

**T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİNEER ÇİZGİ KAMERA SENSÖRÜ İLE HAREKETLİ NESNELERİN  
DÜŞÜK MALİYETLE GÖRÜNTÜLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet Sait ERGİN**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömerülfaruk ÖZGÜVEN**

**ARALIK 2021**

**T.C  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİNEER ÇİZGİ KAMERA SENSÖRÜ İLE HAREKETLİ NESNELERİN  
DÜŞÜK MALİYETLE GÖRÜNTÜLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet Sait ERGIN  
(36193615076)**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömerülfaruk ÖZGÜVEN**

**ARALIK 2021**

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ömerülfaruk ÖZGÜVEN'e,

Tez çalışmamın donanım aksamının tasarımındaki yardımları için Sayın Dr. Öğr. Üyesi Serhat AKSUNGUR'a ve Sayın Öğr. Gör. Alaaddin SAÇAK'a,

Çalışmalarında ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince de benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme

teşekkür ederim.



## ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Lineer Çizgi Kamera Sensörü ile Hareketli Nesnelerin Düşük Maliyetle Görüntülenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ahmet Sait ERGIN



## İÇİNDEKİLER

|                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ .....                                           | i    |
| ONUR SÖZÜ .....                                                   | ii   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                  | iii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                            | iv   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                              | v    |
| SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....                                    | vii  |
| ÖZET .....                                                        | viii |
| ABSTRACT .....                                                    | ix   |
| 1. GİRİŞ.....                                                     | 1    |
| 2. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                       | 6    |
| 2.1 Donanım .....                                                 | 6    |
| 2.1.1 Çizgi kamera sensörü.....                                   | 6    |
| 2.1.2 Mikrodenetleyicili kontrol devresi .....                    | 10   |
| 2.1.3 Yuvarlak örgü makinesi simülatörü (silindirik tambur) ..... | 13   |
| 2.1.4 DC motor ile sürücü devresi .....                           | 14   |
| 2.1.5 Silindirik tambur devir sayacı .....                        | 16   |
| 2.1.6 Kişisel bilgisayar .....                                    | 17   |
| 2.2 Yazılım .....                                                 | 18   |
| 2.2.1. Mikrodenetleyici için yazılım geliştirme.....              | 18   |
| 2.2.2. Kişisel bilgisayar için yazılım geliştirme .....           | 28   |
| 3. İKİ BOYUTLU GÖRÜNTÜ ELDE ETME VE KAYDETME .....                | 32   |
| 4. KUMAŞ HATASI TESPİTİ .....                                     | 36   |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                        | 47   |
| KAYNAKLAR.....                                                    | 49   |
| EKLER .....                                                       | 51   |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                    | 52   |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 : Zamanlama sinyalleri saat darbe karakteristikleri. ....                                                           | 9  |
| Çizelge 2.2 : PIC16F877A ile STM32F411 karşılaştırması.....                                                                     | 12 |
| Çizelge 2.3 : STM32F411 ile Intel 8085 ve IBM RAD6000 karşılaştırması. ....                                                     | 13 |
| Çizelge 2.4 : Tamburu döndüren DC motor karakteristik özellikleri.....                                                          | 14 |
| Çizelge 2.5 : Motor sürücü doğruluk tablosu. ....                                                                               | 15 |
| Çizelge 2.6 : 8 bit çözünürlük ve tüm örnekleme zamanı seçenekleri için ADC dönüşüm süreleri. ....                              | 20 |
| Çizelge 2.7 : SH, ICG ve ØM PWM sinyali için donanım ve yazılım parametreleri. ....                                             | 24 |
| Çizelge 4.1 : Tambur devir sayısına bağlı olarak tespit edilen hatalı kumaş bölgeleri ve bu bölgelere ait sayısal veriler. .... | 46 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : CCD lineer görüntü sensörleri paket ölçüleri: (a) TCD1304DG. (b) TCD1103GFG. ....                                                        | 7  |
| Şekil 2.2 : TCD1103GFG CCD lineer görüntü sensörü spektral cevap eğrisi. ....                                                                        | 7  |
| Şekil 2.3 : TCD1103GFG çizgi kamera sensörü iç devresi. ....                                                                                         | 7  |
| Şekil 2.4 : Zamanlama ve analog çıkış sinyal diyagramları. ....                                                                                      | 8  |
| Şekil 2.5 : Sensör Zamanlama gereksinimleri. ....                                                                                                    | 9  |
| Şekil 2.6 : 120 derece geniş açılı lens. ....                                                                                                        | 10 |
| Şekil 2.7 : Aydınlatma için kullanılan yeşil LED. ....                                                                                               | 10 |
| Şekil 2.8 : WeAct Black Pill V2.0 geliştirme kartı. ....                                                                                             | 12 |
| Şekil 2.9 : ST-LINK programlayıcı (Programmer) ve hata ayıklayıcı (debugger). ....                                                                   | 13 |
| Şekil 2.10 : Kumaş örme makinesini simüle eden tambur. ....                                                                                          | 14 |
| Şekil 2.11 : (a) Pololu high-power motor sürücü devresi, (b) Arduino kontrolörü ile bağlantısı. ....                                                 | 15 |
| Şekil 2.12 : (a) Hall manyetik Sensör, (b) mıknatısla beraber tambur düzeneğine tespiti. .                                                           | 16 |
| Şekil 2.13 : (a) Connectivity sekmesi seçenekleri, (b) Middleware sekmesi seçenekleri, (c) Aygıt Yöneticisi altındaki sanal seri port numarası. .... | 19 |
| Şekil 2.14 : 1,333 MHz frekanslı ØM grafiği osiloskop görüntüsü. ....                                                                                | 24 |
| Şekil 2.15 : 400 Hz frekanslı ICG grafiği osiloskop görüntüsü. ....                                                                                  | 24 |
| Şekil 2.16 : 4 KHz frekanslı SH grafiği osiloskop görüntüsü. ....                                                                                    | 25 |
| Şekil 2.17 : ICG (1 numaralı) ve SH(2 numaralı) grafikleri osiloskop görüntüsü. ....                                                                 | 25 |
| Şekil 2.18 : STM32CubeMX üzerinden ADC Continuous Conversion çalışmanın set edilmesi. ....                                                           | 26 |
| Şekil 2.19 : STM32CubeMX üzerinden ADC Global Interrupt ayarlarının set edilmesi. ..                                                                 | 26 |
| Şekil 2.20 : Mikrodenetleyici yazılımı akış diyagramı. ....                                                                                          | 28 |
| Şekil 2.21 : USB'den veri okuma algoritması akış şeması. ....                                                                                        | 29 |
| Şekil 2.22 : Resim görüntüleme algoritması akış şeması. ....                                                                                         | 30 |
| Şekil 2.23 : 2D resim göstermek için hazırlanan windows formu araç çubuğu. ....                                                                      | 31 |
| Şekil 3.1 : CCD Çizgi kamera sensörü ile taranacak olan A4 sayfa boyutundaki görsel...                                                               | 33 |
| Şekil 3.2 : Silindirik tamburun etrafına sarılarak taranan görsel. ....                                                                              | 34 |
| Şekil 3.3 : Tarama sonunda elde edilen 2 boyutlu görüntü. ....                                                                                       | 35 |
| Şekil 4.1 : Çalışma düzeneği ve bileşenleri. ....                                                                                                    | 37 |
| Şekil 4.2 : Kumaşın hatasız bölgesine ait bir satıra ait 1500 piksellik data grafiği. ....                                                           | 38 |
| Şekil 4.3 : Kumaşın hatasız bölgesine ait bir çizgideki 1000 piksele ait grafik. ....                                                                | 38 |
| Şekil 4.4 : Kumaşın hatasız bölgesine ait bir çizgideki 1000 pikselin dağılım grafiği. ....                                                          | 39 |
| Şekil 4.5 : (a) 1 numaralı hata bölgesinin fotoğrafı, (b) bu bölgenin çizgi kamera ile elde edilmiş görüntüsü. ....                                  | 40 |
| Şekil 4.6 : 1 numaralı bölgeye ait iki çizginin (Line_224 ve Line_225) piksel grafiği. ....                                                          | 40 |
| Şekil 4.7 : (a) 2 numaralı hata bölgesinin fotoğrafı, (b) bu bölgenin çizgi kamera ile elde edilmiş görüntüsü. ....                                  | 40 |
| Şekil 4.8 : 2 numaralı bölgeye ait çizginin (Line_243) piksel grafiği. ....                                                                          | 41 |
| Şekil 4.9 : (a) 3 numaralı hata bölgesinin fotoğrafı, (b) bu bölgenin çizgi kamera ile elde edilmiş görüntüsü. ....                                  | 41 |
| Şekil 4.10: 3 numaralı bölgeye ait 8 çizginin (Line_287 - Line_294 arası) piksel grafiği..                                                           | 41 |
| Şekil 4.11 : 4 numaralı hata bölgesinin fotoğrafı, (b) bu bölgenin çizgi kamera ile elde edilmiş görüntüsü. ....                                     | 42 |
| Şekil 4.12: 4 numaralı bölgeye ait 4 çizginin (Line_343 - Line_346 arası) piksel grafiği..                                                           | 42 |
| Şekil 4.13 : (a) 5 numaralı hata bölgesinin fotoğrafı, (b) bu bölgenin çizgi kamera ile elde edilmiş görüntüsü. ....                                 | 42 |

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.14 : 5 numaralı bölgeye ait çizginin (Line_384) piksel grafiği. ....                                                                                                        | 43 |
| Şekil 4.15 : Hatalı ve hatasız bölgelere ait ardışık 500 çizgi görüntünün piksel grafikleri. ....                                                                                   | 43 |
| Şekil 4.16 : Tarama sırasında elde edilen hatalı bölge değerlerinin STMCubeMonitor uygulaması arayüzünde görselleştirilmesi. ....                                                   | 44 |
| Şekil 4.17 : Tambur devir sayısına bağlı olarak (a) tespit edilen hata sayısı, (b) tespit edilen hatalı satır sayısı, (c) tespit edilen hatalı piksel sayısı değişim eğrileri. .... | 46 |





## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

|             |                                 |
|-------------|---------------------------------|
| <b>2D</b>   | : Two–Dimensional (İki boyutlu) |
| <b>ADC</b>  | : Analog to Digital Converter   |
| <b>ADD</b>  | : Ayırık Dalgacık Dönüşümü      |
| <b>AHB</b>  | : Advanced High performans Bus  |
| <b>ALU</b>  | : Arithmetic Logic Unit         |
| <b>APB</b>  | : Advanced Peripheral Bus       |
| <b>CCD</b>  | : Charge Coupled Devices        |
| <b>CPU</b>  | : Central Processing Unit       |
| <b>DMA</b>  | : Direct Memory Access          |
| <b>FPS:</b> | : Frame Per Second              |
| <b>FPU</b>  | : Floating Point Unit           |
| <b>GPU</b>  | : Graphic Processing Unit       |
| <b>GSYH</b> | : Gayrı Safı Yurtiçi Hasıla     |
| <b>HSE</b>  | : High–Speed External           |
| <b>ICG</b>  | : Integration Clear Gate        |
| <b>I/O</b>  | : Input / Output                |
| <b>Mbps</b> | : Megabits per second           |
| <b>OOP:</b> | : Object Oriented Programming   |
| <b>PWM</b>  | : Pulse Width Modulation        |
| <b>SH</b>   | : Shutter (deklanşör)           |
| <b>t</b>    | : Zaman                         |
| <b>w</b>    | : Açısal hız                    |
| <b>YSA</b>  | : Yapay Sinir Ağları            |
| <b>ØM</b>   | : Master Clock                  |

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### LİNEER ÇİZGİ KAMERA SENSÖRÜ İLE HAREKETLİ NESNELERİN DÜŞÜK MALİYETLE GÖRÜNTÜLENMESİ

Ahmet Sait ERGIN

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

52 + ix sayfa

2021

Danışman: Doç. Dr. Ömerülfaruk ÖZGÜVEN

Bu tez çalışmasında lineer çizgi kamera sensörü ve mikrokontrolör kullanarak düşük maliyetli bir görüntüleme sistemi tasarlanmış ve bu sistem örme makinelerinde üretilen kumaşların hatalarının gerçek zamanlı tespitinde kullanılmıştır. Bu çalışma için farklı çözünürlüklü çizgi kamera sensörleri araştırılmış, 1500 aktif pixel ihtiva eden bir lineer çizgi kamera sensörü kullanmaya karar verilmiştir. Seçilen bu sensörü kontrol etmek için farklı karakteristik özelliklere sahip mikrodenetleyici seçeneklerinden 100 MHz çalışma frekanslı, Analog/Dijital dönüştürücü, doğrudan bellek erişimi ve USB donanım modüllerine sahip 32 bitlik mikrodenetleyici içeren bir geliştirme kartı seçilmiştir. Lineer çizgi kamera sensörü analog çıkışa sahip olduğundan sensörün algıladığı her piksel önce sayısala dönüştürülmüştür. Bu dönüştürme sürecinin hızı, sistemin toplamdaki hızını da belirlediğinden, geliştirme kartının doğrudan bellek erişimi modülü kullanılmıştır. Her bir çizgi tarama süreci boyunca elde edilerek belleğe kaydedilen bu piksel dizisi, hızlı bir veri transferi donanımı olan USB üzerinden kişisel bilgisayara aktarılarak orada çalışmakta olan bir program arayüzünde görüntü elde edilmiş, ayrıca bu görüntüler bilgisayara kaydedilmiştir.

Çalışmanın sonraki aşamasında örme makinelerine benzetim için doğru akım motoruyla döndürülen silindirik bir tambur tasarlanmış, bu tambura sarılan hatalı ve hatasız kumaşlarla kumaş hatasının tespiti çalışması gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel parametrelerin izlenmesi yolu ile kumaş hatası tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lineer çizgi kamera sensörü, Hareketli nesne görüntüleme , STM32, ARM, Örgü makinesi, Kumaş hata tespiti.

## ABSTRACT

Master Thesis

### LOW COST MONITORING OF MOVING OBJECTS WITH LINEAR LINE CAMERA SENSOR

Ahmet Sait ERGIN

Inonu University  
Graduate School of Nature and Applied Sciences  
Department of Electrical Electronics Engineering

52 + ix pages

2021

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ömerülfaruk ÖZGÜVEN

In this thesis, a low-cost imaging system was designed using a linear camera sensor and a microcontroller, and it was used to detect the defects of fabrics produced on knitting machines in real time. For this study, different resolution line camera sensors were investigated and it was decided to use a linear line camera sensor containing 1500 active pixels. In order to control this selected sensor, a development board with a 32-bit microcontroller with 100 MHz operating frequency, Analog/Digital converter, direct memory access and USB hardware modules was selected from the microcontroller options with different characteristics. Since the linear line camera sensor has an analog output, each pixel detected by the sensor is first converted to digital. Since the speed of this conversion process also determines the overall speed of the system, the direct memory access module of the development board was used. This pixel array, which was obtained during each line scanning process and recorded in the memory, was transferred to the personal computer via USB, which is a fast data transfer hardware, and an image was obtained in a program interface running there, and these images were saved to the computer.

In the next stage of the study, a cylindrical drum rotated with a direct current motor was designed to simulate knitting machines, and fabric defect detection was carried out with faulty and faultless fabrics wound on this drum. Fabric defect was determined by monitoring statistical parameters.

**Keywords:** Linear line camera sensor, Moving object imaging, STM32, ARM, Knitting machine, Fabric defect detection.

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu, çok eski devirlerden beri görüntüyü kalıcı hale getirerek çevresini ve yaşadığı olayları kayıt altına almayı istemiştir. Bu konudaki bilinen en eski örnek, Endonezya'daki bir kireçtaşı mağarasında keşfedilen 45.000 yıl öncesine ait av canlıları figürleridir (Brumm vd., 2021). İnsanoğlunun, yaşamı ve çevresini görsel araçlarla kaydetme çabalarının aracı olan resim, çeşitli kültür ve dinlerin etkisi altında gelişimini sürdürmüştür.

Fotoğraf; 'photos' (ışık) ve 'graphis' (çizim) yunanca kelimelerin birleşmesiyle ortaya çıkmıştır ve ışıkla çizmek anlamı taşımaktadır (Akyol, 2021). Fotoğraf ya da video kameraların temelinde, karanlık oda prensibi bulunmaktadır. "Karanlık oda (Camera Obscura) her tarafı kapalı, dikdörtgen bir kutudur. Çeperlerden birine küçücük bir delik açılmıştır. Kutunun dışındaki ışık ışınları bu delikten geçerek, deliğin bulunduğu çeperin karşısındaki çeperin içine, dışarıdaki bir nesnenin ters görüntüsünü yansıtır" (Rekin, 2005). M.Ö. 4. Yüzyılda Aristoteles, "Metal bir plâka üstüne küçük bir delik açarsanız, güneşin izdüşümü delikten geçip yere düşer." İfadesiyle, fotoğrafın optik prensibinin temelini atmıştır. Giralamo Cardano, Camera Obscura'ya bir çift ince kenarlı merceği yerleştirerek ilk objektifi tasarlamıştır. Johann Heinrich Schulze 1725'te kireç ve gümüş nitrat sürülmüş kâğıt kullanarak kalıcı görüntü elde etmiştir. Bunu, metal yüzeye, kâğıt ve cam yüzeye, ardından selülozik tabanlı filmlere kayıt izlemiştir (Özaydın, 2019). Sekiz saatlik pozlanma süresine sahip olması nedeniyle pratik kullanımdan uzak olan ilk kalıcı fotoğrafı, Fransız mucit Nicéphore Niépce oluşturmuştur (Akyol, 2021). Bugün bilinen adıyla fotoğraf, tarih boyunca pek çok bilim insanının katkılarıyla geliştirilmiş, Fransız bilim insanı Mande Daguerre, 'daguerrotype' adını verdiği fotoğraf makinesini 1839 tarihinde Fransız Bilimler Akademisine tescil ettirilmiştir (Gök, 2016). 20. yüzyılda renkli fotoğraf ve objektiflerde büyük ilerleme kaydedilmiş, görülebilen her şeyin fotoğrafını çekmek mümkün olmuştur. Yapay ışıklandırma ve flaşın keşfi de fotoğrafçılık tarihinde önemli bir yere sahiptir. Metal, kâğıt, cam ve filmin kullanıldığı ilk dönem, fotoğrafçılıkta analog dönem olarak kabul edilmiştir. Bu süreç boyunca elde edilen büyük kolaylıklara rağmen, karanlık odada negatifleri kimyasal işlemlerden geçirmek gibi zorluklardan dolayı, fotoğrafçılık çok yaygınlaşmamıştır (Özaydın, 2019).

Yalnızca 0.1 megapixel çözünürlüğe sahip optik CCD sensörlü ilk dijital fotoğraf makinesi, 1975 yılında üretilmiştir. Günümüzdeki türdeşlerine göre hayli ilkel olan 3,6 kg ağırlığa sahip bu makine, bir tek fotoğrafı kaydetmek için 23 saniyeye ihtiyaç duymaktaydı (*Fotoğrafın Tarihçesi*, 2016). Günümüzde fotoğraf makinelerini geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Optik sensörler, günümüzde maddelerin ışık aracılığı ile tanımlanmaları için kullanılan spektrometrelerde (*Spektroskopi*, 2020), dijital fotoğraf makineleri ve video kameralarda görüntü elde etme ve işleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Hassas ekipmanlar ve güçlü dijital sinyal işleme yeteneğine sahip kontrol üniteleri ihtiva ettiklerinden pahalı donanımlardır.

Gelişen ve ucuzlayan çevrebirimleri ve yazılım geliştirme alanındaki ilerlemelerin de desteğiyle, görüntüleme sistemleri alanındaki çalışmalar artmıştır. Haberal, hazırladığı doktora tezinde, bu çalışmadakine benzer donanımlarla Raman Spektroskopi Sistemi Tasarımı konusunda çalışmıştır (Haberal, 2017). Polat, lazer ve çizgisel Yük Bağlaşımlı Eleman (Charge Coupled Device - CCD) sensör kullanarak silindirik kesitli tel veya iplik benzeri nesnelerin çapını temassız olarak ölçen bir sistem geliştirmiştir (Polat, 2014). Fischer ve Radil, çalışmalarında çizgi tarama sensörünü, 100  $\mu\text{m}$  – 1 mm arası çaplardaki nesneleri ölçmek için tek çizgideki piksel dizisi üstüne düşen gölgelerinden faydalananarak başarıyla kullanmışlardır (Fischer & Radil, 2003). Rossel yaptığı çalışmada çizgi tarama sensörü ile elde ettiği tek çizgideki piksellerin voltaj seviyesini, bilgisayarda geliştirdiği bir uygulamada, osiloskop benzeri bir arayüzde göstermiştir (Esben Rossel, 2019).

