

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAPALI DEVRE BUHAR TESİSATLARINDA
KOROZYON OLUŞUMU VE KONTROLÜ**

Makine Müh. Mustafa ÖZTOP

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Olcay KINCA Y

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTIMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. KOROZYON	4
2.1 Korozyonun Tanımı	4
2.2 Korozyon Çeşitleri	4
2.2.1 Üniform Korozyon	5
2.2.2 Galvanik Korozyon	6
2.2.3 Çatlak Korozyonu	7
2.2.4 Filiform Korozyonu	9
2.2.5 Çukur Korozyonu (Pitting)	10
2.2.6 Taneler Arası Korozyon	12
2.2.6.1 Kaynak Çürümesi	13
2.2.6.2 Bıçak Hattı Etkisi	14
2.2.7 Seçimli Korozyon	14
2.2.8 Erozyonlu Korozyon	15
2.2.8.1 Kavitasyon	18
2.2.9 Aşınmalı Korozyon	19
2.2.10 Stres Korozyonu	20
2.2.11 Yorulmalı Korozyon	22
2.2.12 Hidrojen Kırılganlığı	22
2.2.13 Mikrobiyolojik Korozyon	24
2.2.14 Yüksek Sıcaklık Korozyonu	25
2.2.14.1 Yüksek Sıcaklıkta Enerji Dönüşümü	26
2.2.14.2 Yüksek Sıcaklıkta Kullanılan Malzemeler	26
3. SU-KOROZYON İLİŞKİSİ	28
3.1 Su	28
3.1.1 Oksijen Konsantrasyonu	31
3.1.2 pH' nin Etkisi	32
3.1.3 Kalsiyum Karbonat Çökmesi	32
3.1.4 Sıcaklığın Etkisi	34
3.2 Korozyona Karşı Önlemler	34
3.2.1 Malzeme Seçimi	34
3.2.1.1. Düşük Alaşımli Karbon Çelikleri	35
3.2.1.2 Paslanmaz Çelikler	35
3.2.1.3 Dökme Demirler	36
3.2.1.4 Alüminyum ve Alaşimleri	36
3.2.1.5 Bakır ve Alaşimleri	37
3.2.2 Termodinamik ve Mekanik Koşulların Değiştirilmesi	37
3.2.2.1 Sıcaklığı Azaltmak	38
3.2.2.2 Hızı Azaltmak	38
3.2.2.3 Oksijen ve Oksitleyicileri Ortamdan Uzaklaştırma	38
3.2.2.4 Konsantrasyonu Değiştirmek	38
3.2.3 İnhibitörler	39

3.2.3.1 Korozyon Önleyici Kimyasal İnhibitörlerinin Sınıflandırılması.....	40
3.2.4 Mekanik Tasarım.....	45
4. BUHAR KAZANLARI VE KOROZYON.....	46
4.1 Buhar Kazanı Sistemleri.....	47
4.1.1 Buhar Kazanı Çeşitleri.....	47
4.1.1.1 Basınç Sınıflandırması.....	47
4.1.1.2 Alev Borulu Kazanlar.....	47
4.1.1.3 Su Borulu Kazanlar.....	48
4.1.1.3.1 Kasalı Az Eğimli Su Borulu Kazanlar.....	49
4.1.1.3.2 Seksiyonlu Az Eğimli Su Borulu Kazanlar.....	49
4.1.1.3.3 Dik Su Borulu Kazanlar.....	50
4.1.1.3.4 Paket Tip Su Borulu Kazanlar.....	51
4.1.2 Buhar Kazanı Sisteminin Bileşenleri.....	52
4.1.2.1 Ön Kazan.....	53
4.1.2.2 Kazan Sonrası.....	53
4.1.2.3 Kazan Bileşenleri.....	53
4.1.2.4 Buhar Tamburu.....	53
4.1.2.5 Buhar Başlıkları.....	54
4.1.3 Ölçüm Ekipmanları.....	54
4.1.4 Genel Kazan Problemleri.....	54
4.1.4.1 Korozyon Problemleri.....	54
4.1.4.2 Tortullaşma Problemleri (Depozit).....	56
4.1.4.3 Taşınma Problemleri.....	57
4.1.5 Hesaplamalar.....	57
4.1.5.1 Konsantrasyon Faktörü (COC).....	58
4.1.5.2 Blöf.....	58
4.1.5.3 Besleme Suyu, Buharlaşma ve Blöf İçin Su Dengesi.....	58
4.1.5.4 Besleme ve Blöf Suyunun Hesaplanması.....	59
4.1.5.5 Besleme Suyu, Blöf, Üretilen Buhar ve Konsantrasyon Faktörü (COC) Arasındaki İlişkiler.....	59
4.1.5.6 Blöf Oranlarının Hesaplanması.....	59
4.1.5.7 Besleme Suyu ve Blöf Oranlarına Karar Vermek.....	60
4.1.6 Takviye Suyu ve Kondens Dönüşü Oranlarının Tayini.....	60
4.1.6.1 Takviye Suyu Oranı.....	61
4.1.6.2 Kondens Dönüşü Oranı.....	61
4.1.6.3 Üretilen Buhar Miktarı ile Kondens Miktarı Arasındaki Fark.....	61
4.1.6.4 Kazan Sistemi Verimliliğini Değerlendirme Temelleri.....	62
4.2 Kazan Suyu Arıtımı ve Kontrolü.....	62
4.2.1 Kazan Atık Düzeni.....	63
4.2.1.1 Kabuk (Scale).....	63
4.2.1.2 Çamur Atıkları (Depozit).....	63
4.2.1.3 Çözünmüş Katı Materyaller.....	64
4.2.2 Kazanda Bulunan Kabuk Çeşitleri.....	64
4.2.2.1 Kalsiyum Karbonat.....	64
4.2.2.2 Kalsiyum Sülfat.....	64
4.2.2.3 Kalsiyum Fosfat.....	65
4.2.2.4 Magnezyum Fosfat.....	65
4.2.2.5 Magnezyum Silikat.....	65
4.2.2.6 Demir Oksit ve Demir Hidroksit.....	65
4.2.3 Harici Kazan Suyu Şartlandırması.....	66
4.2.3.1 Yüksek Basınçlı Kazanlar İçin Harici Su Şartlandırması.....	66

4.2.3.2 Düşük Basıncılı Kazanlar İçin Harici Su Şartlandırması	66
4.2.4 Kazan Suyunun Dahili Şartlandırılması	66
4.2.4.1 Kabuk Oluşumunun Engellenmesi	66
4.2.4.1.1 Düşük Basıncılı Kazanlar	67
4.2.4.1.2 Yüksek Basıncılı Kazanlar	67
4.2.4.1.2.1 Çökeltmeli Su Şartlandırma Programları.....	67
4.2.4.1.2.2 Çözünmeli Su Şartlandırma Programları.....	68
4.2.4.1.2.3 Kazana Özel Arıtım Programları	68
4.2.4.2 Kimyasal Şartlandırmada Besleme Oranları	68
4.2.4.3 Çamur Atıklarının Engellenmesi	69
4.2.5 Kazanlarda Korozyon	69
4.2.5.1 Genel Korozyon	69
4.2.5.1.1 6205 kPa.'a Kadar Olan Kazanlar için Uygun pH Değeri	70
4.2.5.1.2 6205 kPa.'ın Üstündeki Kazanlar için Uygun pH Değeri	70
4.2.5.2 Oyuk Korozyonu	70
4.2.5.3 Diğer Korozyon Türleri	70
4.2.6 Besleme Suyundan Oksijen Atımı.....	71
4.2.6.1 Mekanik Oksijen Atımı	71
4.2.6.1.1 Gaz Giderici İşlemi.....	71
4.2.6.2 Serbest Oksijenin Kimyasal Olarak Ayrılması.....	72
4.2.6.2.1 6205 kPa.'a Kadar Olan Kazanlar İçin Oksijen Gidericileri.....	72
4.2.6.2.2 6205 kPa.'ın Üzerindeki Kazanlar İçin Oksijen Gidericileri	73
4.2.7 Kondens Korozyonu Kontrolü	74
4.2.7.1 Kondens Korozyonunun Sebepleri	74
4.2.7.1.1 Hava.....	74
4.2.7.1.2 Karbondioksit	74
4.2.7.2 Buhardaki Karbondioksitin Tayini	75
4.2.7.3 Nötralize Aminleriyle Karbondioksit Kontrolü.....	76
4.2.7.3.1 Kontrol Limitleri.....	76
4.2.7.3.2 Buğu-Sıvı Dağıtım Oranları	76
4.2.7.3.3 Morfolin.....	78
4.2.7.3.4 DEAE (Dietilamino-etanol)	78
4.2.7.3.5 Sikloheksilamin	78
4.2.7.3.6 Amin Karışımları.....	78
4.2.7.4 Amin Filmlemesiyle Karbondioksit ve Oksijen Kontrolü	79
4.2.7.5 Özel Uçucu Aminlerle Karbondioksit ve Oksijen Kontrolü	79
4.2.7.6 Amin Kısıtlamaları, İçalan Havası ve Buhar Kalitesi Konuları	80
4.2.7.6.1 Sterilizasyon İçin Kullanılan Buhar	80
4.2.7.6.2 Gıda Hazırlığı	81
4.2.7.6.3 Nemlenme.....	81
4.2.8 Buharda Su Taşınımı	81
4.2.8.1 Sis Taşınımı	81
4.2.8.2 Köpürme Taşınımı	82
4.2.8.3 Çökelti (scale) Taşınımı	82
4.2.8.4 Silika Taşınımı.....	82
4.2.8.5 Buhardaki Su Taşınımını Belirlemek	83
4.2.8.5.1 İletkenlik Ölçümlerinin Çıkarımları	83
4.2.8.5.2 Atık Analizi	84
5. BİR BUHAR HATTINA AİT KOROZYON KORUMA PROGRAMI UYGULAMASI..	85
5.1 Koruma Programında Uygulanacak Sistemin İncelenmesi	85
5.2 Koruma Programında Kullanılan Kimyasalın Özellikleri	87

5.3 Koruma Programında Ölçüm ve Kontrol Aşamaları.....	88
5.4 Yapılan Ölçümlerin İrdelenmesi	93
5.4.1 Depozit Oluşumunun İncelenmesi.....	94
5.4.1.1 Konsantrasyon Faktörü (COC).....	94
5.4.1.2 İletkenlik-Konsantrasyon Faktörü (COC) İlişkisi	96
5.4.1.3 Alkalinite-Konsantrasyon Faktörü (COC) İlişkisi.....	98
5.4.2 Korozyon Oluşumunun İncelenmesi	99
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	104
KAYNAKLAR.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	108

SİMGE LİSTESİ

A	Yüzey Alanı	[cm ²]
B	Blöf	[kg/h]
COC	Konsantrasyon faktörü	
CO ₂	Karbondiyoksit tahmini	[ppm]
D	Kondens dönüşü	[kg/h]
d	Yoğunluk	[gr/cm ³]
F	Besleme suyu	[kg/h]
F _Ç	Çukurlaşma faktörü	
K	Toplam buhar ve kondens kayıpları	[kg/h]
k	Sabit (korozyon hızı birimine bağlı olarak değişir)	
L	Langelier indeksi	
M	Toplam alkalinitlik	[ppm]
P	Fenolftaleyn alkalinitliği	[ppm]
pH _s	Saturasyon pH değeri	
P _{max}	Beş en büyük çukurun derinliğinin ortalaması	[mm]
P _{ort}	Kütle kaybından hesaplanan üniform korozyon derinliği	[mm]
R	Korozyon hızı	[cm/Y]
T	Takviye oranı	[%]
t	Zaman	[saat, yıl]
T _c	Çevre sıcaklığı	[K]
T _H	Yüksek sıcaklıktaki ortamın mutlak sıcaklığı	[K]
U	Üretilen buhar	[kg/h]
W	Ağırlık kaybı	[gr]
η	Isının işe dönüşme verimi	[%]

ALT İNDİSLER

TDS	Toplam çözünmüş katı miktarı	[ppm]
μmhos	İletkenlik	[μmhos]

KISALTMA LİSTESİ

DEAE	Dietilamino-etanol	
EDTA	Etilen diamin tetra-asetik asit	
GS	Gecici sertlik	[ppm]
KS	Kalıcı sertlik	[ppm]
MO	Metil oranı	
NTA	Nitrilo-triasetik asit	
NTU	Nephelometric turbidity units	
TAK	Toplam askıdaki katılar	
TDS	Toplam çözünmüş katı madde	
TS	Toplam sertlik	[ppm]
SS	Dispersant	

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Malzeme seçimine etki yapan faktörler	1
Şekil 2.1 Üniform korozyon	5
Şekil 2.2 Galvanik korozyon	6
Şekil 2.3 a) Küçük katot-büyük anot ve elektrolit iletkenliği yüksek b) Küçük katot-büyük anot ve elektrolit iletkenliği düşük c) Büyük katot-küçük anot.....	6
Şekil 2.4 Çatlak korozyonu	7
Şekil 2.5 Çatlak korozyonu oluşumu.....	8
Şekil 2.6 Filiform veya kabuk altı korozyonu	10
Şekil 2.7 Çukur korozyonu.....	10
Şekil 2.8 Çukurlaşma faktörünün belirlenmesi	12
Şekil 2.9 Taneler arası korozyon	13
Şekil 2.10 Dezinsifikasyon korozyonu.....	14
Şekil 2.11 Erozyonlu korozyon	16
Şekil 2.12 Erozyonlu korozyon olayının başlama mekanizması.....	16
Şekil 2.13 Pasifleşme özelliğinin korozyon hızı üzerine etkisi.....	17
(a) Pasifleşme özelliği olmayan bir metal, (b) pasifleşme özelliği olan bir metal ..	17
Şekil 2.14 Kaviteasyon olayının meydana gelişi	19
Şekil 2.15 Kaviteasyon sonucu oluşan oyuklar.....	19
Şekil 2.16 Uçak parçasında kazımalı korozyon	20
Şekil 2.17 Stres korozyon çatlamaşı.....	21
Şekil 2.18 Metal içine hidrojen penetrasyonu	24
Şekil 2.19 Mikrobiyolojik korozyon olayının oluşum mekanizması	25
Şekil 2.20 Yüksek sıcaklıkta oksitlenme.....	25
Şekil 3.1 Demirin korozyonu üzerine pH'nın etkisi	33
Şekil 3.2 Çelikte sıcaklık değişimine göre meydana gelen korozyon oranı.....	35
Şekil 3.3 Nitrit, su hızı ve korozyon arasındaki değişim.....	39
Şekil 3.4 Tafel eğrileri	41
Şekil 4.1 Alev borulu kazanlar.....	48
Şekil 4.2 Su borulu kazan	49
Şekil 4.3 Boyuna depolu üç geçişli kasalı, az eğimli su borulu kazan	50
Şekil 4.4 Seksiyonların bağlantı kolektörleri çeşitleri.....	50
Şekil 4.5 Paket tip su borulu kazan kesiti	51
Şekil 4.6 Tipik buhar ünitesinin şematik gösterimi.....	52
Şekil 4.7 Kazan borusu oksijen kazıntısı.....	55
Şekil 4.8 Kazan borusunda görülen üniform korozyon.....	55
Şekil 4.9 Borudaki Depozit	56
Şekil 4.10 Tortuların ısı transferine etkileri	57
Şekil 4.11 Kazan borusundaki metal yorgunluğu.....	57
Şekil 4.12 Basitleştirilmiş kazan sistemi su dengesi	62
Şekil 4.13 Kazan borusunda oluşan kabuk (scale) yerleşimi	63
Şekil 4.14 Mekanik gaz giderici şemaları	72
Şekil 4.15 Çelik ve bakır korozyonunda pH'ın etkisi	75
Şekil 4.16 Suyu katılan farklı konsantrasyonlardaki aminlerin pH değerleri.....	79
Şekil 4.17 Buhar kazanlarında sis oluşumu	82
Şekil 5.1 The Marmara Oteli	86
Şekil 5.2 Koruma programı uygulanan buhar kazanları.....	86
Şekil 5.8 Kimyasal dozaj ünitesi	92
Şekil 5.9 Kimyasal dozaj akış şeması.....	93
Şekil 5.10 Buhar hattında belirtilen tarihlerde saptanan COC değerleri.....	95

Şekil 5.11 İletkenlik tayini grafiği.....	97
Şekil 5.12 Alkalinitlik tayini grafiği.....	99
Şekil 5.13 Kazan suyu pH değerlendirme grafiği	100
Şekil 5.14 Korozyon – koruyucu kimyasal grafiği.....	103

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Kalsiyum karbonat miktarlarına göre su sertlik dereceleri	31
Çizelge 3.2 Saf su içinde oksijen çözünürlüğü.....	32
Çizelge 3.3 Korozyon inhibitörlerinin sınıflandırılması.....	40
Çizelge 3.4 Çeşitli inhibitörlerin bazı metaller üzerine etkinliği.....	44
Çizelge 3.5 Bazı ortamlarda kullanılan inhibitör cins ve dozajları	44
Çizelge 4.1 Fosfat arıtma programlarının özeti	70
Çizelge 4.2 Çeşitli basınçlardaki kazan sistemleri için gaz giderici su çıkış sıcaklıkları.....	71
Çizelge 4.3 Kazan suyunda taşınması gereken sülfid değerleri	73
Çizelge 4.4 Nötralize aminlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	77
Çizelge 4.5 Nötralize edici amin seçimi çizelgesi.....	77
Çizelge 4.6 Amin kısıtlamaları	80
Çizelge 4.7 Kazan suyunda izin verilen silika seviyeleri	83
Çizelge 5.1 Koruyucu kimyasal için etkin çalışma değerleri	88
Çizelge 5.2 Koruyucu kimyasal için etkin çalışma değerleri	91
Çizelge 5.3 Kazan suyu ve ilave su Cl- değerleri.....	95
Çizelge 5.4 COC - İletkenlik çizelgesi	97
Çizelge 5.5 COC - Alkalinitik çizelgesi	98
Çizelge 5.6 Kazan suyu pH çizelgesi	100
Çizelge 5.7 COC - Fe – Koruyucu kimyasal çizelgesi	102

ÖNSÖZ

Endüstriyel yatırımların ve üretim maliyetlerinin öneminin günümüzde artması, giderler üzerine detaylı analiz ve çalışmaların yapılmasına sebep olmuştur. Bu tez çalışmasında buhar üretim tesislerinin (özellikle buhar kazanlarının) ömrüne etki eden korozyon olayının sebep olduğu problemler ve bu problemlerin çözümleri üzerinde çalışılmıştır.

Tez çalışmam süresinde bana destek olan değerli hocam Prof. Dr. Olcay Kıncay'a, hayatımın her anında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen aileme, tez aşamasında bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Kimya Yük. Müh. Haluk Ağustos'a ve Çevre Yük. Müh. H. Sertan Çoker'e, veri tabanı ve uygulama alanlarını kullanıma açtığı için Hydrosafe Aksem Kimya kuruluşunun tüm personeline, The Marmara Oteli'nin tüm teknik ekibine ve bana bu süreçte yardımcı olan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mak. Müh. Mustafa ÖZTOP

ÖZET

Korozyon, metalin içinde bulunduğu ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girerek metalik özelliklerini kaybetmesi olarak açıklanır. Yapılan araştırmalara göre korozyonun neden olduğu zararın 70-80 milyar dolar civarında olması, öneminin anlaşılması için yeterlidir. Bu zararın önemli bir bölümünü hayatımızda geniş bir yer kaplayan mekanik sistemlerde görülen korozyon olayları oluşturmaktadır.

Bu çalışmada korozyon ve çeşitlerinin genel tanımı, su-korozyon ilişkisi, kapalı devre buhar tesisatlarının genel yapıları ve bu sistemlerde oluşabilecek korozyon türlerine karşılık alınacak önlemler üzerinde durulmuştur. Uygulama olarak İstanbul'da bulunan The Marmara Oteli'ne ait kapalı devre buhar hattı incelenmiştir. 2008 ve 2009 yıllarında düzenli aralıklarla, sistemde bulunan suyun içeriği analiz edilerek, uygulanan korozyon koruma programı irdelenmiştir. Korozif etkiyi en aza indirebilmek için, sistemin devreye alınmasından başlanarak koruma programının uygulanmasına ve oluşabilecek dalgalanmaların sürekli izleme yöntemiyle denetim altına alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, kapalı devre mekanik tesisatlar, birikinti, suyun şartlandırması.

ABSTRACT

Corrosion is defined as the losing metallic properties of the metal when it is in chemical or electrochemical reaction with its surrounding. According to researches, the cost of the corrosion that is about 70-80 billion dollar is the main indicator for understanding its importance. Significant amount of this cost is composed by mechanical systems, a crucial part of daily life.

In this research, the corrosion and its general definition, relation of water and corrosion, general structure of close circuit steam fittings and protection against corrosion types in these systems were deliberated. The close circuit steam line that is in the The Marmara Hotel in İstanbul was analyzed. Water content was analyzed regularly in 2008-2009 and corrosion protection programme is examined. The results were implementing the protection programme with at the beginning of the system and putting into control unsteady changes with continuous tracing method to minimize the effects of corrosion.

Keywords: Corrosion, closed loop mechanical installation, scale, water treatment

1. GİRİŞ

Korozyon, metallerin cevherlerinden indirgenerek elde edilmesi işleminin tersi olan dönüşümdür. Korozyon ve korozyon kontrolü çok önemli bir konu olduğu halde ne yazık ki pratikte yeteri kadar üzerinde durulmamaktadır. Korozyon, endüstriyel yatırımların ve üretimin maliyetini etkileyen en önemli faktördür. Bunun dışında, emniyet, sağlıklı işletme ve verimlilik de ancak korozyona karşı önlem alınarak sağlanabilir.

Korozyonu tam olarak yok etmek çoğu zaman mümkün olmaz. Alınan çeşitli önlemler ile korozyon hızı önemsiz sayılan derecelere indirilebilir. Korozyonla mücadelenin temeli ekonomidir. Pratikte problemlerin en ekonomik olarak ve yeterli emniyeti sağlayacak şekilde çözülmesi istenir. Bu çözüm her zaman en iyisi olmayabilir. Bazı halde biraz paslanmaya göz yumularak daha ucuz olan çözüm seçilebilir. Örneğin, yumuşak çelik gibi düşük maliyetli ve düşük performanslı malzemeleri kullanmak ve bunları paslandıkça, sık sık değiştirmek de bir çözüm yolu olabilir.

Korozyonun söz konusu olduğu bir ortamda malzeme seçimi tamamen ekonomik temele dayandırılır. Malzeme maliyetine korozyonu önlemek üzere yapılan bütün harcamalar da dahildir. Malzemeler üzerinde relatif korozyon dayanıklılıkları göz önüne alınarak seçim yapılır. Ancak korozif ortamların birinden diğerine önemli farklar vardır. Malzeme seçimine etki yapan faktörler Şekil 1.1 'de görülmektedir.



Şekil 1.1 Malzeme seçimine etki yapan faktörler (Yalçın ve Koç, 1997)

Malzeme seçimine etki yapan gerçek faktörler bu basit şematik gösterimden daha karışıktır. Örneğin, işleme kolaylığı ile ifade edilen kaynak edilebilme, işlenebilme v.b. özellikler ancak malzeme kullanıldığı sırada anlaşılabilir. Diğer taraftan, her ortam için malzemenin bir başka özelliği önem kazanır. Eğer söz konusu malzeme düşük sıcaklık ortamında kullanılacak ise, bu ortamda kırılmalık ciddi sorunlar yaratır. Buna karşılık deniz dibinde yüksek basınç altında kullanılacak ise bu durumda çekme gerilmesi kırılmalık özelliğinden daha önemlidir.

Bütün önlemler alınmış olsa bile, korozyon kayıpları tam olarak yok edilemez. Ancak bilinçli bir mücadele ile korozyon kayıpları minimuma indirilebilir. Bu gün gelişmiş ülkelerde gayri safi milli hasılanın yaklaşık %4'ü metalik korozyon kayıpları için harcanmaktadır. Bu değerin teknolojik olarak az gelişmiş olan ülkelerde daha da fazla olması doğaldır.

Korozyon kayıplarının maliyetinin hesabı çok zordur. Bu zorluk, doğrudan korozyon kayıplarının ötesinde dolaylı olarak ortaya çıkan çeşitli yan kayıplarının belirlenmesinden kaynaklanır. Dolayısıyla elde edilen değerler yanıltıcı olabilir. Yan kayıplar çoğu zaman görünen korozyon kaybından daha fazla olabilir. Korozyon nedeniyle dolaylı olarak ortaya çıkan kayıplar dört grup altında toplanabilir.

1- Tesisin servis dışı kalması:

Korozyon sonucu meydana gelen arızanın tamiri için geçen süre içinde tesis stop ederek üretim duracaktır. Örneğin bir termik santralin bir gün devre dışı kalmasında hesapsız kayıplar ortaya çıkar.

2- Ürün kaybı:

Bir deponun, tankın veya boru hattının korozyon sonucu delinmesi halinde, olayın farkına varılıncaya kadar ürün kaybı söz konusu olur. Bu kayıplara korozyon kaybı olarak bakmak gerekir. Ürün kaybının yanında çevre kirlenmesi ve eğer ürün yanıcı bir madde ise yangın tehlikesi de söz konusudur. Örneğin benzin istasyonlarındaki yeraltı yakıt tanklarının delinmesi sonucu büyük tehlikeler doğmaktadır.

3- Ürün kirlenmesi:

Çözünen korozyon ürünleri, elde edilen kimyasal madde içine karışarak onun kirlenmesine neden olur. Özellikle gıda maddeleri ilaçlar ve kozmetik ürünleri içine pas karışarak kaliteyi bozabilir.

4 - Korozyon için alınan aşırı önlemler:

Çoğu zaman korozyon hızının başlangıçta tam olarak bilinmesi mümkün olmaz. Bu nedenle tasarım sırasında gereğinden kalın malzemeler veya emniyetli olması için çok pahalı malzemelerin kullanılması yoluna gidilir. Korozyon olayı meydana gelmediği halde yapılan bu masrafların da korozyon kaybı olarak kabul edilmesi gerekir (Yalçın ve Koç, 1997).

Birçok gelişmiş ülkede korozyon kayıpları üzerinde ciddi araştırmalar yapılmaktadır. Genellikle elde edilen sonuçlar yapılan tahminlerden daha büyük çıkmaktadır. Bu konuda en kapsamlı rapor İngiltere'de HOAR komisyonu tarafından hazırlanmıştır. En üstün teknik kullanılarak hazırlanmış olan bu raporda İngiltere'de korozyon kayıplarının gayri safi milli hasılanın % 3'ü olduğu ve bunun % 23'ünün önlenebilir nitelikte bulunduğu ortaya konulmuştur.

Batelle Columbus Laboratories tarafından yapılan araştırmada toplam korozyon kayıpları 82 milyar dolar (gayri safi milli hasılanın % 4'ü) olarak bulunmuştur. Aynı sonuç NBS tarafından 70 milyar dolar (gayri safi milli hasılanın % 4.2'si) olarak bulunmuştur. Her iki çalışmada hata payı \pm % 30 olarak verilmiştir. Bu korozyonun yaklaşık % 15'i (% 10'dan % 45'e varan bir kısmı) önlenebilir niteliktedir. Önlenebilir korozyon kayıpları üzerinden yapılan hatalar, toplam korozyon kayıpları üzerinden yapılan hatalardan daha büyüktür.

Korozyon ile yapılacak olan mücadelenin korozyon maliyetini azaltmasının yanında, ulusal ekonomi üzerine de etkisi vardır. Böylece gayri safi milli hasılanın % 0.5-1.0'i kadar bir ekonomik kazanç sağlanabilir.

2. KOROZYON

2.1 Korozyonun Tanımı

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 O_2 ve suyun bulunduğu her ortamda korozyona uğrar. Kapalı devre mekanik ısıtma-soğutma tesisatlarında, tasarım ölçütleri su akış hızı, pH, metallerin metalurjik özellikleri, sıcaklık, basınç ve tesisattaki suyun kimyasal içeriği gibi koşullara bağlı olarak korozyon hızı değişmektedir. Korozyonla birlikte bakteri üremesi olasılığı da oldukça yüksektir. Korozyon hızı birim yüzeyde birim zamanda kaybolan metal miktarı olarak belirtilir ve aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$R = (k \cdot W) / (A \cdot t \cdot d) \quad (2.1)$$

Herhangi bir malzeme için:

$R < 0,15$ mm/yıl ise ; malzeme korozyona dayanıklı

$0,15 < R < 1,5$ mm/yıl ise ; malzeme orta derecede korozyona dayanıklı

$R > 1,5$ mm/yıl ise ; malzeme korozyona dayanıksızdır (Yalçın ve Koç, 1999).

2.2 Korozyon Çeşitleri

Değişik metaller, içinde buldukları ortamın özelliklerine göre çeşitli şekillerde korozyona uğrarlar. Başlıca korozyon tipleri pratik olarak on dört grup altında toplanabilir.

1. Üniform korozyon
2. Galvanik korozyon
3. Çatlak korozyonu
4. Filiform korozyon
5. Çukur korozyonu
6. Taneler arası korozyon
7. Seçimli korozyon

8. Erozyonlu korozyon
9. Aşınmalı korozyon
10. Stres korozyonu
11. Yorulmalı korozyon
12. Hidrojen kırılabilirliği
13. Mikrobiyolojik korozyon
14. Yüksek sıcaklık korozyonu

2.2.1 Üniform Korozyon

Metal yüzeyinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Normal olarak korozyon olayının bu şekilde yürümesi beklenir. Metal kalınlığı her noktada aynı derecede incelir (Şekil 2.1).

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

Korozyon hızının hesaplanmasında kullanılan bağıntılar, korozyonun üniform şekilde yürüdüğü kabulüne dayandırılır. Diğer korozyon şekillerinde yüzeyin bazı bölgelerinde korozyon hızı çok yüksek değerlere ulaşır. Bunun sonucunda o bölgeler beklenenden çok önce korozyon nedeniyle delinir veya kırılır.



Şekil 2.1 Üniform korozyon [1]

2.2.2 Galvanik Korozyon

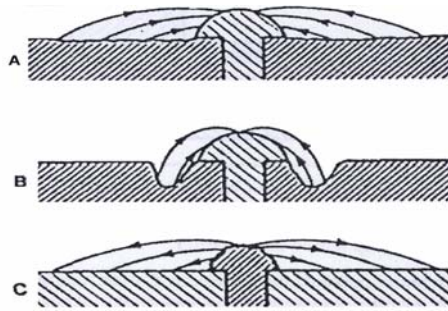
İki farklı metal bir korozyon ortamına daldırılır ve elektriksel bir bağ ile birbirine bağlanırsa, bir pil oluşur. Bu metallere elektrot potansiyeli daha elektronegatif olan metal anot olarak korozyona uğrar. Korozyon hızı iki metal arasında oluşan potansiyel farkına bağlıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Galvanik korozyon [2]

Metallerden hangisinin anot olacağı elektrot potansiyeli göz önüne alınarak anlaşılabilir. Bir metalin kendi iyonlarının 1 molar konsantrasyonundaki çözeltisi içinde 25 °C de gösterdiği potansiyele standard elektrot potansiyeli denir.

Korozyon olaylarında metaller hiç bir zaman kendi iyonları ile denge halinde bulunmaz (Şekil 2.3). Bu nedenle galvanik korozyon olaylarında standard elektrot potansiyelleri yerine, galvanik seride yer alan deniz suyu içindeki potansiyellerinin alınması daha uygundur.



Şekil 2.3 a) Küçük katot-büyük anot ve elektrolit iletkenliği yüksek b) Küçük katot-büyük anot ve elektrolit iletkenliği düşük c) Büyük katot-küçük anot

Sistemin korozyona uğrayan kısımları diğer kısımlarına oranla daha kalın olmalıdır. Gereğinde bu kısımların kolay değiştirilmesine olanak sağlayıcı tasarım üzerinde durulmalıdır (Yüksek, 2005).

Galvanik korozyona karşı şu önlemler alınabilir:

- a) Galvanik seride birbirinden uzak konumda olan metallerin teması önlenmelidir.
- b) Eğer bu iki metalin bir arada kullanılması zorunlu ise, büyük katot-küçük anot yüzeyinden kaçınılmalıdır.
- c) İki metal arasındaki bağlantılar izole flanşlarla elektriksel olarak yalıtılmalıdır.
- d) Metal yüzeyleri boya veya kaplama yapılarak izole edilmelidir.
- e) Eğer kapalı bir sistem söz konusu ise inhibitör kullanılmalıdır.
- f) Tasarım sırasında anot olan parçanın daha kolayca yenisi ile değiştirilebilmesi için önlem alınmalıdır veya bu parça daha kalın olarak imal edilmelidir veya sisteme her iki metalden de daha anodik karakterde olan üçüncü bir metal bağlanmalıdır.

2.2.3 Çatlak Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan ince bir çatlak, dar bir aralık, cep veya iki levha arasında kalan boşluk içine çevrede bulunan elektrolitin girmesi zordur. Bu dar alanlar durgun bir bölge oluşturur. Bu bölgelerde korozyon hızı normal yüzeylere göre daha fazladır. Bu çatlak korozyonu olarak tanımlanır (Şekil 2.4).



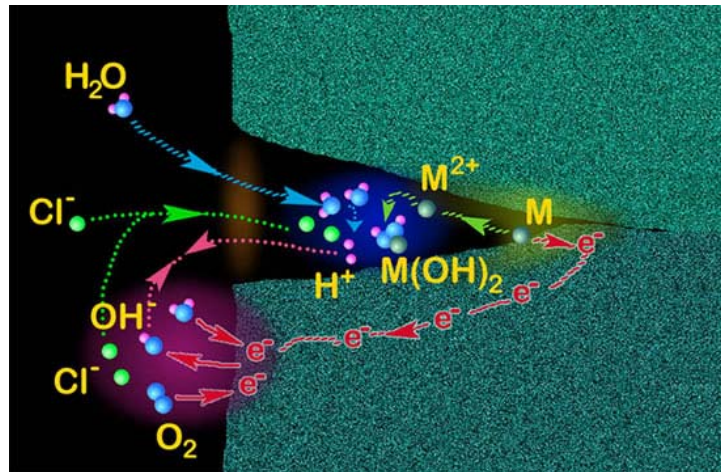
Şekil 2.4 Çatlak korozyonu [3]

Buna benzer şekilde aynı mekanizma ile yürüyen kabuk altı korozyonu (filiform korozyon) ve rüsubat korozyonu da bu grup içinde ele alınabilir (Şekil 2.5).

