



Çok Amaçlı Tarım Robotunun Geliştirilmesi

Mehmet Metin ÖZGÜVEN¹ Mustafa TAN¹ Cemil KÖZKURT²
Muzaffer Hakan YARDIM¹ Mustafa ÖZSOY³ Eray SABANCI⁴

¹Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat

²Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Tokat

³Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tokat

⁴Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Tokat

E-mail: metin.ozguven@gop.edu.tr

Alındığı tarih (Received): 08.08.2016

Kabul tarihi (Accepted): 22.08.2016

Online Baskı tarihi (Printed Online): 29.08.2016

Yazılı baskı tarihi (Printed): 31.08.2016

Öz: Robotların tarımsal faaliyetlerde kullanımı insan iş gücünü azaltırken, çiftçi refahını, üretimin daha verimli ve kaliteli yapılmasını sağlamaktadır. Geliştirilen tarım robotunun tarlada bitki sıra aralarında bitkilere zarar vermeden kendi kendine hareket edebilmesi amacıyla, gerekli olan sensör, kamera ve motorların laboratuvar testleri yapılmıştır. Motor hız kontrolü, ileri-geri ve sağa-sola yönelme fonksiyonları, algoritmalarda kullanılması gereken optimum sensör sayıları ve yerleşimleri belirlenmiştir. Hareket esnasında gerçek zamanlı görüntü işleme ile işaretli bitkileri ayırt edilebilmektedir. Tarım robotu, üzerine yapılacak ilave mekanizmalar ile hastalık tespiti, yabancı ot tespiti ve ilaçlama gibi tarımsal işlemleri yapabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Robot, otonom araç, sensör, tarım, teknoloji

Development of Multi-Purpose Agriculture Robot

Abstract: Use of robots in agricultural activities provides efficient production and better well-being of farmers while reducing human force. needed sensors, cameras and motors to make the agricultural robot able to move itself without damaging to the plants in the rows of fields are tested in the laboratory. Without damaging the plant between rows of plants in fields developed agricultural robot in order to be able to move itself, sensors, cameras and motors needed were made laboratory tests. Motor speed control, forward-backward and right-left orientation functions, the optimum number of needed sensors and their placements were determined. During the movement, signed plants are identified with real time image processing. In case of mounting additional mechanisms, the robot will be able to perform different agricultural applications, such as disease detection, weed detection and, pesticide.

Keywords: Robot, autonomous vehicles, sensor, agriculture, technology

1. Giriş

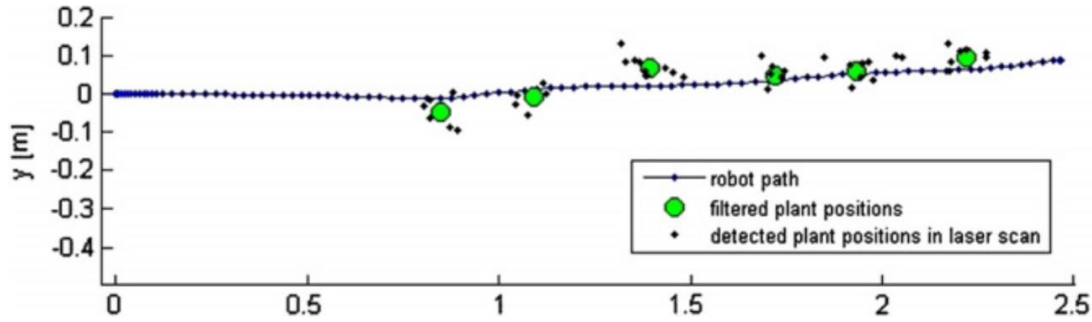
Robotik, otonom ya da kumanda edilen, sensörleri, kontrol sistemi, eyleyicileri ve bedensel yapıları ile nesnelere tutmak, kavramak, hareket ettirmek, taşımak, üretim yapmak gibi amaçları yerine getirebilen elektronik, mekanik veya sibernetik yapılardan oluşan yapay

sistemlerdir (Çamoğlu 2015). Robotlar, fiziksel faaliyetleri ya da karar vermeyi içeren görevlerin yürütülmesinde insanın yerini alması düşünülen makinelerdir. Sensörler, çeşitli elektronik ve diğer düşük güçlü komponentler içeren robotun elektronik alt sisteminin bir parçasıdır. Robotun yapılandırmasını belirlemek için kullanılan

sensörlerin yanında, etrafındaki çevrenin algılanması genellikle görsel ve dokunsal sensörler vasıtasıyla yapılmaktadır. Robot görme sistemleri, birkaç kamera ve bir işlem biriminden oluşmaktadır (Kyriakopoulos ve Loizou 2006).

