

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL İNSANSIZ KARA ARACININ MODELLENMESİ VE
ANFIS YÖNTEMİ İLE HAREKET KONTROLÜ
UYGULAMALARI

HAFİS GULİYEV

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL İNSANSIZ KARA ARACININ MODELLENMESİ VE
ANFIS YÖNTEMİ İLE HAREKET KONTROLÜ
UYGULAMALARI

HAFIS GULİYEV

Jüri 1

Jüri 2

.....

Jüri 1

Jüri 2

.....

Jüri 1

Jüri 2

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: dd.aa.yyyy

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
(İmza)

.....
Hafis Guliyev

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir

☒ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....
(İmza)

.....
Hafis Guliyev

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tarım sektöründe verimliliği artırmak amacıyla geliştirilen Tarımsal İnsansız Kara Araçları modern teknolojilerin entegre edilmesiyle önemli bir dönüşüm yaşamaktadır. Bu tezde, bir Tarımsal İKA'nın modellenmesi ve ANFIS yöntemi ile hareket kontrolü üzerine yoğunlaşmıştır. Amacımız, tarımda otomasyonu artırarak verimliliği ve sürdürülebilirliği teşvik etmektir. Bu çalışmada, literatürde yer alan mevcut yaklaşımlar incelenmiş ve önerilen yöntemlerin etkinliği deneysel çalışmalarla test edilmiştir. Sonuçlar, ANFIS tabanlı kontrol sistemlerinin tarımsal uygulamalarda önemli avantajlar sağladığını göstermektedir.

Tez çalışmam süresince bana yol gösteren ve destek veren danışman hocam Doç. Dr. Serhat Yılmaz'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, aileme ve arkadaşlarıma verdikleri moral ve destek için minnettarım.

Mayıs – 2024

Hafis GULIYEV

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. İnsansız Kara Araçları	5
2.1.1. Kinematik Modelleme	9
2.1.2. Dinamik Modelleme	12
2.2. Tarımda Robotik Uygulamalar ve İka'ların Kullanım Gerekçeleri.....	14
2.3. Otomatik İlaçlama Yöntemleri	16
2.4. İnsansız Kara Araçları için Hareket Planlama.....	18
2.4.1. Yol Planlama.....	21
2.4.2. Otonom Sürüş	23
2.5. Adaptif Nörobulanık Karar Verme Sistemi (ANFIS)	24
2.5.1. Bulanık Mantık Modeli	25
2.5.2. ANFIS modeli.....	29
2.6. Kontrol Yöntemleri.....	33
2.6.1 PID kontrolör tasarımı	35
2.6.2. Bilinmeyen Motor Parametrelerinin belirlenmesi	38
2.7. Görüntü İşleme Süreci	40
3. MATERYEL VE YÖNTEM	45
3.1. İnsansız Kara Aracının Modellenmesi.....	45
3.1.1 Aracın mekanik özellikleri.....	50
3.1.2. Aracın yazılımsal özellikleri.....	52
3.2. Aracın Hareket Planlaması ve Yön Kontrolü	54
3.2.1. Yol Planlama Algoritması	56
3.2.2. Navigasyon Modülü	61
3.2.3. Kararverme Modülü	62
3.2.3. Kontrol Modülü	74
3.3. Patates Yaprağı Üzerinde Hastalık Tespiti Ve Otomatik İlaçlama.....	76
3.3.1 Yolo Algoritması ile hastalıklı patates bitkisi tespiti	78
3.3.2 Otomatik İlaçlama Tekniği	83
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	85
4.1. ANFIS ile Eğitilen Modelin Test Grafik Sonuçları.	86
4.2. YOLO ile Eğitilen Modelin Test Grafik Sonuçları.....	89
4.3. DeneySEL Test Çalışmaları	91
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
KAYNAKLAR	96
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	104
ÖZGEÇMİŞ.....	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1.	Tarımsal amaçla tasarlanan ‘Husky’ robotu	6
Şekil 2. 2.	İlaçlama uygulamasında kullanılan XAG R150 model İKA.....	7
Şekil 2. 3.	Nonholonomik sınırlamalarla tasarlanan 4 tekerlekli mobil robot.....	8
Şekil 2. 4.	Tekerlekli mobil robotun kordinat sistemi	9
Şekil 2. 5.	4 Teker Tahrikli İnsansız Kara Aracının Kinematiği.....	11
Şekil 2. 6.	Motor üzerindeki mekanik yük eşitliği	13
Şekil 2. 7.	İKA’ların hassas tarım uygulamalarında kullanımı	15
Şekil 2. 8.	Sol tarafta: manuel yapılan ilaçlama; Ortada: traktörle yapılan ilaçlama Sağ tarafta: İHA ile yapılan ilaçlama	17
Şekil 2. 9.	İnsansız Kara Aracı için hareket planlaması blok şeması	19
Şekil 2. 10.	Ara noktaların (waypoints) belirlenmesi	22
Şekil 2. 11.	Yol Planlaması yapılmış bir araç için otonom sürüş blok diyagramı	23
Şekil 2. 12.	Bulanık Çıkarım Sistemi için MATLAB arayüzü	25
Şekil 2. 13.	MATLAB, FIS arayüzünde bulunan üyelik fonksiyonları	26
Şekil 2. 14.	Üyelik fonksiyonları örnek grafikler	26
Şekil 2. 15.	FIS arayüzünde oluşturulan bulanık kural dizisi	28
Şekil 2. 16.	Bulanık kümelerin durulaştırılması	28
Şekil 2.17(a).	Ortalama Maksimum yöntemi ile durulaştırma	28
Şekil 2.17(b).	Ağırlık Merkezi yöntemi ile durulaştırma	28
Şekil 2. 18.	Yapay Sinir Ağları mimarisi	30
Şekil 2. 19.	ANFIS mimarisi	30
Şekil 2. 20.	Örnek bir sistemin kontrol blok diyagramı	34
Şekil 2. 21.	Bulanık Mantık Kontrolör (FLC)	35
Şekil 2. 22.	PID kontrolör uygulanan örnek bir sistemi	36
Şekil 2. 23.	PID-tuner arayüzü/MATLAB (düz çizgi: tuning işleminden sonraki durum; noktalı çizgi:mevcut durum).....	37
Şekil 2. 24.	3 boyutlu fuzzy-PID kontrolör yapısı (Yesil ve diğ., 2003)	39
Şekil 2. 25.	Simulink Design Optimization araç kutusunun Parametre Tahmini penceresi	40
Şekil 2. 26.	Patates yaprağında hastalık tespiti ve sınıflandırma işlemi.....	41
Şekil 2. 27.	Multispektral kamera kullanılarak yapılan görüntü işleme.....	42
Şekil 2. 28.	Yolov9 mimarisi	43
Şekil 2. 29.	Yolov7 mimarisi	43
Şekil 3. 1.	İnsansız Kara Aracının 2 boyutlu gösterimi	46
Şekil 3. 2.	İKA’nın montaj işleminden sonraki görünümü.....	50
Şekil 3. 3.	Şase ve araç gövdesi.....	51
Şekil 3. 4.	Fıskiye tasarımı ve ilaçlama başlığı	51
Şekil 3. 5.	Tarımsal İKA’nın tasarım aşamaları	53
Şekil 3. 6.	Veri setlerinin labelImg ve Roboflow’da işlenmesi.	53
Şekil 3. 7.	Otonom Aracın Hareket planlaması	55
Şekil 3. 8.	Aracın sıra boyunca bozulan konumunu düzeltmesi senaryosu.....	57
Şekil 3. 9.	Aracın düz olmayan bir ekin sırasında muhtemel hareketi senaryosu.....	58
Şekil 3. 10.	Aracın ekin sırası sonunda muhtemel dönüş senaryosu	58

Şekil 3. 11.	Aracın Yol Planlama Algoritması akış şeması.....	60
Şekil 3. 12.	Araç üzerinde yerleşen sensörlerin geometrik konumlandırılması	61
Şekil 3. 13(a).	Arac ekin sırasına paralel gittiğinde ($M2 \approx 2 * M1$).....	63
Şekil 3. 13(b).	Arac ekin sırasına çok yaklaştığında ($M1 > M2$).....	63
Şekil 3. 13(c).	Arac ekin sırasına önden yaklaştığında ($M2 > 2 * M1$)	63
Şekil 3. 13(d).	Arac ekin sırasına arkadan yaklaştığında ($M2 < 2 * M1$).....	63
Şekil 3. 14(a).	Araç: $10 \leq M1 < 20$ (cm)	64
Şekil 3. 14(b).	Araç: $20 \leq M1 \leq 30$ (cm)	64
Şekil 3. 14(c).	Araç: $30 < M1 \leq 40$ (cm)	64
Şekil 3. 15.	Otonom aracın iki ekin sırası arasındaki muhtemel pozisyonu	65
Şekil 3. 16(a).	Aracın açısal konumu: $10 \leq M1 < 20$ (cm)	66
Şekil 3. 16(b).	Aracın açısal konumu: $20 \leq M1 \leq 30$ (cm).....	66
Şekil 3. 16(c).	Aracın açısal konumu: $30 < M1 \leq 40$ (cm).....	66
Şekil 3. 17.	ANFIS eğitimi için giriş değerlerinin oluşturulması (şartı)	68
Şekil 3. 18.	ANFIS modelinin eğitim 4'ünde kullanılan eğitim veri setinin örnek parçası	73
Şekil 3. 19.	Eğitim setinin Neuro-Fuzzy Designer arayüzüne eklenmesi	73
Şekil 3. 20.	Tasarlanan ANFIS modelinin yapısı.....	74
Şekil 3. 21.	Motorları sürmek için kullanılan sürücü kartının şematik gösterimi	75
Şekil 3. 22.	İKA'nın kontrol blok şeması.....	76
Şekil 3. 23.	Tarımsal İKA üzerine monte edilen görüntü işleme ve ilaçlama modülü.....	77
Şekil 3. 24.	Araç çift ve tek numaralı ekin sırasında işlem yaparken ilaçlama namlusunun konumu	78
Şekil 3. 25.	Hastalıklı (yukarıda) ve sağlıklı (aşağıda) patates yaprağı örnekleri	79
Şekil 3. 26.	VNC Uygulamasının Raspberry Pi'deki Görüntüsü	81
Şekil 3. 27.	Otomatik ilaçlama algoritması akış şeması	84
Şekil 4. 1(a).	ANFIS modelinin eğitim hata grafiği (1000).....	86
Şekil 4. 1(b).	ANFIS modelinin eğitim hata grafiği (5000)	86
Şekil 4. 2(a).	ANFIS modelinin sonuç yüzey grafiği (1000).....	87
Şekil 4. 2(b).	ANFIS modelinin sonuç yüzey grafiği (5000)	87
Şekil 4. 3(a).	ANFIS modeli için bulanık kurallar(1000).....	87
Şekil 4. 3(b).	ANFIS modeli için bulanık kurallar(5000).....	87
Şekil 4. 4(a).	ANFIS modelinin test sonuçları (1000)	88
Şekil 4. 4(b).	ANFIS modelinin test sonuçları (5000).....	88
Şekil 4. 5(a).	Giriş 1 için oluşturulan üyelik fonksiyonları	88
Şekil 4. 5(b).	Giriş 2 için oluşturulan üyelik fonksiyonları	88
Şekil 4. 6(a).	Yolov7 doğrulama kayıp (val_loss) grafiği	89
Şekil 4. 6(b).	Yolov7 ortalama doğruluk (mAp@0.5) grafiği	89
Şekil 4. 7(a).	Yolov8 doğrulama kayıp (val_loss) grafiği.....	89
Şekil 4. 7(b).	Yolov8 ortalama doğruluk (mAp@0.5) grafiği	89
Şekil 4. 8(a).	Yolov9 doğrulama kayıp (val_loss) grafiği.....	90
Şekil 4. 8(b).	Yolov9 ortalama doğruluk (mAp@0.5) grafiği	90

