




**T.C.**

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# ŞEKER PANCARINDA EKİM KALİTESİNİN ROBOTİK UYGULAMALARLA ARTIRILMA İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI

**Özgür AKIN**

**DOKTORA TEZİ**

**Tarım Makinaları Anabilim Dalı**

**Ekim-2013**
**KONYA**
**Her Hakkı Saklıdır**

# ÖZET

## DOKTORA TEZİ

## ŞEKER PANCARINDA EKİM KALİTESİNİN ROBOTİK UYGULAMALARLA ARTIRILMA İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI

**Özgür AKIN**

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Tarım Makinaları Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT**

**2013, 93 Sayfa**

**Jüri**
**Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT**
**Prof.Dr. Cevat AYDIN**
**Prof.Dr. Fatih Mehmet BOTSALI**
**Doç.Dr. Tamer MARAKOĞLU**
**Doç.Dr. Hidayet OĞUZ**

Bu proje ile pancar bitkisinin hassas ekimini yapabilmek için şekerpancarı ekim robotu geliştirilmiştir. Ekim robotu ile ekim sisteminin her aşamasından bilgi edinilerek, ani hız değişimlerine hızla tepki verebilecek kontrol sistemleri sayesinde sıra üzeri anma mesafesi garanti edilebilir. İnsan müdahalesine ihtiyaç duyulmadan çalışan otomasyon temelli sistemler ile insan hatası faktörü ortadan kaldırılabilir.

Şeker pancar ekim robotu, 45 cm sıra arası mesafede, ayarlanabilen sıra üzeri mesafe ve farklı hızlarda etkin şekilde şekerpancarı ekimi yapılmasını sağlayacak tarzda tasarlanmıştır.

Laboratuvar ve tarla koşullarında yürütülen denemelerde şeker pancarı ekim robotunun sabit 21,5 cm sıra üzeri mesafe ve farklı ilerleme hızlarında tarımsal performans testleri, mekanik yapı testleri ve programsal kontrol algoritması testleri yapılmıştır.

Ekim robotunun laboratuvar denemeleri sonucunda (0,5- 1,5) Z değeri; diğer sistemlerden anlamlı şekilde farklı olarak, en düşük %95,7 en yüksek %99,1 tespit edilmiştir.

Ekim robotunu ikizlenme oranlarının laboratuarda en yüksek %0,9 ve tarlada %1,61 gibi küçük değerlerde olduğu görülmektedir. Ekim robotunun, mevcut hassas ekim sistemlerine kıyasla ikizlenme ve boşluk oranlarında başarı sağladığı görülmüştür.

Robot uygulamalı tarım ile aynı zamanda yüksek maliyet grubu oluşturan mükerrer ekim, tekleme/seyreltme uygulamalarını önemli ölçüde azaltılmış, aynı zamanda da robotun teknik özellikleri neticesinde çevrenin korunması sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ekim Kalitesi, Hassas Tarım, Şeker Pancarı, Ekim Robotu.

## ABSTRACT

**Ph.D THESIS**

**INVESTIGATION ON SEEDING QUALITY IMPROVEMENT POSSIBILITY OF SUGAR BEET WITH ROBOTIC APPLICATIONS**

**Özgür AKIN**

**The Graduate School Of Natural And Applied Science Of Selcuk University**
**Department of Agricultural Machinery**

**Advisor: Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT**

**2013, 93 Pages**

**Jury**
**Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT**
**Prof.Dr. Cevat AYDIN**
**Prof.Dr. Fatih Mehmet BOTSALI**
**Assoc.Prof.Dr. Tamer MARAKOĞLU**
**Assoc.Prof.Dr. Hidayet OĞUZ**

By this project, sugar beet robot has been developed intended for having carried out the precision sowing of sugar beet. By the control systems which rapidly respond to suddenly acceleration, row distance can be guaranteed by obtaining information from seeding robot and rowing system in every phase. Automation based systems working without human interference may provide that human error factor may be removed.

Sugar beet seeding robot is designed as to provide efficient sugar beet seeding with 45 cm row spacing, adjustable row distance and different speed.

Agricultural performance tests in fixed 21,5 cm distance between seeds and different travel speed, mechanic structure tests and programmed control algorithm tests for sugar beet seeding robot have been performed under laboratory and field conditions.

After the laboratory test results of seeding robot, Z value (0,5 - 1,5) desired to be high is determined as minimum 95,7% and maximum 99,1% substantially unlike other systems.

Multiple ratios of seeding robot is seen at low values such as maximum 0,9% in laboratory and 1,61% in field. Seeding robot having succeeded in multiple and missing ratio in contrast with the available precious seeding systems has been observed.

Due to the robot applied agriculture, high cost applications such as repeated seeding, precision application have been scaled down and also environmental protection by virtue of robot's technical properties has been provided.



**Keywords:** Seeding Quality, Precision Agriculture, Sugar Beet, Seeding Robot.

# ÖNSÖZ

Şeker pancarı önemli bir endüstri bitkisi olup, tarımı ise özen istemektedir. Şeker pancarı tarımında özellikle ekim çok önemlidir. Ekim işleminin bitki isteklerine tam uygun olarak yapılması ürün maliyetlerinin azaltılması yönünde önemli olacaktır. Geliştirilen ekim robotu ile Robot uygulamalı tarım ile yüksek maliyet grubu oluşturan mükerrer ekim, tekleme/seyreltme uygulamalarını önemli ölçüde azaltacak, etkin girdi kullanımı ve yüksek ürün verimi ile ülke ekonomisine katkı sağlayacak, aynı zamanda da robotun teknik özellikleri neticesinde çevrenin korunması hedeflenmiştir

Doktora eğitimim boyunca ve tezin hazırlanma aşamasında, danışmanlığımı üstlenerek, her konuda yardımını, bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen Prof. Dr. Hüseyin Öğüt'e;

Çalışma süresince, katkılarını, desteklerini benden esirgemeyen çalışma ekibim; Robotik Sistem Müdürü Mehmet Saatçi, Robotik Tasarım Müh. Resul Aydoğan, Makina Müh. Abdullah Erdemir, Makine Müh. Ömer Köksoy, Tekniker Adnan Tahsin Öcal, Teknisyen Mehmet Akman, Teknisyen Telat Şahin ve Endüstri Yüksek Müh. Ayca Karadağ Özceylan'a;

Tarla uygulamalarında yanımızda olan Çiftçi Halil Bayam'a,

Son olarak tüm hayatım boyunca her zaman yanımda olan, manevi desteklerini benden esirgemeyen, aileme ve canım oğlum Olçun Akın'a teşekkürlerimi sunarım.

Özgür AKIN
KONYA-2013

# İÇİNDEKİLER

**ÖZET** ..... **iv**

**ABSTRACT** ..... **v**

**ÖNSÖZ** ..... **vi**

**İÇİNDEKİLER** ..... **vii**

**SİMGELER VE KISALTMALAR** ..... **ix**

**ŞEKİL VE ÇİZELGE DİZİNİ** ..... **x**

**1. GİRİŞ** ..... **1**

1.1. Dünya Şekerpancarı Üretimi İçinde Türkiye'nin Yeri ..... 2
1.2. Türkiye ve Konya'da Şekerpancarı Tarımı ..... 3
1.3. Şeker Pancarı Üretiminde Ekim Kalitesinin Önemi ..... 5

**2. KAYNAK ARAŞTIRMASI** ..... **7**

**3. MATERYAL VE METOT** ..... **16**

3.1. Materyal ..... 16
3.1.1. Araştırmada geliştirilen şeker pancarı ekim robotu ..... 16
3.1.2. Araştırmada kullanılan tohumlar ..... 50
3.1.3. Laboratuvar deneme düzeni ..... 51
3.1.4. Deneme tarlası ..... 52
3.2. Metot ..... 56
3.2.1. Sıra üzeri tohum ve bitki dağılımlarının belirlenmesi ..... 56
3.2.2. Kabul edilebilir tohum ve bitki aralıkları oranının belirlenmesi ..... 57
3.2.3. Şeker pancarı ekim robotu ilerleme hızının belirlenmesi ..... 57
3.2.4. Tohum ekim derinliğinin belirlenmesi ..... 59
3.2.5. Ortalama çimlenme süresi (OÇS), çimlenme oranı indeksi (ÇOİ) ve tarla filiz çıkış derecesinin (TFÇ) belirlenmesi ..... 60
3.2.6. Toprak nemi ve hacim ağırlığının belirlenmesi ..... 60
3.3. Denemelerin Düzenlenmesi ve Yürütülmesi ..... 60
3.3.1. Laboratuvar denemelerinin düzenlenmesi ..... 60
3.3.2. Tarla denemelerinin düzenlenmesi ..... 61

**4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA** ..... **63**

4.1. Laboratuvar Denemelerinin Sonuçları ..... 63
4.1.1. Dane atım frekansının etkisi ..... 64
4.1.2. Robot ilerleme hızının etkisi ..... 66
4.1.3. İstatistik analiz sonuçları ..... 67
4.2. Tarla Denemelerinin Sonuçları ..... 69

**5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER** ..... **77**

5.1. Sonuçlar ..... 77
5.2. Öneriler ..... 79

**KAYNAKLAR ..... 82**

**ÖZGEÇMİŞ ..... 93**

# SİMGELER VE KISALTMALAR

## Simgeler

CV : Varyasyon katsayısı (%)
$V_m$ : Makine ilerleme hızı (m/s)
$V_p$ : Ekici disk çevre hızı (m/s)
i : Transmisyon oranı
$T_s$ : Referans–sağ tekerlek geri besleme sinyalinin periyodu (s)
$T_{sg}$ : Sağ tekerlek geri besleme sinyalinin ölçülen periyodu (s)
$T_{sol}$ : Sol tekerlek geri besleme sinyalinin periyodu (s)
$T_d$ : Tohum diski geri besleme sinyalinin periyodu (s)
$N_s$ : Sağ tekerlek enkoderinin 1 turda ürettiği pals sayısı (adet)
$N_d$ : Tohum diskinin enkoderinin 1 turda ürettiği pals sayısı (adet)
R : Sağ tekerlek yarıçapı (m)
A : Tohum diski üzerindeki delik sayısı (adet)
$R_s$ : Sağ tekerlek enkoderinin redüksiyon oranı
$R_d$ : Tohum diski enkoderinin redünsiyon oranı
Z : Ekim mesafesi (cm)

## Kısaltmalar

DAF : Dane atım frekansı (toh/s)
KETA : Kabul edilebilir tohum aralığı (%)
KEBA : Kabul edilebilir bitki aralığı (%)
TKD :Tohum konumundaki doğruluk (%)
BKD : Bitki konumundaki doğruluk (%)
OÇS : Ortalama çimlenme süresi (gün)
ÇOİ : Çimlenme oranı indeksi (adet/m.gün)
TFÇ : Tarla filiz çıkışı (%)
BDA : Bin dane ağırlığı (g)
PWM : Darbe genişlik modülasyonu
RF : Radyo frekansı
DC : Doğru akım
IR : Infrared
IMU : Inertial measurement unit
FPGA : Field-programmable gate array
GPRS : General Packet Radio Service
DGPS : Differential Global Positioning System
USART : Universal synchronous asynchronous receiver/transmitter
CP-DGPS: Carrier phase-based Differential Global Positioning System

# ŞEKİL VE ÇİZELGE DİZİNİ

## Şekiller

Şekil 1.1. Yıllara göre Türkiye şeker pancarı üretimi
Şekil 3.1. Şeker pancarı ekim robotu
Şekil 3.2. Ekim robotunda motorların yerleşimi
Şekil 3.3. Ekim robotunda kullanılan DC motor
Şekil 3.4. Ekim robotu üzerinde $^{1}/_{20}$ çevrim oranlı redüktör
Şekil 3.5. Ekim robotu üzerinde $^{1}/_{1,3}$ çevrim oranlı redüktör
Şekil 3.6. $^{1}/_{20}$ oranlı redüktör teknik özellikleri
Şekil 3.7. $^{1}/_{1,3}$ oranlı redüktör teknik özellikleri
Şekil 3.8. Ekim robotu üzerinde tohum deposu ve sensörler
Şekil 3.9. Tohum ekici mekanizma şematik çizim
Şekil 3.10. Disk tohum kursağı ve sensörleri
Şekil 3.11. Ekim robotu ekici diski
Şekil 3.12. Ekim robotunda kullanılan vakum motoru
Şekil 3.13. Ekim robotu vakum ölçme düzeneği
Şekil 3.14. Ekim robotunda kullanılan vakum motoru
Şekil 3.15. Vakum kanallarının görünüşü
Şekil 3.16. Tohum ekim ünitesi şematik çizimi
Şekil 3.17. Ekim robotu üzerinde tohum yolu borusu
Şekil 3.18. Ekim robotu ekici ayak ve baskı tekerleği
Şekil 3.19. Baskı tekerleği ölçüleri
Şekil 3.20. Ekici ayak ölçüleri
Şekil 3.21. Ekim robotu üzerinde ekim derinlik ayarı sağlayan motor
Şekil 3.22. Merkez kontrol ünitesi blok şeması
Şekil 3.23. Hareket kontrol sistemi blok diyagramı
Şekil 3.24. Ekim robotu hareket uyartım şeması
Şekil 3.25. H-köprüsü
Şekil 3.26. Ekim robotu DC-DC kıyıcı devresi blok şeması
Şekil 3.27. Enkoder yapısı
Şekil 3.28. Ekim kontrol ünitesi blok şeması
Şekil 3.29. Tohum sensörü
Şekil 3.30. Tohum algılayıcı sensör şematik gösterimi
Şekil 3.31. Şeker pancarı tohumu ölçüleri
Şekil 3.32. S.Ü.Z.F. yapışkan bant deney düzeneği
Şekil 3.33. Deneme tarlası görüntüsü
Şekil 3.34. Toprak penetrometre
Şekil 3.35. Ekim öncesi penetrasyon değeri
Şekil 3.36. Bir kare dalga sinyalin simülasyon görüntüsü
Şekil 3.37. Tekerlek-enkoder bağlantısının görünüşü
Şekil 3.38. Tohum ekim derinliğinin belirlenmesi
Şekil 4.1. Laboratuar çalışma düzeni
Şekil 4.2. Laboratuvar sonuçlarına ait histogram
Şekil 4.3. Ekim sonrası penetrasyon değeri
Şekil 4.4. Toprağın penetrasyon ölçümünden görüntü
Şekil 4.5. Tohum derinliği ölçümünden görüntü
Şekil 4.6. Ekim robotunun tarla uygulamaları

Şekil 4.7. Tohum filizlenmesi
Şekil 4.8. Şeker pancarı bitkisi
Şekil 4.9. Şeker pancarı kök gelişimi

**Çizelgeler**

Çizelge 1.1. En çok şeker pancarı üretimi yapan ülkeler
Çizelge 1.2. T.Ş.F.A.Ş. şeker fabrikaları ekim alanlarına ait veriler
Çizelge 1.3. Yıllar itibariyle Konya'da üretilen şeker pancarına ait veriler
Çizelge 3.1. Şeker pancarı ekim robotu teknik özellikleri
Çizelge 3.2. Basınç ölçer teknik özellikleri
Çizelge 3.3. Motor teknik özellikleri
Çizelge 3.4. Enkoder teknik bilgileri
Çizelge 3.5. Tohum algılayıcı sensör teknik özellikleri
Çizelge 3.6. Araştırmada kullanılan şeker pancarı tohumlarının bazı özellikleri
Çizelge 3.7. Ekim yapılan uygulama tarlasının toprak analiz sonuçları
Çizelge 3.8. Şeker pancarı için hazırlanan tohum yatağında toprak nem (%) değerleri
Çizelge 3.9. Toprak penetrometre teknik özellikleri
Çizelge 4.1. Ekim robotu laboratuar sonuçları
Çizelge 4.2. İstatistiksel sonuç tablosu
Çizelge 4.3. Varyansların homojenlik testi
Çizelge 4.4. Anova testi sonuç tablosu
Çizelge 4.5. LSD testi sonuç tablosu
Çizelge 4.6. Ekim robotu tarla sonuçları
Çizelge 4.7. Ekim robotunun tarla denemesi sonuçları

# 1. GİRİŞ

Günümüzde şeker üretimi, şeker pancarı ve şeker kamışından yapılırken 18. yüzyılın sonlarına kadar şekerin ham maddesi olarak şeker kamışı bilinmekteydi. Kimyasal yapısı bakımından şeker pancarının kökünde %20...%26, yapraklarında ise %11...%19 oranında kuru madde bulunmaktadır. Geri kalan kısmı ise sudan oluşmaktadır. Toplamda %30-45 oranında ki kuru maddenin büyük bir kısmını ise şeker oluşturur (Düşmezkalender, 2006).

Şeker çok çeşitli ürünlerden üretilebilmekte olup, dünya şeker arzı büyük oranda şeker kamışı ve şeker pancarından sağlanmaktadır. Dünya şeker borsa fiyatlarını ise, dünyada üretilen şekerin yaklaşık % 80' inini oluşturan ve ticarete hakim pozisyonda olan düşük maliyetli kamış şekeri belirlemektedir. Ülkemizde ve Avrupa'da iklim şartları nedeniyle daha ucuz bir hammadde olan kamış yerine stratejik bir ürün olan şeker pancarı üretilmektedir. Pancar şekerinin ihraç pazarlarında kamış şekeri ile rekabet şansı bulunmaması nedeniyle, ticaret amacıyla değil ama kendi kendine yeterlilik amaçlanarak üretilmektedir (Anonim, 2012a).

Şeker pancarında şeker oranı yüksek (%16...%18) olmakla beraber, ekim alanında yılda bir defa ürün alınması ve verimin şeker kamışı gibi yüksek olmayışı, ayrıca pancar şeker sanayiinin oldukça kompleks oluşu, şeker pancarı maliyetinin yükselmesine sebep olmaktadır. Şeker pancar tarımı yapılan bölgelerimizde, pancarın yan ürünü olan baş ve yaprakların çok besleyici birer hayvan yemi olması ayrıca küspe ve melas gibi sanayi artıklarının da önemli birer hayvan yemi olarak değerlendirilmesi hayvancılığın gelişmesine çok önemli etkilerde bulunmuştur. Şeker pancarı tarımı, fazla iş gücü isteyen tarımdaki gizli işsizliği, mevsimlik olarak da olsa, önleyen bir faaliyet koludur.

Şeker pancarı tarımının önemi aşağıdaki gibi sıralanabilir (Düşmezkalender, 2006);

- Şeker pancarı birim alandan, diğer ürünlere göre daha fazla besin ve enerji temin eder,
- Şeker pancarı tarımı ve sanayi yan ürünleri hayvancılığın gelişmesini teşvik eder,
- Şeker pancarı tarımı her yönden tarım kültürü ve tekniğini değiştirir,
- Şeker pancarı tarımı ve sanayisiyle çok büyük bir istihdam alanı olup, büyük işgücü hacmine sahiptir,
- Pancar şeker sanayi, yem, ispirto vs. gibi diğer sanayi kollarını geliştirir,
- Şeker pancarının tarımı ve sanayiinden devlet büyük ölçüde gelir temin eder.

Kaliteli ürün ve yüksek verim alabilmek için; uygun tarım arazisi, tarla hazırlığının doğru ve zamanında yapılması, kaliteli tohum kullanılması, zamanında ve bitki isteklerine uygun ekim yapılması, çapalama ve teklemenin zamanında yapılması, şeker pancarının yabancı ot rekabetinden kurtarılması, hastalık ve zararlılara karşı mücadele, bitkinin ihtiyacı kadar sulamanın zamanında yapılması, hasadın uygun makinalarla zayiatsız olarak yapılması gerekmektedir.

Birim alandan elde edilen şeker pancarı üretiminin artırılması için yapılan bilimsel çalışmalar ile gerçekleşen üretimin en az kayıp, en az maliyet ve kısa zamanda ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Türkiye'de özellikle mekanik ve pnömatik makinelerin ekimi ile elde edilen ürünün büyük bir kısmı boş geçme/ikizlenme/tekleme-seyreltme/mükerrer ekim gibi sonuçlar getirmektedir. Şeker pancarı tarımında, *Ekim Robotu* kullanılmasının önemi bu aşamada ortaya çıkmaktadır.

## 1.1. Dünya Şekerpancarı Üretimi İçinde Türkiye'nin Yeri

Dünyada 2012/2013 pazarlama yılı itibariyle şekerin % 79,4'ü kamıştan, % 20,6'sı pancardan üretilmiştir (Anonim, 2012a). Kamış şekerinin maliyeti işleme prosesinin kolaylığı ve şeker kamışının yılda birkaç hasat edilebilmesi nedeniyle pancar şekerine göre %40-50 daha ucuzdur. Bu nedenle dünyadaki şeker fiyatları kamış şekerine göre belirlenmektedir. AB ülkelerinin tamamına yakınında yani %95 oranında pancar şekeri üretimi yapılmaktadır. Bu Ülkeler daha ucuza kamış şekeri temin edebilecekleri halde şeker pancarı üretiminden vazgeçmemektedirler. Bununda nedeni pancar ziraatının ve sanayisinin üreticilere sağladığı katma değerdir. Çizelge 1.1.'de en çok şeker pancarı üretimi yapan ülkeler verilmiştir.

**Çizelge 1.1.** En çok şeker pancarı üretimi yapan ülkeler (Anonim, 2011)

| **Ülke** | **Miktar (milyon ton)** |
|---|---|
| Rusya | 47.6 |
| Fransa | 37.2 |
| A.B.D. | 26.2 |
| Almanya | 25.0 |
| Ukrayna | 18.7 |
| Türkiye | 16.1 |
| Polonya | 11.6 |
| Çin | 10.7 |
| İngiltere | 8.5 |
| Mısır | 7.4 |
| **Dünya Toplam** | **271.6** |

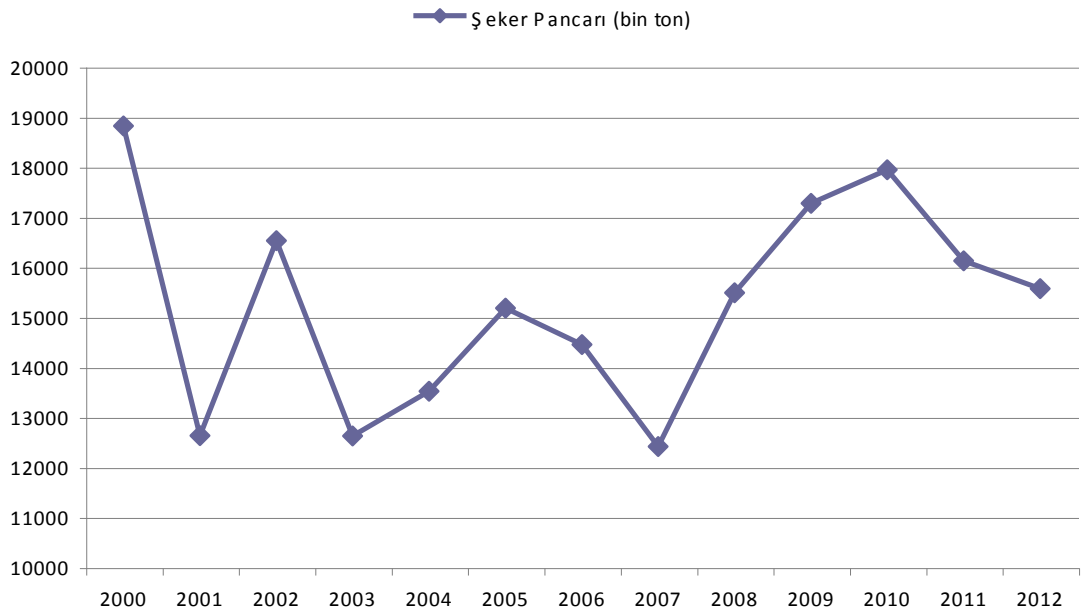
Çizelge 1.1.'de gösterilen verilere göre en fazla şeker pancarı üretimi Rusya tarafından gerçekleştirilirken, Rusya'yı sırasıyla Fransa ve Amerika takip etmektedir. Türkiye ise 10 en büyük üretici ülke payında 6. sırada yer alarak (16.1 milyon ton) dünya genelinde %5,9'lük bir orana sahiptir.

## 1.2. Türkiye ve Konya'da Şekerpancarı Tarımı

Türkiye'de iklim koşullarının şeker kamışı tarımına uygun olmaması nedeniyle, üretilen sakkaroz kökenli şekerin tamamı şeker pancarından elde edilmektedir (Düşmezkalender, 2006)

Dünya şeker pancarı üretiminde 6. sırada yer alan Türkiye'de şeker pancarı tarımı, ülkemizin Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri dışındaki beş bölgesinde yapılmaktadır. Türkiye'de şeker pancarı üretimi tarımın önemli bir parçası olup, 64 ilde, 5.877 köyde yaklaşık 500.000 adet çiftçi şeker pancarı tarımı ile uğraşmaktadır (Yardımcı ve ark. 2012).

Şekil 1.1.'de 2000 yılından 2012 yılına kadar Türkiye'deki şeker pancarı üretim miktarları verilmektedir.




**Şekil 1.1.** Yıllara göre Türkiye şeker pancarı üretimi (Anonim, 2012b)

Ülkemizde T.Ş.F.A.Ş.'nın sahip olduğu 25 şeker fabrikası KİT olarak sektörde yer almaktadır (Anonim, 2012c). Türkiye'nin mevcut 3 özel şeker fabrikası olan Konya, Amasya ve Kayseri Şeker Fabrikası Pankobirlik'e ait olarak faaliyetlerini

sürdürmektedir. Çizelge 1.2.'de T.Ş.F.A.Ş.'nın sahip olduğu, 25 şeker fabrikasının 2011/2012 yılındaki pancar ekim alanı ve işlenen pancar bilgileri verilmiştir.

**Çizelge 1.2.** T.Ş.F.A.Ş. şeker fabrikaları ekim alanlarına ait veriler (Anonim, 2012c)

| Fabrika | Pancar Ekim Alanı (Hektar) | İşlenen Pancar (Ton) |
|---|---|---|
| Afyon | 12.045 | 615,5 |
| Ağrı | 2.783 | 137,4 |
| Alpullu | 1.193 | 60,8 |
| Ankara | 8.096 | 434,5 |
| Bor | 7.250 | 365,0 |
| Burdur | 10.490 | 538,6 |
| Çarşamba | 240 | 0,0 |
| Çorum | 7.960 | 567,0 |
| Elazığ | 2.075 | 88,2 |
| Elbistan | 6.650 | 381,0 |
| Erciş | 6.236 | 100,0 |
| Ereğli | 15.140 | 917,5 |
| Erzincan | 4.305 | 192,5 |
| Erzurum | 7.116 | 237,0 |
| Eskişehir | 13.520 | 842,5 |
| Ilgın | 15.300 | 862,1 |
| Kars | 1.171 | 47,4 |
| Kastamonu | 6.630 | 226,0 |
| Kırşehir | 7.800 | 365,4 |
| Malatya | 4.960 | 216,0 |
| Muş | 11.900 | 244,0 |
| Susurluk | 1.341 | 0,0 |
| Turhal | 13.660 | 605,0 |
| Uşak | 3.708 | 189,0 |
| Yozgat | 6.700 | 324,6 |
| **TOPLAM** | **178.268** | **8.557** |

Çizelge 1.2.'ye göre, T.Ş.F.A.Ş.'nin Çarşamba ve Susurluk fabrikalarında 2012'de üretim gerçekleşmemiştir. Şeker fabrikalarındaki verilere göre gerek ekili alan gerekse üretim bakımından Konya'nın Ereğli ve Ilgın ilçelerinde bulunan T.Ş.F.A.Ş. fabrikaları Türkiye şeker üretiminde ilk sıralarda yer almaktadırlar. Eskişehir'de bulunan fabrika ise üçüncü sırada yer almaktadır

Çizelge 1.3.'de ise yıllara göre Konya'da şeker pancarı ekimi değerleri görülmektedir.

**Çizelge 1.3.** Yıllar itibariyle Konya'da üretilen şeker pancarına ait veriler (Anonim, 2012d)

| Yıllar | Pancar Ekim Alanı (Hektar) | Verim (Ton/Dekar) |
|---|---|---|
| 2007 | 23.010 | 39,7 |
| 2008 | 31.506 | 47,7 |
| 2009 | 35.721 | 57,0 |
| 2010 | 28.731 | 54,6 |
| 2011 | 22.673 | 58,4 |

### 1.3. Şeker Pancarı Üretiminde Ekim Kalitesinin Önemi

Günümüzde, hızla artan insan nüfusunun karşısında kaynakların azaldığı ve tarımda yoğun girdi kullanımı canlı yaşamını tehdit ettiği için hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin uygulanması kaçınılmaz olmuştur. İşlenebilir tarım arazilerinin sabit kalması tarım arazilerinin daha etkin kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Tarım arazilerinin ve tarımdaki girdilerin daha etkin ve verimli kullanılması gelişmiş bir tarımsal teknoloji olan robot tarım mekanizasyonları ile sağlanabilir.

Şeker pancarı ekiminde kaliteli ürün ve yüksek verim alabilmek için aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir;

- Uygun tarım arazisi,
- Tarla hazırlığının doğru ve zamanında yapılması,
- Kaliteli tohum kullanılması,
- Zamanında ve bitki isteklerine uygun ekim yapılması,
- Çapa ve teklemenin zamanında yapılması,
- Pancarın yabancı ot rekabetinden kurtarılması,
- Hastalık ve zararlılara karşı mücadele,
- Bitkinin ihtiyacı kadar sulamanın zamanında yapılması,
- Hasadın uygun makinalarla ve zayiatsız olarak yapılması.

Geleneksel yöntemlerle belirtilen bu hususlar tam olarak sağlanamamaktadır. Düşük maliyetle kaliteli şeker pancarı üretebilmek için, modern tarım usullerine ve çok daha hassas ekim tekniğine ihtiyaç vardır. Ekim robotları bu konuda önemli bir seçenektir. Robotik uygulamalar ile ekim sisteminin her aşamasından bilgi edinilebilir, ani hız değişimlerine hızla tepki verebilecek kontrol sistemleri ile sıra üzeri anma mesafesi garanti edilebilir. İnsan müdahalesine ihtiyaç duyulmadan çalışan otomasyon temelli sistemler ile insan hatası faktörü ortadan kaldırılabilir. Ekim robotu uygulaması ile şeker pancarı tarımında yüksek maliyet grubu oluşturan mükerrer ekim ve tekleme uygulamalarını önemli ölçüde azaltılabilir; etkin girdi kullanımı ve yüksek ürün verimi ile ülke ekonomisine katkı sağlanarak, robotun teknik özellikleri neticesinde ise çevrenin korunması hedefine ulaşılabilir.

Şeker pancarı ekiminde robot ile ekimin önemi geleneksel tarım ekiminden, hassas uygulamalı robot ile tarıma geçişle birlikte aynı miktarda girdi kullanımı ile daha fazla ürün ve ürün verimi elde edilebileceği için daha ekonomik üretim yapılabilir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu kısmında şeker pancarı ekimi ve kalitesi hakkında yapılmış olan bilimsel çalışmalara kısaca değinilmiştir.

Irla (1974), İsviçre'de satılan pnömatik ve mekanik olarak çalışan mısır ve pancar ekim makinalarıyla yaptığı karşılaştırmalı denemelerde, ilerleme hızının tohumların sıra üzeri dağılımlarına etkilerini laboratuar koşullarında araştırmış, ayrıca sonbahar ve ilkbaharda sürülmüş olan parsellerde yaptığı tarla denemelerinde ise, ilerleme hızının ekim derinliği ve tarla çıkışına olan etkilerini araştırmıştır. Tarla çıkışının ve bitkilerin uygun dağılışında optimum hızın pnömatik makinalar için 6 km/h ve mekanik makinalarda 3,5-5,0 km/h olduğunu belirtmiştir.

Önal (1975), Faese marka pnömatik hassas ekim makinasıyla kaplanmamış pancar tohumunun ekim olanakları üzerine bir çalışma yapmış, laboratuvarda yapışkan bant düzeninde 8 cm sıra üzeri ekim mesafesi, 7 cm tohum düşme yüksekliğinde ve 5 km/h'lik ilerleme hızında yapılan denemeler sonucunda %12,1 ikizlenme oranı, %1,3 boşluk oranı tespit etmiştir.

Hempsch ve Brinkmann (1975), pnömatik ekim makinalarında şeker pancarı ekim imkanları ve sınırlandırıcı faktörleri belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, ilerleme hızı, basınç ve farklı pnömatik sistemleri esas almışlar ve diskin çevre hızı ne kadar yüksek ise, dağılımında o derece bozuk olduğunu, mekanik esaslı ekici düzenlerin kaplanmamış monogrem tohumlarda başarısız olduğunu, mekanik esaslı ekici düzenlerden istenen başarının elde edilebilmesi için tohumluk ile makinanın organı arasında belirli bir uyumun olması gerektiğini, pnömatik sistemlerde ise ekici düzenin tohumluğun özelliklerine olan bağımlılığın azaldığını belirtmektedir.

