

Kumaş Hatalarının CCD Linear Görüntü Sensörü ile Düşük Maliyetli Olarak Gerçek Zamanlı Tespiti

Low Cost effective Real Time Detection of Fabric Defects with CCD Linear Image Sensor

Ahmet Sait ERGİN¹, Ömerülfaruk ÖZGÜVEN²

¹Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Malatya Turgut Özal Üniversitesi Arapgir Meslek Yüksekokulu, Malatya, Türkiye
ahmet.ergin@ozal.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye
omer.ozguven@inonu.edu.tr

Özetçe—Bu çalışmada CCD (Charge Coupled Device: Yük Bağlaşım Elemanı) lineer görüntü sensörü kullanarak örme makinelerinde üretilen kumaşların hatalarının gerçek zamanlı tespiti gerçekleştirilmiştir. Örme makinelerine benzetim için doğru akım motoruyla döndürülen silindirik bir tambur tasarlanmış, bu tambura sarılan hatalı ve hatasız kumaşlarla çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için düşük maliyetli, 1500 aktif piksel ihtiva eden bir lineer çizgi kamera sensörü seçilmiştir. İki boyutlu görüntü analizi algoritmaları çok yüksek işlemci gücü gerektirdiği ve mikrodenetleyicilerin bu işlemi gerçek zamanlı olarak yürütmeleri mümkün olmadığı için, görüntü analizi tek boyut yani satır için gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel parametrelerin izlenmesi yolu ile kumaş hatası tespit edilmiş, motorunun kumanda devresi aracılığıyla tambur durdurulmuş, aynı anda sesli ikaz sistemi ile makine operatörünün hatadan haberdar edilmesi benzetimi sağlanmıştır. Bu çalışmada piksel analizleri tek boyut (çizgi) için tekrarlandığından, hatayı (anormal piksel ya da piksel grubunu) yakalama gecikmesi, çizgi tarama periyodu ile sınırlıdır. Bu çalışmanın öne çıkan özgül yanı da budur.

Anahtar Kelimeler— *CCD Lineer görüntü Sensörü, kumaş hatası, 32-bit mikrodenetleyici.*

Abstract— In this study, real-time detection of defects of fabrics produced on knitting machines was carried out by using CCD (Charge Coupled Device) linear image sensor. To simulate knitting machines, a cylindrical drum rotated with a direct current motor was designed, and work was carried out with faulty and faultless fabrics wound on this drum. A low-cost linear line camera sensor containing 1500 active pixels was chosen for this study. The driver circuit of the selected image sensor requires interdependent and very precise timer signals. For this reason, a development board containing a 32-bit microcontroller with an operating frequency of 100 MHz with a superior price/performance ratio was used to control the sensor. In addition, a light source with a wavelength between 500 nm and 600 nm, to which the sensor is maximum sensitive, was used. Linear dash camera sensor has analog output. For this reason, every image pixel detected by the sensor is converted into digital. Since the microcontroller used in the study supports direct memory access, the data converted from analog to digital are automatically saved in the memory. Thus, both the maximum speed supported by the development board in analog-digital conversion has been reached, and it has been possible to perform the control in real time by processing the previous line data in this hardware-driven processing time period. Since two-dimensional image analysis algorithms require very high processing power and it is not possible for microcontrollers to perform this process in real time, image analysis was performed for one dimension, ie row. The fabric defect was detected by monitoring the statistical parameters,

the drum was stopped by the control circuit of the motor, and the machine operator was simulated to be informed of the error with the audible warning system at the same time.

