

Öğrenci Adı Soyadı: Kaan ÖZDEMİR

No: 202485151010

FİNAL ÖDEVİ

1. Makalenin Konusu

Bu makalede araştırmacılar, endüstriyel ve çevresel uygulamalarda metal yüzeylerde meydana gelen korozyonun tespiti için bilgisayarlı görme (computer vision) ve görüntü işleme (image processing) yöntemlerini kapsamlı şekilde incelemişlerdir. Özellikle korozyonun neden olduğu yapısal zayıflamalar, maliyet artışları ve çevresel tehlikeler vurgulanarak bu teknolojilerin hızlı, düşük maliyetli ve etkili bir çözüm sunduğu ifade etmişlerdir. Çalışma, bu yaklaşımların avantajları, sınırlamaları ve gelecekteki kullanım potansiyellerine dair öneriler sunmuşlardır.

2. Korozyon Tanımı ve Türleri

Korozyon, metal yüzeylerin çevresel etkenlerle (örneğin nem, oksijen, tuzlu su) reaksiyona girerek bozulmasıdır. Bu durum, malzeme dayanıklılığını ve işlevselliğini kaybetmesine neden olur.

➔ Korozyon Türleri;

Erozyon Korozyonu : Koroziif maddelerin metal objelerin üzerinden hızlı akışları sonucu ortaya çıkar. Aşınmalar ve mekanik izler içerir.

Taneler arası Korozyon: Materyallerin tanelerinin sınırları arasında oluşan spesifik bir korozyon türüdür. Küçük korozyon alanlar oluşturur.

Çatlaklı Stres Korozyonu: Koroziif maddeler ve germe stresi stres korozyonu çatlaklarına neden olur.

Galvanik Korozyon : Denizaltında bulunan 2 farklı metalin korazif çözeltiye maruz kalması sonucu aralarında oluşan korozyondur.

Delik Korozyon: Metal yüzeyinde Yüksek aşınma ve bölgesel hasar sonucu oluşan deliklerdir.Koroziif maddelerin bölgede birikmesi, hasarın sonuçlarının tespitini zorlaştırır.

Çatlak Korozyonu: Az sayıdaki durgun solüsyonların bölgesel olarak neden olduğu korozyon türüdür. Genellikle boşluklara,deliklere dolar.

Seçici Sızıntılar: Özel alaşımların oluşturduğu karışımların neden olduğu korozyondur. (Alüminyum,çinko,kobalt,krom ve demir gibi)

Araştırmacılar genelde iki temel korozyon kategorisi üzerinde durmuşlardır,

- Islak Korozyon: Sıvı varlığında meydana gelir. Örnekleri arasında galvanik korozyon, erozyon korozyonu ve çatlak korozyon yer alır.
- Kuru Korozyon: Oksijen ve metalin sıvı olmadan reaksiyona girmesiyle oluşur. Hidrojen saldırıları ve oksidasyonu, kuru korozyonun başlıca örnekleridir.

Sahil kıyıları,tuzlu su ve nemli hava en yüksek korozyon riskini oluşturur. Deniz suyu, metallerde yüksek aşındırıcı etkiye sahiptir.

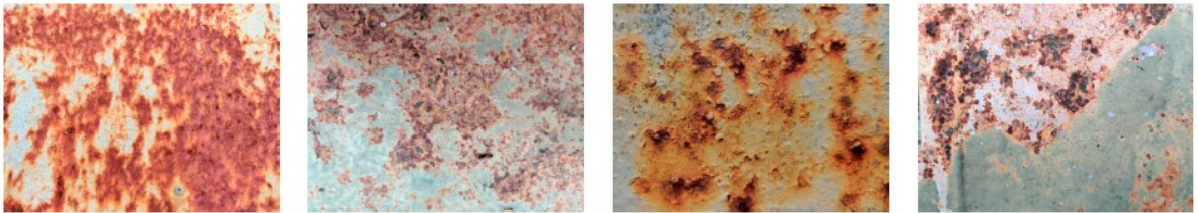


Figure 1. Corrosions on ship structures.

3. Kullanılan Teknolojiler ve Yöntemler

- **Bilgisayarlı Görme Teknikleri:** Bilgisayarlı görme, görüntü verilerini analiz ederek metal yüzeylerde korozyonun tespiti ve sınıflandırılmasını sağlar. Öne çıkan yöntemler; Nesne Tespiti, görseldeki korozyonlu bölgeleri tespit eder. Yüzey Analizi ve Segmentasyonu ile korozyon bölgelerini ayırır ve sınıflandırır, Yapay Sinir Ağları (ANN) ve Derin Öğrenme (CNN) ile de korozyon özellikleri otomatik olarak öğrenilir ve sınıflandırılır.
- **Görüntü İşleme Teknikleri:** Görüntü işleme, görsellerin kalitesini artırarak korozyon tespiti için kullanılmasını kolaylaştırır. Histogram eşitleme ile görsellerin kontrastı artırılır, Gürültü giderme ile görsellerdeki parazit ve istenmeyen unsurlar temizlenir, Kenarlık tespiti ile de görüntüdeki keskin geçiş noktaların tespiti yapılır.

Not: Bilgisayarlı Görü ile Görüntü İşleme arasındaki temel farkı anlamak gerekirse, Görüntü İşleme 'de orijinal görseli işlemler ve çeşitli yönlendirmeler ile yeni özellikler katarak yeni bir görsele çıkarma işlemi vardır. Bilgisayarlı Görü 'de ise bir görüntüden anlamlı bilgiler, veriler çıkarma işlemi söz konusudur.

