



**METAL SEKTÖRÜ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI  
BİR KUSURLU ÜRÜN TESPİT SİSTEMİ**

**Raif Burak BAYRAM**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL SEKTÖRÜ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI BİR KUSURLU  
ÜRÜN TESPİT SİSTEMİ**

**Raif Burak BAYRAM**  
Orcid No: 0000-0002-8685-7253

Doç. Dr. Ersen YILMAZ  
Orcid No: 0000-0002-6620-655X  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

## TEZ ONAYI

Raif Burak BAYRAM tarafından hazırlanan "METAL SEKTÖRÜ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI BİR KUSURLU ÜRÜN TESPİT SİSTEMİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Ersen YILMAZ  
Orcid No: 0000-0002-6620-655X

**Başkan** : Doç. Dr. Ersen YILMAZ  
Orcid No: 0000-0002-6620-655X  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi,  
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Cengiz TOĞAY  
Orcid No: 0000-0001-5739-1784  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi,  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Üye** : Doç. Dr. Cemal HANILÇI  
Orcid No: 0000-0002-9174-0367  
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi,  
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Akşel EREN  
Enstitü Müdürü



**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.../.../.....

**Raif Burak BAYRAM**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### METAL SEKTÖRÜ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI BİR KUSURLU ÜRÜN TESPİT SİSTEMİ

**Raif Burak BAYRAM**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Ersen YILMAZ

Ürün hata tespitlerinin sayısal sistemler aracılığı ile yapılması üretim hızını artırarak üretim maliyetini azaltmaktadır. Metal sektöründe özellikle sac kesim işlemlerinde hatalı ürünlerin tespiti genellikle operatörler tarafından yapılmaktadır. Bu sektör için geliştirilecek sayısal sistem tabanlı hata kontrol sistemleri operatör kaynaklı hataların azaltılmasına ve ürün hata tespit kontrollerinin daha hassas yapılmasına olanak sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında metal sektörü için görüntü işleme tabanlı bir kusurlu/hatalı ürün tespit sistemi geliştirilmiştir. Geliştirme süreci iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada bilgisayar ortamında morfolojik işlemler ve Hough dönüşümü kullanılarak hata tespit başarımları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda her iki yaklaşımında %80'in üzerinde başarıma sahip olduğu görülmüştür. Morfolojik işlemler ile %81 ve dairesel Hough dönüşümü ile %89 başarımları elde edilmiştir. İkinci aşamada ise gömülü sistem olarak Raspberry Pi Model 3 B+ seçilmiş ve ilk aşamada yüksek başarımları elde eden dairesel Hough dönüşümü seçilerek farklı kamera çözünürlüklerinin başarımları etkileri incelenmiştir. Ürün grubu olarak sektörde sıklıkla üretilen ve dairesel boşluklar içeren sac levhalar seçilmiştir. Kameradan alınan görüntülerden levhalar üzerindeki dairesel boşluklara ait bilgiler görüntü işleme yöntemleri kullanılarak çıkarılmıştır. Elde edilen bilgiler referans bilgiler ile karşılaştırılmış ve belirlenen tolerans içerisinde olup olmadığı kontrol edilmiştir. 10MP kamera çözünürlüğünde alınan görüntülere gömülü sistem üzerinde dairesel Hough dönüşümü uygulanarak %96,29 başarımları elde edilmiştir. Deneyler sonucunda başarımları göz önüne alındığında geliştirilen sistemin kalite kontrol uygulamalarında kullanılabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, Ürün hata tespiti, Gömülü sistemler, Hough dönüşümü, Morfolojik işlemler

**2019, viii + 47 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### AN IMAGE PROCESSING BASED PRODUCT DEFECT DETECTION SYSTEM FOR METAL INDUSTRY

**Raif Burak BAYRAM**

Bursa Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electronic

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Ersen YILMAZ

Product defect detection based on digital systems increases production speed and reduces production cost. In the metal industry, especially in sheet metal cutting operations, the detection of defective products is usually done by the operators. Developing digital system based product defect detection systems for this sector will reduce operator related errors and enable more accurate product defect detection. In this thesis, a product defect detection system which is based on image processing has been developed for the metal sector. The development process is carried out in two stages. In the first stage, morphological operations and Hough transform are used in a personal computer to compare the defect detection performances. As a result of the experiments, it has been observed that both approaches have more than 80% accuracy rates. Morphological operations achieves 81% while circular Hough transform has 89% accuracy rates. In the second stage Raspberry Pi Model 3 B+ is selected as an embedded system and we consider the effect of the camera resolution on the performance by applying circular Hough transform which has higher accuracy rate in the first stage. As the product group, sheet metal plates which are produced frequently in the sector and containing circular holes have been selected. The information about the circular holes on the plates is extracted from the images taken from the camera using image processing methods. The obtained information is compared with the reference information and it is checked whether it is within the specified tolerances. The images taken with 10MP camera resolution are applied to the embedded system by using circular Hough transformation and 96.29% accuracy rate is obtained. As a result of the experiments, it has been seen that the developed system can be used in quality control applications when the accuracy rates are taken into consideration.

**Key words:** Image processing, Product defect detection, Embedded system, Hough transform, Morphological procedures.

**2019, viii + 47 pages.**

## TEŞEKKÜR

Öncelikle, yüksek lisans süresi boyunca yapmış olduğum yayınlarda ve bu tezin hazırlanmasında tavsiyeleri ve deneyimiyle bana yol gösteren danışmanım Sayın Doç. Dr. Ersen YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince destek olan Baykal Makina A.Ş. yönetimine, çalışanlarından Bayazıt DİRİM ve Eyüp ÇAĞLAR'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan Halam Emine BAYRAM'a teşekkür ederim.

Raif Burak BAYRAM

.../.../.....





## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
EKLER.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
3.1 Giriş.....	6
3.2 Sistem Bileşenleri.....	6
3.3. Gömülü Sistemler.....	6
3.3.1. Raspberry Pi.....	8
3.3.2. Kamera Özellikleri.....	12
3.4. Çalışma Ortamı.....	14
3.5. Görüntü Kümesi.....	16
3.6. Görüntü İşleme.....	17
3.6.1 Görüntü Tanımı.....	17
3.6.2 Görüntünün Oluşumu.....	18
3.6.3 Sayısal Görüntü.....	18
3.7. Sayısal Görüntü İşleme.....	20
3.7.1. Morfolojik İşlemler.....	20
3.7.2. Çizgisel Hough Dönüşümü.....	23
3.7.3. Dairesel Hough Dönüşümü.....	24
3.8. Başarım Ölçütleri.....	25
3.8.1. Hata Matrisi.....	26
3.8.2. Doğruluk.....	26
3.8.3. Duyarlılık.....	27
3.8.4. Özgüllük.....	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	28
4.1. Bilgisayar Ortamındaki Denemeler.....	28
4.2. Gömülü Sistem ile Denemeler.....	29
5. SONUÇ.....	32
KAYNAKLAR.....	35
Ek-1. Başarım Kriter Hesapları.....	38
Ek-2. Görüntü Kümesi.....	41
Ek-3. Firma Destek Yazısı.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	47

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\rho$	Ro
$\theta$	Teta
<i>DP</i>	Doğru pozitif
<i>YP</i>	Yanlış pozitif
<i>DN</i>	Doğru negatif
<i>YN</i>	Yanlış negatif

<b>Kisaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
CCD	Yük bağımlı aygıt (Charge-Coupled Device)
CMOS	Tümleşik metal oksit yarı iletken (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
CSI	Kamera seri ara yüzü (Camera Serial Interface)
DSI	Seri ara yüz gösterimi (Display Serial Interface)
FPS	Saniyedeki kare sayısı (Frame Per Second)
HD	Yüksek çözünürlük (High Definition)
HDMI	Yüksek çözünürlüklü çoklu ortam ara yüzü (High Definition Multimedia Interface)
MMAL	Çoklu ortam soyutlama katmanı (Multi-Media Abstraction Layer)
ROI	İlgi bölgesi (Region Of Interest)
RGB	RGB renk uzayı (Red, Green, Blue)
USB	Evrensel seri veri yolu (Universal Serial Bus)
V4L	Video for Linux
PI	Oransal-İntegral

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Genel gömülü sistem yapısı .....	7
Şekil 3.2. Raspberry Pi3 Model B+ genel görünümü .....	9
Şekil 3.3. Raspberry Pi GPIO pinleri .....	10
Şekil 3.4. Raspberry Pi CSI kamera modülü .....	11
Şekil 3.5. Raspberry Pi uyumlu LCD ekran.....	11
Şekil 3.6. Logitech C910 kamera .....	13
Şekil 3.7. Çalışma ortamı .....	14
Şekil 3.8. Deney düzeneği.....	15
Şekil 3.9. Farklı ışık ortamlarındaki görüntüler .....	15
Şekil 3.10. Tolerans içi ölçülere sahip saç levha .....	16
Şekil 3.11. Elektromanyetik spektrum .....	17
Şekil 3.12. Görüntünün algılanması ve sayısallaştırılması .....	18
Şekil 3.13. Yapısal eleman örnekleri .....	20
Şekil 3.14. Genişletme işlemi .....	22
Şekil 3.15. Aşındırma işlemi .....	22
Şekil 3.16. Açma işlemi .....	23
Şekil 3.17. Kapatma işlemi .....	23
Şekil 3.18. Hough dönüşümünün geometrik gösterimi.....	24
Şekil 5.1. Sistemin çözünürlük-doğruluk oranı değişimi.....	33

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Logitech C910 teknik özellikler .....	13
Çizelge 3.2. Hata matrisi.....	26
Çizelge 4.1. Morfolojik işlemler için hata matrisi .....	28
Çizelge 4.2. Dairesel Hough dönüşüm için hata matrisi.....	29
Çizelge 4.3. 0.3MP ve 1.2MP çözünürlükleri için hata matrisi .....	30
Çizelge 4.4. 5MP çözünürlüğü için hata matrisi .....	30
Çizelge 4.5. 10MP çözünürlüğü için hata matrisi .....	31



## EKLER

Ek-1. Başarım Kriteri Hesapları

Ek-2. Görüntü Kümesi

Ek-3. Firma Destek Yazısı



## 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle üretim hızları artarken ürün kalite problemleri ortaya çıkmıştır. İnsan gücüne dayalı geleneksel hata tespit sistemlerinin üretim hızlarına yetişememesi görüntü işleme tabanlı hata tespit uygulamalarına duyulan ihtiyacı arttırmıştır. Görüntü işleme yöntemleri ile çok kısa sürelerde çok hızlı bir şekilde hata tespit işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda ürün sınıflandırma işleminin daha kapsamlı yapılabilme olanağı sağlanmıştır.

Bu sistemler yardımıyla hurda maliyeti düşürülmekte ve müşteri memnuniyeti arttırılmaktadır. Hurda maliyetinin azaltılması, kalitenin arttırılarak üretim maliyetinin düşürülmesi yoluyla pazar imkanlarının genişletilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, ürün kalitesinin artması pazarda marka değerinin yükselmesine imkan sağlamaktadır.

Yeni üretim yöntemlerinin uygulanması işlemci ve kamera teknolojilerinin gelişme sürecini hızlandırmıştır. Buna bağlı olarak görüntü işleme tabanlı hata tespit sistemleri geniş kullanım alanı bulmaktadır. Görüntü işleme tabanlı hata tespit sistemlerinin uygulama alanları; Ziraî alanda sınıflandırma uygulamalarından, üretim endüstrisinde parça doğrulama uygulamalarına, gıda sektöründe paketleme kontrol işlemlerinden tıp alanında hastalık tespitine kadar uzanan çok geniş bir yelpazede kullanılmakta ve giderek yaygınlaşmaktadır.

Ürün hata tespit ve sınıflandırma işlemlerinin görüntü işleme tabanlı sistemler yerine insanlar tarafından yapılması, sürecin güvenilirliğini azaltmakta ve işlem süresini arttırmaktadır. Literatürde ürün kalite kontrolünü ve sınıflandırmasını amaçlayan görüntü işleme tabanlı hata tespit sistemleri ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında geliştirilen görüntü işleme tabanlı hata tespit sistemi ile sac levhalar üzerinde bulunan dairesel boşluklara ait çap ve konum bilgileri görüntü işleme yöntemleri ile alınmakta ve ölçeklendirilmektedir. İlgili bilgiler ile referans levhaya ait bilgiler karşılaştırılarak sac levhanın tolerans içerisinde olup olmadığı kontrol edilmekte ve hatalı veya hatasız olarak sınıflandırılmaktadır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Görüntü işleme robotik uygulamalardan tüketici elektroniğine kadar çok geniş bir yelpazede teknolojik gelişmeler doğrultusunda giderek yaygınlaşmaktadır. Literatürde ürün hata tespiti ve sınıflandırılmasını amaçlayan görüntü işleme tabanlı çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Zirai alanda teknolojinin ve otomasyon sistemlerinin gelişmesi doğrultusunda sınıflandırma sistemi tasarımı Sert ve ark. (2010) tarafından sunulmuştur. Bu sistem ile şeftali ve elma meyvelerine hızlı, pratik ve kaliteli bir sınıflandırma işlemi uygulaması yapılmıştır.

Akbulut ve ark. (2011) tarafından gerçekleştirilen uygulama ile mobilya parçaları üzerindeki dairelerin kalite kontrolü toplamsal-fark yaklaşımı ile yapılmıştır. Önerilen yöntemin başarımlarını incelemesi detaylı bir biçimde sunulmuştur.

Sofu ve ark. (2013) tarafından görüntü işleme yöntemleri kullanılarak elmalar üzerindeki leke, renk ve boyut tespitleri yapılmış ve bu bilgiler doğrultusunda sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Varol ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada market raflarındaki ürün yerlerinin tespit edilmesi için üç aşamalı bir sistem önerilmiştir. İlk adımda Hough dönüşümü kullanılmış ve raf sınırları saptanarak bölümlere ayrılmış, ikinci adımda sıralı nesne tanıma yöntemi kullanılarak ürün yerleri belirlenmiş ve son adımda ise ürünlerin yerlerinin doğru olup olmadığı belirlenmiştir.

Görüntü işleme yöntemlerine ve PI denetim sistemine dayanan gömülü sistem tabanlı bir nesne takibi uygulaması Öztürk ve ark. (2015) tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada nesnenin belirlenmesi ve ağırlık merkezinin tespiti için medyan filtre ve morfolojik işlemler kullanılmış ve nesnenin ağırlık merkezinin bulunduğu piksel yardımı ile belirlenen koordinat değerleri PI denetim sistemine verilerek nesne takibi yapılmıştır.

Karaköse ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada hareketli nesnelerin tespit edilmesi ve sayılmasını hedefleyen bir yaklaşım önerilmiştir. Morfolojik işlemler ile görüntüler üzerinden nesnelerin detayları saptanmış, Gaussian karışım modeli kullanılarak arka plan çıkartılmış ve nesne tespit edilerek sayılmıştır. Üst üste binmiş ve bitişik parçaların ayrımı dışbükey örtü ile yapılmıştır.

Atalı ve ark. (2016) gelişmiş kamera ve lens teknolojilerini kullanarak görüntülerde oluşan tahribatların tespiti ve analizi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada yapay sinir ağları, morfolojik işlemler ve görüntü işleme filtreleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda görüntüler üzerindeki tahribat oranı saptanarak görüntüler orijinal şekline getirilmeye çalışılmıştır.