Keywords— *CCD Linear image Sensor, fabric defect, 32-bit microcontroller.*

I. GİRİŞ

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 [1]. Günümüzde fotoğraf makinelerini geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Optik sensörler, günümüzde maddelerin ışık aracılığı ile tanımlanmaları için kullanılan spektrometrelerde [2], 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 çalışmaya benzer donanımlarla Raman Spektroskopi Sistemi Tasarımı konusunda çalışmıştır [3]. Polat, lazer ve CCD sensör kullanarak silindirik kesitli tel veya iplik benzeri nesnelerin çapını temassız olarak ölçen bir sistem geliştirmiştir [4]. Fischer ve Radil, çalışmalarında çizgi tarama sensörünü, 100 µm – 1 mm arası çaplardaki nesnelere ölçmek için tek çizgideki piksel dizisi üstüne düşen gölgelerinden faydalanarak başarıyla kullanmışlardır [5]. Rossel yaptığı çalışmada çizgi tarama sensörü ile elde ettiği tek çizgideki piksellerin voltaj seviyesini, bilgisayarda geliştirdiği bir uygulamada, osiloskop benzeri bir arayüzde göstermiştir [6]. Tağluk, dokuma tezgahlarında hatalı kumaş dokusunun tespiti konusunda bir çizgi kamera (BASLER) ile çalışmıştır [7], [8].

Alan tarama kameraları, tıpkı insan gözünde olduğu gibi görüntünün tüm piksellerini aynı anda alır. Hareketli ve hareketsiz hedefler arasında ayırım 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 nesnelere denetim için çok iyi bir çözümdür. Boyutları veya şekilleri nedeniyle nesnelere tek bir pozlamada bütünüyle yakalanamıyorsa, "taranmaları" gerekir. Kamera, nesnenin perspektifinde herhangi bir bozulma olmadan bir resmi belleğinde oluşturmak için satır satır bilgi yakalar. Çizgi tarama modu kullanıldığında, hareket şarttır. Ya denetlenecek malzeme bir taşıma bandı üzerinde hareket ettirilir ya da kameranın kendisi hareket eder. Sonsuz yüzey incelemesine ek olarak, hızlı hareket eden nesnelere içeren genel inceleme, ölçme ve sıralama görevleri, geleneksel çizgi tarama kameraları için tipik uygulama alanlarıdır. Çizgi tarama kameraları, nesnelere bu şekilde taramak için ışığa duyarlı tek bir çizgiye sahip görüntü sensörleri kullanan kamera sistemleridir. Buna karşılık, alan tarama kameralarındaki (matris tarama kameraları olarak da bilinir) sensörler, paralel olarak düzenlenmiş ve tüm nesnelere tek bir pozlamada yakalamak için tasarlanmış iki boyutlu bir matristen oluşur. Bu iki kamera çeşidi, kendilerine özel alanlarda kullanılırlar [9].

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 [5].

Bu çalışmada, diğer çalışmalara göre düşük maliyetli bir CCD lineer görüntü sensörü ve dijital sinyal işleme kapasitesi yüksek olan yine düşük maliyetli bir mikrodenetleyicili elektronik devre kartı kullanılarak tasarlanmış bir optik sistem ile örme makinelerini simüle eden dönen silindirik tambura sarılı bir kumaştaki delik, yırtık benzeri hatayı gerçek zamanlı olarak tespit edip dönen makineyi durduran, aynı zamanda istenilirse makine operatörünü sesli olarak uyarabilen bir sistem tasarlanmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

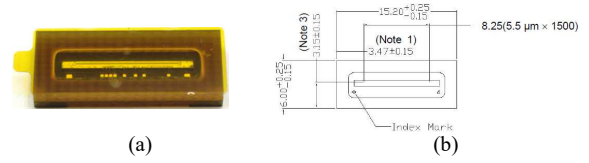
Bu çalışma için optik sensör, lens, aydınlatma düzeneği, mikrodenetleyicili kontrol sistemi ve tambur olmak üzere beş ana donanım ünitesi kullanılmıştır.

A. Optik Sensör

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 hantallık 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 bağışıkları 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 fiyat/performans oranı üstün bir optik sensör olan Toshiba TCD1103GFG CCD lineer görüntü

sensörü tercih edildi (Şekil 1.a). Bu ürün, ışık yoğunluğunu analog elektriksel gerilim sinyaline dönüştüren bir fotoelektrik sensördür.



