



Kivi Meyvesi Hasadında Robot Kullanımı Üzerine Bir Araştırma

Erhan KAHYA^{1*}, Selçuk ARIN²

¹Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kontrol ve Otamasyon Teknolojisi
Bölümü, 59100 Tekirdağ - TÜRKİYE

(Alınış Tarihi: 14.11.2013, Kabul Tarihi: 30.09.2014)

Anahtar Kelimeler

Robotik Sistem
Görüntü İşleme
Hasat
Kivi.

Özet: Yapılan araştırma sonucunda robotik meyve hasadında meyvenin fizikomekanik özelliklerinin hasata etkilediği görülmüştür. Ağırlık, yükseklik, genişlik, kalınlık değerleri ve yüzey alanının robotik meyve hasadında en önemli girdi değerleri olduğu gözlenmiştir. Robotik meyve hasadında görüntü işleme tekniklerinin robotik sistemin çalışmasını etkilediği gözlenmiştir. Görüntü işleme tekniği kullanılarak yapılan denemelerde görüntü işleme sonuçlarının robotik hasada doğrudan etkisi olduğu anlaşılmıştır. Robotik hasadın doğru ve hızlı yapılması için görüntü işleme tekniklerinin doğru seçilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Robotik meyve hasadında kullanılan yazılımın sistem ve görüntü işleme ile paralel çalışmasının önemi ortaya çıkmıştır. Yazılım yapılırken robotik sistemin dönüşüm kinematik hesaplarının düzgün hesaplanması, parametrelerin ve sabit değerlerin sisteme tam uygun olarak verilmesi gerektiği gözlenmiştir. Prototip çalışması için hobi tipi robot parçalarının kullanımı kısa ve anlaşılır sonuçların elde edilmesi açısından yeterlidir. Ancak sistemin pratikte daha verimli ve sorunsuz çalışması için sanayi tipi büyük robotların veya daha güçlü servo motorların kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür. Meyvenin dal üzerinden kopartılması sırasında koparma işlemini yapacak tasarımının meyvenin fizikomekanik özelliklerine göre yapılması gerektiği görülmüştür. Sistemin çalışmasını sağlayan motorların kuvvetli, kesme işlemin yapacak sistemin uygun olması sonucuna varılmıştır.

A Research on Using Robotics in Kiwi Fruit Harvesting

Keywords

Robotic system
Image processing
Harvesting
Kiwi.

Abstract: At the end of the research, it's shown that at the robotic fruit harvest physicommechanical properties of the fruit has an effect on the harvest. Weight, height, width, thickness and surface area are observed as the most important input values at the robotic fruit harvest. It is observed that image processing techniques affect the operation of the robotic system at the harvest. It is understood that using image technique has a direct effect on the results of the robotic harvest. It is also understood that image processing techniques must be chosen correctly to make the robotic harvest in an accurate and quickly way. It is emerged that the software used in the harvest should be parallel with the system and image processing at the robotic fruit harvest. During the software, it is observed that the conversion of kinematic calculation and constant values must be put in properly. Using hobby-type parts of robot for the prototype study will be enough for results. However, to make the system work, industrial robots and servo engines should be used. It is also observed that when picking up the fruit from the branch, the gripper, which is used to pick the fruit up, must be made considering the physicommechanical properties of the fruit. The engines that make the system work should be strong and the cutting system should also be appropriate.

1.Giriş

Tarımda mekanizasyon teknolojisi alanındaki gelişmeler, kaliteli ürün elde edilmesi, işgücünün azaltılması gibi nedenlerle ülkemizde ve dünyada büyük gelişme içerisinde. Geleneksel üretim teknikleri yerini tarımsal mekanizasyon uygulamalarına bırakmıştır. Ekim, ilaçlama, hasat gibi alanlarda mekanizasyon uygulamaları yaygınlaşmıştır. Teknolojinin ilerlemesi ve bilgisayar teknolojisinin devreye girmesi ile tarım sektöründe de bu tür bilgisayar destekli sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle biçerdöver sistemlerinde tüm işler otomatik olarak yapılmaktadır. Bu gibi sistemler bize robotik tarıma geçişi sağlamaktadır. Robotik tarım hidrolik ve pnömatik sistemler, bilgisayar kontrol sistemleri ve görüntü işleme teknolojilerini kapsayan tarımsal bir uygulamadır.

Üretilen sistemler her ne kadar akıllı olsa da tüm kodlamaların insan tarafından yapılması gerekmektedir. Uygulanacak işleme göre sistem kontrol edici parametreler yardımıyla kodlanması gerekir. İşlerin tek yönlü karmaşıklığını anlayarak insanlar tarafından kodlandığı şekilde makinanın davranması beklenir. Robotik sistem davranışı tümüyle insan faktörüne bağlıdır. Yapılacak işlere ait parametrelerin tanımlanmasındaki hassasiyet robotik sistem davranışını etkilemektedir. Verilecek parametre yapılacak işe uygun olmadığı takdirde sistemin çalışmasında beklenen sonuç doğru olmayacaktır. Çevresel etkiler, ürünün özelliği, tarlanın yapısı, hava koşulları değerleri robotik sistem davranışını belirleyen faktörlerdir.

