

**IO-540-C4D5D TİPİ UÇAK MOTORLARINDA
KOROZYON PROBLEMLERİ VE KONTROL
SÜREÇLERİ**

Duran ÇALIŞIR
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı
Haziran – 2001

1y TL 2001. 234

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Duran Çalışır'ın IO-540-C4D5D Tipi Uçak Motorlarında Korozyon Problemleri ve Kontrol Süreçleri başlıklı **Sivil Havacılık Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 06/08/2001** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof.Dr. T.HİKMET KARAKOÇ	
Üye	: Yrd.Doç.Dr. SUAT CANARSLAN	
Üye	: Yrd.Doç.Dr. MELİH KUŞHAN	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~08.08.2001.~~ tarih ve ~~25/9~~... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Osman AZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
MÜDÜRÜ

Anadolu Üniversitesi
Diyadin Kütüphanesi

ABSTRACT
Master of Science Thesis

**CORROSION PROBLEMS IN IO-540-C4D5D TYPE
AIRCRAFT ENGINES AND CONTROL PROCESSES**

DURAN ÇALIŞIR

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Aviation Program**

**Supervisor: Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ
2001, page 130**

Tendency of transition to stable structure of the elements is the source of chemical reactions and electrochemical events. These reactions and events are point of motion in mechanism of formation of corrosion. So, corrosion can be described as reacting of metals and/or metal alloys with their surroundings electrochemically and for this reason vanishing completely or changing of physical characteristics badly. Although this description is limited with metals, corrosion engineering examine corrosion taking by metals and nonmetals into consideration. Corrosion is a dynamic process and is effective in a large area and it causes important problems in all industrial fields. Because there are many factors that effect corrosion and with today's technology, it is impossible to prevent corrosion completely. Therefore, to take measures that minimise the formation of corrosion is reasonable.

The aim of the study is to prepare a document as a guide for the engineers and technicians about maintenance-repair activities against corrosion problems in aviation industry with updated literature search about corrosion.

Theoretical background to corrosion, corrosion problems examined in IO-540-C4D5D aircraft engine and evaluations of these examinations are given.

Keywords : Corrosion, Thermodynamics of Corrosion, Pourbaix Diagrams, Kinetics of Corrosion, Maintenance-Repair

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**IO-540-C4D5D TİPİ UÇAK MOTORLARINDA
KOROZYON PROBLEMLERİ VE KONTROL SÜREÇLERİ**

DURAN ÇALIŞIR

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ
2001, 130 Sayfa**

Termodinamik açıdan serbest enerji değişimiyle ifade edilen elementlerin kararlı yapıya geçme eğilimi, kimyasal tepkimelerin ve elektrokimyasal olayların kaynağını oluşturmaktadır. Bu tepkime ve olaylar ise korozyonun oluşum mekanizmasının ifadesinde hareket noktasıdır. Buna göre korozyon metal ve/veya alaşımların içinde buldukları ortam ile elektrokimyasal tepkimeye girmeleri ve bundan dolayı ya tamamen yok olmaları yada fiziksel özelliklerinde kötü yönde değişiklikler olması biçiminde tanımlanabilir. Bu tanımlama metaller ile sınırlandırılrsa da, korozyon mühendisliği metallerin yanı sıra metal olmayan materyalleri de göz önüne alarak korozyonu incelemektedir. Korozyon dinamik bir süreç olup, çok büyük bir alanda etkili olmaktadır ve bütün endüstri dallarında önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu sorunun tamamen üstesinden gelmek mümkün değildir. Çünkü korozyon olayını etkileyen birçok etken vardır ve bugünkü teknolojiyle bu etkenlerin tamamını engellemek mümkün olmamaktadır. Korozyon olgusunda akılcı olan korozyonun oluşumunu minimuma indirecek tedbirleri almaktır.

Bu çalışmada korozyon hakkında güncellenmiş bir literatür taraması yapılarak havacılık endüstrisinde korozyon sonucu oluşan problemlere karşı yürütülen bakım-onarım faaliyetleriyle ilgili mühendis ve teknisyenlere topluca bilgi verecek bir el kitapçığı biçiminde doküman ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Bu amaçla korozyon hakkında teorik bilgilere yer verilmiş ve IO-540-C4D5D tipi uçak motorunda korozyon problemleri ve bu problemlerin değerlendirmesi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler : Korozyon, Korozyon Termodinamiği, Pourbaix Diyagramları,
Korozyonun Kinetiği, Bakım-Onarım**

ABSTRACT
Master of Science Thesis

**CORROSION PROBLEMS IN IO-540-C4D5D TYPE
AIRCRAFT ENGINES AND CONTROL PROCESSES**

DURAN ÇALIŞIR

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Aviation Program**

**Supervisor: Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ
2001, page 130**

Tendency of transition to stable structure of the elements is the source of chemical reactions and electrochemical events. These reactions and events are point of motion in mechanism of formation of corrosion. So, corrosion can be described as reacting of metals and/or metal alloys with their surroundings electrochemically and for this reason vanishing completely or changing of physical characteristics badly. Although this description is limited with metals, corrosion engineering examine corrosion taking by metals and nonmetals into consideration. Corrosion is a dynamic process and is effective in a large area and it causes important problems in all industrial fields. Because there are many factors that effect corrosion and with today's technology, it is impossible to prevent corrosion completely. Therefore, to take measures that minimise the formation of corrosion is reasonable.

The aim of the study is to prepare a document as a guide for the engineers and technicians about maintenance-repair activities against corrosion problems in aviation industry with updated literature search about corrosion.

Theoretical background to corrosion, corrosion problems examined in IO-540-C4D5D aircraft engine and evaluations of these examinations are given.

Keywords : Corrosion, Thermodynamics of Corrosion, Pourbaix Diagrams, Kinetics of Corrosion, Maintenance-Repair

**IO-540-C4D5D TİPİ UÇAK MOTORLARINDA
KOROZYON PROBLEMLERİ VE KONTROL
SÜREÇLERİ**

Duran ÇALIŞIR
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı
Haziran – 2001

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Duran Çalışır'ın IO-540-C4D5D Tipi Uçak Motorlarında Korozyon Problemleri ve Kontrol Süreçleri başlıklı Sivil Havacılık Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 06/08/2001 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof.Dr. T.HİKMET KARAKOÇ	
Üye	: Yrd.Doç.Dr. SUAT CANARSLAN	
Üye	: Yrd.Doç.Dr. MELİH KUŞHAN	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**IO-540-C4D5D TİPİ UÇAK MOTORLARINDA
KOROZYON PROBLEMLERİ VE KONTROL SÜREÇLERİ**

DURAN ÇALIŞIR

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ
2001, 130 Sayfa**

Termodinamik açıdan serbest enerji değişimiyle ifade edilen elementlerin kararlı yapıya geçme eğilimi, kimyasal tepkimelerin ve elektrokimyasal olayların kaynağını oluşturmaktadır. Bu tepkime ve olaylar ise korozyonun oluşum mekanizmasının ifadesinde hareket noktasıdır. Buna göre korozyon metal ve/veya alaşımların içinde buldukları ortam ile elektrokimyasal tepkimeye girmeleri ve bundan dolayı ya tamamen yok olmaları yada fiziksel özelliklerinde kötü yönde değişiklikler olması biçiminde tanımlanabilir. Bu tanımlama metaller ile sınırlandırılrsa da, korozyon mühendisliği metallerin yanı sıra metal olmayan materyalleri de göz önüne alarak korozyonu incelemektedir. Korozyon dinamik bir süreç olup, çok büyük bir alanda etkili olmaktadır ve bütün endüstri dallarında önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu sorunun tamamen üstesinden gelmek mümkün değildir. Çünkü korozyon olayını etkileyen birçok etken vardır ve bugünkü teknolojiyle bu etkenlerin tamamını engellemek mümkün olmamaktadır. Korozyon olgusunda akılcı olan korozyonun oluşumunu minimuma indirecek tedbirleri almaktır.

Bu çalışmada korozyon hakkında güncellenmiş bir literatür taraması yapılarak havacılık endüstrisinde korozyon sonucu oluşan problemlere karşı yürütülen bakım-onarım faaliyetleriyle ilgili mühendis ve teknisyenlere topluca bilgi verecek bir el kitapçığı biçiminde doküman ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Bu amaçla korozyon hakkında teorik bilgilere yer verilmiş ve IO-540-C4D5D tipi uçak motorunda korozyon problemleri ve bu problemlerin değerlendirmesi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler : Korozyon, Korozyon Termodinamiği, Pourbaix Diyagramları,
Korozyonun Kinetiği, Bakım-Onarım**

ABSTRACT
Master of Science Thesis

**CORROSION PROBLEMS IN IO-540-C4D5D TYPE
AIRCRAFT ENGINES AND CONTROL PROCESSES**

DURAN ÇALIŞIR

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Aviation Program**

**Supervisor: Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ
2001, page 130**

Tendency of transition to stable structure of the elements is the source of chemical reactions and electrochemical events. These reactions and events are point of motion in mechanism of formation of corrosion. So, corrosion can be described as reacting of metals and/or metal alloys with their surroundings electrochemically and for this reason vanishing completely or changing of physical characteristics badly. Although this description is limited with metals, corrosion engineering examine corrosion taking by metals and nonmetals into consideration. Corrosion is a dynamic process and is effective in a large area and it causes important problems in all industrial fields. Because there are many factors that effect corrosion and with today's technology, it is impossible to prevent corrosion completely. Therefore, to take measures that minimise the formation of corrosion is reasonable.

The aim of the study is to prepare a document as a guide for the engineers and technicians about maintenance-repair activities against corrosion problems in aviation industry with updated literature search about corrosion.

Theoretical background to corrosion, corrosion problems examined in IO-540-C4D5D aircraft engine and evaluations of these examinations are given.

Keywords : Corrosion, Thermodynamics of Corrosion, Pourbaix Diagrams, Kinetics of Corrosion, Maintenance-Repair

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluşmasında öncelikle tez danışmanım Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç'a, Sivil Havacılık Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hidayet Buğdaycı'ya ve Yard. Doç. Dr. Suat Canarlan'a teşekkür ederim.

Tezin uygulama aşamasında Sayın Hasan Keskin'in namında, Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Uçak Bakım Merkezi çalışanlarına teşekkür ederim.

Tezi hazırlarken bana yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Gürkan Açıkel, Eyüp Yıldız, Aydın Kurt ve diğer mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim süresince okul ve sıra arkadaşlarımdan Önder Turan ve Selahattin Gökdeniz'e teşekkürlerimi bildiririm.

Son olarak bütün uğraşımın her aşamasında ve yaşamım boyunca bana her konuda destek olan değerli ağabeyim Mehmet Çalışır, ailem ve sevgili eşim Semra'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1
1.2. Korozyonun Sınıflandırması	7
1.3. Korozyonun Oluşumuna Etki Eden Faktörler	7
1.3.1. Elektrokimyasal etkenler	7
1.3.2. Fiziksel etkenler	9
1.3.3. Çevresel etkenler	11
2. KOROZYONUN TERMODİNAMİK YÖNÜ	14
2.1. Elektrokimyasal Termodinamiğin Korozyona Uygulanması	16
2.2. Potansiyel-pH (Pourbaix) Diyagramları	17
2.2.1. Potansiyel-pH diyagramlarında bölgelerin anlamları	20
2.2.2. Diyagramların yararları ve sınırları	23
2.2.3. Çeşitli metallerin potansiyel-pH diyagramları ve korozyon özellikleri	24
2.2.3.1. Alüminyum	25
2.2.3.2. Magnezyum	26
2.2.3.3. Demir	27
2.2.3.4. Nikel	28
2.2.3.5. Krom	29

3. KOROZYONUN ELEKTROKİMYASAL KINETİĞİ	30
3.1. Elektrokimyasal Hücre	31
3.1.1. Elektrokimyasal hücre ve korozyon hücresi	32
3.1.2. Elektrokimyasal hücre potansiyeli ve EMK dizisi	33
3.2. Karma Potansiyel Kuramı	36
3.2.1 Korozyon potansiyelini değiştiren etkenler	36
3.2.2 Aşımaların değerlendirilmesi	37
3.3. Aktiflik-Pasiflik	37
3.4. Korozyon Hızı ve Ölçme Yöntemleri	37
4. KOROZYON ÇEŞİTLERİ	45
4.1. Genel (Homojen Dağılımlı) Korozyon	45
4.2. Atmosferik Korozyon	46
4.3. Çukurcuk Korozyonu	50
4.4. Hidrojen Hasarı	52
4.5. Erozyon	54
4.6. Oyuk Açma Korozyonu (Kavitasyon)	57
5. KOROZYONA YÖNELİK BAKIM SÜREÇLERİ	59
5.1. Korozyon Tespit Yöntemleri	59
5.1.1. Göz kontrolü	60
5.1.2. Sıvı penetranla kontrol	62
5.1.3. Boroskop kontrolü	63
5.1.4. Ultrasonik test	63
5.1.5. Akustik emisyon testi	64
5.1.6. Manyetik parçacıklarla kontrol	64
5.1.7. Girdap akımları yöntemiyle kontrol	65
5.1.8. Radyografi	66
5.1.9. Nötron radyografisi	67
5.1.10. Kızılötesi termografi	68
5.1.11. Metalografi	68

5.2. Korozyona Karşı Alınabilecek Önlemler	70
5.2.1. Tasarım aşamasında alınabilecek önlemler	71
5.2.2. Korozif ortamın saldırganlığını azaltıcı önlemler	74
5.2.3. Koruyucu bakım	76
5.2.4. Katodik-anodik koruma	77
5.2.5. Kaplamalar	80
5.2.5.1. Metalik ve inorganik kaplamalar	81
5.2.5.2. Organik kaplamalar	83
5.2.5.3. Fosfat kaplama	83
5.2.6. Korozyon önleyici kimyasallar	86
5.2.7. Korozyon çeşidine göre alınabilecek önlemler	88
5.2.7.1. Çukurcuk korozyonuna karşı önlemler	88
5.2.7.2. Hidrojen hasarına karşı önlemler	88
5.2.7.3. Erozyona karşı önlemler	89
5.2.7.4. Oyuk açma korozyonuna karşı önlemler	90
5.2.7.5. Atmosferik korozyona karşı önlemler	90
5.3. Korozyon Problemlerini Giderme Teknikleri	91
5.3.1. Mekanik ve kimyasal temizleme	91
5.3.2. İmalat yada revizyon işlemi sırasında kullanılan özel teknikler	93
5.3.2.1. Bilyeli dövme	93
5.3.2.2. Taşlama	93
5.3.2.3. Hassas taşlama	93
5.3.4. Havacılıkta kullanılan bazı temel malzemelerde uygulanan yöntemler	96
5.3.4.1. Alüminyum malzemeler	96
5.3.4.2. Magnezyum malzemeler	98
5.3.4.3. Demir esash malzemeler	99

6. GÖZLEM ve BULGULAR	101
6.1. Textron Lycoming IO-540-C4D5D Tipi Uçak Motorlarında Korozyon Prosesleri	103
6.1.1. Temizleme	104
6.1.1.1. Yağdan arındırma	104
6.1.1.2. Sert karbon birikintilerinin giderilmesi	105
6.1.1.3. Kumlama	105
6.1.2. Kontrol	106
6.1.3. Olası korozyon bölgeleri	107
6.1.3.1. Yatak yüzeyleri	108
6.1.3.2. Dişliler	109
6.1.3.3. Piston ve elemanları	110
6.1.3.4. Krank mili ve kam mili	112
6.1.3.5. Hidrolik supap iticileri	113
6.1.3.6. Vidalı bağlantılar	113
6.1.4. Tamir ve değişim prosedürleri	114
6.1.5. Stokajlama işlemi	116
6.2. Elde Edilen Bulgular	117
6.2.1. Pistonlar	117
6.2.2. Hidrolik supap itici gövdesi	118
6.2.3. İtici çubuklar	120
6.2.4. Silindirler	120
6.2.5. Kam mili ve krank mili	121
6.2.6. Yataklar	121
7. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ	122
8. KAYNAKLAR	128

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1. Bilim ve mühendislik alanı olarak korozyon ve ilgili diğer alanlar	5
1.2. Korozyon modellemenin etkenleri	6
1.3. Bir metalin korozyon direncini etkileyen faktörler	6
1.4. Sülfürik asidin etkisiyle tahrip olmuş bir vana	8
1.5. Korozyon hızına ortamın hızının etkileri	10
1.6. Korozyon hızına sıcaklığın etkileri	11
1.7. Yüksek sıcaklığa maruz kalmış ısıtıcı boruların hasarlanıp kullanılamaz hale gelmiş görünümü	12
2.1. Devam eden bir korozyon tepkimesinin serbest enerji değişiminin farklı yollarla mekanik benzeşimi	15
2.2. Fe-H ₂ O sistemi için potansiyel-pH diyagramı	21
2.3. Potansiyel-pH diyagramının korozyon problemine uygulanışının Fe-H ₂ O sisteminde gösterimi	22
2.4. Alüminyum için potansiyel-pH diyagramı	25
2.5. Magnezyum için potansiyel-pH diyagramı	26
2.6. Demir için potansiyel-pH diyagramı	27
2.7. Nikel için potansiyel-pH diyagramı	28
2.8. Krom için potansiyel-pH diyagramı	29
3.1. Basit bir elektrokimyasal pilin yapısı	30
3.2. Elektro-kimyasal korozyon hücre elemanları	33
3.3. Aktif pasif metalin korozyon karakteristikleri	39
3.4. Korozyon oranına havalandırma ve oksitleyicilerin etkisi	40
4.1. Bir ateşleme ünitesi olan manyetoda elektrik iletim ünitelerinde görülen korozyon hasarı	45
4.2. Alüminyum alaşımlı petek (honeycomb) yapıda tespit edilmiş hasar	46
4.3. Düşük alaşımlı bir çeliğin 15 yıl deniz (liman) bölgesinde kaldıktan sonraki görünümü	48

4.4. Oksitlenme eğrileri	49
4.5. Döküm magnezyum alaşımından oluşan kordon biçimindeki bir uçak elemanın son kısmındaki yoğun çukurcukların oluşturduğu hasar ...	51
4.6. Silindirik biçimli yağ tankının altında 10 yıl kullanım sonucu çukurcuklar üzerinde oluşan pas tortuları	51
4.7. F-110-GE-400 turbofan motoru fan hızlandırıcı transmitter ünitesinde rastlanan çukurcuk korozyonu hasarı	52
4.8. Hidrojen hasarına uğramış çelik parça	53
4.9. 4340 tipi çelikte bakır indüklenmesi sonucu oluşmuş metal gevrekleşmesi	54
4.10. Pirinç malzeme yüzeyinde at nalı izi şeklinde oluşan erozyon korozyonu	55
4.11. Erozyon korozyonuna uğramış türbin pallerinin görünümü	55
4.12. Eroziyon ortamlarda belli bir süre bulunan pompa pervanelerinin görünümleri	56
4.13. Kavite korozyonunun oluşum adımlarının şematik gösterimi	58
5.1. Komparatör ile korozyon derinliği ölçüm noktaları	60
5.2. Su ile yıkanıp temizleme yöntemiyle uygulanan penetran kontrolü aşamaları	62
5.3. Dairesel bir eleman üzerinde oluşturulan manyetik akı ve alan sonucu belirlenen süreksizlik bölgesinin şematik görünümü	64
5.4. Elektro manyetik alan oluşturan bir boyunduruğun kaynakla birleştirilmiş bir levha üzerinde oluşturduğu manyetik alanlar	65
5.5. $KClO_4$ çözeltisi kullanılarak demir yüzeyinde çekilen röntgen ve elektron fotoğraflar	66
5.6. Isıl nötron radyografisi alınan bir parçanın görüntüsü ve aynı elemanın geleneksel yöntemle elde edilen görüntüsü	68

5.7. 1040 tip karbon çeliğin a) 900 °C, b) 980 °C, c) 1095°C de ısıtılıp havayla soğutulmasıyla elde edilen 200 defa büyütülmüş metalografik mikro fotoğrafları	69
5.8. Al-13Si alaşımının iki farklı parlatma işleminden sonra 250 kat büyütülmüş yüzey fotoğrafları	69
5.9. Bir mühendislik materyalinin seçimini etkileyen faktörler	71
5.10. Sıvının kendi kendine boşalması ilkesine ters düşen ve uygun olan tasarım örnekleri	73
5.11. Aralık korozyonunu önleme bakımından kaynaklı bağlantılar için hatalı ve doğru tasarım örnekleri	73
5.12. Yavaşlatıcıların etkisini gösteren polarizasyon şemaları	75
5.13. Pasifleştirici miktarının korozyon hızına etkisi	75
5.14. Zemine döşenen boruların galvanik anotlarla korunması	78
5.15. Zemine döşenen boruların dıştan akım uygulanarak katodik korunması	78
5.16. İyi korozyon dayanımı olan ve gri renkli kristalin çinko fosfatın 250 defa büyütülmüş yüzey fotoğrafı	84
5.17. Oldukça ince kaplanmış demir fosfat kaplamanın 250 defa büyütülmüş yüzey fotoğrafı	85
5.18. Manganez fosfat kaplamanın 250 defa büyütülmüş yüzey fotoğrafı	85
6.1. TB-20 Trinidad uçağı	101
6.2. TB-20 tipi uçağı üzerine takılmış IO-540-C4D5D motoru	101
6.3. Altı silindirli 540 serisi Lycoming pistonlu uçak motoru	102
6.4. Altı silindirli bir uçak motorunun silindir muhafazası	103
6.5. Krank mili ve ilgili parçaları	103
6.6. Valf kenar kalınlıklarının kadranlı indikatörle kontrolü	106
6.7. Aşırı oksitlenme, hidrojen hasarı ve dökülmeden dolayı pimi çıkarılmadığı için kal olmuş piston pimi	107
6.8. Aşırı korozyondan dolayı hurdaya ayrılmış piston kolu	107

6.9. Olumsuz atmosferik etkiye maruz kalmış piston pimleri	108
6.10. Krank muhafazası içinde yatak oturum bölgesinde oluşmuş kazıma hasarı	108
6.11. Pistonlu motordan söküldükten sonra uygun olarak yapılmayan stokaj nedeniyle hasara uğramış krank şaft yatağında görülen yüzey korozyonu	109
6.12. Korozyona uğramış manyeto dişlisi	109
6.13. Revizyon esnasında oksitlenme ve çukurcuk korozyonundan dolayı kal edilmiş dişliler	110
6.14. Dışsal parçalardan olan volan dişlisinde görülen hasar	110
6.15. Piston iç yüzeyini saran koruyucu tabakanın tahrip olmuş hali	111
6.16. Piston kolunun iç çapında görülen titreşimden dolayı oluşmuş erozyon korozyonu	111
6.17. Krank mili pervaneye bağlanan ön boğaz kısmında çok yönlü yüklere atmosferik etkilere açık dışsal kısımlarda oluşmuş hasar	112
6.18. Kam mili uçlarında görülen oksitlenme	112
6.19. Hidrolik supap itici gövdelerinin yüzeyi üzerinde oluşan tahribatın aşamaları (a. Çöküntü başlangıcı b.İlerlemiş çöküntü c.kötüleşmiş çöküntü)	113
6.20. Silindir eteği iç çapında piston halkalarının sürtünmesinden dolayı görülen kaviteasyon ve erozyon korozyonu	114
6.21. Emme manifoldu borusunda koruyucu primer boya tabakası eksikliğinden dolayı oluşmuş hasar	115
6.22. Magnezyum esaslı malzemedenedimal edilmiş manifold elemanların koruyucu astar tabakanın oluşturmadan yapılan muhafazadan dolayı oluşmuş hasar (Gasket ve çukurlaşma korozyonu)	115
6.23. Piston üst yüzeyinde görülen dökülme korozyonu	117
6.24. Piston iç yüzeylerinde oluşmuş genel yüzey ve çukurcuk korozyonu	118
6.25. Kam mili uçlarının çarpmasıyla hidrolik supap itici gövdesinde oluşmuş kaviteasyon	119

6.26. Piston pimi asamblesinde oluşmuş hasar	119
6.27. Koruyucu yüzey kaplamanın buzulmasıyla itici çubuğun ucunda oluşmuş çukurcuklar	120
6.28. Magnezyum esaslı malzemedden imal edilmiş silindir başı egzoz çıkışlarında oluşmuş korozyon tortuları	121

ÇİZELGELER DİZİNİ

1.1. Elementlerin Periyodik Cetveli	3
1.2. Sık kullanılan korozyon büyüklükleri ve birimleri	4
1.3. Gaz türbinlerinin sıcak bölgelerindeki elemanlarının korozif çevre şartları ve hasarın yapısı	13
2.1. Potansiyel – pH diyagramlarında dikkate alınacak unsurlar	22
2.2. Çeşitli ortamlar içinde alüminyumun korozyon direnci	25
2.3. Çeşitli ortamlar içinde magnezyumun korozyon direnci	26
2.4. Çeşitli ortamlar içinde demirin korozyon direnci	27
2.5. Çeşitli ortamlar içinde nikelin korozyon direnci	28
2.6. Çeşitli ortamlar içinde kromun korozyon direnci	29
3.1 Elektrokimyasal Gerilim Dizisi	35
3.2. Bazı iyonların aktiflik sıralaması	37
3.3. Mühendislik uygulamaları için korozyon hızlarını karşılaştırmada kullanılan anlatımlar	41
3.4. Yılda mil (mpy) incelme hızlarının eşdeğerleri olan metrik sistemle karşılaştırılması	43
4.1. Atmosferik kirliliğe temel oluşturan bileşikler ve buldukları bölgeler	47
4.2. Korozif etkiye sahip atmosfer tipleri	47
4.3. Üç tip atmosfer şartlarında 10 yıl ve 20 yıl etkiye maruz bırakılan çeşitli metallerin ortalama korozyon oranları	48
5.1. Metallerin korozyonu sonucunda ortaya çıkan korozif ürünlerin görünümü ve doğası	61
5.2. Elektromanyetik tayfta (spektrum) bulunan dalgaların frekans, dalga boyu ve foton enerjileri	67
5.3. Korozyona dayanıklı çelik, magnezyum ve alüminyum için tipik koruyucu önlemler	72
5.4. Anodik ve Katodik Önlemenin Karşılaştırması	80

5.5. Ülkemizde havacılık endüstrisinde korozyona karşı dayanıklılığı artırmak için kullanılan kaplama tipleri	81
5.6. Uçaklarda korozyon gidermede kullanılan malzemeler ve kullanım amaçları	94
5.7. Uçak yapı elemanlarında kullanılan malzemeler	96

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ΔG	: Serbest enerji değişimi
P	: Basınç
C	: Derişim
E	: Elektrot potansiyeli
n_A	: A tepkeninin mol sayısı
n_B	: B tepkeninin mol sayısı
n_C	: C tepkime ürününün mol sayısı
n_D	: D tepkime ürününün mol sayısı
R	: İdeal gaz sabiti
T	: Mutlak sıcaklık
A	: Tepken ve tepkime ürünlerinin aktiflik miktarı
K	: Denge sabiti
ΔG^0	: Standart serbest entalpile göre hesaplanan serbest enerji değişimi
N	: Mol sayısı
F	: Faraday sabiti
Q	: Aktiflik oranı
E^0	: Standart elektromotor kuvveti
E_d	: Denge potansiyeli
I	: Tepkime akımı
I_0	: Tepkime akım yoğunluğu
α_a ve α_c	: Tafel eğrisi transfer katsayıları
mpy	: yıl başına mil
W	: mg cinsinden ağırlık kaybı
D	: Yoğunluk
A	: Alan
T	: Zaman
CR	: Korozyon oranı
Δm	: Toplam ağırlık kaybı
I_{kor}	: Korozyon tepkimesi akım yoğunluğu
EW	: Moleküler ağırlık

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Bir maddenin çevresindeki etkenler ile tepkimeye girerek tahrip olması ya da yapısının kötüleşmesi genel bir korozyon tanımıdır. Teknik açıdan diğer bir tanımlamaya göre ise korozyon, metalleri tuz ve oksitlere ayırıştırarak karmaşık elektro kimyasal olay olarak adlandırılmaktadır. Diğer bir tanımlamaya göre korozyon; metal veya alaşımların içinde buldukları ortam ile elektro-kimyasal reaksiyona girmeleri ve bundan dolayı ya tamamen yok olmaları ya da fiziksel özelliklerinde kötü yönde değişiklikler olmasıdır. Bu tanımlamalara göre korozyon, katı metalin yüzeyinde bulunan atomların bir cisimle teması sonucu meydana gelen kimyasal ya da elektro-kimyasal olaylar zinciridir denilebilir. Korozyon ortam genellikle sıvıdır, bunun yanında ortam gaz ya da katı da olabilmektedir.

Bazen bu tanımlama metaller ile sınırlandırılrsa da, korozyon mühendisliği metallerin yanı sıra metal olmayan materyalleri de göz önüne alarak korozyonu incelemektedir. Korozyon dinamik bir süreç olup, çok büyük bir alanda etkili olmaktadır. Bu nedenle korozyonu incelerken seramik, plastik, kauçuk ve diğer metal olmayan maddelerin de hesaba katılması gerekir.

Soy metaller dışında bütün metaller korozyona uğrarlar. Oksitlenme ile metal yüzeyinde oluşan bileşiğe korozyon ürünü denir. Demir esaslı alaşımlar üzerindeki korozyon kalıntıları genellikle kırmızımsı paslardır. Alüminyum ve magnezyum üzerindeki korozyon ürünleri ise beyaz veya gri toz görünümündedir.

Korozyon, bütün endüstri dallarında önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu sorunun tamamen üstesinden gelmek mümkün değildir. Çünkü korozyon olayını etkileyen birçok etken vardır ve bugünkü teknolojiyle bu etkenlerin tamamını engellemek mümkün olmamaktadır. Korozyon olgusunda akılcı olan korozyonun oluşumunu minimuma indirecek tedbirleri almaktır. Bu tedbirleri alabilmek için korozyonun oluşum mekanizması hakkında altyapı bilgisine sahip olunması havacılık endüstrisinde çalışan mühendis ve teknisyenlere avantaj sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde korozyonun tanımı, sınıflandırması ve korozyonun etkenlerine; ikinci bölümünde özellikle Pourbaix Diyagramlarına yer verilerek korozyonun termodinamik yönüne; üçüncü bölümünde de karma potansiyel kuramı üzerinde durularak korozyonun kinetiğine değinilmektedir. Havacılık endüstrisinde sık rastlanan korozyon türlerinden bazıları dördüncü bölümü oluşturmaktadır. Beşinci bölümde havacılık endüstrisinde korozyon problemlerine yönelik tespit yöntemleri, alınabilecek önlemler ve giderme tekniklerinden bahsedilmektedir. Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu envanterinde bulunan TB-20 uçaklarında kullanılan Textron Lycoming IO-540-C4D5D tipi pistonlu uçak motorundaki korozyon prosesleri ve yapılan gözlem sonucu elde edilen bulgular altıncı bölümün ana başlıklarını oluşturmaktadır. Yedinci bölümde ise yapılan gözlemde elde edilen bulgulara göre bir değerlendirme yapılmaktadır.

Tezin amacı, korozyon hakkında güncellenmiş bir literatür taraması yapılarak havacılık endüstrisinde korozyon sonucu oluşan problemlere karşı yürütülen bakım-onarım faaliyetleriyle ilgili mühendis ve teknisyenlere topluca bilgi verecek bir el kitapçığı biçiminde doküman ortaya koymak olarak açıklanabilir.

Doğada bulunan bütün bileşik ve moleküllerin yapı taşı olan elementlerin kimyasal özelliklerine göre oluşturulmuş tablo periyodik cetvel olarak adlandırılmaktadır ve aşağıdaki çizelgede görülmektedir (Çizelge 1.1). Bu cetvelde her element için ayrılan bölümde atom numarası, elementlerin sembolü, atom ağırlığı, elektron dağılımı ve düzeyi belirtilmektedir. Korozyon oluşumunda ışık tutacak unsurlar oksitlenme düzeyleri ve elektron dağılımlarıdır. Çünkü, termodinamik açıdan serbest enerji değişimiyle ifade edilen elementlerin kararlı yapıya geçme eğilimi yani soy metallerin halini alma isteği, kimyasal tepkimelerin ve elektrokimyasal olayların kaynağını oluşturmaktadır. Bu tepkime ve olaylar ise korozyonun oluşum mekanizmasının ifadesinde hareket noktasıdır. Ayrıca çizelge 1.1'deki kutucukların en üst satırda belirtilen gruplar bileşik oluşumunda temel bilgileri vermektedir. Bu cetvelde atom ağırlıkları parantez içinde verilen elementler için bu ifade aynı zamanda o elementin izotop ağırlığıdır. [1]

Çizelge 1.1. Elementlerin Periyodik Cetveli [1]

Metaller																		Ametaller						
I ^a	II ^a	III ^b	IV ^b	V ^b	VI ^b	VII ^b	VIII	IX ^a	X ^a	III ^a	IV ^a	V ^a	VI ^a	VII ^a	0	Orbit								
I +1 H -1 1,0079 1																2 0 He 4,00260 2	K							
3 +1 Li	4 +2 Be																5 +3 B	6 +2 C	7 +1 N	8 -2 O	9 -1 F	10 0 Ne	K-L	
		Atom No → 50		Oksidlenme Düzeyleri → +2		Sembol → Sn		Elektron Dağılımı → -18-18-4																
		Atom Ağırlığı → 118.69																						
6,939 2-1	9,0112 2-2																10,81 2-3	12,011 2-4	14,0067 2-5	15,9994 2-6	18,998403 2-7	10,17 2-8		
11 +1 Na	12 +2 Mg																13 +3 Al	14 +2 Si	15 +3 P	16 +4 S	17 -1 Cl	18 0 Ar	K-L-M	
		Gecis Elementleri																						
22,9898 2-8-1	24,312 2-8-2																26,98154 2-8-3	28,08 2-8-4	30,97376 2-8-5	32,06 2-8-6	35,453 2-8-7	39,948 2-8-8		
19 +1 K	20 +2 Ca	21 +3 Sc	22 +2 Ti	23 +2 V	24 +2 Cr	25 +2 Mn	26 +2 Fe	27 +2 Co	28 +2 Ni	29 +1 Cu	30 +2 Zn	31 +3 Ga	32 +2 Ge	33 +3 As	34 +4 Se	35 -1 Br	36 0 Kr	L-M-N						
39,09 -8-8-1	40,08 -8-8-2	44,9559 -8-9-2	47,9 -8-10-2	50,941 -8-11-2	51,996 -8-13-1	54,9380 -8-13-2	55,847 -8-14-2	58,9332 -8-15-2	58,71 -8-16-2	63,54 -8-18-1	65,38 -8-18-2	59,72 -8-18-3	72,59 -8-18-4	74,9216 -8-18-5	78,96 -8-18-5	79,904 -8-18-7	83,80 -8-18-8							
37 +1 Rb	38 +2 Sr	39 +3 Y	40 +4 Zr	41 +3 Nb	42 +6 Mo	43 +4 Tc	44 +3 Ru	45 +3 Rh	46 +2 Pd	47 +1 Ag	48 +2 Cd	49 +3 In	50 +2 Sn	51 +3 Sb	52 +4 Te	53 +1 I	54 0 Xe	M-N-O						
85,467 -18-8-1	87,62 -18-8-2	88,9059 -18-9-2	91,22 -18-10-2	92,9064 -18-12-1	95,94 -18-13-1	98,9062 -18-13-2	101,07 -18-15-1	102,905 -18-16-1	106,4 -18-18-0	107,868 -18-18-1	112,40 -18-18-2	114,82 -18-18-3	118,69 -18-18-4	121,75 -18-18-5	127,60 -18-18-6	126,9045 -18-18-7	131,30 -18-18-8							
55 +1 Cs	56 +2 Ba	**La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	N-O-P						
132,9054 -18-8-1	137,3 -18-8-2	138,9054 -18-9-2	178,49 -32-10-2	180,948 -32-11-2	183,85 -32-12-2	186,207 -32-13-2	190,2 -32-14-2	192,9 -32-15-2	195,09 -32-16-2	196,9665 -32-18-1	200,59 -32-18-2	204,37 -32-18-3	207,19 -32-18-4	208,980 -32-18-5	(209) -32-18-6	(210) -32-18-7	(222) -32-18-8							
87 +1 Fr	88 +2 Ra	**Ac	Rf	Ha	106													O-P-Q						
(223) -18-8-1	226,0254 -18-8-2	(227) -18-9-2	(261) -32-10-2	(262) -32-11-2	(263) -32-12-2																			

Çizelge 1.1. (devamı)

	58 +3 +4	59 +3	60 +3	61 +3	62 +2 +3	63 +2 +3	64 +3	65 +3	66 +3	67 +3	68 +3	69 +3	70 +2 +3	71 +3	
*Lantanitler	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	N-O-P
	140,12 -20-8-2	140,9077 -21-8-2	144,24 -22-8-2	147 -23-8-2	150,4 -24-8-2	151,96 -25-8-2	157,25 -25-9-2	158,925 -27-8-2	162,50 -28-8-2	164,93 -29-8-2	167,26 -30-8-2	168,9342 -31-8-2	173,04 -32-8-2	174,967 -32-9-2	
	90 +4	91 +5	92 +3	93 +3	94 +3	95 +3	96 +3	97 +3	98 +3	99 +3	100 +3	101 +2	102 +2	103 +3	
**Aktinidler	Th	Pa +4	U +4	Np +4	Pu +4	Am +4	Cm +4	Bk +4	Cf	Es	Fm	Md +3	No +3	Lr	
	232,038 -18-10-2	231,0359 -20-9-2	238,029 -21-9-2	237,0482 -22-9-2	239,052 -24-8-2	(243) -25-8-2	(247) -25-9-2	(247) -27-8-2	(251) -28-8-2	(254) -29-8-2	(257) -30-8-2	(258) -31-8-2	(259) -32-8-2	(260) -32-9-2	O-P-Q

Korozyon olgusu irdelenirken sık kullanılan terimler sıralanacak olursa;

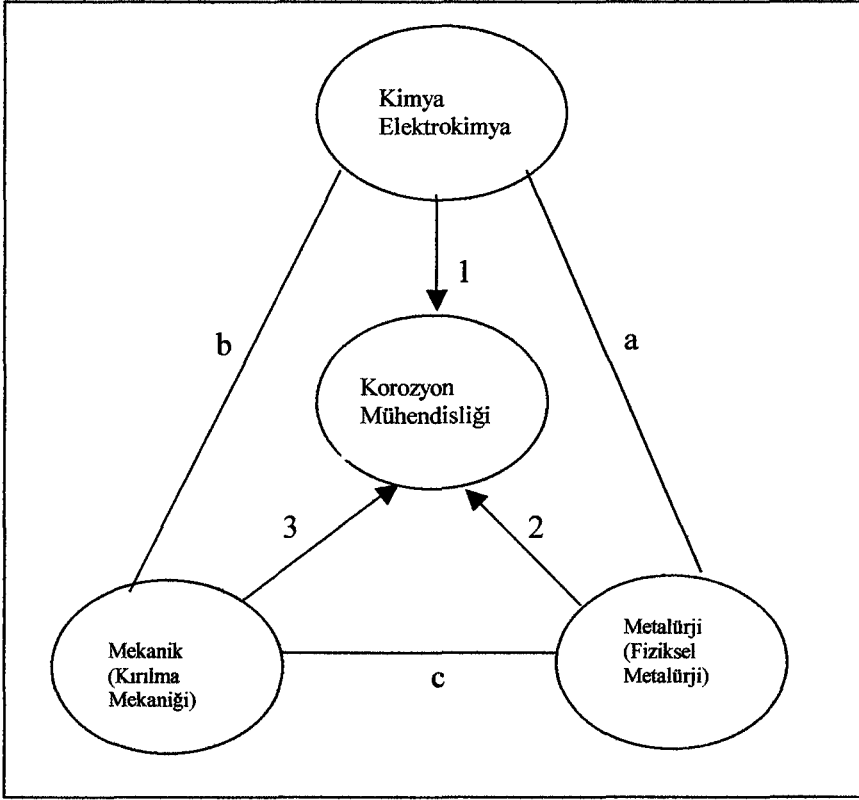
- Korozyon Kaybı: Birim alana düşen metal miktarı,
- Korozyon Hızı: Birim süre ve birim alana düşen metal miktarı,
- Doğrusal Korozyon Hızı: Birim süreye uyarlı yüzeyden taşınan tabaka kalınlığı,
- Korozyon Ömrü: Birim tabaka kalınlığına uyarlı süre olarak tanımlanabilir. [2]

Çizelge 1.2. Sık kullanılan korozyon büyüklükleri ve birimleri¹ [2]

Tanım	SI Birim Sistemi	İngiliz Birim Sistemi	Birimler Arası Çevrim Faktörü f=A/B
Korozyon Kaybı	g.m ⁻²	mg.dm ⁻² =md	0,1
Korozyon Hızı	g.m ⁻² .d ⁻¹	md.d ⁻¹ =mdd mg.cm ⁻² .h ⁻¹ g.m ⁻² .h ⁻¹	0,1 240 24
Doğrusal Korozyon Hızı	mm.yıl ⁻¹	in.y ⁻¹ =ipy	25,4
Korozyon Ömrü	Yıl.mm ⁻¹	y ⁻¹ .in-1	0,039

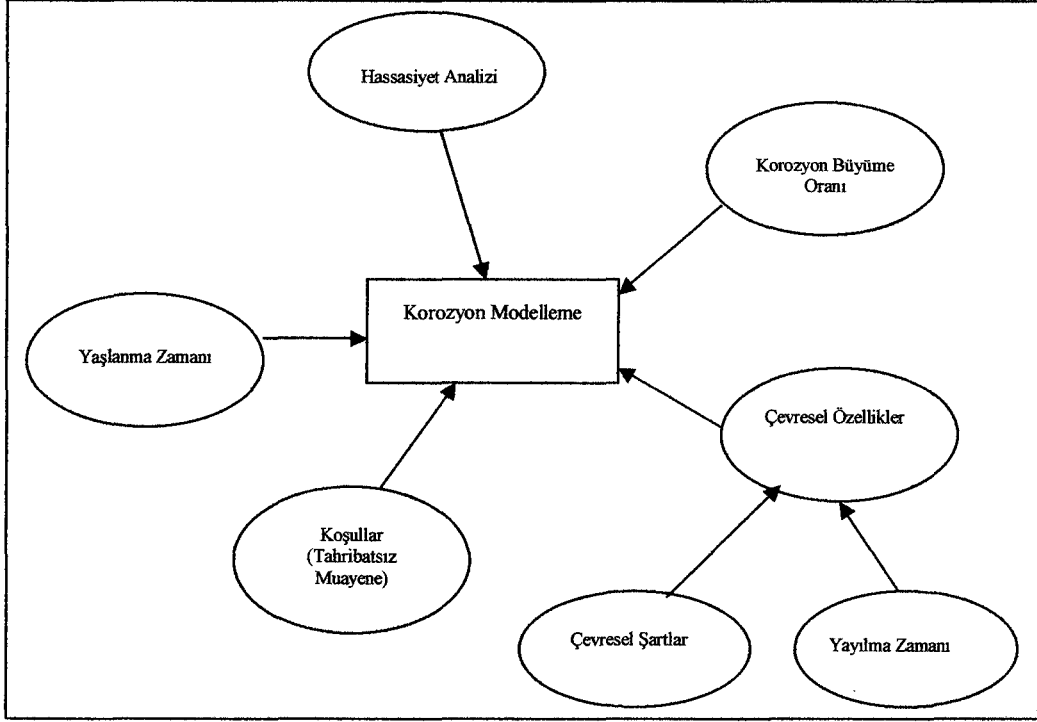
¹ Yukarıdaki çizelgede kullanılan notasyonlar ve birimlerle ilgili açıklamalar: h:saat, d:gün, md:desimetre kare başına miligram, mdd:gün ve desimetre kare başına miligram, ipy:yıl başına inç cinsinden aşınma.

Korozyonun mühendislik açısından ilgili alanları ve bu alanların bir biri ile olan ilişkileri şekil 1.1’de açıklanmaktadır. Buna göre korozyon mühendisliğine yapılan katkılar; kimyasal ve elektrokimyasal ilkeler, malzemelerde korozyon dayanımını belirleyen içsel etmenler, mekanik yükler ve gerilmeler başlıkları altında yapılmaktadır. Ayrıca bu alanların bir biri ile olan ilişkileri; genel korozyon, çevresel kırılganlık (gerilimli korozyon), mekanik davranış (mekanik özellikler, şekillendirme, çatlama) biçiminde nitelendirilebilir. [2]



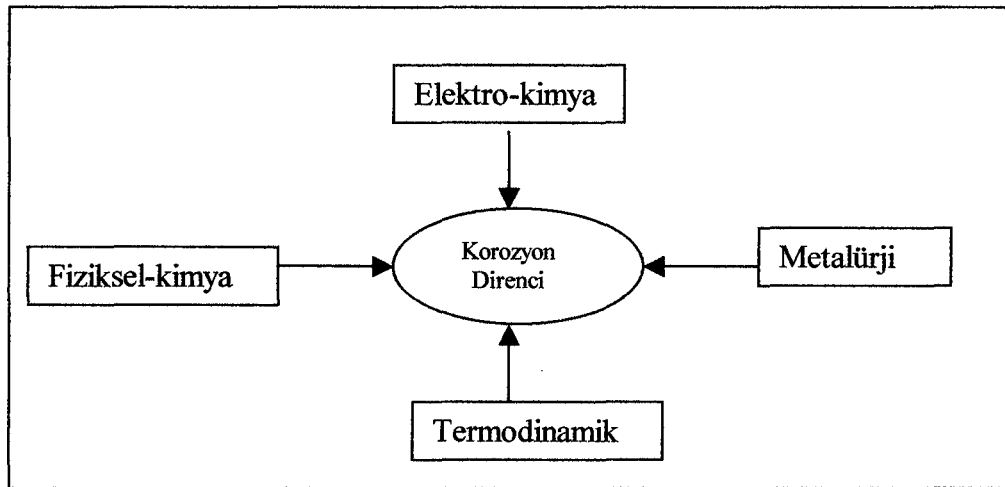
Şekil.1.1. Bilim ve mühendislik alanı olarak korozyon ve ilgili diğer alanlar [2]

Şekil 1.1’de korozyonun oluşumunun modellenmesindeki etkenler bir korozyon tahmini yapmamıza olanak sağlar. Bu yöntemle şu andaki korozyon hasarının tespiti sağlandığı gibi gelecekte oluşabilecek korozyonun etkilerini de önceden haber verilebilir. Bir ekonomik etki modeli çeşitli bakım faaliyetlerinin maliyet etkilerini önceden haber veren gövde modeli ile birleştirilebilir. Bu da korozyonun oluşumunu daha başta önleyebilecek bir mantık kurulmasını sağlayabilir. [3]



Şekil 1.2. Korozyon modellemenin etkenleri [3]

Metaller ve metal olmayan malzemelerin korozyona olan dayanıklılığı temelinde karşılaştırılırlar. Anlamalı bir kıyaslama yapabilmek için saldırı oranı her bir materyal için nicelik bakımından ifade edilmelidir.