Alan tarama kameraları, tıpkı insan gözünde olduğu gibi görüntünün tüm piksellerini aynı anda alır. Hareketli ve hareketsiz hedefler arasında ayrım yapmaz. Çizgi tarama kameraları ise görüntü olarak sadece tek bir çizgi alır ve bu durdurulmadığı sürece sonsuz bir görüntü oluşturulur. Çizgi tarama kameraları, baskı, tekstil üretimi ve dönen veya hareket eden nesnelerle denetim için çok iyi bir çözümdür. Boyutları veya şekilleri nedeniyle nesneler tek bir pozlamada bütünüyle yakalanamıyorsa, "taranmaları" gerekir. Kamera, nesnenin perspektifinde herhangi bir bozulma olmadan bir resmi belleğinde oluşturmak için satır bilgi yakalar. Çizgi tarama modu kullanıldığında, hareket şarttır. Ya denetlenecek malzeme, bir taşıma bandı üzerinde hareket ettirilir ya da kameranin kendisi hareket eder. Sonsuz yüzey incelemesine ek olarak, hızlı hareket eden nesneleri içeren genel inceleme, ölçme ve sıralama görevleri, geleneksel çizgi tarama kameraları için tipik uygulama alanlarıdır. Çizgi tarama kameraları, nesneleri bu şekilde taramak için ışığa duyarlı tek bir çizgiye sahip görüntü

sensörleri kullanan kamera sistemleridir. Buna karşılık, alan tarama kameralarındaki (matriks tarama kameraları olarak da bilinir) sensörler, paralel olarak düzenlenmiş ve tüm nesneleri tek bir pozlamada yakalamak için tasarlanmış iki boyutlu bir matristen oluşur. Bu iki kamera çeşidi, kendilerine özel alanlarda kullanılırlar (Hayward, 1986).

CCD çizgi tarama kameralarıyla yapılan çalışmalar genellikle alan tarama kameralarının tek çizgideki çözünürlüğünün (piksel sayısı) yeterli olmadığı ve ölçülen nesnenin tüm görüntüsünün gerekli olmadığı boyut ölçüm uygulamaları hakkındadır (Fischer & Radil, 2003).

Günümüzde akıllı sistemler baş döndüren bir hızla gelişmesini sürdürürken, sonuç üretmek için ihtiyaç duyduğu verileri, sensörler aracılığıyla dış dünyadan temin etmektedir. Bu sensörlerin en önemlilerinden biri de görüntü sensörleridir. Bu sensörler her ne kadar farklı materyallerden üretilse de temel amaçları, nesnelerden yansıyan ışığın fotovoltaiik hücreler üzerinde orantısal olarak oluşturduğu elektrik sinyali sayısallaştırılarak programlanabilir donanımlar için anlamlı hale getirmektir. Görüntünün büyüklüğüne ve istenen çözünürlüğe bağlı olarak elde edilen bu sayı dizisi bazen elde edilir edilmez hemen değerlendirilirken, bazen de daha sonra işlenmek üzere hafıza aygıtlarında depolanır.

Görüntü işleme çalışmaları hayatın pek çok alanında çözümler üretmektedir. Nesne tespit, tanıma ve takibi, suçluların tespiti ve izlenmesi, trafikte plaka tanıma ve hız takibi, sağlık alanında, doğum öncesi takip, şüpheli doku tespiti ve erken tanı, savunma sanayinde düşman tespiti ve hedef takibi, uydu görüntü sistemleri ile nüfus ve çevre takibi, güvenlik kameraları, uzaktan algılama sistemleri, üretim bandında mamul takibi gibi başlıklar, uygulama alanlarına örnek olarak verilebilir.

Ülke içi ticaretindeki payı %8'in, dünya ticaretindeki payı %4'ün üzerinde olan tekstil, ekonomimizin lokomotif sektörlerinden biridir. Sağladığı istihdam ile ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır. Hazır giyim sektörüyle birlikte değerlendirildiğinde, ülkemiz GSYH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla)'nın %10'undan fazlasını sağlamaktadır (Uyanık & Çelikel, 2019). Ülkemiz ekonomisi açısından bu denli öneme sahip olan bu sektörde, üretim sırasında meydana gelen hatalar nedeniyle ciddi ekonomik kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bunlar; enerji, zaman, işgücü ve mamul (kumaş) kaybı olarak sınıflandırılabilir. Kumaş hataları, tekstil sektöründeki hataların %85'ini oluşturmaktadır (Pınar, 2020). Hatalı kumaşın tespiti, üretim aşamasından sonra uzman personel tarafından özel olarak tasarlanmış kalite kontrol düzeneklerinde göz taraması yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu süreç uzun zaman alması, bu

sebeple çalışanın dikkatinin dağılması gibi nedenlerle yüksek başarı oranına sahip değildir. İyi eğitilmiş bir kalite kontrol personeli hataların ancak %70'ini tespit edebildiği belirlenmiştir (Pınar, 2020). Ayrıca, zaten ortaya çıkmış olan kumaş firesi, üreticileri ve dolayısıyla ülke ekonomisini olumsuz etkilemektedir. Makine görmesi ve görüntü işleme algoritmalarıyla kumaş hatasını tespit edip sınıflandıran pek çok çalışma yapılmıştır. Pınar, yüksek lisans tezinde denim (1850'li yıllarda işçi elbisesi, II. Dünya savaşı sonrasında da asker elbisesi olarak tanınan) kumaşlarda kusur tespiti çalışması yapmıştır (Pınar, 2020). Farklı görüntü işleme algoritmaları ile offline gerçekleştirilen bu çalışmada en yüksek performansın J48 Karar Ağacı Algoritmasına ait olduğu görülmüştür. GPU ile Kumaş Hata Tespiti ve sınıflandırılmasının gerçekleştirildiği bir tez çalışmasında Ayrik Dalgacık Dönüşümü (ADD) metodu ile örüntü tanıma gerçekleştirilmiştir (Güler, 2013). Sınıflandırma için çok katmanlı yapay sinir ağları (YSA) uygulanan bu çalışma da offline gerçekleştirilmiştir. Aynı algoritmalar hem Merkezi İşlem Birimi (CPU) hem de Grafik İşlem Birimi (GPU) üzerinde çalıştırılarak performans olarak iki farklı donanım kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. YSA ile hatalı kumaş bölgelerinin tespit edildiği başka bir uygulama, Matlab ortamında temel bileşen analiz yöntemini kullanmıştır (Büyükkabasakal, 2010). Kullanılan araçlardan anlaşılacağı gibi bu uygulama da bilgisayar üzerinde ve offline gerçekleştirilmiştir. Bir diğer çalışmada da bloklara ayrılan kumaş görüntüsünün özellikleri gri seviye eş oluşum matrisi ve ortanca (medyan) farkı olarak iki farklı metot uygulanıp çıkarılarak K-means kümeleme algoritması uygulanmış, performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuca göre, gri seviye eş oluşum matrisi kullanıldığında başarı %97.99, Medyan farkı kullanılarak kümeleme yapıldığında ise başarı %86.91 olarak elde edilmiştir (Çıklandır vd., 2020). Dokuma tezgahlarında hatalı kumaş dokusunun tespiti konusunda bir çizgi kamera (BASLER) ile gerçek zamanlı elde edilen kumaş çerçevelerinin iki boyutlu spektrumları alınmış ve bu problem için tasarlanan özel bir kernel ile filtrelenmiş, elde edilen spektral güç değerleri kullanılarak hatalı ve sağlam kumaş imgeleri yaklaşık olarak %99.19 oranında birbirinden ayrıştırılmıştır (Tağluk, 2017). Ancak bu ürün oldukça pahalı olan ticari bir donanım ve yazılım paketi olup, maliyeti bu çalışmamızdaki konfigürasyon ile kıyaslanamayacak kadar yüksektir (Basler, 2021). Yuvarlak örme makinesi üzerinde yapılan bir diğer gerçek zamanlı çalışmada 28kHz tarama hızında çalıştırılan çizgi kameradan (Basler raL2048gm model) 1 saniyede elde edilen 256 x 1000 pixel boyutunda 90 adet görüntü çerçevesi Matlab ve C++/Opencv platformları üzerinde görüntü işleme algoritmalarıyla

işlenerek karşılaştırılmış, Matlab ortamında saniyede sadece 3 çerçeve işlenirken C++/OpenCV platformunda bu değer 50-55 aralığında tespit edilmiştir (Hanbay vd., 2017).

Bu çalışmada, düşük maliyetli bir çizgi tarama sensörü ve bir mikrodenetleyicili elektronik devre kartı kullanılarak tasarlanmış optik sistem ile, hareketli nesnelerin görüntülerini elde ederek hafıza aygıtlarına kaydedilmiş, sonrasında ise örme makinelerini simüle eden dönen silindirik tambura sarılı bir kumaştaki delik, yırtık benzeri kumaş hatasını gerçek zamanlı olarak tespit eden bir sistem tasarlanmıştır.

Bu tezin ana amacı, çok yüksek olmayan hızlarda hareket eden nesnelere, özellikle de endüstriyel üretim bandlarındaki ürünlere ait yüksek çözünürlüklü görüntü verilerini düşük maliyetli donanımlarla elde etmek ve kaydetmektir.

Tezin ikinci amacı, çizgi kamera sensörü ile elde edilen imaj verilerini işleyerek, yuvarlak örgü makinelerinde üretilen kumaşlara ait hataları gerçek zamanlı olarak tespit etmektir.

Bölüm 2’de, tez çalışmasında kullanılan donanım ve yazılım birimleri incelenmiş, bu materyaller kullanılarak 2 boyutlu görüntü elde edilerek disk ünitelerine kaydedilmesi Bölüm 3’te anlatılmıştır. Bölüm 4’te ise, yuvarlak örme makinelerini simüle eden silindirik tambur üzerine sarılı hatalı kumaş üzerinde hata yakalama çalışmaları detaylı olarak anlatılmıştır. Bölüm 5’te ise, tez çalışmalarından elde edilen sonuçlar anlatılıp, gelecekte yapılması planlanan çalışmalar hakkında bilgilere ve önerilere yer verilmiştir.



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

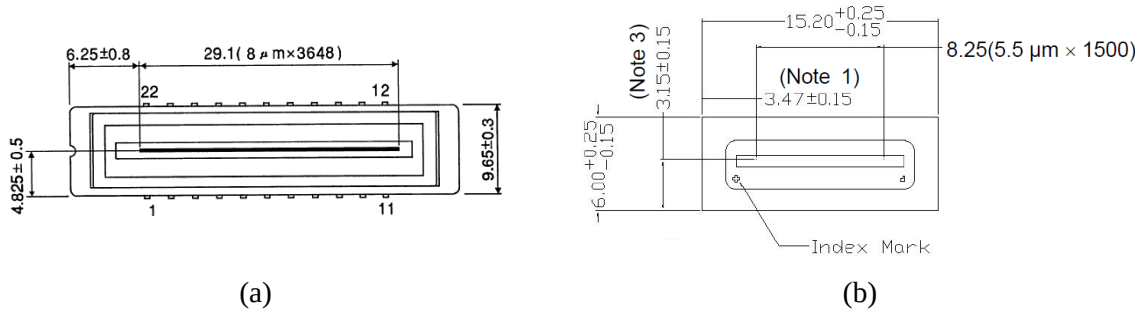
Bu tez çalışmasında kullanılan materyaller, donanım ve yazılım olarak iki başlık altında incelenebilir.

### 2.1 Donanım

Çalışmada çizgi kamera sensörü, mikrodenetleyicili kontrol devresi, yatay olarak yataklandırılmış ve devir sayısı ayarlanabilen DC motor tarafından döndürülen silindirik tambur, DC motor ile sürücü devresi ve kişisel bilgisayar olmak üzere beş ana donanım ünitesi kullanılmıştır.

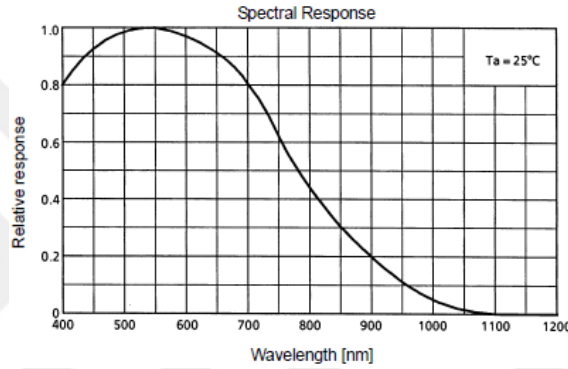
#### 2.1.1 Çizgi kamera sensörü

Amaca uygun kamera seçiminde ortam (iç veya dış mekân), ihtiyaç duyulan hassasiyet, ortamın ışık türü (gün ışığı, infrared) ve şiddeti, görüş alanı ve maliyet gibi hususlar göz önüne alınır. ‘Tüplü’ olarak isimlendirilen ilk türleri, titreşim karşısındaki yetersizlik, maliyet ve ergonomik olmaması gibi olumsuz özellikleri nedeniyle yerlerini CCD ve CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) optik sensörlere bırakmıştır. Bu iki sensör grubu, farklı prensiplerle görüntüyü elektrik sinyallerine dönüştürürler. Kullanım alanı ve amacına göre, avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. CMOS sensörlerin güç tüketimleri düşük olmasına karşın, gürültü bağılıkları zayıftır. Cep telefonu gibi batarya ile beslenen taşınabilir cihazlarda yaygın olarak kullanılırlar. CCD kameralar ise CMOS kameralara göre daha fazla enerji tüketirler ancak gürültüden daha az etkilenirler. Ayrıca ışık seviyesi düşük ortamlarda daha verimli çalışırlar. Bu çalışmada Toshiba’nın fiyat/performans oranı üstün olan, TCD serisi CCD lineer çizgi kamera sensörleri araştırılmıştır. Önce 3648 aktif piksele sahip olan TCD1304DG model lineer CCD sensör ile çalışılmış ancak 29.1 mm uzunluğa sahip (Şekil 2.1(a)) aktif bölgesine odaklama yapacak lenslerin maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle aynı markanın 1500 pikseli, 8.25 mm aktif bölge uzunluklu (Şekil 2.1(b)) (TCD1103 Toshiba Electronic Devices DataSheet, 2017) TCD1103GFG CCD lineer görüntü sensörü tercih edilmiştir.



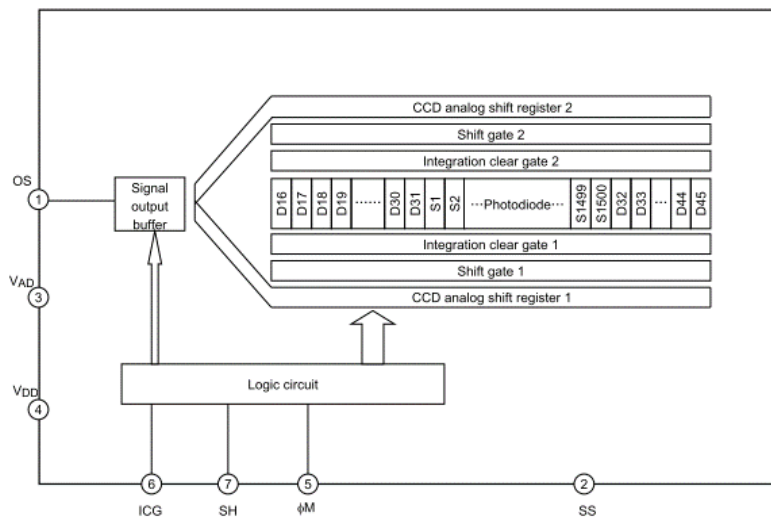
Şekil 2.1 : CCD lineer görüntü sensörleri paket ölçüleri: (a) TCD1304DG. (b) TCD1103GFG.

Şekil 2.2’den de görüldüğü gibi TCD1103GFG CCD lineer görüntü sensörünün maksimum spektral cevabı 550 nm olup, görünür spektrum içinde çalışmak için uygundur. (TCD1103 Toshiba Electronic Devices DataSheet, 2017).



Şekil 2.2 : TCD1103GFG CCD lineer görüntü sensörü spektral cevap eğrisi.

Şekil 2.3’teki devre diyagramından da görüldüğü gibi, TCD1103GFG çizgi kamera sensörü, üç adet zamanlama sinyal girişi (ICG, SH, ØM), enerji besleme girişleri (VDD, VAD, SS) ve analog çıkış sinyali (OS) pinlerine sahiptir.

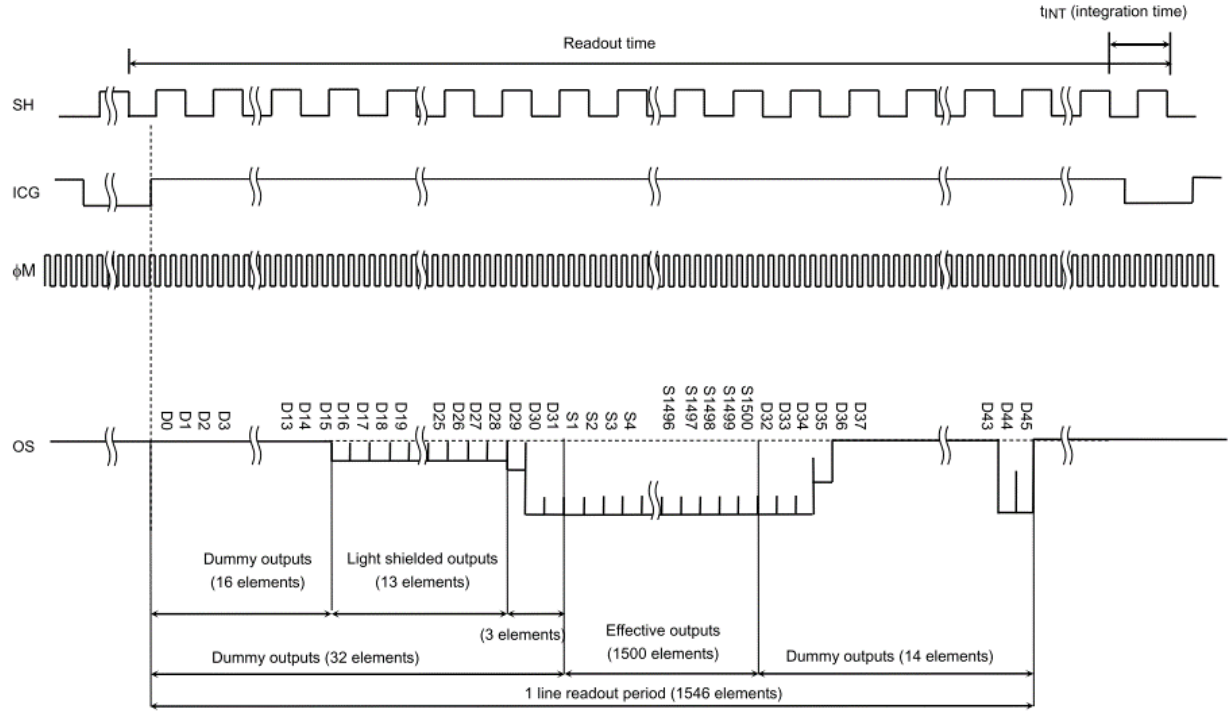


Şekil 2.3 : TCD1103GFG çizgi kamera sensörü iç devresi.

## Zamanlama gereksinimleri

TCD1103, üç sürüş saat darbe dizisine ihtiyaç duyar:

- ØM – Ana saat, (0,4 - 4 MHz aralığında çalışmalıdır)
- SH – Kaydırma kapısı,
- ICG – Entegrasyon temizleme kapısı.



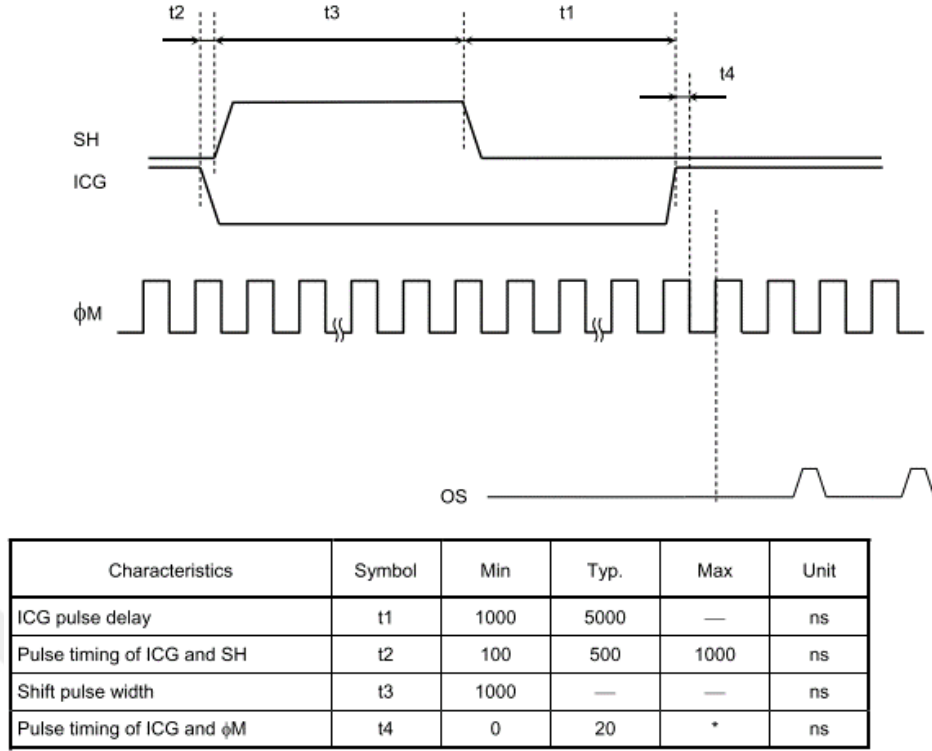
Şekil 2.4 : Zamanlama ve analog çıkış sinyal diyagramları.

Üç zamanlama sinyali ve analog çıkış sinyali, sensörün tutarlı çalışması için birbirine hassas bir şekilde bağlı olup, Şekil 2.4'te gösterilmiştir (TCD1103 Toshiba Electronic Devices DataSheet, 2017).

