Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 26, Sayı 2, 2021 ARAŞTIRMA

DOI: 10.17482/uumfd.893861

GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ VE ROBOT KOL İLE NESNELERİ KATEGORİLERİNE AYIRMA

Serhat Ömer SARIYILDIZ [*]
Ayşe DEMİRHAN [*]

Alınma: 09.03.2021 ; düzeltme: 01.08.2021 ; kabul: 07.08.2021

Öz: Dördüncü sanayi devrimiyle birlikte makineleşme giderek artmakta ve sistemlerde insan etkileşimi olabildiğince azaltılmaktadır. Gelişen endüstriyel teknolojiler ile minimum zamanda maksimum verimli ürünler üretilmektedir. Günümüzde robot kolların ve gömülü sistemlerin kullanılması teknolojinin bu seviyelere gelmesinde büyük rol oynamıştır. Bu çalışmada konveyör bant üzerinden gelen nesneler bir kamera tarafından algılanmaktadır. Algılanan nesneler, geliştirilen gömülü sistem yazılımı, robot kol ve görüntü işleyen bilgisayar yazılımı yardımıyla renklerine göre belirli koordinatlarda bulunan kutulara bırakılarak sınıflandırılmıştır. Geliştirilen sistem farklı renklerdeki nesnelerin renk kodlarına göre ilgili kutulara yerleştirilmesi görevini %100 başarı ile tamamlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Gömülü sistemler, Robot kol, Görüntü işleme

Categorizing Objects with Image Processing Techniques and Robot Arm

Abstract: With the fourth industrial revolution, mechanization gradually increases and the human interaction in systems is reduced as much as possible. With the developing industrial technologies, maximum efficient products are produced in minimum time. At the present time, the use of robot arms and embedded systems has played a major role for technology to reach these levels. In this study, objects approaching through the conveyor belt are detected by a camera. Detected objects are classified by dropping them into boxes at specific coordinates using the developed embedded system software, robot arm and image processing software. The developed system has completed the task of placing objects of different colors in the relevant boxes according to their color codes with 100% success.

Keywords: Embedded systems, Robot arm, Image processing

1. GİRİŞ

Endüstriyel otomasyon sistemlerinde görüntü işleme yöntemleri kullanılarak ürün görünümüne bağlı çeşitli kontrollerin ve görevlerin otomatik olarak gömülü sistem aracılığı ile yapılması seri üretim, iş güvenliği, ürünlerin verimi gibi gereksinimlerden dolayı önem taşımaktadır. Günümüzde otomatik üretim sürecinde endüstriyel kameralar ve görüntü işleme tekniklerini kullanan sistemler üretim performansını arttıran ve maliyeti azaltan bileşenler olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin otomotiv sektöründe kameraların ve mikrodenetleyicilerin bir arada kullanılması ile tekerlek görüntülerinde jant algılama, krank millerinin boyutsal doğrulaması, bir arabanın tekerlek hizalama açılarının ölçümü ve mobil robotik için stereo görsel odometri gibi uygulamalar yapılmaktadır (Kurka ve Salazar, 2019).

Farklı üretim sektörlerinde ürünlerin görünümüne göre üretim hatalarının belirlenmesi, kalite kontrolünün yapılması ve ürünlerin paketlenmesi gibi görüntü işleme yöntemlerini kullanan

[*] Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500 Beşevler/Ankara
İletişim Yazarı: Ayşe Demirhan (ayseoguz@gazi.edu.tr)

endüstriyel otomasyon uygulamaları kullanılabilmektedir. Üretimin tüm süreci boyunca, ürünlerin izlenmesi sayesinde kalite güvencesi ve yüksek verimliliğin sağlanması endüstride görüntü işleme ile başarılabilmiştir (Demant ve diğ., 2013; Kubat, 2019).

Endüstriyel alanda ürünlerin hızlı ve doğru bir şekilde kategorize edilmesi önemli bir sorundur. Üretim bandı üzerinde ilerleyen ürünler içerisinden hatalı olanların tespit edilmesi, farklı özellikteki ürünlerin ayrıştırılarak ayrı ayrı paketlenmesi ve istenilen kaliteye sahip olmayan ürünlerin üretim hattı dışına taşınması gibi işlemler kamera, robot kol ve bantlar üzerinden sağlanabilmektedir. Günümüzde kameralı görüntü işleme sistemlerinin maliyetleri giderek düştüğü için bu sistemler oldukça yaygınlaşmıştır. Endüstriyel kameralar çok geniş spektrumlara sahip olduklarından renk analizlerini verimli bir şekilde yapabilmektedirler. Dolayısıyla bu kameralar ürün hakkında istenilen herhangi görüntü işleme görevini gerçekleştirebilecek özelliklere sahiptirler.