Şekil 1.3. Bir metalin korozyon direncini etkileyen faktörler [4]

1.2. Korozyonun Sınıflandırması

Korozyon çok çeşitli biçimlerde sınıflandırılabilir. Bunlardan biri düşük ve yüksek sıcaklık altındaki korozyon olarak yapılan sınıflandırmadır. Diğer bir ayırım ise direk olarak birleşim (yada oksitlenme) ve elektrokimyasal korozyondur. Aşındırıcı bir materyalin direkt olarak etkisine maruz kalması sonucu kimyasal saldırı hasarları oluşurken, elektrokimyasal korozyon hasarının kaynağını farklı potansiyel elektrik yüklerinin davranışı oluşturur. [5]

Islak korozyon ve kuru korozyon tipleri olarak yapılan sınıflandırma tercih edilen sınıflandırmadır. Islak korozyon bir sıvı mevcut olduğunda meydana gelir. Bu genellikle sulu çözelti ya da elektrolitleri kapsar ve büyük miktarda oluşan korozyonu ifade etmektedir. Yaygın bir örnek çeliğin su ile korozyonudur. Kuru korozyon, sıvı fazın yokluğunda ya da çevre çığ noktasının üstündeysen meydana gelmektedir. Buharlar ve gazlar genellikle korozif özelliklidir. Kuru tip korozyon daima yüksek sıcaklık ile düşünülür. Bir örnek vermek gerekirse; kazan gazları tarafından çeliğin korozyona uğraması gösterilebilir. [4]

1.3. Korozyonun Oluşumuna Etki Eden Faktörler

Korozyon olayı dinamik bir döngü sürecidir. Yani her an her ortamda metal olan ya da olmayan materyaller korozif bir etkiye maruz kalabilirler. Korozif etkenleri elektrokimyasal, fiziksel ve çevresel olarak üç ana grup altında toplanabilir. [6]

1.3.1. Elektrokimyasal etkenler

Korozyonun büyük kısmını elektrokimyasal tepkimelerin sonucunda oluşan ürünlerin oluşturduğu bilinmektedir. Korozif etken madde ile korozyona uğraması olası materyal kimyasal tepkimeye girip sonuçta korozyonu meydana getirir ya da bu ortamı hazırlar. Bir metalin üzerinde korozyonun oluşması için ortamda elektrik potansiyel farkı ve elektrolit bulunmalıdır. Hemen hemen bütün asit ve alkaliler, metaller ile tepkimeye girip metalik tuzları oluşturur. Fakat bazıları diğerlerine göre daha aktif bir özellik gösterir. Alkalilerde bulunan sülfürik asit alüminyumun korozyonuna neden olur.[6]



Şekil 1.4. Sülfürik asidin etkisiyle tahrip olmuş bir vana [7]

Yapısında demir içeren metaller hem asitlerin hem de alkalilerin zararına maruz kalırken; alüminyum yapıları metaller asitlerden ziyade güçlü alkali çözeltilerine karşı daha hassastır. [8]

Saf su, metaller ile tepkimeye uğrayıp korozyona veya oksitlenmeye neden olur. Fakat tuz ve diğer bir çok kirleticiyi bünyesinde barındıran su ise çok daha hızlı ve etkili korozyona yol açar. [8]

Deniz ve bazı endüstriyel bölgelerin üzerinde bulunan atmosferin içinde yüksek yoğunlukta tuz bulunur. Bu kimyasal maddeler yağışlar ile materyal üzerine düşüp birikirler. Daha sonra suyu çekilerek metal üzerinde etkili bir elektrolit oluştururlar. Magnezyum yapıları malzemeler özellikle tuzlu çözeltilerin elektrolitle oluşan korozyon etkisine maruz kalarak korozyona uğrarlar. [8]

Civa da korozif kimyasal reaksiyonların etken bir maddesidir. Etkilediği madde başta alüminyumdur. Bu süreç içinde civa çok hızlı bir şekilde alüminyum tanecikleri sınırlarına saldırır ve kısa sürede alüminyum tahrip eder. Bir malzeme üzerine civa döküldüğünde çok dikkat edilmelidir. Çünkü kaygan bir materyal olan civa küçük bir çatlağın içine sızıp en dip bölümüne ulaşarak orada aşırı zarara neden olur. Civa ve buharı insanlar için de tehlikeli bir maddedir. Uçak üzerinde herhangi bir yere civa dökülmüşse üzerine hava püskürterek civa temizlenmemeli, içinde civayı filtre eden bir elektrik süpürgesiyle

temizlenmelidir. Pirinçten yapılmış vida veya mandallar üzerinde cıvanın etkisiyle bir renk değişikliği görülmüşse bu parçalar değiştirilmelidir. [8]

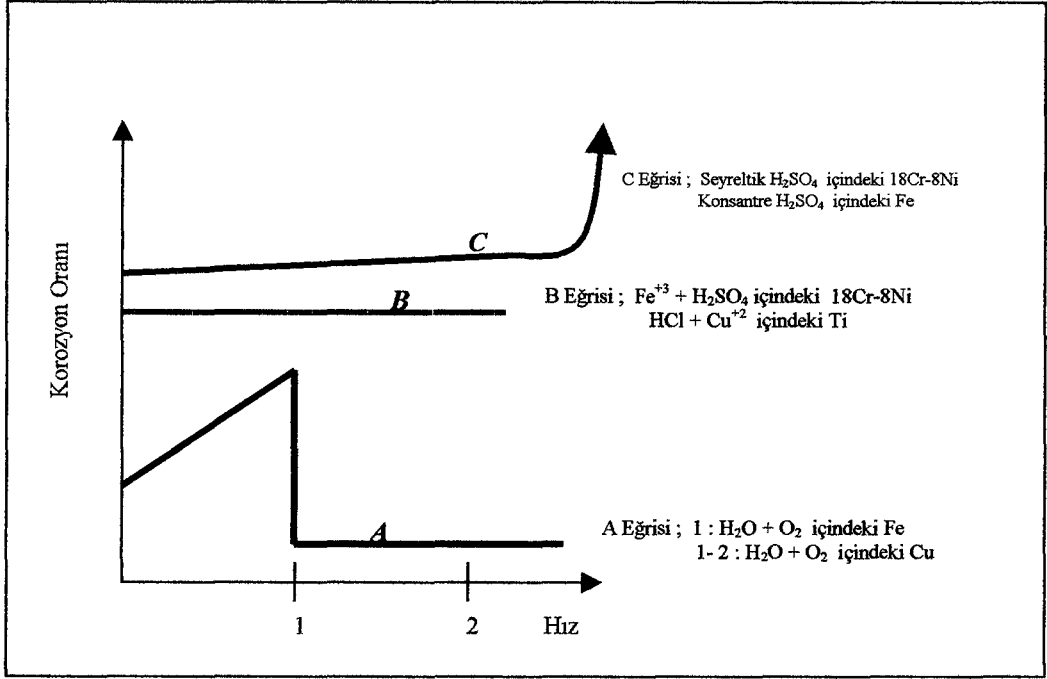
Cıvanın alüminyum üzerine dökülmesi, bu malzemede çukurcuk ve kristaller arası korozyonu çok hızlı bir şekilde meydana getirir ve bu olayın kontrolü çok zordur. Bu proses, literatürde “amalgamation” olarak adlandırılmaktadır. [8]

1.3.2. Fiziksel etkenler

Korozyonu etkileyen unsurlar kimyasal bir tepkime oluşturmamasından ziyade fiziki unsurlarından dolayı koroziftirler. Yüksek basınç ve sıcaklık maddelerin korozyona uğraması için daha elverişli bir ortam sağlar. Bir parça üzerine dayanımından çok daha fazla miktarda yük biniyorsa veya çok yönlü kuvvetlerin etkisi altındaysa korozyona uğraması kaçınılmazdır. Sürtünme ile malzemelerin koruyucu yüzeyleri tahrip olarak korozyona maruz kalabilirler. Ayrıca iklim şartları malzemenin dayanıklılığını etkilemekte önemli bir etkidir. Örneğin, gün içinde aşırı derecede sıcaklık farklarının olduğu bir ortam korozyon için adres çıkarmaktadır. [4]

Yüksek basınç ve sıcaklıkta, malzemelerin dayanımı azalırken korozif etkenler hızlı bir şekilde artarlar. Bu nedenle dayanıklılık ve korozyona karşı mücadele için en uygun optimizasyonlar bu fiziksel etkenlere karşı uygulanmalıdır. Yüksek basınç ve sıcaklık gaz türbinli motorlarda türbin bölümünde doruğa çıkar. Bu bölümde türbin paleleri yüksek sıcaklık ve basınca dayanacak ve korozif etkenlerden en az etkilenecek titanyum malzemesi kullanılarak bir optimize edilebilir.[9]

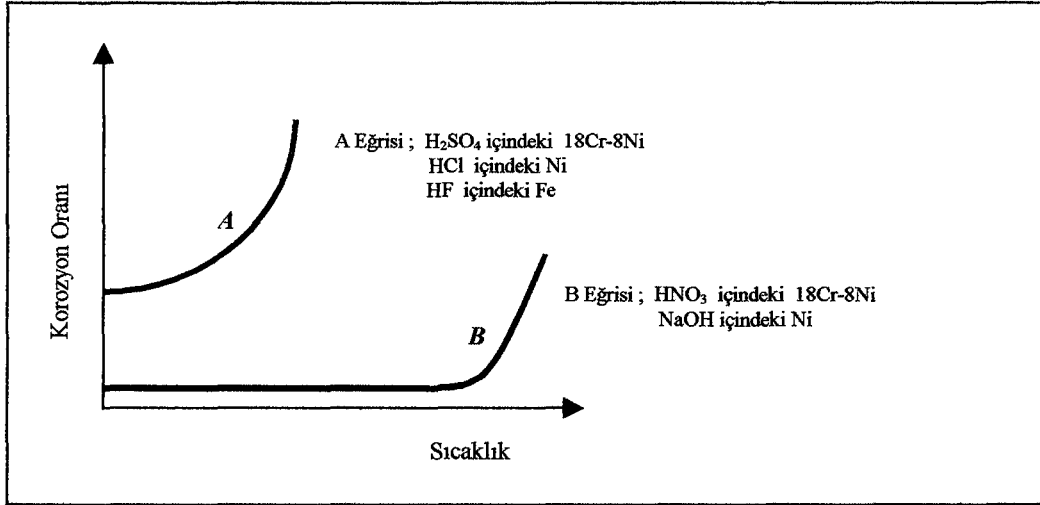
Şekil 1.5’te, karıştırma ve çözelti hızı arttırıldığı zaman tipik durumlar gösterilmiştir. Aktifleşme polarizasyonu ile denetlenen korozyon olaylarında, karıştırma yada çözelti hızı üzerine etkisi olmaz (B Doğrusu). Eğer korozyon olayı katodik difüzyon denetimi altındaysa, eğri A’nın 1 kesiminde olduğu gibidir ve karıştırma hızı arttıkça korozyon hızı da artar. Bu durum oksitleyici miktarının az olduğu zaman gözlenir. [4,10]



Şekil 1.5. Korozyon hızına ortamın hızının etkileri [4,10]

Eğer korozyon olayı difüzyon denetiminde ise ve metal kolayca pasifleşebiliyorsa A eğrisindeki 1 ve 2 kesimleri gözlenir. Paslanmaz çelik ve titan gibi kolay pasifleşen alaşım ve metaller, korozyon hızı büyük olduğu zaman bile, çoğunlukla korozyona karşı daha büyük dayanç gösterirler. [10]

Bazı metallerin bazı ortamlardaki korozyon dirençleri metal yüzeyinde o ortamda oluşan koruyucu filme dayanır. Bu çeşit filmler, pasifleyici filmlerden gözle kolayca görülmeleri ve daha az dayançlı olmalarıyla ayrılır. Kurşun ve çeliğin sülfürik asit içinde çözünmeyen sülfat filmiyle korunduğuna inanılmaktadır. Bu tür filmle kaplı malzemeler çok yüksek hızda korozif ortama konulursa, bu filmlerde mekanik hasar olduğu yada filmin giderildiği gözlenir ve korozyon hızı C eğrisindeki gibi artar. Bu erozyon korozyonudur. C eğrisinden görüleceği üzere mekanik hasar görülmeye değin karıştırma yada hızın etkisi ihmal edilecek kadar düşük olmaktadır. [4,10]



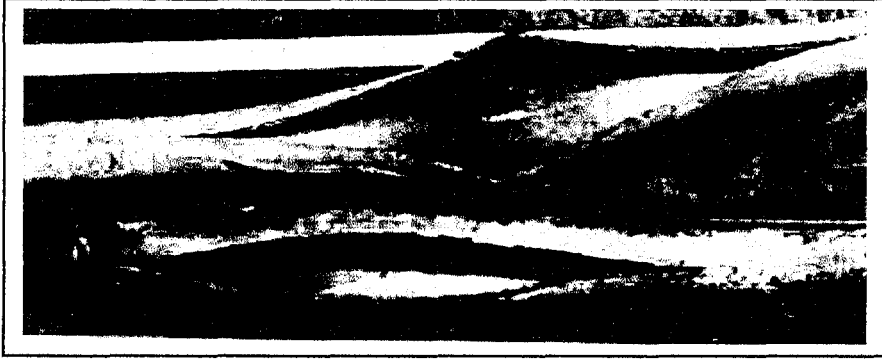
Şekil 1.6. Korozyon hızına sıcaklığın etkileri [4,10]

Sıcaklık hemen hemen bütün tepkimelerin hızını artırır. Şekil 1.6'da metallerin korozyon hızları üzerine sıcaklığın etkisi gözlenen iki biçimde gösterilmiştir. A eğrisi korozyon hızının sıcaklık arttıkça, çok hızlı yada üstel olarak artış gösterir. B eğrisinde gösterilen durumla da sık sık karşılaşılır. Daha yüksek sıcaklıklarda hızlı bir korozyon artışı gözlenir. Bununla birlikte çoğu durumlarda B eğrisi gerçek durumu hatalı olarak gösterebilir. Eğer, düşük sıcaklıkta korozyon hızı çok küçükse ve üstel olarak artıyorsa çizgisel olarak B eğrisi gibi görünür. Yani korozyon hızı sıcaklıkla hızlı artar, bu durum korozyon hızının sıcaklığa karşı alışılan gösterim biçiminde skala seçimi nedeniyle belirgin değildir.

1.3.3. Çevresel etkenler

Korozyona neden olma açısından coğrafik konuma göre iklimler dörde ayrılır. Yüksek sıcaklık ve nemin birlikte etki ettiği en korozif ortam tropikal deniz iklimidir. Sıcaklığın -25°C ile 37°C arasında olduğu ve nemin de % 10 ile %100 arasında değiştiği, sis ve duman gibi kalıntıları barındıran ortam endüstriyel iklimi oluşturmaktadır. Endüstriyel bölgenin atmosferinde yoğun olarak bulunan ve çok aşırı korozif etkiye sahip olan kükürtdioksit (SO_2) ve hidroklorik asit (HCl) ortama nüfuz ederek materyali büyük hasarlara uğratmaktadır. Ayrıca endüstriyel ürün ve atıklar içinde yaşayabilen organizmalar her tarafa bulaşarak yaşayabilmesi için yaptığı kimyasal çevrimler ile bulunduğu ortamdaki malzemenin yapısına zarar vermektedir. Sıcaklığın çok düşük olduğu ve çok düşük elektro-kimyasal

reaksiyonun olduğu ortam kutupsal iklimdir. Nemin çok düşük olduğu buna göre de sıcaklığın etkisinin olmadığı böylelikle korozyonun en az görüldüğü ortam ise karasal iklimdir. [6,4]



Şekil 1.7. Yüksek sıcaklığa maruz kalmış ısıtıcı boruların hasarlanıp kullanılamaz hale gelmiş görünümü [1]

Bakteri ve mantarlar nem içerdiklerinden, asit taşımalarından dolayı ve ölen mikroorganizmaların kalıntıları nedeniyle metal yüzeyini kirleterek hasara uğrattırlar. Bazı mikroorganizmalar ise yapı elemanı olan malzemeleri yiyerek hasar verirler. Metallerde zarar veren mikroorganizmalar iki türdür. Bunlardan birincisi, bakteriler diğerleri ise mantarımış canlılardır. Bakteriler oksijenli ortamlarda yaşayabilen (aerobik), oksijensiz ortamlarda yaşayabilen (an aerobik) olarak sınıflandırılabilir. Oksijenli ortamlarda yaşayabilen bakterilerin yaşayabilmesi için oksijene ihtiyaç duyar ve sülfür ve amonyağı oksitleyerek onları sülfürik asit ve nitrik aside çevirirler ve korozyonu hızlandırır. Ayrıca, metal yüzeyine yakın yerlerde yaşarlar. Oksijensiz ortamlarda yaşayabilen bakteriler demirin, kükürdün, hidrojenin ve azotun inorganik bileşiklerini parçalayarak metalin bazı bölgelerinde korozyon hızını arttırlar. Bakterilerin artıkları da çevrenin kimyasal bileşimini bozarlar. Mantarlar ise genellikle küflü yerlerde büyürler ve yün, pamuk, ip ve deri gibi maddeleri yerler ancak metal ve mineralleri yiyemezler. Bunun sonucunda oluşan ürünler korozyon hızını arttırıcı bir etki yapar. Üçyüzden fazla canlı; yakıt ve sentetik kaplamaları yiyerek yaşarlar. Bunlar genellikle suyun üst yüzeyi ile yakıtın alt yüzeyi arasındaki bölgede yaşarlar. Mikrobiyolojik canlıların etkisi ile yakıt borularında koruyucu tabakanın bozulması ile korozyon gerçekleşir. Mikrobiyolojik canlıların

yaşayabilmesi için yüksek nem ve sıcaklık gereklidir ve bu tip bir ortamın oluşması bakım ve kontroller ile engellenebilir. [6]

Gaz türbinlerindeki çevresel korozif etkenlerle oluşan hasarlar çizelge 1.4. te belirtilmektedir. [11]

Çizelge 1.3. Gaz türbinlerinin sıcak bölgelerindeki elemanlarının korozif çevre şartları ve hasarın yapısı [11]

Faktörler	Çevresel			Hasarın yapısı		Parça ömrü (h)	
	Sıcaklık °C	Isıl çevrim	Kirlenme Seviyesi		Mekanik olarak meydana getirilme		Çevresel olarak meydana getirilme
Yakıt %			Hava				
Askeri Hava Araçları	> 1175	Sık-Sık (Görevin fonksiyonu)	% 3'ten az S (Kükürt)	Tuz- 0,1	Isıl yorulma	Oksidasyon Tip-1 sıcak korozyon	1000 ile 5000
Sivil Hava Araçları	> 1075	Sık-Sık (uçuş programının fonksiyonu)	içeren havacılık yakıtları	Pistten gelen kum		Eğer hava kum tanecikleri içeriyorsa, erozyon	> 10 000

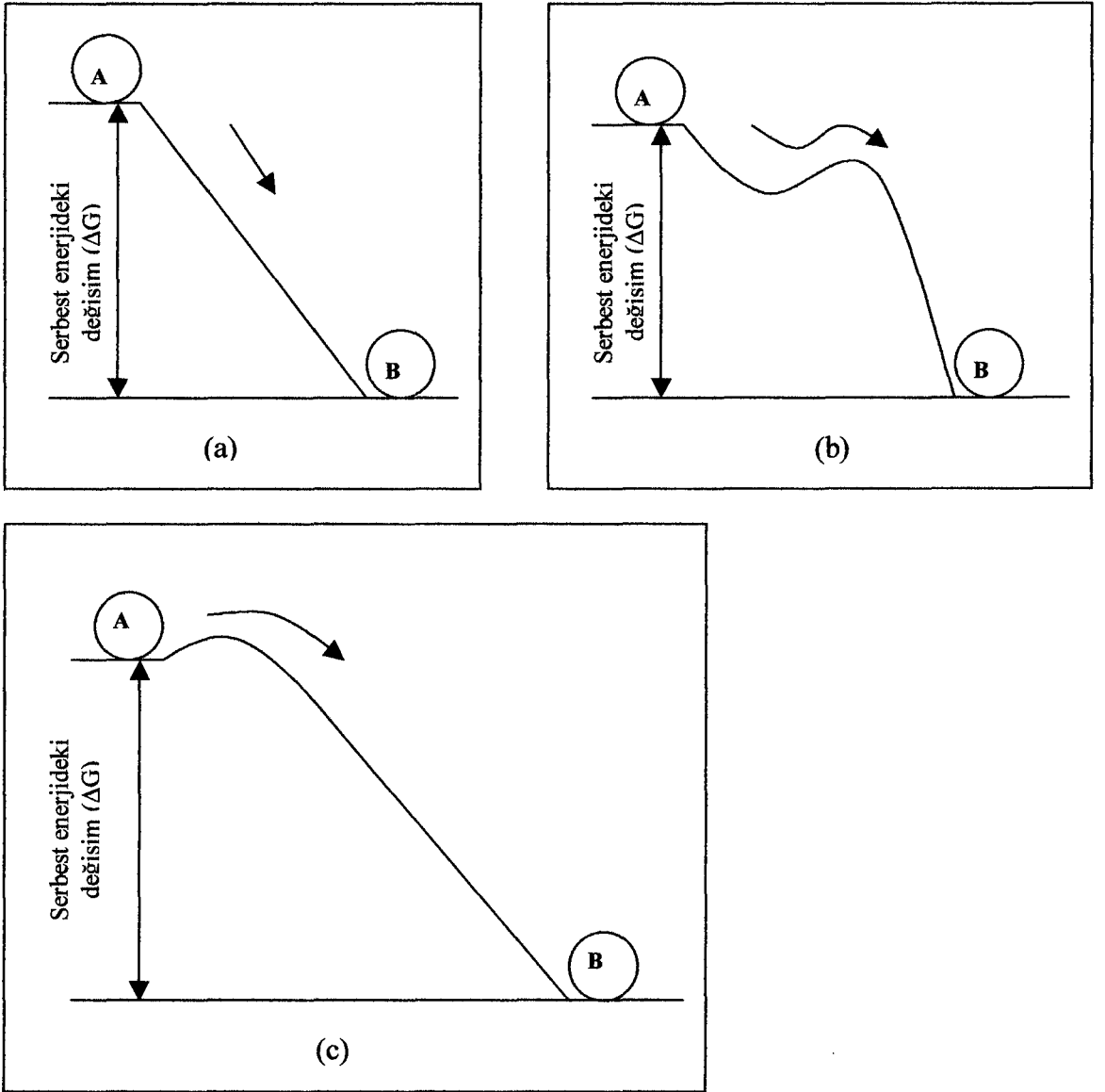
2. KOROZYONUN TERMODİNAMİK YÖNÜ

Korozyonun kaynağı olan elektrokimyasal tepkimelerin oluşumu enerjinin dönüşümünü inceleyen bilim dalı olan termodinamiğin serbest enerji dönüşümü kavramı ile açıklanabilir. Bu nedenle termodinamik biliminden korozyon üzerine yapılan çalışmalarda yararlanılmaktadır.

Kimyasal termodinamik yardımıyla olayların, deney yapmadan yürüyüp yürümeyeceğini önceden söyleyebilme olanağı bulunduğu gibi; metalürji ve kimyada çoğu konuların daha iyi aydınlatılması da olanaklıdır. Diğer bütün olaylar gibi korozyon olayı da termodinamik yasalara uyar, yani doğada buldukları kararlı bileşiklere dönme eğilimi gösterirler. Altın ve platin gibi soy metaller doğada metal olarak bulunurlar. Bunların dışında kalan metaller, su, hava çeşitli gazlar buharlar ve atmosferik etkenlerin etkisiyle giderek aşınırlar. Diğer bir deyimle metaller korozyona uğrarlar ve doğada buldukları en kararlı oksit, karbonat, sülfat gibi minerallere dönüşürler.[10]

Hareket ettirici bir kuvvet var olursa, kimyasal tepkimeler meydana gelir. Korozyon tepkimesi için hareket ettirici kuvvet, sistemin enerji değişimidir (ΔG) yada serbest enerjideki azalmadır. Serbest enerjideki değişim (ΔG), iş kapasitesinin direkt olarak ölçümü yada sistemde mevcut olan maksimum elektrik enerjisidir. Eğer, serbest enerjideki değişim, sistemin bir durumdan negatif olan diğer duruma geçişine eşlik ederse, bu işaretler serbest enerjideki kaybı belirtir ve ayrıca sistemin kendiliğinden oluşacak tepkime yönünü belirler. Bu durumda sisteme dışsal güçler etki etmiyorsa, sistem en düşük enerji düzeyine geçme eğilimi gösterecektir. Serbest enerjideki değişim pozitif olursa, bu durum enerjideki artışı tasvir eden bir geçiştir ve sisteme ilave enerji eklenmesini gerektirir. [4]

Burada serbest enerjideki değişimden bir tepkimenin hızı hakkındaki bilgileri doğru olarak önceden tahmin etmek mümkün değildir. Tepkimenin işaretiyle bu parametreler yalnızca reaksiyonun yönünü yansıtır ve serbest enerji değişiminin büyüklüğünden yola çıkılarak yapılan hız tahminleri hatalı olabilir. Bir tepkimenin serbest enerjisindeki değişimin işareti o tepkimenin yönünü belirler. Tepkimenin meydana gelişyle ilgili bağımsız yollar olsa bile bu yollar tepkime hızı ile ilgili bilgi vermezler. [4,12]



Şekil 2.1. Devam eden bir korozyon tepkimesinin serbest enerji değişiminin farklı yollarla mekanik benzeşimi [12]

Tepkimenin oluşum mekanizmasının anlaşılması şekil 2.1.a' da belirtildiği gibi basit bir benzeşim kurularak sağlanabilir. Bu benzeşim yüksek bir noktadan yuvarlanmaya bırakılan bir bilyenin davranışı ile kurulabilir. Eğer, bilye A noktasından B noktasına doğru bırakılacak olursa potansiyel enerjisi düşer ve bu durum serbest enerjideki (ΔG) azalış olarak tarif edilir. Bu tepkime sisteminin yönü kendiliğinden oluşmuştur yani sisteme enerji girdisi yapılması ile sistemin tepkime yönü kendiliğinden ters çevrilmeyecektir. [12]

Şekil 2.1. b 'deki gibi eğer bilye kamburu kat ederse bilye A noktasından B noktasına doğru daha uzun bir yol alır. Böylece önceki şekildekine benzer bir biçimde serbest enerjide değişim (ΔG) olurken, tepkime oranı daha yavaş olacaktır. Şekil 2.1. c'de ise, eğer A ve B noktaları arasında bilyenin izlediği yol tepenin durumuna bağlı ise, şekle göre bilye B noktasına gelmeden evvel tepenin zirvesini kat ederek ilerleyecektir. Önceki şekillerdekine benzer biçimde A dan B ye doğru yuvarlanan bilyenin serbest enerjisinde değişim olur ancak enerji, tepkimenin oluşumuna izin veren dışsal bir kaynaktan sağlanacaktır. Benzer engellerin üstesinden gelinmesiyle dışsal enerji sağlanır sağlanmaz beklenen tepkimenin meydana gelmediği yerde oluşan bu tip durumlarda korozyon meydana gelir. Dışsal enerji kaynakları güneşten veya uçak motoru eksoz gazlarından sağlanan ısı yada elemanlar arasında sürtünme sonucu oluşan neden olan mekanik enerji olabilir. [12]

2.1. Elektrokimyasal Termodinamiğin Korozyona Uygulanması

Kimyasal termodinamiğin sulu çözeltilerdeki korozyon incelenmesinde yeterince başarılı olunamamasının nedeni, ilke olarak sulu çözeltilerde yürüyen tepkimelerin yalnızca kimyasal tepkimeler olmayıp aynı zamanda elektrokimyasal tepkimeler olmalarındandır. Korozyon olaylarının enerji bakımından incelenmesi için kimyasal termodinamik yeterli değildir. Buna göre, elektrokimyasal dengelerde basınç (p) ve derişimden (c) başka elektrot potansiyelini (E) de kullanma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. [10]

Serbest enerji değişiminin gerçek büyüklüğü, korozyon uygulamalarında önemsizdir. En önemli faktör, tepkime kendiliğinden olsun yada olmasın verilen bir tepkime için serbest enerji değişiminin işaretidir. Elektro-kimyasal tepkimede daha negatif değerde yada daha aktif olan yarı pil tepkimesi oksitlenme eğiliminde iken, daha pozitif yada soy olan yarı pil tepkimesi indirgenme eğilimindedir. İndirgenme-yükseltgenme potansiyeli, korozyonun oluşumuna ilişkin tahminler için oldukça yararlıdır. Hidrojenden daha aktif ters çevrilebilir potansiyele sahip metaller asit çözeltileriyle korozyona uğrama eğilimleri daha fazladır. Öte yandan, bakır ve gümüş gibi daha soy potansiyele sahip metaller asit çözeltilerinde korozyona uğramazlar.[4]

Yarı pil tepkimesi potansiyelleri bileşiklerin korozyona uğrama davranışını belirleyen önemli kriterdir. Metal oksidasyonunu oluşturan reaksiyonun kendiliğinden oluşum yönü belirtilmedikçe korozyon oluşmayacaktır. Reaksiyon oluşumu ihmal edilebilir bir oranda olursa, metal aslında etkisiz kalacaktır. Termodinamik hesaplamaların kullandığı denklemin negatif değerli denklem olduğu açıkça görülmelidir. Bununla birlikte, metal oksidasyonu reaksiyonun yönünü belirtirse korozyonun oluşup oluşmayacağı belirlenebilir. [4]

Korozif etkileri başlatan sıcaklık olgusunun ısı yalıtımıyla kontrol altına alınması korozyon oluşumunu engellemede önemlidir. Çünkü metal yada alaşımlarda bulunan atomların kararlılığı yada dengesini bozucu birincil etki sıcaklıktır. Kararlılığı yada dengesi bozulan materyal böylece korozyona daha uygun bir hale gelmiş olur. [9]

Korozyon olgusu üzerine termodinamik uygulamalar, potansiyel-pH eğrilerinin incelenmesiyle genellenerek belirlenebilir. Dr. Marcel Pourbaix tarafından ilk defa belirlenerek kullanılan bu diyagramlara Pourbaix diyagramları adı da verilmektedir. [10]

2.2. Potansiyel-pH (Pourbaix) Diyagramları

Potansiyel-pH (Pourbaix) diyagramları ile reaksiyonun kendiliğinden oluşum yönünün tahmini, korozyon ürünü kompozisyonlarının tahmini ve korozif saldırıların azaltacak yada önleyecek çevresel düzenlemelerin öngörüsü yapılabilir. Her termodinamik hesaplamadaki gibi potansiyel-pH diyagramları benzer sınırlamalara konu olmaktadır. Bu diyagramlar denge koşullarını belirtir ve asla bir reaksiyonun hızının tahmininde kullanılmamalıdır. [4]

Potansiyel - pH diyagramlarında elektro kimyasal termodinamikten yararlanılmaktadır. Buna göre basınç (p), derişim (c), elektrot potansiyeli (E) (yada elektromotor kuvvetten :EMK) ifadelerinden yararlanılmaktadır. Söz konusu korozyon olayında ortamın pH'ı elektrot potansiyellerine karşı grafiklere geçirilmiştir.

Korozyon olayına termodinamik yaklaşım yolu Pourbaix'in geliştirdiği potansiyel-pH diyagramları ile yararlı biçimde genellenmiştir. Potansiyel-pH diyagramları en genel anlamda; metal iyon ve oksitlerin termodinamik kararlılığına sahip oldukları alanları gösterirler, yani bir faz diyagramı niteliği taşırlar. Komşu

alanları birbirinden ayıran sınırlar kimyasal ve elektrokimyasal dengeleri tanımlar.[2,14]

A ve B tepkenleri bir kimyasal tepkimeyle C ve D tepkime ürünleri oluşturuyorsa ilgili denge tepkimesi aşağıdaki gibi verilebilir:



Kimyasal termodinamiğe göre bu tepkimenin ΔG serbest entalpi değişimi ile tepkenler ve tepkime ürünlerinin aktiflikleri arasındaki bağıntı şu şekildedir:

$$\Delta G = -RT \ln \left[\frac{a_C^{n_C} \cdot a_D^{n_D}}{a_A^{n_A} \cdot a_B^{n_B}} \right]_{\text{denge}} + RT \ln \left[\frac{a_C^{n_C} \cdot a_D^{n_D}}{a_A^{n_A} \cdot a_B^{n_B}} \right] \quad (2-2)$$

Bu bağıntıda kendiliğinden yürüyen bir tepkime için ΔG nin işareti eksi kabul edilir. Ayrıca tepkime ürünlerinin aktiflikleri payda, tepkenlerin aktiflikleri ise paydada verilmektedir.

$$K = \left[\frac{a_C^{n_C} \cdot a_D^{n_D}}{a_A^{n_A} \cdot a_B^{n_B}} \right]_{\text{denge}} \quad (2-3)$$

K, bu tepkimenin denge sabitini belirtmektedir. Buna göre (2-4) bağıntısı şu şekilde de verilebilir:

$$\Delta G = -RT \ln K + RT \ln \left[\frac{a_C^{n_C} \cdot a_D^{n_D}}{a_A^{n_A} \cdot a_B^{n_B}} \right] \quad (2-4)$$

Eğer tepkenlerin ve tepkime ürünlerinin aktiflikleri 1 ise bağıntı aşağıdaki hali alır:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K \quad (2-5)$$

Bu bağıntıdan yararlanılarak eğer tepkenlerin ve tepkime ürünlerinin standart serbest entalpileri biliniyorsa ΔG^0 hesaplanabileceğinden söz konusu tepkime için K denge sabiti de hesaplanabilir yada denge sabiti biliniyorsa bu tepkime için standart serbest entalpi değişimi hesaplanabilir. (2-3) tepkimesinin pilde olduğu düşünülürse; bir pilin elektromotor kuvveti serbest entalpi değişimi ΔG arasında aşağıdaki bağıntı vardır:

$$\Delta G = -nFE \quad (2-6)$$

Diğer yandan yandan (2-3) tepkimesi için ΔG serbest entalpi değişimi (2-6) bağıntısıyla verildiğinden;

$$\Delta G = -RT \ln K + RT \ln \left[\frac{a_C^n \cdot a_D^n}{a_A^n \cdot a_B^n} \right] = -nFE \quad (2-7)$$

biçiminde yazılabilir. Bu bağıntıda aktiflikler oranı Q ile gösterilecek olursa;

$$\Delta G = -RT \ln K + RT \ln Q = -nFE \quad (2-8)$$

yazılabilir.

Bu denklemden bir pilde tepkenlerin ve tepkime ürünlerinin aktiflikleriyle pilin elektromotor kuvveti (E) arasındaki Nernst Bağıntısı bulunmuş olur:

$$E = \frac{RT}{nF} \ln K - \frac{RT}{nF} \ln Q \quad (2-9)$$

Burada ikinci terim E^0 simgesiyle belirtilecek olursa;

$$E^0 = \frac{RT}{nF} \ln K \quad (2-10)$$

E^0 ifadesine pilin elektromotor kuvveti adı verilmektedir. Bu bağıntıdan yararlanarak bir pilin E^0 standart elektromotor kuvveti biliniyorsa yada tersine pilde yürüyen tepkimenin denge sabiti biliniyorsa pilin E^0 standart elektromotor kuvveti hesaplanabilir.

Ayrıca (2-5 ve 2-10) bağıntıları karşılaştırılırsa E^0 'ın ΔG^0 yardımıyla yada tersine ΔG^0 biliniyorsa E^0 'ın aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabileceği de göz önüne alınmalıdır:

$$E^0 = - \frac{\Delta G^0}{nF} \quad (2-11)$$

çünkü standart koşullarda,

$$\Delta G^0 = - nFE \quad (2-12)$$

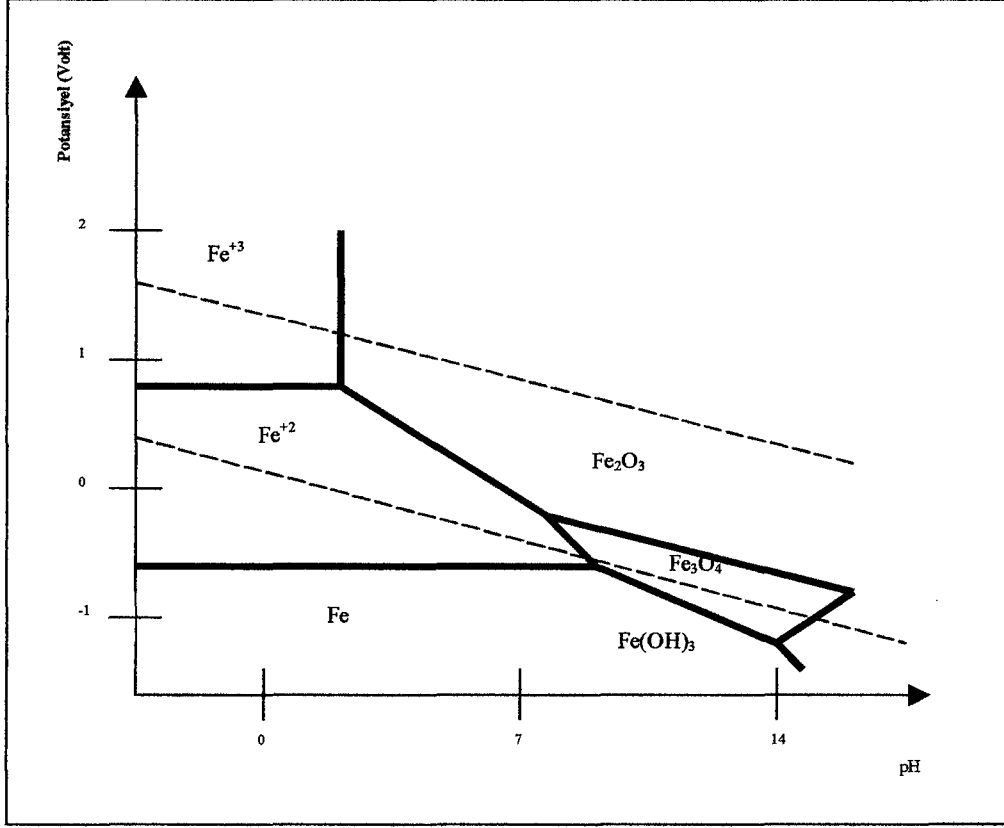
dır. (2-11) bağıntısı aşağıdaki gibi kısaltılarak Nernst denkleminin son biçimi verilir.

$$E = E^0 - \frac{\Delta G^0}{nF} \quad (2-13)$$

Bu bağıntıdan yararlanarak E^0 ve tepkenlerle, tepkime ürünlerinin aktiflikleri biliniyorsa pilin E elektromotor kuvveti hesaplanır ya da sözü edilen aktiflikler ve E biliniyorsa pilin standart elektromotor kuvveti hesaplanır. [10]

2.2.1. Potansiyel-pH diyagramlarında bölgelerin anlamları

Fe-H₂O sistemi için potansiyel-pH diyagramı şekil 2.2'de görülmektedir. Demirin sulu ortamlarla teması sonucu ortaya çıkan iyon ve oksitler arası tepkimeler dikkate alınarak geliştirilmiş bu diyagrama göre demirin sulu ortamlardaki korozyonu hakkında bilgi verilebilir. Metallerin sulu ortamlarda tutumlarını belirleyen önemli faktörlerden biri korozyon ürünlerinin suda çözünür olup olmadıklarıdır.



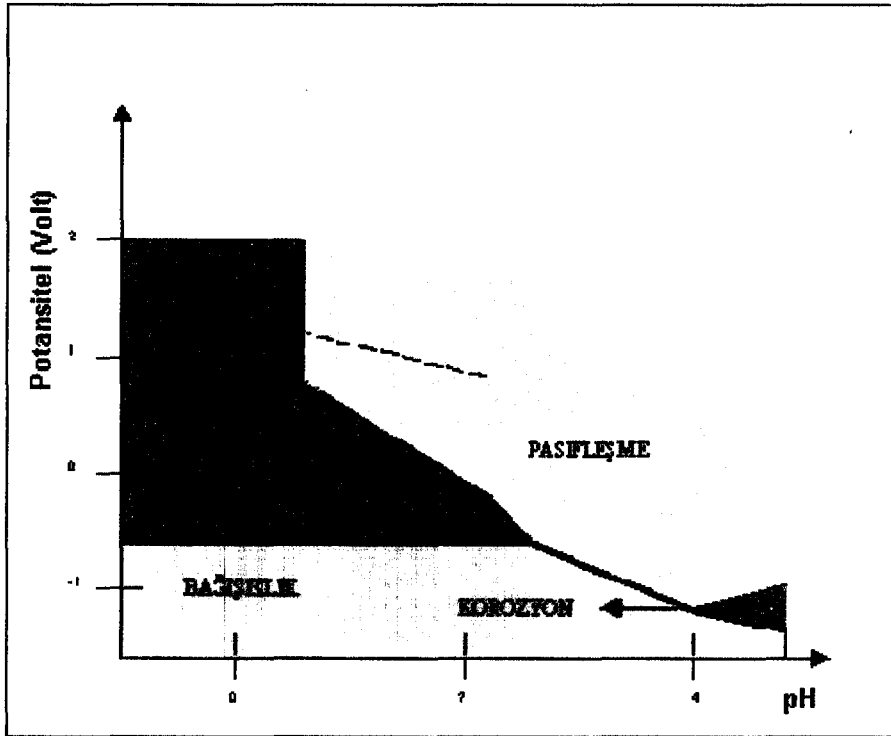
Şekil 2.2. Fe-H₂O sistemi için potansiyel-pH diyagramı [4,2]

Suda çözünen korozyon ürünlerinin (örneğin; Fe⁺², Fe⁺³, HFeO₂⁻ ...vb.) metal yüzeyini örterek koruyucu bir tabaka oluşturmaları ve böylece korozyon hızını yavaşlatmaları beklenemez. O halde, bu tür ürünlerin kararlı oldukları alanlar korozyonun oluşabileceği koşulları (potansiyel-pH değerlerini) belirler. Buna karşılık, su içinde çözünürlüğü sınırlı korozyon ürünlerinin (örneğin; Fe₂O₃) metal yüzeyini örterek korumaları mümkündür. Metallerin örtücü bir oksit tabakası ile korunmaları pasifleşme olarak adlandırılır. Şekil 2.2’de demirin metalik durumunun korunabildiği alan bağımsızlık olarak tanımlanmıştır. Korozyona uğrayan metalin potansiyelini bu alan içine kaydırarak metalin korozyona karşı tam bağımsızlığı sağlanabilir. Korozyona karşı sıklıkla başvurulan katodik koruma metodu bu ilkeye bağlı olarak yapılır.