Kaymak (2016) tarafından yapılan çalışmada Raspberry Pi tabanlı gömülü sistem ile nesne tanıma ve konum tespiti uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde nesnenin hedeflenen konuma taşıma işlemi robot kol kullanılarak sağlanmıştır.

Boyraz ve Yıldız (2016) tarafından yapılan çalışmada damar görüntüleme için kızıl ötesi kamera kullanılarak Raspberry Pi tabanlı bir sistem önerilmiştir. Bu uygulamada 72 kişinin sağ ve sol ellerinden alınan görüntüler üzerinde filtreleme, eşikleme ve morfolojik işlemler gibi görüntü işleme teknikleri kullanılarak damar tespiti gerçekleştirilmiştir.

Solak ve Altınışik (2017) tarafından gerçekleştirilen uygulamada gerçek zamanlı fındık meyve görüntüleri üzerinde görüntü işleme yöntemleri ile boyut tespiti yapılarak sınıflandırma işlemleri ortalama tabanlı ve K-ortalama kümeleme yöntemleri ile yapılmıştır. Bu iki yöntemin performans değerleri karşılaştırmalı olarak çalışmada sunulmuştur.

Erken ve Urhan (2017) tarafından nesnelerin interneti yaklaşımı kullanılarak Raspberry Pi tabanlı bir bebek uyku takip sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bir görüntü algılayıcı yardımıyla izlenen bebeğin hareketinin bir eşik değerinin üzerine çıkmasıyla ebeveyn video yayınının başlatılması sağlanmıştır.



Bayram ve Yılmaz (2019) çalışmasında dairesel Hough yöntemini kullanarak metal sektörüne yönelik dairesel boşluklar bulunan sac levhaların hata tespiti çalışması yapılmıştır. Sac levhalar üzerinde bulunan daireler tespit edilerek bilgileri çıkarılmış ve referans görüntü ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada kamera çözünürlüğünün başarıma etkisi incelenmiştir.

Berki ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada kiraz meyvesinin ağaç üzerinde otomatik olarak tespit edilerek makine gücü ile toplanmasını amaçlayan bir çalışmanın ilk aşaması sunulmuştur. İlk aşama olarak Raspberry Pi tabanlı bir gömülü sistem ile meyve tespiti yapılmıştır.

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

Karhan ve ark. (2011) kayısı meyvesine ait ikili görüntüler üzerinde morfolojik işlemler yardımıyla leke tespiti ve filtreleme yöntemleri ile olgunlaşmadan kaynaklı kırmızılıkların tespitini yaparak yüksek başarıma sahip bir sınıflandırma işlemi gerçekleştirmişlerdir.

Gömülü sistem tabanlı ve gerçek zamanlı bir sürücü uyarı sistemi Küçükmanisa ve Urhan (2017) tarafından sunulmuştur. Görüntü işleme yöntemleri yardımı ile araç konumunun ve şerit çizgilerinin konum bilgilerinin karşılaştırılması sonucunda aracın şeritten ayrılması durumu tespit edilerek sistemin sürücüyü uyarması sağlanmıştır.

Bayram ve Yılmaz (2018) tarafından metal sektörüne yönelik bilgisayar ortamında bir hatalı ürün tespit sistemi uygulaması sunulmuştur. Bu sistem ile bilgisayar ortamında morfolojik işlemler ve dairesel Hough dönüşümünün başarımları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında geliştirilen sistem iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada bilgisayar ortamında ürün özelliklerinin tespiti için morfolojik işlemler ve

dairesel Hough dönüşümüne dayanan iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bu iki yöntemin başarımları incelenmiştir. İkinci aşamada ise fiyat performans kriteri dikkate alınarak uygulama Raspberry Pi platformuna taşınmıştır. Raspberry Pi platformunda kamera çözünürlüğünün başarıma etkisi incelenmiştir. Bu sistem yardımıyla referans ürün ile üretimden alınan ve kontrolü gerçekleştirilecek olan ürünler ölçüsel olarak karşılaştırılarak hatalı veya hatasız olarak sınıflandırılmıştır.



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1 Giriş**

Görüntü işleme tabanlı uygulamaların kullanım alanları çok farklı olabilmektedir. Bu nedenle kullanım alanlarına göre sistem bileşenleri farklılık göstermektedir. Seçilen sistemin performansı ve kalitesi ayrı ayrı seçilen sistem bileşenleri ile doğrudan orantılı bir şekilde değişim göstermektedir. Sistem parçalarının seçiminde yapılacak bir hata sistem verimini olumsuz etkileyecektir. Bu sebepten dolayı tasarım aşamasında seçilen malzemeler yalın bir halde ele alınarak değerlendirilmeli ve son aşamada tümleşik bir biçimde sistem tasarımı yapılmalıdır. Bir görüntü işleme sistemi tasarım aşamasında seçilen en zayıf malzeme kadar iyidir. Verimli çalışan kusursuz bir görüntü işleme sisteminin başarımını tasarım aşamasından uygulama aşamasına kadar olan tüm süreçler etkilemektedir (Toklu 2006).

#### **3.2 Sistem Bileşenleri**

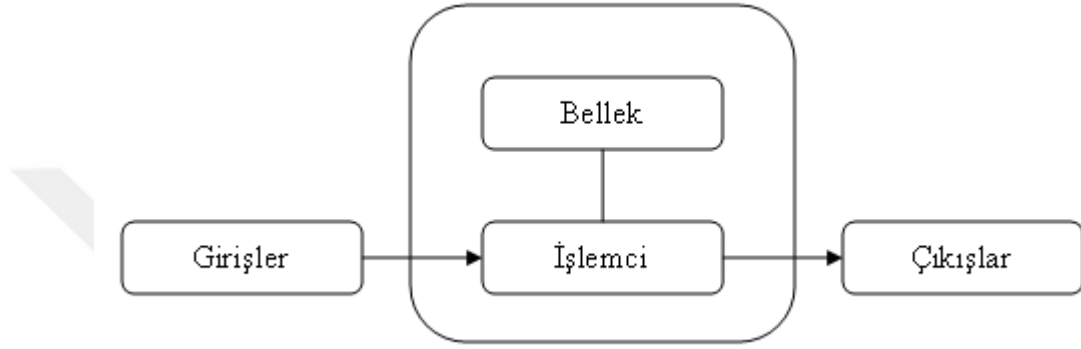
Endüstride geniş bir kullanım alanı bulunan görüntü işleme sistemleri, kullanım alanlarına göre sistem bileşenleri açısından farklılık göstermektedir. Sektörel uygulamalarda sistem bileşenlerinde genelleme yapabilmek mümkündür. Tasarım aşamasında seçilen her bir ürün son derece önem arz etmektedir. Uygulama alanına ve uygulama hedefleri doğrultusunda farklı bileşen özellikleri tercih edilebilmektedir. Örneğin genel olarak cismin geometrisi, çalışma ortamı, kameranın saniyede yakaladığı görüntü sayısı, bilgisayar seçimi, gömülü sistem seçimi, ışıklandırma vb. özellikler tasarım aşamasında büyük önem taşımaktadır.

Tasarlanan en iyi görüntü işleme sistemi, yalnızca seçilen bileşenleri kadar verimli ve programlandığı kadar iyi bir performans verebilmektedir (Ömeroğlu ve ark. 2004).

#### **3.3. Gömülü Sistemler**

Gömülü sistemler, özel amaçlar doğrultusunda geliştirilen amaca yönelik sınırlı donanımlar üzerinde gerçek zamanlı çalışabilen dış ortam ve yardımcı birimlerle

uyumlu biçimde çalışan sistemlerdir (Kahraman ve ark. 2007). Bu alanda yapılan ilk önemli çalışma MIT Instrumentation Laboratuvarında geliştirilen Apollo Guidance Computer olduğu düşünülmektedir. Askeri alanda kullanılmak üzere 1961 yılında Autonetics D-17 Bilgisayarı Minuteman-I füzesi için geliştirilmiştir. 1966 yılından sonra, Minuteman-II füzesinin üretiminden sonra, birim fiyatların 1000\$'dan 3\$'a kadar düşmesiyle ticari faaliyetlerde de kullanımı başlamıştır (Kaya 2008).



**Şekil 3.1.** Genel gömülü sistem yapısı

Bilgisayar sistemleri donanım, yazılım ve çevre birimlerinden oluşmasına rağmen özel bir amaç doğrultusunda kullanılmaktan ziyade genel amaçlı kullanımı hedeflenmektedir. Bilgisayar sistemleri veri depolama amaçlı kullanılabilirdiği gibi oyun oynama amaçlı da kullanılabilir (Kahraman ve Ünal 2007).

Bilgisayar sistemleri birbiri ile etkileşimli gömülü sistemlerden oluşan genel amaçlı kullanımı hedeflenen sistemler bütünüdür. Bilgisayarın donanımsal parçaları bir gömülü sistemler bütününe örnek olarak gösterilebilir; grafik kartı, anakart, ses kartı, depolama birimi, fare, klavye v.b. (Okyay 2006).

Gömülü sistemler bilgisayar sistemlerine göre sade bir donanım birimine, düşük işlem kapasitesine ve basit bellek yapısına sahiptirler. Bu sistemlerin yaygın kullanım sebeplerinden bir tanesi de düşük maliyetli olmalarıdır. Gömülü sistemler yüksek güvenilirliğe, düşük hata paylarına ve uzun çalışma periyotlarına sahip sistemlerdir (Kaya 2008).

Bu tez çalışmasında görüntü işleme tabanlı ürün hata tespiti ilk olarak bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Ticari açıdan rekabeti arttırmak, sistem maliyetini azaltmak ve sistemin karmaşasını düşürmek için Raspberry Pi3 Model B+ gömülü sistemi tercih edilerek uygulama bu gömülü sistem üzerinde çalıştırılmıştır.

### **3.3.1. Raspberry Pi**

Raspberry Pi 3 Model B+ İngiltere’de Raspberry Pi vakfı tarafından bilgisayar teknolojilerini yaygınlaştırmak ve kodlama öğrenimini geliştirmek hedefiyle 2012 yılında piyasaya çıkmıştır. Gömülü sistemler arasında boyutuyla, yetenekleriyle ve uygun maliyetli oluşuyla çok kısa sürede geniş kullanım alanı bulmuştur. Raspberry Pi3 Model B+ kartı üzerinde Broadcom BCM-2837B0 ve ARMv8 mimarisine sahip 64-bit 1.4GHz dört çekirdekli Cortex-A53 işlemcisi bulunmaktadır. Kartın üzerinde ayrıca, Broadcom VideoCore IV 250MHz’lik bir grafik işlemcisi bulunmaktadır. Grafik biriminden (HDMI) monitörler ve televizyonlar aracılığıyla 1080p çözünürlükte görüntü alınabilmektedir (Üzülmez 2017).

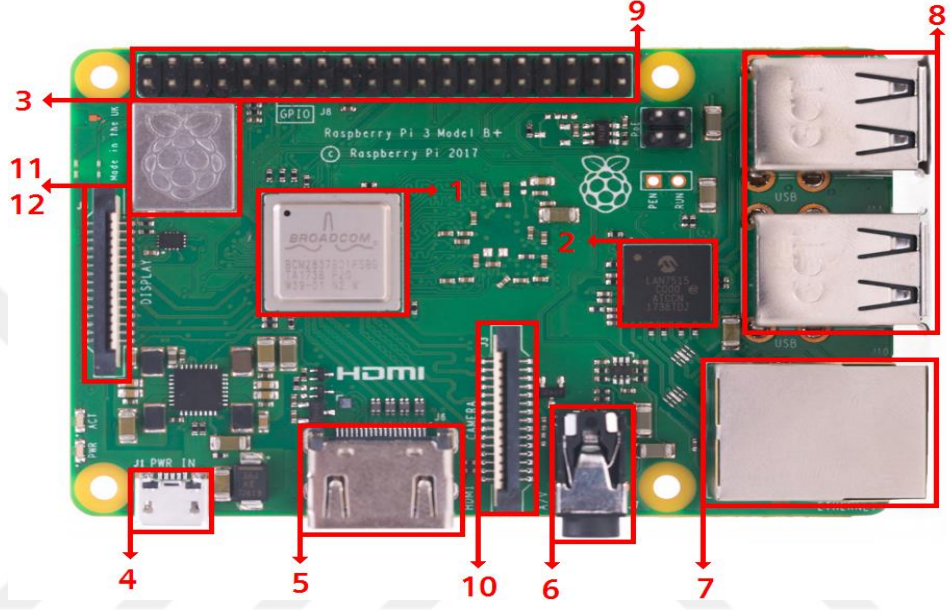
Raspberry Pi3 Model B+ kartının üzerinde 1GB LPDDR SDRAM, 4 adet USB 2.0 girişi, 4 kutuplu 3,5mm ses çıkışı, 15 pin CSI kamera portu, HDMI konektör girişi, microSD kart girişi, 300Mbps Gigabit Ethernet bağlantısı, 2.4Ghz 802.11.b/g/n/ac kablosuz bağlantısı, besleme girişi ve dijital G/Ç pinleri bulunmaktadır (Anonim 2019).

Yazılım açısından baktığımızda birçok işletim sistemi desteklenmektedir. Windows IoT Core, Ubuntu, RISC OS, OSMC, PiNet bunlardan bazılarıdır. Raspberry Pi vakfı ise resmi olarak Debian tabanlı Raspbian işletim sistemini önermektedir (Richardson ve Wallace 2012).

Raspberry Pi3 Model B+ düşük seviyeli dijital giriş/çıkış kontrolleri yapılabilmeyle beraber yüksek seviyeli yazılım ve donanım geliştirme olanağı da sağlamaktadır. Bu geliştirme kartlarına ulaşımın kolay olması ve fiyatlarının uygun olması geliştiricilerin tercih etmesindeki en büyük faktörlerdendir. Bu sayede yeni geliştiricilerin destek

verdiği bu platform her geçen gün daha fazla yazılım ve donanım çeşitliliği kazanmaktadır.

