

Araştırma Makalesi / Research Article

Görüntü İşleme Algoritmalarına Dayalı Olarak Manyetik Parçacık Test Görüntülerinde Kusur Tespitinin Araştırılması**Volkan SÖZERİ¹, Orhan KESKİN², Coşkun HARMANŞAH^{3*}, İlkyay KOZAK⁴, Esmâ Nur KİBAR⁵**^{1,3} Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Programcılığı Programı, İzmir.² Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, İzmir.⁴ Politeknik Elektronik, İzmir.⁵ İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, İzmir.e-posta ¹:volkan.sozeri@ege.edu.tre-posta ²:orhankeskin175@gmail.comSorumlu yazar e-posta ³:coskun.harmanseh@ege.edu.tre-posta ⁴:ikozak@politeknik.come-posta ⁵:kibar.esmanur@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8454-9388>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2136-8421>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4946-8344>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3988-4109>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2766-0012>

Geliş Tarihi: 12.09.2022

Kabul Tarihi: 26.01.2023

Öz

Otomotiv, havacılık ve savunma sanayi sektörleri başta olmak üzere birçok sektörde kullanılan kritik parçaların hata tespitleri tahribatsız muayene testleri ile yapılmaktadır. Tahribatsız Muayene (TM) yöntemleri ile kritik parçaların maksimum güvenilirliği ve kalitesi, hızlı ve uygun maliyetli bir şekilde elde edilir. Manyetik parçacık testi (MT), ferromanyetik malzemelerdeki yüzey ve yüzey altı çatlaklarını tespit etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, üretim aşamasında ve hizmetin bir noktasında tüm kritik çelik parçaların denetlendiği endüstriyel uygulamalarda da önemli bir kullanıma sahiptir. Bu çalışmada, operatöre MT deneyleri ile alınan görüntülerdeki kusurları belirlemede yardımcı olmak için seçilen görüntü işleme algoritmaları ile sistematik bir yaklaşım önerilmiştir. MT (Manyetik Parçacık Testi) deneyleri ile alınan görüntüler yazılıma aktarılmış ve önerilen yöntemlerle analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların referans test bloğundaki yapay kusurlarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalar, önerilen yöntemin operatöre çatlakların yorumlanmasında önemli katkılar sağlayabileceğini göstermiştir. M2GLD algoritması referans bloktaki 6 kusurun tamamını, K Ortalama Kümeleme algoritması ise 5'ini tespit edebilmiştir.

Anahtar kelimeler

Tahribatsız Muayene;
Manyetik Parçacık
Testi; Görüntü İşleme
Algoritmaları; Çatlak
Tespiti

Investigation of Crack Detection in Magnetic Particle Testing Images Based on Image Process Algorithms**Abstract**

Flaw detection of critical parts used in many sectors, especially in the automotive, aerospace and defense industry sectors, is made by Nondestructive Testing (NDT) techniques. Maximum reliability and quality of critical parts are achieved quickly and cost-effectively with NDT methods. Magnetic Particle Inspection (MPI) is widely used to detect surface and subsurface cracks in ferromagnetic materials. It also has important use in industrial applications where all critical steel parts are inspected during the production phase and at some point in service. In this study, a systematic approach is proposed with selected image processing algorithms to assist the operator in identifying defects in images taken by MPI experiments. Images taken with MPI experiments were transferred to the software and analyzed with the suggested methods. It was observed that the obtained results were compatible with the artifacts in the reference test block. Experimental studies have shown that the proposed method can provide important contributions to the operator in the interpretation of cracks. The M2GLD algorithm was able to detect all 6 defects in the reference block, while the K Mean Clustering algorithm was able to detect 5 of them.

Keywords

Nondestructive
Testing; Magnetic
Particle Testing; Image
Processing Algorithm;
Crack Detection

1. Giriş

Otomotiv, havacılık ve savunma sanayi sektörleri başta olmak üzere endüstriyel alanlarda kullanılan tüm kritik parçalar standartlara uygun olarak hata tespitleri yapılmaktadır. Tahribatsız Muayene (TM) teknikleri kritik parçaların maksimum güvenilirliğinin sağlanması için üretimin farklı aşamalarında, parçaya bir hasar vermeden test edilmesinde kullanılmaktadır. Endüstride yaygın olarak kullanılan TM teknikleri; Görsel Yöntemler ile Muayene, Sıvı Penetrant Testi (PT), Manyetik Parçacık Testi (MT), Eddy Akımı ile Muayene, Ultrasonik Test (UT) ve Radyografik Test (RT) yöntemleridir (Shull 2001). Diğer taraftan, üretimde yüksek kalite için tahribatsız muayene yöntemleri kalite kontrol sistemlerinin bir parçası haline gelmiştir. Tahribatsız muayene teknikleri içerisinde PT, MT ve RT yöntemlerinde malzeme ve parçalardaki hataların belirlenmesinde görüntü analizi oldukça önemlidir.