Son yirmi yılda, özel sensörler (makine görüşü, GPS, RTK, lazer tabanlı cihazlar ve atalet aygıtları), aktüatörler (hidrolik silindir, doğrusal ve dönüşlü elektrik motorları) ve elektronik ekipmanlar (gömülü bilgisayarlar, endüstriyel PC ve PLC) birçok otonom aracın, özellikle tarım robotlarının entegrasyonunu sağlamıştır. Bu yarı otonom/otonom sistemler uygun donanım (tarım aletleri veya ekipmanları) ile donatılması halinde

hassas tarım görevlerinin gerçekleştirildiği çalışma alanında, doğru konumlandırma ve kılavuzluk sağlamaktadır (Emmi ve ark. 2014). Görüntü işleme ve sensörlerle algılanan çevredeki bitkilerin konumları kestirilerek kaydedilen verilerden saha haritası oluşturulabilmektedir. Robotun konum tahmini bir navigasyon sistemi ya da robotun hareketlerinin bağlı hesabı ile yapılabilmektedir. Bitkilerin robota uzaklıkları da sensörlerle ya da görüntü işleme ile algılanarak, hesaplanan konumlar haritada işaretlenebilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Robot rotasının ve bitki konumlarının haritalanması (Weiss ve Biber 2011)

Figure 1. Mapping of robot route and plants

Otonom tarım robotları, günümüzde tarlalarda traktörlere bulunan alternatiftir. Yetiştiricilik işlemleri, tohumlama, ilaçlama, gübreleme ve hasat gibi gelecekte otonom tarım robotlarının filoları tarafından gerçekleştirilebilir. Tarımsal robot bazı temel yeteneklere ve birden çok uygulamayı destekleme imkânına sahip olmalıdır. Temel yetenekleri arasında güvenli ve otonom navigasyon için bir navigasyon sistemi gereklidir (Biber ve ark. 2012). Tarımda otonom araçların farklı uygulamaları geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında, ilk potansiyel pratik uygulamaların üç ana grupta; bitki yetiştirme, bitki bakımı ve seçici hasat olduğu tespit edilmiştir (Pedersen ve ark. 2008).

Tarımsal işlemlerde robotlar, genel olarak açık alan ve kapalı alan robotları olarak sınıflandırılmaktadır. Açık alan robotları; GPS destekli dümenleme sistemi, mera robotu, ilaçlama robotları, ekim/dikim robotları, silaj robotu, budama robotlarıdır. Kapalı alan robotları

ise (hasat robotları, süt sağım robotları, ahır robotlarıdır (Tekin ve Değirmencioglu 2010).

Amos ve Ruckelshausen (2014) geliştirdikleri tarımsal robotun beş uygulama modülünden oluştuğunu bildirmiştir: İzcilik: sağlık durumu, biyokütle, morfoloji (kalite / veri); Toprak analizi: toprak sıkışması, nem, beslenme (kalite / veri); Hassas ilaçlama: daha az pestisit, daha az toprak kirliliği (ekoloji); Mekanik yabancı ot kontrolü: organik tarım, fidanlık (verimlilik); Seçici hasat: kuşkonmaz, marul, çilek (verimlilik).

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Mekanik tasarım

2.1.1 Şase

Geliştirilen robottan beklenen görevleri en basit şekilde gerçekleştirebilmesi amacıyla güçlü ve dayanıklılığı ile kabul görmüş “Mad Force Kruiser VE” mekanik şase kullanılmış ve robot bu şase üzerine inşa edilmiştir (Şekil 2).

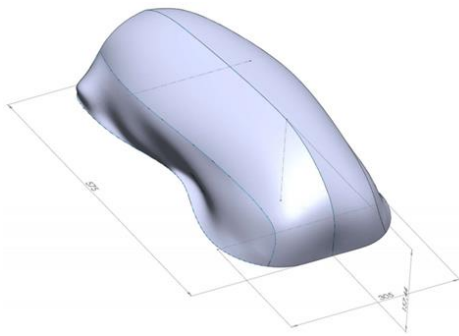


Şekil 2. Mad Force şase
Figure 2. Mad Force chassis

2.2. Robot kasa imalatı

Geliştirilen robotun sensörlerinin bağlandığı, görüntü işleme ve motor sürücü birimlerini dış etkenlerden koruyan kasa bölümü metalik malzemelere kıyasla hafiflik ve mekanik dayanım bakımından birçok üstünlük sunan kompozit malzemeden yapılmıştır. Literatürde vakum destekli reçine transfer metodundan, el yatırma yöntemine kadar birçok yöntem kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır (Skramstad 1999).

