

# ROBOTİK KİVİ MEYVESİ HASADI İÇİN ÖRNEK BİR GÖRÜNTÜ İŞLEME UYGULAMASI

**Erhan KAHYA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu , Kontrol Sistemleri Bölümü, Tekirdağ

[ekahya@nku.edu.tr](mailto:ekahya@nku.edu.tr)

**Özet:** Robotik Sistemler çağımızda büyük gelişim göstermektedir. Tüm bilim alanları ve sektörler içinde yer bulmuş olan robotik sistemler tarım sektörü içinde de kendisine yer bulmuş durumdadır. Özellikle hassas tarım içerisinde görüntü işleme yöntemiyle birlikte kullanılan robotik sistemler halen gelişimine devam etmektedir. Çalışmaların birçoğu deneysel olarak yapılmıştır. Prototip çalışmaları ile karşılaşılan sorunlar bulunmaya ve çözülmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda ana temel görüntü işlemedir. Bundan dolayı görüntü işleme için birçok yöntem ve program kullanılmaktadır. MATLAB 'in Image Processing Toolbox programı , Simulink ile Modelleme Programı , kullanılan kameraların Smart Programları bunlara örnek olarak verilebilir. Bu yöntemler arasında uygulama ve sonuç farklılıkları bulunmaktadır. Yaptığımız çalışmada MATLAB için Image Processing Toolbox'ın robotik hasat için örnek bir uygulaması yapılmıştır. Kurulan sistem ile kameradan alınan görüntü , işleme tabii tutulmuştur. İşlem sonucunda görüntü işleme sırasında ortaya çıkan sorun ve çözümü açıklanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Görüntü İşleme, Yazılım, Koordinat, Işık

## ROBOTIC SAMPLE IMAGE PROCESSING APPLICATIONS FOR KIWI FRUIT HARVEST

**Abstract:** Robotic Systems are developing extensively in our age. Robotic systems are utilized in agriculture industry just as all other scientific fields and industries. Robotic systems are employed in company with image processing method particularly in accurate agriculture and continuing to develop further. Most of the studies are experimental. Possible problems are tried to be detected and solved by prototype studies. The fundamental concept of this study is image processing. Therefore, numerous methods and software are used for image processing. MATLAB's Image Processing Toolbox program, modeling program with Simulink, and the Smart programs of utilized cameras can be hold up as examples. There are variations within these methods in terms of application and outcomes. A model implementation with MATLAB's Image Processing Toolbox is carried out in our study for robotic harvest. The image retrieved from the camera by the system is processed. The problem observed during the task and the respective solution are described.

Key words: Image Processing, Software, Coordinate, Light

### 1. Giriş

Görüntü işleme günümüzde robotik sistemlerin temelini oluşturmaktadır. Görüntü işleme ile alınan görüntüler değişik programlar sayesinde işleme tabii tutulmaktadır. İşlem sonucunda kullanıcının belirlemiş olduğu kriterlere göre sonuçlar alınmakta ve robotik sistemlerin çalışması sağlanmaktadır. Robotik sistemlerin tasarımında en önemli faktör ve maliyet getiren özelliği gerçek zamanlı görme işlemidir. Gerçek zamanlı görmede esas olan çalışma sırasındaki esneklik ve güvenirliliktir. Robotik

sistemlerin bu yapı sayesinde insandan daha hızlı işlem yapması ve daha uzun süre süreklilik içinde çalışması beklenmektedir.

Robotik sistemler kullanıcı eksenli olduğunda birçok çalışma alanında kullanılmaktadır. Sonuçların kesin olması nedeniyle özellikle tıp, uzay gibi hassasiyet isteyen alanlarda tercih edilmektedir. Özellikle 1980'li yıllardan sonra entegre devrelerin gelişmesi ve ucuzlamasıyla tüm sektörlerde kendine yer bulmuştur.