Endüstride tasarım, üretim ve servis aşamalarında farklı tahribatsız muayene teknikleri kullanılarak yapılan testler sonucunda elde edilen görüntüler değerlendirilerek parçaların hata tespitleri yapılmaktadır. Luo vd. (2014), otomobil krank millerindeki kusurların tespitinde bir CCD (Charged Coupling Devices) kamera, mikroişlemcili kontrol ünitesi ve bilgisayardan oluşan bir sistem önermişlerdir. Bu sistemde kamera ile alınan görüntüler median ve ortalama filtrelerinden geçirilerek yumuşatılmıştır. Yumuşatılmış görüntülere gradyant işlemi uygulanıp gri tonlamalı dönüşüm algoritması kullanılmıştır. Kusurların bölütlenme işlemi Canny algoritması ile gerçekleştirip bölütlenen kusurlar etiketlenmiştir.

Manyetik parçacık testi, yüksek mıknatıslanma özelliğine sahip malzemelerin yüzey veya yüzeye yakın kısımlarında oluşan süreksizliklerin belirlenmesinde hızlı, uygulaması kolay ve ekonomik bir tahribatsız muayene yöntemidir (Shull 2001). Geleneksel MT işleminde malzemedeki kusurlar, testi yapan operatörler tarafından manuel olarak tespit edilmekte ve test sırasında görüntüler

alınmaktadır. Bu yöntem doğal olarak kusur tespitlerinde operatörün performansına bağlı olarak hatalı değerlendirmelere neden olabilmektedir. Operatörün görsel yeteneği; hem manyetik parçacık testlerinde hem de sıvı penetrant testlerinde malzeme yüzeyindeki herhangi bir kusuru tespit etmek için kritik öneme sahiptir. Bundan dolayı, operatörlerin muayene görevlerini etkin ve doğru bir şekilde yerine getirebilmeleri için görme keskinliklerinin belirli bir standardı karşılaması gerekir (Luk *et al.* 2007, Mohan and Poobal 2017, Li *et al.* 2020).

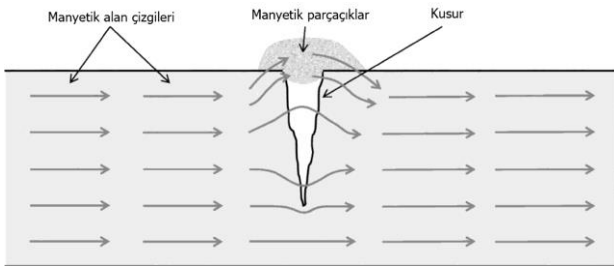
Bu çalışmada, MT uygulamalarında elde edilen görüntülerdeki kusurların tespit edilmesinde operatör hatalarını en aza indirmek amacıyla seçilen görüntü işleme algoritmalarının kullanıldığı bir sistem yaklaşımı önerilmektedir. Literatürde, tahribatsız muayene tekniği olan MT uygulamaları ile kusurların tespit edilmesini kolaylaştırmak ve insan kaynaklı hataları en aza indirmek amacıyla çeşitli görüntü işleme algoritmalarının kullanıldığı çalışmalar yer almaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada Ye vd. (2021), geleneksel MT cihazlarına kusurları otomatik tespit edebilen bir sistem kurmuşlardır. Geliştirdikleri sistemde, malzeme üzerindeki kusurları morötesi ışık altında açığa çıkan farklı tonlardaki renkleri bölütleyen bir dizi görüntü işleme algoritması kullanılmıştır. İşlem sonucunda elde edilen görüntüye ait özellikler sinir ağına verilmiş ve girdi ile çıktı arasındaki korelasyonu hesaplayan regresyon değerini 0.17 olarak elde etmişlerdir.

