, yüksek ateş vb. İnsandan insana geçtiğine dair bulgu yoktur. Türkiye’de risk, İngiltere’den daha fazladır.

Antalya'da daha da fazladır. En etkili savaşma yöntemi, bakterinin çoğalmasının ve yayılmasının önlenmesidir. Hastalığa yakalananlarda ölüm oranı %15 – 20 arasındadır (Küçükçalı, 2001).

7.4.3 Madde Birikimi ve Kontrol

Su soğutma sistemlerinde oluşan madde birikimi genellikle iki bölüme ayrılır: kabuklanma, tortu oluşumu. Isı değiştiricide ve film dolguda, iki tip madde birikiminin oluşumu da ısı aktarımını engelleyerek, işlemin verimliliğinin azalmasına neden olur. Madde birikimi ayrıca paslanma oluşumuna da katkıda bulunabilir.

7.4.4 Kabuklanma

Kabuklanma ısı aktarım yüzeyleri üzerinde ya da su giriş boruları üzerinde, su içinde bulunan daha önce suda çözünmüş mineraller tarafından oluşturulurlar. Soğutma kulesinde su buharlaşırken, mineral tuz çözünürlük sınırı aşılana kadar, çözünmemiş madde yoğunluğu artar. Bu durum işlenmemiş soğutma sistemi suyunda ortaya çıktığında, kabuklanma özellikle ısı aktarım yüzeyleri olmak üzere, su ile teması olan her yüzey üzerinde oluşur. En çok rastlanan kabuklanma mineralleri, bu sırayla kalsiyum karbonat, kalsiyum fosfat, kalsiyum sülfat ve silisyumdur. Magnezyum silikat kabuklanma oluşumu bazı durumlar altında mümkündür. Kalsiyum, fosfat ve kalsiyum karbonat gibi diğer tuzların birçoğu soğuk suda sıcak suda olduğundan daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Bu durum geriye çözünürlük olarak adlandırılır. Su soğutma sisteminden geçerken sıcaklığı artar. Sonuç olarak, kalsiyum ve magnezyum kabuklanması sistem içinde herhangi bir yerde görülebilir; fakat genel olarak ısı değiştiriciler ya da yüzey yoğuşturucuları gibi ısıtılmış yüzeylerde görülür. Silisyum oluşumu soğutma kulesi dolgusu gibi sıcaklığı en düşük olan alanlarda görülür.

7.4.5 Kabuklanma Potansiyelinin Hesaplanması

Belirli bir durum altında kabuklanma tipini belirleyecek olan en önemli özellik, çözünmemiş belirli minerallerin en yüksek çözünebilirlik sınırındır. Su boşaltımını en aza indirmek için, soğutma suyundaki çözünmemiş madde miktarı mümkün olduğu kadar en yüksek çözünebilirlik sınırına yakın olması sağlanmalıdır. Bu su kalite parametresi TDS, sistem COC değerinin en düşük çözünürlüğe sahip olan tuz için izin verilen COC değerinde tutulması ile kontrol edilir. Bu değeri ilgilendiren tuz genellikle kalsiyum karbonat ya da kalsiyum fosfattır, bazen silisyum olabilir (Üneri, 2000).

7.4.6 Kalsiyum Karbonat Kabuklanma

Kalsiyum karbonat kabuklanma, doğada bulunan kalsiyum bikarbonat tuzunun bozulması ile oluşur. Kabuklanma derecesi büyük ölçüde kalsiyum derecesine, bikarbonat alkalinite derecesine ve su soğutma sistemindeki suyun sıcaklığına bağlıdır. En hassas derecelendirme tahmini Pratik (Puckorius) Kabuklanma Endeksi (PSI) kullanılarak elde edilebilir. Kabaca kalsiyum karbonat kabuklanma aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir:

$$C = \sqrt{\frac{110000}{T \times A \times M_{ca}}} \quad (7.11)$$

7.4.7 Kalsiyum Fosfat Kabuklanma

Kalsiyum fosfat kabuklanma, kalsiyum sertliği fosfat ile reaksiyona girince oluşur. Bu durum soğutma suyunda 10 ppm'den daha fazla ortofosfat bulunuyorsa ve kalsiyum sertliği yeterince yüksekse gerçekleşir. Aşağıdaki formül kalsiyum fosfat kabuklanma potansiyeli hakkında kabaca bir tahmin sağlar:

$$C = \frac{(105) \times (9,8 - B_{pH})}{M_{ca}} \quad (7.12)$$

7.4.8 Kalsiyum Sülfat Kabuklanma

Kalsiyum sülfat kabuklanma kalsiyum sertliği sülfat ile reaksiyona girdiği zaman oluşur. Kalsiyum sülfat kabuklanma potansiyeli aşağıdaki formül kullanılarak tahmin edilebilir:

$$C = \sqrt{\frac{1250000}{M_{ca} \times M_{su}}} \quad (7.13)$$

7.4.9 Silisyum Kabuklanma

Silisyum kabuklanma, sudaki silisyum derişimi en yüksek çözünürlük sınırını aştığı hallerde ortaya çıkabilir. Çözünürlük sınırı olarak güvenli ve engelleyici değer olan 150 ppm (SO₄ olarak) kabul edilebilir, böylece en yüksek COC değeri bu formülle hesaplanabilir. Fakat silisyum çözünürlüğü pH ve sıcaklığa bağlıdır. Birçok soğutma kulesinde karşılaşılan 26°C ile 54°C arasında silisyum çözünürlüğü yaklaşık olarak 150 ile 180 ppm (SiO₂ olarak) değerindedir. Soğutma kulesi suyu pH'ı artarken, silisyum çözünürlüğü de artar, böylelikle

eğer soğutma suyu pH'ı 9,0 ise yaklaşık olarak maksimum değer 250 ppm silisyumdur. En üst sınır 150 ppm olarak kabul edilirse, izin verilen en yüksek COC değerı bu denklem ile gösterilir:

$$C = \frac{150}{M_{si}} \quad (7.14)$$

7.4.10 Kontrol İşlemleri İçin COC Hesaplanması

Su soğutma sistemlerinde maddeler için verilen denklemlerle hesaplanan en düşük COC değerı, işlemler için kontrol faktörüdür. Bu durumun nedeni sistem işlerken, en düşük COC değerine sahip madde çözültiden ilk olarak çökecek ve büyük ihtimalle sistemde madde birikimine yol açacaktır. Bu maddelerin su soğutma sistemi ekipmanlarında madde birikimine yol açmalarını engellemek için, sistemdeki COC değerı kalsiyum karbonat, kalsiyum fosfat, kalsiyum sülfat ve silisyum için hesaplanan en düşük COC değerinden daha düşük tutulmalıdır. Uygun su işleme kimyasalları kullanılarak, hangi kimyasalın kullanıldığına bağlı olarak daha yüksek COC değerleri kullanılabilir [3].

Örneğin, bir soğutma kulesi aşağıdaki tamamlama suyu değerlerine sahiptir:

Kalsiyum sertliği	: 100 ppm CaCO ₃
Toplam (M) Alkalinite	: 60 ppm CaCO ₃
Fosfat	: 3 ppm
Sülfat	: 60 ppm
Silisyum	: 14 ppm
pH	: 7,2

Kabuklanma oluşmadan sistem hangi COC değerinde çalışmaya devam edebilir? Bozulma suyundaki pH değerı 8,5 olarak kabul edilsin.

Kalsiyum karbonata göre COC değerı:

$$\sqrt{\frac{110000}{60 \times 100}} = 4,3 \quad (7.15)$$

Kalsiyum sülfata göre COC değeri:

$$\sqrt{\frac{1250000}{60 \times 100}} = 14,4 \quad (7.16)$$

Silisyuma göre COC değeri:

$$\frac{150}{14} = 10,7 \quad (7.17)$$

COC değeri en düşük değer olan 4,3 kalsiyum karbonat değerine göre karar verilir ve sistem işlemlerini bu değer kontrol eder. Eğer sistem su işleme yapılmadan çalışacaksa, 4,3 COC değerinin altında çalıştığı sürece kabuklanma olmaz. Kabuklanma kontrol işlemi kalsiyum karbonat için izin verilen COC değerinin artmasını sağlar, COC ve bozulma hesaplanan kabuklanma indeksi kullanılarak bulunabilir.

7.4.11 Kalsiyum Karbonat Kabuklanma İndeksi

Su soğutma sistemlerinde kabuklanma en çok kalsiyum karbonat olarak görülür, kalsit (kireç taşı) şeklinde bulunur. Kalsiyum karbonat çözünürlüğü, zamanın, TDS'nin, kalsiyum sertliğinin, toplam alkalinin ve pH'ın karmaşık fonksiyonu olarak artan sıcaklıkla azalır. Su soğutma sistemlerinin sıcak kısımlarında kabuklaşmanın oluşup oluşmayacağını anlamak için araştırmacılar tarafından birçok çeşit kabuklanma indeksleri oluşturulmuştur.

7.4.12 Langelier ve Ryznar İndeksleri

W.F. Langelier içme suyunun kalsiyum karbonat kabuklanma oluşumu ve kabuklanma erimesi yatkinliğini hesaplamak için bir yöntem geliştirmişti. Bu yöntem kalsiyum karbonat kabuklanmanın çökelmeye başladığı pH değerini (pH_s) doygunluk pH'ını ölçmeye dayanmaktaydı. Suyun ölçülen pH değeri, pH_s değerinden daha büyük ise yani pozitif bir değer ise su kabuklanma oluşumuna yatkındır. Eğer suyun ölçülen pH değeri, pH_s değerinden daha az ise yani negatif bir değer ise su kabuklanma erimesine yatkındır. Suyun ölçülen pH değerinden, pH_s çıkartılarak Langelier Doygunluk İndeksi (LSI) hesaplanır. Bu indeks ilk olarak içme suyundaki kalsiyum karbonat miktarını belirlemek amacı ile oluşturulmuştur. İndeksin doğruluğunda büyük kusurlar vardır, sonuç olarak su soğutma sistemlerinde pratik uygulanabilirliğini yitirmiştir.

J.W. Ryznar daha sonra kalsiyum karbonat kabuklanmasını belirlemek üzere daha hassas bir formül geliştirdi. Bu formül Ryznar indeksi ya da Ryznar Kararlılık İndeksi (RSI) olarak

bilinir. Formül ($2pH_s - pH_{gerçek}$) ile bulunan değer 6 ise kararlı suyu, 6'dan az bir değer ise kabuklanma oluşturma yatkınlığını, 6'dan büyük değer ise kabuklanma erimesi yatkınlığını gösterir. İndeks ayrıca içme suyu ve soğutma suyunda oluşan kalsiyum karbonat derecesini bulmak için de kullanılmıştır. Daha büyük LSI değeri daha fazla kabuklanma oluşumunu gösterirken daha küçük RSI daha fazla kabuklanma oluşumunu gösterir. LSI ve RSI aynı su kalite değerleri üzerinde çelişen sonuçlar verebilir (Yalçın ve Gürü, 2002).

7.4.13 Pratik (Puckorius) Kabuklanma İndeksi (PSI)

Paul R. Puckorius ve J. Maxey Brooke RSI'nın soğutma suyunda kalsiyum karbonat kabuklanma potansiyelini belirleyen daha tutarlı ve hassas sonuç veren sürümünü geliştirdiler. Pratik Kabuklanma İndeksi (PSI) ayrıca Puckorius Kabuklanma İndeksi olarak da bilinen yöntem soğutma suyunun ölçülen pH ($pH_{gerçek}$) değerine toplam alkalinite tipinin etkisini de göz önünde bulundurmıştır. Ölçülen pH değeri diğer iyonların tampon etkisiyle daima doğru olarak bikarbonat alkalinitesi ile ilişki kurmaz. PSI hesaplanırken doğrudan ölçülen pH değerini kullanmak yerine, düzeltilmiş ya da denge pH (pH_{eq}) değeri kullanılır. $PSI = 2pH_s - pH_{eq}$. RSI ile birlikte, PSI'nın 6 değeri kararlı su, 6'dan daha az değerler ise kabuklanma oluşturma yatkınlığını ifade eder. Kabuklanma kontrol işlemleri olmadan, 6 ile 7 değerleri arasında PSI değerine sahip bir soğutma kulesi kabuklanma oluşturmada çalışabilir. Fakat 6'dan daha büyük değerler kabuklanma olabileceği anlamına gelir. Su pH'ı 7,5 değerinin üzerinde olduğu zaman PSI yöntemi en uygulanabilir yöntemdir.