Gerçekleştirilmesi beklenen eylem için tüm giriş ve çıkış sonuçları iyi değerlendirilmez. Gerekli kodlar ve istenen sonuçlar tam olarak kodlanmalıdır. Robotik tarım için kullanılacak diğer yardımcı ekipman seçimi de doğru yapılmalıdır. Hangi sistemin gerekli olduğu, bu sistemi hangi kontrolör ile kontrol edileceği ve bunların seçimi sistemin etkin çalışmasını etkileyecek faktörlerdir. Bu tanımlamalar yetersiz ve eksik yapıldığı takdirde yanlış hasat yapılması, tohumun yanlış derinliğe ekilmesi, otomatik sulama sistemiye yanlış zamanlarda çalışması veya yanlış sulama yapılması gibi sorunlarla karşılaşılabilir.

1.1.Tarımda Robotik Sistemlerin Kullanım Alanları

Tarımsal uygulamalarda robotik sistemlerin kullanıldığı alanları şu şekilde sıralanabilir. (Blackmore vd., 2010).

1. Tohum yatağı hazırlama: Çiftçilikte yetiştirme sürecini etkileyen en önemli faktör tohum yatağının hazırlanmasıdır. Tohumun su ve besin alması, köklerinin gelişmesi, sürgünlerin düzgün büyümesi

için tohum yatağının en uygun şartlarda hazırlanması gerekir. Robotik sistemler ile tohum yatağı istenen derinlik ve genişlikte aynı değer olacak şekilde hazırlanabilir.

2. Tohum haritalama: Toprağa ekilen tohumun basit bir kinematik modellemesiyle koordinatlarının hesaplanması sağlanabilir. Bu yöntemin kullanılmasının faydası ekim sırasında tohumların düzgün dağılımlarının kontrolü yapılması sağlar. Griepentrog vd., (2005) yapmış oldukları araştırma ile şekerpancarı ekimi sırasında ekim haritalaması yapmışlardır. Projenin amacı, hassas bir ekme makinası ile tohumun pozisyonunu yüksek doğruluk ile değerlendirerek ekim haritasını çıkarmaktır. Ayrıca hassas tarım uygulaması ile tarımsal ürünlerin bakımının sağlanması amaçlanmıştır. Araştırmacılar şekerpancarının haritalanmasında Optik Bir Gerçek Zamanlı Kinematik Küresel Konumlandırma Sistemi (RTK GPS) kullanmışlardır. 16-43 mm. tohum haritalama gerçekleştirmişlerdir.

3. Tohum Yerleştirme: Ekimi yapılacak tohumların, ekim sahası içinde aynı derinlikte ekilmesi robotik sistemler vasıtasıyla sağlanabilmektedir. Ekim sırasında tohumların belli yerlerde kümeleşmesi kontrol altına alınabilmektedir. Ayrıca bu tür sistemler ile özellikle fide ekimlerinde sıradüzenleri daha düzgün olması sağlanabilmektedir.

Christensen (2005), yılında geliştirdiği robotik ekim makinası düzeneği ile traktör üzerinde yerleştirilen Gerçek zamanlı Global Kinematik System (RTK-GPS) ile sistemin hareket etmesini sağlamıştır. Aynı düzeneğin üzerindeki ekim sistemi ile tohumların ekiminin yapılması sağlanabilmiştir.

4. Yeniden Tohumlama: Ekili alan içindeki ekim yapılmamış alanların yeniden ekimin yapılması robotik sistemler ile gerçekleştirilmektedir. Özellikle fide ekimlerinde kullanılmaktadır.

Nagasaka vd., (2002) bu alanda yürüttükleri çalışmada RTK-GPS ve FOG yardımıyla otomatik pirinç fidesi ekim makinası yapmışlardır. Bu makine ile küresel GPS sistemi ile pozisyon belirleyip, fiber optik GYRO (Gyroscope) sensör yardımıyla ekimi uygulamışlardır. Şekil 1'de pirinç fidesi ekim makinası gösterilmiştir.

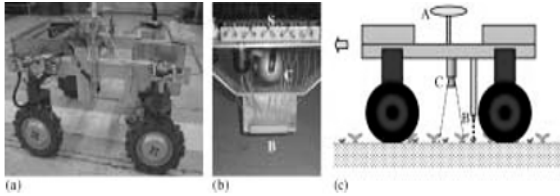


Şekil 1. Otomatik pirinç fide ekim makinası

5. Robotik ayıklayıcılar: Yabani otların konumlarını bulmak için kullanılmaktadır. Ekim alanlarındaki ürünler içinde bulunan yabani otların yerleşim dağılımlarının görüntü işleme teknolojisiyle bulunmasıdır. Bu sistemler ile yabani otların ekilen bitkilere zarar vermeden kırılması sağlanmaktadır. Blackmore vd. (2004) yürüttükleri araştırmada yılbaşı ağacı için otomatik zararlı bitki biçme makinası yapmışlardır. Bu çalışmada, ağaç pozisyonları ve tarla sınırları haritalanmış rota planı kullanmışlardır. Rotanın yüksek doğruluklu RTK (Real Time Kinematic)-GPS (Global Positioning System) ile kontrolü yapılmıştır. Belirlenen rota içindeki ağaçlara zarar vermeden tüm yabani otları kesmişlerdir.