Robotik sistemlerin gelişmesi mikrochip teknolojisinin gelişmesiyle paralel olarak devam etmektedir. Teknoloji ilerledikçe sistem için gerekli konfigürasyonlar da küçülmeye başlamıştır. Robotik yapıların daha hafif ve fonksiyonel yapılar haline gelmesi bu sayede mümkün olmuştur.

Günümüzde robotik sistemlerin bu özelliğinden dolayı tarımsal alanda da büyük oranda kullanılmaya başlanmıştır. Tarım alanındaki uygulamaları özellikle hassas tarım üzerine yoğunlaşmıştır. Ürün tahmini, hasat gibi alanlarda kullanılmaya başlayan robotik sistemler ve görüntü işleme daha çok prototip aşamasında yapılmaktadır. Maliyetin yüksek olması nedeniyle çalışmaların seri üretimi yapılmamaktadır.

Robotik sistemlerdeki görüntü işleme , video kamera ve tarayıcılar gibi görüntü yakalayıcılarla alınan cisim görüntülerinin sayısallaştırılmasıdır. Sayısallaştırılan görüntülerin uygun programlar sayesinde işlenmesi ve analiz edilmesi ile robotik sisteme uygun komutlar verilmektedir. Günümüzde en yaygın kullanılan analiz programı MATLAB, C programları ve yapay zeka uygulamalarıdır. Bu programlar sayesinde sayısallaştırılan cisimler üzerinde renk , şekil analizi kolaylıkla gerçek zamanlı olarak yapılabilmektedir.

Robotik hasat üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Robotik hasata ilk örnek Kondo (1988) yılında yapmış olduğu robotik görme yönetimiyle meyvenin yerinin tespiti üzerine bir araştırma gösterilebilir. Bu çalışmada robota görsel algılayıcıyı bağlaması için iki sistem olduğu belirtilmiştir. Birincisi görsel sensör eklenmiş manipülatör diğeri bağımsız yapı üzerinde manipülatördür. Stereo bir kamera yoluyla meyvenin üç boyutlu konumunu bulmanın bir metodu yapıya bağlanan görsel algılayıcısını kullanmak olduğu tespit edilmiştir. Bu metot, domates gibi göreceli olarak alçak bitkilerin bulunmasında kullanılacağı belirtilmiştir. Ekşi meyveler gibi uzun ağaçların meyvelerini tanımak , doğru olarak yerlerini ölçme işleminin zor olduğu görülmüştür. Bunun sebebini algılayıcının meyvelere daha uzak mesafede olması ve meyveyi tanınması için daha az resim göndermesinin sebep olduğu tespit edilmiştir. Günümüzde halen bu tür çalışmalar devam etmektedir. Birçok yeni sistem tasarımı ortaya çıkmış durumdadır.

Monta ve ark.(1995), üzüm üretim sistemleri için tarımsal robot üzerine bir araştırma yapmışlardır. Görsel bir algılayıcı ve robotik el vasıtasıyla yürüyen bir aksan üzerinden hasadı yapmışlardır. Salkımları kavrayan bir robotik el ile meyvelere hasar vermeden salkımları sürgünden kopartarak hasadı gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında 5 DOF kutupsal koordinat manipülatörü, görsel sensörler ve uç

effektörleri kullanmışlardır. Görsel sensörler, renkli kamera ve kızılötesi ışınlar kullanılarak meyvenin yeri, mesafesini bulunmuştur. Sistemin kol uzunluğu 1.6 m. ve hareket derinliği 1 m. 'dir.

Murakami ve ark.(1999), robotik lahana hasadı yapılması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırma hidrolik bir sürüş robot kolundan oluşmaktadır. Bir CCD kamerası ve paralel bir işlemci kontrol sistemini oluşturmaktadır. Çalışma başarısı %43 olarak bulunmuştur. Toplam lahanayı hasat süresi 55 saniye olarak tespit edilmiştir.