4. Korozyon Tespit Süreçleri

Araştırmacılar korozyon tespit sürecinde beş aşamalı bir süreçten bahsetmişlerdir,

- **GÖRÜNTÜ ALMA:** Dijital kameralar, termal kameralar veya videolar kullanılarak görsel veriler toplanır.
- **GÖRÜNTÜ ÖN İŞLEME:** Görüntü ön işleme adımı görüntüdeki işlenmesi istenen asıl bölgenin kalitesini arttırmak için yapılan işlemdir. genellikle Arka plan gürültülerinin kaldırılması amaçlanır. Sonuç olarak histogram eşitleme, morfolojik operasyonlar ve medyan filtresi gibi birçok ön işleme tekniği kullanılabilir. Bu teknikler sayesinde görüntüdeki gürültüler, bozulmalar, karışmalar azaltılır.
- **SEGMENTASYON:** Görüntü, kümeleme işleminde, korozyonlu bölgenin tespiti ve uyumsuzlukların benzer bölgelerden uyumu ile giderilmesi söz konusudur. Bölge temelli, Kenar tespiti, Threshold temelli, kümeleme, model eşlemesi ve ANN (yapay sinir ağları) görüntü kümeleme örnekleridir.
 - ✓ Bölge Temelli tekniğinde bölgenin yakın piksellerinin benzer renkleri ve doygunlukları ile çalışır. Yüksek kontrastlı resimler için iyi bir tercihtir.
 - ✓ Kenar tespiti. Nesnelerin sınırlarını tespit eder.. Bir görseldeki parlaklığın azaldığı bölgelere veya keskin geçişlerin tespitine odaklanır. Canny,Prewitt,Sobel ve Laplacian gibi kenar tespit algoritmaları vardır.
 - ✓ Threshold, bu metotta görüntü belirlenen Threshold değeri baz alınarak renkli ya da grayscale resme dönüştürülür. Bu metot ile arka plan renklerinden kolayca arındırılarak kümelenir.
 - ✓ Kümeleme tekniği ile komşu pikseller arasındaki ilişkiye bakılarak tespit yapılır ve gruplanır. Gruplanan modeller veri analizi boyunca kümelenir. Fuzzy c-means, k-means, hiyerarşik metot gibi örnekler vardır.

- ✓ Model Eşleştirme ya da şablon eşleştirme, eşleştirme yapılacak bölgede, şablon özellikleri ve özel yüzeylerin uyumu sağlanmaya çalışılır. Hamming distance ve harris corners gibi örnekleri vardır.
 - ✓ ANN tekniği ile, 3 boyutlu görsellerde, uzunluk, genişlik ve kanal numarası ile çalışır. İlk iki boyutta görsel çözümleme temsil edilir, üçüncü boyutta ise RGB kanalı temsil edilir. Makine öğrenme tekniğini kullanır.
- **ÖZELLİK ÇIKARMA:** Görsellerden entropi, enerji ve dokusal özellikler gibi veriler analiz edilir. Gabor filtresi, HOG algoritması ve Laplacian of Gaussian gibi özellik çıkarma(genişletme) algoritmaları vardır.
 - **SINIFLANDIRMA:** Korozyonun derecesi (Örn: orta,düşük,yüksek) belirlenir. Piksel grupları özel kurallara göre etiketlenir ve kategorize edilir. Piksel grupları kategorize edilirken dokusal ya izsel özellikleri kullanılır. Denetimli(Supervised), denetimsiz(unsupervised) ve nesne temelli analiz olarak 3 tipte görsel sınıflandırması kullanılır.

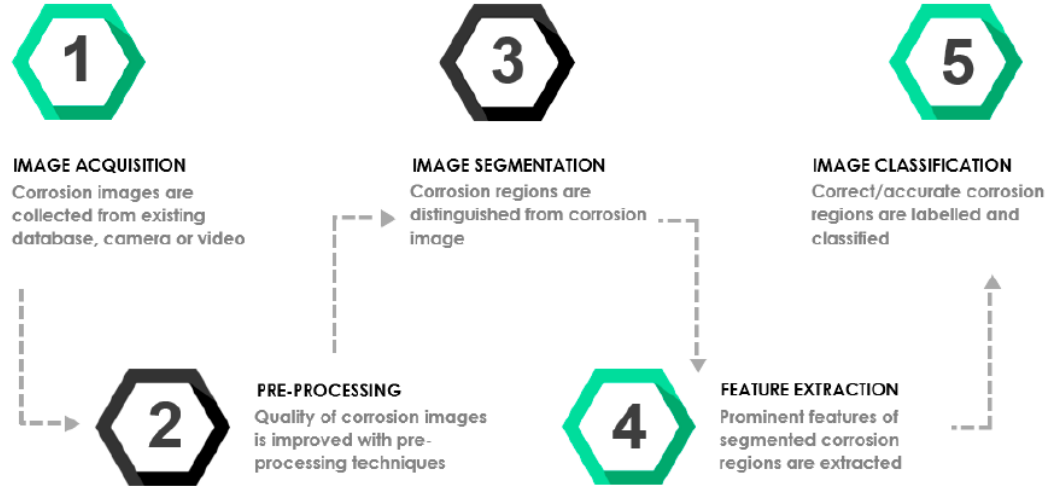


Figure 2. Corrosion detection processes.

5. Uygulanan Modeller

Görüntü işleme ve bilgisayarlı görü yaklaşımları kullanılarak korozyon tespit modelleri oluşturulur. Dört bölüme ayrılabilir.

1. Bilgi temelli model
2. Muhtemel model
3. İstatistikî model
4. Belirleyici model

- **Bilgi Temelli Model:** Korozyon tespitinde makine öğrenmesi ile uyumlu çalışabilir. Öğrenme işlemi denetimli, denetimsiz ve destekli öğrenme olarak gerçekleşir. Denetimli öğrenmede etiketli korozyon görselleri kullanılır. Denetimsiz öğrenmede etiketsiz korozyon görselleri kullanılır. Algoritma kendini eğitir ve korozyon bölgesini tespit etmeye çalışır. Destekli öğrenmede ise deneme yanılma yolu ile bir öğrenme sürecidir. Algoritma, bu şekilde bir dizi karar oluşturur. Korozyon tespiti ile ilgili her çözüm için ceza veya ödül yöntemiyle çalışır.