Şekil 2.5'teki veri sayfası bilgilerinden şu çıkarımlar yapılabilir:

- SH, ICG düştükten sonra 100 ile 1000 ns arasında bir gecikmeyle ( $t_2$ ) yükselmelidir.
- SH, minimum 1000 ns ( $t_3$ ) için yüksek kalmalıdır.
- ICG, SH düştükten sonra minimum 1000 ns'lik bir gecikmeyle ( $t_1$ ) yükselmelidir.
- ØM yüksek olduğunda ICG yükselmelidir.

Pikseller, yalnızca ICG ve SH çakıştığında kaydırma yazmaçlarına taşınır. Bu koşulların karşılanması için, güçlü timer modüllerine sahip bir mikrodenetleyici donanım kullanılmıştır.



**Şekil 2.5 : Sensör Zamanlama gereksinimleri.**

Çizelge 2.1 incelendiğinde, çizgi kamera sensörünün veri transfer frekansının, ana saat darbe frekansının yarısı ( $f_{OM}/2$ ) kadar olduğu görülmektedir (TCD1103 Toshiba Electronic Devices DataSheet, 2017).

**Çizelge 2.1 : Zamanlama sinyalleri saat darbe karakteristikleri.**

| Karakteristik           | Sembol     | Min. | Tipik | Max. | Birim |
|-------------------------|------------|------|-------|------|-------|
| Ana saat darbe frekansı | $f_{OM}$   | 0.4  | 2.0   | 4.0  | MHz   |
| Data transfer hızı      | $f_{DATA}$ | 0.2  | 1.0   | 2.0  | MHz   |

### **Analog çıktı**

CCD'ler, fotonları toplayan ve onları elektriksel voltaja dönüştüren analog cihazlardır. Toplanan yük  $f_{DATA}$  frekansı ile çıkışa kaydırılır, Şekil 2.4'te OS ile gösterilen bu analog sinyal, analog dijital konvertör modülü ile dijitalleştirilir. OS sinyali incelendiğinde, 1500 aktif pikselin öncesinde 32, sonrasında da 14 sahte piksel elemanı mevcut olduğu görülür. Bu elemanlar sabit voltaj seviyesine sahip olup, bir satırlık periyottaki sinyalin işlenmesi sırasında değerlendirilebilir. Sinyal grafiğinden anlaşılan bir diğer bilgi, sensörün aktif bölgesine düşen foton enerjisi ne kadar fazla olursa, çıkış voltajı o kadar düşüktür yani sensör, ışık yoğunluğu ile ters orantılı bir analog voltaj seviyesi üretir.

## **Lens**

Lenslerin temel işlevi bir alandan yansıyan ışığı toplamak ve kameranın görüntüleyici ünitesinde net, berrak bir görüntü odaklamaktır. Genellikle, bir lensten geçen ışık ne kadar fazlaysa resim kalitesi de o kadar yüksek olmaktadır (*Güvenlik kameraları – KameraSystem, 2019*). Çizgi sensörlü kameralarda da çoğunlukla alan sensörlü kameralarda kullanılan lensler kullanılır. Ancak, çizgi tarama kameraları çok yüksek çözünürlükler (hat başına 16k'ye kadar) sağladığından, yüksek kaliteli lensler gerektirir (*Line scan cameras for machine vision, 2020*). Görüntüyü Şekil 1(b)'de görülen 8.25 mm uzunluğundaki sensör aktif bölgesine odaklamak için Şekil 2.6'da görülen 120 derece geniş açılı lens kullanılmıştır.



**Şekil 2.6 : 120 derece geniş açılı lens.**

## **Aydınlatma düzeneği**

Çizgi tarama kameralarında, alan kameralarından tamamen farklı olan aydınlatma düzeni gerekir. Tek bir çizgi taranırken ve malzeme hızla ilerlerken görüntünün sadece bir satırının aydınlatılması gerekir. Ancak, ilerleyen malzemenin hızı nedeniyle nesnenin ışığa maruz kalma süreleri düşüktür. Sonuç olarak, çizgi tarama kameraları sıklıkla yüksek veya aşırı ışık yoğunluklarına (1000000 lux'e kadar) sahip aydınlatma kurulumları gerektirir (*Line scan cameras for machine vision, 2020*).

Şekil 2.2'deki sensör spektral eğrisinden de görüldüğü gibi, 500 nm ile 600 nm arası dalga boyundaki ışığın seçilmesinin uygun olduğu anlaşılmaktadır. Buna en uygun renk, 500 nm ile 570 nm arası dalga boyuna sahip olan yeşildir. Bu nedenle, çizgisel ve homojen bir yeşil ışık elde etmek için, Şekil 2.7'de görülen LED kullanılmıştır.



**Şekil 2.7 : Aydınlatma için kullanılan yeşil LED**

### **2.1.2 Mikrodenetleyicili kontrol devresi**

Mikroişlemcili bir sistemin içerisinde bulunması gereken temel bileşenlerden RAM, ROM, ALU, kontrol ünitesi ve I/O ünitesini tek bir chip içinde barındıran entegre devreye (IC) mikrodenetleyici (microcontroller) denir (Altınbaşak, 2015).

Dizüstü ve masaüstü denilen kişisel bilgisayarlar genel amaçlıdır ve kendileri için geliştirilmiş farklı birçok programı çalıştırabilirler. Oysa mikrodenetleyiciler, genellikle tek bir programı çok hassas zamanlamayla çalıştırmak için kullanılırlar. Bu nedenle "özel amaçlı bilgisayar" olarak da bilinirler. Mikrodenetleyiciler veri giriş aygıtlarından gelen analog veya dijital verileri ALU ve kontrol ünitesi aracılığıyla değerlendirdikten sonra çıkış sinyali I/O (Input /Output) port'ları aracılığı ile kontrol ettiği aygıtlara gönderirler. Mikrodenetleyiciler mikroişlemcilerle göre çok düşük güç harcarlar (mW'lar seviyesinde). Yazılımları da dahil olmak üzere ihtiyaç duydukları hemen tüm çevre birimleri kendi içlerinde olan mikrodenetleyicili sistemlere "embedded system -gömülü sistem" de denir (Altınbaşak, 2015). Günümüzde kullanılan mikrodenetleyicilerin çoğu otomobiller, telefonlar, cihazlar ve bilgisayar sistemleri için çevre birimleri gibi diğer makinelere gömülüdür. Genellikle giriş/çıkış cihazları olarak LCD'ler, röle'ler, solenoid'ler, LED'ler, küçük veya özel sıvı kristal ekran'lar, radyo frekansı cihazları ve sıcaklık, nem, ışık seviyesi vb. gibi veriler için sensörler bulunur. Gömülü sistemlerde genellikle klavye, ekran, disk, yazıcı veya kişisel bilgisayar gibi diğer tanınabilir I/O cihazlar yoktur (*Mikrodenetleyici - Vikipedi*, 2021).

Mikroişlemcili sistemlerde zorunlu olarak bulunması gereken harici devreler (RAM, ADC, I/O vb. devreleri) mikrodenetleyicili sistemlerde, bulunmayacağından tasarım maliyeti daha düşüktür.

Mikrodenetleyicili bir sistem tasarlanırken şu kriterlere dikkat edilir (Altınbaşak, 2015):

- **İşlem gücü:** İhtiyaç duyulan frekansta çalışabilecek denetleyici seçilmelidir.
- **Bellek tipi ve kapasitesi:** Geliştirilecek sistem için ihtiyaç duyulan program belleği, veri belleği ve ihtiyaç duyuluyorsa dahili eeprom bellek kapasitesi göz önüne alınmalıdır. Belleğin tipi de önemlidir. Flash tipteki bellekler defalarca silinip tekrar programlamaya izin verdiği için uygulama geliştirmede kolaylık sağlar.
- **Giriş / Çıkış (I/O) pin (uç)sayısı:** Mikrodenetleyicinin çevre birimler ile haberleşmesini sağlayacak giriş/çıkış uçlarının sayısı, gereksinime göre belirlenmelidir.
- **Özel donanımlar:** Mikrodenetleyicinin çevre birimlerle iletişim kurarken kullanacağı seri, I2C, SPI, USB, CAN gibi veri iletişim protokollerini destekleyen veya ADC, analog karşılaştırıcı gibi analog verileri işleyebilecek donanımlara sahip olması dikkate alınmalıdır. Tasarlanacak sistemin gereksinimlerine bağlı olarak bu donanımlardan gerekli olanları içeren bir denetleyici seçilmelidir.

- Ticari uygulamalarda program kodunun korunmasını sağlayacak kod koruma özelliğine sahip olması gerekir.

### ***Kontrol sisteminin donanım yapısı***

Bu tez çalışmasında değerlendirilen bir konu da tasarlanacak sistemin düşük maliyetli olmasıdır. Bu amaçla planlanan uygulamayı gerçekleştirme kapasitesi yanında düşük maliyetli bir kontrolcü araştırılmış ve STMicroelectronics firmasının ürettiği 32 bit mimariye sahip ARM STM32F411 mikrodeneleyici kullanılarak tasarlanan WeAct Black Pill V2.0 geliştirme kartı kullanılmıştır (Şekil 2.8) (STM32F411CEU6, 2019).



**Şekil 2.8 : WeAct Black Pill V2.0 geliştirme kartı.**

Bu geliştirme kartının tasarımında kullanılan ARM mimarili STM32F411 denetleyicisi ile tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de uzun yıllar boyunca mikrodeneleyici eğitiminde yaygın olarak kullanılan Microchip firmasının ürettiği kontrolör ailesinden PIC16F877A denetleyicisinin birkaç temel özelliği Çizelge 2.2’de karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 2.2 : PIC16F877A ile STM32F411 karşılaştırması.**

| <b>Mikrodeneleyici</b> | <b>PIC16F877A</b>                         | <b>STM32F411</b>                          |
|------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Max. Saat Hızı</b>  | 20 MHz                                    | 100 MHz                                   |
| <b>FLASH</b>           | 8KB                                       | 512 KB                                    |
| <b>SRAM</b>            | 368 Byte                                  | 128 KB                                    |
| <b>Haberleşme</b>      | USART x 1, I2C x 1,<br>SPI x 1, USBFS x 0 | USART x 3, I2C x 3,<br>SPI x 5, USBFS x 1 |
| <b>ADC</b>             | 1x8 kanal                                 | 1x10 Kanal                                |
| <b>Timers</b>          | 3 (2 x 8 bit, 1 x 16 bit)                 | 8 (2 x 32 bit + 6 x 16 bit)               |
| <b>GPIO</b>            | 33 x I/O Ports                            | 34 x I/O Ports                            |
| <b>Veri Yolu</b>       | 8 bit                                     | 32 bit                                    |
| <b>FPU</b>             | -                                         | Var                                       |

Çizelge 2.2’den anlaşılacağı gibi bu çalışmada kullanmak üzere seçilen geliştirme kartındaki mikrodeneleyicinin donanımsal özellikleri, diğerinden üstündür. Ayrıca, sadece entegre şeklindeki PIC16F877A mikrodeneleyicinin fiyatı yaklaşık \$4.16 (PIC16F877A I/P - AliExpress, 2021) iken, USB type C konnektörü, kullanıcı ve reset butonu, kullanıcı ve güç LED’i, gerilim regülatörleri breadboard uyumlu devre kartı üzerine yerleştirilmiş ve çalışmaya

hazır olarak satılan STM32F411 geliştirme kartının fiyatı \$3.15 civarındadır (STM32F411ceu6 Development Board V3.0 - AliExpress, 2021).

STM32F411 mikrodenetleyicinin maksimum saat hızı, 1997 yılında Mars'a gönderilen ilk gezici araç Pathfinder'in mikroişlemcisi olan Intel 8085 ile ve 2004 yılında marsa gönderilen Opportunity ve Spirit'de kullanılan IBM RAD6000 mikroişlemcilerle kıyaslandığında (Çizelge 2.3), geçen zaman içerisinde işlemci teknolojisindeki gelişme daha iyi görülmektedir (IBM RAD6000 - Wikipedia, 2020), (Mars Pathfinder FAQs - Sojourner, 1997).

**Çizelge 2.3 : STM32F411 ile Intel 8085 ve IBM RAD6000 karşılaştırması.**

| İşlemci Adı | Çalışma Frekansı (MHz) |
|-------------|------------------------|
| Intel 8085  | 2                      |
| IBM RAD6000 | 20                     |
| STM32F411   | 100                    |

STM32F411 mikrokontrolörünün aşağıdaki süreçleri kusursuz bir şekilde yönetmesi gerekir:

- TCD1103GFG çizgi kamera sensörünün birbirine bağımlı üç zamanlama sinyallerini üretmek,
- Sensörün çıktısı olan analog sinyali, zamanlama sinyalleriyle senkron olarak dijitale dönüştürmek,
- Elde edilen dijital piksel verilerini yorumlayarak gerçek zamanlı olarak kumaş kusurlarını yakalamak,
- Kusur tespit edilirse, sistemi durdurmak ve sesli sinyal ile operatörü uyarmak.

Mikrodenetleyicinin tüm bu süreçleri hatasız olarak yönetmesi için, karmaşık iç donanım yapısının doğru konfigüre edilmesi ve ardışık süreçleri yönetecek yazılımının kolay yönetilmesi için güçlü yazılım geliştirme araçlarına gereksinim bulunmaktadır.

Bu geliştirme kartlarında dahili programlayıcı bulunmadığından, ST-LINK olarak bilinen programlayıcı (Programmer) ve hata ayıklayıcı (debugger) kullanılacaktır (Şekil 2.9).



**Şekil 2.9 : ST-LINK programlayıcı (Programmer) ve hata ayıklayıcı (debugger).**

### 2.1.3 Yuvarlak örgü makinesi simülatörü (silindirik tambur)

Çizgi kamera kullanılarak bir nesnenin iki boyutlu görüntüsünü elde edebilmek için ya kamera sabit tutulup nesne hareket ettirilmeli, ya da nesne sabitken kamera hareket ettirilmelidir. Bu tez çalışmasının ikinci amacı olan dönen yuvarlak örme makinelerinden görüntü yakalama



alışmasını da simüle edecek şekilde kamera sabit tutulup, görüntüsü elde edilecek nesnenin dairesel hareket etmesini sağlayacak bir düzenek tasarlanmıştır. Şekil 2.10’da görülen bu düzende, yatay olarak dönebilecek şekilde yataklandırılmış ve hareketini aynı tezgâh üzerine sabitlenmiş olan DC motordan bir kayış mekanizmasıyla alan silindirik bir tambur tasarlanmıştır. Silindirin çapı 27 cm, çevresi 86 cm ve uzunluğu 52 cm’dir.



Şekil 2.10 : Kumaş örme makinesini simüle eden tambur.

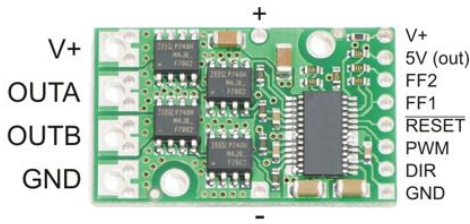
#### 2.1.4 DC motor ile sürücü devresi

DC motor redüktörlü olup, Çizelge 2.4’te gösterilen karakteristik özelliklere sahiptir.

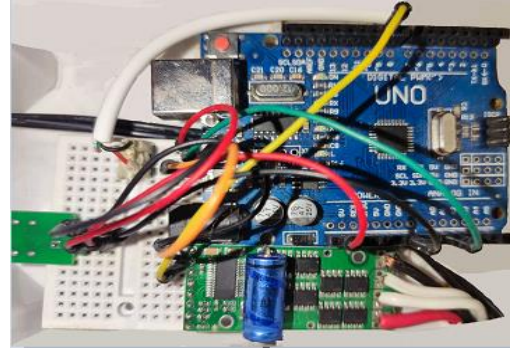
Çizelge 2.4 : Tamburu döndüren DC motor karakteristik özellikleri.

| Özellik          | Değer      |
|------------------|------------|
| Çalışma gerilimi | 24 V.      |
| Devir sayısı     | 200 d/dak. |
| Çıkış torku      | 5.3 Nm     |

DC motoru sürmek için Şekil 2.11(a)’da görülen Pololu high-power motor driver 24v20A yüksek güçlü motor sürücü devresi kullanılmıştır (*Pololu High-Power Motor Driver 24v12*, 2014).



(a)



(b)

Şekil 2.11 : (a) Pololu high-power motor sürücü devresi, (b) Arduino kontrolörü ile bağlantısı.

Pololu yüksek güçlü motor sürücüsü, fırçalı DC motorları sürmek için tasarlanmış bir MOSFET H köprüsüdür. H köprüsü, bacak başına bir N-kanallı MOSFET'ten oluşmuştur. Karttaki diğer elemanlar, kullanıcı girişlerini almak ve MOSFET'leri kontrol etmek için düzenlenmiştir. Güvenli maksimum voltaj yaklaşık 34 V'tur. Soğutucu olmadan 12 A'e kadar sürekli akım sağlayabilir. Soğutucu ile bu değer, yaklaşık 17 A'e kadar sürekli akıma sahip bir motoru çalıştırabilir.

### Motor Kontrol Seçenekleri

Motor kontrolü, Çizelge 2.5'te verilen sürücü doğruluk tablosunda özetlenmiştir (*Pololu High-Power Motor Driver 24v12*, 2014).

Çizelge 2.5 : Motor sürücü doğruluk tablosu.

| PWM | DIR | OUT A | OUT B | İŞLEM |
|-----|-----|-------|-------|-------|
| H   | L   | L     | H     | İLERİ |
| H   | H   | H     | L     | GERİ  |
| L   | X   | L     | L     | FREN  |

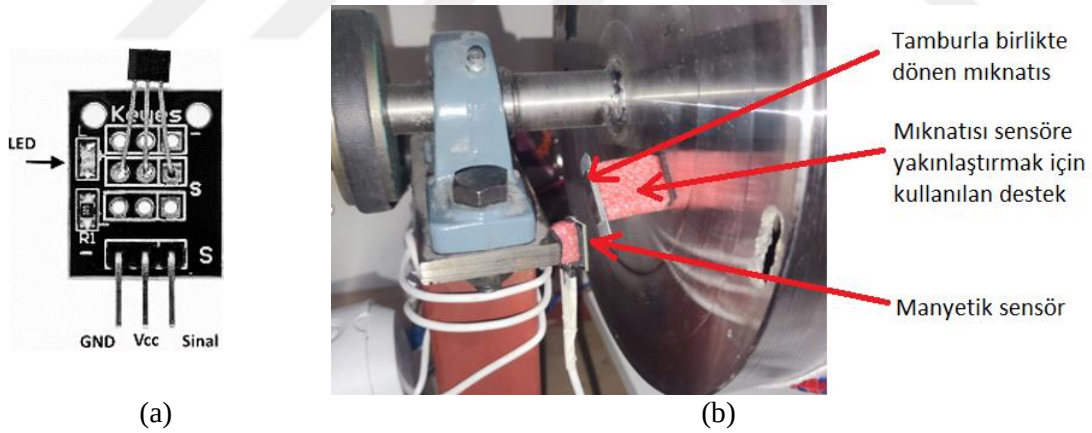
Doğruluk tablosundan da görüldüğü gibi, DIR (**D**irection: yön) pini L (Low: düşük lojik seviye) iken motor bir yönde, H (High: yüksek lojik seviye) olduğunda tersi yönde dönmektedir. DIR değerinden bağımsız olarak PWM = L, OUT A = L ve OUT B = L iken motor frenlenmektedir. Motor devir sayısı, PWM pinine uygulanan Duty Cycle'a (Görev süresi) bağlı olarak ayarlanır. Bu değer, bir potansiyometre ile ayarlanabilir.

DC motora uygulanacak PWM sinyali her ne kadar çizgi kamera sensörünü kontrol eden denetleyici (STM32F411) tarafından sağlanabilse de çok hassas bir sürecin yürütüldüğü görüntü elde etme düzeneğini motor sürücü devresinin elektriksel gürültüsünden yalıtma

amacıyla ayrı bir kontrolör devresi kullanılmıştır (Arduino UNO). DC motor yön ve devir sayısını kontrol eden Arduino (Şekil 2.11(b)) kodları, EK A’da verilmiştir.

### 2.1.5 Silindirik tambur devir sayacı

Yuvarlak örme makinelerini simüle edecek olan dönen tamburun devir sayısını hesaplamak için Hall manyetik sensör kullanılmıştır. Şekil 2.12(a)’da görülen bu sensör, ikisi besleme, biri sinyal olmak üzere üç pine sahiptir. Manyetik alan etkisi altında olmadığı zaman yüksek seviyeye (Lojik 1) sahip olan sinyal ucu, manyetik alan etkisi altındayken düşük voltaj seviyesinde (Lojik 0) olup bu durumda sensörün bulunduğu kart üzerindeki LED ışık vermektedir. Böylece kullanıcı da görsel olarak durum değişikliğini izleyebilmektedir. Bu mantığı kullanarak dönen tamburun devir sayısını hesaplamak için manyetik sensör, tamburun düşey demir profili üzerine sabitlenmiş, manyetik alan üreten küçük ve hafif bir mıknatıs da tamburla beraber dönecek şekilde yan yüzey kısmına tutturulmuştur (Şekil 2.12(b)). Tambur dönerken birlikte hareket eden mıknatıs da manyetik sensöre çok yakın olarak önünden geçerek, sensörün sinyal ucunun bir alçalan kenar voltaj seviyesi üretmesini sağlamaktadır. Mikrodenetleyicinin bir pini, bu düşen kenarda kesme üretecek şekilde yapılandırılmış olup, kesme alt programında devir sayısı hesabı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.12 : (a) Hall manyetik Sensör, (b) mıknatısla beraber tambur düzeneğine tespiti.