Şekil 4. 9.	Doğrulama verilerinin %90'lık başarımı.....	90
Şekil 4. 10.	Deney ortamının oluşturulması	91
Şekil 4. 11.	İKA'nın deney alanında test çalışmaları	92
Şekil 4. 12.	İKA'nın test işlemleri sürecinde hastalıklı patates bitkis tespiti işlemi.....	93

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2. 1.	Aracın kinematik modellemesi için gerekli parametreler	10
Tablo 2. 2.	Dinamik Modelleme için gerekli motor parametreleri	12
Tablo 2. 3.	İnsansız Aracın Hareket Planlaması aşamalarının özet açıklaması	21
Tablo 2. 4.	Kural sayısını belirlemek için oluşturulan parametreler	27
Tablo 3. 1.	Tarımsal İKA'nın özellikleri	47
Tablo 3. 2.	Tarımsal İKA tasarımında kullanılan komponentler	48
Tablo 3. 3.	Aracın dönme açısına göre Yan ve Çapraz sensör değer aralığı	66
Tablo 3. 4.	Her bir motor için motor hız aşamaları ve yönleri (m/s)	69
Tablo 3. 5.	Aracın hareketi için her motor grubunun hız aşamaları ve yönleri (m/s)	70
Tablo 3. 6.	ANFIS modelinin çıkış değerlerinin oluşturulması şartları	71
Tablo 3. 7.	ANFIS modeli için veri seti sayısı	71
Tablo 3. 8.	Aracın yön bilgisin (-1 ; 1) değerleri ile haritalanması	72
Tablo 3. 9.	Veri seti sayıları	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ANFIS	:Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi)
ANN	:Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağı)
COG	:Center of Gravity (Ağırlık Merkezi)
DA	:Doğru Akım
DAQ	:Data Acquisition (Veri Toplama)
ELAN	:Efficient Layer Aggregation Network (Veri Katmanı Toplama Ağı)
FİS	:Fuzzy Inference System (Bulanık Çıkarım Sistemi)
İHA	:İnsansız Hava Aracı
İKA	:İnsansız Kara Aracı
İYA	:İnsansız Yüzey Aracı
MIMO	:Multi Input Multi Output (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış)
VNC	:Virtual Network Computing(Sanal Ağ Bilgisayarı)
WMR	:Wheeled Mobile Robot (Tekerlekli Mobil Robot)
YOLO	:You Only One Look (Sadece birkez bak)

TARIMSAL İNSANSIZ KARA ARACININ MODELLENMESİ VE ANFIS YÖNTEMİ İLE HAREKET KONTROLÜ UYGULAMALARI

ÖZET

Bitki hastalıkları ve zararlıları, tarım ürünü yetiştiriciliğinde en büyük sorunlardan biridir. Tarımsal bitkileri hastalık ve zararlılardan korumak için genellikle geleneksel ilaçlama yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak, kontrolsüz ilaçlama bitkinin gereğinden fazla kimyasala maruz kalmasına ve tüketici sağlığına zarar verebilmektedir. Ayrıca, manuel ilaçlama yöntemleri işçilerin sağlığı için de riskler taşır. Erken teşhis, ürün hasatlarında zararların önlenmesinde kritik bir rol oynar, ancak geleneksel yöntemler hatalara açıktır. Bu çalışmada, patates bitkisi için hastalık tespiti yapabilen ve tespit edilen hastalıkları otonom bir şekilde ilaçlayan bir İnsansız Kara Aracı (İKA) modellenmiştir. İKA'lar, otonom veya yarı otonom olarak belirli bir arazide insan müdahalesi olmadan hareket edebilirler ve tarımsal uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar. İKA'ların etkili kullanımı için hareket planlama ve kontrol problemlerine odaklanan araştırmalar gereklidir. Bu araçlar, kinematik ve dinamik sınırlamalar dikkate alınarak optimize edilmelidir.

Çalışmada, YOLO algoritmasının farklı sürümleri (YOLOv7, YOLOv8, YOLOv9) kullanılarak patates hastalıklarının gerçek zamanlı tespiti yapılmıştır. Bu sürümler, doğruluk ve hız sağlamak için geliştirilmiş olup, tarımsal uygulamalarda İKA'ların etkinliğini artırmaktadır. Ayrıca, ANFIS tabanlı karar verme modülü, aracın doğru konumlanması ve otonom sürüş için gerekli referans değerleri sağlamaktadır. Bu sistemler, hassas tarım uygulamalarında verimliliği artırmak ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bitki hastalıkları, İKA, Hareket planlama, YOLO, ANFIS, Hassas tarım

MODELING OF AGRICULTURAL UNMANNED GROUND VEHICLE AND MOTION CONTROL APPLICATIONS USING ANFIS METHOD

ABSTRACT

Plant diseases and pests are among the most significant challenges in crop cultivation. Traditional pesticide application methods are commonly used to protect agricultural plants from diseases and pests. However, uncontrolled pesticide application can lead to excessive chemical exposure for the plants and pose health risks to consumers. Additionally, manual pesticide application methods carry health risks for the workers involved. Early detection plays a critical role in preventing damage during harvests, but traditional methods are prone to errors.

This study aims to model an Unmanned Ground Vehicle (UGV) capable of autonomously detecting diseases in potato plants and applying pesticides to the detected diseases. UGVs can operate autonomously or semi-autonomously over a specified area without human intervention and are frequently used in agricultural applications. Effective utilization of UGVs requires research focused on motion planning and control issues. These vehicles need to be optimized considering kinematic and dynamic constraints.

In this study, different versions of the YOLO algorithm (YOLOv7, YOLOv8, YOLOv9) were employed for real-time detection of potato diseases. These versions were developed to enhance accuracy and speed, thereby improving the effectiveness of UGVs in agricultural applications. Additionally, an ANFIS-based decision-making module ensures accurate positioning and autonomous driving by providing the necessary reference values. These systems aim to increase efficiency and reduce environmental impacts in precision agriculture.

Keywords: Plant diseases, UGV, Motion planning, YOLO, ANFIS, Precision agriculture

1. GİRİŞ

Bitki hastalıkları ve zararlıları tarım ürünü yetiştiriciliğinde karşılaşılan en büyük sorunlardan biridir. Tarımsal bitkileri hastalık ve zararlılardan korumak için çoğu zaman geleneksel ilaçlama yöntemleri kullanılmaktadır. Kontrolsüz yapılan ilaçlama işlemi bitkinin gereğinden fazla kimyasala maruz kalmasına sebep ola bilirken, tüketici için sağlık bakımından zararlı ola bilmektedir. Geleneksel ilaçlama işlemleri bu işlemleri manuel olarak yapan işçilerin sağlığı için de zararlı ola bilmektedir. Bunun yanı sıra, Erken teşhis, ürün hasatlarında meydana gelebilecek zararların önlenmesinde son derece kritik bir rol oynamaktadır. Geleneksel yöntemlerle yapılan hastalık ve zararlı tespiti ise genellikle hatalara ve gözden kaçırma riskine maruz kalabilir.

Bu çalışmada, otonom bir şekilde hareket, patates bitkisi için hastalık tespiti yapabilen ve hastalık tespit edilen bitki için ilaçlama gerçekleştiren eden bir İKA'nın (İnsansız Kara Aracı) modellenmesi amaçlanmaktadır.

İnsansız Kara Araçları, belirli bir arazide insan müdahalesi olmadan hareket edebilen ve belirli ekipmanlarla donatılmış otonom veya yarı otonom araçlardır. Tarımsal uygulamalarda, İKA'lar etraflarındaki çevreyi algılayarak ve belirlenmiş görevleri yerine getirerek kullanılırlar. Son yıllarda, tarım sektöründe işgücü maliyetlerini azaltmak amacıyla İKA'ların kullanımı artmıştır. Özellikle ilaçlama, yabancı ot temizleme, sulama yöntemleri ve mahsul hasadı gibi uygulamalarda İKA'lar sıkça tercih edilmektedir. Bununla birlikte, İKA'ların tarımsal uygulamalarda etkili bir şekilde kullanılabilmesi için tekerlekli mobil robotlar gibi belirli teknolojilere odaklanan araştırmaların teşvik edilmesi önemlidir. Bu araçlar, hareket planlama ve kontrol problemleriyle ilgili karmaşık zorluklarla karşılaşabilir. Diferansiyel tahrik sistemine sahip İKA'lar, bu sistem sayesinde hareket ederken belirli kısıtlamalara tabi tutulur ve çeşitli algoritmaların kullanılması gerekebilir. Özellikle düşük hızlarda kontrol, aracın kinematik modeline bağlı olduğu için zorlu olabilir. Bu nedenle, İKA'ların tasarımı ve kontrolü için mekanik davranışın ve kinematik modellerin anlaşılması önemlidir.

