

GÖMÜLÜ SİSTEM TABANLI BİR HATALI ÜRÜN TESPİT SİSTEMİ

Raif Burak BAYRAM *
Ersen YILMAZ **

Alınma: 11.02.2019 ; düzeltme: 02.04.2019 ; kabul: 03.04.2019

Öz: Bu çalışmada, metal sektöründe kullanılmak üzere gömülü sistem tabanlı bir hatalı ürün tespit sistemi geliştirilmiştir. Ürün grubu olarak sektörde sıklıkla üretilen ve dairesel boşluklar içeren sac levhalar seçilmiştir. Levhalar üzerindeki dairesel boşluklara ait bilgiler dairesel Hough dönüşümü kullanılarak elde edilmiştir. Hatalı ürünlerin tespiti referans görüntü kullanılarak karşılaştırma yoluyla yapılmıştır. Gömülü sistem olarak Raspberry Pi Model 3 B+ seçilmiştir. Geliştirilen sistemin başarımlı incelemesi çalışmaya özel oluşturulmuş farklı çözünürlükteki görüntü kümeleri üzerinde yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda geliştirilen sistemin 10MP çözünürlükteki görüntü kümesinde %96,29 doğruluk oranına sahip olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ürün hata tespiti, Görüntü işleme, Gömülü sistem, Hough dönüşümü

An Embedded System Based Product Defect Detection System

Abstract: In this work, an embedded system based product defect detection system has been developed for the metal industry. As a test product, sheet metal plates which are used very often in the metal industry containing circular holes have been used. The geometrical information about the holes on the plates have been obtained using Hough circular transformation. Detection of defective products was made by comparison using the reference image. As an embedded system Raspberry Pi Model 3 B+ have been used. Performance analysis of the developed system have been carried out on a special image sets having different resolutions which are obtained for the study. Based on the experimental results it has been shown that the developed system reached 96.29% accuracy rate for the image set with 10MP resolution.

Keywords: Product defect detection, image processing, embedded system, Hough transform

1. GİRİŞ

Metal sektöründe üretilen ürünlerin kalite kontrol işlemleri genellikle klasik yaklaşımlarla yapılmaktadır. Özellikle, alevli kesim süreçlerinde hatalı ürün tespiti operatör ölçümleri ile gerçekleştirilmektedir. Sektöre yönelik gömülü sistem tabanlı uygulamalar ile operatör kaynaklı hatalar azaltılırken ürün kalite kontrolleri ise daha hassas yapılabilmektedir.

Gömülü sistem (GS) tabanlı kontrol sistemleri, yeteneklerinin artması ve maliyetlerinin düşmesi sebebiyle, klasik yöntemlerin yerini hızla almaya başlamıştır. GS'ler özel bir amacı gerçekleştirmek için geliştirilmiş, sınırlandırılmış donanım bileşenlerine sahip sistemlerdir. Bu sistemler, tüketici elektroniğinden savunma sanayine uzanan çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır (Okyay, 2006). Literatürde ürün tespiti, kalitesi ve hata kontrolünü amaçlayan

* R. B. Bayram Baykal Makine Organize Sanayi Bölgesi Lacivert Cd. 2. Sk. No: 1/A 16140 Nilüfer, Bursa

** E. Yılmaz Bursa Uludağ Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü 16059 Görükle, Bursa.

İletişim Yazarı: Raif Burak Bayram (raifburakbayram@gmail.com)

görüntü işleme temelli çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların önemli bir kısmı GS tabanlı çözümler önermektedir. Son yıllarda, GS olarak Raspberry Pi (R-pi) kullanımına olan ilgi artmıştır (Kaymak, 2016; Öztürk ve diğ. 2015; Boyraz ve Yıldız, 2016; Erken ve Urhan, 2017; Berki ve diğ., 2017; Al-Saffar ve Erçelebi, 2017).

Kaymak (2016) tarafından yapılan uygulamada bir R-pi tabanlı sistem ile nesne tanıma ve konum tespiti yapılmaktadır. Bu sistemde nesnenin istenilen konuma taşınması bir robot kol aracılığı ile gerçekleştirilmektedir.