Şekil 1. (a) TCD1103GFG CCD lineer görüntü sensörü, (b) Sensör ölçüleri.

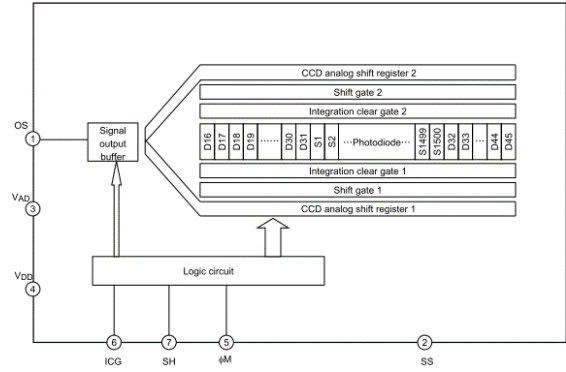
Sensörün maksimum spektral cevabı 550 nm olup, görünür spektrum içinde çalışmak için çok uygundur. 1500 aktif piksel/çizgi oranına sahiptir [10].

Şekil 2'deki devre diyagramından da görüldüğü gibi, TCD1103GFG CCD lineer görüntü sensörü, üç adet zamanlama sinyal girişi (ICG, SH, ØM), enerji besleme girişleri (V_{DD} , V_{AD} , SS) ve analog çıkış sinyali (OS) pinlerine sahiptir [10].

1) Zamanlama gereksinimleri

TCD1304, üç sürüş darbesine ihtiyaç duyar:

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



Şekil 2. TCD1103GFG CCD lineer görüntü sensörü iç devresi.

Üç zamanlama sinyali ve analog çıkış sinyali, sensörün tutarlı çalışması için birbirine hassas bir şekilde bağlıdır [10].

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

Tablo 1 incelendiğinde, çizgi kamera sensörünün veri transfer frekansının, ana saat darbe frekansının yarısı ($f_{ØM}/2$) kadar olduğu görülmektedir [10].

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

Tablo 1. Zamanlama sinyalleri saat darbe karakteristikleri.

2) Analog çıktı

CCD'ler, fotonları toplayan ve onları elektriksel voltaja dönüştüren analog cihazlardır. Toplanan yük f_{DATA} frekansıyla çıkışa kaydırılır, Şekil 2'de OS ile gösterilen çıkıştaki bu analog sinyal, analog dijital konvertör modülü ile dijitale

çevrilir. OS sinyalinde, 1500 aktif pikselin öncesinde 32, sonrasında da 14 sahte piksel eleman mevcuttur. Bu elemanlar sabit voltaj seviyesine sahip olup, bir satırlık periyottaki sinyalin işlenmesi sırasında değerlendirilebilir. 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.

B. Lens

Lensterin 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 [11]. Çizgi sensörlü kameralarda da çoğunlukla alan sensörlü kameralarda kullanılan lensler kullanılır. Ancak, çizgi tarama kameraları çok yüksek çözünürlükler sağladığından, yüksek kaliteli lensler gerektirir [12]. Görüntüyü Şekil 1.b’de görülen 8.25 mm uzunluğundaki sensör aktif bölgesine odaklamak için 120 derece geniş açılı lens kullanılmıştır.

C. 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 (tipik olarak μ s aralığında). Sonuç olarak, çizgi tarama kameraları sıklıkla yüksek veya aşırı ışık yoğunluklarına (1000000 lux’e kadar) sahip aydınlatma kurulumları gerektirir [12].

Sensörün maksimum spektral cevabına bağlı olarak 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 ve aydınlatma amacıyla, Şekil 3’te görülen LED kullanılmıştır.



Şekil 3. Aydınlatma için kullanılan yeşil LED.

D. Mikrodenetleyicili Kontrol Sistemi

1) Kontrol sisteminin donanım yapısı

Kontrolör olarak Şekil 4’te görülen, ST firmasının ürettiği 32 bit mimariye sahip ARM STM32F411 mikrodenetleyici kullanılarak tasarlanmış WeAct Black Pill V2.0 geliştirme kartı kullanıldı [13].