İleri teknolojiye sahip mobil robotlar, madencilik, ormancılık ve tarım gibi endüstri alanlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Tarım sektöründe, İnsansız Kara Araçları (İKA) işgücü ve kaynak talebini azaltarak tarımsal uygulamaları optimize etmektedir.

Hassas tarım için kullanılan İKA'lar, sensörler ve görüntüleme teknolojileriyle bitki sağlığını izler ve ilaçlama gibi işlemleri hassas bir şekilde gerçekleştirir. Bu, doğru ilaç kullanımını sağlayarak kaynakların verimli kullanımını ve çevresel etkilerin azaltılmasını sağlar. Ayrıca, İKA'lar tohum ekimi, hasat ve gübreleme gibi diğer tarımsal uygulamalarda da işgücü ihtiyacını azaltarak operasyon verimliliğini artırır. İnsansız Hava Araçları da tarımsal uygulamalarda ilaçlama ve gözlem gibi işlemlerde kullanılmaktadır. Hassas tarım uygulamalarında, özellikle mobil robotlar, geleneksel tarım araçları olarak kullanılmakta ve sürekli olarak geliştirilmektedir.

Tarımsal uygulamalarda İnsansız Kara Araçlarının hareket planlaması ve kontrolü oldukça önemlidir. Bu araçlar, iç mekan uygulamalarından farklı olarak daha karmaşık bir yol planlaması gerektirirler. İyi bir hareket planlaması, aracın engellerden kaçarak belirlenen hedef noktaya ulaşmasını ve gerekli görevleri yerine getirmesini sağlar. Ancak, bu planlama yapılırken aracın enerji ve kaynak kullanımı da optimize edilmelidir. Hareket planlaması, aracın kinematik ve dinamik sınırlamaları ile çevresel koşulları dikkate alarak hazırlanmalıdır.

Yol planlaması, aracın istenen görevleri başarıyla tamamlayabilmesi için rotasını tasarlar. Navigasyon, genellikle uydu sistemleri ve hareket sensörleriyle oluşturulan bir stratejidir ve otonom araçların güvenli bir şekilde hareket etmesini sağlar. Yönlendirme, aracın referans değerlerini hesaplar ve kontrol sinyallerini üretirken kullanır. Kontrol, elde edilen referans değerlerine dayanarak aracın hareketini yönlendirir.

Otonom bir aracın başarılı bir şekilde görevini tamamlaması ve konumunu koruması için karar verme veya yönlendirme modülü, yol planlama algoritması ve navigasyon sisteminin çıktılarını kullanır. Yönlendirme modülü, aracın hareket kontrolü için referans değerlerini üretir ve bu referans değerler kontrol modülünde kullanılarak hareket sinyalleri oluşturulur. Bu sinyaller gecikme olmadan sisteme uygulanmalıdır. Karar verme modülü, Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi'ne (ANFIS) dayanarak çalışır ve aracın ekin sırasında konumunu doğru koruması, dönme işlemlerini başarılı bir şekilde tamamlaması ve otonom sürüş için referans değerlerin üretilmesi için uygun eğitim verileri gereklidir.

Bu alışmada, YOLO algoritmasının farklı sürümleri (YOLOv7, YOLOv8, YOLOv9) geliştirilmiştir ve patates hastalıklarının gerçek zamanlı tespitinde kullanılmıştır. Bu sürümler, daha iyi doğruluk ve hız sağlamak için farklı özellikler sunmaktadır. GELAN tasarımı gibi yeni yöntemler, bu algoritmalara daha fazla esneklik ve performans sağlamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

Patates bitkisi dünya genelinde en çok tüketilen gıdalaradan biri olmakla (buğday ve pirinçten sonra 3-cü sırada), ekonomik ve besin değeri olarak değerli bir tarım bitkisidir. Gittikçe artan dünya nüfusunun gıda güvencesinin sağlanmasında farklı kullanım ve yararlanma özellikleri ile önemli bir üründür. Dünya patates üretiminde Türkiye %1'lik pay ile ilk sıralarda yer almaktadır. (URL-5) Dünya patates verimi ortalama 2.177 kg/da iken Türkiyede bu rakam 3.514 kg/da'dır. 2020'den 2030'a kadar küresel patates alanının genişleme potansiyeli, Asya, Afrika ve Latin Amerika'da yaklaşık 9 milyon hektar da dahil olmak üzere 14.5 milyon hektardan daha fazla olması beklenmektedir. (URL-6)

Patates önemli bir tarım ürünü olsa da, patates üretimi, yıllık yaklaşık 3-10 milyar euro ürün kaybına sebep olan bir sıra hastalıklara maruz kalıyor. Bu hastalıkların başında 'early blight' ve 'late blight' gibi fungusit (mantar) hastalıklar gelmektedir. Bu hastalıklar bitkinin yaprak lezyonlarına ve enfekte olan yaprakların dökülmesine neden olurken bitkinin fotosentez yeteneğini azaltabilir ve dolayısıyla verim kaybına yol açabilir. (Van der Wals ve diğ., 2001) Enfekte olan bitkilerin ürünleri genellikle daha küçük boyutlu, şekilsiz veya cilt lekelerine sahip olabilir ve hasat sonrası depolama 2 sırasında daha hızlı çürüyebilir veya bozulabilir. Bu da ürünün piyasa değerlerine olumsuz yönde etki etmektedir.

Hastalıkların ve zararlıların mahsullere verdiği zarar ekonomik, sosyal ve ekolojik krizlere yol açabilmektedir. Bu sebeple bu hastalıkların erken teşhisi, ürün hasatlarındaki zararların önlenmesinde oldukça önemlidir. Geleneksel yöntemlerle yapılan hastalık ve zararlı tesbiti, çoğu zaman hatayla ve gözden kaçma olasılığı ile karşılaşabilmektedir. (Ahmed ve diğ., 2023) Ayrıca, geleneksel yöntemlerle hastalık tesbit daha fazla işçilik talep etmekle, hasatın mali giderlerini artırmaktadır. Hastalık ve zararlıların makul bir fiyatla tesbit etmek, mahsullerin kalite ve miktarına korumakla çiftçilere yardımcı olması amaçlanıyor. (URL-6)

Tarım alanında İnsansız Kara Araçlarının kullanımı, işgücü ve kaynak açısından yoğun talep gerektiren, tekrarlayan ve zaman alıcı tarımsal uygulamaların en verimli şekilde düzenlenmesini sağlamaktadır. (Moysiadis ve diğ., 2020) Bunun yanı sıra, tarih boyunca tarım her zaman en fazla kaynak tüketen sektör olmuştur. Ancak modern çağda, bu

kaynaklar geçmişte olduğu gibi ucuz ve kolay erişilebilir değildir. Bu nedenle, tarımda kullanılan mobil robotlar, hassas tarım için büyük önem taşımaktadır. (Aravind ve diğ., 2017) Otomatik ilaçlama hassas tarım uygulamaları için bir sıra avantajlar sunmakla birlikte, bir sıra dezavantajları ortadan kaldıra bilmektedir. Özetle, tarımda hassas ve otomatik ilaçlama sistemlerinin geliştirilmesi, yalnızca ihtiyaç duyulan bölgelere doğru miktarda kimyasal madde uygulayarak püskürtme işlemi gerçekleştiren yenilikçi bir yöntemi temsil etmektedir. (Cantelli ve diğ., 2019)

Tarımsal uygulamalar, İKA'ların hareket planlaması ve kontrolü için çeşitli zorlu gereksinimler ortaya çıkarabilir. İç mekan uygulamalarının aksine, tarımsal alanda yapılan işlemler daha gelişmiş yol planlaması gerektirir. (Santos ve diğ., 2020) Otonom bir araçta etkili bir hareket planlaması, yol boyunca statik veya hareketli engellerden kaçınmayı, belirlenen hedefe ulaşmayı ve gerekli görevleri yerine getirmeyi içerir. Ayrıca, hareket planlaması sırasında otonom robotun istenen görevi eksiksiz yerine getirebilmesi için enerji ve diğer kaynakların kullanımının optimize edilmesi gerekmektedir. (Campbell ve diğ., 2020)

2.1. İnsansız Kara Araçları

İnsansız Kara Araçları (İKA) belirli bir arazide insan müdahalesi olmadan hareket edebilen ve belirli ekipmanlarla donatılmış otonom veya yarı otonom araçlardır. Başka bir deyişle, İnsansız Kara Araçları veya otonom araçlar, insan müdahalesi olmadan belirli bir görevi gerçekleştirebilen araçlardır. (Gao ve diğ., 2018) Bu araçlar, yer operasyonlarında çeşitli görevleri yerine getirmek için tasarlanmıştır ve önceden belirlenmiş bir rotada seyahat edebilme, engelleri algılama ve kaçınma, haritalama ve navigasyon yapabilme gibi özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanır. (Bonadies ve diğ., 2016) İnsansız Kara Araçları uzaktan kumandalı araçlar olarak kullanılabilmektedir.

İKA'lar etraflarındaki çevreyi algılamak ve belirlenmiş görevleri tamalamak için çeşitli sensör ve ekipmanlara sahiptirler. (Akkoyun, 2020) Bu araçlar belirli görevleri tamamlamak için gerek duyulan tasarıma ve donanıma sahip olmalıdır. Örneğin, araç tasarlanırken görev yapacağı alanın-arazinin eğimi, görev süresi, taşıyacağı yükün

kapasitesi, arazinin toprak örtüsü gibi fiziksel koşullar dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir. (Parhi ve Deepak, 2011)



Şekil 2. 1. Tarımsal amaçla tasarlanan 'Husky' robotu. (Asiminari ve diğ.,2024)

İKA'lar etraflarındaki çevreyi algılamak ve belirlenmiş görevleri tamalamak için çeşitli sensör ve ekipmanlara sahiptirler. (Akkoyun, 2020) Bu araçlar belirli görevleri tamamlamak için gerek duyulan tasarıma ve donanımına sahip olmalıdır. Örneğin, araç tasarlanırken görev yapacağı alanın-arazinin eğimi, görev süresi , taşıyacağı yükün kapasitesi, arazinin toprak örtüsü gibi fiziksel koşullar dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir. (Parhi ve Deepak, 2011)

Son birkaç yıldır İKA'lar tarım uygulamalarında, özellikle işgücü maliyetlerini azaltmak amacı ile kullanılması tercih edile biliyor. Bu araçlar ilaçlama, yabancı ot temizleme, sulama yöntemi, mahsul hasadı gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. (Bonadies ve diğ., 2016) Şekil 2.1'de tarımsal amaçla tasarlanan 'Husky' robotu örnek olması için verilmiştir.