7.4.14 Soğutma Suyu Tortu Oluşumu

Tortu oluşumu, çamur, tuz ve diğer SS gibi tamamlama suyu ile sisteme giren ve normalde çözülmüş halde bulunan maddelerin, toz, pislik ve diğer birikintiler gibi hava yolu ile sisteme giren maddelerin, yağlar ve paslanmaya neden olan maddeler gibi sızıntı maddelerinin ve canlı veya ölü biyolojik organizmaların birikmesi anlamına gelir. Bu maddelerden biri ya da birkaçı soğutma suyu içerisinde bulunabilir

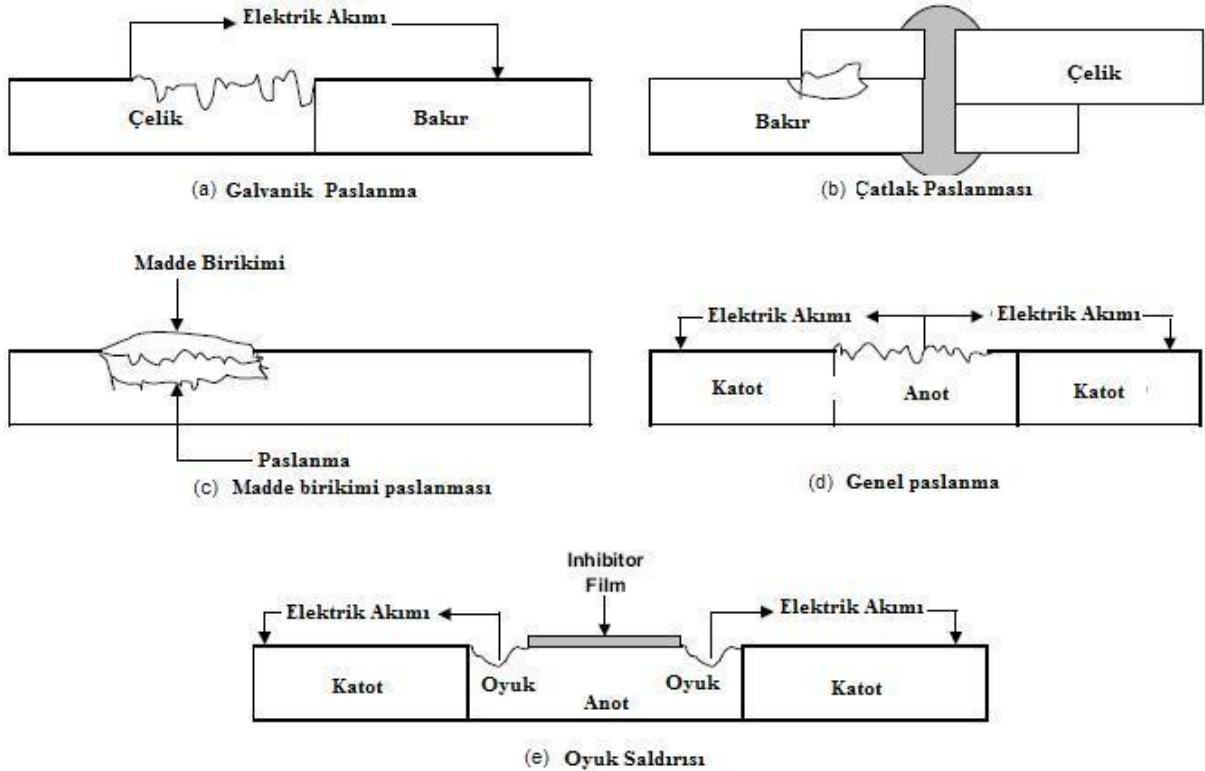
7.4.15 Soğutma Sistemlerinde Paslanma

Su soğutma sistemlerin paslanma terimi soğutma suyu ile temasta olan metal yüzeyin elektrokimyasal bozunmaya uğramasıdır. Paslanma metal üzerinde elektrik akımı bir kısımdan (anot) başka bir kısma (katot) su (elektrolit) ile elektrik akımının olmasıdır. Paslanma sadece anot kısmında görülür. Katot paslanma olayını harekete geçiren kısımdır. Endüstriyel soğutma sistemlerinde meydana gelen paslanma oluşumları Şekil 7.4'te

gösterilmiştir (Basham vd., 2005).

- **Galvanik Paslanma**

Şekil 7.4-a’da iki çeşit metal bir araya geldiğinde oluşan paslanma tipi gösterilmektedir. Daha az dirence sahip metal anodu oluşturur ve oluşan elektrokimyasal reaksiyona göre paslanır. Galvanik paslanmanın soğutma sistemlerinde en çok karşılaşılan çeşidi, çelik ve bakır alaşımlı metallerin bir araya gelmesi (bakır boru sisteminin çelik boruya tutturulması ya da pirinç vanaların çelik ya da galvaniz borularla teması) sonucu oluşur. Elektrokimyasal reaksiyonun sonucu olarak, bakır su içerisinde çözünür ve bakır alaşımın paslanması gerçekleşir. Bakır ayrıca çelik yüzeylere yapışarak ek galvanik bölümler oluşturur. Başka bir örnek ise soğutma kulelerinde oluşan sıcaklıkta çelik ve çinko bir araya gelmesi ile oluşur. Çinko anot olur ve paslanır. Çizelge 7.2 galvanik seriyi göstermektedir. Galvanik seride daha yukarıda olan herhangi bir metalin galvanik seride daha aşağıda olan başka bir metalle eşleşmesi sonucu, yukarıda olan metalin anot ya da aktif metal olarak işlev gördüğü bir elektrokimyasal reaksiyon oluşur (Yalçın ve Gürü, 2006).



Şekil 7.4 Soğutma suyu sistemlerinde meydana gelen paslanma tipleri.

Çizelge 7.2 Su soğutma sistemlerinde bulunan metallerin ve alaşımların galvanik serisi

Aktif Son	<p>Magnezyum</p> <p>Magnezyum alaşımları</p> <p>Çinko</p> <p>Galvaniz Çelik</p> <p>Alüminyum 1100</p> <p>Alüminyum 6053</p> <p>Alkalit</p> <p>Kadmium</p> <p>Alüminyum 2024 (4,5 Cu 1,5 Mg 0,6 Mn)</p> <p>Yumuşak Çelik</p> <p>İşlenmiş Demir</p> <p>Dökme Demir</p> <p>% 13 krom paslanmaz çelik tip 410 (aktif)</p> <p>18-8 paslanmaz çelik tip 304 (aktif)</p> <p>18-12-3 paslanmaz Çelik tip 316 (aktif)</p> <p>Kurşun teneke lehim</p> <p>Kurşun</p> <p>Teneke</p> <p>Çinko (Muntz)</p> <p>Manganez pirinç</p> <p>Naval pirinç</p> <p>Nikel (aktif)</p> <p>76 Ni - 16Cr – 7Fe alaşım (aktif)</p> <p>60Ni - 30 Mo – 6 Fe – 1Mn</p> <p>Sarı pirinç</p> <p>Alüminyum Pirinç</p> <p>Kırmızı Pirinç</p> <p>Bakır</p> <p>Silikon pirinç</p> <p>70-30 Cupro Nikeli</p> <p>G-Bronzu</p> <p>M-Bronzu</p> <p>Gümüş lehim</p> <p>Nikel (pasif)</p> <p>76 Ni-15 Cr- 7Fe alaşım (pasif)</p> <p>67Ni-33Cu alaşım (monel)</p> <p>13% Krom paslanmaz Çelik tip 410 (pasif)</p> <p>Titanyum</p> <p>18-8 paslanmaz Çelik tip 304 (pasif)</p> <p>18-12-3 paslanmaz Çelik tip 316 (pasif)</p> <p>Gümüş</p> <p>Grafit</p> <p>Altın</p> <p>Platin</p>
Pasif Son	

- **Çatlak Paslanması**

Çatlak paslanması terimi, yumuşak ya da paslanmaz çelik plakaların birbirine perçinlendiği yerler gibi aralarında az miktarda açıklık bulunan metallerde oluşan paslanmayı ifade eder. Çatlak içinde su akışı kısıtlanmıştır ve sonuç olarak oksijen çatlağa girdiğinden daha hızlı biçimde tüketilir. Çatlak içinde bulunan metal anot görevi yapar ve paslanır. Bu çeşit konsantrasyon pilleri ayrıca diferansiyel oksijen pili olarak da bilinir. Paslanmaz çelik özellikle bu tip paslanmaya karşı daha duyarlıdır ve bölgesel ya da oyuklaşma paslanması oluşur (Şekil 7.3-b).

- **Madde Birikimi Altı Paslanma**

Madde birikimi altı paslanma terimi herhangi bir çeşit madde birikimi altında oluşan paslanmayı ifade eder. Tortulanma, yapışkan bakteri ya da yabancı madde yüzünden oluşan birikim çatlak paslanmasında olduğu gibi davranır. Birikimin altında kalan metal anot olur ve paslanır (Şekil 7.3-c).

- **Genel Paslanma**

Genel paslanma terimi metal yüzeylerin aynı miktarda paslanmaya uğramasını ifade eder. Tek bir parça metal saflık ve yük dağılımı farklılıkları dolayısı ile üzerinde katodik ve anodik alanlar barındırabilir (Şekil 7.3-d). Bu alanlar periyodik olarak değişebilir, bu durum bütün metal yüzeyinin değişken hızlarda paslanmasına neden olur.

- **Mikrobiyolojik Kaynaklı Paslanma**

Mikrobiyolojik kaynaklı paslanma paslandırıcı çevre şartlarını yaratan ve devam etmesini sağlayan mikrobiyolojik organizmalar nedeni ile oluşur (Şekil 7.3-e). MIC büyük miktarlarda uygun biyosit kullanımı ile yok edilebilir ya da önlenir.

- **Konsantrasyon Pili Paslanması**

Aynı metalden oluşan iki parça, tuz veya tuz karışımları veya oksijen gibi elektrolit gibi davranan farklı maddelerden veya aynı maddenin farklı miktarlarından oluşan çözeltinin içine atıldığında aralarında elektriksel bir potansiyel farklılığı oluşur. Çözeltiyi oluşturan madde pozitif ve negatif iyonlarına ayrılır. Pozitif elektrik yüklü iyonlar akımın elektrolitten çıktığı katot, negatif yüklü iyonlar ise akımın elektrolite girdiği anot denilen metal tarafından tutulur.

Katot tarafından çekilen (+) iyonlar yani katyonlar, kaynak tarafından yayılan (-) elektronlarla birleşerek nötr olurlar. Yan reaksiyonlar olmazsa katotta bir metal birikmesi veya hidrojen çıkışı olur. Katodun madde durumu değişmez. Anot tarafından çekilen (-) iyonlar, yani anyonlar elektron kaybederek nötr olurlar. Kaybedilen elektronlar elektrik kaynağına dönerler. Böylece elektrolit anodun madde kaybına karşı yenileşir ve anot korozyona uğramış olur.

7.4.16 Paslanma Oranı

Paslanma oranı terimi, paslanma işleminin hangi hızda gerçekleştiğini ifade eder. Oran mm/yıl olarak ölçülür. Paslanma oranı suya kısa sürelerde (30-90 gün) bırakılan paslanma kuponları ile ölçülür. Kuponun ağırlığı suya bırakılmadan önce ve sonra ölçülür. Test süresi boyunca paslanmadan dolayı metal kalınlığı kaybı, ağırlık kaybı ölçülerek hesaplanabilir. Bu ağırlık kaybı bir yıl değerine ulaşmak için genişletilir ve kalınlık kaybı ölçümü yapılarak bulunan değer rapor edilir. Çizelge 7.3 farklı metallerin paslanma kuponlarına göre paslanma oranlarını gösterir (Basham vd., 2005).

Çizelge 7.3 Su soğutma sistemlerinde paslanma oranının belirlenmesi için
90 günlük paslanma kuponu testi

Metal	mpy	Açıklama
Yumuşak çelik boru	< 1	Mükemmel
	> 1 to 3	İyi
	> 3 to 5	Orta
	> 5 to 10	Zayıf
	> 10	Kabul edilemez
Yumuşak Çelik Hx tüp	< 0.2	Mükemmel
	> 0.2 to 0.5	İyi
	> 0.5 to 1.0	Orta
	> 1.0 to 1.5	Zayıf
	> 1.5	Kabul edilemez
Bakır ve bakır alaşımları	< 0.1	Mükemmel
	> 0.1 to 0.2	İyi
	> 0.2 to 0.3	Orta
	> 0.3 to 0.5	Zayıf
	> 0.5	Kabul edilemez
Galvaniz çelik	< 2	Mükemmel
	> 2 to 4	İyi
	> 4 to 8	Orta
	> 8 to 10	Zayıf
	> 10	Kabul edilemez
Paslanmaz çelik	< 0.1	Kabul edilebilir
	> 0.1	Kabul edilemez

• Algler

Algler genellikle soğutma kulesi tavanı ve duvarlarında bulunan mikrobiyolojik, küçük, lifli yapıda mavi ya da mavi-yeşil yosunsal yapılardır. Algler sadece gün ışığı olan yerlerde yetişirler. Deri değiştirmeleri sonucu açığa çıkan maddelerin suda dolaşması sonucu tortu oluşumuna ve su sprelerinin tıkanmasına neden olurlar. Algler ayrıca bakteriler için yetiştirme ortamı da oluştururlar.

• Bakteriler

Bakteri terimi, tek hücreli mikroorganizmalar topluluğu anlamına gelir. Bakteriler günışığı varlığında ya da yokluğunda oluşabilirler. Bakterileri sınıflandırmak için kullanılan terimler, oksijen varlığında yaşayan anlamına gelen aerobik ve oksijen yokluğunda yaşayabilen anaerobik terimleridir. Soğutma sistemlerindeki bakteriler, plankton ya da yapışık olarak sınıflandırılabilir. Bu terimler bakterinin suda serbest olarak yüzdüğünü mü yoksa yüzeye yapışık olarak yaşadığını mı tanımlar. Çizelge 7.4'te bakteri çeşitleri ve büyüme koşulları gösterilmektedir.

Çizelge 7.4 Bakterilerin büyüme koşulları ve neden oldukları problemler

Bakteri Türleri	Teknik İsimleri ve Açıklamaları	Büyüme Koşulları		Neden Olduğu Problemler
		Sıcaklık	pH	
Aerobik-Kapsüllü	<ul style="list-style-type: none"> Aerobacter aerogenes Flavobacterium Proteus vulgaris Pseudomonas aeruginosa Serratia Alcaligenes 	20-40 °C (68-104 °F)	4-8 (7.4 optimum)	Birçok jelatinimsi yapışkan madde birikimine yol açar.
Aerobik Sporlu	<ul style="list-style-type: none"> Bacillus myocoides Bacillus subtilis 	20-40 °C (68-104 °F)	5-8	Yapışkan bakteriler- spora çoğaldıklarından yok etmek zordur.
Aerobik - Sülfür	<ul style="list-style-type: none"> Thiobacillus thiooxidans 	20-40 °C (68-104 °F)	0.6-6	Sülfür ya da sülfid sülfirik aside dönüştür.
Anaerobik - Sülfat indirgeyici	<ul style="list-style-type: none"> Desulfovibrio desulfuricans Clostridium 	20-40 °C (68-104 °F)	4-8	Madde birikimi altında oluşup paslanmaya neden olur. Sülfatı hidrojen sülfite çevirir (Çürük yumurta kokusu).
Demir biriktirici	<ul style="list-style-type: none"> Crenothrix Leptothrix Gallionella 	20-40 °C (68-104 °F)	7.4-9.5	Çözünmüş demir tuzlarını demir oksite çevirir. Büyük hacimli birikimler oluşturur.