PI denetimli ve görüntü işlemeye dayanan GS tabanlı bir nesne takibi uygulaması Öztürk ve diğ. (2015) tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada morfolojik işlemler ve medyan filtresi kullanılarak nesne belirlenmekte ve nesnenin ağırlık merkezinin bulunduğu piksel aracılığı ile takibi sağlanmaktadır.

Boyraz ve Yıldız (2016) tarafından yapılan çalışmada kızılötesi kamera kullanılarak R-pi tabanlı bir damar görüntüleme sistemi önerilmiştir. Bu çalışmada, 72 kişinin sağ ve sol ellerinden alınan görüntüler üzerinde görüntü işleme yöntemleri aracılığı ile damar tespiti yapılmaktadır.

Nesnelerin interneti yaklaşımını kullanan R-pi tabanlı bir bebek uyku takip sistemi Erken ve Urhan (2017) tarafından yapılmıştır. Bir kamera aracılığı ile izlenen bebeğin hareket eşik değerinin aşılması durumunda ebeveyne video yayının başlatılması sağlanmaktadır.

Berki ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada kiraz meyvesinin ağaçta tespit edilerek insan gücü kullanılmadan toplanmasını hedefleyen bir çalışmanın ilk aşaması gerçekleştirilmiştir. R-pi tabanlı bir GS ile meyvenin tespiti yapılmaktadır.

R-pi tabanlı uzaktan kontrollü bir akıllı kontrol sistemi Al-Saffar ve Erçelebi (2017) tarafından önerilmiştir. Kontrol sistemi hareket algılayıcısından aldığı bilgiye göre uyarım işlemlerini gerçekleştirmektedir.

Küçükmanisa ve Urhan (2017) tarafından yapılan uygulamada GS tabanlı ve gerçek zamanlı bir sürücü uyarı sistemi sunulmuştur. Sistem aracın şeritten ayrılması durumunu görüntü işleme yöntemleri yardımıyla tespit ederek sürücüye uyarı vermektedir.

Metal sektörünü hedefleyen bilgisayar destekli bir hatalı ürün tespit sistemi çalışması Bayram ve Yılmaz (2018) tarafından sunulmuştur. İlgili sistem bilgisayar temelli olup morfolojik işlemler ile Hough dairesel dönüşümünün başarımlarını karşılaştırmalarını yapmıştır. Çalışma sonucunda GS tabanlı geliştirilecek bir sistemde Hough dairesel dönüşümünün kullanılması önerilmiştir.

Bu çalışmada metal sektöründe kullanılmak üzere GS tabanlı bir hatalı ürün tespit sistemi geliştirilmiştir. Sistemde GS olarak R-pi kullanılmıştır. Hata kontrolü yapılacak levhaların görüntüleri bir kamera aracılığı ile alınmıştır. Hatalı ürünlerin tespiti geometrik şekillerin belirlenmesine dayanmaktadır. Geometrik şekillerin belirlenmesi işlemi Bayram ve Yılmaz (2018)'de önerilen yöntem olan Hough dairesel dönüşümü ile yapılmıştır. Geliştirilen sistemin başarımlarını incelemesi 0.3MP, 1.2MP, 5MP ve 10MP çözünürlüklere sahip görüntü kümeleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

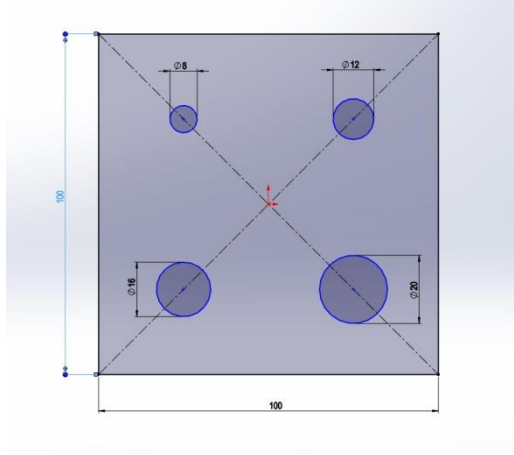
Geliştirilen sistemin düşük maliyeti ve yüksek başarımlar özellikleriyle metal sektörüne yönelik gerçek zamanlı hatalı ürün tespitlerinde başarılı bir biçimde kullanılabileceği deneysel çalışmalarla gösterilmiştir. Kullanılan görüntü kümesi Bayram ve Yılmaz (2018) tarafından yapılan çalışmada da kullanılmıştır. Geometrik şekillerin tespitinde dairesel Hough dönüşümünün morfolojik işlemlere göre daha başarılı sonuçlar verdiği ilgili çalışmada sunulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Görüntü Kümesi