Otomatik ilaçlama uygulamalarında insansız araçlar günümüz dünyasında oldukça sık kullanılmaktadır. (Şekil 2.2) Örneğin, Çin'de tarım işgücü sıkıntılarını gidermek için küçük dronların zararlı-hastalık kontrolünde ve ilaçlama görevlerinde kullanılmasını veya iş günü uzunluğunun sınırlanması ve daha yüksek asgari ücretler gibi iş uygulamalarındaki düzenlemeler tarımsal uygulamalarda otomatikleşmeyi teşvik etmektedir. (Li ve diğ., 2021) Çevik manevra kabiliyeti ve sivil uygulamalardaki

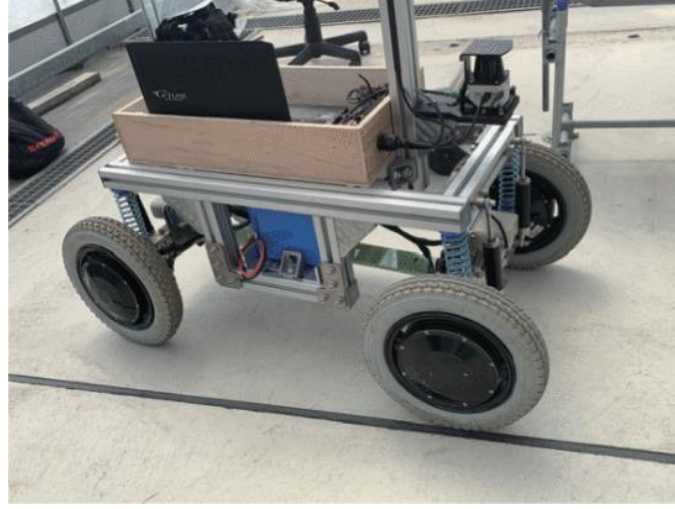
popülerliği sebebiyle ilaçlama işlemlerinde de İnsansız Hava Araçları (İHA) daha fazla uygulama payına sahip olduğu görülmektedir. (Ay ve İnce, 2015) İKA'ların tarımsal uygulamalarda etkili bir şekilde kullanılması, özellikle tekerlekli mobil robotlar (Wheeled Mobil Robots, WMR), bilhassa, hastalık tespiti ve ilaçlama işlemlerindeki önemli rolünün artırılması yönünde çalışmaların teşvik edilmesi gerekmektedir. (Gonzalez-De-Santos ve diğ., 2020)



Şekil 2. 2. İlaçlama uygulamasında kullanılan XAG R150 model İKA (URL-7)

Tekerlekli mobil robotların (İKA) hareket planlama ve kontrol problemi robotik alanda oldukça ilgiçekici bir araştırma konusudur. Diferansiyel tahrik sistemi, bu tarz mobil robotlar için en basit ve en çok kullanılan tasarımlardan biridir. (Malu ve Majumdar, 2014) Bu yöntemle tasarlanan mobil robotlar her bir tekerleği (veya sadece ön iki tekerleği) ayrı motor ile hareket ettirilen ve aynı şase üzerine sabitlenmiş nonholonomik kısıtlamalara sahip sistemlerdir. (Chwa, 2010) Nonholonomik yapıya sahip bir robotun temel kısıtlaması, yanlamasına hareket yeteneğinin olmamasıdır. Mobil robot yalnızca ileriye ve geriye doğru hareket edebilir ve dönebilir, fakat doğrudan sağa veya sola hareket edemez. Bu problemi aşmak için hareket planlaması yapılırken çeşitli algoritmaların kullanılması veya oluşturulması gerekmektedir. (Choudhary ve diğ., 2021) Şekil 2.3'te nonholonomik sınırlamalarla tasarlanan 4 tekerlekli bir İKA verilmiştir. Diferansiyel tahrik sistemine sahip İKA sağa ve ya sola dönmesi için, aracın sağ ve sol tekerlek grubu aynı sürücüye bağlanır ve her iki tarafa ayrı hız referans değerleri verilir.

(Stefek ve diğ., 2020) Örneğin, sağa dönmesi isteniyorsa sol motorlar sağ motorlardan daha hızlı döner, tersi ile araç sola doğru döner. Daha iyi bir dönüş hareketi için uygun hız değerleri hesaplanmalıdır. Aksi halde tekerlekler aracın dönüşü zamanı kayabilir. Bu kayma değerinin fazla olması araç performansına negatif yönde etki edebilir. (Scivoli, 2020)

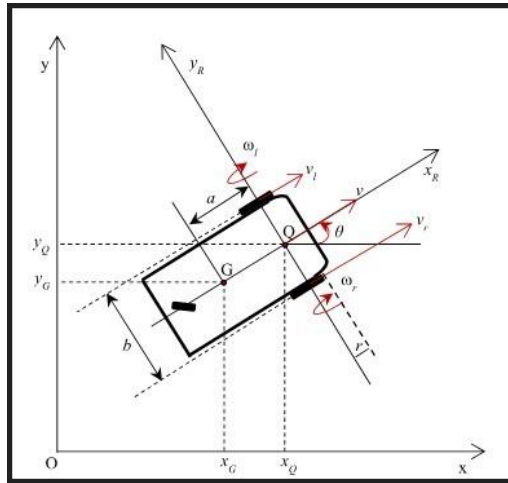


Şekil 2. 3. Nonholonomik sınırlamalarla tasarlanan 4 tekerlekli mobil robot. (Choudhary ve diğ., 2021)

Bir sonraki bölümde 4 tekerlekli mobil robot için nonholonomik kısıtlamalar dikkate alınarak aracın kinematik ve dinamik analizi verilmiştir. Robotun istenen konuma ulaşması için aracın kinematik modelinin tasarlanması ve analiz edilmesini gerektirmektedir. (Myint ve Win, 2016) Araç tasarlanırken, istenilen görevlerin tamamlanması için aracın mekanik davranışının anlaşılması gerekmektedir. Bu aracın tasarımının ve kontrol yazılımının oluşturulması için oldukça önemlidir. (Malu ve Majumdar, 2014) Bununla birlikte, Diferansiyel Tahrik Sistemli Mobil Robotlar'ın (DTSMR) hareket kontrolü çoğunlukla aracın kinematik modeline bağlıdır, çünkü aracın düşük hızlardaki kontrolü için dinamik model oldukça karmaşık olabilir. (Stefek ve diğ., 2020)

2.1.1. Kinematik Modelleme

İKA'nın kinematik modellenmesi, araca etki eden kuvvetler dikkate alınmadan arac'ın nasıl davranacağını dinamik modelidir ve aracın mekanik sisteminin nasıl davrandığı ile ilgili en temel çalışmadır. (Myint ve Win, 2016) Bunun için aracın kinematik ve geometrik parametrelerinin ifade edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.4'de örnek tekerlekli mobil robotun kordinat sistemindeki geometrik yapısı verilmiştir. Tablo 2.1'de ise araç için önemli olan kinematik ve geometrik parametreler ifade edilmiştir. Aracın kinematik modeli onun geometrik yapısına göre değişir. Örneğin, aracın 2, 3 veya 4 tekerlekli olması yada ön ve ya arka tekerlek grubunun hareket verici olması kinematik modelleme için farklı ifadeler gerektirebilir. (Stefek ve diğ., 2020)



Şekil 2. 4. Tekerlekli mobil robotun kordinat sistemi. (Stefek ve diğ., 2020)

Aracın sağ ve sol tekerlek grubunun hızı sırasıyla v_r ve v_l , tekerlek yarıçapı r ve açısal hızları ω_r ve ω_l 'dir. Denklem (2.1) ve Denklem (2.2)'de ifade edildiği gibi;

$$\mathbf{V}_r = \mathfrak{O}_r \mathbf{r} \quad (2.1)$$

$$\mathbf{v}_l = \omega_l \mathbf{r} \quad (2.2)$$

İKA'nın lineer hızı, Denklem (2.3) ve Denklem(2.4)'de olduğu gibi sağ ve sol tekerlek lineer hızlarının cebirsel ortalamasına eşittir. Aracın açısal hızı Denklem(2.5)' de olduğu gibi hesaplanır,

$$v = \frac{v_r + v_l}{2} \quad (2.3)$$

$$v = \frac{(\omega_r + \omega_l) r}{2} \quad (2.4)$$

$$\dot{\theta} = \omega = \frac{1}{b} (v_r - v_l) = \frac{(\omega_r - \omega_l) r}{2} \quad (2.5)$$

Burada aracın x ve y kordinat sistemindeki lineer hız birleşenleri $\dot{x}$ ve $\dot{y}$ 'dir. Denklem(2.6), Denklem(2.7) ve Denklem (2.8)'de olduğu gibi hesaplanır. (Maulana ve diğ., 2014)

$$\dot{x} = v \cos \theta \quad (2.6)$$

$$\dot{y} = v \sin \theta \quad (2.7)$$

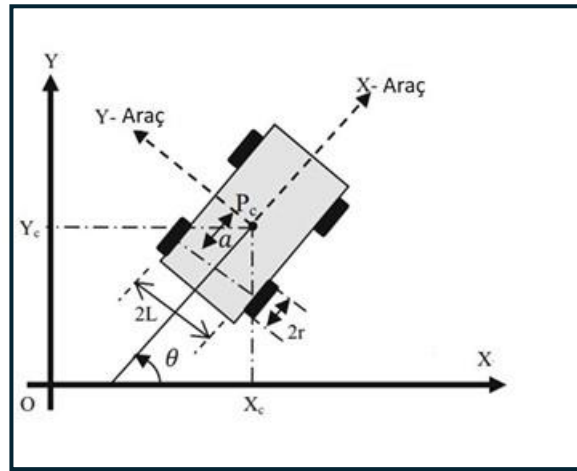
$$\dot{\theta} = \omega \quad (2.8)$$

Tablo 2. 1. Aracın kinematik modellemesi için gerekli parametreler

v	Aracın lineer hızı (gövde hızı)	m/s
θ	Yönelme açısı	rad
ω_r	Sağ tekerlek grubunun açısal hızı	rad/s
ω_l	Sol tekerlek grubunun açısal hızı	rad/s
v_r	Sağ tekerlek grubunun lineer hızı	m/s
v_l	Soğ tekerlek grubunun lineer hızı	m/s
r	Tekerleklerin yarıçapı	m
b	Sağ ve Sol tekerlek grubunun arasındaki mesafe	m
Q	Sağ ve Sol tekerlek grubunun merkezi	()
G	Aracın ağırlık merkezi	()
a	Q ve G noktası arasındaki mesafe	m

4 Tekerlekli araçlarda, genelde, ön yada arka tekerlekler hareketverici (DC motora bağlı sürülen) diğerleri aracı dengede tutmak için güçsüz olarak tasarlanır. Bu çalışmada ise , araç sağ ve sol tekerlek grubu olarak ikiye ayrılmıştır. Sağ iki tekerlek aynı sürücü, sol iki tekerlek aynı sürücü ile her biri bir DC motorla hareket ettirilmektedir. Bu sebeple aracın kinematik modellenmesinde gösterilen çalışmalardan çok farklı olmayacaktır.