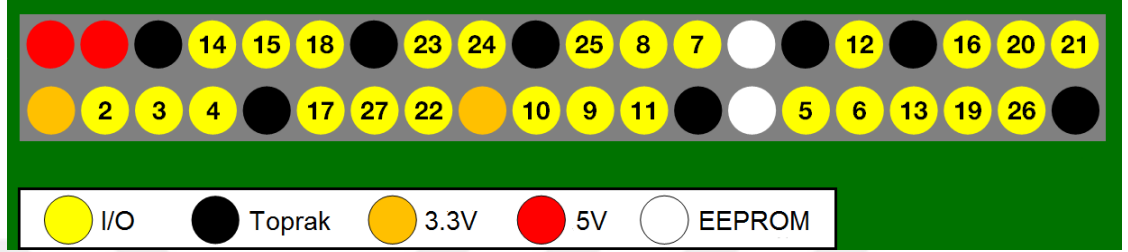
Raspberry Pi3 Model B+'ın aşağıda genel bir görünümü bulunmakta ve dâhili birimleri numaralandırılarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Raspberry Pi3 Model B+ genel görünümü (Anonim 2019)

1. 1,4Ghz 64-bit dört çekirdekli A53/ARMv8 Broadcom BCM-2837B0 işlemcisi
2. DSI ekran çipi
3. 2,4 GHz ve 5 GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac kablosuz LAN, Bluetooth 4,2 birimi
4. 5V/2.5A DC güç girişi
5. HDMI çıkışı
6. 4 kutuplu stereo çıkış ve kompozit video bağlantı noktası
7. Ethernet portu
8. 4 USB 2.0 bağlantı noktası
9. Genişletilmiş 40-pin GPIO soketi
10. Kamera modülü bağlamak için CSI kamera portu
11. DSI ekran bağlantı noktası ile dokunmatik ekran bağlayabilme
12. İşletim sistemini yüklemek ve veri depolamak için MicroSD bağlantı noktası

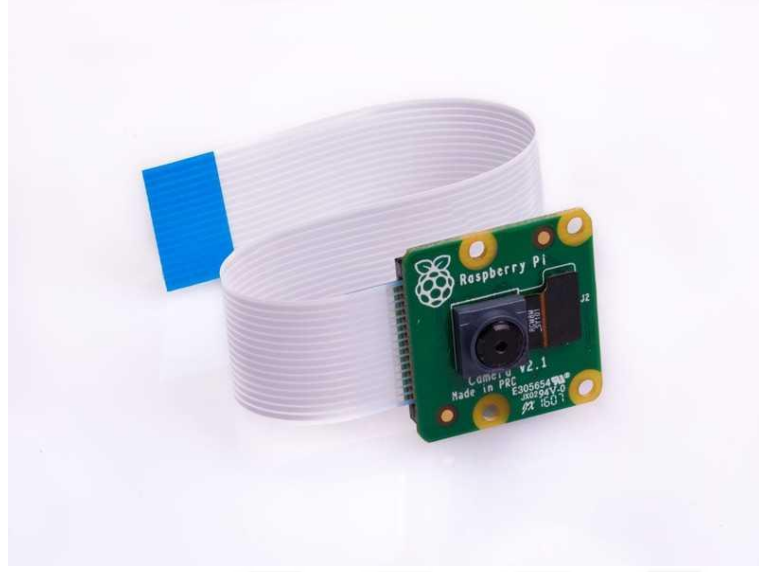
Raspberry Pi3 Model B+ kartı üzerinde çevre birimlerinin genel amaçlı kontrollerini gerçekleştirebilmek için 40 adet pin bulunmaktadır. Kart üzerinde dijital giriş/çıkış pinleriyle birlikte SPI, I<sup>2</sup>C ve UART gibi haberleşme protokolleri ile Arduino, ATmega gibi platformlarla kolaylıkla iletişim kurabileceği gibi EEPROM kullanımı ve çevre birimlerini beslemek için 3,3V ve 5V DC gerilim çıkış pinleri bulunmaktadır.



Şekil 3.3. Raspberry Pi GPIO pinleri (Anonim 2019)

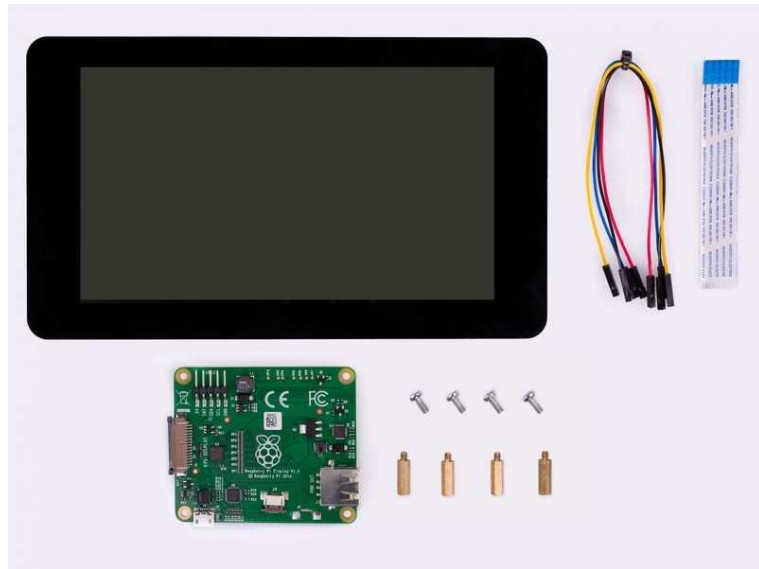
Kart üzerinde 2 adet 5V pin, 2 adet 3,3V pin ve toprak (0V) pinleri bulunur. Diğer pinlerin hepsi genel amaçlı giriş veya çıkış olarak seçilebilecek ve 3,3V gerilim toleransına uygun pinlerdir.

Kamera portu üzerine CSI (Camera Serial Interface) konnektörü ile kamera bağlantısı yapılabilmektedir. Harici olarak Raspberry Pi3 Model B+ kartı ile uyumlu çalışabilen birçok kamera çeşidi bulunmaktadır. Kamera bağlantısı gerçekleştirildikten sonra işletim sistemi üzerinden Multi-Media Abstraction Layer (MMAL) veya Video for Linux (V4L) API'leri üzerinden kamera modülü kullanılabilir.



**Şekil 3.4.** Raspberry Pi CSI kamera modülü (Anonim 2019)

Raspberry Pi3 Model B+ üzerinden dış dünyaya görüntü aktarımı yapabilmek için fiziksel olarak 2 çıkış bulunmaktadır. Bunlardan birisi HDMI (High Definition Multimedia Interface) bir diğeri ise DSI (Display Serial Interface) dir. Raspberry Pi firması tarafından özel üretilmiş DSI konektöre sahip LCD ekran ile kullanılabilir.



**Şekil 3.5.** Raspberry Pi uyumlu LCD ekran (Anonim 2019)



### 3.3.2. Kamera Özellikleri

Bu çalışmada amacımız hata kontrolü yapılacak olan mamul ve yarı mamul parçaların görsellerini en iyi şekilde dijital ortama aktararak görüntü üzerinde gerekli işlemleri uygulayabilmektir. Günümüzde kullanılan kameraların içinde CCD (Charge coupled device) ya da CMOS (complementary metal oxide semiconductor) görüntü algılayıcıları bulunmaktadır. Bu algılayıcıların sahip oldukları piksel sayıları kameranın çözünürlüğünü belirlemektedir. Bell laboratuvarlarında Willard BOYLE ve George SMITH tarafından 1970 yılında CCD kamera bulunmuştur (Taylor 1998).

Her iki teknolojinin de birbirlerine göre üstün özellikleri vardır. Dolayısıyla önemli olan en iyi görüntüyü her durum karşısında alabilmektir. Ancak algılayıcının tercihinde CCD veya CMOS olmasının yanında çözünürlük, saniyede çektiği fotoğraf (Frame Per Second-FPS) sayısı, otomatik odaklama gibi özelliklerde ortaya çıkmaktadır. Kameralarda en önemli özelliklerin başında çözünürlük gelmektedir (Özyurt 2012).

Görüntü üzerinden ne kadar detay alınmak istenirse kamera çözünürlüğünün de bir o kadar fazla olması gerekmektedir fakat bu durum aynı zamanda dijital ortamda işlem yükünü de arttırmaktadır. Bu çalışmada 10MP çözünürlük değerine sahip kamera tercih edilmiştir. Bir diğer önemli faktörlerden biriside FPS oranıdır. FPS oranı hareketli nesnelerin görüntüleri alınırken ayırt edici özelliklerinin kaybolmasını engelleyen en önemli faktörlerden bir tanesidir. Gerçek zamanlı kontrol işlemlerinde yeterince yüksek FPS oranlarında kamera tercih edilmelidir. Aksi takdirde hareketli nesne görüntülerinde kayıplar oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kamera çözünürlük aralığı içinde minimum 30 fps oranı ile çalışmaktadır. Çözünürlüğü ve FPS oranı yüksek kameralar kullanılmaya başlandıkça veri aktarım teknolojileri önem kazanmaya başlamıştır. Kamera üzerinde haberleşme teknolojisi olarak USB (Universal Serial Bus) kullanılmıştır. Geliştirilecek yazılımın esnekliği kameranın FPS oranının yüksekliğine bağlıdır. Çünkü alınan görüntü kareleri hedeflenen zaman aralığında işlenemezse gerçek zamanlı bir uygulama geliştirilemeyeceği gibi buna bağlı olarak sistem performansı da yavaşlayacaktır. Geliştirilen görüntü işleme uygulamasında sonuca yönelik en hızlı ve en kısa kestirimin ROI (Region of Interest) seçilmesi değerlendirilme sürecini

kısaltmaktadır. Dolayısıyla bir uygulama tasarımında veya sistem tasarımında kamera kilit bir rol almaktadır.

Otomatik odaklama özelliği sayesinde yüksek çözünürlüğe sahip görüntü kareleri alınabilmektedir. Böylelikle kalite kontrol işlemlerinin gerçekleştirilme süreci kısaltmaktadır. Diğer türlü kamera netlik değerinin kontrolü manüel veya mekanizma ile yapılması gerekmektedir. Kontrol uygulamasında gelen parçaların yerleri değişeceğinden manüel netlik bozulmaya uğramaktadır. Aşağıda bu tez çalışmasında kullanılan kameraya ait görüntü yer almaktadır, Şekil 3.6, (Ge X 2012).



**Şekil 3.6.** Logitech C910 kamera (Anonim 2019)

Endüstriyel kameraların yüksek maliyetli oluşu birçok uygulamada bir dezavantajdır. Bu uygulamada seçilen kameranın donanımsal özelliklerinin yeterliliği ve fiyatının uygun olması geliştirilen uygulamada avantaj sağlamaktadır. Kameranın teknik özellikleri aşağıda Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

**Çizelge 3.1.** Logitech C910 teknik özellikler

---

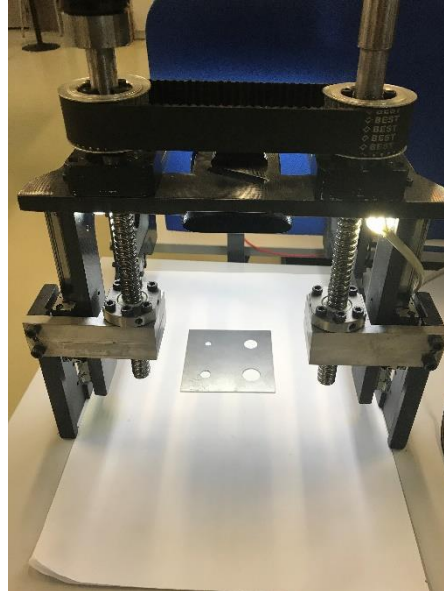
Teknik Özellikler
<ul style="list-style-type: none"><li>• Full HD 1080p kayıt</li><li>• 10 MP fotoğraf çekebilme</li></ul>

---

- RightLight 2 teknolojisi sayesinde düşük veya yüksek ışık kaynaklarına duyarlılık
  - Carl Zeiss® mercek ile otomatik odaklama özelliği
  - Hi-Speed USB 2.0
  - Logitech Fluid Crystal™ Teknolojisi
  - 60 derece görüş açısı
- 

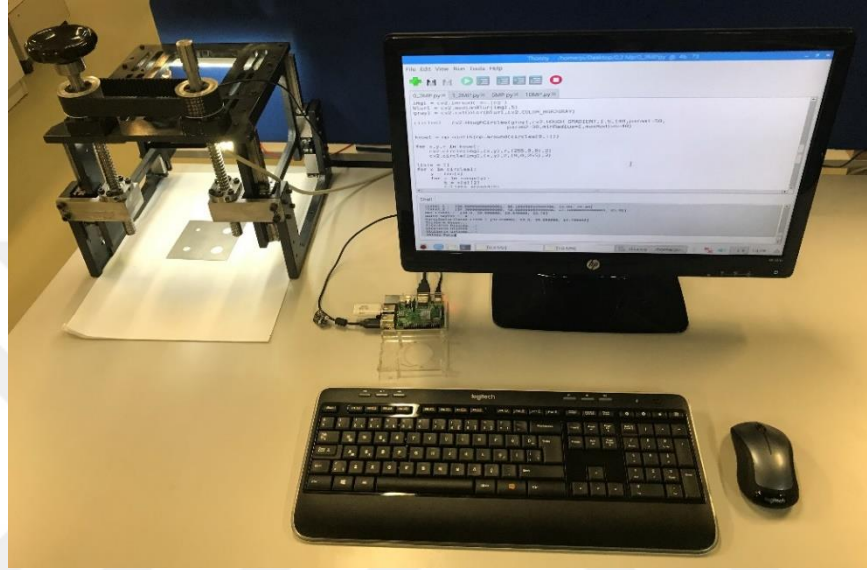
### 3.4. Çalışma Ortamı

Görüntü işleme tabanlı uygulama sistemlerinde aydınlatma temel bir bileşen olarak karşımıza çıkmaktadır. Ürün hata tespit sistemlerinde yaygın olarak üstten ve tabandan aydınlatma olmak üzere 2 farklı aydınlatma sistemi kullanılmaktadır. Aydınlatılan ürün üzerinden yansıyan ışık demeti kamerada toplanarak görüntü işleme uygulamaları gerçekleştirilir. Aydınlatma sistemleri LED, halojen ve floresan olarak çeşitlendirilebilir. LED teknolojisi diğer teknolojilere göre daha uygun maliyeti ve uzun çalışma ömründen dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir (Toklu 2006). Çalışma ortamına ait genel bir görüntü Şekil 3.7’de verilmiştir.



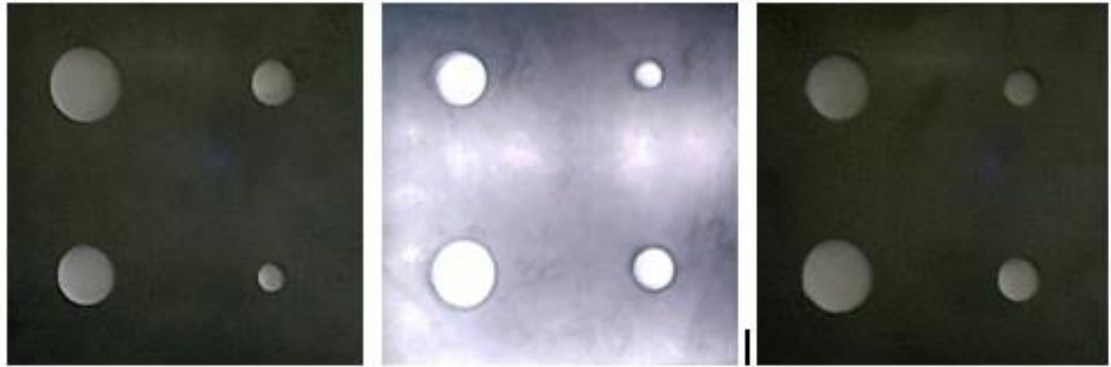
Şekil 3.7. Çalışma ortamı

Kameranın teknik özellikleri göz önüne alınarak aydınlatma sistemi olarak ürün kalite kontrol uygulamasının gerçekleştirileceği bölgenin yan taraflarına 100mm uzunluğunda kılıflı LED şeritler kullanılmıştır. Deney düzeneği aşağıda Şekil 3.8’de görülmektedir. Hata kontrolü yapılacak yüzeye kamera ve aydınlatma kaynağı aynı yönde konumlandırılmıştır.