CCTV ile alınan verilerin, korozyon bölgeleri analiz edilir ve tespit için düzenlenir. Tüm resimler veya videolar korozyon tespiti için yeterli temizlikte olmayabilir. Sonuç olarak önileme adımı tamamlanmış olur. Ayrıca CNN'de korozyon tespitinde kullanılabilir. Bu metotta 47.000 kanalizasyon borusu resmi ve altı tipte sınıflandırma kullanılmıştır. %96.33 başarı sağlanmıştır. Fakat CCTV uzun kanalizasyon boruları için elverişli değildir. 24.7 km'lik bir boru hattı için %64,8 doğruluk oranı elde edilmiştir. Fakat bu işlem için önileme adımı kullanılmamıştır. Bu da gösteriyor ki bilgisayarlı görü ve görsel işlemede önileme çok önemli bir adımdır.

- **Olasılıksal Model:** Veri eksikliği durumunda kullanılır. Gamma dağılımı ve Monte Carlo yöntemleriyle korozyon tahmini yapılır. Korozyonun hem zamansal hem de mekânsal ilerlemesini tahmin etmek için olasılıksal yaklaşımlar ve görüntü işleme teknikleri detaylandırılmıştır.

Gamma Dağılımı tekniği ile malzemelerin birikimli bozulma sürecinin incelenmesi amaçlanmıştır. Malzemelerin bozulma sürecini analiz etmek için azalan monotonik bir yapı kullanır. 2D bir görüntü sayım verilerinden yeniden oluşturulur. Oluşturulan görüntü, korozyon desenlerini analiz etmek için kullanılır. Spatial-Temporal Gamma sürecinde zaman ve mekana bağlı korelasyonlar modellenir. Korelasyon uzunluğu modeli, olasılıksal modelin doğruluğunu artırır. Gumbel Dağılımı ve X-Ray Görüntülerinde beton kırımların mekânsal değişkenliği incelenmiştir. Yüksek akım yoğunluğu, homojen korozyonları doğru şekilde tespit eder. Düşük akım yoğunluğu, çukurlaşma ve çatlak gibi düzensiz korozyon desenlerini belirler. Monte Carlo Sonlu elemanlar yönteminde korozyona bağlı çatlakların ve yapısal kapasite bozulmasının tahmini yapılır. İki makine öğrenme modeli ile entegre edilerek hesaplama süreçleri hızlandırılır. Çözüm, yapıların tahmin edilen bozulma kapasitelerini değerlendirir. Çoklu Eşikleme ve Görüntü İşleme ile de metal yüzeylerden korozyon görüntülerinin çıkarılması amaçlanmıştır. Grayscale ve renk kanalları gibi çok seviyeli renk uzaylarından korozyon özellikleri çıkarılır. Çukur korozyonu gibi yerel bozulma desenleri otomatik olarak tespit edilir.

Olasılıksal model gömülü boru hatları, beton yapılar, metal yüzeyler ve yapısal kapasite analizinde başarılı olarak kullanılmıştır.

- **İstatiksel Model:** İstatistiksel model, geçmiş verilere dayalı analizler yaparak korozyon mekanizmasını anlamaya ve ilerlemesini öngörmeye yönelik bir yaklaşım sunmuştur. Özellikle deniz ortamlarında ve endüstriyel alanlarda korozyonun çeşitliliği ve karmaşıklığı nedeniyle, bu modellerin doğruluk oranı ve uygulama zorlukları detaylı şekilde ele alınmıştır. Model geliştirme sürecinde Markov zinciri, Bayes çıkarımı, dağılım uygunluğu, polinomsal regresyon ve doğrusal regresyon gibi istatistiksel yöntemler kullanılmıştır.

Markov Zinciri ve gri seviye eş-örnekleme yönteminde amaç deniz ortamlarında korozyon hasarlarını tespit etmektir. Görüntülerden korozyon morfolojisi çıkarılır ve elektro-kimyasal sonuçlarla uyumlu bir şekilde analiz edilir. Çukur derinlikleri, birbirine bağlı korozyon delikleri ve düzensiz korozyon morfolojileri gibi farklılıklar tespit edilir. Eksiklikler, hiperparametrelerin ayarlanmasıyla optimize edilir. Bayesian Optimizasyonunda amaç korozyon sınıflandırıcısını iyileştirmektir. Görsellerdeki korozyonlu bölgeler, yerel doku özellikleri kullanılarak analiz edilir. Bu analiz ile, yüksek ayırım gücü sağlayarak korozyon sınıflandırma doğruluğunu artır. Hiperparametrelerin optimize edilmesiyle çapraz doğrulama hataları en aza indirilir. Polinomsal ve Doğrusal Regresyon ile de korozyonun ilerleyişini tahmin etmek amaçlanmıştır. Polinomsal regresyon, korozyon desenlerinin karmaşık ilişkilerini modellemek için kullanılır. Doğrusal regresyon, daha basit ve düzenli korozyon durumlarında tahminler yapmak için uygulanır.

İstatiksel model, deniz ortamları, sanayi ve boru hatları, görüntü bazlı korozyon derecelendirme gibi farklı uygulamalarda başarıyla uygulanmıştır.

- **Deterministik Model:** Deterministik model, saha deneylerinden elde edilen görüntü ve video verilerini kullanarak korozyonlu malzemelerdeki değişkenler arasındaki ilişkileri analiz eder. Modelin basitliği ve uzmanlık gereksiniminin düşük olması vurgulanırken, bu modelin çevresel koşulları yeterince gerçekçi bir şekilde yansıtamaması nedeniyle sonuçların dışa vurumunda (extrapolation) doğruluk kaybı yaşayabileceği belirtilmiştir.