Bu çalışmada önerilen hatalı ürün tespit sisteminin başarımlarını incelemesi için çalışmaya özel bir görüntü kümesi kullanılmıştır. Görüntü kümesi lazer kesim makinesi tarafından kesilen

10mmx10mmx1mm boyutlarına sahip ve üzerinde 4 adet dairesel boşluk (delik) bulunan 27 adet sac levha görüntüsünden oluşmaktadır. Levhalar kesilirken delik çapları tolerans içinde ve dışında olacak şekilde çeşitlendirilmiştir. Bu levhalardan 7 tanesinde tüm delikler tolerans içinde yer alırken 20 tanesi tolerans dışında olacak şekilde kesilmiştir. Tolerans dışında yer alan levhaların 7 tanesinde yalnızca 1 delik, 6 tanesinde 2 delik, 5 tanesinde 3 delik ve 2 tanesinde ise bütün delikler tolerans dışındadır. Tolerans içerisinde yer alan ölçülere sahip bir örnek levha görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.

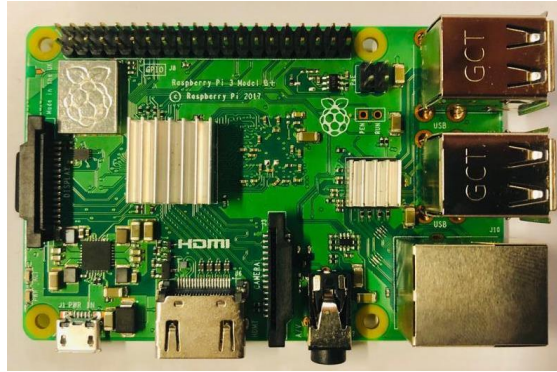


Şekil 1:
Tolerans içinde yer alan levha

2.2. Kamera

Bu çalışmada kullanılan görüntüler 4.3mm odak uzunluğuna, 83 derece görüş açısına ve 30 fps hıza sahip bir kamera aracılığı ile çekilmiştir. Her bir levha için 0.3MP, 1.2MP, 5MP ve 10MP çözünürlükte görüntüler alınmıştır.

2.3. Raspberry Pi (R-pi)



Şekil 2:
R-pi Model 3B+ Kartı

R-pi çoğunlukla eğitim amacı için kullanılan küçük boyutlu ve uygun maliyetli bir GS’dir. Açık kaynak kodlu Debian üzerinde temellendirilmiş bir işletim sistemi olan Raspbian ile uygun biçimde çalışmaktadır. Bu çalışmada Şekil 2’de verilen 1.4 GHz 64 bit dört çekirdekli bir işlemciye sahip R-pi 3 Model B+ tercih edilmiştir (raspberrypi.org, 2019)

2.4. Dairesel Hough Dönüşümü

Hough dönüşümü x, y düzleminde yer alan bir noktanın parametre uzayına dönüşümü olarak tanımlanmaktadır (Duda ve Hart, 1972; Pedersen, 2007). x, y düzleminde yer alan (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) noktalarından geçen bir doğrunun denklemi kartezyen koordinat sisteminde aşağıdaki biçimde tanımlanır:

$$y = ax + b \quad (1)$$

burada a ve b doğrunun parametreleridir.