Çizelge 2.1. Potansiyel – pH diyagramlarında dikkate alınacak unsurlar [2]

Metalin Tutumu	Korozyon Eğilimi	Korozyon Bakımından Tutum
Korozyon	Mevcut ($\Delta G < 0$)	Korozyon oluşur
Pasifleşme	Mevcut ($\Delta G < 0$)	Korozyon oluşmaz
Bağışıklık	Mevcut ($\Delta G < 0$)	Korozyon oluşmaz

Bu ilişkiler şekil 2.3'te verilmektedir. Ortamın pH değeri ve bu ortamla temas eden metalin potansiyeli (her iki büyüklük de ölçülerek bulunabilir) ilgili potansiyel-pH diyagramında yerine konularak metalin tutumu hakkında bilgi elde edilir. [2]



Şekil 2.3. Potansiyel-pH diyagramının korozyon problemine uygulandığının Fe-H₂O sisteminde gösterimi [2]

Bağışıklık bölgesinde ise yüzeyde bulunan Fe_2O_3 (yada çözeltideki Fe^{+3}) metale indirgenir, su hidrojene indirgenir ve çözünmüş oksijen de OH^- iyonlarına indirgenir. [10]

Korozyon bölgesinde (asitli çözeltide) düşük potansiyellerde demir, Fe^{+2} iyonlarına yükseltgenir; Fe_2O_3 , Fe^{+2} iyonuna indirgenir ve E'nin (a)'dan küçük yada büyük olması durumuna bağlı olarak su hidrojene indirgenir veya kararlı olarak kalır. Yüksek potansiyellerde demir, Fe^{+3} a yükseltgenir ve Fe_2O_3 , Fe^{+3} oluşturarak çözünür. E'nin (b) nin altında yada üstünde olmasına bağlı olarak su ya kararlı olur yada oksijene yükseltgenir. [10]

Pasifleşme bölgesinde, demir, Fe_2O_3 'e dönüşür, başlangıçta demir üzerinde bulunan pas etkilenmez. Oksijene yükseltgenen su yüksek potansiyel dışında kararlıdır. [10,13]

Böylece bir metal-çözelti ara yüzeyinde verilen bir yönde yürüyen elektrokimyasal tepkime için eğilim, gerçek elektrot potansiyeli (E) (deneysel olarak belirlenen ve standart hidrojen elektroduna göre verilen) ve tersinir yada denge potansiyeli E_d nin (E^0 ve dengede bulunan iyonların aktifliklerinden hesaplanmış) bağlı değeri terimiyle saptanabilir:

- Eğer $E > E_d$ ise tepkime yalnızca yükseltgenme yönünde olur.
- Eğer $E < E_d$ ise tepkime yalnızca indirgenme yönünde olur.
- Eğer $E = E_d$ ise tepkime denge durumundadır

$$(E - E_d) I \geq 0$$

Burada I, tepkime akımını ifade etmektedir ve yükseltgenme durumunda artı, indirgenme durumunda ise eksi değerini aldığı kabul edilmektedir. Artı, eksi yada sıfır olabilen $E - E_d$ farkına aşırı gerilim yada ilgi denir ve yükseltgenme yada indirgenme yönünde yada dengede yürüyen tepkime için eğilimi verir. [10]

2.2.2. Diyagramların yararları ve sınırları

Korozyon, bağışıklık ve pasiflik bölgeleri çok önemli ise de pratik sorunların çözümünde birçok sınırlamaların olduğu unutulmamalıdır. Genellikle, çözünür kompleks bileşikler oluşturan anyonlar korozyon bölgelerini genişletme eğilimi gösterirlerken, çözünmeyen kompleksler oluşturan anyonlar pasiflik bölgelerini genişletme eğilimi gösterirler. İlgili termodinamik veriler sağlanabilirse bu anyonların etkileri de grafikler içine sokulabilir. Literatürde bazı

M-H₂O-X grafiklerine de yer verilmektedir. Pasiflik bölgesinde metali tamamen yada kısmen korozyondan koruyan katı kararlı katman sadece oksit olmayabilir. Bazı durumlarda hidroksit, hidrür yada bir tuz da olabilir. Klorür içermeyen çözeltilerde genel olarak alüminyum, krom, demir ve kalay metalleri üzerinde oluşan oksit katmanı metali iyi korur.[10,15]

Porubaix diyagramlarının metallerin pasiflik, korozyon ve bağışıklık bölgelerini kuramsal olarak gösterdiğini, metaldeki katışıklar, ortamda bulunan çözünmüş özdekler (özellikle korozif iyonlar ve oksijen) yada eklenen inhibitörlerin durumu değıştireceğı hiçbir zaman unutulmamalıdır. Bu bakımdan bir metal yada alaşımın bulunduğu ortamda korozyon, pasiflik yada bağışıklık bölgesinin hangisinde bulunduğunu anlamak için akım-potansiyel eğrileri elde etmek gerekir. Bu diyagramların başlıca kullanım yerleri;

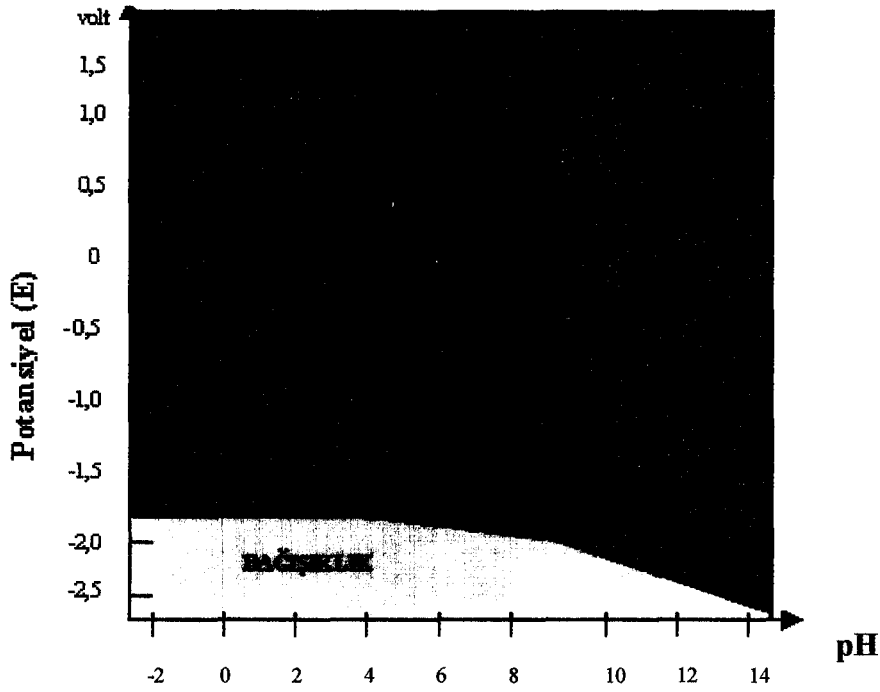
- Bir tepkimenin kendiliğinden yürüme yönünün önceden tahmininin yapılması
- Korozyon ürünlerinin bileşimlerinin tahmin edilmesi
- Korozyon ortamında korozyonu azaltıcı yada önleyici değışimlerin tahmin edilmesi olarak sıralanabilir [10]

Termodinamik ve elektrokimyasal termodinamik bir korozyon olayında söz konusu kimyasal olayların yürümesi olasılığı ile ilgili fikir verilebilir, ancak korozyon tepkime hızı üzerine hiçbir bilgi vermez. Korozyon hızı elektrokimyasal kinetik bağıntılar ve bunlara dayanan akım-potansiyel eğrileri yardımıyla belirlenir. Tepkimenin kendiliğinden yürüme yönü metalin yükseltgenmesi olmadıkça korozyon olmaz. Metalin yükseltgenme tepkimesinin kendiliğinden yürüme yönü olması durumunda da korozyonun olmama olasılığı vardır. [10]

2.2.3. Çeşitli metallerin potansiyel-pH diyagramları ve korozyon özellikleri

Özellikle havacılık endüstrisinde kullanılan metallerin potansiyel-pH diyagramları bu malzemelerde meydana gelen yada gelebilecek korozyon problemleri hakkında oldukça faydalı bilgiler vereceğı için aşağıda bu metallerin potansiyel-pH diyagramları sıralanmaktadır. [10]

2.2.3.1. Alüminyum

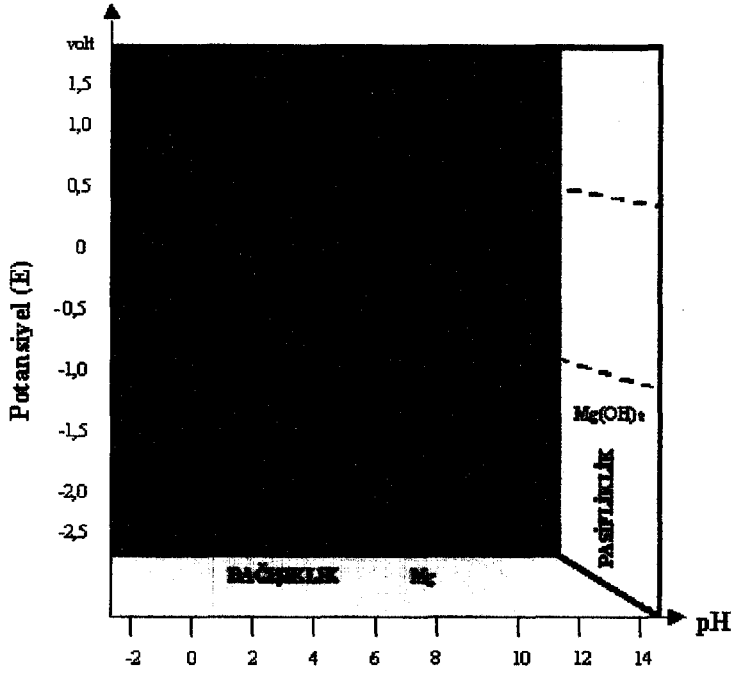


Şekil 2.4. Alüminyum için potansiyel-pH diyagramı [10]

Çizelge 2.2. Çeşitli ortamlar içinde alüminyumun korozyon direnci [10]

Ortam	Dayanıklı	Dayanıklı değil
Asit Çözeltileri	Asetik asit (oda sıcaklığında)	HCl, HBr, H ₂ SO ₄ , HF
	Sitrik asit (oda sıcaklığında)	HClO ₄ , H ₃ PO ₄
	Tartarik asit (oda sıcaklığında)	Formik asit
	Borik asit (oda sıcaklığında)	Triklorasetik asit
	HNO ₃ > %80, < 50 °C yağ asitleri	Oksalik asit
Baz Çözeltileri	Ca(OH) ₂	LiOH, NaOH, KOH, Ba(OH) ₂
	NH ₄ OH > %10, < 50°C	NH ₄ OH < %10, Na ₂ S, NaCN
	(NH ₄) ₂ S, Na ₂ SiO ₃	
Tuz Çözeltileri	NH ₄ , Na, K, Ca, Ba, Mg, Mn, Zn, Cd ve Al'un sülfat, nitrat, fosfat ve asetatları	Hg, Sn, Cu, Ag, Pb, Co, Ni gibi ağır metaller
	Na ₂ SO ₃ inhibitörü ile NaClO	Cl ⁻ içeren NaClO, Ca(ClO ₂)
	Cl ⁻ süz NaClO ₄ , KMnO ₄ , %1-10 (oda sıcaklığında)	
Gazlar	Br ₂ , Cl ₂ < 125 °C, F ₂ < 230 °C,	Nemli SO ₂ , SO ₃ , Cl ₂ , HCl, HN ₃
	HCl, HBr, ozon, S ₂ , SO ₂ , SO ₃	CCl ₄ , CH ₃ Cl, CH ₃ Br
	H ₂ S, CO ₂ , NO, NO ₂ , NH ₃	
	Freonlar, Klorlu Hidrokarbonlar	

2.2.3.2. Magnezyum

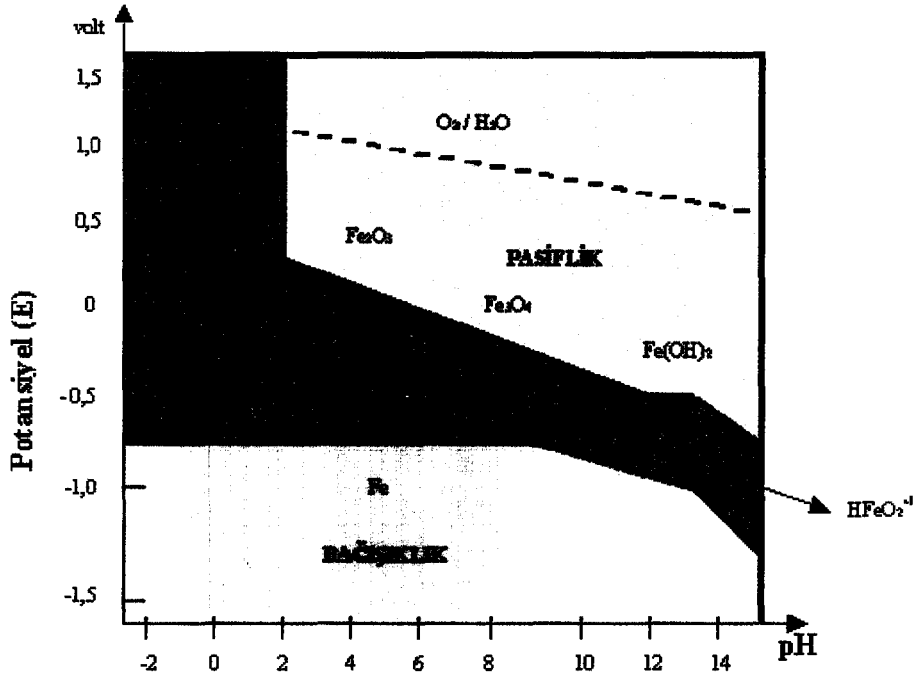


Şekil 2.5. Magnezyum için potansiyel-pH diyagramı [10]

Çizelge 2.3. Çeşitli ortamlar içinde magnezyumun korozyon direnci [10]

Ortam	Dayanıklı	Dayanıklı değil
Asit Çözeltileri	HF, %2 daha derişik	Sol yanda belirtilenler dışındaki anorganik asitler
	Cl ⁻ ve SO ₄ ⁻² iyonları bulunmayan arı H ₂ CrO ₄	Organik asitler
Baz Çözeltileri	NaOH, KOH < 60 °C	NaOH, KOH > 60 °C
	Beton	
	NaClO, NH ₄ OH	
Tuz Çözeltileri	Kromatlar, florür, nitratlar	Klorürler, bromürler, iyodürler, sülfatlar, persülfatlar, kloratlar, hipokloritler.
	Na, K, Ca, Ba, Mg, Al Fosfatlar	Ağır metal tuzları Mg ile yer değiştirirler.
Gazlar	F ₂ , Br ₂ , S ₂ , H ₂ S, SO ₂ gibi bazı kuru gazlar, kuru feronlar	Cl ₂ , I ₂ , NO, NO ₂
		Alkil halojenürler
		Nemli feronlar

2.2.3.3. Demir

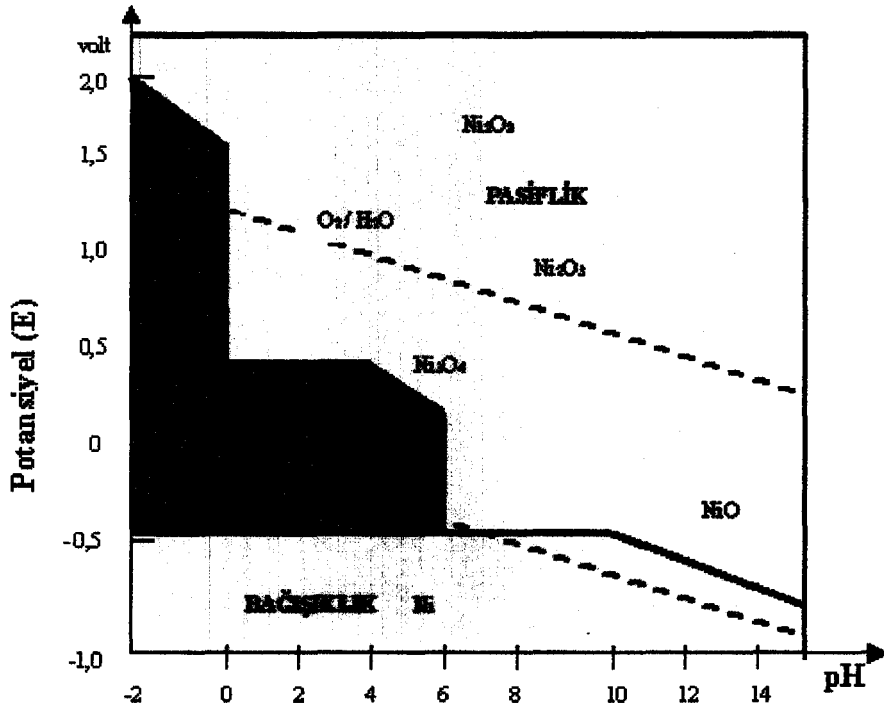


Şekil 2.6. Demir için potansiyel-pH diyagramı [10]

Çizelge 2.4. Çeşitli ortamlar içinde demirin korozyon direnci [10]

Ortam	Dayanıklı	Dayanıklı değil
Asitli Çözeltiler	H ₂ CrO ₄	Sol tarafta verilenler dışındaki asitler
	HNO ₃ derişik	
	H ₂ SO ₄ > %70	
	HF > %70	
Baz Çözeltileri	Bazlı çözeltilerin bir çoğu	Sıcak derişik bazlar eğer koşullar gerilimli ise
Tuz Çözeltileri	KMnO ₄ > 1 g/L	KMnO ₄ < 1 g/L
	H ₂ O ₂ > 3 g/L	H ₂ O ₂ < 3 g/L
	K ₂ CrO ₄	Yükseltgeyici tuzlar : FeCl ₃ , CuCl ₂ , NaNO ₃ Hidroliz yapan tuzlar : AlCl ₃ , Al ₂ (SO ₄) ₃ , ZnCl ₂
Gazlar	Hava < 450 °C	Hava > 450 °C
	Cl ₂ < 200 °C	Cl ₂ > 200 °C , F ₂
	Kuru SO ₂ < 300 °C	Nemli SO ₂
	NH ₃ < 500 °C	NH ₃ > 500 °C
	H ₂ O (gaz) < 500 °C	H ₂ O (gaz) > 500 °C
	H ₂ S < 300 °C	H ₂ S > 300 °C

2.2.3.4. Nikel

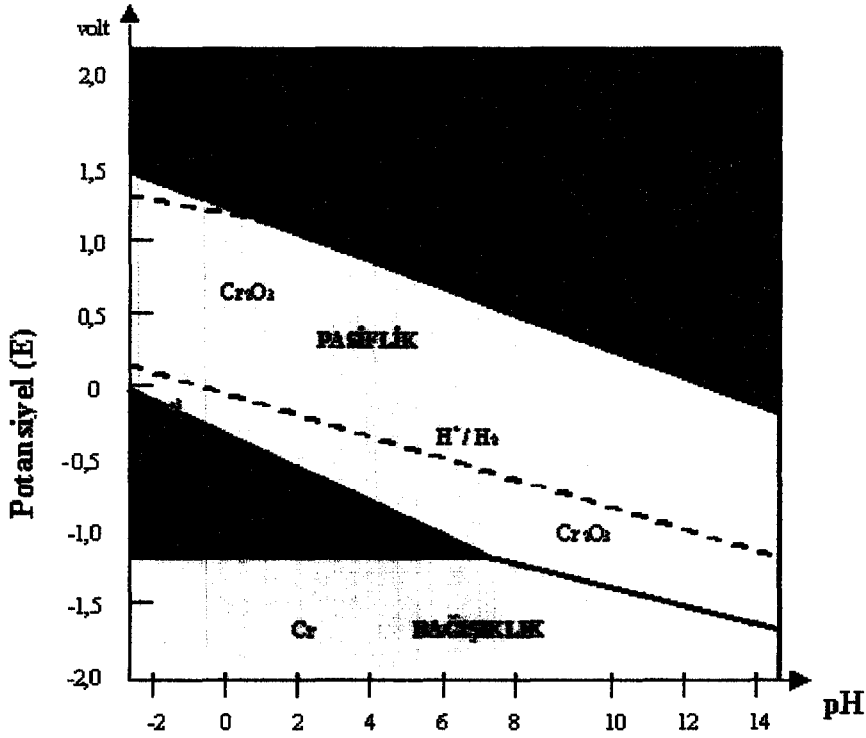


Şekil 2.7. Nikel için potansiyel-pH diyagramı [10]

Çizelge 2.5. Çeşitli ortamlar içinde nikelin korozyon direnci [10]

Ortam	Dayanıklı	Dayanıklı olmayan
Asit Çözeltileri	Seyreltik, yükseltgeyici olmayan asitler	Yükseltgeyici asitler
	H ₂ SO ₄ , hava, < %15 (oda sıcaklığında)	HNO ₃
	HCl, hava, < %1 (oda sıcaklığında)	H ₂ SO ₄ > %80
	HF (oda sıcaklığında)	HF Yüksek sıcaklıklarda
	Havası giderilmiş seyreltik organik asitler	H ₃ PO ₄ derişik sıcak
	H ₃ PO ₄ , arı hava (oda sıcaklığında)	Hava içeren organik asitler
Baz Çözeltileri	LiOH, NaOH, KOH	
	NH ₄ OH < %1	NH ₄ OH > %1
Tuz Çözeltileri	Yükseltgeyici olmayan tuzların çoğu NaClO ₄	Yükseltgeyici tuzların çoğu : FeCl ₃ , CuCl ₂
	KMnO ₄	NaClO
Gazlar	Kuru halojenler < 200 °C	Halojenler halojenürlü hidrojenlerin birçoğu
	Kuru halojenürlü hidrojenler < 200 °C	
	H ₂ O _(gaz) < 500 °C	H ₂ O _(gaz) > 500 °C
	H ₂ O < 550 °C	Cl ₂ > 450 °C
	SO ₂ < 400 °C	H ₂ S > 65 °C
	S < 300 °C	NH ₃ yüksek sıcaklıkta
	S ₂ > 300 °C	

2.2.3.5. Krom



Şekil 2.8. Krom için potansiyel-pH diyagramı [10]

Çizelge 2.6. Çeşitli ortamlar içinde kromun korozyon direnci [10]

Ortam	Dayanıklı	Dayanıklı değil
Asit Çözeltileri	HNO ₃ < %50, < %75	HCl, HBr, HI
	H ₂ SO ₄ + CuSO ₄	Derişik HNO ₃ yüksek sıcaklıkta
	H ₂ SO ₄ + Fe ₂ (SO ₄) ₃	H ₂ SO ₄ > %5, > %50 °C
	H ₂ SO ₄ < %5 hava, (oda sıcaklığında)	HF, H ₂ SiF ₆ , HClO ₃
	SO ₂ çözeltileri	HPO ₄ > %60 > 100 °C
	HPO ₄ , hava, (oda sıcaklığında)	H ₂ CrO ₄
Baz Çözeltileri	Seyreltik, hava içeren (oda sıcaklığında)	Derişik, hava içeren yüksek sıcaklıklarda
Tuz Çözeltileri	Halojenür olmayan tuzların birçoğu	Halojenür tuzları, yükseltgeyici (FeCl ₃ , CuCl ₂ , HgCl ₂ , NaClO) ve asit tuzlar (ZnCl ₂ , AlCl ₃) genel korozyon yaparlar. Diğer halojenür tuzları çukurcuk ve aralık korozyonuna neden olurlar.
Gazlar	O ₂ < 1100 °C	O ₂ > 1100 °C
	H ₂ O < 850 °C	H ₂ O > 850 °C
	SO ₂ < 650 °C	SO ₂ > 650 °C
	H ₂ S, S ₂ < 500 °C	H ₂ S, S ₂ > 500 °C
	NH ₃ < 500 °C	NH ₃ > 500 °C
	Cl ₂ , HCl < 300 °C	Cl ₂ , HCl > 300 °C
	F ₂ , HF < 250 °C	F ₂ , HF > 250 °C

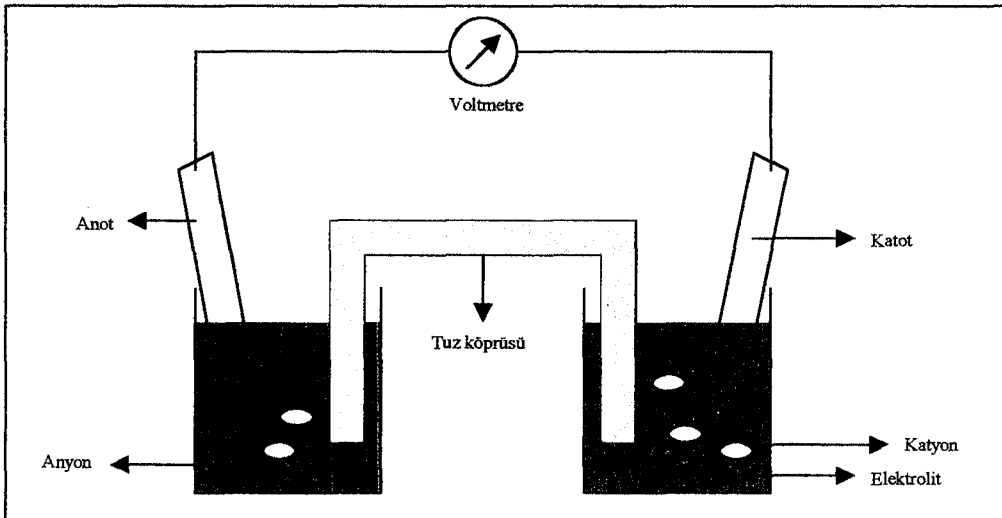
Kromlu paslanmaz çeliklerin korozyon direnci kroma benzer.

3. KOROZYONUN ELEKTROKİMYASAL KİNETİĞİ

Termodinamik ve elektrokimyasal termodinamikten yararlanarak söz konusu korozyon olayında hangi tepkimelerin oluşabileceği belirlenebilir. Ama termodinamik, korozyon hızıyla ilgili hiçbir bilgi vermemekte yalnızca tepkimenin yönünü belirlemektedir. Tepkime hızı çok küçükse korozyon olmaz. Korozyon hızı elektrokimyasal kinetikten yararlanılarak belirlenebilir.[10]

Burada korozyona uğrayan metal yüzeyinin sürekli bir ortam oluşturduğu kabul edilir. Halbuki, korozyon oluşumunda malzemenin iç yapısı yani moleküler dizilimi ve kararlılığı demek olan yüzey sürekliliğinin kabulünün yanı sıra, malzemenin bileşik yapısından kaynaklanan iç gerilmeler dıştan yapılan etkiler olarak tanımlanan mekanik etkilerin de büyük önemi vardır. [2]

Kendiliğinden oluşan kimyasal tepkimelerden elektrik akımı üreten düzeneklere elektrokimyasal pil adı verilmektedir. Bu pil düzeneklerinde yükseltgenmenin olduğu yani elektron kaybeden elektroda anot, indirgenmenin olduğu yani elektron alan elektroda ise katot adı verilir. Burada elektrot dediğimiz kısım ise pilde yükseltgenme ya da indirgenmenin olduğu uçlardır. Elektrolit ise pil düzeneğinde elektrotların batırıldığı çözeltilerdir. Katot, elektroda giden "+" yüklü iyonlar katyon, anoda giden "-" yüklü iyonlar ise anyon adını alır. Basit bir elektrokimyasal pil düzeneği şekil 3.1'de görülmektedir :



Şekil 3.1. Basit bir elektrokimyasal pilin yapısı

Bir pilde iki kap arasında elektrik akımının hareketini sağlamak için U şeklindeki boru suda çok çözünen bir tuzun çözeltisiyle doldurulur. Buna tuz köprüsü denir. Bunun görevi elektrolitlerdeki yük denkleğini sağlamaktır. Tuz köprüsü kaldırılırsa pil çalışmaz. Bir elektro kimyasal pilde anodu ve katodu belirlerken pil gerilimlerine bakılır, hangisi büyükse o elektrot anot diğeri ise katottur. Elektronların hareket yönü anottan katoda doğrudur. Pil tepkimesi dengeye ulaştığında pil bitmiş yani pil gerilimleri sıfır olmuştur. Aktif metallerin yükseltgenme gerilimi büyük, indirgenme gerilimi küçüktür.

Çözelti derişimlerinin farklı olması gerilimi değıştirdiğinden, aynı elektrotlar farklı derişimlerdeki aynı elektrolitlere batırılarak derişim pilleri yapılmıştır. Bu tip piller çözeltilerin derişimi eşit hale gelinceye kadar çalışır. Derişim pilleri çalışırken derişimi küçük olan elektrolite daldırılmış elektrotta yükseltgenme olacağından anot olur, diğeri ise katot olur.

Elektrokimyasal pil düzeneğini kurup, dışardan bir elektrik akımı vererek tepkime meydana getirirsek bu düzenek elektroliz kabı adını alır ve meydana gelen olaya da elektroliz denir. Bu tip elektroliz kapları kullanılarak korozyonla mücadele etmede bir yöntem olan kaplamalar yapılabilir.

Elektrokimyasal pili ayrıntılı bir şekilde açıklamamızdaki amaç bir korozyon olayının meydana gelişindeki olayları buradaki proses ile özdeşleştirerek korozyonun nasıl olduğunu anlayabilmek içindir. Çünkü korozyonun oluşumunda kimyasal bir tepkime olmaktadır. Bu da farklı elektrik potansiyel farklarına sahip bölgelerde tepkimenin kendiliğinden oluşarak korozyona neden olduğunu göstermektedir.

3.1. Elektrokimyasal Hücre

Elektrokimyasal kinetiğın açıklanmasında geçen terimlerin tanımları şu şekilde sıralanabilir: Yüzeyinde kimyasal indirgenmenin oluştuğı elektrot katot, kimyasal oksitlenme yolu ile çözünen elektrot da anot olarak adlandırılır. Elektrik yükü sıfır olan (yani nötr) atomların belli sayıda elektronu serbest bırakarak pozitif yüklü iyonlara dönüşmelerine anodik olay adı verilir. Katot-elektrolit ara yüzeyinde yer alan olaylara katodik olay adı verilir. Katodik olayın işlevi anodik

olayla üretilen elektronları harcamaktır. Katodik olayların hızı veya etkinliği elektron harcama yetenekleriyle ölçülür. Mevcut koşullar altında elektronların kaybolma hızı yavaşlamış veya sıfıra inmişse korozyon hızı da aynı ölçüde yavaşlamış veya sıfıra inmiş olur. Pil veya korozyon hücresi içinden geçen elektrik akımının taşıyıcıları katı yol içinde elektronlar, elektrolit içinde ise iyonlardır.

Elektrik akımının katı yol içindeki yönü katotdan anoda doğrudur yani elektronların akış yönünün tersidir. Korozyon hızı (anodun çözünüm hızı) hücreden geçen akım ile doğru orantılıdır (Faraday II. Kanun). [2]

Metallerin korozyonu ;

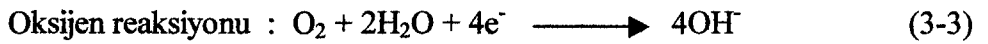


Olarak açıklanan anodik olay yanında aşağıda sıralanan katodik olayların birinin (yada aynı zamanda bir kaçının) oluşumları gerçekleşir. Genel olarak bunlardan yalnız birinin korozyon olayı içinde ana payı oluşturduğu söylenebilir:

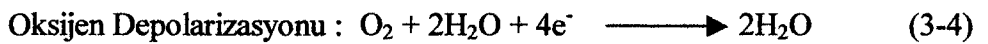
Oksijenden arındırılmış asit ortamlarda ($\text{pH} < 4$):



Nötr ve bazik ortamlarda ($\text{pH} > 4$):

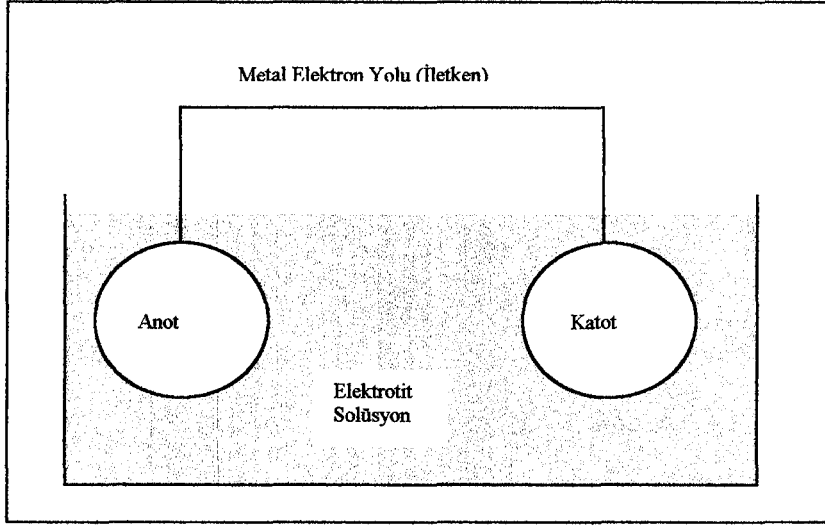


Havalandırılmış asit ortamlarda ($\text{pH} < 4$):



3.1.1. Elektrokimyasal hücre ve korozyon hücresi

Elektrokimyasal tepkimeyle korozyonun olabilmesi için bazı şartların sağlanması gereklidir. Öncelikle metallerle temas eden nemin olmaması, metallerin elektrot potansiyelleri arasında fark olması ve oluşan akımın devreyi tamamlaması gerekir. Bir elektro-kimyasal korozyon hücresinde dört eleman bulunur. Şekil 3.2'de görülen bu elemanlar anot, katot, metal yolu ve elektrolitiktir. Bu elemanlardan herhangi biri olmaz ise devre tamamlanamayacağından korozyon oluşmaz. [6]



Şekil 3.2. Elektro-kimyasal korozyon hücre elemanları [2]

Korozyon hücresi içinde gerçekleştirilen tüm değişim elektrot olaylarının toplamıdır. Aynı ilkedен hareketle hücrenin elektromotor kuvvetini elektrot potansiyellerinin (yani anot ve katotdan oluşan elektrokimyasal reaksiyonlara uygun potansiyellerin) toplamı olarak tanımlamak mümkündür. [2]

3.1.2. Elektrokimyasal hücre potansiyeli ve EMK dizisi

Elektrot potansiyeli (E), Nernst Denklemi'nden hesaplanır. Elektrot potansiyeli (25 °C için);

$$E = E^0 - \frac{0,0592}{n} \log \frac{a_Q^q}{a_L^l} \cdot \frac{a_R^r}{a_M^m} \quad (3-5)$$

olarak ifade edilir. E^0 , 25 °C için standart elektrot potansiyelidir. Sık karşılaşılan elektrot olayları ile bunlara uygun olan standart potansiyeller çizelge 3.1'de verilmiştir. Elektrot potansiyellerinden oluşan bu diziyе elektrokimyasal gerilim dizisi (EMK) adı verilir. [2]

Korozyon hücresinin elektromotor kuvvetini elektrot potansiyellerinden hesaplamannın diğеr yolu şu şekildedir:

1. Adım: Anot, katot ayrımı yapılmadan her iki elektrot olayı oksitlenme tepkimeleri olarak yazılır ve elektrot potansiyelleri oksitlenme potansiyelleri olarak hesaplanır.

2. Adım: Anot katot ayrımı yapılabiliyorsa, katot için hesaplanan oksitlenme potansiyeli anot için hesaplanandan çıkartılarak hücrenin elektromotor kuvveti bulunur.

3. Adım: Eğer anot katot ayrımı kesinlikle yapılamıyorsa o zaman yazılan reaksiyonlardan biri anodik tepkime kabul edilir ve 2. adımdaki işlemler yapılır.

Bulunan elektromotor kuvvet pozitif bir değerse (Negatif serbest enerji değişimi) korozyon eğilimi mevcuttur ve bu nedenle anot için yapılan seçimin doğru olduğu sonucuna varılır. Buna karşılık elektromotor kuvvet negatif bir değer olarak ortaya çıkarsa (Pozitif serbest enerji değişimi) korozyon eğilimi mevcut değildir. Bu sonuç anot katot ayrımı için yapılan seçimin doğru olmadığını gösterir. Anot (veya anodik olay) böylece belirlendikten sonra korozyon hücresinin elektromotor kuvveti, yani korozyon eğilimi kesinlikle saptanabilir. [2]

Korozyon eğiliminin saptanmasında ihtiyaç duyulan en önemli verilerden biri standart elektrot potansiyelidir. Elektrot potansiyelleri mutlak değerler olmayıp ancak potansiyelini keyfi olarak sıfır (veya sıfırdan farklı belirli bir değer) kabul edeceğimiz bir mukayese halinin kullanılması ile anlam kazanabilirler. Korozyon hücresinin elektromotor kuvvetini bir mukayese haline ihtiyaç duymaksızın ölçmek ve ifade etmek mümkündür. Ancak elektrot potansiyelleri, potansiyeline keyfi bir değer verebileceğimiz bir mukayese elektroduna karşı ölçülebilir. Uluslar arası kabul edilen mukayese hali;



hidrojen tepkimesinin standart potansiyelidir ve sıfır olarak kabul edilir (Çizelge 3.1). Böylece herhangi bir elektrodun potansiyelini, o elektrot ve standart hidrojen elektrodundan oluşan hücrenin elektromotor kuvveti olarak tanımlamak gerekir. Elektrokimyasal gerilim dizisi standart elektrot potansiyellerini içermenin ötesinde, iki elektrotdan kurulu korozyon hücrelerinin çalışma koşulları hakkında kabaca bir fikir verebilir. Genel olarak dizinin yukarısında kalan metallerin aşağıdakilere karşı (örneğin çinko bakıra yada demir hidrojen elektroduna karşı) anodik tutum gösterir. Gerçekte gözlediğimiz koşullar elektrokimyasal gerilim dizisine temel olan standart koşullardan hayli farklıdır. Bu nedenle, korozyon eğiliminin belirlenmesinde elektrot potansiyellerinin saptanması kaçınılmaz bir zorunluluktur. [2]

Çizelge 3.1. Elektrokimyasal Gerilim Dizisi [16,17,18]

Reaksiyon	Oksitlenme*	İndirgenme*
$\text{Li} = \text{Li}^+ + \text{e}^-$	3,05	-3,05
$\text{K} = \text{K}^+ + \text{e}^-$	2,93	-2,93
$\text{Ca} = \text{Ca}^{+2} + 2\text{e}^-$	2,87	-2,87
$\text{Na} = \text{Na}^+ + \text{e}^-$	2,71	-2,71
$\text{Mg} = \text{Mg}^{+2} + 2\text{e}^-$	2,37	-2,37
$\text{Be} = \text{Be}^{+2} + 2\text{e}^-$	1,85	-1,85
$\text{U} = \text{U}^{+3} + 3\text{e}^-$	1,80	-1,80
$\text{Hf} = \text{Hf}^{+4} + 4\text{e}^-$	1,70	-1,70
$\text{Al} = \text{Al}^{+3} + 3\text{e}^-$	1,66	-1,66
$\text{Ti} = \text{Ti}^{+3} + 3\text{e}^-$	1,63	-1,63
$\text{Zr} = \text{Zr}^{+4} + 4\text{e}^-$	1,53	-1,53
$\text{Mn} = \text{Mn}^{+2} + 2\text{e}^-$	1,18	-1,18
$\text{Nb} = \text{Nb}^{+3} + 3\text{e}^-$	1,1	-1,1
$\text{Zn} = \text{Zn}^{+2} + 2\text{e}^-$	0,763	-0,763
$\text{Cr} = \text{Cr}^{+3} + 3\text{e}^-$	0,74	-0,74
$\text{Ga} = \text{Ga}^{+3} + 3\text{e}^-$	0,53	-0,53
$\text{Fe} = \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^-$	0,440	-0,440
$\text{Cd} = \text{Cd}^{+2} + 2\text{e}^-$	0,403	-0,403
$\text{In} = \text{In}^{+3} + 3\text{e}^-$	0,342	-0,342
$\text{Tl} = \text{Tl}^+ + \text{e}^-$	0,336	-0,336
$\text{Co} = \text{Co}^{+2} + 2\text{e}^-$	0,277	-0,277
$\text{Ni} = \text{Ni}^{+2} + 2\text{e}^-$	0,250	-0,250
$\text{Mo} = \text{Mo}^{+3} + 3\text{e}^-$	0,2	-0,2
$\text{Sn} = \text{Sn}^{+2} + 2\text{e}^-$	0,136	-0,136
$\text{Pb} = \text{Pb}^{+2} + 2\text{e}^-$	0,126	-0,126
$\text{H}_2 = 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	0,000	0,000
$\text{Cu} = \text{Cu}^{+2} + 2\text{e}^-$	-0,337	0,337
$\text{OH} = 1/2\text{H}_2\text{O} + 1/4\text{O}_2 + \text{e}^-$	-0,401	0,401
$\text{Hg} = \text{Hg}^{+2} + 2\text{e}^-$	-0,789	0,789
$\text{Ag} = \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	-0,800	0,800
$\text{Pd} = \text{Pd}^{+2} + 2\text{e}^-$	-0,789	0,789
$\text{Pt} = \text{Pt}^{+2} + 2\text{e}^-$	-1,2	1,2
$\text{Au} = \text{Au}^{+3} + 3\text{e}^-$	-1,5	1,5

*25 °C için, volt cinsinden standart potansiyeller

3.2. Karma Potansiyel Kuramı

Karma potansiyel kuramı iki basit varsayımdan oluşur:

- Herhangi bir elektrokimyasal tepkime iki yada daha çok kısmi yükseltgenme ve indirgenme tepkimelerine parçalanabilir.
- Bir elektrokimyasal tepkime süresince net elektrokimyasal yük birikmesi olamaz.

Birinci varsayım oldukça açıktır ve deneysel olarak elektrokimyasal tepkimelerin iki yada daha çok kısmi indirgenme ve yükseltgenme tepkimelerinden oluştukları gösterilebilir. İkinci varsayım ancak kütlelerin korunumu yasasının yeni bir anlatım biçimidir. Yani, bir elektrolit içine daldırılan bir metal kendiliğinden elektrik yükü biriktiremez. Buna göre; elektriksel olarak yalıtılmış bir metal örneğinin korozyonu sırasında, toplam yükseltgenme hızı toplam indirgenme hızına eşit olmalıdır. [10,4]

Korozyon potansiyeli bir karma potansiyeldir. Karma potansiyel, iki yada daha çok yükseltgenme ve indirgenme olayının yürüdüğü bir sisteme değen elektrodun gösterdiği potansiyeldir. Durgunluk potansiyeli, açık devre potansiyeli, kararlı denge potansiyeli ve uzlaşım potansiyeli de eş anlamlarda kullanılır. [10]

3.2.1. Korozyon potansiyelini değiştiren etkenler

Denge tepkimesi akım yoğunluğu (I_0), kuramsal denge potansiyeli (E_{denge}) ve derişim koşulları ile yürüeyebilen çeşitli yükseltgenme-indirgenme sisteminin Tafel eğrilerinin eğimlerini belirleyen α_a ve α_c transfer katsayıları karma potansiyelinin yada korozyon potansiyelinin büyüklüğünü belirleyen etkenler olarak sıralanabilir.

Korozyon potansiyelinin gerçek anlamı, ancak sistemin elektrokimyasal kinetik parametreleri bilindiği zaman önemlidir. Kendi kendine potansiyelin değeri korozyon hızı hakkında hiçbir bilgi vermez. Ancak sistemin elektrokimyasal parametreleri biliniyorsa, korozyon potansiyeli korozyon hızı hakkında çok yararlı bilgiler sağlar. Basit bir korozyon sistemi için, verilen bir sistemde korozyon potansiyeli daha soy (artı) oldukça korozyon hızı artar. [10]

3.2.2. Alaşımın değerlendirilmesi

Karma potansiyel kuramını uygulayarak elektrokimyasal veriler yardımıyla bir alaşımın korozyon durumunu tahmin etmek olanaklıdır. Bir çok ticari metal ve alaşımların korozyona dayançları onların pasifleşmiş olmamalarına bağlıdır. Bir metal yada alaşımı pasifleştirmek için üç yol izlenir:


- Anodik işlem uygulanabilir.
- Sisteme kendiliğinden pasifleşmeyi sağlayacak miktarda yükseltgeyici katılabilir.
- Bazı özel durumlarda, (titanda olduğu gibi) pasifliği sağlamak için galvanik bağlamadan yararlanılır.

Uygulamada en çok kullanılan yükseltgeyici oksijendir. Bir metal yada alaşımın anodik çözünme durumu biliniyorsa, o metalin hava içeren çözeltilerde pasifleşip pasifleşmeyeceğini önceden tahmin etmek olanaklıdır. [10]

3.3. Aktiflik-Pasiflik

Elementlerin kimyasal tepkimelere girme isteklerine aktiflik adı verilir. Tersi durum ise pasiflik olarak adlandırılır. Metallerin aktifliği elektron verme eğilimleri yani yükseltgenme potansiyelleri, ametallerin (metal olmayanların) aktifliği ise elektron alma eğilimi ya da indirgenme potansiyelleri ile ölçülür. Bir materyal ne kadar aktif olursa o derecede kimyasal tepkimeye girecek ve sonuçta korozyona uğrayacaktır. Bir kimyasal tepkimenin oluşup oluşmayacağı tepkimeye giren element ya da iyonların tepkimeye girme isteklerine bağlıdır.

Çizelge 3.2. Bazı iyonların aktiflik sıralaması

Kasyonlar		Anyonlar	Aktiflik
1.Grup	<u>Li, K, Ca, Na</u>	F ⁻ , SO ₄ ⁻² ,	 Ok yönünde azalır
2.Grup	<u>Mg, Al, Zn, Cr, Fe</u>	NO ₃ ⁻² , CO ₃ ⁻² ,	
3.Grup	<u>Ni, Sn, Pb</u>	2PO ₄ ⁻³ , OH,	
	<u>H₂</u>	O ⁻² , Cl,	
4.Grup	<u>Cu, Ag, Hg</u>	Br ⁻ , I,	
5.Grup	<u>Pt, Au</u>	S ⁻²	

Bu sıralamaya göre hem anyonlar (- yüklü iyonlar), hem de katyonlar (+ yüklü iyonlar) için yukarıdan aşağıya doğru gidildikçe aktiflik azalır. Katyonların 4. ve 5.grubunu oluşturan metaller soy metaller olarak adlandırılır ve aktiflikleri en az olan metaller olup, çok az sayıda tepkimeye girerler. Böylece özellikle altın (Au) başta olmak üzere soy metaller korozyona karşı en dayanıklı saf metalleri oluşturmaktadır. Fakat bu maddelerin endüstride kullanımını çok kısıtlıdır. Çünkü, nadir olan maddeler olduğundan fiyatları oldukça yüksektir.

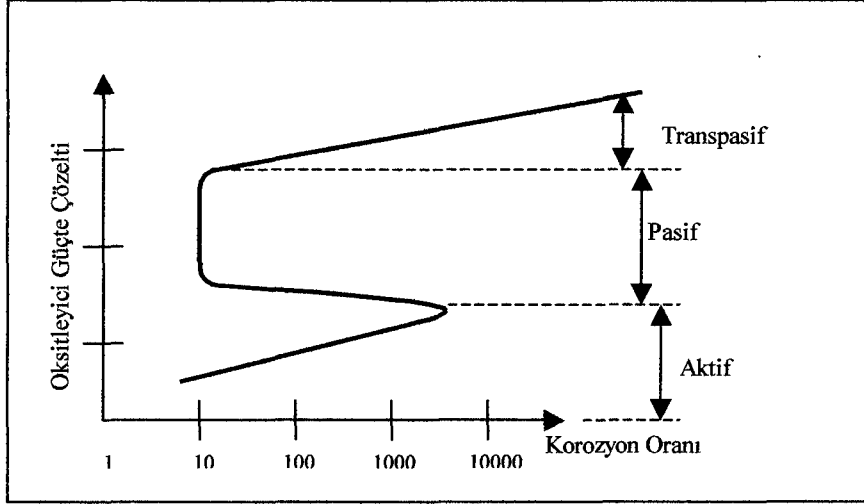
Yukarıda verilen aktiflik sıralaması hakkında birkaç unsuru belirtmek yararlı olacaktır. Aktifliği H_2 den fazla olan metaller (1. ve 2.grup), asitler ile tepkime vererek sonuçta tuz ve su oluştururlar. Soy metaller yapısında oksijen bulunmayan asitler ile tepkime vermezler. 1.grup metaller su ile tepkime vererek baz ve hidrojen gazı oluştururlar. 2.grup metaller uygun koşullarda su ile tepkimeye girerek metal oksit ve hidrojen gazı çıkarırlar. Aktiflik sıralamasında (Fe) demirden sonra olan 3,4 ve 5.grup metaller su ile tepkime vermezler.