Şenel ve Çetişli (2015) yaptıkları çalışmada bir web kamera ve konveyör bant kullanarak bant üzerinden geçen hatalı ürünleri tespit etmiş ve robot kol kullanarak hatalı ürünü üretim bandı dışına taşımıştır. Mini6410 geliştirme kartı kullanan çalışmada doğru üretilen ürünün kırmızı ve silindirik yapıda olduğu, hatalı ürünün ise kırmızı dışında bir renge ve dikdörtgen biçimine sahip olduğu belirtilmiştir. Renk tespiti için nesne renginin HSV renk uzayında belirli H, S ve V değer aralığında olup olmadığı, şekil tespiti için ise nesneye ait piksel değerleri toplamı incelenmiş ve daha fazla alan kaplayan nesnelerin dikdörtgen biçimli olduğu değerlendirilmiştir. Üretim hatası bulunan 15 adet ve hatasız 45 adet ürün %100 doğrulukla ayrıştırılmıştır (Şenel ve Çetişli, 2015). Kahya ve Arın (2014) tarafından yapılan çalışmada robotik hasat işlemi için bir uygulama geliştirilmiştir. Bu sistem ile kameradan alınan kivi meyvesine ait görüntülerde k-ortalamalar yöntemi kullanılarak meyvelerin bulunduğu alan tespit edilmiştir. Bu bölgelerdeki kenarlar bulunmuş ve ardından gerçekleştirilen morfolojik işlemler ile yuvarlak hatlardan oluşan meyvenin orta noktasının koordinatlarını tespit edilmiştir (Kahya ve Arın, 2014). Robotik sistemin hareketi görüntü işleme vasıtasıyla gelen x ve y koordinat değerlerine göre sağlanmıştır. Robotik kolun ucuna monte edilen pnömatik makas sistemi ile meyve dal üzerinden yakalanıp kopartılmıştır. Robotik kolun dal üzerinde bulunan meyveye belli bir yaklaşma mesafesinde durması için ultrasonik sensör kullanılmıştır (Kahya, 2014). Bayram ve Yılmaz (2019) tarafından yapılan uygulamada metal sektöründe üretim hattında gömülü sistem kullanarak hatalı ürünleri tespit eden bir sistem geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan ürün sac levhalardır ve görüntü işleme tekniği olarak Hough dönüşümü kullanılmıştır. Bu çalışmanın hatalı ürünleri %96,29 doğruluk oranı ile tespit ettiği belirtilmiştir (Bayram ve Yılmaz, 2019). Cărămidă (2016) parçaların renklerine göre otomatik olarak tasnif edilmesi amacıyla bir robotik sistem geliştirmiştir. Sistemi kontrol etmek için Arduino Mega 2560 v3 mikrodenetleyici ve parçanın rengini algılamak için renk sensörü kullanılmıştır. Parçaları tespit etmek için kızılötesi algılayıcı sensörler kullanan sistemde parçaların manevrası, taşınması ve sınıflandırılması için altı serbestlik derecesine sahip bir robotik kol kullanılmıştır. Taşıma bandı üzerinde hareket ettirilen nesne renk sensörü yardımıyla bulunan parça rengine göre alıp ilgili yere yerleştirmektedir (Cărămidă, 2016). Güntürkün ve diğ. (2020) elektro-pnömatik kontrollü bir renk seçici robot kolu tasarımı yapmıştır. Konveyör Bant üzerinde hareket eden kırmızı ve yeşil renkli topların step motor kontrollü sonsuz mil ile taşındığı ve renklerine göre ayrı kutularda sınıflandırıldığı çalışmada, top renkleri renk sensörleri yardımıyla ayırt edilmiştir (Güntürkün ve diğ., 2020).

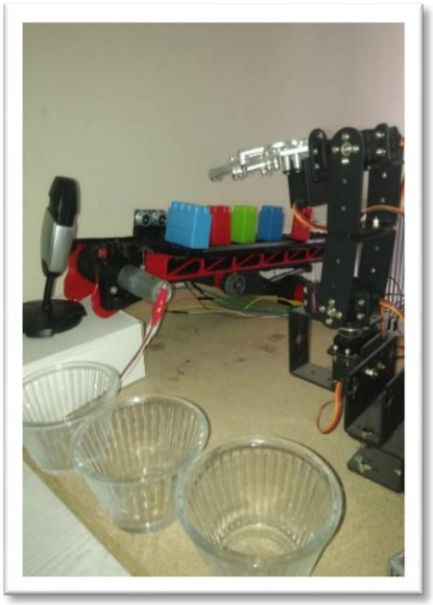
Bu çalışmada konveyör bant üzerinden gelen kırmızı, mavi ve yeşil renkteki nesneler bir kamera tarafından algılanmış ve algılanan nesneler, renk sensörü kullanılmadan, geliştirilen gömülü sistem yazılımı ve robot kol yardımıyla renklerine göre önceden ayarlanan belirli koordinatlara taşınarak sınıflandırılmıştır. Kamera ve görüntü işleme yazılımı kullanan sistemler renk sensörü kullanan sistemlere göre daha hızlıdır. Aynı zamanda bilgisayarla görme yazılımı daha çok yönlüdür. Nesneler kamera ve görüntü işleme yazılımı ile renk bilgisinin yanı sıra şekil vb. özelliklerine göre de sınıflandırılabilir. Metlek ve Çetişli (2012) yaptıkları endüstriyel nesne tanıma uygulamasında kameralı sistemin renk sensörü kullanan sistemden yaklaşık üç kat daha