Hough dönüşümü doğruların gösteriminde (1) denklemini kullanmaz, onun yerine bir doğruyu kendi normalinin açısı θ ve onun orijinden cebirsel uzaklığı olan ρ ile (2) denkleminde verildiği biçimde karakterize eder (Duda ve Hart, 1972).

$$\rho = x\cos(\theta) + y\sin(\theta) \quad (2)$$

Dairelerin parametre uzayında gösterimleri doğrulara göre daha kolaydır. Bir dairenin denklemi (3) ile verilir.

$$r^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2 \quad (3)$$

Burada a ve b parametreleri dairenin x, y eksenlerindeki merkezini ve r ise yarıçapını göstermektedir. Bu durumda dairenin parametrik gösterimi (4) ve (5) denklemleri ile ifade edilir.

$$x = a + r\cos(\theta) \quad (4)$$

$$y = b + r\sin(\theta) \quad (5)$$

Böylece daire için oluşturulan parametre uzayı üç boyutlu reel sayılar kümesine ait olacaktır. Dairenin parametrik gösterimini basitleştirmek için genellikle yarıçap sabit tutularak veya sınırlı bir yarıçap bölgesi içinde kalınarak iki boyutlu reel sayılar uzayında çalışılır (Pedersen, 2007).

2.5. Başarım İncelemesi

Önerilen hatalı ürün tespit sisteminin başarım incelemesi yapılırken hata matrisi kullanılmış ve başarım kriterleri olarak doğruluk, duyarlılık ve özgüllük hesaplanmıştır. Bu çalışmada ele alınan problem hatalı ürün (tolerans dışı) ve normal ürün (tolerans içi) olmak üzere iki sınıflıdır. İki sınıflı bir sınıflandırma problemine ait hata matrisi, doğruluk, duyarlılık ve özgüllük tanımları Tablo 1 ve (6)-(8) denklemleri ile verilmiştir (Kohavi ve Provost, 1998; Yılmaz, 2016).

Tablo 1. Hata matrisi

Karar Verilen	Gerçek	
	Pozitif	Negatif

Pozitif	<i>DP (Doğru Pozitif)</i>	<i>YP (Yanlış Pozitif)</i>
Negatif	<i>YN (Yanlış Negatif)</i>	<i>DN (Doğru Negatif)</i>

$$\text{Doğruluk} = (DP + DN)/(DP + YP + DN + YN) \quad (6)$$

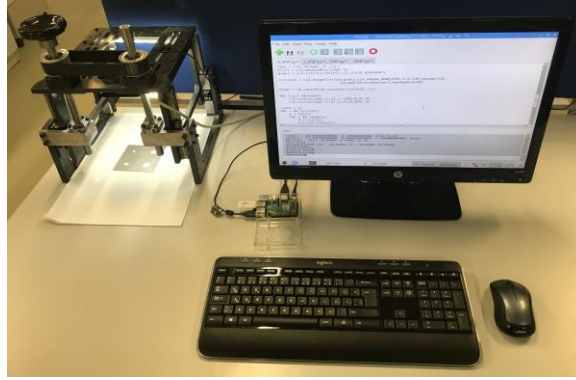
$$\text{Duyarlılık} = DP/(DP + YN) \quad (7)$$

$$\text{Özgüllük} = DN/(YP + DN) \quad (8)$$

3. DENEYLER

3.1. Deney Ortamı

Bu çalışmada önerilen sistemin başarımlı incelemesi yapılırken Şekil 3'te verilen deney ortamı kurulmuştur.



Şekil 3:
Deney Ortamı

Levhalara ait görüntülerin eşit uzaklık ve ışık şiddeti altında çekilmesini sağlamak amacıyla kamera bir düzenek ile sabitlenmiştir. R-pi'de koşturulan program Python kullanılarak yazılmıştır. Görüntü işleme yöntemleri kullanılırken açık kaynak kodlu OpenCV kütüphanesinden yararlanılmıştır (opencv.org, 2019). Önerilen sistemin geliştirilme süreçlerinde bir ekran aracılığı ile izleme gerçekleştirilmiştir.