Tout vd. (2021) yaptığı bir çalışmada, kusurları tespit etmek için geleneksel görüntü işleme algoritmalarından ziyade günümüzde daha popüler olan evrişimli sinir ağlarını (ESA) kullanmışlardır. Bu model yaklaşık 50000 görüntü ile eğitilmiş olup yaklaşık olarak %99 doğruluk oranına sahiptir. Ma vd. (2016) yarı-otomatik floresans manyetik parçacık test sistemine, bilgisayar kontrollü bir görüntü işleme sistemi eklemişlerdir. Bu çalışma sonucunda çatlakların tespiti ve gösterimi için bir algoritma geliştirmişlerdir. Çatlak tespit algoritması,

morfolojik top-hat, eşikleme, gauss blur; bölütleme için morfolojik rekonstrüksiyon; kusur tanıma için çeşitli şekil ve renk özelliklerini kullanan çok ölçekli bir yapıdadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar tasarladıkları görüntüleme sistemi ve algoritmanın çatlakları tespitinde başarılı olduğunu göstermiştir.

2. Manyetik Parçacık Testi

Manyetik parçacık testi, ferromanyetik bir malzemedeki yüzey ve yüzeye yakın süreksizlikleri tespit etmek için malzemeye doğrudan veya dolaylı olarak manyetik özellik kazandırılması işlemidir (Şekil 1). Test edilecek malzemenin mıknatıslanmasının ardından manyetik sıvı ile yıkanarak ultraviyole (UV) ışık altında kontrol işlemi yapılmaktadır. Bu aşamada, test edilen malzemede yüzey ve yüzey altı kusurları mevcut ise manyetik parçacıklar (floresanlı demir tozları) UV ışık altında yüksek kontrastlı olarak görüntülenecektir. Bu testler sırasında görülen süreksizlikler standart veya şartnamelere bağlı olarak operatör tarafından değerlendirilmektedir. Bu yöntemin değerlendirmesindeki kısıtlardan biri, işlem sonucunun kesinliği operatörün deneyim ve bilgisine bağlı olmasıdır.



Şekil 1. Manyetik parçacık testinin malzeme yüzeyindeki süreksizlik tespitini gösteren model [Tout et al 2021]

3. Görüntü İşleme Algoritmaları

Literatürde, parçalardaki kusurların görüntü işleme algoritmaları ile tespit edilmesine yönelik çalışmalarda araştırmacılar gri renk formatında görüntüleri kullanmışlardır. Elde edilen görüntü üzerindeki görüntüleri azaltmak için medyan filtre ve benzeri filtreleri uygulamışlardır (Luo et al. 2014, Anzhong et al. 2020). Ayrıca (Luo et al. 2008, Anzhong et al. 2020), görüntünün kontrastını

arttırmak için görüntüyü histogram eşitleme işleminden geçirmişlerdir. Bununla birlikte Anzhong vd. (2020), eşit olmayan aydınlatma koşullarını dengelemek için gama düzeltme tabanlı bir aydınlatma algoritması kullanmışlardır.

Hoang (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada, ön işleme için Min-Max Gri Düzey Ayrımcılığı (M2GLD) isimli bir gri yoğunluk ayarlama yöntemi önerilmiştir. Önerilen bu yöntemle kusurların doğru tespit oranının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca kusurun tespiti için Otsu eşikleme yöntemi kullanılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

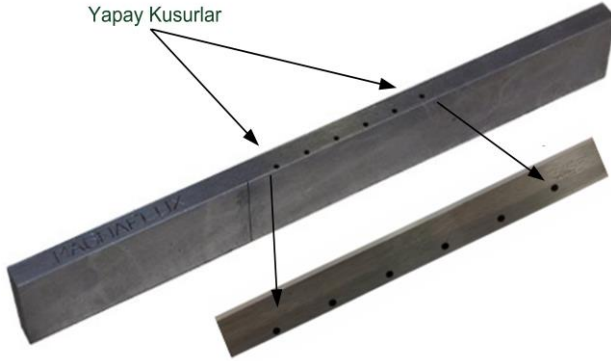
Liu ve Danczyk (2009), kaldırım görüntülerindeki çatlakları tespit etmek için belirli bir yönde belirli bir frekansa sahip içeriğin varlığını belirlemek amacıyla bir bölgedeki dokuyu doğrusal bir filtre olan Gabor filtresi kullanarak analiz etmişlerdir. Bu yöntemin karmaşık ve zengin yüzey dokusuna sahip malzemelerin çatlaklarını tespit etmede etkili olduğu görülmüştür.