• Plankton Bakteriler

Plankton bakteriler, su içinde yüzer halde bulunurlar ve bazen serbest yüzücüler ya da yüzücüler olarak tanımlanırlar ve aerobik bakterilerdir, yaşamak için oksijenli ortama ihtiyaç duyarlar. Zararsızlardır, çünkü soğutma sisteminde madde birikimi ya da paslanmaya yol

açmazlar, fakat diğer mikroorganizmalar için besin sağlarlar. Buna ek olarak bazı planktonik Lejyoner hastalığı gibi bakteriler hastalık yapıcıdır ve insan sağlığı için tehlikelidir.

- **Yapışık Bakteriler**

Yapışık bakteriler, yapışkan ya da yüzmeyen bakterilerdir ve madde birikimi ve paslanmaya yol açabilirler. Yapışık bakteri türleri, yüzeyinde duran ve anaerobik (paslandırıcı) bakterilerdir. Yüzeyde duran bakteriler, soğutma suyunun temasta olduğu herhangi bir yüzeyinde jelatinimsi madde birikimi oluştururlar. Bu madde birikimi çok büyük hale gelerek su akışını sınırlandırıp, ısı iletimini engelleyebilirler. Ayrıca madde birikimi altında paslanmaya yol açabilirler. Soğutma kulesi havuzunun su seviyesinin hemen altının kontrol edilmesi yapışık bakteri türlerinin varlığını anlamak için kullanılacak bir yoldur. Eğer sistemde yapışık bakteriler varsa madde birikimi gözlenir. Anaerobik bakteriler oksijensiz bölgelerde çok iyi gelişirler ve genellikle yapışkan madde birikimi ya da diğer madde birikimlerinin altında koloniler oluştururlar. Anaerobik bakterilerin bir türü paslandırıcı bir madde olan hidrojen sülfid oluşturan indirgeyici bakterilerdir (SRB). Bu tip paslanma bölgeseldir ve boru hasarlarına yol açarlar. SRB varlığı yapışkan katmanın altı siyah ise ya da çürük yumurta kokusu alınıyorsa anlaşılabilir. Bütün mikrobiyolojik paslanma türleri mikrobiyolojik kaynaklı paslanma (MIC) olarak adlandırılır. Su soğutma sistemlerinde çoğu MIC bakteriler yüzünden oluşur. Yapışkan bakterilerin varlığının anlaşılması için mikrobiyolojik ölçümler kullanılır.

- **Mantarlar**

Mantar terimi biçim oluşturan ve köpüren organizmalara verilen isimdir, bazı türleri saldırıda bulunarak soğutma kulesindeki tahta kısımların çürümesine neden olur. Mantar kontrolü özel bir tür koruyucu tahta işleme gerektirir. Mantarlar da su soğutma donanımında madde birikimine neden olur.

7.5 Soğutma Suyu Tesisatlarında Kontrol Yöntemleri

7.5.1 Kabuklanma Kontrol Yöntemleri

Su soğutma sistemlerinde kabuklanma oluşumunu engellemek için üç ana yöntem kullanılır:

- Su kullanılmadan önce suda kabuklanmaya neden olan maddelerden arındırılır. Arındırma yumuşatmayı ve RO'yu içerir.

- Kabuklanma oluşturan maddeler çözülmüş halde bulundurulur. Bu yöntem soğutma sularında en çok kullanılan kabuklanma kontrol yöntemidir ve iki şekilde sağlanır: tekrar dolaşım suyunun pH'ını azaltan asiti ekleme ile ya da daha yüksek COC değeri sağlayarak kabuklanmayı önleyen kabuklanma önleyicileri (fosfonat ya da belirli polimerler) ekleme ile. Asit kalsiyum karbonat kabuklanmasını bir bileşeni olan mineral alkalinitesini etkisiz hale getirir, fakat soğutma kulelerinde asit kullanımı, güçlü asitleri kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek problemlerden ve olası bir asit damlamasında meydana gelebilecek zarar dolayısı ile tavsiye edilmemektedir.
- Kabuklanmaya neden olan maddelerin çamur halinde bulunmaları sağlanır. Modern kimyasal işlemler kristalleri bozabilir ya da yapısını değiştirebilir, böylelikle birbirlerine yapışmayıp katı madde birikmesine yol açamazlar, bunun yerine çamur haline gelirler ve filtreleme ya da bozulma yolu ile sistemden uzaklaştırılırlar.

7.5.1.1 Çözünebilir Kimyasallar Kullanılarak Kalsiyum Karbonat Kabuklanma Kontrolü

Asitler ve fosfonatlar kabuklanma oluşumunu engellerler. Soğutma kulelerinde asit kullanımı askeri uygulamalar için oluşabilecek paslanma oluşma riski nedeni ile uygun değildir. Çizelge 7.5'te kabuklanma kontrol yöntemi gösterilmiştir.

Çizelge 7.5 Kabuklanma kontrol yöntemi

Kabuklanma	Kontrol Yöntemi
Kalsiyum Karbonat	1. Fosfonat kullanarak çözdür 2. Polimer kullanarak çözdür. (Poliakrilat, polimetakrilat, polimaleat). 3. Özel polimerler kullanarak sulu çamur haline getir.
Kalsiyum Fosfat	1. Fosfonat kullanarak çözdür 2. Özel kopolimerler ya da terpolimerler kullanarak çözdür.
Kalsiyum Sülfat	Akrilat ve akrilamid gibi özel polimerler kullanarak çözdür.
Magnezyum Silikat	Su kimyasını pH < 9.0, magnezyum sertliği < 500 ppm, ve silisyum < 100ppm olacak şekilde ayarla.
Silisyum	1. Su kimyasını silisyum < 150 ppm olacak şekilde ayarla. 2. Özel silisyum polimerleri kullanarak çözdür.

- **Asitler**

En çok kullanılan asit çeşidi sülfürik asittir. Seyreltilmiş olarak kullanılır (örn. suda %40 sülfürik asit). Asit kullanımı yeterli seviyede pH kontrolü gerektirir.

- **Fosfonatlar**

Kalsiyum karbonat kabuklanma kontrolünde tekrar dolaşım suyu içinde büyük sıklıkla kullanılan fosfonatlar, AMP (amino-tri-metilen, fosfonik asit), HEDP (hidroksietiliden-disfosfonik asit) ve PBTC (fosfonobütan-trikarboksilik asit)'dir.

Bütün fosfonatların kimyasal reaksiyonları benzerdir, fakat kararlılıkları çok değişkendir.

Soğutma suyunda klorin ya da diğer oksidantların bulunması ayrışma direnci yüksek olan PBTC kullanımını gerektirir, devamında HEDP gelir ve en son olarak AMP. 3 ile 5 ppm arası dozajında AMP ya da HEDP, ya da 1,5 ile 2,5 ppm dozajında PTBC, kimyasal işleme tabi tutulmamış suya göre kalsiyum karbonat çözünürlüğünü 3 kat artırır. İşleme tabi tutulmamış sistemde PSI değerini 6,0 (kararlı su, kabuklanma yok)'da tutmak yerine, soğutma suyu kulesi 4,0 PSI değerinde kabuklanma oluşmadan kullanılabilir; fakat kalsiyum kabuklanma durumu olmadan, fosfonatlar yumuşak çelik ve bakırın paslanmasını arttırabilirler.

7.5.1.2 Çözünebilir Polimer Kullanılarak Kalsiyum Karbonat Kabuklanma Kontrolü

Suyun işlenmesinde birçok farklı polimer çeşidi kullanılabilir. Büyük bir kısım için çok yüzölçümü performansı kabiliyeti mevcuttur; birçok çeşit kabuklanma oluşumunu engelleyebilir ve SS (çamur, pislik vb.) oluşumunu engeller. Genellikle su işleme ürünleri formülünde birden fazla polimer çeşidi bulunur. Kalsiyum karbonat kontrolü için poliakrilat, polimetakrilat, polimaleat gibi homopolimerler, kalsiyum karbonatın suda çözünmüş olarak bulunmasını sağlarlar. Soğutma suyunda 3 ile 5 ppm değerinde aktif polimer bulunması 4,5 PSI değeri gibi düşük değerlerde kalsiyum karbonat kabuklanma oluşumunu engeller.

7.5.1.3 Sulu Çamur Halinde Polimer Kullanılarak Kalsiyum Karbonat Kabuklanma Kontrolü

Belirli homopolimerler ve kopolimerler, kalsiyum karbonat kristallerini dağıtarak ısı değişimi olan yüzeylerde birikip kristal yapı oluşturmak yerine dağılıp çamur haline gelmelerini sağlayan, filtrasyon ya da boşaltım yolu ile sistemden uzaklaştırılabilecek hale getiren, kristal yapı değiştiren malzemelerdir. Genellikle soğutma suyunda bulunan 1 ile 3 ppm arası

dozajında aktif polimer kalsiyum karbonat kabuklanma oluşumunu kontrol edebilir. Sulu çamur oluşumundan dolayı, çözültide karbonat kararlılığından ziyade bu koşullarda PSI anlamsızdır.

7.5.1.4 Çözünebilir İnhibitör Kullanılarak Kalsiyum Fosfat Kabuklanma Kontrolü

Genellikle su soğutma sistemlerinde kalsiyum fosfat kabuklanma, fosfat tabanlı paslanma engelleyici ya da tamamlama suyunda (içilebilir su ya da geri kazanılmış su) fosfat bulunması nedeniyle oluşur. Kalsiyum fosfat suda kalsiyum karbonattan daha az çözünürlüğe sahiptir. Eğer kalsiyum sertliği 500 ppm ve pH 7,0'dan yüksek ise, herhangi bir polimer işleme olmadan, 10 ppm fosfat (PO_4 olarak) değerinde bile kalsiyum fosfat kabuklanma oluşabilir. Kalsiyum fosfat oluşumu kalsiyum fosfat çözünürlüğü 3 kattan daha az bir oranda 4 ppm fosfonat (HEDP/PBTC) ilavesi ile ya da 6 ile 8 ppm kopolimer ya da terpolimer ilavesi ile engellenir [3].

7.5.1.5 Çözünebilir İnhibitör Kullanılarak Kalsiyum Sülfat Kabuklanma Kontrolü

Kalsiyum sülfat oluşumu dolaşım suyunda yüksek oranda kalsiyum ve sülfat iyonu bulunmasından kaynaklanabilir; fakat kalsiyum sülfat pH seviyesi 8,0'den büyük olan soğutma sularında kabuklanma oluşturan kalsiyum tuzları arasında çözünürlüğü en yüksek olanıdır. Bu durum kalsiyum iyonları bütün karbonat ve fosfat iyonları ile reaksiyona girdikten sonra bile bir miktar kalsiyum iyonu (sertliği) çözünmüş olarak kalacağı için, kalsiyum sülfat kabuklanmanın meydana gelmeyeceği anlamına gelir. Kalsiyum sülfat kabuklanma soğutma suyunda kalsiyum sertliği 500 ile 700 ppm değerleri arasında $CaCO_3$ olarak ve sülfat sertliği 500 ile 700 ppm SO_4 olarak bulunduğu zaman gerçekleşir. 3 ile 5 ppm değerinde akrilat ve akrilamit kopolimer ilavesi işleme tabi tutulmamış durumdan 3 kat daha fazla miktarda kalsiyum sülfatın çözünmüş halde bulunmasını sağlar. Kalsiyum sülfat kabuklanma oluşumu pH'ı 8,0'den yüksek soğutma sularında nadiren olur.

7.5.1.6 Magnezyum Silikat Kabuklanma Kontrolü

Magnezyum silikat kabuklanma oluşumu soğutma sistemlerinde görülebilir fakat sadece belirli durumlar altında gerçekleşir. Magnezyum iyonları (sertliği), önce hidroksil (OH) iyonları ile magnezyum hidroksiti oluşturur, bu bileşik daha sonra çözünmüş ya da kolloid yapıda bulunan silisyum ile reaksiyon gösterir. Madde birikimi analizi çoğunlukla bu malzemeyi magnezyum silikat olarak belirtir. Magnezyum hidroksit çözünürlüğü pH seviyesi 9,0'dan yüksek değerlerde azaldığı için, kabuklanma sadece pH seviyesi 9,0 üzerinde ve

magnezyum sertliği konsantrasyonu 100 ppm üzerinde olan durumlarda gerçekleşir.

7.5.1.7 Silisyum Kabuklanma Kontrolü

Silisyum özünürlüğü sıcaklık ve pH'a bağlıdır. 8,5'den yüksek pH değerlerinde ve SiO₂ olarak 250 ppm, silisyum çözünebilir halde kalır (kabuklanma oluşmaz). 7,5 ya da daha az pH değerlerinde ise, en yüksek silisyum özünürlüğü SiO₂ olarak 150 ppm'dir. En yüksek silisyum değerinde, silisyum ısı değişimi yüzeyleri yerine soğutma kulesi pervazlarında kabuklanmaya neden olur, çünkü silisyum sıcak suda soğuk suda olduğundan daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Pervazlar parlak, beyaz bir madde ile kaplı hale gelir. Bu durum oluştuğunda COC değerini en az 1 birim azaltmak için boşaltım arttırılmalıdır. Bu yöntem ek kabuklanma oluşumuna neden olur. Tamamlama suyundaki silisyum konsantrasyonu 30 ppm'i geçme durumu, genellikle silisyumu COC'yi kontrol eden parametre haline getirir. Eğer silisyum konsantrasyonu yüksek ise, dahili işleme tamamlama suyundaki silisyum konsantrasyonunu azaltır. Yeni polimer teknolojisi ile geliştirilen su işleme kimyasalları, silisyum çözünürlüğünü eski sınırın yaklaşık 150 ppm üzerine çıkarabilmektedir.