hızlı çalıştığını göstermiştir (Metlek ve Çetişli, 2012). Çalışmalarında kırmızı, gri ve siyah renkteki silindirik cisimlerin yürüyen bant üzerinden ilgili kısma yönlendirilmesi işlemi için elektro-pnömatik kol ve renk sensörü kullanan bir PLC sistemde sensör yerine kamera ve görüntü işlemi yazılımı kullanarak iki sistemi karşılaştırmışlardır. Cismin rengini tespit etmek için Bayes sınıflandırıcı kullanmış ve her renkten 15 toplamda 45 adet cismi sınıflandırmışlardır. Bu çalışmada da renk sensörü yerine görüntü işlemi yazılımı kullanılmakta yalnız Metlek ve Çetişli (2012)'den farklı olarak renk tespiti için kullanılan algoritmada herhangi bir eğitim işlemi gerekmemekte, sistemin kontrolü gömülü sistem yazılımı ile yapılmakta ve pnömatik kol yerine robot kol kullanılmaktadır. Bu çalışmanın benzer bir çalışma olan Şenel ve Çetişli (2015)'den farkları ise bu çalışmada nesnelerin renklerine göre ayrıştırılması yapılırken Şenel ve Çetişli (2015)'de aynı renkte fakat farklı şekildeki nesneler ayrıştırılmıştır. Bir başka fark bu çalışmadaki sistemin bant üzerindeki nesnenin robot kol tarafından alınabilmesi için herhangi bir yönlendiriciye ve renk algılama işlemi için ek aydınlatma ya da ayna gibi araçlara ihtiyaç duymamasıdır. Ayrıca bu çalışmada nesnenin bant üzerinde konumu uzaklık sensörü ile tespit edilirken Şenel ve Çetişli (2015)'de nesnenin konumu görüntüye giren nesne alanının toplam piksel sayısı incelenerek değerlendirilmiştir.

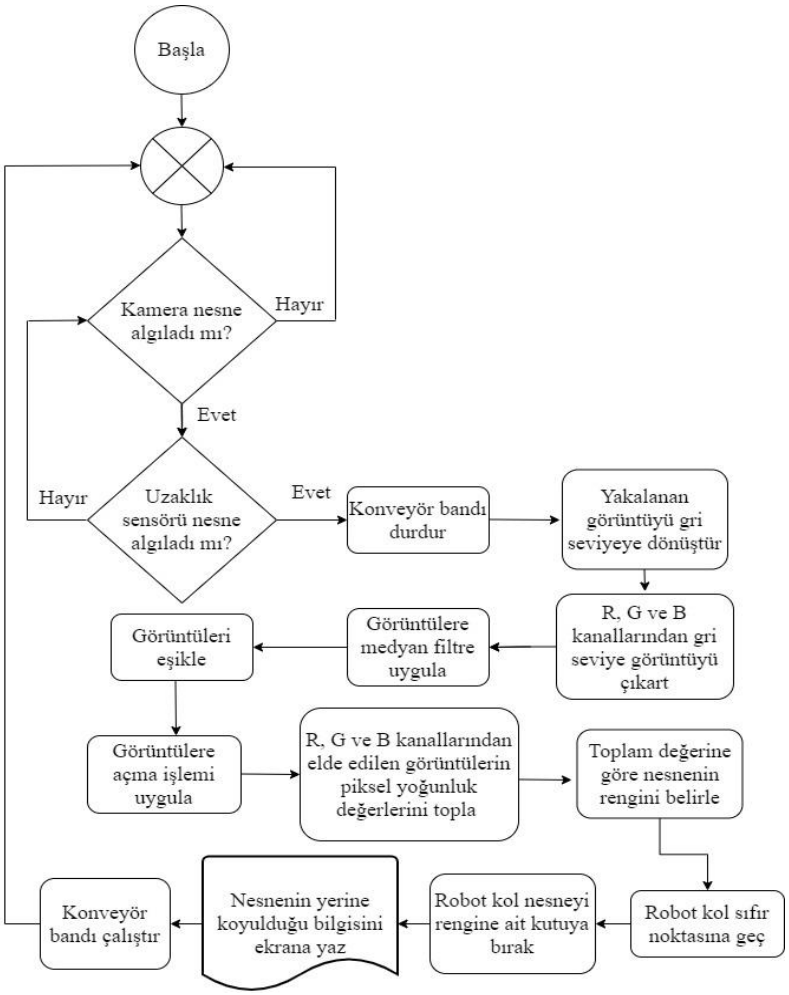
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde nesneleri kategorilerine ayırma işleminde kullanılan donanım, yazılım, robot kol ve görüntü işleme algoritması verilmiştir.