Şekil 2.5’de iki boyutlu düzlem (x ve y) üzerinde 4 Teker Diferansiyel Tahrikli İKA’nın kinematığı verilmiştir. Bu aracın 4 sabit tekerleği vardır. Tekerlekler sağ ve sol tekerlek grubu olarak ayrılmıştır. Araç her bir tekerlek grubuna farklı referans hızlar verilerek kayma yöntemi (Skid Steering Yöntemi) ile döndürüle bilmektedir. Burada 2L araç sağ ve sol tekerlek grubunun arasındaki mesafeyi göstermektedir ($2L = b$). (Orman ve Derdiyok, 2017)



Şekil 2. 5. 4 Teker Tahrikli İnsansız Kara Aracının Kinematığı. (Orman ve Derdiyok, 2017)

Kaydırma Döndürme yöntemi ile aracın yön kontrolü paletli bir araçtaki gibi işlev görür. Kaydırma yöntemi ile dönüş işlemi Akerman yöntemine göre birkaç avantaj sağlamaktadır. Bunlar, aracın bu şekilde tasarımı mekanik olarak daha basit ve sağlamdır. Diğer ise, düzçizgi hareketi (straight line) ile gerekli parametreleri kullanarak 0 dönüş yarıçapı ile daha iyi bir manevra yapma bilmesidir. (Mandow ve diğ., 2007)

2.1.2. Dinamik Modelleme

İKA'ların matematiksel modellenmesi, aracın kinematik ve dinamik özelliklerini içeren denklemlerin geliştirilmesini içerir ve İKA'nın fiziksel yapısını, konumunu, hızını, yönelimini, ivmesini ve dönme hareketini tanımlar. İKA'nın matematiksel modelini oluştururken, aşağıdaki denklemler kullanılabilir. (Rivera ve diğ., 2019) Matematiksel modelin oluşturulması için bu araçta kullanılan DC motorun parametre değerlerinin bilinmesi gerekir. Tablo 2.2'de bir DC motorun dinamik modelinin oluşturulması için gerekli parametreler verilmiştir.

Bu bölümde, sistemin davranışını giriş ve çıkış verilerini kullanarak yaklaşık olarak temsil eden bir model oluşturmak amaçlanmaktadır. Elektromekanik transfer fonksiyonu, elektriksel girişi mekanik çıkışa bağlayan eşdeğer atalet ve sönümlleme değerlerini bulmak suretiyle belirlenir. Denklem (2.9)'da ifade edildiği gibi;

$$R_a I_a(s) + L_a \frac{dI_a(s)}{dt} + V_b(s) = E_a(s) \quad (2.9)$$

Burada, L_a armatür indüktansını, R_a armatür direncini, I_a armatür akımını, V_b geri elektromotor kuvvetini (emf) ve armatür gerilimini E_a olarak temsil etmektedir. Akım taşıyan armatür, manyetik bir alan içinde döndüğü için gerilim hızla orantılıdır. (Abdin ve diğ., 2020)

Tablo 2. 2. Dinamik Modelleme için gerekli motor parametreleri

R_a	Armatür direnci	Ω
L_a	Armatür endüktansı	H
D_m veya B_m	Viskos Sürtünme katsayısı	Nm/rad/s
J_m	Motor mil ataleti	Nm/rad/s ²
K_b	Zıt elektromotor kuvvet sabiti	V/rad/s
K_t	Tork sabiti	Nm/A

Denklem(2.9)'da , L_a armatür indüktansını, R_a armatür direncini, I_a armatür akımını, V_b geri elektromotor kuvvetini (emf) ve armatür gerilimini E_a olarak temsil etmektedir. Akım taşıyan armatür, manyetik bir alan içinde döndüğü için gerilim hızla orantılıdır. (Abdin ve diğ., 2020) Denklem (2.10)'da ifade edildiği gibi;

$$V_b(s) = K_b \frac{d\theta_m(t)}{dt} \quad (2.10)$$

Denklem(2.10)'da, K_b geri emf sabiti olarak adlandırılan bir orantılama sabitidir. Laplace dönüşümü alındığında, Denklem (2.11) ve Denklem (2.12)'de olduğu gibi ifade edilir;

$$V_b(s) = K_b s \theta_m(s) \quad (2.11)$$

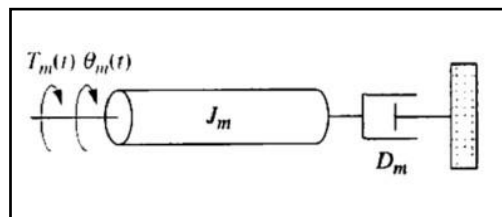
$$T_m(s) = K_t I_a(s) \quad (2.12)$$

Burada K_t orantılama sabitidir. Denklem (2.12) yeniden düzenlenirse, Denklem (2.13) ve Denklem (2.14)'de olduğu gibi eşitlikler elde edilir:

$$I_a(s) = \frac{T_m(s)}{K_t} \quad (2.13)$$

$$\frac{(R_a + L_a s) T_m(s)}{K_t} + K_b s \theta_m(s) = E_a(s) \quad (2.14)$$

Motor üzerindeki mekanik yük eşitliği şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2. 6. Motor üzerindeki mekanik yük eşitliği (Abdin ve Rachid, 2020)

İstenen transfer fonksiyonu Denklem (2.15)'de verilmiştir.

$$\frac{\theta_m(s)}{E_a(s)} = \frac{K_t / (R_a J_m)}{s(s + \frac{1}{J_m}(D_m + \frac{K_t K_b}{R_a}))} \quad (2.15)$$

Burada, J_m toplam atalet momenti, D_m Viskos sürtünme katsayısıdır.

Denklem (2.15) kullanılarak modellenmesi istenen DC motorun dinamik davranışları simüle edilebilir. Mekanik ve elektriksel parametreler belirlendikten sonra tasarlanması istenen kontrol sisteminin parametreleri de elde edilebilir. (Beloïu, 2014) Tasarlanması istenilen PID kontrolör'ün K_p , K_i ve K_d katsayı değerleri motor parametreleri belirlendikten sonra bulunur. Bu bölümde bahsi geçen aracın dinamik modelinin belirlenmesinin önemi Kontrol Yöntemleri bölümünde verilmektedir.

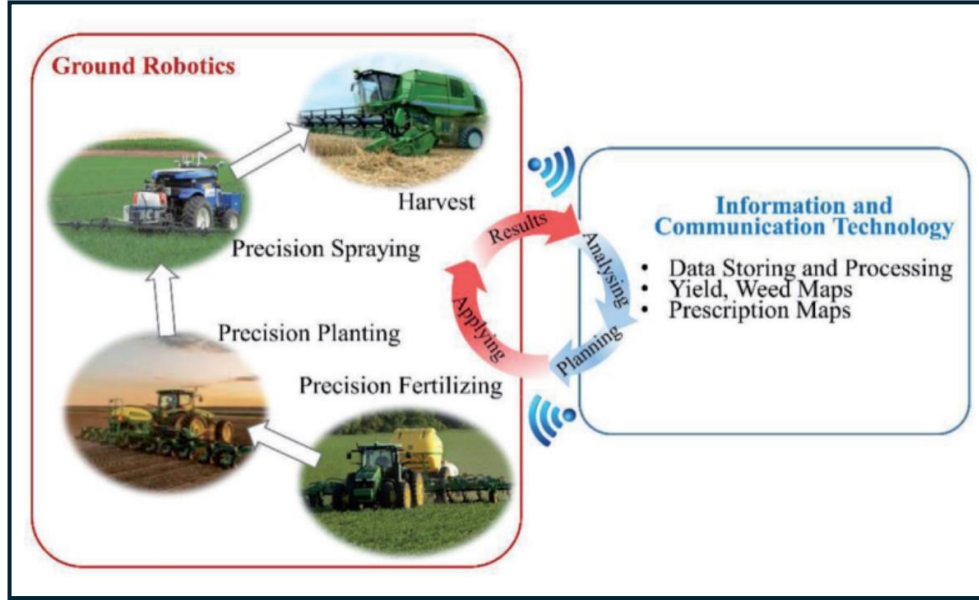
Araç için kontrol yapısı tasarlanırken aracın dinamik ve kinematik modellenmesi aracın boyutuna ve kontrol edilmesi istenen hız değerine bağlı olarak her bir modelleme için ayrı bir önem seviyesine sahip olabilir. Örneğin, kinematik modelleme düşük hızdaki bir mobil robot için başarılı sonuçlar verebilirken, yüksek hızlardaki manevralar için dinamik modelleme daha başarılı sonuçlar vere bilmektedir. (Sun, 2005) Bu sebeple tasarlanan araçtan beklenenlere göre modelleme yapılabilir. Bu sebeple, Orman ve Derdiyok (2017) tarafından yapılan çalışmada, mobil robotun kinematik ve dinamik özelliklerini aynı anda dikkate alan bir kontrolör tasarımı önerilmektedir.