Bulanon ve ark.(2001), elma hasadında robot uygulamasında elmaların yerlerinin görüntü işleme sistemi ile tahmin üzerine bir araştırma yapmışlardır. CCD kamera yardımıyla doğal ışık altında elmanın görüntülerin toplamışlardır. Fuji elmanın renk modellemesi yardımıyla ağaç üzerinde yaprakların ve dalların yerlerini belirlemişlerdir. Bir LCD model yardımıyla (aydınlık ve renk farklılıkları(kırmızı)) ve HSI modeliyle (renk,koyuluk ve yoğunluk) analizleri yapılmıştır. Renk özellikleri, aydınlık, renk farklılıkları ve kromatiklik yaklaşımları ile belirlenmiştir. Bu yaklaşımla meyvenin, yaprakların, dalların sınıflandırılması yapılmıştır.

Kataoka ve ark.(2001), robotik elma hasadı için elmaların yerinin tespitinde, otomatik algılama sistemi için bir araştırma yapmışlardır. Çiftçiler hasat zamanının geldiğini elmanın rengine bakarak karar vermektedirler. Meyvenin renginin hasat zamanına karar vermek için en önemli kriter olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada hasat sezonundaki elma renkleri ve önceki elma renkleri Munsell renk sistemi temel alınarak,  $L * a * b$  renk uzayı ve XYZ renk sistemine göre ayrılmıştır. Bu renk sistemine göre hasatın zamanı elma rengine göre bulunmuştur.

Hannan ve ark.(2004), otomatik portakal hasadında gelişmeler üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada robotik hasadın gelişiminde CCD kamera sistemlerinin, sensörlerin, görüntü işleme yöntemlerinin gelişmesinin ve robot kol teknolojisindeki yeniliklerin önemini vurgulamışlardır. Portakal hasadı için robotik ve mekanik hasat karşılaştırması yapmışlardır. Robotik hasat daha az emek için fazla üretkenlik kazancı, iş hacmi başına daha yüksek mal, hasat için kullanılan sistemin esnek olmasını vurgulamışlardır. Mekanik hasat için sistemin esnek olmaması, işlem hacmi olarak düşük üretim, yüksek emek karşında az üretkenlik olduğunu belirtmişlerdir

Feng ve ark.(2008), robotik çilek hasadı için meyvenin yerinin belirlenmesi ve sapların aranması için araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında iki kamera kullanmışlardır. Bu kameralardan ilkinin 8-10 arasındaki çilekler için görüntü yakalama, diğer kamerayı XYZ koordinatlarının belirlenmesi için kullanmışlardır. OHTA renk uzayının temel olarak görüntü işlemeyi gerçekleştirmişlerdir. Bu şekilde meyvenin robotik el ile alınmasını sağlamışlardır. Deneysel sonuçları meyvenin yerinin belirlenmesindeki hata oranını %7 ve meyvenin zarar görmeden robotik olarak alınması doğruluğunu % 5 olarak tespit etmişlerdir.

Hayashi ve ark.(2010), robot çilek hasadı için alan test değerlendirmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında silindir bir manipülatör, end-efektör, yapay görme ünitesi, taşıyıcı sistem ve depolama biriminden oluşan bir robot kullanmışlardır. Daha önceki çalışmalarında karşılaştıkları düşük iş verimi, düşük başarı oranı, kararsız aydınlatma gibi sorunları aşmak için hasadı gece yapmak üzere bir

aydınlatma ünitesi geliştirmişlerdir. Meyvenin tanımlanması için meyve olgunluk derecesinin tanımı yapılmıştır. Yapay görme ünitesi ile meyve sapı tespitinde başarı oranını %60 olarak tespit etmişlerdir. Sistemin başarı oranı %34.9 'dur.

Bu sistemlere en güzel örnek Flemmer ve ark. (2007) , yılında yapmış oldukları uzaktan kumandalı kivi hasadı yapan tasarımlarıdır. Bu tasarım ile saate 14.000 adet kivi toplayabilmişlerdir. Hasat kollarında takılı infraruj kamera sistemi ile görüntüyü alıp işledikten sonra meyveyi diagnostik olarak tanımlamışlardır. 360° Hareket kabiliyetine sahip kollar vasıtasıyla penetrometrik ölçüm sonucu belirlenen meyve sertliğine göre meyveyi kendi ekseninde döndürerek hasadını yapmışlardır.