Bulunduğu ortamda bir metalin potansiyeli kritik bir büyüklüğün üzerine çıktığı zaman (dıştan anodik potansiyel uygulanarak yada ortama yükseltgeyici ekleyerek) korozyon hızı önemli miktarda azalıyorsa metal pasifleşiyor denir. Pasiflik basitçe, bir metalin bazı çevresel koşullarda kimyasal tepkime verme yeteneğini yitirmesi olarak da tanımlanabilir. [10]

Mühendislik bakımından, pasiflik korozyonu azaltan bir olanak olarak görünse de pasif durumdan aktif duruma geçme olasılığı düşünülerek çok özen gösterilmelidir. Pasiflik, alışılmayan kendine özgü özellikler göstermesi ve mühendislik uygulamaları bakımından önemi nedeniyle öteden beri geniş çapta araştırma konusu olmuştur. [10]

Çözünme potansiyelleri hidrojenin çözünme potansiyelinden küçük olan metaller sulu çözeltilerde hidrojen çıkışı ile çözünürler. Metalin çözünme potansiyeli hidrojenden ne denli küçükse korozyon da o denli büyük olur. Çözünme potansiyeli, oksijenin çözünme potansiyelinden (+ 1,23 volt) büyük olan metaller korozyona uğramazlar. [10]

Pasiflik özel etkenlerle bazı metal ve alaşımların kimyasal etkinliklerini yitirmeleri olarak da tanımlanabilir. Mühendislikte yapı malzemesi olarak kullanılan alaşımların çoğu bu özelliği gösterirler. Bunlar demir, nikel, silisyum, krom, titan ve alaşımlarıdır ki bu metallere aktif-pasif geçişli metaller denir. Sınırlı koşullar altında çinko, kadmiyum, uranyum ve toryum da pasiflik özelliği göstermektedirler. [10]



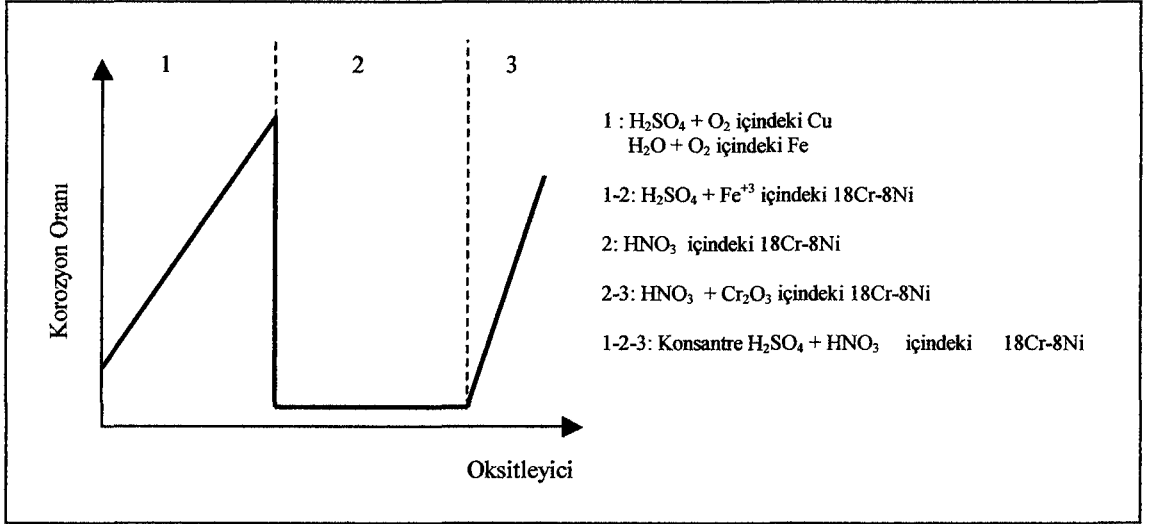
Şekil 3.3. Aktif pasif metalin korozyon karakteristikleri (Oksitleyici güçteki çözelti fonksiyonu olarak) [4]

Şekil 3.3'te pasifleşen bir metalin durumu gösterilmiştir. Pasifleşen bir metal yada alaşımın durumu üç bölgeye ayrılarak incelenebilir: aktif, pasif ve transpasif bölge. Aktif bölgede bu metalin durumu pasifleşmeyen normal bir metalin durumuna özdeştir. Çözeltinin yükseltgenme potansiyelindeki biraz artış, korozyon hızının hızla artmasına neden olur. [4,10]

Korozyon hızındaki bir artış, onu izleyen hızlı bir azalma ve sonra korozyon hızının yükseltgeyici derişiminden bağımsız olması titan ve Cr-8Ni paslanmaz çeliği gibi aktif-pasif geçişli metal ve alaşımlar için karakteristiktir (Şekil 3.4'de 1 ve 2 bölgeleri). [4,10]

Eğer bir aktif-pasif geçişli metal başlangıçta bir ortam içinde pasif ise, daha çok yükseltgeyici eklemenin korozyon hızı üzerine ancak ihmal edilebilir bir etkisi olur. Bu koşullar sık sık aktif-pasif geçişli bir metal nitrik asit yada $FeCl_3$ gibi yükseltgeyici ortamlara daldırıldığı zaman olur. 2 ve 3 bölgeleriyle gösterilen

durum, başlangıçta pasif olan bir metal, çok kuvvetli yükseltgeyici ortama konulduğunda transpasif bölgeye geçiş yaparsa gözlenir. Böyle bir durum paslanmaz çeliğin bulunduğu korozif ortama kromat gibi çok kuvvetli oksitleyici özdokler konulduğu zaman sık sık gözlenir. Derişik sülfürik ve nitrik asit sıcak nitratlama karışımlarında nitrik asit sülfürik aside oranla arttırıldığı zaman bütün aktif-pasif transpasif geçişler gözlenir. [10]



Şekil 3.4. Korozyon oranına havalandırma ve oksitleyicilerin etkisi [4]

Yükseltgeyicilerin eklenmesi yada oksijenin bulundurulmasıyla korozyon hızının değişimi hem ortama hem de söz konusu metallere bağlıdır. Yükseltgeyici eklenmesiyle korozyon hızı artabilir, hiçbir etkisi olmayabilir yada karışık durum gözlenebilir. Metal yada alaşım ve olayın temel karakteristikleri bilinirse, yükseltgeyici eklenmesinin etkileri çoğu kez önceden tahmin edilebilir. [10]

3.4. Korozyon Hızı ve Ölçme Yöntemleri

Metal ve alaşımların korozyona karşı dirençlerini birbiriyle karşılaştırabilmek için her birinin korozyon hızı nicel olarak verilebilmelidir. Çizelge 3.3'te gösterildiği üzere literatürde korozyon hızı çeşitli yollardan ifade edilmektedir.

Malzemenin korozyona karşı direncini belirtmek için, korozyon ortamına bırakılmış bir malzemenin kütle azalması gram yada miligram ve yüzde kütle değişimi olarak verilebilir. Ancak bu oldukça az uygulanan bir yoldur, belirtilen her iki yolda kütle azalması, malzemenin korozyon ortamında kalmasına bağlıdır. Ayrıca korozyona uğrayan malzemenin biçimi de korozyon hızına etkir. Örneğin aynı kütlerde bir küre ve ince bir levha halinde olan aynı metali aynı korozyon ortamına aynı süre bırakılacak olursa hem kütle azalması hem de yüzde kütle değişiminin levha halindeki örnekte daha büyük olduğu görülür. Çünkü korozyon ortamına birim hacimde daha büyük bir yüzey göstermiştir. Buna göre korozyon hızı anlatımında belirsizlik ve yanlış anlaşılma nedeniyle bu her iki anlatım yolundan kaçınılmalıdır.

Diğer bir grup anlatımda kütle azalması birim zaman için birim yüzey başına kütle azalması olarak değiştirilmiştir. İngiliz ve Amerikan literatüründe genel olarak kullanılan desimetre kare için günde miligram azalmasıdır (mdd). Birinci anlatımdan farkı bekletme süresi ve yüzeyin etkisini içinde bulundurmasıdır. Burada yine bir büyük sakınca vardır; korozyon direncini metal içine işleme yada incelme teriminde anlatılmamaktadır. Mühendislik bakımından metalin içine girme hızı yada bir yapı parçasının incelmesi, söz konusu malzemenin ömrünü önceden tahmin için doğrudan kullanılabilir. [10]

Çizelge 3.3. Mühendislik uygulamaları için korozyon hızlarını karşılaştırmada kullanılan anlatımlar [10]

ANLATIM	YORUM
Kütle azalması g yada mg, yüzde kütle değişimi	Az kullanılır, örneğin biçimi, korozyon ortamında kalma süresi sonuca etkir.
Günde dm^2 için mg (mdd), Günde dm^2 için g, saatte cm^2 için g, saatte m^2 için g, saatte inç kare için g, saatte cm^2 için mol	İyi, ancak bu anlatımlar metallerin incelme hızlarını vermemektedirler.
*Yılda inç, *Ayda inç, *Yılda mm	Daha iyi, bu anlatım metallerin incelme hızlarını verir.
*Yılda mil (mpy)	En iyi, metalin incelme hızını olanaksız olarak küçük sayılarla verir.

* Yukarıdaki tabloda belirtilen bu anlatımlar korozyon hızını doğrudan incelme teriminde verirler.

Literatürde korozyon oranı ile ilgili çeşitli ifade yolları bulunmaktadır. Örneğin; yüzdece ağırlık kaybı (günde cm^2 başına mg cinsinden yada saat başına her inç karede gram cinsinden) olarak ifade edilir. Bu ifadeler korozyona karşı dayanıklılıkta kullanılan terimler biçiminde dile getirilmezler. Sıklıkla kullanılan ifadelerin yada bir gövde parçasındaki inceleme gibi ifadeler komponentin ömrünü veren tahminlerde kullanılabilir. [4]

Yıl başına mil ifadesi korozyon oranının ifade edilmesinde daha çok arzu edilir. Bu ifade korozyon testi süresince örnek metalin ağırlık kaybından kolayca hesaplanabilir:

$$\text{mpy} = \frac{534W}{DAT} \quad (3-7)$$

şeklinde formülize edilebilir. Burada; W mg cinsinden ağırlık kaybını; D, gr/cm^3 cinsinden numunenin yoğunluğunu; A, inç kare cinsinden numunenin alanını ve T, saat cinsinden numunenin etkiye maruz kaldığı süreyi belirtmektedir. [4]

Yılda mil olarak verilen korozyon hızı aşağıdaki bağıntılarla metrik sisteme çevrilir.

$$\text{mpy} = 0,0254 \frac{\text{mm}}{\text{Yıl}} = 25,4 \frac{\mu\text{m}}{\text{yıl}} = 2,9 \frac{\text{nm}}{\text{saat}} = 0,805 \frac{\text{pm}}{\text{s}} \quad (3-8)$$

burada (mm), 10^{-3} m; mikrometre veya mikron (μm), 10^{-6} m; nanometre (nm), 10^{-9} m ve pikometre (pm), 10^{-12} metreyi göstermektedir.

Genellikle endüstride kullanılan dayanıklı malzemelerin korozyon hızları 1-2000 mpy arasındadır. Çizelge 1.3'te metal ve alaşımların inceleme hızları mpy ve onun metrik sistemdeki eşdeğerleriyle birlikte, korozyon dayanç durumlarını sınıflandırmak üzere verilmiştir. Metrik sistemde mm/yıl sayıları ondalıklı, $\mu\text{m}/\text{yıl}$ sayıları büyük sayılarla karşılanırken, pm/s sayılarının yaklaşık mpy sayılarına yaklaşması ilginçtir ve kullanımı pratik görünmektedir. [10]

Çizelge 3.4. Yılda mil (mpy) incelme hızlarının eşdeğerleri olan metrik sistemle karşılaştırılması [10]

Bağıl Korozyon Direnci x	Yaklaşık Metrik Eşdeğerler				
	Mpy	mm/yıl	µm/yıl	Nm/saat	Pm/s
Çok çok iyi	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
Çok iyi	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
İyi	5-20	0,1-0,5	100-500	10-150	5-20
Orta	20-50	0,5-1	500-1000	15-150	20-50
Zayıf	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Kabul edilmez	200 +	5 +	5000 +	500 +	200 +

Bir elektro-kimyasal tepkimede anodik reaksiyon ve katodik reaksiyon aşağıdaki gibi nitelendirilebilir:



Bu durumda korozyon oranı periyodik olarak anodun ağırlığına bağlı bir biçimde belirlenir:

$$CR = \frac{\Delta m}{T} \quad (3-11)$$

Burada, CR, korozyon oranı, Δm ağırlık kaybı, T zamanı belirtmektedir.

g/s cinsinden korozyon oranı eşitliği;

$$CR = \frac{I_{kor.} A (EW)}{F} \quad (3-12)$$

mpy cinsinden korozyon oranı eşitliği;

$$CR = \frac{0,13 I_{kor.} (EW)}{D} \quad (3-13)$$

Bu eşitliklerde, $I_{kor.}$ Korozyon akım yoğunluğunu (amper/cm³); A, anot yüzey alanını (cm²); (EW), moleküler ağırlığı; F, Faraday sabitini; D, ise anotun yoğunluğunu (g/cm³) sembolize etmektedir. [16]

Korozyon hızını etkileyen faktörlerin başında, korozif etki altında olan metalin yapısı gelmektedir. Diğer faktörler ise ortam şartları ve atmosfer sıcaklığıdır. Öte yandan, metalin yapısında değişiklik yaratan ısı işlem, soğuk işlem ve su verme, kaynak işlemleri korozyona hassaslığı etkilemektedir. Metalin şekli ve yüzey durumunun korozyon hızı üzerinde büyük etkisi vardır. Ortam şartları faktörlerinin başında ortamdaki nem ve kimyasal artıklar gelmektedir. Ortamın sıcaklığının artması korozif reaksiyonun hızını arttırır. [6]

Son zamanlara kadar korozyon hızının ölçülmesi başlıca kütle azalmasının belirlenmesine dayanmaktaydı. Bu yöntemle korozyon hızının belirlenmesi uzun zaman alır ve ortalama bir hız verir. Yeni ölçüm yöntemleri başlıklar halinde ifade edilecek olursa; galvanostatik yöntem, potansiyostatik yöntem, tafel ekstrapolasyonu yöntemi, katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemi, polarizasyon direnci yöntemi olarak sıralanabilir. [10]

4. KOROZYON ÇEŞİTLERİ

Korozyonu biçimlerine göre sınıflandırmak olanaklıdır. Her birinin biçimi çoğu kez çıplak gözle görülebilir, ancak bazen büyütme de gerekebilir. Korozyona uğramış örneklerin yada artık işe yaramaz duruma gelmiş parçaların özenle gözle incelenmesi çoğu kez korozyon sorunlarının çözümünde değerli bilgiler sağlamaktadır. Özellikle temizlemeden önce bu gibi incelemeler yapılmalıdır. [10]

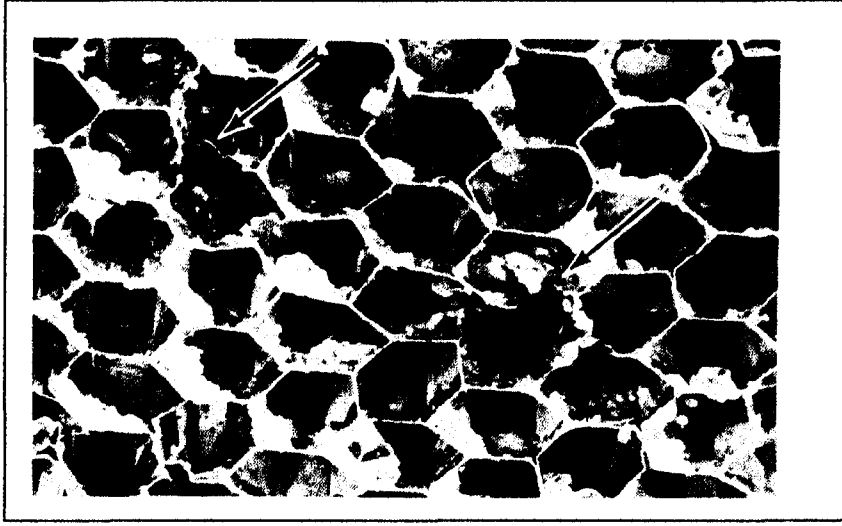
4.1. Genel (Homojen Dağılımlı) Korozyon

Korozyonun en genel türüdür. Geniş bir yüzey yada bütün yüzeyin her yanında kimyasal yada elektrokimyasal tepkimenin aynı biçimde yürütmesi ile metal yüzeyi her yanda aynı biçimde aşınır. Metal giderek incelir ve zamanla işe yaramaz duruma gelir. [10]



Şekil 4.1. Bir ateşleme ünitesi olan manyetoda elektrik iletim ünitelerinde görülen korozyon hasarı [12]

Genel korozyon adıyla anılan bu korozyon çeşidi tek biçimli bir yüzey korozyonudur. Homojen dağılımlı korozyon yüzey üzerinde düzgün bir şekilde ortaya çıkan kimyasal ya da elektrokimyasal olaylar ile karakterize edilir. Anodik ve katodik bölgeler sabit bir biçimde değişir böylece korozyon metal yüzey içine doğru yayılır. Genel korozyonun tanımlanması genellikle kolaydır fakat bunların sebebini tespit etmek zordur. [2]



Şekil 4.2. Alüminyum alaşımlı petek yapıda (honeycomb) tespit edilmiş hasar [12]

En yaygın korozyon türü olarak bilinen homojen dağılımlı korozyon yol açtığı metal kaybı diğer korozyon türlerine oranla çok yüksektir. Buna karşın en az korkulan korozyon türüdür. Çünkü homojen dağılımlı korozyonun hızı basit laboratuvar deneyleri ile saptanabilir. Böylece saldırgan ortamlara terkedilen parça ve yapıların ömrüne ilişkin tutarlı tahminlere ulaşmak mümkündür. Homojen dağılımlı korozyon farklı koruma yöntemleri kullanılarak başarı ile kontrol edilebilir. Yüzey kaplamaları, katodik koruma ve saldırgan ortama ilave edilen korozyon hızını sınırlayıcı maddeler gibi. [2]

4.2. Atmosferik Korozyon

Çevrenin atmosferik şartlarının etken olduğu bir korozyon türüdür. Atmosferik korozyon çeşitli coğrafik bölgeler ve yerel koşullara göre değişkenlik gösterir. Bu tip korozyon öncelikle oksijen ve nem yüzünden oluşur. Fakat sodyumklorür (NaCl) ve kükürt (S) bileşiklerinin meydana getirdiği kirler ile oluşan sebepleri de göz ardı etmemek gerekir. [4]

Çizelge 4.1. Atmosferik kirliliğe temel oluşturan bileşikler ve buldukları bölgeler [20]

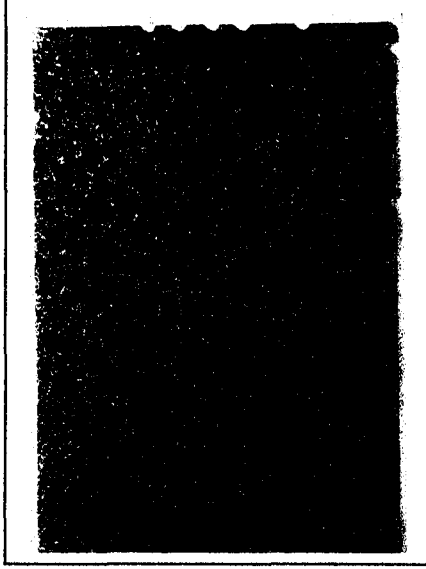
Kirlilik	Tipik Konsantrasyon ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)
SO ₂	Endüstriyel bölge; kış:350, yaz:100 Kırsal bölge; kış 100, yaz:40
SO ₃	SO ₂ de yaklaşık olarak %1 oranında bulunur
HS	Baharda ölçülen değerlere göre; Endüstriyel bölge: 1,5 – 90 Kentsel bölge: 0,5 – 1,7 Kırsal bölge: 0,15 – 0,45
Amonyak	Endüstriyel bölge: 4,8 Kırsal bölge: 2,1
Klor (Havadan örneklenmiş)	Endüstriyel kıyı bölge; kış:8,2 yaz:2,7 Kırsal kıyı bölge; yıllık ortalama : 5,4
Klor (Yağmur Suyundan örneklenmiş)	Endüstriyel kıyı bölge; kış:250 yaz:100 *Bu değerler litrede mg cinsindedir
Kül Parçacıkları	Endüstriyel bölge; kış: 250 yaz: 100 Kırsal bölge; kış: 60 yaz: 15

Çevresel koşullara göre atmosfer tipleri: Kırsal, şehir, kutupsal, tropikal (ıslak, kuru), endüstriyel ve deniz ortamları olarak sıralanabilir. Atmosferik korozyonu etkileyen genel faktörler; faz tabakaları, çığ, yağmur, sis, toz, sıcaklık olarak sıralanır. Atmosferde koroziye sahip bileşik ve gazlar: Kükürt-oksijen bileşikleri (SO_x), azot-oksijen bileşikleri (NO_x), klor ve oksijendir. [21]

Çizelge 4.2. Koroziye sahip atmosfer tipleri [20]

Korozyon Oranı	Atmosferik Bölge Tipleri		
Yüksek korozyon iletimi	Tropikal	Endüstriyel	Liman (Deniz Kıyısı)
Orta şiddette korozyon	Ilıman	Banliyö	
Düşük oranda korozyon	Kutupsal	Kırsal	İçsel Kısımlar

Atmosferik etkilere karşı malzemenin yapısının güçlendirilmesi de olanaklıdır. Düşük oranda alaşımlı çelikler ile çeliğin korozyona dayanımının geliştirilmesinde günümüzde yaygın olarak boya kaplaması dayanıklılığının arttırılmasına çalışılmaktadır. Ayrıca, etkileşim süresinin de meydana gelen hasarla ilgisi açıktır. [7]



Şekil 4.3. Düşük alaşımlı bir çeliğin 15 yıl deniz bölgesinde kaldıktan sonraki görüntüsü [7]

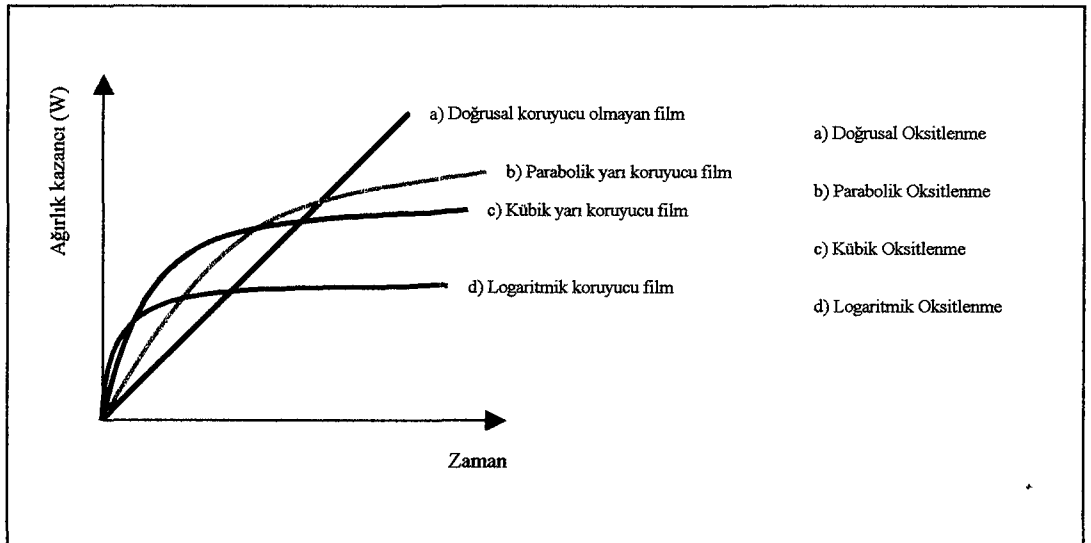
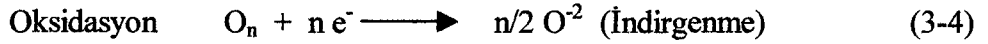
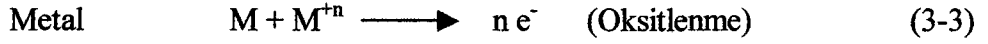
Çizelge 4.3. Üç tip atmosfer şartlarında 10 yıl ve 20 yıl etkiye maruz bırakılan çeşitli metallerin ortalama korozyon oranları [22]

Korozyon oranı (mil / yıl)						
Metal	Kırsal atmosfer		Endüstriyel atmosfer		Deniz atmosferi	
	10 Yıl	20 Yıl	10 Yıl	20 Yıl	10 Yıl	20 Yıl
Alüminyum	0,001	0,003	0,032	0,029	0,028	0,025
Nikel	0,006	0,009	0,128	0,114	0,004	0,006
Çinko (%99,9)	0,034	0,044	0,202	0,226	0,063	0,069
Karbonlu çelik	-----	-----	0,48	-----	-----	-----
Düşük alaşımlı çelik	-----	-----	0,09	-----	-----	-----

Atmosferik korozyon; kuru oksitlenme, nem korozyonu, ıslak korozyon şeklinde sınıflandırılabilir. Kuru oksitlenmede oksit oluşturma serbest enerjileri eksi olan bütün metaller havada bu oksitlenmeye uğrar. Daha basit korozyon

çeşitlerinden birisi ve belki de en tanıdık olduğumuz "kuru" korozyon ya da daha genel bilinen şekliyle oksitlenmedir. [10]

Metal oluşumunda atomlar yada gaz halindeki moleküller elektron kaybederek birleşirler ve oksitlenme olarak adlandırılan tepkime meydana gelir. Aynı zamanda metal olmayan elementler elektron alırlar ve buna da indirgenme adı verilmektedir. Böylece oksitlenme elektron transferlerini içerir ve elektrokimyasal bir süreç olduğu göz önüne alınmalıdır. Oksitlenme tepkimesi için tepkimede oksijenin bulunması gerekli değildir. Bileşik formunda tepkiyen metal ve metal olmayan malzemeler bir çok kombinasyondan oluşmuştur ve elektronların transferi oksitlenme tepkimesinin meydana gelmesi için yeterli bir prosestir. Ana reaksiyon iki ayrı reaksiyonun birleşiminden ibarettir. [12]



Şekil 4.4. Oksitlenme eğrileri [12]

Oksitlenme, metaller ile oksijenin tepkimeye girerek malzemenin yüzeyinde gözle görülen bir renk değişikliği ve tortu tabakası oluşumunu sağlar. Bu da malzemenin dayanıklılığını ve yapısını bozar. [13,8]

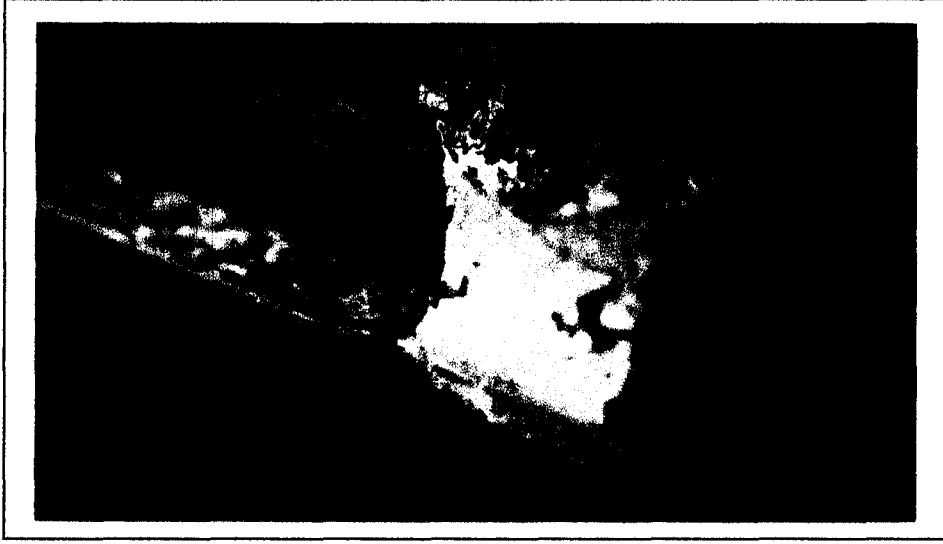
Nem korozyonu ve sulu korozyon için metal yüzeyinde ince görünmeyen bir elektrolit film (nem tipi) yada görünen çığ, yağmur, deniz suyu sıçramaları vb. (ıslak tip), korozyon mekanizmalarında etkin olur. Korozyon ürünleri çözünür yada çözünmez olabilir. Eğer çözünmüyorsa genellikle üzerinde olduğu metal ve alaşımı bulunduğu ortamdan ayırarak korozyon hızını düşürürler. Daha az olmakla birlikte, az fiziksel koruma gösterip nemi metal yüzeyinde daha uzun süre tutma yoluyla korozyonu arttırılabilirler. [10]

Sıcaklık söz konusu metale bağlı olarak az yada çok önemli bir etken olabilir. Metal yüzeyinden elektrolit çözeltisinin doğrudan yada korozyon ürünleri katmanı arasından havaya karşı koruma hızı sıcaklığa bağlıdır. Bununla birlikte metal yapısının ısı kapasitesi, güneşe karşı yönü, güneş ışınlarının şiddeti, metal yüzeyi yada onun korozyon ürünlerinin yansıtıcılığı, rüzgar hızı ve yönü, çözünmeyen korozyon ürünlerinin ısı yalıtımı özellikleri gibi bir çok etken metal sıcaklığına etkir. [10]

4.3. Çukurcuk Korozyonu

Metal yüzeydeki oyuğun ölçüsü ya da derinliğin belli bir değerden az olduğunda bölgesel korozyon genel olarak çukurlaşma (pitting) olarak adlandırılır. [4]

Çukurcuklar genellikle yer çekiminin yönünde büyür. Birkaç çukurcuk yatay yüzeyin sonundan yukarı doğru ya da dikey yüzeyde başlar. Sıkça rastlanan çukurlaşmanın ilk baştaki sebebi oluşan çukurcukların (pit) oluşması değildir. Odacıklarda sıkça değişen farklı oksijen konsantrasyonu çukurlaşmanın başlamasını sağlar. Bir kere, çukurlaşmanın meydana gelebilmesi için değişen çevresel faktörler ile çukurcukların oluşmaya başlaması gerekir. Asidik metal klorlarının oluşması sebebi ile pozitif olarak şarj olan anotlar çukurcuk içinde negatif klor iyonlarını çeker. Bu sebepten dolayı çukurcuk korozyonu bazen de "otokatalitik" olarak adlandırılır. Zamanla içine işleme oranının artması ve daha kötü çukurcukların oluşması ile malzeme iyice kötü bir hal alır. Çukurcuk korozyonu bazı yerlerde karıncalanma olarak da anılır. Çukurcuk korozyonu yüzeydeki beyaz toz kümelerinin görünmesiyle belirlenebilir. [4]



Şekil 4.5. Döküm magnezyum alaşımından oluşan kordon biçimindeki bir uçak elemanın son kısmındaki yoğun çukurcukların oluşturduğu hasar [12]

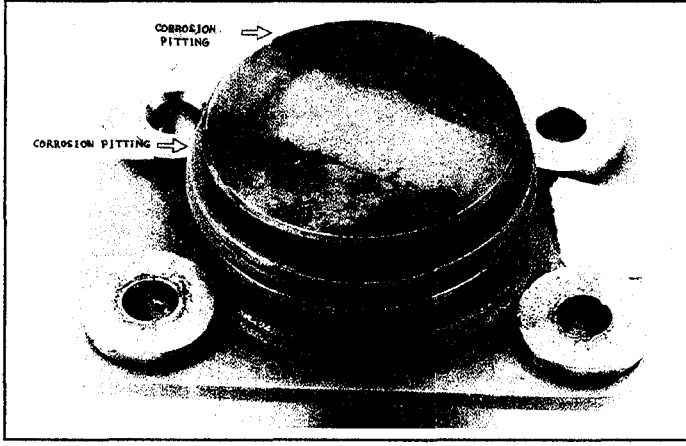
Sık rastlanan ve tehlikeli bir bölgesel korozyondur. Düzensiz şekilde dağılmış alaşım elemanları korozyon hücresi oluşturacak bir potansiyel farka sahip olduklarında, bu tür korozyon oluşur. Çukurcuk korozyonu nemle temas eden alaşımın yüzeyinde, nemle temas eden anodik ve katodik kısımların bulunması sonucunda oluşur. Çukurcuk korozyonu alüminyum ve magnezyum alaşımlarında sık rastlanan bir korozyon türüdür. İlk belirtisi yüzeyde toplanan kabaran beyaz ve gri tozumsu yığıntılardır. Bu yığıntılar temizlendikten sonra küçük oyuklar veya boşluklar görülebilir. [6,10]



Şekil 4.6. Silindirik biçimli yağ tankının altında 10 yıl kullanım sonucu çukurcuklar üzerinde oluşan pas tortuları [23]

Bozucu etkisi, yaygınlığı ve kontrolündeki güçlükler nedeniyle çukurcuk korozyonu en korkulan korozyon türlerinin başında gelir. Çukurcuk korozyonu genellikle klor ve brom iyonları içeren nötr ortamlarda oluşur (örneğin; NaCl, CaCl₂, MgCl₂, AlCl₃ ve NaBr tuzlarından bir veya bir kaçını aynı zamanda içeren havalandırılmış ortamlar). NaCl ve oksijen bakımından hayli zengin olan deniz suyu çukurcuk korozyonuna yol açan etken bir ortamdır. [4]

Oksitleyici özelliği olmayan ortamlarda çukurcuk korozyonu artan oksijen miktarı ile hızlanır. pH değeri ortamın çukurcuk korozyonu bakımından etkinliğini belirleyen önemli bir önemli bir göstergedir. pH değeri düşürülünce yerini genel korozyona (Homojen dağılımlı korozyon) terk eder. [4]



Şekil 4.7. F-110-GE-400 turbofan motoru fan hızlandırıcı tranmitter ünitesinde rastlanan çukurcuk korozyonu hasarı [24]

Oksitleyici yani indirgenebilen metal iyonlarının klorürlerini içeren ortamlar çukurcuk korozyonu yönünden en tehlikeli ortamlardır. FeCl₃, CuCl₂ ve HgCl₂ bu ortamlardan ilk akla gelenlerdir. Çukurcuk korozyonunun belirgin özelliklerinden biri de çok küçük çözelti miktarlarıyla oluşmasıdır. [2]

4.4. Hidrojen Hasarı

Genellikle hacim merkezli kübik yapıya sahip yüksek dayanımlı malzemelerde (yüksek dayanımlı çelikler) görülür. Hidrojenin yol açtığı bozunma farklı görünümlele karşımıza çıkar. [2]



Şekil 4.8. Hidrojen hasarına uğramış çelik parça [4]

Hidrojen hasarları hidrojenle ilgili olarak bir metalin mekanik olarak hasara uğradığını anlatmak için kullanılan genel bir terimdir. Hidrojen hasarları dörde ayrılabilir:

- Hidrojen kabartması: Hidrojen atomlarının metal içine difüzyonu, kaymış düzlem ve boşluklarda bu atomların hidrojen molekülü halinde birleşmeleri sonucu oluşmaktadır. [10]
- Hidrojenden etkilenme: Yüksek sıcaklıkta hidrojenle alaşımın herhangi bir bileşeni arasındaki karşılıklı ilgiyi gösterir. Hidrojen kabartması ve hidrojen gevretmesiyle kırılma petrol işlemleri, kimyasal işlemler, asitle temizleme işlemi, kaynak işlemi yada korozyon sırasında olabilir. Hidrojen kabartması yada hidrojen gevretmesiyle kırılma mekanik hasarlarla sonuçlandığından bunlar önlenemezse çok büyük zararlarla karşılaşılır. [10]
- Hidrojen gevretmesiyle kırılma: Hidrojen gevretmesiyle metal yada alaşımın bozulma, kırılma mekanizması, hidrojen kabartması gibi iyi bilinmemektedir. Başlangıç nedeni, yukarıdaki her iki madde için de hidrojenin metal yapısı içine girmesidir. [10]
- Dekarbonizasyon, gevrekleşme ve çatlağın sonucunu oluştururlar. Hidrojen çatlağı tanecikler arasındadır, hızlıca dallanır fakat sürekli değildir.[4]



Şekil 4.9. 4340 tipi çelikte bakır indüklenmesi sonucu oluşmuş metal gevrekleşmesi [22]

Hidrojenle bozunmanın malzeme özelliklerine etkisini şu şekilde açıklayabiliriz:

- Mekanik özelliklerden kayıplar : Çekme dayanımında ve kopma uzamasında azalmalar olarak karşımıza çıkar.
- Bozunma yüzdesi malzemenin çekme dayanımı ile ters orantılıdır. Bu tutum özellikle hidrojenle çatlama için geçerlidir. Diğer bir deyişle, hidrojenle çatlama karşı duyarlılık çekme dayanımı ile artar.
- Çentik etkenliğinde artma: Bu tutum malzemenin içerdiği gerilim artırıcı geometrik düzensizliklerin çatlaklara dönüşmesi için gerekli gerilim seviyesinin düşmesi şeklinde açıklanabilir. [2]

Hidrojenle çatlama metal hidrürlerin yol açtığı malzeme gevrekleşmesine bağlanabilirse de, bu daha çok titan gibi hidrojene aşırı ilgi gösteren hidrür yapıları için geçerlidir. [2]

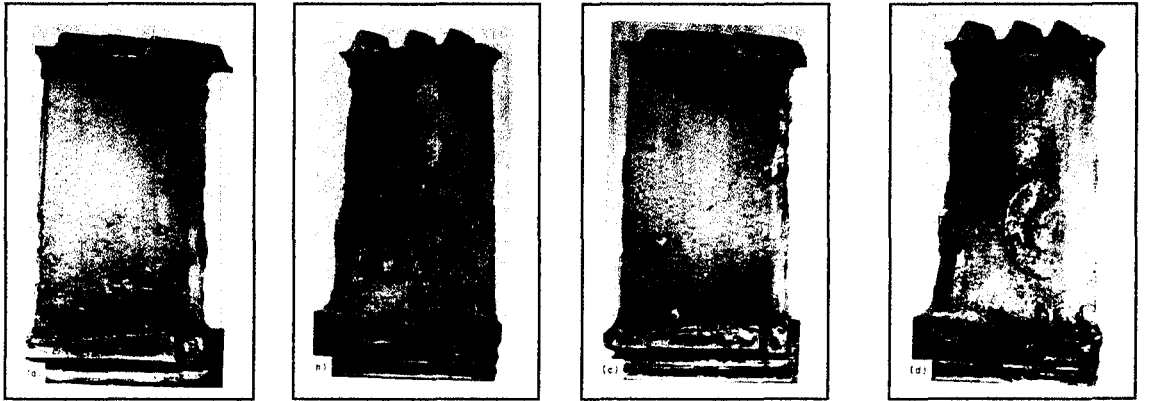
4.5. Erozyon

Malzeme yüzeyi ile ortam arasındaki bağıl hızın yüksek değerlere ulaştığı sistemlerde görülen bozunma türüdür. Erozyonlu korozyon, durağan koşullara oranla metal kayıp hızının önemli ölçüde artması ile kendini hissettirir. Örneğin, hızlı aşınma ile iç basıncı tutamayacak ölçüde incelen borular çatlayarak görevlerini yapamayacak duruma gelir. Metal kaybı metalin iyonlarına dönüşmesi veya yüzeyde oluşan oksit tabakalarının uzaklaştırılarak ortama karışması ile gerçekleşir. Bozunan yüzeylerin görünümü akım doğrultusuna yönelik engebelerden oluşur. [2]



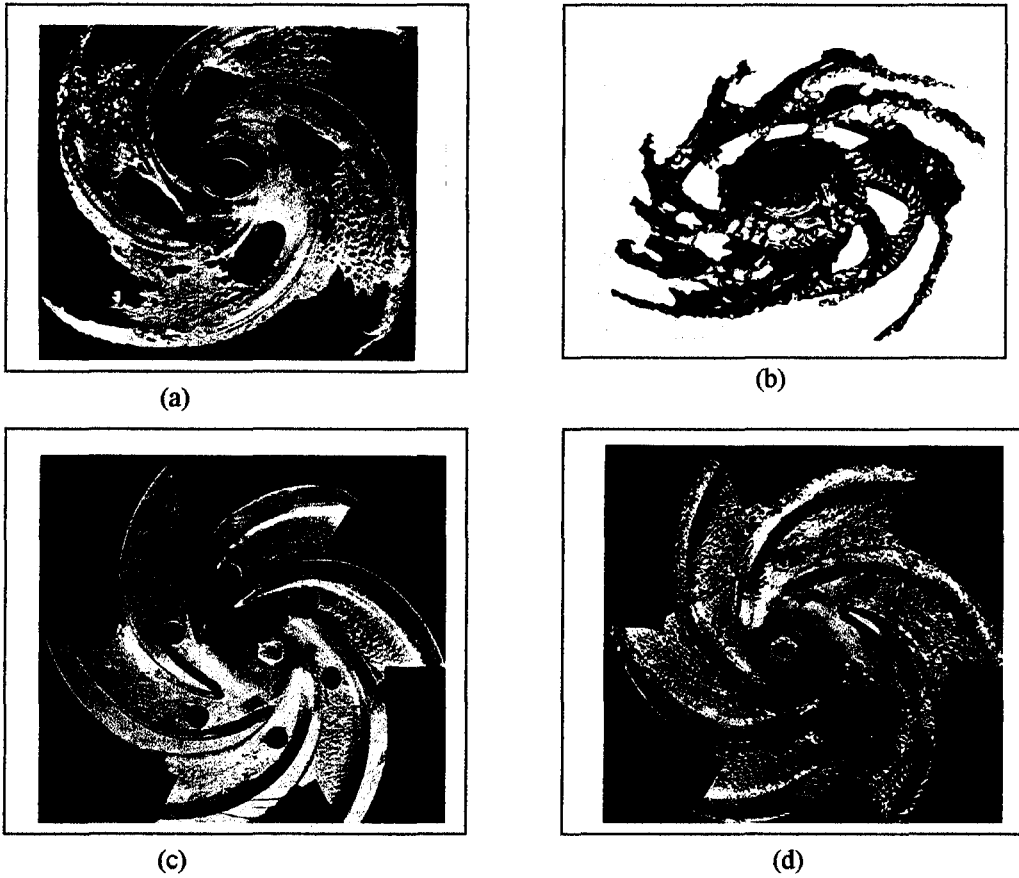
Şekil 4.10. 12 defa büyütülmüş pirinç malzeme yüzeyinde at nalı izi şeklinde oluşan erozyon korozyonu [7]

Bir metal ile korozif ortam arasındaki bağıl hareket nedeniyle metalin aşınma yada parçalanma hızının artmasına erozyon korozyonu denir. Genellikle bu hareket oldukça hızlıdır ve mekanik yıpranma yada aşınma etkisi söz konusudur. Metal yüzeyinden metal iyon olarak çözünerek uzaklaşır yada katı korozyon ürünleri oluşturur. Bu korozyon ürünleri de mekanik olarak metal yüzeyinden uzaklaşır. [10]



Şekil 4.11. Erozyon korozyonuna uğramış türbin pallerinin görünümü [22]

Erozyon korozyonunun rastlandığı haller hayli yaygındır. Gaz ve sıvıların pompalanması ve uzak mesafelere taşınmasında kullanılan teçhizat ve boru hatları, örneğin kömür ve maden cevherlerinin toz halinde su ile karıştırılarak uzak mesafelere pompalandığı boru hatları, sıcak su ve buhar hazırlama tesisleri verilebilecek örneklerdir. Pompa gövdesi ve kanatları, valfler ve valf yuvaları, kazan ve kondenser boruları, türbin kanatları erozyonlu korozyona terk edilmiş olarak görev yapan parçalardır. [2]



Şekil 4.12. a.b.c.d. Eroziv ortamlarda belli bir süre bulunan pompa pervanelerinin görünüşleri [7]

Akım doğrultusunun değişikliğe zorlandığı dirsek, vana ve flanş gibi parçalar erozyonlu korozyona özellikle duyarlıdır. Bunun nedeni akım doğrultusunun malzeme yüzeyine paralel olmasından kaynaklanan çarpma etkisidir. Çarpma, malzeme yüzeyini örten koruyucu tabakayı kısmen uzaklaştırarak etkinliğinin büyük ölçüde azalmasına yol açar. Bu kısımlar yüzey tabakalarının etkinliğini sürdürdüğü diğer bölgelere oranla anodik tutum

kazanacaklarından hızla çözünür. Sistemin yer yer erozyonlu korozyona uğrayarak bozunmasına yol açan diğer bir etmen galvanik eşleşmedir. Ortamda mevcut katı parçacıklar erozyonlu korozyonun hızını büyük ölçüde artırır. Bunlar oksit tabakaların uzaklaştırılmasını hızlandırır. [2]

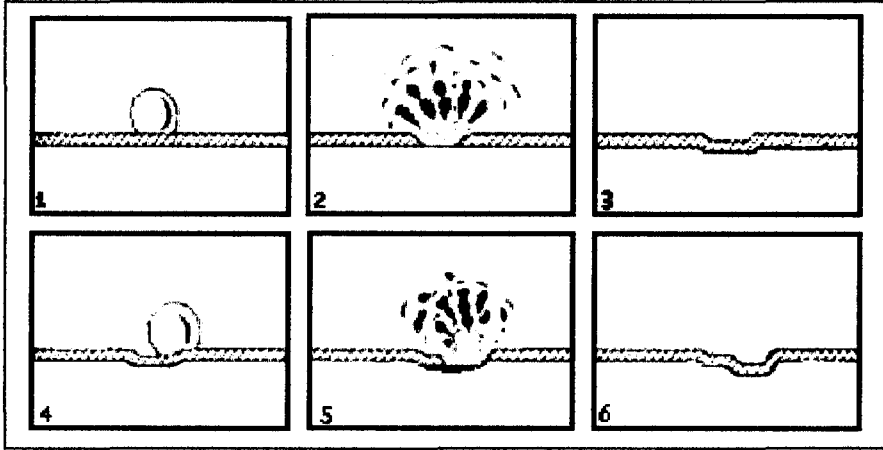
Birçok metal erozyon korozyonuna karşı hassastır. Yumuşak olan metallere bakır, alüminyum ve kurşun güzel birer örneklerdir. Bunlar özellikle mekanik olarak yıpranmaya yatkındırlar. Birçok metalin korozyona karşı dayanımları pasif bir yüzey filmi tabakasına bağlıdır ve erozif güçler bu filmi söktüğünde erozyon korozyonu ilerler. Arada taşınan partiküller ve gaz baloncukları erozyon korozyonu yüzünden oluşan metal kayıplarını arttırabilir. [7]

4.6. Oyuk Açma Korozyonu (Kavitasyon)

Oyuk hasarları erozyon korozyonunun özel biçimidir. Sıvı içinde metal yüzeyine yakın yerlerde oluşan parçaların buhar kabarcıkları oyuk hasarları yaparlar. [10]

Bir metal yüzeye temas eden sıvının içinde oluşan buhar baloncuklarının sönmesi ve teşekkül etmesi nedeniyle oluşan bir tür özel erozyon korozyonu çeşididir. Bölgesel bir alan içinde bileşke şok kuvvetler yüksek bir seviyeye ulaşır ve yumuşak metallere deformasyona ya da kolay kırılabilen yani gevrek maddelerin kocaman bir bölümünde çentik biçiminde yırtıklar oluşturabilir. Çevrenin olumsuz korozif şartları kavitasyon hasarını arttıran etki yapar. [4,10]

Oyuk hasarlarına uğrayan bir metal yüzeyi bir dereceye kadar çukurcuk korozyonuna uğramış yüzeye benzer, ancak çukurcuk korozyonuna uğrayan yüzey genellikle oldukça pürüzlüdür. Oyuk hasarlarını, korozyon ve mekanik etkilerin ortaklaşa oluşturdukları kabul edilir. Oyuk hasarlarının nasıl oluştuğu şekil 4.13'te şematik olarak gösterilmiştir. [4,10]



Şekil 4.13. Kavitasyon korozyonunun oluşum adımlarının şematik gösterimi[4]

Oyulmanın aşağıdaki basamaklardan oluştuğu düşünülmektedir:

- Koruyucu film üzerinde oyuk oluşturan kabarcık oluşur.
- Kabarcık patlar ve filmi parçalar.
- Ortaya çıkan metal yüzeyi korozyona uğrar ve film yeniden oluşur.
- Aynı yerde yeni bir oyuk kabarcığı oluşabilir.
- Kabarcık patlar ve film parçalanır.
- Ortaya çıkan yüzey korozyona uğrar ve film yeniden oluşur. Bu olayın birkaç kez olması sonucu derin oyuklar oluşur. [4,10]

Hızla akan sıvıların malzeme yüzeyine yakın bölümlerinde oluşan alçak basınç kabarcıkları giderek büyür ve patlar. Böylece, başlatılan şok dalgaları yüzeye çarparak malzeme içinde yüksek gerilimlerin oluşmasını sağlar. [2]

Kavitasyon hızı ortamın saldırganlığı ile artar. Ancak, bu artış çukurcuk korozyonuna yol açabilen ortamlarda daha belirgindir. Ortamda içerilen çözünmüş oksijen ve katı parçacıklar kavitasyonun hızını artırıcı diğer etmenlerdir. Kavitasyon hızı sıcaklıkla artarak 45°C yakınında en yüksek değerine ulaşır. Daha yüksek sıcaklıklarda kavitasyon hızının azaldığı görülür. Kavitasyonla bozulan yüzeylerin görünümü kaba ve dilikli bir biçimdedir. Kavitasyonun şiddetli olduğu koşullarda yüzeyde petek oluşumu görülebilir. [2]

5. KOROZYONA YÖNELİK BAKIM SÜREÇLERİ

Korozyona yönelik bakım süreçleri tespit, önlem ve giderme ana başlıklarıyla ifade edilebilir. Bu bölümde, literatürde geçen genel bilgilerin yanı sıra havacılık endüstrisinde çalışan teknik elemanlara konu hakkında ipuçları verilmektedir.

