

# BİLİM VE MÜHENDİSLİK ALANI OLARAK KOROZYON

- Korozyon olayının oluşumu elektrokimyasaldır. Buna göre elektrokimyasal ilkelerin tanımlanması ve uygulanması en temel konudur.
- Ancak elektrokimyasal yaklaşımda korozyona uğrayan metal yüzeyinin sürekli bir ortam oluşturduğu kabul edilir. Metalin iç yapısından kaynaklanan salınımlar da büyük önem taşır.
- Malzeme bilimi, fiziksel metalurji gibi malzemenin iç yapısını konu alan bilim dalları korozyonda çok önemli rol oynarlar.
- Buna göre elektrokimyasal bir olay olan korozyon metalurji, malzeme bilimi, termodinamik gibi diğer bilimlerle de iç içe geçmiştir. Korozyon zaman içinde sessizce gelişen ve istenmeyen bir olaydır, doğrudan ve dolaylı olarak ekonomik kayıplara yol açar.
- Korozyon doğrudan ürün kaybına yol açar (delinmiş depo veya borulardan petrol veya su kaybı), ürünü kirleterek kullanılmaz hale dönüştürebilir
- Korozyon ürünlerinin yüzeysel birikimi sonucu ısı geçirgenlik katsayısı önemli ölçüde düşer.( sıcak su ve buhar hazırlama tesislerinde verimin düşmesi ) Korozyon nedeniyle beklenilmeyen malzeme kayıpları ve bozunmalar emniyet bakımından çok önemlidir.( yüksek basınçlı kazan ve benzeri tesislerin patlaması ve dolayısıyla çevreye zarar vermesi )
- Korozyonun bir başka zararlı etkisi de günlük yaşantımızda kullanılmak zorunda olduğumuz gıda maddelerini kirletmeleri ve sağlığımıza zararlı hale getirmeleridir.
- Korozyonun yol açtığı kayıplar toplam endüstriyel gelişmişlik düzeyi ile yakından ilgilidir



# ENERJİ TESİSLERİNDE KOROZYON

**NECİL KURTKAYA**

**ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ  
DÜNYA ENERJİ KONSEYİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ ÜYESİ  
KOROZYON DERNEĞİ YÖNETİM KURULU BAŞKANI**

The left side of the slide features three stylized balloons: a green one at the top, a light blue one in the middle, and a purple one at the bottom. Each balloon is attached to a string and has several small yellow triangles radiating from it, suggesting movement or light. The background is plain white.

## **KOROZYONUN TANIMI**

## **KOROZYON NEDİR?**

Teknolojik öneme sahip metallerin hemen hemen tümü tabiatta "bileşik" halinde bulunurlar. Bileşiklerden "metal veya alaşımların" üretimi, ancak ilave "sermaye - malzeme - enerji - emek ve bilgi" sarfı ile mümkündür. Üretilen metal ve alaşımların tekrar kararlı halleri olan "bileşik" haline dönme eğilimleri ise yüksektir. Metaller içinde buldukları ortamın elemanları ile reaksiyona girerek, önce iyonik hale ve oradan da ortamdaki başka elementlerle birleşerek "bileşik" haline dönmeye çalışırlar; yani kimyasal değişime uğrarlar ve bozunurlar.

Sonuçta metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal, mekanik veya elektriksel özelliği istenmeyen değişikliklere ("zarara") uğrar.

**KOROZYON, HEM METAL VEYA ALAŞIMININ BOZUNMA REAKSİYONUNUN HEM DE BU REAKSİYONUN SEBEP OLDUĞU ZARARIN ADIDIR.**

Bir başka bir şekilde ifade etmek istersek,

**KOROZYON, METALİK MALZEMELERİN İÇİNDE BULUNDULARI ORTAMLA ELEKTROKİMYASAL REAKSİYONA GİRMELERİ SONUCU HARIÇTEN ENERJİ VERMEYE GEREK OLMADAN, METALİK ÖZELLİKLERİNİ KAYBETMELERİ OLAYIDIR.**

# KOROZYONUN OLUŞUMU

Korozyon, birbiri ile elektriksel ve elektrolitik teması olan ve aralarında potansiyel farkı oluşabilen, metalik iki bölge veya nokta arasında oluşur. Bu bölge veya noktalardan potansiyel olarak daha asil olanın yüzeyinde katodik reaksiyon oluşurken aktif olan diğer bölge veya nokta çözünür. Korozyon olayı enerji açığa çıkararak kendiliğinden yürüyen reaksiyonlar sonucu ortaya çıkar. Örneğin demir metali su ve oksijen ile birleşerek, doğada bulunduğu minerallere benzer bileşimdeki oksitlere dönüşmek eğilimindedir. Bu mineraller demirin en düşük enerji düzeyinde olan en stabil bileşikleridir. Metalik demir korozyon reaksiyonları sonucu oksitlerine dönüşürken enerji açığa çıkarır. Aynen bunun gibi diğer bütün korozyon olayları da enerji açığa çıkararak tek yönlü olarak yürürler.

## KOROZYON HÜCRESİ

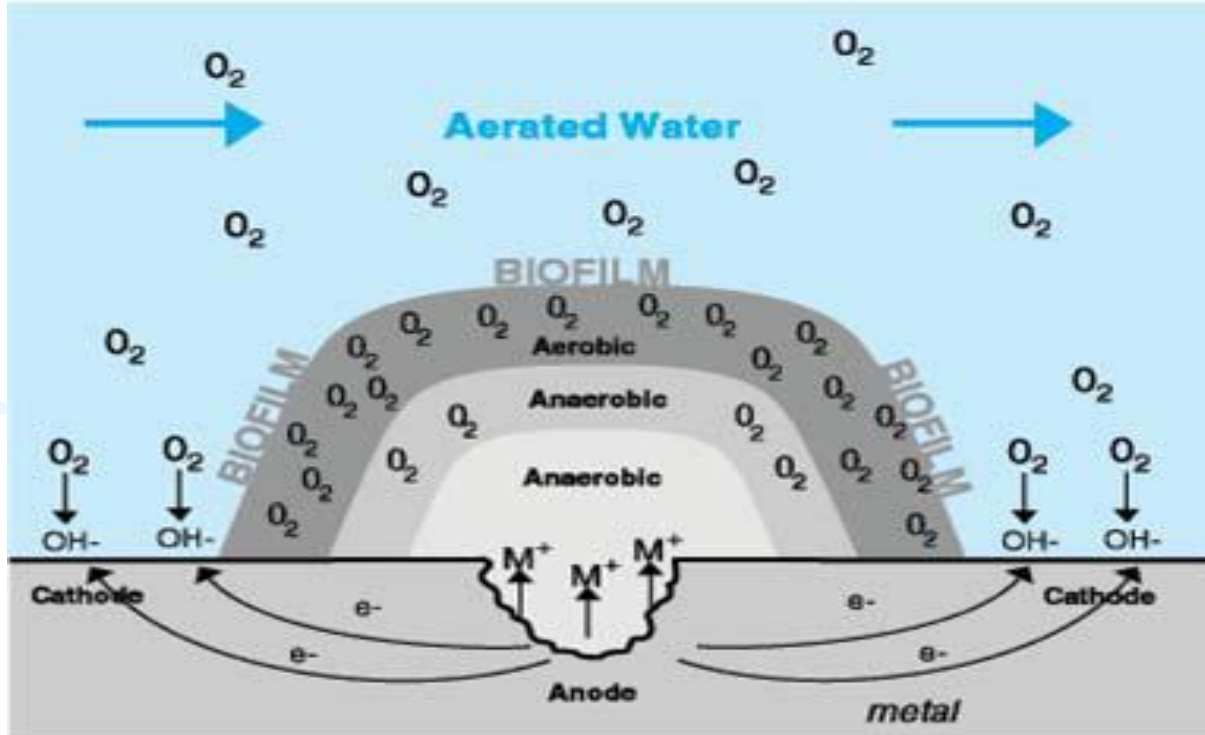
Metallerin yüzeyinde de her zaman değişik kalınlıkta su veya su filmi mevcuttur. Hava ve dolayısı ile onun bir bileşeni olan oksijen gazı atmosferle temas eden her türlü su içinde belirli bir oranda çözünür. Su içinde çözülmüş oksijen gazı metal yüzeyinde "redüklenerek" yani elektron alarak, iyonik hale dönmeye meyillidir.