6. Mikro püskürtme: Sistem, görüntü işleme ile yerleri belirlenmiş yabani otların ilaçlanması işlemi yapmaktadır. Robotik sistem diğer ekili bitkilere ilaçlama yapmadan belirlenmiş alanların ilaçlanması sağlanmaktadır.

Lund vd., (2006) yapmış oldukları araştırma ile otomatik ilaçlama makinası prototipi gerçekleştirmişlerdir. Sistemde bitki tanıma, mikro dozajlama ve bağımsız robotik sistem birleştirilmiştir. Görme sistemi ile bitkinin tanınması, özerk robot sistemi ile hareket, mikro dozajlama sistemi tespit edilen nesnelere ilaçlanması yapılmıştır. Şekil 2'de prototip gösterilmiştir.



Şekil 2. Otomatik ilaçlama robotik sistemi: (a) aracın fotoğrafı; (b) mikro-spray fotoğrafı; (c) yandan görünüş

7. Yabani ot haritalama: Görüntü işleme ile tarladaki ürünler arasında bulunan yabani otları ve zararlı bitkilerin haritalanması yapılabilir. Bu sistem ile yabani ot ve zararlı bitkiler için mücadele daha etkin bir şekilde yapılmaktadır.

Pedersen (2001), ilkbaharda arpa bitkisi ekim alanı içindeki yabancı otların tahmini üzerine araştırma yapmıştır. Üç farklı arazide 12, 24 ve 36 cm. sıra aralığı uygulanmıştır. Üç farklı arsa her biri 45 parsel olacak şekilde ayrılmıştır. Her arsa yabancı ot için referans sistemi oluşturmuştur. Referans olarak her arsa iki yarıdan oluşmuş, bitki olan ve olmayan şeklinde ayrılmıştır. Yabancı ot için referans olarak yoğunluğu almıştır. Görüntü işleme ile yabancı ot tanımlanmış, karşılaştırma için seçilen alan içindeki otlar el ile toplanıp görüntü işleme ile elde edilen sonucu karşılaştırmıştır.

8. Robotik sulama: Bu tür sistemler ile ekim alanlarının sulanmasında tanımlanan alanların istenen oranda ve zamanda sulanması mümkün olmaktadır.

Zazueta vd., (2008) yılında yapmış oldukları araştırmada sulama sistemlerinin kontrolü için sistem kurmuşlardır. Bu çalışmada sulama sisteminin tüm kontrolü bilgisayar sistemi ile yapılmıştır. Toprak içindeki sensörler vasıtasıyla toprak içindeki su oranı ölçülmüş, alınan bu verilere göre sulama sistemi çalıştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile belirlenen alanların doğru zamanda ve uygun miktarda sulanması sağlanmıştır.

9. Seçici Hasat: Hasat sırasında hasat için uygun kriterlere göre hasat yapılmasına olanak veren sistemlerdir. Sebze ve meyve için boyut, şekil, renk gibi olgunluğu belirleyen kriterler baz alınarak yapılmaktadır. Temel yaklaşım görüntü işleme ve işlem sonuçlarının gerçek zamanlı olarak değerlendirilip hasadın yapılmasıdır.

Kohan vd., (2011) yapmış oldukları araştırmada gül hasadı için otomatik hasat makinası geliştirmişlerdir. Sistemde gülün rengine göre seçim yaparak hasadı yapılmaktadır. Gerçek zamanlı görme sistemi ile çalışan makine rengi tanımlanan gül dal üzerinden kopartılarak hasadını sağlamaktadır. Sistem içinde iki adet CCD (Charge Coupled Device) kamera kullanılmıştır. Kameralardan gelen görüntünün işlenmesiyle sistem kontrolü yapılmıştır.

Yukarıda belirtilen sistemler için önemli olan nokta arazideki toprak ve bitki ile ilgili bilgilerin ve verilerin doğru toplanmasıdır. Çünkü toplanan veriler ve bilgilerin işlenmesi sonucunda robotik sistemlerin hareketi sağlanmaktadır. Veri toplamasında; konum belirleme sistemleri ile arazinin koordinatları bulunarak robot bu koordinat üzerinden hareket ettirilmektedir. Verim sensörleri ile ürün verim durum bilgileri alınmaktadır. Toprak sensörleri ile toprağın mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili bilgiler toplanmaktadır. Bitki sensörleri yardımıyla bitki sıcaklığı, bitki yüksekliği ölçümleri yapılmaktadır. Yabancı ot sensörleri ile tarladaki yabancı otların belirlenmesi sağlanmaktadır. Sayılan tüm sistemler ile

robotik tarımda doğru verinin alınması ve işlenmesi yapılabilmektedir.