Mıknatıs tamburla birlikte döndüğü için, manyetik sensörün yakınından her geçişinde üretilen kesmeler arasında geçen süre, bir tam devirin gerçekleşme süresidir. Bu süreyi milisaniye olarak hesaplamak için mikrodenetleyicinin timer modüllerinden biri uygun şekilde koşullandırılmıştır. Tamburun her bir turunda geçen süre milisaniye olarak bilindiğine göre, bir dakikadaki (1 dakika = 60 saniye = 60.000 milisaniye) devir sayısı da formül 2.1 yardımıyla mikrodenetleyiciye hesaplatılabilir.

$$Devir Sayısı = \frac{60000}{Geçen Süre} (devir / dak.) \quad (2.1)$$

### 2.1.6 Kişisel bilgisayar

Bu tez çalışmasını gerçekleştirmek için bilgisayar iki amaçla kullanılmaktadır.

- i. Yazılım geliştirme araçlarını kullanarak gerekli uygulamaları geliştirmek,
- ii. Görüntü sensöründen elde edilip kendisine gönderilen tek boyutlu piksel dizileri aracılığıyla iki boyutlu imaj çerçeveleri (frame) elde edip monitöründe göstermek ve diske kaydetmek.

2.2 numaralı “Yazılım” başlığı altında detaylı olarak anlatıldığı gibi iki farklı donanım için yazılım geliştirilmiştir. İlki, yukarıdaki ii alt başlığında açıklanan amaç için bilgisayarın üzerinde çalışacak uygulama, ikincisi de mikrodenetleyici üzerinde çalışacak gömülü yazılım. Kullanılacak bilgisayarın da bu yazılımları geliştirmek için gerekli araçları çalıştıracak yeterlilikte olması gerekir. Araçlardan biri olan Visual Studio 2019’u çalıştırmak için gerekli olan en düşük sistem gereksinimleri şöyledir (*Visual Studio 2019 Sistem Gereksinimleri* | Microsoft Docs, 2021):

- İşletim sistemi: Windows 7 SP1 (en son Windows güncelleştirmeleri ile) veya üzeri.
- Donanım:
  - ✓ 1,8 GHz veya daha hızlı işlemci. Dört çekirdekli veya daha iyisi önerilir.
  - ✓ 2 GB RAM; 8 GB RAM önerilir (sanal makinede çalıştırılıyorsa en az 2,5 GB)
  - ✓ Sabit disk alanı: Yüklenen özelliklere bağlı olarak minimum 800 MB, (210 GB’a kadar) kullanılabilir alan; normal yüklemeler için 20-50 GB boş alan gerekir.
  - ✓ Sabit disk hızı: Performansı artırmak için Windows ve Visual Studio bir katı hal sürücüsüne (SSD) yüklenmesi tavsiye edilir.
  - ✓ En az 720p (1280x720) ekran çözünürlüğü destekleyen ekran kartı; Visual Studio WXGA (1366x768) ve üzeri çözünürlükte en iyi şekilde çalışır.

Bu tez çalışmasında ihtiyaç duyulan yazılım geliştirme araçları içinde en fazla sistem kaynağına ihtiyaç duyan uygulama Visual studio 2019 olduğundan yukarıda verilen özelliklere sahip olan bir kişisel bilgisayar, diğer uygulamalar için de yeterli olacaktır.

Bu çalışmamızda kullanılan bilgisayar, Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz, 8GB RAM, 500 GB SSD disk donanım özelliklerine sahip bir dizüstü bilgisayardır. WeAct Black Pill V2.0 mikrodenetleyicili geliştirme kartı USB Type C konnektörüne sahip olduğu için, bu özelliğe sahip bir USB kablo kullanılmıştır.

## 2.2 Yazılım

Çalışmada iki farklı donanım ünitesi için iki ayrı yazılım geliştirilmiştir. Mikrodenetleyicili kontrol kartı ve kişisel bilgisayar.

### 2.2.1. Mikrodenetleyici için yazılım geliştirme

TCD1103GFG çizgi kamera sensörünü ve STM32F411 mikrodenetleyicisini birlikte kullanarak bu çalışmada amaçlanan en uygun sonucu elde etmek için, bu donanım ünitelerinin çevre birimlerinin, destekledikleri optimum şartlamaların yapılması gerekmektedir.

#### Mikrodenetleyicinin çevre birimlerinin uygun şekilde şartlaması

Aşağıda listelenen 3 donanım ünitesi, optimum çalışma koşulları için ayarlanmalıdır:

- A- **USB modülü,**
- B- **ADC modülü,**
- C- **PWM modülü.**

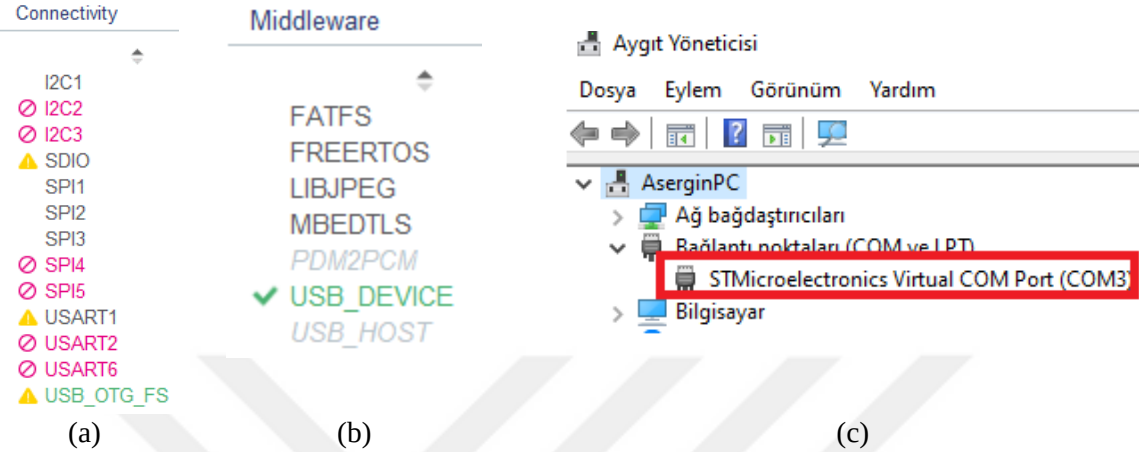
Kompleks mimarili mikrodenetleyicinin oldukça karmaşık registerlerinin bit düzeyinde şartlamalarıyla ayarlanabilen bu modüllerin programlanmasında, STMicroelectronics'in yazılım geliştirmeyi kolaylaştıran aracı olan STM32CubeMX kullanılmıştır (STMicroelectronics, 2021). Bu araç sayesinde başlangıç şartlamaları kolay, hızlı ve hatasız bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

#### A- **USB modülü şartlaması:**

STM32F411 Mikrodenetleyicisi, 12 Mbps hıza sahip, USB CDC (Communication Device Class) adı verilen haberleşme donanımına sahiptir. USB CDC, seri portun USB portu üzerinden taklit edilmesine (emülasyon) dayalı bir haberleşme protokolüdür. Bu protokol kullanılarak mikrokontrolcüler, sensörler vb. gibi diğer elektronik cihazlar ile kendi voltaj seviyelerinde bir değişiklik olmadan yüksek hızlar ile haberleşebilmektedir. Bu çalışmada da çizgi görüntü sensöründen elde edilen piksel sayı dizilerini bilgisayara iletmek için USB donanımı kullanılmıştır. USB modülü, HSE osilatörüne bağlı bir PLL tarafından üretilen 48 MHz saat frekansında çalıştırılmalıdır (STM32F411 DataSheet, 2015).

USB'nin şartlaması için, STM32CubeMX arayüzünde önce *Connectivity* sekmesi altından *USB\_OTG\_FS* seçilerek sağda açılan pencere altındaki mode alanından “*device only*” seçilir (Şekil 2.13(a)). Ardından, *Middleware* sekmesi altından *USB\_DEVICE* (Şekil 2.13(b)) seçilirse sağ tarafta açılan penceredeki ‘*Class For FS IP*’ seçeneklerinden, ‘*Communication*

*Device Class (Virtual Port Com)*’ seçilir. Bu ayarlar yapıldıktan sonra USB modülü kullanılabilir hale gelir. Geliştirme kartı, type C özellikli bir kablo ile bilgisayarın USB portuna bağlanırsa ‘Aygıt Yöneticisi’ altında bağlandığı sanal seri port (*Virtual Com Port*) numarası ve adı Şekil 2.13(c)’deki gibi görülebilir.



**Şekil 2.13 : (a) Connectivity sekmesi seçenekleri, (b) Middleware sekmesi seçenekleri, (c) Aygıt Yöneticisi altındaki sanal seri port numarası.**

#### B- ADC modülü şartlaması

Mikrodenetleyicinin ADC modülü, Şekil 2.4’te görülen ICG sinyalinin bir periyodunda 1546 adet analog pikseli dijitalle dönüştürmektedir (bunlardan 1500 tanesi görüntüye ait aktif piksel olup, kalan 46 tanesi dummy:sahtedir). Dönüşüm, ICG sinyalinin yükselen kenarında başlayıp, düşen kenarından önce de tamamlanmaktadır.

Analog çıktı üreten çizgi kamera sensörünü bir mikrodenetleyici ile kontrol ederek iki boyutlu görüntüyü maksimum hızda elde etmek için, hem görüntü sensörünün hem de mikrodenetleyicinin optimum hızlarda çalıştırılması gerekir. Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, çizgi kamera sensörü 400 KHz ile 4 MHz arasındaki ana saat frekanslarında çalışabilmektedir. Aynı çizelge, bu frekansın yarısı kadar ( $f_{OM}/2$ ) bir hızda data (piksel) elde edildiğini göstermektedir.

STM32F411 mikrodenetleyicisinin ADC hızının hesabında;

- I. APB2 bus frekansı PCLK2,
- II. ADC çözünürlüğü,
- III. örnekleme zamanı (sampling time)

rol oynamaktadır.

- I. APB2(Advanced Peripheral Bus 2) bus frekansı: ARM mimarili mikrodnetleyicilerin çevre birimleri, AHB (Advanced High performans Bus) ve APB (Advanced Peripheral Bus) adı verilen bus'a(veri yolu) bağılırlar. Kullanılacakları zaman da, bu veri yollarını aktif edecek clock (saat) devrelerini aktif etmek gerekir. STM32F411 mikrodnetleyicisinin ADC birimi, APB2 bus'ına bağılıdır (STM32F411 DataSheet, 2015). Bu çalışmada USB çevre birimi de kullanılacağı ve bu birimin çalışma frekansı 48 MHZ olduğundan, APB2 bus frekansı PCLK2, 96 MHZ'e ayarlanmıştır.
- II. ADC çözünürlüğü: STM32F411 mikrodnetleyicisinin ADC modülü, 6 bit, 8 bit, 10 bit ve 12 bit olmak üzere 4 farklı çözünürlük seçeneğine sahiptir. Çözünürlük arttıkça dönüşüm hassasiyeti de atmaktadır ancak dönüşüm süresi uzamaktadır. Bu çalışmada, 8 bit çözünürlük seçilmiştir.
- III. Örnekleme zamanı: STM32F411 mikrodnetleyicisinin ADC modülü, 3, 15, 28, 56, 84, 112, 140, 480 cycle değerlerinde 8 örnekleme zamanı seçeneğine sahiptir. Bu değerler arttıkça ADC dönüşümdeki doğruluk da artmaktadır ancak bu durumda dönüşüm süresi uzamaktadır.

$$\text{ADC saat frekansı} = \text{PCLK}/4 = 96/4 = 24 \text{ MHz} \Rightarrow \text{ADC periyodu} = 1/f = 0,0416 \text{ us}$$

$$\text{Toplam Cycle} = \text{Örnekleme zamanı} + \text{Çözünürlük} \quad (2.2)$$

$$\text{ADC çevrim zamanı} = (\text{Toplam Cycle}) \times (\text{ADC Periyodu}) \quad (2.3)$$

8 bit çözünürlük ve tüm örnekleme zamanı seçenekleri için ADC dönüşüm süreleri formül 2.3 yardımıyla hesaplanmış ve Çizelge 2.6'da verilmiştir.

**Çizelge 2.6 : 8 bit çözünürlük ve tüm örnekleme zamanı seçenekleri için ADC dönüşüm süreleri.**

| Örnekleme Zamanı (cycle) | Toplam Cycle | 1 Pixel Elde Etme Süresi (us) | 1546 Pixel Elde Etme Süresi (us) | 1 Pixel Frekansı (MHz) | Ø <sub>M</sub> Frekansı (MHz) |
|--------------------------|--------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 3                        | 11           | 0,4583                        | 708,5833                         | 2,1818                 | 4,3636                        |
| 15                       | 23           | 0,9583                        | 1481,5833                        | 1,0435                 | 2,0870                        |
| 28                       | 36           | 1,5000                        | 2319,0000                        | 0,6667                 | 1,3333                        |
| 56                       | 64           | 2,6667                        | 4122,6667                        | 0,3750                 | 0,7500                        |
| 84                       | 92           | 3,8333                        | 5926,3333                        | 0,2609                 | 0,5217                        |
| 112                      | 120          | 5,0000                        | 7730,0000                        | 0,2000                 | 0,4000                        |
| 144                      | 152          | 6,3333                        | 9791,3333                        | 0,1579                 | 0,3158                        |
| 480                      | 488          | 20,3333                       | 31435,3333                       | 0,0492                 | 0,0984                        |



Çizelge 2.6'nın en sağdaki sütunu, CCD çizgi kamera sensörüyle senkron çalışması için sensörü süren ana çalışma frekansına ( $f_{OM}$ ) eşit olmalıdır. Çizelge 2.1'de bu büyüklüğün maksimum değerinin 4 MHz olduğu belirtildiğinden, ilk satırdaki seçeneğin (3 cycle'lık örnekleme zamanında  $f_{OM}$  değeri 4 MHz'den büyüktür) kullanılamayacağı açıktır. İkinci satırdaki seçenekte (örnekleme zamanı = 15 cycle)  $f_{OM}$  değeri 2,08695652173913 MHz olup, 96 MHz sistem frekansı altında tam olarak bu frekanslı bir PWM elde etmek mümkün olmamıştır. Bu sebeplerle CCD sensör ana saat frekansı ( $f_{OM}$ ) için çizelgedeki 3. Satırdaki değer olan 1.3333 MHz değeri kullanılmıştır. Bu PWM sinyalinin eldesi, *PWM modülü şartlaması* alt başlığında anlatılmıştır. Sistemin problemsiz olarak çalışmasını sürdürmesi için, Şekil 2.5'te verilen grafik ve tablodaki koşulların karşılanması gerekmektedir.

### C- PWM modülü şartlaması

STM32F411 mikrodenetleyicisinin, 6 tanesi 16 bit, 2 tanesi de 32 bitlik olmak üzere 8 tane timer modülü vardır (*STM32F411 DataSheet*, 2015). CCD görüntü sensörünü sürmek için gerekli olan 3 PWM sinyalini (SH, ICG ve OM) üretmek için tasarlanan kontrol devresinde pinlerin konumu da dikkate alınarak TIM2, TIM3 ve TIM5 timer modülleri kullanılmıştır. Bu modüllerin tamamı, 96 MHz saat frekansına set edilmiş olan APB1 bus üzerinden çalıştırılmaktadırlar.

Timer modülleri, çalıştırıldıkları saat darbesi hızında yukarı ya da aşağı doğru, öncesinde belirlenen bir sayısal değere kadar ya da sayabilecekleri maksimum değerlerine ulaşana kadar sayma işlemi yaparlar. Bu davranışlarıyla ya belirli sürelerde zaman gecikmesi elde etmek için, ya da bu çalışmada kullanıldıkları haliyle PWM sinyali üretmek için kullanılırlar.

Timer modüllerini kullanarak istenen frekans ve doluluk oranında (duty cycle) PWM sinyali üretmek için aşağıdaki parametrelerin uygun değerlere set edilmesi gerekir:

- **Prescaler:** Timer modülüne saat sinyali sağlayan APB1 bus frekansının ön bölme değeridir. Doğru zamanlama sağlayarak üretilen PWM sinyalinin periyodunu ayarlamak için timer'ın sayma hızını artırmak ya da azaltmak gerekebilir. Bunun için bus frekans değeri, 16 bit büyüklüğünde bir sayı değerine (1 ile 65535 arası bir değer) bölünür. Prescaler registerine, bu değer bir eksiği yazılır.
- **Counter Period:** Sayma hızı *Prescaler* ile belirlenmiş olan timer modülünün ulaşacağı en büyük sayı değeri. Bu değere ulaşıldığında, timer registeri sıfırlanır ve durdurulmadığı sürece aynı değere ulaşana kadar aynı hızda sayma işlemi tekrar eder.



Prescaler parametresinde olduğu gibi, Counter Period sayı değerinin bir eksiği, ilgili registre yazılır. Bir kez başlatıldıktan sonra tamamen donanım birimleri tarafından yürütüldüğü ve CPU üzerine ek bir yük bindirmediğinden dolayı oldukça kullanışlıdır.

- **Pulse:** *Counter Period* ile süresi belirlenen bir periyotluk PWM sinyalinin doluluk oranını belirleyen sayı değeridir. ‘Duty cycle’ da denen PWM sinyalin başladığı andaki seviyenin (HIGH ya da LOW olabilir) zaman olarak aldığı değer, tek bir adımlık sayma süresi ile pulse sayısal değerinin çarpımıyla elde edilir.
- **CH Polarity:** PWM sinyalinin periyodu yüksek seviye ile başlayacaksa bu parametre HIGH, düşük seviye ile başlayacaksa LOW olarak set edilir.

Bu bilgiler ışığında aşağıdaki formüller yazılabilir:

$$f_{\emptyset M} = 1,333 \Rightarrow T_{\emptyset M} = \frac{1}{f_{\emptyset M}} = \frac{1}{1,333} \quad (2.4)$$

$$f_{timer} = \frac{f_{APB1}}{Prescaler} \Rightarrow T_{timer} = \frac{1}{f_{timer}} = \frac{Prescaler}{f_{APB1}} \quad (2.5)$$

$T_{\emptyset M}$ , görüntü sensörünü süren ana saat darbe işaretinin (Şekil 2.5) periyodu ve  $T_{timer}$ , timer modülünü çalıştıran APB1 bus frekansına ön bölme işlemi uygulandıktan sonraki sayma periyodu olmak üzere, “ $T_{\emptyset M}$  süresi içinde kaç tane  $T_{timer}$  var?” sorusunun cevabı, counter period değerini verecektir. O halde formül 2.4 ve formül 2.5 birlikte düzenlenirse, frekansı ve prescaler değeri bilinen bir PWM sinyalinin elde etmek için counter periyot registerine yazılması gereken sayı değeri, aşağıdaki gibi formülize edilebilir:

$$Counter\ Period = \frac{T_{\emptyset M}}{T_{timer}} \Rightarrow \frac{\frac{1}{f_{\emptyset M}}}{\frac{Prescaler}{f_{APB1}}} = \frac{f_{APB1}}{Prescaler \cdot f_{\emptyset M}} \quad (2.6)$$

formülü elde edilir.

Formül 2.6 kullanılarak 1,333 MHz frekanslı  $\emptyset M$  sinyalinin elde etmek için TIM3 modülünün *Counter Period* parametresi aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$Counter\ Period = \frac{f_{APB1}}{Prescaler \cdot f_{\emptyset M}} = \frac{96}{1.1,333} = 72$$

$\emptyset_M$  sinyali (Şekil 2.4), düzenli bir karedalga sinyali (duty cycle = %50) olduğu için, pulse değeri, Counter Period değerinin yarısı kadar alınır (Pulse = 36).