Eğer redüksiyon için gerekli elektronlar metal tarafından sağlanırsa, elektronlarını oksijene vererek "oksitlenen" metal atomları katı halden "sulu iyon" haline geçerek kimyasal değişime uğrarlar. Metalin sulu ortam ara yüzeyinde kimyasal şekil değiştirmesi "korozyon" olarak tanımlanır.

Sulu ortamlarda elektron alış verişi ile gelişen oksidasyon (elektron verme) ve redüksiyon (elektron alma) reaksiyonlarına "elektrokimyasal" reaksiyonlar denir. Su içinde, atmosferde ve toprak altında meydana gelen tüm korozyon reaksiyonları "elektrokimyasal" reaksiyonlardır.

## KOROZYONUN MEKANİZMASI

Korozyon olayı metalin iyon haline yükseltgenmesi  $Me = Me^{+2} + 2e$  ile anot bölgesinde meydana gelir ve  $Me^{+2} + 2H_2O = Me(OH)_2 + 2H^+$  metal iyon halinde çözeltilmeye geçer. Bu iyonlar alkali ortamlarda su ile hidroliz olarak hidroksit halinde çöker.  $\frac{1}{2}O_2 + 2H_2O + 2e = 2OH^-$  gereğince çözülmüş oksijen katot civarında hidroksil iyonuna dönüşür. Asidik ortamlarda katot reaksiyonu hidrojen iyonu indirgenmesi  $2H + 2e = H_2$  ile hidrojen çıkışı gerçekleşir.

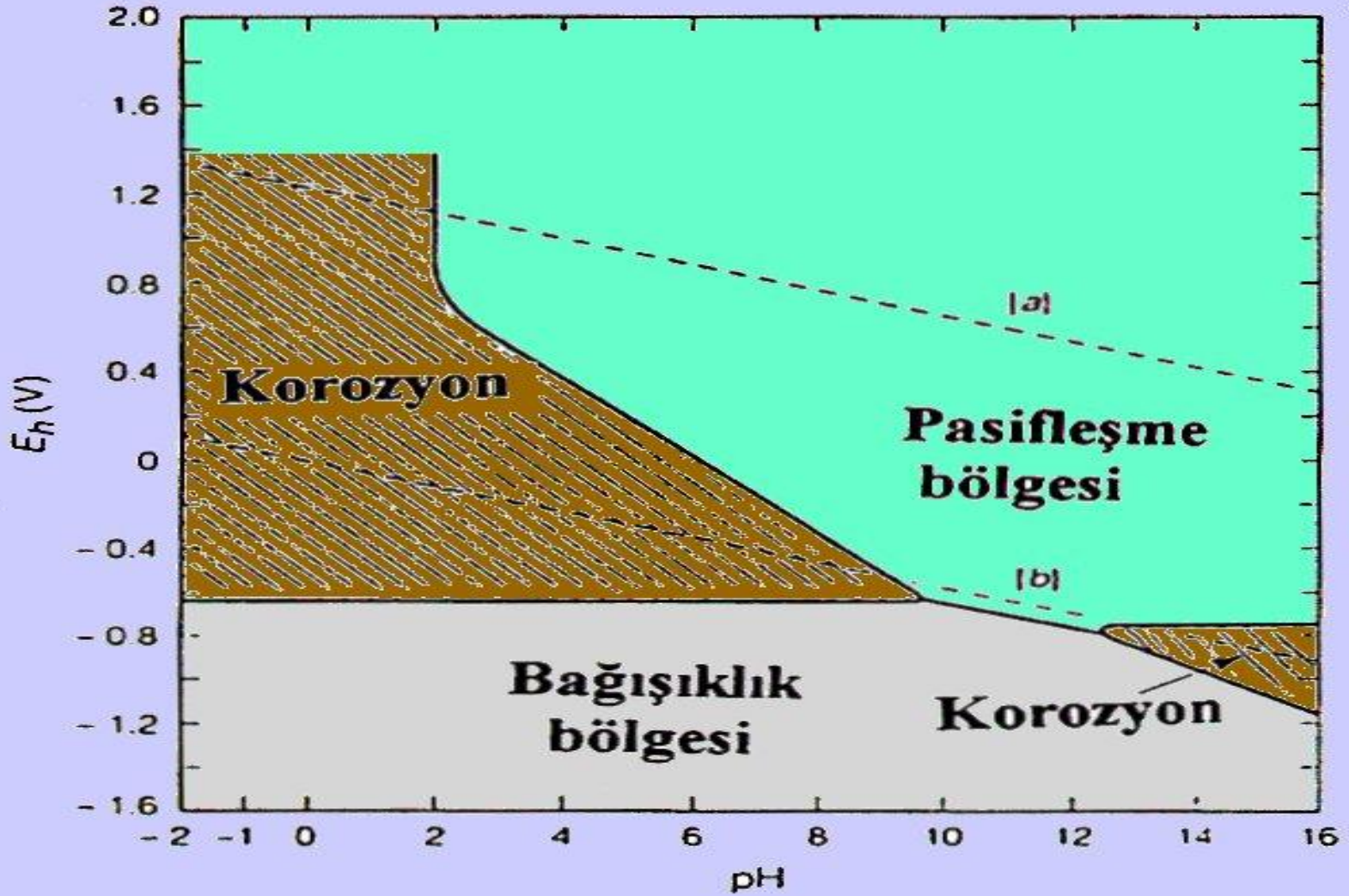


## BAZI METALLERİN EMK, GALVANİK SERİ

Yarı Hücre	Metal	Standart Elektrot Potansiyeli E.(Volt) Standart Hidrojen Elektroda göre
Au/Au <sup>+++</sup>	Altın	+1.498
Pt/Pt <sup>++</sup>	Platin	+1.200
Cu/Cu <sup>++</sup>	Bakır	+0.345
H <sub>2</sub> /2H <sup>+</sup>	Hidrojen	0,000
Pb/Pb <sup>++</sup>	Kurşun	-0.126
Ni/Ni <sup>++</sup>	Nikel	-0.250
Fe/Fe <sup>++</sup>	Demir	-0.440
Zn/Zn <sup>++</sup>	Çinko	-0.763
Al/Al <sup>+++</sup>	Alüminyum	-1.662
Mg/Mg <sup>++</sup>	Magnezyum	-2.363



# DEMİR-SU ELEKTROKİMYASAL TERMODİNAMİĞİ POURBAIX DİYAGRAMI







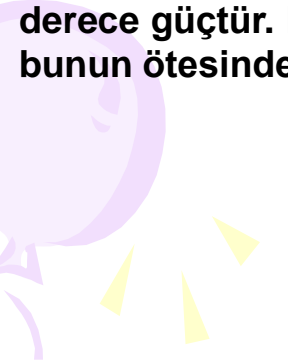
**Korozyon olayına yalnız kimyasal maddelerin söz konusu olduğu üretim tesislerinde değil, endüstrinin her dalında raslanabilir. Atmosfer etkisinde kalan bütün çelik yapılar, köprüler, korkuluklar, direkler, raylar, depolar, tarım makinaları taşıt araçları vb. su ve yeraltında bulunan çelik yapılar, akaryakıt ve su boruları, kablolar, tanklar, iskele ayakları, baraj kapakları, cebri borular, gemiler, dubalar, buhar kazanları, radyatörler, betonarme demirleri vb. metalik yapılar beklenenden daha kısa süreler içinde korozyon nedeni ile kullanılamaz hale gelebilir.**