Korozyonu önlemenin ana yöntemi, uygun bakım işleminin tatbik edilmesiyle sağlanır. Korozyon önlemlerinde dayanıklı malzeme kullanımı her zaman tam sonucu vermeyebilir. Korozyona dayanıklı malzemeler doğal olarak daha pasiftir ve daha az pasif metallerle birleştirildiklerinde bu tip malzemeler aşırı şekilde galvanik korozyona uğrarlar. Burada yapılan genel bir hata da korozyona uğramış parçanın korozyona karşı dayanıklı alaşım ile değiştirilmesidir. Böylece, korozyon reaksiyonu yön değiştirir ve aşırılığı daha da artar. [4]

5.1. Korozyon Tespit Yöntemleri

Korozyon tespiti için yapılan muayene ve yöntemler çeşitlidir. Ağırlık kaybı, geometrik boyuttaki değişim, yüzey tabakası kalınlığı gibi ölçütler yapılacak muayenede öncelikle göz önünde bulundurulması gereken unsurlardır. İyi planlanmış ve uygulanmış bir korozyon testi sonucunda güvenilirlik ve yeniden tüketilebilirlik unsurları öne çıkmaktadır. Bu iki unsur, korozyon testinin en önemli faktörleridir. Korozyon testleri için uygulama sonuçlarının dikkate alınması korozyon mühendisliğinde önemli yer tutar. [4]

Korozyon testleri dört ana grupta sınıflandırılabilir:

- a) Laboratuvar testleri
- b) Örnek alet yada benzeşim testleri
- c) Örnek yada güncel servis testleri
- d) Saha testleri

Laboratuvar testlerinde daha küçük numuneler, daha az hacimli çözeltiler ve güncel durumlar uygun olduğu kadar simüle edilir. Bunun yanında “b” tipi test yöntemi en iyi sonucu veren ve arzu edilen test tipidir. Küçük ölçekli kopya numuneler ile yapılan işlemler aslında daha büyük ölçekli numunelerdeki ile aynı sonucu verir. Son iki test tipi birleştirilebilir ancak terminolojide takip eden

işlemleri birbirleri ile karıştırmamak gerekir. Saha testinin örneğini, bir yada daha fazla coğrafi bölgede bulunan raflarda çok sayıda örnek numunelerin atmosferik etkiye maruz kalması oluşturur. [4]

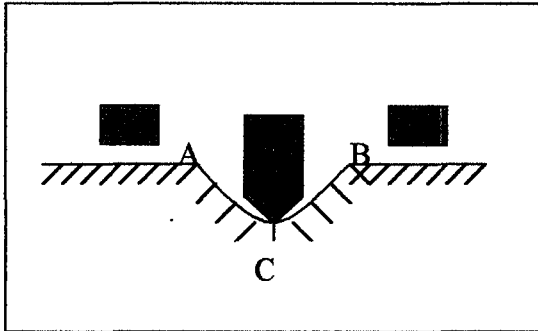
Hava araçlarını sınıflandırarak kullanım amacına göre korozif bölgelerin takibi oldukça akılcı olacaktır:

- Ticari uçaklar : İniş takımı taşıyıcıları, kuyruk dümeni ve yatay stabilize örtü bölgeleri, aileron ve flap iz bölgeleri-fırar kenarı, giriş kapıları, kontrol kabloları, hücum kenarları, menteşe hatları ve hava alıkları, anten kaplamaları, yük ve kapı rampaları yolcu uçakları için geçerli bölgelerdir.
- Jet savaş uçağı : Silah bağlantı alanları, motor hava alığı, kokpit gövdesi, kanat kıvrım alanları savaş uçakları için geçerli bölgelerdir.
- Helikopter : Ana rotor başı asamblesi, kuyruk rotoru asamblesi, transmisyon muhafazası , ana rotor palaları fırar kenarı kısımları helikopterler için geçerli bölgelerdir. [25]

5.1.1. Göz kontrolü

Göz ile yapılan korozyon kontrolünde çeşitli yardımcı araçlardan da faydalanılır. Yararlanılan teçhizatlar; dişçi aynası, prob, büyüteç, düz kenarlı metal, lamba ve korozyon derinlik ölçme komperatörüdür. Derinlik ölçme komperatörü ile korozyonun olduğu yerdeki derinlik bulunur. Bu derinliği bulmak için şu eşitlikten yararlanır:

$$\text{Korozyon derinliği} = \frac{(A + B)}{2} - C \quad (4-1)$$



Şekil 5.1. Komperatör ile korozyon derinliği ölçüm noktaları [6]

Şekil 5.1’de de görüldüğü gibi ilk ölçüm korozyon oyuğunun bir kenarına 4,23 mm mesafede yapılır ve bu değer “A” olarak tanımlanır. Oyuğun diğer kenarından 4,23 mm mesafede ölçümün yapıldığı yer ise “B” olarak adlandırılmıştır. Oyuğun tabanından yapılan ölçüm noktası ise “C” olarak tanımlanmıştır. [6]

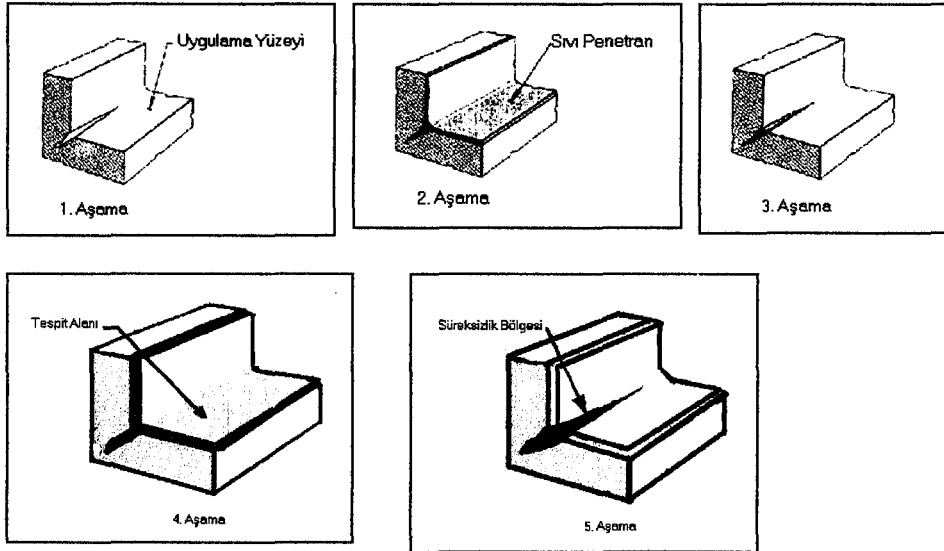
Çizelge 5.1. Metallerin korozyonu sonucunda ortaya çıkan korozif ürünlerin görünümü ve doğası [26]

Alaşımlar	Saldırı tipi	Korozyon ürününün görünümü
Alüminyum alaşımları	Yüzey çukurculaşması, taneler arası korozyon, dökülme	Beyaz yada gri toz biçiminde
Titanyum alaşımları	Genelde yüksek korozyon dayanımını vardır. Klorlu çözeltilerde metal yapısının zayıflaması	Korozyon ürünü görülmez
Magnezyum alaşımları	Çukurlaşma korozyonuna karşı yüksek oranda hassasiyet	Kar tepcikleri biçiminde beyaz toz şeklinde ve yüzey üzerinde beyaz noktacıklar biçiminde
Düşük karbonlu çelikler (4000-8000 serisi)	Yüzey oksidasyonu, ve çukurlaşma korozyonu	Kızıl-kahverengi pas
Korozyona dayanıklı çelikler (300-400 serisi)	Uygun olmayan ısı transferinden dolayı taneler arası korozyon (liman bölgesi şartlarında 300 serisi 400 serisinden daha dayanıklıdır), gerilmeli korozyon çatlağı	Yüzey üzerinde bazen kızıl, bazen de kahverengi yada siyah lekeler biçiminde
Nikel esaslı alaşımlar (İnconel)	Genelde yüksek korozyon dayanımını vardır. Bazen çukurlaşma korozyonuna karşı hassastır.	Yeşil toz tortuları
Bakır esaslı alaşımlar, Pirinç, Bronz	Yüzey ve taneler arası korozyon	Mavi yada mavi-yeşil toz tortuları
Kadmiyum (çelikler için koruyucu kaplama olarak)	Korozyon karşı dayanıklılığı iyidir. Koruyucu film saldırıya karşı çeliği korur.	Beyaz toz biçimli korozyon ürünü
Krom (çelikler için yırtılmaya karşı dayanıklı kaplama olarak)	Klorlu ortamlarda çukurlaşmaya sebep olur.	Krom çeliğe katot yapılıncaya kendisi korozyona uğramaz fakat kaplama içinde çukurcuların olduğu yerde çeliğin pası ilerler.

5.1.2. Sıvı penetranla kontrol

Bu kontrol yöntemi ile parçanın yüzeyinde oluşan çatlak ve yıpranmalar belirlenir. Kontrol edilecek malzeme üzerine sıvı penetran tatbik edilir. Bu sıvı kapalı ortamda mor renkli floresan ışığına duyarlıdır. Bu ortamda malzeme yüzeyinde bir çatlak varsa gözle görülebilir. [8]

Sıvı penetran kontrolü gözenekli yüzeye sahip materyallerde yüzeydeki süreksizliklerin tespit edildiği bir yöntemdir. Sıvı penetran uygulama işlemi pratikte bu işlemden elektrik sistemlerinin kullanıldığı elemanlar bulunmamaktadır. Gerekli ekipmanlar genellikle diğer tahribatsız muayene yöntemlerinde hem basit hem daha ucuzdur. Özel parçalar ve ürünlerin kontrolü için gerekli standartlar ve işlemin meydana getirilmesi genellikle daha özel kontrol metodlarında daha az zordur. Bu yöntem ferromanyetizme bağlı değildir ve süreksizliklerin düzenlenmesinde bir faktör değildir. Penetran metodu manyetik olmayan metallerin yüzeyindeki çatlakların belirlenmesinin yanı sıra manyetik olmayan diğer materyallerin yüzey çatlaklarının bir kısmının görüntülenmesinde de faydalanılır. Penetran kontrolü ayrıca ferromanyetik çeliklerden imal edilmiş parçaların kontrolünde kullanılır ve bu tip kontrolün böyle parçalardaki hassaslığı manyetik parçalarla kontrolden elde edilen sonuca göre daha fazladır. [1]



Şekil 5.2. Su ile yıkanıp temizleme yöntemiyle uygulanan penetran kontrolü aşamaları [1]

Sıvı penetrantla kontrol beş aşamada gerçekleşir:

- Yüzeyin hazırlanması: Kontrol edilecek bölgenin yüzeyi temizlenerek tamamen kurulanır.
- Penetrant sıvısının tatbiki: Birinci aşama tamamlandıktan sonra, sıvı penetrant yüzey üzerinde 13 mm den az olmamak kaydıyla film oluşturacak oluşturacak biçimde uygun bir şekilde uygulanır.
- Yüzeydeki fazla penetrantın sökülmesi: Yüzeyde bulunan fazla penetrant kullanılan penetrantın tipine uygun bir temizleyici ile sökülmelidir. Yüzey silinerek su ile durulanır bunun yanında gerekli solventler var ise bunlarda burada kullanılır.
- Belirtici araç tatbiki: Belirtici araç yüzey üzerine homojen dağılımlı bir şekilde uygulanır.
- Muayene: Beyaz ışık yada ultraviyole siyah ışık altında ve ya göz kontrolü ile yüzey üzerindeki çatlak ve süreksizlikler belirlenir. [1]

5.1.3. Boroskop kontrolü

Korozyon kontrolünün en yaygın ve genel olanı gözle yapılan tahribatsız muayene yöntemidir. Bu yöntemin özel bir tipi baroskopla yapılan kontroldür. Baroskop, çıplak gözle gözleyemediğimiz komponentlerin durumunu ve korozyon oranını tespit etmemize yarayan bir alettir. Bu işlem aletle yapılan muayene kontrol deliklerinden yapılan gözlem yöntemlerinden ibarettir. Baroskopla kontrol yaygın olarak gaz türbinli motorların içsel komponentleri üzerinde yapılır. [8]

5.1.4. Ultrasonik test

Bu proses, metal olan veya olmayan ses enerjisini iletebilen tüm malzemelerdeki yüzey ve yüzey altı süreksizliklerinin tespiti, kalınlık ölçümü ve malzeme ayrımı işlemlerini içerir. Bu test tüm metal olan veya olmayan, ancak ses enerjisini iletebilen malzemelerdeki süreksizliklerin, korozyonun, nemin, kalınlığın kontrolü işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu testte, yüksek frekansa sahip ses dalgaları malzeme içine gönderilir. Ses dalgalarının frekansı mega hertz mertebesindedir. (0,5-2,5 MHz) Gönderilen bu dalgaların tıması ya da nabız yankısı dinlenerek malzemenin yapısı hakkında bilgi sahibi olunur. [21]

Ultrasonik testte kullanılan dört ana tip araştırma ünitelerini ve bu aletlerin tespit ettikleri problemler şu şekilde sınıflandırılabilir:

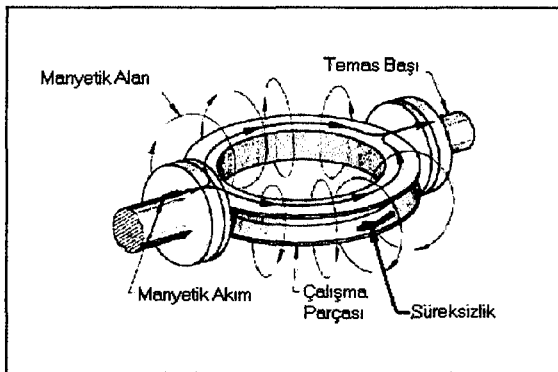
- Düz ışın temaslı tip ünite: yorulma çatlakları, gerilmeli korozyon çatlakları, erozyon korozyonu.
- Açılı ışın temaslı tip ünite : yorulma çatlakları, gerilmeli korozyon çatlakları.
- Çift element temaslı ünite: kalınlık azalması, korozyon, erozyon korozyonu, gerilmeli korozyon çatlakları.
- Daldırmalı tip ünite: korozyon, yorulma çatlakları. [21]

5.1.5. Akustik emisyon testi

Akustik emisyon, bir materyalin faz dönüşümü, plastik deformasyonu veya çatlak büyümesi sırasında meydana gelen gerilme enerjilerinin hızla başlamasıyla ortaya çıkan gerilme dalgaları olarak tarif edilebilir. Bu enerjinin kaynağını faz değişiminde maddenin kimyasal serbest enerjisindeki birikim yada elektrik enerjisindeki birikim oluşturur. Sürekli yada aralıklarla akustik emisyon dalgaları gönderilip analiz edilerek materyaldeki problem tespit edilir. Kompleks, pahalı ve özel uzmanlık isteyen bir yöntemdir. Akustik emisyon testi, metalin deformasyonlu ve kırık kısımlarında gerçekleşen enerji ile oluşan stres dalgalarının basıncı olarak tarif edilir. [21,1]

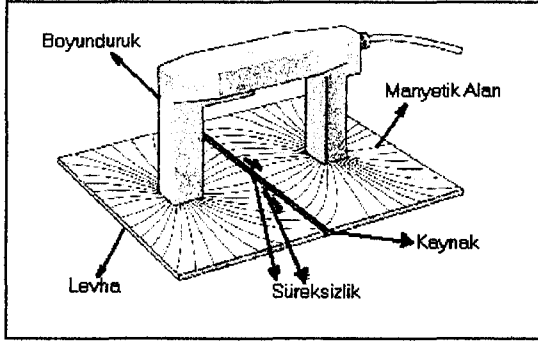
5.1.6. Manyetik parçacıklarla kontrol

Demir tozu ve benzeri manyetik partiküller malzemenin üzerine dökülür ve malzeme manyetik etkiye maruz bırakılır. Eğer malzemenin yapısında herhangi bir problem varsa malzeme üzerinde manyetik alan çizgilerinde sıralanan demir tozları problemin olduğu yerde düzgün diziliş formundan saparlar. [8]



Şekil 5.3. Dairesel bir eleman üzerinde oluşturulan manyetik akı ve alan sonucu belirlenen süreksizlik bölgesinin şematik görüntüsü [1]

Manyetik parçacıklarla kontrol ferromanyetik materyallerinde yüzeydeki süreksizliklerin belirlenmesinde kullanılır. Bu testte manyetik alan içine bırakılan parça yüzeyi üzerine manyetik parçacıklar serpiştirilir ve bu parçacıklar yüzey üzerinde manyetik alan çizgileri üstünde düzgünce sıralanırlar. Sorun olan bölge yada süreksizliğin olduğu alanda diziliş kesintilidir. Bu da problemlı bölgenin tespit edilmesini sağlar. [1]



Şekil 5.4. Elektro manyetik alan oluşturan bir boyunduruğun kaynakla birleştirilmiş bir levha üzerinde oluşturduğu manyetik alanlar [1]

5.1.7. Girdap akımları yöntemiyle kontrol

Girdap akımlarıyla kontrol, elektro-manyetik indüklenme prensibi temeline dayanmaktadır ve elektrik iletkenliği olan ferromanyetik ve ferromanyetik olmayan metal ve parçalarının metalurjik, yapısal ve fiziksel özelliklerinden istifade edilerek bu metallerdeki farklılık ve problemlerin açığa çıkarılmasında kullanılır. [1]

İletken bir bobin içerisinde alternatif akım geçirilerek bobin tarafından oluşturulan manyetik alan malzemeye temas ettirildiğinde o malzeme içerisinde elektron akımı oluşturulur. Bu oluşan akıma "Girdap Akımı" (Eddy Current) adı verilir. Girdap akımı parça üzerinde veya içindeki düzensizliklere rastlandığında akış yönü değişir. Bu değişimin ölçülmesiyle süreksizliğin büyüklüğü bulunur. Bu yöntemle kontrolü yapılacak malzemeler iletken olmalıdır. Parça yüzeyi temizlenmiş olmalı, pürüzlülük olmamalıdır. [1]

Bu yöntem aşağıda sıralanan amaçlarda kullanılmaktadır:

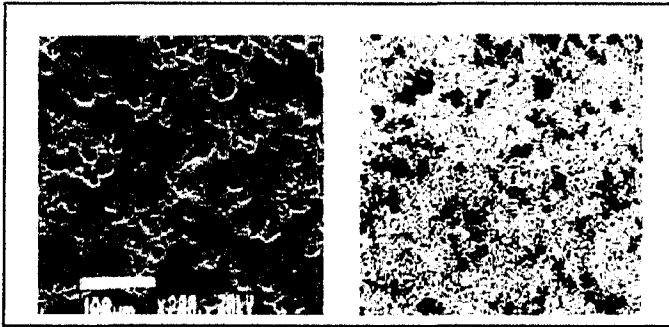
- Fiziksel boyut, manyetik geçirgenlik ve elektrik iletkenlik gibi özellikler ve koşulların ilişkilendirilmesini açıklama yada ölçmede,
- Çatlak, boşluk, dikiş gibi parçadaki problemlı bölgelerin tespitinde,

- Test edilen parçanın tane yapısı ölçüleri, ısı transferi özelliği, sertliği gibi mikro yapısıyla ilgili bazı özelliklerinin tespitinde,
- İletken olan metalin yüzeyindeki iletken olmayan kaplamanın kalınlığının belirlenmesi yada manyetik bir metal yüzeyinde bulunan manyetik olmayan kaplamanın kalınlığının ölçülmesinde. [1]

5.1.8. Radyografi

Radyoaktif X ışını, gama ışınları kullanılarak metalin içini delip geçen ve buradaki geçişe göre, koyuluk açıklık parlaklık şeklinde filmde desen bırakan bir yöntemdir. Elde edilen bu radyo-fotoğrafa göre malzemenin gözle görülemeyen kısımlarında çatlak, yorulma ve içsel kontrolü en verimli bir şekilde yapılır. Bu tip testleri uygulayabilmenin maliyeti çok yüksek olmasının yanı sıra sabit bir tesiste yetiştirilmiş eleman bulundurmak gerekir. [21]

Radyografi parça bloğunun içsel bölgelerinde oluşmuş çatlakların ve düzensizliklerin varlığından emin olmak için uygulanan ve kompleks aletlerin kullanıldığı pahalı bir kontrol metodudur. Yüksek basınçlı sistemlerde bulunan kaynakıcı, türbin parça ve asamblesi gibi kritik parçalardaki kalınlık ve içsel durumun tespitinde kullanılması uygun olur. [1]



Şekil 5.5. $KClO_4$ çözeltisi kullanılarak demir yüzeyinde çekilen röntgen ve elektron fotoğraflar [27]

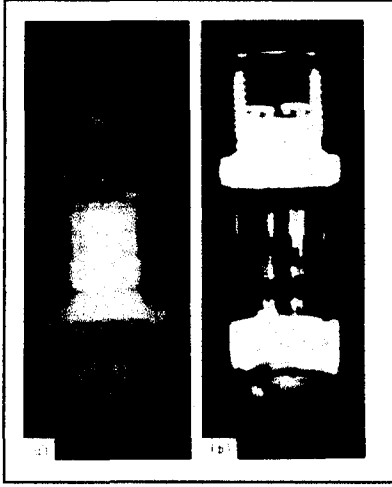
Çizelge 5.2. Elektromanyetik tayfa (spektrum) bulunan dalgaların frekans, dalga boyu ve foton enerjileri [1]

Dalga tipi	Frekans (Hertz)	Dalga boyu (m)	Foton enerjisi (eV)
Radyo dalgaları (FM ve TV)	3×10^8	1	10^{-6}
Mikrodalgalar	3×10^9	10^{-1}	10^{-5}
	3×10^{10}	10^{-2}	10^{-4}
	3×10^{11}	10^{-3}	10^{-3}
Kızılötesi	3×10^{12}	10^{-4}	10^{-2}
	3×10^{13}	10^{-5}	10^{-1}
Görünür ışık	3×10^{14}	10^{-6}	1
Ultraviyole ışık	3×10^{15}	10^{-7}	10
	3×10^{16}	10^{-8}	10^2
X ve gama (γ) ışınları	3×10^{17}	10^{-9}	10^3
	3×10^{21}	10^{-13}	10^7
Kozmik ışınlar	3×10^{22}	10^{-14}	10^8

Bu kontrol metodunda, parça direkt olarak elektrik akımına maruz kalmaz dolayısıyla parçaya herhangi bir tahribat söz konusu olmaz. Bu yöntem de özel aletler kullanılır ve sonuçların değerlendirilmesi ayrı bir uzmanlık gerektirir.

5.1.9. Nötron radyografisi

Nötron radyografisi bir test parçasına radyografideki benzer şekilde yapılan nötron bombardımanı sonucu sağlanan bir tür tahribatsız kontrol metodudur. Nötron radyografisi işleminde gölge biçimlerinin geometrik prensipleri, test parçasının kalınlığındaki azalışın değişimi ve etki mekanizmasını kontrol eden diğer faktörler gibi unsurlar X yada gama (γ) ışınlarının kullanıldığı radyografi işlemine benzerlik gösterirler. Bu işlem düşük atom numaralı materyallerde ve suçsuz izotoplar arasındaki tezatlıkları düzeltmesi için bir avantaj oluşturur. Ayrıca bu yöntemle radyoaktif numunelerin kontrolü mümkün olmaktadır. [1]



Şekil 5.6. a. Isıl nötron radyografisi alınan bir parçanın görüntüsü, b. Aynı elemanın geleneksel yöntemle elde edilen görüntüsü [1]

Nötron radyografisi normal radyografiye oranla parçanın içsel yapısını daha şeffaf bir şekilde gösteren sonuç elde edilmesine olanak sağlar. Bu durumun önemli olduğu koşullarda daha etkili ve verimli kontrol olanağı vermektedir.

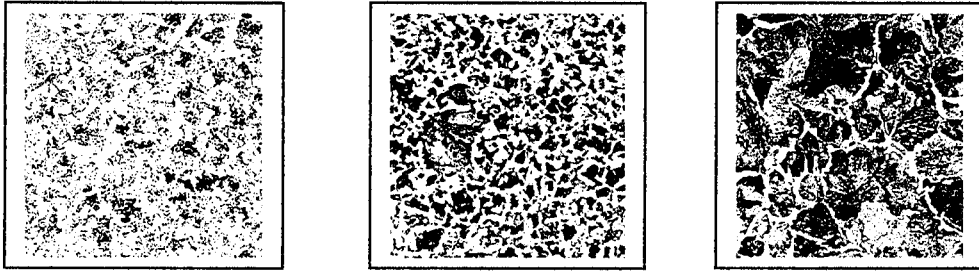
5.1.10. Kızılötesi termografi

Test numunelerindeki ısı dağılımındaki farklılıkların analiz edilmesiyle özellikle malzemenin yüzeyi üzerindeki çatlakların tespiti yapılabilir. Çok yüksek frekanslı radyo dalgaları yayan ısıya duyarlı ve ısıyı hissedici termografik kameralar elemanın üzerine yerleştirilerek test yapılır. Aynı radyografideki gibi malzeme içinde ve yüzeyindeki ısı farklılıklarına göre bir grafik elde edilerek malzemenin korozyon durumu hakkında analiz yapılır. [21,1]

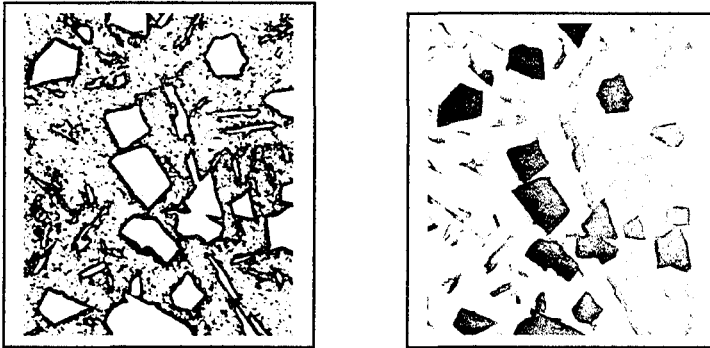
5.1.11. Metalografi

Metallerin mikro yapısını mikroskop altında görüntülemek amacıyla yapılır. Metalografik muayene, metal yüzeyinin temizlenmesi ve bu yüzeyin dağlanarak yapıdaki farklı bölgeleri ayırt etmek esasına dayanır. Mikroskop altında ortaya çıkan malzemenin gerçek görüntüsü, yüzeyi parlatıldıktan sonra elde edilir. Bundan sonra malzemenin yapısı hakkında değerlendirme yapılır. Bu işleme metalografi adı verilir. Metalografik muayenenin aşamaları; yüzeyin zımparalanması ve parlatılması, metalin yapısına uygun asitle dağlanması ve mikroskop altında incelenmesini kapsar. [28]

Malzemenin hazırlanması: Mikro yapının gerçek görüntüsünü elde etmek için her bir aşama doğru bir biçimde yapılmalıdır. Bu aşamalar; kesit alma, kaba taşlama, bakalit alma, ince taşlama, kaba parlatma ve ince parlatmadır. Metalografik iç yapının kontrolüne tabi tutulacak numunelerin öncelikle kesme işleminden geçmesi gerekmektedir. Metalografik kesme, malzemenin yapısını ve özelliklerini etkilememelidir. Kaba taşlama, ısıl işlem sonucu yüzeyde oluşan oksit tabakası ve kesme sonucunda meydana gelen deformasyonu yok etmek için yapılır. Kesme işlemine tabi tutulan numune bazen çok küçük veya şekilleri zımparalamaya ve parlatmaya uygun olmayabilir. Ayrıca numunenin korunması ve özellikle parlatma yüzeyinin küçük olması önemlidir. Bu gibi hallerde numune, bakalit adı verilen plastik enjeksiyon kalıplama ile muhafaza altına alınır. [28]



Şekil 5.7. 1040 tip karbon çeliğin a) 900 °C, b) 980 °C, c) 1095°C de ısıtılıp havayla soğutulmasıyla elde edilen 200 defa büyütülmüş metalografik mikro fotoğrafları [1]



Şekil 5.8. Al-13Si alaşımının iki farklı parlatma işleminden sonra 250 kat büyütülmüş yüzey fotoğrafları [1]

Taşlamada, numuneler dış derinlikleri gittikçe azalan zımpara kağıtları ile bu işlem için çift veya tek diskli 20-30 cm arasında değişen çaplarda imal edilmiş makinelerde zımparalanır. Derişik çözelti olarak hazırlanan asit çözeltisi numune yüzeyine şırınga damlası ile tatbik edilir. Gerekli görülürse dağlamadan önce ve sonra yüzey alkolle temizlenir. Kurutma için sıcak hava üfleyen bir makine kullanılabilir. [28]

5.2. Korozyona Karşı Alınabilecek Önlemler

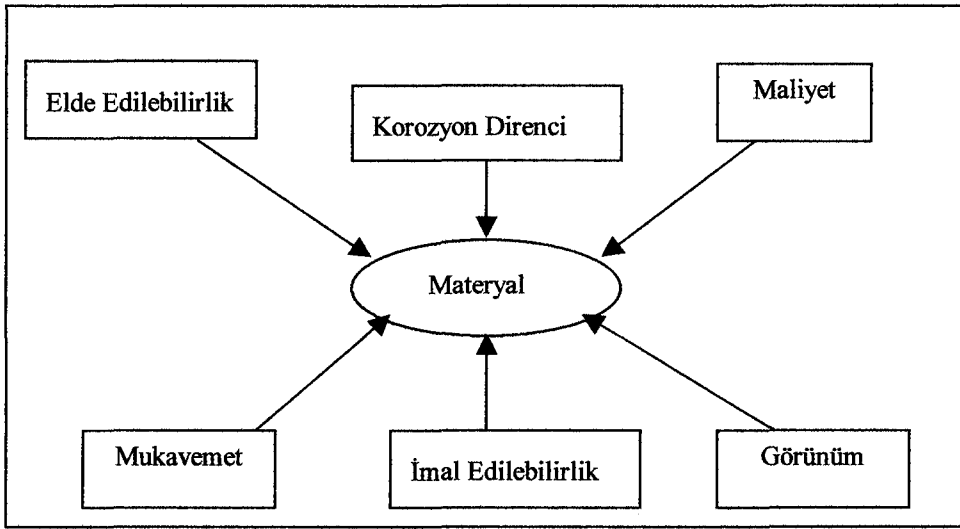
Korozyon önleme konusunda korozyonu hiç bir zaman oluşmayacak hale getirmeyecek bir önlem almak imkansızdır. Çünkü korozyon dinamik bir süreç olup materyaller devamlı olarak tepkimeleriyle etkileşerek tepkimeye girme eğilimindedir. Öyleyse yapacağımız en iyi şey korozyonun oluşumunu yavaşlatacak ya da minimum korozif etki altında kalınacak önlemleri almamız olacaktır. Akla ilk gelen şey kullanım yerine göre uygun ve dayanıklı malzemeleri seçmektir. Bir komponentin dizaynı aşamasında alınacak tedbirler onun korozyona karşı daha uzun süre dayanmasına olanak sağlar. Ayrıca günümüzün gelişen teknolojisi ile korozyonla mücadelede fosfatlama, anodik ve katodik önlemler, kaplamalar gibi teknikler de kullanılmaktadır. Etkili bir korozyon kontrol programında en önemli bölüm korozyonun tespitidir. Tespit edilemeyen korozyona herhangi bir işlem yapılamayacağından daha tehlikeli sonuçlar doğurur.

Korozyon derecesinin tespiti: Bazı tip korozyonlar aşırı ve şiddetli oluşurken bazıları çok hafif bir oluşum gösterirler. Yüzeysel tip korozyon giderme işlemine tabi tutulduğunda çok hafif bir oluşum sürecine sahip olur. Diğer taraftan taneler arası korozyon ve dökülme korozyonu türleri ise şiddetli bir oluşuma sahiptir. Uçaklardaki korozyon hafif, orta ve şiddetli olmak üzere sınıflandırılırlar. [6]

Elektrokimyasal reaksiyonların hızındaki değişiklikler sonucunda korozyonun engellenmesi: Korozyon engelleyicilerin sınıflandırılmasının yapılmasında anodik, katodik ve karışık tip elektrokimyasal tepkimelerdeki etkileri, mekanizmalarına göre yapılmaktadır. Tepkimelerin karakteristikleri; özellikle pH değeri, çevre koşullarının niteliği ve metalin doğasına bağlı olarak belirlenir. [29-33]

5.2.1. Tasarım aşamasında alınabilecek önlemler

Alüminyum ve magnezyum alaşımları korozyona karşı hassas iken, titanyum ve paslanmaz çelikler korozyona karşı daha az hassastır. Malzeme seçiminde dikkate alınacak birinci nokta yapısal dizayn faktörleridir. Korozyona karşı direnci sağlamak için herhangi bir dizaynda dayanıklı malzeme seçimi ilave yükler ve ağırlık getirecektir. [6]



Şekil 5.9. Bir mühendislik materyalinin seçimini etkileyen faktörler [4]

Buna göre yukarıdaki paragrafta değinilenler dikkate alındığında tasarım sırasında uygun malzeme seçiminin yapılması alınabilecek önlemlerin ilkinini oluşturur. Burada önemli olan elemanın kullanıldığı yere göre uygun form verilmesinin yanında, kaynaklı alanlar, kıvrım noktaları, birleşim yüzeyleri gibi korozyona yatkın bölgelerde uygun tasarımla gerekli tedbirler alınabilir. Ayrıca belirli korozyon tiplerinin oluşum mekanizmaları dikkate alınarak da uygun dizayn yapılmalıdır.

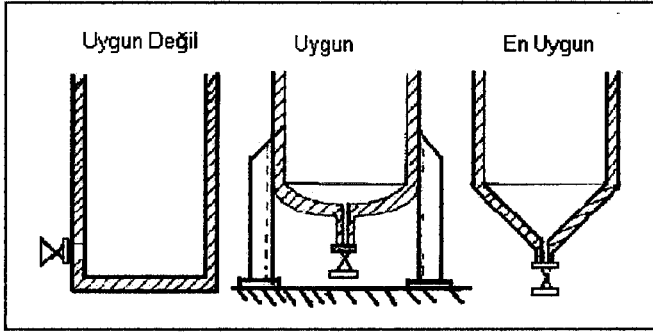
Çizelge 5.3. Korozyona dayanıklı çelik, magnezyum ve alüminyum için tipik koruyucu önlemler

[34]

İşlem	Alüminyum alaşımları	Magnezyum alaşımları	Korozyona karşı dayanıklı olmayan çelikler
Temizleme	Aşağıdakilerin bir yada daha fazlası : a) Yağdan arındırma b) Alkalinlerle temizleme c) Aşındırıcılarla temizleme d) Asitle dağlama (pickling)	a) Onaylanmış metod ile ön temizleme yada • Pürüzlü makineyle işleme • Asitle dağlama (pickling) • Kimyasal öğütme b) Florid anotlaştırma	Çeliğin sertleştirilmesine bağlı olarak çeşitli metodlara izin verilir.
Ön düzenleme	Aşağıdakilerin bir yada daha fazlası : a) Anotlaştırma b) Kromat Film c) Dağlama astarı	a) Sert anotlaştırma Yada b) Kromat film tarafından takip edilen florid film	Kadmiyum tabaka yada a) Alüminyum b) Çinko c) Fosfatlama
Yüzey sızdırmazlığı	Anotlaştırma özelliği ile sağlanabilir	Minimum 100 µm kalınlığına kadar reçineli epoksinin fırınlanmasıyla sızdırmazlık. Reçineler kromat pigmentli olabilir.	
Astar boya	Korozyonun şiddetine bağlı olarak epoksi astar (Tipik olarak minimum 20 µm yada 40 µm kalınlığında)	Kromat pigmentli epoksi	Epoksi
Son boya a) İç b) Dış	Sadece astar yada artı astar Tipik olarak minimum 30 µm kalınlığında akrilik yada poliüretan	Epoksi yada poliüretan	Uçağın içindeki pozisyonuna bağlı olarak alüminyum alaşımlarındaki gibi
İleri önlem	Polar sıvıları gerektiren yüksek dayanıklılığı dayanım istenilen yerlerinde son poliüretan uygulaması yapılabilir.	Son düzenleme için naylon gibi minimum 100 µm kalınlığında organik kaplamalar kullanılır.	Çok yüksek performans gerektiren yerlerde fırınlamak emayeleme de 5 ve 6. işlemler yer değiştirir.

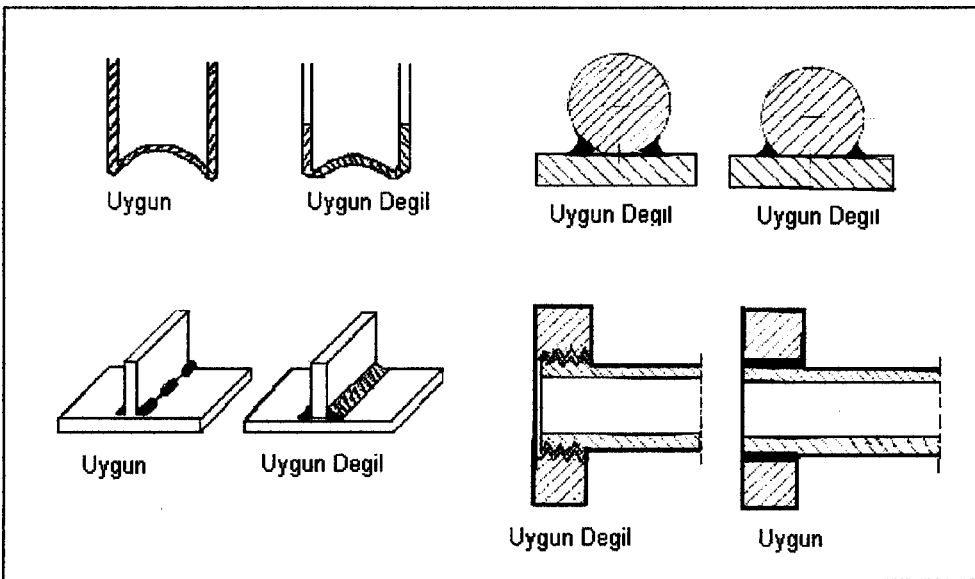
Korozyona terkedilmiş olarak görev yapan parçalarda cidar kalınlıklarının yeterli korozyon payını içermesi gerekir. İlke olarak, ortalama korozyon hızı ve öngörülen çalışma ömründen hesaplanan aşınma derinliğinin iki katı korozyon payı olarak alınmalıdır. Böylece sağlanan garanti payı homojen olmayan

korozyon türlerine (örneğin; çukurcuk korozyonu) karşı yeterli olacaktır. Kazan ve depoların, ayrıca yağmura açık yapı elemanlarının sıvı birikimine olanak vermeyecek şekil ve konumda olmaları gerekir. Bu ilkelerin uygulanışına ilişkin önemli örnekler şekil 5.10.'da şematik olarak gösterilmiştir. [35]



Şekil 5.10. Sıvının kendi kendine boşalması ilkesine ters düşen ve uygun olan tasarım örnekleri a) Depolar ve ısı değiştiriciler, b) Yağışa açık profiller, c) U-profilden taşıyıcı (dikkat edilecek bölge boşalma delikleridir) [36,2]

Perçinli ve civatalı bağlantılar aralık korozyonu için elverişli dar bölgeleri oluştururlar. Bu nedenle korozyonun beklendiği koşullarda kullanılmamaları, bunun yerine lehim ve kaynak gibi bağlantı türlerine öncelik verilmesi gerekir. Dar bölgelerin önlenmesi için kaynak dikişlerinin sürekli olmasına özen gösterilmelidir. Kaynaklı bağlantıların tasarımında uygulanacak ilkeler şekil 5.11'de görülmektedir. [36,2]



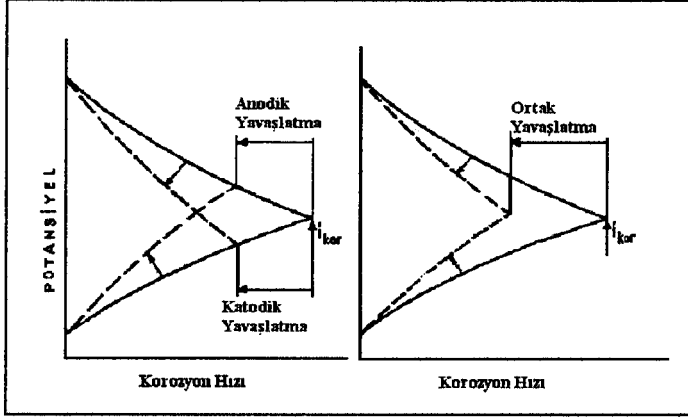
Şekil 5.11. Aralık korozyonunu önleme bakımından kaynaklı bağlantılar için hatalı ve doğru tasarım örnekleri [36,2]

Homojen dağılımlı (üniform) korozyon; elektrokimyasal ya da kimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla düzgün bir şekilde metal yüzeyin üzerinde yer alır. Bu tip korozyonun önlemi uygun metal konstrüksiyonlarının kullanımı, katodik önleme uygulanması, engelleyicilerin kullanımı uygun koruyucu kaplamann kullanımı ya da bu önlemlerin kombinasyonlarının kullanımı ile başarılabilir. [21]

5.2.2. Koroziif ortamın saldırganlığını azaltıcı önlemler

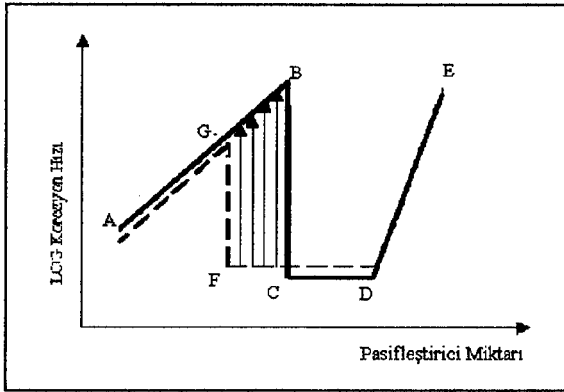
Korozyon hızını azaltmanın etken yollarından birisi de ortama ait unsurları kontrol etmektir. Bu ortamın sıcaklığı, akış hızı, konsantrasyonu ve içerdiği oksijen ve diğer oksitleyicilerin miktarıdır. Korozyon hızı, sıcaklık ve akış hızı ile artar. Bunun nedeni, ortamda bulunan oksijen ve korozyona yol açan diğer maddelerin yayınma yani metal yüzeyine ulaşma hızının artmasıdır. Ortamın sıcaklığı akış hızını sınırlayarak korozyon hızı belli ölçüde azaltılabilir. Oksitleyici özelliği ileri ortamlarda akma hızının yeterince yükseltilmesi korozyona uğrayan metalin pasifleşmesini sağlayabilir. Bir metal için oksitleyici olmayan bir ortamda korozyon hızını düşürmenin tek yolu asit konsantrasyonunu azaltmaktır. [2]

Yavaşlatıcılar: Korozyon hızını azaltmanın sık başvurulan yöntemlerinden biri metal yüzeyin kuvvetle tutunan maddeleri ortam içine sürmektir. Bunlardan bir bölümü anodik çevrelerin diğerleri de katodik çevrelerin yüzey alanını daraltarak korozyonu yavaşlatır. Birinci türden olanlara anodik yavaşlatıcılar, ikinci türden olanlar ise katodik yavaşlatıcılar adı verilmektedir. Anodik yavaşlatıcılar metalin korozyon potansiyelini soyladırırken katodik yavaşlatıcılar daha aktif değerlere kaymayı sağlarlar (Şekil 5.12 a). Ancak, yavaşlatıcılardan bazılarının korozyon potansiyeli üzerinde etken olmadıkları görülür. Bunun nedeni, anodik ve katodik çevreler üzerinde aynı ölçüde etkili olmalarıdır (Ortak yavaşlatma: Şekil 5.12 b). [2]



Şekil 5.12. Yavaşlatıcıların etkisini gösteren polarizasyon şemaları a) Anodik ve katodik yavaşlatma b) Ortak yavaşlatma [2]

Pasifleştiriciler; anodik yavaşlatıcılar olarak tanımlanabilir. Gerçekte pasifleştiriciler metalin korozyon potansiyelini soyaştırarak korozyon akımının çok küçük olduğu pasif alan içine kaydırırlar. Yavaşlatıcıların aksine, pasifleştiriciler ancak belirli bir konsantrasyonunun altına düşmemek kaydı ile korozyonu yavaşlatır. Pasifleştirici konsantrasyonunun bu düzeye ulaşmaması halinde korozyon olayı yavaşlama yerine hızlandırılmış olur. Bu nedenle, pasifleştiricilere tehlikeli yavaşlatıcılar olarak bakmak mümkündür. Ortam içindeki pasifleştiriciler miktarının korozyon hızına etkisi şekil 5.12’de şematik olarak görülmektedir. [31]



Şekil 5.13. Pasifleştirici miktarının korozyon hızına etkisi * [2,31]

* (A-B): Yeterli olmayan pasifleştirici miktarı ile korozyon hızının artması, (B-C): Yeterli pasifleştirici miktarı ile sağlanan aktif-pasif dönüşüm, (C-D): Pasif tutum nedeniyle minimum korozyon hızı, (E-D-F-G-A): Metal pasif duruma geçtikten sonra pasifleştirici miktarının azaltılması ile korozyon hızının değişimi (F miktarına kadar korunan pasif tutum, pasif filmin zedelenmesine yol açan etkilere göre kaybedilecek metal, harflerin sıralanışı şeklinde aktif duruma döner) [2,31]

Metalin yüzeyinde kuvvetle yerleşme eğilimi gösteren maddeler genellikle organik moleküllerdir. Kükürt içeren bazı bileşiklerin, asetilen türevleri, molekül ağırlığı düşük kuvvetli bazik aminler, hidroksilamin türevleri, dikarbonasitlerle molekül ağırlığı düşük diğer asitlerin potasyum tuzları, uzun moleküllü aminler ve yağ asitleri organik yavaşlatıcıların belli başlı örnekleridir. Yavaşlatıcı olarak kullanım bulan anorganik bileşiklerin başında bazlar gelir. Bazik silikatlar ve nitritler, fosfatlar bu tür yavaşlatıcıların en yaygın olanlarıdır. Çeşitli metal ve ortamlar için geliştirilen yavaşlatıcıların sayısı oldukça kabardır. [31]

5.2.3. Koruyucu bakım

Korozyonun kontrol altına alınabilmesi için koruyucu bakım programının unsurları aşağıda sıralanmıştır:

- Yıkama: Korozif saldırılar, bulaşan kirlerin sıklıkla yıkanarak sökülmesiyle minimuma indirgenebilir. Bir uçağın dış kısmı alkali bileşik içeren (MIL-C-25769) sıvı bir çözelti ile her 15 günde bir temizlenmelidir. Temizleyici araç köpüklerinin jeneratör ve yüzey üzerinde 10 dakikadan az bir sürede bırakılır. Bu işlem sonunda su ile durulama yapılmalıdır. [37]
- Sızdırmazlık sağlama: Uçağın içsel yapılarına giriş bölgelerine su ile diğer korozif sıvıların girişini engellemek için bu bölgeler korozyon engelleyici sızdırmazlık elemanları (conta, keçe, macun ...vb.) (MIL-S-81733) ile kapatılmalıdır. Benzer uygulama farklı metaller arasında galvanik korozyonu engelleme, bağlantı elemanları diplerinde su geçirmez elemanların kullanılarak korozif saldırıları engellemek için de yapılmaktadır. [37]
- Koruyucu kaplama: Uçak malzemelerinin olumsuz çevresel etkilerinden korunması için yapılacak kaplama korozyonla mücadeleye karşı en önemli bakım unsurunu oluşturmaktadır. Alüminyum malzeme üzerinde bulunan koruyucu kaplama (MIL-C-5541), poliüretan astar (MIL-P-23337) ve poliüretan üst kaplamadan (MIL-C-82286) oluşmaktadır. [37]
- Korozyona karşı uçağın içsel parçalarının korunabilmesi, yapılan bakım uygulamalarının sıklıkla yapılmasına bağlıdır. Böylece, içsel yapılar havalandırılıp su ve diğer korozif sıvıların tahliyesi uygun bir şekilde yapılarak yapı bunların vereceği zararlardan korunmuş olur. Bu uygulamaların

gerçekleştirilmesi için uygun bölgelere tahliye valfleri ve delikleri yerleştirilmiş olmalıdır. [37]

- Eğitim: Korozyonla mücadelede başarılı olabilmek için uçaklara bakım yapan teknisyenler korozyona karşı koruyucu bakım, korozyon hasarları ve tiplerinin belirlenmesi, korozyon prensipleri konularında sürekli eğitime tabi tutularak bilgileri sürekli güncellenmelidir. [37]

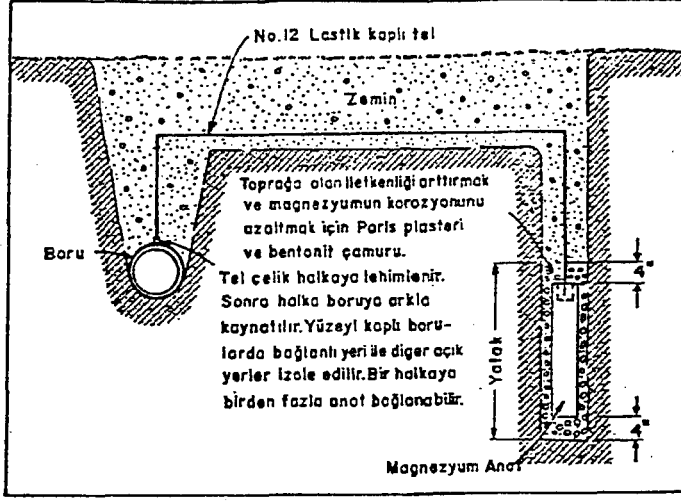
Yağ ve gresler uçak lastikleri kauçuk esaslı parçalara temas ettiklerinde oluşabilecek problemleri engellemek için bulaşan kısımlar sabunlanarak su ile durulanmalıdır. Eğer bu işlem yapılmaz ise kauçuk esaslı malzemelerin yapısı hızla tahrip olur. [38]

5.2.4. Katodik-anodik koruma

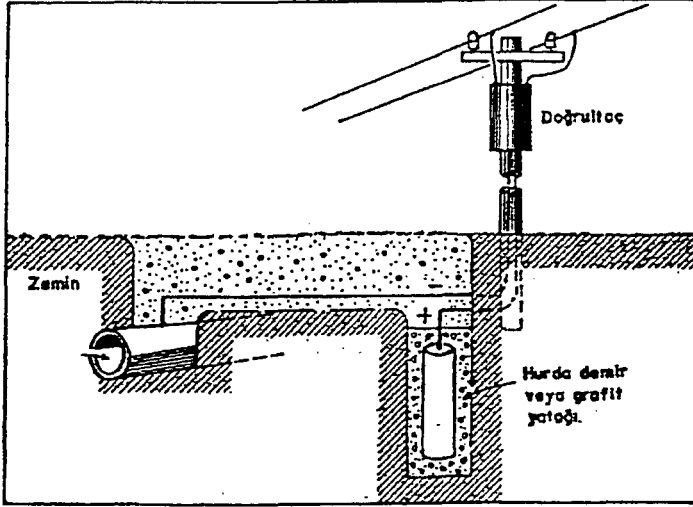
Korozyona karşı önlemlerin en güçlüsü katodik korumadır. Zemine gömülü ve boyu yüzlerce kilometreyi bulan boru nakil hatlarından evlerde kullanılan sıcak su hazırlama tesislerine kadar hemen-hemen her alanda başarılı uygulamaları vardır. Bundan da öteye zemin, su, deniz suyu gibi değiştirilmesi veya saldırganlığının sınırlanması imkanı olmayan ortamlarda, geniş yüzeyli çelik yapıları (zemine ve suya terk edilen çelik boru hatları, depolar, deniz taşıma araçları, su veya zemine gömülü köprü ayakları ...vb.) korozyona karşı korumak için rakipsiz bir yöntemdir.