Çatlak korozyonunun temel mekanizması şöyledir. Çatlak içinde elektrolit akışı çok yavaş olduğundan bu bölgede oksijen konsantrasyonu çevredeki oksijen konsantrasyonuna göre daha azdır. Bu farklılık çatlak içi ile çevre arasında bir konsantrasyon hücrelerinin oluşmasına neden olur. Çatlak içi anot, çevre katot olur. Burada anot ve katot reaksiyonları şöyledir:



Başlangıçta bu reaksiyonlar hem çatlak içinde hem de dışında aynı hızla meydana gelir. Demir iyon haline gelirken elektronlarını oksijene verir ve OH^{-} iyonu oluşturur. Böylece çözeltiliye geçen her metal iyonuna karşılık iki hidroksit iyonu oluşur. Bu reaksiyonlar bir süre yürüdüktan sonra çatlak içinde bulunan oksijen tükenmeye başlar. Çatlak içi durgun bir ortam olduğundan harcanan oksijen yerine yenilerinin gelmesi mümkün olmaz. Oysa çatlak dışındaki yüzeylerde harcanan oksijen yerine yenileri geleceğinden bu bölgelerde korozyon hızında değişim olmaz. Başlangıçta hem çatlak içinde hem de çatlak yüzeyinde anot ve katot bölgeleri oluştuğu halde, çatlak içinde oksijen bitmesinden sonra, dış yüzeylerde oksijen reaksiyonunun, çatlak içinde ise metal çözünme olayının yürüdüğü görülür (Yalçın ve Koç, 1997).



Şekil 2.5 Çatlak korozyonu oluşumu [3]

Bunun sonucu olarak çatlak içinde Fe^{++} iyonları konsantrasyonu artar. Bu durum, polar etkiler nedeniyle çatlak içine Cl^- iyonlarını göç etmesine neden olur. Çatlak içinde $FeCl_2$ oluşur. Bu bileşik su içinde kolayca hidroliz olarak aşağıdaki reaksiyonla demir hidroksit halinde çökeler.



Çatlak korozyonuna karşı aşağıdaki önlemler alınabilir:

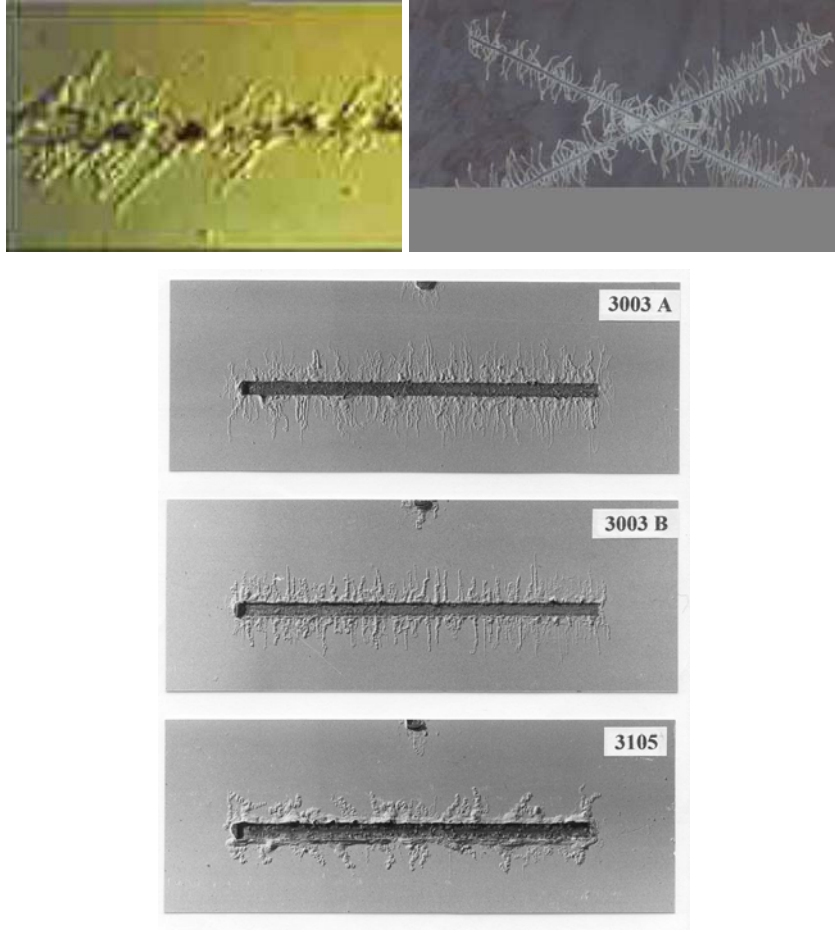
1. Civata ve perçin yerine kaynak tercih edilmelidir.
2. İki levhanın üst üste birleştiği yerler kaynak veya lehim yapılarak kapatılmalıdır.
3. Sıvı taşıyan kaplar projelendirilirken, kabın tam olarak boşaltılabilmesine özen gösterilmelidir. Kap içinde temizlenemeyen veya yıkanamayan köşe kalmamalıdır.
4. Kap içinde çökelti veya birikinti kalıp kalmadığı zaman zaman kontrol edilmelidir.
5. Tahta, plastik gibi ıslak kalabilen maddelerin metal ile temas etmesi önlenmelidir.

2.2.4 Filiform Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında yürüyen bir korozyon olayıdır. Filiform korozyon, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir. Bu korozyona kabuk altı korozyonu da denilmektedir. Korozyon olayı kabuk altında bir solucan hareketine benzer şekilde hareket eder. Bir filiform diğer bir filiformu kesmez. Kesişme halinde yansıma yaparak yoluna devam eder.

Filiform korozyonunun oluşma mekanizması aynen çatlak korozyonunda olduğu gibidir (Şekil 2.6). Filiform korozyonu kaplamanın zayıf bir noktasında başlar. Bu noktada kabuk altına atmosferden oksijen ve su girişi olur. Eğer boya tabakası su geçirmez ise korozyon olayı da başlamaz. Korozyonun başladığı noktada oksijen konsantrasyonu maksimumdur ve korozyonun yürüdüğü yönde gittikçe azalır. Korozyon sonucu metal hidroksiti ve hidrojen iyonları oluşur. Böylece uç kısımda korozyonun devamı için uygun bir ortam (düşük oksijen konsantrasyonu ve düşük pH) sağlanmış olur. Bu nedenle korozyon olayı daima uç noktadan ileriye doğru hareket eder.

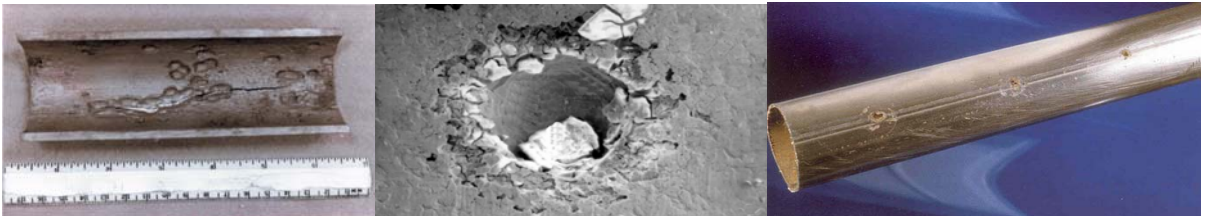
Endüstriyel ve denizsel ortamlarda, özellikle Al ve alaşımlarında görülür. Hasar genellikle, haddeleme yönünde uzamış tane sınırlarında meydana gelmektedir (Görenler, 2007).



Şekil 2.6 Filiform veya kabuk altı korozyonu [4]

2.2.5 Çukur Korozyonu (Pitting)

Metal yüzeyinde çok küçük bir bölgede çukur oluşturarak meydana gelen korozyon olayıdır. Çoğu zaman oluşan çukurlar gözle görülemeyecek kadar küçüktür. Çukurların derinliği genellikle çapları kadardır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Çukur korozyonu [2]

Çukur korozyonu en tehlikeli korozyon türüdür. Çok az malzeme kaybı olmasına rağmen ekipman kısa sürede devre dışı kalabilir. Oluşan çukurların içi genellikle korozyon ürünleri ile doludur. Bu nedenle çukur sayısını ve derinliğini belirlemek son derece güçtür.

Çukur korozyonu, metal yüzeyinin herhangi bir noktasında oluşan bir anodik reaksiyon ile başlar. Eğer metal ve çevre koşulları uygun ise bu anodik reaksiyon birbirini doğuran bir seri otokatalitik reaksiyonlarla hızla devam ederek o noktada bir çukur oluşmasına neden olur.

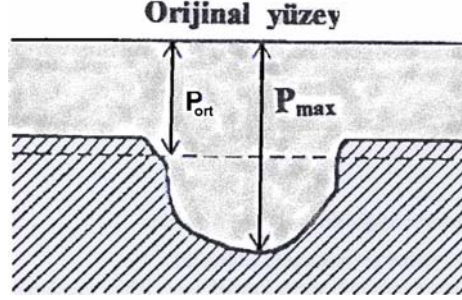
Anodik bir bölgede metal çözünmeye başladığında çevre yüzeylerde oksijen redüksiyonu meydana gelir. Anodik reaksiyon sonucu ortaya çıkan metal iyonları, o bölgede pozitif yüklerin artmasına neden olur. Bunun sonucu olarak çözelti içindeki klorür iyonları o bölgeye doğru hareket eder. Böylece çukur içinde metal klorür ve hidrojen iyonu konsantrasyonunda artış meydana gelir. Bu durum çukur içinde korozyon hızının daha da artmasına neden olur. Çukur içinde anodik reaksiyonlar yürürken, çevre yüzeylerde de oksijen redüksiyonu ile katodik reaksiyon gerçekleşir.

Çukur korozyonunun belli bir derinlikten sonra yavaşlaması şöyle açıklanmaktadır: Korozyon sonucu oluşan metal hidroksitleri zamanla çukurun ağzını kapatmaktadır. Bu durumda klorür iyonlarının çukur içinde metale kadar ulaşması güçleşmektedir. Bu nedenle, çukur belli bir derinliğe eriştikten sonra korozyon hızı artık yavaşlamaktadır. Bu açıklamalardan anlaşılacağı üzere elektrolitin hızla aktığı ortamlarda çukur korozyonu oluşmaz. Çukur korozyonu ancak durgun çözeltiler içinde meydana gelebilir. Çukur korozyonu genellikle borularda ve tanklarda akış hızının azaldığı bölgelerde kendini gösterir (Görenler, 2007).

Çukur korozyonu oluşumunda metal cinsi de önemli rol oynar. Pasifleşme özelliği olan metal ve alaşımlar çukur korozyonuna daha duyarlıdır. Özellikle paslanmaz çeliklerde çukur korozyonuna sık rastlanır. Hatta yumuşak çelik bile çukur korozyonuna paslanmaz çeliklerden daha dayanıklıdır.

Çukur korozyonunun ağırlık kaybı yoluyla değerlendirilmesi doğru olmaz. Çukur korozyonu, istatistik yöntemlerle, çukur sayısı ve derinliği ölçülerek birlikte değerlendirilir. Ortalama çukur derinliği korozyon zararı konusunda tek başına bir fikir vermez. Önemli olan maksimum çukur derinliğidir. Bu ise ancak istatistik yöntemler ile belirlenebilir. Belli bir yüzeyde bulunan çukurların sayısı, derinliklerine göre düzgün bir dağılım gösterir. Olasılık yöntemleri ile maksimum çukur derinliği veya belli bir derinlikteki çukur sayısı hesaplanabilir.

Çukur korozyonunun değerlendirilmesinde "çukurlaşma faktörü" nün belirlenmesi çok önemlidir. Bu faktör $F_C = P_{\max} / P_{\text{ort}}$ olarak tanımlanır (Şekil 2.8). P_{\max} beş en büyük çukurun derinliğinin ortalaması olarak bulunur. P_{ort} ise kütle kaybından hesaplanan üniform korozyon derinliğidir (Yalçın ve Koç, 1997).



Şekil 2.8 Çukurlaşma faktörünün belirlenmesi

Çukur korozyonuna karşı alınacak önlemler, çatlak korozyonunda olduğu gibidir. Ancak başlangıçta çukur korozyonuna karşı duyarlı olan metallerin kullanılmasından kaçınılması büyük önem taşır. İnhibitör kullanılması da çukur korozyonu için faydalıdır. Fakat inhibitör kullanarak korozyon tam olarak önlenemez ise bu defa daha tehlikeli sonuçlar doğabilir.

2.2.6 Taneler Arası Korozyon

Metaller katı kristal halinde bulunur. Metal atomları bu kristal yapı içinde düzgün olarak dağılmışlardır. Demir ve çelik kübik merkezli kristal yapısındadır. Ostenitik paslanmaz çelikler yüzeysel merkezli kristal yapıdadır. Kristal yapıları metallerin taneler arası korozyonunda etkili olur.

Metaller eritilerek soğumaya terk edildiğinde birbirine bitişik kristaller halinde katılırlar. Çok sayıda kristalden oluşan taneler, sınır çizgileri ile birbirinden ayrılırlar. Taneler arasındaki dar bölgelerde kristal yapısı düzensiz durumdadır. Bu bölgeler metalin korozyona en dayanıksız olduğu yerlerdir (Şekil 2.9).

Taneler arası korozyon, taneler arasında bulunan herhangi bir safsızlıktan, örneğin bir alaşım elementinin daha fazla bulunması veya bulunmaması nedeniyle oluşur. Örneğin, alüminyum içinde bulunan az miktarda demir, taneler arası korozyona neden olabilir. Çünkü, alüminyum içinde demir çok az çözünür, bu nedenle taneler arasında toplanır. Yine bunun gibi paslanmaz

çeliklerde de taneler arası sınır bölgelerinde krom miktarı çok azdır. Bu bölgeler krom azlığından taneler arası korozyona dayanıksızdır.



Şekil 2.9 Taneler arası korozyon [1]

Isıtılma işlemi sırasında alaşım içinde bulunan krom da taneler arasına doğru hareket eder. Fakat kromun hareket hızı çok azdır, bu nedenle taneler arası bölgeye ulaşarak oradaki krom eksikliğini gideremez.

2.2.6.1 Kaynak Çürümesi

Paslanmaz çeliklere kaynak yapılamamasının nedeni, taneler arası korozyon olayıdır. Bu olay kaynak çürümesi olarak bilinir. Kaynak yapılan bölgede sıcaklık yükselir ve taneler arasında krom karbür çökeltisi oluşur. Sıcaklığın etkili olduğu bölgeler korozyon bakımından duyarlı hale gelir. Kaynak sırasında yalnız sıcaklığın yüksekliği değil, sıcaklığın etkime süresi de önemlidir. Bu süre kaynak yapılan malzemenin kalınlığına da bağlıdır. Örneğin ince levhalar kısa sürede kaynak edilip, kısa sürede sıcaklığını kaybeder. Bu süre, krom karbür bileşiğinin oluşması ve taneler arasında birikmesi için yeterli olmaz. Dolayısı ile bu durumda kaynak çürümesi olayı da meydana gelmez. Aynı nedenle paslanmaz çeliklerin elektirikle kaynak edilmeleri daha uygun olur.

Ostenitik paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyon olayını en aza indirmek için aşağıdaki üç yöntem kullanılmaktadır:

1. Isıl işlem yapılması,

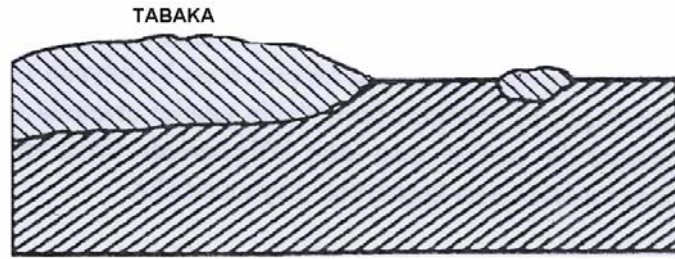
2. Alaşım içine stabilizör denilen ve dayanıklı karbür bileşiği oluşturan elementler katılması,
3. Paslanmaz çelik içinde bulunan karbon yüzdesinin % 0,03 değerinin altına indirilmesi.

2.2.6.2 Bıçak Hattı Etkisi

Kaynak yapılan bölgenin her iki yanında, dar bir bölgede, uzun bir hat boyunca, taneler arası korozyon etkisine benzer bir korozyon olayı meydana gelir. Buna bıçak hattı etkisi denir. Bu etki kaynak yapılan yerde değil, onun hemen yakınında bir hat boyunca ortaya çıkar. Bu etki, kaynak çürümesine karşı stabilize edilmiş olan paslanmaz çeliklerde meydana gelir. Bunun başlıca nedeni, stabilizatör olarak çelik içine katılmış olan metalin oluşturduğu karbürün, sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde taneler arasında çökmesidir. Kaynak yapıldığı sırada erimiş ve erimemiş bölgelerin birleştiği hat boyunca bıçak hattı etkisi ortaya çıkar.

2.2.7 Seçimli Korozyon

Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaşması sonucu oluşan korozyon olayıdır. Bu tip korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımı içinde çinkonun bakırdan önce korozyona uğramasıdır. Bu seçimli korozyona özel dezinsifikasyon adı verilir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Dezinsifikasyon korozyonu

Pirinç, yaklaşık %70 bakır + % 30 çinkodan oluşan bir alaşımdır. Başlangıçta sarı renkli olan bu alaşım, çinkonun korozyonundan sonra gittikçe bakır kırmızısı rengine dönüşür. Alaşım poröz bir yapı kazanarak mukavemetini kaybeder. Alaşım içinde çinko yüzdesi ne kadar fazla

ise, seçimli korozyona dayanıklılığı o kadar azalır. Çözeltinin durgun olduğu bölgeler dezinsifikasyon korozyonu için daha elverişlidir.

Dezinsifikasyon korozyonu, eskiden yalnızca çinkonun çözünerek uzaklaşması ve alaşım içinde bulunan bakırın iskelet halinde kalması şeklinde açıklanmaktaydı. Bu kabul, korozyona uğrayan alaşımın poröz bir yapı kazanmasına tam olarak açıklık getirememektedir. Son zamanlarda dezinsifikasyon korozyonunun mekanizması şu şekilde açıklanmaktadır. Alaşım yüzeyinde çinko ve bakırın her ikisi de normal olarak korozyona uğrayarak çözünür. Çinko çözeltide kalırken bakır iyonları katodik bir redüksiyon ile yeniden metal haline döner. Bu olay çözelti içinde oksijen olmadan da yürüyebilir. Bakır iyonları çinkonun korozyonunu hızlandırır. Böylece korozyon olayı yüzeyde kalmaz. Poröz bir yapı oluşturacak şekilde derinlere doğru ilerler (Yalçın ve Koç, 1997).

Dezinsifikasyon korozyonunu önlemek için en uygun yol, alaşım içindeki çinko yüzdesini % 15'in altına düşürmektir. Eğer pirinç içine % 1 oranında kalay katılacak olursa korozyon dayanıklılığında artış olur. Az miktarlarda arsenik, antimon veya fosfor katkısı da inhibitör olarak etki yapar.

Sık rastlanan diğer bir seçimli korozyon olayı da grafitizasyon denilen gri dökme demirde oluşan korozyondur. Gri dökme demir içinde % 2-4 oranında karbon bulunur. Dökme demir içinde grafit katot ve demir anot olur. Böylece bir galvanik korozyon olayı gerçekleşir. Demir çözünür ve grafit iskelet halinde kalır. Beyaz dökme demir içinde karbon serbest halde bulunmaz. Bu nedenle beyaz dökme demirde grafitizasyon olayı meydana gelmez.

2.2.8 Erozyonlu Korozyon

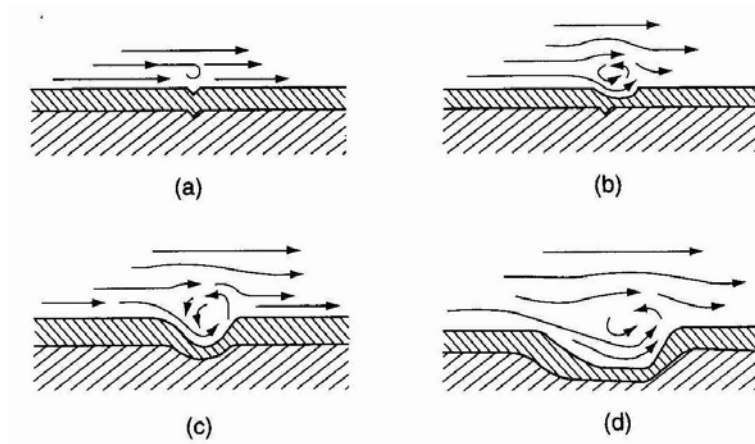
Korozif çözeltinin metal yüzeyinden hızla akması halinde, korozyon olayı yanında erozyon da meydana gelir. Bu durum korozyon hızının da artmasına neden olur. Bunun nedeni, oluşan korozyon ürünlerinin akışkan tarafından sürüklenerek götürülmesidir. Erozyonlu korozyonun tipik bir görünüşü vardır. Akış yönünde göz ile görülen oyuklar ve dalga biçiminde yuvarlak oluklar oluşur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Erozyonlu korozyon [5]

Pasifleşme özelliği olan metaller erozyonlu korozyon olayına çok duyarlıdır. Örneğin; alüminyum, kurşun ve paslanmaz çelik böyledir. Bu metallerin yüzeyinde erozyon etkisinde kalan bölgelerde pasifleşme tabakası oluşamaz ve metal korumasız kalan bu bölgelerde şiddetle korozyona uğrar.

Hareketli akışkanların bulunduğu ekipmanlarda, örneğin borular, dirsekler, valfler, pompalar, santrifüjler, pervaneler, karıştırıcılar, ısı değiştiriciler, kondenserler, orifisler, türbin paletleri gibi cihazlarda sıklıkla görülen korozyon türüdür (Görenler, 2007). Erozyonlu korozyon olayına etkiyen en önemli faktör akışkanın akış hızıdır. Akış hızı arttıkça erozyon etkisi de artar. Akışkan içinde katı partikül bulunması olayın şiddetini artırır. Korozyon sonucu oluşan küçük bir oyuk, türbülans etkisiyle erozyonlu korozyon olayını başlatan etken olur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Erozyonlu korozyon olayının başlama mekanizması [6]

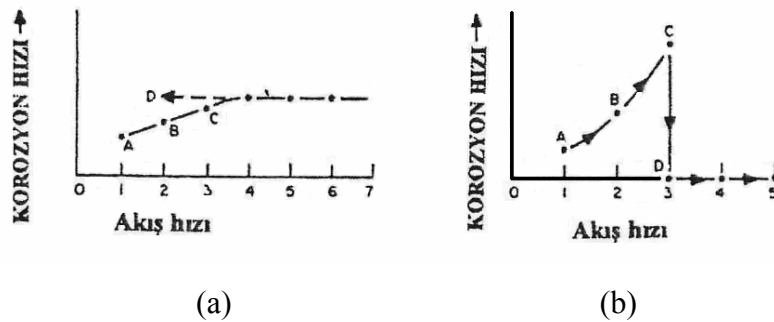
Bir çok işlemden prosesle ilgili sıvılar veya soğutma suyu bir boru içinden akar. Ekonomik olması için akış hızının maksimum olması tercih edilir. Ancak bir çok halde akışın laminar

rejimde kalması zorunludur. Akış hızının çelik boru içinde en çok 1.2 m/s, bakır boru içinde 1.5 m/s ve paslanmaz çelik içinde de 7.5 – 9.0 m/s olması uygundur. Daha hızlı akışlarda valflerde ve diğer bağlantı parçalarında erozyon meydana gelebilir. Bu tip bir erozyon olayı ancak akış hızı uygun seviyeye indirilerek önlenir. Akış hızının çok yüksek olması halinde anaför etkisi ile delinme meydana gelebilir.

Akış hızı etkisi ile oluşan bir diğer erozyonlu korozyon örneği de ısı değiştiricilerinde kullanılan karbon çeliği borularda görülür. Bu borular, korozif olmayan ortamlarda erozyonlu korozyon etkisinde kalır. Isı değiştiricilerde kullanılan boruların uzun ömürlü olması için et kalınlıkları mümkün olduğunca kalın yapılır. Buna rağmen eğer erozyon olayı söz konusu olursa, boru vaktinden önce delinir. Kesit daraldıkça akış hızı artacak ve erken erozyon olayı ortaya çıkacaktır.

Isı değiştiricilerde, ısı iletkenliğinin yüksek oluşu nedeniyle bakır tercih edilir. Bakır içine nikel, alüminyum gibi elementler katılarak erozyona dayanıklılığı artırılır. Örneğin, (90-10) bakır nikel alaşımı kullanılarak deniz suyu akış hızını 3 m/s değerine kadar arttırabilmek mümkün olur. Alaşım içine az miktarda demir katılması da yararlıdır. Bunun nedeni, demirin deniz suyuna dayanıklı bir oksit filminin oluşmasına yardımcı olmasıdır. Alaşıma demir ilave etmek yerine, akış çözültüsü içine zaman zaman $FeSO_4$ katılması ile de aynı sonuç elde edilebilmektedir. Ancak bu yöntem güvenilir olmaktan uzaktır.

Pasifleşme özelliği gösteren ve göstermeyen metallerin akış etkisi ile korozyon hızında gözlenen değişim Şekil 2.13'te görülmektedir.



Şekil 2.13 Pasifleşme özelliğinin korozyon hızı üzerine etkisi

(a) Pasifleşme özelliği olmayan bir metal, (b) pasifleşme özelliği olan bir metal

Metalin pasifleşmesi soğutma suyu içinde bulunan çözünmüş oksijen etkisi ile oluşur. Durgun hallerde, özellikle klorür iyonu bulunması halinde paslanmaz çelik için tehlikeli sonuçlar söz konusu olabilir.

Oksijenin katot bölgesine difüzyon yoluyla ulaştığı kabul edilmiştir. Pratikte akış işlemlerinde türbülans yoluyla da oksijen katot yüzeyine taşınır. Türbülans olayından en çok etkilenen kısımlar valfler, bağlantı elemanları ve vanalar gibi parçalardır. Türbülans etkisi ile metal yüzeyinde biriken korozyon ürünleri yüzeyde film oluşturma imkanı bulamaz. Bunun sonucu olarak, yüzeyde hiç koruyucu film bulunmadığı için metalin korozyonu maksimum hız ile devam eder. Eğer akış hızı korozyon filmini uzaklaştıramayacak kadar yavaş ise, pasifleşme meydana gelir.

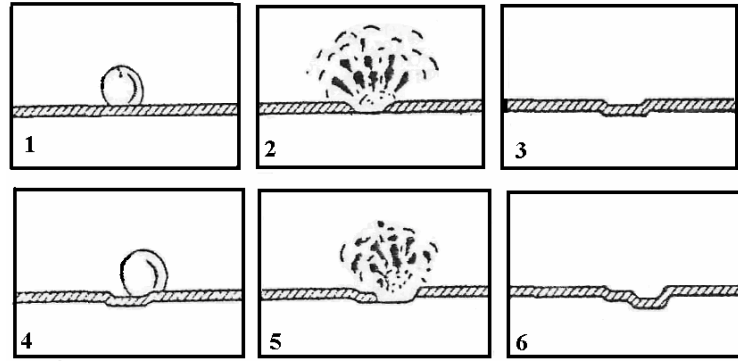
Erozyon korozyonunu azaltmak için aşağıdaki önlemler alınabilir:

1. Erozyonlu korozyona dayanımı yüksek malzemelerin seçimi,
2. Boru çapı artırılır veya akış hızı düşürülür,
3. Erozyon korozyonuna duyarlı olan bölgelerde metal kalınlığı artırılır,
4. Akışkan katı partikül taşıyorsa, bunlar önceden çökeltilir,
5. Sıcaklığın azaltılması erozyon korozyonu şiddetini azaltır,
6. Katodik koruma.

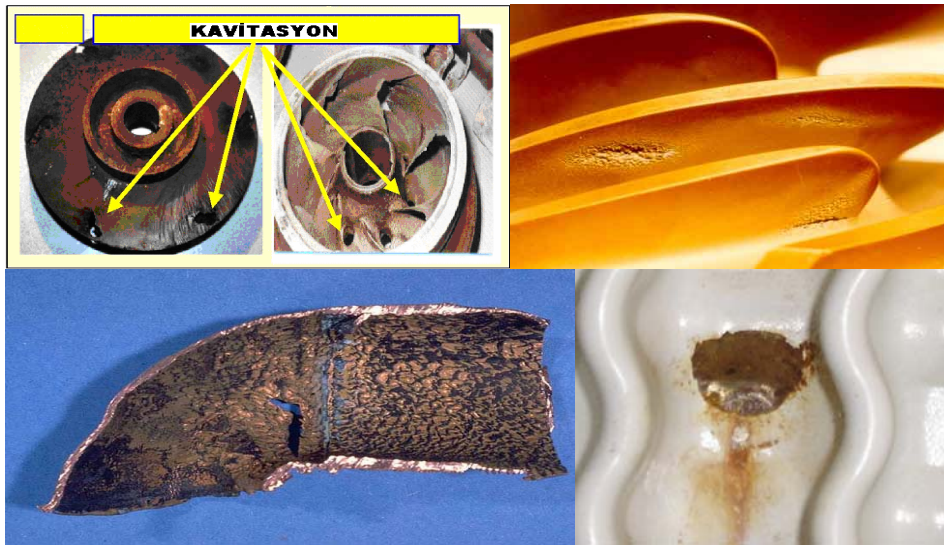
2.2.8.1 Kavitasyon

Kavitasyon, erozyonlu korozyon olayının özel bir şeklidir. Akışkan içinde bir gaz veya buhar kabarcığının bulunması halinde, bu basınçlı gaz metal yüzeyi üzerinde bulunan herhangi bir engel nedeniyle patlayarak o bölgede yıpranmaya neden olabilir. Bu olay genellikle hidrolik türbinlerde, gemi pervanelerinde ve pompa paletlerinde ortaya çıkar.

Kavitasyon olayının mekanizması şöyledir: Hızlı akış sırasında bazı noktalarda basınç düşüşü meydana gelir. Bu bölgelerde düşük basınç nedeniyle su buharlaşarak buhar kabarcıkları oluşturur. Buhar kabarcıkları yüzeyin pürüzlü bir noktasında patlayarak parçalanır ve metal yüzeyinde oyuk oluşturur. Kavitasyon olayının meydana gelişi Şekil 2.14'te ve kavitasyon nedeniyle metal yüzeyinde meydana gelen oyuklar da Şekil 2.15'da görülmektedir.



Şekil 2.14 Kavitasyon olayının meydana gelişini



Şekil 2.15 Kavitasyon sonucu oluşan oyuklar

Normal akışlardan çok yüksek olan hızlarda bazı bölgelerde vakum oluşabilir. Bunun sonucu olarak sıvı buharlaşabilir veya sıvı içinde bulunan çözülmüş gazlar ayrışır. Böylece sıvı içinde düşük basınçlı gaz kabarcıkları meydana gelir. Bu kabarcıklar (habbecikler) akış hızının azaldığı bölgelerde, genellikle metal yüzeyinin yakınında sönerler. Bu olay, metal yüzeyi üzerinde kuvvetli bir emiş (vakum) etkisi yaparak metalin oyulmasına neden olur. Ancak bu durum, projelendirme aşamasında alınacak önlemler ile giderilebilir ve işletmede böyle bir kavitasyon tipinde erozyon ile karşılaşılması önlenir (Yalçın ve Koç, 1997).

2.2.9 Aşınmalı Korozyon

Birbiri ile sürtünen veya yük altında vibrasyon yapan metallerde aşınma görülür. Bu olay, söz konusu bölgede yürüyen korozyon hızını artırır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Uçak parçasında kazımalı korozyon [7]

Bu olay, söz konusu ortamda oluşan korozyon hızını artırıcı rol oynar. Sürtünme hareketinin veya vibrasyonun çok küçük boyutlarda, örneğin 10^{-10} cm olması halinde bile aşınmalı korozyon söz konusu olabilir.

Aşınma ayrı olarak veya yorulma ile birlikte gözlenebilir. Korozyon ürünlerinin aşınarak uzaklaşması olayına sıkça rastlanır. Yağlanmamış yüzeylerin vibrasyonu veya sürtünmesi işlemlerinde aşınma meydana gelir. Birbirine değen iki yüzeyin sürtünmesi sonucu yüzeyde oyulmalar hatta kırılmalar olabilir. Bu yüzeylerde oksitlenme hızı artar. Ara yüzeyde normalden farklı korozyon ürünleri birikir. Bunu önlemek için, ya yüzeyler yağlanır, ya da iyice birbirine tutturularak sürtünme hareketi önlenir.

Genellikle alüminyum alaşımlar aşınmaya çok yatkındır. Bu nedenle alüminyum levhalar yağlanarak paket edilir ve gemilere böyle yüklenir. Alüminyumdan yapılmış malzemelerin depolanması sırasında da bu sorun ile karşılaşılır. Gemilerde taşınan birçok yükte sarsıntılar sonucu hasar oluşabilir. Kompresörlerde, otomobillerde, demiryolu taşımalarında sürtünme sonucu birçok problem ortaya çıkar. Bunlar ancak yağlama yapılarak önlenir.

2.2.10 Stres Korozyonu

Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması çabuklaşır. Metal yüzeyinde bulunan herhangi bir çukur veya hendek gerilim altında duyarlı hale gelerek korozyonun başlaması için uygun bir ortam yaratır. Normal halde korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturduğu halde, stres altında iken kabuk oluşturamaz. Bunun sonucu olarak korozyon hızla devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Stres korozyon çatlaması [5]

Stres korozyonu tehlikeli bir korozyon türüdür. Başlangıçta önemsiz derecede olan bir yerel korozyon, çekme gerilimi etkisi ile ani olarak tehlikeli bir kırılma meydana getirebilir. NH_3 , SO_2 içeren endüstriyel ortamlarda ve denizel ortamda çalışan malzemelerde sıklıkla görülen tehlikeli bir korozyon türüdür (Görenler, 2007).

Gerek çukur tipi korozyon, gerekse taneler arası korozyon gerilmenin etkisini artırıcı bir rol oynar. Çekme gerilmesi sonucu bu bölgeler çatlar. Çatlamanın sonuçları doğrudan kırılma mekaniği ilkeleri doğrultusunda değerlendirilir. Genellikle kritik gelişim periyodu altında bulunan çatlaklar zararsızdır. Çatlak gelişme hızı ve kırılmaya neden olan kritik çatlak uzunluğu hesapla bulunabilir. İşletme sırasında çatlağın bulunup bulunmadığı kırılmasız (non destructive) deneyler yardımı ile belirlenebilir. Aynen yorulmalı korozyonda olduğu gibi çatlakların önceden belirlenmesi hem ekonomik kayıpları, hem de muhtemel personel yaralanmalarını önler.