Robotik tarım sistemleri birçok teknolojiyi kullanmaktadır. Birçok teknolojik dalın gelişimiyle sıkı bir bağı olan ve özellikle çevreci bir yaklaşımdır. İlaç kullanımı, gübreleme, sulama ve hasat daha hassas yapılabilmektedir. Robotik tarım ile çevreye daha duyarlı bir tarım gelişmektedir. Tarımda en fazla gider enerji tüketimidir. Enerji tüketiminin daha az olması sağlanmaktadır.

Tüm bu çalışmalar sonucunda tarımda daha etkin ve daha az güç ile daha fazla üretim yapılması sağlanabilir. Çevreye duyarlı bir tarım dünyanın daha az kirlenmesine imkan sağlayabilir. Güler vd., (2005) yılında belirttiği gibi tarımsal kalkınma “Doğru Uygulamaları, Doğru Zamanda, Doğru Yere Yapmakla” sağlanabilir.

2. Materyal ve Yöntemler

Yapılan araştırmada sistemin oluşturulması için özgün bir sistem tasarımı yapılmıştır. Bu sistem için aşağıdaki elemanlar kullanılmıştır. Bunlar;

- 1.2D kamera
- 2.Robotik kol
- 3.Gripper(Kesici)
- 4.Ultrasonic sensör.
- 5.Robotik Kontrol Kartı

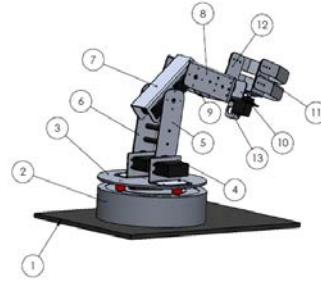
2.1.Materyal

2.1.1. 2D Kamera

2D kamera, 640×380 piksel siyah beyaz sensörle 30 FPS (Frame per Second) görüntü yakalama oranına sahiptir. Görüntü işleme operasyonu 1 GHz işlemcide çalışan uzatılmış SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory) bellek kullanılır. Kameranın flash belleği ile görüntüler hafızada tutulur. Ayrıca FPGA (Field Programmable Gate Array) piksel işlemeyi optimize eder. 10/100 Mb Fast Ethernet ile TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) ve UDP/IP (User Datagram Protocol/ Internet Protocol) protokollarını kullanarak bilgisayar ile iletişim kurar. Kameranın bu bağlantılar dışında RS 485 seri port ile iletişim kurma özelliği vardır. Tetikleme özelliği standart fotoelektrik anahtarlama ile yapılmaktadır. Kendine ait yazılım ile kontrol sağlanmaktadır.

2.1.2.Robotik kol

Görüntü işleme ile gelen koordinatlara göre meyveye doğru hareket eden 5 DOF (Degree of Freedom) 'lu bir robot kol tasarlanmıştır. Şekil 3 'de robotik kolun parçaları gösterilmiştir.

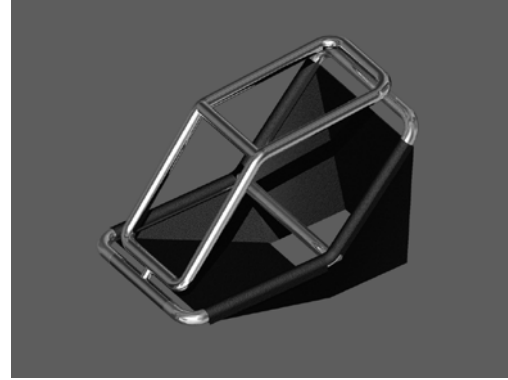


No	Ad
1	Alt Levha
2	Alt Base
3	Üst Base
4	Omuz Servo Bağlantısı
5	Link-1.1
6	Link-1.2
7	Link-2
8	Link-3
9	Bilek Servo Bağlantısı
10	Gripper Servo Bağlantısı
11	Gripper Uç Bağlantısı-1
12	Gripper Uç Bağlantısı-2
13	Ultrasonic Bağlantısı

Şekil 3. 5 eksenli robot kol (orijinal)

2.1.3. Gripper (Kesici)

Meyvenin dal üzerinden yakalanıp kopartılması için kesici ve yakalayıcı ünite tasarımı yapılmıştır. Şekil 4'de kesici ve yakalayıcı ünite gösterilmiştir.