7.5.2 Tortu Oluşumu Kontrolü

Çamur, toz ve paslanma sonucu oluşun maddelerden dolayı tortu oluşumu, poliakrilat gibi suda çözünebilen polimer seyreltici maddelerin eklenmesi ile kontrol edilebilir. Uygun su hızı ile birlikte 4 ile 5 ppm arası aktif polimer eklenmesi, tortu oluşuran maddelerin çözünmüş halde kalmasını sağlayarak ısı aktarım yüzeyleri üzerinde birikmesini engeller. Daha yüksek dozajlar (5 ile 20 ppm) aktif polimer ilavesi aşırı miktarda tortu oluşmuş sistemlerde kullanılabilir. En etkin yol SS yükünü filtreleme, boşaltım ve fiziksel karter temizleme ile sistemden mekanik olarak uzaklaştırmaktır. Yağ ve yağlı malzemeler köpüksüz etkin yüzey maddeleri kullanılarak temizlenebilir. Çizelge 7.6'da tortu oluşumu kontrolünü gösterilmiştir.

Çizelge 7.6 Tortu oluşumu kontrolü

Tortuya neden olan madde	Kontrol yöntemi
Çamur, toz ve paslanma ürünleri	Uygun akış ile polimer kullanılarak dağıtılır. Özel polimerler kullanılarak sulu çamur oluşturulur.
Yağlı maddeler	Köpüksüz etkin yüzey maddesi kullanılarak dağıtılır.

7.5.3 Mikrobiyolojik Kontrol

Mikrobiyolojik kontrol soğutma suyunda bulunan mikrobiyolojik organizmaların en düşük seviyeye indirilmesinde kullanılan tekniklerle yapılır. Kimyasal biyosit işleme, soğutma suyunda mikrobiyolojik kontrol için kullanılan yöntemdir. Mikrobiyolojik büyümeyi kontrol etmekte kullanılan biyositler iki geniş kategoriye ayrılır: oksitleyici ve oksitleme engelleyici mikrobiyositler. Maddi açıdan uygun olan kontrol yönteminde, düzenli olarak ek olarak kullanılan seçilmiş oksitlenme engelleyici biyositlerden önce, oksitleyici biyosit kullanılır. Etkin biyosit kullanımı uygun dozajda mikrobiyolojik organizmalar ile yeterli temas süresi sağlanarak gerçekleştirilir.

• Oksitleyici Mikrobiyositler

Oksitleyici biyositler biyo-organizmaları oksitleyen ve geri döndürülemez şekilde yakan mikrobiyositlerdir. Oksitleyici mikrobiyositler mikroorganizmalar için gerekli bütün besini oksitlerler. Gerektiğinden fazla miktarda oksitleyici mikrobiyosit kullanımı engellenmelidir, çünkü tahta ve metal soğutma sistemleri için paslanmaya yol açabilir ve bazı kabuklanma ve paslanma önleyicileri yok edebilirler. Birkaç çeşit oksitleyici biyositler aşağıda anlatılmıştır. Çizelge 7.7 oksitleyici mikrobiyosit seçimi hakkında bilgi vermektedir.

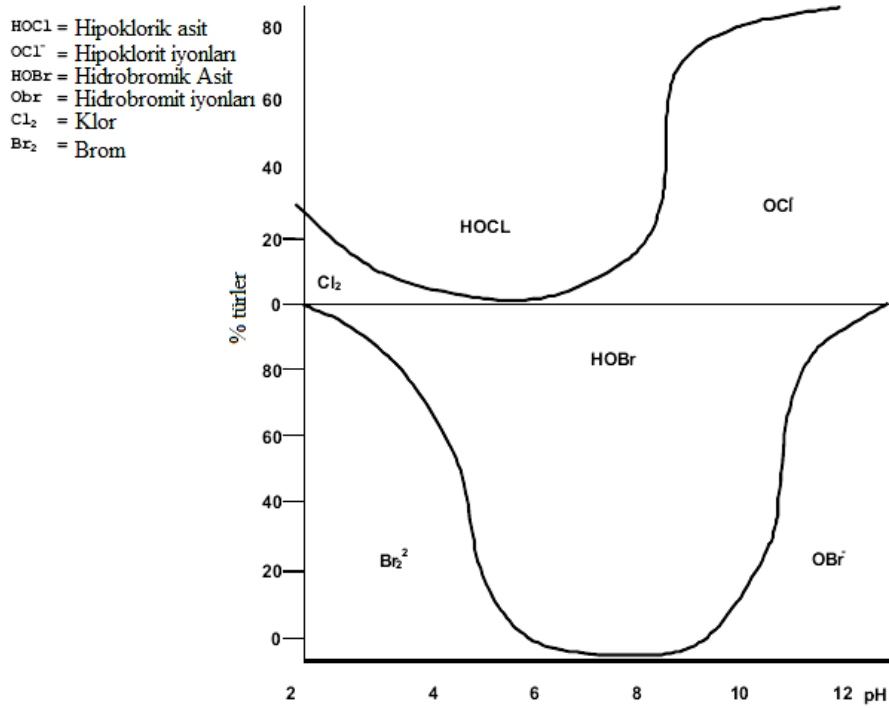
Çizelge 7.7 Oksitleyici biyosit etkinliği rehberi

Mikrobiyosit	Bakteri Tipleri				Mantarlar	Algler	Açıklamalar
	Yapışık Bakteriler		Demir Biriktirme	Paslandırıcı			
	Spor yapanlar	Spor yapmayanlar					
Klor	P	E	E	N	P	F	Kullanımı tehlikeli, metal paslandırıcı, kuru gaz ya da sıvı olarak bulunur. yüksek pH değerinde (> 7,5) daha az etkin
Brom	F	E	E	N	P	F	Bromitlerden üretilebilir. 6-10 arası pH değerlerinde çok etkindir. amonyak ile çok etkindir. kloradan daha az uçucudur.
Ozon	E	E	E	F	G	P	Çok uçucudur. Tahta, PVC, bakır ve contalar için zararlıdır.
Klor dioksit	G	E	E	N	P	F	Yerinde üretilmelidir. Çok uçuşu, pH değerinden etkilenmez. Amonyak ve birçok organik madde ile reaksiyona girmez.
Peroksit	G	G	G	F	P	F	TDS eklemeyiz, suda çözünür.

E = Mükemmel G = İyi F = Orta P = Zayıf N = Etkisiz

- **Klor ve Klor Açığa Çıkarıcı Etkenler**

Klor (Cl_2) bileşikleri en etkili oksitleyici biyositlerdendir ve yaygın olarak kullanılırlar. Klor gaz olarak, kuru hipoklorit (HCH) olarak, sıvı sodyum hipoklorit (çamaşır suyu) olarak ya da bunlara ek olarak her çeşit klor gazı çıkaran kuru ürünler olarak bulunur. Klor suya atıldığı zaman, hidrolize olur ve en güçlü kimyasal oksitleyici biyosit olan hipoklorit iyonları (OCl^-) ve hipoklorik asit ($HOCl$) oluşturur. Düşük pH seviyelerinde açığa çıkan hipoklorik asit miktarı hipoklorit iyonu miktarına bağlıdır. 5,0 pH derecesinde neredeyse tam olarak hipoklorik asit oluşur. 7,5 pH dereesinde yaklaşık olarak eşit miktarda hipoklorik asit ve hipoklorit iyonları oluşur. Şekil 7.5, aralarındaki ilişkiyi göstermektedir. Klor biyosit olarak 7,5 ya da daha yüksek pH seviyesinde az miktarda etkindir çünkü biyosit olarak hipoklorit iyonları, hipoklorik asidin yaklaşık % 10'u kadar etkindir. 6,5 ile 7,5 pH seviyesi en uygun klor ya da klor tabanlı kontrol programı için uygun kabul edilir. 7,5 pH seviyesinden daha aşağıdaki değerler için klor etkin olmaktadır. Soğutma kulelerinde, güvenlik endişeleri, gaz beslemeyi kontrol etme güçlüğü ve ek olarak klor gazı kaçağının çevreye etkisi ile ilgili son zamanlarda artan endişelerden dolayı nadir olarak klor gazı kullanılır. En çok kullanılan klor tabanlı ürün çamaşır suyu ve HTH 'dir.



Şekil 7.5 Halojen türleri ile su pH'ı

- **Brom Açığa Çıkarıcı Etkenler**

Brom (Br_2) bileşikleri krom bileşikleri ile benzerdir. Klor bileşiklerinden daha pahalı olmalarına rağmen, brom bileşiklerinin en büyük avantajı yüksek pH değerlerinde (7,5 ya da daha yüksek) daha etkin olmalarıdır. Brom klordan daha düşük buhar basıncına sahiptir ve suda 6 kat daha fazla çözünür; böylece soğutma suyunda daha az buharlaşma sonucu kayba uğrar. Brom suya atıldığında, hidrolize olur ve hipobromit iyonları (OBr^-) ile hipbromür asidi ($HOBr$) oluşturur. Şekil 7.5, aralarındaki ilişkiyi göstermektedir. 7,5 ile 10 aralığındaki pH değerleri, brom kullanımı için en uygun değerler olarak kabul edilir. Brom çıkarıcı etkenler, kuru kimyasal maddeler olan hidantoinleri ve sodyum bromid gibi brom tuzlarını içerirler. Tuz çözeltisi, çamaşır suyu gibi oksitleyici etkenle karşılaştığında, reaksiyon gerçekleşir ve brom oluşur. Suda brom, klora göre daha çabuk çözünür. Brom kimyasındaki son gelişmeler sıvı brom çözeltisi ürünün elde edilmesini sağlamıştır. Çizelge 7.8, bazı brom açığa çıkarıcı etkenleri gösterir. En yaygın brom kaynakları kuru brom açığa çıkarıcı etkenlerdir.

Çizelge 7.8 Brom açığa çıkarıcı etkenler

Çıkarıcı Etken	Açıklamalar
Bromo-kloro-dimetil hidatonin	Kuru ürün-brom oluşturur
Bromo-kloro-metil-etil hidatonin	Kuru ürün-brom oluşturur
İsosiyanürik asit+sodyum bromit	Kuru ürün-brom oluşturur
Klor+sodyum bromit	Sıvı brom oluşturur
Peroksit+sodyum bromit	Sıvı brom oluşturur
Ozon+sodyum bromit	Sıvı brom oluşturur
Kararlı brom	Sıvı hidrobromit

- **Ozon**

Ozon (O_3) kuru havanın güçlü bir elektrik alandan ya da ultraviyole ışığın yanından geçirilmesi ile oluşur. Eğer ozon suda çözünürse, oluşan çözelti soğutma suyuna eklenebilir. Ozon çok güçlü bir oksitleyici biyosittir; düzgün şekilde uygulanırsa su soğutma sistemlerinde normal durumlar için mikroorganizmalara karşı etkin koruma sağlar. Ancak soğutma kulelerinde kullanımı, ilgili güvenlik problemleri ve yüksek maliyeti yüzünden, ekonomik olmayan ve çok tercih edilmeyen bir mikrobiyolojik kontrol yöntemidir. Ozon metalik paslanmayı arttırabilir ve kabuklanmayı engellemez (Berkem, 1984).

- **Klor Dioksit**

Klor dioksit (ClO_2) bazı kimyasalların karışımından oluşan bir gazdır. Bu şekilde oluşturulan klor dioksit gazı klor dioksit içeren suda çözdürülür ve daha sonra soğutma suyuna eklenir. Klor dioksit kullanım amacına en uygun şekilde üretilmelidir. Soğutma kulelerinde kullanımı, üretiminin karmaşıklığından ve üretim ile kullanımındaki güvenlik endişelerinden dolayı tavsiye edilmemektedir.

- **Hidrojen Peroksit**

Hidrojen peroksit (H_2O_2) genellikle suda % 30 yoğunlukta kullanılan bir sıvıdır. Hidrojen peroksit doğa dostu olan oksitleyici biyositlerden kabul edilir; çünkü suda ayrışır fakat yoğun miktarda hidrojen peroksit diğer organik kimyasallar ya da maddeler ile bir araya geldiğinde tehlike arz edebilir.

- **Oksitleme Engelleyici Biyositler**

Oksitleme engelleyici biyositler zehir gibi davranan mikrobiyositlerdir, mikro ve makro organizmaların metabolik ya da üretim faaliyetlerinin bozulmasına yol açarlar yani toksiktirler. Oksitleme engelleyici biyositler insan ve hayvan gibi organizmalar için çok zehirli organik maddelerdir. Genellikle sıvı haldedirler fakat küçük topraklar şeklinde kuru, katı halde de bulunabilir. Kullanımlarının en büyük etkeni, bu zehirli maddeleri içermelerine rağmen su ile boşaltım sınırlarına uygun kalabilmesidir. Ayrıca oksitleme engelleyici biyosit seçerken, pH ve tutma süresi gibi soğutma kulesinin çalışma parametreleri göz önünde bulundurulmalıdır. Uygulanan biyosit miktarı hiçbir zaman taşıyıcını üzerindeki etiketlerde bulunan EPA'nın en yüksek değerlerini geçmemelidir. Etiketler ayrıca aktif mikrobiyosit içeriğini, her kimyasalın bulunduğu formül yüzdesini ve EPA kayıt numarasını içerir. Kontrol programları genellikle oksitleyici ve oksitleme engelleyici biyositlerin bir arada kullanımını içerir. Biyo-tortulanma kontrolünün en önemli yönü sorun yaratan organizmaya uygun oksitleme engelleyici biyosit kullanımınıdır.