Burada da sistemli bir şekilde kayıt yapılması ve bunların ileride kullanılmak üzere saklanması çok önemlidir. Stres korozyonu bir seri olay sonucu ortaya çıkar. Burada ana etken strestir. Çatlaklar kopmaya yardımcı olur. Tipik olaylarda korozyon da etkin rol oynayabilir. Stresin kaynağı her zaman basit şekilde belirlenemez. Stres korozyonu her ortam ve her metal için özel bir durum gösterir. Belli bir metal için çatlama yapan ortam diğer bir metal için etkili olmayabilir.

Stres korozyonu etkisini azaltmak üzere pratik olarak birçok önlem alınabilir. Bu önlemler şöyle özetlenebilir:

1. Metal üzerindeki gerilme etkisi ısıtılarak yapılarak belli bir değerin altına düşürülür.

2. Metalin içinde bulunduğu ortamdaki korozif etkenler giderilir veya azaltılır.
3. Eğer yukarıda sözü edilen önlemler alınamıyorsa, stres korozyonuna daha az duyarlı bir metal kullanılır. Örneğin 304 paslanmaz çelik stres korozyonuna çok duyarlıdır. Bunun yerine inconel alaşımı kullanılabilir.
4. Çok daha ucuz olan karbon çeliği, stres korozyonuna paslanmaz çeliklerden daha dayanıklıdır.
5. Örneğin deniz suyu kullanılan ısı değiştiricilerinde paslanmaz çelik yerine adi çelik tercih edilmelidir.
6. Katodik koruma uygulanarak stres korozyonu hızı azaltılabilir.
7. İnhibitör kullanarak stres korozyon hızı yavaşlatılabilir.

2.2.11 Yorulmalı Korozyon

Periyodik olarak yükleme-boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulmuş halde bulunan metal, normalden daha küçük gerilmelerin etkisi ile çatlayabilir. Yorulma ve korozyonun birlikte etkisi, metalin kısa sürede çatlamasına neden olur. Korozyon olayı yorulma etkisi ile birlikte yürürse, parçalanma olayı yalnız başına yorulma veya yalnız başına korozyon nedeniyle meydana gelen parçalanmadan daha kısa sürede gerçekleşir. Bu olay korozyonu destekleyen etkenlere iyi bir örnek oluşturur. Yorulmalı korozyon, bir korozif ortamda çekme veya basınç gerilmelerinin periyodik olarak değişmesi sonucu ortaya çıkar. Bunun sonucu olarak malzemenin çekme gerilmesi özelliğinde zayıflama olur.

Korozyon söz konusu olmadan, yalnızca yorulma etkisi ile birçok çeliğin çekme dayanımı normal dayanım değerinin yarısına kadar düşebilir. En büyük düşüş, tatlı su, tuzlu su hatta rutubetli hava etkilerinin birlikte olması halinde görülür. Tuzlu su içinde çekme dayanımı limiti, normal haldeki çekme dayanımından % 6-7 daha düşüktür. Düşük alaşımlı birçok iyi kalite çelik yorulmalı korozyona adi karbon çeliğinden daha dayanıksız olabilir.

2.2.12 Hidrojen Kırılgnlığı

Bir korozyon reaksiyonu sonucu veya katodik koruma uygulamasında metal yüzeyinde hidrojen atomları oluşur. Bunlar metal yüzeyinde adsorbe edilir. Bu atomlardan bir kısmı $H+H=H_2$ şeklinde birleşerek hidrojen molekülü halinde atmosfere karışır. Hidrojen

atomlarının bir kısmı da, metal bünyesine girerek orada bulunan boşluklara yerleşir. Daha sonra bu hidrojen atomları da molekül haline dönüşerek büyük bir hacim artışına neden olur. Molekül halindeki hidrojenin artık difüzyon özelliği yoktur. Metal içinde bulunan hidrojen molekülleri metal boşluklarında büyük bir basınç oluşturarak metalin çatlamasına neden olur (Şekil 1.19).

Hidrojen atomu birçok şekilde çatlama ve kırılmaya neden olabilir. Korozyon sonucu ortaya çıkan hidrojen, katodik koruma sonucu oluşan hidrojen, pikling işleminde meydana gelen hidrojen veya ıslak elektrot ile yapılan kaynak işleminde oluşan hidrojen metal için sorun yaratır.

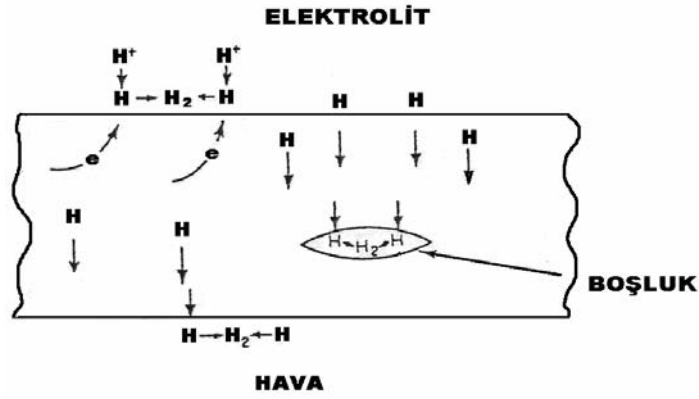
Hacim merkezli kübik kafes yapısına sahip olan metallerde daha sık meydana gelmektedir. Petrol ve kimya endüstrisinde sıklıkla görülmektedir. Katot reaksiyonu sonucu oluşan hidrojen malzeme içerisinde basınç bölgeleri oluşturmakta ve iç gerilmelere ve çatlaklara yol açmaktadır (Yüksek, 2005).

Demir içine girmiş olan hidrojen atomları biraz gecikmeli olarak kırılmaya neden olur (Şekil 2.18). Bu durum çekme dayanımı deneyinde açıkça görülür. Eğer hidrojen hasarı söz konusu olan numune çekme dayanımı deneyine tabi tutulursa, normal çekme dayanımı bir miktar aşıldığı halde kırılma olmaz. Ancak bir kaç saat gecikme ile aniden kırılma meydana gelir. Hidrojen atomunun metal içine difüzyonu için belli bir süre geçmesi gerekir.

Islak bir elektrot ile kaynak yapılması halinde, atom halinde hidrojen ortaya çıkar. Bu reaksiyon şöyledir:



Bu reaksiyondan ortaya çıkan atomik hidrojen birçok metal bünyesine, özellikle α demir içine difüze olur. Eğer söz konusu olan metal yük altında değil ise, metal bünyesine girmiş olan hidrojenin bir kısmı metale hiç bir zarar vermeden dışarıya çıkar. Normal sıcaklıklarda 48 saat sonra hidrojen etkisiz hale gelir. Hidrojenin bir kısmı ise, hiç bir zaman metali terk etmez. Ancak metal kısa süreli yüksek sıcaklığa ısıtılırsa bu hidrojen giderilebilir.



Şekil 2.18 Metal içine hidrojen penetrasyonu

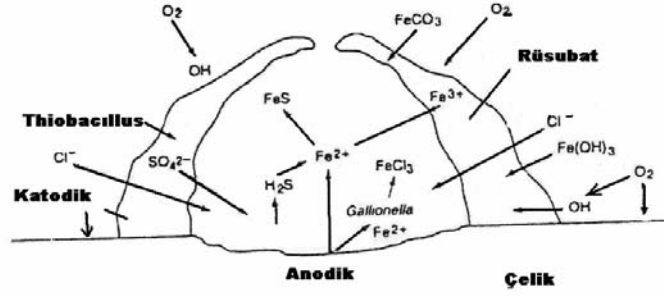
Hidrojen penetrasyonunun zararlı etkilerini gidermek veya azaltmak için şu önlemler alınabilir:

1. Metal içine girmiş olan hidrojen atomları, metal 100-150°C sıcaklığa ısıtılarak çıkarılabilir.
2. Hidrojen kırılabilirliği daha çok yüksek mukavemetli çeliklerde ortaya çıkar. Çelik içine nikel veya molibden katılarak hidrojen kırılabilirliğine dayanıklılığı artırılabilir.
3. Genel kural olarak, metal yüzeyinde hidrojen çıkışına meydan verilmemelidir. Örneğin ıslak halde kaynak yapılmamalıdır. Katodik korumada aşırı voltajdan kaçınılmalıdır.

2.2.13 Mikrobiyolojik Korozyon

Mikrobiyolojik korozyon normal korozyon olaylarından farklı yapıda olmayıp, mikrobiyolojik olarak bazı agresif iyonların korozyon reaksiyon hızını artırması şeklinde kendini gösterir (Şekil 2.19). Mikrobiyolojik korozyon büyük oyuklar meydana getirir ve genellikle tabanda oluşur. Yakından incelenirse daha çok bir organizmanın büyümesine benzer şekilde olduğu görülür.

Mikrobiyolojik korozyon olayına soğutma suyu sistemlerinde özellikle durgun bölgelerde çok sık rastlanır. Bu tip korozyonu önlemek için, pH derecesinin değiştirilmesi, aralıklı olarak klorlama yapılması veya organometalik kalay bileşiklerini kullanarak mikro canlıların öldürülmesi yoluna gidilir.



Şekil 2.19 Mikrobiyolojik korozyon olayının oluşum mekanizması

Normal korozyon olayının mevcut olmadığı ortamlarda mikrobiyolojik korozyon olayına nadir olarak rastlanır. Başka nedenlerle meydana gelen korozyon olayında mikrobiyolojik korozyon nedeniyle olayın şiddeti artar.

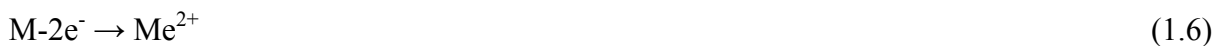
2.2.14 Yüksek Sıcaklık Korozyonu

Havadaki oksijen veya diğer agresif gazlar ile yüksek sıcaklıkta meydana gelen korozyon olayı doğrudan olmasa bile elektrokimyasal temele dayanır. Bir metalin yüksek sıcaklıktaki oksidasyonu Şekil 2.20 'de görülmektedir.



Şekil 2.20 Yüksek sıcaklıkta oksitlenme

Metal oksit bir metal iyonu M^{2+} ile O^{2-} iyonlarından oluşur. Bunun için önce bir anodik reaksiyon ile metalin yükseltgenmesi gerekir.



Daha sonra katodik bir reaksiyon olan oksijenin indirgenme reaksiyonu gerçekleşir.



Bu iki iyondan birinin oksit tabakasını geçerek birleşmesi ile metal oksit meydana gelir. Böylece katot ve anot arasında elektron akımı gerçekleşmiş olur. Katot ve anot arasında bir elektron alış verişi olduğuna göre olay elektrokimyasal nitelikte sayılabilir. Normal olarak anodik reaksiyon metal ile metal oksit tabakalarının ara yüzeyinde meydana gelir. Oluşan oksit filmi dış kısma doğru gelişir. Bu durumda metal iyonlarının oksit filminden geçerek dışa doğru difüzyonu gerekir. Katodik reaksiyon genellikle oksit tabakası ile atmosfer temas yüzeyinde gerçekleşir. Oksit tabakasının çatlak veya poröz yapıda olan kısımları bu iş için uygundur. Bazı halde oksit iyonu, oksit tabakasını geçerek iç kısma difüzyon olabilir. Bu durumda oksit tabakası metal yüzeyinde gelişir.

Her iki halde de anot ve katot ayrı yerlerde bulunur ve bu ikisi arasında bir iyon göçü ve elektron alış verişi söz konusu olur. Bu durumda oksit filmi tabakasına iyon göçüne imkanı veren bir elektrolitik iletken gözüyle bakılabilir (Yalçın ve Koç, 1997).

2.2.14.1 Yüksek Sıcaklıkta Enerji Dönüşümü

Yüksek sıcaklıkta metal ve alaşımların oksitlenmesi enerji üretim teknolojisinin temel problemlerinden birini oluşturur. Yanma sonucu elde edilen ısı enerjisinin mekanik enerjiye maksimum dönüşüm verimi Carnot bağıntısı ile,

$$\eta = \left[\frac{T_H - T_C}{T_H} \right] \times 100 \quad (1.8)$$

verilir. Burada η , ısının işe dönüşüm verimidir. T_H , yüksek sıcaklıktaki ortamın mutlak sıcaklığı, T_C ise çevre sıcaklığıdır. T_C sıcaklığı soğutma suyu sıcaklığı olup aşağı yukarı sabittir. Verimin artırılması ancak T_H sıcaklığının artırılması ile mümkün olabilir. Bu sıcaklığın artması ile birlikte korozyon problemleri de artış gösterir. Pratikte ısıyı işe çeviren en önemli ısı makinası buhar türbinleridir. Fosil yakıtlar yakılarak üretilen ısı enerjisi bir kazanda buhar üretiminde kullanılır. Verimi arttırmak için buhar sıcaklığını arttırmak gerekir. Yüksek sıcaklıkta ise malzemede korozyon sorunları ortaya çıkar.

2.2.14.2 Yüksek Sıcaklıkta Kullanılan Malzemeler

Gaz türbinlerinde kızgın buhar ünitesi borularında korozyona dayanıklı bir alaşım bulmak üzere son yıllarda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bunun için önce yüksek sıcaklıklarda

meydana gelen oksidasyon olayı gözden geçirilmelidir. Amaç, normal sıcaklıklarda alüminyum metalinin yüzeyinde oluşan etkili şekilde koruyucu özelliği olan bir oksit tabakasına benzer bir oksidin oluşmasını sağlamaktır. Metal yüzeyinde oluşan oksit filmi, metali çevreden hem elektrik akımına karşı hemde kimyasal maddelerin diffüzyonuna karşı etkili şekilde koruyabilirlerse korozyon önlenir. Yüksek sıcaklıkta oluşan oksit filmi bu özellikte değildir. Yakıt cinsine bağlı olarak, kazanın kızgın buhar ünitesinde boru yüzeyinde oluşan korozyon ürünleri kül ile karışarak erimiş bir kabuk meydana getirir.

Bu konuda ilk yapılacak çalışma; oksit tabakasının, metal iyonlarının içten dışa doğru difüze olarak veya oksijen iyonunun dıştan içe doğru girmesi şeklinde geliştiğinin belirlenmesidir. Bunun için en kolay yöntem metal yüzeyine ince bir platin tel sarmak ve bu telin oksit tabakası dışında mı kaldığı yoksa içine mi gömüldüğünü kontrol etmektir.

3. SU-KOROZYON İLİŞKİSİ

3.1 Su

Su, hidrojen ve oksijen birleşiminden meydana gelen kararlı bir moleküldür.



$d=1 \text{ g/cm}^3$ [sıvı, 20°C, 1atm], $d=0.917 \text{ g/cm}^3$ [katı, 0°C, 1 atm] gibi özelliklerinden dolayı kapalı devrelerde ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanılmaktadır. Su molekülleri, dipol niteliği nedeni ile kuvvetli çözücü özelliği göstermektedir. Bu nedenle doğada saf olarak bulunması çok zordur. Suların niteliğini çözülmüş maddeler, asılı katı parçacıklar, organik maddeler, tat ve koku veren maddeler belirlemektedir [8].

Endüstride kullanılan birçok ekipman ve malzeme su ile temas eder veya su etkisinde kalır. Özellikle inşaat sektöründe ve fabrikalarda kullanılan bu ekipmanlar şunlardır:

- a) Su iletim tesisleri, borular, valfler ve pompalar
- b) Soğutma suyu sistemleri, borular, ısı değiştiriciler
- c) Merkezi ısıtma sistemleri, radyatörler, valfler
- d) Kazanlar, jeneratörler, kızgın buhar üniteleri, buhar türbinleri, kondenserler.

Genel bir sınıflandırma yapılarak suları korozif ve korozif olmayan sular olarak ikiye ayırmak mümkündür. Ancak bu sınıflandırma daha temel baza oturtulacak olursa işin bu kadar basit olmadığı görülür. Biraz daha ayrıntıya girerek suları şöyle sınıflandırmak mümkündür:

1. Sert Su : Ca ve Mg tuzları gibi suya sertlik veren maddeleri ihtiva eden sudur. Bu tip sular bilhassa sıcak su üretim tesislerinde CaCO_3 çökeltilerine yol açarlar.
2. Yumuşak Su : Ca ve Mg tuzları azdır. pH'ları düşüktür. O_2 ihtiva ettikleri takdirde sert sulara nazaran daha koroziftirler.
3. Deniz Suyu : % 3-3,5 oranında NaCl ihtiva eder.
4. Tuzlu Su : Birkaç bin ppm mertebesinde Cl^- içerir.
5. Tatlı Su : Klorür muhtevası 1000 ppm'den fazla değildir.
6. İçilebilir Su : İyi kalitede tatlı sudur. (maksimum 400 ppm Cl^- içerir)

7. Kazan Besleme Suyu: Yumuşatılmış ve havası alınmış sudur. Bu su tabaka teşkil ettirmemeli ve korozif olmamalıdır (Şengil, 1992).

Bir suyun kalitesini ve özelliğini anlayabilmek için şu faktörlerin bilinmesi gerekir.

1. Toplam çözülmüş katı madde (TDS).....ppm olarak
2. Ca.....ppm CaCO₃.
3. Mg.....ppm CaCO₃,
4. Toplam sertlik (Ca + Mg).....ppm CaCO₃.
5. Fenolftalein alkalinitesi "P".....ppm CaCO₃..
6. Metil oranı alkalinitesi "MO".....ppm CaCO₃.,
7. Cl⁻.....ppm, Cl⁻
8. SO₄²⁻.....ppm SO₄²⁻
9. Silis (SiO₂).....ppm SiO₂
10. Fe.....ppm Fe
11. pH.....pH
12. O₂.....ppm O₂

Bulanıklık:

Genel olarak içme ve kullanma sularında istenmeyen vasıflardır. Analizlerde görünüş ve birim olarak belirlenir. [Nephelometric Turbidity Units] NTU ölçü birimi ile ifade edilmektedir. Havalandırma, dinlendirme, çöktürme veya filtre etme işlemleri ile giderilmektedir.

İletkenlik:

Sudaki çözülmüş tuz iyonlarının toplam miktarını belirler. [Siemens/cm] S/cm veya [micromhos per centimeter] µhos/cm birimi ile ifade edilmektedir.

TDS (Toplam Çözülmüş Katı Madde):

[Total dissolved solid] TDS, suda çözülmüş halde bulunan minerallerin ağırlıklarının toplamıdır. mg/l [ppm] cinsinden ölçülmektedir. Su içinde çözülmüş madde miktarı ile iletkenlik orantılıdır.

Sertlik:

Çözünmüş kalsiyum ve magnezyum tuzları su sertliğini tanımlamaktadır. Suların sertliği, uygulamada sertlik veren maddelerin CaCO_3 cinsi olarak [ppm miktarı ile] ifade edilmektedir. Sertlik, geçici [alkali sertliği: bikarbonat alkalitesi] ve kalıcı sertlik olarak iki türde tanımlanmaktadır. Çizelge 3.1’de kalsiyum karbonat miktarlarına göre su sertlik derecelerinin gösterildiği tablo bulunmaktadır.

Gecici sertlik [GS], suyun içerdiği kalsiyum [Ca^{2+}] ve magnezyum [Mg^{2+}] bikarbonat tuzlarının miktarı olarak tanımlanmaktadır. Su ısıtılarak geçici sertlik veren maddeler karbondioksit [CO_2] oluşturmakta, kalsiyum karbonat [CaCO_3] ve magnezyum hidroksit [$\text{Mg}(\text{OH})_2$] ise çökelti oluşturmak suretiyle ayrılmaktadır.

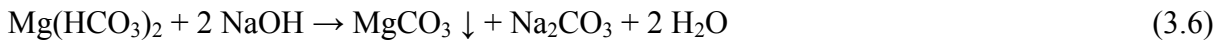
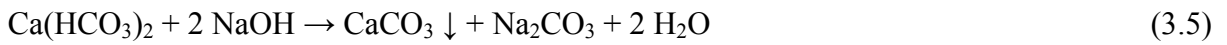


Kalıcı sertlik [KS], magnezyum [Mg^{2+}] ve kalsiyum [Ca^{2+}],un, sülfat [SO_4^{2-}], klorür [Cl^-] ve nitrat [NO_3^-] tuzları ile oluşmaktadır. Kalıcı sertlik maddeleri ısı ile ayrılmaz.

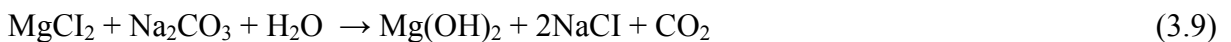
Toplam Sertlik:

$$\text{TS} = \text{GS} + \text{KS} \quad \text{olarak tanımlanır.} \quad (3.4)$$

Gecici Sertlik Reaksiyonları:



Kalıcı Sertlik Reaksiyonlar:



Çizelge 3.1 Kalsiyum karbonat miktarlarına göre su sertlik dereceleri

CaCO ₃ mg/l [ppm]	Suyun Sertlik Dereceleri
0-75	Yumusak sular
75-150	Orta sert sular
150-300	Sert sular
300 ve yukarısı	Çok sert sular

Alkalinite:

Hidroksit [OH]⁻, karbonat [CO₃]⁻² ve bikarbonat [HCO₃]⁻¹ suyun alkalinitesini [baz] oluşturur. Alkalinite, P [fenol ftalein] ve MO [metil oranı] alkaliniteleri olarak iki farklı türde tanımlanmakta ve tespit edilmektedir. P ve M değerleri, hidroksit [OH]⁻, karbonat[CO₃]⁻² ve bikarbonat [HCO₃]⁻¹ iyonlarının sudaki miktarları (ppm CaCO₃ olarak) bulunur [8].

Bu analizlerde bilhassa pH, TDS, Ca²⁺ ve MO alkalinitesinden yararlanarak bir suyun tabaka üretme özelliği tayin edilebilir. Aynı su içinde farklı metallerin korozyona uğrama eğimleri farklıdır. Bir su çeşidi bir metal için korozyon iken, diğer bir metal için hiç korozyon olmayabilir. Bu yüzden gerçek bir genelleme yapmak zordur.

Sularda korozyon ve korozyon kontrolüne etki eden faktörler; sıcaklık, suyun akış hızı, akışın yön ve hız değişimleri, oksijen muhtevası ve başka bir metal ile temas edip etmeme durumudur.

3.1.1 Oksijen Konsantrasyonu

İçinde çözünmüş halde oksijen bulunmayan nötral sular içinde korozyon olayı gerçekleşmez. Oksijen olmayınca katot reaksiyonu yürümez, sonuç olarak bütün korozyon olayı da gerçekleşmemiş olur. Saf su içindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu sıcaklığa bağlıdır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Saf su içinde oksijen çözünürlüğü

Sıcaklık (°C)	Çözünmüş oksijen (mg/l)
0	14,6
20	9,1
40	6,4
60	4,7
80	2,8
100	0.0

Kapalı sıcak su sistemlerinde oksijen konsantrasyonu çok düşüktür. Bu nedenle radyatörlerin suyunun taze su ile değiştirilmesi uygun değildir. Su içinde kalan çözünmüş oksijeni tam olarak gidermek için suya sülfite veya hidrazin gibi oksijen bağlayıcılar katılır.

Merkezi ısıtma sistemlerinde radyatörler ve borular çeliktir. Ancak su içinde yeterli miktarda çözünmüş oksijen bulunmadığı için etkili bir korozyon gözlenmez. Fakat oksijen bakımından zengin olan soğuk su sistemlerinde çelik borularda önemli korozyon olayı görülür. Bu gibi sistemlerde çelik ve bakır borunun birlikte kullanılması çok tehlikelidir. Oksijenin etkisi su içine daldırılmış olan bütün metal yapılarda korozyon açısından en önemli faktörü oluşturur. Korozyon etkisi genellikle hemen su seviyesinin altında görülür.

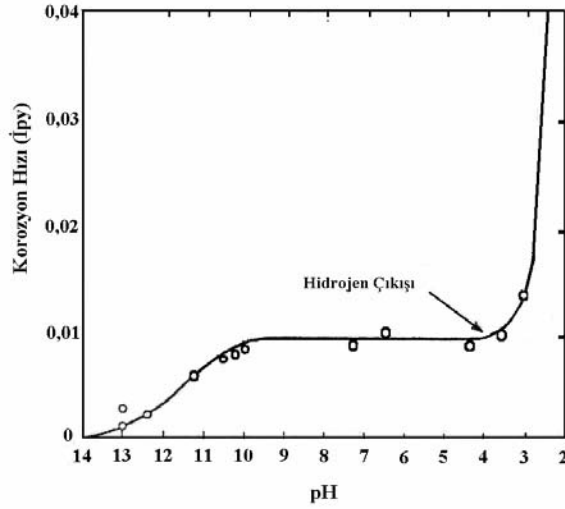
3.1.2 pH' nin Etkisi

Eğer suyun pH derecesi $\text{pH} < 4$ ise, böyle asidik karakterli sular içinde hiç oksijen olmasa bile önemli ölçüde korozyon görülür. Bu katodik redüksiyon olayı hidrojen çıkışı ile gerçekleşir. Sulu çözeltilerdeki demirde meydana gelen korozyona pH'ın etkisi Şekil 3.1'de görülmektedir. Doğal sularda pH değeri 8 civarındadır. Bu pH derecesinde korozyon ürünleri hidroksit veya oksit halinde bulunur. Böylece metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturur.

3.1.3 Kalsiyum Karbonat Çökmesi

Tatlı sular içindeki korozyon olayı, su içinde bulunan geçici sertliğin metal yüzeyinde kalsiyum karbonat halinde çökmesi ile yavaşlar.





Şekil 3.1 Demirin korozyonu üzerine pH'in etkisi (Şengil, 1992)

Oluşan kalsiyum karbonat çökeltisi, korozyon ürünleri ile birlikte metal yüzeyinde sert bir kabuk oluşturur. Kalsiyum karbonatın yukarıdaki denkleme göre çökmesi için suyun pH değeri, saturasyon pH'si denilen (pH_s) den büyük olması gerekir. Eğer suyun pH değeri saturasyon (pH_s)'den daha kritik ise, bu durumda çökelti olmadığı gibi, mevcut kalsiyum karbonat çökeltisi de bikarbonat halinde çözünebilir. Herhangi bir sıcaklıktaki saturasyon indeksi, suyun Ca²⁺ ve HCO³⁻ konsantrasyonları ve toplam çözünmüş tuz miktarı bilinirse hesap ile bulunabilir. Saturasyon pH's değeri grafik yardımı ile de bulunabilir.

Bu grafik yardımı ile suyun saturasyon pH değerini bulabilmek için suyun sıcaklığının, toplam çözünmüş tuz konsantrasyonunun, kalsiyum iyonu ve bikarbonat iyonu konsantrasyonlarının mg/l olarak bilinmesi gerekir. Bu değerler kullanılarak saturasyon pH değeri nomogram yardımı ile şöyle belirlenir:

1. Önce su içindeki çözünmüş tuz konsantrasyonu ve sıcaklık değerleri kullanılarak, yatay bir doğru ile birinci sütuna erişilir.
2. Su içindeki kalsiyum iyonu konsantrasyonunun bulunduğu üçüncü sütun ile birinci sütunda elde edilen nokta bir doğruyla birleştirilir. Bu doğrunun ikinci sütunu kestiği nokta bulunur.
3. Su içindeki bikarbonat iyonu konsantrasyonunun bulunduğu beşinci sütun ile ikinci sütunda elde edilen nokta bir doğruyla birleştirilerek dördüncü sütunu kestiği noktadan pH's değeri okunur.

$$L = \text{pH} - \text{pH}_s$$

$$(3.11)$$

Eğer $L > 0$ ise, söz konusu suda CaCO_3 çökeltisi olacağı anlaşılır. Eğer $L < 0$ ise, suda CaCO_3 çökeltisi meydana gelmez. Bu tip sular korozif etki yapar (Yalçın ve Koç, 1997).

3.1.4 Sıcaklığın Etkisi

Su sıcaklığının artışı korozyon hızında artışa sebep olur. Sıcaklığın 10°C artışı korozyon hızının yaklaşık iki kat artmasına neden olur. Özellikle çözelti içinde difüzyon olayı sıcaklıkla artış gösterir. Fakat bu artış 80°C 'ye kadar etkisini gösterdiği halde bu sıcaklıktan sonra oksijen çözünürlüğünün azalması korozyon hızının azalmasına neden olur.

3.2 Korozyona Karşı Önlemler

Korozyonun teknik ve ekonomik açıdan göz yumulacak düzeye indirgenmesi veya zorunlu hallerde tamamen önlenmesi için başvurulabilecek önlemler çok çeşitlidir. Bunlar: malzeme seçimi, termodinamik ve mekanik koşulların değiştirilmesi, kimyasal inhibitörler, tasarım ölçütleri olarak dört başlık altında toplayabiliriz.

3.2.1 Malzeme Seçimi

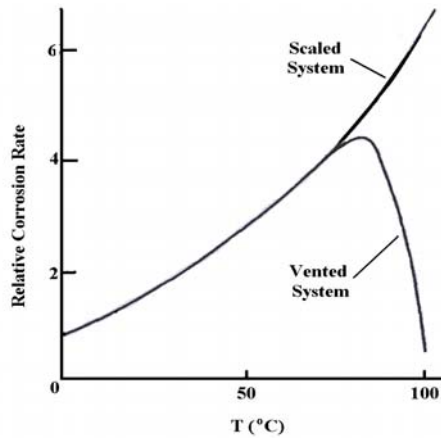
Malzeme seçimi korozyon kontrolüne etki eden önemli hususlardan birisi olması nedeniyle endüstriyel öneme sahip bazı metalik malzemelerin korozyon özelliklerini bilmek yararlı olur. Ancak bilinen korozyon özellikleriyle ilgili olarak iyi bir seçim yapabilmek için parçadan beklenen ömrün, parçanın üretileceği, depolanacağı ve kullanılacağı ortam ve şartların daha tasarım kademesinde kesin bir biçimde belirtilmesi gerekir. Bir malzemedeki aranan özellikler şöyle sıralanabilir.

1. Korozyon direnci
2. Mekanik özellikler
3. İşlenebilirlik (Şekil verme, kaynak v.b.)
4. Ekonomiklik

Mekanik tesisatlarda en fazla kullanılan metal ve metal bileşikleri olarak düşük alaşımlı karbon çelikleri, paslanmaz çelikler, dökme demirler, alüminyum, bakır ve alaşımları gösterilir.

3.2.1.1. Düşük Alaşımlı Karbon Çelikleri

Başlangıçta yüksek olan korozyon hızı bir yıl sonra yüzeyde oluşan oksit filmi nedeniyle azalarak sabit değere erişir. Bu kararlı korozyon hızı, kırsal, deniz, kentsel ve endüstriyel atmosfer tipine göre sırasıyla 5-10, 10-30, 10-30, 30-60 mm/Yıl değerindedir. Karbon çelikleri 75 °C üzerindeki sıcaklıklarda, CO_3^{2-} , OH^- , ya da NO_y^- iyonlarının bulunduğu alkali ortamlarda gerilmeli korozyon çatlamasına uğrarlar. Boru sistemlerindeki gaz basıncının yarattığı gerilmeler uygun korozyon ortamı bulurlarsa bu tür korozyonu teşvik ederler. %2-3 arasındaki Cr, Ni, Cu, V ve Mo gibi alaşım elemanlarının karbon çeliklerine eklenmesi mekanik özelliklerde önemli iyileşmeler yaratır. Ancak korozyon özelliklerindeki etki sınırlı kalır. Korozyon davranışlarının koyduğu sınırlamalara rağmen düşük alaşımlı ve adi karbon çelikleri, iyi tasarlanan yapılarda uygun koruyucu sistemlerle korunduğu zaman, uzun ömürlü malzemelerdir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Çelikte sıcaklık değişimine göre meydana gelen korozyon oranı (Jones, 1997)

3.2.1.2 Paslanmaz Çelikler

Korozyona dirençleri yüzeydeki pasif krom oksitten kaynaklanır. En az %12 krom içeren bu çelikler yeterli oksijen var oldukça oda sıcaklığında oksitlerini, harap olması halinde, yenilenecek dirençlerini sürdürürler. Ancak oksijenin yetersiz, klor iyonlarının zengin olduğu

ortamlarda hasara uğramış pasif filmler kendini yenileyemeyeceği için hızlı bir şekilde korozyonuna uğrarlar.

Cl^- , Br^- ve F^- içeren ortamlar pasifleşme eğilimini azaltarak korozyon direncini düşürürler. HCl, HBr, HF ve bunların tuzları paslanmaz çelikler için saldırgan ortamlardır. Oksitlenme kapasitesi yüksek klorürler ($FeCl_3$, $HgCl_2$, $CuCl_2$, vb.) çukurcuk korozyonu yönünden özellikle tehlikelidirler (Doruk, 1982).

3.2.1.3 Dökme Demirler

Karbon çelikleriyle karşılaştırıldığında su içinde daha iyi korozyon direnci gösterirler. %3 e varan Ni eklenmesi ile lamel grafitli dökme demirlerin korozyon direnci ve mukavemeti biraz artırılır. Lamelli grafit yapı dokusu demire göre katodik olduğundan galvanik etkiyle demirin korozyonunu artırır. Grafitçe zenginleşen ve mukavemetini büyük ölçüde yitiren dökme demir temasta olduğu metallerin (daha soy potansiyelde olsa da) korozyonunu teşvik eder. Çünkü demirin çözünmesi ile ortaya çıkan grafitleşme nedeniyle oluşan katodik grafit yüzeyi, demirin temasta olduğu metaller üzerinde kurban anot görevini yerine getirmesini engeller. Dökme demirlerdeki bu durum grafitlerin küreselleştirilmesi ile (küresel grafitli dökme demirler) ortadan kalkar. %13-36 arasında Ni eklenmesi ile elde edilen ostenitik yapıli dökme demirler rafinerilerde ve elektrik üretim sistemlerinde vana, pompa gövdesi, kondenser su gövdeleri yapımında kullanılırlar. Ayrıca grafitleşme problemleri de yoktur.

3.2.1.4 Alüminyum ve Alaşımları

Döküm ve plastik olarak şekil verilen olmak üzere iki ana grupta toplanırlar. Plastik şekillendirilen cinsleri üzerine saf alüminyum ya da bir alaşımı (%1 Zn içeren) astarlanarak korozyona dirençli hale getirilirler. Uygun bir çözelti içinde yüzeydeki oksit film kalınlığının artırıldığı anotlama (anodising) işlemi de korozyon direncini artırır. Yüksek sıcaklıklarda katı çözelti halinde bulunan Al-alaşımlarının ısıli işleminde dikkatli olunmalıdır. İyonik değişim nedeniyle alüminyum alaşımlarının sulu ortamlarda çok iyi izole edilmiş olsalar bile, özellikle bakır alaşımlarıyla bir arada bulundurulması sakıncalıdır. Döküm alaşımlarında da yapıdaki bakır korozyon direncini azaltır.