Sistemin genel görünümü Şekil 1'deki gibidir. Şekil 1'de sistemde kullanılan webcam, robot kol, uzaklık sensörü, konveyör bant ve nesneler ile nesnelerin taşınacağı farklı kutular gösterilmektedir. Sistemin çalışmasını gösteren videoya https://youtu.be/dvCegUB5H1Y adresinden erişilebilir. Sistem akış şeması ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1:
Sistemin Genel Görünüşü



Şekil 2:
Sistem akış şeması

2.1. Donanım

Endüstriyel kontrol uygulamalarında kullanılacak işlemci seçilirken maliyet, çalışma hızı gibi özellikler dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilmek istenen işlemi yapmak üzere teknik özellikleri yeterli ve maliyeti düşük olduğu için Ardunio Uno tercih edilmiştir. Açık kaynaklı bir geliştirme platformu olan Arduino, üzerinde Atmel Atmega328p mikrodenetleyici bulundurmaktadır. Çalışma gerilimi 5V, giriş gerilimi 6-20V, giriş çıkış pinlerinin verdiği akım ise 20mA'dir. 14 adet dijital giriş çıkış pini ve 6 adet analog giriş pini vardır. 16MHZ işlem hızına sahip mikrodenetleyicinin program hafızası 32KB, SRAM'i 2KB ve EEPROM'u 1KB kapasitesindedir. USB destekli olarak çalışan Arduino'nun özellikleri diğer mikrodenetleyicilere göre daha düşük seviyede olsa da bu proje için yeterli olmuştur (Dökmetaş, 2016). Arduino Uno modelinin örnek bir görüntüsü ise Şekil 3a'da görülmektedir.

Kamera günümüzde herkesin kolayca ulaşabileceği bir araç haline gelmiştir. Bu çalışmada USB üzerinden bilgisayara bağlanan standart bir web kamera kullanılmıştır. Kameradan yakalanan görüntülerin boyutu 1280x720 pikseldir. Kullanılan web kameranın özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Kamera Çözünürlüğü: 2 MP
- 350K renkli CMOS Sensör
- 30 fps (Saniyedeki Görüntü Sayısı)



a. *b.* *c.*

Şekil 3:
Sistemde kullanılan donanım bileşenleri: a. Arduino Uno mikrodenetleyici b. Robot kol c. Konveyör bant

Günümüzde robot kollar endüstriyel üretim tesislerinin en önemli parçası haline gelmiştir. Robot kollar insan gücü kullanımını ve hata payını en aza indirmekte, üretim verimliliğini ise en üst seviyelere taşımaktadır. Uygulamaların gereksinimlerine göre farklı robot kol çeşitleri mevcuttur. Robot kolların kullanım alanlarına kaynak yapımı, malzeme taşıma, boyama, toplama, paketleme, montaj gibi işlemler örnek verilebilir (Güntürkün ve diğ., 2020; Yalım ve diğ., 2016). Bu çalışmada kullanılan XiaoR Geek Hammer 4 servolu robot kol Şekil 3b'de verilmiştir.

Robot kolun özelliklerini aşağıdaki gibidir:

- Malzeme: Alüminyum veya sert metal
- Yükseklik: 32 cm
- Kıskaç Uzatma: 52mm
- Servo Motor: MG996R Servo
- Voltaj: 4.8-6 V
- Hız: 0,17 sn/60° (4.8v), 0,14 sn/60°(6,6v)
- Tork: 15kg/17kg/20kg/25kg.cm(6v)

Endüstride sıklıkla kullanılan konveyör bantlar malzemenin bir konumdan başka bir konuma taşınmasını sağlamaktadır. Sistemde konveyör banttan gelen nesnelerin renklerine göre robot kol yardımıyla belirli koordinatlara taşınması sağlanmıştır. Bu çalışmada konveyör bandın çalışması bir DC motor yardımıyla gerçekleşmiştir. Çalışmada kullanılan konveyör bant Şekil 3c'de verilmiştir.