- **Alg Kontrolü**

Algler kimyasal ve fiziksel yöntemlerle kontrol edilebilir. Alglerin yaşaması ve büyüebilmesi için gün ışığına ihtiyaçları vardır. Soğutma kulesinin üst sıcak su yataklarını kontraplak ile kaplamak alg birikimini engelleyebilir. Kimyasal yöntemlerde algleri çeşitli

derecelerde engelleyen oksitleyici ve oksitleme engelleyici biyosit kullanılır. Oksitleyicilerin etkinliği sadece oksitleme engelleyicilerin değerleri iyi olmadığı durumlarda kabul edilir. En etkin biyositlerden biri, bir triazin ürünü olan terbütihazindir.

- **Bakteri Kontrolü**

Kabul gören bakteri kontrolü şekli, bakteriye uygun oksitleyici ve oksitleme engelleyici biyosit kullanımınıdır. Orta ve büyük soğutma kuleleri için maddi açıdan en etkin mikrobiyosit kontrolü yöntemi, birincil olarak oksitleyici biyosit ve ikincil olarak seçilen bir ya da daha fazla oksitleme engelleyici biyosit kullanımınıdır. Daha küçük soğutma kuleleri için ise bir ya da daha fazla oksitleme engelleyici biyosit bununla birlikte kuru oksitleyici biyositler genel olarak kullanılır. En etkin şekilde bakteri kontrol yöntemi ise sistemi madde birikimi ve toz, kir, çamur vb. maddelerden filtreleme yöntemleri ile ve uygun aralıklarla yıkama süreçleri ile bakterileri sistemden uzak tutmaktır. Temiz sistemler kimyasal ve mikrobiyolojik kontrole gereksinimi azaltır. Çizelge 7.9 kabul edilmiş, test kiti kullanımı ile birlikte endüstriyel bakteri kontrol programını gösterir (Çotuk vd., 2005).

Çizelge 7.9 Soğutma kuleleri için bakteri kontrolü rehberi

Bakteri Tipi	Koloni Oluşturma (ünite/ml)
Toplam Aerobik Bakteri	$< 10^4$
Sülfat İndirgeyici Bakteri	Belirsiz
Yüzeyler Üzerindeki Mikrobiyolojik Oluşumlar	$< 10^6$ - Belirsiz

- **Oksitleyici Mikrobiyositlerle Bakteri Kontrolü**

Oksitleyici mikrobiyositler ile bakteri kontrolü oksitleyicinin devamlı olarak eklenmesi ya da belirli miktarlar halinde eklenmesi ile yapılabilir. Devamlı ekleme işleminde geri dönüş suyunda 0,1 ile 0,3 ppm değerinde halojen bulundurulması ile sağlanır. Belirli miktar halinde ekleme işlemi ise periyodik olarak 0,5 ile 1,0 ppm arası değişen değerlerde haftada 3 defa 2 ile 4 saat içinde geri dönüşüm suyuna halojen eklenmesi ile sağlanır. Halojen terimi klor ve brom içeren bir grup element için kullanılır. Serbest halojen terimi ise ölçülen geriye kalan halojen miktarının dezenfektasyon için uygun olduğunu belirtir. Kararlı halojen teknolojisi genellikle geriye kalan halojen miktarı ile ölçülür. Devamlı ekleme işlemi için kontrol toplamda 0,5 ile 1 ppm belirli miktarda ekleme işleminde ise kontrol 2,4 ppm'in 2 ile 4 saatlik periyotlarda haftada 3 kez uygulanması ile sağlanır.

- **Oksitleme Engelleyici Biyositlerle Bakteri Kontrolü**

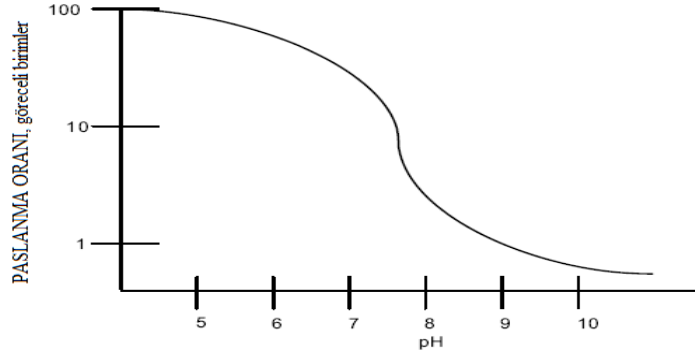
Oksitleme engelleyici biyositlerle bakteri kontrolü, Çizelge 7.7’de de gösterildiği üzere bir ya da daha fazla biyosit kullanımı ile gerçekleşir. Genellikle alternatif oksitleme engelleyici mikrobiyosit değişen bir program dahilinde eklenir. En yüksek verimlilik için belirli miktarda haftalık ekleme yapılarak elde edilir. Oksitleme engelleyici biyositlerin her kullanımında 24 saatlik uygun dozaj kullanılarak uygun temas süresi sağlanır ve en yüksek verimlilik elde edilir.

7.5.4 Makrobiyolojik Kontrol

Makrobiyolojik kontrol midye, salyangoz ve benzer türdeki canlılar gibi daha büyük organizmaların kontrolünü içerir. Tamamlama suyu olarak deniz suyu ya da göl suyu kullanılan sistemlerde bu canlılar görülebilir. Bu canlıların kontrolünde ilk adım soğutma suyu sisteminin filtrelenmesi için su girişlerin filtrelerin ve süzgeçlerin kullanılmasıdır. Sistem içindeki kontrol yöntemi termal şoklar ve oksitleyici ve oksitleme engelleyici biyositler ile kimyasal işlemlerin kullanımınıdır.

7.5.5 Paslanma Kontrolü Yöntemleri

Su soğutma sistemlerinde, su ile temas eden metal yüzeylerde paslanma kontrolü için iki temel yöntem kullanılır: kimyasal paslanma önleyiciler ve soğutma suyu pH’nın artırılması. Şekil 7.6 yumuşak çelik üzerinde pH değerinin paslanmaya etkisini gösterir. Birçok askeri su soğutma sistemi öncelikle bakır alaşımı ve yumuşak çelik ile üretilmiş parçalar içerir. Galvaniz çelik galvaniz soğutma kulelerinde ve paslanmaz çelik ise boru sistemlerinde bulunabilir. Soğutma suyu pH’ı artırılırken (ideal aralık 8,0 ile 9,5 arasındadır), yüksek pH değerleri bakır için çok paslandırıcı olsa da bakır ve yumuşak çelik paslanma oranı Şekil 7.6’da gösterildiği üzere düşer. Yalnız başına pH değerinin artırılması metallerin tam olarak korunmasını sağlamaz, özellikle yoğun miktarda havalandırılmış (doymuş oksijenli) soğutma sularında sağlanamaz. Kimyasal paslanma önleyiciler soğutma kulelerinin metal parçalarının paslanmaya karşı korunmasını sağlarlar. Çizelge 7.10 korozyon önleyiciyi seçme kriterlerini göstermektedir. Bir soğutma sistemi için öncelikli paslanma önleme stratejisi ısı değiştiricideki metallerin (sistemde bulunan en ince metal kısım) korunmasının sağlanmasıdır. İkinci nokta ise, yumuşak çelik boruların paslanmalarının önlenmesidir. Galvaniz çelik soğutma kulelerinde özel paslanma önleyiciler en iyi paslanma önleme yöntemidir.



Şekil 7.6 Suda bulunan korunmamış yumuşak çelikte pH değerinin paslanma oranına etkisi

Çizelge 7.10 Korozyon önleyiciyi seçme kriterleri

Korozyon Önleyici	Çelik	Bakır	Alüminyum	pH Aralığı (İdeal)
Katodik Önleyici				
Polifosfat	Mükemmel	Zarar Verir	Zarar Verir	6,5-8,5
Çinko Tuzları	Mükemmel	Hiç	Hiç	6,5-8,5
Polisilikat	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	7,5-10,0
Molibdat	İyi	Orta	Orta	7,5-10,0
Anodik Önleyici				
Ortofosfat	İyi	Zarar Verir	Zarar Verir	6,5-8,5
Ortosilikat	İyi	İyi	İyi	7,5-10,0
Bakır Korozyon Önleyici				
Azole	Orta	Mükemmel	Orta	6,0-10,0

7.5.6 Etkili Korozyon Kontrolü

Etkili korozyon kontrolü için, doğru aralıkta pH seviyeleri sağlamak ve sürekli dozajlarda kimyasal korozyon önleyici eklemek gerekir. Kimyasal korozyon önleyiciler, yüksek dozajda önleyicinin ilk kez eklenmesinden önce temizlenen soğutma sistemi metal yüzeyleri üzerinde koruyucu bir film ya da bariyer oluştururlar (Çotuk vd., 2005). İlk kez uygulanan yüksek dozajlı bu önleyici metali korur. Korumanın devamı için, soğutma suyunun içinde sürekli olarak uygun dozajlarda korozyon önleyici bulunması sağlanmalıdır. Çizelge 7.11, pasifizasyon ve önleyici dozaj düzeyleri sağlanması konusunda çeşitli örnekleri

göstermektedir. Korozyon önleyiciler üç sınıfa ayrılırlar; katodik, anodik ve genel film oluşturmucular. Korozyon önleyiciler; anot, katot ya da tüm metal yüzey üzerinde koruyucu bir film yapısı alırlar. Korozyon önleyicilerin yapısı aşağıda açıklanmıştır.

Çizelge 7.11 Dinginleştirme filmi oluşumu ve sonraki koruyucu bakım için yönerge

Paslanma Önleyici	Dozaj(ppm)		Film oluşturma zamanı (gün)
	Başlangıç	Koruyucu	
Katodik Önleyici			
Polifosfat	40-60 (PO ₄)	10-20 (PO ₄)	5-6
Çinko Tuzları	10-20 (Zn)	3-5 (Zn)	5-6
Polisilikat	40-60 (SiO ₂)	10-20 (SiO ₂)	10-12
Molibdat	40-60 (Mo)	5-20 (Mo)	10-12
Anodik Önleyici			
Ortofosfat	40-60 (PO ₄)	15-20 (PO ₄)	5-6
Ortosilikat	40-60 (SiO ₂)	10-15 (SiO ₂)	10-12
Bakır Korozyon Önleyici			
Tolitriazol	10-20 (TTA)	1-2 (TTA)	5-6

- **Anodik Önleyiciler**

Anodik önleyiciler, anodik metal üzerinde (metal in kaybolduğu yer) koruyucu bir film yapısı alırlar ve böylece korozyonla sonuçlanacak reaksiyonu önleyerek doğrudan korozyon olayını kontrol ederler. Koruma altında olmayan her alan, koruma altında olanlardan çok daha hızlı bir şekilde korozyona uğracak, sonucunda çürüme ya da bölgesel zarar görme faktörü doğacaktır. Ortofosfat, nitrit ve ortosilikat, anodik önleyicilere örnektir. Bazı koşullarda molibdat, bir anodik önleyici fonksiyonu kazanabilir.

- **Katodik Önleyiciler**

Katodik önleyiciler, katodik metal üzerinde (metalin kaybolmadığı yer) koruyucu bir film yapısı alırlar ve böylece katodik ve anodik metaller arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon için gereken akımı engelleyerek, dolaylı yoldan korozyon olayını kontrol ederler. Paslanma

reaksiyon hızı katotun anoda göre büyüklüğüne bağlıdır. Eğer anodik kısımlar tamam koruyucu film ile kaplanmazlarsa paslanma oluşur fakat yalnızca anodik önleyici kullanımına göre daha yavaş ve düzenli olarak oluşur. Bölgesel paslanma ya da çatlak saldırısı gibi olayların genellikle önüne geçilir. Katodik önleyici örnekleri, çinko tuzları, polifosfatlar ve polisilikatlarıdır. Genellikle molibdatlar katodik önleyici olarak işlev görürler.

- **Genel Engelleyiciler**

Genel engelleyiciler tüm metallerin yüzeyinde koruyucu ince bir tabaka oluştururlar. Bu pas engelleyiciler tıpkı bazı fosfonat, amin ve başka nitrojen kimyasalları gibi organik bileşiklerdir. Su soğutmalı sistemlerde kullanılabilirler.

- **Özel metaller için pas engelleyiciler**

Bazı pas engelleyiciler özel metaller için pas kontrolü sağlarlar. Bakır ve bakır alaşımlarının koruma işlemleri, diğer arıtma kimyasallarından ayrı ya da onların alaşımlarının bir parçası olarak sisteme katılan tolyltriazole (TTA), benzotriazole (BZT) ve butylbenzo-triazole gibi azollerin kullanımını gerektirir.

- **Galvanik veya çatlak paslanma**

Galvanik ve çatlak paslanmanın kontrolünün üstesinden mühendislik ve mekanik tasarım gelmiştir. Bu tarz paslanmalar, fiziksel ve kimyasal etkenlerle kısmen engellenebilir. İki değişik metali birbirinden ayırmak için kullanılan bir yalıtkan bağlantı galvanik paslanmayı önlemeye yardımcı olur. Kimyasal bir bakış açısıyla, pH ayarı ve uygun pas engelleyici kullanımının paslanmayı azalttığı söylenebilir.

- **Birikinti paslanma**

Birikinti paslanmanın kontrolü, tortu oluşmayan metal yüzeylerin sürekliliğini sağlamayı gerektirir. Bu tarz paslanma, kireç, biyokütle, paslanma ürünleri veya pislikler gibi herhangi bir türdeki birikintide etkili olabilir. Birçok birikinti türünün ortaya çıkması, uygun akış hızının sürdürülmesiyle birlikte seyreltici, tortu engelleyici veya biyosit kullanımıyla engellenir. Filtrelerin uygun şekilde ve rutin temizlenmesi ile soğutma kulelerinin kullanımı birikintilerin azalmasına yardımcı olur.