**Şekil 3.8.** Deney düzeneği

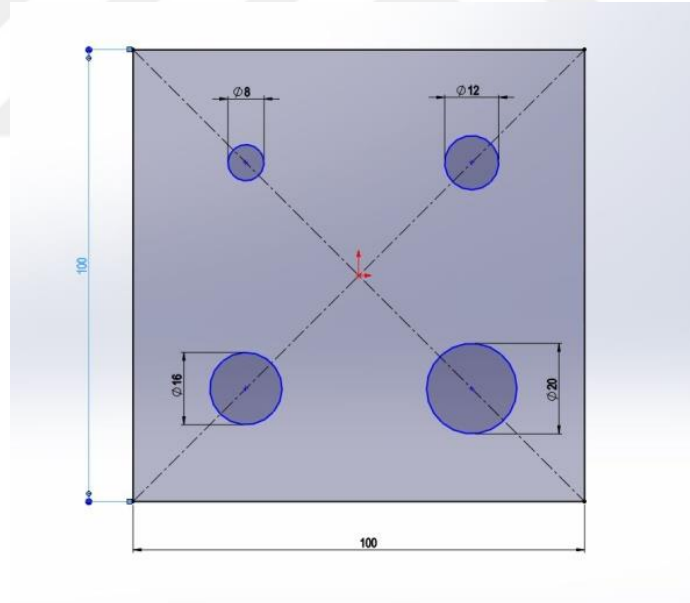
Kullanılacak deney görüntülerinin elde edilmesinde uygun ışık seviyesi (ışık kaynağının şiddeti ve pozisyonu) seçimi yapılmıştır. Farklı ışık ortamlarında alınan görüntülere ait fotoğraflar Şekil 3.9’da verilmiştir.



**Şekil 3.9.** Farklı ışık ortamlarındaki görüntüler

### 3.5. Görüntü Kümesi

Bu çalışmada özel bir görüntü kümesi üzerinde hatalı ürün tespit sisteminin başarımlarını incelemesi yapılmıştır. İlk adım olarak 1000mmx400mm ölçülerindeki sac levhadan lazer kesim ünitesiyle 100mmx100mmx1mm boyutlarında 27 adet sac levha kesilmiştir. Bu sac levhalar üzerine 4 adet farklı yarıçaplara sahip dairesel boşluklar (delik) bulunmaktadır. Sac levhalar üzerindeki dairesel boşluklar kesilirken farklı varyasyonlar oluşturulması hedefiyle delik çapları tolerans içinde ve dışında olacak şekilde çeşitlendirilmiştir. Bu sac levhalardan 20 tanesinde bulunan delikler tolerans dışında yer alırken 7 tanesinde tolerans içinde olacak şekilde kesilmiştir. Tolerans dışında yer alan sac levhaların 7 tanesinde yalnızca 1 delik, 6 tanesinde 2 delik, 5 tanesinde 3 delik ve 2 tanesinde ise tüm delikler tolerans dışında bulunmaktadır. Görüntü kümesinde yer alan tüm örnekler Ek2’de sunulmuştur. Solidworks ortamında tasarlanmış uygun tolerans ölçülere sahip sac levha Şekil 3.10’da sunulmuştur.



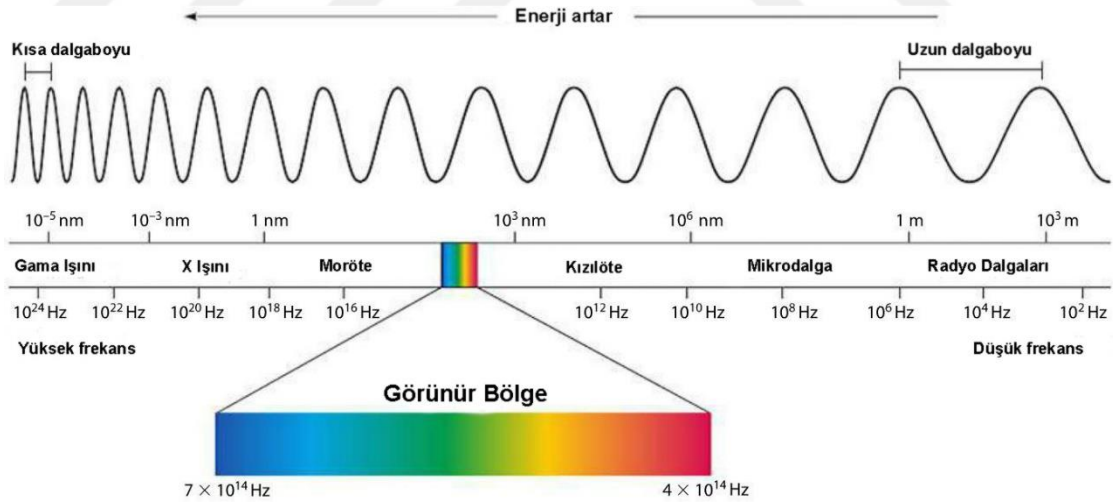
Şekil 3.10. Tolerans içi ölçülere sahip sac levha

### 3.6. Görüntü İşleme

#### 3.6.1 Görüntü Tanımı

Görüntü,  $f(x,y)$  şeklinde iki boyutlu ışık yoğunluğu fonksiyonudur. Fonksiyondaki  $x$  ve  $y$  görüntü uzayındaki konumunu verirken,  $f$  ilgili konumdaki renk seviye değerini ve parlaklık değerini vermektedir. Görüntü üzerindeki  $(x,y)$  konumundaki pikselin yoğunluğu  $f$  renk seviyesinin genliğine bağlıdır (İskender 2009).

İnsan görme sistemi; görüntü işleme sistemlerinin temelini oluşturan ve bilinen en karmaşık görüntü algılama, sınıflandırma ve analiz etme sistemidir. Görünür spektrum; cisimler üzerinden yansıyan ışığın dalga boyunun insan gözü tarafından algılanabildiği aralığı belirtir. Şekil 3.11’de gözümüzün algıladığı renk yelpazesi elektromanyetik spektrumun çok küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Spektrumun bir tarafında görünür ışığın dalga boyundan milyonlarca daha büyük dalga boyuna sahip radyo frekansı bulunurken diğer ucunda ise dalga boyları görünür ışığın dalga boyundan milyonlarca daha kısa dalga boyuna sahip gama ışınları yer almaktadır.



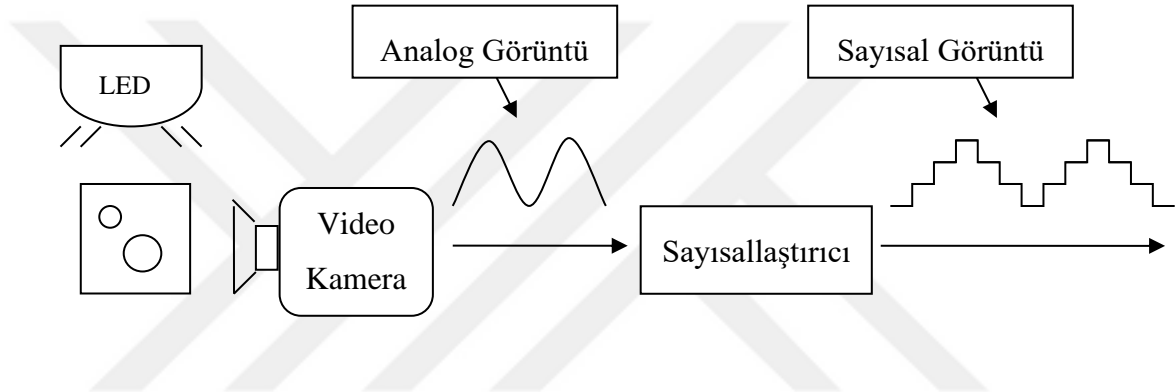
Şekil 3.11. Elektromanyetik spektrum (Gonzalez ve Woods 2014)

Görüntü işleme için görme sisteminin temel yapısını bilmek gerekmektedir. Bu yapı insan gözü örnek alınarak oluşturulmuştur. İnsan gözü bir kamera gibi görüntüyü

algılayarak beyine iletir. Beyin gelen bu sinyalleri, bilgisayar veya gömülü sistem gibi işleyerek anlamlandırmaktadır.

### 3.6.2 Görüntünün Oluşumu

Teknolojinin gelişmesiyle birçok farklı kaynaktan görüntü algılanabilmektedir. Algılanan analog görüntünün hedef doğrultusunda kullanılabilmesi için sayısallaştırılması gerekmektedir. Bu kaynaklara savunma sanayinden, tıp alanına ve günlük yaşantımıza kadar geniş bir yelpazede örnekler verilebilir.



Şekil 3.12. Görüntünün algılanması ve sayısallaştırılması

### 3.6.3 Sayısal Görüntü

İki boyutlu işaret kayıtlarına görüntü adı verilmektedir. Görüntüler fotoğraf gibi gözle görülebilir olabildiği gibi bilgisayar ortamında sayısal değerlerle ifade edilebilmektedir. Görüntü üzerinde parlaklık değeri seviye olarak ve konum olarak değişmektedir. Bilgisayar ortamındaki görüntüler ayrık formda, sayısal biçimde ifade edilebilmektedir. Bir görüntünün bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için görüntünün parlaklık seviyesi ve konumu sayısal biçimde ifade edilmesi gerekmektedir. Sürekli sinyaller ile ifade edilen bir görüntünün ayrık sinyaller haline dönüştürülmesi işlemi sayısallaştırma olarak ifade edilmektedir.

Bir obje üzerinden yansıyan enerjinin bir görüntüleme cihazı yardımıyla görünür banttaki elektromanyetik bölgede algılanan sinyalin sayısal forma dönüştürülmesi ile sayısal bir resim elde edilebilmektedir (Haberaecker 1991).

Bilgisayar ortamında görüntüler matris formunda sayısal değer ile ifade edilmektedir. Bu görüntüler matris üzerindeki sayısal değerlere göre çeşitlendirilmektedir. Bunlar; ikili görüntü, gri seviyeli görüntü ve renkli görüntü olmak üzere 3 farklı biçimde ifade edilmektedir (Russ 1999).

Gri görüntü: Piksellerin parlaklıklarına göre gri tonlarından oluşan görüntü çeşididir. Sayısal olarak görüntüdeki pikseller [0 – 255] arasında değerlerden oluşmaktadır.

İkili görüntü: Siyah ya da beyaz piksellerden oluşan görüntü çeşididir. Sayısal olarak görüntüdeki beyaz piksel değerleri 1, siyah piksel değerleri 0 değeri ile ifade edilmektedir.

İkili görüntüler gri seviyeli görüntülerden elde edilmektedir. Gri seviyeli bir görüntü ikili görüntüye dönüştürülürken orta nokta olarak 128 değeri (eşik değeri) seçilir ve 128'den büyük parlaklık değerine sahip pikseller 255'e, 128'den küçük parlaklık değerine sahip pikseller de 0'a çekilerek görüntünün siyah ve beyaz renklere dönüşümü gerçekleştirilir.

İnsan görme sistemi RGB (red, green, blue – kırmızı, yeşil, mavi) elektromanyetik bölgenin görünür renk alanını algılayabilmektedir. Görüntüdeki bir piksel RGB bileşenlerinin farklı tonlarda birleşmesi sonucu oluşmaktadır. Gerçek renk bileşenlerine sahip görüntü analiz işlemlerinin uzun ve zahmetli olmasından dolayı görüntüler ilk olarak gri görüntü forma sonrasında siyah-beyaz görüntü formuna dönüştürülerek işlem yapılır (Özkan 2012).

Renkli görüntü: Ana renkler olan RGB adı verilen kırmızı (red), yeşil (green), mavi (blue) renklerinin [0 – 255] arasında parlaklık değerlerinden oluşan görüntü çeşididir.

Kartezyen koordinat sisteminde ifade edilecek olursa (0, 0, 0) sayısal renk değerlerinden oluşan pikseller siyah, (255, 255, 255) sayısal değerlerinden oluşan pikseller beyaz rengi verirler. Renkli görüntü üzerindeki her pikselin parlaklık değeri RGB (red, green, blue – kırmızı, yeşil, mavi) oranına göre değişiklik göstermektedir.



### 3.7. Sayısal Görüntü İşleme

Sayısal işaret işleme tekniklerinin iki boyutlu görüntüler üzerindeki tüm uygulamaları sayısal görüntü işleme olarak adlandırılır. Bu tez çalışmasında sayısal görüntü işleme teknikleri olarak morfolojik işlemler ve dairesel Hough dönüşümünden faydalanılmıştır (Özkan 2012).

#### 3.7.1. Morfolojik İşlemler

Morfolojik işlemlerin temeli geometrik hesaplara dayanmakta ve sayısal görüntüler üzerinde sıkça kullanılmaktadır (Serra J 1982, Gonzalez ve Woods 2014). Görüntü üzerindeki eksik noktaları tamamlama ya da fazlalıkların giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Morfolojik işlemlerde yapısal eleman görüntü üzerinde gezdirilir ve görüntüden çıkarılacak ya da eklenecek kısımlar yapısal eleman vasıtası ile belirlenir. Yapısal eleman kare, dikdörtgen, daire şeklinde olabilir. Aşağıda Şekil 3.13'de 2 farklı 3x3 boyutlarında yapısal eleman verilmiştir (Karhan ve ark. 2011).

1	1	0
1	1	0
1	1	0

0	1	0
0	1	0
0	1	0

Şekil 3.13. Yapısal eleman örnekleri

Morfolojik işlemlerde temel olarak kullanılan genişleme (dilation) ve aşınma (erosion) yöntemleri vardır. Diğer morfolojik işlemler bu iki yöntemden türetilmektedir.

Genişleme (dilation): Temel olarak ikili görüntüdeki nesnenin kalınlaştırma ya da genişletme hedefiyle kullanılır.

$$A \oplus B = \{z | (B)_z \cup A \neq \emptyset\}, \quad A: \text{görüntü matrisi}, \quad B: \text{yapısal eleman} \quad (3.1)$$

Sayısal bir görüntüyü genişletmek demek görüntü üzerinde yapısal elemanla kesiştiği bölgeler kadar büyümesi anlamına gelmektedir. Genişleme işleminin nasıl yapılacağı yapısal elemana (structure element) bağlıdır. Yapısal eleman piksel piksel tüm görüntü üzerinde dolaştırılır.

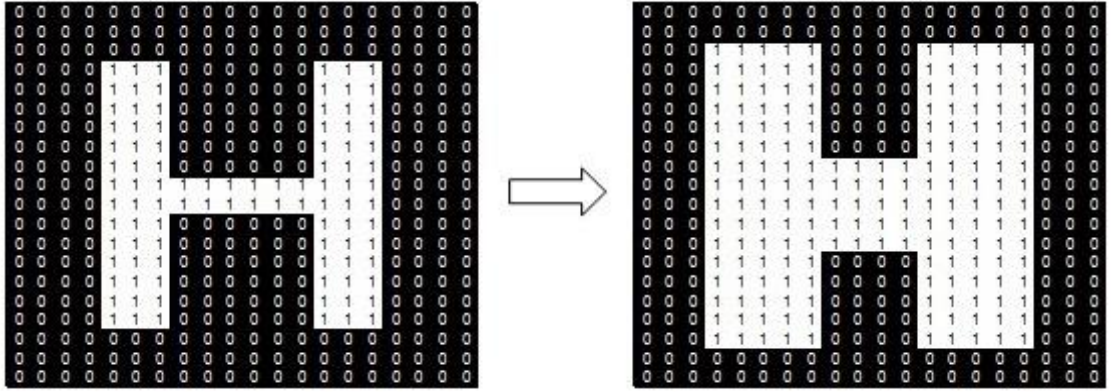
Genişletme işlemi ile görüntüdeki nesnelere büyüme, deliklerde kapanma, ayrık nesnelere birleşme eğilimi görülmektedir (Boztoprak 2007). Şekil 3.14'te sayısal görüntü üzerine 3x3 yapısal eleman ile genişletme işleminin örnek bir uygulaması verilmiştir.