2.2. Tarımda Robotik Uygulamalar ve İka'ların Kullanım Gereksinimleri

İleri teknolojik ekipmanlarla donatılmış, navigasyon, yol planlama, nesne algılama ve s. gibi dış mekan uygulamalarında kullanılabilen mobil robotlar madencilik, ormancılık ve tarım gibi endüstri alanlarında oldukça sık kullanılmaktadır. Tarım alanında İnsansız Kara Araçlarının ortaya çıkışı, işgücü ve yoğun kaynak talep eden ve tekrarlanan zaman alıcı tarımsal uygulamaların optimum şekilde düzenlenmesine olanak tanımaktadır. (Moysiadis ve diğ., 2020) Bununla beraber, tarih boyunca tarım her zaman en çok kaynak talep eden bir alan olmuştur. Geçmişin aksine modern zamanda, bu kaynaklar eski gibi ucuz ve kolay ulaşılabilen deşil. Bu sebeple, tarımda kullanılan mobil robotlar hassas tarım için oldukça önem arz etmektedir. (Aravind ve diğ., 2017)

İKA'ların kullanımı, tarımsal üretim süreçlerini optimize etmek, verimliliği artırmak ve çiftçilere daha doğru ve verimli kararlar alma imkanı sunmak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Otonom araçlar hassas tarım uygulamaları için özellikle değerli olmaktadır.. Sensörler,

algılayıcılar , görüntü işleme teknolojileri ve diğer ileri teknolojik araçları kullanarak İKA'lar, bitki sağlığı, toprak nem oranı, zararlı böceklerin varlığı ve s. gibi faktörleri daha hassas bir şekilde izleyebilir ve analiz edebilmektedir. Şekil 2.7’de, otonom araçların hassas tarım uygulamalarındaki kullanımı tasvir edilmektedir.



Şekil 2. 7. İKA'ların hassas tarım uygulamalarında kullanımı (Gonzalez-De-Santos ve diğ., 2020)

Otonom araçlar ilaçlama sürecinde büyük bir potansiyele sahip olmaktadır. Geleneksel yöntemlerle yapılan ilaçlama işlemleri zaman alıcı, maliyetli ve çevreye olumsuz etkileri olan bir süreçtir. (Komasilovs ve diğ., 2013) Otonom araçlar ise hassas ilaçlama yapabilme yetenekleri sayesinde bu sorunları aşabilmektedirler. (Adhav ve diğ., 2019) İKA'lar, sensörler ve görüntüleme teknolojileri aracılığıyla bitki özelliklerini ve hastalıkları tespit edebilir, böcek ve zararlıları izleyebilir ve hedeflenen bölgelere ilaçları hassas bir şekilde uygulayabilmektedirler. Bu, ilaçların doğru ve etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamakla kaynakları tasarruflu kullanır ve zararlı çevresel etkileri azaltabilmektedir. (Abhiram ve Megalingam, 2022)

İKA'lar, ilaçlama ve bitki sağlığı kontrolünün yanı sıra diğer tarımsal uygulamalarda da kullanılabilir. Örneğin, İKA'lar tohum ekimi işlemlerini otomatik olarak gerçekleştirebilmekte, hasat sürecinde verimliliği artırabilmekte ve gübreleme işlemlerini hassas bir şekilde uygulayabilmektedir. Bu uygulamalar, insan gücüne olan ihtiyacı

azaltırken, tarımsal operasyonların verimliliğini ve doğruluğunu artırmaktadır. (Scivoli, 2020)

İKA'ların yanı sıra, İnsansız Hava Araçları ilaçlama, gözlem ve s. tarımsal uygulamalar da sık bir şekilde kullanılmaktadır. Çevik manevra kabiliyetleri, askeri ve sivil uygulamalarda popüler bir şekilde kullanımı bu araçların tarımsal alanlarda da kullanımını yaygın hale getirmektedir. (Akkoyun, 2020)

Hassas tarım uygulamalarında kullanılan otonom kara araçları iki trend şeklinde geliştirilmektedir: geleneksel tarım araçları olan otonom traktörler ve mobil robotlar. (Gonzalez-De-Santos ve diğ., 2020)

Bu çalışmada mobil robotların modellenmesi, geliştirilmesi ve tarım uygulamalarında kullanılması ele alınmaktadır.

2.3. Otomatik İlaçlama Yöntemleri

Bitki hastalıkları ve zararlıları tarım alanlarında ürün verimliliği için karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. Bazı hastalık ve zararlılar bitkilerin tamamen verimliliğini azaltırken, bazı hastalık ve bu hastalıkların belirli aşamaları ürünün piyasa değerini düşürmektedir. Bu sebeple, hastalık ve zararlıların önceden en kısa sürede tespit ederek ilaçlama yapılması veya bu zararı en aza indirecek işlemlerin uygulanabilmesini sağlamak, gıda güvenliğini için oldukça gerekli olmaktadır. Hastalık ve zararlıların ilaçlama yöntemleri ile ortadan kaldırıldığında, tarım ürünlerinde oluşan yıllık kayıpların %30 ile %35 arasında önlenmesi öngörülmektedir. Otomatik ilaçlama hassas tarım uygulamaları için bir sıra avantajlar sunmakla birlikte, bir sıra dezavantajları ortadan kaldırabilmektedir. (Berenstein ve Edan, 2017) İlaçlama işlemleri, genel olarak, dumanlama, tozlama ve püskürtme şeklinde yapılmaktadır. Sıvı püskürtme şeklinde yapılan ilaçlama işlemleri daha fazla uygulama alanına sahiptir.

Modern tarım uygulamalarında, ilaçlama işlemleri manuel bir şekilde yapıldığında, bu işlemler insan sağlığı için tehlikeli ve zararlı sonuçlar oluşturmaktadır. Bununla beraber, gerektiğinden fazla miktarda ilaçlama, ürünün kimyasal zararlılığını artırır

bilmektedir. Hassas tarım uygulamalarının geliştirilmesi bu gibi dezavantajları önleyebilmektedir. (Dou ve diğ., 2018) Genel olarak, hassas ilaçlama yöntemleri kimyasal etkileri, işçilik maliyetlerini azaltmakla beraber, işçi sağlığına tehlikeli olabilecek durumları ve zararlı çevresel hasarı en aza indirecek yöntemlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. (Abbas ve diğ., 2020)



Şekil 2. 8. Sol tarafta: manuel yapılan ilaçlama; Ortada: traktörle yapılan ilaçlama; Sağ tarafta: İHA ile yapılan ilaçlama (Meshram ve diğ., 2022)

Şekil 2.8’de, sol tarafta verilen resimde ilaçlama işlemlerinin işçiler tarafından manuel yapıldığı görülmektedir. Burada, bu şekilde yapılan ilaçlama hem işçilerin sağlığına tehlike arz etmekte hem de gereksiz alanda ilaçlama yapılmasına sebep olabilmektedir. Şekil 2.8’de ortada ve sağ tarafta verilen resimde araç kullanılarak yapılan ilaçlama tasvir edilmektedir. Burada, hedef noktadan daha fazla bir alana ilaçlama yapıldığı gözlemlenmektedir. Bu bitki ve toprak verimliliği için tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. (Meshram ve diğ., 2022)

Çeşitli ilaçlama teknolojileri tarım, ormancılık, hayvancılık ve s. gibi alanlarda geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Otomatik ilaçlama işlemlerindeki amaç, gereğinden fazla olmayacak şekilde ilaçlama yapılmasıdır. Bunun için gerekli sensörlerle donatılan ilaçlama modülünün gerçek zamanlı olarak işlem yapabilmesi beklenmektedir. Mustak ve diğerleri (2022) tarafından yapılan çalışmada, PLC kontrolör sistemi ve uyarlanabilir fuzzy-PID kontrolör yöntemi birleştirilerek oluşturulan otomatik ilaçlama robotu tasarımı verilmektedir. Bulanık PID algoritması çeşitli püskürtme kontrol sistemlerinin matematiksel modeli ile birleştirilerek PLC sistemi üzerinden tasarımı gerçekleştirilmiştir. Berenstein ve Edan (2017) tarafından yapılan çalışmada, hedefe yönelik püskürtme teknolojisinin geliştirilmesi amacı ile yapılan ayarlanabilir sprey

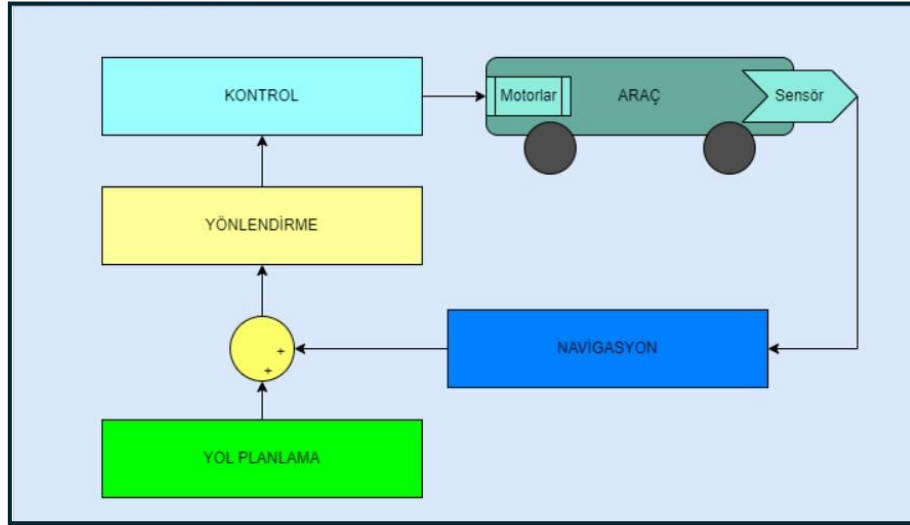
cihazının tasarımı verilmektedir. Burada, püskürtmenin çapı, hedefin uzaklığına, şekline ve boyuna göre ilaçlama başlığının açıklığının ayarlanması ile belirlenmesi önerilmektedir.