Üretime başlamadan önce robotun kasasına ait 3D model SolidWorks 2014 yazılımı ile tasarlanmıştır (Şekil 3) ve ara kesitleri bu modelden elde edilen A3 boyutunda çıktılar kullanılarak mukavvadan oluşturulmuştur (Şekil 4). Oluşturulan ara kesitler strafor malzemeye sabitlenerek 24 V ısıtmalı tungsten sıcak tel yardımıyla tasarlanan kabuk şekli strafor malzemeye kabaca uygulanmıştır. Strafordan oluşturulan kalıp Şekil 5'de görüldüğü gibi araç üzerinde deneyerek kasa ölçüleri kontrol edilmiştir. Straforun elle zımparalanmasıyla keskin hatları giderilmiş ve tasarlanan modele yaklaşım sağlanmıştır. Üretilen strafor kalıp kullanılarak aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Robot kasasının 3D model tasarımı
Figure 3. 3D model design of robot case



Şekil 4. Robotun kabuk kısmının mukavvadan kesitlerinin oluşturulması
Figure 4. Creating sections of cardboard shell of the robot



Şekil 5. Strafor malzemenin mukavva kesitlere uygun olarak sıcak tel ile kesilmiş hali
Figure 5. According to the state board section of the styrofoam cut with a hot wire

- Kalıp silindikten sonra kalıbın üzerine birinci kalıp ayırıcı olarak vaks sürülmüştür.
- Süngerle ikinci ayırıcı olarak PVA uygulanmıştır.
- Fırçayla viskozitesi yüksek jelkot kalıba sürülmüştür.
- Takviye elemanı olarak kullanılacak elyaflar kesilerek hazırlanmıştır.
- Reçine hazırlanarak dolgu maddeleri katılmıştır.
- Jelkot üzerine fırça ile reçine sürüldükten sonra kumaş şeklindeki elyaf yerleştirilmiş ve fırça darbeleriyle reçineye emdirilmiştir.
- Rulolanarak hava kabarcıkları çıkarılmıştır.
- İstenilen kalınlığa ulaşmaya kadar bu işlemler tekrarlanmıştır ve istenilen kalınlık sağlandığında güneş ortamında üretilen kabuk sertleştirilmeye bırakılmıştır (Şekil 6).
- Kuruyan kabuk kalıptan çıkarılmış ve sırasıyla macun, zımpara, boya işlemlerine tabi tutularak son halini almıştır (Şekil 7).



Şekil 6. Üretilen karbon fiber kabuğun kurumaya bırakılması ve macun uygulaması
Figure 6. The produced carbon fiber shell and allowed to dry paste application



Şekil 7. Üretilen karbon fiber kasanın son hali
Figure 7. Produced carbon fiber casing finalized

2.2. Elektronik

Robotun kasa imalatı tamamlandıktan sonra laboratuvar ortamında sensör, kamera ve motor testleri yapılmıştır. Sensör ve kamera yerleşimlerini doğru tespit etmek için önce şase üzerine yerleştirilen geçici kasa ile çalışmalar yapılmış ve daha sonra gömülü sistem kartlarının montajı yapılarak laboratuvar testlerine başlanılmıştır. Robot elektroniği gömülü sistem bileşenleri; motorlar, sensörler ve batarya olarak dört grupta sınıflandırılmıştır.

2.2.1 Gömülü Sistemler

Gömülü sistemler, genel amaçlı işlerden çok kendisi için önceden özel olarak tanımlanmış görevleri yerine getiren, sınırlı kaynakları olan sistemlerdir. Bu amaçla problemleri çözmek için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır (Erdoğan 2009). Geliştirilen tarım robotunda motor ve sensörlerin kullanımında Arduino DUE kartı, görüntü alma ve işleme için ise BeagleBoard xM kartı olmak üzere iki farklı gömülü sistem cihaz kullanılmıştır.

Arduino temel olarak donanım ve yazılım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Arduino'nun donanımı değişik versiyonlarına göre değişmekle birlikte genel olarak Atmega

mikrodenetleyicileri ve RS232-USB çevirici entegre ve besleme kısmından oluşmaktadır. Arduino üzerinde yazılım geliştirmek için gerekli olan geliştirme ortamını (IDE) Processing adı verilen programlama diline ve Wiring adlı projeye dayanmaktadır. Kullanımı gayet kolay olan geliştirme ortamında yazılan Arduino programları kolaylıkla derlenerek gömülü karta yüklenebilmektedir. Sahip olduğu kütüphaneler sayesinde birçok işlem ve çevre birimi haberleşmesi kolaylıkla gerçekleştirilmektedir. Arduino'nun en güçlü özelliklerinden biri de genişletilebilir bir kütüphane sistemine sahip olması sayesinde, yeni çevre birimleri için yazılan kütüphanelerin kolaylıkla entegre edilebilmesidir (Taşdemir 2011). Sayılan bu özelliklere ek olarak yüksek hız ve veri hafızasına sahip olmasından dolayı Arduino DUE versiyonu seçilmiştir.