Aşınma (erosion): Temel olarak ikili görüntüdeki nesneyi inceltme ya da küçültme hedefiyle kullanılır.

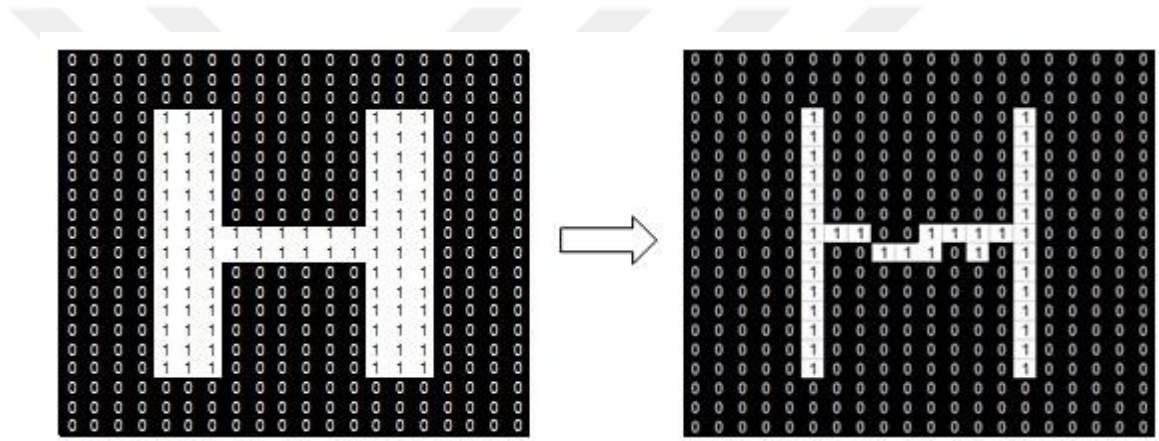
$$A \oplus B = \{z | (B)_z \cap A \neq \emptyset\}, \quad A: \text{görüntü matrisi}, B: \text{yapısal eleman} \quad (3.2)$$

Aşındırma yöntemi genişletme yönteminin tam tersidir. Sayısal bir görüntüyü aşındırmak demek görüntü üzerinde yapısal elemanla kesiştiği kadar daralması anlamına gelmektedir.

Aşındırma işlemi ile görüntüdeki nesnelere küçülme, dairesel boşluklarda genişleme, bitişik cisimlerde ayrılma eğilimleri görülür (Boztoprak 2007). Şekil 3.15'de sayısal görüntü üzerine 3x3 yapısal eleman ile aşındırma işleminin örnek bir uygulaması verilmiştir.



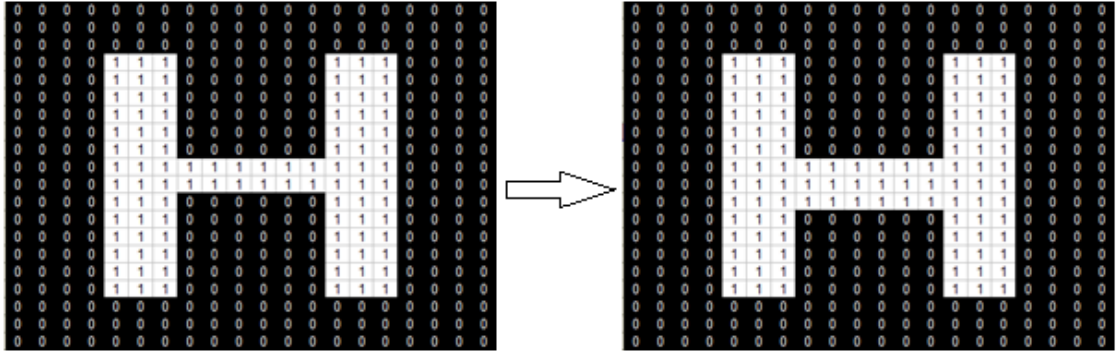
Şekil 3.14. Genişletme işlemi



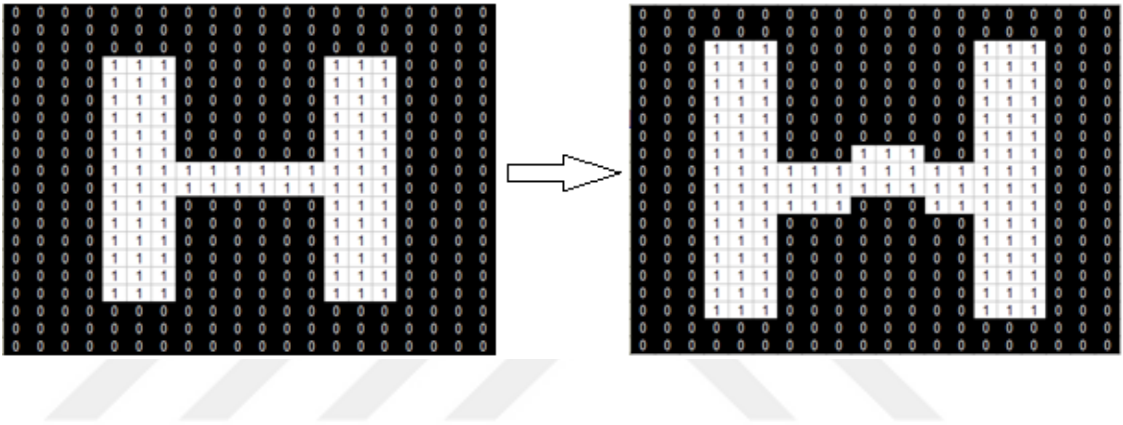
Şekil 3.15. Aşındırma işlemi

Açma işlemi, sayısal bir görüntüye ilk olarak aşındırma sonrasında ise genişletme işleminin uygulanmasıyla elde edilmektedir. Şekil 3.16'da sayısal görüntü üzerine açma işleminin örnek bir uygulaması verilmiştir.

Kapatma işlemi, sayısal bir görüntüye ilk olarak genişletme sonrasında ise aşındırma işleminin uygulanmasıyla elde edilmektedir. Şekil 3.17'de sayısal görüntü üzerine açma işleminin örnek bir uygulaması verilmiştir.



Şekil 3.16. Açma işlemi



Şekil 3.17. Kapatma işlemi

### 3.7.2. Çizgisel Hough Dönüşümü

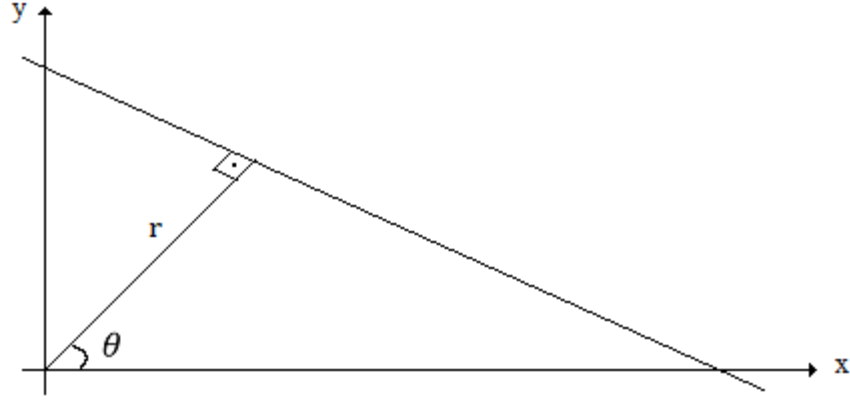
Hough dönüşümü (Duda ve Hart 1972) sayısal olarak “0” ve “1” değerleri ile ifade edilebilen bir görüntüdeki daire, çizgi vb. geometrik şekilleri tanımlamak için kullanılan yöntemlerden birisidir. Görüntü üzerinde benzer özelliklerdeki pikseller ile parametre uzayı arasındaki ilişkinin kurulmasını sağlamaktadır. Kartezyen koordinatlardaki bir doğrunun denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$y = ax + b \quad (3.3)$$

Hough dönüşümünün temeli görüntüde bulunan bir çizginin üzerindeki  $(x_1 - y_1, x_2 - y_2, \dots)$  noktalar kümesini doğru denklemi ile ifade etmek yerine yukarıdaki (3.3) denklemindeki  $a$  ve  $b$  parametreleri ile tanımlanmaktadır.

Denklemdaki  $a$  parametresi eğimi ifade ettiğinden ve dik doğrular için eğim sonsuza gideceğinden Duda ve Hart (1972) tarafından bu problemin çözümü için farklı bir dönüşüm yöntemi önerilmiştir.

$$r = x_i * \cos\theta + y_i * \sin\theta \quad (3.4)$$



**Şekil 3.18.** Hough dönüşümünün geometrik gösterimi

Şekil 3.18’de çizgisel Hough dönüşümüne ilişkin kartezyen koordinatlardaki grafiksel gösterim verilmiştir.

### 3.7.3. Dairesel Hough Dönüşümü

Hough dönüşümü  $x, y$  düzleminde bulunan bir noktanın parametre uzayına dönüşümü olarak tanımlanmaktadır (Duda ve Hart, 1972; Pedersen, 2007). Sayısal görüntüler üzerinde matematiksel olarak ifade edilebilen geometrik şekillerin varlığının, yerinin ve yarıçapının tespit edilmesinde kullanılmaktadır (Balkoca 2012).  $x, y$  düzleminde yer alan  $(x_1, y_1)$  ve  $(x_2, y_2)$  noktaları üzerinden geçen bir doğrunun denklemi genel olarak kartezyen koordinat sisteminde aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$y = ax + b \quad (3.5)$$

burada  $a$  ve  $b$  doğrunun parametreleridir.

Hough dönüşümü kartezyen koordinatlarda ifade edilen (3.5) denklemini kullanmak yerine kutupsal koordinat sisteminde orijin noktaları aynı kalmak koşuluyla kendi

normal açısı  $\theta$  ve onun orijin noktasına olan uzaklığı  $\rho$  ile denklem (3.6) de ifade edilen biçimiyle karakterize edilir (Duda ve Hart 1972).

$$\rho = x * \cos(\theta) + y * \sin(\theta) \quad (3.6)$$

Kutupsal koordinatları kullanmak sureti ile dairelerin parametre uzayında ifadeleri ve gösterimleri kartezyen koordinatta ifade edilen doğru denklemlerine göre daha kolaydır. Bir daireye ait kartezyen koordinatlarda ifade edilen denklem (3.7) ile verilir.

$$r^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2 \quad (3.7)$$

Yukarıda ifade edilen denklemde  $a$  ve  $b$  parametreleri dairenin  $x, y$  düzlemindeki merkezini ve  $r$  ise dairenin yarıçapını belirtmektedir. Daireye ait kutupsal koordinatlardaki parametrik denklem ifadesi (3.8) ve (3.9) daki gibidir.

$$x = a + r * \cos(\theta) \quad (3.8)$$

$$y = b + r * \sin(\theta) \quad (3.9)$$

Bu şekilde daireye ilişkin  $x, y, r$  değişkenlerini içeren parametre uzayı üç boyutlu reel sayılar kümesine ait olacaktır. Dairenin parametrik ifadesini basitleştirmek amacıyla genel kullanımda yarıçap değeri sabit alınarak veya yarıçap değerine ilişkin belirli sınırlar arasında kalınarak iki boyutlu reel sayılar uzayında çalışılır (Pedersen 2007, Söylemez 2012).

### 3.8. Başarım Ölçütleri

Bu tez çalışmasında önerilen sistemin başarımı belirlenirken doğruluk, duyarlılık ve özgüllük ölçütleri kullanılmıştır.

### 3.8.1. Hata Matrisi

Hata matrisi, bir veri setinde var olan durumu ve sınıflandırma modelinin doğru/yanlış tahminlerini gösterir. Aşağıdaki tabloda iki sınıflı bir sınıflandırma problemi için 2x2 boyutlarına sahip hata matrisi verilmiştir (Kohavi ve Provost 1998, Yılmaz 2013).

**Çizelge 3.2.** Hata matrisi

		Karar Verilen	
		Normal	Hatalı
Gerçek Durum	Normal	DN	YP
	Hatalı	YN	DP

Bu tez çalışmasında geliştirilen sistem hatalı ürünlerin tespitini yapmayı hedeflediğinden dolayı pozitif olarak hatalı ürün, negatif olarak normal (tolerans içerisinde yer alan) ürün seçilmiştir.

Eğer tahmin işleminde hatalı sınıfta yer alan bir ürün hatalı sınıfta tahmin edilirse DP bir tahmin yapılmıştır. Eğer normal sınıfta yer alan bir ürün normal sınıfta tahmin edilirse DN bir tahmin yapılmıştır. Eğer normal sınıfta yer alan bir ürün hatalı sınıfta tahmin edilirse YP bir tahmin yapılmıştır. Eğer hatalı sınıfta yer alan bir ürün normal sınıfta tahmin edilirse YN bir tahmin yapılmış demektir.

### 3.8.2. Doğruluk

Doğruluk, veri seti üzerinde doğru olarak tahmin edilen örneklerin (DP+DN) veri setindeki tüm örneklere (DP+YP+DN+YN) oranı olarak kısaca tanımlanabilmektedir. Matematiksel ifadesi aşağıdaki denklem 3.10'da verilmiştir (Kohavi ve Provost 1998, Yılmaz 2013).

$$Doğruluk = \frac{(DP+DN)}{(DP+YP+DN+YN)} \quad (3.10)$$

### 3.8.3. Duyarlılık

Duyarlılık, veri seti üzerinde doğru pozitif olarak tahmin edilen örneklerin (DP), veri setinde yer alan toplam pozitiflerin sayısına (DP+YN) oranıdır. Matematiksel ifadesi aşağıdaki denklem 3.11’de verilmiştir (Kohavi ve Provost 1998, Yılmaz 2013).

$$Duyarlılık = \frac{DP}{(DP+YN)} \quad (3.11)$$

### 3.8.4. Özgüllük

Özgüllük, veri seti üzerinde doğru negatif olarak tahmin edilen örneklerin (DN), veri setinde yer alan toplam negatiflerin sayısına (DN+YP) oranıdır. Matematiksel ifadesi aşağıdaki denklem 3.12’de verilmiştir (Kohavi ve Provost 1998, Yılmaz 2013).

$$Özgüllük = \frac{DN}{(DN+YP)} \quad (3.12)$$



#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bilgisayar ortamında ve gömülü sistem üzerinde gerçekleştirilen denemelerden elde edilen bulgular bu bölümde sunulmuştur. Gerçekleştirilen denemeler sonucunda her iki yönteminde %80'nin üzerinde başarı oranına sahip oldukları görülmüştür.