Şekil 4. Kesici ve yakalayıcı ünite (orijinal)

2.1.4. Ultrasonik sensör

Robotik kolun dal üzerinde bulunan meyveye belli bir yaklaşma mesafesinde durması için ultrasonik sensör kullanılmıştır. Kullanılan sensör uzaklığı ses sinyallerinin işlenmesi şeklinde hesaplanmaktadır. Sensör 2 ile 3 metre arasındaki mesafeyi taramakta ve önündeki engelleri algılamaktadır. Ping sensöründe bir I/O (Input/Output) pini ve bir durum LED (Light Emitting Diode)'i bulunmaktadır. Kartın üzerinde iki adet sensör ve 3 pin (5V, GND ve sinyal) bulunmaktadır. Yazılan program içindeki sensör yazılımı aşağıdaki program parçasında verilmiştir.

```
pinMode(pingPin1, OUTPUT);
digitalWrite(pingPin1, LOW);
delayMicroseconds(20);
digitalWrite(pingPin1, HIGH);
delayMicroseconds(60);
digitalWrite(pingPin1, LOW);
pinMode(pingPin1, INPUT);
duration1 = pulseIn(pingPin1, HIGH);
cm1 = microsecondsToCentimeters(duration1);
Serial.print("Yatay uzaklik= ");
//**ULTRASONIC SENSOR FONKSİYONU **//
```

long microsecondsToCentimeters (long microseconds)
{ return microseconds / 29 / 2; }

2.1.5. Robotik kontrol kartı

Robotik kontrol kartı olarak Arduino Uno kullanılmıştır. ATmega 328 tabanlı bir mikroişlemci geliştirme kartıdır ve 14 adet dijital giriş/çıkış bağlantısına, 6 analog girişe, 16 Mhz kristal osilatöre, USB bağlantısına, güç bağlantısına, ICSP (In Circuit Serial Programming) bağlantısına ve reset tuşuna sahiptir. Tablo 1'de devrenin teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Arduino Uno teknik özellikleri

Mikroişlemci	ATmega328
Çalışma Voltajı(V)	5
Besleme Voltajı (önerilen)(V)	7-12
Besleme Voltajı (limit) (V)	6-20
Dijital G/Ç bağlantıları	14 (6 tanesi PWM çıkışı sağlayabilir)
Analog Giriş Bağlantıları	6
G/Ç bağlantısı başına DC Akım(mA)	40
3.3V bağlantısı için DC Akım(mA)	50
Flash Bellek(kb)	32 (ATmega328)
SRAM(kb)	2 (ATmega328)
EEPROM(kb)	1 (ATmega328)
Hızı(mHz)	16

2.2. Yöntem

Denemeler kivi ağacından kopartılmış üzerinde meyveleri bulunan dallar ile laboratuvar koşullarında yapılmıştır. Meyveli dallar doğala benzer koşullarda robot karşısına sabit olarak yerleştirilmiştir. Yöntem iki bölümden oluşmaktadır.

1. Meyvenin yerinin belirlenmesi
2. Robot kolun hareketi ve kesme işlemi

2.2.1. Meyvenin yerinin belirlenmesi

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. Meyvenin dal üzerinde yerinin tespiti için 2D kamera ve ultrasonik sensör kullanılmıştır. Kameranın maksimum görüş alanı 640 x 380 mm'dir. Meyvenin yerden maksimum yüksekliği 28.5 cm'dir. Meyvenin robot kolun merkezinde uzaklığı 28 cm olarak ayarlanmıştır. Meyvenin robot kolun merkezine olan uzaklık 28 cm ayarlanmasından dolayı kameranın görüş alanı ölçütü 170 x 130 mm olmuştur. Bu kamera yardımıyla dijital ortama aktarılan görüntüler görüntü işleme programı yardımıyla işlenmiştir. Aktarılan görüntü içinde meyvenin dal üzerindeki yerinin dijital

ortamda bulunması sağlanmıştır. Bu işlem için meyvenin özgün şeklinin sisteme tanıtılması yazılan program vasıtasıyla yapılmıştır. Şekil analizi ile meyvelerin uzay koordinat eksenindeki yatay eksen (x) ve dikey eksen (y) değerleri bulunmuştur.

Meyveyi bulma ve kesme değerleri 1 (evet), 0 (hayır) olarak analiz edilmiştir. Kurulan sistemin bir bütün halinde çalışması için C# dilinde program yazılmıştır. Sistemin çalışmasında en önemli nokta kamera içindeki program yardımıyla şeklin kameraya tanıtılmasıdır. Şekil 5'de kameranın şekli tanınması görüntüsü verilmiştir.

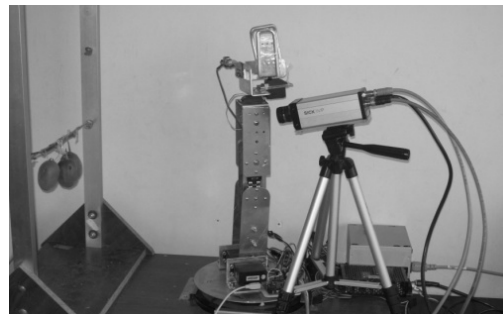


Şekil 5. Kameranın şekli tanınması ve koordinatlarının belirlenmesi.

Robotik Kontrol kartındaki işlemciye kameradan gelen koordinata göre yapılan hesaplamalardan sonra robot kolun hareketi sağlanmıştır. Şekil 6'de kameradan işlemciye gelen koordinat değerleri gösterilmiştir. Şekil 7'de robot kolun gelen koordinat değerlerine göre ilk hareketi ve konumlanması gösterilmiştir.