Yüksek ısı ve elektrik iletkenliğinin yanında korozyona dayanıklı bir metal olması en önemli özelliklerinden biridir. Saf alüminyum mekanik dayanımı akla gelebilecek kullanım alanlarının pek çoğu için yeterli sayılmaz. Ancak alaşım elemanlarının katkısıyla yüksek dayanımlı malzemelerin önemli bir grubunu oluştururlar (Doruk, 1982).

3.2.1.5 Bakır ve Alaşımları

Alaşımsız olarak kullanıldığı gibi başka metallerle alaşımlandırılmış olarak da kullanılır. Önemli alaşımları Zn (pirinçler), Ni (küpronikel), Al (Al-bronzu), Sn (Kalay bronzu) elementlerini ya da bunların değişik oranlarındaki kombinasyonlarını içerir. Diğer metal ve alaşımlarla bir arada kullanıldığı zaman, özellikle su taşıma sistemlerinde, sulu ortamda çözünmüş bakır daha aktif yüzeylerde çökerek korozyona neden olabilir. Isıtma-soğutma sistemleri, su arıtma üniteleri, kondenser ve ısı değiştiricilerin çok kullanılan Cu ve alaşımları aynı zamanda boru ve boru bağlama elemanlarının, vana, pompa ve musluk parçalarının yapımında da kullanılabilir. Musluk suyundan kirliliği artan tuzlu sulara doğru bu parçaların korozyona uğrama riski artar. Akış hızı, sıcaklık ve suda çözünen oksijen miktarındaki artış korozyon etkisini artırır.

3.2.2 Termodinamik ve Mekanik Koşulların Değiştirilmesi

Ortamda yapılacak değişiklikler korozyonun azalmasını sağlar. Yapılabilecek değişiklikler şunlardır;

1. Sıcaklığı azaltmak,
2. Hızı azaltmak,
3. Oksijen veya oksitleyici vasıtaları ortadan kaldırmak,
4. Konsantrasyonu değiştirmek.

Birçok durumlarda bu değişiklikler korozyonun önemli ölçüde azalmasını sağlar, fakat değişikliği dikkatlice uygulamak gerekir.

3.2.2.1 Sıcaklığı Azaltmak

Bu işlem genellikle korozyon hızının azalmasına sebep olur. Ancak bazı şartlar altında sıcaklık değişimleri korozyon hızı üzerine az tesir eder. Diğer bazı durumlarda ise sıcaklığın artması korozyonu azaltır. Bu olay sıcak tatlı veya tuzlu su kaynama noktasına yükseldiğinde olur. Korozyonun azalması sıcaklığın artışı ile oksijen çözünürlüğünün azalmasının bir sonucudur. Bu yüzden kaynayan deniz suyu sıcak deniz suyundan daha az koroziftir.

3.2.2.2 Hızı Azaltmak

Korozyon kontrolünde pratik bir metod olarak sık sık kullanılır. Hız genellikle korozyonu bazı istisnalar hariç arttır. Paslanmaz çelik gibi pasifleşen metal ve alaşımlar akış halindeki ortamlara durgun ortamlardan genelde daha iyi direnç gösterirler. Çok yüksek hızlar mümkünse daima önlenmelidir, çünkü yüksek hız erozyon korozyonuna yol açar.

3.2.2.3 Oksijen ve Oksitleyicileri Ortamdan Uzaklaştırma

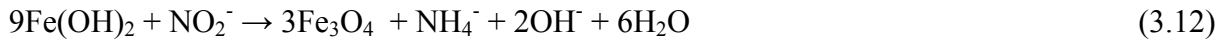
Bu çok eski bir korozyon kontrol tekniğidir. Kazan besleme suyu çelik parçalarının büyük bir kısmı içinden geçirilerek, çözülmüş oksijen miktarı azaltılır. Bugün bu işlem vakumla, inert gaz püskürtmeyle veya oksijenle reaksiyona girebilecek bir madde ilavesiyle yapılmaktadır. Çünkü bu materyallerin yüzeyinde koruyucu film tabakası meydana gelmesi ve bu tabakanın muhafaza edilebilmesi için oksitleyicilere ihtiyaç vardır ve umumiyetle oksitleyici maddelerin olmadığı bir ortamda bu metallerin korozyon direnci zayıf olur.

3.2.2.4 Konsantrasyonu Değiştirmek

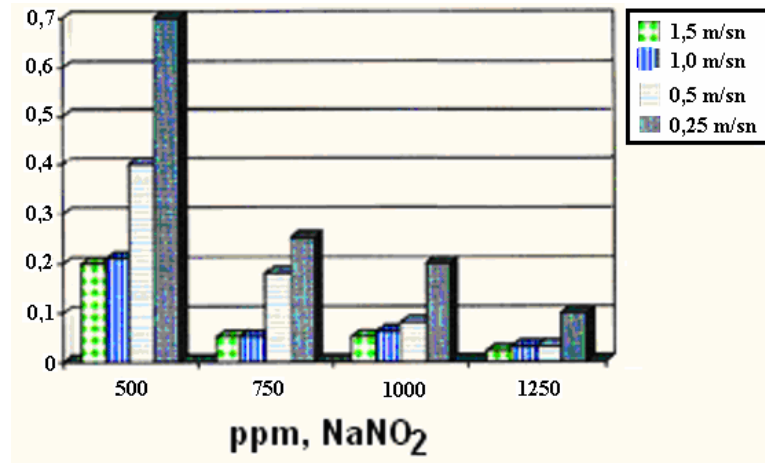
Korozif unsurun konsantrasyonunu azaltmak önemli derecede etkilidir. Birçok proseste korozif unsurun mevcudiyeti tesadüfidir. Mesela nükleer reaktörlerde soğutma suyunun korozif etkisi klorür iyonlarının elimine etmekle azaltılır. Sülfirik ve fosforik asit gibi çoğu asitler fazla yüksek olmayan sıcaklıklarda yüksek konsantrasyonlarda oldukları zaman hemen hemen inerttirler. Asit konsantrasyonunu arttırmakla korozyon azaltılabilir (Şengil, 1992).

3.2.3 İnhibitörler

Korozyon ortamına az miktarda ilave edildiği zaman korozyon hızını azaltan maddelere inhibitör denir. İnhibitörlerin etkinliği, ancak ortamda sürekli bir şekilde bulunmaları şartıyla ortaya çıkar. Genellikle inhibitörler çok düşük konsantrasyonlarda etkili olurlar. İnhibitörlerin korozyonu azaltmasının esas nedeni metal ile ortam arasında bir direnç artışı oluşturmaya bağlıdır. Bu direnç artışının oluşum mekanizması inhibitörden inhibitöre değişmektedir. Bazen inhibitör bizzat bir koruyucu film oluşumunu sağlarken bazen de katalizör rolü oynayarak bu tabakanın oluşmasına yardımcı olur. Bunlar, indirgeyen, okside eden veya yüzey kaplayan (film) nitelikteki ürünlerdir. İndirgeyen inhibitörler (tanen, sülfid, hidrazin vb.) kapalı devrelerde arızaya sebep veren yan etkiler oluşturur. Okside eden nitrit ve molibdat esaslı inhibitörler, su şartlandırma teknolojilerinde önemli bir yer tutmaktadır. Nitrit esaslı kimyasal, metal yüzeyi taneciği ile molibdat esaslı kimyasal ise oksijenle birlikte bağ yaparak yüzey oluşturur. Nitrit çok yaygın kullanılan tek ‘anodik’ okside edici inhibitördür. Oluşturduğu toplam tepkime aşağıdaki gibidir.



Nitrit tek başına veya pH tamponlayıcı yardımcı kimyasallarla birlikte 700-1.200 mg/L [ppm] konsantrasyon aralığında kullanılır. Anodik inhibitörler düşük derişim (<500 mg/L NaNO₂ gibi) koşullarında şiddetli çukurlaşma korozyonuna neden olabilir. Bu nedenle, kapalı devrelerin nitrit içermediği koşullar, çok az nitrit içeren koşullara oranla daha az korozyon etkisi oluşturmaktadır.



Şekil 3.3 Nitrit, su hızı ve korozyon arasındaki değişim (Kıncay vd., 2008)

Nitrit esaslı korozyon koruma uygulamasının ekonomik ve teknik verimliliği için biyolojik etkinliği denetim altına almak gerekir (Şekil 3.3). Nitrit indirgenerek, aşağıdaki denklemde (3.13) gösterildiği gibi amonyak (NH_3) ve hidroksil (OH^-) iyonları oluşturabilir (Kıncay vd., 2008).



İnhibitörlerin metalleri farklı mekanizmalarla pasifleştirmesi nedeniyle veya inhibitör kökenlerinin farklı olması yüzünden değişik sınıflandırmalar yapılmaktadır. İnhibitörler metal-ortam ara yüzeyindeki direnci değiştirerek polarizasyonu arttırmaları. Çizelge 3.3'te korozyon inhibitörlerine ait tablo görülebilir.

Çizelge 3.3 Korozyon inhibitörlerinin sınıflandırılması

İNHİBİTÖR TİPİ	ÖRNEKLER	ETKİME MEKANİZMASI
Anodik İnhibitörler	Kromat, Nitrit	Oksitleme yoluyla pasifleştirir. Eğer gerekli olandan daha az inhibitör kullanılırsa çukur tipi korozyona neden olabilir.
Anodik İnhibitörler	Fosfat Molibdat	Metal ile birleşerek yüzeyde pasif bir film oluşturur. Eğer gereğinden daha az inhibitör kullanılırsa, çukur tipi korozyon oluşur.
Katodik İnhibitörler	Karbonatlar, Çinko Sülfat	Karbonatlar kalsiyum ile CaCO_3 , çinko sülfat ise $\text{Zn}(\text{OH})_2$ çökeleği oluşturur. Bu inhibitörler ile yalnız katodik reaksiyonlar yavaşlatılabilir.
Oksijen Bağlayıcılar	Sülfid	Elektrolit içinde bulunan çözülmüş oksijeni bağlayarak katodik reaksiyonu yavaşlatırlar.
Film Oluşturanlar	Aminler, Hidrazinler, İmidazolinler, Asetil Alkoller	Bu organik bileşikler metal yüzeyinde adsorbe edilerek hem anodik hem de katodik reaksiyonu yavaşlatırlar.
Gaz İnhibitörler	Sikloheksilamin, Morforin	Nitrit iyonuna benzer şekilde pasifleşmeye neden olurlar. Morforin ise nötralize etmek amacıyla kullanılır.

3.2.3.1 Korozyon Önleyici Kimyasal İnhibitörlerinin Sınıflandırılması

İnhibitörler değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

A- Kökenlerine göre;

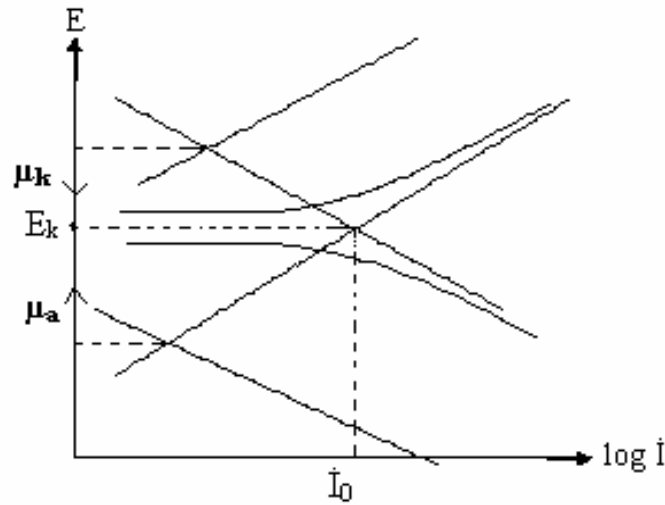
1. Organik inhibitörler
2. Anorganik inhibitörler

Organik inhibitörler metal yüzeyinde ince bir adsorbsiyon filmi oluşturarak yüzeyin ortamlarla ilişkisini kesen inhibitörlerdir. Anorganik inhibitörler ise, kendileri genel olarak film yapısına girmezler. Fakat bunlar koruyucu film tabakasının oluşumuna yardımcı olurlar. Anorganik inhibitörlere "pasivatörler" adı da verilmektedir. NO_3^- , NO_2^- , CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ v.s. gibi iyonlar anorganik inhibitörlerdir. Organik inhibitörlere "pikling" inhibitörleri de denilir. Organik inhibitörler, metal yüzeyi adsorblanabilen uygun polar grup veya grupları ihtiva eden maddelerdir. Bu maddeler organik N, amin, S ve OH gruplarını ihtiva ederler.

B- Tafel eğrisinin eğimini değiştirme özelliğine göre;

Tafel eğrileri, korozyon potansiyelinden başlayarak anodik ya da katodik yönde çizilen yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri olarak bilinir. Tafel eğrileri korozyon hızının belirlenmesinde kullanılır. Bu belirleme Tafel eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemiyle olur (Şekil 3.4).

Aşırı gerilim, yük değişim akım yoğunluğu ve korozyon hızı arasında anodik ve katodik dengeyi belirleyen Tafel yasası anodik taraf için $\mu_{\text{anodik}} = -a + b \log \dot{I}$ ve katodik taraf için $\mu_{\text{katodik}} = +a - b \log \dot{I}$ şeklindedir. (Burada eğim olan b, aynı aşırı gerilimde korozyonun hızlı ya da yavaş olduğunun anlaşılmasını sağlar ve elektrot yüzeyinde gerçekleşecek kimyasal ve fiziksel değişimlere göre 0,03; 0,04; 0,06 ve hatta 0,12 ye kadar değerler alabilir) (Erbil, 1984).



Şekil 3.4 Tafel eğrileri (Erbil, 1984)

1. Anodik tafel eğrisinin eğimini değiştirerek korozyon hızını azaltan maddelere "anodik inhibitörler" denir.
2. Katodik tafel eğrisinin eğimini değiştirerek hızı azaltan maddelere de "katodik inhibitörler" denir.
3. Yukarıda belirtilen her iki etkiyi birden gösteren maddelerde vardır. Bunlara "karma inhibitörler" adı verilir. Organik inhibitörleri, genellikle hem katodik hem de anodik prosesleri etkilediklerinden bunları karma inhibitörler sınıfına sokmak mümkündür.

C- İnhibisyon üzerindeki güvenliğe göre;

1. Güvenli inhibitörler
2. Tehlikeli inhibitörler

Anorganik inhibitörler daha çok metal yüzeyini pasifleştirerek etkili olduklarından ortamda yeterli konsantrasyonda bulunmadıkları zaman korozyonu azaltmak yerine hızlandırabilirler. Bu yüzden bunlara tehlikeli inhibitörler denir. Buna karşılık organik esaslı inhibitörlerin çoğu, ortamdaki miktarları ile orantılı olarak korozyonu azalttıkları için bunlara da "güvenli inhibitörler" denilmektedir.

D- İşlevlerine göre;

1. Adsorbsiyon tipi inhibitörler
2. Hidrojen çıkışını önleyen inhibitörler
3. Oksijenle reaksiyona giren maddeler (Scavengers)
4. Oksitleyiciler (Pasivatörler)
5. Buhar-fazı inhibitörleri

a) Adsorpsiyon Tipi İnhibitörler :

Bunlar inhibitörlerin en fazla sayıda bulunan tipidir. Genel olarak bu inhibitörler, metal yüzeyinde adsorbe olarak metalin korozyonunu ve redüksiyon reaksiyonlarını önleyen organik bileşiklerdir. Bir çok hallerde adsorpsiyon inhibitörleri hem anodik hem de katodik prosesleri etkiler. Bu tip inhibitörler en çarpıcı örnek organik aminlerdir. İnhibitörler, bir veya

birkaç su molekülü ile yer değiştirerek metal yüzeyine adsorblanmaktadır. İnhibitör molekülü yeni oluşan Fe^{+2} iyonu ile birleşerek metal yüzeyinde, metal inhibitör kompleksi oluşturur.



Oluşan kompleks, metal çözünmesini inhibe etmektedir. Adsorpsiyon, atom, iyon ya da moleküllerin bir katı üzerine tutunması şeklinde tanımlanmaktadır. Adsorpsiyon sabit sıcaklık ve sabit basınçta kendiliğinden gerçekleşir (Kıncay vd., 2008).

b) Hidrojen Çıkışı Önleyen İnhibitörler :

Arsenik ve antimon iyonları gibi maddeler hidrojen çıkış reaksiyonlarını özellikle geciktirirler. Bu maddeler asit çözeltilerinde çok etkilidir.

c) Oksijenle Reaksiyona Giren Maddeler :

Bu maddeler korozif maddeleri çözeltiden uzaklaştırmakla etkisini gösterir. Sodyum sülfid ve hidrazin bu çeşit inhibitörlerdendir. Bunlar aşağıdaki denklemler gereğince sulu çözeltilerden çözünmüş oksijeni uzaklaştırırlar. Bu inhibitörler, oksijen redüksiyonunun katodik reaksiyon olduğu ortamlarda çok etkili olurlar.



d) Oksitleyiciler :

Kromat, nitrat ve tuzları gibi maddeler de birçok ortamda inhibitör rolü oynarlar. Genelde bu maddeler özellikle, paslanmaz çelikler gibi aktif-pasif geçişi gösteren metal ve alaşımların korozyonlarını önlemekte kullanılır.

e) Buhar-Fazı İnhibitörleri:

Bunlar organik adsorpsiyon tipi inhibitörlere çok benzerler ve çok yüksek buhar basınçlarında kullanılırlar. Bu maddeler metal yüzeyi ile direkt temas etmeksizin metallerin atmosferik korozyonunu inhibite etmek için de kullanılırlar. Bu inhibitörler metalin yakınına yerleştirilirler. Sublimasyon ve yoğunlaşma vasıtasıyla metal yüzeyine taşınırlar. Buhar fazı

inhibitörleri sadece kapalı yerlerde kullanıldıkları zaman etkili olurlar. Yukarıda bahsedildiği gibi, özel bir korozif ortamda kullanılacak inhibitörün konsantrasyon ve tipi deneysel olarak tayin edilir. Bu bilgi genellikle üreticilerden temin edilir. Bir çok inhibe edici madde az miktarlarda kullanıldığı zaman özellikle lokalize korozyonunu hızlandırdığından dolayı yeterli miktarda inhibitör kullanmak gerekir. Bu sebeple ortamda çok az inhibitör olacağına hiç olmaması daha çok arzu edilen bir husustur. Bu durumun önüne geçmek için inhibitörler aşırı derecede ilave edilmeli ve konsantrasyonları periyodik olarak kontrol edilmesi gerekir. İki veya daha fazla inhibitör korozif sisteme ilave edildiği zaman inhibisyon tesiri bazen bu (iki veya daha fazla) maddelerin yalnız başlarına ilave edilmesinden daha fazladır. Buna sinerjetik (birlikte çalışan) etki denir. Henüz sinerjetik etkinin mekanizması tam olarak anlaşılmamıştır. Çizelge 3.4'te bazı inhibitörlerin metaller üzerine etkinliğini gösteren tablo görülmektedir.

Çizelge 3.4 Çeşitli inhibitörlerin bazı metaller üzerine etkinliği

METAL CİNSİ	Kromat	Nitrit	Benzoat	Borat	Fosfat	Silikat	Tanin
Yumuşak Çelik	E	E	E	E	E	AE	AE
Dökme Demir	E	E	N	B	E	AE	AE
Çinko	E	N	N	E	E	AE	AE
Bakır	E	AE	AE	E	E	AE	AE
Alüminyum	E	AE	AE	B	B	AE	AE

E: Etkili , AE: Az Etkili , B: Belirsiz , N: Etkisiz

İnhibitörler, birçok ortamda metallerin korozyonunu önlemede büyük avantaj sağlamalarına rağmen bu maddelerin ortama, belirli limitler içerisinde ilave edilmesi gerekir. Birincisi, inhibitörleri bütün korozif sistemlere ilave etmek mümkün olmayabilir. Çünkü ortamı kirletmeleri söz konusudur. Bundan başka çoğu inhibitör zehirlidir ve bunların uygulamaları da bilhassa yiyecek ve benzeri ürünlerin bulunduğu ortamlara belli sınırlar içerisinde olmalıdır. Mesela kuvvetli asitlerde çok güçlü inhibisyon tesiri olan arsenik tuzları, bu sebeple sadece belirli sınırlar içinde özellikle kapalı ortamlarda kullanılır. İnhibitörlerin etkinliği ortamın konsantrasyonu ve sıcaklığı artarken hızla kaybolur (Şengil, 1992).

Çizelge 3.5 Bazı ortamlarda kullanılan inhibitör cins ve dozajları

ORTAM	KULLANILAN İNHİBİTÖRLER
İçme Suları	Kalsiyum Karbonat, Slikatlar, Fosfatlar ve Çinko Tuzları
Soğutma Suları	Kromat, Nitrat (300-500 ppm), Kalsiyum Polifosfat (15-37 ppm), Slikatlar (20-40 ppm)
Otomobil Radyatörleri	Nitrat, Benzoat, Boraks, Fosfat, Benzotriazol
Buhar Kondenserleri	Amonyak, Morfolin, Benzilamin, Siklohegzamin, Okdesilamin (1-3 ppm)
Deniz Suyu	Kromatlar (2000-3300 ppm), Sodyum Nitrit (%3-10)
Sülfirik Asit Pikling Çözeltisi	Feniltioüre, merkaptanlar (% 0,003 - 0,01)
Hidrokorik Asit Pikling Çözeltisi	Piridin, Kinolin, Aminler, Feniltioüre, Dibenzil Sülf Oksit
Ham Petrol	Aminler, Amido Aminler, Alkil Piridinler Yağ İmidazolinleri
Petrol Ürünleri	İmidazolin ve türevleri

3.2.4 Mekanik Tasarım

Bir konstrüksiyonun tasarımı malzeme seçimi kadar önemli bir husustur. Tasarım yapılırken, korozyon ve mukavemet hususlarının birlikte ele alınması gerekir. Korozyonun önlenemeyeceği ve mutlaka bir miktar korozyonun olabileceği düşünülerek, malzeme et kalınlığını yeterli seviyede seçmek gerekir. Genel olarak duvar et kalınlığı, cihazın faydalı ömrü için belirlenen kalınlığın iki misli olacak şekilde seçilir. Bunu bir örnekle açıklamak gerekirse; bir tank için faydalı ömür 10 yıl ve bu süre içinde korozyon hızı da yaklaşık olarak 1/8 inç ise, tank duvar kalınlığı 1/4 inç olacak şekilde tasarlanması gerekir. Bu şekilde yapılan tasarım, üniform olmayan korozyon durumları için esneklik sağlar.

3.2.4.1 Tasarım Esasları

En mükemmel korozyon dayanımı için birçok tasarım kaidesi vardır. Bunlar aşağıda liste halinde verilmiştir:

- 1) Tank ve diğer kaplarda perçinden ziyade kaynak kullanılmalıdır. Perçinlenmiş noktalar yarık (Crevice-Krevis) korozyonuna yol açar.

- 2) Tankların, içindeki akışkanı kolaylıkla boşaltabilecek ve temizlenebilecek şekilde tasarlanması gerekir. Tank dipleri, boşaltım deliklerine doğru meyilli yapılmalı ve tank boşaltıldıktan sonra içinde likid kalmamalıdır.
- 3) Sistemde kolay bozulabilecek parçaların değiştirilmesi sağlanmalıdır. Mesela kimya ünitelerinde pompaların kolayca arızalanabilmesi nedeniyle boru sistemlerinden alınabilecek şekilde tasarımı yapılır.
- 4) Korozyon ortamlara maruz kalan parçalarda aşırı mekanik gerilmeler önlenmelidir.
- 5) Galvanik korozyonu önlemek için benzer olmayan metaller arasındaki elektriksel temas önlenmelidir. Mümkünse tüm sistem aynı metalden yapılmalıdır. Bu mümkün değilse farklı metaller izole edilerek birbirinden ayrılmalıdır.
- 6) Boru sistemlerinde dirsekler 90° olmamalıdır. Aksi takdirde burada akan likid erozyon korozyonuna yol açar. Bu özellikle kurşun, bakır ve bu metallerin alaşımlarından yapılmış erozyon korozyonuna duyarlı sistemlerde önemli olmaktadır.
- 7) Isı transfer işlemlerinde sistemin bazı noktalarında sıcaklık artışına meydan vermemelidir. Isı değiştiriciler ve diğer ısı transfer cihazları, sıcaklığın üniform yayılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Muntazam olmayan sıcaklık dağılımı bölgesel ısınmaya ve korozyon hızının yükselmesine yol açar. Ayrıca sıcak noktaların gerilim meydana getirme olasılığı söz konusudur.
- 8) Korozyon esnasında en bilinen katodik reaksiyonların biri oksijen indirgenmesidir ve şayet oksijen elimine edilebilirse, korozyon büyük ihtimalle azaltılabilir veya önlenir.
- 9) Tasarım için en genel kaide: heterojenliğin önlenmesidir. Farklı metaller, asit olmayan ısı ve gerilim dağılımları ve sistemdeki diğer farklılıklar korozyona yol açar. Bu sebeple tasarımda bütün sistemin mümkün olduğu kadar üniform olması sağlanmalıdır (Şengil, 1992).

4. BUHAR KAZANLARI VE KOROZYON

4.1 Buhar Kazanı Sistemleri

Bir buhar kazanı içi su dolu kapalı bir kaptır ve suyu buhara dönüştüren harici bir kaynakla ısıtılır. Tüm buhar kazanlarında suyu ısı kaynağından uzak tutan borular bulunur.

4.1.1 Buhar Kazanı Çeşitleri

Kazanlar iki kritere göre sınıflandırılır:

- 1) işletme basıncı (örneğin üretilen buharın ürettiği iç basınç)
- 2) işletim tasarımı (örneğin kazan tankının içinden geçen borular, ya su [su borusu kazanı] veya ısı kaynağı [alev borusu kazanı]).

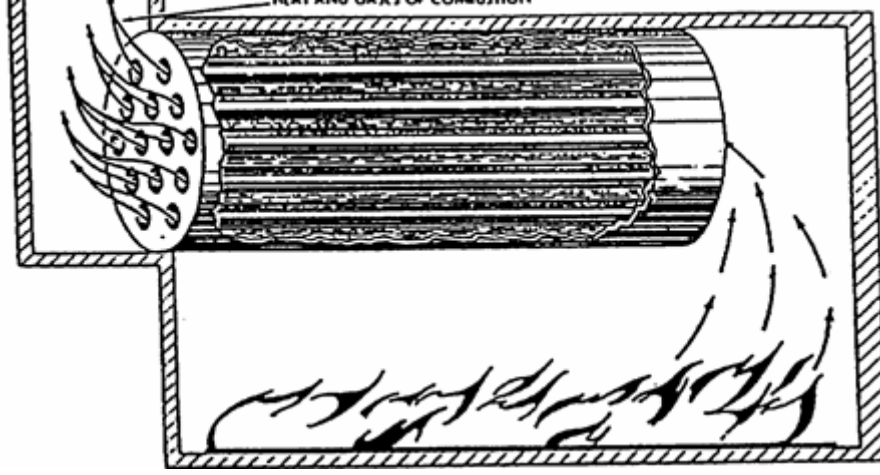
4.1.1.1 Basınç Sınıflandırması

103 kPa.'ın altında işlem yapan kazanlara düşük basınçlı kazan adı verilir. 103 kPa.'ın üstünde işlem yapan kazanlara yüksek basınçlı kazan adı verilir. Yüksek basınç kazanları ile binlerce kPa.'a erişen basınçlarda işlem yapabilir.

4.1.1.2 Alev Borulu Kazanlar

Alev borulu kazanlar, boruların etrafındaki suyu ısıtmak için kazan tüplerinden alev ve sıcak ateşleme gazı geçirirler (Şekil 4.1). Yatay ve dikey alev borulu olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Yatay alev borulu (paket) kazanlar, silindirik bir gövde ile bu gövdenin içine yerleştirilmiş bir, iki, üç ve hatta dört alev borusundan meydana gelir. Ocak alev borusunun başlangıç kısmındadır. Düşük ısı değerli yakacakların kullanılması halinde, alev borusunun ön kısmına kazanın dışına bir ön ocak ilave edilebilir. Elle yüklemeli veya otomatik yüklemeli bir ızgara üzerinde yanan katı yakacaktan veya doğrudan doğruya alev borusunun içinde yanan sıvı yakacaktan elde edilen sıcak duman gazları alev borusu içinden geçerken ısını suya verir (1. geçiş). Sistemde kızdırıcı varsa duman gazları kızdırıcı içinden geçirilerek aşağı döndürülüp, kazanın yan tarafından öne doğru (2. geçiş) ve tekrar döndürülerek kazanın alt tarafından arkaya doğru akıtılır (3. geçiş). İstenirse duman gazları bacadan atılmadan önce bir su ısıtıcısı içinden de geçirilerek kazanın verimi biraz daha artırılabilir. Dik alev borulu kazanlar ise küçük güç

ihtiyaçlarında kullanılmak üzere yapılmışlardır. Bu kazanların işletmesinde görülen sorunların başında, bir tarafında duman gazları diğer tarafında buhar bulunan yüzeylerdeki korozyondur. Buhar tarafındaki ısı taşınım katsayısından daha kk olması nedeniyle, bu yüzeyler fazla ısınıp kısa zamanda tahrip olabilmektedir. Bu önemli nokta, diğer kazan konstrüksiyonlarında da daima göz önünde tutulmalıdır. Isıtma yüzeylerinin bir tarafında buhar diğer tarafında duman gazının olmamasına dikkat edilmelidir (Genceli, 1997).

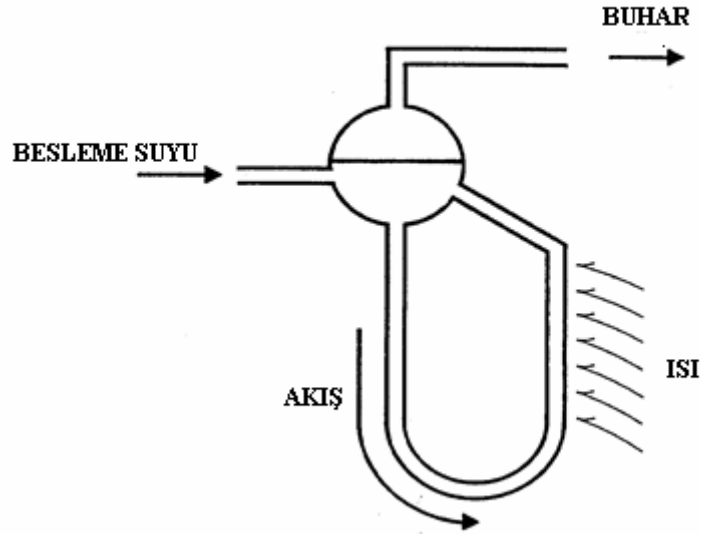


şekil 4.1 Alev borulu kazanlar (Basham vd., 2005)

4.1.1.3 Su Borulu Kazanlar

Su borulu kazanlarda alev ve sıcak yanma gazları kazanın dışındaki borulara temas ederken kazan borularından su geçer (şekil 4.2). Su borulu kazanlar yüksek ve çok yüksek basınçli kazan uygulamalarında kullanılır. Bu kazanlarda genel özellik olarak, kaynamakta olan su nispeten kk çaplı boruların içinde, sıcak duman gazları ise boruların dışındadır. Boruların içinde oluşabilecek kazan taşının temizlenmesi g bulunduğundan, besleme suyu çok iyi arıtılmalıdır.

Su borulu kazanlar, depoların durumlarına göre, borularının eğimli ve dik olmasına göre veya kollektörlerinin kasalı veya seksiyonlu olmasına göre değişik şekillerde gruplandırılır.



Şekil 4.2 Su borulu kazan

4.1.1.3.1 Kasalı Az Eğimli Su Borulu Kazanlar

Bu tip kazanlar, su borulu kazanların ilk örneklerindedir. Bir depo ile irtibat halinde olan kasa şeklindeki kolektörlerin arasında yatayla yaklaşık $10-15^\circ$ eğimli borular bulunmaktadır (Şekil 4.3). Kasa şeklindeki kollektör dikdörtgen bir prizma şeklinde olduğundan, bu kazan yüksek basınçlar için uygun değildir (en fazla 35 bar basınç). Kasalı tip su borulu kazanlar genellikle küçük güçler için uygundur. En fazla 15 ton/h buhar kapasitelerine kadar kullanılabilir. Su boruları ile depo arasındaki uygun bir hacime kızdırıcı eleman yerleştirilir.

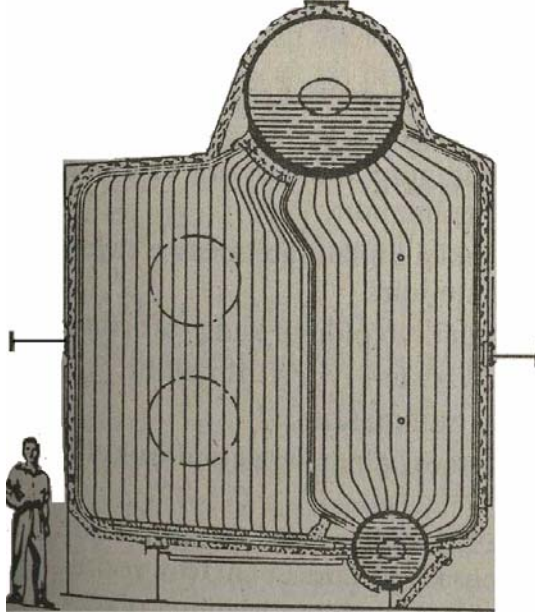
4.1.1.3.2 Seksiyonlu Az Eğimli Su Borulu Kazanlar

Kasalı tip su borulu kazanlardan farklı olarak, bu kazanlarda borular, seksiyon adı verilen gruplardan oluşur (Şekil 4.4). Seksiyonlarda düşey doğrultuda boru sıraları vardır. Böylece sistem daha elastiktir ve seksiyonların mukavemet açısından iyi olması nedeniyle kasalı tiplere göre daha yüksek basınçlara çıkılır.

kadar sürüklenerek, az eğimli borular içinde buhar cepleri oluşturmasıdır. Buharın suya göre kötü bir ısı iletkeni olması nedeniyle, boru malzemesinin sıcaklığı artar ve borular çok kısa zamanda tahrip olurlar. Bu yüzden buhar yükü $60 \text{ kg/m}^2\text{h}$ değerini aşan su borulu kazanlarda su-buhar sirkülasyonunu arttırmak için dik borulu olarak imal edilir. Dik su borulu kazanlarda üstteki depodan başka birde altta daha küçük çaplı depo bulunur. Bu depolar dik veya dike yakın borular ile birbirlerine bağlıdır.