2.2. Yazılım

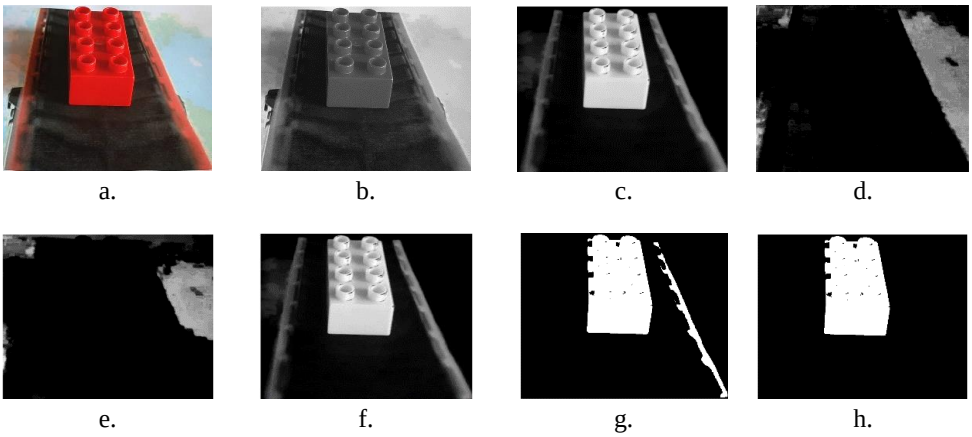
Bu çalışmada ihtiyaç duyulan görüntü işleme algoritması MATLAB ortamında geliştirilmiştir. Robot kolun hareketlerinin kontrolü ise Arduino ile MATLAB haberleştirilerek yapılmıştır. Arduino ve MATLAB haberleşmesi ile harici webcam kullanımı için kullanılan toolbox ve araçlar "MATLAB Support Package for Arduino Hardware", "MATLAB Support Package for USB Webcams" ve "Image Acquisition Toolbox Support Package for OS Generic Video Interface" dir.

2.3. Görüntü İşleme

Sistem başlatıldığında konveyör banttan gelen nesneler USB web kameranın yakaladığı görüntüler kullanılarak incelenmiştir. Nesnenin renklerine göre ayrıştırılması RGB renk modeli kullanılarak gerçekleşmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen görüntü işleme adımları aşağıdaki gibidir;

1. Video akışından görüntü karesini yakala.
2. Yakalanan RGB görüntüyü gri seviyeye dönüştür.
3. RGB görüntünün R, G ve B kanallarından gri seviye görüntüyü çıkartarak 3 adet fark görüntüsü elde et.
4. Görüntüde aydınlatma vb. nedenlerle bulunabilecek gürültüyü gidermek için fark görüntülerine medyan filtre uygula.
5. Filtrelenmiş görüntüleri eşikleme işlemi ile siyah-beyaz görüntüye dönüştür.
6. Nesne etrafında bulunabilecek fazlalıkların ve küçük bölgelerin kaldırılması için görüntüye açma işlemi uygula.
7. R, G ve B kanallarından yukarıdaki işlem adımları ile elde edilen 3 ayrı görüntü için piksel yoğunluk değerlerinin toplamını hesapla.
8. Nesne rengi olarak toplam değeri en büyük olan görüntü kanalına ait rengi belirle.

Bu işlem adımları sonucunda elde edilen ara görüntüler Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4:
Görüntü işleme adımlarından elde edilen ara görüntüler: a. Video akışından yakalanan görüntü karesi b. Gri seviyeli görüntü c.-e. Sırasıyla R, G ve B kanallarından gri seviyeli görüntü çıkarıldığında elde edilen sonuçlar f. c'deki görüntünün medyan filtre sonucu g. Eşikleme işlemi ile elde edilen siyah beyaz görüntü h. Açma işlemi sonucu

Çalışmada kameradan görüntü karesi alındıktan sonra görüntü RGB'den gri seviyeye çevrilmektedir. Çalışmada amaçlanan işlemi gerçekleştirmek için R, G ve B kanallarındaki 2 boyutlu görüntüler ve gri seviye görüntüler kullanılmaktadır. Bu işlem görüntüleri 3 boyuttan 2 boyuta indirgediği için görüntü işleme yazılımının da hızını arttırmaktadır. RGB'den gri seviyeye çevirme işlemi görüntüdeki her piksel için R, G ve B yoğunluk değerlerinin ortalaması alınarak Şekil 4b'deki gibi bulunmuştur.

Görüntü gri seviye olarak ifade edildikten sonra görüntüden arka planı çıkarıp yalnızca ilgilendiğimiz nesneyi bırakma işlemi yapılmıştır. Bu amaçla R, G ve B kanallarından gri seviye görüntü çıkartılmış ve 3 adet fark görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 4c-e). Bant üzerinde kırmızı nesne olması durumunda R kanalından elde edilecek fark görüntüsü arka plan sıfır nesne rengi olan kırmızı alanlar ise sıfırdan farklı değerlere sahip bir görüntü olmaktadır. Bu durumda G ve B kanalından elde edilen fark görüntülerinde de benzer şekilde arka plan sıfır, görüntüde bulunan yeşil ve mavi bölgeler sıfırdan farklı değere sahip olmaktadır.