Index	DB Value	Value	Description
994	0	0	
995	0	0	
996	0	0	
997	0	0	
998	0	0	
999	0	0	
1000	160,402...	160,40225...	X KOORDINAT
1001	76,8049...	76,804977...	Y KOORDINAT
1002	0	0	
1003	0	0	
1004	0	0	
1005	0	0	
1006	0	0	
1007	0	0	
1008	0	0	

Şekil 6. İşlemciye giren koordinat değerleri(orijinal)



Şekil 7. İlk hareket ve konumlanma

2.2.2. Robot kolun hareketi ve kesme işlemi

Robotun hareketi için gerekli olan düz ve ters kinematik hesaplamalar yapılarak C# dilinde robot kol için program yazılmıştır. Robotik kol için ters ve düz kinematik hesaplar Matlab programında kontrol edilerek hareket şeklinin kontrolü test edilmiştir. Görüntü işleme ile gelen yatay eksen(x) ve dikey eksen(y) yanında gerekli olan üçüncü koordinat eksen olan uzaklık (z) için ultrasonik sensör kullanılmıştır. Bu sensörün kullanımı için C# dilinde kod yazılmış, robot kolun meyveye 10 cm yaklaştığında ileri gitmesi önlenmiştir. Robotun ileri ve ters hareketi için gerekli olan ileri kinematik (formül1) ve ters kinematik (formül2) hesaplamaları Formül 1 ve Formül 2 'deki eşitlikler kullanılarak yapılmıştır (Zafer, vd., 2009).

$$P_x = l_1 C\theta_1 + l_2 C(\theta_1 + \theta_2) + l_3 C(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (1)$$

$$P_y = l_1 S\theta_1 + l_2 S(\theta_1 + \theta_2) + l_3 S(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$ =Düzlemsel robotun eklem değişkenleri
 l_1, l_2, l_3 =Bağ uzunlukları
 S =Sin, C =Cos

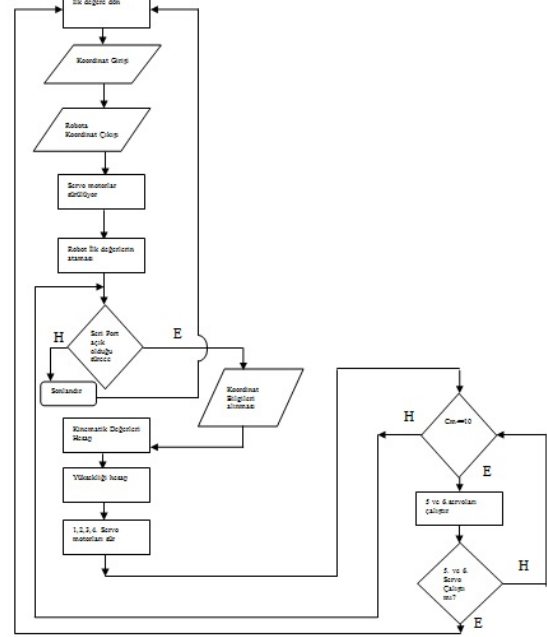
$$P_y = l_1 S\theta_1 + l_2 S(\theta_1 + \theta_2) + l_3 S(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$\theta_2 = \text{Atan2} \left(\mp \sqrt{1 - \left[\frac{P_x^2 + P_y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \right]^2}, \frac{P_x^2 + P_y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \right) \quad (2)$$

Robot kol kinematik denklemleri hesaplanırken, tasarlanan robot kol 5 DOF (degree of freedom) hareket kabiliyetine sahip olarak düşünülmüştür. Matlab kodu aşağıda gösterilmiştir. l_1, l_2, l_3 robot kol sisteminin link uzunluklarıdır.

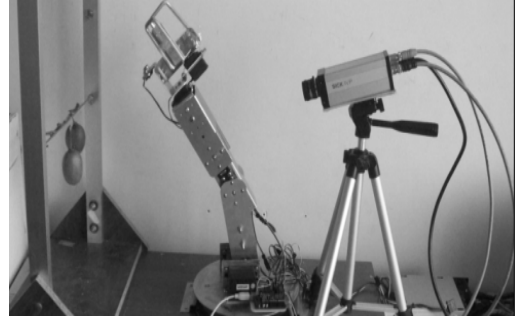
```
function [] = invkin3(X,Y,phi)
phi=degtorad(phi); //phi açısının radyan dönüşümü
X=X-20;
L1=20; //link uzunlukları
L2=17;
L3=15;
Xn=X-L3*cos(phi); //kinematik hesaplar
Yn=Y-L3*sin(phi);
Teta2=atan2((1-((X^2+Y^2-L1^2-L2^2)/(2*L1*L2))^2)^0.5,((X^2+Y^2-L1^2-L2^2)/(2*L1*L2))^2);
K1=L1+L2*cos(Teta2);
K2=L2*sin(Teta2);
Teta1=atan2(K1*Yn-K2*Xn,K1*Xn-K2*Yn);
Teta3=phi-(Teta1+Teta2);
Teta1 = radtodeg(Teta1) //sonuçlar
Teta2 = radtodeg(Teta2)
Teta3 = radtodeg(Teta3)
```

Bu hesaplamalar ve program USB port aracılığıyla robotik sistem kontrol kartındaki işlemciye yüklenmiştir. Programın çalışması için gerekli olan programın yazılması ile görüntü işleme yapan 2D kamera arasındaki iletişim sağlanmıştır. Robot kol gelen bu koordinat eksenlerine göre hareket etmesini sağlanmıştır. Sistemin tüm çalışma parametrelerinin tanımlanması ve program içine yerleştirilmesi için Şekil 8'de gösterilen algoritma kurulmuştur.