4.1.1.3.4 Paket Tip Su Borulu Kazanlar

Paket tip su borulu kazanlarda yakma ve su besleme sistemlerinin, ölçme ve kontrol cihazlarının kazan üzerinde bütün olarak tek bir ünite halinde bulunması, fabrika işletmesi açısından büyük kolaylıklar sağlar. Genellikle diğer yakacaklara göre daha pahalı olmasına rağmen kullanma ve kontrol kolaylığının ağır basması nedeniyle, bu kazanlarda sıvı ve gaz yakacaklar tercih edilir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Paket tip su borulu kazan kesiti

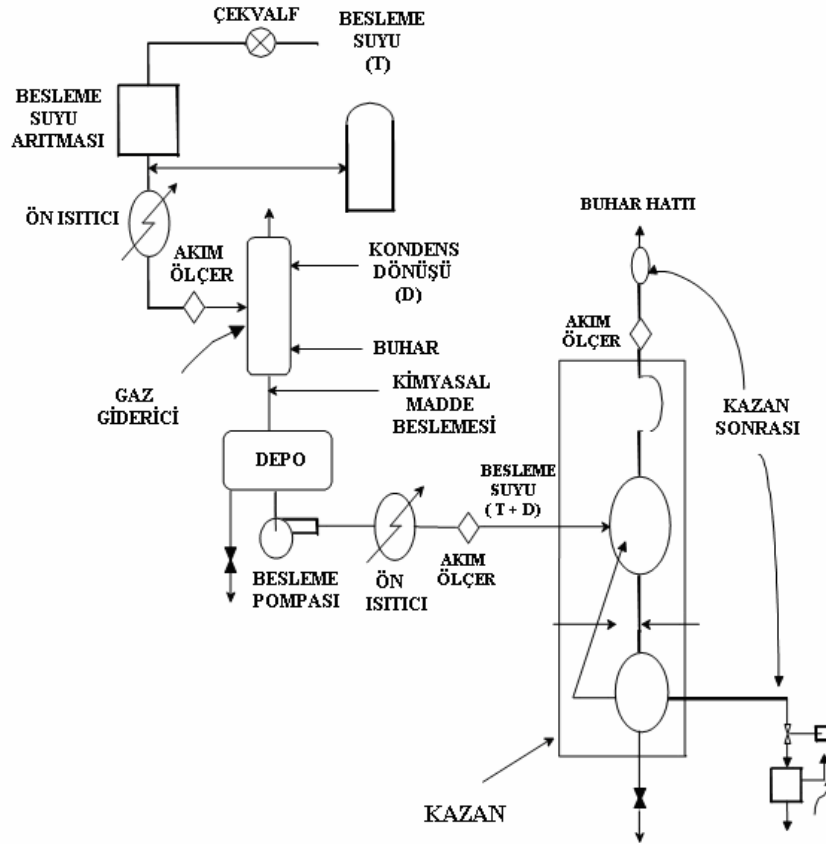
Paket tipi su borulu kazanların diğer kazanlara göre belli başlı üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Kazan üzerindeki bütün elemanlar çeşitli firmalar tarafından yapılmış olsa bile, bunlar kazan imalatçı firmasının işletme garantisi altındadır.

2. Standart hale getirilmiş modellerde en iyi işletme, ekonomik şartlar ve yüksek yanma verimi sağlanır.
3. Kazan işletmeye gönderilmeden önce kazan firması tarafından imalat yerinde, basınç yanma ve çalışma testleri yapılır. Bu şekilde kazanın daha imalat safhasında garanti değerlerini tutup tutmadığı tespit edilebilir.
4. Kazan hacimce ve oturma alanınca az yer kaplar.
5. Sistem tam otomatiktir ve az eleman ile işletilebilir.
6. Kazanın imalatı ve teslim süresi kısadır (Genceli, 1997).

4.1.2 Buhar Kazanı Sisteminin Bileşenleri

Buhar kazanı sistemlerinin işler bileşenleri bir sistemden diğerine farklı tasarım, mühendislik ve servis ihtiyaçlarına göre farklılık gösterir. Belirli bir ünitenin tipik bileşenleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Tipik buhar ünitesinin şematik gösterimi

4.1.2.1 Ön Kazan

Buhar kazanının ön kazan bölümü sistemin yapısal bileşenlerini içerir. Bu bölümler kazan için suyu tutar, taşır ve arıtır. Bu ekipmanlar kazan takviye suyunu işleten, oksijeni ve diğer yoğuşamayacak gazları temizleyen gaz giderici, besleme suyu ısıtıcısı ve pompalardır. Ön kazan bölümü arıtılmış takviye suyu için depolama tankı içerebilir. Kazan besleme suyu genellikle takviye suyunun dağıtımdan dönen (kondens dönüşü olarak adlandırılır) yoğuşmuş buharla (kondens) birleştirilmesinden oluşur. Daha sonra besleme suyu, gaz gidericiye girer. Bu gaz giderici oksijeni ve diğer uçucu gazları giderir.

4.1.2.2 Kazan Sonrası

Buhar kazanının kazan sonrası bölümü (veya post kazan) sistemin yapısal bileşenlerini içerir. Bu bölümler kazandan çıkan suyu tutar, taşır ve işler. Kazan sonrası bölüm buhar borularını, ısıtıcılarını, kondens borularını, türbinleri, işleme ekipmanlarını ve süper ısıtıcıları içerir.

4.1.2.3 Kazan Bileşenleri

Alev borulu kazan sıcak yanma gazlarını borulardan geçirir. Bu borular buhara dönüştürülecek suyla çevrilidir. Kazanların hepsinde buhar önce buhar tamburuna, oradan da buhar borularına geçer. Su borulu kazanlarda suyun döngüsü sadece suyu ısıtarak “doğal döngü” işlemi sayesinde gerçekleştirilebilir. Bu işlem hiç bir harici güç veya pompalama olmadan gerçekleşir. Buna alternatif olarak su, kazanın ısıtma döngüsüne pompalanabilir. Bu işleme “zorunlu döngü” adı verilir. Genelde su döngüsünün en dip noktasına bir çamur tamburu yerleştirilir. Bu tambur her hangi bir su kaynaklı çamuru yok etmek içindir. Kazan suyu blöfü için en az iki adet yer bulunur:

- 1) Yüzey blöfü için buhar tamburunun işlem suyu seviyesinin hemen altında bulunur,
- 2) Çamur tamburunda bir veya daha fazla dip blöf bölümü vardır.

4.1.2.4 Buhar Tamburu

Besleme suyu, buhar ve sudan oluşan bir karışımın üretildiği ve buharın sudan ayrıldığı buhar tamburuna eklenir. Bu ayırma süreci genelde mekanik ekipmanların kullanımını içerir. Bu

mekanik ekipmanlar buhardan çekilen suyun atılmasına yardımcı olur. Dahili kazan suyu arıtımında kullanılan kimyasallar buhar tamburuna eklenebilir. Kazan içerisinde aralıklı veya daimi yüzey blöf işlemi kazan suyunun toplam çözünmüş katı seviyesini (TÇK) korumak için ve optimum işlem koşullarını sağlamak için kullanılır. Bazı kazan sistemlerinde blöf suyu alevleme tankına aktarılır. Burada düşük basınçlı buhar (muhtemelen gaz ayrıştırıcıda kullanılmak üzere) oluşturulur. Ayrıca sürekli blöf nedeniyle oluşan kazan besleme suyunu, ön ısıtma işlemi için ısıtıcılar kullanılabilir. Tamburdan gelen buhar doğrudan buhar başlıklarına veya buhar oluşturmak için ısıtılmış bazı kazanlara iletilebilir.

4.1.2.5 Buhar Başlıkları

Kazanda oluşturulan buhar tamburda başlıklara iletilir. Buhar başlığı, buhar dağıtım sistemini buharla besler. Buhar, işleme ekipmanları tarafından sindirilir, sızıntılarda kaybolur. Daha sonra ilave buhar üretiminde kullanılmak üzere yoğunlaştırılır (Basham vd., 2005).

4.1.3 Ölçüm Ekipmanları

Buhar kazanı sisteminde uygun su şartlandırma programını geliştirmek, ek olarak yürürlükte olan programın verimliliğini görüntülemek için buharın, besleme suyunun, blöfün ve sistem içindeki kondens miktarının ölçülmesi gerekmektedir. Asgari olarak takviye suyu borularına bir akış ölçer konulmalıdır. Besleme suyu borularına ve buhar başlıklarına da akış ölçer koymak ayrıca tavsiye edilebilir. Ama maliyet hesaplamalarına göre bu yöntem büyük buhar kazanlarıyla kısıtlıdır.

4.1.4 Genel Kazan Problemleri

Tüm kazan sistemlerinin içindeki su kaynaklı genel problemler korozyon, tortullaşma (depozit) ve nakildir.

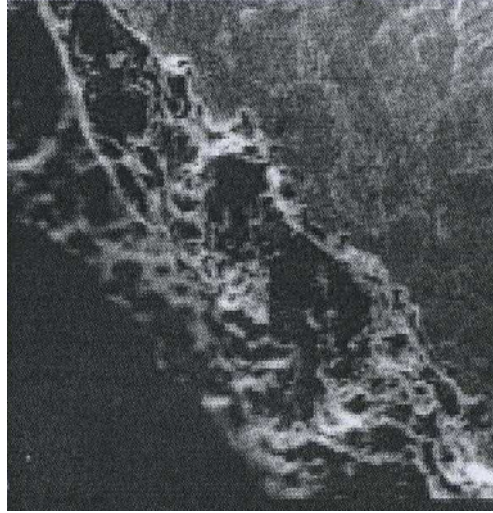
4.1.4.1 Korozyon Problemleri

Korozyon problemleri oksijenin tesirinden ve metal bileşenlerdeki (karbon çelikten yapılan kazan boruları ve tambur da dahil olmak üzere) yüksek ve düşük pH sonucu oluşur. Korozyon kazan suyunun aşırı alkalinitliğinden oluşabilir. Bu çürütücü kabuğun veya atığın altında

oluşur. Bu sebeple buhar örtüsüne yol açan ısı girişini engelleyemediği bölgelerde çok yüksek yoğunluklu yerel hidroksit oluşur. Korozyon karbon çeliğinden yapılan ön kazanda ve kazan sonrası bölümlerde oluşabildiği gibi kazanda da oluşabilir (Şekil 4.7). Bu sebeple korozyon güvenlik meselesidir (Şekil 4.8). Buhar boruları, kazan sonrası bölümlerde bulunan kondens borularında ve karbon çelik borulardaki korozyon, enerji, su, ve kimyasal ihtiyacın arttığı durumlara, kondens kaybına yol açabilir.



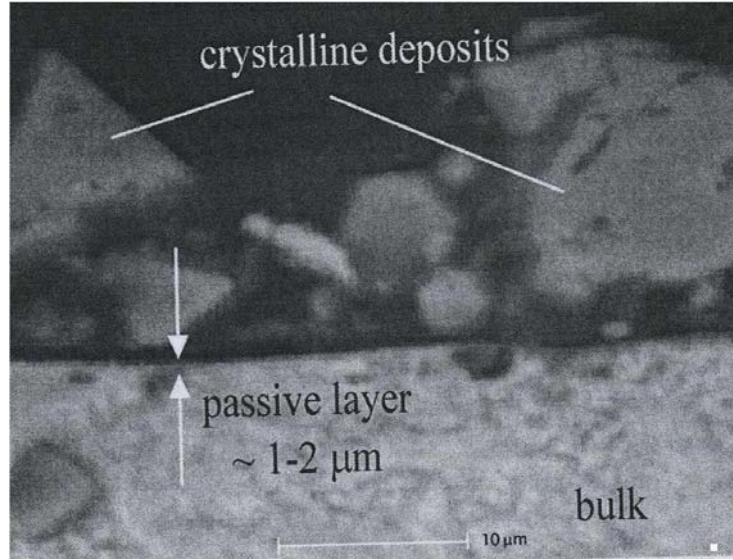
Şekil 4.7 Kazan borusu oksijen kazıntısı



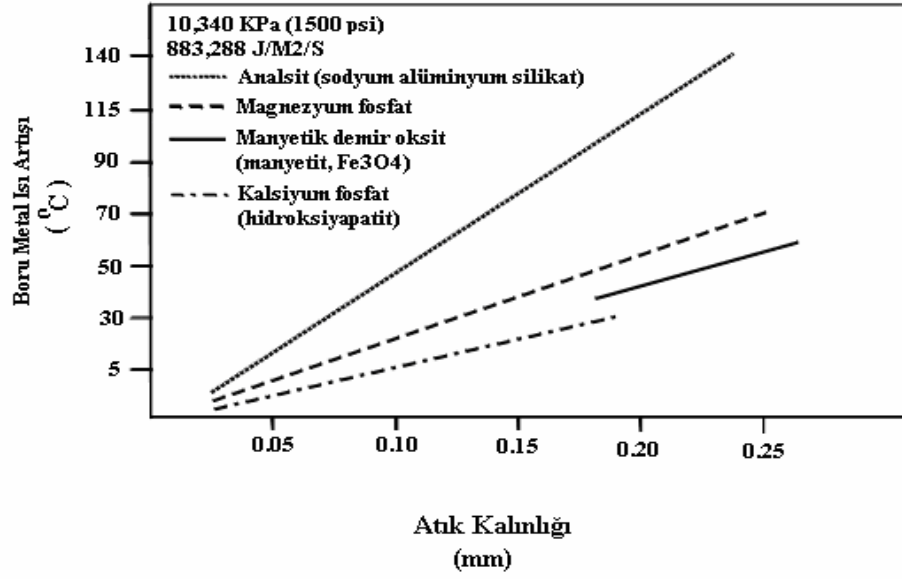
Şekil 4.8 Kazan borusunda görülen üniform korozyon (Tu ve Zhang, 1999)

4.1.4.2 Tortullaşma Problemleri (Depozit)

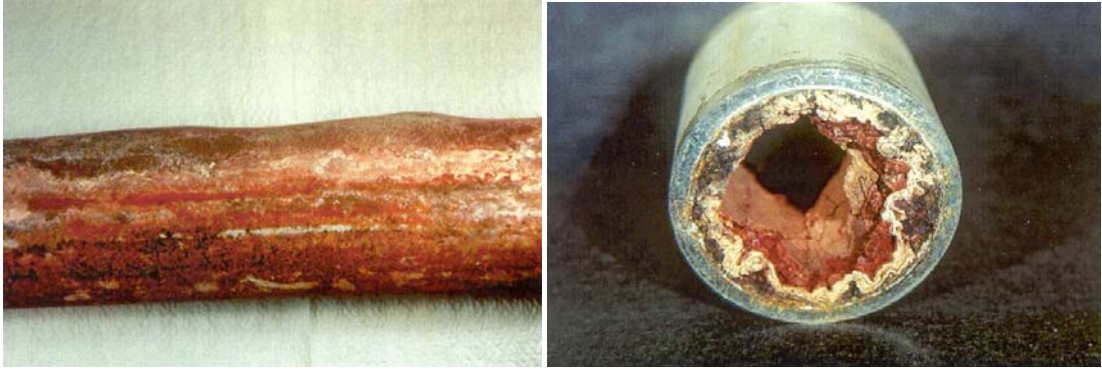
Tortullaşma problemleri, besleme suyundaki kazan sistem bileşenlerinde bir veya birkaç çeşit oluşuma yol açabilen çözünmüş minerallerin çökmesiyle oluşur. Korozyon ürünleri (pas) ön kazan veya kazan sonrası bölümlerde oluştuktan sonra, kazana girmesiyle tortullaşma diğer mekanizmalarda da görülür. Bu korozyon ürünleri demir bazlı kabuğa yol açar. Bazı su arıtım kimyasalları düzgün kullanılmadığında kabuk oluşumuna yol açabilir. Tüm kabuklar su ile ısıtılmış metal borular arasında yalıtım yapar, bu da ısı transfer kapasitesinde azalmaya neden olur. Tüm kabuklar ısıtılmış borularla su arasında yalıtıma yol açar (Şekil 4.9). Kabuk, kazan sisteminin her hangi bir bölgesinde oluşabilir. Isı transfer kapasitesinin düşmesine sebebiyet verir. Borudan suya ısı transfer kapasitesinin düşmesiyle metal borular kabuktan önceki sıcaklığın çok daha üstünde işlem yapar. Sonuç olarak artan yakıt ihtiyaçları sebebiyle buhar verimsiz üretilir ve yakıt harcamaları artar. Kabuğun kalınlığının artması yalıtım etkisi ile boruların sıcaklığının artmasına sebep olur (Şekil 4.10). Çok yüksek sıcaklıklarda borular esneme gücünü kaybeder ve kırılır (Şekil 4.11).



Şekil 4.9 Borudaki Depozit (Szabo vd., 2005)



Şekil 4.10 Tortuların ısı transferine etkileri



Şekil 4.11 Kazan borusundaki metal yorgunluğu

4.1.4.3 Taşınma Problemleri

Taşınma problemleri sisleşme, köpükleşme, çökelti (scale) ve silika aktarımıyla oluşur. Taşınma saf olmayan buhar kalitesiyle sonuçlanır. Taşınan materyallerin içindeki çözünmüş katılar korozyona ve atık problemine yol açar (Basham vd., 2005).

4.1.5 Hesaplamalar

Verimli kazan işlemlerini yapabilmek için kazan hesaplamalarının yapılması ve sonuçlarının doğru uygulanması gerekir. Kazan hesaplamaları en uygun blöf oranlarını ve konsantrasyon

faktörünü (COC) belirlemek için gerekmektedir. Kazan işlemlerinin en yüksek verimine, düzgün hacimde su verilerek blöfün miktarını arttırıp, konsantrasyon faktörünü de optimize ederek ulaşılabilir. Verimli kazan işlemleri, mümkün olduğunca çok kondensi toplar ve geri döndürür. İşleyen kazan sisteminin materyal dengesi veya kütle dengesi, su testleri ve buhar üretimi, besleme suyu kullanımı veya blöfün bilinen (ölçülmüş) değerleriyle hesaplanır. Kazan sisteminde enerji giriş ve çıkışını hesaplayabilmek için buhar tablo verileri kütle denge verileriyle beraber kullanılır.

4.1.5.1 Konsantrasyon Faktörü (COC)

Buhar kazanındaki COC terimi besleme suyundaki mineral miktarının yoğunlaştırılma sayısını açıklar. Kazan suyu buharlaşıp buhar üretildiğinde, kazan suyundaki çözünmüş mineraller arta kalır. Bu da kalan suyun mineral oranını arttırır. Buhar üretildikçe ilave mineral yüklü besleme suyu kazana girer. Kazana ilave mineral girişi kazanda var olan mineral miktarının artmasına neden olur. İşleyen kazan suyu sistemindeki mineral içeriği, sadece blöfle değiştirilir.

4.1.5.2 Blöf

Blöf, kazan suyu içerisinde yığılmış katılar ile arıtılmış besleme suyunun yer değiştirilmesidir. Çözünmüş katılar, buhar tamburunda su yüzeyine yakın yerlerde yoğunlaşmaya meyillidir. Bu sebeple yüzey blöfü çözünmüş katıların yoğunluğunu düşürmenin en verimli yoludur. Dip blöfü, çamur tamburunda çökmüş çamuru temizlemek için kullanılır. Buna rağmen blöf ısıtılmış suyun ve arıtıcı kimyasalların kaybına da yol açar. Ekonomik işletim için katı seviyelerinin kontrolünde blöfe ihtiyaç duyulur. Blöfte ısı ve kimyasal kaybının asgariye çekilmesi amaçlanmalıdır.

4.1.5.3 Besleme Suyu, Buharlaşma ve Blöf İçin Su Dengesi

Kazana eklenen suyun (besleme suyu) toplam hacmi, kazandan uzaklaştırılan suyun (buhar artı su blöfü) hacmine eşit olmalıdır. Kural olarak bu su dengesi eşitliğindeki su nicelikleri çoğunlukla kilogram/saat olarak belirtilir:

$$F = U + B$$

(4.1)

4.1.5.4 Besleme ve Blöf Suyunun Hesaplanması

Besleme suyu veya blöf suyunun (veya her ikisinin de) konsantrasyon faktörü (COC) ile ilişkileri şu denklemler kullanılarak hesaplanabilir:

$$\text{COC} = F \div B \quad (4.2)$$

Genelde yıkım yüzde olarak belirtilir:

$$\% B = 100 / \text{COC} \quad (4.3)$$

4.1.5.5 Besleme Suyu, Blöf, Üretilen Buhar ve Konsantrasyon Faktörü (COC) Arasındaki İlişkiler

Yukarıda bahsedilen terimleri kullanarak, besleme suyu, blöf, üretilen buhar ve COC arasındaki ilişkiler şu şekilde belirtilir:

- a) $F = B \times \text{COC}$, COC üstteki denklemden
- b) $F = U + B$, COC, üstteki denklemden
- c) $B \times \text{COC} = U + B$, B'nin yukarıdaki denklemlerde yer değiştirmesi
- d) $B \times \text{COC} - B = U$, üstteki denklem c)'nin yeniden ayarlanması
- e) $B \times (\text{COC}-1) = U$, denklem d)'nin yeniden ayarlanması
- f) $B = U \div (\text{COC}-1)$, denklem e)'nin yeniden ayarlanması

4.1.5.6 Blöf Oranlarının Hesaplanması

Blöf suyunun hacmi nadiren bir ölçerle ölçülür. Aşağıda gösterildiği gibi iki parametreden herhangi birinin bilinmesiyle hesaplanabilir:

- 1) Besleme Suyu (F),
- 2) Konsantrasyon faktörü (COC),
- 3) Buhar Üretimi (U)

Buhar hacmi genellikle kendi ölçüm birimleriyle büyük kazanlarda ölçülür. COC, hem kazan suyunda hem de besleme suyunda iletkenliğin veya toplam çözünmüş katı seviyesinin (TDS)

ölçülmesiyle hesaplanabilir. İletkenlik ve TDS miktarı hem kazan suyunda hem blöfte aynı olmalıdır.

$$\text{COC} = B_{\text{TDS}} / F_{\text{TÇK}} = B_{\mu\text{mhos}} / F_{\mu\text{mhos}3} \quad (4.4)$$

4.1.5.7 Besleme Suyu ve Blöf Oranlarına Karar Vermek

Blöf hesaplamaları besleme suyu oranına kg/h biriminde karar vermede kullanılabilir. Besleme suyu teriminin kazanları beslemede kullanılan su olduğu ve takviye suyuna ilave olarak sistemde toplanan kondensi ve gaz gidericisinden gelen buharı da kapsadığı unutulmamalıdır.

Örneğin 1720 kPa.'lık bir kazan 5000 μmhos .’luk bir iletkenlik seviyesinde işlem görsün. Kazan besleme suyunun da 250 μmhos .’luk bir iletkenlik değeri olsun. Bu kazandaki konsantrasyon faktörü (COC):

$$\text{COC} = B_{\mu\text{mhos}} / F_{\mu\text{mhos}3} = 5000 / 250 = 20 \text{ COC}$$

Bu kazana ait blöf yüzdesi:

$$\% B = 100 / \text{COC} = 100 / 20 = \%5$$

Kazanın saniyede 5 kg buhar ürettiğini düşünürsek, blöf:

$$B = U / (\text{COC} - 1) = 5 / (20-1) = 0,26 \text{ kg/sn} = 936 \text{ kg/h}$$

Hesaplanan besleme suyu:

$$F = U \div B = 5 + 0,26 = 5,26 \text{ kg/sn} = 18.936 \text{ kg/h}$$

4.1.6 Takviye Suyu ve Kondens Dönüşü Oranlarının Tayini

Takviye, harici su arıtım sisteminden kazan yukarı akış gaz giderici sistemine eklenen sudur. Miktarı hacim veya yüzde olarak belirtilir. Suyun miktarı, blöften, sistem kaçaklarından, işlem ekipmanının harcamasından ve sistem kaçaklarından kaynaklı yoğuşmadan kaynaklanır. Kazan sisteminde, işlem ekipmanında buhar kaybedilmeyen sistemlerde % 5-10 takviye beklenebilir. Su dengesi kondens dönüşünden etkilenir. Buna rağmen buhar veya kondens kaybından dolayı hatırı sayılır bir yoğuşma kaybeden kazanlar

%100 takviyeye ihtiyaç duyabilirler ki bu çok verimsiz ve masraflı bir durumdur. Aşağıdaki hesaplamalar takviye suyu gereksinimlerine ve kondens dönüş oranlarına karar vermek için kullanılır (Basham vd., 2005).

4.1.6.1 Takviye Suyu Oranı

Takviye, yoğuşma hacmi ile besleme suyu hacmi arasındaki farktır.

$$T = F - D \quad (4.5)$$

4.1.6.2 Kondens Dönüşü Oranı

Dönen kondens genelde kabul edilebilir seviyede çözünmüş katıya ya da iletkenliğe sahip olmadığından, takviye suyu aşağıdaki denkleme göre hesaplanır:

$$\%T = (1 - (F_{\mu\text{mho}} / T_{\mu\text{mho}})) \times \%100 \quad (4.6)$$

Yukarıda örnek olarak ele aldığımız kazanın takviye suyu iletkenliği 900 μmhos olduğunu kabul edelim. Bu kazana ait takviye yüzde oranı:

$$\%T = (1 - (F_{\mu\text{mhos}} / T_{\mu\text{mhos}})) \times \%100 = (1 - (250 / 900)) \times \%100 = \%72$$

Bu takviye suyu besleme suyunun %28'i demektir. Kondens dönüşü hesaplanırsa:

$$\%D = 100 - \%T = 100 - 28 = \%72$$

Takviye suyunun miktarı hesaplanırsa:

$$T = (\%T / 100) \times F = (28/100) \times 5.26 \text{ kg/sn} = 1.5 \text{ kg/sn} = 5.400 \text{ kg/h}$$

Kondens dönüşü miktarı hesaplanırsa:

$$D = F - T = 5,26 - 1,5 = 3,76 \text{ kg/sn} = 13.536 \text{ kg/h}$$

4.1.6.3 Üretilen Buhar Miktarı ile Kondens Miktarı Arasındaki Fark

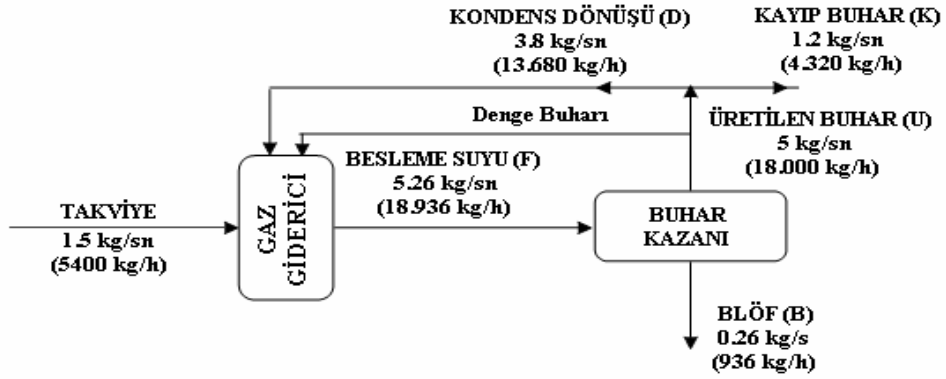
Üretilen buhar miktarı ile kondens miktarı arasındaki fark, hem buhar hem kondens sistemindeki kayıptan kaynaklanır. Bu kayıplar, sistemdeki sızıntıdan, işleme

ekipmanlarının harcadığı buhardan, kondens sızıntısından veya kirlenmiş kondensin kasıtlı olarak atılmasından kaynaklıdır. Toplam su kaybı şu şekilde hesaplanabilir:

$$K = U - D \quad (4.7)$$

Yukarıda örnek olarak ele aldığımız kazanın buhar kaybı:

$$K = U - D = 5,0 - 3,76 = 1,24 \text{ kg/s} = 4.464 \text{ kg/h}$$



Şekil 4.12 Basitleştirilmiş kazan sistemi su dengesi

4.1.6.4 Kazan Sistemi Verimliliğini Değerlendirme Temelleri

Kazan sisteminin verimliliğini değerlendirmenin temeli, sistem suyunun iletkenlik değerlerini gözlemek, üretilen buharın miktarını ölçmek ve gerekli hesaplamaların düzenli zaman aralıklarında yapılmasını sağlamaktır. Buhar kaybındaki artış yeni bir sızıntıya, var olan bir sızıntıda artışa, yeni bir buhar tüketimi veya kondens kaybına işaret eder. Buna ilave olarak kazan sistemi verimliliği hesaplamaları, buhar ve kondens kayıplarını azaltma çabasındaki buhar maliyetindeki tasarrufu hesaplamak için iyi bir temel oluşturabilir.

4.2 Kazan Suyu Arıtımı ve Kontrolü

Kazan sistemlerinde alkalın maddelerin erken kullanımı kireç, soda külü ve sodyum hidroksite neden olur. Oksijen gidericileri, sodyum sülfid gibi oksijen korozyonunu engellemede etkilidir. Bu maddelerin çoğu bugün de kullanılmaktadır. Su arıtma

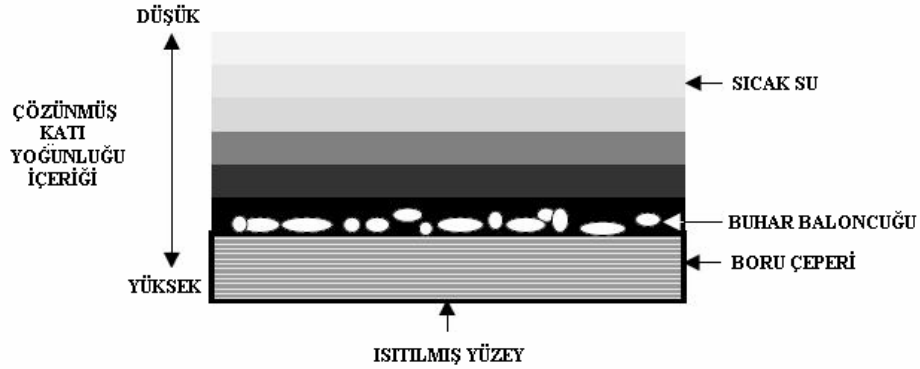
kimyasallarının geniş yelpazesinin (selant, polimerler ve aminler gibi) geliştirilmesi halen mümkündür.

4.2.1 Kazan Atık Düzeni

Kazan besleme suyundaki çözünmüş katılar, buhar üretildikçe daha yoğun bir hale gelirler. Bazı çözünmüş katılar çözültiden dışarı çıkarak (çökelerek), kazan borularında kabuk oluşumuna sebebiyet verirler. Bazı çözünmüş katılar da kazanda tortu (çamur) meydana getirerek kazan borularına yapışık atıklar oluştururlar. Bu atıklar ısı transferini azaltır.

4.2.1.1 Kabuk (Scale)

Kabuk su buharlaşmasına bağlı olarak izole bölgelerde oluşur (Şekil 4.13). Sıcak bir yüzeyde buhar baloncuğu meydana geldiğinde, boruyla baloncuk arasındaki su filminde bulunan çözünmüş katılar daha yoğun hale gelirler. Bu ince katman ortalama kazan suyu sıcaklığından 17 °C (30 °F) daha fazladır. Bu yerel durumlar çözünmüş katıların çökmesine ve yerel kabuk oluşumlarına yol açar.



Şekil 4.13 Kazan borusunda oluşan kabuk (scale) yerleşimi

4.2.1.2 Çamur Atıkları (Depozit)

Kazandaki çökelmiş maddeler yukarıda anlattığımız kabuk (scale) sebebiyle, kazan borularının sıcak yüzeyinden dolayı borulara yapıştığında çamur atıkları oluştururlar. Kabuk ve çamur genelde beraber oluşur.

4.2.1.3 Çözünmüş Katı Materyaller

Bazı çözünmüş katı maddelerin çözünürlüğü suyun sıcaklığı arttıkça azalır. Bu durum magnezyum ve kalsiyum sertliğini arttıran tuzların (CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 , $\text{Mg}[\text{OH}]_2$) çokluğunda meydana gelir. Bu özelliğin sonucu olarak bu materyaller kazanın daha sıcak olan bölgelerinde kabuk oluşturmaya meyillidir. Çünkü daha soğuk bölgelerde çözülmüş halde kalırlar. Doğru su şartlandırma biçimini kullanarak bu kabuklar kazan sistemine girmeden (harici şartlandırma) veya kazana girdikten (dahili şartlandırma) sonra yok edilir. Çoğu zaman çözünmüş magnezyum ve kalsiyum minerallerini (sertlik) kazana girmeden yok etmek en iyisidir. Doğru kimyasal su şartlandırmasıyla bu katılar kazanın içinde dahili olarak verimli bir şekilde kontrol edilirler.

4.2.2 Kazanda Bulunan Kabuk Çeşitleri

Çoğu kabuk materyalleri, kalsiyum, magnezyum tuzları ve demir oksitten oluşur. Kalsiyum ve magnezyum tuzları atıkları beyaz ve beyazımsıdır. Demir oksit kabukları kırmızı veya siyah renkli atıklardır. Atık analiziyle kabuğun çeşidi kesin olarak belirlenir. Kazan atıklarında bir çeşitten fazla kabuk olması olası bir durumdur.

4.2.2.1 Kalsiyum Karbonat

Kalsiyum karbonat kabuğu beyaz veya beyazımsı bir renktedir ve kalsiyum bikarbonatın ısıyla parçalanması sonucu oluşur. Kalsiyum karbonat kabuğu hem arıtılmamış hem de düzgün arıtılmamış kazanlarda oluşur. Bir damla seyreltilmiş asit çözeltisi atığa damlatıldığında kalsiyum karbonat kabuğu bölgesinde, karbondioksit oluşumuna bağlı olarak köpükler oluşur. Bu prosedür kabuğun türünü belirlemede kullanılır. Kalsiyum karbonat kabuğu, kazan besleme suyundaki kalsiyum sertliğinin düzgün arıtılmaması sebebiyle oluşabilir. Çamur, kabuk arıtıcı ve seyrelticinin yetersiz seviyede olmasından da kaynaklanır.