Özetlemek gerekirse, tarımda hassas ve otomatik ilaçlama sistemlerinin geliştirilmesi, sadece gereken bölgelere ve doğru miktarda kimyasal madde kullanarak püskürtme işlemi ile yapılan yenilikçi bir yöntemi temsil etmektedir. (Cantelli ve diğ., 2019) Bu amaçla tasarlanan İnsansız Hava Araçları (İHA), İnsansız Yüzey Araçlar (İYA), Mobil Robotlar ve s. ilaçlama kabiliyetine sahip teknolojiler, çeşitli amaçlarla kullanılabilmektedir. Akkoyun (2020) tarafından yapılan aynı çalışmada, ilaçlama işlemi bir İHA ile gerçekleştirilmektedir. Hem çok yönlü manevra kabiliyeti ve toprakla temas yapılmadan ilaçlama işleminin gerçekleştirilebilmesi bu çalışma için avantajlı bir çıkarım sağlamaktadır. Özellikle traktör gibi büyük araçlarla toprak yüzeyine temas edilerek yapılan çalışmalarda toprağın sıkışmasına ve bitkinin kök kısmına zarar verebilmesi ihtimali ile havadan yapılan müdahale avantajlı görünmektedir. Bu akademik çalışmada ise, küçük çaplı ve yerinde otomatik ilaçlama yapan İKA tasarımı verilmektedir. Hem boyutunun küçük olması hem de hastalık tespiti yapıldığı an yerinde ilaçlama işlemi yapabilmesi bu çalışmanın en önemli avantajlarından bir kaçını sergilemektedir. Boyutunun büyük ve ağır olmaması sebebi ile, patates gibi meyvesi toprakta olan bitkiler için toprak sıkışması problemini sorun olmaktan çıkarabilmektedir.

2.4. İnsansız Kara Araçları için Hareket Planlama

Tarımsal uygulamalar İKA'ların hareket planlaması ve kontrolü için bir sıra zorlayıcı gereksinimler ortaya çıkara bilmektedir. İç mekan uygulamalarının aksine , tarımsal alanda yapılan işlemler daha ileri seviye yol planlaması gerektirmektedir. (Santos ve diğ., 2020) Otonom bir araçta iyi bir hareket planlaması yol boyu statik veya harekette olan engellerden kaçma, belirlenen hedef noktaya ulaşma, yol boyu gerekli görevleri yerine getirebilme ve s. gibi istenen başarımları içermektedir. Bununla birlikte, hareket planlaması yaparken otonom bir şekilde hareket eden robotun istenen görevi tam bir şekilde yapabilmesi için enerji ve diğer kaynakların kullanımının optimize edilmesi gerekiyor. (Raja ve Pugazhenth, 2012) Hareket planlaması, aracın veya sistemin

kinematik ve dinamik sınırlamaları, bununla beraber, aracın hareket edeceği alanın yapısı göz önüne alınarak hazırlanmalıdır. (Kavraki ve LaValle, 2016)



Şekil 2. 9. İnsansız Kara Aracı için hareket planlaması blok şeması

Çok amaçlı bir mobil robot için hareket planlaması yapılırken her hangi bir nesneyle çarpışmadan görevi tamamlaması beklenir. (Gao ve diğ., 2018) Otonom aracın hareket planlamasındaki ana sorun, sensörlerle elde edilen konumlandırma ve çevre koşulları hakkındaki bilgileri kullanarak başlangıç noktasından hedef noktasına nasıl hareket edeceğidir. (Kavraki ve LaValle, 2016)

Yol Planlaması : Aracın istenen görevleri başarılı bir şekilde tamamlaması için robotun gideceği yol tasarlanır. Burada önemli olan aracın istenen güzergâhta hareketi zamanı ara noktaların (waypoints) belirlenmesidir. Örneğin şekil 2.10’da, ekin tarlasında hareket eden bir aracın bitki hastalığı tespiti yapılması isteniyorsa, hastalıklı bitkinin tespit edildiği nokta, yada araç sıra sonuna geldiğinde diğer sıraya geçmesi gerekiyorsa bu bitiş noktası ve diğer sıranın başlangıç noktası ara noktalar olarak ifade edilir. (Galceran ve Carreras, 2013)

Navigasyon : Aracın navigasyon stratejisi , genellikle, uydu sistemleri ve hareket sensörleri (örnek: lidar, radar, ultrasonik ve s.) ile oluşturulmaktadır. Navigasyon çok eski bir kavram olması ile daha çok gemi ve hava araçlarının güvenli bir şekilde rota

planlaması amacıyla kullanılmıştır. Eski yöntemlerden, örneğin kompas, modern zamanlardaki yöntemlere , örneğin GPS, bir çok farkı araç ve gereçleri ifade etmektedir. Otonom araçların yaygınlaşmasından sonra kara araçları içinde yaygın olarak kullanılmaktadır. (Ko ve diğ., 2014)

Yönlendirme (Karar verme) : Burada araç için ara nokta ve navigasyon sisteminden gelen bilgilere göre referans değerler hesaplanır. Örneğin, aracın ekin sırasında yapması gereken görevlerden dolayı durması gerekiyorsa, dönüş esnasında sağ ve sol tekerlek grubuna farklı hızlar vermesi gerekiyorsa veya aracın yol boyu doğru güzergâhlarda hareket etmesi için doğru konuma geçmesi gerekiyorsa bunun için istenen referans değerlerinin hesaplanması bu modülde gerçekleştirilir. Örneğin, Bulanık Çıkarım Sistemi araç için uygun referans değerlerine karar vere bilir. (Abatari ve Tafti, 2013)

Kontrol : Uygun kontrol yöntemi tasarlandıktan sonra, elde edilen referans değerleri için kontrol sinyalleri üretilir. Bu sinyaller mikrokontrolör ile işlendikten sonra aracın motorlarına uygun hız değerleri iletilir. (Mester, 2006)

Çalışmanın bu kısmında araç için Hareket Planlama genel bir şekilde ele alındı. Bir sonraki kısımda araç için Yol Planlaması ve Otonom Sürüş başlıkları altında genel bilgiler verilmiştir. Karışıklık olmaması adına Navigasyon, Yönlendirme ve Kontrol modülleri Otonom Sürüş başlığı altında ayrı bir şekilde verilmektedir. Şekil 2.9’da görüldüğü üzere, Yol planlaması diğer modüllerden bağımsız olarak gerçekleştirile bilmektedir. (Gao ve diğ., 2018) Yol Planlaması algoritması oluşturulduktan sonra Otonom Sürüş algoritması gerçekleştirilecektir. Tablo 2.3’de, otonom aracın Hareket Planlaması aşamalarının özet açıklaması verilmektedir.

Tablo 2. 3. İnsansız Aracın Hareket Planlaması aşamalarının özet açıklaması

Yol Planlama	Hareket güzergahı boyunca ara noktaların belirlenmesi ve buna göre bir yol planlamasının yapılması.
Navigasyon	Aracın üzerinde bulunan ve çevresini tanımasını mümkün kılan sensör sistemlerini ihtiva etmektedir.
Yönlendirme (Karar verme)	Ara nokta ve Sensörlerden gelen bilgilere göre aracın hareket verici hisselerine (motorlar) referans hız, konum veya ivme bilgilerinin oluşturulmasını sağlamaktadır.
Kontrol	Gelen referans değerlere göre uygun kontrol sinyallerinin oluşturulmasını kapsamaktadır.

2.4.1. Yol Planlama

Yol Planlama algoritması aracın güvenli ve en makul bir şekilde rota planlamasını sağlamalıdır. Bununla birlikte, enerji ve zaman gibi kaynakların boşa harcanmayacak şekilde bir yol planı oluşturmasını sağlamak oldukça önemlidir.

Raja ve Pugazhenth (2012) tarafından yapılan çalışmada, robotun görev yaptığı alanda sahip olduğu çevre koşulları hakkında bilgisinin miktarına bağlı olarak iki türlü yol planlaması yapılmıştır:

1. Offline: Robot çevre hakkında bütün bilgilere, örneğin, harekette olan veya statik engel ve objelerin konum ve hareket yörüngesi bilgileri, sahipse bu yol planlama stratejisi kullanılabılır.
2. Online: Eğer robot çevre hakkında bilgiye tamamen ulaşamıyorsa veya bu mümkün değilse, araç navigasyon planlaması yaparken çevre koşullarını değerlendirmeli ve buna göre yol planlaması yapmalıdır.

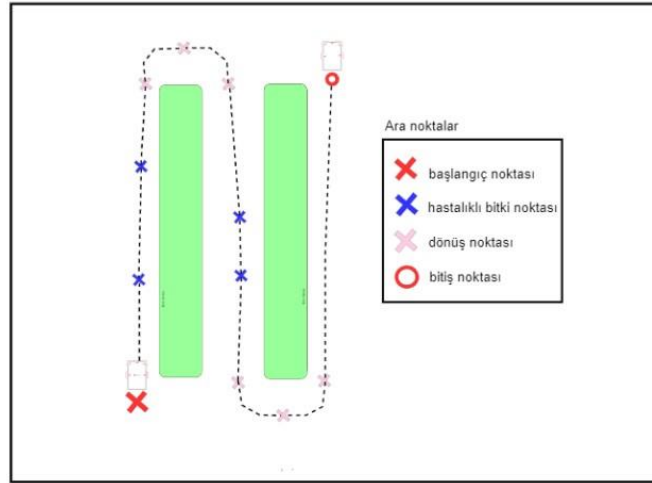
Tarımsal alanda yapılan yol planlaması için 2 türlü alt kategori mevcuttur: (Santos ve diğ., 2020)

1. Noktadan-Noktaya Yol Planlama (Point-to-Point Path Planning)

Noktadan-noktaya yol planlaması başlangıç noktasından hedef noktaya doğru en uygun rota planlamasıdır. Örneğin, kargo şubesinden teslimat adresine giden bir robot buna örnek ola bilir. (Du ve diğ., 2016)

2. Kapsamlı Yol Planlaması (Coverage Path Planning)

Kapsamlı Yol planlaması, insansız otonom aracın engellerden kaçarak ilgili alan boyunca tüm noktalardan geçecek şekilde bir yol planlaması algoritmasıdır. Örneğin, robot süpürge, boyama yapan robotlar, sualtı araçları, mayın temizleme robotları, çim biçme makineleri, hasat toplama makineleri, cam temizleme robotları ve s. gibi tüm yüzeyde hareket etmesi gereken robotlar Kapsamlı Yol Planlaması algoritmasının kullanıldığı araçlardır. (Galceran ve Carreras, 2013)