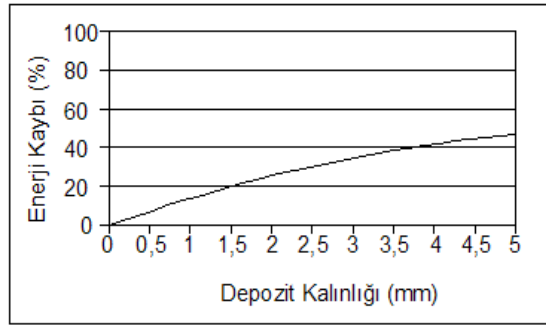
- **MIC**

MIC, ancak biyolojik gelişmeye yardım eden koşulların önüne geçilmesi ve etkili bir mikrobiyolojik programın uygulanmasıyla en iyi şekilde önlenir. Bir MIC engelleme programı, birikinti ve tortuların gerekli kontrolü, düşük akış ve ölü hacim koşullarının önlenmesi ile etkili bir mikrobiyolojik programın sürekli olarak yürütülmesini içerir (Çakır, 1990).

8. İSTANBUL'DA BİR YAPININ AÇIK SOĞUTMA KULESİ DEVRESİNDEKİ KOROZYON KORUMA PROGRAMININ İNCELENMESİ

8.1 Korozyon Koruma Programının Amacı

Korozyon koruma programı ile açık soğutma kulelerinde oluşabilecek muhtemel iki temel sorun önlenir. Bunlardan ilki enerji verimliliğine olumsuz etkileri artıran depozit oluşumudur. Sistemde meydana gelen birikimler ve kireç tabakaları ısı aktarım yüzeylerine (soğutma ısı değiştirici ve kule dolgu elemanları) yapışarak, bu bölgelerde yalıtım görevi görmeye başlar ve ısı aktarımını engellemiş olurlar. Şekil 8.1'de bu durum grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu depozit oluşumları, depozit altı korozyonu tetikleyici bir etkiye de sahiptir. Sistemde meydana gelebilecek bir diğer sorun ise korozyon tehlikesidir. Unutulmaması gereken en önemli nokta incelemenin sürekli olarak takip edilebilir olmasıdır. Çünkü sistem üzerinde olumsuz etkileri olan depozit oluşumu ve korozyon etkisini oluşturan elemanlar her zaman değişkenlik gösterebilmekte ve ancak etkili bir takip programı ile bu etkiler gözlenebilmektedir.



Şekil 8.1 Tabaka oluşumu ve enerji kaybı arasındaki ilişki

8.2 Uygulama Yapılan Mahalin Özellikleri

Soğutma kulesi incelenen yapı Capitol Alışveriş Merkezidir (AVM). AVM'de soğutma prosesi mahal soğutma amacıyla kullanılan 6 adet su soğutmalı soğutucu grubu ve bu gruplara bağlı açık soğutma kuleleri ile karşılanmaktadır. Soğutma gruplarına, Aksem Kimya Ltd. Şti. tarafından HYDROCT 767 Og tanımlı açık soğutma kulesi koruma programı uygulanmaktadır. 6 adet soğutucudan 2 tanesi dışında diğer hepsi belirli aralıklarla çalışmaktadır. 4 numaralı soğutucu ile 2 numaralı soğutucu, 14 h/gün ve 7 gün/hafta olmak üzere devrededir. Bu çalışmada, 4 numaralı soğutucu ve buna bağlı su soğutma kulesi

incelenmiştir. 4 numaralı soğutucu 1300 kW kapasitelidir ve R-22 soğutma gazıyla çalışmaktadır. Açık su soğutma kulesi ise 1500 kW kapasiteli, cebri çekişli ve iki fanlıdır. Soğutma kulesi 30-35°C aralığında çalışmaktadır. AVM'ye 01.02.2005 tarihinden itibaren koruma programı uygulanmaya başlanmış olup halen koruma programı devam etmektedir. Şekil 8.2'de Capitol AVM'nin resmi, Şekil 8.3'de ise 4 numaralı su soğutma kulesi gösterilmiştir.



Şekil 8.2 Capitol AVM.



Şekil 8.3 Capitol AVM'deki 4 numaralı su soğutma kulesi.

8.3 Koruma Programında Kullanılan Kimyasalın Özellikleri

Organo fosfonatlar, düşük molekül ağırlıklı maleik terpolimer bazlı ve düşük molekül ağırlıklı sülfona stiren/maleik anhidrit kopolimer bazlı dispersantlar, organik ve inorganik korozyon inhibitörlerinden oluşan bir karışımdır. Açık su soğutma kulelerinde birikinti, çamur ve korozyon oluşumuna karşı etkilidir. Özellikle yüksek alkalinite, yüksek pH ve sertlik değerlikli sular için tercih edilmiştir [3].

Fosfonat molekülleri, sistemde Ca^{2+} ve Mg^{2+} katyonlarını çevreleyerek, sistemde oluşması muhtemel $CaCO_3$, $MgCO_3$, $CaSO_4$ bileşiklerinin oluşmasını engeller.

Koruyucu kimyasalın çalışma aralık değerleri de önemlidir. Çalışma sınır değerleri geçildiği takdirde kimyasal etkin koruma görevini sürdürmez. Çizelge 8.1’de koruyucu kimyasalın sınır çalışma aralıkları gösterilmektedir.

Çizelge 8.1 Koruyucu kimyasal için etkin çalışma değerleri

Kimyasalın Kullanıldığı Sistem	Açık Çevrimli Su Soğutma Kulesi
pH	8,5-9,3
İletkenlik (μS/cm)	750-1500
Alkalinite (ppm)	300-850
Sertlik (ppm)	200-1000
Şok Dozaj Miktarı (ppm)	200 g/ton
Bakım Dozaj Miktarı, birim COC değeri için kullanım	100 ppm/COC
Kontrol Değeri (ppm)	6,0-20 PO_4
Sistem Silika= İlave su SiO_2 x COC	max.120 ppm (COC)
ΣFe = İlave su ΣFe x COC	COC

8.4 Uygulama İçin Kontrol Kriterleri

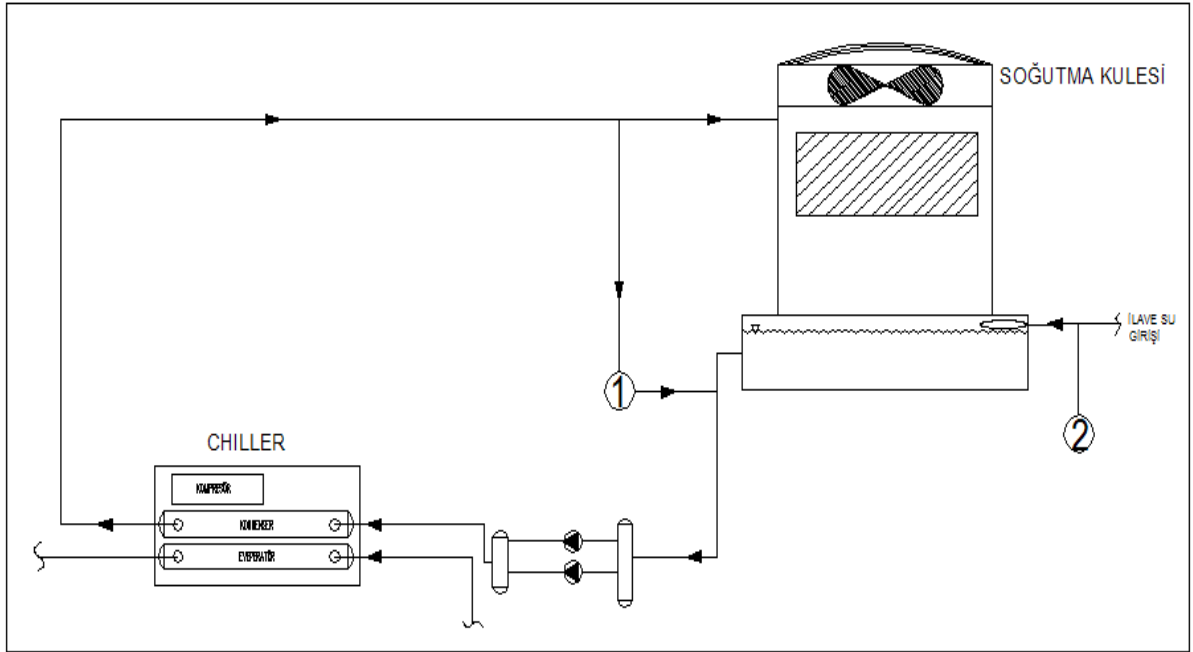
Depozit oluşumu ve korozyon etkisini incelemede esas kriter, sisteme verilen ilave suyun özelliklerini belirleyerek uygun bir koruma programı izlemektir. AVM’de dışarıdan tanker ile

getirilen su, şebeke suyu ile depolarda karıştırılarak sisteme verilmektedir. Sistemde kullanılan ilave su değerleri Çizelge 8.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.2 Capitol AVM ilave su değerleri

İletkenlik	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	371
Sertlik	(ppm CaCO_3)	170
pH	($-\log[\text{H}^+]$)	7,83
m Alkalinite		120
Cl^-	(ppm)	49
ΣFe	(ppm)	0,092
SiO_2	(ppm)	5,2

4 numaralı soğutucu ve su soğutma kulesi için akım şeması Şekil 8.4’te gösterilmiştir. Su soğutma kulesinde soğuyarak gelen su (30°C), pompa yardımıyla soğutucunun yoğuşturucu hattına basılır. Yoğuşturucuda soğutma gazının ısısını alarak (35°C) kule içerisine dönüş yapar ve çevrim tamamlanmış olur.

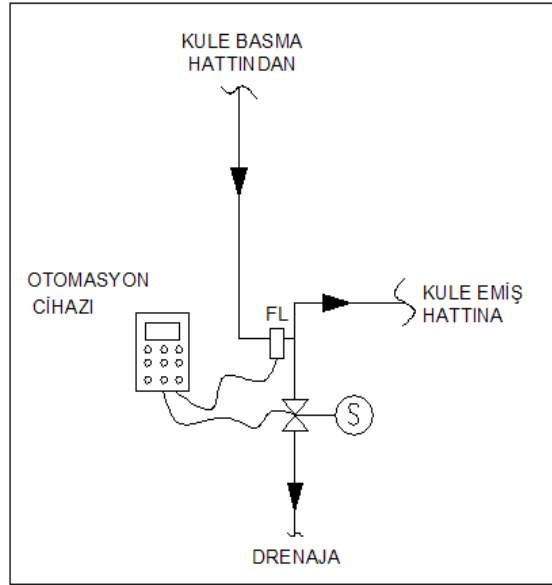


Şekil 8.4 Capitol AVM’deki soğutma grubu akış şeması.

Sistemde görülen 1 numaralı kısım otomasyonlu blöf sistemidir. 2 numaralı kısım ise ilave su girişine bağlanmış olan kimyasal dozaj sistemidir. Şekil 8.5’te otomasyonlu blöf sistemi ve Şekil 8.6’da otomasyonlu blöf sistemi akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 8.5 Capitol AVM'deki otomatik blöf sistemi



Şekil 8.6 Capitol AVM'deki otomatik blöf sistemi akış şeması

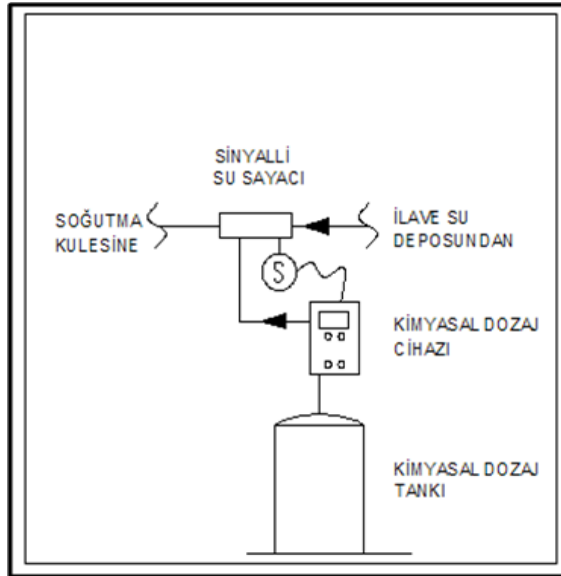
Soğutma kulesi basma hattından alınan soğutma suyu, kule emiş hattına verilir. Akış kontrol cihazı (flow-switch) ile sistemde akış tayini yapılır. Otomasyon cihazı bu akış esnasında soğutma suyunun iletkenlik değerini ölçer ve ayarlanan değere göre bir kıyaslama yapar. Ölçülen iletkenlik değeri ayarlanan değerden daha büyük olduğu takdirde, selenoid vana açılarak mevcut soğutma suyu boşaltılır ve sisteme yeniden ilave suyun girmesi sağlanır.

Şekil 8.7'de kimyasal dozaj sistemi ve Şekil 8.8'de kimyasal dozaj sistemi akış şeması gösterilmiştir. Burada ilave su tankından kule besleme suyuna giden devre üzerine sinyalli su

sayacı monte edilerek kuleye giren ilave su miktarı ölçülür ve bu değer kimyasal dozaj cihazı tarafından okunur. Cihaz sisteme giren su debisine göre önceden ayarlanan değerde stokiyometrik olarak sisteme kimyasal dozajı yapar. Kimyasal dozaj miktarı $3-10 \text{ g/m}^3$ tür.