Yapısal Sağlık İzleme (SHM) ve Dijital İkiz modelleri ile yapısal varlıkların dayanıklılığını artırmak ve korozyon ilerlemesini düzenli olarak yeniden değerlendirmek amaçlanmıştır. Dijital ikiz modelleri, gerçek dünyadaki yapıların dijital kopyalarını oluşturur. Yapının dayanıklılığı, düzenli izlemeler ve tahminlerle yeniden doğrulanır. Bu yöntem ile metalik yapıların davranışsal tahminleri iyileştirilir ve Korozyonun ilerleyişini izleme ve önleme süreçlerinde etkili bir çözüm sunar. Doku Tanımlayıcılar ve Hücresel Otomat Modelleri ile eğitim verisinin yetersiz olduğu durumlarda deterministik modelin performansını artırmak amaçlanmıştır. Kontrollü deterministik kaos ile modelleme süreci dengelenir. Doku tanımlayıcılar, korozyon alanlarının dokusal analizini yapar. Gerçek dünya koşullarında diğer yaklaşımları geride bırakarak daha iyi sonuçlar verir ve kısıtlı veriyle çalışıldığında bile etkili korozyon tespiti sağlar.

6. Korozyon Tespit Yaklaşımları

- **Yere Nüfuz Eden Radar:** Korozyon tespitinde materayallerin yüzeyinden yansıyan Elektromanyetik yansımaları kullanır. 500mhz ile 2.5GHz gibi küçük bir aralıkta atımlar yapar. GPR anteni ile bu genlik-zaman dönüşlerini toplar. GPR'ın avantajları ; hızlı tarama yapar, gömülü materyale duyarlıdır, yapının kaliteli görüntüleri ve daha fazla derinlik nüfusu sağlar. GPR verilerini yorumlaması zordur. Bu sebepten uzmanlık gerektirir. Yakalanan görsellerde derin önışleme zorunludur. Çelik yapılardaki korozyon derecesini tespit etmek için GPR verileri, ANN ve görüntü işleme tekniklerinin kombinasyonunu kullanmışlardır. Kenar tespit ve k-means kümeleme teknikleri ile korozyon yüzeylerindeki farklılıklar incelenmiştir. ANN ile GPR resimlerindeki karışık yüzeylerin yorumlanması yapıldı. Sonuç gösterdi ki k-means kümeleme ile korozyon resimlerinde birden çok segmentasyon yapılmıştır. Korozyon yok, az korozyon, orta seviye korozyon ve yüksek korozyon olarak sınıflandırılmıştır. Sobel kenar tespiti ile birçok doğru kenarlar tespit edilmiştir. Ayrıca GPR verileri Fourier transform ve Gaussian filtresi ile 1 GHz frekanslı monitörde tahmin için kullanılmıştır.
- **Termografi:** Isıya duyarlı infrared detektörlerin buluşu ile korozyonun görüntülenmesi, tespiti ve tahminine katkıda bulunulmuştur. Görüntüleme maliyetleri etkin şekilde düşmüştür. Termal sensörler çok düşük sinyalleri bile yakalayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sebeple görüntü işleme teknikleri ve sinyal analizi termal görüntülerin kalitesinin artırılması probleminin üstesinden gelmelidir. Korozyon tespitinde, metalik maddeler tarafından absorbe edilen elektromanyetik enerjilerin kaydedilmesi sağlanır. Optik lazer veya mikrodalga teknikleri de termografi temelli tekniklerde kullanılmaktadır. Son olarak yeni bir termografi tekniği tanıtılmıştır. Fotovoltaik (PV) elektrolüminesans (EL) modülü, boru hatlarındaki çatlaklar ve korozyonları tespit için kullanılmıştır. EL' den gelen görüntüler PV hücreleri ile pars edilmiş ve makine öğrenme algoritmalarına gönderilmiştir.(CNN,random forest,SVM gibi) EL görüntüleri ön işlemden geçirilmiştir. (regresyon eşleşme, dışbükey gövde, thresholding ve düzlemsel indeks modül gibi). Sonuçlar göstermiştir ki CNN ve EL görüntüleri korozyon tespitinde diğer makine öğrenme algoritmalarının çok üstünde başarı göstermiştir. Fakat bu metot başarı oranını arttırmak için eğitim, değerlendirme ve test için uygun örneklerle ihtiyaç duymaktadır.
- **Bilgisayarlı Tomografi (CT):** Çelik yüzeylerde korozyon mekanizmasının ve kaplamaların değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. X-ışınları ve Raman spektroskopisi, alüminyum ve çinko gibi anot metallerini korumada kullanılmıştır. Bu yöntem, açık devre potansiyeli ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) gibi elektro-kimyasal deneylerle karşılaştırılmış ve X-ışını bilgisayarlı tomografinin korozyon direncini artırdığı gözlemlenmiştir.Tomografik Akustik Mikro-Görüntüleme (TAMI); Akustik tarama mikroskobu (SAM) ile elde edilen görüntülerin işlenmesi için kullanılmıştır. Görüntüler,

ikilileştirme (binarization) yöntemiyle analiz edilmiş ve pas altında kalan korozyon çukurları tespit edilmiştir. Sonuç olarak, optik mikroskopi ve 2D/3D yüzey analiz yöntemleriyle %40 doğruluk oranında doğrulanmıştır. Synchrotron Radiation Computed Tomography (SRCT); Elektro-kimyasal reaksiyonların görselleştirilmesi, kompozit hatalarının analizi ve korozyon hızının ölçümünde test edilmiştir. 3D mikro yapılar oluşturmak için 1 mikrometreden daha düşük çözünürlükte tomografi kullanılmıştır. Bu yöntem, dördüncü boyutun (zaman boyutu) eklenmesiyle geliştirilmiş ve yük altındaki malzemelerin davranışlarının daha detaylı analiz edilmesini sağlamıştır. Nötron Tomografisi; kültürel miras objelerinin iç yapı detaylarının incelenmesi için kullanılmıştır.