Korunacak olan metali daha aktif bir metalle (galvanik anot ve kurban anot) eşleyerek sağlanacağı gibi dıştan akım uygulanarak da gerçekleştirilebilir. İlk yöntemde (Şekil 5.14) koruma için gerekli doğru akım korunan metal ve galvanik anot çiftinin oluşturduğu hücre tarafından üretilir. Galvanik anotlar koruma sırasında belirli hızlarla çözünerek ağırlıklarından kaybederler. Bunları uygun zaman aralıkları ile yenileyerek koruma işlevine süreklilik kazandırılır. [2]

İkinci yöntemde (Şekil 5.15) korunan metal ve anot çiftinin akım üretir nitelikte olması gerekmez. Çünkü, koruma için gereken akım uygun bir dış kaynaktan çekilir. Yavaş çözünürlük yanında ekonomik olan malzemeler anot malzemesi olarak kullanım bulurlar. [2]



Şekil 5.14. Zemine döşenen boruların galvanik anotlarla korunması [15]



Şekil 5.15. Zemine döşenen boruların dıştan akım uygulanarak katodik korunması [15]

Katodik önleme, su içine daldırılmış ya da yer altına gömülmüş metalik parçalara karşı uygulanan elektrokimyasal prensipler tarafından meydana getirilir. Bu olay anodik metal üzerinde erime tepkimesini azaltmaya yardımcı olan metal bir elektrodun iç yüzeyinden geçen bir katodik akımın sızması ile başlar.[39]

Elektronların akışı iki metottan biriyle yapılır. Bir düzelticinin kullanımı ile doğru akım hareketsiz anot elemanlara sıkıştırılabilir. Bu komponentler fazla elektronları alır ve böylece katodik olarak korunmuş olur. Diğer bir alternatif metod ise; çinko ya da magnezyum gibi daha aktif metaller ile komponent çiftleri için elektrokimyasal bir galvanik pil oluşturmaktır. Bu koşullar altında aktif olan bir metal bir anot gibi çalışacaktır ve komponentler katodik olarak korunurken aktif metalin kendisi hasara uğrayacaktır. İşte bu tip aktif metallerin oluşturduğu anotlara kurban (sacrificial) anot denir.[39]

Anodik koruma : Metal ve alaşımların teknik ve ekonomik bakımdan önem taşıyan büyük bir bölümü pasifleşme özelliğine sahiptir. Korozyona uğramakta olan bir metalin pasif tutuma geçmesi sonucu korozyon hızında büyük bir azalma görülür. Anodik koruma bu ilkeye bağlı olarak gerçekleştirilir. [2]

Galvanik (Kurban) Anotlarla Koruma: Bu yöntem genellikle, iyi kaliteli kaplamaların uygulandığı ve bu nedenle akım gereksiniminin yüksek olmadığı yapıları korozyona karşı korumak için kullanılır. Akım gereksiniminin sınırlı tutulması için ortam direncinin de yüksek olması gerekir. Galvanik anotlarla korumanın yararlarını şöyle özetlenebilir: Akım kaynağı gerekmez, ilk yatırım işletme ve bakım masrafları ve katodik olarak korunmayan çevredeki diğer yapılar üzerinde korozyonu arttırıcı etkisi genellikle sınırlıdır. Buna karşılık, akım gereksiniminin yüksek olduğu koşullarda ancak sınırlı ölçüde uygulanabilmesi bu yöntemin sakıncası olarak değerlendirilir. [2]

Dış akımla koruma: Akım gereksiniminin yüksek olduğu depolar ve çapı büyük uzun boru hatlarının korozyona karşı korunmasında bu yöntem öncelikle uygulanır. Dış akımla korumanın yararlarını şöyle özetlenebilir: Koruma devresine verilebilen akım herhangi bir sınırlamaya bağlı değildir ve akım gereksinimine uygun olarak kolayca kontrol edilebilir. Bu özelliği ile kullanım alanı geniş ve uyum yeteneği ileri bir yöntemdir. Direnci yüksek zemin ve diğer ortamlarda kullanılabilir. Geniş yüzeyli uzun yapıların korunmasında daha ekonomiktir. Kaplanmamış ve kaplanması yıpranarak etkenliğini belli ölçüde kaybetmiş eski yapıların korunmasında başarı ile uygulanabilir. Bu yararlarına karşılık ilk yatırım, işletme ve bakım masraflarının yüksekliği ve katodik olarak

korunmayan çevredeki diğer yapılar üzerinde korozyonu arttırıcı etkisi dış akımla korumanın sakıncası olarak görülebilir. [2]

Katodik önlemeye göre anodik önleme daha yeni olarak kullanılan bir metottur. Bu teknik elektrot kinetik prensiplerini keşfedilmesiyle kullanılmaya başlamıştır. Elektrokimyasal teorinin önceden belirlenmiş kavramları olmadan anodik önlemeyi ifade etmek zordur. Basit olarak; anodik önleme, anodik akımların dışsal bir şekilde uygulanması ile metallerin üstünde koruyucu bir film tabakasının şekillendirilmesine dayanır.[39]

Çizelge 5.4. Anodik ve katodik önlemenin karşılaştırması [4]

	Anodik Önleme	Katodik önleme
Uygulanabildikleri Metod	Yalnızca akti-pasif metallerde	Bütün metallerde
Koroziflikleri	Zayıflaması fazla	Zayıflatıcılığı ılımlı
Yerleşim maliyeti	Yüksek	Düşük
Çalışması	Çok düşük	Üstün ortası
Uygulamanın Akımın Karakteristiği	Önlenen korozyon oranının direkt ölçümü	Karmaşık-Belirtilen korozyon oranında değil
Çalışma şartları	Tam olarak yapılabilmeli ve elektrokimyasal ölçüler ile hızlı bir şekilde saptanabilmeli	Genellikle deneysel testler tarafından saptanmalı

5.2.5. Kaplamalar

Kaplama işleminin temel aşamaları sırasıyla; yüzeyin hazırlanması, astar tatbiki, orta kaplama, son kaplama, boya, üretici direktiflerini uygulama, güvenlik uygulamaları, son temizlik şeklinde sıralanabilir. [4]

Metal kaplamalar elektro kaplama, alev püskürtmesi, zırlama, sıcağa daldırma, buhara tabi tutma şeklinde çeşitlendirilebilir. Metalik kaplamalardan başka olarak organik kaplamalar korozyonla mücadelede etkin materyallerdir. [4]

Çizelge 5.5. Ülkemizde havacılık endüstrisinde korozyona karşı dayanıklılığı artırmak için kullanılan kaplama tipleri [40]

Sert krom kaplama nikel kaplama	Zamanla çalışıp aşınan parçaların kaplanarak ilk haline getirilmesini sağlar
Akımsız nikel kaplama	Parçanın her tarafının eşit olarak kaplanmasını sağlar ve parçayı korozyona karşı dirençli kılar
Kadmiyum kaplama	Korozyon direncini artıran bir kaplamadır ve bu tip kaplama istenen kalınlık ve değerlerde yapılmaktadır
Gümüş kaplama	Korozyona dayanıklılık veya elektrik iletkenliğinin istendiği zaman yapılan kaplamadır
Kromik asit anodize sülfirik asit anodize	Alüminyum malzemeleri korozyona karşı dayanıklılığını artırmak için yapılan kaplamadır
Siyah oksit anodize	Alaşımız veya düşük alaşımlı çelik parçaların korozyona karşı direncini artırmak için yapılan kaplamalardır
Bakır kaplama	Demir ve çelik parçaların korozyona dayanımını artırmak için yapılır, ayrıca ısı işleminden önce parçayı korumak amacıyla da uygulanır

5.2.5.1. Metalik ve inorganik kaplamalar

* Elektro Kaplama: Bu proses kaplanmak istenen metalin elektrolit çözelti içerisinde ibarettir. Daldırılan bu parça ile diğer elektrot arasında doğru akımda elektrot üzerine parça geçişi olur. Tortunun yapısı, sıcaklık akımının yoğunluğu, zaman ve daldırılan kabın pozisyonu gibi bir çok faktöre bağlıdır. Elektro kaplama; tek bir metale, bir çok metalin katmanlarına ve alaşım kompozisyonlarına (örneğin; pirinç) uygulanabilir. [4]

* Sıcağa daldırma: Sıcak metale daldırarak kaplama yöntemi, düşük ergime noktasına sahip metallerin erimiş metal banyosuna daldırılmasıyla uygulanır. Düşük ergimeye sahip olan malzemeler, kurşun, teneke, çinko ve alüminyumdur. Sıcağa daldırma en eski metalle kaplama metotlarından birisidir.

En bilinen örnek galvanizlemedir. Bu kaplamanın kalınlığı elektro kaplamadan daha fazladır. Çünkü bu yöntemle çok ince bir kaplama tabakası oldukça zor bir prosestir. [4]

* Buhara tabi tutma: Bu yöntem yüksek vakumlu bir odada yapılır. Kaplanacak metal elektriki olarak ısıtılarak buhara tabi tutulur ve buhar tortuları parça üzerinde kaplama oluşturur. Bu metot diğerlerine göre çok pahalıdır ve genellikle kritik parçalara uygulanmakta yetinilir. Bu tip parçalara örnek verecek olursak füze ve roketlerde kullanılan parçaları gösterebiliriz. [4]

* Zırlama : Bu metal, levhanın yüzey katmanlarını kapsar ve genellikle birlikte dönen iki metal levha tarafından sürülür. Örneğin birlikte ısıtılıp döndürülen bir nikel ve bir çelik levhadan nikelin 0,63 cm' yi ve çeliği 2,54 cm' yi ile kompozit bir levha üretilir. Zırlama, diğer metal kaplamalara göre daha incedir. Yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlar korozyon bariyerinin alüminyum yüzeyde üretilmesi bir zırlama işlemidir. [4]

* Alev püskürtmesi : "Metallizing" olarak da adlandırılır ve ergimiş alevin içinden bir metal ya da metal tozuyla beslenmesinden ibarettir. Böylece, sıva parçacıklara bölünen bir metal yüzey üzerine yayılarak koruyucu bir tabaka oluşturur. Alevin ergitilmesi için yaygın olarak asetilen, oksijen ya da propan kullanılır. Bu kaplama genellikle gözenekli yapıdadır ve ciddi olan ıslak korozyon koşulları altında koruyucu değildir. [4]

* Difüzyon : Difüzyon kaplama bir metalin diğer metal içine nüfuz etmesiyle alaşım oluşumuna neden olan ısıtma prosedürünü içerir. Bu durumda, proses yüzey alaşımlandırma (surface alloying) adıyla anılır. Kaplanacak olan parçalar, katı materyaller içine tıktıştırılmıştır ya da kaplanacak durumda olan metal gazlı bir çevre şartına maruz bırakılmıştır. Bu tip kaplamaya örnek olarak; kromaj, sherardizing (çinkoya uygulanır), alonizing (alüminyuma uygulanır) ve colorizing verilebilir. [4]

* Yüzey modifikasyonları : Yüzeyde yapılan işlemler ile malzemenin korozyona karşı dayanımını arttırmak son yıllarda geliştirilen bir yöntemdir. Çok

yeni olan bir uygulaması lazerle yüzey alaşımlandırma (laser surface alloying) prosesidir. Pratik olarak uygulanabilen bu uygulamanın yüzey değiştirme metotlarından bir diğeri iyon aşılama yöntemidir. [4]

5.2.5.2. Organik kaplamalar

Bu tür kaplamalar alt katman materyali ile çevre arasında nispeten ince bir bariyeri kapsar. Korozyonla mücadele için uygulanan diğer metotlara göre organik kaplama malzemeleri olan boyalar, vernikler, cilalar ve benzerleri metali daha iyi korumaktadırlar. Metalin dış yüzeyini kontrol etmek ve izlemek basittir fakat içsel yapısındaki olanları izlemek daha zordur.

Organik kaplamalar konusunda büyük oranda harcamalar yapılmaktadır. Çok fazla sayı ve çeşitte kullanılan malzemeler mevcuttur. Bu karmaşık alanda yapılacak olan en iyi prosedür üreticilere danışmak olacaktır. Bu kaplamalar alt katman materyallerinin hızlı bir şekilde saldırıya uğradıkları yerlerde kullanılmamalıdır. Örneğin, hidroklorik asit taşıyan taşıyıcı tanklarının hatlarında kullanılmaz. Küçük bir alanda maruz bırakılan metal sonuçta hızlı bir şekilde delinir. Ayrıca değerlendirilme test programları bu konu için tavsiye edilir. Önem sırasına göre organik kaplamalar için uygun uygulama olarak üç ana faktör göz önüne alınır. Bunlar; yüzeyi hazırlama, önce yapılan ya da ilk işlemin seçilmesi, alt kaplamalar ya da üst kaplamanın seçilmesidir. [4]

5.2.5.3. Fosfat kaplama

Organik kaplamalara en yaygın örneğini boyalar oluşturur. Gözenekli yüzeylerde başarıyla uygulanır. Organik kaplamalarda özel bir yöntem de fosfatlamadır. Bu konu ayrıca ele alınıp incelenmektedir.

Fosfat kaplama; demir, çelik, galvanizlenmiş çelik yada alüminyum gibi metallerin seyreltilmiş fosforik asit çözeltisi ve diğer kimyasalların metal yüzeyinde orta derecede reaksiyonu ile kristalize fosfata dönüşerek koruyucu bir tabaka oluşturması işlemidir. Fosfat kaplamanın kalınlığı 3 ile 5 μ arasındadır. Fosfat kaplama, ana işleme tabi tutulan bir kimyasal reaksiyon ile yüzey üzerinde uygun ve homojen bir şekilde sürülmüş inorganik kristal tortudur.

Daldırma yöntemi çinko, demir ve manganez fosfatlama işlemlerinde kullanılır. Bu yöntem küçük parçaların kaplanmasında rastlanmaktadır. Püskürtme yöntemi büyük hacimli parçaların kaplanmasında tercih edilir ve genellikle daldırmanın mümkün olmadığı durumlarda kullanılır. Pek fazla tavsiye edilen bir yöntem değildir. Çünkü, daldırma ile yapılan kaplama daha iyi sonuç vermektedir. Ayrıca, daldırma tekniğinde koruyucu tabaka daha iyi oluşmaktadır. [1]

Temel dört tip fosfat kaplama vardır. Genellikle kullanılanlar çinko, demir, manganez fosfat kaplamadır. Dördüncü tip olan kurşun fosfat son zamanlarda geliştirilmiştir ve ortam sıcaklığında uygulanmaktadır. [1]

Görünümleri birbirlerinden oldukça farklıdır. Çinko fosfat donuk bir görünüme sahiptir ve genelde açık gridir (Şekil 5.16). Demir fosfat yanar döner kahverengi veya mavidir (Şekil 5.17). Manganez fosfat siyah görünümlüdür ve kristal boyutlarını kontrol eden özel teknikler kullanılmazsa oldukça kaba bir yapıya sahiptir (Şekil 5.18). [7]

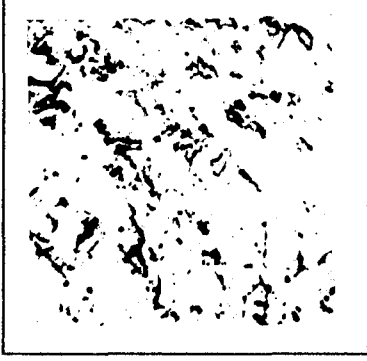
* Çinko-fosfat kaplama: Püskürtme, daldırma yada her ikisinin kombinasyonu şeklinde uygulanabilir. Kaplama işleminde aşağıdaki uygulamalardan herhangi biri için kullanılabilir:

- Boyama yada yağlamaya zemin hazırlamak için,
- Borulara soğuk şekil vermede yardımcı olmak için,
- Yırtılma direncini arttırmak için,
- Pas ve tortu oluşumunu engellemek için. [7]



Şekil 5.16. İyi korozyon dayanımı olan ve gri renkli kristalin çinko fosfatın 250 defa büyütülmüş yüzey fotoğrafı [7]

* Demir Fosfat Kaplama: Son derece ince bir kaplamadır. Yaklaşık feet kare' ye 50 miligram yanar döner bir görünüme sahip olup, esasen az miktarda demir fosfat ile demir oksitten oluşur. Korozyona dayanımı azdır. Fakat, esnekliği ve yapışması iyidir. Kaplama ucuzdur ve solüsyon içinde küçük bir miktar çökelti oluşturur. Üretim hattında kalitenin göz ile kontrolü zordur. Demir fosfat ekonominin birinci derecede önemli olduğu ve korozyon dayanımının çok fazla önemli olmadığı yerlerde kullanılır. [7]



Şekil 5.17. Oldukça ince kaplanmış demir fosfat kaplamanın 250 defa büyütülmüş yüzey fotoğrafı [7]

* Manganez Fosfat Kaplama : Yatak, dişli ve içsel motor elemanları gibi demir esaslı parçaların hasara uğraması ve ısınmasını önlemek için uygulanmaktadır. [1]



Şekil 5.18. Manganez fosfat kaplamanın 250 defa büyütülmüş yüzey fotoğrafı [7]

Manganez fosfat; mekanik olarak birleşme yüzeyleri için yağ emici bir kaplama oluşturur. Daha çok aşınmaya maruz ve hareketli demir yüzeylerde kullanılır. Koyu gri ile siyah arasında bir renge sahiptir. İki aşınan yüzey birbirine alışmaya kadar katı bir yağlayıcı görevi görür. Katman yağlayıcılar için gözenekli ve geçirgen bir yapı oluşturur ve yağlarla bağlantılı olarak korozyon dayanımı sağlar. [7]

5.2.6. Korozyon önleyici kimyasallar

Aşağıda sıralanan korozyon önleyici kimyasallardan hiçbiri üretici firmanın düzenli bakım ve temizleme talimatlarının yerini alamaz.

LPS-1, LPS-2, LPS-3, LPS-B-997, LPS-B-1007, LPS-500 vb. LPS-1 bağlantılar için uygun bir yağlayıcıdır. LPS-1, ayrıca elektriksel aygıtlarında temizlenmesinde kullanılabilir. LPS-2, yer ekipmanları, kablolar, teller ve kargo araçları için iyi korozyon koruması sağlayan etkili bir üründür. LPS-3, çatlak ve birleşim aralıklarını kapatır, nemi izole eder ve parça üzerinde koruyucu bariyer oluşturur. LPS-B-1007 sert tabaka oluşturan bir anti korozyon ürünüdür ve kuruduktan sonra katı ve mumsal bir tabaka bırakır. LPS-997, kaynak dikişleri gibi korozyon muayenesinin sık-sık gerekli olduğu bölgelerde, şeffaf bir tabaka oluşturarak görünebilirliği sağlar ve korozyonu önlemektedir. LPS-500 somunları, civataları, bağlayıcıları, yağlanır ve suyla temasa maruz kalan her türlü parçayı korumak için dizayn edilmiş pas giderici bir üründür. [41]

WD-40, endüstride yaygınca kullanılan ve bilinen su izole edici yağlayıcı bir spreydir. WD-40, küçük çatlak, yarık ve birleşim aralıklarında korozyona karşı devamlı bir koruma sağlamak için kullanılır. Genellikle birbirine kaynama ihtimali olan veya donması muhtemel bölgelerde kullanılmaktadır. [41]

Dinitrol AV8, sert bir film tabakası bırakan ve birçok havacılık malzemesinde kullanılabilen su yalıtıcı, korozyon önleyici ve durdurucu bir üründür. Orta ya da ilerlemiş korozyona maruz kalmış bölgelerde Dinitrol AV 30 veya AV 100D'nin de kullanımı daha gelişmiş bir koruma sağlamaktadır. Dinitrol AV 30 su yalıtıcı, korozyon önleyici bir ürün olmakla beraber AV8'le karşılaştırıldığında kullanım sırasında daha ağır ve mumsal bir film tabakası bırakır. Kullanımdan sonra parça üzerinde oldukça kalın, elastik, kırılmaz mumsal filmiyle korozyona karşı bir bariyer oluşturmaktadır. [41]

Korozyon X, metal yüzeyi nemden ve korozyondan ultra ince bir dielektrik filmle izole eder. Korozyon X'in koruma süreci çevreye ve kullanıldığı metale bağlı olarak en az iki yıl sürebilmektedir. Ürün elektronik ve elektrik komponentlerde kullanılabilir. Uçak içi kullanımları, uçağın tüm iç bölümleri,

bağlantı kabloları, rotor başlarını içerir. Buna ek olarak ürünün egzoz ve turboşarj komponentlerinde kullanımı tavsiye edilmektedir. Korozyon X mum, katran, silikon veya teflon içermemektedir. Ayrıca ürün gerilmeler altında kırılabilecek sert bir tabaka halini almamaktadır. [41]

Korozyon Shield, petrol esaslı korozyon önleyici bir yağlayıcıdır ve bir çok kalın tabakalı ve mumsal koruyucudan ince film tabakasıyla daha iyi bir koruma sağlar. Korozyon Shield, kontrol kablolarını, kargo taraklarını, iniş takımlarını, tekerlek muylularını, yatay stabilizerleri, gövde yapısını, kanat gövde kaplamaları pim bağlantılarını, birleşim noktalarını ve kapıları korozyona karşı koruyabilmektedir. Kapalı yerlerde ürün 2 yıl süresince açık yerlerde daha az olmak üzere koruma sağlayabilmektedir. [41]

Kroil, yağ çözücü karışımı, her türlü metalde rahatlıkla kullanılabilen somunlar, civatalar, vidalar, çiviler, bilyeler, bağlayıcılar ve birleştiricilerde kullanımdan sonra korozyondan koruyucu bir katman bırakan bir üründür. [41]

ACF-50, suyun metalle ilişkisini kesen ve böylece korozyonu kontrol edip önleyen sudan koruyucu yağlama spreysidir. Bu ürün ayrıca var olan korozyona nüfuz ederek gelişmesini engeller ve bir di-elektrik barajı oluşturarak elektrolit sürece son verir. ACF-50 uçak yapısı elemanlarına uygulanabildiği gibi avionik ve elektronik komponentlerde de kullanılabilir. Bağlantılarda, iniş takımlarında, tuvaletlerde, temel yapı malzemelerinde, kanat bölümünde, kaplamalarda, kanat ana yapı elemanları (sparlarda), helikopter rotor başlarında, devre şemalarında, anten ağızlarında, tellerde ve akü terminallerinde kullanılan ince bir sıvıdır. Ayrıca plastikler, boyalar ve sızdırmazlık macunlarıyla güvenli bir şekilde kullanılabilir. Atmosferik koşullara bağlı olarak ACF-50, 12-18 ay etkisini sürdürebilmektedir. Buna rağmen, ACF-50 gibi ince katmanlı yağlayıcılar olmalarından dolayı uygulandıkları malzemeler üzerinde kısa dönemli korumalar sağlar ve düzenli bir şekilde tekrar tatbik edilmelidir. [41]

Elektrik All, tüm elektriksel bağlantılarda anti-oksidlenme sağlayan, temizleyen, koruyan ve iletkenliği arttıran bir solüsyondur. Elektrik All, bağlantıların bütünlüğünü sağlar ve ince bir tabaka bırakarak metali korur. Mekanik All, uzun süreli korozyona karşı koruma sağlayan yüksek nüfuz edici

özelliğe sahip bir yağlayıcıdır. Nemi bloke eder, korozyonu çözer ve temizleme sağlar. Mekanik All ayrıca korunması zor metal mekanizmaları korur ve sızdırmazlıklarını sağlar. [41]

Doliver; toksik ve aşındırıcı özellikleri bulunmayan üründür. Temizleyici, parlatici ve anti-oksitlenmeye ve 6 ay süreyle yenilenme ihtiyacı duymaz. Doliver yüzeyi, tuza, ultraviyole ışınlarına ve oksitlenmeye karşı koruyabilmektedir. [41]

5.2.7. Korozyon çeşidine göre alınabilecek önlemler

5.2.7.1. Çukurcuk korozyonuna karşı önlemler

Çukurcuk korozyonuna karşı önlemler öncelikle malzeme açısından alınmalıdır. Ortamın pasifleştirme yeteneğini arttırıcı ilaveler (örneğin; OH⁻ veya NO₂⁻ eklenmesi gibi) yararlı olur. Ancak, bunların yeterli miktarda ve çukurcuk korozyonu başlamadan uygulanmaları gerekir. Ortamda çözülmüş oksijen miktarını arttırıcı önlemler özellikle oksitleyici özelliği olmayan ortamlarda etkili olurlar. Çukurcuk korozyonuna yol açıcı dar bölge (ortamın sızmasına olanak veren aralıklar) oluşturan tasarımlardan kaçınmak gerekir. Metal ve metal olmayan malzemeler arası temaslar da aynı açıdan önemlidir. [2]

5.2.7.2. Hidrojen hasarına karşı önlemler

Hidrojenle bozunmaya karşı uygulanabilecek önlemler şu şekilde sıralanabilir:

- Korozyon hızını ve hidrojen oluşum hızını sınırlayıcı önlemler: Saldırgan ortama ve kimyasal işlem banyolarına korozyon yavaşlatıcıların ilavesi.
- Ortamı, molekülleşme aşamasını engelleyen iyonlardan arındırmak: Sülfürler, arsenik bileşikleri ve diğer bazı iyonlar $2H^+ \longrightarrow H_2$ tepkimesini yavaşlatarak hidrojen atomlarının yüzeyde birikimine ve daha sonra da yayınarak malzeme içine girmesine yol açar.
- Hidrojen atomlarının geçişini yavaşlatıcı özellikte kaplama veya astarlar uygulamak: Örneğin; hidrojenle bozunmaya duyarlı ferritik çeliklerin yüzey merkezli kübik yapıya sahip metal veya alaşımlarla kaplanması (östentik paslanmaz çelikler ve nikel gibi).

- Malzeme açısından alınabilecek önlemler: Başlangıçta mikroskobik boşluklar içeren malzemeler hidrojenle boşluklanmaya karşı duyarlıdırlar. Bu nedenle az boşluklu sönmük çeliklere uygulamada öncelik vermek gerekir. Düşük yayınma sabitesi nedeniyle hidrojenin malzeme yapısına girmesine sınırlı ölçüde izin veren malzemeler hidrojenle bozunmaya karşı dayanıklıdırlar. Yüzey merkezli kübik yapıya sahip nikel alaşımları ve nikel içeren çelikler bunların başlıca örnekleridir.
- Temperleme işlemi: Maksimum 200°C'a kadar uygulanan temperleme işlemi hidrojenin malzeme bünyesinden kovulmasına ve dayanım kayıplarının önemli ölçüde geri kazanılmasını sağlar. Temperleme işlemi krom kaplamalara uygulanınca sertliğinde düşme görülür. Sertliğin gerekli olduğu hallerde temperleme işlemi uygulanmamalıdır.
- Diğer önlemler: Hidrojen gelişimine yol açan imalat usullerinde değişkenleri en iyi şekilde kontrol ederek hidrojenle bozunma tehlikesi azaltılabilir (örneğin; elektrolitik kaplamada banyo bileşimi, sıcaklığı ve akım yoğunluğu gibi) [2]

5.2.7.3. Erozyona karşı önlemler

Erozyonlu korozyona karşı uygulanabilecek önlemler şu şekilde sıralanabilir:

- Dayanımı yeterli malzeme kullanmak: Bir malzemenin erozyonlu korozyona dayanımı genel korozyon dayanımı ve sertliği ile tanımlanır.
- Tasarım açısından alınabilecek önlemler: Türbülansı azaltmak için malzeme yüzeyindeki düzensizlikleri gidermek ve boru çapını arttırarak hızı düşürmek, dirsek, vana ve flanş gibi erozyonlu korozyona özellikle duyarlı olan parçaları zengin ölçülendirerek hızın yeterli miktarda düşmesini sağlamak, akım doğrultusunda zorunlu olan değişimleri geniş açılı dirseklerle gerçekleştirerek çarpma etkisini minimuma indirmek, ancak çarpma etkisinin yeterince önlenemediği yerlerde kolay yerleştirilebilir çarpma plakaları kullanmak, türbülansı azaltmak için boru girişlerini (örneğin kazanlarda) kenarlardan merkeze doğru kaydırmak, ancak türbülansın yeterince önlenemediği

girişlerde boruların aynadan bir miktar ileri çıkmış olarak montajlarını sağlamak ve aşınma hızına uygun cidar kalınlıkları seçmek tasarım yönünden alınabilecek önlemler için akla gelen örneklerdir.

- Ortamın etkenliğini azaltıcı önlemler: Korozyon bakımından etkenliği azaltmak için ortamın oksijenden arınması veya korozyon yavaşlatıcıları ile işlemi gerekir.
- Yüzey kaplamaları: Durağan koşullarda malzeme ile ortamın temasını kesmek amacı ile uygulanan yüzey kaplamaları kalınlık ve sertliklerinin çoğu kez yeterli olmaması nedeni ile ancak sınırlı ölçüde etkindir. Diğer yandan sert ve korozyona dayanıklı malzemelerden imal edilen astarlar başarı ile kullanılır.
- Diğer önlemler: Sistemin duyarlı parça ve bölümlerini galvanik anotlar yardımı ile katodik olarak korumak özellikle anotların değiştirilmesinin kolay olduğu durumlarda başvurulabilir önlemlerdir.

5.2.7.4. Oyuk açma korozyonuna karşı önlemler

Kavitasyona karşı alınabilecek önlemlerin başında malzeme seçimi gelir. Örneğin; krom ve krom-nikel paslanmaz çelikler, düşük alaşımli çelikler ve bakır alaşımlarına (pirinç ve bronz) oranla daha dayanıklıdır. Ayrıca sert ve korozyona dayanıklı yüzey kaplamaları ve astarlar da başarı ile kullanılabilir. Malzemenin yüzey düzgünlüğü önemlidir. Çünkü, yüzey düzgünlüğü geliştirilerek kabarcıkların oluşumuna elverişli noktaların sayısı minimum düzeye indirgenebilir. Şok dalgalarını söndürücü özellikte malzeme veya yüzey kaplamaları (örneğin; lastik elastomer ...vb.) kullanmak yararlıdır. Kabarcıkların oluşumuna yol açıcı basınç düşmesi ve türbülans uygun tasarım yolu ile önemli ölçüde azaltılabilir. Kaviyasyona karşı katodik korumanın başarı ile kullanılabildiği haller vardır. Katodik korumanın yararlı etkisinin malzeme yüzeyini kaplayan hidrojen kabarcıkların şok dalgalarını söndürme özelliğinden ileri geldiği sanılmaktadır. [2]

5.2.7.5. Atmosferik korozyona karşı önlemler

Deneyim, atmosferik korozyonu önleyebilmek için bağıl nemliliğin diğer koşullara bağlı olarak %50-70'in altında tutulması gereğini ortaya koymaktadır. Havada asit buharı olmamak kaydıyla bağıl nemliliğin %50 altına

düşürülmesi (örneğin ısıtılarak) atmosferik korozyonun önlenmesi için genellikle yeterlidir.

Gece sıcaklığın düşmesi kısmen dolu olan depoların ve yakıt tanklarının iç yüzeylerinde suyun yoğunlaşmasına yol açar. Özellikle havanın tuzlarla yüklü olduğu bölgelerde (örneğin deniz kıyıları) bu tür yoğunlaşma içsel korozyona yol açar. Yarı dolu depo ve tanklar kuru hava veya azotla doldurularak bu tür korozyon tehlikesiz hale getirilir. [2]

5.3. Korozyon Problemlerini Giderme Teknikleri

Korozif etkenlerin başlıcaları olan kir, toz, yağdan oluşan birikintileri malzeme üzerinden sürekli olarak temizlemek gerekir. Temizleme yöntemi, mekanik veya kimyasal olabilir. Kimyasal temizleme özellikle havacılık endüstrisinde önemli bir yer tutar. Kimyasal temizleme ile uçak parçaları üzerinde birikmiş olan yağlı, yarı katı ve katı kirlerin temizlenmesi ve boya sökümü yapılabilir. Burada esas olan kullanılan kimyasal madde ile malzemenin yapısına zarar vermemektir.

5.3.1. Mekanik ve kimyasal temizleme

Temizleme Yöntemleri: Uçaklarda kirlerin temizlenmesi, bu amaç için kullanılacak teçhizata, ortama ve şartlara bağlıdır. Herhangi bir durumda kirlerin temizlenmesi; mevcut kirlerin tipine ve miktarına, ana malzeme bileşimi ve yüzey durumuna, istenilen temizlik derecesine bağlıdır. Metal yüzeylerin temizlenmesinde, el ile temizleme, püskürtme yöntemi ve daldırma tekniği kullanılır. Temizlenecek yüzey küçük ise el ile uygulanır. Kimyasal maddeler fırça veya bez ile tatbik edilir. En hızlı temizleme yöntemi püskürterek (sprey) temizlemedir. Bu uygulamada kimyasal maddenin gücüne mekanik işlemler de katkı sağlar. Çok sayıda küçük parçanın temizlenmesinde ise daldırma tekniği uygulanır. Uçaklarda özel temizlik gerektiren kısımlar arasında; egzoz çıkış bölgesi, yangın söndürücülerinin artıklarının bulaştığı alanlar ve batarya kompartımanı gelmektedir. [6]

Kir parçacıkları için temizleyici seçiminde dört tane ana faktör tespit edilmiştir. Bunlar;

- * Zamanla metal üzerindeki kirin korozyona olan etkisi,
- * Kiri hafifletmek için derhal sökümden sonra zamanla oluşan birikintiler,
- * Etkisi uygun olmayan temizleyici kullanımı ve çok uzun süreli bir temizleyici kullanımından sonra metal yüzey üzerinde yeniden oluşan çöküntülerde kirin oluşması,
- * Köpürme karakteristikleridir. [7]

Korozyonun mekanik yöntemler ile giderilmesinde kullanılan elle çalışan güç gerektirmeyen teçhizatlar; zımparalar, metalik yünler, tel fırçalar ve kazıyıcılar biçiminde sıralanabilir. Fazla miktardaki korozyon kalıntısını ve boya çıkarma işleminde tel fırçalar kullanılır. Fırçada kullanılan telin çapını ve uzunluğunu değiştirerek etkin bir aşındırma sağlanır. Alüminyum, bakır ve paslanmaz çelikten yapılmış üç çeşit tel fırçaya rastlanır ve kendilerine uygun metal yüzeyler üzerinde kullanılmalıdır. Aksi takdirde galvanik korozyona davetiye çıkarılır. Tel çapı 2,5 mm'den kalın olan fırçalar çiziklere neden olacağından kullanılmamalıdır. Kazıyıcılar genellikle köşelerdeki ve oyuklardaki korozyonun giderilmesinde kullanılır. Kimyasal yöntemle korozyonun giderilmesi, kimyasal çözeltinin hapsolamayacağı metal ve kaplamaya zarar vermeyeceği yerlerde kullanılmalıdır. Tercihen ince saçlarda kullanılmalıdır. Uygun bir şekilde kullanılırsa mekanik temizlemeye nazaran kesiti daha da az inceltir. [6]

Kimyasal temizleme işlemlerinde tiner ve korozyon giderici çözeltiler yakın bulundurulmamalıdır. Örneğin, tiner ile kromik asit çözeltisi temas ettirilirse ani yanma olur ve buda istenmeyen olumsuzluklara yol açmasının yanında tehlikeli bir durum yaratır. [6]

Korozif ayıraçlar örnek bir yüzey tabakasının sökümünde kullanılabilir. Bu ayıraçlar ayrıca orijinal yüzeylerin üzerine yapışan kirleri temizlemede de kullanılır. Kristal zerreciklerinin uyumuna göre metal yüzeylerde çeşitli derecelerde hasarlar oluşur. Böylece, iyi bir yapışkanlık özelliği veren düzensiz yüzeyler oluşacaktır. Kirleri çıkarma işlemi sırasında, suyla durulanan yüzey

üzerinde yüzen bütün kirlerin metalle sökülüp atılması olasıdır. Ancak bu işlemi yaparken yine de kirlerin ve tortuların oluşmaması için dikkat edilmelidir. [39]

5.3.2. İmalat yada revizyon işlemi sırasında kullanılan özel teknikler

Havacılık endüstrisinde belirlenmiş korozyon giderme işlemleri ana hatları ile mekanik olarak temizleme, yüzey üzerindeki pürüzleri kaldırarak uygun bir yüzey elde etme, kimyasal yada elektro kimyasal prosesler ile korozyon kalıntılarını gidermekten ibarettir. Yapılan bu işlemlerden sonra çeşitli tekniklerle kimyasal solventleri tatbik ederek yüzey üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturulur. Özel olarak, bilyalı dövme (Shot Peening), taşlama, hassas taşlama (Lapping) işleminden söz edilebilir. [40]

5.3.2.1. Bilyeli dövme

Kontrollü şartlar altında çok sayıda bilyenin işlem görecekt makine parçası yada yapı elemanı yüzeyine tatbik edilmesi işlemidir. Bilye akışına maruz bırakılan metal malzeme yüzeyinde soğuk işlem sonucu baskı gerilmeli bir tabaka meydana getiren işlem olarak kabul edilir. Bilyeli dövme işlemi, metal parçaların yorulma, korozyon yorulması, gerilme korozyonu yani stres korozyonu çatlaklarının giderilmesinde etkilidir. Ayrıca bu işlem sonucu dövülmüş parçaların yüzeyleri de temizlenmiş olmaktadır. [40]

Stres korozyonu çatlaklarına karşı direnci arttırmak amacıyla Bilyeli dövme işlemi metal yüzeyi dayanıklılığının dövülme şeklinde artırılması işlemidir. Metal yüzeyi üzerinde sıkıştırılmış gerilimi yaratan bu işlemde burulma yüklerinin etkisi bir handikap oluşturur. [38]

5.3.2.2. Taşlama

Bir iş parçasının bir aşındırıcı taş tarafından işlenmesidir. Bu aletin kesici elemanları, zımpara tanecikleridir. Taşlamanın amacı yüksek hassasiyet ve yüzey kalitesi elde etmektir. [40]

5.3.2.3. Hassas taşlama

Düzlemsel parçaların taşlama sonrası yüzey pürüzsüzlüğünü daha da arttırmannın amaçlandığı prosestir. Dilimlenmiş döner döküm tabla ile karşılıklı

çalışan yönlendirici çemberler arasına ince öğütölmüş alüminyum oksit tozları sıvı ile birlikte verilerek film tabakası haline getirilir ve üzerine yerleştirilen düzlemsel parça yüzeyi bu film tabakası üzerinde dönerken yüzeyi aşındırarak işlem yapar. Bu proses çok hassas olarak çok düzgün bir yüzey elde etmek amacıyla parça yüzeyinin elektro kimyasal metotla aşındırılarak taşlanması esasına dayanır. Taş ile iş parçası arasında sürtünme yoktur. Parça katot, taş ise anot olarak görev yapar ve elektron seviyesinde malzeme yer değiştirerek proses gerçekteşir. Özellikle, sürtünme ve sürtünmeden dolayı sıcaklığın istenmediği operasyonlarda (örneğin bal-peteği taşlama işleminde) kullanılır. [40]

Çizelge 5.6. Uçaklarda korozyon gidermede kullanılan malzemeler ve kullanım amaçları [6]

Malzeme	Kullanım Amacı
Alüminyum oksit zımpara kağıdı (MIL-A-9962 Tip-1)	Yüzeydeki korozyon ürünlerinin ve boyanın kazanmasında
Alüminyum oksit zımpara kağıdı (MIL-W-81319 Tip-1)	Taşlama ile korozyon gidermede
Etil alkol (MIL-A-6091 Tip-1)	Lastikleri temizlemede
Alüminyum oksit (MIL-G-21380 Tip-1 / Grade A)	Kumlama ile çeliklerdeki korozyonu gidermede
Alüminyum yün (MIL-A-4864 Tip-2)	Alüminyum yüzeylerde korozyon gidermede
Amonyum hidroksit (O-A-451)	Alüminyuma uygulanacak kimyasal çözeltilerin pH ayarlaması
Bariyer kağıdı (Buhar geçirmez esnak) (MIL-B-131 / Sınıf-1)	Su ve buhara dayanıklı maskelemenin gerektiği yerlerde
Borik asit (O-C-265)	Alkali çözeltilerin nötralizasyonunda
Kromatlama çözeltisi (MIL-C-81706 Sınıf 1-A)	*Alüminyum yüzey işlemlerinde *Titanyum yüzey işlemlerinde
Korozyon önleyici (MIL-C-6529 / Tip-1)	Motor ve teçhizatın korozyon önleyicisi olarak
Korozyon önleyici (MIL-C-11796 / Tip-3)	Yumuşak film tabakası oluşturarak korozyon önlemede
Korozyon önleyici (MIL-C-16173 / Seviye -1)	Metal yüzeyinde ve ulaşılabilen kontrol kabloları yüzeyinde uzun süreli korumayı sağlayacak sert bir film tabakası oluşturmada
Korozyon önleyici (MIL-C-81309 / Tip-2)	Suyu uzaklaştırıcı günlük korozyon önleyici
Korozyon önleyici (MIL-C-85054 / Tip 1/2)	Boyanın hasarlandığı ve boyasız yüzeylerin geçici korunmasında
Korozyon giderici (MIL-C-38334)	Boyadan önce alüminyum yüzeylerdeki korozyonun giderilmesi
Korozyon giderici pasta (MIL-C-19647)	Tavandaki ve düşey yüzeylerdeki korozyonun giderilmesinde

Çizelge 5.6. (devamı)