Şekil 8.7 Capitol AVM'deki otomatik dozaj sistemi



Şekil 8.8 Capitol AVM'deki otomatik dozaj sistemi akış şeması

8.5 Yapılan Analizlerin Yorumlanması

Aksem Kimya tarafından 31.03.2005 ile 11.02.2009 tarihleri arasında hem kule suyu hem de

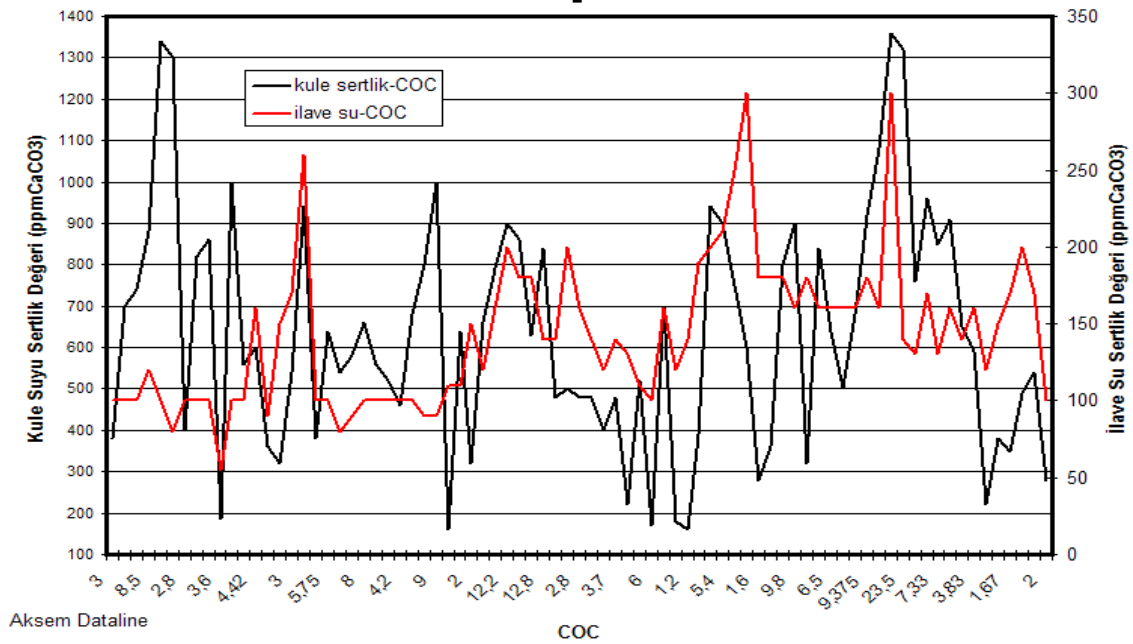
ilave suyu için haftalık ölçümlerle bulunan iletkenlik, sertlik, alkalinite, pH, Cl^- , ΣFe , SiO_2 analizleri mevcuttur. Bu analizlerle, COC değerleri göz önüne alınarak kulede meydana gelen sertlik, ΣFe , SiO_2 oluşumları grafikler yardımıyla yorumlanmıştır.

8.5.1 COC

Konsantrasyon döngüsü olarak adlandırılan COC, soğutma kulesi içerisine eklenen ilave suyun kendi içerisindeki döngü sayısını tanımlar. COC iletkenlik ve Cl^- ölçütlerine bağlı olarak bulunur. İletkenlik temel alınarak yapılan COC hesabı, iletkenliği etkileyen çok sayıda etken olduğundan yanıltıcı olabilmektedir. Cl^- iyonları Fe, Na, K ile birlikte reaksiyona girerek tuz oluştururlar. Cl^- iyonları her zaman sulu çözelti halinde bulunmalarından dolayı yapışma ve depozit oluşumuna dahil olmazlar. Bu nedenle Cl^- iyonları sistem içerisindeki kütle dengesinde değişmeyen eleman olarak kabul edilmektedir ve COC hesaplamalarında emniyetle kullanılır. Sistemdeki suyun verimli olarak kullanılabilmesi için COC değerinin 3-5 arasında olması gerekmektedir [3].

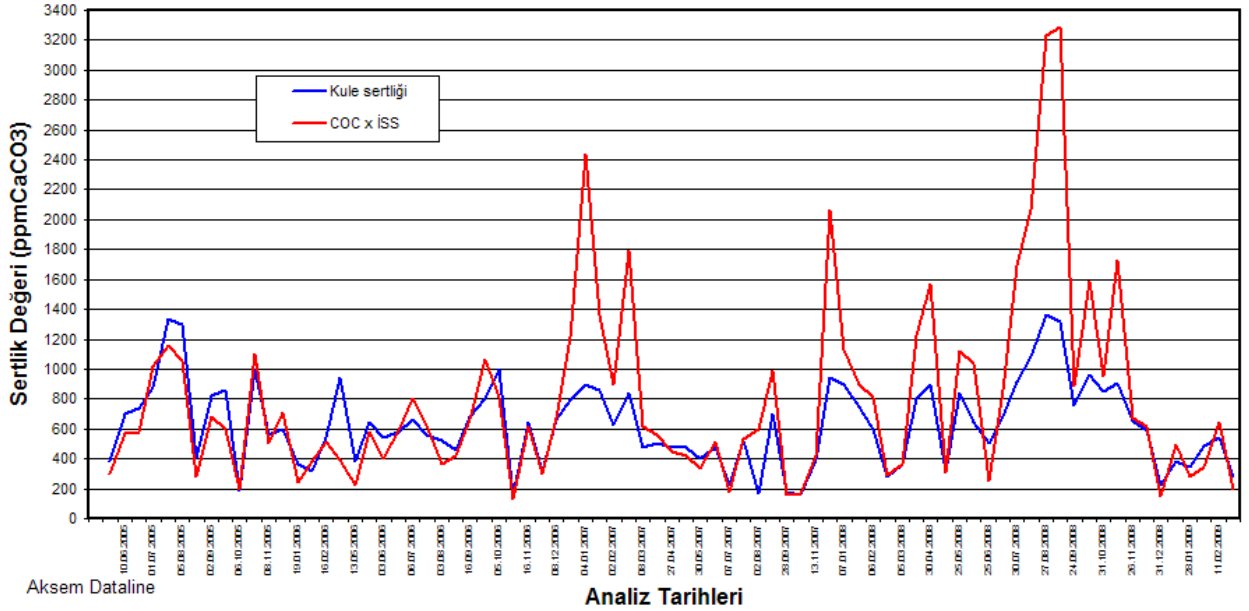
8.5.2 Sertlik ile COC Arasındaki İlişki

31.03.2005 ile 11.02.2009 tarihleri arasında haftalık ölçümlerle bulunan kule suyu sertlik, ilave su sertlik ve COC değerleri Şekil 8.9'da gösterilmektedir. Haftalık ölçümlerle elde edilen COC değerlerine karşılık gelen kule suyu ve ilave su sertlik değerleri görülmektedir.



Şekil 8.9 Kule suyu ve ilave su sertlik değeri ile COC arasındaki ilişki

Çizelge 8.10, 31.03.2005 ile 11.02.2009 tarihleri arasında haftalık ölçümlerle bulunan COC değeri esas alınarak hazırlanan kule içerisinde sertlik yapışmasını gösteren grafikdir. Mavi renkli eğri analiz yapılan tarihlerde ölçülen **kule su sertlik değerini**, kırmızı renkli eğri ise **(COC x İlave Su Sertlik)** değerini göstermektedir. Grafikte kırmızı renkli eğri ile mavi renkli eğri arasındaki kalan alanlar sertlik yapışmasını tanımlamaktadır. Mavi eğrinin, kırmızı eğri üzerinde bulunduğu durumlar ise, önceden sistemde bulunan sertliğin dispersant yardımıyla söküldüğünü göstermektedir. Grafikte COC x İSS eğrisinde pik noktaları göze çarpmaktadır; bu noktalara denk gelen tarihlere bakıldığında, blöf otomasyon sistemi arızalanmış ve kule suyu iletkenlik değeri ayar edilen değeri aşmasına rağmen blöf otomasyonu çalışmadığı anlaşılmaktadır. Koruyucu kimyasalın etkin çalışma aralığı, kule suyu sertliğinin 200-1000 ppm CaCO₃ olduğu aralıktır.

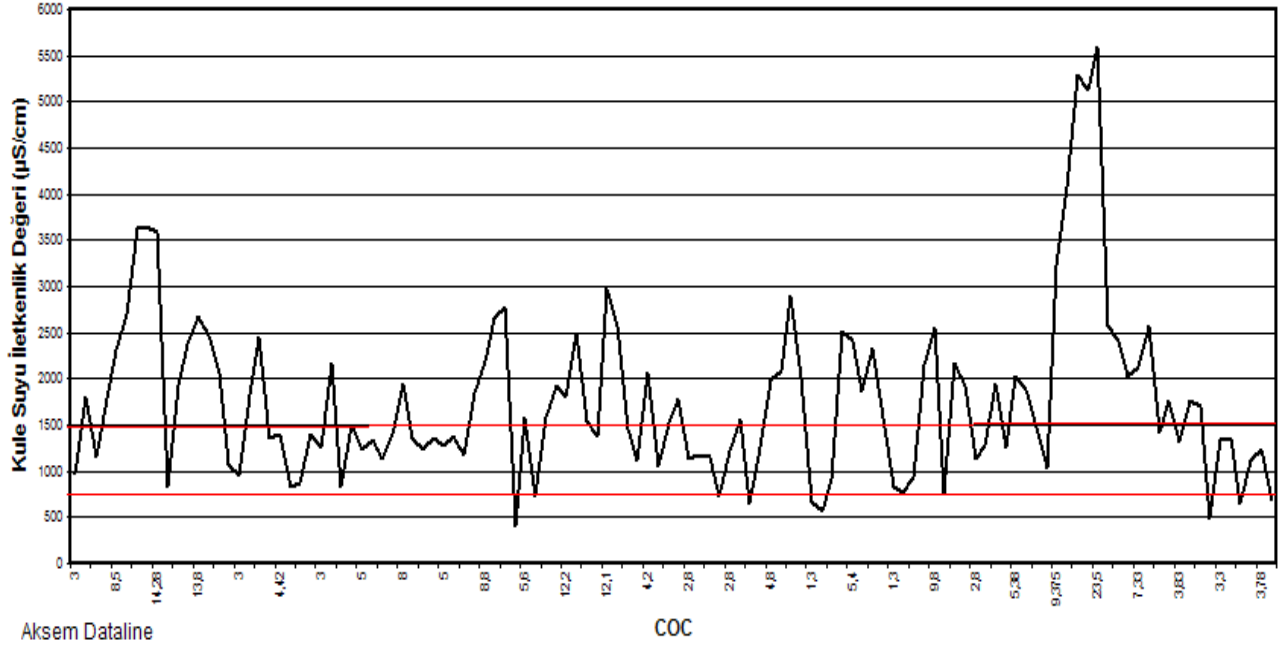


Şekil 8.10 Sertlik yapışması tayini grafiği

8.5.3 İletkenlik ile COC Arasındaki İlişki

İletkenlik suyun elektriği iletebilme kabiliyeti olarak tanımlanır ve suda çözülmüş iyonların toplam sayısı ile doğru orantılıdır. Şekil 8.11, yine aynı analiz tarihleri arasında, kule suyu için iletkenlik ve COC parametrelerini göstermektedir. X eksenine paralel kırmızı renkle gösterilen doğrular kullanılan kimyasalın etkin çalışma aralıklarını göstermektedir. Grafikte pik noktaları bulunmaktadır. Pik noktalarının oluştuğu tarihlerde blöf otomasyon sistemi arızalanmış ve kule suyu iletkenlik değeri ayar edilen değeri aşmasına rağmen blöf

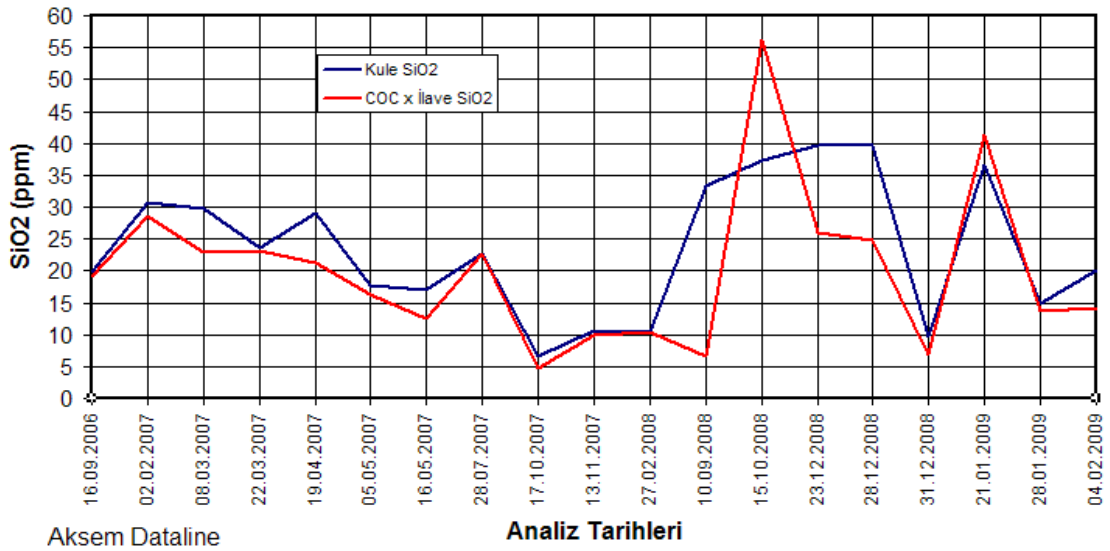
otomasyonu çalışmamıştır.



Şekil 8.11 İletkenlik ile COC arasındaki ilişki grafiği

8.5.4 Kule Suyu SiO₂ Analizi

Silis yapışmasının tayini Şekil 8.12'de gösterilmiştir. Ölçümü yapılan parametre kule suyunda bulunan SiO₂ bileşiğidir. Isı aktarım yüzeylerinde tabaka meydana getirerek ısı iletimini engeller. Silisin ısı aktarım yüzeylerine yapışması nadiren görülmesine karşılık; yapışma gerçekleştiği takdirde sisteme verilen koruma kimyasalındaki dispersantın yardımı ile çözülemez. Hidroflorik asit yardımıyla temizlenebilir. Grafikte 16.09.2006 ile 04.02.2009 tarihleri arasında yapılan 19 ölçüm sonucu gösterilmektedir.