Şekil-1 Kivi Hasat Makinası Protipi

## 2.Materyal ve Yöntemler

Görüntü işlemede temel amaç aralarında ortak özellik ve bir ilişki kurulabilen karmaşık işaret örneklerini veya nesnelere bazı tespit edilmiş özellikler veya karakterler vasıtası ile tanımlama veya sınıflandırmadır.

Görüntü işleme için kullanılan yöntemler farklılık göstermektedir. Özellikle öne çıkan görüntü işleme yazılımları C , C++, MATLAB ve yapay zeka uygulamalarıdır. Bu programların ortak özellikleri görüntü işleme için aynı parametreleri kullanmalarıdır. Renk analizi, köşeleri yakalama gibi parametreler görüntü işleme sırasında kullanılan ortak parametrelerdir.

Robotik sistem ile meyve hasadı yapılabilmesi için gerekli olan en önemli değişken meyvelerin uzay koordinat eksenlerinin bilinmesidir. Koordinat eksenlerinin bulunması için görüntü işleme tekniği uygulanmıştır. Görüntü işleme için 3644 x 2748 piksel çözünürlüğe sahip kamera kullanılmıştır. Bu kamera yardımıyla dijital ortama aktarılan görüntüler görüntü işleme programı yardımıyla işlenmiştir. Renk ve şekil analizi ile meyvelerin uzay koordinat eksenindeki yatay eksenini (x) ve dikey eksenini (y) bulunmuştur. Üçüncü koordinat eksenini olan uzaklık (z) için ultrasonic sensör kullanılmıştır. Bu sensörün kullanımı için C# dilinde kod yazılmış, robot kolun meyveye 10 cm yaklaştığında ileri gitmesi önlenmiştir. Robotun hareketi için gerekli olan düz ve kinematik hesaplamalar yapılarak C# dilinde robot kol için program yazılmıştır. Robot kolun gelen bu koordinat eksenlerine göre hareket etmesinin sağlayan

görüntü işleme programı oluşturulmuştur. Bu hesaplamalar ve program USB port aracılığı ile robotik sistem kontrol kartındaki işlemciye yüklenmiştir. Programın çalışması için gerekli olan programın yazılması ile görüntü işleme yapan dijital kamera arasındaki iletişim sağlanmıştır.

Yapılan çalışmada amaç robotik hasat için gerekli olan en temel girdi olan kivi meyvesi için görüntü yakalama ile meyvenin tespit edilmesidir.

Şekil 2 'de dijital kamera ile alınan örnek görüntü gösterilmiştir.

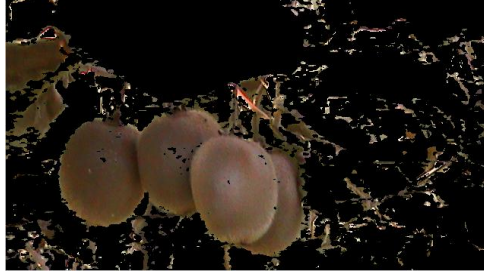


**Şekil-2** Kivi Meyvesi(Orijinal)

Şekil 2'deki dijital kamera ile alınan fotoğraf üzerindeki görüntü işleme uygulaması aşağıda verilmiştir.

```
RGB2 = imread('dsc00089.jpg');  
cform = makecform('srgb2lab');  
lab_he = applycform(RGB2,cform);  
ab = double(lab_he(:,:,2:3));  
nrows = size(ab,1);  
ncols = size(ab,2);  
ab = reshape(ab,nrows*ncols,2);  
nColors = 3;  
[cluster_idx cluster_center]=kmeans(ab,nColors,'distance','sqEuclidean','Replicates',3);  
pixel_labels = reshape(cluster_idx,nrows,ncols);  
imshow(pixel_labels,[]);  
segmented_images = cell(1,3);  
rgb_label = repmat(pixel_labels,[1 1 3]);  
for k = 1:nColors  
    color = RGB2;  
    color(rgb_label ~= k) = 0;  
    segmented_images{k} = color;  
end  
imshow(segmented_images{2}), title('objects in cluster 2');
```