Şekil 4. WeAct Black Pill V2.0 geliştirme kartı.

Bu geliştirme kartının temel özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Çekirdek	Arm Cortex-M4
Max. Saat Hızı	100MHz
FLASH	512 KB
SRAM	128 KB
Haberleşme	USART x 3, I2C x 3, SPI x 5, USBFS x 1

ADC	1x10 Kanal
Timers	8 (7 x genel amaçlı + 1 x gelişmiş)
GPIO	34 x I/O Ports

Tablo 2. WeAct Black Pill V2.0 geliştirme kartı temel özellikleri.

STM32F411 mikrodenetleyici kontrol kartının, aşağıdaki süreçleri 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 hatalarını yakalamak,
- Hata 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 yazılımın kolay yönetilmesi için güçlü yazılım geliştirme araçlarına gereksinim bulunmaktadır.

2) Yazılım geliştirme araçları

STM32F411 mikrodenetleyicisinin konfigürasyonu için, ST’nin geliştirdiği yazılım aracı olan STM32CubeMX kullanılmıştır. Hata ayıklama (debugging) için gene aynı firmanın geliştirdiği STM32CubeMonitor aracı kullanılmıştır. Uygulama yazılımını geliştirmek için de bu çalışmada kullanılan mikrodenetleyicinin lisans sahibi olan ARM firmasının yazılım geliştirme aracı olan Keil MicroVision IDE kullanılmıştır.

E. Tambur

Bu çalışmadaki amaç, dairesel hareket ederek kumaş imal eden yuvarlak örgü makinelerinde hatalı kumaş tespiti olduğu için, benzetim amacıyla dairesel hareketli bir mekanizma olan ve Şekil 5’te görülen tambur düzeneği tasarlanmıştır.

Tambur, hareketini kayış yardımıyla bir DC motordan almaktadır. DC motor redüktörlü olup, 110 devir /dakika maksimum hıza sahiptir. Devir ayarı PWM ile sağlanmıştır.

III. BULGULAR

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

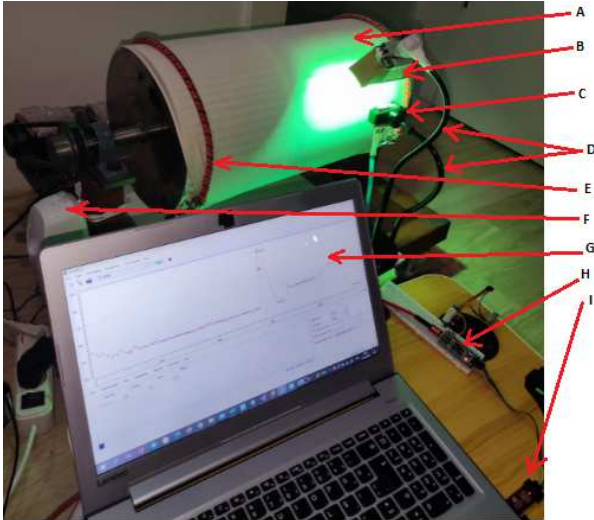
ADC modülü, 8 bit çözünürlüklü ve doğrudan bellek erişimi (DMA: Direct Memory Access) aktif edilerek kullanılır. Çok sayıda dönüşümün art arda gerçekleştirilmesi gereken durumlarda ADC modülü DMA ile kullanıldığında, dönüşüm sonuçları programcının tanımladığı değişken üzerinden okunacak şekilde bellek 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 başka işlemleri yürütebilmektedir. Gerçek zamanlı

uygulamalarda bu tür donanımsal destekler 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 saat darbesi ile sürülmesi gerekmektedir. Bu saat darbe 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 5'te gösterilmiştir. Bu şekildeki malzemelerin isimleri aşağıda verilmiştir.