Agness ve Luth (1975), laboratuar ve tarlada yapılan denemelerde sıra üzeri tohum dağılımlarının değerlendirilmesinde; tohumlar arası mesafenin, Z anma ekim mesafesinin 0,5 katından küçük, 0,5-1,5 katları arasında ve 1,5 katından büyük olan aralıkların yüzde oranlarına göre yapılmasını ve 0,5-1,5 arası değerleri oranının yüksek olmasının, sıra üzeri dağılım düzgünlüğü açısından uygun olacağını belirtmişlerdir.

Keskin (1982), çalışmasında, monogrem şeker pancarı tohumunun ekiminde, çalışma hızının ekim derinliğine ve sıra üzeri dağılım düzgünlüğüne etkisini belirlemiştir. Çalışma hızı artışının sıra üzeri dağılım düzgünlüğünü azalttığını, boş geçmeye ise fazla etkili olmadığını belirtmiştir.

Estler ve Maier (1985), Pnömatik ve mekanik hassas ekim makinalarının yapı tarzlarını incelemiş ve tüm organlarının fonksiyonlarını açıklamışlarıdır.

Önal (1987), Mekanik hassas ekim makinalarında ilerleme hızının artması halinde (> 5 km/h), ekici çark üzerinde bulunan yuvaların dolma katsayılarının azaldığını, tohumların zedelenme oranlarının arttığını ve çizide sürüklenmeler sebebiyle ekimde hassasiyetin azaldığını açıklamıştır.

Erol ve Göknur (1991), pnömatik ekim makinasıyla monogrem şeker pancarı tohumlarının ekiminde tohumların kaplanmış ve kaplanmamış olmasının sıra üzeri dağılım düzgünlüğüne etkisini araştırdıkları çalışmalarında, kaplanmış tohumla ekimin sıra üzeri düzgünlüğünü iyileştirmiş olduğunu, tohumdan ve zamandan tutum sağladığını belirtmişlerdir.

Öğüt (1991), yerli yapım vakum etkili pnömatik ekim makinasında ekim kalitesini incelemiş ve sonuçta depo yüksekliğinin ekim kalitesi üzerinde önemli olduğunu vurgulayarak buna ait öneriler getirmiştir.

Heege ve ark. (1993), pnömatik ekim makinalarında tohum dağılım düzgünlüğüne etkili başlıca faktörleri disk delik ölçüsü, disk çapı, disk delikleri arası mesafe, disk çevre hızı ve tohum düşme yüksekliği olduğunu belirterek, basıncın da bunlar üzerinde etkili olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca düzgün bir tohum dağılımının sağlanabilmesi için vakumun en azından 80 hPa, tohum borusunun da yine en az 4,5 mm çapında olması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Wolff (1993), araştırmasında bitki sıklığı, sıra üzeri mesafe ve hasat kayıpları arasındaki ilişkileri incelemiştir. Hasat kayıplarının az olduğu sınır aralıklarını 20 cm sıra üzeri mesafe ve hektarda 82.000 – 110.000 bitki olarak tespit etmiştir.

Çarman ve Hacıseferoğulları (1994), Şeker pancarı için mekanik hassas ekim makinalarında optimum ilerleme hızı ve düşme yüksekliği araştırmışlar ve ilerleme hızı olarak 0,5-0,75 m/s değerini, düşme yüksekliği olarak da 20-30 mm değerini önermişlerdir.

Lee ve ark. (1999), çalışmalarında, makine görüşü ve duyarlı kimyasal uygulamaları kullanarak yabancı otları sıralı olarak temizlemek amacıyla, seçmeli bitki öldürücü bir uygulama için geliştirilen gerçek zamanlı, akıllı bir robotik yabancı otlarla mücadele sistemi sunmaktadır. Çalışmaya göre, robotik görüş sisteminin 11,43 x 10,16 cm ebatlarındaki 10 adet dikili bitkiden oluşan bir ekim alanını, prototip kontrol sistemine saatte 1,20 km hızla alanda gezmesine izin vererek görüntüyü imgeleştirmesi 0,34 s zarfında gerçekleşmiştir.

Torii (2000), çalışmasında üniversitelerde ve devlet kurumlarında tarım makineleri üreticileri tarafından gerçekleştirilen çalışmaları incelemiştir. Tek boyutlu bir görüntü sensörünün gelişimi ve yapay sinir ağları ile genetik algoritmaların uygulanması Hokkaido Üniversitesi'nde, görüntü işleme ve bulanık mantık uygulamaları Tokyo Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiş; otomatik takip aracı Kyoto Üniversite'sinde, otomatik nakliye aracı Ehime Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Bir yelpaze robot ve insansız hava üflemeli bir püskürtücü, Bio-oriented Technology Research Advancement Institute (BRAIN) adlı kurumda geliştirilmekte olup, otonom bir pirinç ekici, bir yelpaze robot ve otonom yem traktörü Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık Bakanlığı'nın (MAFF) araştırma kurumunda geliştirilmektedir. Kubota Co. Ltd, otonom pirinç ekicileri ve tarım araçları geliştirmektedir. Asya ülkelerinden Kore'de, Tayvan'da ve bazı araştırmalar da Asya'nın başka ülkelerinde yürütülmektedir.

Astrand ve Baerveldt (2002) çalışmalarında, yabancı otların mekanik olarak temizlenebilmesi için otonom bir tarımsal mobil robot sunmaktadır. Bu robot iki adet görüş sistemi taşımaktadır. İlki, ekinler tarafından oluşturulan dizi yapısını tanıyabilmek ve diziler boyunca robota rehberlik edebilecek gri seviye görüş sistemi; ikincisi ise yabancı otlar arasındaki tek bir ekini bile tanımlayabilecek renkli görüş sistemidir. Bu görüş sistemi ekin dizisi içerisindeki yabancı otları gideren ayıklama aracını kontrol etmektedir. Dizi tanımlama sistemi özgün bir algoritmaya dayandırılmış, açık alan testleri ile geniş çaplı olarak test edilmiş ve sistemin ±%2 doğruluk oranı ile robota rehberlik edebileceği kanıtlanmıştır. Renkli görüşün tekil bitki tanımlamasında (ekinleri yabancı otlardan ayırt etmek gibi) uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Alt sistemlerin birlikte etkili bir şekilde çalışabildiğini göstererek, sistem, bir bütün olarak onaylanmıştır. Seradaki ilk deneme robotun ekin dizisi içerisindeki yabancı otları ayıklama kontrolünü yapabildiğini göstermiştir.

Hagras ve ark. (2002), çalışmalarında kısa bir zaman aralığında denetleyiciyi online olarak ayarlama ve hayat boyu öğrenebilme yetilerine sahip olan akıllı bir otonom tarım mobil robotu üretmek için geliştirdikleri çifte aşamalı Fuzzy-Genetic Sistemi sunmaktadır. Online ve yaşam boyu öğrenme stratejisi, açık havada çalışan motorların deneyimlerini artırma ve karşılaştıkları değişimler ile dinamik yapılandırılmamış tarımsal koşulları dikkate alarak kontrolörlerini adapte etme olanağı sağlamaktadır. Bu özellikler, sürdürülebilir tarım ve organik tarımda kullanılacak bir platform aracının gerçekleştirilebilmesi için gerekli bir özellik olan, dinamik tarımsal koşullar içerisinde hareket sürecinin sürekliliğine olanak vermektedir.

Bak ve Jakobsen (2004), Tarlalardaki yabancı ot varlığının haritalanması için geliştirilen robotik platform, gelişmiş tarım için yeni bir ispat edilebilir modelle sonuçlanan tarımda otonom araçlar için geliştirilen akıllı konseptler göstermek için kullanılmaktadır. Burada sunulan araçlar 0,25 ve 0,50 m ebatlarındaki dizi kesimlerinde kullanılmak için adapte edilmiş ve dizi rehberliği ve yabancı ot tespiti için kameralar ile donatılmaktadır. Modüler bir yaklaşım, dört çarklı yönlendirme ve platformun çalıştırıcı gücüne izin veren dört özdeş çark modülü ile birlikte alınmaktadır. Sonuç, dönüş sırasında aracın paralel olarak yer değiştirmesine izin veren gelişmiş devinimdir. Platformun kontrolü araç elektronikleri ve iç yerleşik kontrolörler merkezli kontrol sistemi ve standart iletişim protokolleri tarafından sağlanmaktadır. Yazılım, operasyonda hiyerarşik bozukluğa izin veren bir hibrit planlı yazılım yapısı sağlamaktadır. En düşük seviye, otomobil benzeri araçlar için basit kontrol genişlemesine dayanan bir duyarlı geri bildirim kontrol mekanizması sağlamaktadır. Kontrolör tasarım, aracın önünü ve arkasını önceden belirlenmiş bir yolu takip etmeye zorlar ve aracın yola ilişkin olarak sabit oryantasyonunu sürdürmesine izin verir. Kontrolör mantığın ana hatları belirlenmiş ve alandaki deneylerden sonuçlar çalışmada sunulmuştur.

Vougioukas ve ark. göre (2005) tarımsal uygulamalar için kullanılan otonom araçlar, uygulama esnasında uygulama alanında içeriğe bağlı reaktif davranış geliştirmenin yanı sıra, uygulamadan önce planlamak ve aracı en iyi seviyeye getirmek gibi kompleks görevleri eş zamanlı olarak yerine getirebilmelidir. Hibrit kontrol mimarisi bu tür uygulamalara tam olarak uymaktadır. Yaptıkları çalışmada hibrit mimariye dayanan biçimsel görev modellemeli bir çerçeve önermiş ve uygulamıştır. Her bir görev işlevsel modlar arası bir dizi geçiş olarak modellenmiş ve her bir mod eş zamanlı gerçekleşen bir grup basit nesne hareketlerinin bir örneği olarak tanımlanmıştır. Belirleyici yol takibi ve reaktif engel sakınma hareketlerinin birleştirildiği navigasyon görevlendirmesi örnek olay çalışması olarak uygulanmıştır. Robotun çalışması açık alanda başarıyla test edilmiş ve hem statik hem de dinamik engellerin varlığında düz moda (smooth mode) geçişin hiçbir bozulma olmaksızın gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Dinamik kullanım gridine dayanan virtüel kuvvet alanı metodu, modlar arası geçişteki yumuşaklık açısından- engel sakınma hareketlerini gerçekleştirmek için çok iyi bir aday olarak görünmektedir.

Yao ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada tarım araçlarının oldukça uzun bir süredir otomatik rehberliğe ihtiyaç duyduğunu öne sürmüştür. Onlara göre, tarım

araçlarının otomatik rehberliği, araçların uygun bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla, çalışma alanlarındaki pozisyonlarını belirlemek için bazı etkili metotlara sahip olmalıdır. Son dönemlerde, dünyanın her yerinde ve her türlü hava koşuluna elverişli GPS (Global Positioning System) alıcılarının mevcut olduğunu ifade eden Yao ve arkadaşları, GPS'in uzak tutulması ya da GPS ve kaba hesap sisteminin entegre edilmesine dayandırdıkları çalışmalarında tarım araçlarının otomatik rehberliği hakkında bir inceleme sunmaktadır.

Düşmezkalender (2006), mekanik ve pnömatik hassas ekim makinalarının tarla koşullarında, şeker pancarı tohumu ekiminde, sıra üzeri dağılım düzgünlüğüne etkisini araştırmış ve değerlendirme sonucunda; Şeker pancarı tohumu ekiminde sıra üzeri dağılım düzgünlüğü yönünden mekanik hassas ekim makinası ile birlikte pnömatik hassas ekim makinalarının da kullanılabileceğini sonucuna varmıştır.

Pedersen ve ark. (2006) çalışmalarında, otonom robotik araçların ekonomik fizibilitesinin, konvansiyonel sistemler ile üç uygulamada karşılaştırılması üzerine odaklanmıştır. Bu üç uygulama, özellikle şeker pancarı gibi değeri yüksek ekinlerin robotlarla ayıklanarak temizlenmesi, tahılların izlenmesi ve golf sahalarında çim biçme şeklindedir. Karşılaştırma, bu üç uygulamanın her biri için sistemler analizi ve bireysel ekonomik fizibilite çalışmasına dayanmaktadır. Sonuçlar üç uygulamada da robotik uygulamaların ekonomik olarak konvansiyonel sistemlerden daha uygulanabilir olduğunu göstermiştir. RTK-GPS (Real Time Kinematics - Global Positioning System)'in yüksek maliyeti ve araçların kapasitesinin sınırlı oluşu robotik sistemlerin maliyetini artıran temel parametrelerdir.

Vougioukas ve ark. (2006), çalışmalarında iki aşamalı hareket planlama algoritması sunmaktadır. İlk aşamada, algoritma muhtemel hareket alanlarını belirlemek için rastgele hale getirilmiş hareket planlama özelliğini kullanmakta ve uygulanabilir bir yaklaşık optimal yörüngeyi hesaplamaktadır. İkinci aşamada, birinci aşamadaki hareketin en uygun hale getirilmesi optimal kontrol çerçevesi içerisinde formüle edilmekte ve fonksiyon alanı eğimi bütün bir hareket maliyetini azaltmak için kullanılmaktadır. Sayısal sonuçlar, iki aşamalı hareket planlayıcısının optimal ya da optimalimsi hareketleri boş bir alanda çok hızlı bir şekilde hesaplayabilmektedir. Bununla birlikte, herhangi bir engelle karşılaşılması durumunda, işlemin yerine getirilme zamanı önemli bir ölçüde artmaktadır. Dahası, kino-dinamik ya da dinamik hareket modelleri, düzgün hareket yörüngeleri üretebilmek için gerekli görülmektedir.

Garcia-Pérez ve ark. (2008), bir tarım aracının otonom navigasyonu ile ilgilenmek için davranış yapısının hibrit etkenini sunmaktadır. Bu maksatla, konvansiyonel bir araç sürekli lokalizasyon ve çevresel data elde etmek ve dinamik çevre ile güvenli bir şekilde etkileşimde bulunabilmek için bir dizi sensör ve aktüatör ile teçhizatlandırılmıştır. Araç, bir dizi orta derece pozisyonlar ile, insan operatör ile önceden belirlenmiş bir deneme amaçlı yolu takip ederek otonom bir lokal pilotluk performansı sergilemektedir. Kablosuz LAN, insan süpervizör ve tarım makinesi arasında çift yönlü ulaşımı sağlamak için kullanılmaktadır. Sürekli ve kesin konumlandırma elde edebilmek amacıyla GPS sinyalleri yokluğunun üstesinden gelmek için sensör-füzyon algoritması öngörülmektedir. "İlerle, Dön, Dur, Engellerden kaçın" gibi bir dizi temel hareket etkenlerinden, tarımsal operasyonla ilgili "Düz hattı takip et, Sırayı değiştir" gibi daha spesifik etkenler tanımlanmıştır. Bazı sonuçlar, global navigasyonu göstermek için sunulmuştur.

Sakai ve ark. (2008), çalışmalarında, ağır materyallerle başa çıkabilen tarım robotları için bir manipülasyon sistemi önermekte ve manipülatör ve mobil platformun yapısal sistemlerinin seçildiğini ve tasarlandığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, muhafazakâr sonuçlardan kaçınırken, kontrol sistemleri de bu yapısal sistemler için parametrik kaygılar ve belirsizlik durumunda tasarlanmıştır. Hem yapısal sistemin hem de kontrol sisteminin geçerliliği, açık bir alanda yapılan karpuz hasadı yürütülmesiyle onaylanmıştır. Dahası, açık tasarım prosedürü hem yapısal sistem hem de kontrol sistemleri için onaylanmış ve üç anahtar tasarım aleti belirlenmiştir.

Billingsley ve ark (2008), tarım ve ormancılıkta robotların hiç de azımsanmayacak bir öneme sahip olduğunu ve çiftçilerin de kendi topraklarının zarar görme olasılığını en aza indirmek için otomatik araçların gerekliliğinin farkında olduklarını belirtmiştir. Otomatik algılama, işleme ve üretim sürecinin bu günlerde son derece olağan olduğunu belirten Billingsley ve arkadaşları, ormancılıkta ayaklı hasat makinelerinin uygulamada henüz büyük bir başarıya imza atmadıklarını ancak ince ayar, simultane lokalizasyon ile nakliyat ve haritalama tekniklerinin gelecekte endüstriyi değiştireceğinin altını çizmektedir.

Foglia ve ark. (2008), son yıllarda tarımda üretkenlik ve verimliliğin artırılması için robotların daha çok ön plana çıktığını belirtmiş, çalışmalarında özellikle taze pazar sebze ve meyvelerinin uzun zaman alan, pahalı ve yorucu hasat kaldırma işlemlerini inceleyerek, hasat işleminin maddi ve manevi külfetini düşürmek için geliştirdikleri pnömatik tabanlı bir robotik sistemi sunmuştur. Özellikle Kırmızı hindiba ve Rezene

üzerine örnekler sunan araştırmacılar kırmızı hindibanın hasat işlemi ve Rezenenin hasat sonrası işlemi ile ilgili bir robotik sistem ortaya koymaktadır. Ani kayıpları önlemek ve gerekli ürün stokunu sağlayabilmek için kırmızı hindiba, sapının yerin altından yaklaşık 10mm boyunda kesilmesine ihtiyaç duyar. Benzer bir şekilde, Rezene de hasat sonrası kökünden ve üst kısmındaki yapraklarından ayrılmak için bir kesim operasyonuna ihtiyaç duyar. Pazara açılmaya hazır hale gelen ürünün kalitesi de büyük oranda bu operasyonun doğru bir şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Foglia ve arkadaşları çalışmalarında, kırmızı hindiba hasadı için geliştirdikleri robotu bir manipulatör ve amaca uygun kıskaç olarak kullanılan iki adet dört çubuklu bağlantıdan oluşan bir zincir şeklinde sunmaktadır. Bu robotik hasat makinesi, ürünlerin ekim alanındaki yerlerini saptamak için, görevini görüş merkezli modül kullanarak otonom olarak yerine getirmektedir, ki buna da kırmızı hindiba görsel lokalizasyon modülü (radicchio visual localization module), yani RVL modülü denilmektedir. Foglia ve arkadaşları ayrıca görüş merkezli bir denetleme sistemi tarafından kontrol edilmekte olan yenilikçi bir mekanizma benimseyen, yeni hasadı yapılmış Rezenenin otomatik olarak kesimini yapan bir robotik sistem de ortaya koymaktadır, ki buna da Rezene bitki tanımlama modülü (fennel visual identification module), yani FVI modülü denilmektedir. FVI modülü bir taşıyıcı üzerinde aralıklı olarak gezen ve otomatik olarak çıkarılan kök ve yaprakları doğru bir şekilde tespit eden Rezene analizini yapmak için tasarlanmıştır. Her iki görsel algoritma da akıllı morfolojik özellikler ve renk filtresi merkezlidir.

Slaughter ve ark. (2008), çalışmalarında, robotik yabancı ot kontrol sistemlerinin, tarımın zahmetli görevlerinden birinin otomatikleştirilmesi anlamında çok şey vaat ettiğini savunmaktadır. Robotik teknoloji, sürdürülebilirliğini geliştirip çevresel etkileri azaltarak, tarımın ot öldürücülere olan mevcut bağımlılığını azaltmanın bir yolunu sağlayabilmektedir. Slaughter ve arkadaşları bu çalışmalarında, yabancı ot kontrolü için kullanılan genel amaçlı robotik sistemin başarılı gelişimi için gerekli olan dört çekirdek teknolojisinin (rehberlik, tespit etme ve tanımlama, sıralı yabancı ot kontrolünde hassasiyet ve haritalama) mevcut durumunu tanımlamaktadır. Dörtlüden, tarımsal alanlara mahsus çok çeşitli koşullar altında yabancı otları tespit etme ve tanımlama içlerinde en zorlu iş olarak görülmektedir. Az sayıdaki tamamlanmış robotik yabancı ot kontrol sistemleri işlem alanındaki teknoloji potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu potansiyeli tam anlamıyla anlayabilmek için ise daha fazla ek araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Edan ve ark (2009), çalışmalarında dış çevre doğasının yapılandırılamamasının başarısızlık şansını artırdığını ve makinelerin genellikle düşük teknolojili personel tarafından kullanıldığını belirtmiş, bu yüzden de asıl güvenlik ve güvenilirlik unsurlarının önemli bir özellik olduğunu ortaya koymuştur. Yiyecek güvenliğinin de steril edilecek otomatikleştirilmiş sistemler ve atık sızıntısına karşı güvenilirlik gerektirdiğini öne süren Edan ve arkadaşları çalışmalarında, tarla makineleri, sulama sistemlerini, sera otomasyonunu, hayvan otomasyon sistemlerini ve meyve üretim sistemleri otomasyonlarını içeren tarımsal otomasyon sistemlerini incelemektedir.

Özgüven (2009), hassas tarım teknolojileri kullanımının getirebileceği ekonomik potansiyeli, ülkemizde bu alanda yatırım yapacak işletmeler ve çiftçiler için ortaya koymuştur.

Bakker ve ark. (2010), çalışmalarında, tarıma elverişli çiftçilikte robotik yabancı ot araştırması için kullanılacak otomatik bir platformun sistematik tasarımını tanımlamıştır. Projenin uzun vadeli amacı, organik tarımdaki elle yabancı otları temizleme işleminin yerini otonom olarak makine ile temizleme işleminin almasıdır. Tanımlanan tasarı prosedürünün ayırt edici özelliği, tasarımcıyı sistematik olarak yeniden gözden geçirmeye ve alternatif çözüm seçeneklerini karşılaştırmaya zorlayan ve böylece de önyargı ya da inanç merkezli çözüm seçmeyi engelleyecek, yapılandırılmış bir tasarım yaklaşımının kullanımıdır. Tasarımın sonucu, dizel motorlu, hidrolik vitesli, dört çekişli ve dört tekerlek hareketli, çok yönlü bir araştırma aracıdır. Aracın sağlamlığı ve açık yazılım yapısı, sıra içi yabancı ot tespiti ve yabancı ot temizleme aktüatörleri için yapılacak geniş araştırma seçenekleri yelpazesinin incelenmesine izin vermektedir.

Bakker ve ark. (2011), şeker pancarı için otomatik burun da dâhil olmak üzere bir RTK-DGPS (Gerçek Zamanlı Kinematik Diferansiyel Küresel Konumlandırma Sistemi) tabanlı özerk alan navigasyon sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistem ile ürün eşleme ve davranış tabanlı reaktif tabakalı yapının faydaları gösterilmeye çalışılmıştır.

Gruere (2012), OECD ülkelerindeki gıda ve tarım sektöründe nano-teknolojinin gelişimini araştırmıştır. Tarımdaki teknoloji gelişiminin yatırım, yerel yönetim ve etik olmak üzere 3 farklı faktöre bağlı olduğunu belirlemişlerdir.

Xue ve ark. (2012), mısır tarlasında hareket edebilen değişken görüş alanlı yeni bir makine görüş metodu geliştirmişlerdir. Geliştirilen robot görüntü işleme algoritması

ile çalışıp, bulanık mantık kontrolü ile hareket etmektedir. 30 metrelik mesafe 3 tekrarlı olarak test edilmiş ve maksimum 15.8 mm sapma tespit edilmiştir.

Yukarıda verilen çalışmalara göre hassas ekim alanında bazı çalışmalar olmasına rağmen, ülkemizde, robotik uygulamalar ile şeker pancarı ekimine yönelik hassas ekim yöntemleri üzerine yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bilimsel çalışmalardaki bu boşlukların doldurulması adına, tez kapsamında şeker pancarında ekim kalitesinin robotik uygulamalarla artırılma imkanları araştırılmıştır.

# 3. MATERYAL VE METOT

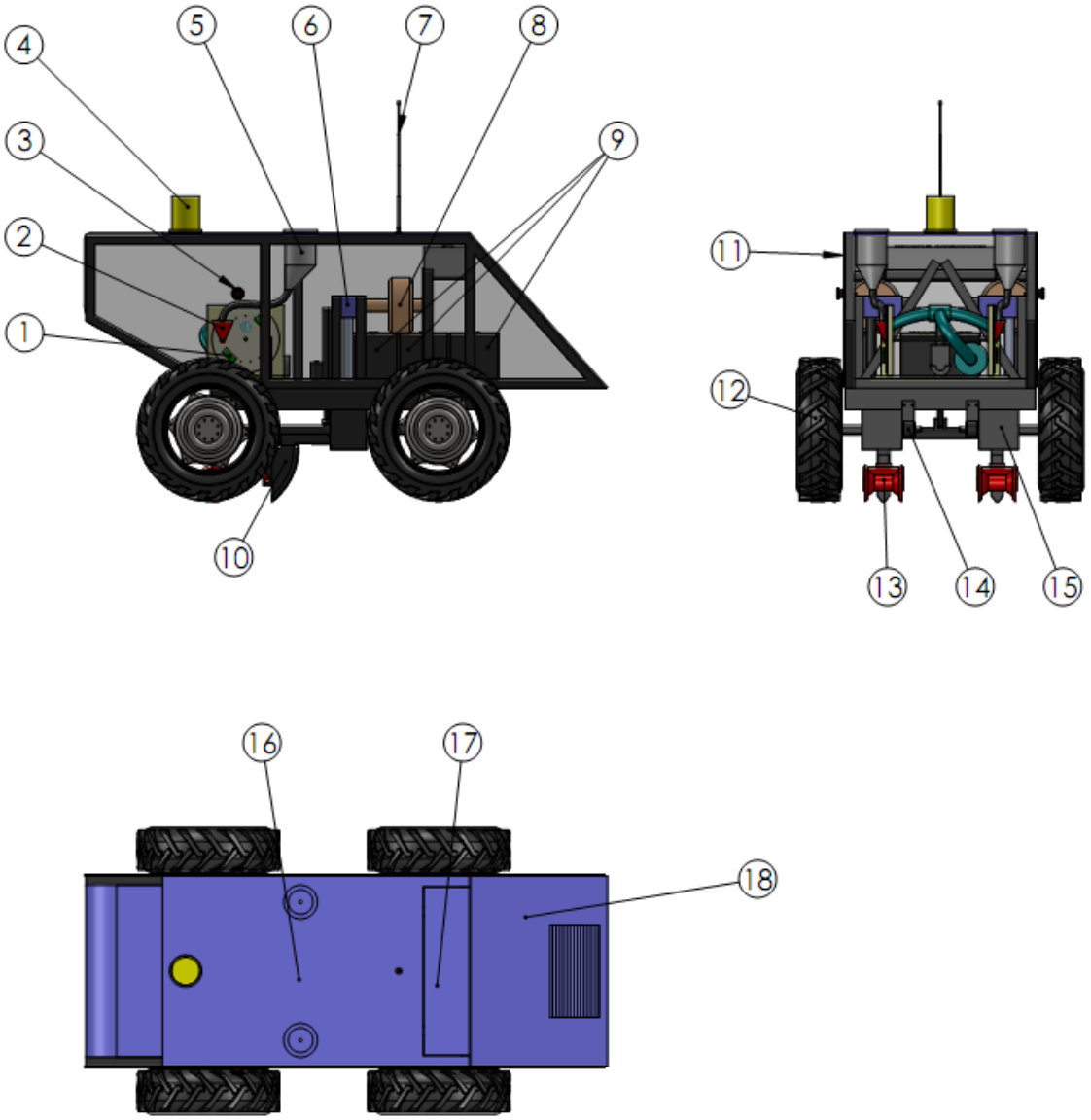
## 3.1. Materyal

### 3.1.1. Araştırmada geliştirilen şeker pancarı ekim robotu

Şeker pancarı ekim robotu, tasarım açısından mekanik ve elektronik olmak üzere birbirine bağımlı iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, tarıma uygun, uzun ömürlü ve kolay kontrol edilebilen mekanik bir yapı ile temel fonksiyonu elektrik motorlarını kontrol etmek olan elektronik sistemler ve sensörler ile telemetri sistemi ile gönderilen komutları yorumlayarak ekim işlemini tamamlamayı amaçlayan kontrol algoritmalarından oluşan yazılımlardır. Yazılımlar mikro denetleyici entegreler üzerinde, gömülü sistem formunda tasarlanmıştır. Telemetri birimi, 433 MHz sivil bant kablosuz haberleşme sistemi yoluyla operatör bilgisayarındaki yazılıma veri aktararak anlık olarak robotun izlenmesini sağlamaktadır. Gelen veriler görsel olarak grafiğe dökülebilmektedir. Ayrıca ekim mesafesi bu yazılım ile ayarlanmaktadır. Ekim robotu, hareket ünitesini ve ekim ünitesini taşıyan 4 tekerlekli bir şase üzerine inşa edilmiştir, Şekil 3.1.'de ekim robotunun görünüşü verilmiştir. Hareket, 2 adet 300 Watt DC elektrik motorları ile sağlanmaktadır. Motorlardan biri sağ ön-arka diğeri, sol ön-arka tekerlekleri tahrik etmektedir. Ekim ünitesinin hareketi sensör tabanlı bir ölçüm sistemi ile robot hızı ölçülerek, alınan ölçüme göre ekim ünitesi üzerindeki ekici diski tahrik eden DC motorun kontrol edilmesiyle yeniden üretilmektedir. Şeker pancarı ekim robotuna ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Şeker pancarı ekim robotu teknik özellikleri

| Teknik Özellikler | Birim | Değer |
|---|---|---|
| Uzunluk | mm | 1750 |
| Genişlik | mm | 1060 |
| Yükseklik | mm | 880 |
| Hareket tekerlek çapı | mm | 580 |
| Tohum deposu | adet | 2 |
| Sıra üzeri ekim mesafesi ayar aralığı | mm | 0...2500 |
| Sıra sayısı | adet | 2 |
| Sıra arası mesafe | mm | 450 |
| Ekici disk çapı | mm | 144 |
| Ekici disk delik çapı | mm | 2,65 |
| Ekici disk delik sayısı | adet | 15 |
| Ekici ayak tipi | - | Balta |
| Ekim derinliği | mm | 10...50 |
| Tohum düşme yüksekliği | mm | 250 |
| Tohum depo kapasitesi | $dm^3$ | 2,374 |
| Güç | HP | 10,6 |
| Kütle | kg | 256,8 |
| İlerleme hızı | km/h | 0...1,3 |




**Şekil 3.1.** Şeker pancarı ekim robotu

1. Tohum sensörü
2. Kursak
3. Acil durdurma butonu
4. İkaz lambası
5. Tohum deposu
6. $^{1}/_{20}$ Redüktör
7. Anten
8. Motor
9. Bataryalar
10. Gömücü ayak
11. Yan kapak
12. Tekerlek
13. Kapatıcı tekerlek
14. Enkoder
15. $^{1}/_{1,3}$ Redüktör
16. Üst kapak
17. Kontrol Ünitesi
18. Ön Kapak

### 3.1.1.1. Ekim robotu mekanik yapısı

Ekim robotunun hareketlerini sağlayan ve robotun yönlendirilmesini kontrol eden aynı zamanda tohum ekici mekanizmasını kapsayan mekanik ünite, iki ana gruptan oluşmaktadır;

1. Hareket ve yönlendirme mekanizması
2. Tohum ekici mekanizma

#### 3.1.1.1.1. Hareket ve yönlendirme mekanizması

Ekim robotunun toprak üzerindeki ileri-geri ve sağ-sol hareketlerini kontrol eden hareket ve yönlendirme mekanizması kendi içerisinde üç gruptan oluşur;

- Enerji (besleme) ünitesi
- Güç sağlayıcı (motor) ünite
- Güç aktarıcı ünite

***Enerji ünitesi***

Ekim robotunun batarya ünitesi, robotun hareket ve yönlendirme mekanizmasının gücünü sağlayan üç adet şarj edilebilir bataryadan oluşur. Kuru akü olarak adlandırılan bu bataryaların her biri 12 Volt 150 Ah olup, birbirlerine seri bağlıdırlar. Seri bağlı bataryaların sağladığı toplam güç Wh (watt saat) cinsinden 5400 Wh dir.

Bataryalar 10 dekar bir alanın ekimi için motorlardan çekilen yaklaşık akım değerlerine uygun olarak seçilmişlerdir. Buna göre sıra arası mesafe 0,45 m ve 10 dekar alan 100 m x 100 m'lik bir alan olarak düşünülürse, robotun toplam alacağı yol;

100 m (boy) / 0,45 m = 222 sıra,

Tek seferde iki sıra ekim yapıldığı göz önüne alınırsa;

(222 / 2) x 100 m (en) = 11.100 m (11,1 km) 'dir.

Ekim robotunun saatteki ekim hızı ortalama 1,3 km/h olarak alındığında, robot toplam mesafeyi;

11,1 km / 1,3 km/h = 8,53 saat sürede tamamlamaktadır.