**Bu nedenle korozyon olayını tam olarak durdurmak mümkün olmamakla beraber korozyona karşı alınacak önlemler, korozyon hızının azaltılmasına ve böylece metalin ömrünün belirli süre artırılmasına yöneliktir.**

**Metaller, özellikle demir ve çelik; endüstrinin temel yapı malzemesini oluşturmakla beraber korozyona en dayanıksız metallerdir. Korozyon sonucu yalnız metal kaybedilmekle kalınmaz, ilgili ekipman da görevini yapamaz hale gelir. Bu nedenle korozyonla etkili bir mücadele yapılmadan endüstrinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi söz konusu olamaz.**

**Diğer taraftan korozyon, malzeme ve işçilik gibi en önemli ulusal kaynakların yok olmasına neden olur. Bu açıdan bakıldığında korozyon, endüstrinin verimini azaltan, ekonomik kalkınmayı engelleyen ve milli gelirden önemli kayıplara neden olan ekonomik bir olay olarak nitelendirilmelidir.**

**Bütün bu yapılarda meydana gelen korozyon kayıplarının tam olarak belirlenmesi son derece güçtür. Bunun nedeni korozyon kayıplarının yalnız malzeme ve işçilik kaybından ibaret olmayıp, bunun ötesinde ve bundan daha büyük bir çok dolaylı kayıpları da beraberinde getirmesidir.**



## KOROZYONA NE SEBEP OLUR?

1. **Atmosferde**, metal yüzeyine yoğunlaşan nem tabakası içindeki oksijendir. Nem tabakasının kalınlığı ve yüzeyde kalma süresi, nem tabakasında çözünen oksijen miktarı, nem tabakası içinde biriken safsızlıklar ( türü ve miktarı) ile safsızlıkların neden olduğu iletkenlik korozyona neden olur.
2. **Toprak altında**, zemin içinde bulunan boşluklardaki çözünmüş klorür ve sulfat tuzları ile çözülmüş gaz halindeki oksijenin metal ve elektrolitte sebep olduğu potansiyel farkı neticesinde meydana gelen korozyon hücreleri sonucu metal ara yüzünde bazı bölgelerin anot, bazı bölgelerin katot olması sonucu gelişir.Korozyon olayı, anotta metalin iyon haline yükseltgenmesi ile meydana gelirken metal iyon halinde çözeltiye geçer. Katotda ise oksijen redüksiyonu gerçekleşir ve korozyon hızını bu oksijen tayin eder.

Böylece zemin içinde bulunan çelik yapı,

A-Metal yüzeyinde farklılıklar oluşması,

B-Zemin cinsi veya yapısının değişmesi,

C-Metal cinsi veya yapısının değişmesi ,

E-Farklı havalanma ve oksijen ile korozyona uğrar.

Su içinde veya sulu kimyasal madde içinde de benzer elektrokimyasal olaylar olur ve katottan hidrojen çıkarken anotta metal zayıflaması başlar. Bu iki çok önemli korozyon türü yanında organik sıvıların veya ergimiş metallerin sebep olduğu korozyonlardan da bahsedilebilir.



# ENDÜSTRİDE KARŞILAŞILAN KOROZYON TÜRLERİ

# KOROZYON TÜRLERİ

## BÖLGESEL KOROZYON

- GERİLMELİ KOROZYON
- SEÇİCİ KOROZYON
- ÇATLAMALI KOROZYON
- GALVANİK KOROZYON
- TANELERARASI KOROZYON
- EROZYONLU KOROZYON
- KAVİTASYONLU KOROZYON
- AŞINMALI (KAZIMALI) KOROZYON
- ARALIK KOROZYON
- FİLİFORMKOROZYON
- YORULMALI KOROZYON

## TEK DÜZE (ÜNİFORM) KOROZYON

OYUKLANMA (ÇUKURCUK)KOROZYONU

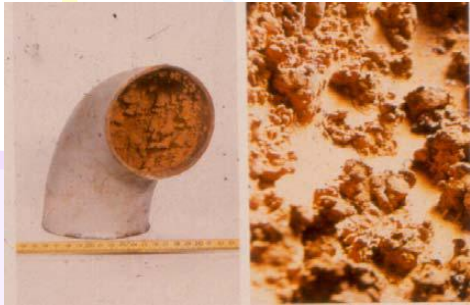
## TİPİK KOROZYON

KAÇAK AKIM KOROZYONU  
BİYOLOJİK (BAKTERİ) KOROZYONU  
HİDROJEN GEVREKLİĞİ

BETONARME (DONATI) KOROZYONU

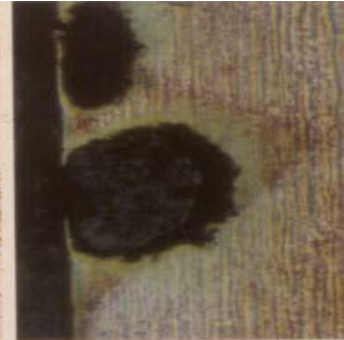
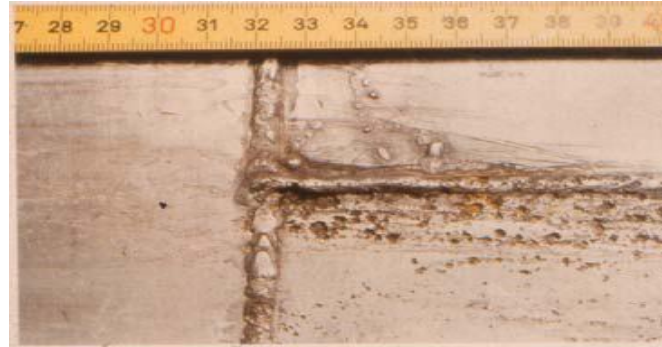
## TEK DÜZE ( ÜNİFORM ) KOROZYON

Atmosferik etmenlerin ve asidik ortamların sebep olduğu, metal yüzeyinin her noktasında et kalınlığının aynı derecede azaldığı gözlenen korozyon türüdür. Üniform korozyon bütün yüzeye dağılmış mikro korozyon hücreleri yoluyla gerçekleşir. Her metal için için verilen penetrasyon değerleri üniform korozyonun söz konusu olduğu kabulüne dayanır ve mm/yıl olarak ifade edilir. Enerji tesislerinin dış yüzeylerinde kaplama ( boya veya diğer bir tip kaplama elemanının ) zaafiyetinde veya stoklarda bekletilen sac plakaları, borular ve her türlü metal aksamda sıkça görülen bir korozyon türüdür. Dış ortamın nem, sıcaklık ve ortam kirliliğine bağlı olarak gelişirler. Hidrolik, Termik, Nükleer santrallarda çok görülürken yenilenebilir enerji santralleri içinde aynı tehlikeyi yaratırlar. Atmosferik ortamda korumasız bırakılan çelik yapılar ilk yıl 12,5 mikron, ikinci yıl 2 mikron ve takibeden yıllarda ise 1,5 mikron civarında bir kalınlıkta korozyon ürünü oluşturur. Genel bir tanım 10 yıl içinde deplasmana uğramamış çelik malzemeler için korozyon ürünü 20 mikron civarındadır. Ancak tatlı veya deniz suyu içinde ve hıza bağlı akışlarda ürün kaybı kalınlığı yılda 15-250 mikron seviyesinde gelişir.