4.2.2.2 Kalsiyum Sülfat

Kalsiyum sülfat (alçı) beyazımsı veya bronz bir renktedir. Düzgün şartlandırma olmadan yüksek sertlik veya düşük alkanitlik seviyesine sahip su kullanılan kazanlarda oluşur. Güçlü bir asidin eklenmesi, kalsiyum sülfat kabuğunun herhangi bir gaz kabarcığı veya

karbondioksit salınımı olmadan çözer. Kalsiyum sülfat, kalsiyum karbonattan daha seyrek görülür ama kazan besleme suyunda yanlış yumuşatma işlemi sonucu var olan kalsiyum sertliği, çamur-kabuk arıtıcı ve seyrelticiinin yetersiz seviyede olması sonucu oluşabilir.

4.2.2.3 Kalsiyum Fosfat

Kalsiyum fosfat, besleme suyundaki kalsiyum fosfat şartlandırma kimyasalları kazana eklendiğinde oluşur. Düzgün şartlandırma kontrolleriyle kalsiyum fosfat blöfle giderilecek bir çamur oluşturur. Eğer kazan suyunun pH derecesi 11.0'den düşükse ve bir çamur arıtıcı kullanılmazsa, kalsiyum fosfat kabuk halini alır. Güçlü bir asidin eklenmesi bu kabuğu gaz kabarcığı oluşturmadan çözer.

4.2.2.4 Magnezyum Fosfat

Magnezyum fosfat kabuğu, kazan suyunun şartlandırmasında kullanılan fosfatın besleme suyundaki magnezyum tuzlarıyla reaksiyona girmesiyle oluşan beyazımsı bir atıktır. Sadece kazan suyunun hem hidroksit içeriği hem silika içeriği düşükse oluşur. Güçlü bir asidin eklenmesi bu kabuğu gaz kabarcığı oluşturmadan kolayca çözer.

4.2.2.5 Magnezyum Silikat

Magnezyum silikat kabuğu, beyazımsı bir atıktır. Eğer kazan suyunun pH'ı 11.0'ın üstünde ise ve silika seviyesi fosfat seviyesinin yarısından fazlaysa besleme suyundaki magnezyum ve silikadan dolayı meydana gelir. Normalde blöfle yok edilecek bir çamur oluşturur. Eğer çamur arıtıcılar kullanılmadıysa borularda kabuk atığı oluşabilir. Çoğu asit bu artığı temizlemez. Magnezyum sülfat kabuğundan kurtulmak için aşındırıcı veya özel kimyasallar gerekir.

4.2.2.6 Demir Oksit ve Demir Hidroksit

Demir oksit kabuğu ve demir hidroksit kabuğu kırmızı-siyah atıklardır. Bu atıklar besleme suyunda çözülmüş olan demir tuzlarının kazan suyunda bulunan hidroksitle reaksiyona girmesiyle oluşur. Genelde çözülmüş demir kondens dönüşünde sisteme giren korozyondan kaynaklı çözülmüş demirden kaynaklanır. Eğer düzgün çeşitte çamur arıtıcılar mevcut değilse, kazan borularında bulunan demir oksit kabuk şeklinde atılır. Düzgün çeşitte çamur

arıtıcılarla bu atık kabuk yerine blöfle atılacak bir çamur haline gelir. Harici kazan yüzeylerinde demir oksitlerinin mevcut bulunmasından dolayı kazan metalleri oksijen korozyonuna uğrar (Basham vd., 2005).

4.2.3 Harici Kazan Suyu Şartlandırması

Harici şartlandırma stratejisi, takviye suyunda istenmeyen kirliliklerin kazana girmeden yok edilmesidir. Düzgün harici şartlandırma, kabuk ve korozyon oluşumlarını engeller ya da en aza indirir.

4.2.3.1 Yüksek Basıncılı Kazanlar İçin Harici Su Şartlandırması

Kazanın basıncı yükseldikçe yüksek saflıkta besleme suyuna olan ihtiyaç artar. Saniyede 5 kilogramlık su borulu kazan 6205 kPa.'da işlem yapıyorsa mineralsiz besleme suyuna ihtiyaç duyar. Harici şartlandırmayı demineralizasyon takip eder.

4.2.3.2 Düşük Basıncılı Kazanlar İçin Harici Su Şartlandırması

Düşük basınçlı kazanlar basit bir harici şartlandırma veya bazen hiç şartlandırmasız işlem görürler. Saniyede 0,44 kilogramlık alev borulu kazan 103 kPa.'ın altında (100 beygir gücü) işlem yapıyorsa su arıtımı olarak sadece sodyum zeolit yumuşatımına ihtiyaç duyulur. Kondensin %99'unu geri döndüren küçük bir kazan, harici şartlandırmaya ihtiyaç duymaz.

4.2.4 Kazan Suyunun Dahili Şartlandırılması

Kazan suyunun dahili şartlandırılması, çökelmeyi ve korozyonu kontrol etmek için kazana kimyasal eklenmesi işlemidir. Dahili su şartlandırması, düzgün blöf kontrolüyle birlikte azaltılmamış veya kaldırılmamış su kirliliğini kontrol eder.

4.2.4.1 Kabuk Oluşumunun Engellenmesi

Kabuk oluşumunu engellemek için dahili kazan suyu arıtımı, çözünümlü kimyasal şartlandırma programı veya çöktürmeli kimyasal arıtım programlarından biri uygulanmalıdır. Çözünümlü şartlandırma programı, kabuk oluşumuna yol açan maddeleri (mineral iyonları)

çözeltilinin içinde tutan kimyasalları kullanır. Oysa çökeltmeli kimyasal şartlandırma sertliğe yol açan boru yüzeyine yapışmayan maddelerle reaksiyona girerek onları çökeltip çamur haline getiren kimyasalları kullanır.

4.2.4.1.1 Düşük Basınçlı Kazanlar

Az veya hiç takviye ya da blöf kullanmayan düşük basınçlı buhar kazanı sistemleri (103 kPa. ve aşağısı) genelde kabuk kontrolü için kimyasal şartlandırma kullanmaz. Çünkü düşük takviye suyu taleplerinden dolayı kazana, kabuk katkı maddeleri (takviye suyunda mevcut bulunmayanlar) devamlı eklenemez. Eğer yüksek takviye ihtiyacı varsa (ayda %1'in üstünde) veya takviye suyunun toplam sertliği 300 ppm.'in üstündeyse, kazan sistemini korumak için arıtma sistemi gerekli olur.

4.2.4.1.2 Yüksek Basınçlı Kazanlar

Yüksek basınçlı kazanlar (103-6205 kPa. arası) ya çökeltmeli su şartlandırma kimyasal programı veya çözünmeli kimyasal şartlandırma programı kullanmalıdır.

4.2.4.1.2.1 Çökeltmeli Su Şartlandırma Programları

Çökeltmeli su arıtma programlarında genelde fosfat kullanır. Bu fosfat “hidroksiyapatit” ($3\text{Ca}_3[\text{PO}_4]_2 \rightarrow \text{Ca}[\text{OH}]_2$) denen kalsiyum fosfat çamuru oluşturmak için kalsiyumla reaksiyona girer ve hem çamur arıtıcısı hem seyreltici olarak görev yapar. Magnezyum, “serpentin” ($2\text{MgSiO}_3 \rightarrow \text{Mg}[\text{OH}]_2 + \text{H}_2\text{O}$) denen magnezyum silikat çamuru oluşturmak için hidroksit ve silikayla tepkimeye girer. Yeterli hidroksil alkanitliği (çürütücülük), istenen çamur türünün oluşmasını sağlamak için gereklidir. Arıtılmak istenen çamur kazanın dibindeki blöfle atılmak için yeterince akıcıdır. Uygun hidroksil alkanitliğini (çürütücülük) korumak için sodyum hidroksit gereklidir. Fosfat çökelticileri ya ortofosfat (“orto” tek fosfat manasına gelir) ya da polifosfatın (“poli” birçok fosfat molekülünün birbirine bağlanması manasına gelir) çeşitli formlarından biri olarak hazırlanır. Sodyum heksametafosfat, sodyum tripolifosfat ve sodyum pirofosfat polifosfat buna örnek olarak verilebilir. Polifosfatlar ya besleme suyuna ya da doğrudan buhar tamburuna ilave edilir. Ortofosfatlar, besleme suyu borularında kabuk oluşturmak için mineral iyonları (sertlik) ile tepkimeye girebildiği için besleme suyuna değil basınç tamburuna verilmelidir.

4.2.4.1.2.2 Çözünmeli Su Şartlandırma Programları

Çözünmeli su şartlandırma programında, kabuk oluşturan maddeleri çözültürde tutabilmek için fosfonatlar (organik fosfat olarak da bilinir), selantlar, polimerler, vb. kimyasalların bir veya daha fazlası kullanılır: Selantlar, etilen diamin tetra-asetik asit (EDTA) veya nitrilo-triasetik asit (NTA) örneklerinde olduğu gibi kalsiyum, magnezyum ve demiri bağlarlar. Fosfonat ve selantların kullanımı özel enjeksiyon sistemlerine ve besleme suyu kontrolüne ihtiyaç duyar. Selantlar fosfonatlara göre daha az agresif olmalarına rağmen metal yüzeylere saldırarak, korozyona yol açarlar. Su şartlandırma polimerleri suda çözünebilir bileşiklerdir. Ayrıca kazan atıklarından korunmak için çözünme, dağılım, topaklaşma ve bozulma işlemlerini yürütebilecek, elektrokimyasal olarak aktif yan dallar barındırırlar. Polimerler metal yüzeylere saldırılmazlar, besleme borusuna veya doğrudan kazanın buhar tamburuna düzgün bir enjeksiyon ekipmanı ile verilir.

4.2.4.1.2.3 Kazana Özel Arıtım Programları

6205 kPa.'ın üzerindeki yüksek basınç kazanlarda, kapsamlı harici şartlandırmadan geçirilmiş yüksek kaliteli besleme suyu kullanılır. Bu sebeple kabuk oluşturan maddeler suda bulunmaz ve kazanın içerisinde kabuk oluşturmazlar. Bu kazanlarda genelde özel olarak bu kazanlar için geliştirilmiş su şartlandırma programları kullanılır. Bu programlarda suyun kimyasal yapısının kontrolünün mükemmel olması ve fosfat, uyumlu fosfat, dengeli fosfat ve tüm uçucu şartlandırıcıların koordineli kullanılması gerekir. Bu seviyedeki kazan basınçları elektrik üretmek için türbinleri çalıştırmada da kullanılır.

4.2.4.2 Kimyasal Şartlandırmada Besleme Oranları

Kimyasal şartlandırma programının geliştirilmesi, kullanılacak kimyasalların çeşidinin seçilmesini, her kimyasalın uygun yoğunluk seviyesinde seçilmesini (diğer kimyasallarla karışım halinde kullanılacaklarsa) ve düzgün su arıtımı için gerekli kimyasal şartlandırma (katkı) şemasının oluşturulmasını içerir. Blöf boşaltım oranları, kimyasal eklenti oranlarının ve blöfte kaybedilen kimyasalların yerine konması gereken miktarın hesaplanmasında ve arıtma hedeflerine ulaşılmasında kullanılır. Pratikte kimyasal besleme ekipmanları “talebe göre orantılı besleme” temeline göre kimyasalları eklemek için kullanılır.

4.2.4.3 Çamur Atıklarının Engellenmesi

Hem düşük basınçlı hem de yüksek basınçlı kazanlarda besleme suyundaki çözünmüş mineraller (sertlik) kazan içerisinde çökelir. Çamur atıklarının oluşumunu engellemek için doğal veya sentetik (veya her ikisi de) suda çözünebilir organik kimyasallar kazan suyuna eklenir. Organik kimyasallar kabuk oluşturuca bileşenlerin kristal yapısını bozarak çamur oluşumuna yardımcı olur ve kabuk oluşumunu engeller. Düzgün oluşan ve arıtılan çamur, kazan çamur tamburunda dip blöfle yok edilebilecek akışkanlıktadır. Çamurun kontrolü ve asgarileşmesinde tanin önemli bir rol oynar. Çözünmüş oksijenin bir kısmını soğurarak korozyon kontrolüne katkıda bulunur ve çelik yüzeylerde koruyucu bir film oluşturulmasına da yardımcı olur. Verimli olabilmesi için kazan suyunda tanin seviyelerinin birkaç yüz ppm.'de korunması gerekir. Polimer materyaller tipik olarak 5-20 ppm arasında ele alınır. En son geliştirilen sentetik suda çözünebilir polimerler, taninlerden maliyet olarak daha verimlidir. Mesela, polikrilatlar veya metakrilatların yardımcı polimerleri ve sülfonatlı stirenler bunlara örnektir. Çamur ve kabuk inhibitörleri kazanlarda atık oluşumunun asgarileşmesinde kullanılır.

4.2.5 Kazanlarda Korozyon

Düzgün olmayan pH seviyesinin (10.3'ün altında) yol açtığı kazan içindeki korozyon, genel korozyona katkıda bulunan bir durumdur ve besleme suyundan arıtılamayan oksijenden kaynaklanır. Çelik borularda ve tamburlarda oyuklara yol açar.

4.2.5.1 Genel Korozyon

Genel korozyon, metal yüzeylerde genel, tek tip korozyonu açıklar. Genel korozyonun yeterli korunumuna, düzgün pH seviyesi korunarak erişilir. Bu sayede magnetit olarak bilinen koruyucu demiroksit örtüsü oluşturulur. Magnetit kendini kısıtlayan korozyon çeşididir. Bu korozyon uyumlu çelik boru yüzeylerinin en dışında oluşur ve yapışır. Magnetit $Fe_3O_4 + FeO + Fe_2O_3$ demir oksitinden oluşur.

4.2.5.1.1 6205 kPa.'a Kadar Olan Kazanlar için Uygun pH Değeri

6205 kPa.'a kadar kazanlar için uygun pH 10.3-12.0 arasındadır. Bu pH alanında kazan suyu düzenlemesi besleme suyunda bulunan doğal alkanitliğin döngüsüyle ve eğer gerekliyse sodyum hidrosit (kostik soda), sodyum karbonat (soda külü) veya bir alkalın fosfat şartlandırıcısı eklenerek ulaşılır.

4.2.5.1.2 6205 kPa.'ın Üstündeki Kazanlar için Uygun pH Değeri

6205 kPa.'ın üstündeki kazanlar için uygun pH ayarlamalarına su şartlandırıcı kimyasallar kullanılarak ulaşılır. Mineralsiz besleme suyunun yedeklenmemiş olmasından dolayı bu kimyasallar eklenir. Kimyasal şartlandırma programları, uyumlu fosfat, dengeli fosfat ve tüm uçucu şartlandırıcıların koordineli kullanılmasını içerir. Bu çeşit fosfat programları, geleneksel çökeltme katkıları gibi sertliğe yol açan materyaller için kullanılmaz. Onun yerine pH kontrolü için tamponlama katkısı olarak kullanılır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Fosfat arıtma programlarının özeti

PROGRAM	PO ₄ (ppm)	OH (ppm)	Na/PO ₄ ORANI	pH
GELENEKSEL	30-60	20-350	U/D	11-12
KOORDİNELİ	5-25	eser	2,85:1 - 3:1	9-10,5
UYUMLU	2-5	sıfır	2,3 - 2,6:1	8,8-9,4
DENGELİ	< 2,4	< 1,0	U/D	9,3-9,6

4.2.5.2 Oyuk Korozyonu

Oyuk korozyonu genelde kazan suyundaki oksijen moleküllerinin metal yüzeylerde derin yerel korozyon oluşturması manasına gelir. Bu işlem metal kazan bileşenlerinin iç metal tabakalarına kadar genişleyen korozyon oyuklarıyla sonuçlanır. Korozyon boru yüzeylerinde delik açacak kadar şiddetli olur.

4.2.5.3 Diğer Korozyon Türleri

Korozyonun diğerk türleri 6205 kPa.'ın üzerinde olan, su şartlandırmasında koordineli, uyumlu veya dengeli fosfotatip (standart fosfat çökeltme programlarıyla karıştırılmamalı) kullanılan yüksek basınçlı kazanlarda meydana gelir. Bu diğerk korozyon mekanizmaları kostik saldırı, hidrojen gevremesi ve fosfat gizlenmesi şeklinde olur (Basham vd., 2005).

4.2.6 Besleme Suyundan Oksijen Atımı

Oksijen suda çözüldüğünde çok aşındırıcı bir sıvı oluşturur. Oksijenli su özellikle çeliğe karşı çok aşındırıcıdır. Bu çelik kazan sisteminin ana bileşenlerinin yapımında kullanılır. Oksijenli suyun aşındırıcılık oranı sıcaklıktaki her 10°C'lik (18°F) artışta ikiye katlanır. Buhar tamburunun üstünde veya su çizgisinde bulunan deliklerle oksijen korozyonu fark edilir. Mekanik ve kimyasal yöntemlerle oksijen besleme suyundan arındırılabilir. Genelde bu metodların kombinasyonu kullanılır.

4.2.6.1 Mekanik Oksijen Atımı

Besleme suyundan oksijenin mekanik atımı için bir gaz giderici ısıtıcıya ihtiyaç duyulur. Bu gaz giderici ısıtıcının içerisinde hem takviye suyu hem de kondens dönüşü buharla temas içindedir ve tabla, sprey veya her ikisinin kullanımıyla karıştırılır. Bu ısıtma işlemi besleme suyundan oksijeni ve diğerk gazları tam anlamıyla ayırır. Oksijen ve diğerk gazlar, az miktar buharla birlikte gaz gidericiden atmosfere gönderilir.

4.2.6.1.1 Gaz Giderici İşlemi

Azami oksijen arıtımı için kullanılan gaz giderici işlemde iki anahtar veri önemlidir. Birincisi, gaz gidericiden buharın akması için delik devamlı kontrol edilmelidir. İkincisi, hem gaz gidericinin içindeki basınç hem de çıkış suyunun sıcaklığı kontrol edilmelidir. Gaz gidericiler 20,68 kPa. veya üstündeki basınçlarda işlem yapmalıdır. Verilen tüm basınçlarda gaz gidericinin çıkış ısıyla Çizelge 4.2'de gösterilen tesisin yüksekliğine göre ayarlanmış su ısının farkı en fazla 1 °C (2 °F) olmalıdır. Eğer gaz giderici buharsız veya az buharla işlem yapıyorsa veya düşük bir ısıda çalışıyorsa verimli çalışmıyor ve azami seviyede oksijen gidermiyordur. Mekanik gaz gidericilerin şematik diyagramı Şekil 4.14'de gösterilmiştir.

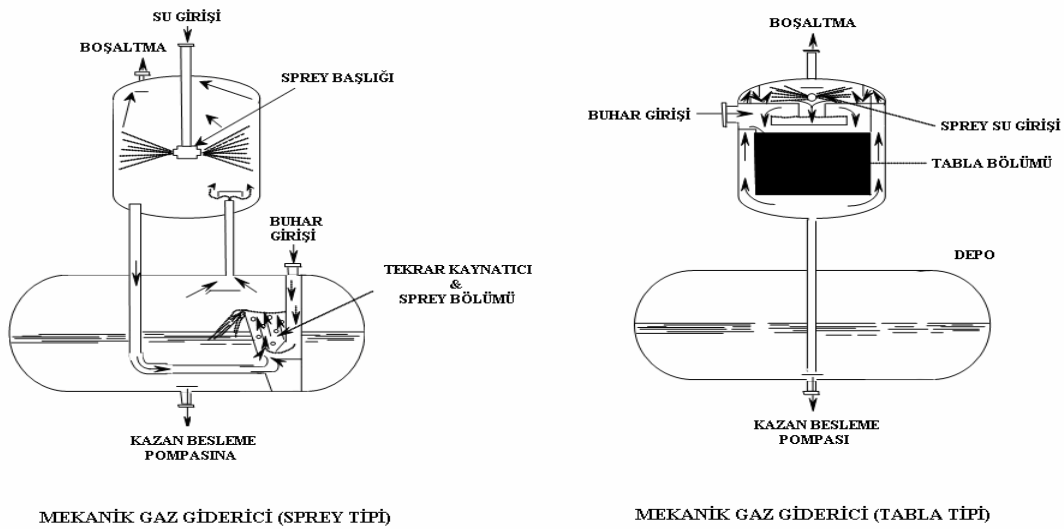
Çizelge 4.2 Çeşitli basınçlardaki kazan sistemleri için gaz giderici su çıkış sıcaklıkları

GAZ GİDERİCİ BASINCI (kPa)	GAZ GİDERİCİ ÇIKIŞ SUYU SCAKLIĞI (°C)	GAZ GİDERİCİ BASINCI (kPa)	GAZ GİDERİCİ ÇIKIŞ SUYU SCAKLIĞI (°C)
0.00	100	75.84	116.4
6.89	101.8	82.74	118
13.79	103.6	89.63	119.1
20.68	105.3	96.53	120.2
27.58	106.9	103.42	121.3
34.47	108.4	110.32	122.3
41.37	109.9	117.21	123.4
48.26	111.2	124.11	124.1
55.16	112.7	131	125
62.05	113.9	137.90	126
68.95	115.2	-	-

NOT: Deniz seviyesinden yukarıya çıkıldıkça her 152 metrede listedeki derecelerden 0.5 °C (1 °F) çıkartılması gerekmektedir.

4.2.6.2 Serbest Oksijenin Kimyasal Olarak Ayrılması

Oksijen gidericileri, oksijenle tepkimeye giren kimyasallardır. Oksijen gidericiler kazan besleme suyundan oksijeni ayırırlar, bu sayede oyuk korozyonu oluşmaz.



Şekil 4.14 Mekanik gaz giderici şemaları

4.2.6.2.1 6205 kPa.'a Kadar Olan Kazanlar İçin Oksijen Gidericileri

6205 kPa.'a kadar olan kazanlar için oksijen gidericiler, katalize sodyum sülfid ve katalize olmayan sodyum sülfid içerir. Her ikisi de oksijen gidericisidir ve sülfid kaynaklarıdır. Gaz giderici kullanıldığında herhangi bir katalize edilmemiş oksijen gidericisi yeterli olacaktır ve gaz giderici depo bölgesine konulur. Gaz gidericisiz sistemlerde katalize sodyum sülfid kullanılır. Katalize sodyum sülfid tuzunda bulunan kobalt sülfat tuzu bir çözücüdür. Katalize sülfid, katalize edilmemiş sülfite göre oksijenle daha hızlı tepkimeye girer. Hem sodyum sülfid hem de katalist kazanda besleme suyu akışına verilmelidir ki oksijen besleme suyu kazana verilmeden yok olsun. Bu ekleme şeması aynı zamanda besleme suyu borularını korozyondan korur. Var olan oksijenin taleplerini karşılayabilmek ve ileride oksijen miktarının yükselmesine karşı fazladan çöküntü yapabilmek için yeterli seviyede gidericinin suya katılması gerekir. Kazan suyundaki tipik sülfid değerleri Çizelge 4.3'te oluşturulmuştur.

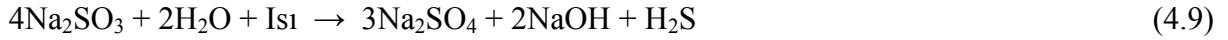
Çizelge 4.3 Kazan suyunda taşınması gereken sülfid değerleri

KAZAN BASINCI (kPa)	SÜLFİT ÇÖKELTİSİ (ppm SO ₃ olarak)
0-103	20-40
110-1020	20-40
1030-2060	20-40
2070-3100	20-40
3100-4130	20-40
4140-5160	15-30
> 5170	15-30

4.2.6.2.2 6205 kPa.'ın Üzerindeki Kazanlar İçin Oksijen Gidericileri

6205 kPa.'ın üstündeki kazanlar için oksijen gidericileri özellik uçucu şartlandırmayı da içerir (Hydroksilamin, hidrokuinon, karbohidrazid, hidrazin sülfat ve eritorbik asit gibi). Hidrazin artık kullanılmamaktadır. Çünkü kanserojen madde olmasından şüphe edilmektedir. Hidrazin gibi uçucu şartlandırıcılar oksijeni yok etmekle kalmaz metal yüzeyleri de pasifleştirir. Bu kimyasallar normalde kazan suyunda milyarda bir parça menziline kullanılır. Sülfid tipi oksijen gidericileri 6205 kPa.'ın üzerindeki kazanlarda kullanılmaz. Çünkü termal

bozunmanın sülfürdioksit ve hidrojen sülfid üretme potansiyeli vardır ve her ikisi de korozyona yol açabilir. Termal bozunma tepkimeleri şunlardır:



Kazan basıncı 4140 kPa. kadar düşükse bu tepkimelerin oluştuğu görülür. Yine de basınç 6205 kPa.'ın üstüne çıkmadıkça ciddi bir problem oluşmaz (Basham vd., 2005).

4.2.7 Kondens Korozyonu Kontrolü

4.2.7.1 Kondens Korozyonunun Sebepleri

Oksijen ve karbondioksit, kondens korozyonunu arttıran en önemli etkenlerdir. Bunların her birinin kirleticinin cinsinden veya kirlenmiş materyallerin doğasıyla ilişkili aşındırıcı özellikleri vardır. Buhar kondens sistemlerinde bulunan tesisat genelde çelikten imal edilir. Isı değiştiriciler de bakır ve çelikten imal edilirler.

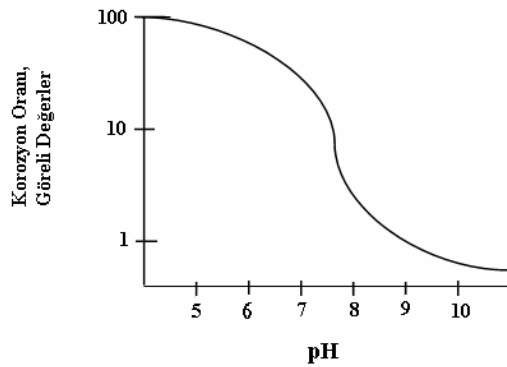
4.2.7.1.1 Hava

Kondens sistemindeki oksijen kaynağı havadır. Aralıklı kullanılan kondens borularında özellikle kondens korozyonundan şüphelenilir. Çünkü ısıtılmış kondens borularını soğutmak, sübap mühürlerinden, kondens haznelerinden, sistem borularına hava çekebilecek bir vakum oluşturabilir. Besleme suyundaki kimyasal veya mekanik olarak tamamen yok edilmemiş çözünmüş oksijen, kazana girerek kondens borularına sızabilir. Bu da metal yüzeylerde oyuk korozyonuna yol açar. Kondens sistemlerindeki oksijen korozyonu oyuklarla ve tüberkül denen korozyon ürünleriyle kanıtlanır.

4.2.7.1.2 Karbondioksit

Besleme suyunda karbondioksitin (CO_2) çözünmesi, karbondioksitin kazan sistemine girmesine neden olur. CO_2 gaz gidericide verimli bir şekilde yok edilir. Buhar kondensindeki karbondioksitin en genel kaynağı besleme suyundaki karbonat (CO_3^{2-}) ve bikarbonat (HCO_3^-) iyonlarıdır. Kazanda ısı ve basıncın etkisi altında karbonat (CO_3^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-) iyonları

fosfonatlar (organik fosfat olarak da bilinir), selantlar, polimerler (alkalinitlik), hidroksil (OH⁻) iyonları (alkalinitlik) ve CO₂ gazına parçalanırlar. Bu özgür CO₂ uçucudur ve buharla beraber kazanı terk eder. Akabinde buhar kondensinde CO₂ çözünür ve karbonik asit oluşur (H₂CO₃). Bu asit kondensin pH'ını düşürür ve çoğu metal için aşındırıcıdır (Şekil 4.15). Karbondioksit korozyonu, borulardaki kondensde ve kondens sıvılarının aktığı borularda, boruları et kalınlıklarının incilmesiyle fark edilir. Uçucu aminelerle CO₂ nötralize edilir ve kazan sistemlerindeki korozyon engellenir.



Şekil 4.15 Çelik ve bakır korozyonunda pH'ın etkisi

4.2.7.2 Buhardaki Karbondioksitin Tayini

Korozyon mühendisleri yatırımın geri ödemesini değerlendirirken (örneğin CO₂'nin temizlenmesi maliyetlerine karşılık, CO₂'nin temizlenmesi için kullanılacak dahili şartlandırma kimyasallarının maliyeti) buhardaki CO₂ miktarını bilmeleri önem teşkil eder. Mühendisler ve su arıtma şirketleri kullanılacak su şartlandırıcı kimyasalların miktarını tahmin etmek için CO₂ miktarının belirlenmesine ihtiyaç duyarlar. Buhardaki CO₂ seviyeleri besleme suyundaki bikarbonat ve karbonat alkanitliği miktarından tahmin edilebilir. "F" ve "M" bu bileşiklerin alkanitliğini ölçmede kullanılır.

$$\text{CO}_2 = [\text{bikarbonat} \times 0.79] + [\text{karbonat} \times 0.35]$$

$$\text{CO}_2 = [(M - 2P) \times 0.79] + [2P \times 0.35]$$

(4.10)

4.2.7.3 Nötralize Aminleriyle Karbondioksit Kontrolü

Aminler, amonyağa benzeyen azot grupları içeren organik bileşiklerdir. Kazan uygulamalarında “nötralize aminleri” olarak adlandırılırlar. Çünkü bunların asidik (karbonik asit) durumları, kondensin pH.’ını arttırarak nötralize eder. Bu amin bileşikleri uçucudur. Buharla kazandan kaçabilirler ve zamanla buhar kondensinin içinde çözünebilirler.

4.2.7.3.1 Kontrol Limitleri

Aminler tüm kondens sistemlerinde pH’ı 7.5 – 9.0, ideal olarak 7.5 – 8.5 arasında tutmak için eklenir. Tüm kondens sistemlerinde kondensin pH seviyesinin 7,5’un altına düşmesine izin verilmemelidir. Aksi taktirde korozyon oluşur. Bu aminler diğer kimyasallardan ayrı olarak doğrudan kazan buhar tamburuna verilir. Burada buharlaşarak, buhar ile birlikte borularda dolaşırlar. Buhar kondensinde pH’ı korumak için devamlı amin kullanılmalıdır.

4.2.7.3.2 Buğu-Sıvı Dağıtım Oranları

Kazanlarda en fazla kullanılan nötralize ediciler aminmorfolin, dietilamino-etanol (DEAE), ve sikloheksilamindir. Aminlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.4’te gösterilmiştir. Buhar kondens dönüş sisteminde kondens, buhar dağıtım hatları boyunca değişik yerlerde bulunan çoklu ısıtıcılara hizmet eder. Bazı aminler kazana yakın olan yerlerde kondensle dağılır. Bu sırada bazı amineler buharda kalmaya ve buhar dağıtım sisteminde kondense ortaya çıkmaya eğilimlidir. Bunun oluşma derecesi “buğu-sıvı dağıtım oranı” olarak adlandırılır:

$$\text{Buğu - Sıvı Dağıtım Oranları} = \frac{\text{Buhar Fazındaki Amin}}{\text{Kondens Fazındaki Amin}} \quad (4.11)$$

Aminlerin değişik buğu-sıvı dağıtım oranı vardır ve her sistemde eşit olarak iş görmez. Özel aminlere dayanarak kısa, orta ve uzun mesafeli kondens borularında verimli olabilir. Karışık kondens dönüş sistemlerinde en iyi sonuçlara uygun amin ile ulaşılır. Nötralize edici amin seçimi çizelgesi Çizelge 4.5’te verilmiştir. Genellikle değişik aminlerin karışımı kullanılır.

Sikloheksilamin besleme suyu alkaliniteği 75 ppm.'den yüksek olan sistemlerde kullanılmaz. Bu sistem uzunlukları sadece sınıflandırma içindir ve kesin değildir. Örnek olarak orta uzunlukta bir sistem eğer borular yetersiz yalıtılmışsa veya kötü tasarlanmışsa uzun sistemin pek çok özelliğine sahip olur. Kondens dönüş sistemi özellikleri ancak pH muayenesiyle en iyi şekilde öğrenilir.

Çizelge 4.4 Nötralizasyon aminlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

ÖZELLİK	MORFOLİN	DEAE (Diethylamino-ethanol)	SİKLOHEKSİLAMİN
Kaynama Noktası (%100 amin)	129 °C	163 °C	134 °C
Kaynama Noktası (amine/su azeotrop)	-	99 °C	96 °C
Parçalanma derecesi	340 °C	423 °C	330 °C
Buğu-sıvı dağıtım oranı	0,4	1,7	4,7
Belirli yerçekimi (%100 amin)	1,002	0,88	0,86
pH, 100 ppm çözelti	9,7	10,3	10,7
10 ppm CO ₂ 'li sudaki 8,0 pH'ı korumak için gereken amin miktarı	37 ppm	22 ppm	15 ppm

Çizelge 4.5 Nötralizasyon edici amin seçimi çizelgesi

AMİN	ALÇAK BASINÇ (< 103 kPa)	YÜKSEK BASINÇ (> 103 kPa)		
		KISA SİSTEMLER (< 243 mt.)	ORTA UZUNLUKTA SİSTEMLER (243 mt.:< x < 1610 mt.)	UZUN SİSTEMLER (> 1610 mt.)
Morfolin		X		
DEAE X	X		X	X
Sikloheksilamin	X			
Sikloheksilamin / morpholine karışımı			X	X

4.2.7.3.3 Morfolin

Morfolin düşük buğu-sıvı dağıtım oranına sahiptir ve buhardan kolayca ayrılır. Bu onu kısıdan orta uzunluğa kadar olan kondens hatları için uygun hale getirir. Morfolin yüksek kaynama noktası değerine sahip olması nedeniyle yüksek basınçlı sistemler (103-6205 kPa.) için en uygun amindir. Kondens hatlarında çok az morfolin gaz gidericide kaybolur.