3.2. Gerçeklemeler

Detayları Bölüm 2.1'de verilen 27 adet sac levhaya ait görüntüler dört farklı (0.3MP, 1.2MP, 5MP ve 10MP) çözünürlükte alınmıştır. Görüntüler önışlemeden geçirildikten sonra Hough dönüşümü aracılığı ile deliklerin sayı, konum ve çap bilgileri elde edilmiştir. Daha sonra, referans levha özellikleri ile karşılaştırılarak istenilen tolerans (%10) içerisinde olup olmadıkları kararı verilmiştir. Kamera çözünürlüğünün başarımlı etkisi detaylı bir biçimde incelenerek doğruluk, duyarlılık ve özgüllük ölçütleri kullanılarak verilmiştir. Duyarlılık ölçütü ile sistem tarafından hatalı ürün olarak sınıflandırılan ürünler içerisinde yer alan ve gerçekte hatalı olan ürünlerin oranı ifade edilmektedir. Özgüllük ölçütü ile ise; sistem tarafından normal ürün olarak sınıflandırılan ürünler içerisinde yer alan ve gerçekte normal olan ürünlerin oranı gösterilmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda kameranın 0.3MP ve 1.2MP çözünürlüğü için hatalı ürün tespit başarım sonucunun aynı olduğu gözlenmiştir. Her iki çözünürlük için elde edilen sonuçlara ait hata matrisi Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. 0.3MP ve 1.2MP çözünürlükleri için hata matrisi

Karar Verilen	Gerçek Durum	
	<i>Hatalı Ürün</i>	<i>Normal Ürün</i>
<i>Hatalı Ürün</i>	20	3
<i>Normal Ürün</i>	0	4
Toplam	20	7

0.3MP ve 1.2MP çözünürlüğü için hata matrisi üzerinden doğruluk, duyarlılık ve özgüllük oranları sırasıyla %88,88, %100 ve %57,14 olarak elde edilmiştir.

Kameranın 5MP çözünürlüğü için elde edilen sonuçlarına ait hata matrisi Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. 5MP çözünürlüğü için hata matrisi

Karar Verilen	Gerçek Durum	
	<i>Hatalı Ürün</i>	<i>Normal Ürün</i>
<i>Hatalı Ürün</i>	20	2
<i>Normal Ürün</i>	0	5
Toplam	20	7

5MP çözünürlüğü için hata matrisi üzerinden doğruluk, duyarlılık ve özgüllük oranları sırasıyla %92,59, %100 ve %71,42 olarak elde edilmiştir.

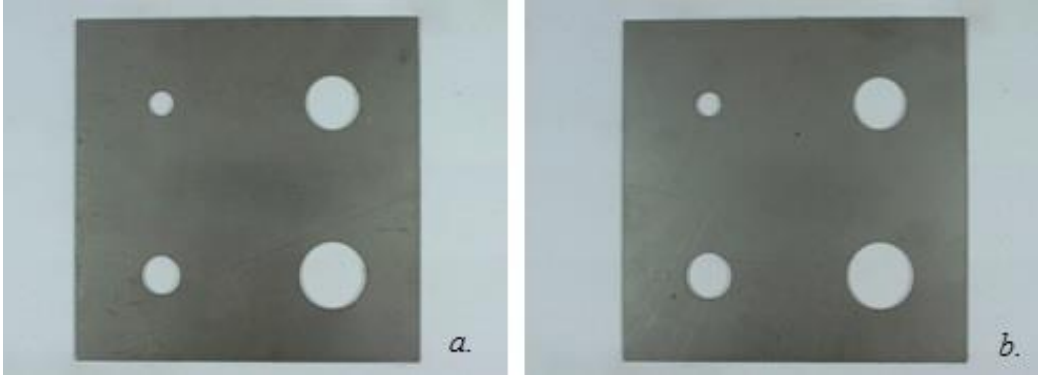
Kameranın 10MP çözünürlüğü için elde edilen sonuçlarına ait hata matrisi ise Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 10MP çözünürlüğü için hata matrisi

Karar Verilen	Gerçek Durum	
	<i>Hatalı Ürün</i>	<i>Normal Ürün</i>
<i>Hatalı Ürün</i>	20	1
<i>Normal Ürün</i>	0	6
Toplam	20	7

10MP çözünürlüğü için hata matrisi üzerinden doğruluk, duyarlılık ve özgüllük oranları sırasıyla %96,29, %100 ve %85,71 olarak elde edilmiştir.