Robotun ekim yaparak çalışabileceği süre yaklaşık olarak;

5400 Wh / 300Wh = 18 saat'dir.

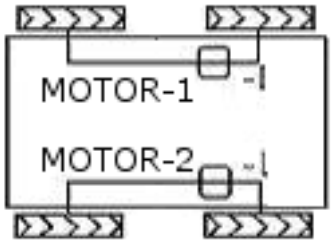
Bataryaların kapasitesi dekar olarak hesaplanırsa,

1,3 km/h x 0,45 m = 0,585 dekar / saat, 18 saat için,

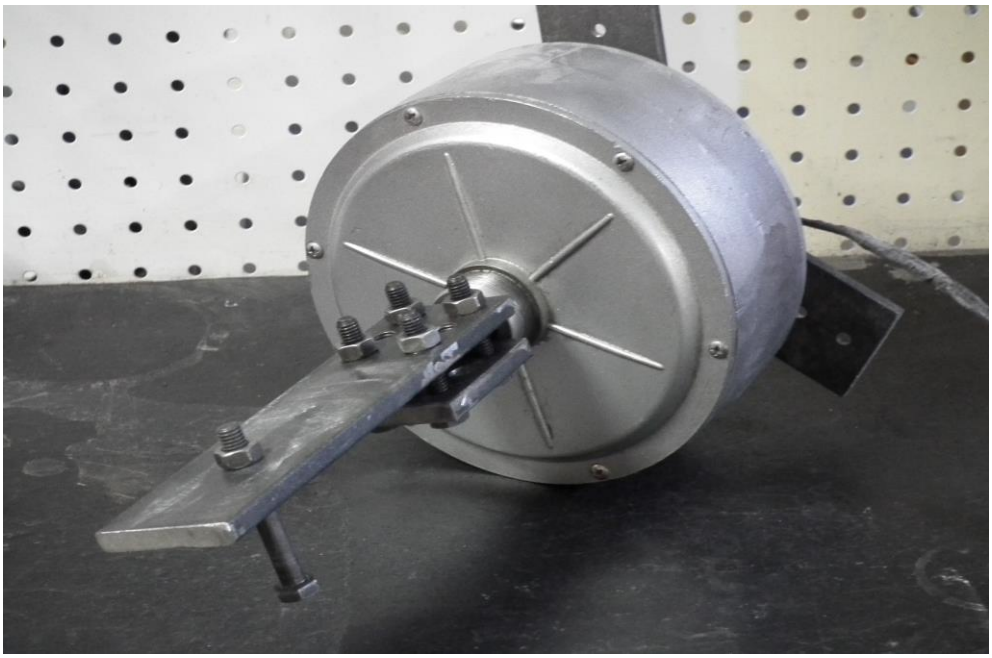
0,585 dekar / saat x 18 saat = 10,53 dekar olarak hesaplanır. Bataryaların yaklaşık 10 dekar alan için yeterli olduğu görülmektedir.

***Güç sağlayıcı ünite***

Ekim robotunun yön değiştirmesi sağ ve sol motorların ileri ve geri ters hareketi ile sağlandığından iki adet DC motor kullanılmıştır. Bu özellik sayesinde ekim robotunun ek bir alana ihtiyaç duymadan kendi merkezi etrafında dönebilir. Ekim sırasında sağ ve sol motorların ilerleme hızları ayrı ayrı kontrol edilebildiğinden, daha düz ve stabil hareket imkanı sağlar. Motorlar her biri 300 W güç sağlayabilen fırçalı DC motorlardır. Yapıları hız ve tork kontrolüne uygun olarak seçilmiştir. İçten tahrikli, sabit mıknatıslı, dönen dış rotora sahiptir. Alüminyum gövdesi uzun süreli aşırı yük altında çalışmadığı sürece ek bir soğutucu gerektirmez. Aşırı ısınmaya karşı motor içerisinde 85 $^{o}$C sıcaklığa ulaşıldığında devreyi açan termik koruması mevcuttur. DC 48 Volta kadar kullanılabilir. Motor sürücüsüne merkez kontrol sisteminden gönderilen PWM (darbe genişlik modülasyonu) sinyali ile hızı ayarlanmaktadır. Şekil 3.2.'de robot üzerindeki motorların yerleşimi ve Şekil 3.3.'de ise ekim robotu üzerinde kullanılan DC motor verilmiştir.




**Şekil 3.2.** Ekim robotunda motorların yerleşimi (üstten görünüş)



**Şekil 3.3.** Ekim robotunda kullanılan DC motor

***Güç aktarıcı ünite***

Ekim robotunun hareket etmesi için yüksek tork gerekebilir. DC motorlar yük altındayken yüksek akım çeker, bu durum batarya ömrünü azaltır. Motorların gücünü doğrudan kullanmak yerine redüksiyon ile gücü artırarak aktarmak gerekir. Ekim robotu üzerindeki motorların nominal devri robotun hareketi için ihtiyaç duyulan devirden yüksektir. Ekim robotunun motor tekerlek arası redüksiyon oranı $^{1}/_{26}$ dır.

Redüksiyon sonucu üretilen güç,

Tekerleklere aktarılan güç = Motor gücü x Toplam Redüksiyon oranı

= 300 W x 26 = 7,8 kW = 7800 W'dır.

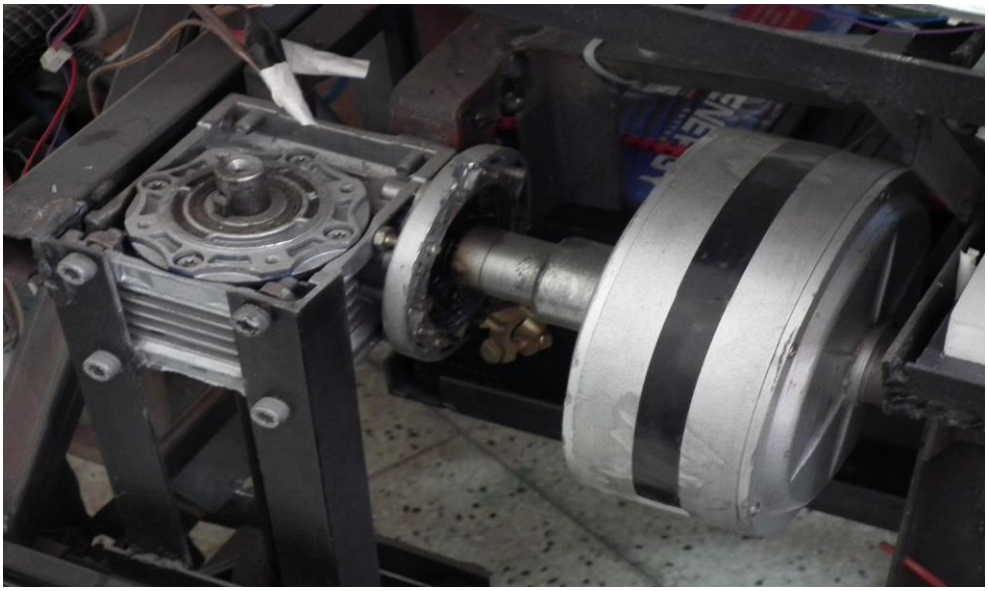
Üretilen gücü beygir gücü cinsinden hesaplayacak olursak (kayıplar "0" kabul edilerek);

1 HP = 736 W

7800 / 736 = 10,6 HP'dır.

Bu güç ekim robotunun hareketi için yeterli olmaktadır. Kullanılan redüktörlerden ilki, devri $^{1}/_{20}$ oranında düşürürken aynı zamanda motor dönüş yönünü 90 derece çevirmektedir, Şekil 3.4.'te ekim robotu üzerinde kullanılan $^{1}/_{20}$ çevrim oranlı redüktör ve motora bağlantısı görülmektedir. İkinci redüktör ise ön ve arka tekerleklerin

birlikte hareketini sağlamaktadır, Şekil 3.5.'te ekim robotu üzerinde kullanılan $^{1}/_{1,3}$ çevrim oranlı ikinci redüktör ve tekerlek bağlantısı görülmektedir.

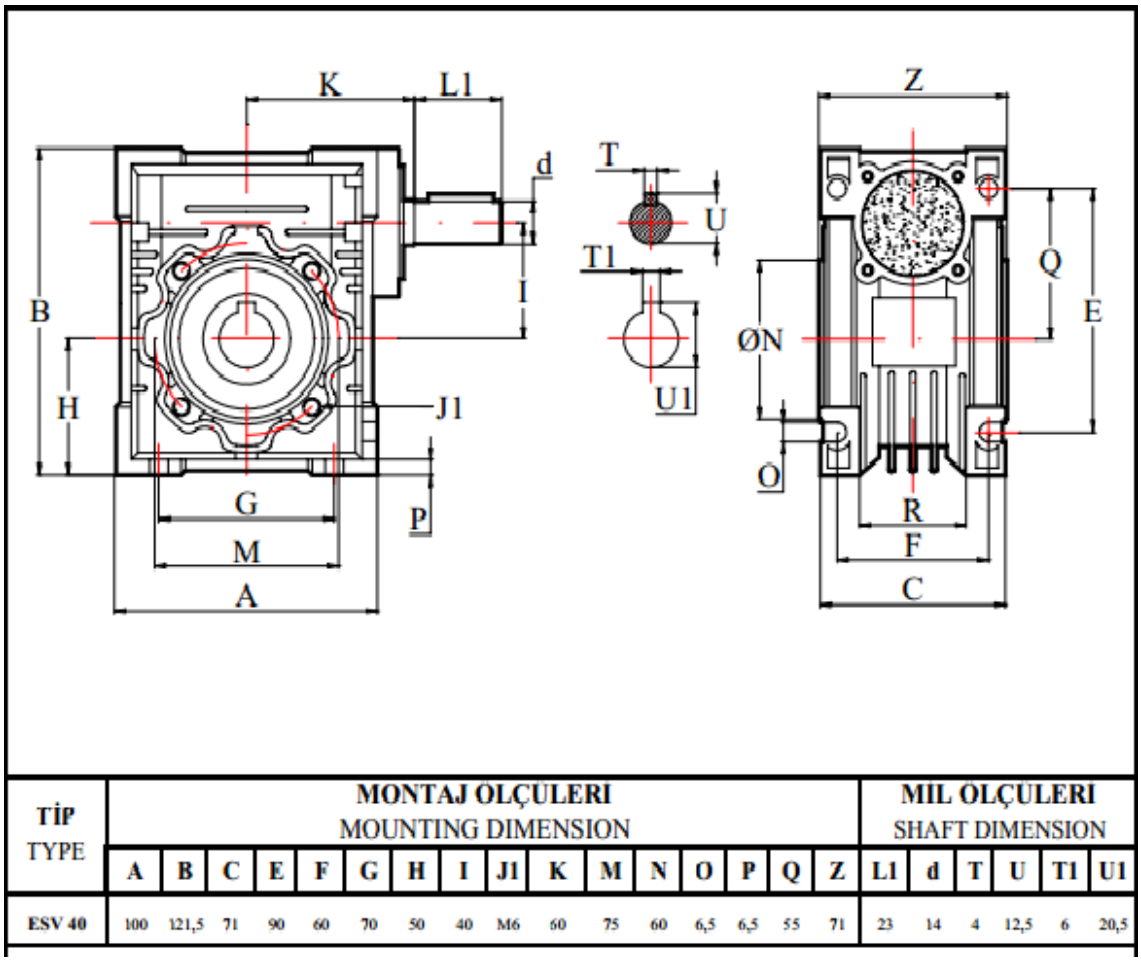


**Şekil 3.4.** Ekim robotu üzerinde $^{1}/_{20}$ çevrim oranlı redüktör

Şekil 3.6.'da ekim robotu üzerinde kullanılan $^{1}/_{20}$ oranlı redüktörün teknik özellikleri; Şekil 3.7.'de ise ekim robotu üzerinde kullanılan $^{1}/_{1,3}$ oranlı redüktörün teknik özellikleri görülmektedir.

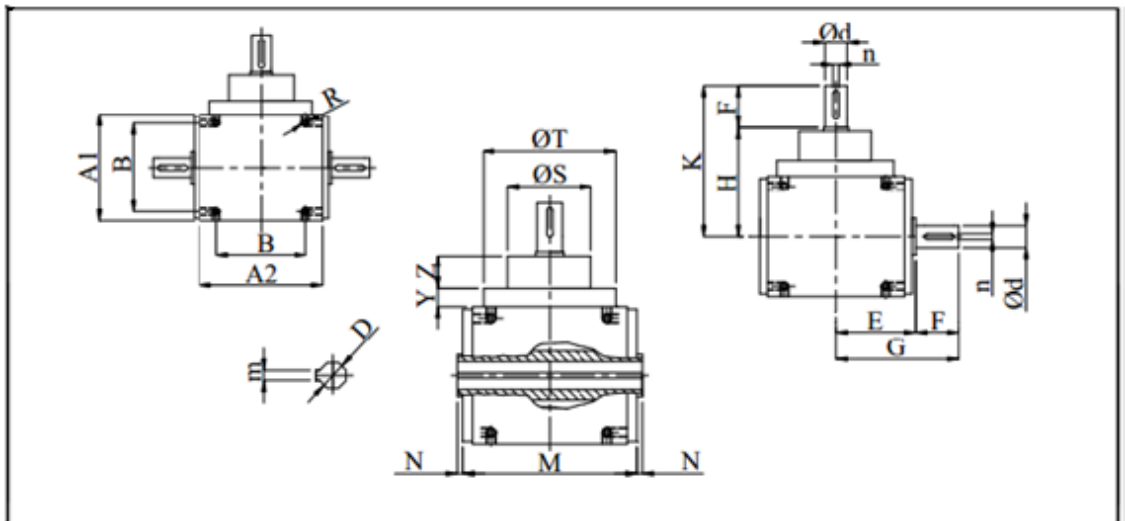


**Şekil 3.5.** Ekim robotu üzerinde $^{1}/_{1,3}$ çevrim oranlı redüktör




| TİP TYPE | MONTAJ ÖLÇÜLERİ MOUNTING DIMENSION | | | | | | | | | | | | | | | MİL ÖLÇÜLERİ SHAFT DIMENSION | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | E | F | G | H | I | J1 | K | M | N | O | P | Q | Z | L1 | d | T | U | T1 | U1 |
| ESV 40 | 100 | 121,5 | 71 | 90 | 60 | 70 | 50 | 40 | M6 | 60 | 75 | 60 | 6,5 | 6,5 | 55 | 71 | 23 | 14 | 4 | 12,5 | 6 | 20,5 |

**Şekil 3.6.** $^{1}/_{20}$ oranlı redüktör teknik özellikleri




| TİP TYPE | A1 | A2 | B | Ød | ØD | E | F | G | H | K | m | M | N | n | R | ØS | ØT | Y | Z | Kg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M-100 | 100 | 120 | 80 | 18 | 20 | 66 | 35 | 101 | 91 | 126 | 6 | 126 | 3 | 6 | M8 | 60 | 96 | 13 | 25 | 11 |

**Şekil 3.7.** $^{1}/_{1,3}$ oranlı redüktör teknik özellikleri

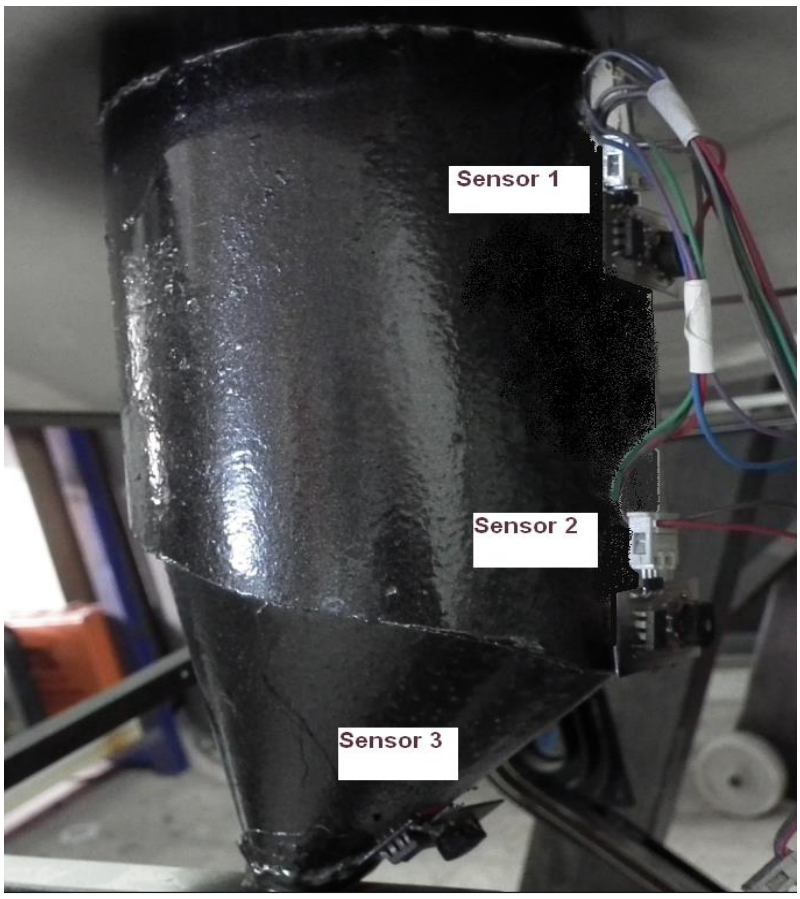
### 3.1.1.1.2. Tohum ekici mekanizma

Şeker pancarı tohumunun, tohum deposundan toprağa bırakılmasına kadar olan süreçte üç ana bölümden oluşur;

1. Tohum deposu
2. Tohum ekici
3. Gömücü ayak

***Tohum deposu***

Tohum deposu, tohumların ekici düzene gönderilmesi için depolandığı bölümdür ve tasarlanan robot üzerinde iki adet tohum deposu bulunmaktadır. Tohum deposunun içerisinde üç adet sensör bulunmaktadır, bu sensörler tohum deposunun doluluk oranını bildirir. Şekil 3.8.'de tohum deposu ve sensörlerin depo üzerindeki konumu gösterilmiştir.

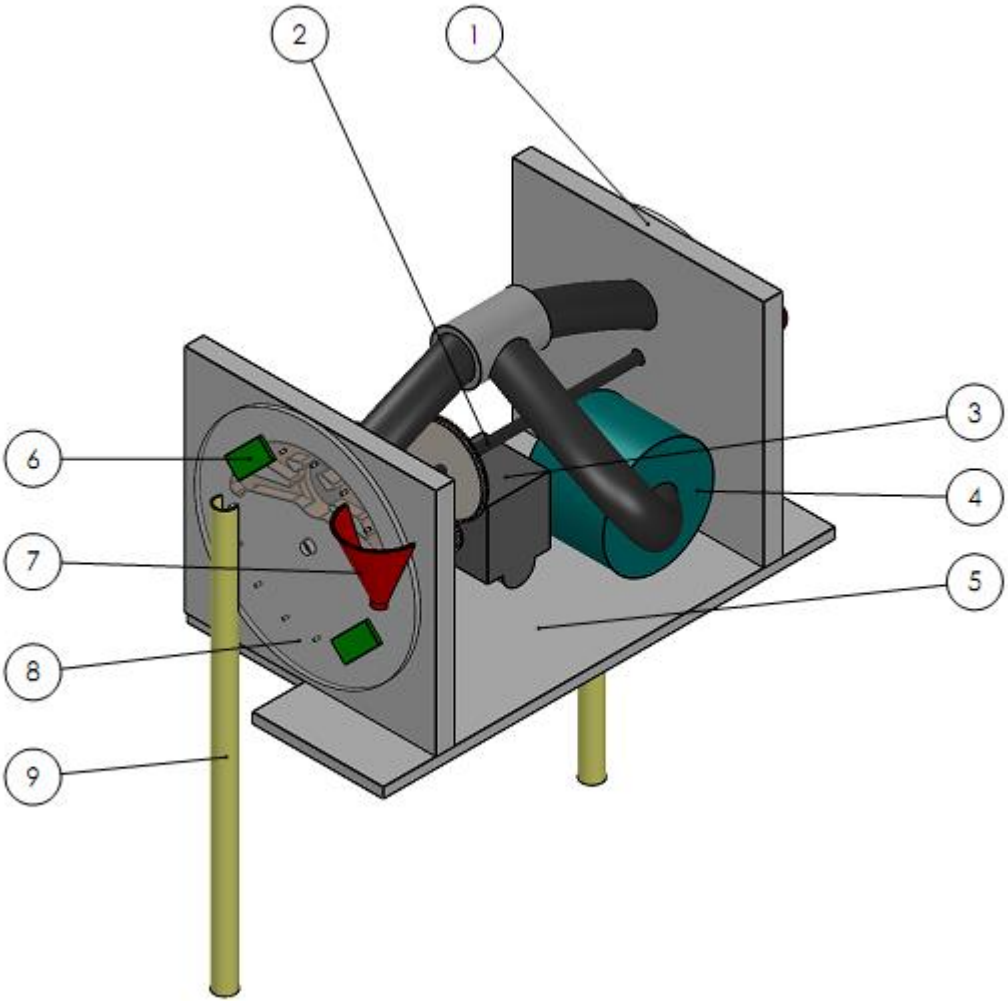



**Şekil 3.8.** Ekim robotu üzerinde tohum deposu ve sensörler

Sensörler, depo üzerine yerleştirildikten sonra, depo ortamının ışığına göre kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sonucunda, Sensör 1'in "depo dolu", Sensör 2'nin "depo yarı dolu", Sensör 3'ün "tohum bitmek üzere" sinyallerini doğru olarak bildirdiği gözlemlenmiştir.

***Tohum ekici***

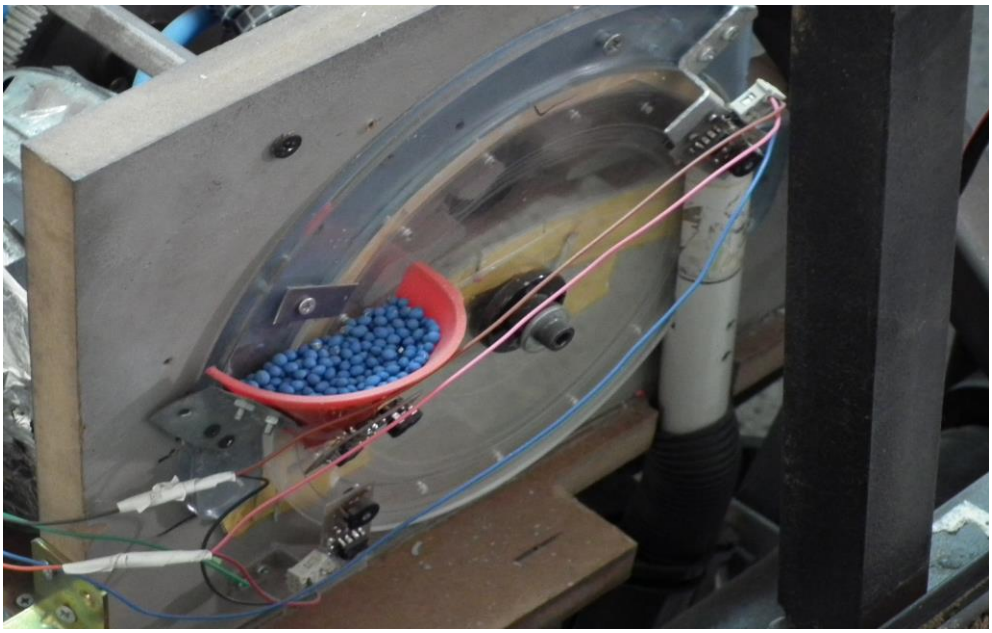
Tohum ekici düzen, tohum deposundan gelen tohumların ekici ayağa istenilen sıklıkta gönderilmesini sağlayan düzenektir. Tohum ekici bölümünün şematik gösterimi Şekil 3.9.'da verilmiştir.




**Şekil 3.9.** Tohum ekici mekanizma şematik çizim

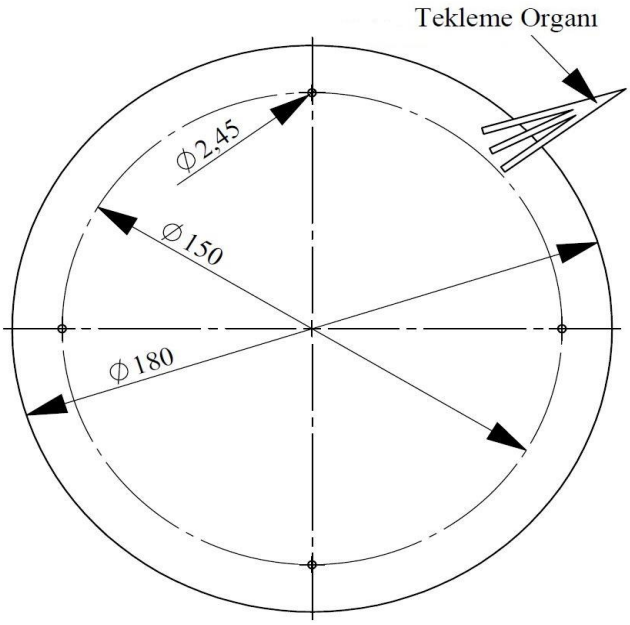
1. Yan tabla
2. Tahrik mili
3. Disk motoru
4. Vakum motoru
5. Alt tabla
6. Tohum sensörü
7. Kursak
8. Seçici disk
9. Tohum borusu

Tohum kursağı; diske verilecek olan tohumların belli bir adette tutulduğu bölümdür. Şekil 3.10.'da ekim robotunun disk tohum kursağı ve sensörleri görülmektedir. Tohum kursağı üzerinde bir adet sensör barındırır, kursakta yeterli miktar tohum sürekli bulunmalıdır. Aksaklık durumunda sensör merkez kontrol sistemini uyarır. Ekici disk üzerinde bulunan ikinci sensör düzenli biçimde alınmış olan tohumları sayar ve herhangi bir nedenle oluşabilecek tohum alınamama durumunda merkez kontrol sistemine sinyal gönderir.



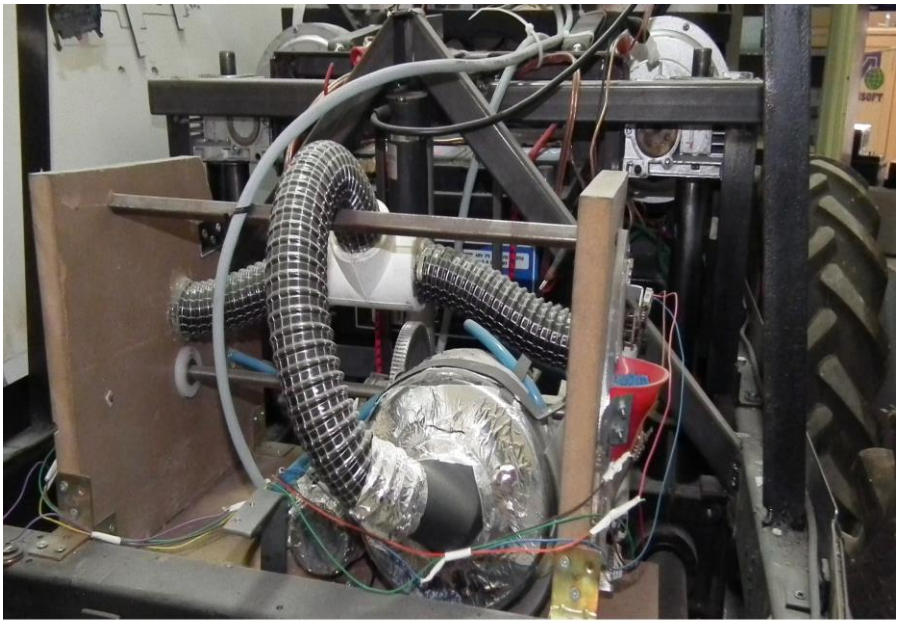
**Şekil 3.10.** Disk tohum kursağı ve sensörleri

Tohum ekici disk ve tekleme organı; disk üzerinde eşit aralıklarla açılmış 15 adet delik, 180 mm'lik daire üzerine delinmiştir. Diskin hızı, ekimin yapılacağı mesafeye uygun olarak, merkez kontrol ünitesi tarafından kontrol edilen motorla ayarlanır. Şekil 3.11.'de ekim robotunda kullanılan ekici diskin şematik görünüşü verilmiştir.



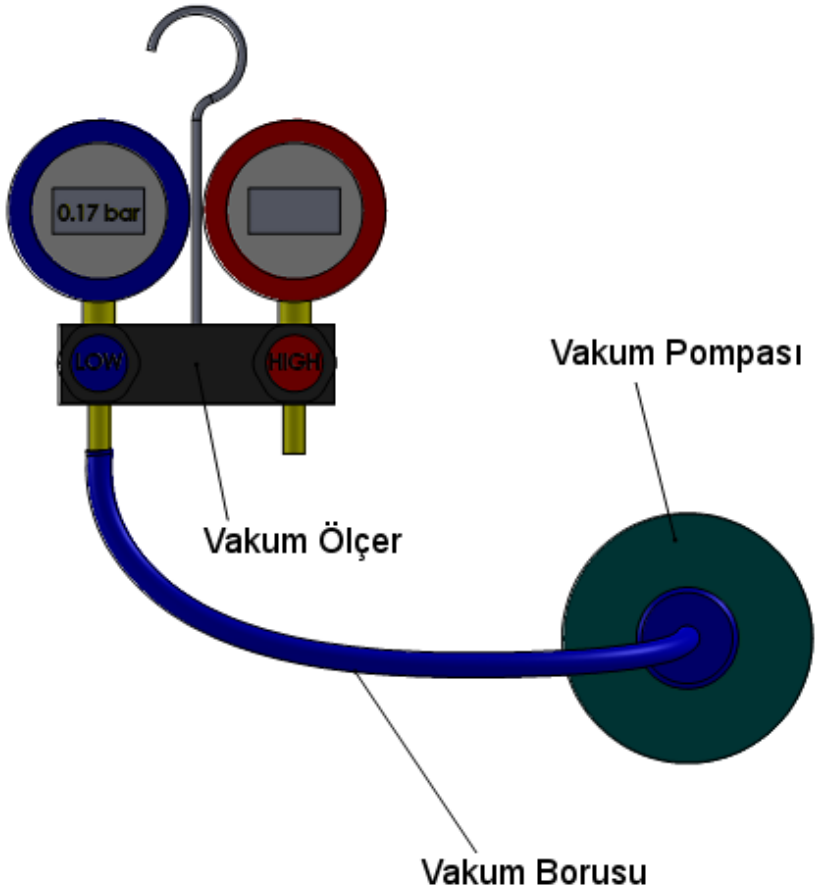

**Şekil 3.11.** Ekim robotu ekici diski

Vakum motoru; tohumların disk yüzeyine tutunmaları için gerekli olan vakumu oluşturur. Tohum ekici disk üzerine açılmış olan deliklere vakum sayesinde tohumların tutunması sağlanır. Şekil 3.12.'de ekim robotunda kullanılan vakum motoru görülmektedir. Vakum motorunun hızı ekim hızına bağlı kademeli olarak değiştirilebilir. 36 V DC maksimum 18.000 devir/dakika hızında dönen elektrik motoru 170 mbar'lık bir vakum oluşturur. Vakumun bu seviyede oluşabilmesi için salyangoz tip fanlı motor kullanılmıştır.



**Şekil 3.12.** Ekim robotunda kullanılan vakum motoru

Vakum motorunun oluşturduğu vakum değeri dijital vakummetre ile ölçülmüştür. Ölçüm düzeneği Şekil 3.13.'de görülmektedir.