- A-Yatay silindirik tambur üzerine sabitlenen kumaş,
- B-Çizgi kameranın okuyacağı satıra yönlendirilmiş yeşil renkli LED aydınlatma düzenek,
- 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 tamburun zarar vermemesi 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 arabirimi olan ST-link modülü göstermektedir.



Şekil 5. Çalışma düzeneği ve bileşenleri.

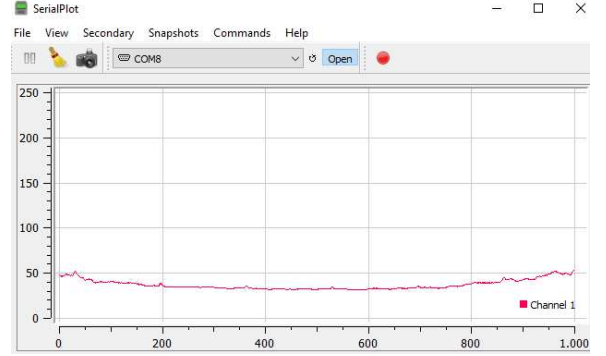
Mikrodenetleyicili kontrol sistemi, PWM yöntemi uygulanarak sıfır ile maksimum devir arasında istenen hızda döndürülen tambura sarı kumaşı sensör aracılığıyla satır satır okuyup dijitale dönüştürmektedir. ADC modülünün çözünürlüğü sekiz bit olarak ayarlanmış olup dönüşüm sonucunda her piksel, 0 ile 255 arası bir sayıya karşılık gelmektedir. Kumaş hatasını tespit edebilmek için, kumaşın

hatasız bölgesinde bu sayı değerlerin 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 [14].

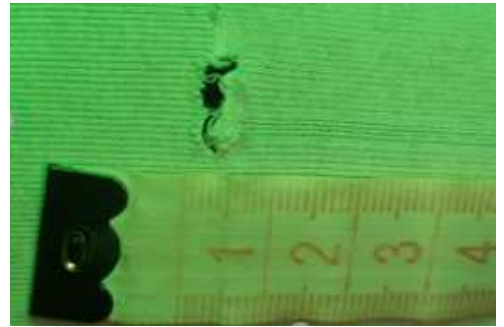
Şekil 6'da tambur üzerine sarılı kumaşın hatasız bir bölgesinden okunan bir satırlık görüntünün piksel dağılım grafiğinin SerialPlot ekranındaki görüntüsü görülmektedir.

Şekil 7'de kumaşın hatalı bir bölgesinin fotoğrafı, Şekil 8'de ise bu bölgenin çizgi kamera ile taranmış tek satırlık görüntüsünün piksel dağılım grafiğinin SerialPlot ekranındaki görüntüsü görülmektedir.

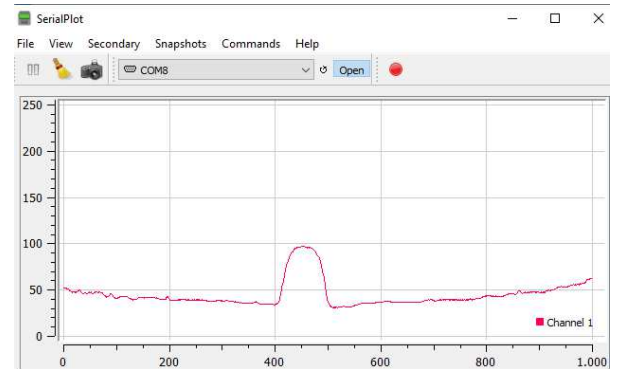
Şekil 8'deki grafikten görüldüğü gibi, kumaş hatası bulunan çizgi üzerinde okunan kumaşın hatalı bölgesine ait piksel değerleri, aniden genlik değiştirmiştir. Kumaş hatasını tespit etmek için bu değişimden yararlanılmıştır. Ancak grafik incelendiğinde, hatasız bölge grafiğinin de kendi içinde düşük genlikli dalgalanmalar yaptığı görülecektir.



Şekil 6. Hatasız kumaşa ait bir satırlık piksel dizisi grafiği.