Daha sonra görüntüde bulunabilecek gürültüleri gidermek amacıyla medyan filtreleme yapılmıştır (Şekil 4f). Bir sıralama filtresi olan medyan filtrede her pikselin değeri filtre komşuluğundaki piksellerin medyan değerinin hesaplanması ve filtre merkez pikselinin değeri olarak atanması şeklinde çalışır. Filtre görüntüdeki bütün pikseller üzerinde gezdirilerek her

piksel için filtreleme sonucu hesaplanır (Gonzales ve Woods, 2018). Bu çalışmada 3x3 büyüklüğünde filtre kullanılmıştır.

Filtreleme sonucunda oluşan görüntüde yoğunluk değerleri 0-255 aralığındadır. Bu aşamada piksel yoğunluk değerleri eşiklenerek görüntü siyah-beyaz hale getirilmiş ve lojik seviyesine indirgenmiştir (Şekil 4g). Görüntü eşikleme işlemi ile amaçlanan görüntü içerisinde bulunan nesneyi arka plandan ayırmaktır. Eşikleme işlemi ile nesne ve arka planı birbirinden ayırmak için öncelikle görüntü histogramı incelenmektedir. Histogram üzerinde göreceli olarak belirlenen bir eşik değeri ile görüntüdeki piksel değerleri karşılaştırılmakta ve herhangi bir piksel değeri eşik değerinden büyük ise o pikselin görüntüdeki nesneye ait olduğu, küçük ya da eşit ise o pikselin arka plana ait olduğu düşünülmektedir (Gonzales ve Woods, 2018). Böylece siyah beyaz bir görüntü elde edilmektedir. Bu çalışmada eşik değeri görüntü histogramı incelenerek üzerinde çalışılan nesneyi ayırt edecek biçimde deneysel olarak tespit edilmiştir.

Eşikleme sonucunda elde edilen siyah beyaz 2 boyutlu görüntüdeki nesnenin daha sağlıklı belirlenebilmesi için nesne etrafında bulunabilecek fazlalıkların ve küçük bölgelerin kaldırılması gerekmektedir. Bu aşamada çalışmada kullanılan nesnelerin boyutundan daha küçük alana sahip bölgeler Şekil 4h'de görüldüğü gibi görüntüden açma işlemi kullanılarak kaldırılmıştır (Gonzales ve Woods, 2018).

En son aşamada bulunan nesnenin kırmızı, yeşil veya mavi renklerinden hangisine sahip olduğu R, G ve B kanallarından yukarıdaki işlem adımları sonunda elde edilen 3 görüntü incelenerek belirlenir. Bant üzerindeki nesne kırmızı renkte ise G ve B kanallarından son aşamada elde edilen görüntü sıfır değerlerinden oluşmakta, yalnızca R kanalından elde edilen görüntüde nesne bölgesi 1 arka plan 0 olmaktadır. Bu nedenle 3 kanaldan da elde edilen sonuç görüntülerdeki piksel yoğunluk değerlerinin toplamı buldurulmuş ve nesnenin rengi toplamı sıfırdan farklı olan kanalın rengine göre kırmızı, yeşil ya da mavi olarak belirlenmiştir. Sonraki aşamada nesneyi kavrayan robot kolun, renklere göre önceden belirlenmiş koordinatlara konumlanarak nesneleri kategorilere ayırması sağlanmıştır.

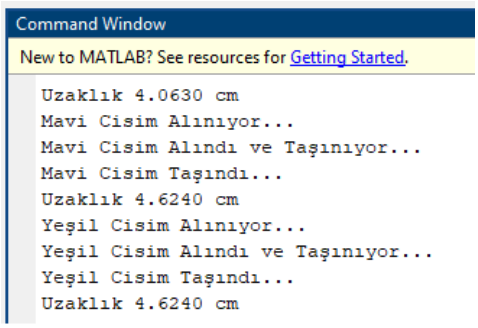
2.4. Robot Kol

Çalışmada kullanılan robot kolun üzerinde 4 adet servo motor bulunmaktadır. Bu servo motorlardan 3 tanesi eklem noktalarında, diğeri ise kıskaç kısmında bulunmaktadır. Servo motorların sahip olduğu maksimum tarama açısı 180 derecedir. Servo motorlar, içerisinde DC motor, dişli mekanizması, potansiyometre ve motor sürücü devresi bulunduran sistemlerdir. DC motorun hareketi ile birlikte potansiyometre de hareket eder. Kontrol devresi motorun bulunduğu pozisyon ile kullanıcı tarafından istenilen pozisyonu karşılaştırarak hareketini devam ettirir. Servo motorlar, PWM (sinyal genişlik modülasyonu) ile çalışırlar. PWM sinyaller mikrodenetleyiciler tarafından üretilebilmektedirler. Bu çalışmada PWM ihtiyacı Arduino tarafından karşılanmıştır. Çalışmada renklerin bulunduğu kutuların pozisyonları önceden belirlenmiş olup robot kola verilen hareket derecesi bilgisi kullanılarak nesneleri istenilen koordinata taşıma işlemi gerçekleşmiştir (Yalım ve diğ., 2016; Erdoğan ve diğ., 2017; Bakır ve diğ., 2012).