Ayrıca Çelik (2020) demiryolu raylarının yapısında sık karşılaşılan kusurların tespit edilmesine yönelik yaptığı çalışmada görüntü işlemede yatay-yatay ve yatay-dikey algoritmalarını önermiştir. Önerdiği bu algoritmalarından yatay-dikey algoritması, %87.81 oranıyla ray temas bölgesini tespit etmiş ve sütun ortalama eşitleme yöntemiyle ray yüzeyindeki kusurlu alanların bulunabileceğini göstermiştir.

4. Yöntem

Tahribatsız muayenede manyetik parçacık testlerinde kalibrasyon amacıyla farklı geometrilerde çeşitli yapay kusurların bulunduğu referans blokları kullanılmaktadır. Böylece, MT uygulamalarında test parametrelerinin standartlara uygunluğunu kontrol edilmektedir. Şekil 2'de referans blok üzerinde çeşitli derinliklerde oluşturulmuş yapay kusurlar gösterilmektedir. Bu çalışma, manyetik parçacık testlerinde alınan görüntülerin sayısal ortama aktarılması ve sonrasında kusur tespiti amacıyla seçilen görüntü işleme teknik ve yöntemlerinin kullanıldığı bir görüntü işleme ve analizi yaklaşımı önermektedir.

Çalışmamız sırasında bloğun yüzeyinde yer alan kusurların görüntüleri alınmıştır ve seçilen görüntü işleme algoritmaları kullanılarak testler yapılmıştır.



Şekil 2. Referans Test Bloğu.

Tablo 1’de, referans bloğunun boyutları, blok üzerinde yer alan enine ve boyuna olacak şekilde oluşturulmuş tüm yapay kusurlara ait özellikler listelenmiştir.

Çizelge 1. Test bloğunun özellikleri. (Int Kyn. 1)

| Boyut (inç) | 10.0 x 1.25 x 0.375 |
|---|--|
| Yüzey Kusurları (Boy x Genişlik x Derinlik) | |
| Üst (inç) | Boyuna (2.0 x 0.005 x 0.040) Enine (0.063 x 0.005 x 0.020) |
| Alt (inç) | Boyuna (0.062 x 0.005 x 0.020) Enine (1.25 x 0.005 x 0.020) |
| Yüzeyaltı Kusurları | |
| Enine (inç) | 0.064 (çap) x 0.75 (delik derinliği) |
| | 1. 0.051 (yüzeyden) |
| | 2. 0.061 (yüzeyden) |
| | 3. 0.071 (yüzeyden) |
| | 4. 0.081 (yüzeyden) |
| | 5. 0.091 (yüzeyden) |
| 6. 0.131 (yüzeyden) | |
| Boyuna (inç) | 0.064 (çap) x 1.75 (delik derinliği) 0.093 (yüzeyden) |

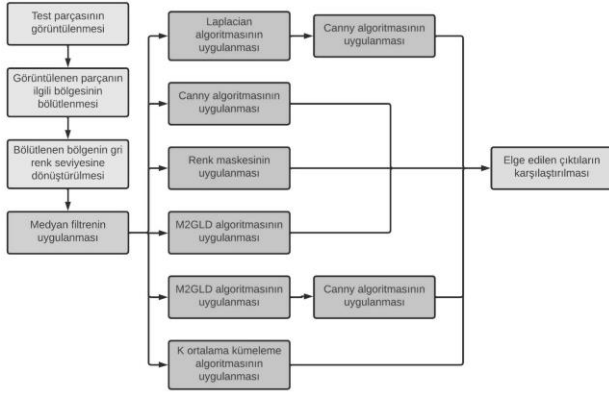
Bu çalışmada; kusurların tespitine yönelik önerilen bir iş akışı içerisinde ve temel görüntü işleme teknikleri ile tespit edilen kusurlar, referans test bloğu üzerindeki yapay kusurlarla karşılaştırılmıştır. Uygulama aşamasında, referans bloğu mıknatıslandıktan sonra manyetik sıvı ile yıkanmış ve bu işlem sırasında UV ışık altında görüntü alınmıştır (Şekil 3). Test sırasında alınan görüntü kaydedilerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



Şekil 3. Manyetik sıvı ile yıkanan referans bloğunun UV ışık altındaki görüntüsü.