Şekil 7. Kumaşın hatalı bölgesinin fotoğrafı.



Şekil 8. Hatalı kumaşa ait bir satırlık piksel grafiği.

Bu dalgalanmaları filtre etmedeki başarı, bu çalışmadaki yaklaşımın da başarı oranını belirlemektedir.

Hatasız kumaşa ait piksel değerlerinin istatistiksel dağılımını tespit etmek için, sistem ilk çalıştırıldığında bir test süreci boyunca kumaşın bu bölgesine ait 1000 çizgilik bir okuma gerçekleştirilmektedir. Elde edilen değerlerin maksimum, ortalama ve standart sapma büyüklükleri mikrodenetleyici tarafından hesaplanarak, sonrasındaki normal çalışma sürecinde değerlendirilmek üzere hafızada saklanmaktadır. Birbirine yakın olacağı öngörülen bir seri sayı için standart sapma değerini bilmek demek, bir ortalama etrafında bu serinin ne kadar yayılım gösterdiğini anlamaktır.

Standart sapmanın büyük olması veri noktalarının ortalamadan daha uzak yayıldıklarını; küçük bir standart sapma ise ortalama etrafında daha çok yakın gruplaştıklarını gösterir. Ölçümlerin teoriye dayanan bir tahmin ile karşılaştırılıp birbirine uygunluk gösterip göstermediğine karar vermede ölçümlerin standart sapması önemli rol oynar [15].

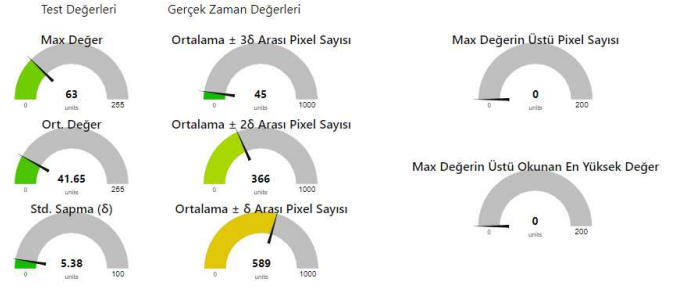
Pratikte çoğu zaman verilerin yaklaşık olarak bir normal dağılım (Gauss dağılımı) gösteren anakütleden geldiği varsayılır. Bu varsayım geçerli kabul edilirse, değerler yaklaşık %68,27 olasılıkla ortalamadan ± 1 standart sapma noktalarının arasında bulunur. Ortalamadan ± 2 standart sapma noktaları arasında %95,45 olasılıkla ve ortalamadan ± 3 standart sapma noktaları arasında %99,73 olasılıkla bulunur. Normal dağılım gösteren veriler için güvenlik aralıkları Tablo 4'te verilmiştir [15].

$\pm \sigma$	0,6827
$\pm 2\sigma$	0,9545
$\pm 3\sigma$	0,9973
$\pm 4\sigma$	0,9999

Tablo 4. Normal dağılım gösteren veriler için güvenlik aralıkları.

Tablo 4'e göre ortalamadan uzaklaştıkça, verinin seriye ait olma olasılığı düşmektedir.

Başlangıçtaki test sürecinde elde edilen istatistiksel değerler kullanılarak, normal çalışma süresince her satırdaki piksel değerleri, Tablo 4'teki güvenlik aralıkları baz alınarak gruplandırılmıştır. Çözüm için uygun bir algoritma geliştirmek amacıyla gruplandırılan bu veriler bilgisayar ekranında görselleştirilmiştir. Bunun için STM32F411 mikrodenetleyicisini üreten ST firmasının geliştirdiği STM32CubeMonitor uygulaması kullanılmıştır [16]. Bu uygulama, programlama aracı olan ST-link üzerinden mikrodenetleyici hafızasındaki verileri gerçek zamanlı olarak okuyabilmekte ve zengin grafiksel araçlarla görselleştirme imkânı sunmaktadır. Bu araç yardımıyla dinamik ve hızlı olarak değişen veriler takip edilerek arka planda hangi değerlerin nasıl değiştiği anlaşılabilir. Mikrodenetleyicinin elde ettiği ve hafızasında bulunan tüm istatistiksel değerler, Şekil 9'da hatasız kumaş için, Şekil 10'da ise hatalı kumaş için STM32CubeMonitor arayüzünde elde edilerek gösterilmiştir.