BeagleBoard; açık mimari donanıma sahip, TI DM3730 - 1 GHz ARM Cortex-A8 işlemci ve 512 MB LPDDR RAM barındıran, 75 mm x 75 mm boyutlarında, HDMI, S-Video, USB OTG, 4 x USB, Ethernet port, MicroSD/MMC card slot, Stereo in/out, RS-232, JTAG connector, 5 V Power socket, Camera port, Expansion port gibi çevre bağlantı birimlerine sahip mini bir bilgisayardır. MATLAB® Simulink® tarafından GPIO read/write, UDP send/receive, SDL video display ve başka birçok bloğun bulunduğu BeagleBoard xM Support Package kütüphanesine ulaşılmaktadır. Bu özelliklerin sağladığı üstünlüklerden dolayı modüler bir görüntü işleme kartı olarak BeagleBoard xM seçilmiştir.

2.2.2 Motorlar

Servo motorlar, elektrik motoru, dişli redüktör mekanizması ve konum bildirici enkoderden oluşan bütünleşik bir yapıya sahiptir. En büyük özellikleri hassas bir konum kontrolüne sahip olmalarıdır. Arka bölümlerinde bulunan manyetik veya optik bir konum bildirici ve kontrol devresi sayesinde konum hata bildirimini veya negatif geri besleme metodu ile geri beslenmektedir (Çamoğlu 2015).

Geliştirilen robota ileri-geri hareketini veren "Team Orion NEON 8BL" modeli 130A fırçasız motor ve elektronik hız kontrol ünitesi (ESC) için ise "Team Orion Vortex R8" modeli

kullanılmıştır. Robotta ihtiyaç duyulan enerji, bataryayı kontrol eden ve bağlı olduğu ESC tarafından sağlanmıştır. Sağa ve sola dönüşler için 15 kg/cm torku olan servo motor kullanılmıştır. Bu motorları seçerken motorun devir sayısı, motorun çalışma voltajı, motorun çektiği akım, motorun büyüklüğü ve çeşitli arazi şartlarına adapte olabilmesi gibi etkenler dikkate alınmıştır.

Motor hız kontrolleri, ileri-geri ve sağa-sola yönelme fonksiyonları, algoritmalarda kullanılması gereken optimum sensör sayıları ve yerleşimleri belirlenmiştir.

2.2.3 Sensörler

Robotun amacı doğrultusunda karar verebilmesi için sürekli olarak çevreyle iletişim halinde olması gerekmektedir. Bunu sağlayan 5 adet sensöre sahiptir. Robot verilen görevleri yerine getirebilmek için ultrasonik mesafe sensörleri ve hareket algılayıcı sensörler olmak üzere 2 grup sensörü ve web kamerasını bünyesinde barındırmaktadır.

Sensör olarak bitki özelliklerine bağlı olmadan doğru sonuç vermesinden dolayı ultrasonik sensör seçilmiştir. Ultrasonik sensörler analog ses sinyallerinin dijital sinyallere çevrilerek işlenmesine olarak sağlar. Ses dalgaları sınıflandırılmasında 20 kHz - 1 GHz aralığındaki ses sinyalleri ultrasonik ses olarak tanımlanmıştır. Çalışmada cisim algılama ve mesafe ölçümü yapabilen HC-SR04 ultrasonik sensör modeli kullanılmıştır. Sensör üzerinde vcc, gnd, trig, echo pinleri olmak üzere 4 adet pin mevcuttur. Sensörden yayınlanan ses dalgası bir cisime çarpmakta ve geri sensöre yansımaktadır. Arada geçen süre mikrodenetleyicinin zamanlayıcısı ile hesaplanarak mesafe ölçümü yapılmaktadır. Mesafeyi ölçmek için “yol=hız x zaman” formülü kullanılmıştır.

Ses dalgası havada, deniz seviyesinde ve 15 °C sıcaklıkta 343 ms^{-1} bir hızla yol almaktadır. Mikrodenetleyici zamanı “ μs ” cinsinden hesaplandığı için ses hızı da “ 343 msn^{-1} ” yerine “ $34300 \text{ cm}/1000000 \mu\text{s} (1/29)$ ” olarak düzenlendiğinde formül “yol=zaman/29” olmaktadır. Burada önemli bir nokta sensörden okunacak sürenin ses sinyalinin gönderilmesi ile

alınmasından oluşan süre olmasıdır. Yani aradaki mesafe iki kere alınmış olacaktır. Bu yüzden formül “yol=zaman/58” olmakta ve aradaki mesafe de bu şekilde ölçülmüş olacaktır.