MT işlemi sırasında alınan görüntü üzerinde, kusurların tespitine yönelik bir iş akışı içerisinde farklı görüntü işleme algoritmaları test edilmiştir (Şekil 4). Bu işlemler, Python programlama dilinin 3.9. versiyonunda gerçekleştirilmiş olup görüntü işleme algoritmalarını kullanmak için açık kaynak kodlu OpenCV (Open Source Computer Vision, Int Kyn. 2), matrisel işlemleri gerçekleştirebilmek için Numpy ve uygulanan algoritmaların sonuçlarını görüntülemek için Matplotlib kütüphaneleri kullanılmıştır. OpenCV, temel ve ileri görüntü işleme algoritmalarını içeren verimliliği yüksek ve gerçek zamanlı uygulamalar için tasarlanmış platformdur. Ayrıca bu platform istatistiksel sınıflandırma, video ve görüntüler için IO işlemleri ve temel veri yapılarını içeren bileşenlerden oluşmaktadır (Bradski and Kaehler 2008).

Test görüntülerinin sayısal ortama aktarılmasından sonra işlem yapılacak bölge seçilmiştir ve ardından görüntü gri renk formatına dönüştürülmüştür. Bu işlem sonrasında görüntü üzerindeki gürültüleri temizlemek amacıyla medyan filtresi 5x5 matris şeklinde uygulanmıştır.

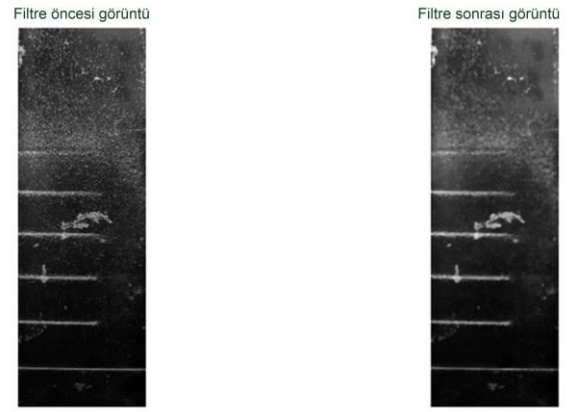


Şekil 4. Çalışma iş akışı ve kullanılan görüntü işleme yöntemleri.

Medyan filtresi (5x5) uygulandıktan sonra görüntü üzerinde altı farklı yaklaşım test edilmiş olup ilk yaklaşım olarak Laplacian ve Canny algoritmaları uygulanmıştır. İkinci yaklaşım, sadece Canny algoritması kullanılmasıdır. Diğer bir yaklaşım ise referans bloğu yüzeyindeki kusurların kontrastının arka plandan yüksek olması dolayısıyla filtrelenmiş görüntüye renk maskesi uygulanmasıdır. Çalışmamızda, kullandığımız başka bir yaklaşım ise Hoang (2018) tarafından önerilen M2GLD algoritmasıdır. Görüntülere hem M2GLD algoritması hem de bu algoritma ile birlikte Canny algoritması uygulanmıştır. Çalışmamızda kullanılan son yaklaşım ise K Ortalama Kümeleme algoritması uygulanarak kusurların bölütlenmesidir. K Ortalama Kümeleme algoritmaları farklı alanlarda görüntü bölütleme amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu algoritma ile aynı türden nesnelere özelliklerine göre, benzer kümeler ayrılmaktadırlar. Böylece görüntü işleme sırasında özellikleri belirlenmiş olan nesnelere, benzerlik oranlarına göre farklı sınıflarda kümelenebilmektedirler (Rakesh and Ravi 2012, Eksi and Cakiroglu 2012). Elde edilen küme içindeki verilerin benzerliklerinin maksimum, kümeler arasındaki benzerliklerin ise minimum olması hedeflenmektedir.

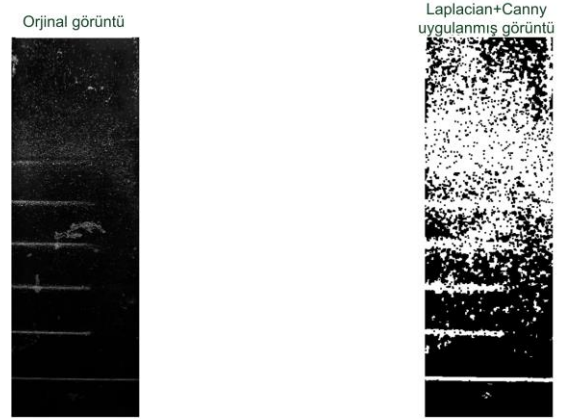
5. Sonuç

Gri renk formatına dönüştürülen referans bloğunun görüntüsüne 5x5'lik matris şeklinde uygulanan medyan filtresinin çıktısı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Görüntüye medyan filtre uygulanmadan önceki durum (sol), Görüntüye medyan filtre uygulandıktan sonraki durum (sağ).