- **Renk Uzayı Analizi:** Renk uzayı, görüntülerdeki renkleri matematiksel modellerle temsil eder. Piksel özellikleri, renk uzaylarının karakteristiklerine göre tanımlanır. Renk Uzayı Segmentasyonu, görüntüde anlamlı nesnelerin, piksel kümeleri (örneğin, benzer renk özellikleri paylaşan kümeler) ile ilişkilendirilmesi işlemidir. Bu segmentasyon yöntemi, renk özelliklerine göre görüntüdeki nesneleri ayırt etmeyi sağlar. Tek bir renk uzayının tüm görüntüler ve ortamlar için uygun olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, farklı koşullar ve ortamlar için en uygun renk uzayını seçmek amacıyla birçok deney yapılmıştır. RGB (Kırmızı, Yeşil, Mavi): Genelde dijital görüntülerde kullanılır.
 - ✓ YUV (Lüminans ve Kroma): Parlaklık ve renk farklarını ifade eder.
 - ✓ CMY (Camgöbeği, Macenta, Sarı): Baskı sistemlerinde kullanılır.
 - ✓ HSV (Ton, Doygunluk, Değer): Renk analizinde yaygındır.
 - ✓ XYZ (X, Y, Z Koordinatları): Renk biliminde referans modelidir.

HSV Renk Uzayı; Korozyonlu ve korozyonsuz bölgeleri renk ve malzeme pürüzlülüğüne göre tespit etmek için kullanılabilir. Korozyonu temsil eden histogramlarda renk analizi için kullanılmıştır. Ayrıca, pürüzlülük analizi için gri tonlama seviyesi değerlendirilmiştir. Görüntü işleme teknikleri, yapısal ve bileşen fotoğraflarında uygulanmıştır. Yapay zekâ algoritmaları ile birleştirilerek korozyon tespitinin doğruluğu artırılmıştır. HSI (Ton, Doygunluk ve Yoğunluk); Histogram eşitleme ile korozyon bölgelerini iyileştirmek ve daha iyi kontrast ile parlaklık elde etmek için kullanılmıştır. RGB görüntüler, HSI formatına dönüştürülmüştür. Korozyon görüntülerinden CbCr (mavi kroma ve kırmızı kroma) elementleri çıkarılarak dokuların ayırt edilmesi sağlanmış ve bu yöntemle düzensiz korozyonun ölçümü geliştirilmiştir. Renk Gölgesi İndeksi (CSI) ve Paslı Alan Oranı (RAR); Elektrik enerji iletimi için damper pas kusurlarını zamanında tespit etmek amacıyla yeni bir renk uzayı geliştirilmiştir. Kompleks damper görüntüleri gri tonlamada alınmış ve ardından; Gaussian kernel, Kenar gücü haritalama, Lokal fark işleme yöntemleri ile iyileştirilmiştir. Görüntüler şu kategorilere ayrılmış: şiddetli pas, orta dereceli pas, hafif pas, pas içermeyen. %93 doğrulukla paslı damperler tespit edilmiştir.

- **Wavelet Analizi:** Wavelet domain, hızlı azalan ve sıfır ortalama özelliği ile hem frekans hem de uzay boyutlarında analiz yapar. Korozyonlu bölgelerin ölçümü için kullanılabilir. Entropi minimizasyonu, korozyon görüntüsündeki aydınlatma bileşenlerini düzeltmek için uygulanır. RGB kanallarına wavelet dönüşümü uygulanarak entropi ve enerji değerleri hesaplanabilmektedir. Özellik vektörleri çıkarılarak, korozyonlu bölgelerin doğru bir şekilde tespit edilmesi sağlanmıştır. Gürültülü korozyon görüntüleri, detayları bozmadan geri kazanılabilmektedir. Atmosferik Korozyon Çalışmaları; Chongqing’de enerji iletiminde kullanılan metal çerçevenin atmosferik korozyon özellikleri, wavelet görüntü katsayılarıyla incelenmiştir. Yapısal malzemeler; korozyon ürünü, miktarı ve morfolojisi açısından wavelet algoritmasıyla analiz edilmiştir. Algılama sonuçları, sahada alınan örneklerle uyumlu bulunmuştur. Çukur Korozyonunun Tespiti: Azotun çukur korozyonu üzerindeki etkisi wavelet analizi ile incelenmiştir. Düşük frekanslı sinyal enerjisini ölçmek için sinyalin standart sapmaları ve enerji dağılımları kullanılmıştır. Karbon-Çelik Boru Korozyonu Tespiti; Hibrit wavelet paket dönüşümü ile destek vektör sınıflandırıcısı (SVM) birleştirilmiştir. Hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak korozyon dereceleri tahmin edilmiştir. Laboratuvar testleri (Linear

Polarization Resistance, LPR) ile doğruluğu değerlendirilmiş ve yöntem, korozyon tespiti ve değerlendirmesinde etkili bulunmuştur. Yapısal Hasar Tespiti; benzer 2D wavelet filtreleme teknikleri, yapısal hasar tespiti için de kullanılabilmiştir. Sonuç olarak Wavelet analizi, hem korozyon hem de yapısal hasar tespiti için güçlü bir yöntemdir. Bu teknikler, yüksek doğruluk ve detaylı değerlendirme sağlamak amacıyla sıklıkla enerji analizi, entropi hesaplama ve hibrit algoritmalarla birleştirilmiştir.

- **SVM ile Sınıflandırma:** İki ayrı bölgenin bir vektör uzayında ayrılmasını sağlayan güçlü bir makine öğrenimi tekniğidir. Görüntü segmentasyonu ve desen tanıma için oldukça etkilidir. Denetimli öğrenme yaklaşımı kullanılarak regresyon, sınıflandırma ve aykırı değer tespiti görevlerinde kullanılır. Yüksek boyutlu uzaylarda etkili sonuçlar sağlar.