##### 4.1. Bilgisayar Ortamındaki Denemeler

Morfolojik işlem sonuçları: Görüntü kümesine morfolojik işlemler uygulanarak hedeflenen özellikler alınmıştır. Daha sonra referans görüntü özellikleri ve tolerans değeri göz önüne alınarak karşılaştırmalı başarı inceleme yapılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi morfolojik işlemler sonucunda %81 başarı oranı elde edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Morfolojik işlemler için hata matrisi

		Ölçüm Durumu	
		Normal	Hatalı
Gerçek Durum	Normal	4	2
	Hatalı	3	18
Başarı		81%	

Dairesel Hough Dönüşümü Sonuçları: Görüntü kümesine dairesele Hough dönüşümü uygulandığında hedeflenen özellikler elde edilmiştir. Daha sonra referans görüntü özellikleri ve tolerans değeri göz önüne alınarak karşılaştırmalı başarı inceleme yapılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi dairesele Hough dönüşümü uygulandığında %89 başarı oranı elde edilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Dairesel Hough dönüşüm için hata matrisi

		Ölçüm Durumu	
		Normal	Hatalı
Gerçek Durum	Normal	3	3
	Hatalı	0	21
Başarı		89%	

#### 4.2. Gömülü Sistem ile Denemeler

Tez çalışmasının temel amacı gömülü sistem üzerinde bir hatalı ürün tespiti sistemi geliştirmektir. Gömülü sistem üzerinde çalışacak yönteme karar vermek için öncelikle bilgisayar ortamında bir çalışma yapılmıştır. Uygulama gömülü sistem platformuna taşındığında kamera çözünürlüğünün başarıma olan etkileri de incelenmiştir.

Yapılan deney sonuçları incelendiğinde 0,3MP ve 1,2MP kamera çözünürlüklerinde hatalı ürün tespit başarımlarının aynı olduğu görülmüştür. Her iki çözünürlük için elde edilen hata matrisi sonuçları Çizelge 4.3’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.3.** 0.3MP ve 1.2MP çözünürlükleri için hata matrisi

		Ölçüm Durumu	
		Normal	Hatalı
Gerçek Durum	Normal	4	3
	Hatalı	0	20

0.3MP ve 1,2MP kamera çözünürlüklerine sahip görüntü kümesi ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen hata matrisi üzerinden doğruluk, duyarlılık ve özgüllük oranları Ek-1’de hesaplanmıştır.

5MP kamera çözünürlüğü için elde edilen hata matrisi sonuçları Çizelge 4.4’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.4.** 5MP çözünürlüğü için hata matrisi

		Ölçüm Durumu	
		Normal	Hatalı
Gerçek Durum	Normal	5	2
	Hatalı	0	20

5MP çözünürlüğe sahip görüntü kümesi ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen hata matrisi üzerinden doğruluk, duyarlılık ve özgüllük oranları Ek-1’de hesaplanmıştır.

10MP kamera çözünürlüğü için elde edilen hata matrisi sonuçları Çizelge 4.5’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.5.** 10MP çözünürlüğü için hata matrisi

		Ölçüm Durumu	
		Normal	Hatalı
Gerçek Durum	Normal	6	1
	Hatalı	0	20

10MP çözünürlüğe sahip görüntü kümesi ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen hata matrisi üzerinden doğruluk, duyarlılık ve özgülük oranları Ek-1’de hesaplanmıştır.

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında metal sektörüne yönelik görüntü işleme tabanlı hatalı ürün tespit sistemi geliştirilmiştir. Deneyler 27 adet levhaya ait ve bu tez çalışmasına özel olarak oluşturulan bir görüntü kümesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. 27 adet levhanın 6 tanesi tolerans değerleri içerisinde 21 tanesi ise tolerans değerleri dışında olacak şekilde seçilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Uygulama öncelikle bilgisayar ortamında gerçekleştirilerek yöntem başarımlarını tespiti yapılmış ve belirlenen yöntem gömülü sistem ortamına taşınarak kamera çözünürlüğünün hata tespitine etkisi incelenmiştir.

Çalışmanın birinci aşamasında, oluşturulan görüntü kümesi üzerinde bilgisayar ortamında iki farklı yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemlerden ilki morfolojik işlemlerdir. Morfolojik işlemler kullanılarak görüntü kümesi üzerinde %81 başarımları elde edilmiştir. Aynı görüntü kümesi üzerine ikinci yöntem olarak dairesel Hough dönüşümü uygulanmış ve %89 başarımları elde edilmiştir. Bilgisayar ortamında başarımları göz önüne alındığında dairesel Hough dönüşümünün daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

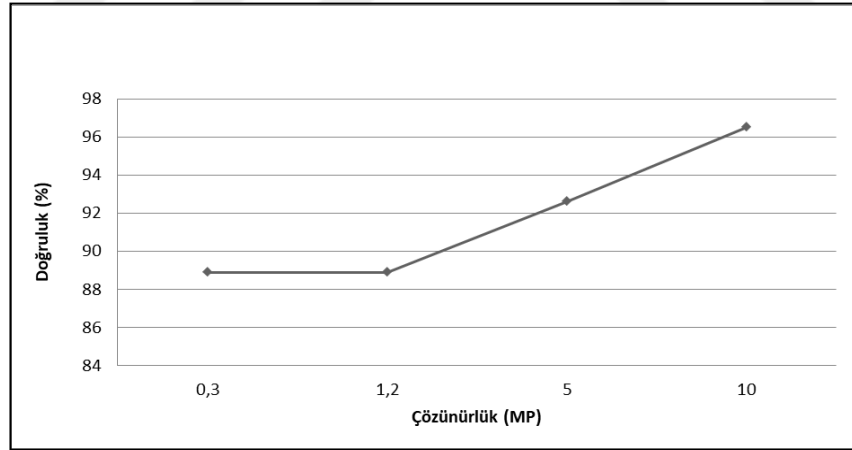
Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda yüksek başarımlarına sahip olan dairesel Hough dönüşümü Raspberry Pi gömülü sistemi üzerinde uygulanmıştır. Kamera çözünürlüğünün sistem başarımlarını üzerindeki etkisini incelemek amacıyla dört farklı çözünürlük için deneyler tekrarlanmıştır. Bu deneylerin sonucunda farklı çözünürlük değerlerine sahip görüntü kümeleri için hata matrisleri Çizelge 4.3 – Çizelge 4.5’de verilmiştir. Bu çizelgeler incelendiğinde 0,3MP ve 1,2MP çözünürlük değerlerinde aynı sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Çözünürlük değerinin pozitif yönde değişmesi doğruluk ve özgüllük oranlarının arttırmaktadır. Farklı çözünürlük değerleri kullanılarak yapılan deneyler sonucunda oluşturulan hata matrisleri üzerinden doğruluk, duyarlılık ve özgüllük oranları hesaplanmıştır. Hesaplamaların detayı Ek1’de sunulmuştur.

0,3MP ve 1,2MP çözünürlük değerleri için Bölüm 3.8'deki (3.10), (3.11), (3.12) denklemleri kullanılarak hesaplanan doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla %88,88, %100 ve %54,17 olarak elde edilmiştir.

5MP çözünürlük değeri için Bölüm 3.8'deki (3.10), (3.11), (3.12) denklemleri kullanılarak hesaplanan doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla %92,59, %100, %71,42 olarak elde edilmiştir.

10MP çözünürlük için ise Bölüm 3.8'deki (3.10), (3.11), (3.12) denklemleri kullanılarak hesaplanan doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla %96,29, %100, %85,71 olarak elde edilmiştir.

Aynı ortam şartları altında yapılan deneyler sonucunda kamera çözünürlüğünün hata tespit başarımına doğrudan etki ettiği ve çözünürlüğün artması ile hata tespit oranının arttığı görülmüştür. Sistemin doğruluğu ile kamera çözünürlüğü oranının değişimini veren grafik Şekil 5.1'de sunulmuştur.



**Şekil 5.1.** Sistemin çözünürlük-doğruluk oranı değişimi

Tolerans değerleri içerisinde yer alan yani hatasız sayılan levhalardan bazılarının hatalı olarak tespit edilmesinden kaynaklanan bu durum özgüllük oranı ile ifade edilmektedir. Dört farklı görüntü kümesinden alınan hata matrisi değerleri incelendiğinde duyarlılığın %100 olduğu, yani hatalı olarak üretilen ürünlerin tamamının hatalı olarak tespit

edildiği görülmektedir. Fakat kamera çözünürlüğünün artması sistemin hatasını azaltmakta, sistemin doğruluk ve özgüllük oranını arttırmaktadır. 10MP znrlk sonuçlarını incelediğimizde yalnızca 1 adet tolerans içinde yer alan levhanın hatalı tespit edildiği, sistemin doğruluk ve özgüllük oranlarının da sırasıyla %96,29 ve %85,71 olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında metal sektörüne yönelik hatalı ürün tespiti yapan gömülü sistem tabanlı bir kusurlu/hatalı ürün tespit sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemde kontrol edilmek istenen sa levhanın görüntüsü bir kamera aracılığıyla alınmaktadır. n işlemlerden geçirilen görüntüye dairesel Hough dönüşümü uygulanarak üzerinde bulunan dairesel boşlukların konumu, sayısı ve çap bilgileri elde edilmektedir. Referans rn bilgileri ile karşılaştırılmak istenen parçaya ait bilgiler karşılaştırılarak ürün ölçülerinin tolerans değerleri içerisinde olup olmadığına karar verilmektedir. Bu işlemler Python dili ve Open CV kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilen sistemin metal sektöründe sıklıkla karşılaşılan dairesel boşluklu sac levhaların otomatik biçimde hata kontrollerinin yapılması süreçlerinde başarılı bir biçimde uygulanabileceği deneyler aracılığı ile gösterilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akbulut, O., Güllü, M.K., Ertürk, S. 2011.** Mobilya parçalarında daire tespiti ve analizi. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Konferansı, 978-1-4577-0463-511 IEEE.
- Al-Saffar, H., Erçelebi, E. 2017.** Development of smart security system for remote control using small Computer. Turkish Journal of Science & Technology, 12(2): 107-112.
- Anonim, 2019.** Raspberry Pi Model 3 B+ teknik özellikleri. <https://www.raspberrypi.org/products->(Erişim Tarihi: 05.05.2019).
- Anonim, 2019.** Logitech C910 kamera teknik özellikleri. <https://www.logitech.com/tr->(Erişim Tarihi: 07.05.2019).
- Atalı, G., Özkan, S.S., Karayel, D. 2016.** Morfolojik görüntü işleme tekniği ile yapay sinir ağlarında görüntü tahribat analizi. Akademik Platform Mühendislik ve Fen Dergisi, 4(1):01-07.
- Balkoca, A. 2012.** Sanal çizgi doğrulama imge işleme yöntemi kullanarak balastro noktaları bulunan eski kadastral haritaların sayısallaştırılması ve onarılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Bayram, B.R., Yılmaz, E. 2018.** Metal sektörü için bilgisayar destekli bir hatalı ürün tespit sistemi. ICONDATA International Conference on Data Science and Applications, 4-7 Ekim 2018, Yalova.
- Bayram, B.R., ve Yılmaz, E. 2019.** Gömülü sistem tabanlı bir hatalı ürün tespit sistemi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24(1): 391-400.
- Boztoprak, H. 2007.** Gerçek zamanlı taşıt plaka tanıma sistemi. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Duda, R.O., Hart, P.E. 1972,** Use of the Hough transformation to defect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, 15(1): 11-15.
- Erken, E., Urhan, O. 2017.** Nesnelerin interneti tabanlı bebek uyku takip sistemi. 34. TBD National Informatics Symposium, 20-21 Aralık 2017, Ankara.
- Ge, X. 2012.** The design of a global shutter CMOS image sensor in 110 nm technology (Master of Science Thesis, Delft University of Technology).
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E. 2014.** Sayısal görüntü işleme. Palme yayıncılık, Ankara 954.
- Haberaecker, W. 1991.** Digitale bilverarbeitung, Grundlagen und Anwendungen, Hanser, ISBN 3-446-16339-5.
- John C. Russ, 1999.** The Image Processing hand book Third Edition. CRC Press, ISBN:0-8493-2532-3.
- Kahraman, E., Ünal, V. 2007.** Gerçek zamanlı gömülü sistem ve yazılım tasarımında ASEL SAN yaklaşımı, 3. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 27 – 30 Eylül 2007, Ankara.
- Kanellos, M. 2001.** Intel's Revolution, CNET News.
- Karaköse, M., Baygın, M., Aydın, İ., Sarımaden, A., Akın, E. 2016.** Endüstriyel sistemlerde arka plan çıkarımı tabanlı hareketli nesne tespiti ve sayılması için yeni bir yaklaşım. Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(2): 373-381.



- Karhan, M., Oktay, M., Karhan, Z., Demir, H. 2011.** Morfolojik görüntü işleme yöntemleri ile kayıslarda yaprak delen (çil) hastalığı sonucu oluşan lekelerin tespiti. International Advanced Technologies Symposium, 16-18 Mayıs 2011, Elazığ.
- Kaya, A. 2008.** Gömülü sistemler ve uygulama alanları. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Akademik Bilişim, Çanakkale.
- 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, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Kohavi, R., Provost, F. 1998.** Glossary of terms. *Machine Learning*, 30(2-3): 271-274.
- Küçükmanisa, A., 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.
- Ömeroğlu, S., Akıncı, M. 2004.** Yapay görme teknolojisi nedir. Automation Days seminers, Yıldız Teknik Üniversitesi, 16-18 Kasım 2004, İstanbul.
- Ömeroğlu, S., Akıncı, M. 2004.** Makine görme sistemleri. Automation Days seminers, Yıldız Teknik Üniversitesi, 16-18 Kasım 2004, İstanbul.
- Özkan, H. 2012.** Hayvansal üretim endüstrisinde görüntü işleme tabanlı gerçek zamanlı bir kalite kontrol uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Konya.
- Öztürk, T., Albayrak, Y., Polat, Ö. 2015.** Gömülü sistemlerle görüntü işleme ve PI denetimli nesne takibi. IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 16 Mayıs 2015, Malatya.
- Özyurt, O. 2012.** Hareketsiz hastalar için gerçek zamanlı göz kırpmaya iletişim sistemi tasarımı ve uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Pedersen, S. J. K. 2007.** Circular hough transform. Aalborg University, Vision, Graphics and Interactive Systems.
- Richardson, M., Wallace, S. 2012.** Getting started with Raspberry Pi, O'Reilly Media, Inc.
- Serra, J. 1982,** Image analysis and mathematical morphology, London: Academic, Vol:1.
- Sert, E., Taşkın, D., Suçsuz, N. 2010.** Görüntü İşleme Teknikleri İle Şeftali ve Elma Sınıflandırma. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2): 82-88.
- Sofu, M.M., Er, O., Kayacan, M.C., Çetişli, B. 2013.** Elmaların görüntü işleme yöntemi ile sınıflandırılması ve leke tespiti. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1): 12-25.
- Solak, S., Altınışik, U. 2017.** Görüntü işleme teknikleri ve kümeleme yöntemleri kullanarak fındık meyvesinin tespit ve sınıflandırılması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1): 56-65.
- Söylemez, Ö., F. 2012.** İnsan yüz imgelerinde dairesel hough dönüşümü kullanılarak göz durumu tespiti. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayara Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Taylor, S.A. 1998.** CCD and CMOS imaging array technologies: technology review, Xerox Research Centre Europe Cambridge Laboratory, EPC-1998-106.
- Toklu, D. 2006.** Görsel final kalite kontrol sistemleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği, İstanbul.