Sistem çalışmaya başladığında konveyör bant da eş zamanlı olarak çalışmaya başlamaktadır. Başlangıç anında robot kolun konumu herhangi bir koordinatta olabilmektedir. Konveyör bandın üzerine konulan nesne, bandın son kısmına yerleştirilen kamera tarafından görüntülenmektedir. Bant üzerindeki nesnenin rengi kamera tarafından yakalanan görüntü kullanılarak tespit edilmektedir. Nesne bant üzerinde istenilen konuma ulaşana kadar konveyör bant çalışmaktadır. Nesne uzaklık sensörü tarafından algılanana kadar bant üzerinde ilerlemekte ve sensör nesneyi algıladığında bant durdurulmaktadır. Sistemde bir nesne algıladığında robot kol ilk olarak referans noktasına gitmektedir. Çünkü referans noktasına konumlanan robot kol sistemin daha sağlıklı çalışmasını sağlamaktır. Robot kol bilgisayar uygulamasıyla senkron olarak çalışmaktadır. Robot kol nesneyi taşımaya başlamadan önce uzaklık sensörünün onay vermesini ve görüntü işleme yazılımından gelecek nesne rengi bilgisini beklemektedir.

Bu çalışmayı gerçekleştirebilmek için mikrodenetleyiciye uygun pinler üzerinden bir servo motor bağlanmıştır. Servo motorlar sistemlerdeki pozisyon, hız ve ivme kontrolünü yüksek verim ile çalıştıran tahrik sistemleridir ve robot kolun belirlenen açısal pozisyona gelmesi ve anlık pozisyonunun bozulmaması için bir direnç göstermektedir. Servo motor, ikisi motoru çalıştırmak diğeri motorun konum bilgisini vermek üzere 3 adet kablo yardımıyla mikrodenetleyiciye bağlanmıştır. Servo motorun içyapısında bulunan kontrol devresi motorun anlık açı değerini belirler ve motorun belirlenen açıya sahip olmadığı tespit edilirse doğru açıya ulaşana kadar motoru hareket ettirir. Bu çalışmada MG996R servo motor modeli kullanılmıştır. Uzaklık sensörü ise mikrodenetleyiciye tetik pimi üzerinden bağlıdır ve sensör bağlantısı MATLAB kodu ile Arduino donanımındaki dijital pin numarası üzerinden sağlanmıştır. Mikrodenetleyicinin servo motor bağlantısı kullanılarak robot kol verilen koordinat değerleri ile başlangıç pozisyonuna geçirilmektedir. Ardından harici kameradan video verileri okunmaya başlanmaktadır. Video çekimi durma sinyali gönderilene kadar devam etmektedir. Belirli aralıklarla kameradan görüntü karesi yakalanmaktadır. Daha sonra uzaklık sensöründen nesneye olan mesafe alınmaktadır. Uzaklık sensörü bant üzerinde ilerlemekte olan nesneyi algılayarak konveyör bandı durdurduktan sonra görüntü işleme uygulaması çalışmaktadır. Nesne istenen konuma geldiğinde robot kolun nesneyi kavrama hareketini yapması için servo motora ilgili hareket koordinatları verilmektedir. Nesneyi kavrama aşaması tüm nesneler için aynıdır. Robot kol nesneyi kavradıktan sonra her renk için önceden belirlenmiş konuma yine servo motor üzerinden gönderilen koordinat bilgilerini kullanarak pozisyonlanmakta ve nesneyi bırakmaktadır. Nesne bırakıldıktan sonra robot kol başlangıç konumuna döndürülmekte ve yakalanan görüntü karesi hafızadan silinmektedir. Nesnenin yürüyen bant üzerinden belirli aralıklarla geldiği varsayılarak yaklaşık 12 saniyede 1 defa kameradan görüntü yakalanmakta ve her görüntü karesi için işlemler tekrarlanmaktadır.

Sistemin çalışması sırasında gerçekleştirilen işlemler kullanıcıya anlık olarak bilgi mesajı biçiminde gösterilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5:
Nesnelerin Taşınma Aşamasının Bilgi Mesajı Olarak Aktarılması