## OYUKLANMA (ÇUKURCUK) KOROZYONU

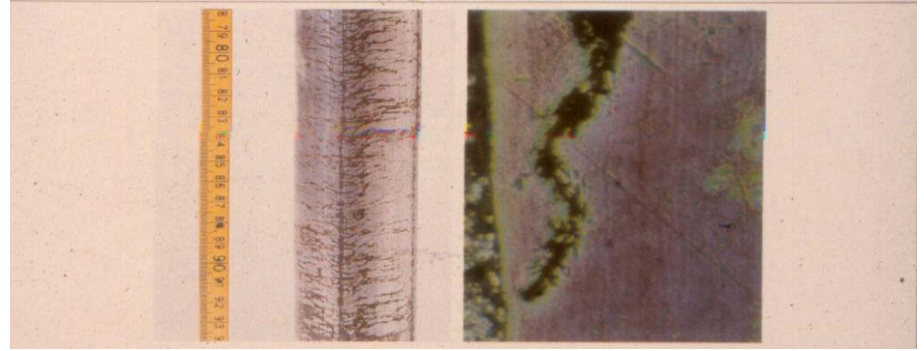
Özellikle paslanmaz çelik ve alüminyum gibi metallerde klorür, sıcaklık ve pH derecesinin etkisi ile oluşan korozyon türü olup anot, yüzeyin herhangi bir noktasında açılan çukurun içindeki dar bölge, katot ise çukurun çevresindeki metal alanıdır. Korozyon sonucu çukur gittikçe büyüyerek metalin kısa sürede delinmesine neden olur. Onun için çok tehlikeli bir korozyon cinsidir. Çukur, metal yüzeyindeki herhangi bir noktada anodik reaksiyon ile başlar ve birbirini doğuran reaksiyonlarla otokatalitik olarak devam eder ve çukura dolan korozyon ürünleri korozyon hızını düşürse de delinme gerçekleşir. Bu tip korozyona durgun çözeltiler içinde ve pasifleşme özelliği olan metal ve alaşımlarda sık raslanır. Özellikle paslanmaz çeliklerde çukurcu korozyonu yumuşak çeliklerden daha fazla görülür. Bunun için enerji üretim santrallerinin su alma ve iletme birimleri ile her türlü ısıtıcı ve soğutucuların metal iç yüzeyleri katodik koruma veya yeterli dozda inhibitör kullanılarak korunmalıdır. Yetersiz dozlu inhibitör metal yüzeyinde katot / anot yüzeyini arttıracığından katodik akımlar çok küçülerek anot yüzeyinde yoğunlaşmış olacağından bu durum hiç inhibitör kullanılmaması halinden daha tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Keza her türlü yedek parça ve malzeme stok sahalarında ve özellikle açık havada bırakılan yerlerde zaman içinde bu tip korozyon oluşur.





# GERİLMELİ ( STRES )KOROZYON ÇATLAMASI

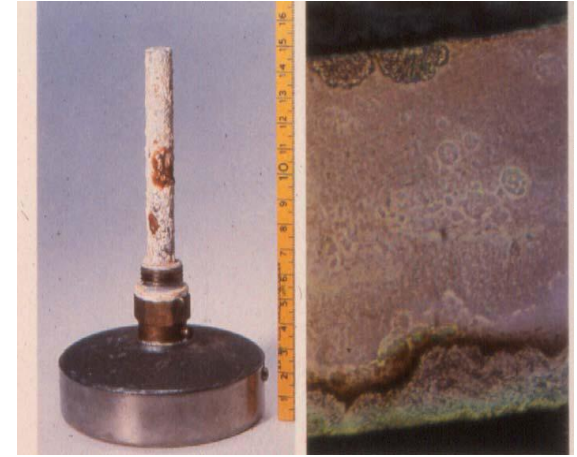
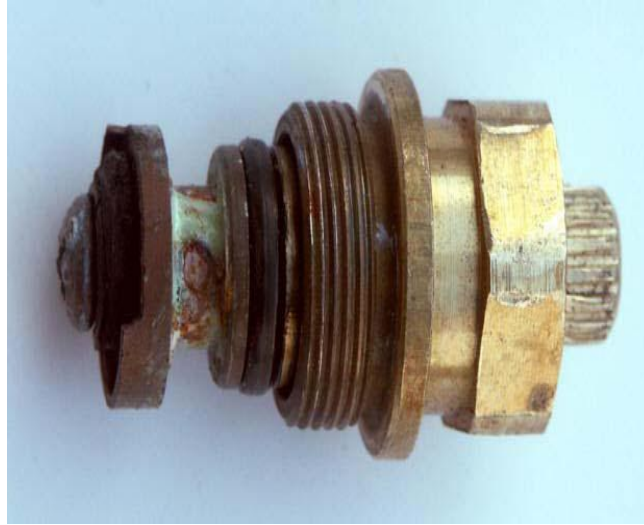
Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik çekme gerilimi altındaki ise metalin çatlıyarak kırılması çabuklaşır. Yani metal yüzeyinde bulunan herhangi bir çukur veya çatlak varsa stres altında duyarlı hale gelerek korozyonun başlaması için uygun bir ortam yaratır.Korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturduğu halde stres altında iken kabuk oluşmaz.Bunun için korozyon hızla devam edip metalin o bölgede çatlamasına neden olur.Bu tip korozyona, saf metallere çok alaşımlar duyarlıdır. Ancak bu tip korozyonu basma gerilimi altındaki metallere görmeyiz. Keza klorürlü ortamlarda paslanmaz çelikler, nitrat çözeltisi içinde karbon çeliği, amonyaklı ortamda bakır ve alaşımları şiddetli şekilde stres korozyonuna uğrayabilirler. Örneğin gerek çukur tipi korozyon gerekse taneler arası korozyon gerilmenin etkisini arttırıcı rol oynarlar. Enerji üretim (kazanlarda ) tesisleri, enerji iletim hatları ile rüzgar enerjisi santralleri ana çelik yapılarında özellikle de alkali ortamda oluşan buharın sebep olduğu korozyonlar bu tiptir. Stres korozyonu hem metaldeki gerilimin hem de korozyon ortamının yok edilmesi ile ortadan kaldırılabılır ama kullanılacak malzemelerde ısıl işlem en pratik yoldur.





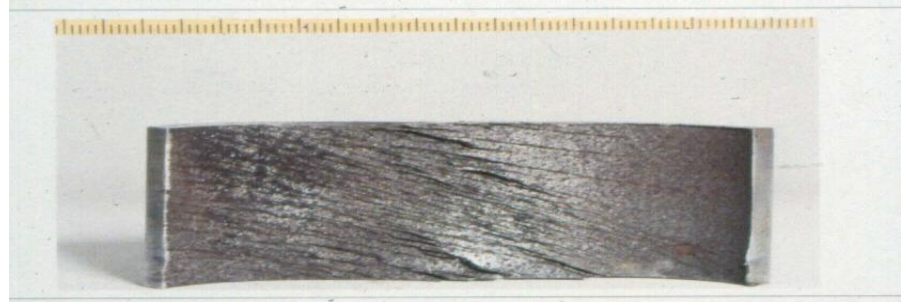
# SEÇİCİ KOROZYON

Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğruyarak alaşımdan uzaklaşması ile görülürler. En sık pirinçlerde görülür ve alaşımdaki çinko, bakırdan önce korozyona uğrayarak alaşım poröz bir şekil alır. Çinko ne kadar çoksa pirinç o kadar fazla korozyona uğrar. Buna mani olmak üzere alaşımda zinko %15'nin altına indirilir ve içine %1 kadar kalay ile inhibitör olarak fosfor, arsenik ve antimon ilave edilir. Seçici korozyona gri pik dökümlerde de rastlanır. Bu durumda pik yapısındaki %2-4 karbon katot, demir de anot olarak korozyona uğrar ve demir çözünürken grafit iskelet halinde kalır. Beyaz dökme demir yani duktilde karbon serbest olmadığı için seçici korozyona pek rastlanmaz. Termik santrallarda kazan besleme su depo ve boru bağlantılarında, flatörlü depolarda, tesislerin yıldırımından korunma üniteleri ile topraklama devreleri bağlantılarındaki klemenslerde çokca rastlanır.