Çizelge 2.1'den anlaşıldığı üzere, piksel okuma frekansı,  $\emptyset_M$  sinyalinin frekansının yarısı kadardır. Yani, iki periyotluk  $\emptyset_M$  sinyali süresinde bir piksellik ADC dönüşümü gerçekleşir.

$$f_{ADC} = \frac{f_{\emptyset_M}}{2} = \frac{1,333}{2} = 0,66MHz$$

Bir çizgi boyunca dönüştürülmesi gereken 1546 adet piksel bulunduğundan, tümünün dönüşüm süresi;

$$T_{ADC}.1546 = \frac{1}{0,66}.1546 = 2319\mu s = 2,319ms$$

Bu değer, Şekil 2.4'te görülen ICG sinyalinin periyodunun da minimum değerine eşittir. o halde ICG sinyal frekansının maksimum değeri;

$$f_{ICG} = \frac{1}{2,319.10^{-3}} \cong 431Hz$$

Çizgi tarama frekansını da belirleyen bu değer, bu çalışmada 400 Hz olarak alınmıştır.

$$f_{ICG} = 400Hz \Rightarrow T_{ICG} = \frac{1}{400} = 0,0025sn = 2,5ms = 2500\mu s$$

SH ve ICG sinyallerinin değişiminin birbirilerine göre konumlarının Şekil 2.5'te görüldüğü gibi sabit kalması için, SH sinyalinin frekansının, ICG sinyal frekansının tam katı olması gerekir. Yani;

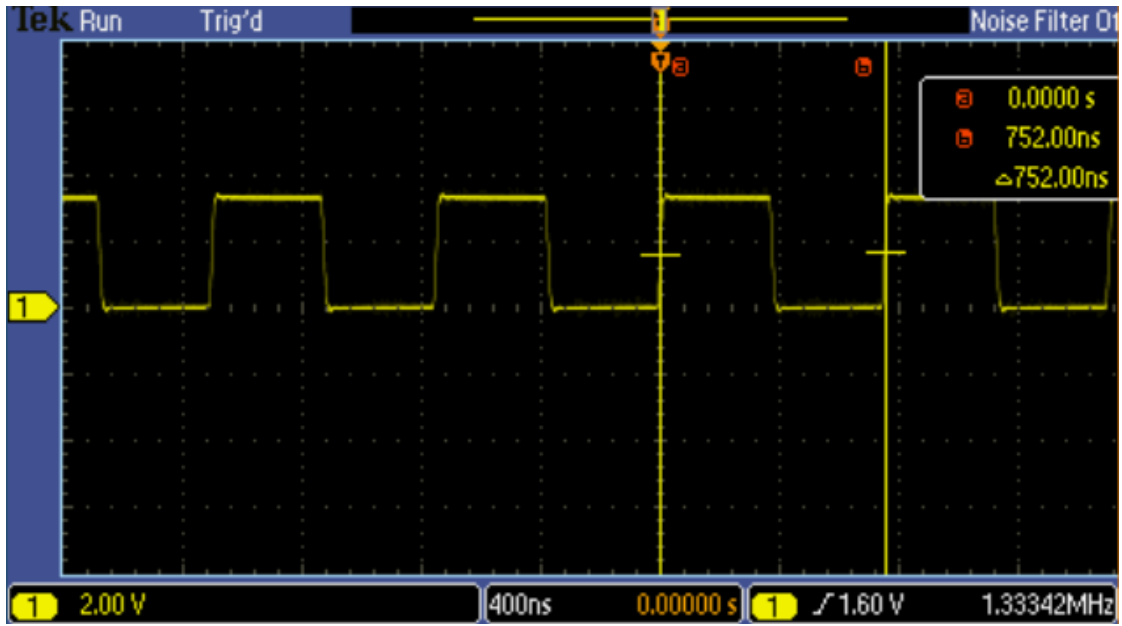
$$f_{ICG} = k.f_{SH} \quad (k; \text{tam sayı}) \quad (2.6)$$

Prescaler ve Counter Period registerlerine tam sayılar yüklenmesi gerektiğinden, yapılan hesaplamalar sonucu bu üç sinyal için bütün koşulları sağlayan PWM parametre değerleri hesaplanmış ve Çizelge 2.7'de verilmiştir.

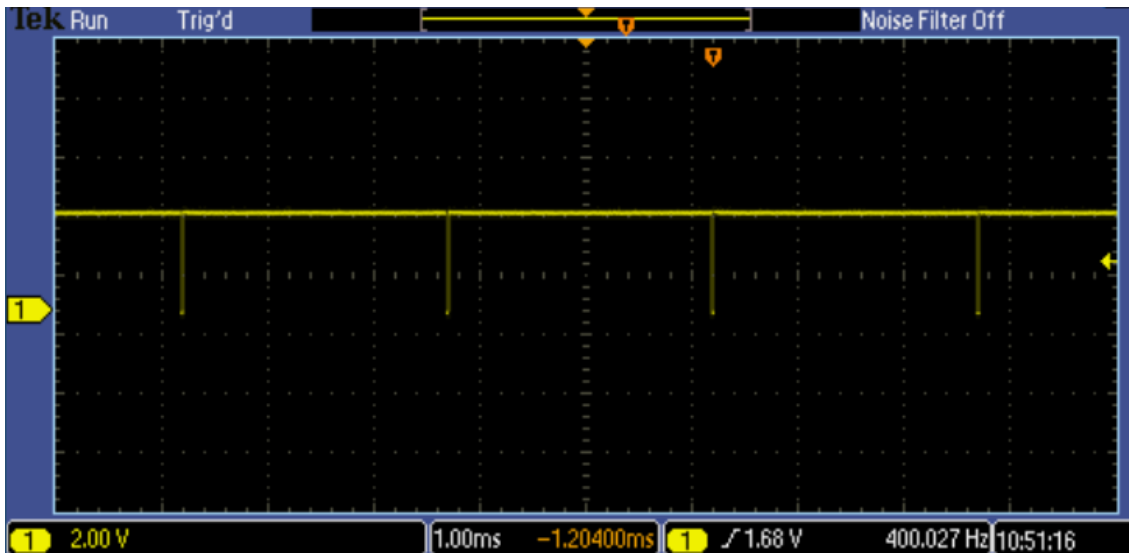
**Çizelge 2.7 : SH, ICG ve ØM PWM sinyali için donanım ve yazılım parametreleri.**

| SİNYAL ADI | PERİYOT | KULLANILAN TIMER VE GPIO PIN | PRESCALER REGISTER | COUNTER PERİYOT REGISTER | PULSE REGISTER | DARBE GENİŞLİK SÜRESİ (µs) | POLARITY | FREKANS   |
|------------|---------|------------------------------|--------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|----------|-----------|
| SH         | 250 µs  | TIM5 (PA3)                   | 96                 | 250                      | 10             | 10                         | HIGH     | 4 kHz     |
| ICG        | 2,5 ms  | TIM2 (PB10)                  | 96                 | 2500                     | 18             | 18                         | LOW      | 400 Hz    |
| ØM         | 0,75 µs | TIM3 (PB0)                   | 1                  | 72                       | 36             | 0,75                       | HIGH     | 1,333 MHz |

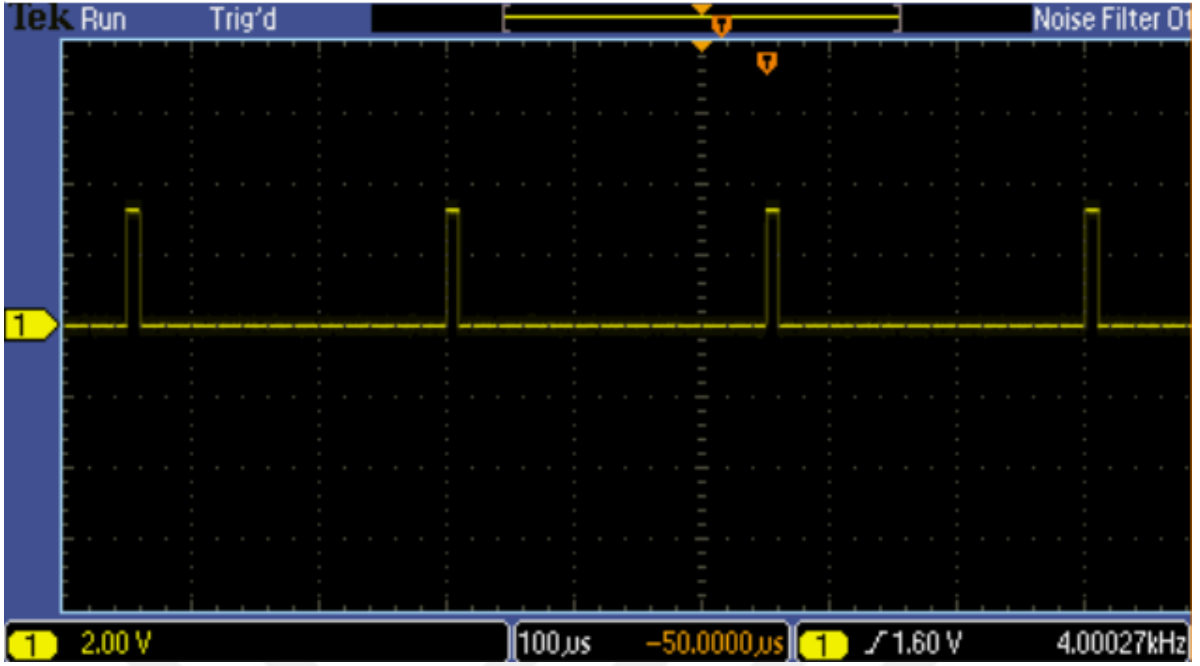
Çizelge 2.7’de verilen değerlerle şartlamaları yapılmış olan SH, ICG VE ØM’e ait PWM sinyal grafiklerinin osiloskop ekran görüntüleri, Şekil 2.14-15-16-17’de verilmiştir.



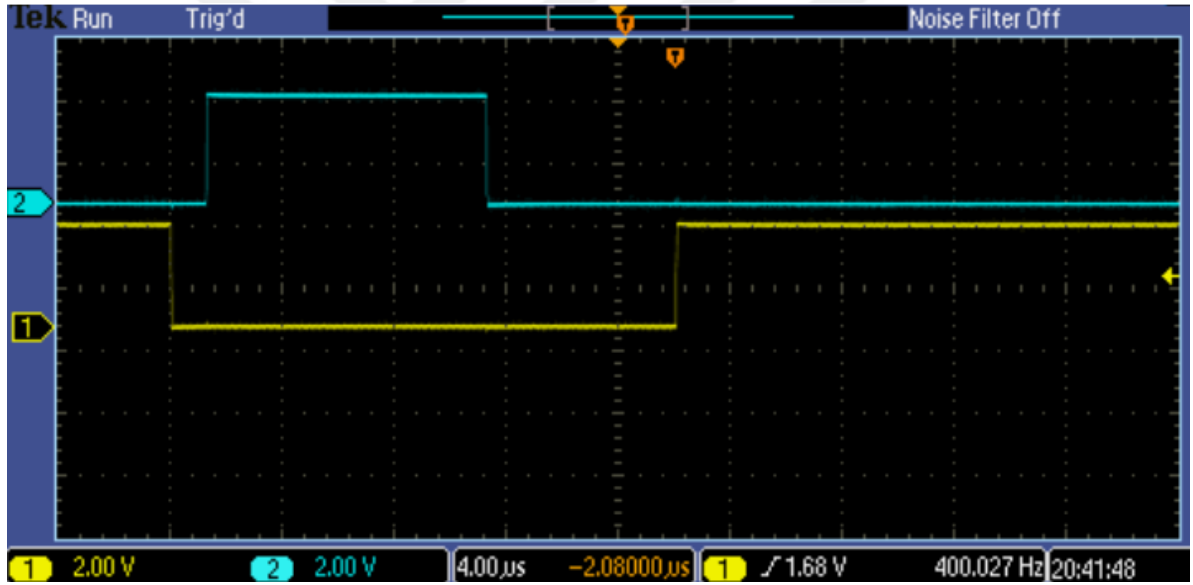
**Şekil 2.14 : 1,333 MHz frekanslı ØM grafiği osiloskop görüntüsü.**



**Şekil 2.15 : 400 Hz frekanslı ICG grafiği osiloskop görüntüsü.**



Şekil 2.16 : 4 KHz frekanslı SH grafiği osiloskop görüntüsü.



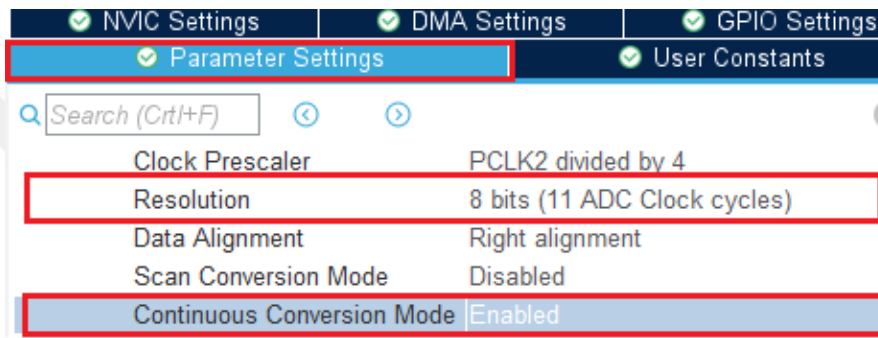
Şekil 2.17 : ICG (1 numaralı) ve SH(2 numaralı) grafikleri osiloskop görüntüsü.

ADC dönüşüm hızını, dolayısıyla çizgi tarama frekansını belirleyen diğer bir parametre de, dönüştürülen dijital piksel sayı değerlerini tek tek mikrodenetleyicinin hafıza alanlarına yazma ve okuma komutlarından kaynaklanan zaman maliyetidir. Bu süreyi azaltmak ve toplam sistem performansını artırmak için, ADC birimi, DMA (Doğrudan bellek erişimi) desteği ile başlatılır.

```
HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1, (uint32_t *)ADC_Dizi, sizeof(ADC_Dizi));
```

Bu komut satırındaki `ADC_Dizi` ifadesi, byte türünde (8 bit) tanımlanmış, 1546 elemanlı bir dizi değişkendir. Bu komut satırıyla ADC dönüşümü bir kez başlatıldıktan sonra süreç şu şekilde işler:

- i- Sensörün  $f_{OM}/2$  frekansı ile ürettiği 1546 analog piksel değeri, mikrodeneleyicinin ADC modülü tarafından aynı hızla okunarak dijitala dönüştürülür ve 1546 elemanlı diziye ait hafıza alanına kaydedilir. Bunların gerçekleşmesi için STM32CubeMX arayüzü üzerinde ADC modülü ayarı yapılırken, 'Parameter Settings' sekmesi altında çözünürlüğü 8 bit, 'Continuous Conversion Mode'u da 'Enabled' olarak set edilir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : STM32CubeMX üzerinden ADC Continuous Conversion çalışmanın set edilmesi.

- ii- Bir satırdaki piksellerin tamamının ADC dönüşümü tamamlandığı anda, 1546 byte'lık veri dizisi USB porttan bilgisayara gönderilmektedir. ADC dönüşümünün tamamlandığının anlaşılması için 'ADC tamamlandı' kesmesi aktif edilmiştir. Bu işlem, STM32CubeMX ADC ayarları, 'NVIC Settings' altında 'ADC1 global interrupt' seçeneği 'Enabled' olarak set edilerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.19).

|                               |                                     |                     |              |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------|
| ✔ NVIC Settings               | ✔ DMA Settings                      | ✔ GPIO Settings     |              |
| ✔ Parameter Settings          | ✔ User Constants                    |                     |              |
| NVIC Interrupt Table          | Enabled                             | Preemption Priority | Sub Priority |
| ADC1 global interrupt         | <input checked="" type="checkbox"/> | 0                   | 0            |
| DMA2 stream0 global interrupt | <input checked="" type="checkbox"/> | 0                   | 0            |

Şekil 2.19 : STM32CubeMX üzerinden ADC Global Interrupt ayarlarının set edilmesi.

Bir çizgilik görüntüye ait 8'er bitlik dijital veri dizisi, mikrodeneleyicinin USB modülü kullanılarak bilgisayara gönderilmektedir:

```
CDC_Transmit_FS((uint8_t *)ADC_Dizi, sizeof(ADC_Dizi));
```

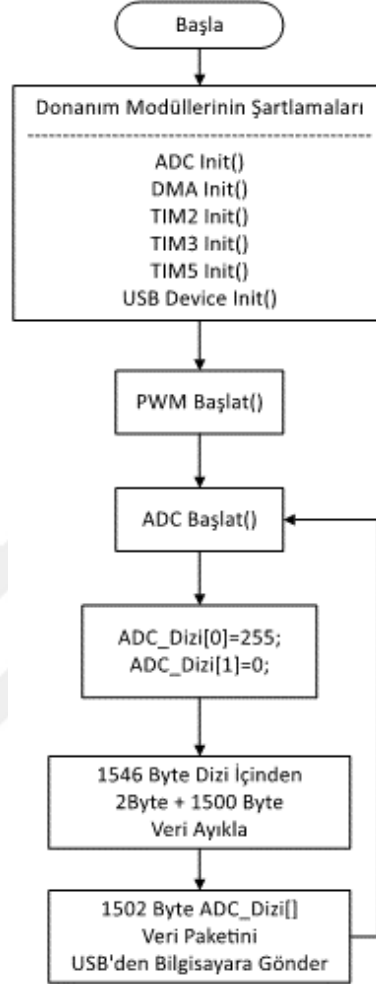
Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, aktif 1500 pikselin ön kısmında 32 adet ve son kısmında 14 adet dummy pikseller vardır. Bu pikseller, görüntülenmek istenen sahneye ait bilgi taşımazlar. Bu nedenle, USB seri haberleşmesindeki iki uç birim arasındaki anlaşma protokolünü tanımlamak için istenen veriler bu kısma yerleştirilebilir. Veri dizisinin ön kısmına 32 byte'i geçmemek koşuluyla istenen veriler yerleştirilebilse de, algoritmayı basitleştirmek için iki byte bilgi kullanmanın yeterli olduğu görülmüştür. Görüntüye ait piksel dizisinde ilk değer olarak 255 (Max. değer) değerinin hemen ardından ikinci değer olarak 0 (Min. değer) değerinin gelme ihtimalinin çok düşük olması sebebiyle bu çalışmada, bir adet 255 sayısı, hemen ardına da bir adet 0 sayısı yerleştirilmiştir.

Mikrodenetleyiciler için yazılım geliştirirken derleyici seçiminde de alternatifler mevcuttur. Yüksek seviyeli dillerin kullanımında yazılım kolay gerçekleştirilse de mikrodenetleyicinin tüm yeteneklerinden yararlanma konusunda fedakârlık yapmak gerekebilir. Özellikle kritik zaman yönetiminin gerektirdiği uygulamalarda bu durum daha da önemli olmaktadır. Bu uygulamada da görüntüyü dijitale dönüştürmek için optik sensörlerin analog verisini çok hassas zamanlama sinyalleri kullanıp çok hızlı olarak dönüştürmek gerekeceğinden, başarımı yüksek bir derleyici ve programlama dili seçmek gerekecektir. 32-bit mimarili Mikrodenetleyiciler kompleks tasarımları nedeniyle yazılım geliştirme süreçleri zordur. Tüm işlemleri yazılımcı gerçekleştirmeye çalışıldığında, özellikle uzun ve karmaşık uygulamalar bir süre sonra yönetilemez ve hatalara açık bir duruma gelir. Bu sebeple, seçilen ürün için mümkün olduğu kadar kütüphane desteğinin olması istenir.

STMicroelectronics, ürettiği yüzlerce farklı programlanabilir donanım aygıtı için yazılım geliştirmeyi kolaylaştıran bir araç olarak STM32CubeMX paket programını geliştirip, ücretsiz olarak kullanıma sunmuştur. Sistem tasarımcıları, sistem saat frekansı ayarı, aktif edilecek Input/Output ayarları, çevre birimleriyle haberleşme yapılacaksa, ilgili donanım için protokol ayarları gibi standart ve rutin olan zorunlu başlangıç ayarlarını bu araç sayesinde kolay, hızlı ve hatasız bir şekilde gerçekleştirerek, sonrasındaki çalışmasında tüm konsantrasyonunu, sistemi amacına ulaştıracak algoritmaları gerçekleştirmeye yoğunlaştırır. Böylece her geçen gün yapısı biraz daha karmaşıklılaşarak gelişen donanımlar için yazılım geliştirme süreçleri desteklenmiş olur.

Bu çalışmada, STM32F411 mikrodenetleyicisinin konfigürasyon ayarları için STM32CubeMX aracı kullanılmış, karmaşık donanım bileşenleri olan USB, ADC, PWM, gerekli Input/Output pinleri için başlangıç konfigürasyon ayarları görsel arayüz üzerinden

gerçekleştirilmiştir. Ön ayarlar yapılmış olarak başlatılan projenin geliştirilmesi, ARM firmasının yazılım geliştirme aracı olan Keil Microvision ile yapılmıştır. Geliştirilen mikrodnetleyici yazılımına ait akış şeması, Şekil 2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.20 : Mikrodnetleyici yazılımı akış diyagramı.

### 2.2.2. Kişisel bilgisayar için yazılım geliştirme

Mikrodnetleyicili elektronik geliştirme kartı için geliştirilen uygulama, analog sensör verisini dijitale çevirerek bilgisayara gönderirken, bilgisayar tarafında geliştirilen bir uygulama da hızlı bir dijital haberleşme kanalından alınan bu veriyi kayıpsız olarak yakalayıp hem bir windows formunda görüntülemekte, hem de yaygın kullanılan bir formatta kaydetmektedir.

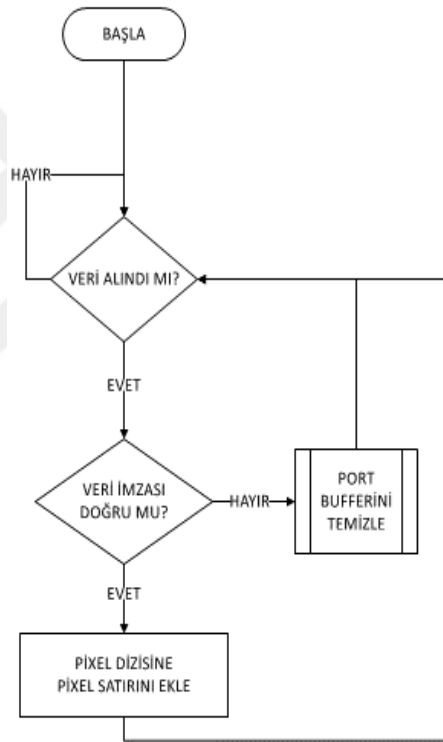
Yukarıda açıklanan işlemleri gerçekleştirmek için Microsoft firmasının Visual Studio yazılım geliştirme aracının ücretsiz versiyonu olan “Community” kullanılmıştır. Yazılımı geliştirmek için %100 OOP (Object Oriented Programming: nesne yönelimli programlama) destekleyen C# dili tercih edilmiştir.

C# dili, bir yandan Microsoft firması tarafından geliştirilen .Net framework üzerinde çalışması sebebiyle geliştiricilere kolaylık sağlarken, diğer yandan da, assembly dillerle yarışabilecek kadar verimli makine kodu üreten atası C dilinden aldığı mirasla hızlı ve performanslı yazılımlar geliştirmeye olanak sağlamaktadır.