**Şekil 3.13.** Ekim robotu vakum ölçme düzeneği

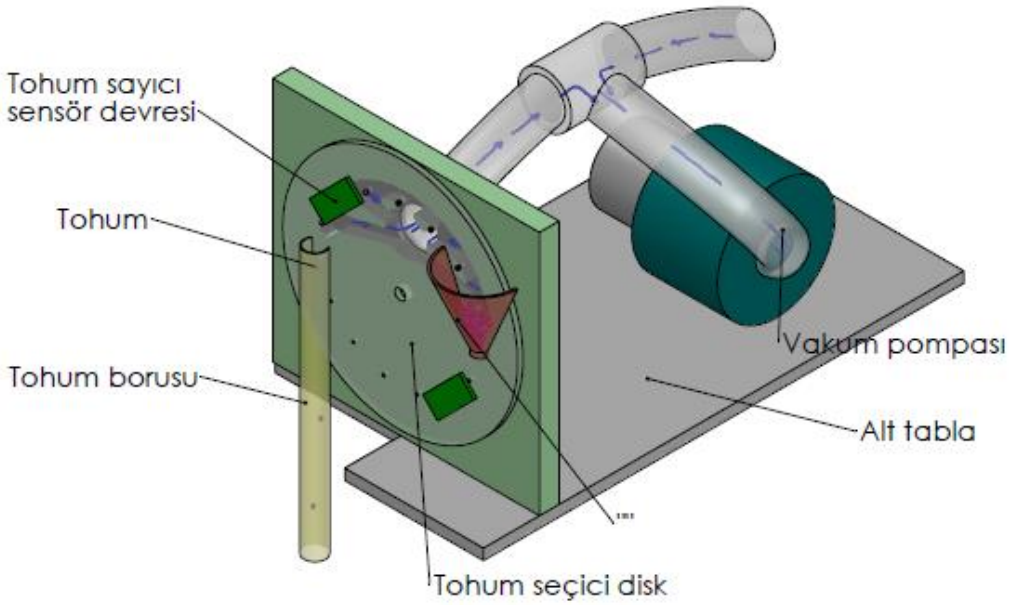
Kullanılan dijital basınç ölçerin teknik özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Basınç ölçer teknik özellikleri

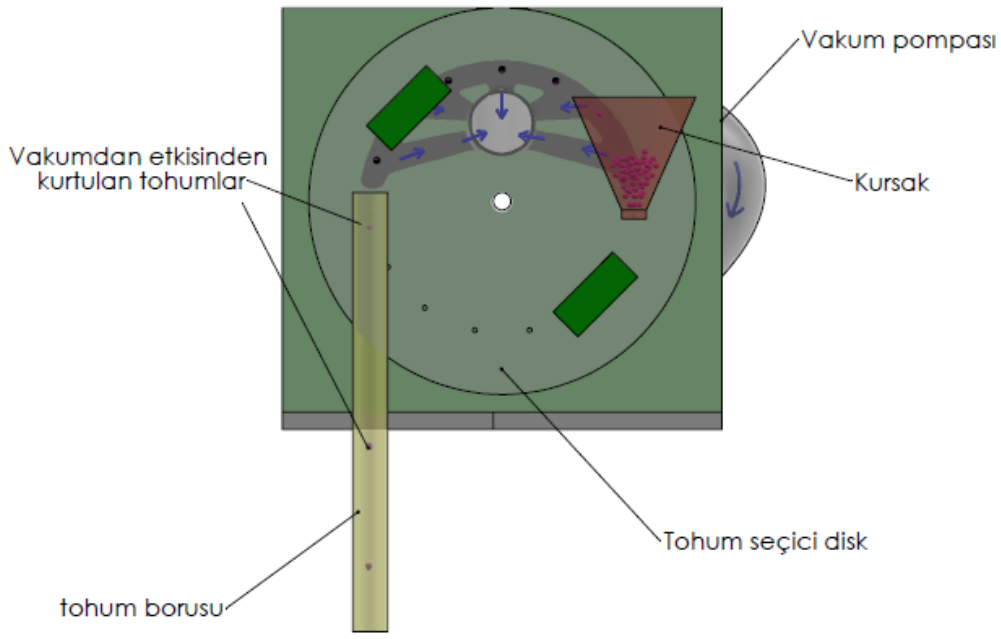
| Özellikleri | Değer |
|---|---|
| Basınç ölçü birimleri | psi / bar / kpa |
| Sıcaklık ölçü birimleri | Santigrat ve Fahrenayt |
| Çözünürlük | 0.5 psi |
| Ölçüm aralığı | -29,9...130 psi |
| Sıcaklık ölçüm aralığı | -40 – 120 $^{o}$C |
| Güç | 9V pil |
| Pil Ömrü | 48 saat (sürekli kullanımda) |

Disk tarafından tohumlar Şekil 3.14. ve Şekil 3.15.'te gösterildiği gibi vakum etkisi ile kursaktan tek tek alınır. Diskin üst yarım kısmını oluşturan vakumlu bölgede Şekil 3.14.'te görüldüğü üzere vakum etkisi ile disk üzerine tutunarak diskin vakum

etkisinin bittiği bölgeye kadar devam eder. Tohum, vakum etkisinin bittiği yerden itibaren serbest düşüşe geçer ve buradan ekici ayağın yararak araladığı toprak içerisine düşer.



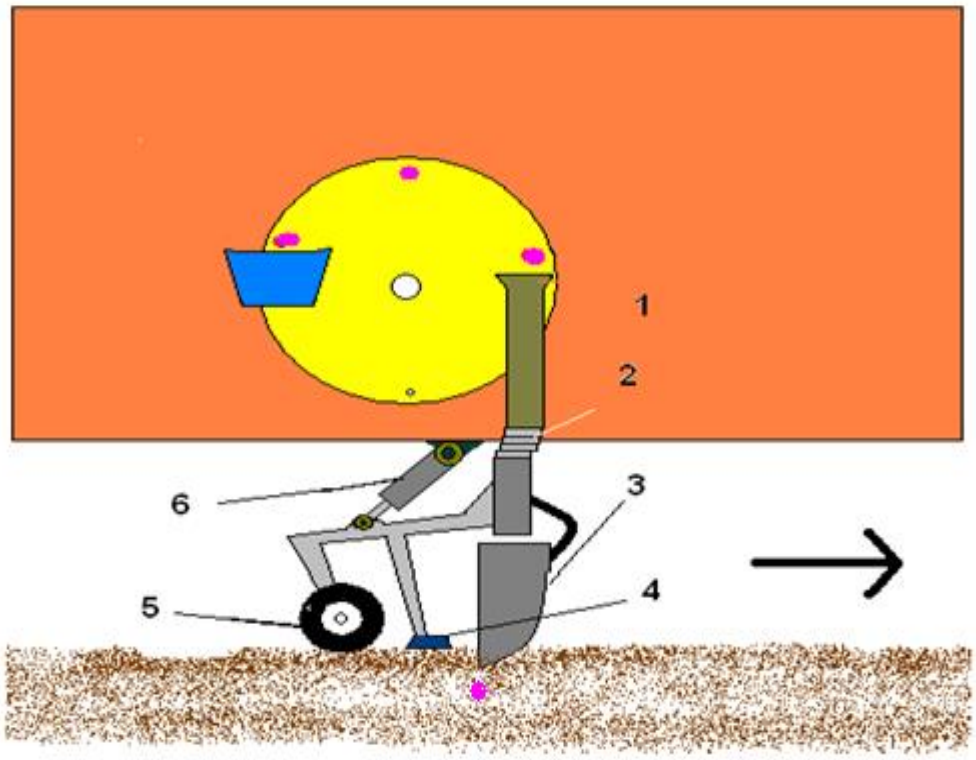

**Şekil 3.14.** Ekim robotunda kullanılan vakum motoru




**Şekil 3.15.** Vakum kanallarının görünüşü

***Gömücü ayak***

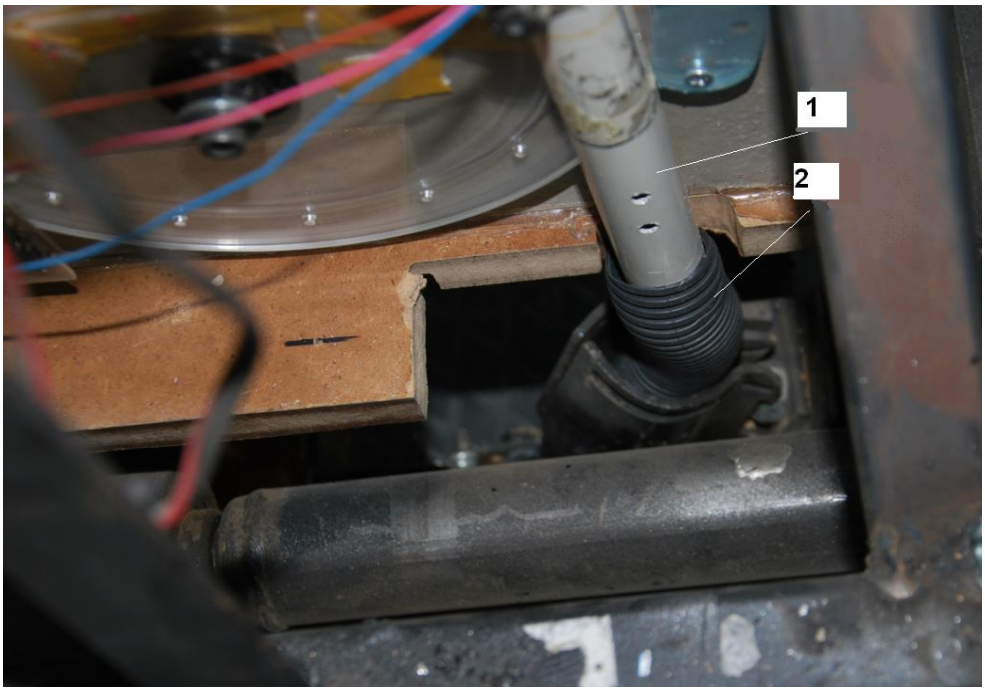
Gömücü ayak bölümünün şematik gösterimi Şekil 3.16.'da verilmiştir.




**Şekil 3.16.** Tohum ekim ünitesi şematik çizimi

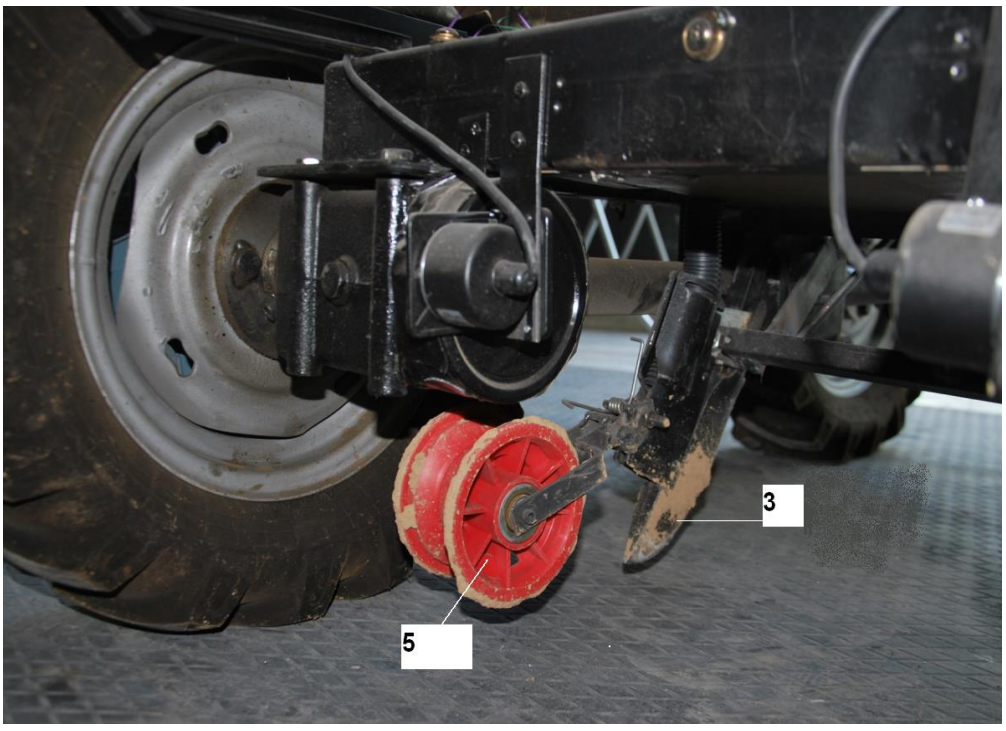
1. Tohum borusu
2. Tohum borusu esnek kısım
3. Ekici ayak
4. Kapatıcı
5. Baskı tekerleği
6. Derinlik ayar mekanizması

Disk tarafından tek tek alınan tohumlar, tohum borusuna bırakılır ve tohum serbest düşüşle ekici ayağa doğru iner. Ekici düzenin ekim derinlik ayarı değiştirilebilir olduğundan tohum borusunun bir kısmı esneyebilir özellik taşımaktadır. Şekil 3.17.'de ekim robotu üzerinde tohum borusu görülmektedir.

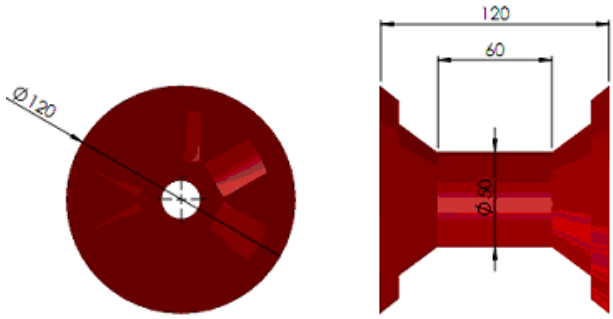



**Şekil 3.17.** Ekim robotu üzerinde tohum yolu borusu

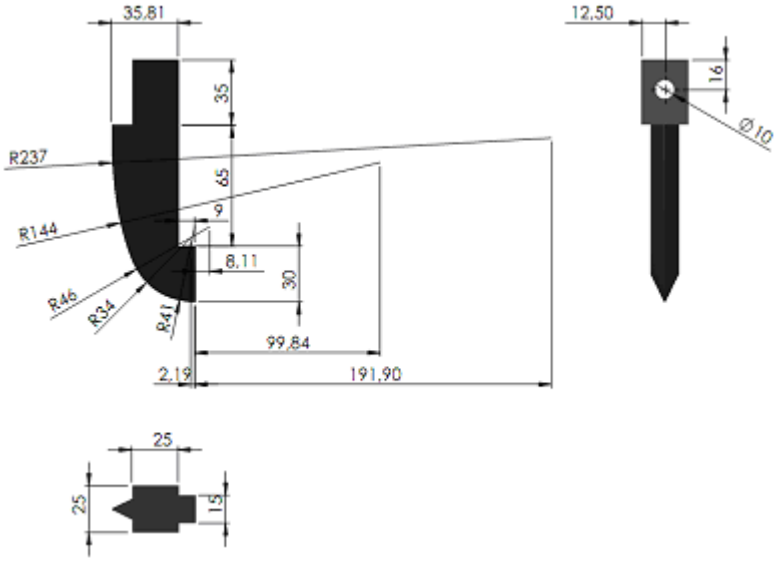
Ekici ayağın ucunda yer alan ayak, merkez kontrol sistemine gönderdiğimiz derinlik bilgisi doğrultusunda tohumun toprak içerisine yerleşmesini sağlar. Şekil 3.18.'de ekim robotu üzerinde ekici ayak ve baskı tekerleği, Şekil 3.19.'da baskı tekerleğinin ölçüleri, Şekil 3.20.'de ekici ayak ölçüleri görülmektedir.




**Şekil 3.18.** Ekim robotu ekici ayak ve baskı tekerleği




**Şekil 3.19.** Baskı tekerleği ölçüleri

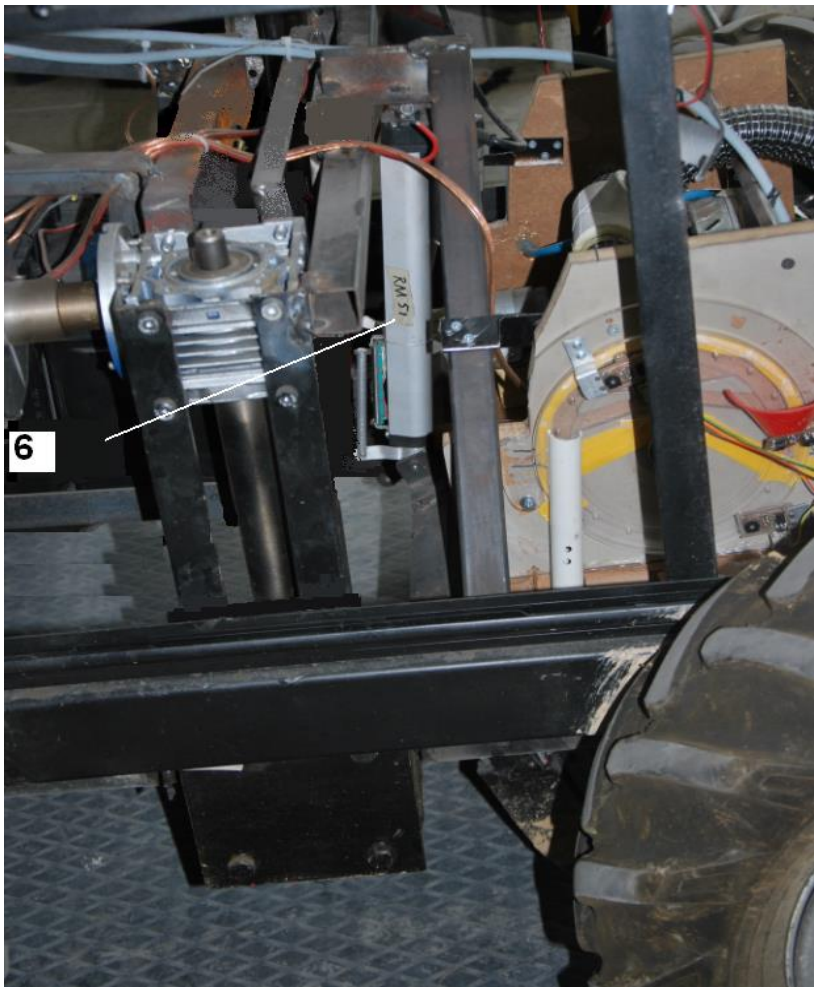



**Şekil 3.20.** Ekici ayak ölçüleri

Tohum ekici bölümün ekim derinlik ayarı lineer olarak hareket ettirilen motordan sağlamaktadır. Çizelge 3.3.'te motor teknik özellikleri ve Şekil 3.21.'de ekim robotu üzerinde ekim derinlik ayarı sağlayan motor verilmiştir.

**Çizelge 3.3**. Motor teknik özellikleri

| **Teknik Özellikler** | |
|---|---|
| Gerilim | 12V DC |
| Yük Kapasitesi | 750N max. |
| Hız | 10 mm/s |
| Minimum Görev Döngüsü | %10 |
| Sınırlama Anahtarı | Var |
| Boyutlar | 205 mm (105 mm stroke+) |




**Şekil 3.21.** Ekim robotu üzerinde ekim derinlik ayarı sağlayan motor

### 3.1.1.2. Ekim robotunun elektronik yapısı

Ekim robotu kendine özgü bir otomasyon sistemine sahiptir ve elektronik kısım iki ana üniteden oluşur.

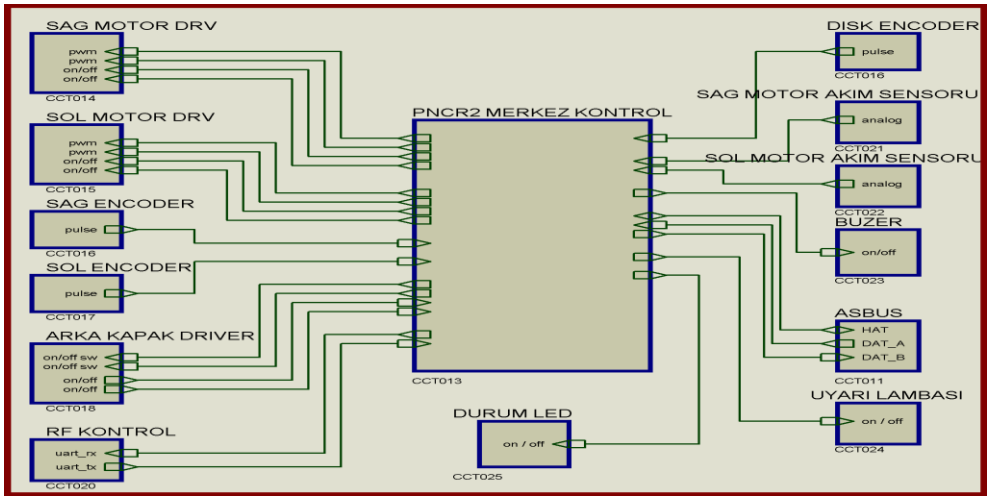
1. Merkez kontrol ünitesi
2. Ekim kontrol ünitesi

Ekim robotu mimarisi biri merkez diğeri ekim kontrolörü olmak üzere iki adet mikro denetleyici ile tasarlanmıştır. İki mikro denetleyici kullanmaktaki amaç navigasyon ve ekim kontrol algoritmalarının paralel ve gerçek zamanlı çalışabilmesini sağlamaktır. Bu iki ünite arasında USART seri haberleşme protokolü üzerine kurulan ASBUS adını verdiğimiz tek hat güvenli veri aktarım protokolü kullanılmıştır. Bir üniteye doğru giden veya bir üniteden gönderilen verilerin hepsinin aynı iletim yolunu

kullanması sebebiyle tek hat, gönderilen verinin denetlenmesi ve veri doğruluğunun sürekli takip edilmesi sebebiyle de güvenli bir protokoldür.

### 3.1.1.2.1. Merkez kontrol ünitesi

Merkez kontrol ünitesi, ekim robotunun tüm alt birimlerinin kontrol ve koordinasyonundan sorumlu ünitedir. Şekil 3.22.'de merkez kontrol ünitesine bağlı alt üniteler ve bu ünitelerin haberleştiği veri yolları verilmiştir.




**Şekil 3.22.** Merkez kontrol ünitesi blok şeması

64 MHz bir mikro denetleyici üzerinde çalışan donanım yazılımı, uzaktan kumanda ve telemetri birimi, ekim ünitesi, hareket kontrol birimi ve donanım kontrol biriminden oluşan tüm sistemi denetler, robot verilerinin telemetri ekranına aktarılmasını sağlar. Birimlerin organizasyonu aşağıdaki gibidir.

- Merkez Kontrol Ünitesi
  - Hareket Kontrol Birimi
    - Sağ Motor
      - Motor Sürücü Devresi
      - Geri besleme Ünitesi
      - Kontrol Algoritması
    - Sol Motor
      - Motor Sürücü Devresi

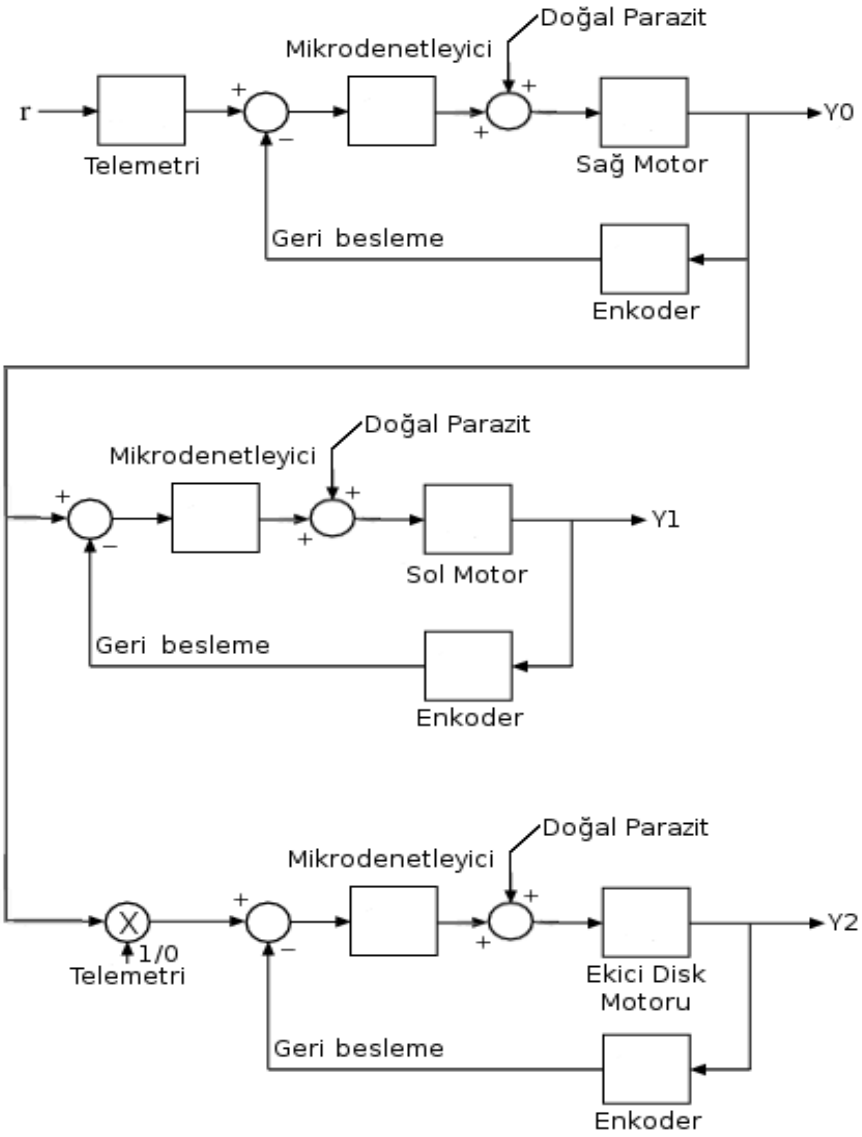
        - Geri besleme Ünitesi
        - Kontrol Algoritması
    - ASBUS Haberleşme Birimi
    - Kumanda ve Telemetri Birimi
        - 433 MHz RF Uzaktan veri aktarım modülü (alıcı-verici)
        - Telemetri Sistemi
            - Windows Tabanlı PC
            - 433 MHz RF veri aktarım modülü (alıcı-verici)
            - Ekim Robotu Kontrol ve Telemetri Sistemi (PC Yazılımı)
    - Donanım Kontrol Birimi
        - Arka Kapak Sürücüsü
        - Sesli Uyarı Sistemi
        - Aydınlatma
        - Batarya İzleme

Sistemin en önemli unsuru ekim robotunun hareketini sağlayan motorlardır. İki motor yapı üzerinde karşılıklı yerleşmiştir. Ekim ünitesi hareketinin referansı, bu motorların tekerleklere aktardığı hareketin geri beslemesi ile sağlanmaktadır. Bu durumda iki önemli nokta ortaya çıkmaktadır. Birincisi; ekim yapılırken çizelerin düzgün olabilmesi için karşılıklı iki motorun eş devir ile hareket ettirilmesi gerekmekte, ikincisi; ekim ünitesinin doğru çalışması için motor devirlerinin çok hassas kontrol edilmesi ve olası hatalara hızlı cevap verilebilmesi gerekmektedir. Hareket kontrol birimi yukarıda bahsedilen gereklilikleri yerine getirebilecek yetenekte tasarlanmıştır.

***Hareket kontrol birimi***

Hareket kontrol biriminin görevi, sağ ve sol hareket motorlarının devirlerinin istenen (telemetri sisteminde ayarlanan) seviyede sabit kalmasını sağlamaktır. Robotun tarla şartlarında hareketi esnasında, tarla yüzeyindeki bozukluklar, toprağın yumuşaklığı, taş, çamur vb. davranış bozucu etkenler sebebiyle sağ ve sol tekerlek hızları eşit olamayacaktır. Motor sürücü devrelere aktarılan kontrol sinyali, teoride hesaplanan, motorları hareket ettirmesi gereken devir ve torku sağlayamayacaktır. Bu sebeple sistemin uç noktasından yani tekerleklerden bir geri besleme alınmalı, üretilen

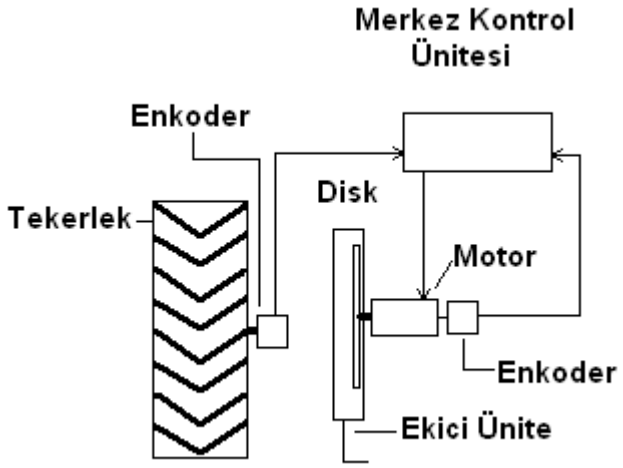
kontrol sinyalinin yeterli, yetersiz ya da aşırı olup olmadığı ile ilgili bir analiz yapılmalı ve gerekirse hız artırılmalı ya da azaltılmalıdır. Bu sistemin kontrol mühendisliği alanında yorumlanarak tasarlanan şematik gösterimi Şekil 3.23.'de verilmiştir.




**Şekil 3.23.** Hareket kontrol sistemi blok diyagramı

Ekim robotunun hareket etmesi istenen hız telemetri sistemi aracılığıyla ayarlanır. Kontrol sistemi algoritmasının çalıştığı mikro denetleyici, sisteme hareket emri verildiğinde, ayarlanan hıza karşılık gelen, laboratuvar deneyleriyle hesaplanan ve arazi şartlarında teorik olarak doğru hızda hareketi sağlayan kontrol sinyalini sağ motor sürücüsüne aktarır. Arazi şartları sebebiyle sürekli değişen bir yük altında kalan sağ motor kontrol sistemi, geri besleme sistemi sayesinde hızdaki bozulmaları algılar ve çıkışı düzenler. Ekim robotunun ilk hareketini sağ motor gerçekleştirir. Sol motor, sağ

motordaki değişimi referans alarak hareketlerini aynen taklit eder. Yine aynı şekilde geri beslemeli kontrol sistemine sahiptir. Tek farkı referans sinyali, telemetri sisteminden alınmaz, sağ tekerleğin o anki davranışı olarak kabul edilir. Böylece motorlar birbirinden bağımsız kontrol edilmemiş ve doğrusal hareketten sapma nedeniyle oluşan hatalar en aza indirilmiş olur. Kontrol sistemi, hızdaki değişimlere, kalkış ve duruş anlarına doğru tepki verebilecek hızda tasarlanmıştır. Böylece gerçek zamanlı diyebileceğimiz rijit bir hareket kontrolü sağlanmıştır. Ekim kontrol ünitesinde bahsedeceğiz ancak kontrol diyagramında görüldüğü gibi ekici disk motoru da sağ tekerlek hızını referans alarak çalışmaktadır. Şekil 3.24.'te hareket uyartım şeması gösterilmiştir.




**Şekil 3.24.** Ekim robotu hareket uyartım şeması

Hareket kontrol birimiyle ilgili laboratuvar ortamında yapılan navigasyon testleri, düz veya düzgün engebeli-eğimli yüzeyler için oldukça tatmin edici iken doğrusallıktan uzak arazi yüzeyinde, motor kontrol algoritmalarının geliştirilmesini gerektirmiştir. Arazide sağ ve sol tekerleklere etkiyen yüklerin sürekli ve çok miktarda değiştiği göz önüne alınarak, devir kontrol algoritmalarının tepki süresi düşürülmüş, daha hızlı ve adaptif kontrol algoritması geliştirilmiştir. Buna ek olarak DC motor sürücü güç devrelerinin, sürekli yüksek akım altında çalışmaktan dolayı maruz kaldıkları sıcaklık artışını tolere edecek yüksek performanslı bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Ekimin yapıldığı hava şartlarını da göz önüne alacak olursak sürücülerin tekerlek yükünden kaynaklanan sıcaklık artışının yanı sıra güneş gibi atmosferik etkiler ile de doğrudan temas halinde olduğu unutulmamalıdır. Geleneksel yapılardaki güç aktarım organlarından yükü taşıyan dişli, çark, mil gibi yapılar ekim

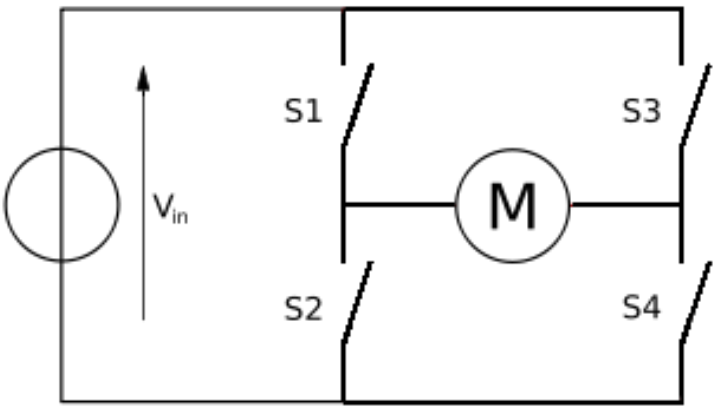
robotu sisteminde de bulunmaktadır ancak bunlara ek olarak, elektrik motorunu kontrol eden ve elektrik akımını yönlendiren sürücü devreleri de elektriksel bir yüke maruz kalmaktadırlar. Motorun ürettiği tork (T), armatür akımı ( I ) ile EMK sabiti ( K )'nın çarpımına eşittir.

$$T = K \times I$$

Yukarıdaki denklemde görüldüğü gibi motorun yapısal değeri olan "K" sabit olduğu için, motorun ürettiği torkun artması, üzerinden geçen akımın artması ile doğru orantılıdır. Akımın artması da daha fazla ısı kaybı yani sıcaklık artışı demektir. Diğer yandan motor devri PWM ile kontrol edildiği için sürücü devrelerdeki anahtarlama hatalarının da iyi gözlenmesi ve çıkış mosfetlerinin optimum şartlarda tetiklenmesi gerekir. Aksi halde enerji kaybı, tork kaybı ve gereksiz sıcaklık artışı gözlenecektir. Diğer yandan motor sürücü devreleri için doğru değerlerde (akim-gerilim-tetikleme gerilimi) anahtarlama elemanları seçilmeli, aksi halde laboratuvar ortamında problemsiz çalışan sistemler yüksek parazit ve yük altında çalışılan arazi ortamında sorun çıkartacaktır.