Kernel yöntemi kullanılarak korozyon görüntüleri dönüştürülmüş ve korozyonlu bölgeler arasındaki sınırlar belirlenmiştir. SVM ile Korozyon Analizi; korozyonlu bölgelerin renkleri ve korozyon dereceleri analiz edilebilmiştir. Bu yöntem, korozyonun türünü ve yayılma seviyesini belirlemek için kullanılmıştır. Kullanım Alanları; Su boruları, deniz altı boruları, çelik çubuklar, köprü kabloları, ekipman, uçak yapıları ve rüzgar türbini kanatları gibi çeşitli alanlarda korozyon tespiti için uygulanabilmektedir.

SVM'in doğruluğu, ek yöntemlerle geliştirilebilir: HOG (Histogram of Oriented Gradients): Özellik çıkarımı için kullanılır. SIFT (Scale-Invariant Feature Transform): Ölçek bağımsız özellikler elde eder. SURF (Speeded Up Robust Features): Hızlı ve sağlam özellik çıkarımı sağlar. Korozyonlu ve korozyonsuz bölgeler, renk ve doku özellikleri kullanılarak ayırt edilebilir. Sonuç olarak, SVM, korozyon tespiti ve sınıflandırmada etkili bir yöntem olmuştur. Renk, doku ve diğer görsel özellikleri analiz ederek farklı yapı ve yüzeylerde korozyon derecesini belirlemek için kullanılmıştır. Ek algoritmalarla birleştirildiğinde, doğruluk ve tespit performansı önemli ölçüde artırılmıştır.

- **NDE ve SOM ile Hasar Analizi:** Bir bileşen, malzeme veya yapının özelliklerini tahrip etmeden değerlendirme yöntemidir diyebiliriz. Diğer adları:
 - ✓ Yıkıcı olmayan test (NDT),
 - ✓ Yıkıcı olmayan inceleme (NDI).

Korozyon görüntülerindeki doku değişimlerini tespit etmek amaçlanmıştır. Korozyonla ilişkili yüzey özelliklerini ve iç hasarları belirlemede kullanılmıştır. SOM (Özörgütlenen Haritalar): Denetimsiz öğrenme yöntemini kullanır. Benzer desenleri ve özellikleri sınıflandırmak için kullanılır. Yerel parametreler, sınıf üyeliğinin örnek eğitiminden ziyade bir grup nöron tarafından ayarlanır. Segmentasyon yapılmış NDE görüntülerindeki korozyonlu bölgeleri sınıflandırmak amaçlanmıştır. Doku farklılıklarını sınıflandırmak için NDE ve SOM birlikte kullanılır.

Uygulama (Çalışma Örneği):

Konu: Demir donatılarının korozyonunun ve korozyon kaynaklı çatlakların analizi.

NDE Kullanımı:

Elektromanyetik dalga radarları, numunelerin kaplama kalınlıklarını (30 mm ve 60 mm) değerlendirmiştir. Bakım sırasında iç hasar ve korozyon oranları belirlenmiştir.

Sonuç:

NDE ve SOM, korozyon kaynaklı hasarların tespitinde ve sınıflandırılmasında güçlü bir yöntemdir. NDE, fiziksel yapının özelliklerini bozmadan değerlendirirken, SOM, görüntü segmentasyonunda doku farklılıklarını analiz ederek korozyonlu bölgeleri gruplandırır. Bu yöntemler, özellikle bakım ve inceleme süreçlerinde, hasar tespiti ve izleme için etkili bir şekilde uygulanabilmektedir.

- **Doku Analizi:** Bilgisayarla görme, görüntü analizi kapsamında nesne sınıflandırmasında bu teknikleri kullanır. Korozyonlu alanlardaki farklı dokuların kenar sınırlarını hesaplamıştır. Doku analizi, sınıflandırma doğruluğunu artırmış ve izole edilmiş verilerin algılanmasında hataları azaltmıştır. Temel prensip: “Korozyonlu malzemeler zamanla yüzey pürüzlülüğünü artırır.”

Yüzey çukur derinlikleri, tek bir ışık kaynağından gelen gölge uzunlukları ile ölçülmüştür. Pseudo 3D materyal rekonstrüksiyonu ile ortalama korozyon oranının hesaplanması sağlanmıştır. Kenarlardan Bölütleme (Segmentation) ile korozyonlu bölge, görüntüdeki kenar piksellerine dayanarak segmentlenmiştir. Kenar pikselleri, farklı gri tonlama değerlerine sahip komşu piksellerle karşılaştırılarak korozyon sınırı belirlenmiştir. Gri tonlama değerlerindeki süreksizlikler (intensity discontinuities), sınırların daha doğru bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olur. Doku analizi yöntemleri, korozyon bölgelerinin doğru şekilde tespit edilmesi, tanımlanması, sınıflandırılması amacıyla başarıyla kullanılmıştır.

Sonuç olarak; bu teknik ile özellikle görüntü analizi ve kenar tespiti ile daha hassas sınıflandırma sağlanmıştır.