Bilgisayar uygulamasının USB seri kanaldan gelen piksel dizilerini okuma prosedüründe doğru veri paketini alıp almadığı hakkındaki koşul sınaması şu şekilde sağlanmıştır:

```
if ((pixeller[0] == 255 && pixeller[1] == 0)) { //veri işleme kodları }
```

Hazırlanan uygulamanın USB portundan veri okuma modülünün akış şeması, Şekil 2.21’de gösterilmiştir.

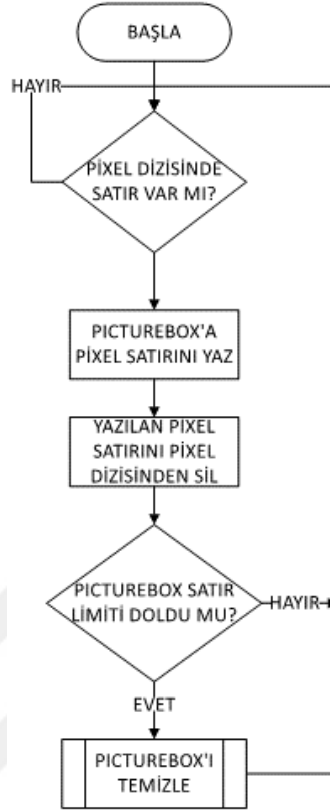


**Şekil 2.21 : USB’den veri okuma algoritması akış şeması.**

İlgili alt program öncelikle veri alımıyla tetiklenir ve ardından alınan verinin beklenen veri dizisine ait olup olmadığı (imza doğrulama) sorgulanır. Bu amaçla alınan veri paketinin ilk byte’ının 255, ikinci byte’ının da 0 olduğu sorgulanır. Koşul sonucu doğru ise, `if` bloğunun içinde, gelen byte dizisi, çizgi pikselleri dizisine eklenir. Bu dizi, başka bir alt program tarafından okunarak, windows resim gösterme komponentinde (picturebox) gösterilecektir. Eğer koşul yanlış ise, seri port bufferi temizlenerek sonrasında doğru verilerin alınması için hafızada yer açılır.



Bilgisayarda çalışan Windows uygulamasındaki resim görüntüleme algoritmasına ait akış şeması da Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22 : Resim görüntüleme algoritması akış şeması.

Bu alt program, Şekil 2.21’deki akış şemasında açıklanan seri porttan veri okuma alt programının icrası sonrasında elde edilen piksel dizileri değişkeninin sorgulanmasıyla başlar. Eğer dizide çizgiye ait görüntü varsa, bu değer okunur ve picturebox komponentinde gösterilen mevcut çizgi görüntülerinin altına eklenir. Bu eklemelerde, picturebox için set edilen maksimum çizgi sayısının aşılp aşılmadığı da kontrol edilir. Eğer ayarlanan bu limit aşılmışsa, ekrandaki resim temizlenir ve alınan çizgi görüntüler temiz ekranın en üstünden itibaren aşağı doğru alt alta eklenmeye devam edilir.

Windows uygulamasındaki resim görüntüleme nesnesi olan picturebox’ın başlangıçta ayarlanmış olan maksimum çizgi sayısı 500 olup, uygulama esnasında araç çubuğundan yeni değer set edilebilir.

Yukarıda açıklanan algoritmayı gerçekleştirmek için geliştirilen windows formu araç çubuğu Şekil 2.23’de görülmektedir.



**Şekil 2.23 : 2D resim göstermek için hazırlanan windows formu araç çubuğu.**

Formda harflerle işaretlenen gruptaki görsel öğeler aşağıda açıklanmıştır:

- A) Çıkış:** Bu gruptaki buton ile uygulama sonlandırılır.
- B) Seri Port Bağlantı İşlemleri:** Bilgisayardaki aktif seri portlar “*Port Seçiniz*” açılır liste kutusundan seçilerek “*Bağlan*” butonuna tıklanıp bağlantı sağlanır. Bağlantı kapatılmak istenirse, “*Bağlantıyı Kes*” butonuna tıklanır.
- C) Haberleşme Durumu:** Bu gruptaki etiket, haberleşmenin durumu hakkında bilgi verir. *Port kapalı*, *haberleşme var*, *haberleşme hatalı*... gibi mesajlar, kullanıcıyı bilgilendirir.
- ADC ve Tarama İşlemleri:** Buradaki buton, ADC dönüşüm ve tarama işlemlerini başlatma ve durdurma komutlarını USB port üzerinden mikrodenetleyiciye gönderir.
- D) Görüntüleme Seçenekleri:** Bu grupta, görüntüyü gerçek boyutunda ya da ekran boyutuna sığdırılacak şekilde ölçeklenmiş olarak ayarlar.
- E) Resim Seçenekleri:** Elde edilen 2D görüntüyü diske kaydetme, ekrandaki resmi silme (temizleme) ve ekrandaki resmin satır sayısını ayarlama işlemleri bu gruptaki seçeneklerdir.
- F) Tarama Raporu:** İşlem süreci boyunca arka planda tutulan log, rapor butonuna tıklanarak görüntülenir.

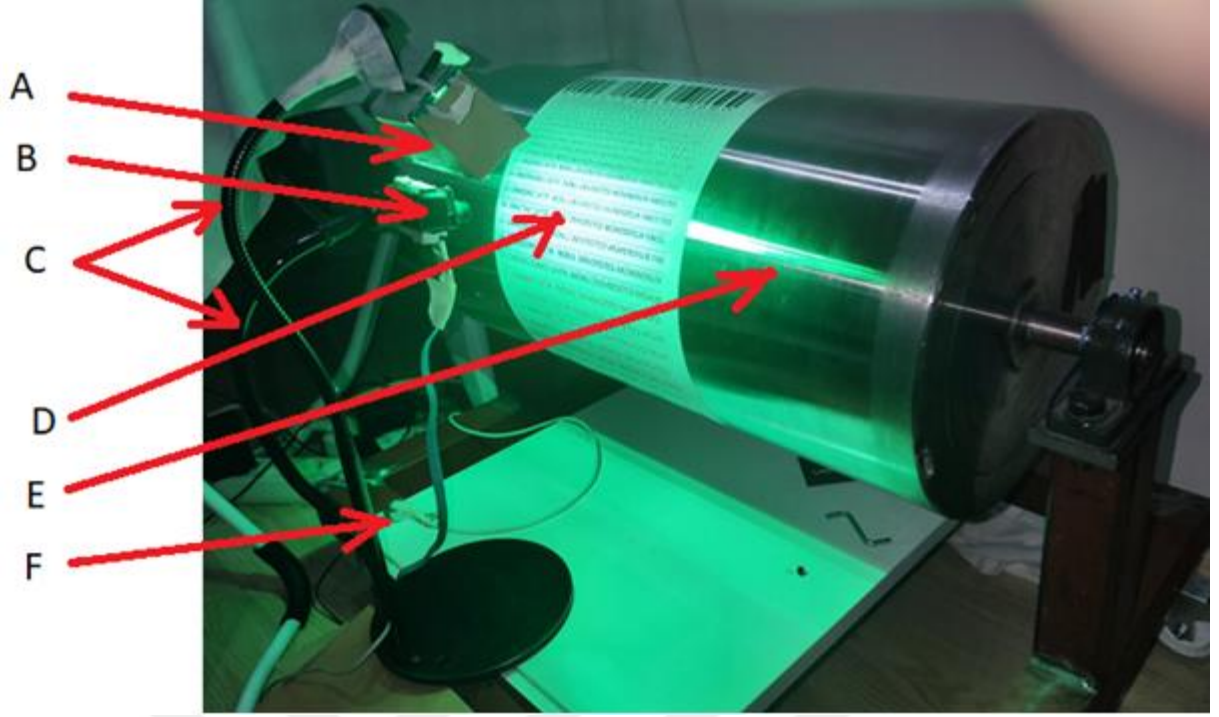
### 3. İKİ BOYUTLU GÖRÜNTÜ ELDE ETME VE KAYDETME

Çalışmanın bu kısmında, 2.2 *Yazılım* başlığı altında anlatılan uygulamalar senkron olarak çalıştırılmıştır. Bilgisayarda tasarlanan windows uygulamasında Şekil 2.23-C- grubundaki *başlat durdur* butonu ile başlatma komutu gönderildikten sonra mikrodnetleyicili geliştirme kartının ADC modülü, her çizgide 1500 piksel olmak üzere saniyede 400 çizgi görüntüsü tarayarak USB seri kanalı üzerinden bilgisayara gönderir. Aynı butona tekrar basana kadar bu işlem sürekli devam eder. Aynı şekildeki -E- grubu üzerindeki '*Line Sayısı*' text kutusuna yazılan değer kadar çizgi sayılı iki boyutlu sahne görseli, ekrandaki '*PictureBox*' nesnesi üzerinde gösterilir. Varsayılan Line Sayısı 500 olup, bu değerle yapılan çalışmada elde edilen iki boyutlu görsel boyutları, 1500x500 olacaktır.

Çizgi kamera kullanılarak bir nesnenin iki boyutlu görüntüsünü elde edebilmek için ya kamera sabit tutulup nesne hareket ettirilmeli, ya da nesne sabitken kamera hareket ettirilmelidir. Bu çalışmada, kamera ve sahne aydınlatma ışığı sabit tutulup, hedef nesne hareket ettirilmiştir. Bu amaçla alt başlık 2.1.3'te özellikleri anlatılan ve Şekil 2.10'da gösterilen silindirik tambur kullanılmıştır. Tamburu hareket ettiren DC motorun devir ayarı PWM ile sürme tekniğiyle gerçekleştirilmiş olup, bu işleme ait Arduino UNO mikrodnetleyicili geliştirme kartı için yazılan uygulama kodları, Ek-A'da verilmiştir. Devir ayarı, bir potansiyometre yardımıyla kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Potansiyometre kolu saat ibresi yönünde döndürüldükçe tamburun devir sayısı artmakta, tersi yönde ise azalmaktadır.

İki boyutlu görüntüsünün çizgi kamera sensörü ile elde edileceği görsel olarak, orijinaliyle karşılaştırmanın kolay olması için A4 büyüklüğündeki bir sayfaya yazdırılmış bir metin kullanılmıştır. Sayfanın en üst kısmına sayfayı kaplayacak şekilde büyütülmüş bir barkod, alt kısmına da ilk satırındaki yazı punto büyüklüğü 5 ile başlayıp, her satırda punto büyüklüğü bir artırılarak son satırındaki punto büyüklüğü 29 olan ve 25 satırdan oluşacak şekilde sayfa oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Lazer yazıcıdan 3 örnek sayfa çıktısı alınarak dikey olarak ard arda yapıştırılıp silindirik tamburun etrafına sarılmış, döndürülen tambur üzerinde kesintisiz bir görüntü olması sağlanmıştır (Şekil 3.2).





**Şekil 3.2 : Silindirik tamburun etrafına sarılarak taranan görsel.**

Bu çalışma için gerekli donanım üniteleri, Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu şekildeki malzemelerin isimleri aşağıda verilmiştir.

- A- Çizgi kameranın okuyacağı satıra yönlendirilmiş yeşil renkli LED aydınlatma düzenek,
- B- Ön kısmına lens yerleştirilmiş ve kumaşa yönlendirilmiş çizgi kamera sensörü,
- C- Kamerayı ve aydınlatma düzeneğini kumaş karşısında esnek ve kolay bir şekilde konumlandırmayı sağlayan, ahtapot da denilen tripot,
- D- Silindirik tambur üzerine sarılarak tamburla beraber döndürülen görüntülenecek nesne,
- E- Yatay olarak konumlandırılmış silindirik tambur,
- F- Silindirik tamburun devir sayısını ayarlamak için kullanılan potansiyometre.

Tarama işlemi sonunda Şekil 3.3’te verilen 2 boyutlu resim elde edilmiştir. Elde edilen bu resim, Şekil 2.23’te gösterilen windows uygulaması arayüzünde E grubunda yer alan *Resmi Diske Kaydet* butonuna basılarak diske (varsayılan kayıt yeri olarak masaüstündeki ‘*Tarama*’ adlı klasöre) kaydedilmiştir.





#### 4. KUMAŞ HATASI TESPİTİ

Çizgi kamera sensörünün ihtiyaç duyduğu hassas zamanlama sinyalleri ( $\emptyset M$ , ICG, SH), mikrodenetleyicinin timer donanım birimleri kullanılarak PWM sinyalleri olarak üretilmiştir. Bu sinyaller sensöre uygulandığı andan itibaren piksellere ait analog veriler OS çıkışından  $\emptyset M/2$  frekansında okunabilmektedir. Bu nedenle mikrodenetleyicinin ADC modülü, bu hızda okuma yapacak şekilde sürekli çevrim moduna ayarlanmıştır.

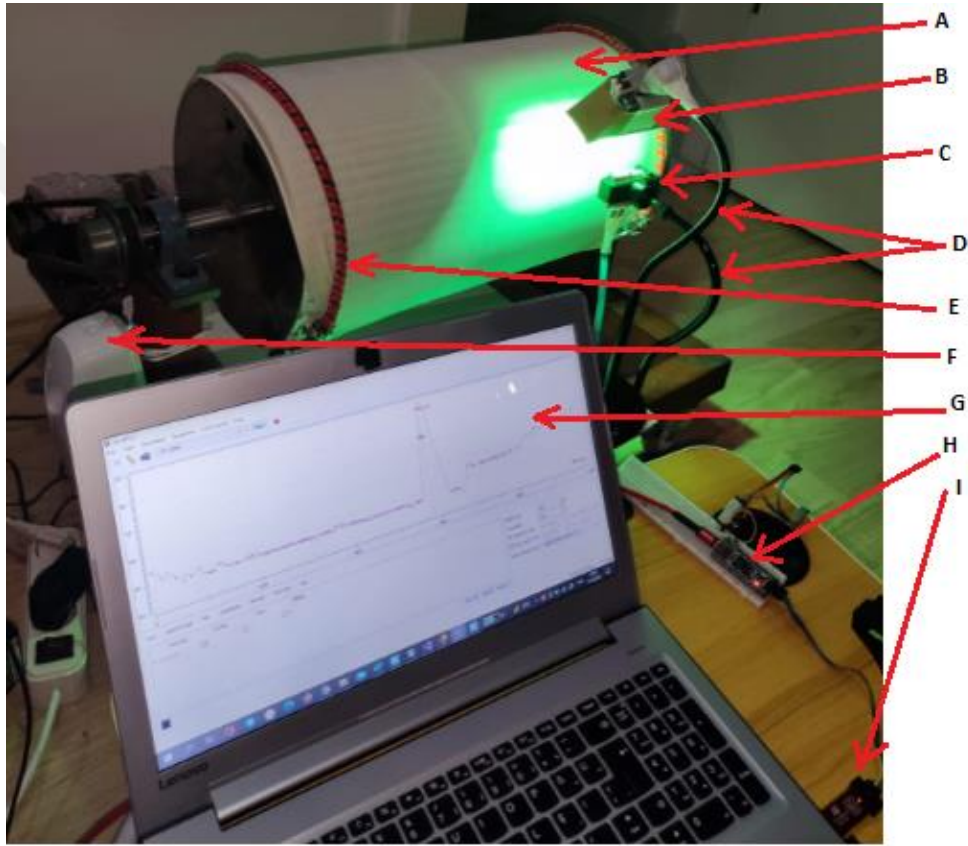
ADC modülü, 8 bit çözünürlüklü ve doğrudan bellek erişimi (DMA: Direct Memory Access) aktif edilerek kullanılmıştır. Çok sayıda dönüşümün art arda gerçekleştirilmesi gereken durumlarda ADC modülü DMA ile kullanıldığında, dönüşüm sonuçları programcının tanımladığı değişken üzerinden okunacak şekilde bellek adresine yazılmaktadır. Böylece hem ADC dönüşüm hızı artmakta hem de bu süreci donanım yürüttüğü için mikrodenetleyici yazılımsal olarak ADC dönüşümü ile tek tek ilgilenmek zorunda kalmadan kontrol etmesi gereken diğer çevre birimleri ile ilgili işlemleri yürütebilmektedir. Gerçek zamanlı uygulamalarda bu tür donanımsal desteklerler büyük kolaylık sağlamaktadır.

Dijitale dönüştürüldükten sonra tek çizgiye ait görüntü piksel verileri, görselleştirmek için bilgisayara gönderilmiştir. Veri transferi için STM32F411 mikrodenetleyicisinin USBFS (Full Speed USB) modülü kullanılmıştır. Bu modülün 48 MHz frekanslı clock ile sürülmesi gerekmektedir. Bu clock sinyali sistem osilatöründen bölünerek elde edildiği için sistem saat frekansı, 48'in tam katı olan 96 MHz'e ayarlanmıştır.

Bu çalışma için gerekli donanım üniteleri, Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bu şekildeki malzemelerin isimleri aşağıda verilmiştir.

- A- Yatay silindirik tambur üzerine sabitlenen kumaş,
- B- Çizgi kameranın okuyacağı satıra yönlendirilmiş yeşil renkli LED aydınlatma düzeneği,
- C- Ön kısmına lens yerleştirilmiş ve kumaşa yönlendirilmiş çizgi kamera sensörü,
- D- Kamerayı ve aydınlatma düzeneğini kumaş karşısında esnek ve kolay bir şekilde konumlandırmayı sağlayan, ahtapot da denilen tripot,
- E- Kumaşı tambur üzerinde sabitlemek ve gerdirmek için kullanılan halat,

- F- Dönen tamburdan zarar görmemesi için kutu içine alınan ve tambur iskeletinin yan tarafına sabitlenen motor sürücü elektronik devre,
- G- Mikrodenetleyici yazılımını geliştirmek, hata ayıklamak ve sensörden gelen dijital piksel verilerini ekranında görselleştirerek izleyip algoritma geliştirmek amaçları için kullanılan kişisel bilgisayar,
- H- WeAct Black Pill V2.0 mikrodenetleyicili geliştirme kartı,
- I- Mikrodenetleyiciyi programlama ve hata ayıklama donanım arabirimi olan ST-link modülü göstermektedir.



**Şekil 4.1 : Çalışma düzeneği ve bileşenleri.**

Mikrodenetleyicili kontrol sistemi, PWM yöntemi uygulanarak sıfır ile maksimum devir arasında istenen hızda döndürülen tambura sarılı kumaşı sensör aracılığıyla satır satır okuyup dijitale dönüştürmektedir. ADC modülünün çözünürlüğü sekiz bit olarak ayarlanmış olup dönüşüm sonucunda her piksel, 0 ile 255 arası bir sayıya karşılık gelmektedir. Kumaş hatasını tespit edebilmek için, kumaşın hatasız bölgesinde bu sayı değerlerinin hangi aralıkta değiştiği, delik ya da patlak olarak isimlendirilen kumaş hatası bölgesinde hangi değerleri aldığının öğrenilmesi gerekmektedir. Bu sayı dizisini anlamak ve yorumlamak için, haberleşme portundan gelen değerleri ekranda grafik olarak gösteren



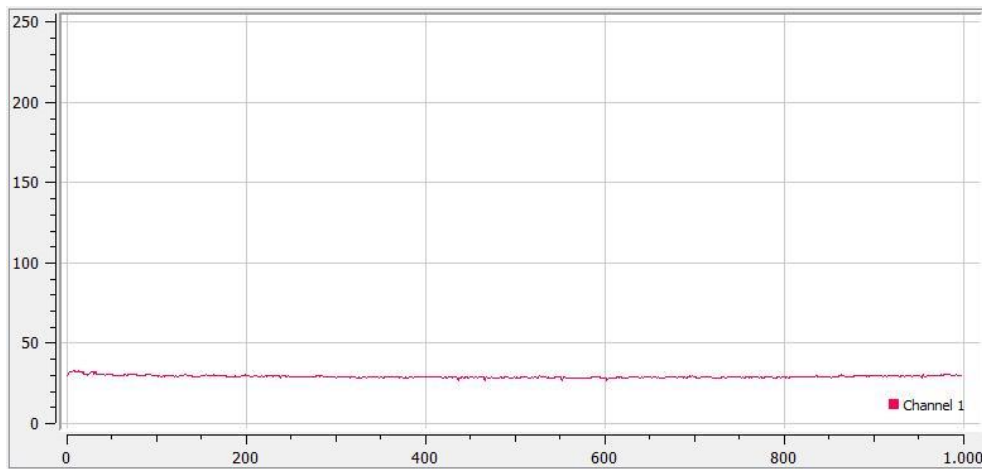
açık kaynak kodlu bir bilgisayar uygulaması olan SerialPlot kullanılmıştır (*SerialPlot 0.12.0 Developed by Hasan Yavuz Özderya, 2021*).

Şekil 4.2’de tambur üzerine sarılı kumaşın hatasız bir bölgesinden okunan bir çizgilik (1500 piksel) görüntünün piksel dağılımının SerialPlot ekranındaki grafiği görülmektedir.