2.2.4 Batarya

Batarya seçiminde, kullanılan bataryaların modüler ve eşit boyda olmasına dikkat edilmiştir. Bu sebeple lityum polimer pil (LIPO) kullanımı uygun görülmüştür. Bu piller kurşun asit aküler ile karşılaştırıldığında oldukça hafiftir. Bu yönüyle robota kayda değer fazladan bir yük getirmemiştir. LIPO pil kullanımında bazı noktalara dikkat edilmesi gerekmektedir. En önemli noktalardan biri akü voltajı 3,0 ve 4,2 Volt/hücre arasında olmalıdır. Bu yüzden çok düşük akü geriliminde boşalmasını önlemek için kesme devresi kullanılması gerekmektedir. Akü gerilimi, hücre başına 4.2 V sabit gerilime ulaştığında şarj olmaya başlamasından dolayı, akü şarj cihazının da "akıllı" olması gerekmektedir. Akü şarj cihazı kullanıcı tarafından sabit akım seti ile ayarlanabilmektedir. Pillerin yanlış kullanımı yangına neden olabilmektedir.

2.3. Yazılım

Düzenlenen algoritma ile gömülü sistem kartlarının giriş çıkış uçlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Robotun yapacağı işlemlerle ilgili olarak iki farklı kart kullanılmasından dolayı iki farklı gömülü sistem yazılımı yapılmıştır.

Robota bağlanacak olan kameralardan elde edilecek görüntüler Beagle Board xM kartında gerçek zamanlı olarak işlenebilmektedir. Beagle Board xM portative mini bilgisayar kartıdır. OpenCV, SIMULINK, C++ ve Python gibi yazılım kod dilleri kullanılarak algoritma oluşturulmuştur.

Sensörlerden gelen verilerin algılama ve sonuçlarına göre robota ileri-geri veya sağa-sola yönelme hareketlerini sağlayan motorları kontrol edilmesi için Arduino IDE programında, C/C++ dili kullanılarak yazılım yapılmıştır. Yazılımda oluşturulan fonksiyonlar programla derlenerek bilgisayara usb kablo ile bağlı Arduino DUE kartına yüklenmiş ve bu sayede robota otonom hareket kabiliyeti sağlanmıştır.

2.4. Algoritma

Robot tasarımı aşamasındaki en önemli adımlardan birini oluşturmaktadır. Algoritma, robottan yapması istenilen görevler doğrultusunda oluşturulmakta ve neleri algılaması gerektiği, hangi sensörleri kullanacağı ve hangi işlemin daha önemli olduğuna karar vermesi sağlanmaktadır. Geliştirilen robotta 5 tane ultrasonik mesafe sensörü, 2 tane HD kamera ve hareketleri sağlayan motorlar bulunmaktadır. Robot için yapılan algoritmaları; satır arası algılama, satır sonu algılama ve dönüş becerileri ile görüntü işleme oluşturmaktadır.

Geliştirilen robotun saha testlerini yapmak üzere 12 m uzunluğuna ve 0.75 m satır aralığına sahip 6 sıra mısır ekilerek deneme alanı oluşturulmuştur (Şekil 8). Görüntü işleme yöntemiyle seçilen mısır bitkilerinin yerlerinin tespit edilebilmesi için mısırlardan bazıları kahverengi rengine boyanmıştır (Şekil 9).



Şekil 8. Test yapılan alan
Figure 8. Test the area



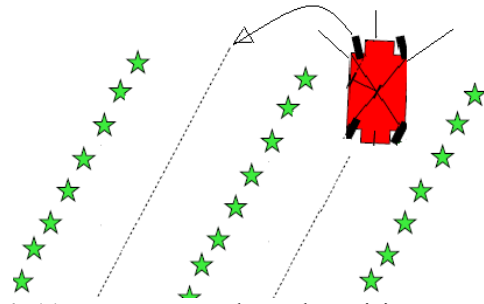
Şekil 9. Farklı renge boyanarak işaretlenen mısırlar
Figure 9. Painted in different colors marked corn

Testlerde 0.75 m satır aralığı algılamada robotun kullanacağı eşik değerinin 10 cm olması

gerektiği belirlenmiş ve sensör ölçümleri ile karşılaştırmada bu eşik değeri kullanılmıştır. Şekil 10'da gösterildiği gibi satır aralığı tespitinde sensör ölçümleri olan $d1$, eşik değerinin altında olduğundan Arduino DUE kartı motorun sağa dönmesini sağlamaktadır. Eğer satır arasında herhangi bir engel var ise en öndeki sensör bunu algılayarak robotu durdurup geri yönde hareket ettirmektedir. Şekil 11'de gösterildiği gibi satır sonu algılama için öndeki sensörler en büyük değeri aldıklarında kart dönüş hareketine başlamaktadır. Dönüş hareketi sırasında tüm sensörler kullanılmaktadır. Dönüş yönünün tersindeki arka sensör en büyük değere ve ön sensörler eşik değerinin üstünde değeri oluşturduğunda dönüşü tamamlanmaktadır.