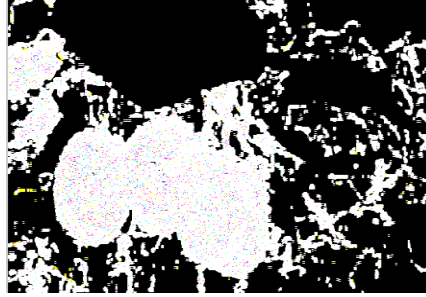
Komutların uygulamasında temel renk kahverengi ve tonlarıdır. Bu renklerin ayırt edilmesi sağlanmıştır. Komutlar uygulandığında elde edilen görüntü Şekil 3'de gösterilmiştir.



**Şekil-3** Kahverengi tonları ayrılmış görüntü

Filtre uygulaması ile şeklin gradmag 'ta gri tonlama şeklinde filtrelenmesi sağlanmıştır. Filtrelenme sonucunda elde edilen görüntü Şekil 4'de gösterilmiştir.

```
hy=fspecial('sobel');  
hx=hy;  
Iy=imfilter(double(sekil),hy,'replicate');  
Ix=imfilter(double(sekil),hx,'replicate');  
gradmag=sqrt(Ix.^6+Iy.^6);  
imshow(gradmag);
```



**Şekil-4** Gri tonlara dönüştürülmüş şekil

Filtrelenmiş görüntü üzerinde yuvarlak şekillerin yakalanması için aşağıdaki kodlar yazılmıştır. Şekil 5'te kodların yazımından sonra elde edilen görüntü verilmiştir.

```
se=strel('ball',17,6);  
Io=imopen(sekil,se);  
imshow(Io);
```



### Şekil-5 Yuvarlak şekillerin belirlenmesi komutu sonrasında ortaya çıkan görüntü

2D matrisler görüntünün kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerini karşılık gelen 3 boyutlu görüntü verilerini ayıklamak için indeksleme kullanılmıştır. Bunun için aşağıdaki kod yazımı yapılmıştır.

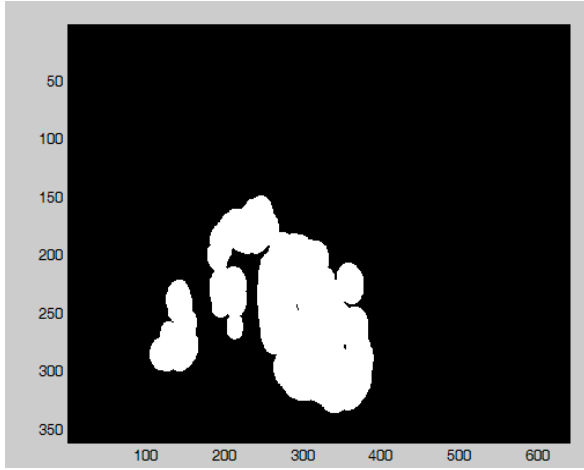
```
r = Io(:, :, 1);  
g = Io(:, :, 2);  
b = Io(:, :, 3);
```

Yeşil rengin ayrılması için aşağıdaki kod yazıldı

```
justGreen = g;
```

Gri tonlama için eşik değeri kullanılmıştır. Eşik değerinin üstünde kalan değerleri 1'e (Beyaz), altında kalan değeri ise 0'a (Siyah) atayarak resmi binary hale getirilmiştir. Bu değerlere göre eşik değeri 50'den büyük olan değerlerin alınması için aşağıdaki kod yazılmıştır. Şekil 6'da eşik değeri 50'den büyük olan değerlere göre tespit edilen sonuç verilmiştir.

```
bw = justGreen > 50;  
imagesc(bw);  
colormap(gray);
```