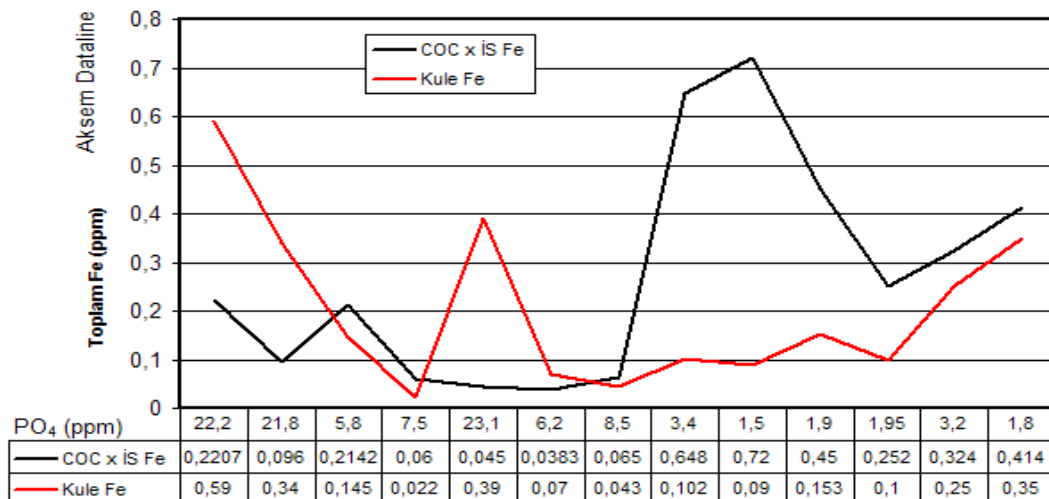


Şekil 8.12 SiO₂ yapışması tayini grafiği

Sisteme ilave su ile giren SiO_2 miktarı COC oranında ölçülmelidir. Eğer bu oran fazla çıkarsa önceden yapışan SiO_2 oluşumları çözünmeye başlamıştır sonucu çıkar. Miktarın düşük çıkması durumunda ise sisteme giren SiO_2 sistemde yapışmaya başlamış olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Kırmızı renkli eğri COC x İlave Su SiO_2 değerlerini, mavi renkli eğri ise kule suyu SiO_2 değerlerini göstermektedir. Mavi eğrinin altında kalan alanlarda silis yapışması gerçekleşmemiştir. Grafikte görüldüğü gibi genel olarak kırmızı eğri mavi eğrinin altında kalmıştır. Grafikte 15.10.2008 ile 21.01.2009 tarihlerine denk düşen noktalarda kırmızı renkli eğri pik değer okunmuştur. Bu tarihlere bakıldığında blöf otomasyonunun arızalanarak çalışmadığı tespit edilmiştir ve iletkenliğin artmasıyla birlikte COC değeri çok yükselmiştir.

8.5.5 Korozyon ile Koruma Kimyasalı Arasındaki İlişki

Sisteme verilen koruma kimyasalının korozyona olan etkisi Şekil 8.13'te gösterilmektedir. Analiz tarihleri arasında ilave su ve kule suyunun ΣFe miktarları ve sistemde soğutma suyu içerisinde dolaşan mevcut PO_4 miktarı ölçülmüştür. Grafikte 06.03.2008 ile 29.05.2008 tarihleri arasında yapılan toplam 12 analizin sonuçlarına göre sistemde bulunan mevcut kimyasala göre, sistemde bulunması gereken ΣFe ve sistemde bulunan ΣFe değerleri bulunmaktadır. Koruma kimyasalının etkin olarak çalışması için ölçülen PO_4 oranının 6-20 ppm olması gerekmektedir. Grafikte siyah eğrinin ile kırmızı eğri altında kalan kısımlarda yapışma vardır. Bu noktalardaki kimyasal değerlerine bakıldığında gerekli olan 6 ppm den daha düşük ölçüldüğü görülmektedir. Bazı noktalarda ise kırmızı eğri siyah eğrinin üzerindedir. Bu noktalardaki kimyasal değerleri okunduğunda 20 ppm'den yüksek olduğu görülmektedir. Kırmızı eğrinin siyah eğrinin üzerinde kalan kısımlarda verilen kimyasal değeri aşıldığı için mevcut sistemde bulunan ΣFe molekülleri sökülmeğe başladığı anlaşılmaktadır.



Şekil 8.13 Korozyon ile koruma kimyasalı arasındaki ilişki grafiği

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada içme ve soğutma sularında meydana gelen korozyon oluşumları üzerinde durulmuştur. Öncelikle korozyon çeşitleri ve korozyon oluşumu hakkında bilgi verilmiştir. Suyun korozif yapısı incelenerek, içme ve soğutma suları hakkında önceki yapılan çalışmalar değerlendirilmiş ve meydana gelebilecek korozyon oluşumları araştırılmıştır. Bu oluşumları önlemede gerekli tasarım ve malzeme seçim esasları incelenmiştir.

Korozyon, sistemin verimliliğini düşürerek sistemde kullanılan malzemelerin dayanım sürelerini kısaltır. Bu sebeple ekonomik açıdan olumsuz bir etkiye sahiptir. Öncelikle korozyonun daha oluşmadan önce, sistem tasarım aşamasındayken önlenebilirliği incelenmelidir. Bu tasarımı yapmak için daha en başından sistemin kullanım amacı, sistem gereksinimleri ve kullanılacak malzemelerin seçimine kadar olan uzun bir alanda titizlikle analiz yapılmalıdır.

Mekanik tesisatlarda kullanılan akışkanın (suyun) korozif bir yapıda olmasından dolayı, korozyon oluşumu önem kazanmaktadır. Ekonomik kayba sebep olan korozyon, içme ve kullanma suyu tesisatlarında bakteri üremesine neden olarak, sağlık açısından da olumsuz bir etki yaratmaktadır. Lejyonella bakterisi bu virüslerin başında gelmektedir.

Tesisatlarda kullanılan su sıcaklıkları mümkün mertebe düşük tutulmalı, gereğinden büyük boru çaplarının ve akışkan hızlarının gereğinden fazla seçilmemesine özen gösterilmelidir. Tabi burada bir başka etken de malzeme uyumsuzluğudur. Estetik görüntü önemli olmakla beraber, esas konu sistemin kullanılabilir ve uzun ömürlü olmasıdır.

Durgun su zamanla korozif bir yapı sergileyeceğinden, sıcak ve soğuk kullanım sularında uygun tasarım esaslarına göre sirkülasyon hatları tasarlanmalıdır. Durgun bölgelerin (ölü hacim) var olduğu tesisatlar, kimyasal destek ile korozyona karşı korunamazlar. Devreye alma esnasında tesisatlar mutlaka yıkama işlemi ile temizlenerek tesisat yarım dolu halde kesinlikle bırakılmamalıdır.

Tesisatlarda doğru tasarım, uygun malzeme seçimi, devreye alma sırasında dikkat edilecek bir takım hususlar ile korozyon oluşumu önlenmektedir. Mevcut çalışan sistemler için gerekli ve zamanda yapılan müdahalelerle korozyon oluşumu en alt seviyelerde tutulup, kontrol altına alınabilir. Bunun sonucunda, hem insan sağlığını hem de ülke ekonomisini olumsuz yönde etkileyen bu oluşum bertaraf edilebilir, verimliliğin artırılması sağlanabilir.

Özellikle soğutma kulelerinde kimyasal koruma programının, uygulanması ve izleme yönteminin nasıl olması gerektiği anlatılmış ve ilgili ölçütlerin hesapları ile birlikte örnekler verilmiştir. Deneysel olarak doğrulukları ispatlanmış olan uygulama ölçüt ve hesapları gerçek bir uygulama verileri ile izlenmiş ve değerlendirilmiştir. İlave suyun mevsimlere ve kaynaklarına göre değişkenliği, ilgili ölçüm ve denetim cihazları, kulenin çalışma süresi ve mekanik tesisat ile kulenin metal bileşenlerinin yapısı gibi temel değişkenlerin kimyasal koruma programını belirleyen unsurlar olduğu anlatılmıştır.

Uygulanan programın en önemli kısmı olan izleme programı ile, kule tesisat suyunda ilgili ölçüm ve analizlerin belirli aralıklarda yapılması gerektiği ve program kapsamında belirlenen tüm ölçütlerle ilgili sınır değerlerin denetlenmesi ile hedeflenen korumanın sağlanabileceği belirtilmiştir.

Uygulama olarak, İstanbul Capitol Alışveriş merkezinde kullanılan 4 numaralı açık su soğutma kulesi seçilmiştir. 2005-2009 yılları arasında korozyon koruma programı kapsamında ölçümler yapılarak izleme programı uygulanmış sonuçlar veri tabanında kayıt altına alınmıştır. Korozyon, çamurlaşma ve kireçlenme etkileri açısından COC, sertlik, ΣFe ve SiO_2 arasında ilgiler incelenerek koruma programının başarısı irdelenmiştir. Ayrıca, sistemde meydana gelen sınır aşımalarının nedeninin blöf denetim sistemindeki anlık arızalardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. İzleme aralığını azaltarak ve sürekli izleme yöntemi ile bu dalgalanmaların denetim altında tutulduğu görülmüştür.

31.03.2005 ve 11.02.2009 tarihleri arasında hem kule suyu hem de ilave suyu için haftalık ölçümlerle bulunan iletkenlik, sertlik, alkalinite, pH, Cl^- , ΣFe , SiO_2 analizleri temel alınarak COC derişim katsayısı ile birlikte değerlendirilmiştir. İletkenlik, sertlik, alkalinite ve SiO_2 değerlerinde aşırı sapmaların olmadığı ve bundan dolayı ısı aktarım yüzeylerinde birikinti veya yapışmaların olmadığı anlaşılmıştır. Koruma kimyasalı içerisindeki dispersant bileşen etkisini göstermiştir. ΣFe ile koruma kimyasalı bileşeni PO_4 ölçümleri incelendiğinde ise, PO_4 konsantrasyonundaki sınır aşımı ve azalmaların etkisi ile kısa bir süre ΣFe oranında artış gözlenmiş ve ilave PO_4 dozaj otomasyonu kalibrasyonu ile sınır değerler içerisine alınmaya çalışılmıştır.

İşletme ve bakım maliyetlerini artıran korozif etki, çamurlaşma ve kireçlenmenin önlenmesinde en önemli önceliğin, kimyasal koruma ile izleme programının ara verilmeden sürdürülmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Basham, D. E., Wright, J. W., Ferguson, K. I. ve Moy, G. W., (2005), “Industrial Water Treatment Operation And Maintenance”, Air Force Civil Engineer Support Agency, U.S.A
- Berkem, A. R., (1984), Elektrokimya, İstanbul Üniversitesi Yayınları, 88, İstanbul.
- Çakır, A., (1990), Metalik Korozyon İlkeleri ve Kontrolü, TMMOB Makine Mühendisleri Yayınları, 131, Ankara.
- Çotuk, A., İlhan, S. E. ve Cansever, N., (2005), “Biyofilmde Anaerobik Sülfat İndirgeyen Bakterilerin Bulunması”, Ankem Dergisi, 19: 41-45.
- Doruk, M., (1982a), Korozyon Olayının Elektrokimyasal İlkeleri, ODTÜ Mühendislik Fakültesi Yayını, 42, Ankara.
- Doruk, M., (1982b), Korozyon ve Önlenmesi, ODTÜ Mühendislik Fakültesi Yayını, 70, Ankara.
- Duruk, M.A., (1994) “İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinin İşletilmesi ve Bakımı” Seminer Notları, 19-22 Nisan 1993, İstanbul, 43-49.
- Görenler, A., (2007), Al-Si Matrisli Kompozit Malzemelerin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kıncay, O., Ağustos, H., Akbulut, U., Kürekci, A., (2008), “Kapalı Devre Mekanik Tesisatlarda Korozyon-1”, Tesisat Dergisi, 152: 48-56.
- Küçükçalı, R., (2001), “ Lejyoner Hastalığına Karşı Mekanik Tesisatta Alınması Gereken Önlemler”, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 3-6 Ekim 2001, İzmir.
- Küçükgül, E. ve Özdağlar, D., (2004), “İçme Suyunda Agresivitenin Saptanması ve Şebekede Korozyonun Önlenmesi”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi , 6(3):19-39.
- Üneri, S., (2000), Korozyon ve Önlenmesi, Ankara Üniversitesi Yayınları, 120, Ankara.
- Yalçın, H. ve Koç, T., (2000), Elektrokimya, Gazi Üniversitesi Yayınları, 135, Ankara.
- Yalçın, H. ve Gürü, M., (2002), Su Teknolojisi, Palme Yayıncılık, İstanbul.
- Yalçın, H. ve Gürü, M., (2006), Malzeme Bilgisi, Palme Yayıncılık, İstanbul.
- Yüksek, E., (2005), Çelik Malzemelerin Aşınma ve Korozyon Davranışını Arttırmak için Çeşitli Kimyasal Kaplamaların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[2] www.korozyondernegi.org

[3] Hydrosafe-Aksem Kimya, Eğitim ve Seminer Notları, İstanbul, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	15.06.1981	
Doğum yeri	Bolu	
Lise	1995-2000	Haydarpaşa Anadolu Teknik Lisesi Makine Bölümü
Ön lisans	2000-2003	Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık M.Y.O Uçak Gövdesi Bölümü
Lisans	2003-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı-Proses Programı

Çalıştığı kurumlar

2006-2008	Doğtes Mühendislik Isı Sistemleri Tic. ve San. Ltd. Şti.
-----------	---