Şekil 10. Satır arası algılama
Figure 10. Between the lines detection



Şekil 11. Satır sonu ve dönüş becerisi
Figure 11. Line breaks and return skills

Geliştirilen robotla test alanında farklı günlerde olmak üzere testler yapılmıştır. Testlerde sadece robotun hareketleri değil anılan mesafeleri alma süresi de dikkate alınmıştır. Test alanının tamamını hatasız 3 dakika içerisinde tamamlaması istenmiştir. Testlerde hata oranı olarak satır arasında ilerlerken bitkilere temas etme sayısı baz alınmıştır.

2.4.1 Satır arası algılama

Geliştirilen robotun satır aralığı genişliği dikkate alınmaksızın herhangi bir sahada otonom olarak ilerlemesini sağlayan algoritmadır. Bu algoritmada robotun önündeki iki tane ultrasonik mesafe sensörü kullanılmıştır. Robot, satır arasında ilerlerken sensör ölçüm sonuçları ile eşik değerleri karşılaştırarak yönünü ayarlayarak bitkilere zarar vermeden hareket etmesi sağlanmıştır.

2.4.2 Satır sonu algılama ve dönüş becerileri

Sahada satır aralığında ilerleyen robotun satır sonuna geldiğinde ve bir sonraki satır aralığına dönüş yönünde hareketi oluşturan algoritmadır. Robot satır sonuna geldiğinde ve dönüş yönünde harekete başlayacağı zaman arazinin hangi köşesinden başladığı bilgisi ile orantılı olarak satır sonunda sağa ya da sola dönüş hareketini yapar. Bu algoritmanın gerçekleştirilmesinde teker dönme açısı, dar satır aralığının olmaması ve dönüş mesafesinin yeterli olmaması gibi zorluklarla karşılaşmıştır.

Çizelge 1. Saha testleri

Table 1. Field tests

| 12 m uzunluğunda, 0.75 m genişliğinde satır aralıkları | Test 1 (Temas sayısı) | Test 2 (Temas sayısı) |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1 nolu satır aralığı | 4 | 1 |
| 2 nolu satır aralığı | 3 | 3 |
| 3 nolu satır aralığı | 4 | 2 |
| 4 nolu satır aralığı | 3 | 1 |
| 5 nolu satır aralığı | 4 | 2 |
| 6 nolu satır aralığı | 3 | 1 |

İlk testlerde her bir satır arasında ilerlerken bitkilere temas etme oranı yüksek çıkmıştır. Temas etme oranının yüksek olmasında, robotu hızlı hareket ettirme isteği sonucu sensör algılamalarının düşük ya da hatalı çıkması ve sensör yerleşimleriyle ilgili hataların olması gibi tespitler yapılmıştır. Donanım ve yazılım düzenlemelerinden sonra yapılan denemelerde bitki ile temas etme oranlarında düşme ve zarar vermeden ilerleme görülmüştür. Satır sonu algılama ve dönüş becerileri testlerinde bazı satırlarda, ekilen mısırların sıra aralarının geniş

2.4.3 Görüntü işleme

Geliştirilen tarım robotunun görüntü işleme ile çevresini algılayabilmesi için BeagleBoard xM isimli donanım kullanılmıştır. BeagleBoard xM'in programlanması MATLAB Simulink eklenti desteği ile sağlanmıştır. Böylelikle görüntü işleme algoritmaları Simulink modellerinde oluşturularak, işletim sisteminden ve kodlamadan bağımsız bir geliştirme platformunun avantajları kullanılmıştır. Görüntü alma işlemi için BeagleBoard xM'in USB portlarına bağlı iki adet Microsoft LifeCam Studio 1080p HD Webcam kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Geliştirilen robotla yapılan testlerde her bir satır arası algılamasına ilişkin hata oranları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