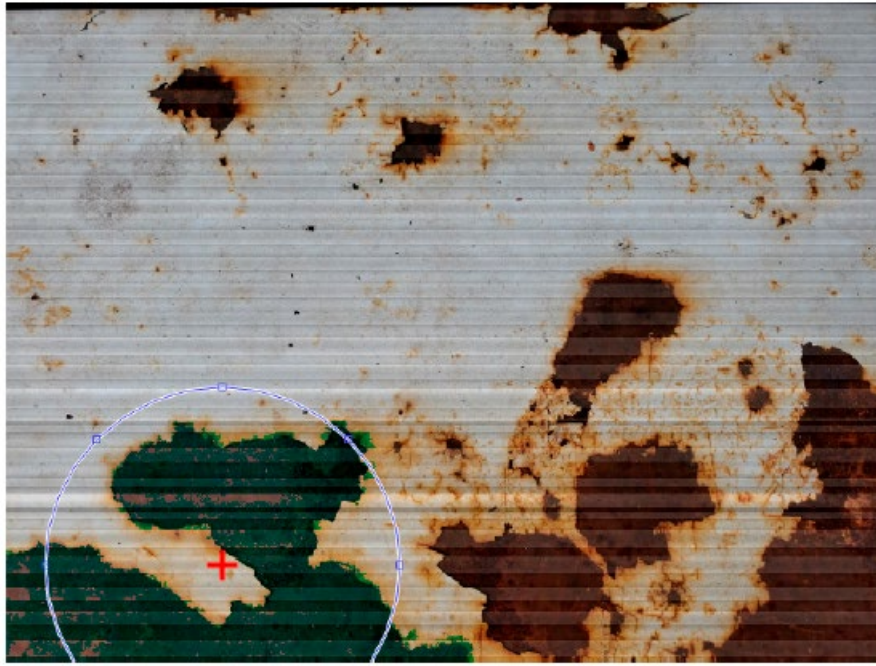


Figure 4. Texture analysis of a ship structure image.

7. Korozyon Tespit Zorlukları

Dezavantajlar:

- ✓ Saha Uygulamaları ve Değerlendirme
- ✓ Sağlık Riskleri

Avantajları:

- ✓ Yıkıcı Olmayan Değerlendirme (NDT):

Kanalizasyon borularında yıkıcı olmayan değerlendirme ile korozyonu tespiti edilir. Boruların yapısına zarar vermeden detaylı analiz sağlanmıştır.

- ✓ Uzaktan Denetim:

Uzaktan inceleme (remote inspection) yeteneği, insan müdahalesini en aza indirmiştir. Kanalizasyon borularındaki korozyon tespiti sırasında fiziksel temas ihtiyacı azalmıştır.

- ✓ Sağlık Risklerinin Azaltılması:

Korozif ortamda bulunan bakteriler ve mikroorganizmalardan kaynaklanan sağlık tehditleri ile fiziksel temas minimuma indirgenmiştir. Denetçilerin tehlikeli alanlara maruz kalması büyük ölçüde azaltılmıştır.

- ✓ İnsan Rolünün Azaltılması:

Korozyon denetleyicilerinin rolü, otomatik makine görüsü sistemleri sayesinde önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Denetim süreci daha güvenli ve verimli hale getirilmiştir.

✓ Ekipman ve Teknoloji Sınırlamaları:

Görüntüleme ekipmanlarının malzeme içine nüfuz edememesi, dış yüzey analizi yapılabilirken iç yapının tamamen göz ardı edilmesi, suya dayanıklı ve dayanıklı ekipman eksikliği, ekipmanların küçük ve sınırlı alanlarda dayanıklılık sorunları yaşaması sınırlamalara örnek olarak verilebilir.

✓ Operasyonel Zorluklar:

Kanalizasyon borularında su tahliyesi (dewatering) ihtiyacı nedeniyle operasyon kesintileri ve operasyon kesintilerinin üretkenliği ve çalışma süresini olumsuz etkilemesi denilebilir.

✓ Ulaşım Zorlukları:

Gemi yapılarında ve boru hatlarında görüntüleme için erişim zorlukları. İnsan erişiminin mümkün olmadığı dar alanlar (ör. atık su boruları).

✓ Ekipman Maliyetleri:

Robotik araçlar ve dronlar gibi ekipmanların maliyeti yüksektir. Çok sayıda cihaz ve kamera kurulumunun gerekliliği önem arz etmektedir.

✓ Sensör ve Algılama Sorunları:

Ultrason ve GPR sensörlerinin nem, ses bağlantısı ve doğruluk sorunları nedeniyle kısıtlanması yaşanabilmektedir. Böylece yanlış korozyon segmentasyonu üretme riskini de barındırır.

✓ İnsan Faktörü ve Hata Potansiyeli:

Robot tarayıcıların operatör becerisine bağımlılığı ve ekipman yerleştirme ve kullanımındaki hata riskleri barındırmaktadır.

✓ Gelişmiş Teknoloji Zorlukları:

LiDAR gibi yöntemlerin malzeme yüzeyinden yansıyan verilere aşırı bağımlılığı, bulanık alanlar, zayıf sınırlar ve bozuk yüzeylerde korozyon tespitinde zorluklar yaşanabilmektedir.

✓ Radyoaktif Yöntemlerin Riskleri:

Radyoaktif kaynakların tehlikeli doğası ve bu yöntemlerin yalnızca sertifikalı ve uzman kişiler tarafından uygulanabilmesi bir diğer zorluktur.

✓ Veri Karmaşıklığı:

Düşük ve orta kaliteli görüntülerin ve videoların varlığı yanlış korozyon tespitine yol açabilmektedir. Gürültü, bozuma gibi etkenler sınıflandırmada zorluk çıkarabilmektedir.

8. Tartışmalar ve Öneriler

Korozyon tespiti ve bakımının yanı sıra üretim, havacılık, enerji, gıda ve içecek, atık su yönetimi ve inşaat sektörlerinde önemli bir konu olarak değerlendirilmektedir. Korozyonun tahmin modeli, tespiti ve bakımı, bilgisayarla görme ve görüntü işleme araştırmalarının başlıca konularıdır. Bilgisayarla Görme ve Görüntü İşlemenin Avantajları:

✓ Uzaktan İzleme:

Malzemelerin durumu uzaktan incelenebilir, bu sayede üretkenlik etkilenmeden analiz ve bakım yapılabilir.