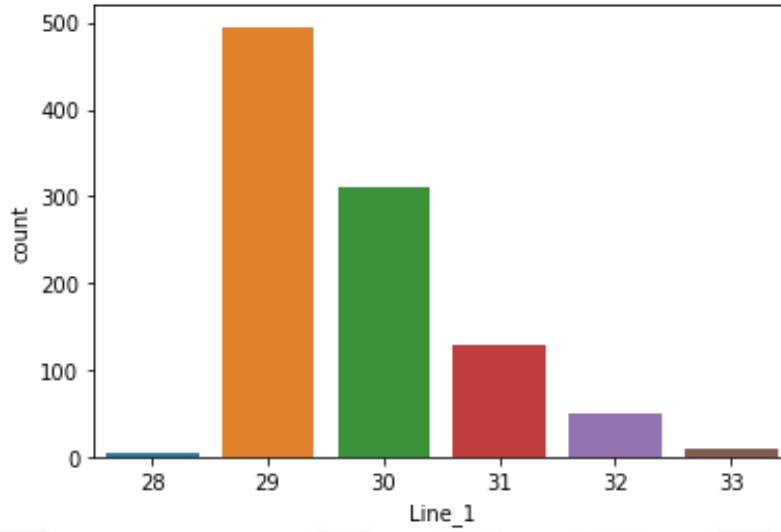
**Şekil 4.2 : Kumaşın hatasız bölgesindeki bir satıra ait 1500 piksellik data grafiği.**

Şekil 4.2’den görüldüğü gibi, elde edilen tek çizgiye ait piksel dizisinin başlangıç kısmındaki yaklaşık 250 pikselin ve son kısmındaki 250 pikselin değerleri, hatasız kumaş bölgesine ait piksellerin istatistiksel değerlerini bozacak oranda sıra dışı yüksek değerler içermektedir. Bunun sebebinin, görüntü sensörü ile lens elemanının birlikte çalışmasındaki uygunsuzluk olduğu değerlendirilmektedir. Bu sorunlu datayı elimine etmek için, elde edilen 1500 pikselin ilk 250 ve son 250 pikseli yazılımsal olarak ayıklanarak ortada kalan 1000 piksellik data değerlendirmeye alınmıştır. Bu 1000 pikselin SerialPlot ekranındaki grafiği, Şekil 4.3’te görülmektedir.



**Şekil 4.3 : Kumaşın hatasız bölgesine ait bir çizgideki 1000 piksele ait grafik.**

Bu çizgideki piksel değerlerinin dağılım grafiği Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



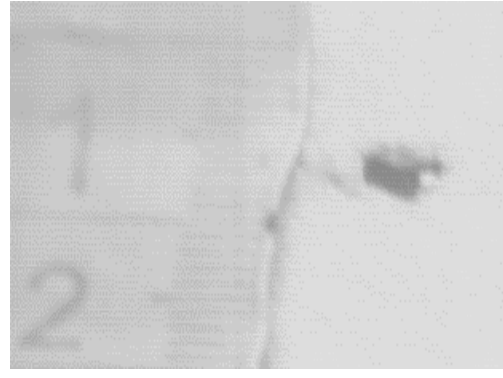
**Şekil 4.4 : Kumaşın hatasız bölgesine ait bir çizgideki 1000 pikselin dağılım grafiği.**

Tambura sarılı olan kumaşın hata bulunmayan bölgesi ve bir kısmı doğal, bir kısmı da üretilmiş olan 5 adet hatalı bölgesi mevcuttur. Kumaş hata tespit çalışmaları bu 5 bölge üzerinde gerçekleştirildiğinden, tamburun dönmesi sırasında bu bölgelerin çizgi kamera sensörünün görüş alanından geçme sırasına uygun olarak bu bölgelere 1'den 5'e kadar birer numara verilmiştir. Aşağıda bu hatalı bölgelerin fotoğrafları, tambur 20 devir/dakika hızla dönerken taranarak elde edilmiş çizgi kamera görüntüleri ile bu tarama sırasında elde edilen datanın görselleştirilmesiyle elde edilmiş hatalı bölge grafikleri numara sırasına göre verilmiştir. Tarama sırasında elde edilen her biri 1000 piksellik 500 çizgiye ait data dizisine de Line\_1, Line\_2, ..., Line\_500 şeklinde etiket atanmıştır. Bu data dizileri üzerinde gerçekleştirilen veri analizi çalışmasıyla hatalı kumaş bölgelerine ait çizgi görüntü veri dizileri tespit edilmiş ve grafik olarak gösterilmiştir.

Şekil 4.5(a)'da fotoğrafı ve Şekil 4.5(b)'de çizgi kamerayla elde edilmiş görüntüsü verilen 1 numaralı bölgenin hatalı kısmından iki çizgilik tarama gerçekleştirilmiş olup, Line\_224 ve Line\_225 olarak etiketlenen bu çizgilere ait 2 x 1000 piksellik data dizisinin grafikleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Diğer dört hatalı bölgenin resimleri ve bu resimlerde görülen hatalı bölgelere ait piksel dizilerinin grafikleri, aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

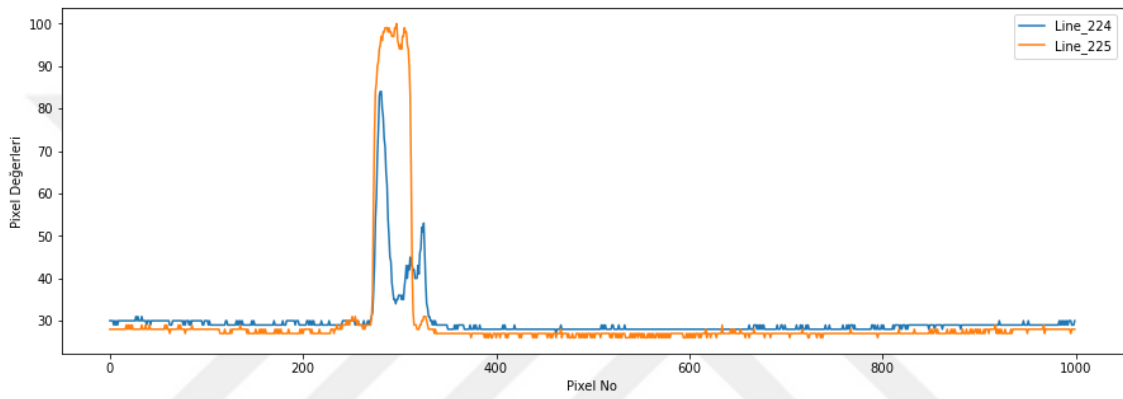


(a)

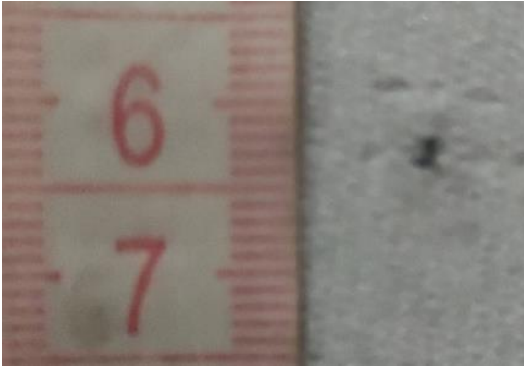


(b)

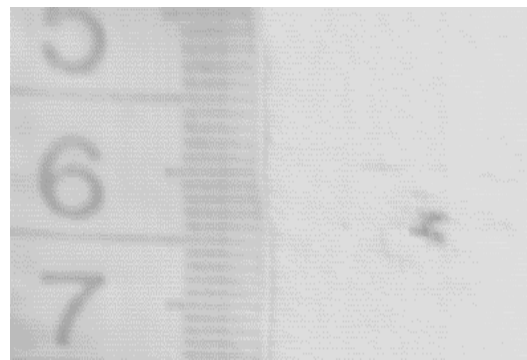
Şekil 4.5 : (a) 1 numaralı hata bölgesinin fotoğrafı, (b) bu bölgenin çizgi kamera ile elde edilmiş görüntüsü.



Şekil 4.6 : 1 numaralı bölgeye ait iki çizginin (Line\_224 ve Line\_225) piksel grafiği.

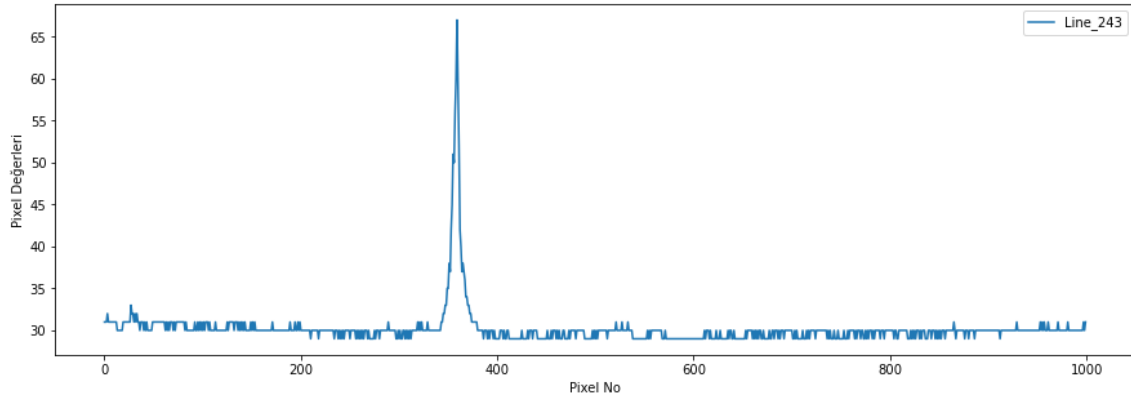


(a)

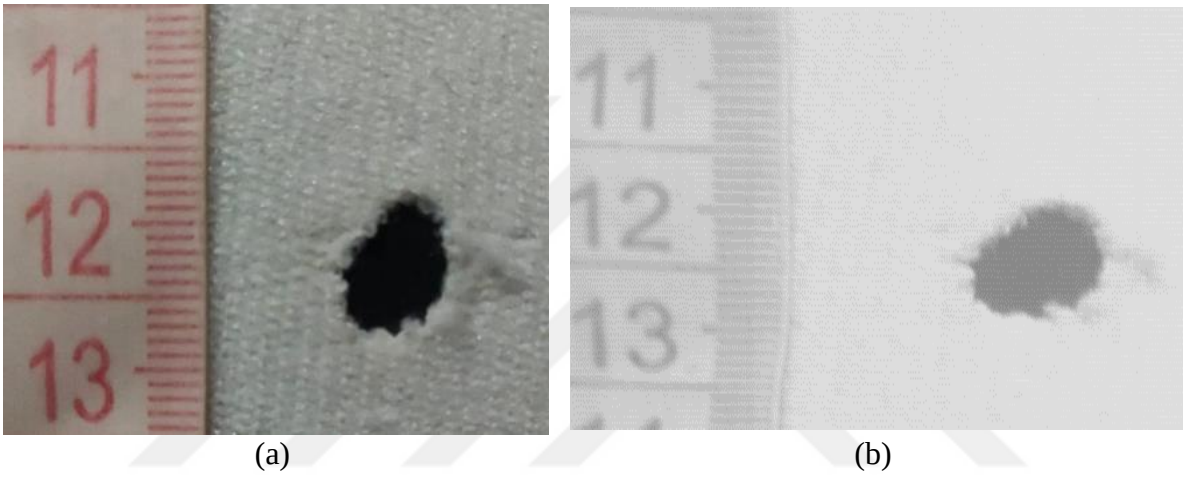


(b)

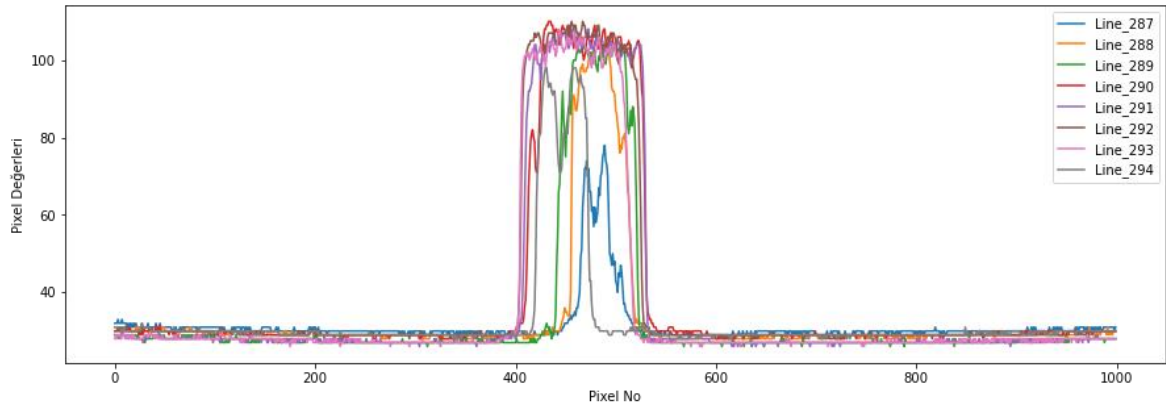
Şekil 4.7 : (a) 2 numaralı hata bölgesinin fotoğrafı, (b) bu bölgenin çizgi kamera ile elde edilmiş görüntüsü.



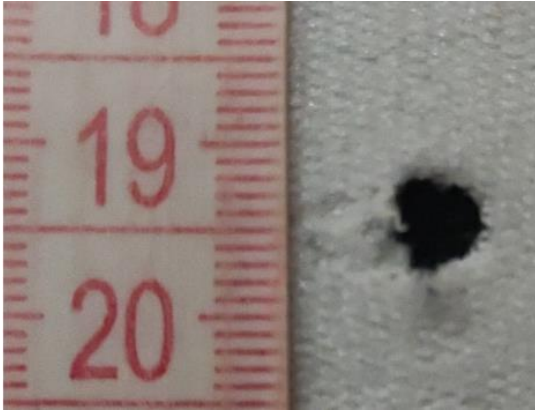
Şekil 4.8 : 2 numaralı bölgeye ait çizginin (Line\_243) piksel grafiği.



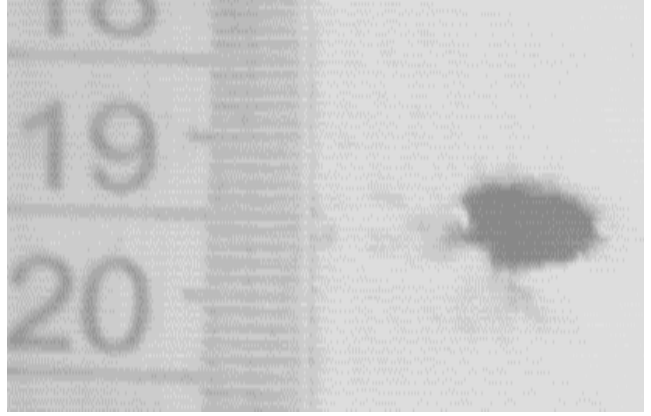
Şekil 4.9 : (a) 3 numaralı hata bölgesinin fotoğrafı, (b) bu bölgenin çizgi kamera ile elde edilmiş görüntüsü.



Şekil 4.10: 3 numaralı bölgeye ait 8 çizginin (Line\_287 - Line\_294 arası) piksel grafiği.

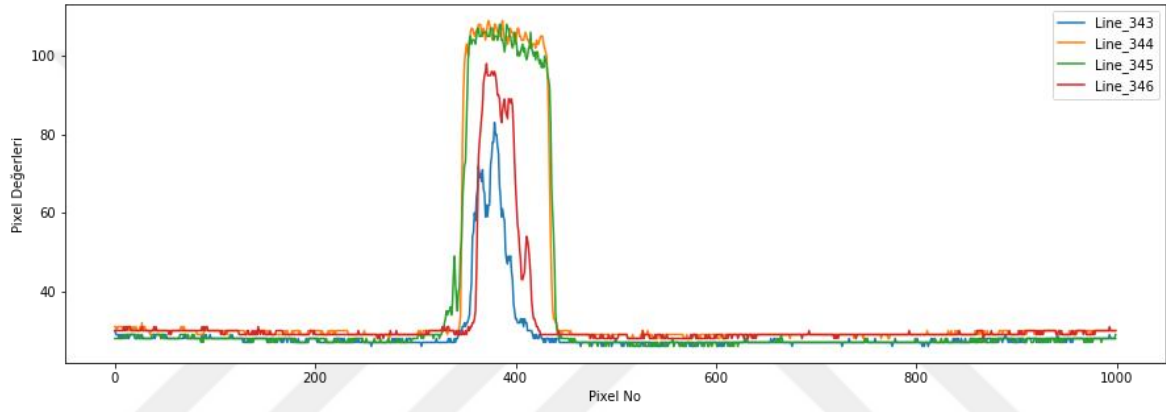


(a)



(b)

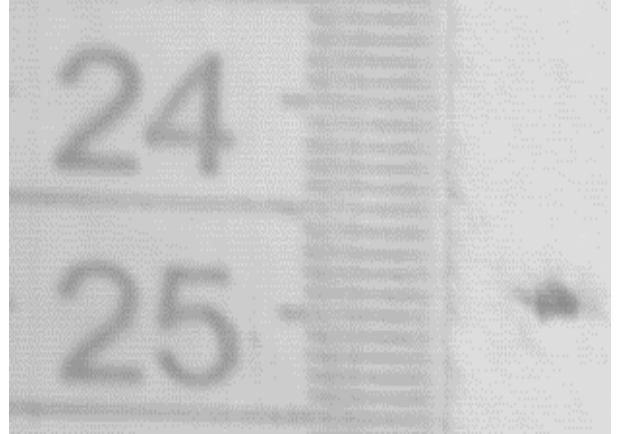
Şekil 4.11 : 4 numaralı hata bölgesinin fotoğrafı, (b) bu bölgenin çizgi kamera ile elde edilmiş görüntüsü.



Şekil 4.12: 4 numaralı bölgeye ait 4 çizginin (Line\_343 - Line\_346 arası) piksel grafiği.

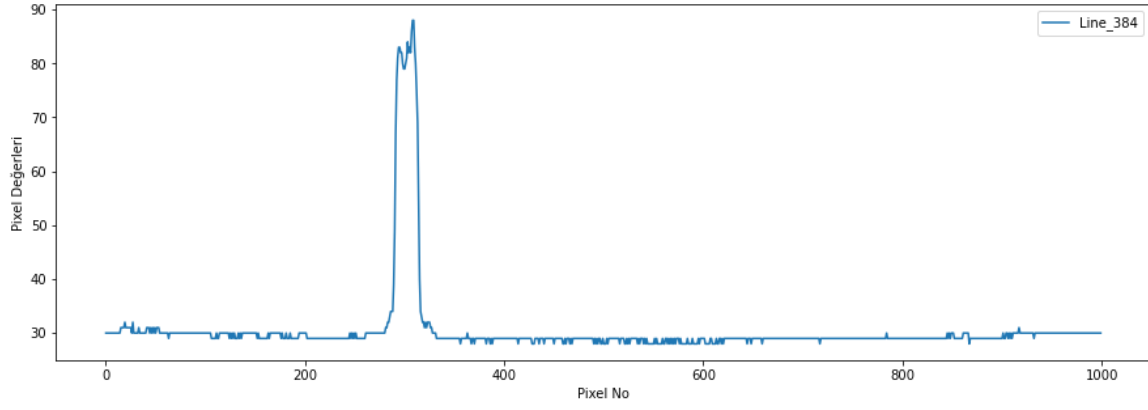


(a)



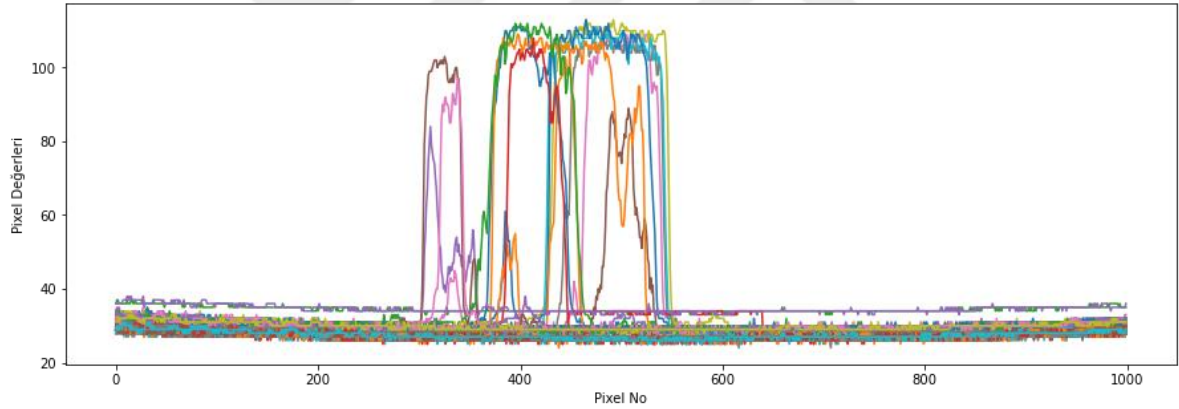
(b)

Şekil 4.13 : (a) 5 numaralı hata bölgesinin fotoğrafı, (b) bu bölgenin çizgi kamera ile elde edilmiş görüntüsü.



**Şekil 4.14 : 5 numaralı bölgeye ait çizginin (Line\_384) piksel grafiği.**

Tarama sırasında elde edilen 500 çizgi x 1000 piksellik data dizisinin aynı ekseninde çizilmiş grafiği, Şekil 4.15'te verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi, kumaş hatası bulunan bölgeden okunan sensör veri grafiğindeki hatalı bölgeye ait piksel değerlerinin genlikleri aşırı derecede yükselmiştir. Kumaş hatasını tespit etmek için bu değişimden yararlanılmıştır.