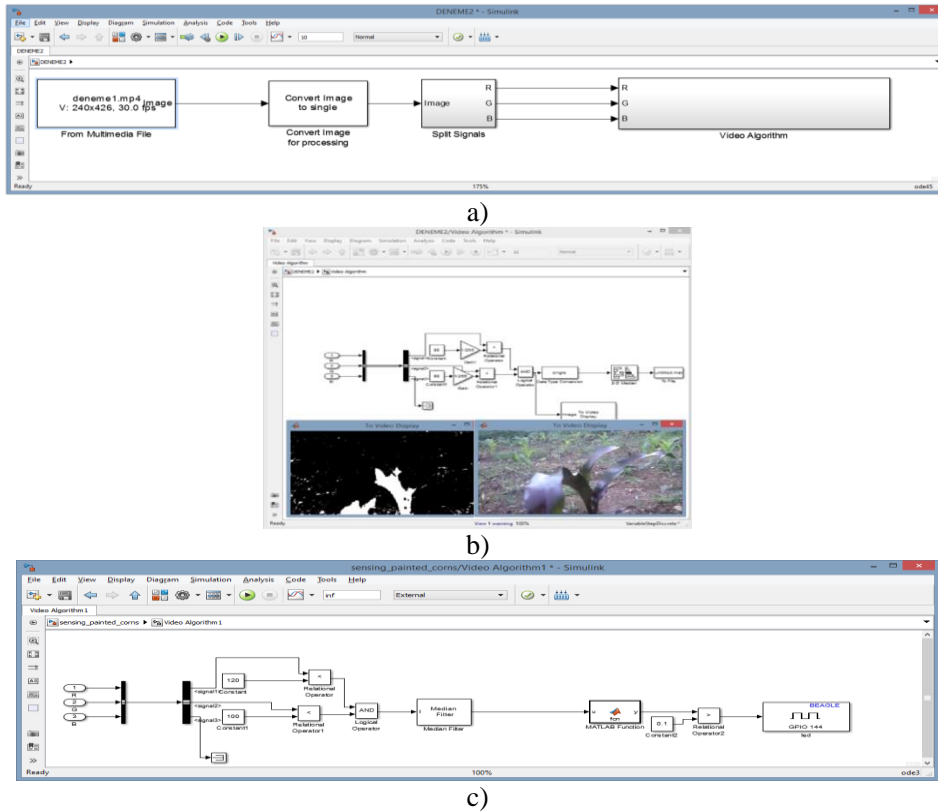
olmasının robotun dönme hareketine erken başlamasına neden olduğu görülmüştür.

Satır arasını algılama, satır sonu ve dönüş becerileri algoritmalarında kullanılan ultrasonik sensörün çalışma prensibinden dolayı, yazılımlarla yapılan düzenlemelere rağmen hataların olduğu görülmüştür. Bu sensör yerine lazer sensörlerin kullanımının daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir. Eğer ultrasonik sensör kullanılacaksa robota hareket sağlayan motor seçiminde yüksek torklu, düşük hızlarda gidebilen motorların seçilmesi gerekmektedir. Robotta enerjiyi sağlayan ESC seçiminde birden fazla

çıkış voltajı verebilen ESC seçimi, sonradan robota ilave edilecek cihazların ya da kartların çalışmasında ayrıca güç kontrol devresinin kullanımının önüne geçilerek ek maliyet ihtiyacını ortadan kaldıracaktır. Arka tekerin sabit olması ve ön teker dönme açısının sınırlı olması dar alana sahip arazilerde problemlere yol açabilmektedir. Bu sebeple şase seçiminde ön ve arka tekerlere güç aktarabilecek opsiyonlu şase seçilmesi robotun zorlu görevlerde de kullanımına olanak sağlayacaktır.

Görüntü işleme için oluşturulan Simulink deneme modelleri öncelikle daha önceden çekilmiş görüntüler ile bilgisayar ortamında denenmiş, ardından döngüsel donanım testleri için modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bir deneme modeli ve alt modelleri Şekil 12'de görülmektedir. Şekil 12 b'de daha önce alınan renkli video görüntüsünde uygulanan algoritma blokları ve

elde edilen siyah beyaz görüntü görülmektedir. Beyaz bölge kahverengi boya ile işaretlenmiş mısır bitkisini göstermektedir. Alınan RGB görüntünün R ve G bileşen sinyallerinde constant bloklarıyla eşikleme yapılmıştır. Ardından median filtre ile eşiklemeye stabilizasyon uygulanmıştır. Böylelikle mısır bitkisi nesnelindeki kahverengi işaret algılanmaktadır. Eşikleme yöntemi statik olmasına karşın örüntü tipine göre dinamik eşikleme algoritmaları da kullanılabilir. Döngüsel donanım modelleri ile BeagleBoard xM'in istenen çıkışları vermesi sağlanmıştır. Bu testlerde elde edilen modeller sahada koşturulmak üzere BeagleBoard xM belleğine gömülmüştür. Sahada koşturulan modellerden elde edilen sonuçlar ise bir BeagleBoard xM GPIO çıkışına oradan da Arduino IO portuna verilerek motor ya da sinyal çıkışları elde edilebilmektedir.