4.2.7.3.4 DEAE (Dietilamino-etanol)

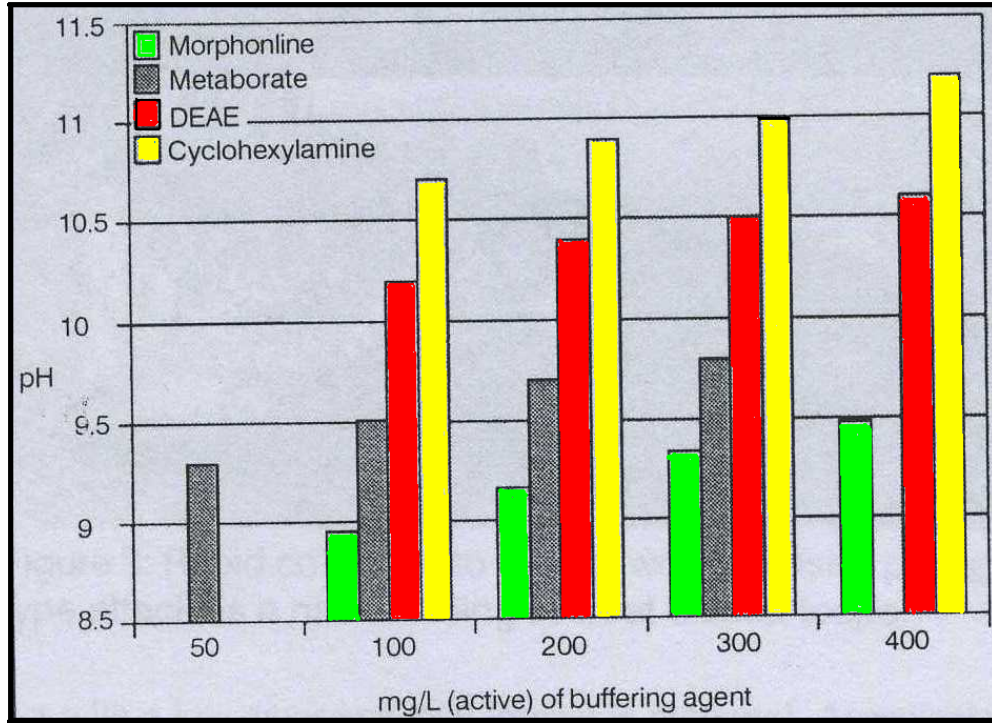
DEAE'nin buğu-sıvı dağıtım oranı morfolin ve sikloheksilamin arasındadır. Bu DEAE'yi orta uzunluktaki sistemleri korumak için iyi bir tercih yapar. Bu sistemlerde morfolin veya sikloheksilamin ayrı şekilde kullanılırsa tam koruma sağlanamaz. DEAE karışımının düşük kaynama noktası, DEAE'yi hem düşük basınçlı kazanlarda hem de yüksek basınçlı kazanlarda kullanımını sağlar.

4.2.7.3.5 Sikloheksilamin

Sikloheksilaminin buğu-sıvı dağıtım oranı yüksektir. Bu sayede çok uzun sistemleri korumak için en uygun maddedir. Sikloheksilamin ayrıca düşük basınçlı sistemlerde de kullanılabilir. Sikloheksilamin, sikloheksilamin bikarbonatın düşük çözünürlüğü nedeniyle, besleme suyu alkalitesi 75 ppm.'i geçen sistemlerde kullanılması uygundur. Sikloheksilamin, bikarbonat üreterek atık oluşturabilir. Bu atıkların oluşabileceği yerler kondens sisteminin sonunda bulunan düşük debili bölgelerdir. Bu atık problemi besleme suyunun alkalitesini düşürerek veya DEAE kullanarak engellenir. Buharın ilk yoğuştuğu yerlerde sistemin ilk parçalarını korumak için morfolinli uzun sistemleri arıtma ihtiyacı duyulabilir.

4.2.7.3.6 Amin Karışımları

Morfolin, DEAE veya sikloheksilamin karışımı orta ve uzun sistemlerde tam korumayı sağlamak için kullanılır. Bu aminlere ait en uygun karışım, kondens pH.'ının kondens hattının çeşitli yerlerinde ölçülmesiyle bulunur. Eğer uzaktaki bölgelerin örnekleri diğer bölgelerdeki örneklere göre düşük pH.'a sahipse, karışımdaki sikloheksilamin artırılır veya tersi yapılır. Başka bir pH muayenesi karışım oranı değiştirildiğinde yapılmalıdır. 1 oran sikloheksilamin ve 3 oran morfolin iyi bir başlangıç noktasıdır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Suya katılan farklı konsantrasyonlardaki aminlerin pH değerleri (Hartwick, 2001)

4.2.7.4 Amin Filmlenmesiyle Karbondioksit ve Oksijen Kontrolü

Karbondioksit korozyonu 0,7 – 1,0 ppm.'lik bir amin (oktadekilamin gibi) filmi oluşturularak kontrol edilir. Bu kimyasal, kondens borularını örterek, sudaki karbondioksitin boru duvarıyla temasını keser. Eğer yüksek derecede hava (oksijen) kaçağı varsa amin filmlenmesi uygun olur. Önceden korozyon problemi olan kondens hatlarında kullanılması istenmez. Amin filmlenmesinin aşırı soğurmasında korozyon meydana gelir. Aminkan pası yerinden oynatarak, gaz gidericiye veya kazana dönmesini sağlar. Operasyon sırasında filmlenme aminlerini buhar tamburu yerine, buhar başlığına doğrudan eklemek gereklidir. Yetersiz miktarda eklemek yetersiz yüzey kaplamasından kaynaklı hızlandırılmış oyuk korozyonuna sebep olur.

4.2.7.5 Özel Uçucu Aminlerle Karbondioksit ve Oksijen Kontrolü

6205 kPa.'ın üstündeki kazanlarda karbondioksit ve oksijen kontrolü için kullanılacak bazı özel oksijen gidericileri bulunmaktadır. Özel uçucu aminler hidroksilamin, hidroksinon, karbonhidrazin sülfat ve eritorbik asiti de kapsar. Hem kondensin pH'ını yükselterek hem de oksijeni yok ederek çalışırlar. Ayrıca metal yüzeylerini pasifleştirirler.

4.2.7.6 Amin Kısıtlamaları, İçalan Havası ve Buhar Kalitesi Konuları

Genel nötralize edici aminleri ve filmleme aminlerinin kullanımını Çizelge 4.6’da özetlendiği gibi kısıtlıdır. Çizelge 4.6’daki kısıtlamalar izin verilen azami yoğunluklardır. Amilerin kullanımı her zaman tavsiye edilmez. Eğer amin ilavesi sürekli değilse veya kazan işlemi döngüsel (örn her gün kazan birkaç saatliğine kapatılıyorsa), ortalama yoğunluk kısıtlamaları dahilinde olsa da, asgari amin yoğunluğu çeşitli ve kısıtlamaları aşan boyutlarda olabilir.

Çizelge 4.6 Amin kısıtlamaları

AMİN	KISITLAMA
Sikloheksilamin	Buharda 10 ppm.’i geçmemesi ve buharın süt ve süt ürünlerinden uzak tutulması,
DEAE (Dietilamino-etanol)	Buharda 15 ppm.’i geçmemesi ve buharın süt ve süt ürünlerinden uzak tutulması,
Hidrazin	Buharda bulunmaması,
Morfolin	Buharda 10 ppm.’i geçmemesi ve buharın süt ve süt ürünlerinden uzak tutulması
Oktadesilamin	Buharda 3 ppm.’i geçmemesi ve buharın süt ve süt ürünlerinden uzak tutulması,

4.2.7.6.1 Sterilizasyon İçin Kullanılan Buhar

Bazı tesisler (hastaneler başta olmak üzere) cerrahi araçlar gibi ekipmanları sterilize etmek için otoklavlarda buhar kullanırlar. Nötralize aminlerinin ekipman üzerinde amin kirleticisi bırakabileceği kaygısı genellikle olur. Takviye suyunu işlemek ve sonucunda bikarbonat ve karbonat alkalinite seviyesini düşürmek için dealkalizer kurmak nötralize aminleri kullanmaya bir alternatiftir. Dealkalizeri verimli bir şekilde kullanmak karbondioksit korozyonunu azaltmak için nötralize amin ihtiyacını azaltır, hatta ortadan kaldırılır. Buhardan buhara ısıtıcılar steril buhar elde etmek için kullanılabilir

4.2.7.6.2 Gıda Hazırlığı

Eğer buhar süt veya süt ürünleriyle temas ediyorsa nötralize veya filmleme aminlerinin kullanımı istenmez ve yasaktır. Bu yemek hazırlama mutfaklarında buhar üretimini engellemek için yeterli bir neden olabilir. Buharın ısı kaynağı gibi uygulaması buharın gıda maddeleriyle doğrudan temasını içermez. Diğer durumlarda buhar ve gıda maddeleri arasında doğrudan temasla yemeğin ısıtılmasını sağlar. Aminlerin gıda da tat ve koku bırakması gibi kaygılar olabilir. Bu kaygıyı hafifletmek için yapı buhar sisteminden bağımsız bir paket buhar üreticisi kullanılır. Diğer bir alternatif ise buhardan buhara ısıtıcı kullanmaktır.

4.2.7.6.3 Nemlenme

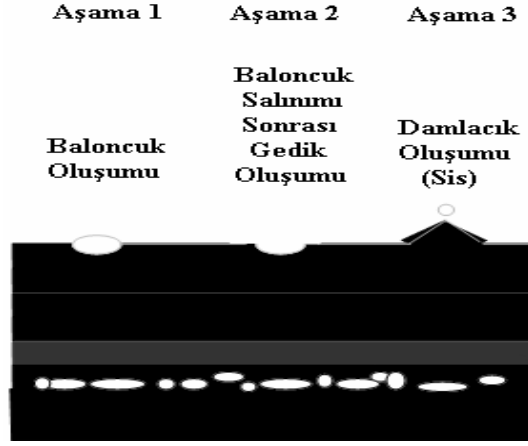
Buhar genelde bina içerisindeki havayı nemlendirmek için kullanılır. Aminlerin kullanımı bina havasında kirlilik kaygısını doğurabilir. Normalde buharla nemlendirilmiş binalarda amin miktarı çok azdır ve genelde düşük ppm menzindedir (Basham vd., 2005).

4.2.8 Buharda Su Taşımını

Kazan suyundan üretilen buhar, sıvı su barındırmamalıdır. Su damlalarının veya pisliklerin buharla taşınmasının genel nedenleri sislenme, köpürme, çökelti (scale) ve silika taşımınıdır.

4.2.8.1 Sis Taşımını

Sislenme, su kaynadıkça düzgün bir sis oluşumunu adlandırır. Bu 3 aşamalı işlem Şekil 4.17'de gösterilmiştir. 1. aşamada, bir buhar baloncuğu su yüzeyine erişir. 2. aşamada baloncuk suda gedik oluşturarak patlar. 3. aşamada su gediği doldurmak için yükselir. Gediğin ortası kenarlardan daha hızlı bir şekilde doldurur. Bu da kazan suyunun küçük bir damlasının düzgün bir sis olarak fırlamasına neden olur. Hepsi değilse de sisin çoğu buhar tamburunun sis yok edici aşamasında ortadan kaldırılır. Yinede yok edilmeyen tüm sis buhara katılacaktır. Bu düzgün damlacıklar kazan suyuyla aynı seviyede çözünmüş katıya sahip olacaktır. Bu da buharı ve kondensi kirletecektir.



Şekil 4.17 Buhar kazanlarında sis oluşumu

4.2.8.2 Köpürme Taşınımı

Köpürme taşınımı terimi kazan suyu köpüğünün ve köpüğün buhara taşınmasını anlatır. Köpük çeşitli durumlardan dolayı oluşabilir. Alkalininin, TDS, SS ve bazen su şartlandırma kimyasallarının aşırı seviyeleri kazanda köpük oluşturabilir. Normalde toplam alkanitliği %20'den toplam askıdaki katıları (TAK) %8'den aşağı seviyelerde tutmak köpüğü uygun seviyelere çekebilir. Ayrıca kazan suyuna anti-köpük katkıları eklenmesi köpürmeyi kontrol edebilir. Poliamidler ve poliglikoller anti-köpüklere örnek oluşturur.

4.2.8.3 Çökelti (scale) Taşınımı

Çökelti (scale) terimi, kazan suyunun buhara karışması sonucu buhar tamburundaki sıvının seviye çeşitlenmesi veya dalgalanmasından ötürü buhara karışması sonucu oluşan karışımın buhar başlıklarına taşınmasını tanımlar. Mekanik bir problem veya mekanik özellikler, aşırı duyarlı besleme suyu kontrolleri, büyük buhar talepleri veya yanlış blöf prosedürleri her zaman çökeltiye (scale) yol açar. Kimyasal kontrol metodu yoktur. Yine de köpük oluşturucu katkıları bu durumun azaltılmasına yardımcı olur. Çökelti taşınımı gerçekleşiyorsa kazan işlemleri gözden geçirilmelidir.

4.2.8.4 Silika Taşınımı

Silika taşınımı terimi, sudaki silikanın uçucu hale gelmesi ve su taşınımından bağımsız olarak sisteme girmesidir. Daha sonra silika kondens borularında ve işlem ekipmanında atık oluşturur.

Silika atığı çok ciddi sorunlara sebep olur. Örneğin buhar türbin bıçaklarında dengesizliğe yol açabilir. Kazan suyunda düşük silika seviyesi korunarak, silika taşınımını kontrol edilir. Kabul edileen seviyeler kazan işletme basıncına bağlıdır. Çizelge 4.7 tavsiye edilen sınırları gösterir.

Çizelge 4.7 Kazan suyunda izin verilen silika seviyeleri

KAZAN BASINCI (kPa)	İZİN VERİLEN SİLİKA ppm (SiO ₂ olarak)
0-103	150
110-1027	150
1034-2062	150
2068-3096	90
3103-4130	40
4137-5164	30
5171	20

4.2.8.5 Buhardaki Su Taşınımını Belirlemek

Herhangi bir su taşınımını anlamının en iyi yolu buharın veya buhar kondensinin iletkenliğini ölçmektir. Eğer 25 mikroohmdan düşük bir değer bulunursa, taşıma miktarı limit seviyededir. Eğer iletkenlik 25 mikroohmun üstündeyse sebebi araştırılmalıdır.

4.2.8.5.1 İletkenlik Ölçümlerinin Çıkarımları

Buhar yoğuşumundaki iletkenlik ölçümü 25 microohmun üstündeyse ya buharda veya kondens sisteminde taşıma veya sızıntı vardır. Aynı zaman da kondenste bir sertlik testi de aynı zamanda yapılmalıdır. Eğer sertlik bulunursa, yoğuşumun sertliği kazan suyu taşınımından ziyade ham sudan veya kondens sistemindeki sızıntıdan kaynaklanıyordur. Eğer çok düşük bir sertlikle karşılaşırsa sebep ham su olabilir.

4.2.8.5.2 Atık Analizi

Buharda veya kondenste bulunan herhangi bir atık kaynağını bulmak için analiz yapılmalıdır. Manyetik demiroksit atıklar kondens sistemindeki çeliğin korozyonundan kaynaklanmaktadır. Nötralizasyonun kullanımı bu atıkları kontrol eder. Eğer atıklar çoğunlukla silikasya blöfünü arttırmak veya takviye suyundaki silikayı arıtmak çözüm olur. Eğer atıklar çoğunlukla sodyum tuzlarıysa (sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum klorid, sodyum sülfat ve sodyum fosfat), sebep muhtemelen kazan suyunun sislenme, çökelti (scale) veya köpürme sonucu taşınmasıdır (Basham vd., 2005)

5. BİR BUHAR HATTINA AİT KOROZYON KORUMA PROGRAMI UYGULAMASI

Korozyon koruma programlarında yapılan çalışmaların amacını iki başlık altında toplayabiliriz. Birincisi scale ya da depozit olarak belirtilen tortulaşmanın önlenmesi, ikincisi ise korozyonun önüne geçilmesidir.

Buhar hatlarında üretilip kullanılan buhar, kazan içerisinde elde edilirken, akışkan olarak kullanılan su ile birlikte sistem içerisine katı partiküller de alınır. Bu partiküller zaman içerisinde buhar hatları üzerine yapışarak, birikinti ve kireç tabakaları oluşmasına sebep olurlar. Oluşan bu tabaka ve birikintiler ısı transfer yüzeylerinde yalıtım görevi görmeye ve sistemdeki akışın düzensizleşmesine sebep olurlar. Böylece sistemin hem verimi düşer hem de sistem ömrü önemli derecede kısalır. Ayrıca depozit oluşumu, depozit altı korozyonunu tetikleyici etkiye sahiptir.

Önceki bölümlerde de detaylı bir şekilde açıklanan korozyon olayının buhar hatlarında görülmesinin başlıca nedenleri olarak kullanılan suyun pH değeri ve sistemde gezinen oksijen gösterilebilir.

Sistemin mümkün olan maksimum verimde çalışarak, gerçek ömrüne ulaşılması aşağıda belirtilecek olan parametrelerin sürekli olarak takip edilerek gerekli önlemlerin alınmasıyla sağlanabilir. Bu da uygulanan takip programının doğru tespit ve uygulamasıyla gerçekleşir.

5.1 Koruma Programında Uygulanacak Sistemin İncelenmesi

Bu çalışmada, İstanbul'da bulunan The Marmara Oteli'ne ait kapalı devre buhar sistemi ele alınmıştır (Şekil 5.1). The Marmara Oteli'nde ısıtma ve sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuş üç adet 2.750.000 kcal/h kapasiteli buhar kazanının bulunduğu kapalı devre buhar hattının yanında, çamaşırhanede ihtiyaç duyulan buharın üretiminin sağlandığı iki adet yaklaşık kapasiteleri 860.000 kcal/h olan buhar jeneratöründen oluşan açık devre buhar tesisatı da bulunmaktadır. Bu çalışmadaki konumuz kapalı devreler olduğu için ısıtma amaçlı kullanılan buhar sistemi ele alınmıştır.

Kapalı devre buhar hatlarına Aksem Kimya Ltd. Şti. tarafından HYDROBT 200 tanımlı kapalı buhar devresi koruma programı uygulanmıştır. Bu hatta bulunan 3 adet buhar kazanından biri tam kapasiteyle, bir diğeri ihtiyaç halinde devreye girmekte, sonuncusu ise yedek olarak tutulmaktadır. Ele alınan kazanların her biri 2.750.000 kcal/h ve 1,1 atü. kapasiteli olup, hem doğal gaz hem de fuel-oil yakıtlıdır (Şekil 5.2). The Marmara Oteli'ne koruma programı 22.05.08 tarihinde uygulanmaya başlanmış olup, 17.02.2009 tarihinde sonlandırılmıştır.



Şekil 5.1 The Marmara Oteli



Şekil 5.2 Koruma programı uygulanan buhar kazanları

5.2 Koruma Programında Kullanılan Kimyasalın Özellikleri

Koruma programında kullanılan kimyasal madde, yumuşak su kullanan merkezi ve bölgesel ısıtma sistemlerinde orta ve yüksek basınçlı buhar kazanları için depozit (birikinti, tortu) ve korozyon önleyici olarak kullanılır. Organo fosfat, dispersant özellikli polimerler ve pH düzenleyici bileşenlerden (amin gruplarından) oluşur.

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. Buhar hatlarında birikinti, çamur ve korozyon oluşumuna karşı etkilidir. Özellikle yüksek alkalinite, yüksek pH ve sertlik değerlikli sular için tercih edilmiştir. Fosfonat molekülleri, sistemde Ca^{2+} ve Mg^{2+} kationlarını çevreleyerek, sistemde oluşması muhtemel $CaCO_3$, $MgCO_3$, $CaSO_4$ bileşiklerinin oluşmasını engeller.

Koruyucu kimyasal içerisinde bulunan dispersant özellikli polimerler, depozit ve birikinti altı korozyonuna sebep olan bileşiklerin, kazan içerisinde kazan suyunun dip blöfe yakın kısmında asılı tutarak, kazan yüzeyine yapışmasını önlerler. Asılı kalan bu bileşikler kazan dip blöfü yardımı ile sistemden dışarı alınır.

pH düzenleyici olan aminlerin iki temel görevi vardır. Birincisi buhar hattında bulunan çözünmüş oksijeni bloke etmektir. Korozyonun başlıca nedenlerinden biri olan çözünmüş oksijen, 120 °C'nin altında var olabildiği için buhar hatlarında ya kazan besi suyu bölümünde ya da kondens dönüş hattında görülür. İkincisi ise sistem genelinde (özellikle de kondens dönüş hattında) pH'ı yüksek tutarak (8,5-9,0 civarı), korozyonu önler.

Koruyucu kimyasaldan maksimum verimin alınabilmesi için çalışma değer aralıkları dikkate alınmalıdır. Çalışma sınır değerlerinin aşılması etkin korumanın sağlanamamasına neden olur. Çizelge 5.1'de koruma programında kullanılan kimyasalın sınır çalışma aralık değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.1 Koruyucu kimyasal için etkin çalışma değerleri

KONTROL DEĞERLERİ		
pH		10,5 - 12
İletkenlik	($\mu\text{s/cm}$)	250 - 1000
Alkalinite	(ppm)	100 - 1200
Sertlik	(ppm)	COC
Şok Dozaj Miktarı	(gr/ton)	150
Bakım Dozaj Miktarı	(ppm)	COC
Sistem Silika = İlave su SiO_2 x COC	(ppm)	max. 100 (COC)
$\Sigma\text{Fe} = \text{İlave Su } \Sigma\text{Fe} \times \text{COC}$	(ppm)	COC
Cl^-	(ppm)	COC

5.3 Koruma Programında Ölçüm ve Kontrol Aşamaları

Tüm koruma programlarında, tesisatlarda meydana gelecek olan depozit ve korozyon oluşumlarının kontrolü için sisteme ilave edilen suyun iyi analiz edilerek, uygun çalışmanın yapılması gerekmektedir.

The Marmara Oteli'nde kullanılan kapalı devre ısıtma tesisatına ait fonksiyon şeması Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Isıtma tesisatına ait fonksiyon şemasında 1 numaralı kısım otomasyonlu blöf sistemidir. 2 numaralı bölüm ise ilave su hattına bağlanmış olan kimyasal dozaj sistemidir.

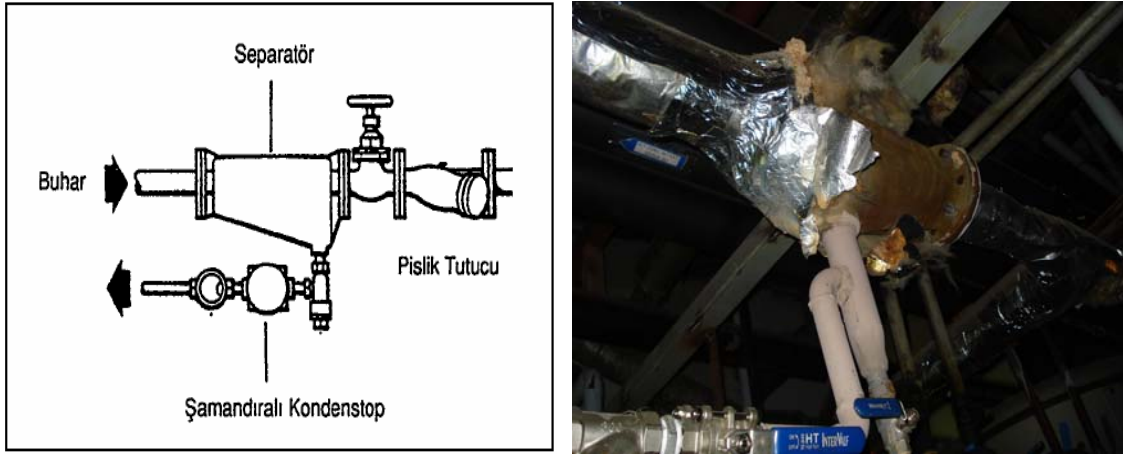
Buhar Kazanları:

Sistemde kullanılacak buharın üretildiği ekipmanlardır. Bu çalışmada buhar kazanları ile ilgili detaylı bilgi önceki bölümde verilmiştir.

Seperatör:

Genellikle buhar tesislerinde doymuş buhar kullanılmaktadır. Gerek borudaki ısı kaybı nedeniyle ve gerekse kazandan tam kuru buhar elde edilememesi nedeniyle doymuş buharın içinde su zerrecikleri bulunur. 25-40 m/s mertebelerindeki normal buhar akış hızlarında bu su zerrecikleri tesisatta önemli ölçüde aşınmaya neden olur. Buharın kurutulması veya içindeki suyun ayrılması için buhar tesisatlarında seperatör (kurutucu) kullanılır (Şekil 5.4). Seperatör ana buhar hattı başlangıçlarına ve kritik cihaz girişlerine yerleştirilir.

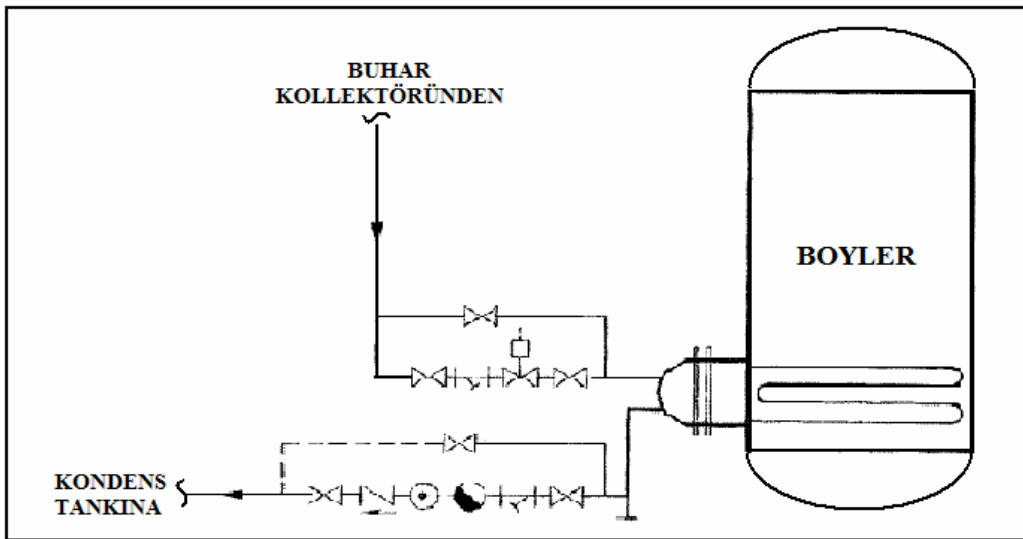
Seperatörlerde su zerrecikleri yaratılan akış formu ve büyüklüğü nedeniyle kurutucu yüzeylerine çarparak tutulur ve kondens halinde biriken zerreler alttan dışarı atılır.



Şekil 5.4 Seperatör cihazı

Boylar:

Sistemdeki kullanma sıcak suyu temini için kullanılmaktadır. Boylerde suyun ısıtılması için buhar kullanılır (Şekil 5.5). Isıtıcı akışkan olarak buharın kullanıldığı boylerlerin, sıcak sulu sistem boylerlerinden önemli farkı serpantin yapısıdır. Serpantinden akan buharın gerçekleşen ısı transferi sonucu yoğuşacağı ve kondens haline geçeceği dikkate alınarak bu kondensin sağlıklı bir şekilde serpantin dışına alınması sağlanmalıdır. Aksi takdirde kondens serpantin içindeki buhar akışını tıkayabilir.



Şekil 5.5 Boyler cihazı

Kondens Tankı:

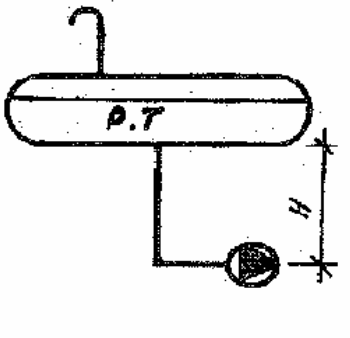
Sistemde kullanılan yoğuşan buharın geri döndürüldüğü tanktır. Ancak sistemde kullanılan buharın tamamını kondens şeklinde geri döndürmenin mümkün olmadığı durumlarda aradaki fark ilave suyu ile tamamlanır. Kondens tankının boyutlandırılmasında sistem büyüklüğü önemlidir. Birkaç yüz kg/h buhar kapasiteli sistemlerde, kondens tankı hacmi 1 saatlik kazan kapasitesini karşılayacak büyüklükte seçilir. Çizelge 5.2’de tavsiye edilen kondens tankı boyutları bulunmaktadır.

Çizelge 5.2 Koruyucu kimyasal için etkin çalışma değerleri

Buhar Kullanımı (ton/h)	Kondens Deposu Hacmi
0 - 1	Sarfiyatın yaklaşık 1/1
1.5 - 2	Sarfiyatın yaklaşık 1/1 - 1/2
3 - 5	Sarfiyatın yaklaşık 1/2 - 1/3
6 - 10	Sarfiyatın yaklaşık 1/3 - 1/5
11	Sarfiyatın yaklaşık 1/5 - 1/10

Besi Suyu Pompaları:

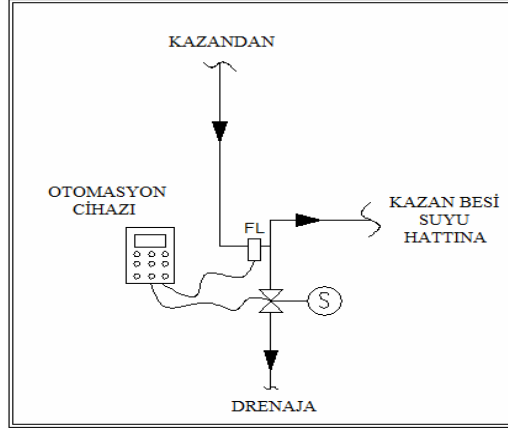
Degazörden (degazör yoksa besi suyu tankından) suyu alıp, kazana basan pompalara kazan besi suyu pompası denir. Bu pompaların sayısı, kazan sayısından bir fazladır. Fazla pompa yedektir. Besi suyu pompaları debileri, kazan buhar kapasitesinin üzerinde seçilir. Ani buhar çekişi olan uygulamalarda pompa debisi, kazan uhar kapasitesinin iki misli seçilebilir. Besi pompaları emişinde vakum ve dolayısı ile buhar oluşmaması için degazör (veya besi suyu tankı) besi pompalarından belirli seviyede yukarıda olmalıdır (Şekil 5.6). Besi pompaları kazan otomatik besi cihazından kumanda alırlar. Kazan su seviyesi azalınca, pompalar çalışarak su basarlar.

	Depo basıncı, P (ata)	1			
	Su Sıcaklığı, T (°C)	70	80	90	105
	Bırakılacak yükseklik, H (m)	0	1	2	4

Şekil 5.6 Degazör – besi suyu pompaları arasındaki yükseklik farkı değerleri

Otomasyonlu Blöf Sistemi (1):

Kazandan yüzey blöfü ile alınan kazan suyu akış kontrol cihazından (flow switchten) geçirilerek akış tayini yapılır. Otomasyon cihazı bu akış esnasında kazan suyunun iletkenlik değerini ölçer ve set değerine göre kıyaslama yapar. Ölçülen değer set değerinden büyük olduğu durumda selenoid vana açılarak mevcut kazan suyu boşaltılır ve sisteme yeniden ilave su alınır. Şekil 5.7’de otomasyonlu blöf sistemine ait akış şeması bulunmaktadır.



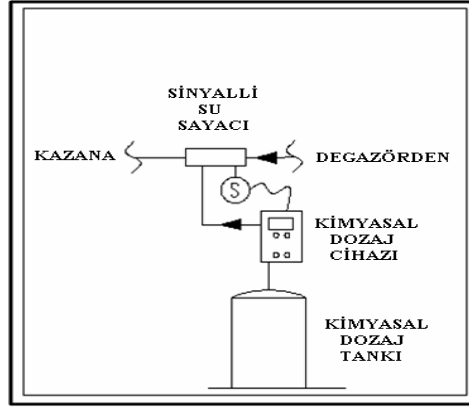
Şekil 5.7 Otomasyonlu blöf sistemi akış şeması

Kimyasal Dozaj Ünitesi (2):

Kazan besli, kondens ve ilave sularından alınan örneklerin analiz edilmesi sonucu sisteme birim zamanda verilecek koruyucu kimyasal miktarı belirlenir. Şekil 5.8’te gösterilen kimyasal dozaj ünitesinde bulunan sinyalli su sayacı sayesinde kazana gönderilen su miktarı ölçülerek, belirlenen koruyucu kimyasal miktarına göre ayarlama yapılarak, stokiyometrik olarak dozaj yapar. Şekil 5.9’da de kimyasal dozaj sisteminin akış şeması görülmektedir.



Şekil 5.8 Kimyasal dozaj ünitesi



Şekil 5.9 Kimyasal dozaj akış şeması

Kazanda üretilen buhar gidiş kolektörüne gelerek, buradan sıcak su ihtiyacının karşılanması için boylere ve mahal ısıtması için dört zone olarak ayrılan eşanjörlere gider. Eşanjörlere ve boylere ısınıp bırakarak kondens haline gelen buhar öncelikle dönüş kolektörüne oradan da kondens tankına doldurulur. Kondens tankında bulunan kondens buradan kazan besisi suyu tankına gelerek, sisteme ilave edilen yumuşak su ile karıştırılır ve buradan içerisindeki gazın giderilmesi için degazöre gönderilir. Degazörden çıkan su kazana pompalar vasıtasıyla basılır.

5.4 Yapılan Ölçümlerin İrdelenmesi

Aksem Kimya tarafından 23.06.2008 – 17.02.2009 tarihleri arasında The Marmara Otelinde bulunan buhar hattına ait suların analizleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde buhar hattına ait kazan suyunun, kazan ilave suyunun, kazan besisi suyunun ve kondensin iletkenlik, pH, alkalinite, klorür ve demir değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen bu değerler ile konsantrasyon faktörü (COC) göz önünde bulundurularak iletkenlik, alkalinite, pH ve ΣFe oluşumları grafikler yardımıyla yorumlanmıştır.

Su testleri genellikle ticari kaynaklardan elde edilen test takımı ile yapılır. Test takımı şunları test etmek için kullanılabilir: alkalinite-fenolftaleyn (P); alkalinite-metil oranj (M veya toplam); alkalinite-hidroksil (OH) veya 'aşındırıcılık'; iletkenlik; tanik asit; pH; sertlik (toplam ve kalsiyum, magnezyum farkı ile); fosfat (orto ve toplam); sülfid; nitrit; klorit; molibdat; fosfonat; klorin veya bromin (toplam ve serbest); toplam demir; toplam bakır.

Tüm bu yorumlar depozit oluşumu ve korozyon olmak üzere iki ana başlık altında yapılmıştır.

5.4.1 Depozit Oluşumunun İncelenmesi

Kapalı devre buhar tesisatlarında depozit oluşumu hattın kondens, kazan besisi, kazan ilave ve kazan sularından alınan numuneler içerisinde bulunan alkalinite, iletkenlik ve sertlik değerlerinin konsantrasyon faktörü (COC) ile birlikte ele alınarak tespit edilir. Bu tespit sonucunda da gerekli koruyucu kimyasal miktarı belirlenerek sisteme verilir ve istenen optimal çalışma dengesi sağlanmış olur.