## ÇATLAK KOROZYONU

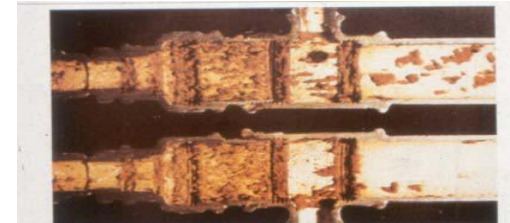
**Metal yüzeyinde bulunan çatlak veya cep gibi çözeltinin durgun halde kaldığı bölgelere oksijen transferi güçtür. Bu bakımdan bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki metal yüzeyleri katot olur. Çatlak korozyonunun en etkili olduğu yer, çatlağın katot bölgesine yakın olan ağız kısmı olup burada korozyon gözlenmez ancak korozyon çatlak içinde gelişir. Uygulama da mikron mertebesinde bir çatlak bile korozyonu başlatmaya yeter. Çatlak korozyonu bütün sulu çözeltiler içinde meydana gelebilir. Ancak klorürlü ortamlarda korozyon hızı çok fazladır. Korozyon olayı oluşan çukurların ağız kısımları demir hidroksit çökeltisi ile tıkanıncaya kadar hızla devam eder. Çatlak dışındaki çözeltinin oksijen konsantrasyonu ne kadar fazla ise çatlak içindeki korozyon hızında o derece yüksek olur. Enerji tesislerinden termik santrallerin denizden su alma tesislerinde, deniz yapılarındaki çelik çakma kazıklarında ve eşanjörlerde sıkça rastlanan bir korozyon tipidir.**



# GALVANİK KOROZYON

G  
a

Galvanik potansiyeli farklı malzemelerin birbirleri ile bağlanması sonucu görülür. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı anot olur böylece korozyon hücresi oluşur ve anot olan metal korozyona uğrar. Özellikle tesisatlarda kullanılan galvanizli, siyah ve bakır malzemelerden oluşan materyellerin birbirine bağlanması sonrasında görülür. Korozyonun ortaya çıkması için tesisatta muhakkak elektrolit olacak sıvının bulunması gerekir. Deniz kenarında ise alüminyum-bakır veya siyah sac-paslanmaz çelikten oluşan metal bağlantılarında metal yüzeyindeki rutubet filmi, bağlantıların galvanik korozyona uğramasına sebep olur. Özellikle klor, galvanik hücre oluşumunu kolaylaştırır. Pratikte galvanik korozyona karşı, galvanik seride birbirine uzak konumda olan metallerin teması önlenmeli yani anot metali ile katot elemanı arasındaki potansiyel farkı az olmalı, iki metal arasına izole flanşla elektriksel yalıtım yapılmalı, metal yüzeyi yani katot boyanmalı, sistem kapalı ise içinde inhibitör kullanılmalı, tesisat tasarımında anot değiştirilebilir olarak düşünülmeli, anot daha kalın imal edilmeli veya sisteme her iki metalden daha anodik karakterde olan üçüncü bir metal bağlanarak katodik koruma uygulanmalıdır. Deniz kenarına yakın tesis edilmiş elektrik enerjisi yüksek gerilim şalt tesislerindeki koruma ve topraklama devreleri bağlantılarında, hidrokarbon ileten boru hatlarında ve her türlü santrallerin hidrolik ve pnömatik devre bağlantılarında sıkça rastlanır.



## TANELER ARASI KOROZYON

Bir metalin kristal yapısındaki tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyondur. Özellikle eritilmiş bir metalin katılaşması veya bir ısıtma işlemine tabi tutulması esnasında bu tip korozyona uğranabilir. Tane sınırları, metalin safsızlıklarının toplanma yeri olduğundan buradaki çözünme korozyon yapar. Özellikle paslanmaz çeliklerde ısıtma işlemi veya kaynak esnasında çelikteki karbon ile krom, krom karbür oluşturur ve çelikte taneler arası sınırında zayıf bölgeler meydana gelir. Bunun için kromlu paslanmaz malzemelerde karbon oranı %0,03'ün altına indirilir veya çeliğe, karbona karşı metaller mesela titanyum ve niobiyum karıştırılarak karbür yapılmalıdır. Keza alüminyum içinde bulunan demir çok az çözündüğünden taneler arasında birikerek taneler arası korozyona sebep olur. Bu tip korozyona paslanmaz çelik boru ve malzeme kullanan her türlü santral ve tesiste rastlanabilir. Ancak oluşmaması için projelendirme, malzeme seçimi ve yapım esnasında çok titiz çalışılmalıdır.



## EREZYONLU KOROZYON

Daha ziyade Akışkan taşıyan iletkenlerin iç yüzünde, akış istikametinin tersindeki metal yapısında görülen homojenite (tek düzeli) olmaması sonucu iletken içinde bulunan koroziif çökeltilerin etkisi ile metalin erezyona uğraması sonucunda ortaya çıkar. Bu korozyon cinsi özgül hızına yakın debide çalışan pompa ve bağı boru hatları bulunan her tip enerji ünitesinde ortaya çıkar. Zaman içinde dur kalklı çalışan sistemlerde pasif tabaka sık sık yırtıldığı için korozyon yoğunlaşır. Bu olay akışkanın hızına bağı olup hız düşürülerek, partikül azaltılması için sıvıda çökeltilme yapılarak veya metal katodik korunarak korozyon önlenmeye çalışılır.





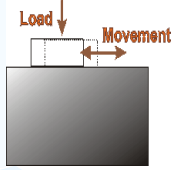
# KAVİTASYON KOROZYONU

Adından da anlaşıldığı üzere kavitasyona uğramış türbin ve pompalara ait impellerlerin yan yüzlerinde meydana gelen korozyon olayının özel bir şeklidir. Yüksek akış hızlarında kanatlardaki pürüzlülüğe bağlı olarak oluşan vakum sonucu sıvı buharlaşabilir ve sıvı içindeki gazlar ayrışır. Böylece sıvı içinde düşük basınçlı gaz kabarcıkları meydana gelir. Bu kabarcıklar hızın azaldığı metal yüzeyinde vakum etkisi ile patlayıp metalin oyulmasına neden olurlar. Bu korozyon türü, sistemde oluşan türbülanslı akış ile yinelenerek büyüyen ve erezyonlu korozyona da dönenebilen bir korozyondur. En çok termik santralarda yüksek basınçlı kazan suyu besleme devrelerindeki pompalarda, hidrolik santrallardaki generatöre akuple türbinlerde, gaz türbinli doğal gaz santrallarındaki türbin kanatlarında ve hidrokarbon boru hatlarında akışkanı ileten ana pompa ve kompresörlerinde rastlanır.



## AŞINMALI (KAZIMALI) KOROZYON

Aşınmalı Korozyon birbiri üzerinde kayan iki yüzeyin aşınması ile birlikte ortaya çıkar. Oluşumu, iki metal yüzeyin mekanik sürtünmesinden kopan metal tozlarının oksitlenmesi başlatır. Metal yüzeyi oksijen ile temas ettiğinde oluşan oksit filmi her harekette kazınmakta ve her defasında koruyucu film gelişmemekte böylece korozyon sürüp gitmektedir. Endüstride galvanizli saçların taşınması sırasında oluşan korozyon buna iyi örnektir. Zira oksit tabakası sürtünme ile her defasında ortama atılmakta ve saçlar depoya alındıktan sonra depolama sırasında sürtünen plakalar arasında korozyon başlamaktadır. Enerji tesislerindeki kaymalı yataklı mekanizmalar ile stok sahalarındaki istiflerde oluşurlar.