***Motor sürücü devresi***

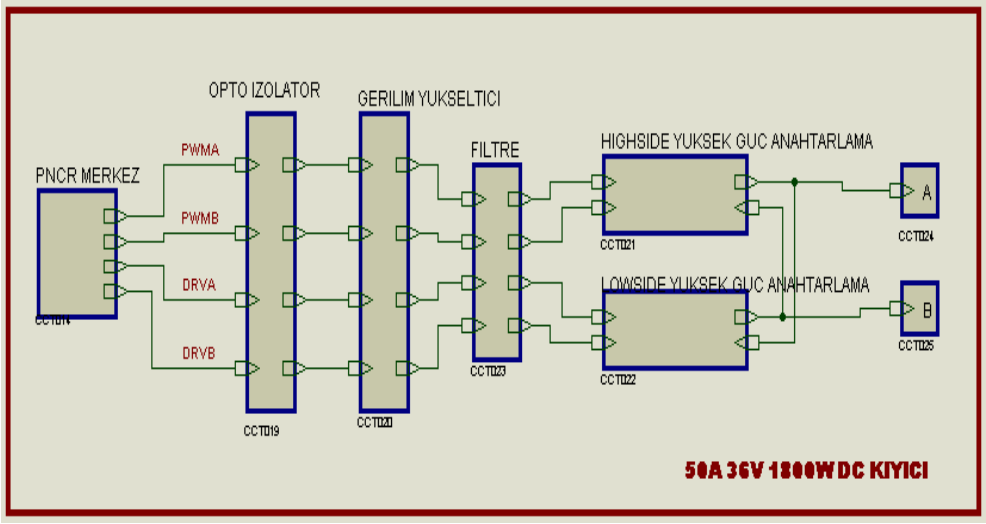
Motor sürücüler birer DC-DC kıyıcıdır. Şekil 3.25.'te görüldüğü üzere H-Köprüsü olarak adlandırılan güç elektroniği tasarımını temel almaktadır.




**Şekil 3.25.** H-köprüsü

2 adet High-Side (S1, S3), 2 adet Low-Side (S2, S4) olmak üzere 4 anahtarlama elemanına sahiptir. High-Side elemanlar pozitif anahtarlama, Low-Side elemanlar

negatif anahtarlama yapar. Çalışma prensibi basit ancak filtrasyonu uygulamaya özel ve karmaşıktır. Bütün anahtarların OFF olduğu durumda hiçbir noktadan akım akışı görülmez. S2 ve S3 anahtarları OFF konumdayken S1 ve S4 anahtarları ON konuma alınırsa motor üzerinden saat yönünde akım akmaya başlar. Eğer S2 ve S3 anahtarları ON, S1 ve S4 anahtarları OFF konuma alınırsa motor üzerinden saat yönünün tersine akım akmaya başlar. Böylece herhangi bir fiziksel değişim yapmadan aynı düğümler arasında (motor uçları) farklı yönlerde akım akışı sağlanır (düğüm polariteleri terslenir). Anahtarlama elemanlarının gatelerine (tetikleme uçlarına) modülasyonlu bir sinyal uygulanırsa, güç aktarımı etkin değerin anahtarlama süresince ayarlanabilir. Ekim robotu motorları 4 kHz PWM sinyalinin %10 - %99.99 duty arasında ayarlanması ile kontrol edilmektedir.



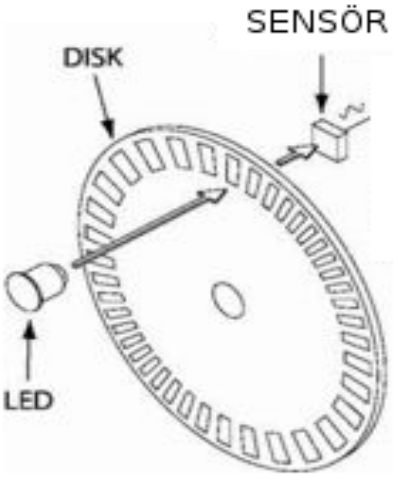

**Şekil 3.26.** Ekim robotu DC-DC kıyıcı devresi blok şeması

Şekil 3.26.'da ekim robotunun hareket motorlarının sürücü devresinin blok şeması görülmektedir. Kontrolcüden gelen sinyal, motor tarafı yüksek güçlü ve parazitik bir ortam olduğu için optik izolatörler ile izole edilmiştir. Kontrol sinyali, güç anahtarlarını (MOSFET) kontrol edebilecek seviyeye yükseltilmiş, ardından filtrelenerek sürücü çıkışına aktarılmıştır.

### *Geri besleme*

Geri besleme elemanı olarak rotasyonel enkoder kullanılmıştır. Enkoder olarak adlandırılan mekanik komponentler dönen bir mekanizmanın hareketi ile tahrik edilirse,

çıkışında bir pals üretir. Bir ışık kaynağı, hemen karşısına yerleştirilmiş bir ışık algılayıcı sensör ve bu ikisinin arasından geçen üzerinde delikler bulunan bir diskten oluşur. Işık kaynağı sürekli çalışır. Eğer ortadaki diskin bağlı olduğu mil döndürülürse delikli noktalarda ışık sensöre gider ve sinyal oluşturur (1). Deliksiz yerde ise sinyal oluşmaz (0). Bu şekilde 1010101010 formatında oluşan kare dalganın frekansı ölçülerek enkoderin dönüş hızı yani bağlı olduğu tekerleğin dönüş hızı ölçülmüş olur. Eğer frekanstaki değişimler ölçülürse bu bilgi bize ivmeyi verir. Şekil 3.27.'de bir enkoderin genel yapısı görülmektedir.




**Şekil 3.27.** Enkoder yapısı

Ekim robotu üzerinde sağ motorun tahrik ettiği arka tekerlek, sol motorun tahrik ettiği arka tekerlek ve ekim ünitesindeki tohum diski üzerinde birer adet enkoder bulunmaktadır. Böylece sistemin tamamından geri besleme alınarak, kontrol sisteminin, ekim robotunun hareket eden organlarının durumu ile ilgili bilgi sahibi olması sağlanmıştır. Çizelge 3.4.'te kullanılan enkoderlerin teknik bilgileri görülmektedir.

**Çizelge 3.4.** Enkoder teknik bilgileri

| **Teknik Özellikler** | |
|---|---|
| Tipi | Dairesel enkoder |
| Besleme | 12V DC / 0.1A |
| Çıkış | 5V TTL Lojik |
| Çıkış Şekli | 1 bit Open-Collector |
| Etkileşim | Optik |
| Boyutlar | Çap: 50mm, Yükseklik: 43mm |
| Tahrik Mili | Çap: 8 mm |
| Delik Sayısı | 1024 adet |
| Enkoder Tipi | Mutlak |

***Kontrol algoritması***

Ekim robotu merkez kontrol ünitesinde 2, ekim kontrol ünitesinde 1 adet doğrusal kontrol algoritması çalışmaktadır. Hareket anında sürekli olarak, sağ motor geri besleme elemanından gelen mutlak ve 1 bitlik kare dalga formatındaki sinyalin periyodu ölçülür. Periyot bilgisi milisaniye mertebesindedir. Bu bilgiyi $T_{sg}$ (saniye) olarak adlandırırsak, robot hareketinin minimum bileşeni $T_{sg}$'dir. Robotun ayarlanan hızdaki hareketinin sağlanması da ekim ünitesinin ayarlanan ekim aralığında tohum bırakması da bu bileşenin referans alındığı dönüşüm denklemleri ile hesaplanır.

Dönüşüm denklemleri, referans geri besleme sinyalinin (sağ tekerlek geri besleme sinyali) periyodu ile ekim diski geri besleme sinyalinin periyodunun, ekim mesafesi ile belirlenen oranda eşitlenmesini amaçlar. Denklem parametreleri aşağıda açıklanmış ve ardından denklem çözümü ifade edilmiştir.

$T_s$ : Referans sinyalinin periyodu-Sağ tekerlek geri besleme sinyalinin hedeflenen periyodu (s)

$T_{sg}$ : Referans tekerlek geri besleme sinyalinin ölçülen periyodu (s)

$T_d$ : Tohum diski geri besleme sinyalinin periyodu (s)

$N_s$ : Referans tekerlek enkoderinin 1 turda ürettiği pals sayısı (adet)

$N_d$ : Tohum diskinin enkoderinin 1 turda ürettiği pals sayısı (adet)

R : Referans tekerlek yarıçapı (Ekim robotu üzerindeki 4 tekerlek özdeştir, aşınmalar ihmal edilmiştir.) (m)

A : Tohum diski üzerindeki delik sayısı (adet)

$R_s$ : Referans tekerlek enkoderinin redüksiyon oranı

$R_d$ : Tohum diski enkoderinin redüksiyon oranı

$V_m$ : Makine ilerleme hızı (m/s)

Denklemin girdisi robotun hareket etmesi istenen hızı, çıktısı sağ tekerlek geri besleme sinyalinin periyodudur ($T_s$). Hareket kontrol birimi, telemetri aracılığıyla ayarlanan, m/s, km/h ya da devir/dakika cinsinden hıza karşılık gelen $T_s$'yi bu değerde sabit tutmaya çalışırken, ekim kontrol ünitesi, tohum diski geri besleme sinyalinin periyodunu ($T_d$), $T_s$'nin ekim mesafesine göre hesaplanan bir oranında sabit tutmaya çalışır.

Telemetri ekranında ekim robotunun istenen hareket hızına karşılık gelen $T_s$ değeri aşağıdaki denklemler ile hesaplanır:

Giriş devir/dakika ise;

$$T_s = 1 / (V_m / 60) \times (N_s \times R_s)$$

Giriş km/h ise;

$$T_s = 1 / \{[( V_m / 3{,}6) / (2 \times \pi \times (r/100))] \times (N_s \times R_s)\}$$

Giriş m/s ise;

$$T_s = 1 / \{[ V_m / (2 \times \pi \times (r/100))] \times (N_s \times R_s)\}$$

Bu denklemler ile robotun istenen hızda hareket edebilmesi için ölçülmesi gereken geri besleme sinyalinin periyodu hesaplanır. Merkez kontrol ünitesi sağ tekerleğe bu değeri referans alır. Sol tekerlek de sağ tekerlekten alınan geri besleme sinyali referans alınarak kontrol edilir. Ana kontrol algoritması sadece bu değerlerle yetinilerek tasarlanamaz. Örneğin sol tekerleğin patinaj yaptığı ancak sağ tekerleğin hareketine normal devam ettiği bir anda doğrusal hareket mümkün değildir. Robot sola doğru dönüş hareketi gerçekleştirecektir. Bu sebeple algoritma geri besleme sinyallerinin değişimi ile de ilgilenmektedir. Yani sağ ve sol tekerleklerden gelen geri besleme sinyallerini karşılaştırmakta, süreklilik olmak kaydıyla, yüksek farklılık olan noktalarda ve sinyallerin değişiminin olması gerekenin üzerinde olduğu yani türevlerinin yükseldiği noktalarda ekim ünitesini geçici olarak durdurmakta, hareketin doğrultulması ile ekime devam etmektedir.

***Kumanda ve telemetri birimi***

Telemetri birimi ekim robotunu uzaktan yönetmeyi, ekim ünitesi ile ilgili bilgileri anlık akış ve grafik şeklinde izlemeyi (hata oranlarını, toplam ekilen tohum adedini vb.), bütün ana ve alt sistemler ile ilgili ayarları uzaktan yapabilmeyi sağlayan bilgisayar tabanlı bir kullanıcı ara yüzüdür. Veri iletişimi 433 MHz sivil bantta yayın yapan RF alıcı-vericiler ile sağlanmaktadır**.**

Telemetri sisteminde gözlem, raporlama veya benzeri bir amaçla kullanılmayacak bazı verilerin telemetri üzerinden aktarılıp değerinin gözlenmesi, grafiksel olarak izlenmesi hatta raporlama amaçlı veritabanına kaydedilmesi tasarımcı

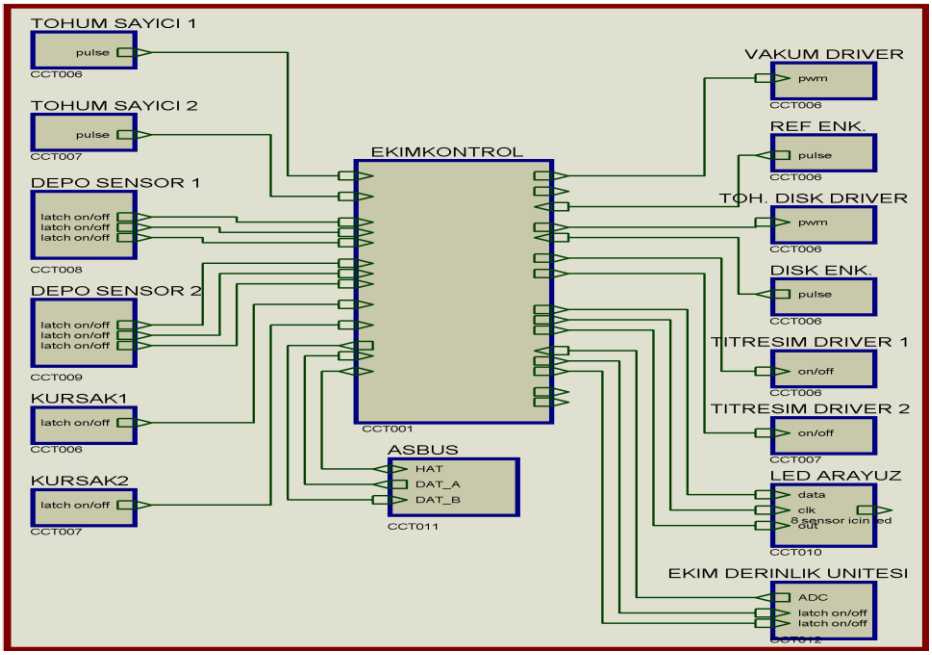
için oldukça faydalıdır. Örneğin donanım içi haberleşme sırasında paket aktarım süresinin ölçülerek raporlanması, ekim ünitesinin derinliğini ayarlayan sistemin geri besleme sinyalinin raporlanması buna örnek verilebilir. Paket aktarım süresinin izlenmesi, mikro denetleyici üzerinde çalışan diğer algoritmaların değiştirilmesi ya da yenilerinin eklenmesi sonucunda haberleşmeye olumsuz bir etki oluşup oluşmadığını görmeyi sağlar. Ekim ünitesinin konum geri besleme sinyalinin izlenmesi de derinlik ünitesinin maruz kaldığı yüklerin gözlemlenmesini sağlayacaktır.

***Donanım kontrol birimi***

Donanım kontrol birimi ekim robotuna ait kapakların, hareketli eklemlerin, aydınlatma sisteminin, ses uyarı sisteminin ve batarya izleme sisteminin telemetri aracılığıyla kontrol edilmesini sağlar.

### 3.1.1.2.2. Ekim kontrol ünitesi

Ekim kontrol ünitesi, tohum depolarının durumu, tohum diskinin kontrolü, ekim derinliği ve vakum motorunun kontrolünü gerçekleştirmektedir. Vakum, yüksek devirli bir DC motorun döndürdüğü fan ile üretilmektedir. Şekil 3.28.'de ekim kontrol ünitesinin alt birimleri ile bağlantıları görülmektedir.




**Şekil 3.28.** Ekim kontrol ünitesi blok şeması

64 MHz bir mikro denetleyici üzerinde çalışan donanım yazılımı; sensörler, vakum motoru sürücüsü, disk motoru ve ekim derinliği birimi sistemlerini denetler. Birimlerin organizasyonu aşağıdaki gibidir.

- Ekim Kontrol Ünitesi
  - Sensörler
    - Tohum Deposu Sensörleri (Sağ-Sol)
    - Ekici Düzen Çıkışı Tohum Sayıcı Sensörleri (Sağ-Sol)
    - Kursak Sensörleri (Sağ-Sol)
    - Disk Tur Referans Sensörleri
  - Vakum Motoru Sürücüsü
  - Disk Motoru
    - Motor Sürücüsü
    - Geri besleme Ünitesi
    - Kontrol Algoritması
  - Ekim Derinliği Birimi
    - Motor Sürücüsü
    - Geri besleme Ünitesi
    - Kontrol Algoritması

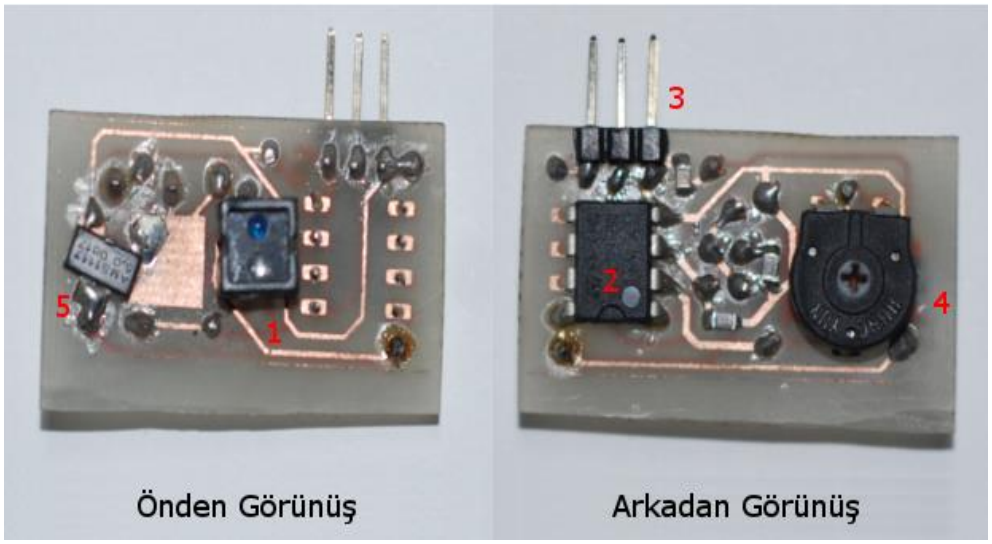
Mekanik yapıdaki olumlu/olumsuz davranışlar ekim robotu gibi mekatronik sistemlerde elektronik yapı üzerinde doğrudan gözlemlenir. Ekim robotunun ekim ünitesinde, laboratuvar testleri sırasında, vakum etkisinden dolayı ekici diskin yüksek sürtünme kuvvetlerine maruz kaldığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak kontrol algoritması tohum diskini çeviren DC motorun beslendiği akımı artırmış, bu da sürücü devrenin aşırı yüklenmesine sebep olmuştur. Ayrıca disk üzerindeki sürtünme kuvvetleri lineer olmadığı için (yani sürtünmenin olduğu noktalar diskin sadece bir kısmında olduğu için) sürekli değişken bir devir altında düzgün aralıklarla ekim yapılamamıştır. Bu problemi çözmek için tohum diski yeniden tasarlanmış, çapı küçültülmüş ve temas noktaları dışında kalan yüzeyler lazer kesim ile atılmıştır. Böylece hem daha hafif bir disk elde edilmiş ve disk sebebiyle oluşan atalet azaltılmış hem de sürtünme çok büyük oranda düşürülmüştür. Diğer bir modifikasyon da disk üzerindeki delik sayısının düşürülmesidir. Bu sayede DC motorların genel karakteristiği

olan düşük devirlerde stabil çalışamama sorunu çözülmüştür. Ekim robotunun düşük hızlardaki hareketinde bile tohum diski sorunlu bölgenin üzerindeki devirlerde döndüğü için oldukça stabil bir ekim mesafesi yakalanmıştır. Arazi denemelerine bu düzenlemeler yapıldıktan sonra gidilmiştir.

***Sensörler***

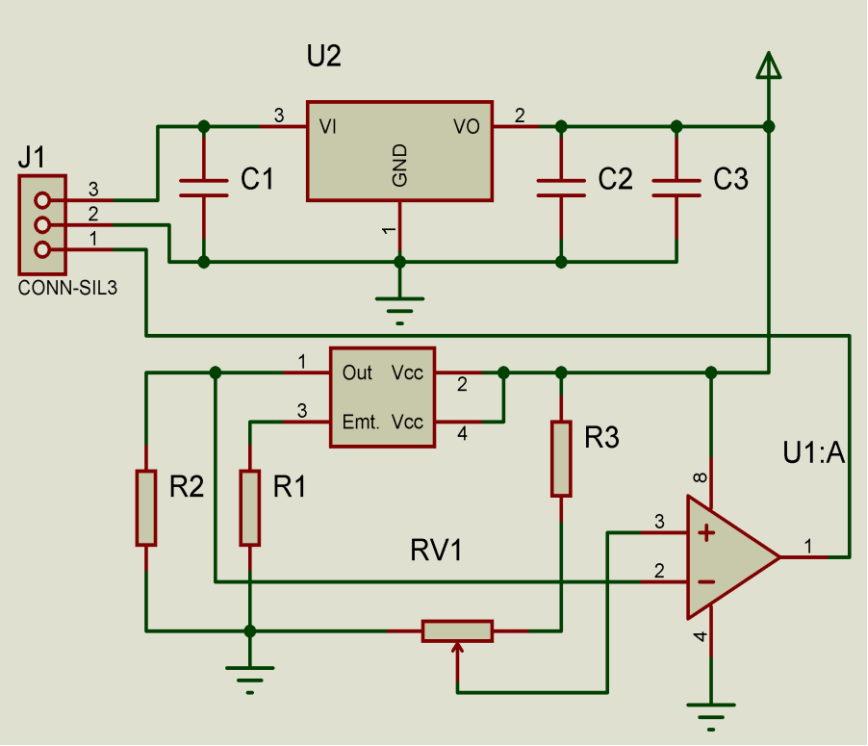
Ekim robotu üzerinde biri sağ çizeyi diğeri sol çizeyi besleyen iki adet tohum deposu, depolar üzerinde maksimum, orta ve minimum doluluk seviyelerini ölçen 3 adet sensör bulunmaktadır. Depo yolunun devamında, kursak dibinde tohum varlığını kontrol eden bir sensör daha vardır. Bu sensörler bekleyen tohum durumunun kontrol edilmesini sağlar..

Sağ ve sol tohum disklerinin tohum çıkış noktalarında birer tohum sayıcı sensör bulunmaktadır. Bu sensörler küçük boyutlu ve hızlı hareket eden tohumları doğru olarak sayabilecek şekilde geliştirilmiştir. IR (infrared) alıcı verici çiftinin tohumun geçeceği dar noktaya karşılıklı yerleştirilmesi ile tohumların ışık üzerinde sebep oldukları gölge (bozulma) algılanıp bir yükseltici devre ile algılanabilir seviyeye çıkarılmıştır. Ekim kontrol ünitesinden sorumlu mikro denetleyici de yükseltici çıkışındaki palsleri sayarak düşen tohumları saymaktadır. Bir sensör de diskin her bir turunda 1 pals üretmekte ve böylece disk turundaki hataların hesaplanması sağlanmaktadır.




**Şekil 3.29.** Tohum sensörü

Şekil 3.29.'da tohum sayıcı ve depo durumunu algılayan sensör görülmektedir. 1 numaralı komponent resimde görüldüğü gibi iki mercekli bir yapıdır. Koyu olan mercek alıcı saydam olan da verici kısımdır. Alıcı, ayarlanan hassasiyete göre önünden geçen bir engel (tohum) olursa, vericinin gönderdiği ve engelden yansıyan ışığı algılar. 2 numaralı komponent zayıf sensör sinyalini mikrodenetleyici ile algılanabilir seviyeye getiren ve parazitlerden arındıran filtre opampıdır. 3 numara besleme ve sinyal çıkışının alındığı konnektör, 4 numaralı komponent sensör hassasiyetinin ayarlandığı direnç, 5 numara ise giriş gerilimini filtreleyen ve 5 volt besleme gerilimi değerine regüle eden komponenttir. Şekil 3.30.'da tohum algılayıcı sensörlerin şematik gösterimi, Çizelge 3.5.'te ise teknik özellikleri verilmiştir.




**Şekil 3.30.** Tohum algılayıcı sensör şematik gösterimi

**Çizelge 3.5.** Tohum algılayıcı sensör teknik özellikleri

| Teknik Özellikler | |
|---|---|
| Besleme | 12V DC / 0.1A |
| Çıkış | DC 5V / 0V |
| Algılama Mesafesi | 3 mm |
| Çalışma ortamı | Karanlık Oda |
| Boyutlar | 1.75 cm x 3.54 cm |
| Konnektör | Vin, GND, Vo |

Tohum gibi küçük ve hızlı nesneleri algılamanın birkaç yolu vardır. İlki eğer malzeme ferro-manyetik ise hall-effect sensör olarak adlandırılan manyetik etkileşimi/değişimi algılayan sensörler kullanmaktır. Ancak tohumlar ferro-manyetik değildir. Diğer bir yöntem eğer algılanacak malzemenin kütlesi belirli bir miktar kütlenin üzerindeyse (tohumlar bu değeri karşılamaktadır) piezoelektrik sensörler üzerine anlık-hızlı temaslar-çarpmalar sağlanarak üretilecek elektrik sinyalinin algılanması ile sağlanabilir. Bu yöntem test edilmiştir ancak arazi ortamında yüksek titreşim sebebiyle tohumların çarpması ile oluşacak titreşime eşdeğer hatta daha yüksek titreşimlerin sürekli gözlenmesi sebebiyle uygun olmadığına karar verilmiştir. Ayrıca ekim ünitesi sadece serbest düşüşteki tohumları algılamamakta, tohum deposundaki gibi hareketsiz tohumları da algılamaktadır. Bu sebepler ile test edilen diğer bir sensör olan infrared yansıma yoluyla algılama yapan sensör sistemi tasarlanmış ve yüksek başarı sağlanmıştır. Bu sensörlerinde olumsuz bir yanı vardır. Güneş ışığından ya da ortam ışığından doğrudan etkilenirler. Piezoelektrik sensördeki doğal titreşimin sebep olduğu parazitik etki burada da ışık sebebiyle görülmektedir. Bu sorun sensörlerin kullanıldığı ortamların ışığı yalıtacak şekilde tasarlanması ile çözülmüştür.

***Ekim derinliği bölümü***

Ekim derinliği bölümü, tohumların ekici diski terk ettiği noktadan, istenilen derinliğe ekilmesini sağlar. Bir geri besleme ünitesi, motor sürücü devresi ve kontrol algoritması içermektedir. Tohum yolunun uç noktası, tek eksende dairesel hareket yapabilen bir ekleme bağlıdır. Bu eklem, merkezinde yer alan konum algılayıcı sensör ile konumuna dair geri besleme alınarak, tarlanın yapısından kaynaklanan zorlamalara ve konumundaki bozulmalara karşı tepki vererek derinliği sabit tutar. Derinlik referansı robotun tekerleklerinin yüzey ile temas ettiği noktadır. Bu noktadan aşağıya doğru -1, -2, -3, -4, -5, yukarıya doğru +1, +2, +3, +4, +5 cm konumları laboratuvar ortamında ölçülmüş ve telemetri sistemine kaydedilmiştir. Konum sensörü bu noktalara doğrudan yerleşmeyi ve konumu korumayı sağlar.

Tohumun toprak ile temas ettiği noktanın yüksekliğini ayarlamak amacıyla bir elektrik motoru yerleştirilmiştir. Motor çıkışı bir redüktör ile güçlendirilmiş ve ekim mekanizmasına bağlantısı yapılmıştır. Redüktör çıkışının yaptığı dairesel hareket ile ekim derinliği ayarlanmaktadır. Redüktör çıkışında yer alan $0^o$ - $270^o$ konum

algılayabilen bir sensör ile geri besleme alınarak kontrol sistemi tarafından, telemetri sistemi aracılığıyla ayarlanan ekim derinliği korunur.

***Ekim kontrol algoritması***

Ekim kontrol algoritması hareket kontrol algoritmasının devamı niteliğindedir. Ekim robotunun, telemetri sistemi ile ayarlanan hız ile hareket edebilmesi için gereken referans sinyalinin periyodu $T_s$'dir (saniye). Hesaplanan $T_s$ değeri telemetri sistemi tarafından robota tek seferlik gönderilen ve kaydedilen bir değerdir (Her hız değişiminde tekrar gönderilir). Robotun sağ tekerleğine ait gerçek değer olan $T_{sg}$ bu değere eşitlenmeye çalışılır. Ekim kontrol algoritması, ekim robotunun hızı ne olursa olsun istenen sıra üzeri mesafede tohum atılmasını garanti etmeyi amaçlar. Bu amaçla sağ tekerlekten alınan referans sinyalinin periyodu, tohum diskinin referans sinyalinin periyoduna, sıra üzeri ekim mesafesine göre değişen bir oranda eşitlenmelidir. Ekim kontrol denklemi bunu sağlar.

Tohum diski üzerindeki ardışık iki tohum deliği arasındaki geçen süreyi $T_d$ cinsinden ifade edersek;

T (iki tohum deliği arası geçen süre) (s)= $(T_d \times N_d \times R_d) / A$ dir.

$T_s$ : Referans sinyalinin periyodu (sağ tekerlek geri besleme sinyalinin periyodu)(s)
$T_d$ : Tohum diski geri besleme sinyalinin periyodu (s)
$N_s$ : Sağ tekerlek enkoderinin 1 turda ürettiği pals sayısı (adet)
$N_d$ : Tohum diskinin enkoderinin 1 turda ürettiği pals sayısı (adet)
r : Sağ tekerlek etken yarıçapı (cm) (Ekim robotunun 4 tekerleği özdeştir)
A : Tohum diski üzerindeki delik sayısı (adet)
$R_s$ : Sağ tekerlek enkoderinin redüksiyon oranı
$R_d$ : Tohum diski enkoderinin redüksiyon oranı
$T_{sg}$ : Sağ tekerlek geri besleme sinyalinin ölçülen periyodu (s)
Z : Ekim mesafesi (cm)

Robotun yani sağ tekerleğin ekim mesafesini alırken (Örn. 21,5 cm) geçen süreyi $T_{sg}$ cinsinden ifade edersek (Ekim robotunun ileri ve düz hareket ediyorken ekim yaptığı unutulmamalıdır);

$T_1$ (ekim mesafesini alırken geçen süre) (s)= $[(T_{sg} \times N_s \times R_s) / (2 \times \pi \times r)] \times Z$

Ekim kontrol algoritmasının yapması beklenen, $T_1$ ve $T_2$ sürelerini birbirine eşit tutmaktır;

$T_2$ (iki tohum deliği arası geçen süre) = $T_1$ (ekim mesafesini alırken geçen süre)

Böylece aşağıdaki eşitlik ortaya çıkmaktadır; bu denklem disk hızının robot hızı cinsinden ifadesidir;

$T_d = T_{sg} \times [(N_s \times R_s \times Z \times A) / (2 \times \pi \times r \times N_d \times R_d)]$ saniye.

Denklemde $[(N_s \times R_s \times Z \times A) / (2 \times \pi \times r \times N_d \times R_d)]$ olarak ifade edilen kısım ekim robotunun yapısal parametrelerinin oluşturduğu bir sabit sayıyı ifade etmektedir. Bu sayı ancak ekim mesafesi (şeker pancarı için 21,5 cm) değiştirilir ise değişecektir. Bunun dışındaki parametreler sabittir. Ekim robotunun ekim diskinin hareketini sağlayan yapı doğrudan mekanik olarak tekerleklere ya da robot hareketini sağlayan motorlara bağlı olmadığı için, ölçülen tekerlek hızına göre, ihtiyaç duyulan disk hızını hesaplamak amacıyla kullanılan sanal bir redüksiyondur. Doğrudan hız değerleri ile değil, bu değerlerin geri besleme verisi olan enkoder periyotlarının dönüşümü için kullanılır.