**Şekil 4.15 : Hatalı ve hatasız bölgelere ait ardışık 500 çizgi görüntünün piksel grafikleri.**

Kumaşın hatalı bölgesinin tespitinde kritik parametrenin, piksel değerlerinin yüksekliği olduğu tespit edildiğinden, hatasız kumaş bölgesindeki piksel dağılımının maksimum değerinin bilinmesi gerekir. Bu amaçla sistem ilk çalıştırıldığında bir test süreci boyunca kumaşın hatasız bölgesine ait 100 çizgilik bir okuma gerçekleştirilmektedir. Elde edilen değerlerin maksimumu, hatalı piksel değerini belirlemede sınır olarak kullanılmaktadır. Ancak yapılan test çalışmalarında, çevresel gürültü ve kumaş yüzeyinde rastgele ortaya çıkacak toz ve benzeri bozucu etkiler nedeniyle, elde edilen maksimum değerın %10 fazlasını kullanmanın daha doğru sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler bilgisayar ekranında görselleştirilmiştir (Şekil 4.16). Bunun için STMicroelectronics firmasının geliştirdiği STM32CubeMonitor uygulaması kullanılmıştır

(STM32CubeMonitor - Runtime variable monitoring and visualization tool for STM32 products - STMicroelectronics, 2021). Bu uygulama, programlama ve hata ayıklama aracı olan ST-link üzerinden mikrodenetleyici hafızasındaki verileri gerçek zamanlı olarak okuyup görselleştirme imkânı sunmaktadır. Bu araç yardımıyla dinamik ve hızlı olarak değişen veriler takip edilerek arka planda hangi değerlerin nasıl değiştiği anlaşılabilmektedir.



**Hatalı Bölge Sayısı = 5**

- |                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| 1. Hatalı Bölge Satır Sayısı = 2 | Pixel Sayısı = 78  |
| 2. Hatalı Bölge Satır Sayısı = 1 | Pixel Sayısı = 22  |
| 3. Hatalı Bölge Satır Sayısı = 8 | Pixel Sayısı = 824 |
| 4. Hatalı Bölge Satır Sayısı = 4 | Pixel Sayısı = 341 |
| 5. Hatalı Bölge Satır Sayısı = 1 | Pixel Sayısı = 21  |

**Şekil 4.16 : Tarama sırasında elde edilen hatalı bölge değerlerinin STMCubeMonitor uygulaması arayüzünde görselleştirilmesi.**

Şekil 4.5 ile Şekil 4.14 arasında verilen görsellerden de yararlanarak Şekil 4.16'daki veriler şöyle yorumlanabilir:

20 devir / dakika hızla dönen tambura sarılı kumaş yüzeyindeki hatalı bölgelerden;

- 1 numaralı hatalı bölgede 2 çizgilik (Line\_224 ve Line\_225 (Şekil 4.6)) okuma yapılmış, maksimum değer üstü 78 tane piksel tespit edilmiştir.

- 2 numaralı hatalı bölgede 1 çizgilik (Line\_243 (Şekil 4.8)) okuma yapılmış, maksimum değer üstü 22 tane piksel tespit edilmiştir.
- 3 numaralı hatalı bölgede 8 çizgilik (Line\_287 - Line\_294 arası (Şekil 4.10)) okuma yapılmış, maksimum değer üstü 824 tane piksel tespit edilmiştir.
- 4 numaralı hatalı bölgede 4 çizgilik (Line\_343 - Line\_346 arası (Şekil 4.12)) okuma yapılmış, maksimum değer üstü 341 tane piksel tespit edilmiştir.
- 5 numaralı hatalı bölgede 1 çizgilik (Line\_384 (Şekil 4.14)) okuma yapılmış, maksimum değer üstü 21 tane piksel tespit edilmiştir.

Tamburun devir sayısı 10 ile 100 arasında 10'ar artırılarak tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir. Elde edilen sonuçları görselleştirerek daha kolay yorumlamak için tambur devir sayısına bağlı olarak;

- Tespit Edilen Hata Sayısı,
- Tespit Edilen Hatalı Satır Sayısı,
- Tespit Edilen Hatalı Piksel Sayısı

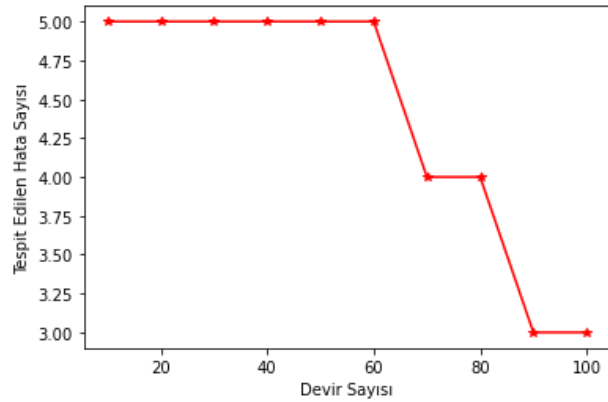
değerlerinin değişim eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 4.17(a,b,c)).

Çizelge ve grafikler incelendiğinde, artan tambur devir sayısına bağlı olarak hatalı kumaş tespitindeki başarı oranının düştüğü görülmektedir. 60 devir /dakika tambur hızına kadar kumaş yüzeyindeki beş hatanın tümü tespit edilmiş, bu hızdan sonraki iki kademede (70 dev/dak ve 80 dev./dak) hatalı bölgelerden küçük ölçekteki bir tanesi yakalanamamıştır. Bir sonraki kademe olan 90 devir/dak. hızına ulaşıldığında tespit edilemeyen hatalı bölge sayısı ikiye yükselmiştir. Bu hızdan itibaren 100 devir/dak. hıza kadar tespit edilebilen hatalı bölge sayısı üç olarak sabit kalmıştır. Artan devir sayısına bağlı olarak hata tespit başarısının düşmesinin sebebinin, okunan çizgiler arası mesafenin artması olduğu değerlendirilmiştir.

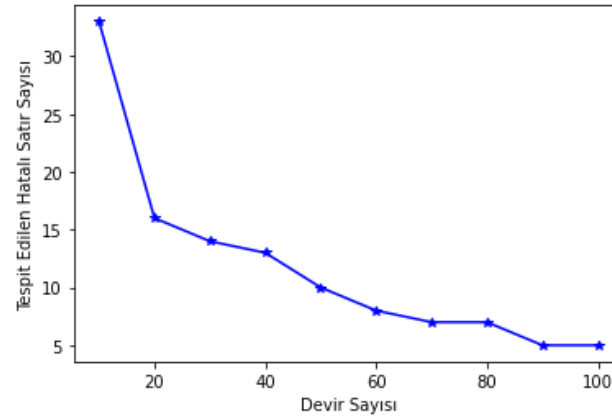


**Çizelge 4.1 : Tambur devir sayısına bağlı olarak tespit edilen hatalı kumaş bölgeleri ve bu bölgelere ait sayısal veriler.**

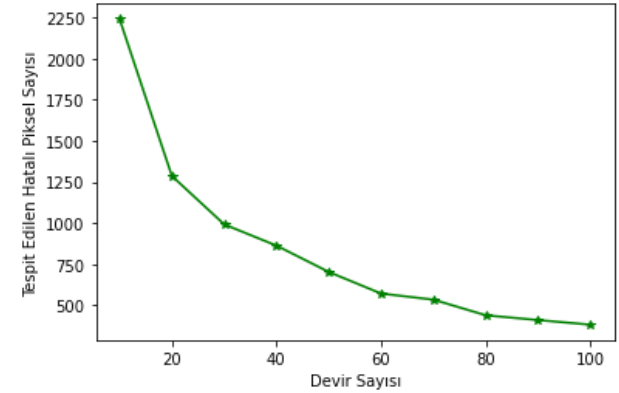
| Tambur Hızı (devir/dak.)  | 10  |      | 20  |     | 30  |     | 40  |     | 50  |     | 60  |     | 70  |     | 80  |     | 90  |     | 100 |     |
|---------------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| HSS(Hatalı Satır Sayısı)  | HSS | HPS  | HSS | HPS | HSS | HPS | HSS | HPS | HSS | HPS | HSS | HPS | HSS | HPS | HSS | HPS | HSS | HPS | HSS | HPS |
| HPS(Hatalı Piksel Sayısı) |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1. Hatalı Bölge           | 5   | 135  | 2   | 78  | 2   | 63  | 1   | 45  | 1   | 40  | 1   | 56  | 1   | 8   | 1   | 14  | 1   | 24  | 0   | 0   |
| 2. Hatalı Bölge           | 3   | 35   | 1   | 22  | 1   | 19  | 1   | 21  | 1   | 13  | 1   | 15  | 0   | 0   | 1   | 7   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 3. Hatalı Bölge           | 16  | 1491 | 8   | 824 | 7   | 680 | 7   | 594 | 4   | 410 | 3   | 294 | 3   | 312 | 4   | 318 | 2   | 224 | 2   | 215 |
| 4. Hatalı Bölge           | 7   | 537  | 4   | 341 | 3   | 206 | 3   | 178 | 3   | 216 | 2   | 187 | 2   | 185 | 1   | 101 | 2   | 163 | 2   | 142 |
| 5. Hatalı Bölge           | 2   | 41   | 1   | 21  | 1   | 24  | 1   | 25  | 1   | 24  | 1   | 20  | 1   | 30  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 26  |



(a)



(b)



(c)

**Şekil 4.17 : Tambur devir sayısına bağlı olarak (a) tespit edilen hata sayısı, (b) tespit edilen hatalı satır sayısı, (c) tespit edilen hatalı piksel sayısı değişim eğrileri.**

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 1500 aktif pikseli düşük maliyetli Toshiba TCD1103GFG CCD lineer çizgi kamera sensörü ve yine düşük maliyetli 32 bit mimarili STM32F411 mikrodenetleyicili WeAct Black Pill V2.0 geliştirme kartı kullanılmıştır. Lineer çizgi kamera sensörüyle bir nesneye ait iki boyutlu görüntü elde etmek için hedef sahnenin sabit hızla hareket etmesi gerektiğinden, bu hareketi sağlayacak mekanizma elde etmek için yatay olarak konumlandırılmış ve eksen etrafında döndürülebilen silindirik bir tambur tasarlanmıştır. Bu tambur dairesel hareketini bir kayış vasıtasıyla DC motordan almıştır. DC motor PWM tekniği ile sürülerek devir sayısı ayarlanmıştır. Tez çalışmasının ilk bölümünde, dönen tambur üzerine sabitlenen bir görselin görüntüsü saniyede 400 çizgi hızında taranarak USB seri iletişim kanalı kullanılarak bilgisayara gönderilmiş ve bilgisayarda çalışan bir windows uygulaması arayüzünde iki boyutlu görüntüye dönüştürülmüştür. Taranan görsel olarak, A4 kağıdına lazer yazıcıda yazdırılmış olan ve punto büyüklüğü 5'ten başlanarak her satırda bir birim büyütülen bir metin kullanılmıştır. Bilgisayarda çalışan ve her pakette 1500 piksellik görüntü verisini taşıyor olan gelen veri dizilerini yakalayıp iki boyutlu görüntüye dönüştüren uygulamayı tasarlamak için de, Visual Studio Community IDE aracı ve C# programlama dili kullanılmıştır. Her kare görüntü elde edildikten sonra bilgisayar diskine kaydedilmiştir. Tez çalışmasının ikinci bölümünde ise, silindirik tambur üzerine hatasız bölgeleri ve farklı büyüklüklerde 5 hatalı bölgeye sahip olan bir kumaş sabitlenerek değişik hızlarda döndürülmüş, hareket halindeki kumaş yüzeyindeki patlak hataları gerçek zamanlı olarak yakalanması sağlanmıştır. Bu tespit sırasında hatasız ve hatalı kumaş yüzeylerinin tek boyutlu çizgi görüntü verileri bilgisayara transfer edilerek SerialPlot uygulaması aracılığıyla grafiksel olarak izlenmiştir. Ayrıca hatasız ve hatalı bölgelere ait elde edilen datalar, grafik araçları kullanılarak görselleştirilmiş, hatalı bölgelerin piksel değerlerinin hatasız bölgelerdeki maksimum piksel değerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiş, hata tespit algoritması da bu tespite göre şekillendirilmiştir. Bu amaçla çalışmanın başlangıcında kumaşın sağlam kısmında 100 çizgilik bir bölge okunarak elde edilen verilerin maksimum değeri elde edilmiş, kumaşın diğer kısımlarındaki hata tespit çalışmasında elde edilen bu maksimum değeri aşan pikseller tespit edilmeye çalışılmış, bu yolla kumaş hatası başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Yapılan test çalışmalarında, çeşitli

Çevresel faktörler (elektriksel parazit ya da toz benzeri fiziksel kirlenmeler) nedeniyle hatasız bölgelerde de maksimum değeri bir miktar aşan piksel değerleri tespit edilmiş, bu problemi elimine etmek için tespit edilen hatasız bölge maksimum piksel değerinin %10 fazlasının kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Tamburun devir sayısı, 10 devir/dak ile 100 devir/dak arasında 10’ar adımlık büyüklüklerle artırılmış, her adımda, tespit edilen hata sayısı, tespit edilen hatalı satır sayısı ve tespit edilen hatalı piksel sayısı değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler grafiklerle görselleştirildiğinde, artan tambur devir sayısına bağlı olarak hata tespit başarısının düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin, artan devir sayısı ile orantılı olarak okunan çizgiler arası mesafenin artması olduğu değerlendirilmiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, sensörün optik kararlılığını bozan zayıf yanı filtrelerle iyileştirilebilir. Ayrıca, okuma hızı daha yüksek sensörler ve ADC hızı daha yüksek denetleyicilerle çalışılırsa, çizgi tarama frekansı artırılabilir. Ayrıca iğne kırığı kumaş hatası tespiti ile ilgili çalışmalar geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Akyol, O. (2021). Yeni iletişim teknolojileri. İçinde *Istanbul Üniversitesi*. [http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/medyaveiletisim\\_ue/yeniiletisimteknolojileri.pdf](http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/medyaveiletisim_ue/yeniiletisimteknolojileri.pdf)
- Altınbaşak, O. (2015). *Mikrodenetleyiciler ve PIC Programlama*. Altaş Yayıncılık.
- Basler. (2021). *Line Scan Cameras* | Basler. <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/line-scan-cameras/racer/ral6144-16gm/>
- Brumm, A., Oktaviana, A. A., Burhan, B., Hakim, B., Lebe, R., Zhao, J. X., Sulistyarto, P. H., Ririmasse, M., Adhityatama, S., Sumantri, I., & Aubert, M. (2021). Oldest cave art found in Sulawesi. *Science Advances*, 7(3), 4648–4661. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4648>
- Büyükkabasakal, K. (2010). *Kumaş dokuma hatalarının tespiti ve sınıflandırılması*. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çıklandır, F. G. Y., Utku, S., & Özdemir, H. (2020). An Unsupervised System Locally Seeking Fabric Defects. *Tekstil ve Muhendis*, 27(120), 252–259. <https://doi.org/10.7216/1300759920202712005>
- Esben Rossel. (2019). *TCD1304.wordpress*. <https://tcd1304.wordpress.com/>
- Fischer, J., & Radil, T. (2003). DSP based measuring line-scan CCD camera. *Proceedings of the 2nd IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2003*, 345–348. <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2003.1249579>
- Fotoğrafın Tarihçesi*. (2016). <http://www.serenti.org/fotoğrafın-tarihcesi/>
- Gök, K. (2016). Fotoğrafın bulunuşu ve sonrasında oluşan teknik gelişmeler. *Yıldız Journal of Art and Design*, 43–66.
- Güler, H. (2013). *GPU ile Kumaş Hata Tespiti ve sınıflandırılması*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.
- Güvenlik kameraları* – KameraSystem. (2019). <https://kamerasytem.wordpress.com/guvenlik-kameralari/>
- Haberal, O. E. (2017). Düşük maliyetli bir raman spektroskopisi sistemi tasarımı, kurulumu ve nanoyapılar ile birlikte tanıma kullanımı. İçinde *Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Biyomühendislik Anabilim Dalı, Ankara*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hanbay, K., Golgiyaz, S., & Talu, M. F. (2017, Ekim 30). Matlab ve C++/opencv platformları üzerinde gerçek zamanlı kumaş hatası tespiti. *IDAP 2017 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium*. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2017.8090180>
- Hayward, L. (1986). *Line Scan Camera*. Electronics & wireless world. <https://en.ids-imaging.com/technical-articles-details/tech-article-linescan-mode.html>
- IBM RAD6000 - Wikipedia*. (2020). [https://en.wikipedia.org/wiki/IBM\\_RAD6000](https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_RAD6000)
- Line scan cameras for machine vision*. (2020). <https://www.svs-vistek.com/en/knowledgebase/svs-about-machine-vision.php?p=line-scan-cameras->

- Mars Pathfinder FAQs - Sojourner. (1997). [https://mars.nasa.gov/MPF/rover/faqs\\_sojourner.html#cpu](https://mars.nasa.gov/MPF/rover/faqs_sojourner.html#cpu)
- Mikrodenetleyici - Vikipedi. (2021). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Mikrodenetleyici>
- Özaydın, O. E. (2019). *Görsel kayıt tarihinde cam negatif ler ve pozitifler yüksek lisans tezi*. Mersin Üniversitesi, Mersin.
- PIC16F877A I/P - AliExpress. (2021). [https://tr.aliexpress.com/item/1005002868665279.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.555f6a340BjeP2&algo\\_pvid=dc978bea-46cc-46b7-a6f0-0553c739bd01&algo\\_exp\\_id=dc978bea-46cc-46b7-a6f0-0553c739bd01-37&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000025127527533%22%7D](https://tr.aliexpress.com/item/1005002868665279.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.555f6a340BjeP2&algo_pvid=dc978bea-46cc-46b7-a6f0-0553c739bd01&algo_exp_id=dc978bea-46cc-46b7-a6f0-0553c739bd01-37&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000025127527533%22%7D)
- Pınar, Z. (2020). *Makine öğrenmesi yaklaşımları kullanılarak denim kumaşlarda kusur tespiti*. KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ.
- Polat, H. (2014). Lazer ve çizgisel CCD algılayıcı tabanlı optik çap ölçüm sisteminin geliştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 17, 91–98.
- Pololu High-Power Motor Driver 24v12. (2014). <https://www.pololu.com/product/757>
- Rekin, T. (2005). Rekin Teksoy'un Sinema Tarihi. *Oğlak Yayıncılık*, 18.
- SerialPlot 0.12.0 Developed by Hasan Yavuz Özderya. (2021). <https://hg.sr.ht/~hyozd/serialplot/>
- Spektroskopi. (2020). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Spektroskopi>
- STM32CubeMonitor - Runtime variable monitoring and visualization tool for STM32 products - STMicroelectronics. (2021). <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemonitor.html>
- STM32F411 DataSheet. (2015). February.
- STM32F411CEU6. (2019). <https://stm32-base.org/boards/STM32F411CEU6-WeAct-Black-Pill-V2.0>
- STM32F411ceu6 Development Board V3.0 - AliExpress. (2021). [https://www.aliexpress.com/item/1005001621784672.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6eb52b37Y80wav&algo\\_pvid=f5b41cf6-280c-4de1-9413-ad0fe6c458a9&algo\\_exp\\_id=f5b41cf6-280c-4de1-9413-ad0fe6c458a9-9&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000023390233259%22%7D](https://www.aliexpress.com/item/1005001621784672.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6eb52b37Y80wav&algo_pvid=f5b41cf6-280c-4de1-9413-ad0fe6c458a9&algo_exp_id=f5b41cf6-280c-4de1-9413-ad0fe6c458a9-9&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000023390233259%22%7D)
- STMicroelectronics. (2021). STM32CubeMX. <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>
- Tağluk, M. E. (2017). Dokuma tezgahlarında hatalı kumaş dokusunun tespiti için başarılı bir yöntem. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 422, 575–586.
- TCD1103 Toshiba Electronic Devices DataSheet. (2017). <https://toshiba.semicon-storage.com/eu/semiconductor/product/linear-image-sensors/detail.TCD1103GFG.html#documents>
- Uyanık, S., & Çelikel, D. C. (2019). Türk Tekstil Endüstrisi Genel Durumu. *Journal of Technical Sciences*, 9(1), 32–41. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tbed/460866>
- Visual Studio 2019 Sistem Gereksinimleri | Microsoft Docs. (2021). <https://docs.microsoft.com/tr-tr/visualstudio/releases/2019/system-requirements>

## EKLER

### EK A: DC motor sürücü devresi Arduino UNO kodları:

```
#include <PWM.h>

int PotansiyometrePin = A0;
int PotDeger;
int MotorDIRPin = 8;
int MotorPWMPin = 9;
int32_t frekans = 10000;

void setup()
{
    InitTimersSafe();
    SetPinFrequencySafe(MotorPWMPin, frekans);
    pinMode(MotorPWMPin, OUTPUT);
    pinMode(MotorDIRPin, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
    ileri();
}

void ileri()
{
    digitalWrite(MotorDIRPin, HIGH);
}

void geri()
{
    digitalWrite(MotorDIRPin, LOW);
}

void fren()
{
    digitalWrite(MotorPWMPin, LOW);
}

void loop()
{
    PotDeger = analogRead(PotansiyometrePin);
    PotDeger = map(PotDeger, 0, 1023, 0, 255);
    pwmWrite(MotorPWMPin, PotDeger);
    Serial.println(PotDeger);
    delay(10);
}
```

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyadı** : Ahmet Sait ERGIN

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1993, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği.

### MESLEKİ DENEYİM:

- 1996 – 1999 Öğretmen (Milli Eğitim Bakanlığı).
- 2000 – 2018 Öğretim Görevlisi (İnönü Üniversitesi Arapgir Meslek Yüksekokulu)
- 2018 - ... Öğretim Görevlisi (Malatya Turgut Özal Üniversitesi Arapgir MYO)

### YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

A. S. Ergin and Ö. Özgüven, "Low Cost effective Real Time Detection of Fabric Defects with CCD Linear Image Sensor," 2021 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ASYU52992.2021.9598963. IEEE.