## ARALIK KOROZYONU



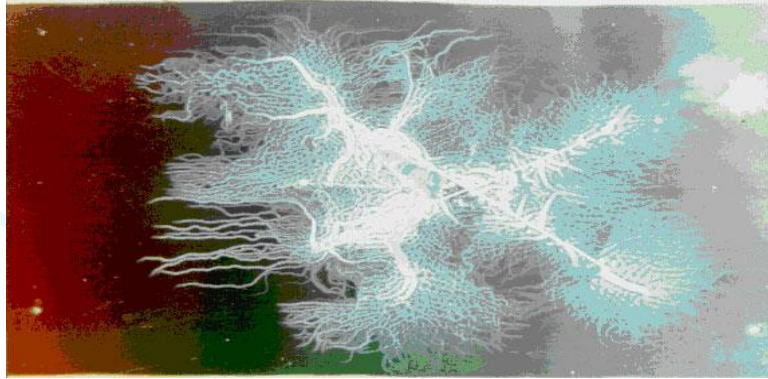
Aralık Korozyonu ise birbiri ile üzerinde tam oturmamış iki metal veya bir metal olmıyan yüzeyin ortak aralığında korozif ortamın da etkisi ile ortaya çıkar. Örneğin boru flanş bağlantı noktalarında görülen ve zamanla gevşiyen her bağlantıda karşımıza çıkan ve ara ortamda oluşan bir korozyon tipidir. Civatalı enerji nakil hatları direkleri bağlantılarında çokca görülür. Perçin ve civatalı bağlantı yerine kaynak yapılması, iki levhanın üst üste bindiği yerlerin çözelti girişine kapatılması, ortamın rutubetten arındırılması ve çökeltinin uçlardan temizlenmesi ile önüne geçilebilir.



## FİLİFORM VE KABUK ALTI KOROZYONU

Filiform korozyonu, boya veya laklı örtülerin altında metal, kaplama veya boya yapışmasının iyi olmaması sonucu, kaplamanın zayıf noktasından başlayan ve kaplama altına giren oksijen ve suyun etkisi sonucu oluşan hidrojen ve hidroksil iyonlarının sebep olduğu korozyon türüdür. Yüzeydeki bu örtü, metal korozyon ürünleri yani pas gibi kabuklaşmış bir tabaka ise kabuk altındaki rutubetten dolayı metal ara yüzeyinde başlayan kabuk altı korozyonudur. Bu durumda kabuğun alt tarafı anot, kabuk çevresi ise katot olur.

Örneğin cam pamuğu izoleli borularda örtü ıslanırsa metal yüzeylerde bu tip korozyona rastlanır. Enerji tesislerinde izoleli borular, boyları ve kaplaması kalkmış her türlü ekipmanda ve boyalı enerji nakil ve dağıtım hatlarındaki direklerde ortaya çıkarlar.

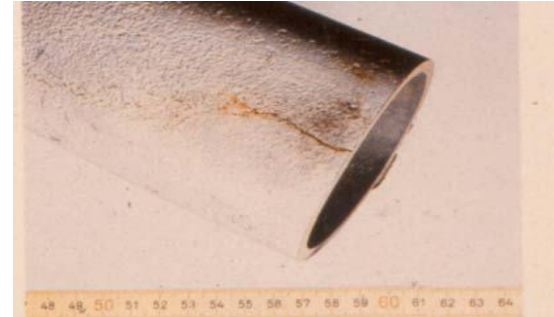


## YORULMALI KOROZYON

Periyodik olarak basma – çekme şeklinde dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulmuş metal ise küçük kuvvetlerde bile çatlıyabilir. Yorulma ile birlikte ilerliyen korozyon, metalin daha kısa sürede parçalanmasına neden olur. Hidrolik, termik ve rüzgar enerjisi santrallerindeki metalik yapılar, ısı değiştirici ve düşürücü sistemlerindeki serpantinli ve genişmeli ünitelerde ve santrallerin yanıştırma romörkörlerinin pervanelerinde çokça rastlanır. Bu tip korozyon, malzeme üzerine gelen stresin düşürülmesi, metal yüzeyinin çinko, krom, nikel veya bakır gibi metaller ile kaplanarak korozyon etkisinin azaltılması ile etkiye değişim frekansının ve sıcaklık değişiminin indirilmesi ile azaltılabilir.

# HİDROJEN KIRILGANLIĞI

Kirli atmosfer altında veya asidik ortamdaki asitletme ile görüldüğü gibi özellikle acı ham petrol veya doğal gaz taşıyan borularda iletken içindeki hidrokarbonun bileşiminde ortaya çıkan serbest hidrojen atomlarının taneler arasına girip patlaması sonucu metal içinde meydana gelen derin çatlaklardır. Bu olaya aşırı katodik koruma da sebep olabilir. Hidrojen penetrasyonunu önlemek için metal yüzeyinde hidrojen çıkışına meydan verilmemelidir. Örneğin yüksek kaliteli çeliklerde, çelik alaşımına nikel ve molibden katılmalı, katodik korumada anot potansiyelinin 2000 mV'un üzerine yükselmesine müsaade edilmemeli yani aşırı koruma yapılmamalı, tamir kaynakları ıslak metal bölgede yapılmalı, özellikle çelik metalinin kaynaklı birleştirmelerinde kaynak yeri 100-150 dereceye tavlandıktan sonra işlem yapılmalıdır. Enerji tesislerinde çalışan katodik koruma ünitelerindeki koruma potansiyeli koruma kriterlerinin üzerine çıkarılmamalı ve ölçme işlemleri muntazam yapılarak kontrol edilmelidir.



## KAÇAK AKIM KOROZYONU

Kaçak akım, toprakta alternatif ve doğru akım makinalarının dengesiz yüklenmeleri sonucu oluşan gerilimlerin, yeraltındaki direnci küçük metal iletkenlerden akması ile oluşur. Özellikle korumasız boru hatları ve metal yapıları seçerek akım devrelerini tamamlamak için daha küçük geçiş dirençli yerde buraları terk ederler. Metale girdikleri bölge katot olurken çıktıkları yer anot olur ve şiddetle korozyona uğrayıp yapı harap olur.



## BAKTERİYEL MİKROBİYOLOJİK KOROZYON

Yeraltı ile tuzlu veya tatlı sularda yaşayan bazı mikro organizmaları, oksijenli ve oksijensiz bölgelerde her çeşit sülfür bileşimini ve elementer kükürdü sülfat haline oksitler veya redüklerler. Böylece oluşan mikrobiyolojik korozyon sonucu meydana gelen korozyon ürünleri içinde mutlaka demir sülfür bulunur. Bu mikro organizmalar, akışkan klorlanırken, pH derecesi ve şoklama zamanı değiştirilerek ve akışkan içine zinko ve vanadium konularak bertaraf edilebilir

# BETONARME YAPIDA DONATI KOROZYONU

Hava ile temas halinde olan bir betonarme yapıda, beton içindeki su ve O<sub>2</sub> miktarı, donatı korozyonunun oluşmasına neden olabilecek seviyededir. Betonun korozyonuna alkali-agrega reaktivitesi (AAR) gibi iç korozyon olayları dışında çoğunlukla dış ortamdaki su ve zararlı sular da neden olur. Zararlı suların veya havanın betonda oluşturduğu kimyasal nedenlere dayanan korozyon hasarı, ıslanma-kuruma, donma-çözülme, erozyon, kavitasyon gibi fiziksel faktörlerin etkisi ile de daha büyük boyutlara ulaşır. Çelik yüzeyinde oluşan farklı elektro-kimyasal potansiyelle sahip anodik ve katodik bölgeler, çimento hidratlarındaki tuz çözeltilerinin oluşturduğu elektrolit ile birleşir, donatının kendisi de elektronları ileten elektriksel iletken görevi görür. Ortamın bağıl neminin yüksekliği, çimentonun türü ve beton içindeki boşlukların ( porozite ) fazlalığı ve pas payının azlığı donatı korozyonuna sebep olan ana unsurlardır.





# ÇELİK YAPILARDA KOROZYON



## ÇOK BOYUTLU KOROZYONUN BİR HAVA ARACI KANADINDA SEBEP OLDUĞU HASAR



Copyright 1999 IAC Ltd. Co.