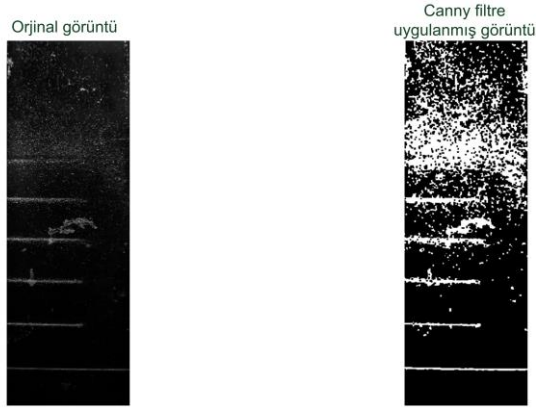
Çalışmamızda kullanılan yaklaşımlardan ilki olan Laplacian ve Canny algoritmalarının ürettiği sonuçlar Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Görüntüye Laplacian ve Canny algoritmalarının uygulanmasının ardından oluşan sonuç.

Laplacian ve Canny algoritmaları test bloğu üzerinde yer alan 6 kusurun yalnızca 2 tanesini tespit edebilmiştir. Diğer kusurlar net bir şekilde belirlenememiştir. Tespit edilen kusurlar gürültülüdür.

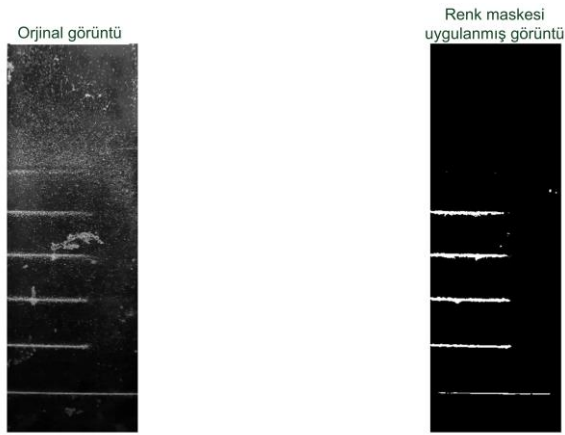
İkinci yaklaşım olarak sadece Canny algoritmasının uygulanması test edilmiştir. Canny algoritması kullanılarak elde edilen görüntü Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Görüntüye sadece Canny algoritmasının uygulanmasının ardından oluşan sonuç.

Görüntüye sadece Canny algoritması uygulanması sonucu 6 kusurdan 5 tanesi tespit edilmiştir. Yüzeyden 0.131 inç derinlikteki kusur tespit edilememiştir. Tespit edilen kusurlar Laplacian ve Canny algoritmalarının birlikte uygulandığı duruma göre daha net olmakla beraber bir miktar gürültü içermektedir.

Bu aşamada uygulanan diğer bir yaklaşım ise renk maskesinin kullanılmasıdır. Şekil 8'de renk maskesi uygulanması sonucu elde edilen görüntü verilmiştir.

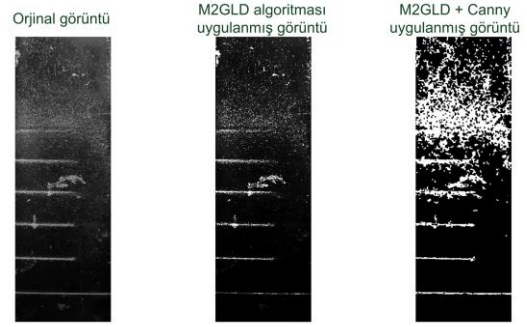


Şekil 8. Görüntüye renk maskesinin uygulanmasının ardından ortaya çıkan sonuç.

Renk maskesi uygulanmasının ardından ortaya çıkan sonuca göre 6 kusurdan 5 tanesi, net ve gürültüsüz olarak tespit edilebilmiştir. En derin kusur ise tespit edilememiştir.