Korozyon giderici alkali (MIL-C-14460)	Demir esaslı malzemelerdeki pasın giderilmesinde
Korozyon giderici pasa-jell-101	Sıvı oksijenle temas eden paslanmaz çeliklerin temizlenmesinde
Korozyon giderici pasa-jell-102	Sıvı oksijenle temas eden alüminyumun temizlenmesinde
Deterjan (ABS) (MIL-D-26937)	Pasivasyon banyoları için nemlendirici ve genel temizleyici olarak
Kumlama camı (MIL-G-9954)	Kumlama ile korozyon giderilmesinde
Aşındırıcı tanecik (MIL-C-5634 / Tip-3)	Kumlama ile paslanmaz çeliklerin korozyon giderilmesinde
Hidroflorür (O-H-795)	Pasivasyon çözeltilerinde
İsopropil alkol (TT-I-735)	Plastiklerin temizlenmesinde
Yağ (MoS ₂ silikon) (MIL-L-25681)	Hareketli parçalarda yumuşak film oluşturarak korumada
Düşük sıcaklık genel amaçlı yağlama yağı (VV-L-800)	Küçük parçaların korozyona karşı korunmasında
Pas söktücü (MIL-M-10578 / Tip-3)	Demir esaslı metallerin yüzeyinden pası kaldırma ve boya katmanının daha iyi yapışması hafif dağlama etkisinde
Metil etil keton (TT-M-261)	Takımlardaki MIL-S-8802 macun kalıntılarını temizler
Nafta alifatik (TT-N-95 / Tip-2)	Akrilik plastik temizleyici
Nitrik asit (O-N-350)	Kromatlama çözeltilerinin pH'ının ayarlanmasında
Potasyum florit	Alüminyum hafif korozyonunu daldırma yöntemiyle almak için hazırlanan çözeltilerde
Ponza taşı (SS-P-821)	İnce metallerde korozyonun ve renk değişiminin giderilmesinde
Macun (Sealing Compound) (MIL-S-8802 / Tip-A)	Aralıkların, açıklıkların kapatılmasında
Macun ve kaplama maddesi (MIL-S-81733 / Tip-2)	Aralıkların, açıklıkların kapatılmasında, korozyon inhibitörü içerir
Korozyon inhibitörlü, düşük yapışma özelliğinde macun (PR-1403G / Sınıf-A)	Yakıt tankı dışında sökülebilir panel ve kapakların macunlanmasında
Akışkanlara dirençli macun (MIL-C-83982)	Boya sökücünün girişini engellemek için aralıkların sürekli kapatılmasında
Düşük yapışma özelliğinde macun (MIL-S-8784 / Tip-A Sınıf-2)	Sökülebilir panel ve kapaklarda
Paslanmaz çelik yün (FF-S-740 / Tip-2)	Paslanmaz çeliklerde korozyon giderilmesinde
Silisyum karbür kağıt (P-P-101)	Paslanmaz çeliklerde korozyon giderilmesinde
Sodyum bisülfat (MIL-S-16917)	Alüminyumun hafif korozyonunu daldırma yöntemiyle almak için hazırlanan çözeltidir
Sülfürik asit (H ₂ SO ₄) (O-S-809)	Korozyon giderme çözeltileri için
Sodyum fosfat (Tribasic) (O-S-642)	Tahtadaki bakterilerin uzaklaştırılmasında

5.3.4. Havacılıkta kullanılan bazı temel malzemelerde uygulanan yöntemler

Temel malzemeler alüminyum, magnezyum ve demir esaslı alaşımlar olmakla birlikte çizelge 5.7'de uçaklarda yapı elemanlarında kullanılan malzemelerden bilgi edilebilir:

Çizelge 5.7. Uçak yapı elemanlarında kullanılan malzemeler [42]

Alaşım Nr.	Silikon	Bakır	Manganez	Magnezyum	Krom	Çinko
1100			%99 Saf	Alüminyum		
2017		4,0	0,50	0,50		
2024		4,5	0,60	1,50		
2117	2,5			0,30		
3003			1,20			
5052				2,50	0,25	
5056			0,10	5,30	0,10	
6061	0,06	0,25		1,00	0,25	
7075		1,60		2,50	0,30	5,60

5.3.4.1. Alüminyum malzemeler

Mekanik olarak korozyon kaldırma : Alüminyum yüzeylerin genel temizliğinde mekanik temizleyicilerin kullanımında alüminyum yün kullanılır. Farklı metal (Galvanik) korozyonuna neden olmak için bu kullanım önemlidir. Boyanın tümü kaldırılmadan önce tüm korozyon zerreleri, beyaz tuzlar yüzeyden kaldırılmalıdır. Çok yumuşak korozyon aşındırıcı ile temizlenebilir. Aşındırıcı klor içermemelidir. Naylon kauçuk sünger örneğin mutfakta kullanılan Scotch-Brite yumuşak korozyonu temizlemede kullanılabilir Ağır korozyonlar ise alüminyum tel fırça ile temizlenebilir. Çelik telli fırça kullanımı alüminyum yüzeyde çizikler oluşturacağı için ağır korozyonlara sebep olur. Aşındırma veya fırçalamadan sonra yüzey 5-10 kat büyüten mercekle incelenir. Tüm yüzeyin korozyondan temizlendiğinden emin olunmalıdır. Şiddetle çürümüş alüminyum alaşımlardan tüm korozyonu kaldırmak için sert işlemler uygulanır. Dönel eğe kullanımı bu işe uygundur. [8,38]

Koruyucu tabaka oluşturma : Alüminyum parçaların üzerindeki anodik tabaka normalde açık gri renkte olup, bazı alaşımlarda koyu griye dönüşür. Bazı alüminyum parçalar belirlenmek için boyanır. Bu boya anotlaştırma metodunda uygulanır ve okside renk verir. Tabaka ilk oluştuğu zaman gözenekli ve oldukça yumuşak alüminyum oksit haline geldiği sırada sertleşir ve metali nemden, havadan ve korozyondan koruyan koruyucu tabaka halini alır. [8]

Yüzey Oksit Tabakası : Yüzeyde daha sonraki oksitlenmeye direnç gösteren bir oksit tabaka oluşturan alüminyumun özelliği onu korozyondan korumaktadır. Metalurji mühendisleri metal üzerinde dekoratif ve su veya hava geçirmez dayanıklı tabaka oluşturma yollarını bulmuşlardır. Tabaka şekillendirmenin iki yolu vardır. Bunlar, elektrolit süreç ve kimyasal süreçlerdir. [8]

Organik Film : En genel metodlardan biri korozyon kontrol için iyi bir boya tabakası uygulanmasıdır. Gözenekli yüzeylerde boya büyük bir problem değildir. Fakat bazı metal yüzeylerde örneğin kumanda lövyesinden boyayı sökmek zordur. Yüzey yumuşak asit tahribiyle ya da anotlaştırma veya alodinleme ile pürüzleşebilir. Boyanın yapışacağı astar için iyi zemin hazırlar. İyi bir yüzey mekanik pürüzlenmesi 400 gritlik dikkatli bir zımparalama ile sağlanabilir. Zımpara kağıdı kullanmadan önce inceltici ile ıslanmış bir bez ile temizlenmelidir. Vernik ve emaye için yıllardır kullanılan astar zinkromat'tır. Bu engelleyici bir tip astar olup hafifçe gözenekli olan tabaka suyun içine girip bazı kromat iyonlarının serbest kalıp metal yüzey üzerine tutturulmasına sebep olacağı anlamına gelir. İyonlaşmış yüzey, elektrolit hareketinden engeller ve korozyonu önler. Sarı yeşil veya koyu yeşil renktedir. Yüzey tamamen parmak lekesi veya yağ zerresinden arındırılmış olmalıdır. Sonra malzemenin yüzey kontrolü yapılarak yüzey boyanır. Daha sonra püskürtme tabancası ile ıslak yüzey üzerine zinkromat örtüsü uygulanır. Aslında, zinkromat metal ile cila arasında iyi bir bağ sağlar. Onarım yapılmasında veya parça üretildiğinde zinkromat iyi bir koruyucu örtüdür. [8]

5.3.4.2. Magnezyum malzemeler

Magnezyum alaşımları yüzeyinden korozyonun kaldırılabilmesi için metal esaslı olmayan temizleyici elemanlar kullanılır. Magnezyum esaslı motor parçalarının temizlenmesinde ticari solventler (çözücüler), kazıyıcılar ve zımpara kullanılır. Bununla birlikte, nihai bakım kimyasal temizleyicilerle sağlanır. Magnezyum etkin bir metaldir. Magnezyumun dış yüzeyi öyle incedir ki, korozyon temizleme için sadece uygun eriyikler ve uygun prosedürler uygulanması şarttır. [5,38,8]

Magnezyum çok yüksek aktifliğe sahip bir metal olup diğer bir çok metal ile temasında galvanik (faklı metal) korozyona neden olur. Korozyona uğramış magnezyum parçalarından korozyonun giderilmesi sert, bükülmez, sık kılı fırçalar ile sağlanır. Aşındırıcı fırça tiplerinin kullanımından oluşturabileceği tehlikelerden dolayı kaçınılmalıdır. [38]

* Mekanik olarak korozyondan arındırma : Magnezyum uçak yapılarında kullanılan genelde en etkin metallere biridir. Fakat ağırlığı, sertliği ve dayanıklılık oranı dolayısıyla imalatçı tarafından korozyona uğraması kabul edilir. Magnezyum alaşım doğal olarak koruyucu bir tabaka oluşturmaz. Bu yüzden kimyasal ve elektrik yoluyla oluşan tabakanın zarar görmemesi için dikkat edilmelidir. Magnezyum korozyonu saf metalden çok daha büyük hacim kaplar. Böylece boyayı kabartarak kaldıracak veya kaplama arasında oluşur ise bağlantı yerlerinden şişecektir. Magnezyum uçaklarda kullanılan metallere hemen hepsinden anodik olduğu için korozyon temizlemesi metalik araçlarla yapılmaz. Magnezyum yapıda korozyon bulunursa, tüm zerreleri temizlenmelidir. Sert metalik olmayan fırçalar veya naylon fırçalar derinlerden ve yüzeyden korozyon kaldırmada kullanılır. [8]

* Yüzey İşlemleri : Korozyonun tümü mümkün olduğu kadar yüzeyden kaldırıldıktan sonra kromik asit toplama eriği korozyon artıklarını etkisiz kılar. Kromik asit toplama eriği yaklaşık olarak 50 damla batarya asidi (sülfürik asit) 1/10 oranında kromik asit (galon) eriğine katılarak elde edilir. Bu yüzeydeki kalıntılara uygulanır ve 10-15 dk bekletilerek sıcak su ile güzelce çalkalanır. Bu

eriyik metale uygulanır ve yüzeydeki altın kahverengi oksit filmi oluşuncaya kadar eriğin yüzeyde kalmasına müsade edilir ve soğuk su ile yıkanır. Sonuçta hava püskürtülerek kurulanır. [8]

5.3.4.3. Demir esaslı malzemeler

* Mekanik olarak korozyon temizleme : Demirli metaller üzerinde oluşan oksit tabakası gözeneklidir. Böylece, nemi çekerek demirin paslanmasına veya korozyonuna neden olacaktır. Tüm bu pas zerrelere temizlenmelidir. Aşındırıcı zımpara kağıdı veya tel fırça kullanılabilir. Fakat çelik parçalar üzerinden korozyonun tümünü temizlemede en etkin yol yüzeyi aşındırma ile tahrip etmektir. Bu yol korozyon çukurlarının içine kadar işler. Alüminyum oksit, kum veya cam partikülleri etkin olarak kullanılabilir. Eğer bir parça kadmiyum veya krom ile kaplanmış ise bu kaplamanın korunmasına dikkat edilmelidir. Çünkü, onarımı mümkün değildir. İniş takımlarında bulunan yüksek gerilimli çelik parçalar çok dikkatli temizlenmelidir. Buralarda korozyon bulunursa, kesinlikle minimum metal aşındırmasıyla korozyon tamamen kaldırılmalıdır. Bu iyi bir zımpara kağıdı veya sünger taşı kullanımı ile olabilir. Tel fırçalar çizik oluşturacağından kullanılmamalıdır. Ancak, çok küçük taneli aşındırıcılar veya cam partiküller kullanılmalıdır. Tüm korozyon ortadan kaldırıldıktan sonra korozyon çukurlarının pürüzlü çevreleri ve onların hasarları 400 gritlik zımpara ile düzeltilmelidir. Kuru ve temiz yüzey, korozyon oluşması için çok uygundur. Korozyonun tekrar oluşmaması için yeni temizlenmiş çelik yüzey yerine zinkromat uygulanmalıdır. [8]

* Nikel-Krom Kaplama: Bu elektroliz yoluyla nikel veya krom kaplama kullanımı metali nem ve havadan koruyan, metal üzerindeki hava geçirmez tabakayı oluşturmada kullanılır. Uçak bakımında kullanılan iki çeşit krom kaplama tipi vardır. Dekoratif krom kaplama başlıca yüzey koruyucu ve güzel bir görünüm için kullanılır. Fakat biyel kolları, silindir duvarları ve aşınmaya maruz kalan parçaların eskimesine karşı direncini artırmak için ve silindir duvarlarının normalde yüzeyinde yağ tutması için üzerinde binlerce çok küçük çatlaklar bulunan gözenekli krom ile kaplanır. [8]

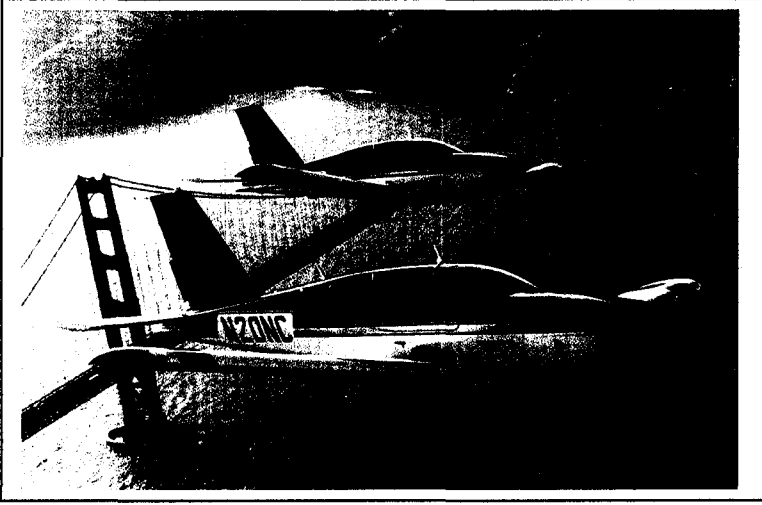
* Kadmiyum Kaplama : Krom kaplama çeliği yüzeyindeki nemden korunurken, kadmiyum kaplama ise korozyona maruz kalır. Tüm çelik uçak hırdavatları kadmiyum kaplanır. Bu yumuşak gümüşlü gri metal çelik parçalar üzerinde elektrolizle kaplanır. Korozyona karşı korur ve güzel bir görünüm sağlar. Bir parça üzerindeki kadmiyum kaplama çeliğe kadar kazınırsa kadmiyumun korozyona uğradığı galvanik korozyon oluşur. Çelik korozyona uğrarsa, korozyon çeliğin yıkımına kadar sürer. Fakat, kadmiyum yüzey üzerinde oluşan oksitler alüminyumdakine benzerler ve yoğunurlar. Hava ve su geçirmezler. İlk tabaka oluşuktan sonra bir daha bu korozyon oluşmayacaktır. [8]

* Organik Kaplama : Boya en yaygın korozyondan korunma yollarından biridir. Boya tabakasının kırılmasına veya çatlamasına izin verilmemelidir. Yüzey boyaya uygun bir şekilde hazırlanır. Kuru aşındırma, püskürtme tüm yüzeyden oksit ve pürüzlülüğü kaldıracak ve boya ile yüzey arasında iyi bir uyum sağlayacaktır. Kadmiyum kaplanmış parçaların yüzeylerine astar uygulamadan önce kromik asit eriği ile yüzey ovulmalıdır. Temiz ve kuru yüzey hazırlandıktan sonra, ince ve ıslak bir kat zinkromat püskürtülür ve kuramaya bırakılır. Son cila genellikle yaklaşık olarak bir saat sonra uygulanabilir. [8]

* Galvanizleme : Yangın duvarları gibi, bazı çelik parçalar çinko kaplama ile işlenir. Galvaniz kaplama ile kadmiyum kaplama benzerdir. Çinko hava geçirmez oksit film oluşturacaktır. Çinko, çelik levhalara eritilmiş çinko fiçilerinden geçirilerek uygulanır. Daha sonra bir seri merdane arasından yuvarlanarak geçirilir. [8]

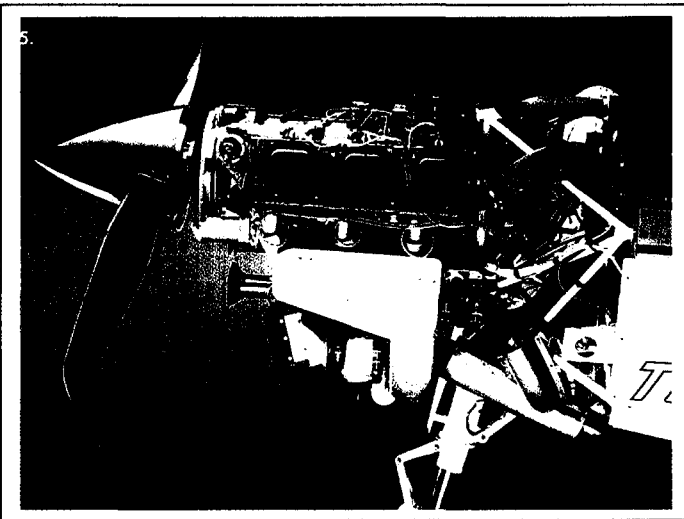
6. GÖZLEM ve BULGULAR

Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Motor Laboratuvarında okul envanterinde bulunan TB-20 tipi uçaklarında kullanılan Textron Lycoming IO-540-C4D5D tipindeki motorların revizyon işlemi sırasında korozyon sorunları üzerine bir araştırma yapılmıştır.



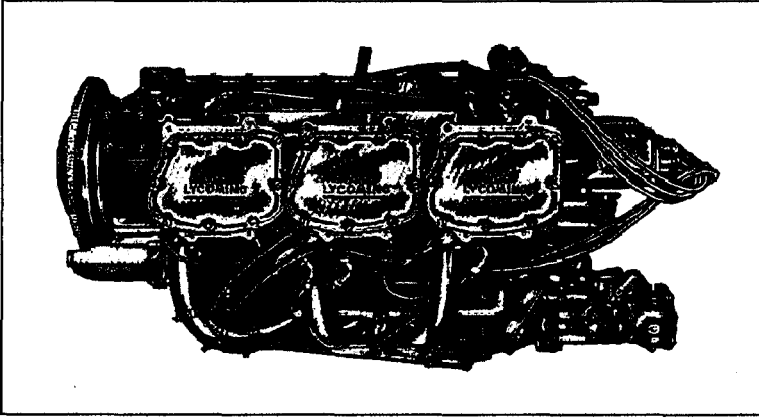
Şekil 6.1. TB-20 Trinidad uçağı

Motor Laboratuvarında bu güne kadar söz konusu motor tipinde dört adet motorun revizyonu yapılmıştır. L-24105-48A, L-24307-48A, L-24285-48A ve L-24305-48A seri numaraları motorlar biçiminde sıralanabilir. Motorların revizyonu 2000 saatlik uçuş saatini tamamlamalarından sonra ilgili teknik dokümanlara göre yapılmıştır.



Şekil 6.2. TB-20 tipi uçağı üzerine takılmış IO-540-C4D5D motoru

Araştırmada L-24305-48A seri numaralı motorun revizyon işleminin başlangıcından sonuna kadar bizzat görev alınmıştır. Hareket noktası motor revizyon işlemlerinin ayrıntılarına girmek yerine bu işlem sırasında korozyon olgusunu dikkate alarak onun doğurduğu sorunları tespit etmek olmuştur. Buna göre ilgili revizyon, tamir ve bakım el kitapları referans alınarak öncelikle IO-540-C4D5D tipi uçak motorlarında korozyon proseslerine değinilmektedir. Ardından motor laboratuvarında bugüne kadar yapılan işlemlerde sağlanan bilgiler ve tecrübeler ışığında söz konusu dört motorun ilk üçünde rastlanan problemlere değinilmiş ve son olarak L-24305-48A seri numaralı motordaki korozyon problemleri üzerinde durulmuştur.



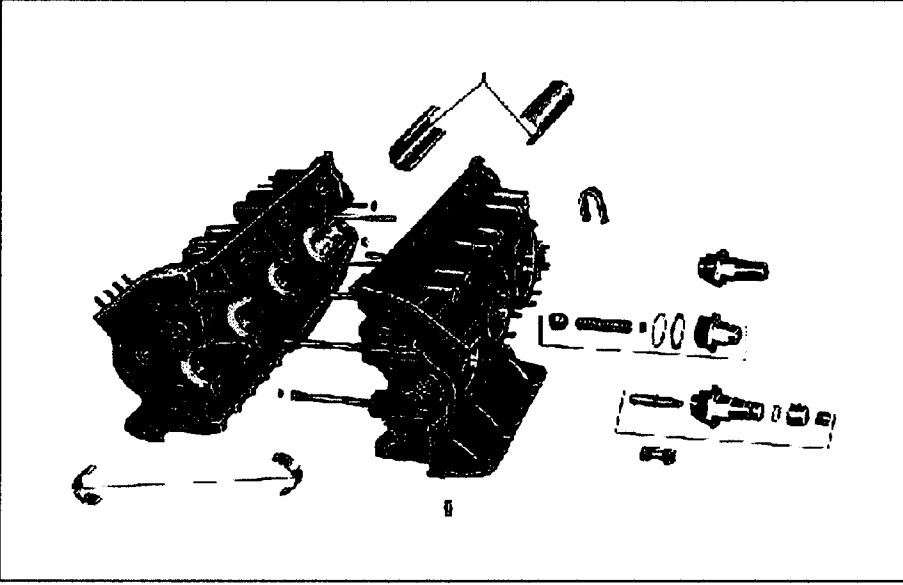
Şekil 6.3. Altı silindirli 540 serisi Lycoming pistonlu uçak motoru [45]

Söz konusu motor 250 HP gücünde pistonlu tip olup yatay eksen üzerine karşılıklı altı silindire sahip (boksör tip) dört zamanlıdır. Hava soğutmalı ve yağ karter tipi yağlama sistemine sahiptir. Yakıt sistemi ise enjeksiyonlu tiptir. Ateşleme, aksesuar bölümünde bulunan bir adet dual tip manyeto ile yapılmaktadır. Motor ile pervane arasında ara bir şaft (mil) bulunmayıp 1/1 oranında dönmektedir. Pilot mahallinden bakıldığında pervanenin dönüşü saat yönündedir. Toplam ağırlığı ise 186 kg (412 libre) dır. Motor tipi belirtilirken “IO-540-C4D5D” biçiminde kullanılan notasyonlar ise şu şekilde açıklanabilir: I: enjeksiyon, O: karşılıklı, 540: silindir hacmi (inç kare cinsinden), C:güç bölümündeki değişiklik, 4:burun bölgesindeki değişiklik, D:aksesuar bölümündeki değişiklik, 5:balans ağırlığının uygulandığı yer, D: Dual tip manyeto ile ateşleme yapıldığı anlamına gelmektedir. [43,44]

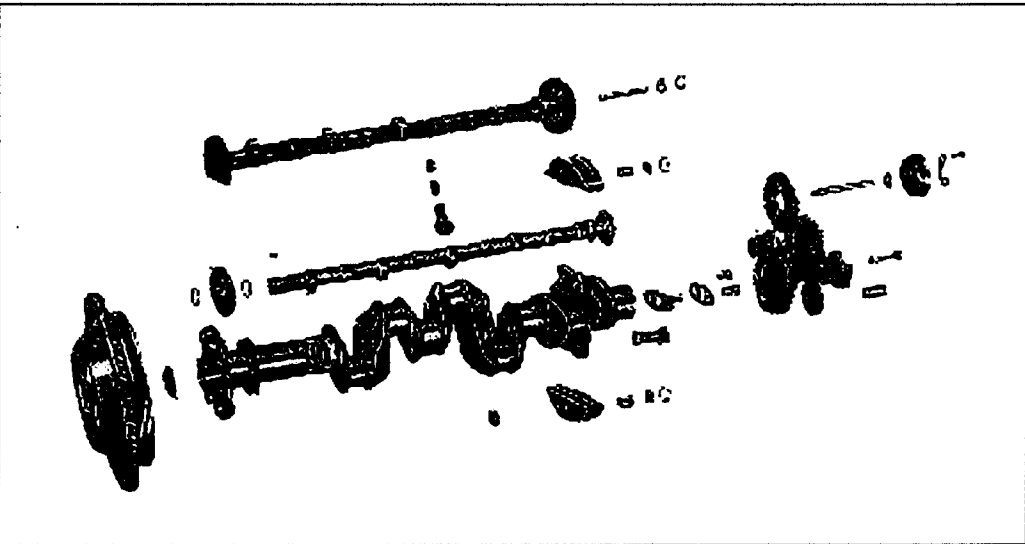
6.1. Textron Lycoming IO-540-C4D5D Tipi Uçak Motorlarında Korozyon

Prosesleri

Motorun ana yapı malzemeleri alüminyum, magnezyum, çelik ve demir esaslı alaşımlardan meydana gelmiştir. Yapılan araştırmada bu malzemelerin korozyona karşı dirençleri ele alınmıştır. Bu kapsamda söz konusu motorda olası korozyon bölgeleri yada kontrol edilecek kısımlar referans olarak alınan “Revizyon El Kitabı” ndaki (Overhaul Manual) gerekli prosedürlere göre incelenmiştir.



Şekil 6.4. Altı silindirli bir uçak motorunun silindir muhafazası [45]



Şekil 6.5. Krank mili ve ilgili parçaları [45]

Bu araştırma kapsamında şu sorulara cevap aranmıştır :

- Revizyon için sökülen motor parçalarında korozyona rastlandı mı? Eğer rastlandı ise ne tip korozyona hangi tip parçalarda rastlandı?
- Revizyon el kitabında korozyonlu parçaların tamir prosedürleri ve kriterleri nelerdir?

Motoru oluşturan ana malzemeler dikkate alındığında bunların korozyona karşı olan davranışları araştırılmıştır. Araştırma boyunca motor laboratuvarındaki mevcut ve kal (kullanılamaz hale gelmiş) motor parçalarında bulunan korozyon fotoğrafları çekilerek görsel olarak çalışmada sunulmuştur.

6.1.1. Temizleme

Etkin bir korozyon tespiti için öncelikle temizleme ve kontrol metotları en iyi şekilde yerine getirilmelidir. Kontrolü ve tespiti kolaylaştırmak için tüm motor parçaları çok iyi bir şekilde temizlenmelidir. Temizleme prosedürleri; yumuşak karbon birikintileri ve kirlerin giderilmesi amacıyla yağların temizlenmesi işlemi ve sert karbon birikintilerinin dekarbonizasyon, fırçalama, kazıma ve kumlama işlemi şeklinde sıralanabilir. [45]

6.1.1.1. Yağdan arındırma

Bu işlem, “White Furnace” çözültisi olarak adlandırılan daldırma veya sprey yaparak sağlanır ya da “Varsol veya Ferm-A-Color” gibi uygun bir çözücü ile yapılabilir. Piyasada alüminyum ve magnezyuma zarar veren pek çok ürünün bulunmasından dolayı bilinmeyen solventlerin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca aşındırıcı bileşik veya sabun içeren su karıştırılmış yağ çözücülerini de dikkatlice kullanılmalıdır. Çünkü, böyle bileşikler metalin gözeneklerine dolarak motor servise verildiğinde çalışma anında yağın köpürmesine neden olabilir. Bu yüzden suyla karıştırılan çözeltiler kullanılırken parçalar sıcak suda iyice durulanmalıdır. Korozyonu önlemek için temizleme işleminden hemen sonra kullanılan çözültinin tipine ve yapılan işleme bakılmaksızın tüm parçaların üzeri koruyucu yağla kaplanmalıdır. [45]

6.1.1.2. Sert karbon birikintilerinin giderilmesi

Yağdan arındırma çözeltisi, kiri ve yumuşak karbonu temizlerken, sert karbon tortusu içsel yüzeylerde daima kalır. Temizlemeyi kolaylaştırmak için bu tortuların ilk önce genellikle ısıtılmış halde olan karbon çözücü çözeltinin dolu olduğu bir tank içine daldırılarak gevşetilmesi gerekir. Birkaç karbon çözücü çözeltiden bahsedecek olursak; Gunk, Fenetiol, Carbax, Super Chemo, Gerlech No:70 sıralanabilir. Karbon çözücüler de genel olarak ikiye ayrılır: Bunlar, suda çözünenler ve hidrokarbon esaslılar olarak ifade edilebilir. Yağdan arındırma işleminden sonraki karbondan arındırma işlemi ile sert karbon tortularının yumuşatılması ve bununla birlikte sert karbonun tamamen temizlenebilmesi için fırçalama, kazıma, kumlama gerekir. Bu işlem sırasında özellikle tel fırçalar ve metal kazıyıcılar yataklar ya da birbirleriyle karşılıklı çalışan yüzeylerde kesinlikle kullanılmamalıdır. Nedeni ise galvanik etkileşim ve kalıcı hasarlara yer vermemektir. [45]

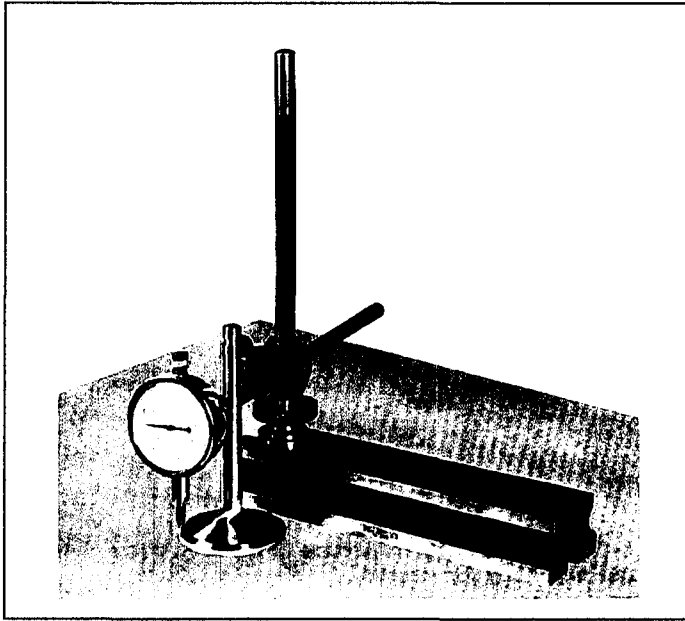
6.1.1.3. Kumlama

Bu yöntemde malzeme olarak kum veya herhangi bir metalik aşındırıcı kullanılmaz. Bunların yerine hafif aşındırıcı organik maddeler kullanılmalıdır. Pirinç, pişirilmiş buğday, plastik tanecikler, kırılıp elenmiş ceviz-fındık kabukları organik maddelere örnek olabilir. Kumlama işleminden önce işlenmiş yüzeylerin tamamı yeterince maskelenmeli ve tüm delikler sıkıca kapatılmalıdır. Supap yuvalarının kumlanması çok avantajlıdır. Çünkü, egzoz supaplarında, şekil değiştirme eğiliminde olan özellikle perdahlar yok olacaktır. Böylece, müteakip işlemlerde supap yuvalarının yenilenmesi kolaylaşacaktır. Öte yandan hiçbir şekilde piston segman yuvaları kumlanmamalı ve bunun yerine eğer gerekli ise petrol esaslı bir çözelti içinde ıslatılarak ahşap kazıyıcılarla kazınmalıdır. Yuvalar kumlanırken yabancı maddelerin girişini engellemek için yağ geçiş delikleri uygun esnek bir malzemeyle tıkanmalıdır. Karbon giderici çözeltiler genellikle dış yüzeyden çok ince tabakalar kaldırır. Özellikle silindir soğutucu dilimleri arasındaki yarıklara biriken bu tabakalar kumlama ile giderilmelidir. Bütün temizleme işlemlerinin sonunda parçalar petrol esaslı çözelti içinde durulanıp

kurulanır ve yumuşamış parçacıklar hava tutularak temizlenir, sonra da tüm yüzeylere bol miktarda koruyucu yağ tabakası uygulanır. [45]

6.1.2. Kontrol

Muayene ya da kontrol işlemleri ise üç grupta toplanır. Bunlar; görsel, yapısal ve boyutsal kontrollerdir. Görsel muayene ve yapısal kontrol, malzemenin görünürde olan yapısal bozukluklar ile ilgilidir. Boyutsal kontrol, cisim geometrisi ve ölçüleri belirlenmiş limitler referanslar göz önünde tutularak kumpas, mikrometre vb. aletlerle yapılır. [43,44]



Şekil 6.6. Valf kenar kalınlıklarının kadranlı indikatörle kontrolü [45]

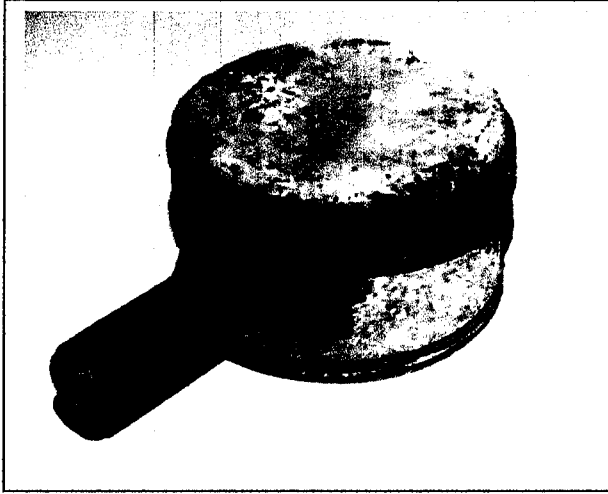
Görsel muayene, diğer muayene işlemlerinden önce yapılmalıdır. Motorun iç kısımlarında biriken tortulardan tehlikeli çalışma durumları anlaşılacak belirtilerin olabilmesinden dolayı, görsel muayene yapılmadan hiçbir parça temizlenmemelidir. Yapısal bozukluklar; manyetik muayene, sıvı penetran ve radyografi gibi metotlar ile belirlenir. [45]

Tüm ferro-manyetik parçalar manyetik muayeneye tabi tutulmalıdır. Burada önemli olan kontrolü yapacak kişinin uzman olması ve verilen akım miktarının doğru olmasıdır. Muayeneye göre yapılan yorumlama çok önemlidir. Kesin bir yorumlamayla sağlam bir parçanın reddine ya da gelişi güzel bir teşhisle

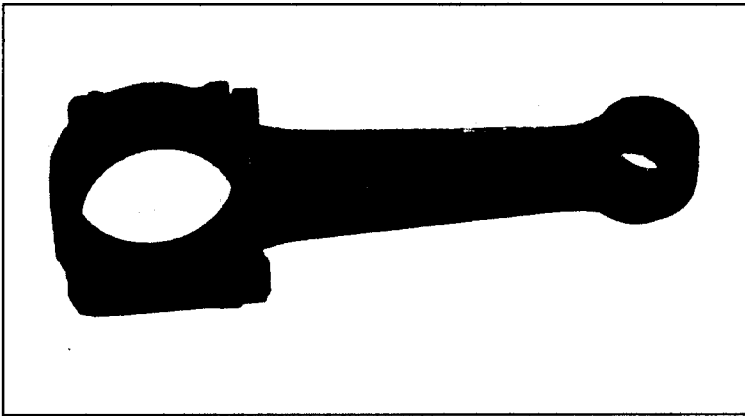
bozuk yapıdaki parçanın servise verilmesine neden olunabilir. Yapılan muayene; kama yatakları, dişliler, kamalar, diş dipleri, ve küçük deliklere sahip parçalar üzerinde yorulmadan dolayı oluşan stres çatlaklarını belirleyeceğinden çok dikkatli olunmalıdır. [45]

6.1.3. Olası korozyon bölgeleri

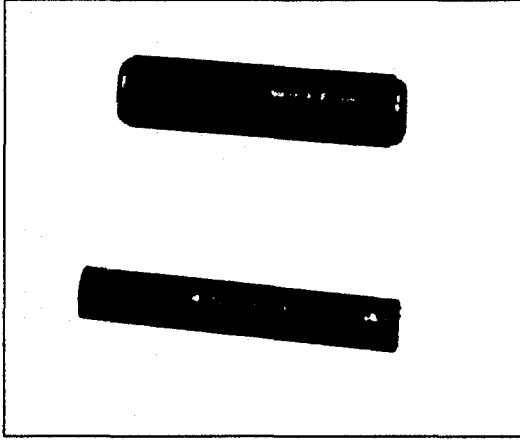
Motorda korozyon etkilerine maruz kalabilecek bölgeler; çok yönlü yüklerin bindiği hareketli içsel parçalar ya da olumsuz atmosferik etkilere maruz kalan koruyucu kısımları zayıf kalın dışsal parçalardaki bölgelerdir. Olumsuz atmosferik etkiler nem, sıcaklık, tuz, ve tozlu-kumlu ortamlar şeklinde sıralanabilir. Aşağıda bu tip bölgelerde korozyona rastlanan çeşitli motor parçalarının fotoğrafları sıralanmaktadır:



Şekil. 6.7. Aşırı oksitlenme, hidrojen hasarı ve dökülmeden dolayı pimi çıkarılmadığı için kal olmuş piston pimi



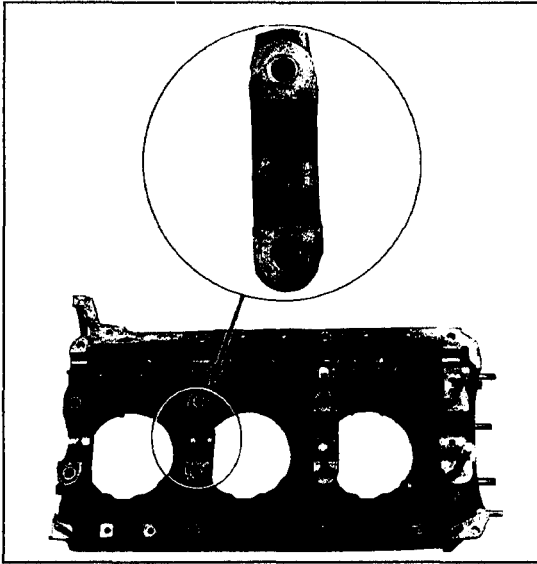
Şekil. 6.8. Aşırı korozyondan dolayı hurdaya ayrılmış piston kolu



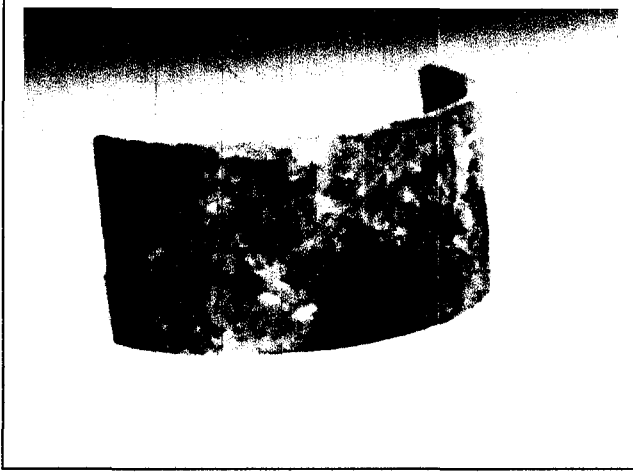
Şekil 6.9. Olumsuz atmosferik etkiye maruz kalmış piston pimleri

6.1.3.1. Yatak yüzeyleri

Tüm yatak yüzeylerinin çizik, sürtünme ve aşınma kontrolleri yapılmalıdır. Parça limitler dahilinde olsa bile muayene sonucunda diğer ciddi hasarlar olmadığı ortaya çıkana kadar motora monte edilmemelidir. Bilyeli tip yatakların görsel muayenesinin içeriği; dış yüzey pürüzlülüğü, yassılık, pul-pul atma, yatak içinde karıncalanma ve dış yüzey üzerindeki çizik kontrolünden oluşur. Görsel muayenenin kapsamında (V yatağı ya da kadranlı göstergeler kullanmak kaydıyla) shaft ve pimlerin düzgünlük kontrolleri, muylu yüzeyleri sürtünme, çizik, kaçıklık, salgı kontrolleri de yer alır. [45,44]



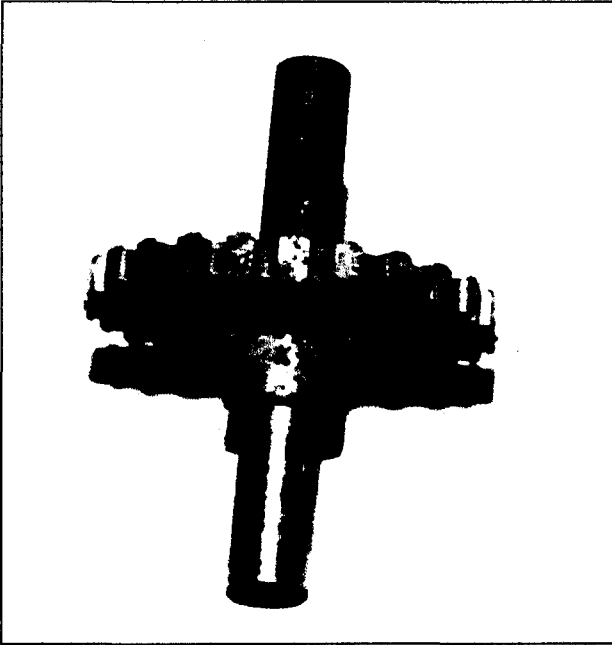
Şekil 6.10. Krank muhafazası içinde yatak oturma bölgesinde oluşmuş kazıma (fretaj) hasarı [45]



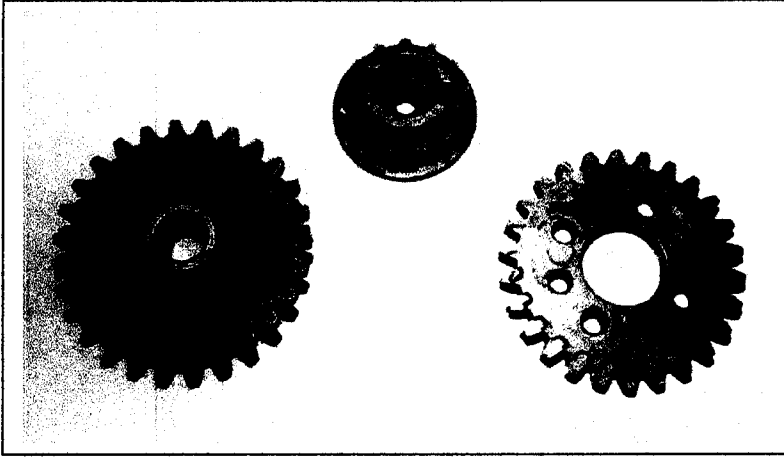
Şekil. 6.11. Pitonlu motordan söküldükten sonra uygun olarak yapılmayan stokajlama nedeniyle hasara uğramış krank şaft yatağında görülen yüzey korozyonu

6.1.3.2. Dişliler

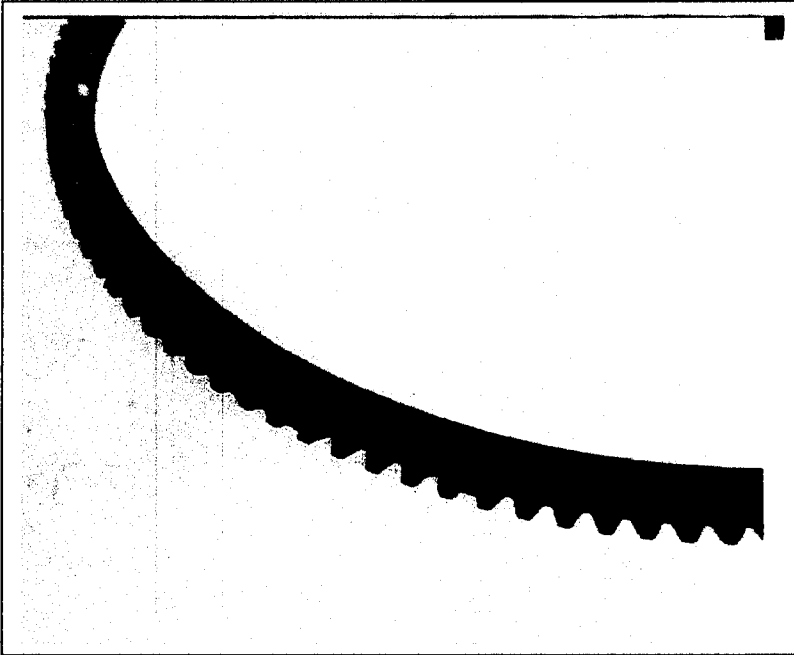
Tüm dişliler karıncalanma (pitting) ve aşınma yönünden kontrol edilmelidir. Bu tip oluşumlar diş sarımsı üzerinde oluştuğunda büyük önem arz eder ve aşırı oluşumlar parçanın değiştirilmesini zorunlu kılar. Tüm dişlilerin yatak yüzeylerinde derin çizikler olmamalıdır. Bununla birlikte çok küçük aşınmalar ince bir bez zımpara ile giderilebilir. [45,44]



Şekil. 6.12. Korozyona uğramış manyeto dişlisi



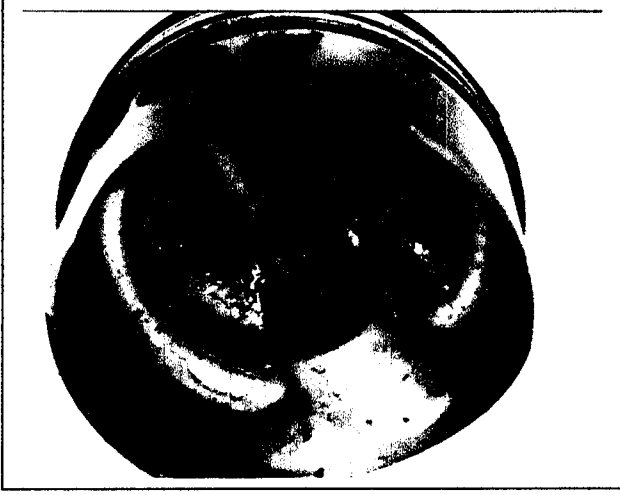
Şekil. 6.13. Revizyon esnasında oksitlenme ve çukurcuk korozyonundan dolayı kal edilmiş dişliler



Şekil. 6.14. Dışsal parçalardan olan volan dişlisinde görülen hasar

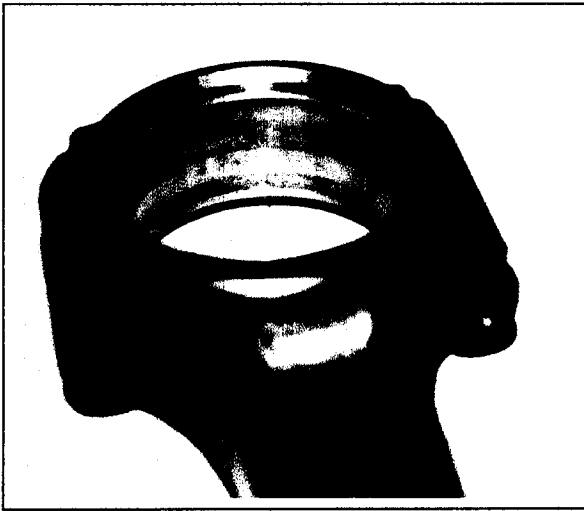
6.1.3.3. Piston ve elemanları

Piston başı, piston pimleri ve piston kolları yüksek sıcaklık ve basıncın olduğu kapalı bir mekanda meydana gelen hidrokarbon esaslı yakıtın yanması sonucunda üzerlerinde biriken karbon tortuları ve korozyif ortamdan dolayı korozyona müsait kritik motor elemanlarıdır. Motor laboratuvarında çeşitli korozyif etkilere maruz kalmış bir parçanın fotoğrafı aşağıda görülmektedir.