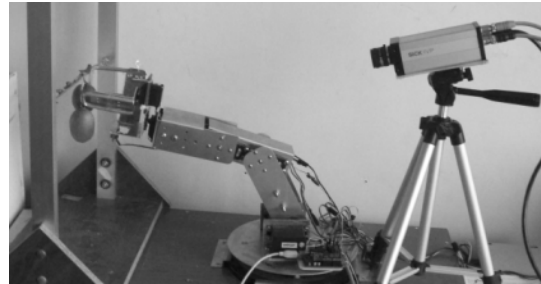


Şekil 8.Tüm sistemin yazılımsal algoritması

Meyveye doğru yapılan hareketler sırasıyla Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13 'de gösterilmiştir.



Şekil 9. İlk yaklaşım hareketi



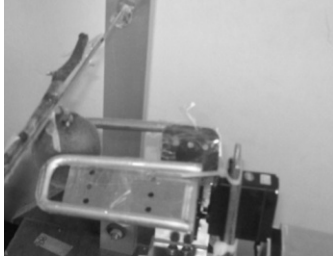
Şekil 10. Meyveye yaklaşma hareketi



Şekil.11. Meyveyi yakalama hareketi



Şekil 12. Meyve için Gripper(kesici)'in konumlanması



Şekil 13. Meyveyi kesme hareketi

3. Bulgular ve Tartışmalar

Denemeler, üzerinde değişik dizilimlerde meyve bulunan kesilmiş dallardaki toplam 109 adet kivi meyvesine uygulanmıştır. Görüntü işleme sonucunda elde edilen koordinatlara göre robot kolun hareketi sağlanmıştır. Bulunan bu değerlere göre başarı oranınının 109 meyve için % 72.48 olduğu saptanmıştır. Bunlara ait istatistik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2.Bulmaevet için ortalama ve standart sapma değerleri

	N	Min.	Mak.	Ortalama	Standart Sapma
bulma evet	109	.00	1.00	0.7248	0.44869
Adet	109				

*0=BulmaHayır

1=Bulmaevet

Yapılan denemeler sonucunda başarı oranı %72.48 olarak bulunmuştur. Robot kolun hareketini sağlayan yatay (x) ve dikey (y) eksenindeki değerlerle ilgili olarak yapılan T-testi sonucuna göre yatay eksen değerlerinin (x) anlamlı olduğu görülmüştür. Robot kolun görüntü işleme ile birlikte doğru hareket etmesi

için gerekli eksenin yatay eksen (x) olduğu anlaşılmıştır.

Denemeler sonunda, meyve için robot kolun yanlış gitmesi değeri %27.52 olarak tespit edilmiştir. Bunun sebebi denemeler sırasında yan yana veya arka arkaya duran meyvelerde koordinat bulma sırasında kameranın meyveyi rastgele seçtiğidir. İlk şekli tam olan değil tanıtılan şekle en uygun meyvenin koordinatlarının verildiği tespit edilmiştir. Bunun önlenmesi için kameranın 3 boyutlu görüntü işleyebilen renkli kamera seçilmesi gerektiği görülmüştür.

Diğer bir sebep olarak görüntü işleme en önemli faktör olan ortam ışık düzeyidir. 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 (Light Emitting Diode)'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.

Meyvenin bulunan koordinatlara göre kesme başarı oranı %1 olarak yapılan istatistiksel sonuçlarda görülmüştür. Bulma ile kesme arasındaki farklılık nedeni meyvenin makas ağzındaki konumu olduğu görülmüştür. Yapılan T-testi sonucunda meyvenin dal üzerinde kopartılması için sadece x eksenini değil ayrıca y ekseninin de önemli olduğu tespit edilmiştir. Makasın konumlanması sırasında y eksen değeri makasın meyvenin sapına konumlanmasını sağladığı görülmüştür. Meyve sapının makasın ucunda olması, makasın meyvenin sapına değil meyve yumrusuna gelmesi, meyve ile meyve sapı başlangıç noktasına gelmesi ve saptaki budağa gelmesi koparma işlemi için hata oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Kuvvetli vakum sistemi ile meyvenin makas ucundan içeri doğru çekilmesi ve sabit tutulması ile kesme işlemindeki başarı artabilecektir. Meyvenin içeriye çekilmesi için kullanılan vakum jeneratörü ucundaki vakum pedinin her meyve için özel dizayn yapılması meyvenin sabit tutulması başarısını arttıracaktır düşünölmektedir.