**Üzülmez H. 2017.** IoT teknolojisi ile asansör kumanda sistemlerine uzaktan erişim. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

**Varol, G., Kuzu R.S., Akgül Y.S. 2014.** Rafta ürün diziliminin görüntü işleme ile tespiti. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Konferansı, 22nd. 978-1-4799-4874-1 IEEE.

**Yılmaz, E. 2013.** Determination of fetal state from cardiotocogram using LS-SVM with particle swarm optimization and binary decision tree. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, doi: 10.1155/2013/487179.



## Ek-1

### Başarım Kriter Hesapları

0,3MP ve 1,2MP çözünürlük değerleri için doğruluk oranının formülü ve hesaplama sonucu aşağıdaki (Ek1.1), (Ek1.2) denklemlerinde verilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DN+DP}{DN+YN+DP+YP} \quad (\text{Ek1.1})$$

$$\text{Doğruluk} = \frac{4+20}{4+0+20+3} = 0,8888 \quad (\text{Ek1.2})$$

0,3MP ve 1,2MP çözünürlük değerleri için duyarlılık oranının formülü ve hesaplama sonucu aşağıdaki (Ek1.3), (Ek1.4) denklemlerinde verilmiştir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (\text{Ek1.3})$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{20}{20+0} = 1 \quad (\text{Ek1.4})$$

0,3MP ve 1,2MP çözünürlük değerleri için özgüllük oranının formülü ve hesaplama sonucu aşağıdaki (Ek1.5), (Ek1.6) denklemlerinde verilmiştir.

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN+YP} \quad (\text{Ek1.5})$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{4}{4+3} = 0,5714 \quad (\text{Ek1.6})$$

5MP çözünürlük değeri için doğruluk oranının formülü ve hesaplama sonucu aşağıdaki (Ek1.7), (Ek1.8) denklemlerinde verilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DN+DP}{DN+YN+DP+YP} \quad (\text{Ek1.7})$$

$$Doğruluk = \frac{5+20}{5+0+20+2} = 0,9259 \quad (\text{Ek1.8})$$

5MP çözünürlük değeri için duyarlılık oranının formülü ve hesaplama sonucu aşağıdaki (Ek1.9), (Ek1.10) denklemlerinde verilmiştir.

$$Duyarlılık = \frac{DP}{DP+YN} \quad (\text{Ek1.9})$$

$$Duyarlılık = \frac{20}{20+0} = 1 \quad (\text{Ek1.10})$$

5MP çözünürlük değeri için özgüllük oranının formülü ve hesaplama sonucu aşağıdaki (Ek1.11), (Ek1.12) denklemlerinde verilmiştir.

$$Özgüllük = \frac{DN}{DN+YP} \quad (\text{Ek1.11})$$

$$Özgüllük = \frac{5}{5+2} = 0,7142 \quad (\text{Ek1.12})$$

10MP çözünürlük değeri için doğruluk oranının formülü ve hesaplama sonucu aşağıdaki (Ek1.13), (Ek1.14) denklemlerinde verilmiştir.

$$Doğruluk = \frac{DN+DP}{DN+YN+DP+YP} \quad (\text{Ek1.13})$$

$$Doğruluk = \frac{6+20}{6+0+20+1} = 0,9629 \quad (\text{Ek1.14})$$

10MP çözünürlük değeri için duyarlılık oranının formülü ve hesaplama sonucu aşağıdaki (Ek1.15), (Ek1.16) denklemlerinde verilmiştir.

$$Duyarlılık = \frac{DP}{DP+YN} \quad (\text{Ek1.15})$$

$$Duyarlılık = \frac{20}{20+0} = 1 \quad (\text{Ek1.16})$$

10MP çözünürlük değeri için özgülük oranının formülü ve hesaplama sonucu aşağıdaki (Ek1.17), (Ek1.18) denklemlerinde verilmiştir.

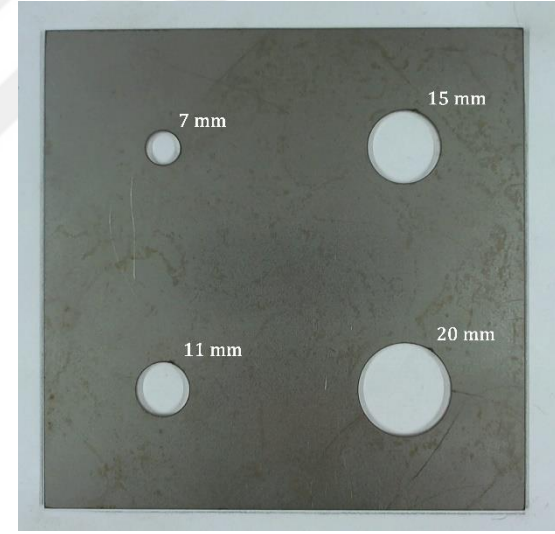
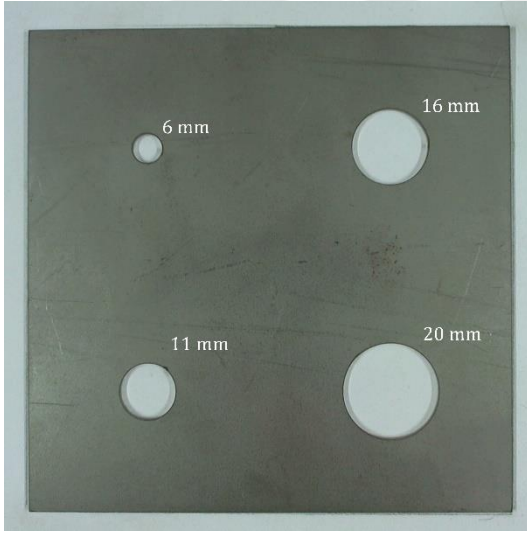
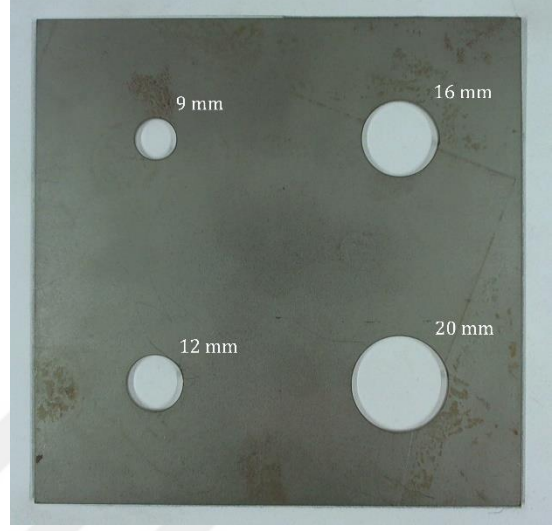
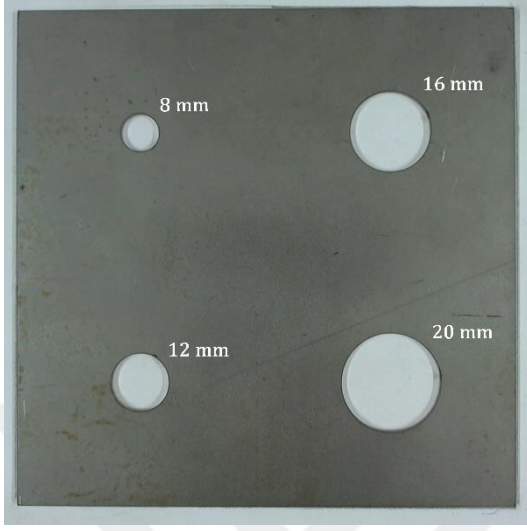
$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN+YP} \quad (\text{Ek1.17})$$

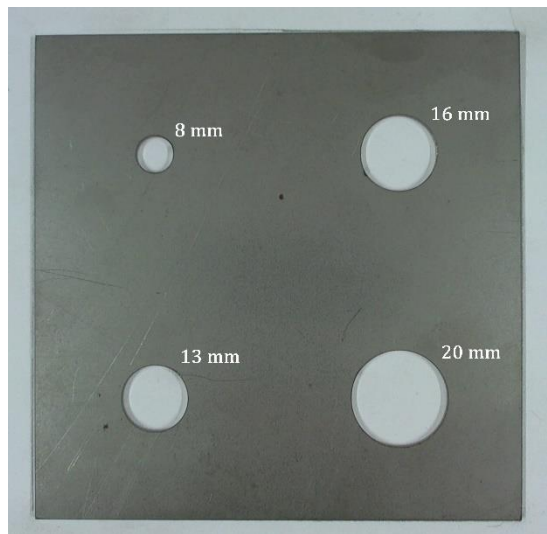
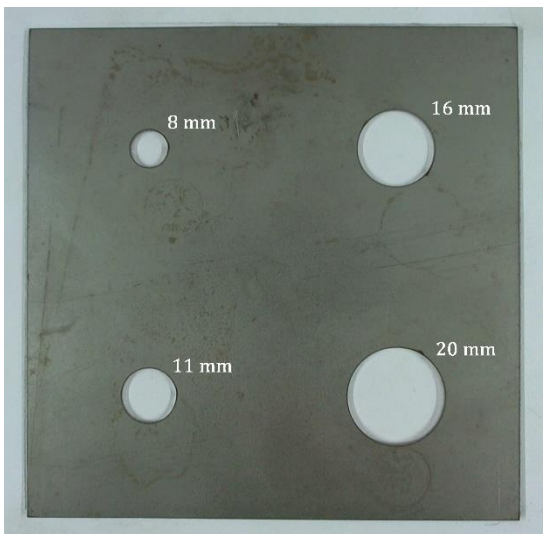
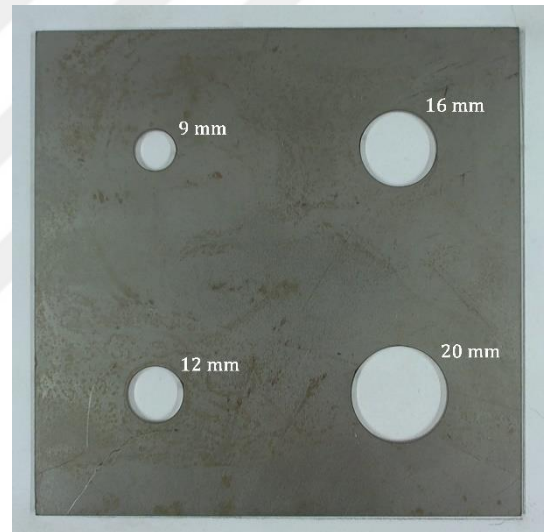
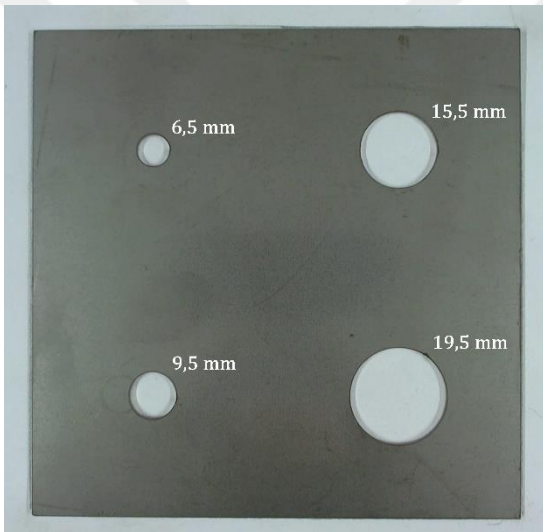
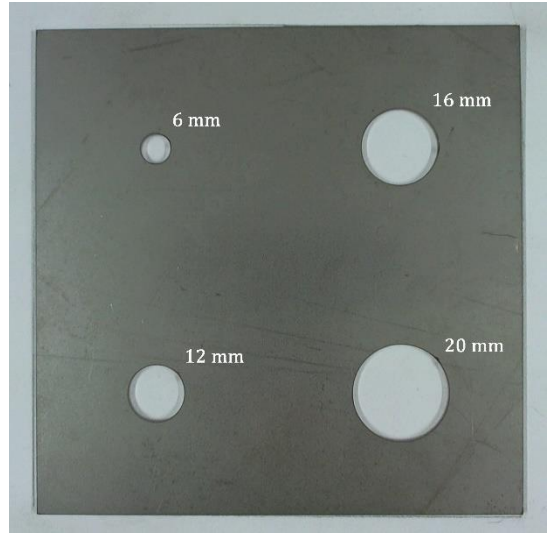
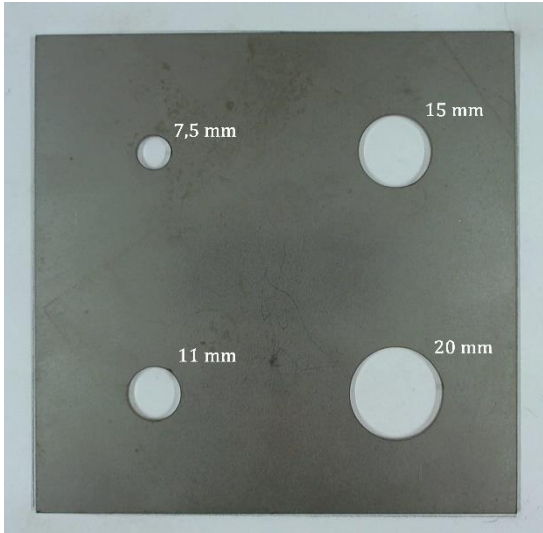
$$\text{Özgüllük} = \frac{6}{6+1} = 0,8571 \quad (\text{Ek1.18})$$