Çalışmamızda önerilen başka bir yaklaşım ise olan M2GLD algoritmasıdır. Şekil 9'da ilk olarak M2GLD algoritmasının uygulanması ve sonrasında Canny

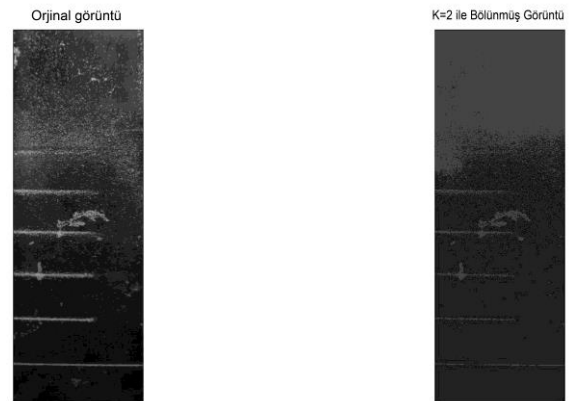
algoritmasının kullanılması ile elde edilen görüntü verilmiştir.



Şekil 9. Görüntüye M2GLD algoritmasının ve M2GLD uygulanan görüntüye Canny algoritmasının uygulanması sonucu ortaya çıkan sonuçlar.

M2GLD algoritması, 6 kusurdan 6 tanesini tespit edebilmesine rağmen yüzeye en yakın olan kusur (0.051 inç) ve en derindeki kusur (0.131 inç) net bir şekilde tespit edilememiştir. Tespit işleminde başarılı olmasına rağmen gürültülü olan çıktılara Canny algoritması uygulanması sonucu en yakındaki kusur daha net tespit edilirken en uzaktaki kusur tespit edilememiştir.

Önerilen son yaklaşım ise K Ortalama Kümeleme algoritmasının kullanılmasıdır. Şekil 10'da referans bloğuna K Ortalama Kümeleme algoritması uygulanması sonucu elde edilen görüntü verilmiştir.



Şekil 10. Görüntüye K Ortalama Kümeleme algoritmasının uygulanması sonucu ortaya çıkan sonuç.

K Ortalama Kümeleme algoritması uygulanmasının sonucu olarak 6 kusurdan 5'i tespit edilmiştir. Yüzeyden en uzak kusur tespit edilememiştir. Uygulanan bu algoritma, kusurları daha net bir

şekilde tespit etmiştir. Ancak bazı gürültüleri ve istenmeyen bölgeleri de tespit etmiştir.

Çalışmamızdaki tüm sonuçlar özetlenirse, M2GLD algoritması test bloğunda yer alan tüm kusurlar tespit etmeyi başarmıştır. Laplacian ve Canny algoritmaları birlikte uygulandığında sadece 2 kusur tespit edilebilmiştir. Diğer algoritmalar ise 5 kusuru tespit edebilmişlerdir. Tablo 2’de uygulanan algoritmaların tespit oranları verilmiştir.

Çizelge 2. Görüntülere uygulanan algoritmaların tespit ettiği kusur sayısı ve oranı.

| Uygulanan Algoritmalar | Tespit Edilen Kusur Sayısı | Tespit Oranı |
|------------------------|----------------------------|--------------|
| Laplacian ve Canny | 2 | %33 |
| Canny | 5 | %83 |
| Renk Maskesi | 5 | %83 |
| M2GLD | 6 | %100 |
| M2GLD ve Canny | 5 | %83 |
| K Ortalama Kümeleme | 5 | %83 |

6. Tartışma

Bu çalışmada, MT işlemleri sırasında test edilen parçanın görüntüleri üzerinden kusur tespitine yönelik olarak iş akışı içerisinde literatürde mevcut olan Laplacian, Canny ve Renk Maskesi algoritmaları ve ayrıca literatüre yeni kazandırılmış M2GLD algoritması kullanılmıştır. Diğer taraftan, bu çalışma ile beraber literatüre yeni bir bakış açısı kazandırabilecek K Ortalama Kümeleme algoritması kullanılmıştır.

M2GLD algoritması referans blok üzerinde yer alan 6 yapay kusurun tamamını tespit ederek denenen algoritmalar arasında en yüksek tespit oranına sahip olmuştur. Canny algoritması ile yapılan uygulamada ise referans blok üzerinde yer alan kusurlardan sadece en derin olan kusuru tespit edememiştir. Bu algoritmanın tespit ettiği kusurlarda gürültü miktarı fazladır. Bu algoritmaya ek olarak Laplacian algoritması uygulandığında tespit oranı düşmüştür.

Çalışmamızda önerilen ve konu ile ilgili literatüre yeni bir bakış kazandırabilecek K Ortalama Kümeleme algoritmasının referans blok üzerindeki yapay kusurların 5’ini tespit edebilmiştir.