Ekim robotu normal şartlarda çalışırken sadece ekim mesafesi ve ekim hızı değiştirilebilir (yukarıdaki denklem parametreleri açısından). Bu sebeple diğer ifadeler sabittir. Ekim robotu parametreleri şunlardır;

$N_s$ : 1024 adet
$N_d$ : 20 adet
r : 29 cm
A : 15 adet
$R_s$ : 8 birim
$R_d$ : 120 birim
Z : 21,5 cm

Bu parametrelere göre bir hesap yapılırsa, Ekim robotu 0,5 m/s hızda ilerlerken 21,5 cm aralıklarla tohum ekmesi isteniyor.

$$T_s = 1 / \{[(0{,}5 \text{ m/s}) / (2 \times \pi \times (r/100))] \times (N_s \times R_s)\}$$
$$T_s = 4{,}4485 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$T_{sg}$ ' nin de tam olarak bu değere ayarlandığını varsayarsak,

$$T_d = T_{gs} \times [(N_s \times R_s \times Z \times A) / (2 \times \pi \times r \times N_d \times R_d)]$$
$$T_d = 4{,}4485 \times 10^{-4} \text{ s} \times 6{,}04130 \text{ (sanal redüksiyon)}$$
$$T_d = 2{,}6875 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Tohum diskinin hızı m/s cinsinden hesaplanırsa;

Tohum diskinin 1 turunu tamamlama süresi = $T_d \times N_d \times R_d$
$= 2{,}6875 \times 10^{-3}$ s x 120 x 20 = 6,446 s olarak bulunur.

Buradan tohum diskinin hızı;

Tohum diski hızı = Tohum diski çevresi / 1 turunu tamamlama süresi
= 0,4523 m / 6,446 s = 0,070 m/s olarak bulunur.

Ekim kontrol ünitesi, tohum diskinin geri besleme sinyalinin periyodunu $2{,}6875 \times 10^{-3}$ s değerine sabitler ise ekim robotu 0,5 m/s hızda ilerlerken, tohum diskini 0,07 m/s hızla döndürerek, 21,5 cm aralıklarla tohum ekecektir. Çizelge 4.1.'de verilen hız değerleri, yukarıdaki denklemlere dayanılarak hesaplanmıştır.

### 3.1.1.3. Şeker pancarı ekim robotunun çalışması

Daha önce şeker pancarı konusunda yapılan araştırma sonuçları dikkate alınarak, sıra arası mesafe 45 cm ve ekim derinliği 3,4 cm olarak belirlenmiş ve bu değerler çalışmada sabit tutulmuştur. Denemeler dört ayrı hız kademesinde 0,55 m/s, 0,66 m/s, 0,77 m/s ve 0,88 m/s, sıra üzeri 21,5 cm anma ekim mesafesinde ve tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

Ekim robotunun tarla deneylerinde çalışması aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir;

1- Sıra üzeri anma mesafesi ve ilerleme hızı telemetri panelinden ayarlanır,

2- Kontrol sistemi mevcut hızı denetleyerek ekici disk hızını belirler (sanal redüksiyon),

3- Makinanın ön tarafındaki opsiyonel parça olan sıyırıcı düz bir tarla yüzeyi oluşturur,

4- Tohumlar tohum deposundan kanal düzeneğine aktarılır,

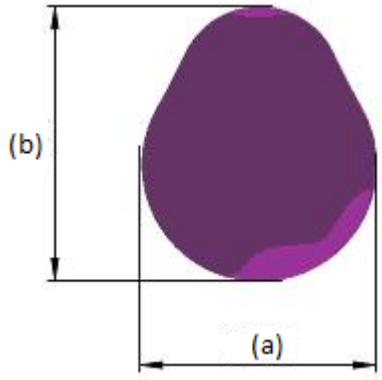
5- Tohum, balta ayağın açtığı çiziye bırakılır,

6- Kapatıcı, tohum üzerini yumuşak toprak ile örter,

7- Arka baskı tekerleğinin toprağı bastırır.

### 3.1.2. Araştırmada kullanılan tohumlar

Denemelerde genetik monogerm şeker pancarı tohumları kullanılmıştır. Bu tohumlar kaplanmış Stine çeşidi şeker pancarı tohumlarıdır. Araştırmada kullanılan şeker pancarı tohumlarının ölçüsünün alınmasıyla ilgili durum Şekil 3.31.'de, bazı özellikleri ise Çizelge 3.6.'da görülmektedir.




**Şekil 3.31.** Şeker pancarı tohumu ölçüleri (mm)

**Çizelge 3.6.** Araştırmada kullanılan şeker pancarı tohumlarının bazı özellikleri (ortalama)

| Tohum | Bin Dane Ağırlığı (g) | En (a) | Boy (b) | Çimlenme Yüzdesi (%) |
|---|---|---|---|---|
| Kaplanmış | 1,67 | 3,45 | 4,56 | 91,2 |

Tohum çimlenme yüzdeleri için şeker pancarı tohum sağlayıcısı olan firma BETA Ziraat ve Tic. A.Ş.'den temin edilen Stine çeşidi genetik monogerm şeker

pancarı tohumu için bilgiler elde edilmiştir. Edinilen bilgiye göre araştırmada kullanılan şeker pancarı tohumlarının çimlenme yüzdesi %91,2'dir.

### 3.1.3. Laboratuvar deneme düzeni

Ekim robotunun laboratuvar denemeleri, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü atölyelerinde gerçekleştirilmiştir. Denemeler 0,55 m/s, 0,66 m/s, 0,77 m/s ve 0,88 m/s ilerleme hızlarında ve 21,5 cm sıra üzeri ekim mesafesinde laboratuvar koşullarında yürütülmüştür.

Ekim robotunun laboratuvar denemeleri, robotun ekim düzeneğinin referans tekerleği ile konumlandırılarak yapılmıştır. Ekim ünitesinin ihtiyacı olan hareket geri besleme sinyali, robot tekerleğinin yerine, ekim deney düzeneğine ait yürüyen bandı çeviren diske temas ettirilen bir tekerlek-enkoder ikilisinin ürettiği sinyalden alınmıştır. Bu şekilde temas ile yüksek doğruluk sağlanamaz ancak arazi şartlarına benzer, kontrol sistemi bakımından yoğun parazitik bir geri besleme olduğu için gerçeğe yakındır. Sisteme ait parametreler, telemetri yazılımı aracılığı ile bu değişime uyum sağlayabilecek şekilde yeniden programlanmıştır.

Deneme düzeni, üzerine gres yağı sürülen yapışkan bant düzeninden oluşmaktadır. Yapışkan bant düzeneğinin kasnak merkezleri arası uzaklığı 10 m, kayış genişliği 140 mm, yapışkan bandın tohum ekici üniteye düşey mesafesi 75 mm'dir. Yapışkan bant düzeneği hareketini elektrik motoru-redüktör bağlantısından almaktadır. Elektrik motorunun devri bir elektronik varyatör yardımıyla kontrol edilmiştir. Elektrik motorundan alınan hareket ekici üniteye zincir, zincir-dişli sistemiyle, hareketli banta ise V kayış ve kasnaklarıyla iletilmiştir. Şekil 3.32.'de ekici ünitenin deneme düzenine bağlantısı görülmektedir.



**Şekil 3.32.** S.Ü.Z.F. yapışkan bant deney düzeneği

### 3.1.4. Deneme tarlası

Şeker pancarı ekim robotunun tarla denemeleri Konya Çaltı Köyü uygulama arazisinde ekim denemeleri yapılmıştır. Deneme arazisi Konya İstanbul karayolu üzerinde bulunmaktadır.

Denemeler çiftçinin pancar tarımı için hazırladığı tarlada yapılmıştır. Çiftçi deneme tarlasını Kasım ayında toprak hazırlığı için pullukla iki kez sürmüştür. İlk bahar hazırlığı için ekim öncesi Haziran ayında pullukla sürmüştür. Taban gübresi uygulaması için Kasım'da taban gübresinin 2/3 ile sürüm yapmıştır. Tohum yatağı hazırlığı yapılırken Haziran'da taban gübresinin 1/3'ü ve azotlu gübrenin yarısı vermiştir.

Ekim denemeleri yaklaşık 2 dekar alanda yapılmıştır. Şekil 3.33.'te deneme tarlasının harita görüntüsü verilmiştir.




**Şekil 3.33.** Deneme tarlası görüntüsü

### 3.1.4.1. Konya ilinin iklim özellikleri

Konya ilinde karasal iklim şartları etkilidir. Meteorolojik verilerin alındığı ilçelerde yıllık yağış toplamı 300 mm ile 750 mm arasında değişkenlik göstermektedir. İl genelinde ortalama yağış miktarı 320 mm'dir. Yağışların büyük bir kısmı sonbahar ve özellikle kış aylarında düşmektedir. Bitki büyüme ve gelişme açısından büyük öneme sahip olan nisan, mayıs ve haziran aylarındaki yağışın toplam il geneli yağış içindeki payı %27,3'tür. Bu değerler il genelinde nadaslı tarım sisteminin hâkim olmasının nedeni olarak mütalaa edilebilir. İl genelinde ortalama nispi nem %61,2 sıcaklık ortalaması 10,9 ◦C olarak gerçekleşmiştir (Anonim 2003). 2012 yıllında çalışmaların yapıldığı uygulama alanının bulunduğu Çaltı Köyünde iklim, yukarıda bahsedilen iklim özelliklerine benzemektedir.

### 3.1.4.2. Konya ilinin toprak özellikleri

Konya ilinde araziler 8 farklı kabiliyet sınıfına ayrılmış olup bu sınıfların oluşumunda iklimin, jeolojik yapının ve vejetasyondaki farklılığın rolü olmuştur. Konya ilinde I.,II.,III.,IV. sınıf tarım arazileri toplamı 2.406.467 hektar olup bu alan toplam tarım alanının %90,47'lik bir bölümünü oluşturmaktadır. Geriye kalan kısmını V.,VIII. sınıf araziler oluşturmaktadır. I. sınıf araziler sınıfında hemen hemen düz bir topografyaya sahip olan %2 eğimli, su ve rüzgar erozyonu zararı olmayan, toprak derinliği fazla drenajı iyi olan, tuzluluk, alkalilik ve taşlılık gibi sorunları olmayan, su tutma kapasiteleri yüksek, sulama yapılan verimli arazilerdir. Bu araziler aluviyal ve kahverengi topraklardan oluşur (Anonim 2003).

### 3.1.4.3. Uygulama arazisi toprak özellikleri

Şeker pancarı ekimi yapılacak uygulama tarlasının toprak ve nem analizleri Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Fiziksel Analiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Çizelge 3.7.'de ekim öncesi uygulama tarlasının toprak analizi sonuçları verilmektedir.

**Çizelge 3.7.** Ekim yapılan uygulama tarlasının toprak analiz sonuçları

| Derinlik (cm) | $P_b$ (g/cm$^3$) | $P_k$ (g/cm$^3$) | P % | AG % | Kil % | Silt % | Kum % | TS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0-20** | 1,29 | 2,67 | 52 | 12,06 | 38,37 | 45,33 | 16,29 | **SiCL** |
| **20-40** | 1,36 | 2,68 | 49 | 11,70 | 37,71 | 48,00 | 14,29 | **SiCL** |
| **40-60** | 1,44 | 2,67 | 46 | 11,93 | 37,71 | 46,00 | 16,29 | **SiCL** |

$P_b$:Hacim ağırlığı, $P_k$: Zerre yoğunluğu, P: Porozite, AG: Agregat stabilitesi, TS: Tekstür sınıfı

Çizelge 3.7. tablo sonucuna göre toprak SiCL: Siltli Killi Tın'dır. Silli killi tınlı topraklarda şekerpancarı tarımı yapıldığı dikkate alınarak, söz konusu alan deneme alanı olarak seçilmiştir.

Ekim için hazırlanan tohum yatağında oluşturulan alınan tekerrürlü toprak örneklerinin nem ve hacim ağırlığı Çizelge 3.8.'de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere derinlik artıkça nem değeri azalmaktadır.

**Çizelge 3.8.** Şeker pancarı için hazırlanan tohum yatağında toprak nem (%) değerleri

| Derinlik (cm) | A | B | C | Ortalama |
|---|---|---|---|---|
| 0-20 | 18,39 | 16,51 | 23,80 | 19,57 |
| 20-40 | 17,00 | 15,58 | 20,50 | 17,69 |
| 40-60 | 14,75 | 13,83 | 19,59 | 16,06 |

### 3.1.5.5. Uygulama arazisi toprak penetrasyon direnci

Toprağın batma direncini ölçmek için Şekil 3.34.'te gösterilen ve teknik özellikleri Çizelge 3.9.'da verilen penetrometre kullanılmıştır. Penetrometre ile düşey doğrultuda 80 cm derinliğe kadar her 1cm'deki toprak direnci MPa olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde tepe açısı 30º ve koni taban alanı 1 $cm^2$ olan koni kullanılmıştır. Ölçümler 0–20 cm'lik derinlikten alınmıştır. Değerlendirilmeye alınan her sırada tesadüfî iki ekim sırasından 5'er adet ölçüm yapılmıştır.

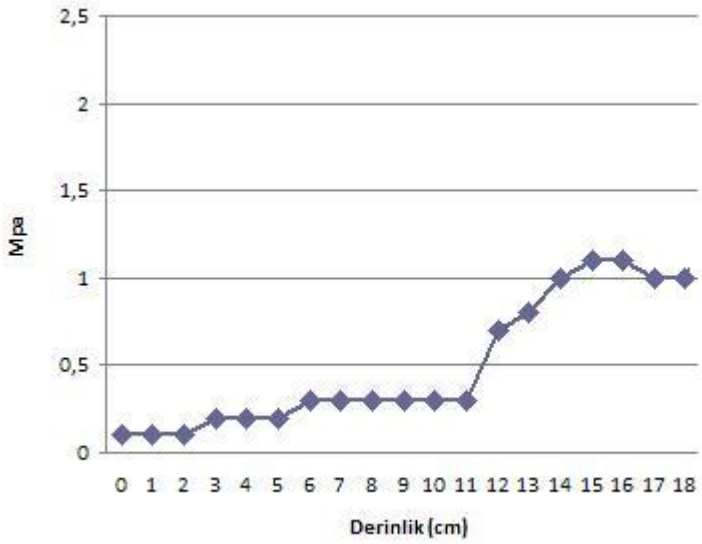


**Şekil 3.34**. Toprak penetrometre

**Çizelge 3.9.** Toprak penetrometre teknik özellikleri

| Penetrometre Teknik Özellikler | |
|---|---|
| Çalışma Sıcaklığı | 0 – 50 $^oC$ |
| Toplam Ağırlık | 152 N |
| Boyutlar | 58 X 29 X 25 cm |
| Hafıza | 1500 ölçüm |
| Max. Penetrasyon Ölçüm Değeri | 10 MPa |
| Ölçüm Çubuğu Uzunluğu | 97 cm |
| GPS Etkinliği | < 2,5 m |
| Güç Kaynağı | 5 X AA NiMH 2300 |

Şeker pancarı ekim robotunun ekim çalışmaları öncesinde, uygulama arazisinin farklı noktalarından alınan penetrasyon dirençleri penetrometre ile ölçülmüş ve Şekil 3.35.'te verilmiştir.




**Şekil 3.35.** Ekim öncesi penetrasyon değeri

Şekil 3.35.'ten görüleceği üzere toprak penetrasyon direnci ekim öncesinde denemelerin yapılacağı ekim derinliğinde 0,5 Mpa'nın altındandır.

## 3.2. Metot

Bu bölümde ekim robotunun performansını ölçmek için kullanılan deney metotları detaylı olarak açıklanmıştır. Deney metotları uygulanırken ISO 7256-1:1984 ve TS 6424:1989 Hassas Ekim Makinaları Deney Metotlarından ve hassas ekim makinaları için daha önce uygulanmış diğer yöntemlerden faydalanılmıştır.

### 3.2.1. Sıra üzeri tohum ve bitki dağılımlarının belirlenmesi

Laboratuvar denemelerinde; sıra üzeri tohum dağılımını belirlemek amacıyla ekim robotunun ekici ünitesi, düz çalışma konumunda, 0,55 m/s, 0,66 m/s, 0,77 m/s ve 0,88 m/s ilerleme hızlarında ve 21,5 cm sıra üzeri ekim mesafesinde çalıştırılmıştır. Yapışkan bant düzenine serbest düşüş yapan tohumların, birbirine olan uzaklıkları çelik cetvel ile ölçülüp, kayıt edilmiştir.

Tarla denemelerinde; ekim robotu ile 21,5 cm sıra üzeri ekim mesafesinde ulaşabildiği en yüksek hız olan 0,36 m/s ilerleme hızında ekim yapılmıştır. Ekim tarihinden 12 gün sonra rastgele seçilen 2., 5. ve 9. çizelerden yine rastgele seçilen 10 m uzunluğundaki mesafede bitkiler arası mesafe metre ile ölçülüp, kayıt edilmiştir.

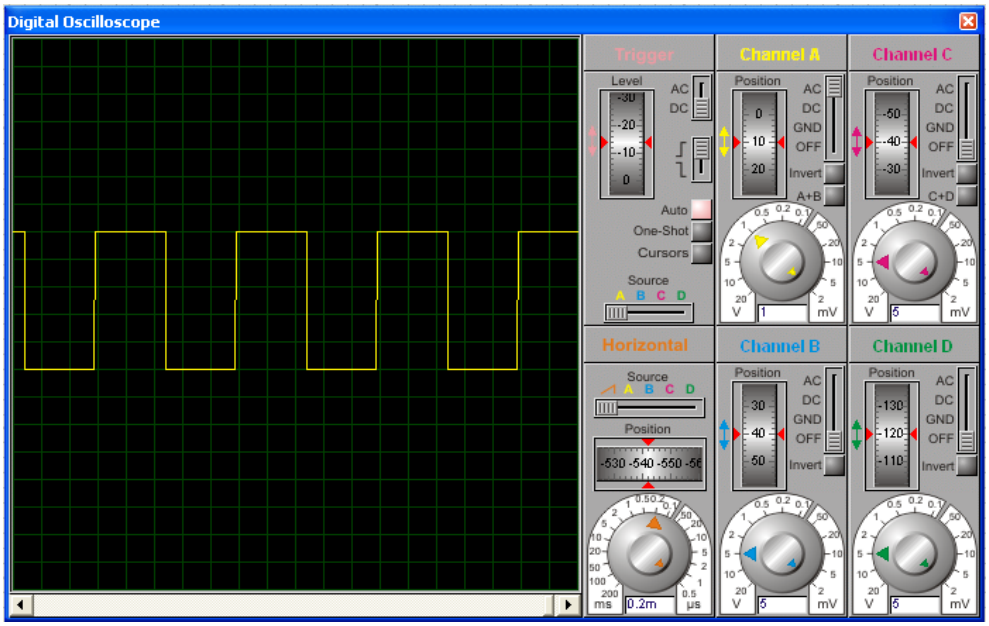
### 3.2.2. Kabul edilebilir tohum ve bitki aralıkları oranının belirlenmesi

Hassas ekici düzenlerin değerlendirilmesinde, (0.5-1.5)Z tohum ya da bitki aralıklarının, toplam tohum ya da bitki aralıkları içindeki nispi oranları da (%) kullanılmaktadır. Sıra üzeri tohum ve bitki dağılımında (0.5-1.5)Z oranı, kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) ve kabul edilebilir bitki aralığı (KEBA) aralığı olarak isimlendirilir. 0.5Z'den küçük, (0.5-1.5)Z aralığı ve 1.5Z'den büyük tohum ya da bitki aralıklarının nispi oranları, yapışkan bant deneyinde ve tarlada ölçülen bitki aralıklarının sınıflandırılmasıyla belirlenmiştir (Hempsch ve Brinkmann 1975, Önal 1987b, Schrödl 1992, Griepentrog 1993).

Modern hassas ekim makinalarında (0.5-1.5)Z aralığının %80'den fazla olması istenmektedir. Ayrıca 0.5Z'den küçük ve 1.5Z'den büyük tohum ya da bitki aralıkları %10'dan az olmalıdır (Irla 1983, Önal 1987b).

### 3.2.3. Şeker pancarı ekim robotu ilerleme hızının belirlenmesi

Ekim robotunun kontrol sistemi, tekerlek hızlarını, geri besleme sinyallerini baz alarak hesaplar. Geri besleme sinyali, tekerlek döndüğü sürece üretilen, frekansı tekerleğin dönme hızına bağlı olarak değişen, kare dalga formatında bir sinyaldir. Şekil 3.36.'da bilgisayar simülasyonunda üretilmiş bir kare dalga sinyali örnek verilmiştir.




**Şekil 3.36.** Bir kare dalga sinyalin simülasyon görüntüsü

Bu sinyal, hızın ölçülebilen en küçük parçasının sayısal örneğidir. Sinyali üreten mekanik yapı; ekim robotunun sağ arka ve sol arka tekerleklerinde, tekerlek merkezine 1:8 oranında çevrim yapan bir dişli ile bağlı, 1024 pals'lik 1 bit çıkışlı, birer mutlak enkoder bulunmaktadır. Tekerlek bir tur yol aldığında, enkoder 8 tur yol alır. 1 turunda 1024 pals ürettiği için toplamda tekerleğin 1 turunda 8192 pals üretilir. Kontrol sisteminin gerçek zamanlı tepki verebilmesi için tekerlek hızlarını çok hızlı hesaplayabilmesi gerekir. Bu sebeple, hızın ölçümünde kullanılan teknik, belirli bir sürede üretilen pals sayısını ölçmek yerine, ardışık iki pals arasında geçen sürenin hesaplanmasına dayanır. Böylelikle mümkün olan en yüksek hızla tekerlek hızı hesaplanmış olur. $T_{sg}$, robot hareketinin birim süresi olduğuna göre hızın hesaplanması şu şekilde olacaktır;

$$T = T_{sg} \times N_s \times R_s \text{ saniye}$$

$$V = \text{Tekerlek Çevresi} / T \text{ m/s}$$

$T$ : Bir tekerlek turunda geçen süre (s)

$N_s$ : Sağ tekerlek enkoderinin bir tekerlek turda ürettiği pals sayısı (adet)

$R_s$ : Sağ tekerlek enkoderinin redüksiyon oranı

$T_{sg}$ : Sağ tekerlek geri besleme sinyalinin ölçülen periyodu (s)

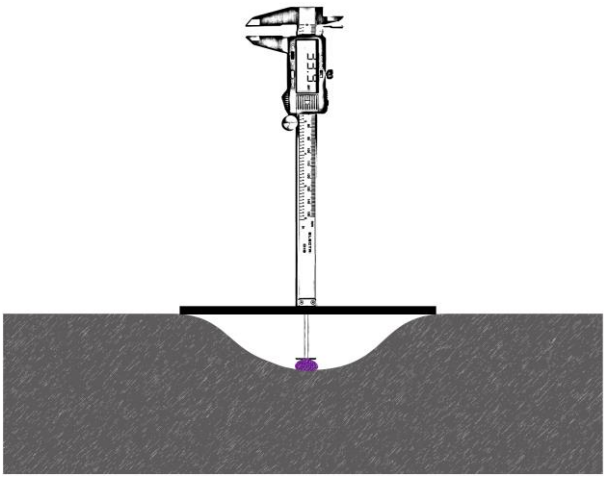
Şekil 3.37.'de ekim robotu üzerindeki sağ tekerlek geri besleme ünitesi görülmektedir. Enkoder, tekerlek ile eş merkezli bağlanmış bir dişli ile, devir 8 katına çıkarılacak şekilde redüksiyona tabi tutulmuştur.



**Şekil 3.37.** Tekerlek-enkoder bağlantısının görünüşü

### 3.2.4. Tohum ekim derinliğinin belirlenmesi

Ekim robotunun baskı tekerleğinin izinden toprak sıyrılarak (tohum yerinden oynatılmadan), tohum üzeri açılmış ve kumpas yardımıyla Şekil 3.38.'de görüldüğü gibi tohum ekim derinlikleri 25 adet için ölçülmüştür (Buckel ve ark. 1986).



**Şekil 3.38.** Tohum ekim derinliğinin belirlenmesi

### 3.2.5. Ortalama çimlenme süresi (OÇS), çimlenme oranı indeksi (ÇOİ) ve tarla filiz çıkış derecesinin (TFÇ) belirlenmesi

Ortalama çimlenme süresi, çimlenme oranı indeksi ve tarla filiz çıkışı değerlerini saptamak amacıyla, ekim yapılan 2., 5. ve 9. ekim sıraları değerlendirmeye alınmıştır. Bu ekim sıralarında rastgele seçilen 10 m uzunluğundaki kısımlarda da, ilk intaşın görüldüğü ekimin 12. gününden çimlenmenin sona erdiği 20. güne kadar 2 gün aralıkla filizler sayılmış ve aşağıdaki bağlantılar kullanılmıştır (Işık ve ark. 1986).

$$OÇS = \frac{N_1D_1 + N_2D_2 + \ldots + N_nD_n}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n}$$

$$ÇOİ = \frac{\text{Metrede çimlenen tohum sayısı}}{OÇS}$$

$$TFÇ = \frac{\text{Metrede çimlenen tohum sayısı}}{\text{Metreye ekilen tohum sayısı}} \text{ X } 100$$

OÇS : Ortalama çimlenme süresi (gün)
N : Her bir sayımda çimlenen tohum sayısı (adet)
D : Ekimden sonra geçen gün sayısı (gün)
ÇOİ : Çimlenme oranı indeksi (adet/m.gün)
TFÇ : Tarla filiz çıkış derecesi (%)

### 3.2.6. Toprak nemi ve hacim ağırlığının belirlenmesi

Şeker pancarı ekimi yapılacak toprağın nem ve hacim ağırlığı tespiti Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Fiziksel Analiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

## 3.3. Denemelerin Düzenlenmesi ve Yürütülmesi

### 3.3.1. Laboratuvar denemelerinin düzenlenmesi

Şeker pancarı ekim robotunun laboratuvar denemelerinde farklı ilerleme hızları 0,55 m/s, 0,66 m/s, 0,77 m/s ve 0,88 m/s olarak belirlenmiştir. Denemelerde yapışkan

bandın tohum ekici üniteye düşey mesafesi 75 mm olarak alınmıştır (Anon. 1991, Anon. 1993). Yapışkan bant üzerinde tohum sıra üzeri mesafesi 21,5 cm olarak belirlenmiş ve tohumlar arası mesafenin ölçümleri çelik cetvel ile yapılmıştır (Önal 1987b, Tasbaş 1994).

Tez araştırmasına konu olan şeker pancarı ekim robotunun tohum dağılım düzgünlüğüne, ilerleme hızını denemeleri tek sıra üzeri ekim mesafesinde yapılmıştır. Pancar ekimi yapılacak tarlaların tesfiyesinin çok muntazam yapılması sebebiyle tarla yüzeyi oldukça düzgün bir yapıdadır. Ekimin yapılacağı tarla da düşük eğime sahip olduğu için laboratuvar deneyinde de çalışma konumu meyili önemsenmemiştir, laboratuvar denemelerinde çalışmalar düz konumda yapılmıştır. Denemeler 3 tekerrürlü olarak yapılmış olup, denemelerde kaplanmış şeker pancarı tohumları kullanılmıştır.

### 3.3.2. Tarla denemelerinin düzenlenmesi

Ekim robotu üzerinde 2 çizide ekim yapabilen ekici ayaklar arası mesafe 45 cm olup, ekim robotunun ayarlanabilir ekim derinliği tarla denemeleri için sabit 3,4 cm olarak belirlenmiştir. Denemeler sabit 0,36 m/s ilerleme hızında yapılmıştır. Ekim anma mesafesi şekerpancarı ekim şartlarına göre sıra üzeri mesafe 21,5 cm olarak alınmıştır. Belirlenen bu şartlar için ekim robotu toplam 10 çizi için ve her bir çizi 10 m uzunluğunda olacak şekilde ekim işlemini gerçekleştirmiştir.

Ekim işlemi 11 Haziran 2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Havanın sıcak olması sebebiyle düzenli aralıklarla gün aşırı 2 saat sulama yapılmıştır.

Ekim robotu tarla denemeleri sonucunda, sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğünü ifade eden varyasyon katsayısı değerlerine varyans analizi ve LSD testi uygulanmıştır.

Tarla denemeleri sonrasında robotun ekim sisteminin yüksek doğrulukta çalıştığı görülmüştür. Ancak bazı geliştirmelerin yapılması ile başarı oranının artırılabileceği, batarya ömrünün uzatılabileceği, arazi ortamına karşı daha adaptif bir yapı geliştirilebileceği gözlenmiştir.

Vakum motorunun oluşturduğu emme gücü, laboratuvar deneylerinde elde edilen sonuçlara göre sabit bir devirde, geri besleme olmaksızın döndürülmesiyle oluşturulmaktadır. Vakum etkisinin ölçülmesi için tasarlanacak geri besleme sisteminde kullanılacak olan sensörlerin temini konusunda yaşanan zorluklar ve tasarımın gecikmesi sebebiyle, ekim sistemi vakum ünitesi, deneysel olarak elde edilen sonuçlara göre uygulamaya alınmıştır. Ancak sensörler ile ölçüm alınarak uygun vakum değerinin

gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve kontrol edilmesi, yüksek enerji harcayan vakum motorunun daha etkili çalıştırılması ile robotun güç tüketimine olumlu etki sağlayacaktır. Ayrıca vakum gücü, ekici diskin dönüş hızına, sürtünme kuvvetleri nedeniyle olumsuz etki yarattığı için ihtiyaçtan fazla vakum gücü oluşturulmaması disk motorunun harcadığı enerjiyi de optimum seviyede tutacaktır. Böylelikle batarya ömrü bir miktar daha uzayacaktır.

Ekim sırasında, hareket kontrol algoritması, robotun düzgün bir doğru izleyerek hareket etmesini sağlamaktadır. Ancak uzun süreli hareket halinde, meydana gelen hataların birikmesi sebebiyle düz yörüngede sapmalar gözlenmiştir. Ekim sırasında robot operatörü telemetri sistemi aracılığıyla gerekli düzenlemeleri yaparak çizilerin düzgünlüğünü sağlamıştır. Ancak tasarıma eklenecek IMU (atalet ölçüm ünitesi) ile yörüngedeki sapmalar hassas bir şekilde algılanıp gerekli düzenlemelerin operatör müdahalesine gerek kalmadan otonom olarak yapılması sağlanacaktır.

# 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

## 4.1. Laboratuvar Denemelerinin Sonuçları

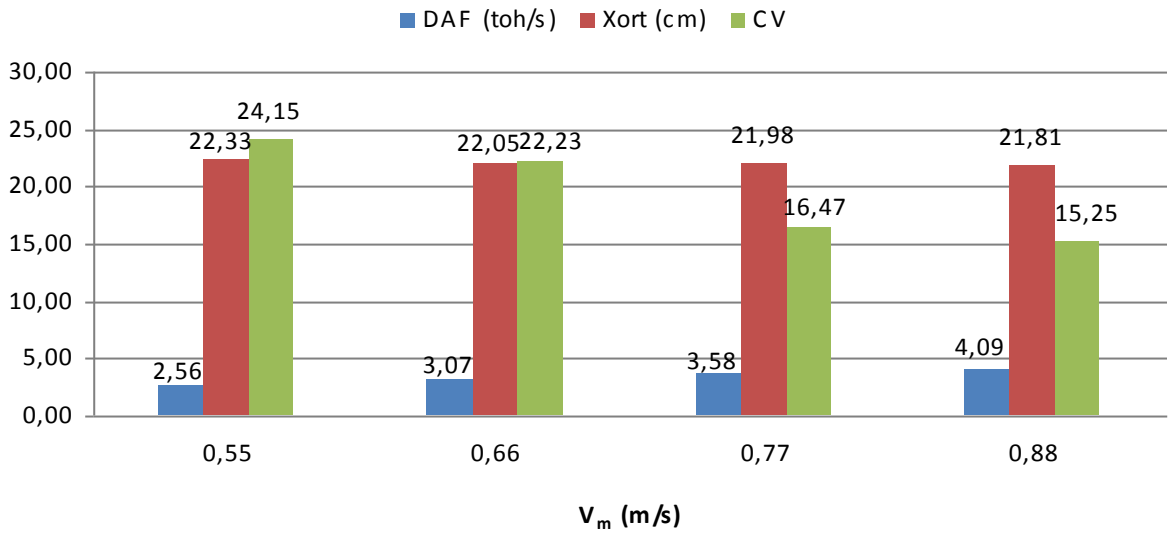
Şeker pancarı ekim robotunun kaplanmış şeker pancarı tohumları ile laboratuvar ortamında farklı ilerleme hızı ve 21,5 cm anma ekim mesafesinde elde edilen yapışan bant toplu sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Laboratuvar denemesine ait ham veriler çizelge halinde Ek-1'de verilmiştir. Şekil 4.1.'de ekici ünitenin yapışkan banta deney atışlarından bir görüntü, Şekil 4.2.'de laboratuvar sonuçları histogram gösterim verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Ekim robotu laboratuvar sonuçları

| | | | | | | | | K.E.T.A | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_m$ (m/s) | Sanal Redük.Oranı (i) | $V_p$ (m/s) | $V_m/V_p$ | DAF (toh/s) | Z (cm) | $X_{ort}$ (cm) | CV (%) | <0,5Z (%) | (0,5-1,5)Z (%) | >1,5Z (%) |
| 0,55 | 6,04 | 0,077 | 7,21 | 2,56 | 21,5 | 22,388 | 24,148 | 0,9 | 95,7 | 3,4 |
| 0,66 | 6,04 | 0,093 | 7,16 | 3,07 | 21,5 | 22,050 | 22,231 | 0,9 | 96,4 | 2,7 |
| 0,77 | 6,04 | 0,109 | 7,13 | 3,58 | 21,5 | 21,983 | 16,469 | 0,0 | 97,4 | 2,6 |
| 0,88 | 6,04 | 0,125 | 7,11 | 4,09 | 21,5 | 21,812 | 15,249 | 0,0 | 99,1 | 0,9 |



**Şekil 4.1.** Laboratuvar çalışma düzeni




**Şekil 4.2.** Laboratuvar sonuçlarına ait histogram

### 4.1.1. Dane atım frekansının etkisi

#### 4.1.1.1 Ana tohum dağılımına etkisi

Ekim robotunun laboratuvar ortamında kaplanmış şeker pancarı tohumuyla ve düz çalışma konumunda yapılan denemelerinde, dane atım frekansı değerinin artışı ile varyasyon katsayısı değerinin azaldığı görülmüştür. Ekim robotun düz çalışma konumunda 2,56 (toh/s) ve 4,09 (toh/s) DAF değerlerinde, varyasyon katsayısı değeri %24,148'den %15,249'e düşmüştür (Çizelge 4.1.).