Şekil-6 Eşik değeri 50'den büyük olan değerlere göre sonuç

Meyvelerin nesne olarak algılayabilmek için etrafında bulunan küçük beyaz piksel değerlerinin kaldırılması gerekmektedir. Bunun için bwareaopen komutu kullanarak 30 pikselden daha az sayıdaki piksele sahip olan nesnelerin kaldırılması için aşağıdaki kod yazılmıştır.

```
ball1 = bwareaopen(bw, 30);  
imagesc(ball1);
```

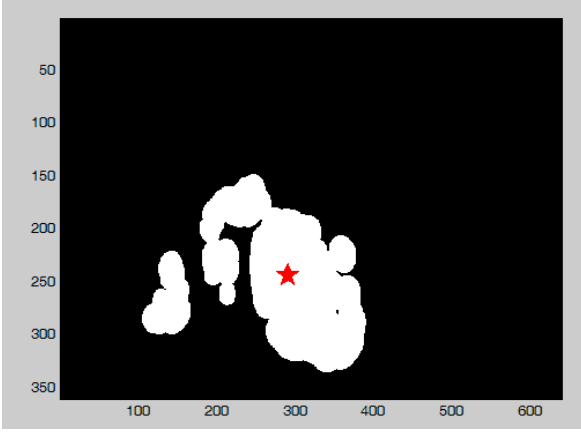
Orta noktanın bulunması için aşağıdaki kod yazılmıştır. Bu komut ile istenen şekil olan yuvarlağın tanımlanması yapılmıştır. Şekil 7'de kodun çalışması sonucunda elde edilen görüntü gösterilmiştir.

```
s = regionprops(ball1, {'centroid','area'});
```

```

if isempty(s)
    error('yuvarlak sekil yok');
else
    [~, id] = max([s.Area]);
    hold on, plot(s(id).Centroid(1),s(id).Centroid(2),'wp','MarkerSize',20,'MarkerFaceColor','r'), hold off
    disp(['Center location is (',num2str(s(id).Centroid(1),4),', ',num2str(s(id).Centroid(2),4),')'])
end

```



**Şekil-7** Kod yazımında elde edilen sonuc

Verilen fotoğrafa göre şekli tam olan meyvenin orta noktası koordinatları program içinde ;

Center location is (291.4, 244.4) şeklinde gösterildi.

Orijinal resim içinde gösterim yapılması için aşağıdaki kod yazılmıştır. Şekil 8’de resim içinde meyvenin orta noktasının orijinal resim içinde gösterimi verilmiştir.

```

imagesc(RGB2);

```

```

hold on, plot(s(id).Centroid(1),s(id).Centroid(2),'wp','MarkerSize',20,'MarkerFaceColor','r'), hold off

```



**Şekil-8** Meyvenin orta noktasının orijinal resim içinde gösterimi

### 3.Sonuç ve Öneriler

Işığın geliş açısı görüntü işlemenin sonucunu etkileyen temel etkenlerden biridir. Işığın meyve üzerine geliş açılarındaki farklılık var olan renklerin değişik algılanması sonucunu doğurmaktadır. Meyveye farklı açılarda bakıldığında ışığın bu yansıma değerleri yüzünden var olan esas rengin değişik renk tonlarında algılanması durumu ortaya çıkmaktadır. Laboratuvar ortamında yapılan bu çalışmada ışığın değişik yansıma değerlerinden dolayı sonuçlarda farklılık gözlenmiştir. Aynı kamera ile alınan diğer fotoğraflara yazılmış olan görüntü işleme kodları uygulandığında değişik sonuçlar alınmıştır. Bunun temel nedeninin ışığın her fotoğrafta aynı yönden ve şiddetle gelmemesidir. Denemeler sırasında güneş ışığının aynı yönde sabit gelmemesi nedeniyle fotoğraflarda temel renk olan kahverenginin değişik tonlarda algılanması sonucu ortaya çıkmıştır. Kodlar uygulandığında kahverenginin değişik tonları olması nedeniyle sonuçlarda yanlışlar ortaya çıkmıştır. Her fotoğraf için ayrı renk kodları analizi değerleri girilmesi sebebini doğurmuştur. Bu sebepten dolayı çalışma istenen sonuç değerlerine ulaşmamıştır.