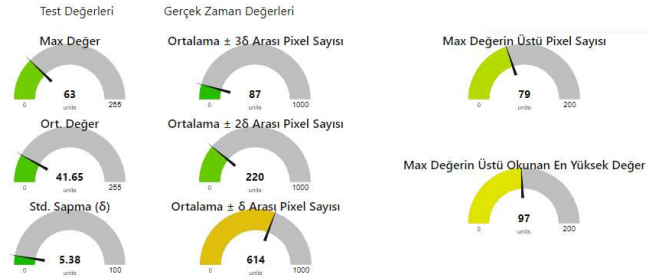


Şekil 9. Hatasız kumaşa ait istatistiksel verilerin, STM32CubeMonitor arayüzünde görselleştirilmesi.

Şekil 9'daki veriler, Şekil 6'da piksel grafiği gösterilen hatasız kumaş çizgi görüntüsüne aittir.

Şekil 10'daki veriler, Şekil 8'de piksel grafiği gösterilen hatalı kumaş çizgi görüntüsüne aittir.

Bu çalışmanın konusu olan hatalı kumaş tespiti kararının da verilmesinin dayanak noktası olan istatistiksel veriler, Şekil 10'a bakarak şöyle yorumlanabilir:



Şekil 10. Hatalı kumaşa ait istatistiksel verilerin, STM32CubeMonitor arayüzünde görselleştirilmesi.

- Bu kumaş analiz edilirken hatasız bölgede gerçekleştirilen 1000 çizgilik test okuması sonucu (1000 çizgi x 1000 piksel = 1.000.000 piksel) elde edilen istatistik değerler şunlardır:
 - Okunan tüm piksellerin maksimum değeri 63,
 - Ortalama değeri 41.65,
 - Dağılımın standart sapması da 5.38'dir.
- Test işleminden sonra normal çalışma devam ederken rastlanan hatalı kumaş bölgesindeki 1 çizginin piksel dağılımı;
 - Ortalamadan $\pm 1\delta$ (standart sapma) noktalarının arasında 614 piksel, (toplamın %61,4'ü)
 - Ortalamadan $\pm [1\delta$ ile $2\delta]$ noktalarının arasında 220 piksel, (toplamın %22'si)
 - Ortalamadan $\pm [2\delta$ ile $3\delta]$ noktalarının arasında 87 piksel, (toplamın %8,7'si)
 - Hatalı bölgede ise 79 piksel (toplamın %7,9'u) bulunmaktadır. Bu bölgedeki en yüksek piksel değeri 97 olarak okunmuştur.

Verileri görselleştirmenin sağladığı kolaylıktan yararlanarak bu veriler, Şekil 9'daki hatasız kumaş ile karşılaştırıldığında, hatasız kumaş bölgesinde maksimum değeri aşan pikselin bulunmadığı açık bir şekilde görülür. Bu durumda maksimum değer üzerindeki veri tespit edildiğinde, kumaş hatası da tespit edilmiş demektir. Tambura sarılı kumaşın tüm yüzeyi boyunca yapılan tarama çalışmasında bu tespit doğrulanmıştır.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 1500 aktif pikseli düşük maliyetli Toshiba TCD1103GFG CCD lineer çizgi kamera sensörü, yine düşük maliyetli 32 bit mimarili STM32F411 mikrodenetleyicili WeAct Black Pill V2.0 geliştirme kartı kullanılmıştır. Dönen bir tambur üzerinde dairesel hareket halindeki kumaş yüzeyindeki patlak hatası 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. Bu grafikler, hatalı kumaş bölgesinde piksel değerlerinde aşırı bir değer artışı gösterdiğinden, hata tespiti için piksel sayı dizilerinin istatistiksel değerlerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Sensörden okunan bütün pikseller mikrodenetleyici aracılığıyla dijitalle dönüştürülerek elde edildiği için, istatistiksel değerlerin elde edilmesi işlemi mikrodenetleyiciye yaptırılmıştır. Mikrodenetleyicinin hafızasında birer sayı olan bu değerler, STM32CubeMonitor uygulaması aracılığıyla görselleştirilerek bilgisayar ekranında incelenmiştir. Yapılan değerlendirmede hatalı ve hatasız kumaş yüzeyleri arasındaki yakalanabilir en önemli farkın, hatasız kumaş yüzeyinin piksel sayı değerlerinin maksimum değeri olduğu belirlenmiştir. Kumaşın hatalı bölgelerinde bu değer aşıldığı görülmüş, bu yolla kumaş hatası başarılı bir şekilde tespit edilmiştir.