5.4.1.1 Konsantrasyon Faktörü (COC)

Konsantrasyon faktörü önceki bölümlerde de açıkladığımız gibi sisteme ilave edilen suyun kendi içerisindeki döngü sayısını ifade eder. COC, su içerisinde bulunan iyonlar yardımıyla hesaplanabilir. Yalnız Cl^- dışındaki iyonların girdikleri reaksiyonlar, oluşturdukları bileşikler ve daha farklı bazı etkenler nedeniyle, ölçümlerinde yaşanan sıkıntılardan ötürü gerçek miktarlarının tespiti oldukça zor ve yanıltıcıdır. Cl^- iyonlarının her zaman sulu çözelti olarak bulunmaları ve kütle denkliliğini korumaları COC hesabında güvenle kullanılmasını sağlamaktadır.

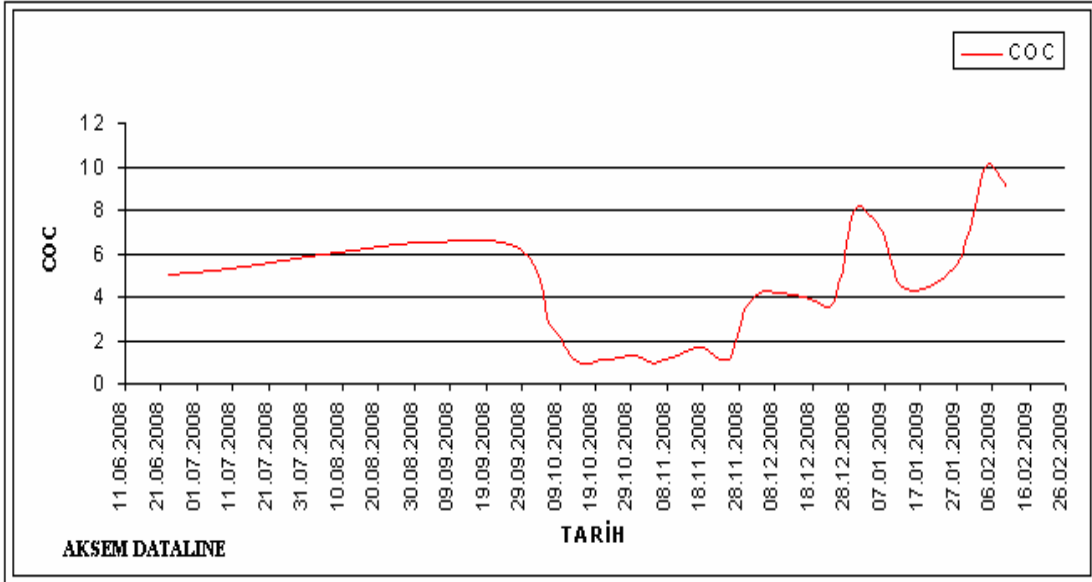
$$COC = \frac{\text{Kazan suyu içerisindeki } Cl^- \text{ miktarı (ppm)}}{\text{İlave suyu içerisindeki } Cl^- \text{ miktarı (ppm)}} \quad (5.1)$$

23.06.08 ile 10.02.09 tarihleri arasında haftalık olarak Aksem Kimya tarafından yapılan kazan suyu ve sistem ilave suyuna ait Cl^- ölçüm değerleri ve bu değerler doğrultusunda (5.1)'de belirtilen formüle göre hesaplanan COC değerleri Çizelge 5.3'de görülmektedir.

Şekil 5.10'da Aksem Kimya tarafından 23.06.08 ile 10.02.09 tarihleri arasında haftalık olarak yapılan ölçümlere göre hesaplanan COC'ye ait grafik görülmektedir. 29.09.2009 tarihinden itibaren konsantrasyon faktöründe (COC) otomasyonlu blöf sisteminin arızalanması nedeniyle önemli bir düşüş görülmüştür. Otomasyonlu blöf sisteminin arızalanması sonucu kazandan gerğinden fazla su çekilerek, Cl^- dışarı atılmış ve konsantrasyonu önemli ölçüde azalmıştır. Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi COC değeri sadece blöfle değiştirilebilir.

Çizelge 5.3 Kazan suyu ve ilave su Cl- değerleri

COC ÇİZELGESİ			
TARİH	KAZAN İÇERİSİNDE BULUNAN SUYUN Cl ⁻ MİKTARI (ppm) (A)	İLAVE SUYU İÇERİSİNDE BULUNAN Cl ⁻ MİKTARI (ppm) (B)	COC (A/B)
23/6/2008	105	21	5.0
23/9/2008	504	77	6.5
7/10/2008	245	91	2.7
14/10/2008	84	84	1.0
21/10/2008	84	77	1.1
30/10/2008	112	84	1.3
4/11/2008	98	112	0.9
11/11/2008	56	42	1.3
18/11/2008	35	21	1.7
25/11/2008	49	42	1.2
2/12/2008	56	14	4.0
16/12/2008	56	14	4.0
24/12/2008	77	21	3.7
30/12/2008	112	14	8.0
6/1/2009	98	14	7.0
13/1/2009	91	21	4.3
27/1/2009	231	42	5.5
4/2/2009	140	14	10.0
10/2/2009	189	21	9.0



Şekil 5.10 Buhar hattında belirtilen tarihlerde saptanan COC değerleri

5.4.1.2 İletkenlik-Konsantrasyon Faktörü (COC) İlişkisi

İletkenlik, elektriği iletme kabiliyeti olarak bilinir. Kapalı devre buhar sistemi içerisindeki iletkenlik terimi de sistem suyunda bulunan toplam iyon sayısını tanımlar. Sistem içerisinde iyon miktarının belirli bir değerin üzerine çıkması ya da yine bu değerin altına düşmesi istenmemektedir. Bu optimum değere 5.2'deki formülde de görüleceği gibi yukarıda hesaplanmış olduğumuz COC değeri ile kazan içerisinde alınan besi suyunda bulunan iletkenlik değerinin çarpılmasıyla ulaşılır.

$$\text{Hesaplanan İletkenlik Değeri } (\mu\text{s/cm}) = \frac{\text{Kazan Besi Suyu İletkenlik Değeri } (\mu\text{s/cm})}{\text{COC}} \quad (5.2)$$

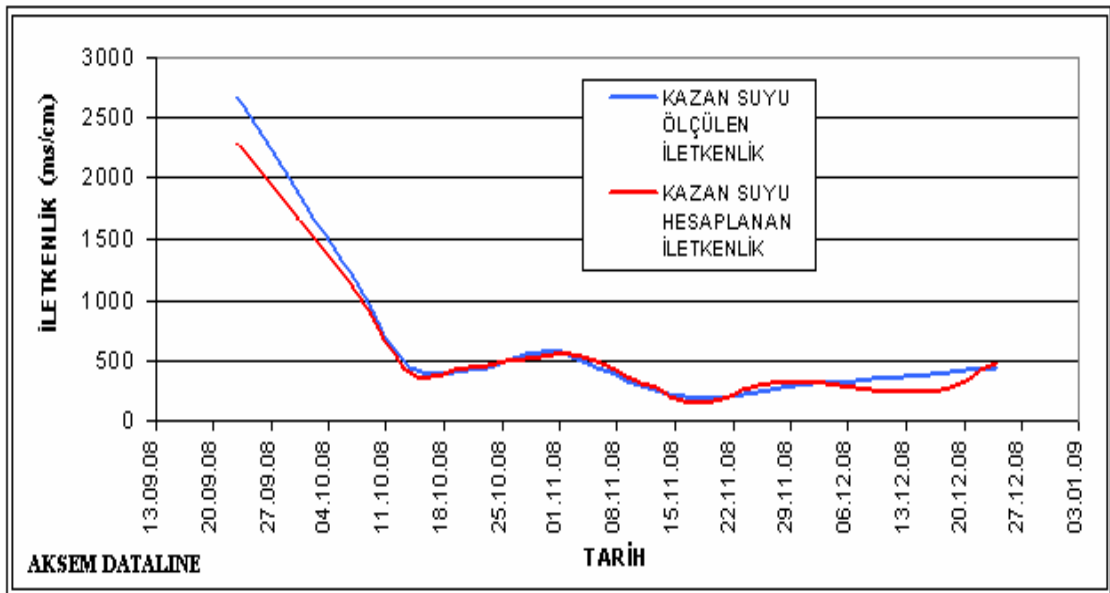
Çizelge 5.4'te Aksem Kimya tarafından 23.06.08 ile 10.02.09 tarihleri arasında haftalık olarak yapılan iletkenlik ölçüm değerleri ve bu tarihlerde kazan içerisinde hesap yöntemiyle bulunan iletkenlik değerleri yer almaktadır. Kazan suyunda ölçülen iletkenlik değerinin, hesaplanan iletkenlik değerinden düşük olduğu zamanlar, aradaki fark kadar iyonun sistem iç yüzeylerine yapışarak depozit oluşturduğu şeklinde yorumlanır. Tam tersi durum ise sistem iç yüzeyinde depozit oluşturmuş iyonların koruyucu kimyasal tarafından koparılarak, kazan suyuna karışması anlamına gelmektedir.

Şekil 5.11'de Aksem Kimya tarafından 23.09.08 ile 25.11.08 tarihleri arasında haftalık olarak yapılan ölçümlere göre iletkenlik değeri tayini oluşturulmuştur. Grafikte bulunan kırmızı eğri, hesaplanan COC değerlerine göre kazan suyunda bulunması gereken iletkenliği (COC x Kazan besi suyu iletkenliği), mavi eğri ise kazan suyunda ölçülen iletkenliği belirtmektedir.

Grafikimizde kırmızı eğri üstte mavi eğri altta kalacak şekilde olan bölgelerde iki eğri arasındaki fark kadar yapışma (depozit oluşumu) söz konusu olduğu söylenebilir. Şayet mavi eğri üstte kırmızı eğri altta bulunuyorsa, koruyucu madde içerisinde bulunan dispersantların etkisiyle önceden meydana gelen yapışmaların çözüldüğü şeklinde yorumlanır.

Çizelge 5.4 COC - İletkenlik çizelgesi

TARİH	KAZAN BESİ SUYU İLETKENLİK DEĞERİ (µs/cm) (A)	COC (B)	KAZAN SUYU HESAPLANAN İLETKENLİK DEĞERİ (µs/cm) (AxB)	KAZAN SUYU ÖLÇÜLEN İLETKENLİK DEĞERİ (µs/cm)
23/9/2008	351	6.5	2297	2660
7/10/2008	414	2.7	1115	1184
14/10/2008	407	1.0	407	442
21/10/2008	417	1.1	455	414
30/10/2008	396	1.3	528	582
4/11/2008	601	0.9	526	490
11/11/2008	236	1.3	315	286
18/11/2008	90	1.7	150	198
25/11/2008	246	1.2	287	237
2/12/2008	76	4.0	304	298
16/12/2008	61	4.0	244	382
24/12/2008	133	3.7	488	430
30/12/2008	64	8.0	512	629
6/1/2009	84	7.0	588	612
13/1/2009	112	4.3	485	650
27/1/2009	246	5.5	1353	1053
4/2/2009	74	10.0	740	944
10/2/2009	120	9.0	1080	1348



Şekil 5.11 İletkenlik tayini grafiği

5.4.1.3 Alkalinitlik-Konsantrasyon Faktörü (COC) İlişkisi

Alkalinite, hidroksit $[OH]^-$, karbonat $[CO_3]^{2-}$ ve bikarbonat $[HCO_3]^{-1}$ iyonlarının su içerisindeki miktarları olarak tanımlanır. Alkalinitlik sayesinde iletkenlikte olduğu gibi suyun sistemde tabaka (depozit) oluşturma seviyesi belirlenir.

İletkenlikte olduğu gibi alkalinitliğin de belirli bir değerde olması gerekmektedir. Bu değere 5.3'te verilen formülden ulaşılmaktadır. İletkenlikte olduğu gibi hesaplanmış olduğumuz COC değeri ile kazan içerisine alınan besi suyunda bulunan alkalinitlik değerinin çarpılmasıyla elde edilir.

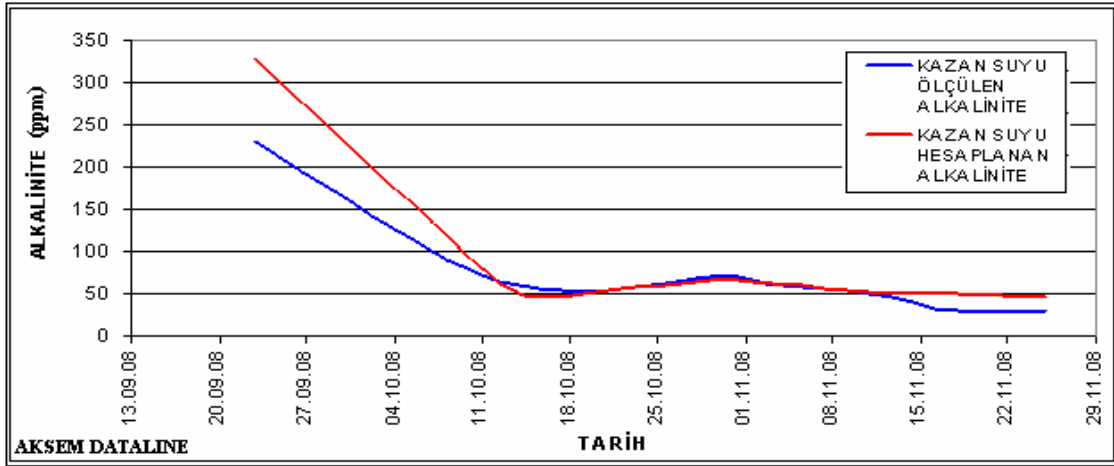
$$\text{Hesaplanan Alkalinitlik Değeri (ppm)} = \frac{\text{Kazan Besi Suyu Alkalinitlik Değeri (ppm)}}{\text{COC}} \quad (5.3)$$

Çizelge 5.5'te Aksem Kimya tarafından 23.09.08 ile 25.11.09 tarihleri arasında haftalık olarak yapılan alkalinitlik ölçüm değerleri ve bu tarihlerde kazan içerisinde hesap yöntemiyle bulunan alkalinitlik değerleri yer almaktadır. Kazan suyunda ölçülen alkalinitlik değerinin, hesaplanan alkalinitlik değerinden düşük olduğu zamanlar, aradaki fark kadar iyonun sistem iç yüzeylerine yapışarak depozit oluşturduğu şeklinde yorumlanır. Tam tersi durum ise sistem iç yüzeyinde depozit oluşturmuş iyonların koruyucu kimyasal tarafından koparılarak, kazan suyuna karışması anlamına gelir.

Çizelge 5.5 COC - Alkalinitlik çizelgesi

TARİH	KAZAN BESİ SUYU m ALKALİNİTE DEĞERİ (ppm) (A)	COC (B)	KAZAN SUYU HESAPLANAN m ALKALİNİTE DEĞERİ (ppm) (AxB)	KAZAN SUYU ÖLÇÜLEN m ALKALİNİTE DEĞERİ (ppm)
23/9/2008	50	6.5	327	230
7/10/2008	50	2.7	135	100
14/10/2008	50	1.0	50	60
21/10/2008	50	1.1	55	55
30/10/2008	50	1.3	67	70
4/11/2008	70	0.9	61	60
11/11/2008	40	1.3	53	50
18/11/2008	30	1.7	50	30
25/11/2008	40	1.2	47	30

Şekil 5.12’da alkalinite tayini gösterilmiştir. 23.09.08 ile 25.11.08 tarihleri arasında haftalık olarak yapılan ölçümler sonucunda yapışma ve çözülme miktarları iletkenlik eğrisinde olduğu gibi tespit edilerek, gerekli olan koruyucu kimyasal sisteme ilave edilmiştir. 11.11.2008 tarihinden 18.11.2009 tarihine kadar ölçülen alkalinite değerinde düşüş görülmektedir. Nedeni ise arızalanan blöf sistemi nedeniyle sistem dışına gereğinden fazla kazan suyu atılıp ilave su alınmasıdır.



Şekil 5.12 Alkalinitik tayini grafiği

5.4.2 Korozyon Oluşumunun İncelenmesi

Kapalı devre buhar tesisatlarında korozyon olayının denetimi, hattın kondens, kazan besi, kazan ilave ve kazan sularından alınan numuneler içerisinde bulunan pH ve demir (ΣFe) değerlerinin konsantrasyon faktörü (COC) ile birlikte ele alınarak irdelenmesi ile sağlanır. Elde edilen veriler doğrultusunda gereken koruyucu kimyasal miktarı belirlenip, sisteme ilavesi sağlanır.

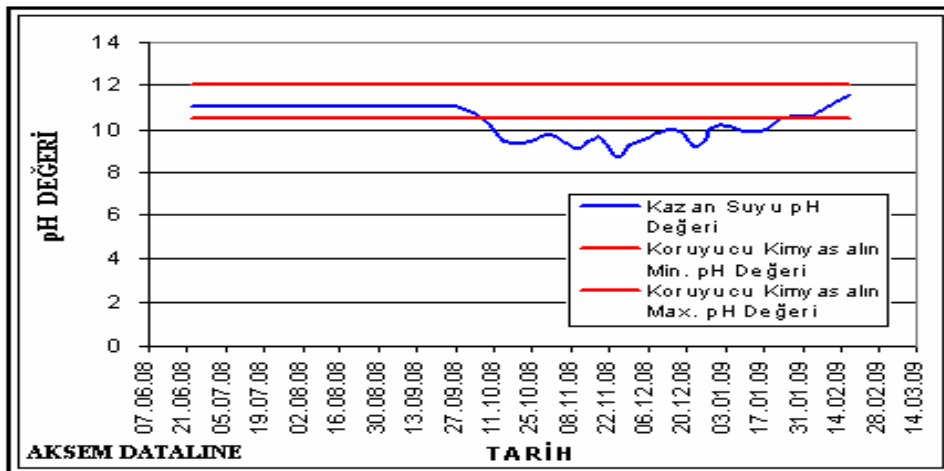
120 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda sistemde korozyona sebep olan CO₂ gazı su içerisinde çözünerek zayıf asit olan H₂CO₃ bileşimini oluşturur. Bu bileşikte pH değerinin düşmesine neden olur. Bu nedenden ötürü kapalı devre buhar hatlarında yüksek pH değerine genelde sıcaklık değeri 80-100 °C olan kondens dönüş hatlarında rastlanmaktadır. pH < 7 olması durumunda su asidik özellik göstereceği için pH > 7 olmasına dikkat edilir.

23.06.08 ile 10.02.09 tarihleri arasında haftalık olarak Aksem Kimya tarafından yapılan kazan suyuna ait pH ölçüm değerleri Çizelge 5.6'da görülmektedir.

Çizelge 5.6 Kazan suyu pH çizelgesi

TARİH	KAZAN SUYU ÖLÇÜLEN pH DEĞERİ
23/6/2008	11
23/9/2008	11.05
7/10/2008	10.51
14/10/2008	9.5
21/10/2008	9.26
30/10/2008	9.69
4/11/2008	9.57
11/11/2008	9.1
18/11/2008	9.6
25/11/2008	8.65
2/12/2008	9.43
16/12/2008	9.92
24/12/2008	9.16
30/12/2008	10.09
6/1/2009	10.09
13/1/2009	9.83
27/1/2009	10.58
4/2/2009	10.57
10/2/2009	11.01

Şekil 5.13'te ele alınan kapalı devre buhar hattı kazan suyuna ait 23.06.2009 ile 10.02.09 tarihleri arasında iki haftalık periyotlarla Aksem Kimya tarafından ölçülen pH grafiği bulunmaktadır. Grafikte X eksenine paralel olan, kırmızı renkle gösterilen doğrular kullanılan koruyucu kimyasalın etkin çalışma aralığını ifade etmektedir.



Şekil 5.13 Kazan suyu pH değerlendirme grafiği

COC grafiğinde olduğu gibi 04.10.2008 tarihinden itibaren pH değerinde düşüş görülmüştür. Arızalanan blöf sistemi nedeniyle sistemdeki suyun asidik özelliğini düşürecek olan oruyucu kimyasalın verilememesidir. Hattaki kaçaklar nedeniyle sisteme giren oksijen koruyucu kimyasal yardımıyla zayıf aside dönüştürülemediği ve pH azalmıştır.

Sistemde korozyonun tespiti demir miktarının ölçülmesi ile sağlanır. İletkenlikte ve alkalinitlikte olduğu gibi demirin de belirli bir değerde olması gerekmektedir. Bu değere 5.4'te verilen formülden ulaşılmaktadır. Hesaplanmış olduğumuz COC değeri ile kazan içerisine alınan besi suyunda bulunan demir değerinin çarpılmasıyla elde edilir.

$$\text{Hesaplanan Demir Değeri (ppm)} = \frac{\text{Kazan Besi Suyu Demir Değeri (ppm)}}{\text{COC}} \quad (5.4)$$

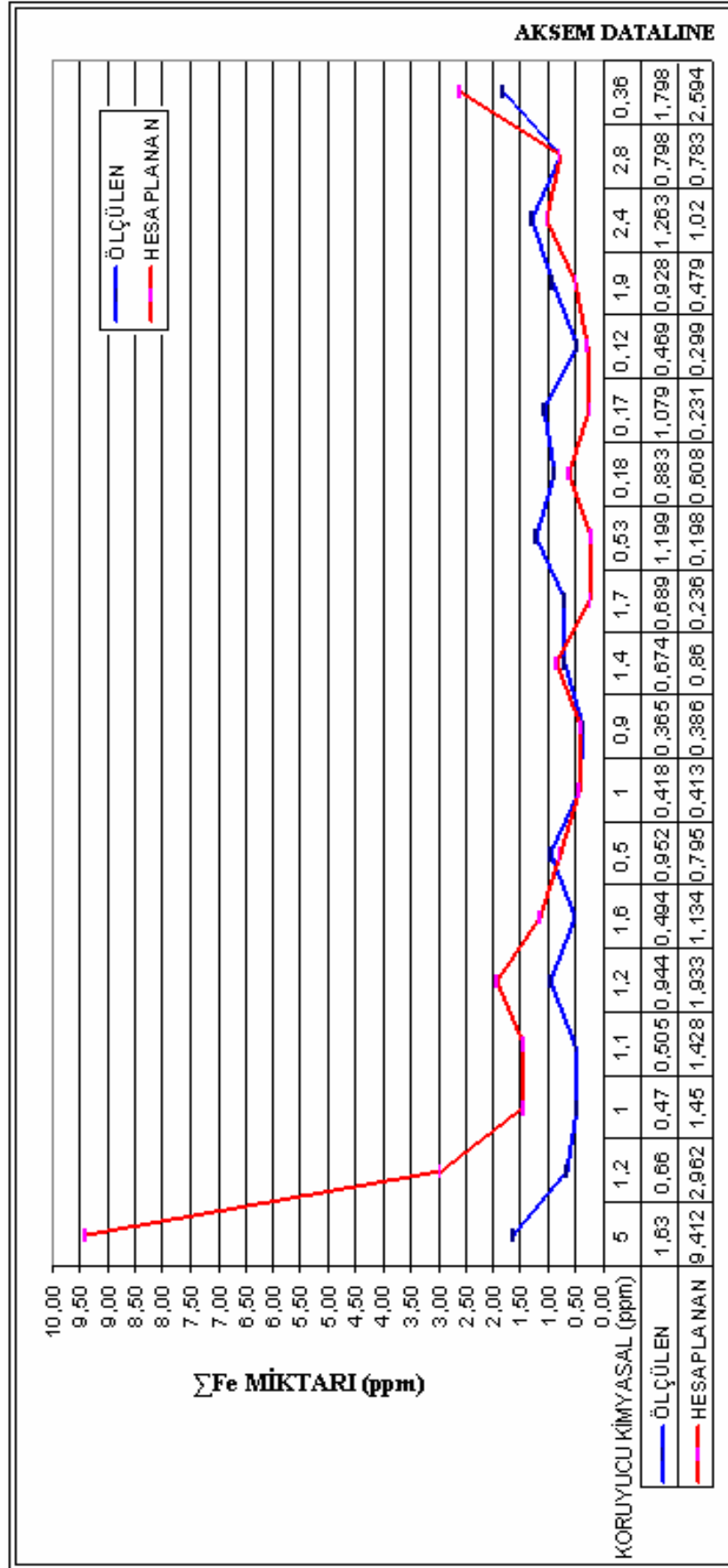
Çizelge 5.7'de Aksem Kimya tarafından 23.09.08 ile 10.02.09 tarihleri arasında haftalık olarak yapılan demir ölçüm değerleri ve bu tarihlerde kazan içerisinde hesap yöntemiyle bulunan demir değerleri yer almaktadır. Ayrıca yine bu çizelgede kullanılan koruyucu kimyasalın miktarı da bulunmaktadır.

Şekil 5.14'de toplam demir miktarı ile koruyucu kimyasal arasında oluşturulan grafik görülmektedir. Grafik 23.09.2008 ile 10.02.2009 tarihleri arasında haftalık olarak yapılan ölçüm değerleri göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Grafikte kırmızı renkteki eğri kazan suyunda olması gereken toplam demir miktarını [COC x Kazan Besi Suyundaki Σ Fe (ppm olarak)], mavi renkteki eğri ise kazan suyunda ölçülen Σ Fe miktarını ifade etmektedir. Ölçülen demir değerinin, olması istenen demir değerinden büyük olması (yani mavi eğrinin kırmızı eğrinin üzerinde bulunduğu durumlarda), korozyonun meydana geldiğini açıklar. Bu durumun korozyon olarak açıklanmasının sebebi, hesap değerinden fazla çıkan demirin sistemdeki metal yüzeylerin aşındırılarak elde edildiğidir. Grafiğe bakıldığında sisteme verilen koruyucu kimyasal miktarı arttıkça korozyonun da arttığı tespit edilip, kimyasal miktarının düşürüldüğü görülmektedir.

Çizelge 5.7 COC - Fe – Koruyucu kimyasal çizelgesi

TARİH	KAZAN BESİ SUYU DEMİR (Fe) DEĞERİ (ppm) (A)	COC (B)	KAZAN SUYU HESAPLANAN DEMİR (Fe) DEĞERİ (ppm) (AxB)	KAZAN SUYU ÖLÇÜLEN Fe DEĞERİ DEĞERİ (ppm)	SİSTEME VERİLEN KORUYUCU KİMYASAL MİKTARI (ppm)
23/9/2008	1.438	6.5	9.412	1.63	5
7/10/2008	1.1	2.7	2.962	0.66	1.2
14/10/2008	1.45	1.0	1.450	0.47	1
21/10/2008	1.309	1.1	1.428	0.505	1.1
30/10/2008	1.45	1.3	1.933	0.944	1.2
4/11/2008	1.296	0.9	1.134	0.494	1.6
11/11/2008	0.596	1.3	0.795	0.952	0.5
18/11/2008	0.248	1.7	0.413	0.418	1
25/11/2008	0.331	1.2	0.386	0.365	0.9
2/12/2008	0.215	4.0	0.860	0.674	1.4
16/12/2008	0.059	4.0	0.236	0.689	1.7
24/12/2008	0.054	3.7	0.198	1.199	0.532
30/12/2008	0.076	8.0	0.608	0.883	0.181
6/1/2009	0.033	7.0	0.231	1.079	0.167
13/1/2009	0.069	4.3	0.299	0.469	0.121
27/1/2009	0.087	5.5	0.479	0.928	1.9
4/2/2009	0.102	10.0	1.020	1.263	2.4
10/2/2009	0.087	9.0	0.783	0.798	2.8

Bir başka korozyon sebebi de sistemdeki oksijen varlığıdır. Bu 120 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda söz konusu değildir. Bu nedenle oksijene bağlı korozyon sıcaklığın 80 – 100 °C'de olduğu kondens dönüş hatlarında ve kazan besii suyu hattında görülebilir.



Şekil 5.14 Korozyon – koruyucu kimyasal grafiği

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kapalı devre buhar hatlarında meydana gelen birikinti ve korozyon oluşumları ele alınmıştır. Çalışmaya korozyonun tanımı ve çeşitleri hakkında bilgi verilerek başlanmıştır. Ardından su ile korozyon olayı arasındaki ilişkinin detaylı olarak açıklaması yapılarak, bugüne kadar yapılan çalışmalar ve elde edilen tecrübeler ışığında alınması gereken önlemler belirtilmiştir.

Korozyon, sistem verimini düşüren ve sistem ömrünü önemli derecelerde azaltan olumsuz bir faktördür. Bu mühendislik çalışmalarında her zaman için amaçlanan minimum maliyetle maksimum verimin sağlanması amacını olumsuz yönde etkiler. Korozyonun %100 olarak engellenmesi hiçbir zaman söz konusu olamaz. Mekanik tesisatlarda tasarım aşamasından itibaren korozyon olayının göz önünde bulundurulması ve yapılan tüm çalışmaların korozyon olayı düşünülerek yapılması gerektiğinin altı dikkatle çizilmelidir.

Tesisat içerisinde hareket halinde bulunan suyun içerisinde dolaştığı sisteme en az zararı vermesini sağlamak için daha tasarım aşamasında başlayarak gereğinden büyük boru çapları tayin edilmemeli ve gereğinden büyük akışkan hızlarına ulaşılmasına engel olunması gerekmektedir. Aynı şekilde durgun suyun da zamanla korozif bir yapı sergileyeceği unutulmayarak,, sıcak ve soğuk kullanım sularında uygun tasarım esaslarına göre sirkülasyon hatlarının tasarlanması sağlanmalıdır.

Bu çalışmada kazanların kullanıldığı ısıtma tesisatlarında korozyon koruma programının nasıl uygulanıp kontrol edilmesi gerektiği açıklanarak, ilgili ölçütlerin hesapları ile birlikte örnekler verilmiştir. Teorik ve deneysel olarak doğruluğu ispatlanan koruma programının bir uygulama ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda koruma programında en fazla dikkat edilmesi gereken bölümlerin ölçüm ve analiz aralıklarının tayini ile ölçütlerle ilgili sınır değerlerin denetlenmesi olduğu sonucuna varılmıştır.

Uygulama olarak, İstanbul'da The Marmara Oteli'nde ısıtma amaçlı kullanılan kapalı devre buhar tesisatı seçilmiştir. 2008 ve 2009 yıllarında korozyon koruma programı kapsamında ölçümler yapılarak izleme programı uygulanmış ve sonuçlar veri tabanında kayıt altına alınmıştır. Korozyon ve birikinti etkileri açısından COC, sertlik, iletkenlik, alkalinite, ΣFe ve pH arasındaki bağlantılar incelenerek, koruma programının başarısı yorumlanmıştır.

22.05.2008 ve 17.02.2009 tarihleri arasında kondens, kazan besisi, kazan ve ilave suları için haftalık ölçümler yapılarak, bulunan iletkenlik, sertlik, alkalinite, pH, Cl⁻ ve Fe analizleri temel alınarak COC (konsantrasyon faktörü) ile birlikte değerlendirilmiştir. Sistemde meydana gelen dalgalanmaların nedeninin blöf denetim sistemindeki arızalardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. İzleme aralığını azaltarak ve sürekli izleme yöntemi ile bu dalgalanmaların denetim altında tutulduğu görülmüştür. Koruma kimyasalı içerisindeki dispersant bileşen etkisini göstermiştir. Fe ile koruma kimyasalı bileşeni ölçümleri incelendiğinde, koruma kimyasalı konsantrasyonundaki sınır aşımı ve azalmaların etkisi ile kısa bir süre Fe oranında artış gözlenmiş ve ilave koruyucu kimyasal dozaj miktarının düzenlenmesi ile sınır değerler içerisine alınmaya çalışılmıştır.

İşletme ve bakım maliyetlerini arttıran korozyon ve birikinti oluşumunun engellenmesi için kimyasal koruma programına ara verilmeden devam ettirilmesi 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 .

Jones, D.R.H.(1997), "Corrosion of Central Heating System, Elsevier Science Ltd., 1350-6307(97)900009-5.

Cerit, A.M. (1994), Mama Mühendisliği El Kitabı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İstanbul, Cilt-1.

Dillon, C.P. , Şener, S. ve Atadal, A.R. (1997), Korozyonu Önleme ve Kontrol Metodları, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara.

Doruk, M. (1982), Korozyon ve Önlenmesi, ODTÜ Mühendislik Fakültesi Yayını, Ankara.

Erbil, M., (1984). Korozyon 1-2, Segem, Ankara.

Genceli, F. O., (1997), Buhar Kazanları Konstrüksiyon ve Yardımcı Elemanları, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.

Görenler, A., (2007), Al-Si Matrisli Kompozit Malzemelerin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hartwick, D. (2001), "Water Treatment In Closed System" , Ashrae Journal.

Jones, D.R.H., (1997), "Corrosion of Central Heating Systems", Engineering Failure Analysis, 1350-6307(97)00009-5.

Kıncay, O., Ağustos, H., Akbulut, U., Kürelçi, A. (2008), "Kapalı Devre Mekanik Tesisatlarda Korozyon-1", Tesisat Dergisi, 152: 48-56.

Kıncay, O. , Ağustos, H. , Çelebi, S. (2009), "Kapalı Devre Mekanik Tesisatlarda Korozyon Koruma Programı ve Bir Yapıda Uygulanması", TTMD Dergisi.

Korozyon Derneği (1994), Korozyon Sempozyumu, İstanbul, 25-27 Ekim 1994.

Szabo, A., Varga, K., Nement, Z., Rado, K., Oravetz, D., Mako, K.E., Homonnay, Z., Kuzmann, E., Tilky, P., Schunk, J., Patek, G. (2005), "Effect of A Chemical Decontamination Procedure On The Corrosion State of The Heat Exchanger Tubes of Steam Generators", Elsevier Science Ltd. , 48(2006)2727-2749.

Şengil, İ.A. (1992), Korozyon, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.

Tu. S.T., Zhang, W.W. (1999), "Corrosion Failures of High Temperature Heat Pipes", Engineering Failure Analysis, 6(1999)363-370.

Yalçın, H., Koç, T., 'Katodik Koruma', Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını, 1999.

Yalçın, H. ve Koç, T. (1997), Mühendisler İçin Korozyon, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Kimya Mühendisleri Odası, Ankara.

Yüksek, E., (2005), Çelik Malzemelerin Aşınma ve Korozyon Davranışını Arttırmak için Çeşitli Kimyasal Kaplamaların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[1] www.corrosion.ksc.nasa.gov

[2] www.octane.nmt.edu

[3] www.cdcorrosion.com

[4] www.aluminium.matter

[5] www.clihouston.com

[6] www.corrosionlab.com

[7] www.corrosion-doctors.org

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

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 13.07.1983

Doğum yeri İstanbul

Lise 1997-2001 Beyoğlu Fındıklı Lisesi

Lisans 2001-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2006- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı-Proses Programı

Çalıştığı kurumlar

2008- GN Mühendislik Taahhüt Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.