Şekil 12. Görüntü işleme algoritmalarını içeren Simulink modelleri a)Modelin genel görünümü b) Video Algoritma alt sistemi ve Video Display ekranında, yakalanan işaretli nesne c)BeagleBoard yerleşimleri

Figure 12. Simulink models that include image processing algorithms a) General view of the model b) Algorithm video subsystem and video display screen, captured the marked objects c) BeagleBoard settlements

4. Sonuç

Teknolojinin sağladığı imkânlar ile otonom olarak hareket edebilen tarımsal robotlar, tarımsal üretimde verimliliğin ve ürün kalitesinin artırılması, üretim maliyetlerinin ve zahmetli birçok tarımsal işteki insan iş gücünün azaltılması sayesinde çiftçi refahının artırılmasını sağlayacak çok önemli bir araçtır. Geliştirilen tarım robotu, tarlada bitki sıra aralarında bitkilere zarar vermeden kendi kendine hareket edebilmekte, hareketi sırasında görüntü işleme sistemi yardımıyla haritalama yapabilmektedir. Uygulanan görüntü işleme algoritmasının eşik değeri ve renk kanalları gibi bileşenleri esnetilerek daha farklı örüntüler üzerinde algılamalar da yapılabilecektir. Örüntü bir ürün, hastalık, yabancı ot, taş gibi tarımsal mekanizasyonu ve verimi engelleyen faktörler de olabilir.

Görüntü işleme sistemi motor kontrol birimine çıktı vererek ya da kendi içindeki GPIO birimlerindeki 5 V çıkış gerilimlerini kullanarak bir aktüatör kontrolüyle robotu yönlendirme, pülverizatör çalıştırma, sulama pompası çalıştırma, gübreleme yapma, boya ile işaretleme, sinyal verme, uydu konumlama ile harita üzerinde işaretleme gibi genişletilebilir bir platform sunmaktadır. Üzerine yapılacak ilave düzeneklerle hastalık ve yabancı ot tespitinin yapılmasıyla ilaçlamanın otonom olarak yapılması hedeflenmektedir. Ayrıca robota kablosuz internet protokolleri ile donatılmasıyla, uzaktan görev verilmesi, sahadan veri toplaması, robotun çevresindeki diğer robot, drone gibi ekipmanlarla etkileşimde olarak hareket etmesi ve böylece görev dağılımı yapılarak aynı anda aynı görevi paylaşılabilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- Amos A ve Ruckelshausen A (2014). BoniRob - Autonomous Mobile Platform for Phenotyping Applications. Phenodays 2014, 29.-31.Oct., Beaune, FR
- Biber P Weiss U Dorna M and Albert A (2012). Navigation System of the Autonomous Agricultural Robot "BoniRob". <http://www.cs.cmu.edu/~mbergem/agrobotics2012/01/Biber.pdf>, (Erişim Tarihi: Mayıs 2016).
- Çamoğlu D (2015). Bilgisayar Kontrollü Robotik. Dikeyksen Yayınları, İstanbul.

- Erdoğdu, S., 2009. Karmaşık Algoritmaların Gerçek Zamanlı Gömülü Sistemlerde Gerçeklenmesi. 4. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu - UYMS'09, İstanbul.
- Emmi L Gonzalez-de-Soto M Pajares G and Gonzalez-de-Santos P (2014). New Trends in Robotics for Agriculture: Integration and Assessment of a Real Fleet of Robots. Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal. Volume 2014, Article ID 404059, 21 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/404059>, (Erişim Tarihi: Mayıs 2016).
- Kyriakopoulos K.J and Loizou SG (2006). Section 2.4 Robotics: Fundamentals and Prospects, pp. 93-107, of Chapter 2 Hardware, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE.
- Pedersen SM Fountas S and Blackmore S (2008). Agricultural Robots – Applications and Economic Perspectives. <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/5324.pdf>, (Erişim Tarihi: Mayıs 2016).
- Skramstad JD (1999). Evaluation of Hand Lay-Up and Resin Transfer Molding in Composite Wind Turbine Blade Manufacturing. Montana State University-Bozeman, pp:27-28. <http://www.montana.edu/composites/documents/Jon%20Skramstad%20thesis.pdf>, (Erişim Tarihi: Mayıs 2016).
- Taşdemir Ç (2011). Gömülü sistemlere giriş için güzel bir oyuncak: Arduino. <http://coskuntasdemir.net/gomulu-sistemler/gomulu-sistemlere-giris-icin-guzel-bir-oyuncak-arduino.html>, (Erişim Tarihi: Mayıs 2016).
- Tekin A ve Değirmencioglu A (2010). Tarımsal Bilişim: İleri Tarım Teknolojileri. Akademik Bilişim'10 - XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri. 10 - 12 Şubat 2010, Muğla.
- Weiss U and Biber P (2011). Plant detection and mapping for agricultural robots using a 3D LIDAR sensor. Robotics and Autonomous Systems, 59: 265–273.