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

KAYNAKÇA

- [1] “Fotoğrafın tarihçesi”. <http://www.serenti.org/fotografın-tarihçesi/> (erişim Haz. 13, 2021).
- [2] “Spektroskopi”, [Çevrimiçi]. Available at: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Spektroskopi>.
- [3] O. E. Haberal, “Düşük maliyetli bir raman spektroskopi sistemi tasarımı, kurulumu ve nanoyapılar ile birlikte tanıda kullanımı”, *Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Biyomühendislik Anabilim Dalı, Ankara*, 2017.
- [4] H. Polat, “Lazer ve çizgisel CCD algılayıcı tabanlı optik çap ölçüm sisteminin geliştirilmesi”, *Politek. Derg.*, c. 17, ss. 91–98, 2014.
- [5] J. Fischer ve T. Radil, “DSP based measuring line-scan CCD camera”, içinde *Proceedings of the 2nd IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2003*, 2003, ss. 345–348, doi: 10.1109/IDAACS.2003.1249579.
- [6] Esben Rossel, “TCD1304.wordpress”, 2021. <https://tcd1304.wordpress.com/> (erişim Haz. 11, 2021).
- [7] M. E. Tağluk, “Dokuma tezgahlarında hatalı kumaş dokusunun tespiti için başarılı bir yöntem”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Derg.*, sayı 422, ss. 575–586, 2017.
- [8] Basler, “Line Scan Cameras | Basler”, 2021. <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/line-scan-cameras/racer/ral6144-16gm/> (erişim Haz. 11, 2021).
- [9] “Line scan mode”. <https://en.ids-imaging.com/technical-articles-details/tech-article-linescan-mode.html> (erişim Haz. 14, 2021).
- [10] T. Ccd, L. Image, S. Ccd, ve C. C. Device, “TOSHIBA CCD Linear Image Sensor CCD (Charge Coupled Device)”, 2017.
- [11] “Güvenlik kameraları – KameraSystem”. <https://kamerasytem.wordpress.com/guvenlik-kameralari/> (erişim Haz. 13, 2021).
- [12] “Line scan cameras for machine vision”. <https://www.svs-vistek.com/en/knowledgebase/svs-about-machine-vision.php?p=line-scan-cameras-456> (erişim Haz. 14, 2021).
- [13] “STM32F411CEU6 - WeAct Black Pill V2.0 | STM32-base project”. <https://stm32-base.org/boards/STM32F411CEU6-WeAct-Black-Pill-V2.0> (erişim Haz. 13, 2021).
- [14] “SerialPlot 0.12.0 Developed by Hasan Yavuz Özdeyri”. <https://hg.sr.ht/~hyozd/serialplot/> (erişim Haz. 18, 2021).
- [15] “Standart sapma - Vikipedi”. https://tr.wikipedia.org/wiki/Standart_sapma (erişim Haz. 18, 2021).
- [16] “STM32CubeMonitor - Runtime variable monitoring and visualization tool for STM32 products - STMicroelectronics”. <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemonitor.html> (erişim Haz. 18, 2021).