Hacıseferoğulları pnömatik ekim makinası ile yaptığı çalışmasında, düşük DAF değerinde ana dağılımın varyasyon katsayısı değeri düşük seviyelerde iken, DAF değerinin artışına bağlı olarak varyasyon katsayısının değerinin arttığı bilgisini vermiştir. Pnömatik ekim makinası düz çalışma konumunda 6,46 ve 40,49 (toh/s) DAF değerleri arasında varyasyon katsayısı değeri %17,51'den %94,46'ya yükselmiştir. (Hacıseferoğulları, 1998).

Bu sonuçlara göre robotun ekim kalitesinin, hassas pnömatik ekim makinasına göre daha iyi olduğu görülmektedir.

#### 4.1.1.2. İkizlenme ve Boşluk oranlarına etkisi

Ekim robotunun kaplanmış şeker pancarı tohumuyla düz çalışma konumunda yapılan denemelerinde, ikizlenme ve boşluk oranlarının DAF değerindeki artışa karşılık azalma gösterdiği tespit edilmiştir. 2,56 (toh/s) ve 3,07 (toh/s) DAF değerinde

ikizlenme oranları %0,9 olarak bulunmuştur. Robotun 3,58 (toh/s) ve 4,09 (toh/s) DAF değerlerinde ise ikizlenme oranı %0 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1.). Boşluk oranı 2,56 (toh/s) DAF değerinde en yüksek %3,4; 4,09 (toh/s) DAF değerinde en düşük %0,9 olarak tespit edilmiştir.

Hacıseferoğulları pnömatik ekim makinası ile yaptığı çalışmasında, ikizlenme ve boşluk oranlarının DAF değerindeki artışa karşılık artma gösterdiğini tespit etmiştir. 17,94 (toh/s) DAF değerinin altındaki DAF değerlerinde, ikizlenme değeri çok düşük bulunurken, boşluk oranı %10 altında bulunmuştur. Pnömatik ekim makinasının düz çalışma konumunda ve 40,49 (toh/s) DAF değerinde ikizlenme ve boşluk oranı sırasıyla %17,33 ve %41,58 olarak bulunmuştur (Hacıseferoğulları, 1998).

Sonuçlara göre ekim robotunun ikizlenme ve boşluk oranları yüzdeleri, pnömatik ekim makinası sonuçlarına göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

#### 4.1.1.3. Kabul edilebilir tohum dağılımına etkisi

Robotun tüm çalışma hızlarında DAF değeri arttığında, kabul edilebilir tohum aralıklarını (0,5-1,5)Z oranın yüzdesi artmaktadır. Düz çalışma konumunda en düşük DAF değeri olan 2,56 (toh/s) DAF değerinde kabul edilebilir tohum aralığı %95,7 iken, en büyük DAF değeri olan 4,09 (toh/s) DAF değerinde kabul edilebilir tohum aralığı %99,1 bulunmuştur. Buna bağlı olarak, aynı DAF değerlerinde 0,5Z'den küçük değerleri oranı en fazla %0,9; 1,5Z'den büyük değerlerin oranı ise %0,34 ile %0,09 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.1.).

Hacıseferoğulları pnömatik ekim makinası ile yaptığı çalışmasında, dane atım frekansı değerleri arttığında, kabul edilebilir tohum aralıkları [(0.5-1.5)Z] oranının yüzdesi düşmekte ve ekimde kalitenin azaldığını belirtmiştir. Pnömatik ekim makinasının düz çalışma konumunda en düşük 6,46 (toh/s) DAF değerinde KETA %98,93 iken en büyük 40,49 (toh/s) DAF değerinde bu değer %36,14 bulunmuştur. Aynı DAF değerlerinde 0,5Z'den küçük değerlerin oranı sıfırdan %12,38'e, 1,5Z'den büyük değerlerin oranı ise %1,07'den %51,48 değerine çıkmıştır (Hacıseferoğulları, 1998).

Bu sonuçlara göre ekim robotunun pnömatik ekim makinası aksine, DAF değeri ile kabul edilebilir tohum aralığı değeri arasında doğru oranda ilişki olup, ekim kalitesi yüksek hızda artmaktadır.

### 4.1.2. Robot ilerleme hızının etkisi

#### 4.1.2.1. Ana tohum dağılımına etkisi

Ekim robotunun kaplanmış şeker pancarı tohumuyla laboratuvar ortamında düz çalışma konumunda yapılan denemelerinde, ana dağılımın varyasyon katsayısı değeri ilerleme hızına bağlı olarak azalmıştır. Robotun 0,55 m/s ilerleme hızında varyasyon katsayısı %24,148 iken, robotun çalışma hızı 0,88 m/s olduğunda varyasyon katsayısının %15,249'a düştüğü görülmektedir (Çizelge 4.1.).

Hacıseferoğulları pnömatik ekim makinası ile yaptığı çalışmasında, ana dağılımın varyasyon katsayısı değerleri ile ilerleme hızı arttıkça yükselme eğiliminde olduğunu bulmuştur. Pnömatik hassas ekim makinasında kaplanmış şeker pancarı tohumlarıyla 1 m/s ilerleme hızında 15,47 cm sıra üzeri ekim mesafesinde varyasyon katsayısı değerleri %17,51 iken hız 2 m/s olduğunda varyasyon katsayısı %27,80'e yükselmiştir (Hacıseferoğulları, 1998).

Anlaşılacağı üzere pnömatik sisteminde ekim robotundaki değerlerin tersine ilerleme hızının artışı varyasyon katsayısı değerinde artışa neden olmuştur.

#### 4.1.2.2. İkizlenme ve Boşluk oranlarına etkisi

Ekim robotunun kaplanmış şeker pancarı tohumuyla düz çalışma konumunda yapılan denemelerinde, 0,55 m/s ve 0,66 m/s ilerleme hızlarında ikizlenme oranları %0,9 olarak bulunmuştur; 0,77 m/s ve 0,88 m/s ilerleme hızlarında ise ikizlenme oranı %0 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1.).

Boşluk oranı 0,55 m/s ilerleme hızında en yüksek %3,4; 0,88 m/s ilerleme hızında en düşük %0,9 olarak tespit edilmiştir.

Hacıseferoğulları pnömatik ekim makinası ile yaptığı çalışmasında, ilerleme hızı artıkça ikizlenme ve boşluk oranlarında artış olduğunu bu artışın boşluk oranlarında daha belirgin olduğunu gözlemlemiştir (Hacıseferoğulları, 1998).

Bu sonuçlara göre robotun ekim kalitesinin, hassas pnömatik ekim makinasına göre daha iyi olduğu görülmektedir.

### 4.1.2.3. Kabul edilebilir tohum aralığına etkisi

Şeker pancarı ekim robotunu çalışma hızı arttıkça kabul edilebilir tohum aralıkları oranında da artma olmuştur. Kabul edilebilir tohum aralıkları robotun tüm çalışma hızlarında %95 üzerinde gerçekleşmiştir. Robotun ilerleme hızı 0,55 m/s iken kabul edilebilir tohum aralığı oranı en düşük %95,7; ilerleme hızı 0,88 m/s iken kabul edilebilir tohum aralığı oranı en yüksek %99,1 olarak bulunmuştur(Çizelge 4.1.).

Irla (1974), Önal (1987b), Aichinger (1989), Irla ve Heusser (1991), Tasbaş (1994), Hacıseferoğulları (1998) araştırmalarında, ilerleme hızındaki artışın KETA oranını düşürdüğünü bildirmektedirler. Yüksek olması istenen (0,5- 1,5) Z değeri, %70,5 olarak mekanik makinada, en düşük (0,5-1,5) Z değeri de %54,4 olarak Pnömatik makinasında tespit edilmiştir (Düşmezkalender, 2006). Hacıseferoğulları çalışmasında, 15,47 cm sıra üzeri mesafede yapılan denemeleri için ilerleme hızı artışının tohum dağılım düzgünlüğünün bozulmadığını tespit etmiştir (Hacıseferoğulları, 1998).

Elde edilen bu bilgilere göre robotun pnömatik ekim makinesine göre ekim başarısının yüksek olduğu görülmektedir.

### 4.1.3. İstatistik analiz sonuçları

Laboratuvar koşullarında, yapışkan bant düzeninde kaplanmış şeker pancarı tohumları ile yapılan denemeler sonucunda elde edilen sonuç tablosu ışığında (EK-1), Çizelge 4.2.'de örnek grubuyla ilgili bazı istatistikler verilmektedir. Örneğin ekim düzeneğinin hızı en yüksek hız olan 0,88 m/s iken ekim sıra üzeri mesafesi 21,8 cm olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.2.** İstatistiksel sonuç tablosu

| Hız | Örnek Sayısı | Aritmetik Ortalama | Standart Sapma | Standart Hata | 95% Güven Aralığı | | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Alt Sınır | Üst Sınır | | |
| 2 km/h | 116 | 22,388 | 5,4062 | 0,5019 | 21,394 | 23,382 | 7,0 | 46,0 |
| 2,4 km/h | 111 | 22,050 | 4,9017 | 0,4653 | 21,128 | 22,972 | 10,0 | 44,0 |
| 2,8 km/h | 117 | 21,983 | 3,6204 | 0,3347 | 21,320 | 22,646 | 13,0 | 40,0 |
| 3,2 km/h | 117 | 21,812 | 3,3262 | 0,3075 | 21,203 | 22,421 | 11,5 | 33,5 |
| Toplam | 461 | 22,057 | 4,3808 | 0,2040 | 21,657 | 22,458 | 7,0 | 46,0 |

Çizelge 4.3.'te varyansların homojen olup olmadığına bakılmaktadır. Sigma değeri 0,087 > 0,05 olduğu için varyanslar homojendir ve anova yani varyans analizi sonucuna bakılır.

**Çizelge 4.3.** Varyansların homojenlik testi

| Levene Testi | df1 | df2 | Sigma |
|---|---|---|---|
| 2,205 | 3 | 457 | 0,087 |

Çizelge 4.4.'te gösterilen ANOVA testi sonuç tablosuna bakıldığında ise Sigma Değeri 0,787> 0,05 (hata payı) büyük olduğu için gruplar arası fark yoktur.

**Çizelge 4.4.** Anova testi sonuç tablosu

| Hız | Kareler toplamı | df | MSE | F | Sigma |
|---|---|---|---|---|---|
| Gruplar arası | 20,377 | 3 | 6,792 | 0,352 | 0,787 |
| Gruplar içi | 8807,850 | 457 | 19,273 | | |
| Toplam | 8828,227 | 460 | | | |

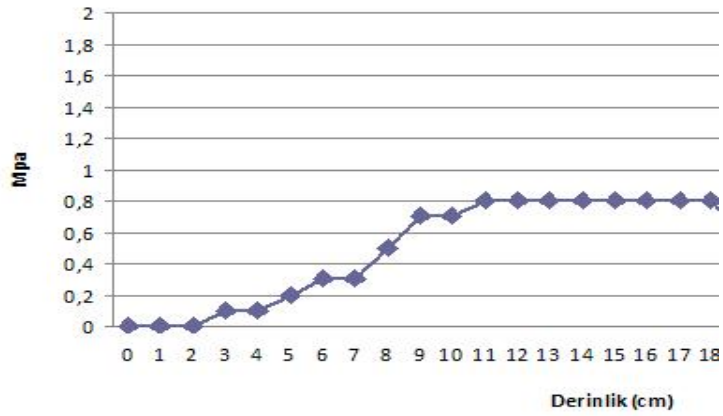
Çizelge 4.5. ve 4.6.'daki LSD testi sonuçlarına da baktığımız zaman bütün gruplar aynı satırda çıkmıştır. Dolayısıyla ekim robotunun laboratuvar denemeleri sonucu ölçülen ilerleme hızı farklılıklarının sonuç üzerinde etkisi yoktur.

**Çizelge 4.5.** LSD testi sonuç tablosu

| | (I) Gruplar | (J) Gruplar | Ortalama Fark (I-J) | Standart Hata | Sigma | 95% Güven Aralığı | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Alt Sınır | Üst Sınır |
| LSD | 2,0 km/h | 2,4 km/h | 0,3384 | 0,5829 | 0,562 | -0,807 | 1,484 |
| | | 2,8 km/h | 0,4050 | 0,5752 | 0,482 | -0,725 | 1,535 |
| | | 3,2 km/h | 0,5760 | 0,5752 | 0,317 | -0,554 | 1,706 |
| | 2,4 km/h | 2,0 km/h | -0,3384 | 0,5829 | 0,562 | -1,484 | 0,807 |
| | | 2,8 km/h | 0,0666 | 0,5817 | 0,909 | -1,076 | 1,210 |
| | | 3,2 km/h | 0,2376 | 0,5817 | 0,683 | -0,906 | 1,381 |
| | 2,8 km/h | 2,0 km/h | -0,4050 | 0,5752 | 0,482 | -1,535 | 0,725 |
| | | 2,4 km/h | -0,0666 | 0,5817 | 0,909 | -1,210 | 1,076 |
| | | 3,2 km/h | 0,1709 | 0,5740 | 0,766 | -0,957 | 1,299 |
| | 3,2 km/h | 2,0 km/h | -0,5760 | 0,5752 | 0,317 | -1,706 | 0,554 |
| | | 2,4 km/h | -0,2376 | 0,5817 | 0,683 | -1,381 | 0,906 |
| | | 2,8 km/h | -0,1709 | 0,5740 | 0,766 | -1,299 | 0,957 |

## 4.2. Tarla Denemelerinin Sonuçları

Şeker pancarı ekim robotunun sabit ilerleme hızı 0,36 m/s'de yapılan ekimi sonrasında baskı tekerleğinin izinden alınan penetrasyon dirençleri Şekil 4.3.'te verilmiştir. Şekil 4.4.'te ise penetrasyon direnci ölçümden bir resim görülmektedir.




**Şekil 4.3.** Ekim sonrası penetrasyon değeri

Şekil 4.3.'ten anlaşılacağı üzere 11 cm toprak derinliğine kadar 0,8 Mpa'a kadar yükselmiş, 11 cm toprak derinliğinden sonra ise penetrasyon direncinin sabit kaldığı görülmektedir. Bu durumun daha önceki yıllarda yapılan toprak işleme faaliyetlerinden kaynaklandığı belirtilebilir.



**Şekil 4.4.** Toprağın penetrasyon ölçümünden görüntü

Ekim robotunun baskı tekerleğinin izinden tohum yerinden oynatılmadan toprak sıyrılarak, tohum üzeri açılmıştır. Kumpas yardımıyla 25 adet için ölçülen ekim derinliği ortalama 33,9 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 4.5.'te tohum derinliği ölçümünden bir resim görülmektedir.



**Şekil 4.5.** Tohum derinliği ölçümünden görüntü

Şeker pancarı ekim robotunun kaplanmış şeker pancarı tohumları ile 0,36 m/s sabit hız ve 21,5 cm ekim mesafesinde gerçekleştirilen, uygulama tarlasındaki ekim sonuçları Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Tarla denemesine ait ham veriler Ek-2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Ekim robotu tarla sonuçları

| | | | | | | | | K.E.B.A | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **$V_m$ (m/s)** | **Tran.Oranı (i)** | **$V_p$ (m/s)** | **$V_m/V_p$** | **DAF (toh/s)** | **Z (cm)** | **$X_{ort}$ (cm)** | **CV (%)** | **<0,5Z (%)** | **(0,5-1,5)Z (%)** | **<1,5Z (%)** |
| 0,36 | 6,04 | 0,05 | 7,20 | 1,67 | 21,5 | 23,51 | 23,42 | 1,61 | 91,15 | 7,24 |

Çizelge 4.6.'da görüldüğü gibi robotun 0,36 m/s ilerleme hızında kaplanmış şeker pancarı tohumları ile tarla denemelerinde elde edilen sonuçlarına göre sıra üzeri mesafelerin varyasyon katsayısı değeri %23,42 olarak bulunurken, boşluk oranı %1,61;

(0,5-1,5)Z kabul edilebilir bitki aralığı %91,15; ikizlenme oranı %7,24 olarak bulunmuştur.

Hacıseferoğulları çalışmasında, pnömatik hassas ekim makinası ile elde edilen CV değerleri %62,48...%77,85 arasında değişirken, boşluk oranları %24,57...%31,32 değerleri arasında değiştiğini bulmuştur (Hacıseferoğulları, 1998).

Tarla koşullarında tarla çıkış dercesine birçok faktör etkilidir. Tohum yatağının fiziksel durumu, nem durumu, ekim derinliği, toprak ısısı, tohumun çimlenme gücü, haşarat ve çevre faktörleri bu faktörlere örnek verilebilir.

Kaplanmış şeker pancarı tohumlarının çimlenme günlerine bağlı olarak elde edilen şeker pancarı bitkisi ortalama çimlenme süresi (OÇS), çimlenme oranı indeksi (ÇOİ) ve tarla filiz çıkış derecesi (TFÇ) değerleri Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Ekim robotunun tarla denemesi sonuçları

| | **Tekerrür 1** | **Tekerrür 2** | **Tekerrür 3** | **Ortalama** |
|---|---|---|---|---|
| **OÇS** | 13,76 | 13,21 | 13,76 | 13,58 |
| **ÇOİ** | 0,30 | 0,32 | 0,31 | 0,31 |
| **TFÇ** | 88,15 | 90,30 | 90,30 | 89,58 |

Ekim robotunun tarla denemeleri sonucunda, tohum çimlenmesinin başladığı 12. günden çimlenme sona erene kadar ölçülen 2.,5. ve 9. sıralar üzerinde 10 m uzunluğundaki kısımdan alınan ölçüm sonuçları Çizelge 4.9.'da görüldüğü gibi sonuçlanmıştır. Çizelgeden görüleceği üzere 11 Haziran 2012'de yapılan ekim çalışmaları sonucunda ortalama çimlenme süresi 13,58 gün bulunmuştur. Çimlenme oranı indeksi ortalama olarak 0,31 adet/m.gün bulunmuştur. Ortalama tarla filiz çıkış derecesi ise %89,58 olarak bulunmuştur.

Yapılan araştırmalarda ortalama çıkış süresi, pnömatik ekim makinasında 16,94...17,84 gün arasında, mekanik ekim makinasında ise 18,64...19,26 olarak bulunmuştur (Hacıseferoğulları, 1998).

Çimlenme oranı indeksi değeri mekanik ekim makinasında 1,12...0,884 adet/m.gün ve pnömatik ekim makinasında 1,404...0,92 adet/m.gün değerleri arasında bulunmuştur (Hacıseferoğulları, 1998).

Şekil 4.6.'da 11 Haziran 2012 tarihinde yapılan tarla denemesine dair görüntüler verilmiştir.



**(a)**



**(b)**

**Şekil 4.6.** Ekim robotunun tarla uygulamaları

Şekil 4.7.'de ekim robotu ile yapılan tarla denemesinin çıkışı gösteren fotoğrafları resimlenme tarihine göre gruplandırılarak gösterilmiştir.



**(a)** 23 Haziran 2012



**(b)** 2 Temmuz 2012

**Şekil 4.7.** Tohum filizlenmesi

Şekil 4.7.'ye göre şeker pancarı tohumunun çıkışının takip edildiği ilgili bir haftalık sürede, sağlıklı ve düzgün büyümenin devam ettiği görülmektedir.

Şekil 4.8.'de ekim robotu ile yapılan tarla denemesinin, şeker pancarı bitkisini gösteren fotoğrafları resimlenme tarihine göre gruplandırılarak gösterilmiştir.



**(a)** 9 Temmuz 2012



**(b)** 24 Temmuz 2012

**Şekil 4.8.** Şeker pancarı bitkisi

Şekil 4.8.'den görüleceği üzere şeker pancarı bitkisinin yaprak gelişiminin sağlıklı bir şekilde devam etmiştir.

Şekil 4.9.'da ekim robotu ile tarla denemesinin, pancar kök gelişimini gösteren fotoğrafları gruplandırılarak gösterilmiştir.



**(a)** 9 Temmuz 2012



**(b)** 17 Temmuz 2012



**(c)** 24 Temmuz 2012

**Şekil 4.9.** Şeker pancarı kök gelişimi

Şekil 4.9.'dan görüleceği üzere bitkinin kök gelişimi, bitkinin yaprak gelişimine paralel olarak devam etmiştir.

# 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

## 5.1. Sonuçlar

Tarımsal üretimde çevreyi özellikle de toprağı koruyarak ürünün miktar ve kalitesini artırmak zor ve karmaşık bir işlemdir. Bu yöndeki çabalara destek sağlayacak çalışmalardan birisi de tarımda ileri teknoloji kullanmaktır. Bu alana ait uygulamalar ”Hassas Tarım” ya da “Akıllı Tarım” olarak adlandırılmaktadır.

Hassas Tarım kapsamındaki Robot kullanımı ülkemizde henüz çok yeni olmasına rağmen, dünyada tarımsal üretimin değişik aşamalarında yaygınlaşmaktadır.

Hassas ekim makinalarından istenilen başarı laboratuvar ve tarla ortamında homojen tohum ve bitki dağılımıdır. Ekim robotuyla tarlada ekim ise mevcut pnömatik ve mekanik hassas ekim tekniklerinden farklı olarak, kısa anma ekim mesafelerinde değil şeker pancarı bitkisinin istediği 21,5 cm anma mesafesinde istenilen aralıklarla ve eşit derinliklerde muntazam ekim çimlenmesi ile tarla çıkış derecesinin yüksek olması istenilen bir husustur.

Bu çalışma kapsamında tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen ve ülkemiz için ilk olma özelliği taşıyan “Ekim Robotu”nun laboratuvar ve tarla denemelerinin sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Ekim robotunun laboratuvar denemelerinin tohum sıra üzeri mesafelerine ait CV değeri en düşük %15,24 en yüksek %24,14 olarak gerçekleşmiştir. Robotu ilerleme hızının artışı varyasyon katsayısı değerinde azalmaya, başka bir ifadeyle ekim robotunda hız artışı ile dağılımın düzgünlüğünü koruduğu görülmektedir.
- Ekim robotunun tarla denemelerine bitki sıra üzeri mesafelerine ait CV değeri ise %23,42 ortalama ile gerçekleşmiştir. Robotun yüksek hızlarda ekim kalitesi bozulmadan çalışabilmesi iş başarısını artırma ve yakıt tasarrufu açısından önemli bir kazanımdır.
- Ekim robotunun laboratuvar denemeleri araştırma sonuçlarına göre ilerleme hızındaki artışın kabul edilebilir tohum aralığı oranını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Yüksek olması istenilen (0,5-1,5)Z değeri, ekim robotunun tarla denemelerinde %91,15, laboratuvar denemelerinde ise en düşük %95,7 en yüksek %99,1 olarak tespit edilmiştir. Robotun bulunan değerleri diğer sistemlerden anlamlı şekilde farklı olarak, başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
- Ekim robotunun ikizlenme oranlarının laboratuvarda en yüksek %0,9 en düşük %0 olduğu ve tarla sonuçlarında ise %1,61 gibi küçük değerlerde olduğu

görülmektedir. Robot ile elde edilen ikizlenme oranlarına bakılarak büyük maliyet oluşturan tekleme/seyreltme maliyetlerini düşürmenin mümkün olacağı öngörülebilir.

- Ekim robotunun laboratuvar denemelerinde, ilerleme hızına bağlı olarak hız arttıkça boşluk oranının azaldığı görülmüştür. Boşluk oranları laboratuvar denemelerinde en yüksek %3,4, en düşük %0,9 bulunmuştur. Tarla denemeleri sonucunda ise boşluk oranı %7,24 olarak bulunmuştur. Boşluk oranın düşük olması elde edilecek şeker pancarı verimini artıracağından çok önemli bir durumdur.
- Laboratuvar deneyleri boyunca tohum diski üzerinde vakum etkin iken, doğrusal olmayan bir bozucu etki gözlemlenmiştir. Bu etki önceden öngörülmüş ancak etkinin büyüklüğü beklenenin üzerinde olmuştur. Vakumun devreye girmesi ile görülen bu etki tohum çıkışında ekim mesafesi için ±%40 aralığında hataya sebep olmaktadır. Bundan dolayı tohum diskinin çapı %50 düşürülmüş ve diskin taşıyıcı duvar ile temas ettiği yüzeyin, disk çevresi ile merkezi arasında kalan kısmı, yüzey alanı bakımından %80 oranında CNC ile işleme suretiyle boşaltılmış, ayrıca tohum deliklerinin çapı 3,5 mm den 2,5 mm'ye düşürülmüştür. Sonuç olarak, sürtünmenin etkisinin kalkmasıyla ekim mesafesinde daha yüksek doğruluk sağlanmış, disk çapındaki değişim ile sürtünme yüzeyinin azaltılmasıyla vakum daha etkili bir şekilde tohumlara ulaşmış, ayrıca tohum deliklerinin de küçültülmüş olması sebebiyle tohum sıyırıcılara gerek kalmadığı görülmüştür.
- Robot ekim sırasında düz bir çizgi şeklinde yol almalıdır. Ancak uzun süreli çalışmalarda, tekerlek hızlarındaki bozulmaların sebep olduğu, çok küçük miktarda ancak sürekli artış gösteren bir hata olması olasıdır. Bu hata tarla denemesinde doğrudan gözlemlenmiştir. Yaklaşık her 250 metre mesafede operatörün robot yörüngesine, kaymaya zıt yöndeki tekerleklerin hızını çok kısa süre için %50 oranında düşürmek sureti ile yörüngeyi düzeltici müdahale etmesi gerekmiştir.
- Ekim mesafesinin doğruluğu, tasarım aşamasında öngörülen ve laboratuvar denemelerinde gözlendiği gibi, arazi şartlarında da yüksek bir oranda sağlanmıştır.Ekim kontrol algoritması yüksek bir başarı ile tekerlek hareketini izleyerek, disk hızını belirlemiş ve doğru devirde dönmesini sağlamıştır.
- Tüm mobil sistemlerde olduğu gibi ekim robotunda da güç kaynağı önemli bir sorundur. Robot üzerinde bulunan bataryalar hedeflenen ekim işlemini başarıyla tamamlamıştır. Tekrar eden ekim işlemleri sonucunda bataryalar dolu olanlar ile değiştirilmelidir ya da şarj edilmelidir.

- Telemetri sistemi öngörüldüğü gibi, açık alan olan arazi ortamında sorunsuz çalışmıştır. Robotun verileri anlık olarak izlenebilmiş, toplam alınan yol, ekilen tohum adedi, ekim mesafesi gibi değerler robotun yaptığı ölçümler ile yüksek oranda doğruluk göstermiştir.

## 5.2. Öneriler

- Ekim robotunu motor ve redüksiyon sisteminin, gerçek arazi şartlarında maruz kaldığı yükleri yenebilecek ve ekim işlemini gerçekleştirebilecek yeterlilikte olduğu görülmüştür. Benzer bir tasarım üzerine yapılacak çalışmalarda ya da ekim robotu üzerine yapılacak geliştirmelerde DC motorlar yerine BLDC motor seçilmesi ve her bir tekerleğe bağımsız motor kullanılması daha güçlü ve daha hızlı bir robot mimarisi sağlayacaktır. Tekerleklerin devrinin birbirinden bağımsız kontrol edilebilmesi aynı zamanda kontrol algoritmasının davranışını da etkileyecektir. Ekim robotu üzerinde sağ ve sol tekerlekler ortak kontrol edildiği için, sadece ön yada sadece arka tekerleklerin maruz kaldıkları yükler sebebiyle oluşan devir kayıplarının telafisi için tek bir motora müdahale edilememektedir. Bağımsız motorlar ile yapılacak tasarım mevcut tasarıma göre daha az güç harcayarak düz bir şekilde yol almayı sağlayacaktır. Bununla birlikte tekerlekler ile gövde arasına amortisör sistemi yerleştirilmesi de yer tutuşunu artıracaktır.
- Ekim robotu kontrol sistemi gerçek zamanlı olarak verileri işleyip ekim yaparken, telemetri sistemine veri göndererek uzaktan izlemeyi sağlayabilmektedir. Kontrol sistemi, dağıtık bir şekilde tasarlanmıştır. Yani robot birden çok mikro denetleyici ile kontrol edilmektedir. Bunun üzerine yapılacak geliştirmelerde yada yapılacak benzer robot tasarımlarında merkezi tek işlemcili bir kontrolcü tasarlanması daha avantajlı olacaktır. Bağımsız olarak çalışan algoritma döngülerinin koordinasyonu önemli bir sorun iken robotun davranışına doğrudan etki eden bağımsız işlemciler arası haberleşme zamanı kayıplarından da kurtulacağı için daha hızlı bir kontrol sistemi elde edilebilir. Böylece daha yüksek hızlarda ekim yapabilen bir robot tasarlanabilir.
- Ekim robotu şeker pancarı ekimi amaçlı tasarlanmıştır. Bunun üzerine çapalama ve yabancı otla mücadele gibi yetenekler de eklenebilir. Bu durumda pancar bitkisinin topraktaki konumu ile yabancı otların konumunun robot tarafından algılanabilmesi gerekir. Bu amaçlar ile yapılacak geliştirmelerde görüntü işleme tekniğini kullanmak

etkili bir çözüm olacaktır. Robotun ekim hızı göz önüne alındığında aynı performansı çapalama ve yabancı ot ile mücadelede de sergileyebilmesi için yüksek işlem gücüne sahip bir işlemci ile yüksek hızlı görüntü algılama/aktarma yapabilen bir kamera sistemi kullanılmalıdır.

- Görüntü işlemenin kullanılabileceği bir diğer nokta da tohum algılama sistemidir. Ekim robotunun yol aldığı mesafe, ekim yaptığı tohum adedi, depolarında kalan tohum adedi gibi verileri algılayabilmekte ve telemetri yazılımına aktarabilmektedir. Tohum depoları, kursaklar ve ekici diskler üzerinde sağ ve sol ekim ünitesi için her birinde 5 adet sensör barındırmaktadır. Sensör sayısının fazla olması hatalı ölçüm ihtimalini de artırmaktadır. Bu bölgelerin tamamı yüksek çözünürlüklü ve yüksek hızlı tek bir endüstriyel kamera ile görüntülenir ve görüntü işleme yazılımı ile algılama yapılırsa daha kararlı bir ölçüm sistemi tasarlanmış olur.
- Ekim robotunun sahip olduğu tüm parametreler telemetri sistemi aracılığıyla ayarlanabilir ve veritabanına kaydedilebilir. Örneğin ekici disk farklı bir versiyonu ile değiştirildiğinde, üzerindeki delik sayısının, telemetri yazılımında ilgili alandan güncellenmesi gerekli ve yeterlidir. Ekim robotu geleneksel sistemlerdeki gibi mekanik değişikliklere ihtiyaç duymaksızın yeni düzeneğine adapte olacaktır. Aynı şekilde ekim mesafesi de yazılım üzerinden kolaylıkla ayarlanmaktadır. Ekim mesafesi ve ekim hızı istenirse robot ekim yaparken dahi gerçek zamanlı olarak değiştirilebilir. Ekim robotu bu değişikliklere 100 ms gibi bir sürede adapte olacaktır.
- Ekim robotu, eğimin ve engebenin fazla olmadığı şeker pancarı ekim sahalarında, telemetri aracılığı ile operatör tarafından yapılacak ufak düzenlemeler ile birlikte, düzgün bir ekim gerçekleştirebilmektedir. Ancak arazi şartları her zaman uyumlu olmayabilir. Bu nedenle, navigasyon yeteneklerinin artırılması ile, hem daha işlevsel hem de daha az operatör müdahalesi ile çalışır hale getirilebilir. Hızlı ve etkili olarak IMU altyapısının sisteme dahil edilmesi kısa mesafeli hata tespit ve düzenleme yeteneğini üst seviyeye çıkaracaktır. Bulunulan bölgeye göre DGPS sistemi de uygulanabilir. 1 mm gibi çok hassas bir konumlandırma yeteneğine sahiptir. Ancak her bölgede destek verilmemekte ve yüksek maliyetler karşılanmak zorundadır.
- Ekim robotu mekanik olarak da geliştirilebilir. Motorların yerleşimi ve tekerleklerin tahrik sisteminin tasarımından dolayı, dönme eylemi sırasında çok yüksek miktarda güç gerekmektedir. Ön veya hem ön hem arka tekerleklere yerleştirilecek direksiyon mekanizmaları aracılığıyla, robotun ön kısmı hareket yönüne doğru

doğrudan yönlendirilirse hem kısa süreli daha hassas hareketler yapma yeteneği kazanmış olur hem de batarya ömrü artırılmış olur.