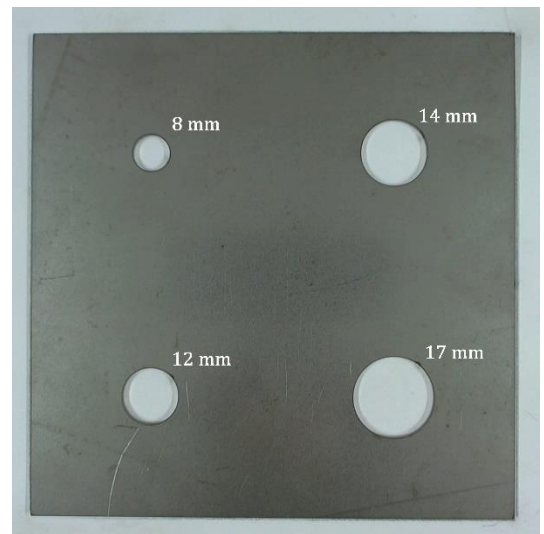
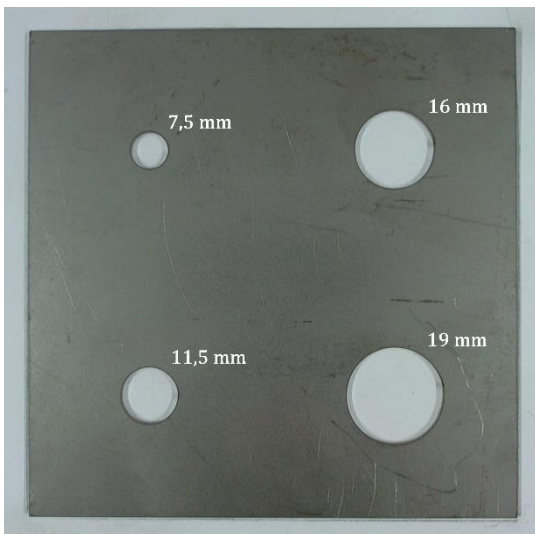
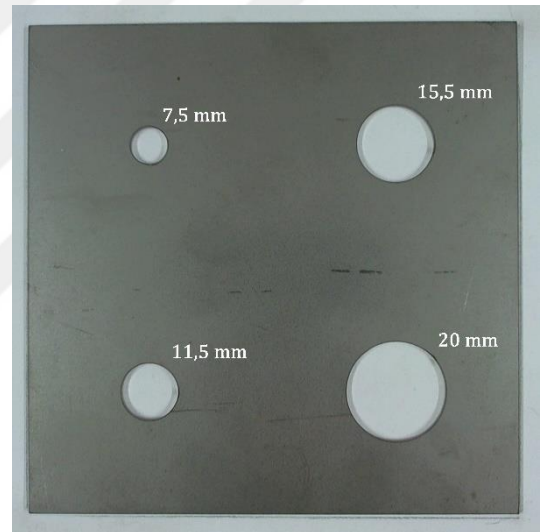
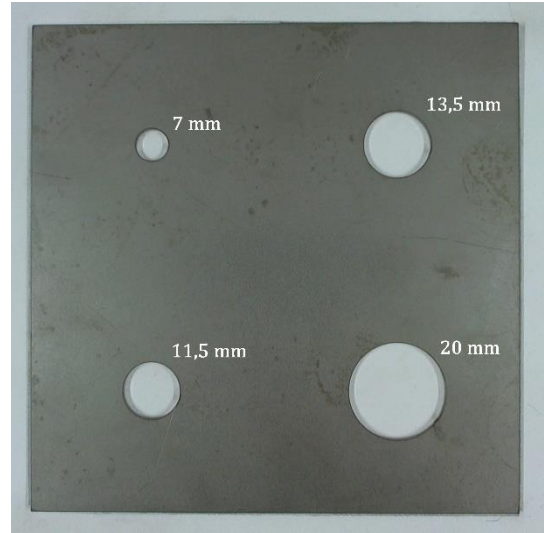
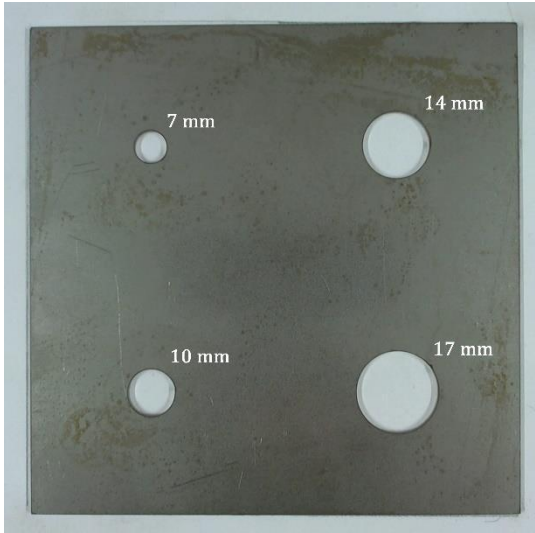


## Ek-2

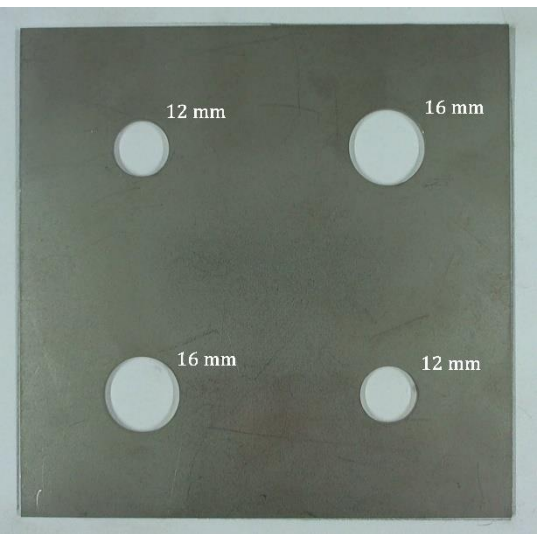
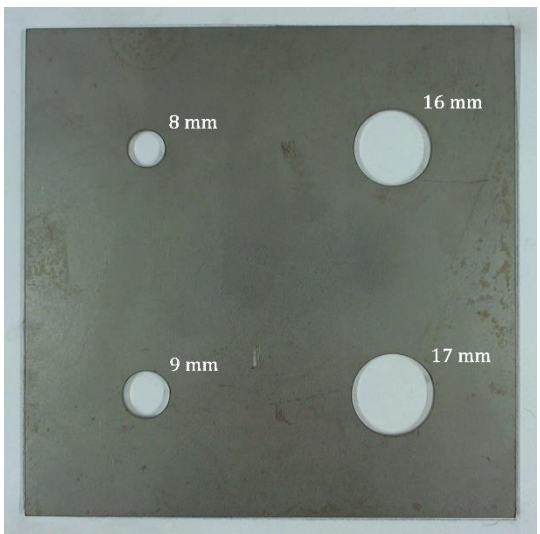
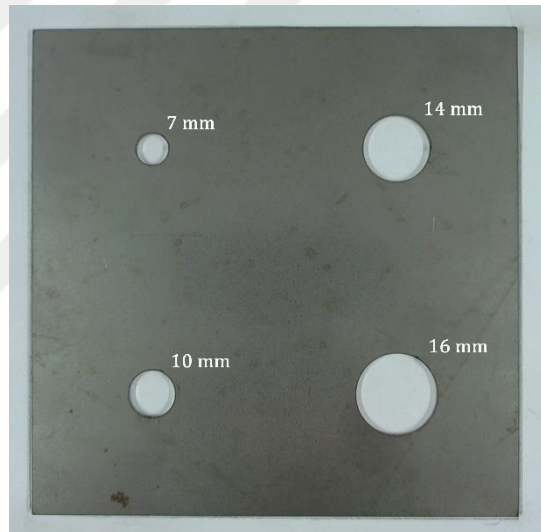
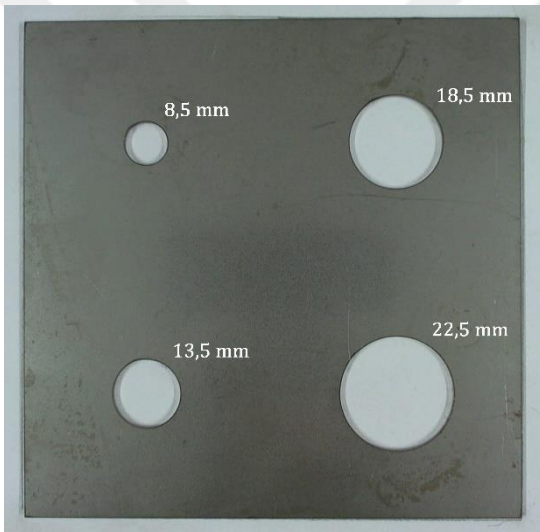
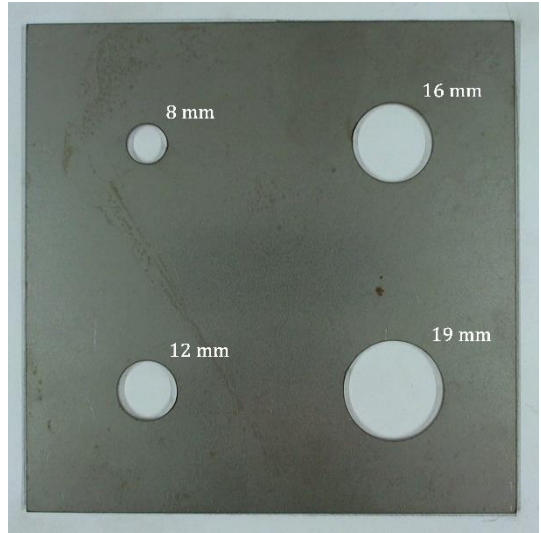
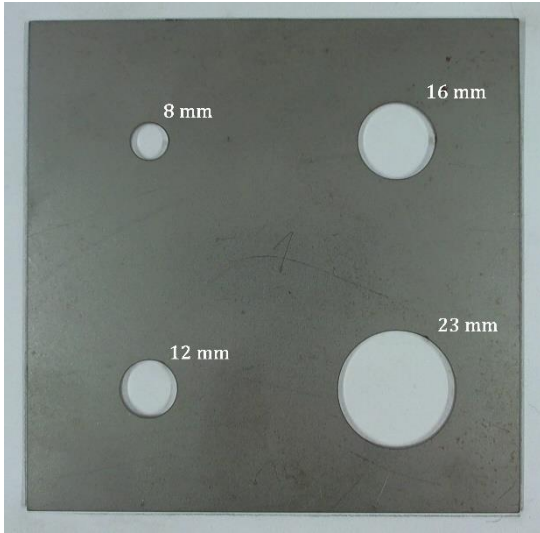
### Görüntü Kümesi

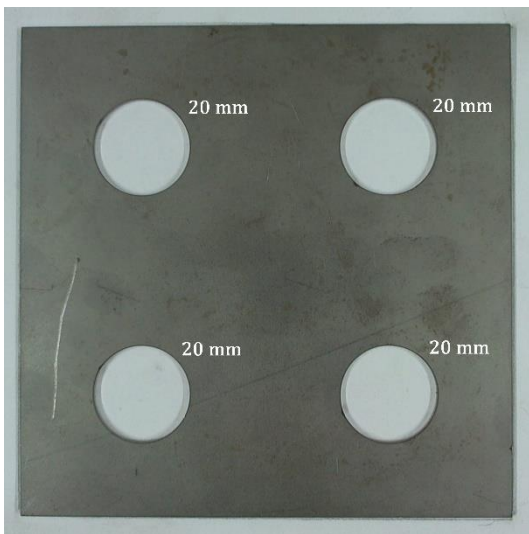
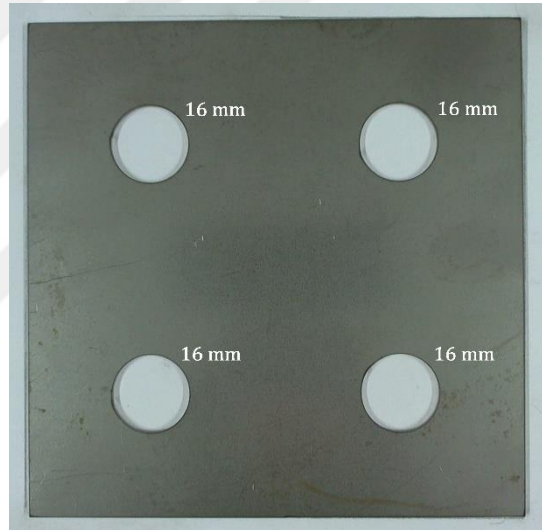
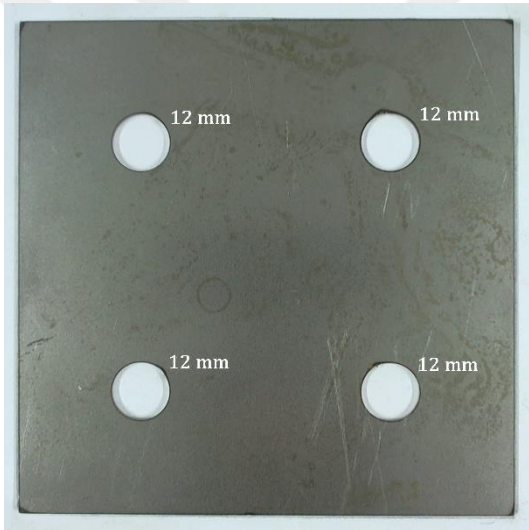
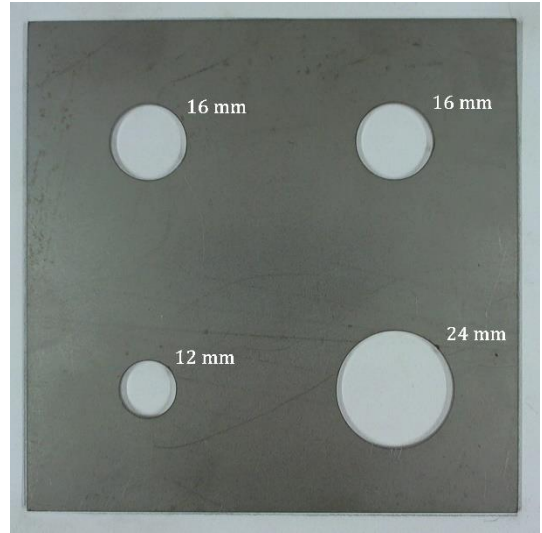
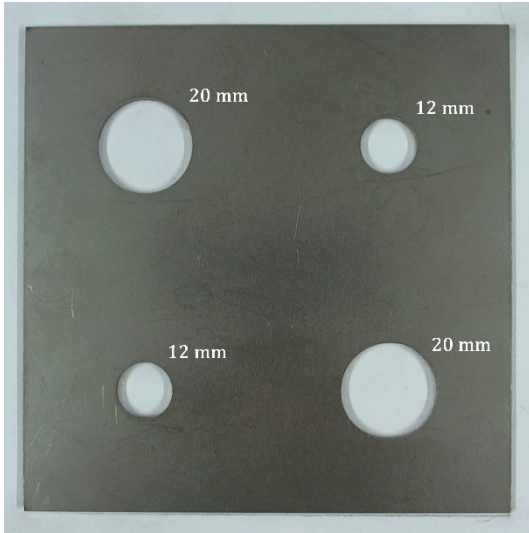












Ek-3

**Firma Destek Yazısı**

Raif Burak BAYRAM tarafından gerçekleştirilen METAL SEKTÖRÜ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI BİR KUSURLU ÜRÜN TESPİT SİSTEMİ başlıklı yüksek lisans tez çalışması BAYKAL MAKİNE SANAYİ VE TİCARET A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

Sulhi BAYKAL

İmza / Kaşe

  
**Baykal**  
MAYMUNA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.  
MAYMUNA Cd. 2. Sk. No:10A - 16140 BURSA  
Tic. Sic. No: 22829/01.01.1132852/016.12.41

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Raif Burak BAYRAM  
Doğum Yeri ve Tarihi : Yenişehir / 01.01.1991  
Yabancı Dil : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Demirtaşpaşa Endüstri Meslek Lisesi  
Lisans : Marmara Üniversitesi – Elektronik ve Haberleşme Öğr.  
: Kocaeli Üniversitesi – Elektronik ve Haberleşme Müh.

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Baykal Makine / Ar-ge Mühendisi

İletişim (e-posta) : raifburakbayram@gmail.com

Yayımları :

**Bayram, B. R., ve Yılmaz E. 2018.** Metal sektörü için bilgisayar destekli bir hatalı ürün tespit sistemi. ICONDATA International Conference on Data Science and Applications, 4-7 Ekim 2018, Yalova.

**Bayram, B. R., ve Yılmaz, E. 2019.** Gömülü sistem tabanlı bir hatalı ürün tespit sistemi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1): 391-400, 10.17482/uumfd.525696.