Bu sonuçlardan dolayı sistem değişikliğine gidilmiştir. Görüntü işleme için kullanılan kamera sistemi değiştirilmiştir. Endüstriyel otomasyon kamerası ve programı kullanılmıştır. Kamera ile gelen program vasıtasıyla görüntü işleme tekniği ile meyvenin dal üzerindeki koordinat değerleri bulunmuştur. Görüntülerin kamera ile alınması işleminde aynı ışık seviyesi elde edilmesi için dum aydınlatma sistemi kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda işlenen tüm görüntüler için %95'lik bir başarı ile meyvenin yeri doğru bir şekilde bulunmuştur.

Görüntü işlemede ışık değerinin önemi açıkça gözlemlenmiştir. Kullanılan görüntü işleme tekniklerinde işleme giren her nesnenin üzerine aynı ışık değerlerinin gelmesi için ayrı bir aydınlatma sisteminin kullanılması gerekliliği yapılan denemeler sonucunda görülmüştür. Tek başına kameranın çözünürlüğünün yeterli olmadığı sisteme entegre edilecek ayrı bir aydınlatma sistemin başarı oranını arttıracığı anlaşılmıştır. Işığın meyve üzerinde sabit olmayan seviyede gelmesine sebep olan ortam ışık düzeyi nedeniyle robot kola gelen koordinat değerlerinin yanlış gelebildiği, dolayısıyla robot kolun hareket doğruluğunu etkilediği görülmüştür. 48 Led'li aydınlatma sistemi kullanılmasına karşın ortam ışık seviyesinin sabit olmaması robot kolun yanlış gitmesine neden olmuştur. Bunun önlenmesi için robotik hasat için ortamın sabit ışık ortamında olması gerektiği görülmüştür.

#### **Kaynaklar**

[1]Kondo N ,Artificial Intelligence Rewiev 12:227-243, Kluwer academic Publishers (1988), Printed in the Netherlands

[2] Kivi Hasat Robotu, <http://www.biriz.biz/kivi/kivihasarobotu.htm> (25.11.2010)

[3] Monta M, Kondo N, Shibano Y (1995). Agricultural Robot in Grape Production System.Robotics and Automation,IEEE International Conference on,Volume 3,2504-2509, Nagoya,Japan

- [4] Murakami N, Otsuka K, Inoue K, Sugimoto M (1999). Robotic Cabbage Harvester. JSAM, Volume 55(5), 133-40.
- [5] Bulanon , DM., Kataoka, T., Zhang , S., Ota, Y., Hiroma , T. (2001) ,Optimal Thresholding For The Automatic recognition of Apple Fruits, ASAE , <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=3672&t=2>
- [6] Kataoka T, Okamoto H, Hata S (2001). Automatic Detecting System Of Apple Harvest Season For Robotic Apple Harvesting. 2001 ASAE Annual International Meeting. Sacramento Convention Center Sacramento, Paper Number: 01-3132, California, USA.
- [7] Hannan M.W, Burks T.F (2004). Current Developments in Automated Citrus Harvesting. ASAE Annual Meeting, Page Number: 043087,Canada.
- [8] Feng G, Qixin C ,Yongjie C, Masateru N (2008). Fruit Location And Stem Detection Method For Strawberry Harvesting Robot. International Journal of Advanced Robotic Systems,Page Number:89-94,ISSN:17298806.
- [9]Hayashi S, Shigematsu K , Yamamoto S, Kobayashi K , Kohno Y, Kamata J, Kurita M (2010). Evaluation of a Strawberry-Harvesting Robot in a Field Test, Biosystems Engineering, Published By Elsevier ,Volume 105(2),160-171.