- Telemetri sistemi, ekim robotunun çalışma ortamında yaklaşık 500 m çapında bir alanda, sivil bant frekansında kablosuz veri aktarımı prensibine dayanmaktadır. Bu haberleşme sistemi, GPRS altyapısı sisteme dahil edilerek kolayca dünyanın her yerinden ulaşılabilir hale getirilebilir. Böylelikle ekim robotuna ait veriler bir merkezde arşivlenebilir, yetkilendirme esasına dayalı olarak yönetilebilir, yönlendirilebilir ve durumu izlenebilir. Aynı zamanda birden çok robota ait verilerin izlenmesi ve tek merkezden yönetilmesi gibi çok farklı uygulamalara da fırsat sağlayabilir.
- Ekim robotu, elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Robot, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ile kendi enerjisini sağlayabilir. Ancak günümüz teknolojisi ile üretilen güneş panellerinin verimi %20'nin altında olduğu için, geniş alanlara kurulu paneller ile robotun enerjisi tam olarak desteklenebilir. Buradan çıkışla ekim robotunun şarjı, tarlanın uygun yerlerine yerleştirilecek güneş panelleri ile sağlanabilir.

**KAYNAKLAR**


Agness, J.B. ve Luth, H.J., 1975, Planter Evalution Technigues ASAE, 75-1003, St.Joseph, Michigan 49085.

Aichinger, R., 1989, Vergleichsuntersuchungen von pneumatischen Einzelkornsamaschıen mit Mais, Pferdebohnen, Puffbohnen und Sonnenblumen, Forschungsberichte der Bundesanstalit für Landtechnic, Heft 21. Wieselburg.

Anonim, 2003, Konya tarımsal mastır planı. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı. İl Tarım Müdürlüğü, Konya.

Anonim, 2011, FAO Şeker pancarı, https://en.wikipedia.org/wiki/Sugar_beet, [Ziyaret Tarihi: 14.11.2012].

Anonim, 2012a, http://www.turkseker.gov.tr/SektorRapor2012.pdf [Ziyaret Tarihi: 15.11.2012].

Anonim, 2012b, http://www.tuik.gov.tr [Ziyaret Tarihi: 15.11.2012].

Anonim, 2012c, http://www.turkseker.gov.tr/PersonelSekersatisEkimUretim.aspx [Ziyaret Tarihi: 15.11.2012].

Anonim, 2012d, http://www.turkseker.gov.tr/illereGorePancarEkimUretim.aspx [Ziyaret Tarihi: 15.11.2012].

Anonymous, 1991, Einzelkornsämaschine Kleine Unıcorn-3 für Rübenaussaat. *Prüfbericht DLG: Gruppe 5b/48. 4104.*

Anonymous, 1993, Eınzelkornsämaschine Kleine Multicorn für Rüben und Sonnenblumenaussaat. *Prüfbericht DLG: Grupper 5b/59. 4295.*

Astrand, B., Baerveldt A., 2002, An Agricultural Mobile Robot with Vision-Based Perception for MechanicalWeed Control, *Halmstad University, Halmstad, Sweden,* Autonomous Robots 13, 21–35.

Bak, T., Jakobsen, H., (2004), Agricultural Robotic Platform with Four Wheel Steering for Weed Detection, Biosystems Engineering 87 (2), 125–136.

Bakker, T., Asselt K., Bontsema, J., Müller, J., Straten, G., 2010, Systematic design of an autonomous platform for robotic weeding, Journal of Terramechanics 47, 63–73.

Bakker, T., Asselt, K.V., Bontsema, J., Müller, J. ve Straten, G.V., 2011, Autonomous navigation using a robot platform in a sugar beet field, *Biosystems Engineering*, 109 (4), 357-368.

Billingsley, J., Visila, A., Dunn, M., 2008, Robotics in Agriculture and Forestry, Springer Handbook of Robotics 10.1007/978-3-540-30301-5_47.

Buckel, R., Stränz, J., Brinkmann, W., 1986, Einsatz einer neuen Methode zur Feststellung der Wirkung verschinedener Einbettung und Bedeckung Werkzeuge von Einkornsägeräten im Saat. Bzw. *Keimbeet von Zuckerrüben.*

Çarman, K., ve Hacıseferoğulları, H., 1994, Mekanik hassas ekim makinasında şeker pancarı için optimum ilerleme hızı ve düşme yüksekliğinin belirlenmesi, *Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi,* 138-143, Antalya.

Düşmezkalender, A., 2006, Hassas ekim makinalarıyla şeker pancarı ekiminde sıra üzeri dağılım düzgünlüğünün tarla koşullarında belirlenmesi, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü,* Ankara.

Edan, Y., Han, S., Kondo N., 2009, Automation in agriculture, Springer Handbook of Automation 10.1007/978-3-540-78831-7_63.

Erol, M.A., ve Göknur, I., 1991, Kaplanmış ve kaplanmamış monogrem şeker pancarı tohumlarının pnömatik hassas ekim makinesiyle ekiminde sıra üzeri dağılım düzgünlüklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1216, Bilimsel Araştıma ve İncelemeler: 666*, Ankara.

Estler, M., ve Maier, S., 1985, Einzelkornsagerate Bauarten, KTBL DarmsTadt 12.

Foglia, M., Gentile, A., Reina, G., 2008, Robotics for Agricultural Systems, Mechatronics and Machine Vision in Practice, 314-332.

Garcia-Pérez, L., Garc´ıa-Alegre, M.C., Ribeiro, A., Guinea, D., 2008, An agent of behaviour architecture for unmanned control of a farming vehicle, computers and electronics in agriculture 6 0, 39–48.

Griepentrog, H. W., 1993, Saatgutzeteilung von Raps. *Landtechink* 12-93, 48-59, Kiel.

Gruere, G.P., 2012, Implications of nanotechnology growth in food and agriculture in OECD countries, *Food Policy*, 37 (2), 191-198.

Hacıseferoğulları, H., 1998, Bazı ekici düzenlerin şeker pancarı ekimine uygunluğunun belirlenmesi, Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya.

Hagras, H., Colley, M., Callaghan, V., 2002, Online Learning and Adaptation of Autonomous Mobile Robots for Sustainable Agriculture, Autonomous Robots 13, 37–52.

Heege, H.J., Kiuver, B., Wosshenrich, H., 1993, Ablagenauigkeit beider. Einzelkorn saat von Acker bohnen, *Landtechnik 3-93,* 112-114. Kiel.

Hempsch, K., Brinkmann, W., 1975, Pneumatischer oder mechanische Einzelkornsägeräte für die Rübenaussaat Landtechnik Heft 5. S,223-229.

Irla, E., 1974, Vergleichsprüfung von pneumatischen Einzelkornsämaschınen. Schweizer Landtechnik. Brugg. 5. Jahrgang. April – s.382-394.

Irla, E., 1983, Vergleichsprüfung von Einzelkornsämaschınen und Granulstreuen. *Blätter für Landtechink.* FAT März 218.

Irla, E., Heusser, J., 1991, Einzelkornsamaschıen im Vergleich. FAT Berichte.

Işık, A., 1986, Karaman, Y., Zeren., Y., 1986, İkinci ürün soyanın ekim ve harmanlanmasına yönelikbazı özellikler üzerinde bir araştırma. *TZDK Yayınları,* Yayın No: 43, Ankara

Keskin, R., 1982, Pancar ekiminde çalışma hızının ekim derinliğine ve sıra üzeri dağılım düzgünlüğüne etkisi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Sayı: 1, Cilt: 1,* Bursa.

Lee, W. S. , Slaughter, D. C., Giles, D. K., 1999, Robotic weed control system for tomatoes, Precision Agriculture, 1, 95-113.

Öğüt, H., 1991, Farklı vakum ve ilerleme hızlarının ayçiçeğinde ekim kalitesine etkisi üzerinde bir araştırma. S.Ü. Zir. Fak. Dergisi, Sayı:2, Cilt:1, 68-74, Konya.

Önal, İ., 1975, Bir pnömatik hassas ekim makinası ile şeker pancarı tohumunun ekim olanakları üzerinde bir araştırma. *Şeker Dergisi,* Sayı:96 s,14-24, Ankara.

Önal, İ., 1987, Ekim – Dikim Gübreleme Makinaları, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 490*, İzmir.

Önal, İ., 1987b, Vakum Prensibiyle Bir Pnömatik Hassas Ekici Düzenin Ayçiçeği, Mısır ve Pamuk Tohumu Ekim Başarısı. *Egen Ün.Zir.Fak. Dergisi,* Cilt:24, Sayı:2, 105-117.

Özgüven, M.,M., 2009, Hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin üretim ekonomisi ve ülkemizdeki bazı tarımsal ürünlerin üretimde kullanılabilme olanakları, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Pedersen , S. M., Fountas, S., Have, H., Blackmore, B.S., 2006, Agricultural robots system analysis and economic feasibility, Precision Agric (2006) 7:295–308.

Sakai, S., Iida, M., Osuka, K., Umeda, M., 2008, Design and control of a heavy material handling manipulator for agricultural robots, Auton Robot (2008) 25: 189–204.

Schrödl, J., 1992, Prüfung von Einzelkornsamaschınen 47. *Jahrg.Landtechink* 3-92, 126-129.

Slaughter, D.C., Giles, D.K. , Downey, D., 2008, Autonomous robotic weed control systems, *Computers and Electronics in Agriculture 6 1, 63–78.*

Tasbaş, H., 1994, Pnömatik Hassas Ekim Makinalarında Bazı Yapısal Özelliklerin Mısır Ekimine Uygunluğunun Belirlenmesi. Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Torii, T., 2000, Research in autonomous agriculture vehicles in Japan, *Computers and Electronics in Agriculture 25, 133–153.*

Wolff, A., 1993, Rübensaatgut nur das beste gerade gut genug, Zuckerrübe 42.

Xue, J., Zhang, L. and Grift, T.E., 2012, Variable field of view machine vision based row guidance of an agricultural robot, *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 85-91.

Vougioukas S., Fountas S., Blackmore S.,, Tang L., 2005, Operational Research. An International Joumal. Vol.5, No. 1 pp 153-163

Vougioukas S., Blackmore, S., Nielsen, J., Fountas, S., 2006, A two-stage optimal motion planner for autonomous agricultural vehicles, Precision Agric 7:361–377.

Yardımcı, N., Kılıç, H.Ç., Ürgen, G., 2012, Eskişehir ili şeker pancarı üretim alanlarında görülen bazı virüs hastalıklarının DAS-ELISA yöntemiyle belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 7 (1), 42-50.

Yao, L., Li, L., Zhang M., Minzan L., 2005, Automatıc Guıdance Of Agrıcultural Vehıcles Based On Global Posıtıonıng System, Key laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry oj Education, China Agriculture University, Beijing 100083, China.

**EK-1** Şeker Pancarı Ekim Robotunun Laboratuvar Denemesi Ham Sonuçları

| 1. Tekerrür | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **No** | **0,55 m/s** | **0,66 m/s** | **0,77 m/s** | **0,88 m/s** |
| **1** | 21,5 | 23 | 24 | 23,5 |
| **2** | 26 | 19 | 27 | 28,5 |
| **3** | 20 | 20 | 15 | 11,5 |
| **4** | 21,5 | 21 | 17 | 28 |
| **5** | 22,5 | 25 | 20,5 | 15 |
| **6** | 23,5 | 20,5 | 22 | 25 |
| **7** | 22 | 16 | 21 | 21 |
| **8** | 20 | 25,5 | 28 | 22,5 |
| **9** | 23 | 23,5 | 20,5 | 20,5 |
| **10** | 21,5 | 20 | 20 | 20 |
| **11** | 20 | 21 | 21 | 22 |
| **12** | 22 | 19,5 | 25 | 21 |
| **13** | 23,5 | 22 | 22 | 24 |
| **14** | 22 | 26 | 22 | 24 |
| **15** | 22,5 | 26 | 18 | 18 |
| **16** | 21 | 14 | 22 | 22 |
| **17** | 22 | 22 | 24 | 23,5 |
| **18** | 24 | 16 | 24 | 31,5 |
| **19** | 18 | 23 | 22 | 25 |
| **20** | 23,5 | 29 | 17 | 18 |
| **21** | 19,5 | 20,5 | 22 | 23 |
| **22** | 24,5 | 20 | 22 | 20 |
| **23** | 19 | 23 | 22,5 | 22 |
| **24** | 27 | 21 | 23 | 21 |
| **25** | 19,5 | 22,5 | 20,5 | 24,5 |
| **26** | 26 | 23 | 19,5 | 22 |
| **27** | 19 | 20,5 | 27 | 22,5 |
| **28** | 21 | 22 | 20 | 20,5 |
| **29** | 22,5 | 29 | 22,5 | 24 |
| **30** | 23 | 25 | 22,5 | 19,5 |
| **31** | 19,5 | 20 | 20,5 | 21,5 |
| **32** | 46 | 23 | 23 | 22 |
| **33** | 22 | 20,5 | 23 | 22 |
| **34** | 18,5 | 30 | 23 | 21 |
| **35** | 23 | 12 | 21 | 22 |
| **36** | 22 | 23 | 20 | 19,5 |
| **37** | 22,5 | 18,5 | 24 | 23 |
| **38** | 22 | 20 | 22,5 | 21 |
| **39** | 21 | | 21 | 25 |
| **40** | 20 | | 20,5 | |
| **41** | | | 21 | |

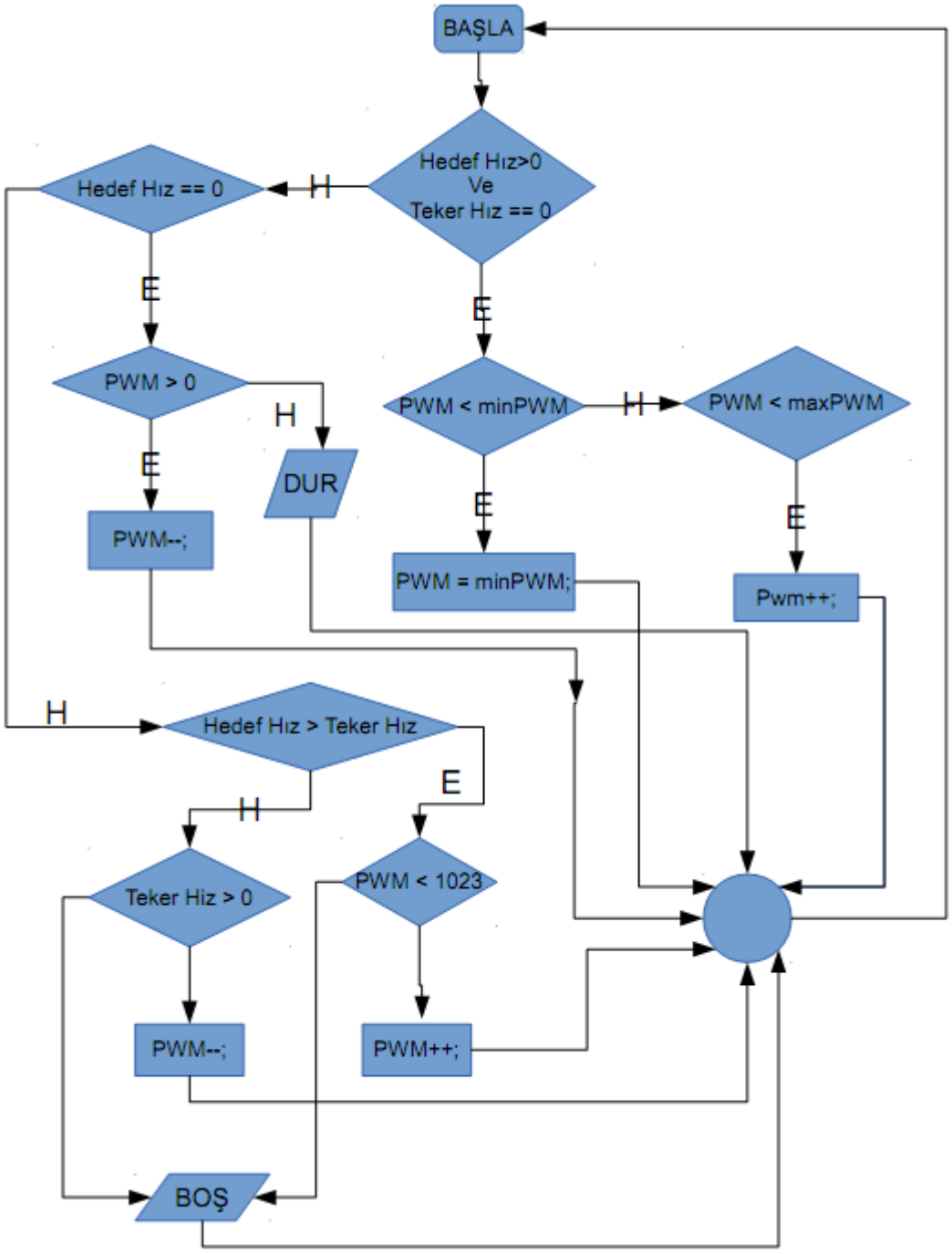
| 2. Tekerrür | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **No** | **0,55 m/s** | **0,66 m/s** | **0,77 m/s** | **0,88 m/s** |
| **1** | 21 | 21 | 19 | 19 |
| **2** | 23,5 | 23 | 23 | 27 |
| **3** | 18,5 | 39 | 17 | 22 |
| **4** | 23 | 21,5 | 19 | 26 |
| **5** | 26 | 23 | 20 | 17 |
| **6** | 17 | 23 | 21,5 | 23 |
| **7** | 22,5 | 18,5 | 25 | 21 |
| **8** | 27,5 | 21,5 | 20,5 | 22 |
| **9** | 18 | 30,5 | 18 | 21 |
| **10** | 42 | 24 | 22 | 20 |
| **11** | 23,5 | 20 | 24 | 24 |
| **12** | 23 | 22 | 17 | 20 |
| **13** | 23,5 | 19,5 | 22,5 | 19 |
| **14** | 21 | 25 | 22,5 | 33,5 |
| **15** | 21 | 19 | 32 | 21 |
| **16** | 19,5 | 22,5 | 22 | 22,5 |
| **17** | 26,5 | 21 | 21,5 | 23,5 |
| **18** | 18 | 18,5 | 32,5 | 15,5 |
| **19** | 23 | 26 | 13 | 22 |
| **20** | 25 | 20 | 25 | 23 |
| **21** | 19 | 22 | 18 | 20 |
| **22** | 21 | 28 | 23 | 20 |
| **23** | 32 | 17,5 | 23,5 | 22 |
| **24** | 16 | 21 | 23,5 | 24 |
| **25** | 26 | 19 | 21,5 | 19 |
| **26** | 15 | 18 | 22 | 20,5 |
| **27** | 20 | 22,5 | 20,5 | 21,5 |
| **28** | 26 | 23,5 | 23 | 23 |
| **29** | 20 | 21 | 19 | 17 |
| **30** | 23 | 44 | 32,5 | 24,5 |
| **31** | 19 | 20 | 13 | 20 |
| **32** | 23 | 23,5 | 21 | 25 |
| **33** | 20 | 18 | 22 | 18 |
| **34** | 29 | 21,5 | 27 | 24 |
| **35** | 15 | 21,5 | 24 | 18 |
| **36** | 24,5 | | 19 | 28 |
| **37** | 24 | | 24 | 15 |
| **38** | | | 21 | 28,5 |
| **39** | | | | 23 |
| **40** | | | | 17 |

| 3. Tekerrür | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **No** | **0,55 m/s** | **0,66 m/s** | **0,77 m/s** | **0,88 m/s** |
| **1** | 21 | 15 | 20,5 | 25 |
| **2** | 19 | 25 | 25,5 | 20 |
| **3** | 18,5 | 21,5 | 20 | 20,5 |
| **4** | 16,5 | 24 | 21 | 21 |
| **5** | 22 | 20 | 19 | 21 |
| **6** | 23 | 18 | 20 | 26 |
| **7** | 28 | 20 | 24,5 | 21 |
| **8** | 18,5 | 24,5 | 20 | 18 |
| **9** | 20,5 | 18 | 23 | 22,5 |
| **10** | 19 | 24 | 20 | 24 |
| **11** | 24 | 16 | 20 | 19,5 |
| **12** | 24 | 16,5 | 20 | 20,5 |
| **13** | 23 | 30 | 26,5 | 23 |
| **14** | 19 | 24,5 | 19 | 16 |
| **15** | 22,5 | 20 | 22,5 | 21 |
| **16** | 25 | 22 | 25 | 19 |
| **17** | 21 | 18 | 18 | 24 |
| **18** | 20 | 23 | 22 | 24 |
| **19** | 21 | 24 | 25 | 27 |
| **20** | 20 | 19 | 19 | 15 |
| **21** | 22 | 23,5 | 26 | 22,5 |
| **22** | 25 | 21 | 19 | 20,5 |
| **23** | 20 | 16,5 | 28 | 20,5 |
| **24** | 31 | 22 | 40 | 20 |
| **25** | 14 | 22 | 18 | 20 |
| **26** | 7 | 17 | 24 | 26 |
| **27** | 16 | 23 | 19 | 22 |
| **28** | 21 | 43 | 21 | 20 |
| **29** | 20 | 30 | 21,5 | 22,5 |
| **30** | 25,5 | 10 | 24 | 23 |
| **31** | 19 | 20,5 | 18 | 27 |
| **32** | 44 | 24 | 22 | 19 |
| **33** | 22 | 18 | 21,5 | 22 |
| **34** | 45 | 22 | 23 | 19,5 |
| **35** | 19 | 28 | 19 | 25 |
| **36** | 23 | 17 | 23,5 | 26 |
| **37** | 29 | 20 | 22,5 | 19 |
| **38** | 15 | 22 | 24 | 19 |
| **39** | 21 | | | |

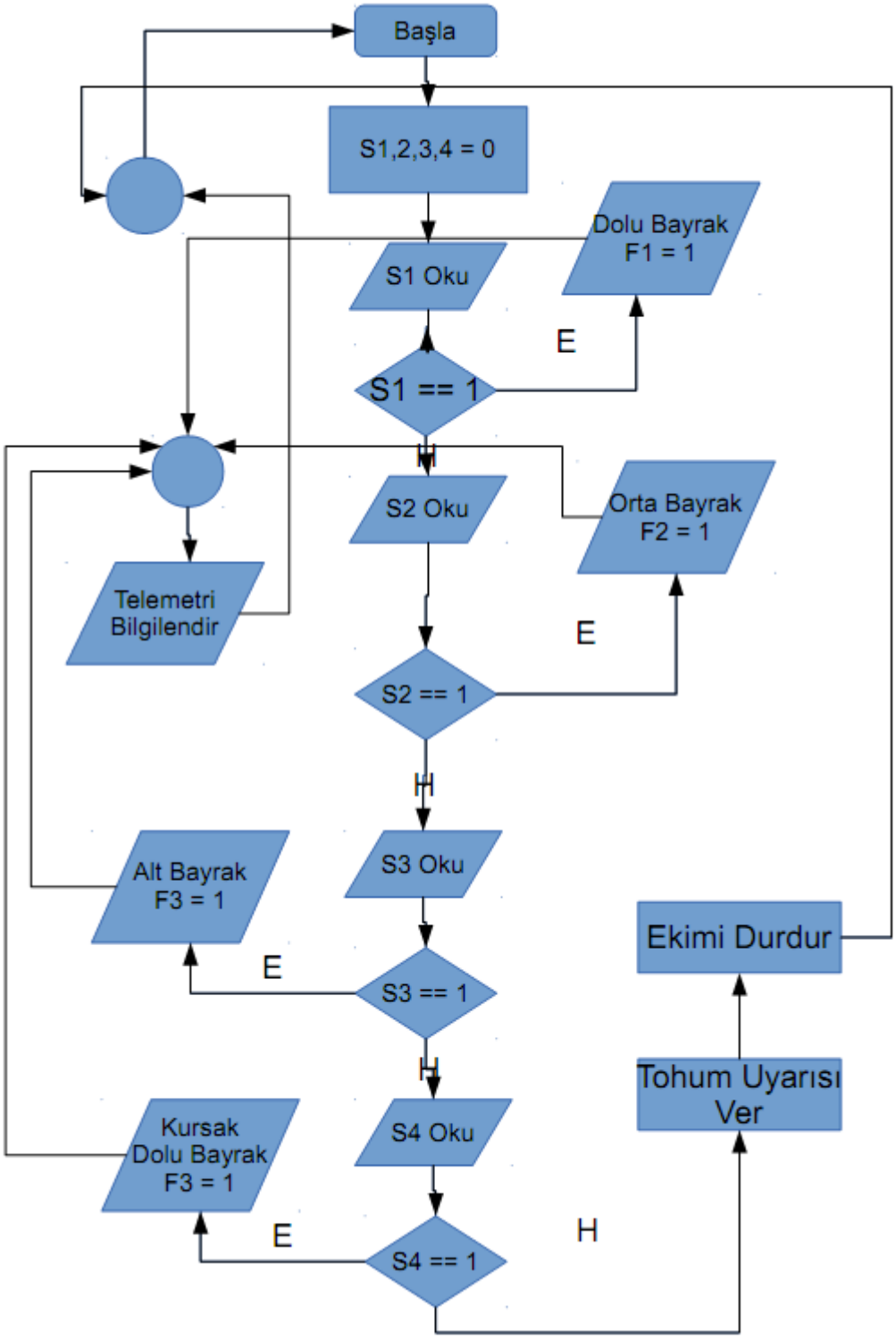
**EK-2** Şeker Pancarı Ekim Robotunun Tarla Denemesi Ham Sonuçları

| No | 2. Sıra Sonuçları | 5. Sıra Sonuçları | 9. Sıra Sonuçları |
|---|---|---|---|
| **1** | 15,5 | 23 | 24 |
| **2** | 21 | 21 | 21,5 |
| **3** | 23 | 25,5 | 23 |
| **4** | 32 | 27 | 17,5 |
| **5** | 21 | 29 | 32 |
| **6** | 42 | 21 | 21 |
| **7** | 21 | 35 | 23 |
| **8** | 23 | 30 | 25 |
| **9** | 20,5 | 19,5 | 20 |
| **10** | 26 | 21 | 14,5 |
| **11** | 25 | 25 | 30 |
| **12** | 34,5 | 26 | 23,5 |
| **13** | 30,5 | 23 | 21 |
| **14** | 32 | 21 | 22 |
| **15** | 15 | 26 | 18 |
| **16** | 21 | 21,5 | 26 |
| **17** | 25 | 27 | 27 |
| **18** | 32 | 19,5 | 20 |
| **19** | 21 | 21 | 19 |
| **20** | 19 | 25 | 18 |
| **21** | 24 | 22,5 | 21 |
| **22** | 22,5 | 30 | 23 |
| **23** | 22 | 18 | 24 |
| **24** | 35 | 26 | 25,5 |
| **25** | 22,5 | 19 | 12 |
| **26** | 35 | 18 | 17 |
| **27** | 21 | 25,5 | 23 |
| **28** | 23 | 21 | 21 |
| **29** | 12 | 23 | 33 |
| **30** | 23 | 23 | 21 |
| **31** | 25 | 17,5 | 6,5 |
| **32** | 35 | 25 | 24 |
| **33** | 21 | 23 | 36 |
| **34** | 23 | 16,5 | 26,5 |
| **35** | 32 | 16 | 23,5 |
| **36** | 15,5 | 29 | 25 |
| **37** | 27 | 21 | 12,5 |
| **38** | 23 | 13,5 | 36 |
| **39** | 21,5 | 26 | 22 |
| **40** | 30 | 27 | 23 |
| **41** | 20 | 27 | 26,5 |
| **42** | | 21 | 21 |

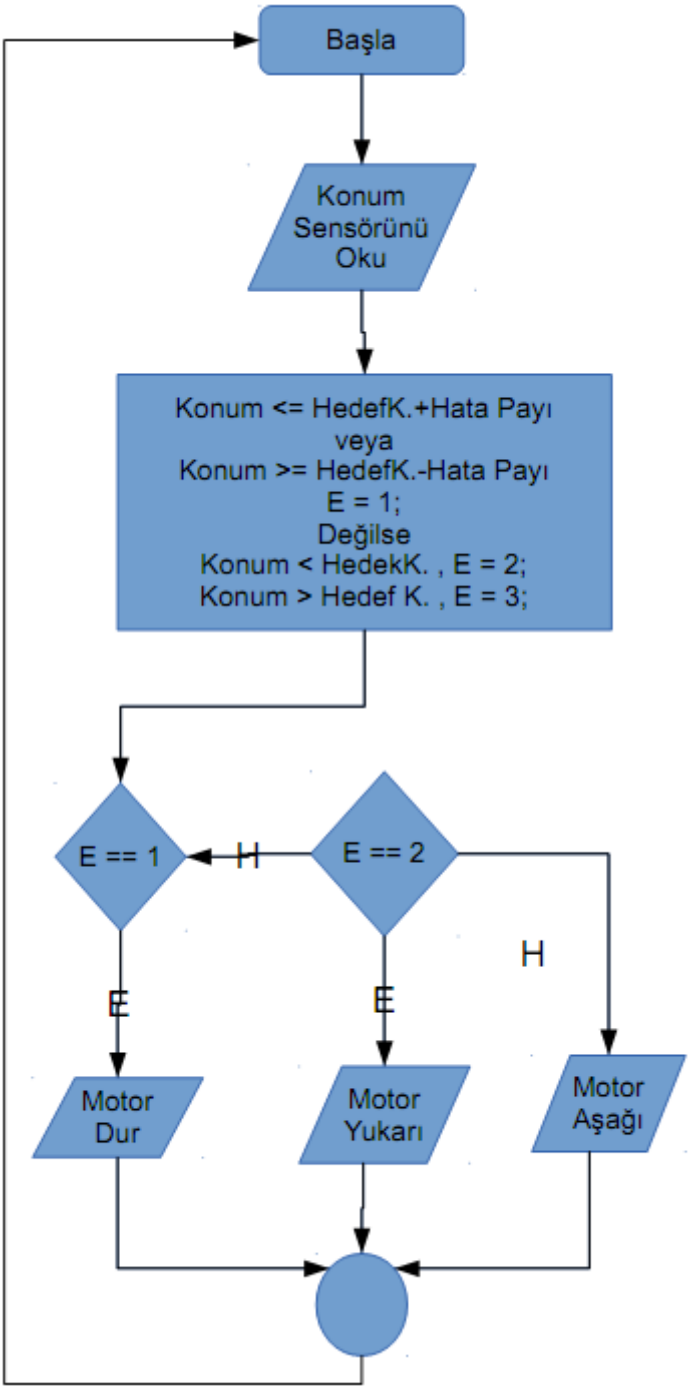
**EK-3** Motor Hız Kontrol Algoritması



**EK-4** Sensör kontrol algoritması



**EK-5** Ekim Derinlik Algoritması



# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER


**Adı Soyadı** : Özgür AKIN
**Uyruğu** : TC
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya, 23.03.1974
**Telefon** : 0 554 883 03 42
**e-mail** : oakin@akinsoft.com.tr


## EĞİTİM

| Derece | | Adı, İlçe, İl | Bitirme Yılı |
|---|---|---|---|
| Lise | : | Fatih Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi, Konya | **1992** |
| Ön Lisans | : | Ege Üniversitesi, Bilgisayar Programcılığı, İzmir | **1994** |
| Üniversite | : | Selçuk Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya | **2002** |
| Yüksek Lisans | : | Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya | **2006** |
| Doktora | : | Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Konya | **2013** |

## İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl | Kurum | Görevi |
|---|---|---|
| 1995 - ... | Akın Yazılım Bilgisayar Ltd. Şti. | Yönetim Kurulu Başkanı |

## YABANCI DİLLER

İngilizce, İspanyolca