Ortalama robot kolun başlangıç, kesme işlemi ve ilk konuma geliş süresi 14 s.'dir. Bu sürenin kısaltılması için robotik sistemde kullanılan doğru akım servo motorlar yerine, alternatif akım servo motorların kullanılmasının daha iyi randıman vereceği öngörülmektedir. Robotik sistem üzerine yerleştirilecek, robotla hareket eden kamera sistemiyle çalışan yeni bir sistem tasarımı yardımıyla meyvenin yerinin tespitinin daha kolay olacağı anlaşılmıştır. Kameranın robot üzerine monte

edildikten sonra hareketi sağlayan servo motorların kameranin ağırlığını kaldıracak güçte olması gerektiği görülmüştür.

Kullanılacak motorların tüm hareketleri karşılayacak güçte olmasının robotik sistemin çalışma performansını arttıracakı tespit edilmiştir. Kullanılan robotik kontrol servo motorları ekonomik olduğu için seçilmiştir. Robotik sistem olarak sanayi tipi büyük robotik sistemler seçildiğinde sistemin daha hızlı ve daha kuvvetli olacağı, diğer taraftan maliyetin artacağı anlaşılmıştır.

Meyvenin algılanıp vakumun çalışması için dokunma sensörlerinin kullanılması gerektiği görülmüştür. Meyvenin fazla sıkıştırılmadan tutulması için basınç sensörleri ile yeni tutucu dizaynı yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Yapılan ölçümlere ve hesaplamalara göre yüzey alanı ile yükseklik, genişlik, kalınlık ve küresellik değerleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu faktörlerin meyvenin yüzey alanına doğrudan etkisi olduğu anlaşılmıştır.

Görüntü işleme için daha önemli olan değerlerin yüzey alanı olduğu anlaşılmıştır. Koordinatların orta noktaya göre belirlenmesinden dolayı her meyvenin x ve y koordinatlarının farklı olduğu tespit edilmiştir.

4.Sonuç

Kivi meyvesinin hasadında robotik sistemlerin başarı ile kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Yeni sistemlerin tasarımına, yapılacak çalışmalara ışık tutacağı öngörülmektedir. Hasat sırasında başarı oranının artırılması için robotik sistemin daha güçlü ve hızlı olan sanayi tipi robotik sistemler veya akım gücü daha yüksek olan AC güç kullanan servo motorların kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Görüntü işleme için 3 boyutlu renkli kamera sistemlerinin kullanılması gerektiği öngörülmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma Namık Kemal Üniversitesi BAP tarafından desteklenmiştir. Proje No: NKÜBAP.00.24.DR.10.05

Kaynaklar

Bingül Z., Küçük S., 2009. Robot Kinematiği, Birsen Yayınevi, ISBN 978-975-511-424-6, 337s, İstanbul.

Blackmore, B.S, Stout, B., Wang, M., Runov, B., 2010 . Robotic agriculture the future of agricultural mechanisation?. 5th European Conference on Precision Agriculture. ed. J. Stafford, V. , Wageningen Academic Publishers, Netherlands, 621-628

Blackmore, B.S., Fountas, S., Tang, L., Have, H., 2004. Design specifications for a small autonomous traktor with behavioural control. The CIGR of AE Scientific Research and Development. <http://cigr-journal.tamu.edu/Volume6.html>

Griepentrog, H.W., Norremark, M., Nielsen, H., Blackmore, B.S., 2005. Seed mapping of sugar beet. Precision Agriculture, 6, 157-165.

Christensen, S., 2005. Physical weed control, <http://www.scribd.com/doc/35156493/Field-Robots-in-Agriculture>, (Erişim tarihi: 21.12.2011).

Güler M., Kara T., 2005. Hassas uygulamalı tarım teknolojisine genel bir bakış. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(3), 110-117.

Kohan, A., Borghae, M., Mehran, Y.M., Minaei S., Sheykhdavudi, M.J., 2011. Robotic harvesting of *Rosa damascena* using stereoscopic machine vision, World Applied Sciences Journal, 12(2), 231-237.

Lund, I., Sogaard, H.T., 2006. Robotic weeding-plant recognition and micro spray on single weeds. Biosystem Engineering, 96(3), 315-322.

Nagasaka, Y. , KUNETANI, Y., Umeda, N., Kokuryu, T., 2002. High-Precision Autonomous Operation Using An Unmanned Rice Transplanter. [Http://www.Riceworld.Org /Publications /Wrrc/Wrrcpdf/Session7-06.Pdf](Http://www.Riceworld.Org/Publications/Wrrc/Wrrcpdf/Session7-06.Pdf).

Pederson, B.B., 2001. Weed density estimation from dijital images in spring barley. Unpublished Msc thesis KVL, 27pp, Denmark.

Zazueta, F.S., Smajstrla, A.G., Clark, G.A., 1993. Irrigation system controllers, agricultural and biological engineering department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1-11, America.