✓ Yüksek Çözünürlüklü Görüntüleme:

Yüksek çözünürlüklü görüntülerle kapsamlı bir korozyon değerlendirmesi yapılabilir.

Görüntüler üzerinde yakınlaştırma ile detaylı analiz sağlanabilir.

✓ Otomasyon ve Hız:

Düğümmler ve kenarlar üzerinde otomatik analiz yapılır, bu da veri iletim maliyetini azaltır ve tespit hızını artırır. Dijital ölçümler geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve anlık sonuçlar sunar.

✓ IR4.0 ve Teknolojik Entegrasyon:

✓ Gelişmiş Sensörler ve Ağlar:

5G destekli sensörler, daha doğru ve verimli korozyon tespiti sağlar. Gaz, sıcaklık, nem, ve pH sensörleri, saha verilerini akıllı bir şekilde toplayabilir ve analiz edebilir.

✓ Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme:

Görüntü ve video verilerinin işlenmesiyle korozyonun tahmini, değerlendirilmesi ve tespiti için büyük fırsatlar sunar.

✓ LiDAR ve Kızılötesi Teknolojinin Geleceği:

LiDAR ve kızılötesi teknolojilerin entegrasyonu, uzaktan algılama ile daha ayrıntılı korozyon tespiti ve değerlendirme sağlar.

Uzaktan algılama görüntüleri, uzaysal, zamansal, spektral, geometrik ve radyometrik çözünürlükler ile daha fazla bilgi çıkarmaya olanak tanır.

✓ Mikrobiyolojik Korozyon Tespiti:

Bilgisayarla görme, mikro-indentation haritalama, pH profillemesi, taramalı elektron mikroskobu ve nötron tomografisi gibi tekniklerin kombinasyonu önerilmektedir. Henüz mikrobiyolojik korozyon için standart bir değerlendirme yöntemi yoktur. Kimyasal bileşiklerden ve asidofilik bakteri kolonilerinden oluşan asitlerin neden olduğu korozyon yaygındır. Bilgisayarla görme ve görüntü işleme, kimyasal yöntemleri tamamlayıcı bir değerlendirme ve tespit aracı olarak kullanılabilir.

✓ Korozyon Tahmini Modelleri:

Yetersiz Veri: Olasılıksal modeller kullanılabilir, ancak yüksek uzmanlık ve hesaplama maliyeti gerektirir.

Bol Veri: Bilgi tabanlı ve istatistiksel modeller daha iyi performans sağlar.

Belirsiz veya Eksik Veri: Bulanık mantık, mühendislik yargıları ve uzman görüşleri ile modelleme yapılabilir.

✓ Görüntü Kalitesi Sorunları:

Gürültü, parazit, bozulma, aydınlatma sorunları ve görüntü stabilizasyonu gibi faktörler, görüntü kalitesini düşürmektedir. Ön işlem tekniklerinin görüntüleme ekipmanına entegre edilmesi, otomatik görüntü elde etme ile yüksek kaliteli görüntüler sağlamaktadır.

✓ Karmaşık Yapılar ve Geometri:

Mevcut yöntemler genellikle düz yüzeylerde ve basit eğrilere uygulanmıştır. Ağır makineler, gemi gövdeleri, köprüler gibi karmaşık yapılar ve geometriler dahil edilmelidir.

✓ Korozyon İlerleme Analizi:

Trend analizi ile malzemelerde korozyon ilerlemesi veya büyümesi tahmin edilebilir. Bu tahmin modeli, otomatik bir korozyon bakım sistemi geliştirmek için kullanılabilir.

Sonuç olarak, bilgisayarla görme, görüntü işleme ve IR4.0 teknolojilerinin entegrasyonu, korozyon tespiti, değerlendirmesi ve tahmini için yüksek seviyede yetenekler sunar. Bu teknolojiler, endüstri, araştırma ve akademi için verimlilik, doğruluk ve hız avantajları sağlar.

Gelecekte daha akıllı sistemlerin gelişimi, bu süreçleri daha da iyileştirecektir. Ayrıca Mikrobiyolojik korozyon tespiti ve tahmininde bilgisayarla görme ve görüntü işleme, kimyasal yöntemlerle desteklenerek güçlü bir çözüm sunabilir. Ancak, veri kalitesi, karmaşık geometriler ve otomasyon ihtiyacı gibi zorluklar, teknolojik geliştirmeler ve modelleme teknikleri ile aşılmalıdır.

9. Sonuç

Korozyon, özellikle gemi yapımı, atık su boruları ve petrol-doğal gaz boru hatlarında önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Araştırmacılar, akademisyenler ve endüstri için kritik bir alan olarak öne çıkmaktadır. Çalışmada, bilgisayarla görme ve görüntü işleme teknikleri değerlendirilmiş ve bu tekniklerin avantajları ile sınırlamaları tartışılmıştır. Görüntülerden ve videolardan korozyonun tespiti ve ilerlemesi hakkında hem nicel hem de nitel veri sağlanmıştır. Korozyonun mevcut durumu değerlendirilmiş ve gelecekteki durumu tahmin edilmiştir. Tek bir teknikle tüm gerekli bilgilere ulaşılamayacağı, farklı çevresel koşullar veya parametrelerde test yapmak için birden fazla yöntemin kombinasyonunun kullanılabileceği önerilmiştir. Çalışma, korozyon tespiti, değerlendirilmesi ve tahmini için karşılaşılan zorlukları ve geleceğe yönelik önerileri sunmuştur. Daha pragmatik araştırmalar için net bir yön sağlamayı hedeflemektedir. Zamanında izleme, güvenlik, ekonomik kayıpların önlenmesi ve sağlık açısından kritik öneme sahiptir. IoT, büyük veri, kablosuz ağlar, lazer tarama, ultrasonik tarama ve gelişmiş sensör ağları ile entegrasyonu önerilmektedir.