# KONVANSİYONEL ENERJİ ÜRETİM TESİSLERİ

## TERMİK SANTRALLAR

DIŞ YÜZEYLER  
İÇ YÜZEYLER

Tek düze üniform korozyon  
Çukurcuk korozyonu ,Çatlak korozyonu  
Yorulmalı korozyon

HAMMADDE STOKLAMA  
YAKMA ÜNİTELERİ  
KAZAN SUYU BES.ÜNİTELERİ  
SOĞUTUCULAR  
TÜRBİN - VANA GRUPLARI

Çukurcuk korozyonu,  
Yüksek sıcaklık korozyonu,  
Erozyonlu , gerilmeli ve çatlak korozyonu  
Seğici korozyon, taneler arası korozyon  
Kavitasyonlu korozyon  
Titreşimli ve Sürtünmeli korozyon  
Betonun içindeki demirin korozyonu

TEMEL VE BETON YAPILAR

## HİDROLİK SANTRALLAR

DIŞ YÜZEYLER  
İÇ YÜZEYLER

Tek düze korozyon ile Aralık korozyonu,  
Çukurcuk korozyonu

İSALE HATLARI  
BETON SEDDE VE BARAJLAR  
TÜRBİN - VANA GRUPLARI

Kaçak akım ve interferans korozyonu  
Betonun içindeki demirin korozyonu  
Kavitasyonlu korozyon  
Titreşimli ve Sürtünmeli korozyon  
Galvanik korozyon, Gerilmeli korozyon  
Erozyonlu korozyon,  
Taneler arası korozyon

## DOĞAL GAZ SANTRALLARI

DIŞ YÜZEYLER  
İÇ YÜZEYLER

Üniform korozyon  
Çukurcuk korozyonu, Hidrojen kırılganlığı  
Yorulmalı korozyon

YAKIT DONANIMLARI  
TÜRBİN - VANA GRUPLARI

Hidrojen kırılganlığı  
Kavitasyonlu korozyon  
Titreşimli korozyon  
Sürtünmeli korozyon  
Gerilimli korozyon,

## İLETİM VE DAĞITIM TESİSLERİ

### TRAFO MERKEZLERİ

SALT EKİPMANLARI  
TOPRAKLAMALAR  
PARATONER SİSTEMİ

Çukurcuk korozyonu, Stres korozyonu  
Aşınmalı korozyon  
Galvanik korozyon, Seğici korozyon  
Seğici korozyon, Aralık korozyonu

### ENERJİ NAKİL HATLARI

YG ENERJİ NAKİL HATLARI DİREKLERİ  
PROFİL VE BAĞLANTI ELEMANLARI  
TOPRAKLAMALAR

Gerilmeli(stres) korozyon,  
Filiform ve Aşınmalı korozyon,  
Aralık korozyonu  
Seğici korozyon

## HİDROKARBON İLETİM VE DAĞITIM HATLARI

### HAM PETROL BORU HATLARI

<b>DIŞ YÜZEYLER</b>	Bölgesel (Kaçak akım) korozyonu
<b>İÇ YÜZEYLER</b>	Tanelar arası korozyon ve Hidrojen kırılmalılığı
<b>POMPA VE VANALAR</b>	Kavitasyonlu korozyon, Erozyonlu korozyon
<b>DEPOLAMA TESİSLERİ</b>	Çukurcuk korozyonu,
<b>YÜKLEME TESİSLERİ</b>	Hidrojen kırılmalılığı, Çatlak korozyonu

### DOĞAL GAZ BORU HATLARI

<b>DIŞ YÜZEYLER</b>	Bölgesel (Kaçak akım) korozyonu
<b>İÇ YÜZEYLER</b>	Tanelar arası korozyon ve Hidrojen kırılmalılığı
<b>KOMPRESÖRLER</b>	Aşınmalı korozyon, Erozyonlu korozyon
<b>ISITICI VE BASINÇ DÜŞÜRÜ.</b>	Erozyonlu ve gerilmeli korozyon

## YENİ VE YENİLENEBİLİR ENERJİ TESİSLERİ

RÜZGAR, GÜNEŞ, JEOTERMAL, BİYOGAZ VE GEL-GİT SANTRALLARINDA görülen korozyon çeşitleri de yukarıdaki ekipmanlarda ortaya çıkan korozyon çeşitlerinin aynısıdır. Ancak rüzgar santrallerinde titreşimli korozyon, jeotermal santrallerde ise sıcaklık ve tanelar arası korozyon daha sık rastlanan korozyon çeşitleridir. Gel-git santralleri yaygın olmamakla beraber en çok deniz suyu sıçratma bölgesi korozyonu ile aralık korozyonuna uğrarlar.



# **KOROZYONDAN KORUNMANIN İLKELERİ**

## KOROZYONDAN KORUNMA

Korozyon metallerin ortamla teması sonucu, metal, ortam ve metal ara yüzeyinde oluşan bir bozunmadır, dolayısıyla korozyondan korunma tedbirlerinin temelinde de bu üç elemanın özelliklerini ve birbirleri ile ilişkilerini iyi bilmek ve gerekli değişiklikleri gerçekleştirmek yatar

KOROZYON bir "yüzey" olayıdır. Ancak , aşağıda işaret edilen hususları korozyon olayı ile karıştırmamak gerekir.

- Metallerin ortamla temas etmeyen bölgelerinde meydana gelen bozunma korozyon olarak nitelendirilemez.
- Ayrıca korozyon olayında bahsetmek için, malzemenin "elektrokimyasal" olarak değişime uğraması şarttır.

Metal ve alaşımlar için mutlak bir "korozyona dayanıklılık" kavramından bahsetmek de doğru değildir.

Herhangi bir metal veya alaşımın korozyona dirençli olup olmadığı o malzemenin içinde kullanılacağı ortama ve ortam koşullarına bağlıdır.

# KOROZYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ

Cr, Ni, Al,Ti, Cu, Ag, Pt, Pb  
Mo,Mg gibi metal ilaveleri ile  
alaşım ve bileşim yapmak

## METALLE İLGİLİ

Boyama, Lastik kaplama  
Fosfatlama, Kromatlama

## ARA YÜZEYLE İLGİLİ

Oksiteme, Pasifleştirme, Metal  
kaplama, organik kaplama, cam,  
emaye, çimento kaplama

Ortamin bağıl rutubeti,  
Kirliliği, Sıcaklığını  
değiştirme, İnhibitör kullanma

## ORTAMLA İLGİLİ



**KOROZYON KAYIPLARI VE KOROZYONUN  
EKONOMİYE MALİYETİ**

**Görünen korozyon kayıplarının malzeme + işçilik olarak hesaplanması çok kolaydır. Ancak asıl ekonomik kayıplar korozyona bağlı olarak ortaya çıkan ve çoğu zaman bedeli belirlenemiyen dolaylı kayıplardır. Bunlar kabaca beş grup altında toplanabilir.**

### **1 . İşletme kesikliği :**

**Bir tesiste korozyona uğramış olan bir parçanın sökülerek yerine yenisinin konulması , işletmenin belli bir süre kesilmesini gerektirir. İşletme kesikliğinden doğan zararlar, çoğu zaman korozyona uğrayan parçanın maliyetinden ve işçilik masraflarının toplamından çok daha büyüktür. Örneğin bir enerji üretim santralinde korozyon sonucu meydana gelen bir arıza nedeniyle santralin bir bölümünün servis dışı kalması ve elektrik üretiminin durması hesaplanamayacak derecede ekonomik kayıplara neden olur.**

### **2-Ürün kaybı:**

**Bir yeraltı tankının veya boru hattının korozyon nedeniyle delinmiş olduğunu düşünelim. Kaçak yeri belirleninceye kadar geçen süre içinde akışkan kaybı meydana gelir. Çevreye kaçan akışkanın yanıcı, patlayıcı veya toksik bir madde olması halinde, ekonomik kayıplar yanında çevre kirlenmesi ve sağlık açısından da tehlikeler söz konusu olur. Örneğin akaryakıt istasyonlarında bulunan yeraltı benzin tanklarında korozyon sonucu meydana gelen deliklerden kaçan benzin bir çok patlamalara neden olmaktadır.**