10MP çözünürlükteki görüntü kümesinde yer alan bir normal ve bir hatalı sınıflandırma sonucuna ait birer adet görüntü örneği Şekil 4’te verilmiştir.

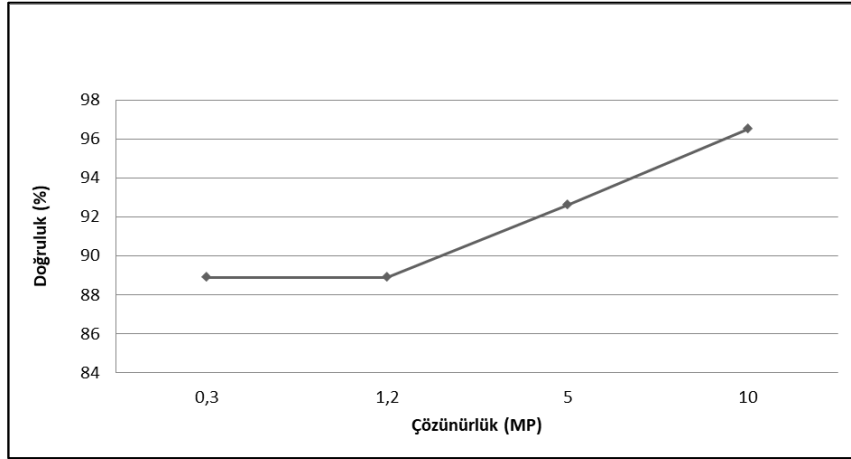


Şekil 4:

a. Doğru Parça b. Hatalı Parça

4. TARTIŞMA

Dört farklı çözünürlüğe sahip görüntü kümeleri için önerilen sistemin başarımlarına ait hata matrisleri Tablo 2-Tablo 4’de verilmiştir. İlgili tablolar incelendiğinde 0.3MP ve 1.2MP için aynı doğruluk oranı olan %88,88 değerinin elde edildiği görülmüştür. Kamera çözünürlüğünün 5MP ve 10MP değerleri için %92,59 ve %96,29 doğruluk oranları elde edilmiştir. Kamera çözünürlüğü ile önerilen sistemin doğruluk oranı değişim grafiği Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5:

Önerilen sistemin çözünürlük-doğruluk oranı değişimi

Hata matrisleri incelendiğinde önerilen sistemin dört farklı çözünürlük değeri için duyarlılığının %100 olduğu, başka bir anlatımla hatalı kesilen levhaların tamamını hatalı olarak tespit ettiği görülmektedir. Sistemin hatası tolerans içerisinde yer alan levhalardan bazılarının hatalı olarak tespit edilmesinden kaynaklanmaktadır, bu durum özgüllük oranı ile görülmektedir. Fakat çözünürlük arttıkça sistemin hatası azalmakta, özgüllük oranı ve sistem doğruluğu artmaktadır. 10MP çözünürlük için sadece tolerans içerisinde yer alan bir levhanın hatalı olarak tespit edildiği, özgüllük oranının %85,71 ve doğruluk oranının %96,29 olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan görüntü kümesine ait 0.3MP çözünürlüğündeki görüntüler Bayram ve Yılmaz (2018) tarafından yapılan çalışmada da kullanılmıştır. İlgili çalışmada hatalı ürün tespiti yapılırken dairesel Hough dönüşümü ve morfolojik işlemlere dayanan iki farklı yaklaşım

denenmiştir. Bayram ve Yılmaz (2018) tarafından elde edilen sonuçlar ile bu çalışmadaki sonuçların doğruluk ölçütü kullanılarak yapılan karşılaştırması Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. 0.3MP çözünürlük için karşılaştırma tablosu