Şekil. 6.15. Piston iç yüzeyini saran koruyucu tabakanın tahrip olmuş hali

Motor harekete başladığında uygun yağlama ve işleyiş sağlanabilmesi için piston pimi ve onun geçtiği iç çap farklı iki malzemedен yapılmıştır. Piston pimi çelik esaslı malzeme iken iç çap sinter bronz burçtan oluşur. Değişik esaslı malzemelerden oluşan bu iki parçanın değişik genleşme katsayısına sahip olmasından dolayı piston piminin geçmiş olduğu iç çapta sinter bronz iç çapı piston pimi dış çapı arasında boşluk olmalıdır. Motor çalışma sıcaklığına ulaşıncaya kadar geçen dönemde her iki malzemede çukurcuklar, erozyon, çökme ve dökülme korozyonu oluşabilir. Bu nedenle, bölge dikkatlice göz kontrolüne tabi tutulmalıdır. Gerekliyse manyetik kontrole başvurulabilir. [45]



Şekil. 6.16. Piston kolunun iç çapında görülen titreşimden dolayı oluşmuş erozyon korozyonu

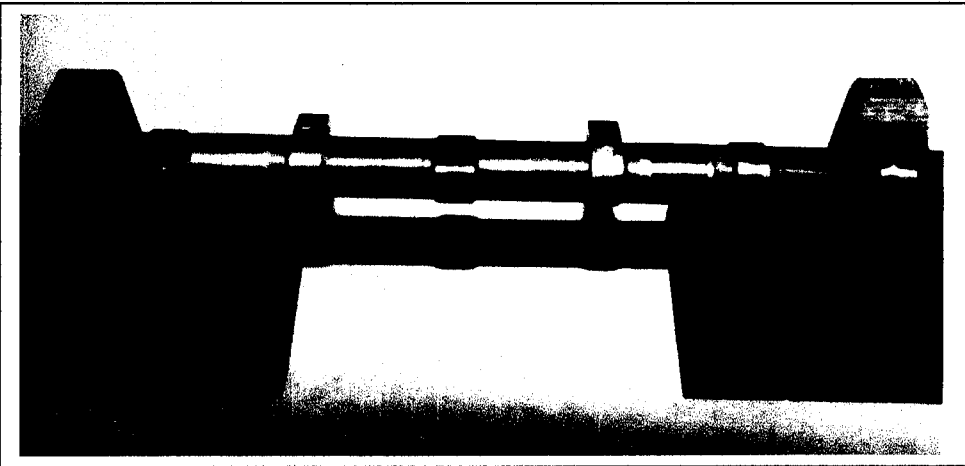
6.1.3.4. Krank mili ve kam mili

Söz konusu parça yüzeylerinde oluşan korozyon bez zımpara (crocus cloth) ya da yumuşak aşındırıcılarla giderilmelidir. Krank mili ve kam mili parçalarında kaplanmamış yüzeyler haricindeki alanlarda korozyona rastlanabilir. Özellikle, krank milinin pervaneye bağlanan ön boğaz kısmında atmosferik etkilere açık dışsal kısımlar korozyon ihtimalinin en yüksek olduğu bölgedir. Bu konuda Lycoming firması tarafından yayımlanan 505 numaralı servis bültenine göre bakım yapılmaktadır. [44,45]



Şekil. 6.17. Krank milinin pervaneye bağlanan ön boğaz kısmında çok yönlü yüklere atmosferik etkilere açık dışsal kısımlarda oluşmuş hasar

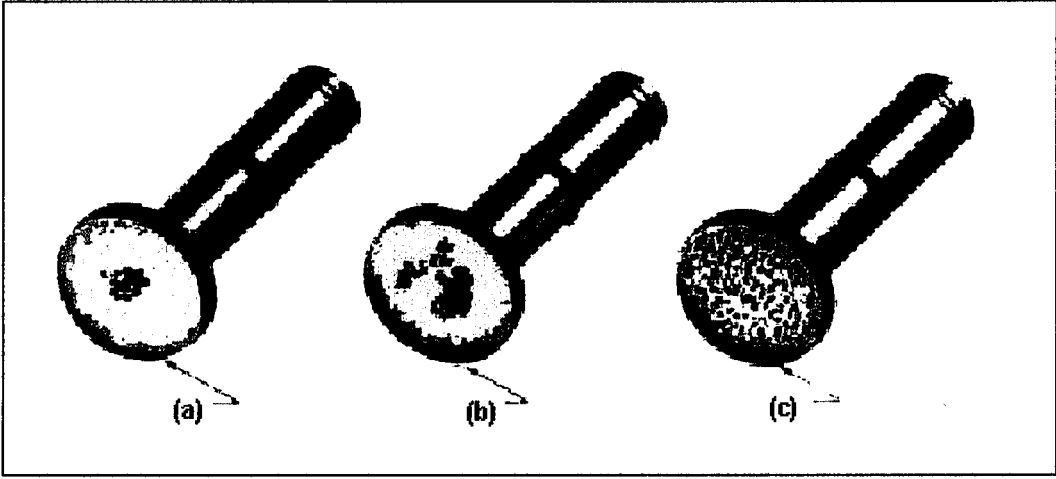
Balans ağırlıklı krank millerindeki balans ağırlıkları eşleşme yüzeylerinde vibrasyondan dolayı aşınma olur. Bu aşınmanın yapılan göz kontrolünde yüzey pürüzlülüğünün bozulması biçiminde olduğu görülür ki bu bir erozyondur.[45]



Şekil. 6.18. Kam mili uçlarında görülen oksitlenme

6.1.3.5. Hidrolik supap iticileri

Hidrolik supap iticilerinin “body” diye nitelendirilen dış gövdesinde kam mili eksantrik yüzeylerinin sürtünmesinden dolayı aşırı derecede korozyona rastlanılabilir. Ayrıca, bu ünitenin alt oturma yüzeyleri ve dış çaplarında çöküntü, çentik şeklinde korozyon hasarlarına rastlanabilir. Buna neden ise sürtünmeden dolayı binen aşırı yük ve yüksek sıcaklıktır. [45]



Şekil 6.19. Hidrolik supap itici gövdelerinin yüzeyi üzerinde oluşan tahribatın aşamaları (a. Çöküntü başlangıcı b. İlerlemiş çöküntü c. kötüleşmiş çöküntü) [45]

Kam mili sayesinde hidrolik supap itecekleriyle hareketi alan supap başındaki yay mekanizmasına bu hareketi ileten tij çubuklarının ön ve arka küresel başlarında, karter havalandırma borularından gelen hava ile yağın özelliğini yitirmesiyle yağ içinde oluşan su nedeniyle oksitlenme görülebilir. [45]

6.1.3.6. Vidalı bağlantılar

Vidalı bağlayıcılarda dişlilerin durumu kontrol edilmelidir. Fazla aşınmış veya kırılmış dişlerin değişimi zorunludur. Bununla birlikte çok ince çentik ve çapaklar küçük bir eğe, ince bez zımpara veya taş ile giderilebilir. Eğer parçada deformasyon, sürtünme hasarları veya aşırı sıkılmadan ya da uygun olmayan takım kullanılmasından dolayı vida dişlerinde kırılma görülürse parça yenisi ile değiştirilmelidir. [45,44]



Şekil 6.20. Silindir eteği iç çapında piston halkalarının sürtünmesinden dolayı görülen kaviteasyon ve erozyon korozyonu

6.1.4. Tamir ve değişim prosedürleri

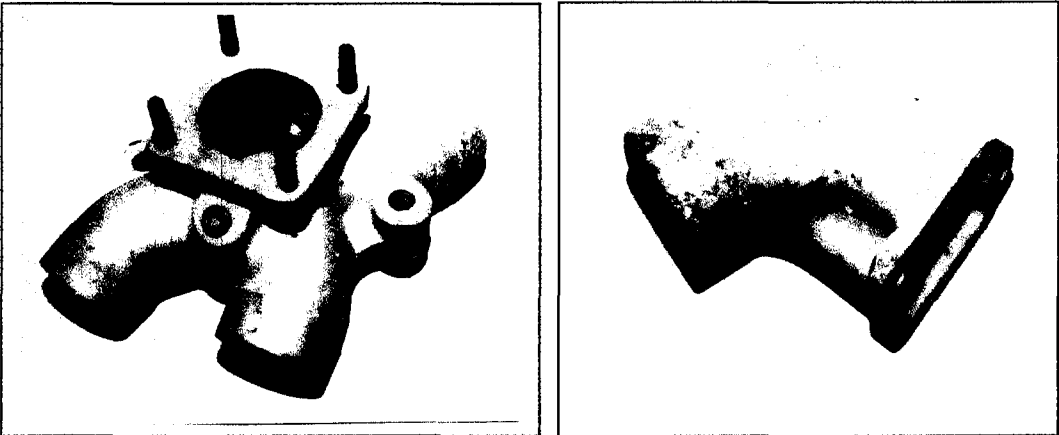
Yapılacak tamir prosedürleri malzemenin yapısal özelliklerini bozmayacak şekilde yapılan yüzey işlemleridir. Bunlar; aşındırıcılar kullanarak zımparalama, eğeleme, parlatma, vidalarda hasarlı vida dişlerini paftalama, çatlakların gerilmeye uğramamış bölgelerinde kaynak işlemi, boya veya astar film tabakası şeklinde koruyucu kaplama oluşturma olarak sıralanabilir. Motorun dış gövdesi alüminyum, magnezyum ve toryum esaslı malzemelerden oluşmuştur. Bu tip malzemeler yapıca korozyona yatkındır. Özellikle toryum esaslı malzemelerin dış yüzeylerinin atmosferik korozif etkenlere karşı korumak için boyanması gereklidir. [45]

Alüminyum ve Çelik Parçaların Boyanması: Parçalar boyadan önce yağdan arındırılmalı ve temizlenmelidir. Tinerle inceltilmiş bir kat zinc-chromate astar uygulanır ve hava ile kurutulur. Bir kat enamel uygulanır ve yarım saatlik bir süre için 130°C -150°C ısıda fırınlanarak kurutulur. Enamel hava ile de kurutulabilir ama bu eksik bir proses olur. Boyası sökülmemiş parçalar astar kaplama uygulanmadan tekrar boyanabilir. [45]



Şekil. 6.21. Emme manifoldu borusunda koruyucu primer boya tabakası eksikliğinden dolayı oluşmuş hasar

Magnezyum Parçaların Boyanması: Magnezyum parçalar boyanmadan önce bi-kromat işlemiyle tamamen temizlenmelidir. Bu işlem, nötr, korozif olmayan yağ temizleme ortamı kullanılarak parçadan yağ ve gres artıklarının temizlenmesi ve yıkanmasını içerir. Sonra parça 45 dakika boyunca 90°C -100°C sıcaklıktaki 3,75 litre suya 340 gram sodyum bi-kromat'tan oluşan çözelti içerisinde daldırılır. Daha sonra parça soğuk akan suda yıkanmalı ve sıcak suya daldırılarak hava tutulmalıdır. En sonunda parçalar tesviye edildiği şekilde enamel ve astar kaplama malzemesiyle boyanmalıdır. [45]



Şekil. 6.22. Magnezyum esaslı malzemeden imal edilmiş manifold elemanların koruyucu astar tabakanın oluşturulmadan yapılan muhafazadan dolayı oluşmuş hasar (Gasket ve çukurlaşma korozyonu)

Değiştirilmesi zorunlu parçaların değişimi için referans olarak Lycoming firmasının 240 numaralı servis bülteni esas alınır. Değişimdeki amaç motorun; verimli, uygun ve en önemlisi “uçuş emniyetini” arttırmış bir şekilde çalışabilmesidir. [44]

Değişecek parçalar; yağ taşıyıcı borular, yağ contaları, sızdırmazlık elemanları, piston segmanları, egzoz supap ve turnakları, krank mili “sludge tüpleri”, silindir fini doğrultucuları, yatak yerleşim yuvaları, manyeto dönü yatakları, kam mili dişli bağlantı cıvataları, piston kolları cıvata ve somunları, krank mili yüzey cıvataları, hasarlı buji kabloları, yaprak pullar, krank mili balans ağırlık burçlarından oluşur. [45,44]

Enjeksiyonlu motorlarda bulunan yakıt hatları eğer uygunsuz yerleştirilmiş ya da yanlış pozisyonda kelepçelenmiş durumda ise hasar görür ve kaçaklara neden olur. Bu konuda Lycoming firmasının yayımlanmış 342 numaralı servis bülteni ve 1301 numaralı servis talimatında ayrıntılara geniş bir şekilde yer verilmektedir. [44]

6.1.5. Stokajlama işlemi

Krom alaşımlı malzemelerden oluşan tüm parçalar revizyon, bakım veya herhangi bir arıza nedeniyle söküldüğünde mutlaka stokajlanmalıdır. Stokajlama korozif etkilere karşı koruyucu yağ ya da solventle bir tabaka oluşturma prosesidir.

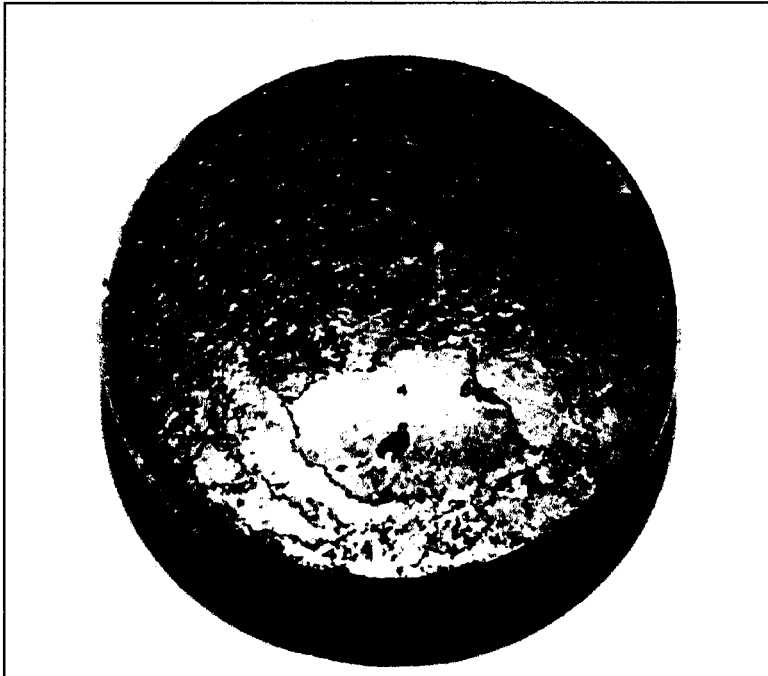
Parçaların zamanından önce bozulmaları motor montajı anında uygunsuz yağlama yapılmasıyla yakından ilgilidir. Eğer, uygun olmayan yağ kullanılırsa veya eksik yağlama yapılırsa parçaların pek çoğu yağın ilk döngüsünü yapmadan önce hasarlanacaktır. Bu da parçaların servis ömürlerinden önce bozulup arızalanmalarına neden olacaktır. Bu konuda Lycoming firmasının yayımladığı 1059 no’lu servis talimatında ayrıntılar yer almaktadır. Buna göre kam mili loplari, itici gövdelerinin uç yüzeyleri “lubri-bond” ile, supap iç yüzeyleri ve gövdeleri “texaco molytex-O” ile, diğer tüm parçalar % 15 pre-lubrcant ve % 85 SAE-50 mineral esaslı koruyucu karışım ile kaplanır. [45]

6.2. Elde Edilen Bulgular

Revizyon el kitabı, eğitim el kitabı ve bakım el kitaplarından elde edilen bilgiler ışığında L-24305-48A seri numaralı motorun revizyon işlemi yapılırken sıcaklık, basınç ve çok yönlü gerilmelere maruz kalan içsel motor elemanları dikkate alınarak yapılan gözlemlerle korozyon tespiti yapılmaya çalışılmış ve daha önce revizyonu yapılan L-24105-48A, L-24307-48A ve L-24285-48A seri numaralı motorlarda rastlanmış korozyon problemlerine de yer verilmiştir. Bu bağlamda L-24305-48A seri numaralı motorda elde edilen korozyon bulgularının fotoğrafları çekilerek aşağıda sıralanmıştır:

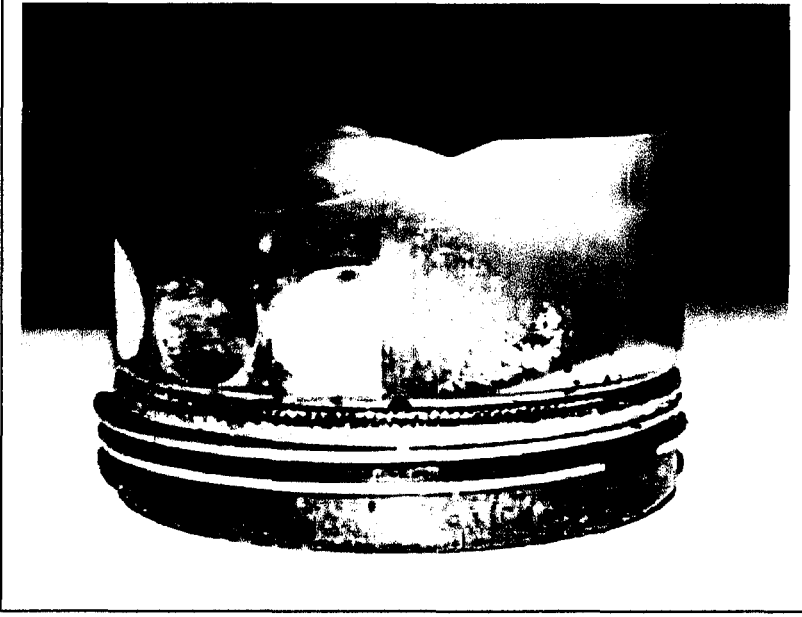
6.2.1. Pistonlar

Yanma odasının bir duvarını oluşturmasından dolayı tüm pistonların üst yüzeyinin sert karbon birikintisi ile kaplı olduğu gözlenmiştir. Ancak, bazı piston yüzeylerindeki bu kalıntının çok daha kalın, bazılarının ise daha ince olduğu tespit edilmiştir. Kalın karbon birikintisi olan piston yüzeylerinde bu korozyonun daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil. 6.23. Piston üst yüzeyinde görülen dökülme korozyonu

Bir çok pistonun yan yüzeylerinde genel ve çukurcuk korozyonuna rastlanmıştır. Her pistonda korozyon miktarının farklı olduğu hatta bazılarında hiç korozyon olmadığı görülmüştür.

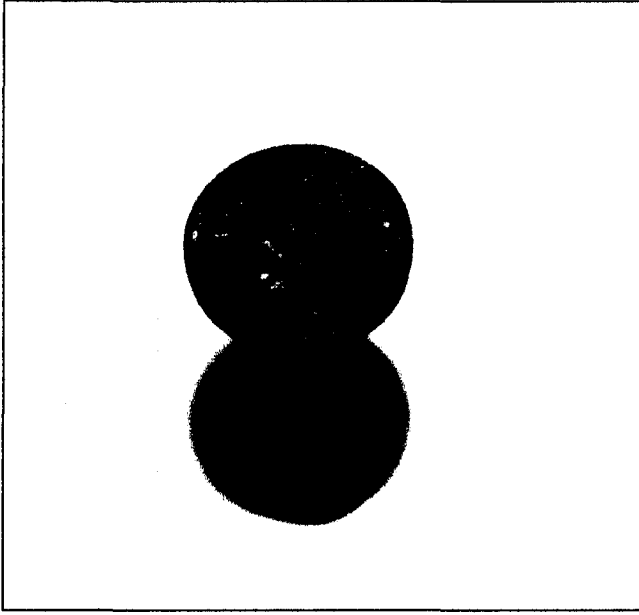


Şekil. 6.24. Piston iç yüzeylerinde oluşmuş genel yüzey ve çukurcuk korozyonu

Hemen hemen tüm pistonların segman kanallarında da birikinti ve hafif yüzey korozyonuna rastlanmıştır. Piston pimi yatak yüzeylerinde erozyon korozyonu görülmüştür. Bunda etken olan yüke maruz kalmanın doğal sonucudur. Ancak, yağ ve yağlama ile silindir içi ortam uygun durumdaysa korozyona rastlanmayabilir.

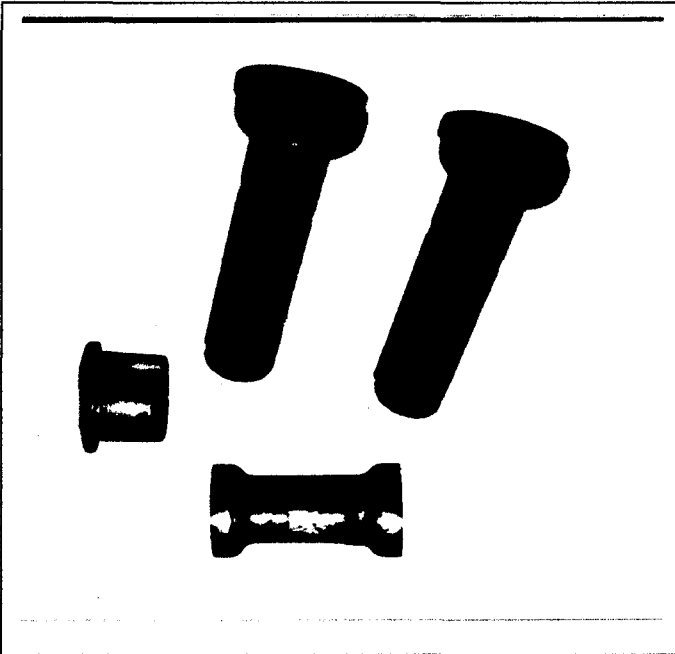
6.2.2. Hidrolik supap itici gövdesi

Hidrolik supap itici gövdesinde kam mili eksantrik yüzeyi ile direk temas edip yükü ve hareketi alan gövde üst yüzeylerinde kaviteasyon tespit edilmiştir. Çalışma prensibi gereği böyle bir durumun oluşması normaldir. İlginç olan tespit ise şudur: Aynı motorların itici gövde yüzeylerinin tümünde böyle bir duruma rastlanmamıştır. Tespit edilen korozyonun boyutu farklıdır. Daha ilginç aynı motordaki iticilerin bazılarında oldukça fazla olmasına rağmen bazılarında hiç oluşmadığı görülmüştür.



Şekil. 6.25. Kam mili uçlarının çarpmasıyla hidrolik supap itici gövdesinde oluşmuş kavitasyon

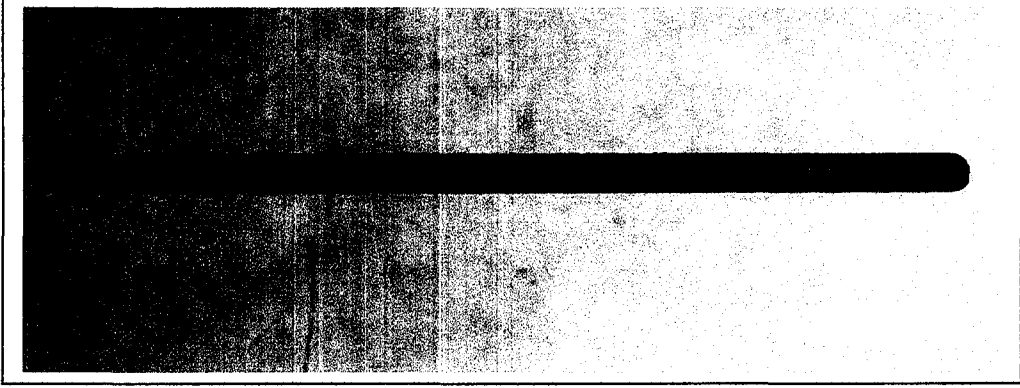
Hidrolik itici gövdesi yüzeyindeki korozyon ve oluşan hasar ilgili krank mili eksantrik yüzeyinde de korozyon ve hasara da neden olmuştur. Bu durumun tersi de geçerlidir. Ancak, dizayn gereği aşınan parçanın mutlaka itici gövdesi olmalıdır. Burada oluşan korozyon zaman içinde kam milinin servis dışı olmasına neden olacaktır.



Şekil. 6.26. Piston pimi asamblesinde oluşmuş hasar

6.2.3. İtici çubuklar

Supap itici çubuklarının uç bölgelerinde su yoğuşmasıyla oluştuğu tahmin edilen çukurcuklar tespit edilmiştir.

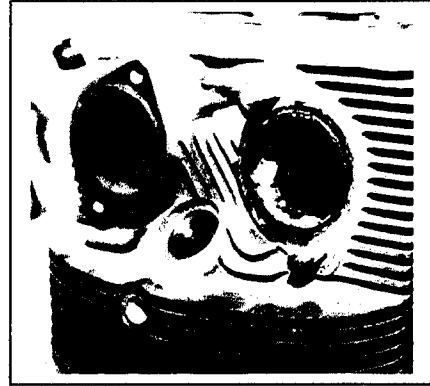
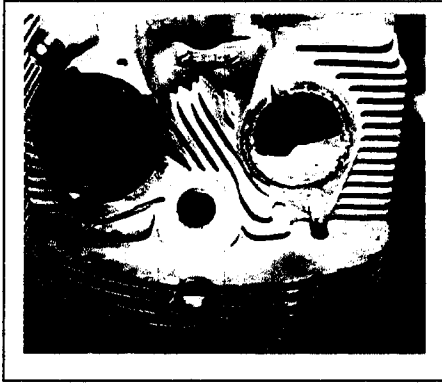


Şekil. 6.27. Koruyucu yüzey kaplamanın bozulmasıyla itici çubuğunun ucunda oluşmuş çukurcuklar

Elde edilen tecrübelerle göre motor parçalarının durumu bu parçanın korozyon durumuyla doğru orantılı olduğu söylenebilir. İtici çubuk borusu ve “O” tipi contaların gereği gibi sızdırmazlık sağlanıyorsa bu parçalarda korozyon oluşumu düşük bir ihtimaldir. Yine tecrübelerle göre korozyon oluşmuş ise kesinlikle diğer parçalarda da normalin dışında bir hasara rastlanmıştır. Zira bu parçayı korozyona maruz bırakan en önemli etkenin yağ ve yağlamanın durumu olduğu söylenebilir.

6.2.4. Silindirler

Yaklaşık 50 adet silindirin sökülüp-takılması ile elde edilen birikimle en az hatta sıfır korozyonun görüldüğü kısım silindirlerdir. Doğal olarak tüm silindirlerin yanma odası tavanı ve yan duvarları (nitritle sertleştirilmiş cidarlar hariç), emme manifoldu karbon tortuları ile egzoz manifoldu ise yanma ürünlerinin oluşturduğu tortulara rastlanmıştır. Tortuların kalınlıkları silindirden silindire göre farklılıklar göstermektedir.



Şekil. 6.28. Magnezyum esaslı malzemeden imal edilmiş silindir başı eksoz çıkışlarında oluşmuş korozyon tortuları

6.2.5. Krank mili ve kam mili

Krank muhafazası içinde kalan muylularda ise korozyona rastlanmamıştır. Sadece krank milinin açıkta kalan boğaz muylusu üzerinde ve pervane bağlantı bölgesinde hafif yüzeysel korozyona rastlanmıştır. Buna etken olarak bu bölgenin korozif etkilere maruz kalması düşünülebilir. Yapılan revizyon işlemleri boyunca iki adet kam mili hidrolik itici gövdesinin yüzeyiyle çalışan eksantrik yüzeylerinin birkaçında kabul edilebilir çöküntülere rastlanmıştır. Sadece L-24285-48A seri numaralı motora ait kam milinde rastlanan erozyon kabul edilebilir limitlerde olmadığından bu parça servisten alınmıştır.

6.2.6. Yataklar

Krank mili yatakları her revizyonda yenilenmektedir. Bu değiştirilebilir yatakların krank muhafazasında yatak oturum iç çap yüzeylerinde çok hafif kazıma (fretting) hasarına rastlanmıştır. Bu duruma rastlanan motor hala revizyonu için laboratuarda beklemektedir.

Piston kolu krank mili muylu yataklarında ve yatak oturum yüzeylerinde erozyon korozyonuna rastlanmıştır. Yağ içine karışmış korozif etki yapabilecek maddelerin neden olduğu sanılmaktadır. Üzerine binen yükün sonucu da oluşabilecek bu parçadaki korozyon seviyesi giderilebilir miktardadır. Dikkat çekici olan bu duruma yatakların hepsinde rastlanmasıdır.

7. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

Bu çalışmada korozyon süreci ve yapısı anlaşılmaya çalışılmıştır. Korozyon türlerini tanıyıp iyi analiz ederek ve doğru zamanda doğru kararları vererek bu sorun minimuma indirgenebilir. İyi bir tanı yapabilmek için iyi bir tespit gerekir, yapılan bu tespite göre alınacak önlemler ve giderme işlemleri havacılık endüstrisinde çalışan teknik personelin üzerinde dikkatle durması gereken hususlardır.

Sanayileşmenin artmasıyla birlikte korozyon ulusal boyutta bir sorun olmuştur ve korozyon sonucu oluşan hasarlar milli gelirden bir kayıp anlamı taşımaktadır. Bu olguyu inandırıcı bir tabana oturtabilmek için korozyonun neden olduğu rakamları belirtmek üzere bazı ülkelerde yapılan kapsamlı çalışmaların sonuçlarını anımsatmakta yarar vardır. İngiltere'de korozyonun sebep olduğu ekonomik kayıplar gayri safi milli gelirin % 3.4 ile % 4.5' i arasında değişmektedir. Ayrıca, bu kaybın %15'inin korozyon önleme çalışmalarıyla geri alınabileceği ilgili çevrelerce kabul edilmektedir.

Korozyonun oluşumunu hiçbir zaman yok etmek ya da engellemek mümkün değildir. Çünkü, bu olay kimyasal tepkimelerin oluşturduğu dinamik bir süreçtir. Bir benzetme yapılacak olursa; korozyon, malzemelerin kanseri olarak nitelendirilebilir. Bunun kaynağını ise maddelerin doğada kararlı yapıya dönme eğilimleri oluşturur. Korozyon ülkemizde diğer endüstri dallarında olduğu gibi havacılıkta da önemli bir sorun oluşturmaktadır. Sektörde uçuş emniyetini en üst düzeyde tutabilmenin yolu korozyondan dolayı oluşabilecek problemleri minimuma indirecek tedbirleri almak ve teknik personel tarafından bilinçli bakım faaliyetlerini yapmaktır.

Akılcı olan; sorunu tespit ederek onu gidermeye çalışmak değil, korozyonun oluşumunu engelleyici tedbirleri almak ve iyi bir takip sistematığı kurmaktır. Çalışmanın kapsamında belirtilen genel bilgiler havacılık endüstrisinde çalışan mühendis ve teknisyenlere ışık tutabilir.

Altıncı bölümde elde edilen bulgular beklendiği gibi sıcaklık ve basıncın yüksek olduğu içsel kısımlardaki hareketli parçalardadır. Ortamın öneminin de göz ardı edilmemesi gerekir zira, korozif etkileri besleyen bu ortam rastlanan korozyon tiplerinin oluşumunda etkindir. Karma potansiyel kuramından hareketle

yüksek sıcaklık unsurunun da ilave edilmesiyle birlikte silindir içinde yanmanın meydana geldiği ortamın korozif etkenleri arttırarak korozyona davetiye çıkardığı söylenebilir. Altıncı bölümde bahsedilen L-24305-48A seri numaralı motorun revizyon işlemi boyunca elde edilen bulgulara göre motorun genel olarak korozyon açısından durumunun iyi olduğu söylenebilir. Bu durumun etkenleri şöyle açıklanabilir:

- Söz konusu motor uçak üzerinden sökülür sökülmez revizyona alınmış, tüm parçalar revizyon el kitaplarındaki prosedüre uygun olarak sökülmüş, temizlenmiş ve stokajlanmış olması,
- Eskişehir yöresinin coğrafi konumundan dolayı olumsuz iklim şartları gereği toz, nem, sıcaklık açısından motorun korozyona maruz kalmasına imkan vermeyecek programsız tüm kontrollerin zamanında yapılması, serviste olan motorun olumsuz bu etkenlere karşı yerinde alınmış önlemlerin olması.

Yine altıncı bölümde elde edilen bulgularda rastlanan korozyon problemleri hakkında ise şu savlar dile getirilebilir:

- Piston üst yüzeylerindeki kalıntının oluşması yakıt ve yanma olayının sonucudur ve önleme olasılığı çok azdır. Ancak, kalıntının miktarı motor ayarları (hava-yakıt karışım oranları, supap açıklıkları ve ateşleme uyumu ...vb.) ve yakıtın istenen nitelikte olması ile ilgili olduğu söylenebilir. Bu unsurlar dikkate alındığında karbon kalıntı miktarı ve korozyon azaltılabilir. Piston yan yüzeylerinde özellikle yağ segmanı pozisyonunun uygun olmaması nedeniyle yağlamanın gerektiği gibi yapılmaması ve silindir iç cidarlarında ile piston yan yüzeylerinde soğutmanın gerektiği gibi olmamasıyla aşırı sıcaklığın koruyucu yüzeyi tahrip ederek korozyona uygun ortam hazırlamaktadır.
- Hidrolik supap iticilerindeki korozyona neden olarak uygun yağlamanın olmaması düşünülebilir. Kam mili, itici çubuklar, piyanolar ve supaplar arasındaki uyumsuzluk yada optimal olmayan supap ayarlarından dolayı parçalar arasında artan titreşimin kaviteasyon miktarıyla direkt olarak ilgili olduğu söylenebilir. Hidrolik supap itici

gövde iç yüzeyinde genel olarak korozyona rastlanmamıştır. Aynı durum gövdenin içinde bulunan itici mekanizması için de geçerlidir. Gövde içinde sürekli hapsedilen bir miktar yağın bulunmasının bu olumlu sonuca etken olduğu söylenebilir.

- Söz konusu motorun bazı itici çubuklarında görülen çukurcuk korozyonunun nedeni irdelendiğinde; motor servisteyken herhangi bir arızadan dolayı bu parçanın sökülme ve takılması sırasında korozif etkilere maruz kalması, sızdırmazlık sağlayan contaların hatalı takılması sonucu itici çubuk borusu içine korozif etki yapacak su ve yakıtın girmesi, yine sökülme-takılma sırasında yada yağ içindeki tortuların itici çubuk içindeki yağ kanalını tıkaması sonuçlarına ulaşılabilir.
- Emme ve egzoz manifoldlarında tortu kalınlıklarının farklı olmasının nedeni ise iyi yada kötü bir yanma olmasıyla ilgilidir. Bu durumda periyodik bakımlarda ve motor servisteyken yapılan rejim ayarları ve kullanılan yakıtın niteliği önem kazanır.

Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu motor laboratuvarında 1995 yılından bu yana altı silindiri IO-540-C4D5D tipi ve dört silindiri O-360-A4K tipi uçak motorlarının revizyonu yapılmaktadır. Bu süre boyunca revizyon edilen ve edilmekte olan toplam motor sayısı sekize ulaşmıştır. Yapılan tüm işlemler için mevcut imkanlar dahilinde olabildiğince bilgi birikimi sağlanmıştır. İlave olarak bu konuda çalışan teknik personel, korozyon problemleri hakkında daha iyi bir altyapıya sahip olabilir ve bakım faaliyetleri daha işlevsel olarak yürütülebilir. Yapılan gözlemlerde malzemenin yapısı ve imalat özellikleri, atmosferik koşullar gibi genel durumların dışında tüm motor parçalarının korozyonunda etken olarak insan faktörü öne çıkmaktadır. Çalışma boyunca bu birimde görev yapan personelin elde ettiği tecrübe ve birikimlere göre alınan bilgilere aşağıda değinilmektedir:

- Revizyon için sökülen motor parçalarının temizliğinde uygulanan yöntem, araç, kimyasal çözücü, vb... hatalar korozyon sebebidir. Örneğin, magnezyum ve çelik alaşımlı malzeme yağ çözücü sıvı içine

birakıldığında magnezyum parçanın ileri derecede hasara uğradığı gözlenmiştir.

- Revizyon sırasında tamamen temizlenen parçaların bekleme süresi içerisinde korozyona karşı koruyucu stokajlama işleminin yapılmaması bu olaya davetiye çıkarmaktadır. Motorun revizyon sonrası uygun stokaj yapılmaması da önemli bir noktadır.
- Uçak servisteyken yapılan yağ ikmallerinde herhangi bir sebeple su ihtiva eden yağın motora ikmal edilmesi önemli bir etkidir. Bakımlar esnasında motorun içine korozif özellikli maddelerin girmesi de parçaların korozyonuna sebep olabilmektedir.
- Uçuşu tamamlandıktan sonra hangarda bekleyen uçaklar yeni uçuş için apron önüne çıkarılmadan önce yakıt tankında bekleyen yakıtın dibine biriken suyun boşaltma vanalarından tahliye edilmelidir. Bunun yapılmaması motordaki yakıt sisteminde sulu yakıtın dolaşmasına neden olur. Su ve içerdiği korozif mikroorganizmalar sistemin herhangi bir yerinde korozyona neden olabilir.
- Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulunda yapılan bakım faaliyetlerini iklim şartlarına göre sürdürülen uçuşlar sınırlamaktadır. Bu uçuşlar belli iklim şartlarında (genellikle yağışın ve rüzgarın bol olduğu kış ve ilkbahar başlangıcı dönemlerinde) seyrekleşmektedir. Azalan uçuşlara göre uçaklar uzun süre hangarda beklemektedirler. Bu bekleme süresi boyunca uçaklarda hem sistemlerin faaliyetleri hem de korozyona karşı korunmaları için yer çalıştırması yapılmaktadır. Ancak yer çalıştırmaları belirli periyotlarda yapılmamaktadır. Ayrıca kimi uçakların motorlarında (örnek olarak, periyodik bakımına 5 uçuş saati kalmış olsun) eskimiş ve içinde korozif tortuları bulunduran yağ bulunmakta ve bu halde uzunca bir süre (örneğin, 2-3 ay gibi) beklemektedir. Bu olguya karşı alınabilecek önlem basittir. Bu uçakları düzenli periyotlarda yer çalıştırmasıyla faal halde tutmak ve çok uzun süre bekleyecek uçakların motorlarının yağları boşaltılarak stokajlanması sorunun çözümünde yeterli olacaktır.

- Yağ karterinin özellikle dip kısmında ağır yağ tortuları bulunmaktadır ve korozyona elverişli bir ortamdır. Bu bölgenin periyodik bakımlarda takibe alınarak temizlenmesi önemlidir.
- Aksesuarları bulunduğu bağlantı yüzeylerinde conta kalıntılarının olması korozyonda etkindir. Revizyonu yapılan tüm aksesuar bağlama yüzeylerinde hasarlara rastlanmıştır. Örnek olarak manyetonun sökülüp takılması sırasında eski contanın yüzeyden iyi temizlenmemesinden dolayı oluşmuş çukurcuklar belirtilebilir.
- Cıvata-saplama-somun bağlantı elemanlarının sökülüp takılması sonucu takımların yanlış kullanımı sonucu koruyucu tabakanın kalkması, yenilenmemesiyle bağlama elemanında başlayıp krank muhafaza birleşim yüzeylerine kadar ilerleyen hasarın oluşumu engellenebilir.

Yapılan bu tez ışığında aşağıda ifade edilen konularda çalışma yapılabilir :

- Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu bünyesinde olan bakım kuruluşu teknik departmanının bu sorun hakkında bilgilendirilmesiyle; yapılan periyodik bakımlar ve ömürlü parçaların serviste kalma sürelerini maksimumda tutarak % 100 değişmesi gerekmeyen parçaların bir sonraki revizyonda kullanımı sağlanarak hem bir katma değer sağlanabilir hem de uçuş emniyeti olumlu yönde etkilenir.
- Yine söz konusu bu kuruluş içerisinde “Toplam Kalite Yaklaşımı” ve “Kalite Güvence Sistemi” çerçevesinde işlerlik kazanabilecek “Araştırma-Geliştirme” bölümü içinde yapılacak “Korozyonla Mücadele ve Takip Departmanı”nın kurulmasında yararlanılabilir.
- Çalışmanın yapıldığı motor laboratuvarı hem ders verilen bir yer hem de revizyon işlemleriyle uğraşılan bir saha görünümündedir. Yeniden yapılanmayla daha modern daha bilimsel olarak çalışılabilecek ortam oluşturulabilir. Bu organizasyonu ve/veya işlemleri uygulayabilecek kalifiye elemanlar için korozyon konusunda bir başvuru kaynağı olabilir. İlave olarak bu araştırma genişletilip ilerletilebilir.

- Erozyon ve çukurcuk korozyonunun matematiksel ve fiziksel niceliklerle analizi ve tespiti konusunda bir çalışma yapılabilir.
- Korozyonun ekonomik analizi yapılarak olayın maddi boyutu somut olarak sergilenebilir.

Görüldüğü gibi korozyona karşı alınan önlemlerle hem güvenilirlik ve verimliliği artırırken hem de çevremizi zararlı etkilerden koruyarak büyük ekonomik kazançlar elde edilebilir.

8. KAYNAKLAR

1. BOYER, H.E. ve GALL, T.L., *Metals Handbook Desk Edition*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, USA (1991)
2. DORUK M., *Korozyon ve Önlenmesi*, ODTÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No:70, Ankara (1982)
3. COLAVITA, M. ve DATI E., *AGARD Fatigue in the presence of corrosion*, Research and technology organization, Trivisssonno, France (1999)
4. FONTANA, M. G. , *Corrosion Engineering* , McGraw -Hill Book Company, Singapore (1986)
5. DeVIRE S., *A&P Technican Oral Pratical Test Guide, Chapter-12*, Jeppesen Sanderson Inc., Eaglewood, USA (1993)
6. AY, S., *Korozyon Kontrol*, 1.HİBM Fabrika Müdürlüğü Yayınları, Eskişehir (1988)
7. SEYMOUR, K.C., *Corrosion Source Book* , American Society for Metals , New York, USA (1984)
8. *Aircraft Corrosion Control, EA - CC -1 Training Series*, İnternational Aviation Publishers Inc., Wyoming, USA (1985)
9. POLLOCK, I . B., *Corrosion of under Thermal Insulation* , ASTM, Ann Arbor (1985)
10. ÜNERİ S., *Korozyon ve Önlenmesi*, Korozyon Derneği Yayınları, Ankara, (1998)
11. *AGARD High Temperature Surface Interactions*, AGARD Conference Proceedings No:461, Ottawa, Canada (1989)
12. WALLACE, W. ve HOPNER, D.W., *Corrosion Handbook Volume-1*, Specialised Printing Services Limited, Essex (1985)
13. POURBAIX M., *Thermodynamics of Aqueous Solutions*, Ages J.N., Arnold, France (1949)
14. POURBAIX M., *Corrosion*, France (1970)

15. UHLIG. H.H., *Corrosion and Corrosion Control, Second Edition*, John Wiley and Sons Inc., New York, USA (1971)
16. SULLY , J.C., *The Fundamentals of Corrosion* , Pergamon Press , New York (1990)
17. ATKINS, P.W., *Physical Chemistry*, Oxford University Press, Oxford, England (1988)
18. HIBBERT, D.B. ve JANES A.M., *Dictionary of Electrochemistry*, MacMillan, London, England (1976)
19. CLARK, D.E. ve ZOITOS B.K., *Corrosion of Glass, Ceramics and Superconductors*, Noyes Publications, New Jersey-USA (1992)
20. *Corrosion Manual- Section 1*, Air Publication 119A-0200-1A, United Kingdom Ministry of Defence, Second Edition, (October 1978)
21. SCHWEITZER P. A. , *Corrosion and Corrosion Protection Handbook* , Marcel Dekker Inc. , New York, USA (1988)
22. KIEPURA, R.T. ve SANDERS, B.R., *Metals Handbook Ninth Edition, Volume-11, Failure Analysis and Prevention*, Metals Park, Ohio-USA (1986)
23. *Courteys of A. Brasle*, Lubrizol, Scandinavia AB (1985)
24. *AGARD Erosion, Corrosion and Object Damage Effects in Gas Turbines, Propulsion and Energetics Panel Symposium*, Qubec, Canada (1994)
25. *Corrosion Control and Precautions-Aircraft*, Publication No:C-12-010-040/TR-021, Canadian Department of National Defense, (September 1978)
26. *Aircraft Weapons System Cleaning and Control, Technical Manual*, NAVAIR 01-1-A-509, Naval Air System Command, Washington USA, (September 1980)
27. SHIELS A.S., *Corrosion Failure Analysis and Metallography*, American Society for Metals, Ohio-USA (1986)
28. İPEK R., *Malzeme Teknolojisi Deney Föyü 1-2*, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları No:82 (1990)
29. POTTER E.C., *Electrochemistry, Cleaver-Hulme*, London, England (1961)
30. EVANS U.R., *Corrosion and Oxidation of Metals*, Arnold, London, (1961)
31. BREGMAN G.I., *Corrosion Inhibitors*, MacMillan, New York, (1963)

32. TOMASOV N.D. ve CHERNOVA G.P., *Passivity and Protection of Metals from Corrosion*, Nauka, Moscow (1977)
33. ROZENFEL'd I.L., *Ingibitory Korrozii*, Khimiya, Moscow (1977)
34. MCLOUGHLIN V.C.R., *Corrosion Control Measures for Military Aircraft*, United Kingdom Requirement and Future Development (August 1981)
35. SPAHN H. ve FASSLER K., *Zur Konstruktiven Gestaltung Korrosionsbeanspruchter Apparate im Der Chemischen Industrie*, Konstruktion (1972)
36. WRANGLIN G., *An Introduction to Corrosion and Protection of Metals* Chapman&Hall, New York (1985)
37. SUMMITT R., *AGARD Lecture Series No:141, Management of Corrosion*, Specialised Printing Services Limited, Essex (1985)
38. *A/P Technican General Instructor Guide, Chapter-12*, Jeppesen Sanderson Inc., Eaglewood, USA (1996)
39. European Federation of Corrosion, *Practical Corrosion Principles*, The Institute of Metals, London, Great Britain (1989)
40. Editör : AYTEKİN, A., *Prosesler Kitapçığı*, 1.HİBM, W -19 (1998)
41. From The Editor, *Corrosion (Dergi)*, 5.Sayı (2 Haziran 1993)
42. BERNER P., *Aviation Eguipment And Maintenance (Dergi)*, Temmuz Sayısı, (1994)
43. SOCATA, *TB - 20 Training Manual*, Tarbes, France (2001)
44. SOCATA, *TB - 20 Maintenance Manual*, Tarbes, France (2001)
45. TEXTRON LYCOMING, *Direct Drive Aircraft Engines Overhaul Manual*, Sixth Printing, Williamsport, USA, (Jan 2001)