3. SONUÇ

Bu çalışmada bir mikrodenetleyiciye bağlı olarak konveyör bant üzerinde ilerleyen nesne kamera ile algılanmış ve görüntü işleme teknikleri ile rengi tespit edilerek robot kol yardımıyla kategorilendirme işlemi yapılmıştır. Çalışmada 5 mavi, 5 kırmızı ve 5 yeşil olmak üzere 15 nesne üzerine çalışılmıştır. Bu 15 nesne konveyör bant üzerinde devri daim biçiminde 10 kez geçirilerek sistem test edilmiştir. Konveyör banttan gelen bu nesnelerin robot kol yardımıyla farklı koordinatlarda bulunan kutulara yerleştirilmesi gerçekleşmiştir. Yapılan deneylerde 150 adet nesnenin tamamı başarılı bir şekilde kategorilerine ayrılmıştır. Sistemin başarı oranı her renk için ayrı ayrı nesnelerin renk kodlarına göre ilgili kutulara yerleştirilmesi görevinde %100 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada belirlenen senaryoda nesnelerin mavi, yeşil ve kırmızı renklerde olduğu, nesnelerin robot kolun kavrayabileceği büyüklükte olduğu ve nesnelerin yürüyen bant üzerinden belirli aralıklarla geldiği (yaklaşık 12 saniyede 1) varsayılmıştır. Çalışmanın kısıtlılığı robot kolun çalışma hızının düşük olmasıdır. Nesnelerin yürüyen bant üzerinden daha hızlı gelmesi ve birbirine yakın konumlanması çalışmanın aksamasına neden olabilir. Nesnelerin konveyör bant üzerindeki yatay veya dikey yönelimleri robot kolun nesneleri yakalamasını etkilememektedir. Fakat nesne boyutları robot kolun kavrayabileceği büyüklükte olmalıdır. Çalışılan şartlarda sistem, dakikada ortalama beş adet ürünü renklerine göre ayrıştırarak ilgili konuma taşıma yeteneğine sahiptir.

Çalışmadaki sistemi geliştirmek için sistemin daha hızlı hale getirilmesinin yanı sıra daha fazla rengi tanıyabilme özelliği eklenmesi düşünülmektedir. Ayrıca sadece renklere göre değil nesnelerin boyutuna ve şekline göre ayırma işlemi yapılması da planlanmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Serhat Ömer Sarıyıldız, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması ile son onay ve tam sorumluluk, Ayşe Demirhan, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin yönetimi, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikirsel içeriğin eleştirel incelemesi ile son onay ve tam sorumluluk kısımlarına katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Bakır, A., Güney, Ö.F., Kuncan, M. ve Ertunç, H.M. (2012) 3 Eksenli Robot Mekanizmasına Monte Edilmiş Bir Kamera Vasıtasıyla Farklı Rotasyon ve Boyutlardaki Geometrik Cisimlerin Tanımlanarak Vakum Tutucu ile Ayrılması, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK-2012*, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi, Niğde, 606-609.

2. Bayram, R.B. ve Yılmaz, E. (2019) Gömülü Sistem Tabanlı Bir Hatalı Ürün Tespit Sistemi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(1), 391-400. doi:10.17482/uumfd.525696

3. Cărămidă, M.Ș. (2016) Automatic Sorting System, *Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science*, 2(5), 5-10.

4. Demant, C., Streicher-Abel, B., Garnica, C. (2013) *Industrial Image Processing, Visual Quality Control in Manufacturing*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin.

5. Dökmetaş, G. (2016) *Arduino Eğitim Kitabı*, Dikeyeksen Yayın Dağıtım, İstanbul.

6. Erdoğan, E., Şimşek, K. ve Kapusuz, B. (2017) Robotlarda Görüntü İşleme Teknikleri ve Uygulamalarının İncelenmesi, *Lisans Tezi*, Mekatronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük.

7. Gonzalez, R.C. ve Woods, R.E. (2018) *Digital Image Processing*, Pearson, London.

8. Güntürkün, R., Hız, O., Şahin, H. (2020) Design and Application of PLC Controlled Robotic Arm Choosing Objects According to Their Color, *Electronic Letters on Science and Engineering*, 16(2), 52-62.

9. Kahya, E., Arın, S. (2014) Görüntü İşleme Yardımıyla Meyvelerin Dal Üzerindeki Yerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, *Namık Kemal Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2), 110-118.

10. Kahya, E. (2014) Kivi Hasatı İçin Robotik Tutucu Tasarımı, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 6(2), 18-35.

11. Kubat, C. (2019) *Matlab: Yapay Zekâ ve Mühendislik Uygulamaları*, Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri, İstanbul.

12. Kurka, P.R.G., Salazar, A.A.D. (2019) Applications of Image Processing in Robotics And Instrumentation, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 124, 142-169, doi:10.1016/j.ymssp.2019.01.015.

13. Metlek, S. ve Çetişli, B. (2012) Gerçek Zamanlı Endüstriyel Nesne Tanımada Kameraların Kullanılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(2), 212-217. doi:10.19113/sdufbed.31291

14. Şenel, F.A. ve Çetişli, B. (2015) Görüntü İşleme ve Beş Eksenli Robot Kol ile Üretim Bandında Nesne Denetimi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(5), 158-161. doi:10.5505/pajes.2014.96658

15. Yalım, B., Sinekoğlu, Y.E. ve Kurt, A.T. (2016) Görüntü İşleme Tabanlı 4+1 Eksenrobot Kol Tasarımı, *Lisans Tezi*, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Üniversitesi.