Yöntem	Doğruluk
Bayram ve Yılmaz (2018), Morfolojik İşlemler	%81,00
Bayram ve Yılmaz (2018), Dairesel Hough	%89,00
Bu çalışma, Dairesel Hough	%88,88

5. SONUÇ

Bu çalışmada, metal sektörüne yönelik hatalı ürünlerin tespitini yapan R-pi tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Önerilen sistemde yer alan kamera aracılığı ile kontrol edilmek istenilen sac levhanın görüntüsü alınmaktadır. Önışlemeden geçirilen görüntülere Hough dairesel dönüşümü uygulanarak üzerlerinde yer alan deliklerin sayısı, çapı ve konum bilgileri elde edilmektedir. Bu bilgiler referans ürün bilgileri ile karşılaştırılarak tolerans içinde olup olmadıkları kararı verilmektedir.

Önerilen sistemin başarımlı incelemeleri bu çalışma sırasında elde edilmiş ve 27 adet levhaya ait dört farklı çözünürlükte çekilmiş görüntü kümeleri kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları hata matrisleri aracılığı ile detaylı bir biçimde sunulmuştur.

Deney sonuçları göz önüne alındığında önerilen R-pi tabanlı sistemin metal sektöründe delik içeren sac levhaların hata kontrollerinin otomatik biçimde yapılması süreçlerinde başarılı biçimde kullanılabileceği görülmüştür.

Gelecek çalışmalar kapsamında dairesel şekiller dışındaki diğer geometrik şekillerin tespitini yapan yüksek başarımlı sahip GS tabanlı sistemlerin geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Al-Saffar, H. ve Erçelebi, E. (2017) Development of smart security system for remote control using small computer, *Turkish Journal of Science & Technology*, 12(2), 107-112.
2. Bayram, R. B. ve Yılmaz, E. (2018) Metal sektörü için bilgisayar destekli bir hatalı ürün tespit sistemi, *ICONDATA International Conference on Data Science and Applications*, Yalova, 333-342.
3. Berki, K., Artan, K. ve Orhan M. (2017) Ağaçtaki Kirazın Tespit Edilmesi, *MCBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2(24), 93-104.
4. Boyraz, Ö. ve Yıldız, M. Z. (2016) Mobil damar görüntüleme cihazı tasarımı, *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES)*, Alanya, 159-168.
5. Duda, R. O. ve Hart, P.E. (1972) Use of the Hough transformation to defect lines and curves in pictures, *Communications of the ACM*, 15(1), 11-15.
6. Erken, E. ve Urhan, O. (2017) Nesnelerin interneti tabanlı bebek uyku takip sistemi, *34. TBD National Informatics Symposium*, Ankara, 65-68.
7. Kaymak, Ç. (2016) Raspberry pi devre kartı kullanılarak nesne bulma ve tanıma algoritmalarının bir robot kol üzerine uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
8. Kohavi, R. ve Provost, F. (1998) Glossary of terms, *Machine Learning*, 30(2-3), 271-274.

9. Küçükmanisa, A. ve Urhan, O. (2017) Gömülü bir platform üzerinde gerçek zamanlı şeritten ayrılma uyarı sistemi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 1287-1300. doi:10.17341/gazimmfd.369719
10. Okyay, T. (2006) Gömülü sistemlerle bir kontrol sistemi tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
11. <https://opencv.org/>, Son Erişim Tarihi: 04.02.2019.
12. Öztürk, T., Albayrak, Y. ve Polat, Ö. (2015) Gömülü sistemlerle görüntü işleme ve PI denetimli nesne takibi, *SIU 2015 IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Malatya, 2178-2181.
13. Pedersen, S. J. K. (2007) Circular Hough Transform, Aalborg University, Vision, Graphics and Interactive Systems.
14. <https://www.raspberrypi.org/>, Son Erişim Tarihi: 04.02.2019.
15. Yılmaz, E. (2016) Kardiyotokogram verisinden fetal iyilik halinin belirlenmesi için bir karar destek sistemi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(2), 331-340. doi: 10.17482/uumfd.278033