Bu çalışmada tahribatsız muayene tekniklerinden biri olan yüzey ve yüzeye yakın kusurların tespitinde yaygın olarak kullanılan manyetik parçacık muayenesinde tespit oranlarını iyileştirmeye yönelik mevcut görüntü işleme algoritmalarının yanı sıra literatürde yeni yer alan M2GLD ve K Ortalama Kümeleme algoritmaları test edilmiştir. Bu 2 yeni yaklaşımdan, M2GLD algoritması yüksek gürültü bağışıklığına sahip olması dolayısıyla K Ortalama Kümeleme algoritmasına göre daha net sonuçlar vermiştir.

Gelecek çalışmalarımızda, başarılı sonuçlar elde ettiğimiz yaklaşımlar geliştirilerek manyetik parçacık muayenesinde kullanılan farklı test blokları ve endüstriyel malzemeler ile testler yapılacaktır.

Literatürde mevcut olan ve geleneksel görüntü işleme yöntemlerinin yerine yüksek başarı oranlarına sahip yapay derin sinir ağları, veri sayısı yetersizliği nedeniyle test edilememiştir. İleriye dönük çalışmalarda yeterli veri sayısı oluşturulduğunda yapay derin sinir ağlarının kullanılması planlanmaktadır.

Teşekkür

Ege Üniversitesi Havacılık Meslek Yüksekokulu Öğretim Görevlisi Alperen Doğru’ ya NDT Laboratuvarı’nda yapılan test çalışmalarındaki katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

7. Kaynaklar

- Anzhong, Z., Xinyang, H., Minyu, J. and Xiukun, W., 2020. Multitarget defect detection of railway track based on image processing. 2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), IEEE, 3377-3382.
- Bradski, G. and Kaehler, A., 2008. Learning OpenCV. O’Reilly Media Inc.
- Çelik, A., 2020. Demiryolu Ray ve Kusurlarını Tespit Etmek İçin Geliştirilen İki Yeni Yöntem. Demiryolu Mühendisliği, 12, 52-63. doi:10.47072/demiryolu.737624
- Eksi, Z. and Cakiroglu M., 2012. Performance evaluation of the popular segmentation algorithms for bone fracture detection. AWERProcedia Information Technology & Computer Science, 1: 1245–1249.

- Hoang, N.D., 2018. Detection of surface crack in building structures using image processing technique with an improved otsu method for image thresholding. *Advances in Civil Engineering*, 1-10.
- Li, L., Yang, Y., Cai, X. and Kang, Y., 2020. Investigation on the formation mechanism of crack indications and the influences of related parameters in magnetic particle inspection. *Applied Science*, **10**, 6805, 1-16.
- Liu, H.X. and Danczyk, A., 2009. Optimal sensor locations for freeway bottleneck identification. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **24**, 8, 535–550.
- Luk, B.J. and H.S. Chan, A.H.S., 2007. Human factors and ergonomics in dye penetrant and magnetic particles nondestructive inspection methods. *Engineering Letters*.
- Luo, J., Tian, Z. and Yang, J., 2014. Fluorescent magnetic particle inspection device based on digital image processing. *Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, IEEE*, 5677-5681.
- Luo, Y., Qu, P. and Dong, W., 2008. Fault diagnose of aero engine based on digital image processing. 2008 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2008), IEEE Xplore.
- Ma, T., Sun, Z., Zhang, W. and Chen, Q., 2016. A machine vision assisted system for fluorescent magnetic particle inspection of railway wheelsets. *AIP Conference Proceeding*, 1706, **1**.
- Mohan, A. and Poobal, S., 2017. Crack detection using image processing: A critical review and analysis. *Alexandria Engineering Journal*, 1-17.
- Rakesh, M. and Ravi, T., 2012. Image Segmentation and Detection of Tumor Objects in MR Brain Images Using Fuzzy C-Means (FCM) Algorithm. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2088-2094.
- Shull, P.J., 2001. *Nondestructive evaluation theory, Techniques, and Applications*. CRC Press.
- Tout, K., Meguenani, A., Urban, J.P. and Cudel, C., 2021. Automated vision system for magnetic particle inspection automated vision system for magnetic particle inspection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **1**, 3307-3326.
- Ye, J.H., Ni, R.H. and Hsu, Q.C., 2021. Image feature analysis for magnetic particle inspection of forging defects. *Journal of Engineering Manufacture*, 1-7.

İnternet Kaynakları

- 1- https://www.magnaflux.com/Files/Product-Data-Sheets/Accessories/Magnetic-Particle-Test-Bar_Product-Data-Sheet_English.pdf, (16.06.2022)
- 2- <https://opencv.org/>, (05.01.2023)