### **3-Ürün kirlenmesi:**

**Özellikle gıda, ilaç ve tekstil sanayiinde, çelik kapların korozyonu nedeniyle oluşan pas ürüne karışarak onun kirlenmesine ve kullanılmaz hale gelmesine neden olur. Demir ve çelik söz konusu olduğunda korozyon ürünlerinin zararı yalnız kirlenme şeklinde olduğu halde , toksik özellik gösteren diğer metaller için daha da önemlidir. Yakın zamana kadar içme suyu tesisatlarında kurşun borular kullanılırdı. Günümüzde korozyon sonucu suya karışan kurşun bileşiklerinin insan sağlığı için son derece zararlı olduğu belirlenmiş ve kurşun boruların bu amaçla kullanılması yasaklanmıştır. Kurşun kirlenmesi ile ilgili olarak tarihi bir örnek Romalıların kurşun su ve şarap kapları kullanmalarındadır. Kurşunun korozyon sonucu çözünerek insan sağlığı için uzun sürede toksik etki yapacağı o tarihte bilinmediği**



#### **4-Aşırı Önlemler**

**Makinaların tasarımı sırasında muhtemel korozyon kayıpları göz önüne alınarak, malzeme kalınlıklarına korozyon payı ilave edilmektedir. Burada önemli olan söz konusu ortamdaki korozyon hızının önceden sağlıklı olarak belirlenmesidir. Ancak çoğu zaman bu tahminin doğru olarak yapılması mümkün olmamaktadır. Veya ortam koşullarında meydana gelen değişmelerin korozyon hızını ne derece artıracığı konusunda önceden kesin bir bilgi elde edilememektedir. Bu durumda emniyet açısından korozyon payının gereğinden büyük seçilmesi yoluna gidilmektedir. Böylece muhtemel korozyon olayını önlemek amacıyla tonlarca malzeme boşa harcanmış olmaktadır. Örneğin, 20 cm çapında ve 360 km uzunluğunda bir boru hattında et kalınlığı 6,3 mm olan çelik boru yerine korozyona karşı dayanıklı olması öngörülerek 8,2 mm et kalınlığında bir çelik boru kullanılması halinde 3350 ton çelik boşa harcanmış olur. Burada meydana gelen kayıp yalnızca gereksiz yere kullanılmış olan çelik kütlesi değildir. Buna ilave olarak, işletmede kullanılan elektrik enerjisinde de artış görülür. Borunun et kalınlığı artırılınca iç çapı azalır. Bunun sonucu olarak borudan taşınmakta olan akışkan debisinde yaklaşık % 5 oranında azalma meydana gelir. Veya pompalama elektrik enerjisi % 5 artar.**

#### **5-Kaplama masrafları**

**Çeliğin korozyonunu önlemek üzere kullanılan boya ve diğer kaplamalar için yapılan masrafların da korozyon kaybı olarak kabul edilmesi gerekir. Bu malzemeler korozyonu önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Eğer demir korozyona uğramamış olsaydı bu masrafların yapılmasına gerek duyulmıyacaktı. Bütün dünyada üretilen boyanın yaklaşık üçte ikisi korozyonu önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Diğer taraftan bir çok makina veya ekipmanın üretiminde korozyonu önlemek amacıyla ucuz olan demir yerine daha pahalı başka metal veya alaşımlar kullanılmakta veya kaplama yapılmaktadır. Örneğin, gıda endüstrisinde kullanılmakta olan konserve kutularında çelik sacın korozyonunu önlemek üzere kalay kaplama yapılmaktadır. Bu amaçla harcanmış olan kalay ve galvaniz yapımında kullanılan çinko da aslında bir korozyon kaybı sayılmalıdır.**

## KOROZYONUN NEDEN OLDUĞU KAYIPLAR

Sermaye kaybı oluşur

Malzeme sarfına neden olur

Enerji tüketimini artırır

Emeğimiz zayi olur

Çevreyimizi kirletir

Hayatımızı tehlikeye atar

Bilgi azalmasına sebep olur

## METAL-ARA YÜZEY-ORTAM ETKİLEŞİMİ

Engelleyici

Azaltıcı

Kontrol altına alıcı

## KORUMA YÖNTEMLERİ

Tasarım özelliği

Metal ve alaşımlarıyla ilgili tedbirler

Ortam ile ilgili tedbirler

Ara yüzeyle ilgili önlemler

Mekanik özelliği

Kimyasal yapısı

Atmosferik ortam

Organik, inorganik ve metalik kaplama

İşlenebilirliği

Bileşikleri ve iç yapısı

Sulu ortam

İnhibitör (frenleyici )

Bulunabilirliği

Yüzey özelliği

Yer altına gömülü ortam

Yüzeyin elektrokimyasal değişimi

Fiatı

Kaçak akım  
Aerobik ve anaerobik ortamdaki bakteriler

## ABD EKONOMİSİNDE 2005 YILI TOPLAM KOROZYON KAYIPLARI

- ❑ **Toplam DİREK korozyon maliyeti**  
**276 Milyar USD (% 3,1 GSMH)**
- ❑ **Toplam DİREK + ENDİREK korozyon maliyeti**  
**551,4 Milyar USD (% 6,27 GSMH)**

# **KOROZYONUN 2012 YILINDA TÜRK EKONOMİSİNE YÜKÜ**

( YAKLAŞIK )

Ülkemizde korozyonla ilgili konularda sanayi, inşaat yatırımları ve üretim ile ilgili işletme ve bakım onarım harcamalarına ilişkin sağlıklı veriler yoktur. Bu itibarla kayıplar hakkında bir fikir elde edilmesi amacıyla benzer faaliyetler için 2005 yılı USA korozyon kayıplarına ait veriler alınmış ve benzetim uygulanarak, ekonomimize yükü hesaplanmıştır. Buna göre

## **2012 YILI SONU TÜİK VERİLERİ İLE**

Türkiye Nüfusu	:	75 627 384 kişi
Kişi başına SGAP satın alma gücü (GSMH )	:	18.092 USD
Türkiyenin toplam gayri safi milli hasılatı	:	1.368 milyar USD

- Toplam DİREK korozyon maliyeti  
32,832 Milyar USD ( % 2,4 GSMH )
- Toplam ENDİREK korozyon maliyeti  
42,818 Milyar USD
- Toplam DİREK + ENDİREK korozyon maliyeti  
75,650 Milyar USD ( % 5,53 GSMH ) hesaplanmaktadır.

## **KOROZYONU ÖNLEMEDE KORUMA VE KONTROL HİZMETLERİ OLARAK NELER YAPALIM?**

- **Korozyon ve önlenmesi konusunda eğitim alalım,**
- **Tesislerin inşaatlarına başlamadan önce nasıl çevre etki değerlendirme raporu düzenliyorsak korozyon için de mutlaka korozyon etki değerlendirme raporu hazırlatalım.Yani zemin etüdlerini ve çevre değerlendirmelerini yapalım.Gerekliyorsa katodik koruma projesi hazırlıyalım,**
- **Gereken yerlerde koruyucu kaplamalar kullanalım,**
- **Korozyona maruz kalacak tesislerde malzemeleri korozyona dirençli alaşımlardan imal edelim,**
- **İç korozyona karşı kapalı devrelerde korozyon frenleyicileri kullanalım,**
- **Uygun yerlerde mühendislik plastik ve polimerleri kullanalım,**
- **Tesislerin kullanım ve işletilmesinde korozyon doğuracak parametrelerinin ölçme ve kontrol hizmetlerini ihmal etmiyelim.**
- **Araştırma ve geliştirmeye önem verelim,**

# ANATOMİK KOROZYON NİKEL ALERJİSİ







**SABRINIZA TEŐEKKÜR EDER  
SAYGILARIMI SUNARIM.**