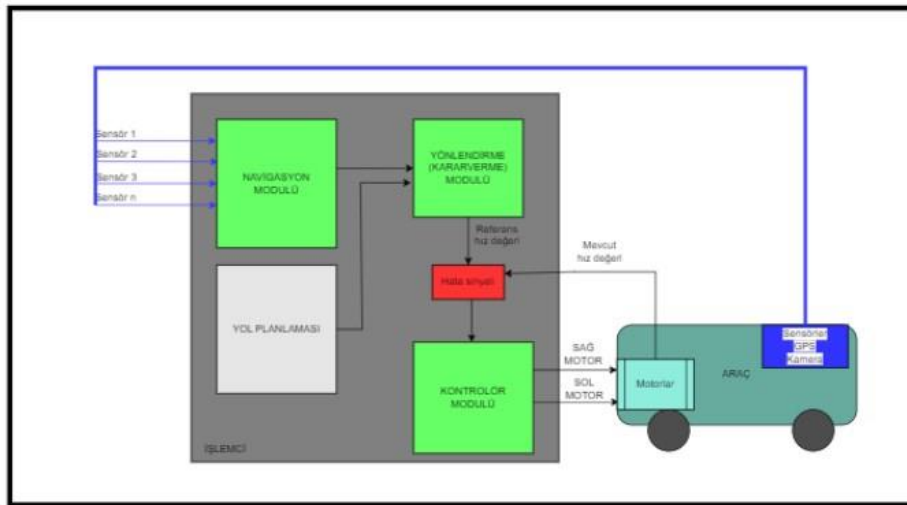
Şekil 2. 10. Ara noktaların (waypoints) belirlenmesi

Şekil 2.10'da ekin sıraları boyunca hastalık tespiti yapmak ve yerinde ilaçlama amacıyla tasarlanan bir robotun rotası verilmiştir. Görüldüğü üzere burada Kapsamlı Yol Algoritmasının kullanılması önerilebilir. Çünkü araç tüm arazi boyunca bütün noktalardan geçecek şekilde bir yol algoritmasına ihtiyaç duymaktadır.

2.4.2. Otonom Sürüş

Bir aracın insan müdahalesi olmadan ve insan benzeri karar ala bilme yetisiyle istenen rotada kendi kendine yönlendirilerek hareket etmesine otonom sürüş denir. (Gao ve diğ., 2018) Sensörlerden alınan verilere göre bir karar verme mekanizması oluşturulur. Bu karar verme mekanizması aracın otonom bir şekilde hareket edebilmesi için referans değerler üretir. Daha sonra, elde edilen bu referans değerleri için herhangi bir kontrol yöntemi kullanılarak araç için kontrol sinyalleri oluşturulur. (Shreyas ve diğ., 2020)

Navigasyon algoritması aracın herhangi bir nesneyle çarpışmaya maruz kalmayacak şekilde uygun bir yol belirlemek ve aracın doğru bir şekilde hareket etmesi için doğru bir şekilde karar verebilmesi için araç üzerinde bulunan algılayıcıları kullanır. Araç üzerinde bulunan radar, lidar, ivmeölçer ve s. hareket sensörleri ve GPS modülü kullanarak aracın konum , hız ve irtifasını belirlemek için kullanılabilir. Mobil robot navigasyonu için uygun sensörleri seçilmesi ve ihtiyaç halinde bu sensörlerin füzyon işlemlerini gerçekleştirebilmek kritik bir öneme sahiptir. (Shalal ve diğ., 2013)



Şekil 2. 11. Yol Planlaması yapılmış bir araç için otonom sürüş blok diyagramı

Yönlendirme modülü aracın nerede olması gerektiğine karar vermelidir. Navigasyon sisteminden ve tasarlanan yol algoritmasından elde edilen bilgilere göre aracın doğru rotada hareket etmesini ve istenen görevleri yapmasını sağlamak için hız, konum, irtifa, ivme gibi referans değerler üretir. Üretilen referans değerler kontrol modülünü beslemek

için kullanılır. (Lekkas, 2014) Şekil 2.11’de, Yol Planlaması yapılmış bir araç için otonom sürüş blok diyagramı verilmektedir

Yönlendirme modülünün başarılı bir şekilde çalışması için Navigasyon modülünün zaman gecikmesi olmadan ve doğru bir şekilde ölçüm yaparak çalışması gerekir. Yine Yönlendirme modülü tarafından üretilen referans bilgilerin Kontrol modülü tarafından zaman gecikmesi olmadan kullanılması gerekir. (Lekkas, 2014) Örneğin, karşısına çıkan engeli aşması için Navigasyon modülünün zamanında algılama işlemini yapıp Yönlendirme modülüne iletmesi gerekmektedir. Aynı şekilde, elde edilen bilgilere göre Yönlendirme modülü tarafından üretilen bilgiler Kontrol modülüne iletildikten sonra aracın yoldan çıkmaması veya sistemin engelden dolayı düşmemesi için Kontrol modülünün sinyal üretmesi, gereğinden fazla zaman almamalıdır

Tarlada bitki sırası boyunca hareket etmesi istenen aracın dar bir yol ile rotayı izlemesi ve engellerden kaçarak sunulan yol planına göre görevini tamamlaması istenilmektedir. Bu gibi görevleri başarılı bir şekilde tamamlamak için araç için uygun kontrolör tasarımının yapılmasını gerektirmektedir. Bu kontrol yöntemleri içerisinde Bulanık Mantık Kontrol yöntemi, Uyarlanabilir Sinir Ağlarıyla Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), PID, Fuzzy-PID ve s. gibi kontrol yöntemleri kullanıla bilmektedir. (Walia ve diğ., 2015)

2.5. Adaptif Nörobulanık Karar Verme Sistemi (ANFIS)

ANFIS, Takagi-Sugeno bulanık modeline dayanarak tasarlanan, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yönteminin özelliklerini taşıyan uyarlanabilir bulanık karar verme sistemidir. ANFIS modeli, gerçek dünya problemlerinde olduğu gibi, belirsiz, karmaşık ve doğrusal olmayan durumların modellenmesinde ve kontrolünde esnek bir yapı sunmaktadır. (Walia ve diğ., 2015)

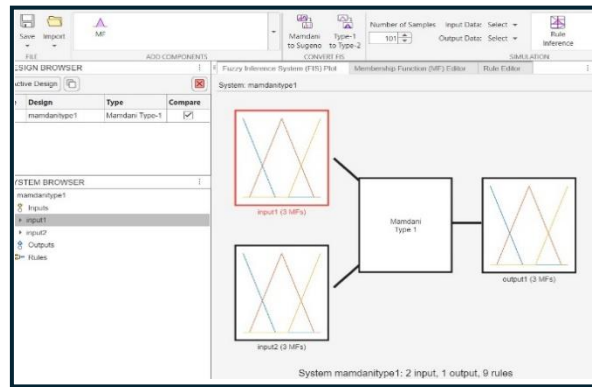
İnsan benzeri karar verme özelliklerine sahip bu melez modeli anlatmak için ilk olarak ‘bulanık kümeler’ kavramının ele alınması gerekiyor. 1965 yılında, aslen Azerbaycanlı bilim insanı Lutfi A. ZADEH tarafında belirsiz ve karmaşık problemleri ifade etmek için ortaya atılan ‘bulanık kümeler’ (‘fuzzy sets’), sadece ‘0 yada 1’ olarak ifade edilemeyen durumları karakterize etmek için kullanılmıştır. (Zadeh, 1965) Geleneksel mantık

yöntemine dayanan ‘evet’ yada ‘hayır’ gibi kesin durumların ötesinde, bulanık mantık kavramı bunların arasında olan durumların dilsel olarak modellenmesi için kullanılan, bulanık kümeler için bulanık karar verme yöntemidir. (Lin ve diğ., 2023)

2.5.1. Bulanık Mantık Modeli

Doğada gerçek sistem giriş ve çıkış değerleri bulanık kümelerden oluşmaktadır. Örnek vermek gerekirse, havanın sıcak, çok sıcak, ılık, soğuk ve ya serin olması bulanık kararlar olarak değerlendirilebilir. Otonom araç karşısına çıkan engel’den kaçarken, nesne takibi yaparken ve ya dönme işlemi yaparken ideal bir dönüş için motorlara verilen giriş değerleri bulanık kümelerden oluşmaktadır. (Dernoncourt, 2013)

Kontrol edilmesi istenen sistemin matematiksel modeli bilinmediğinde bulanık mantık modeli kullanılır, sistem tasarlanırken diğer kontrolör yapılarıyla da sentez edilerek oluşturulması tercih edilebilir. Fuzzy-PID yapısı otonom araçlar gibi değişken yapılara ve çevreye sahip bir sistem için örnek olarak verilmiştir. (Abatari ve Tafti, 2013) Şekil 2.12’de Mamdani tip sistem ve üçgen dalga (triangular) fonksiyonu kullanılan Bulanık Çıkarım Sistemi için MATLAB arayüzü ve modeli verilmiştir.



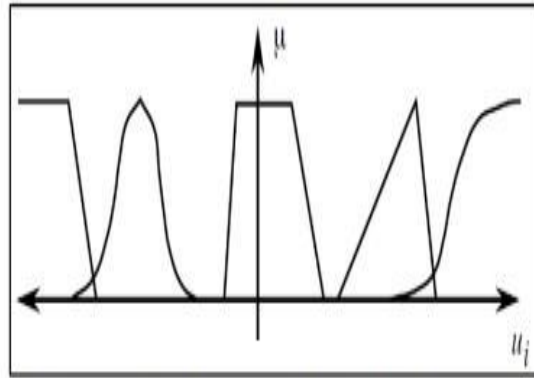
Şekil 2. 12. Bulanık Çıkarım Sistemi için MATLAB arayüzü

Bulanık Mantık modeli tasarlanırken giriş ve çıkış için bulanıklaştırma (fuzzification) ve durulaştırma (de-fuzzification) işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Bu, gerçek fiziksel

değerleri matematiksel modele dahil edebilmek için önemlidir. Bu süreç üyelik fonksiyonları ile (membership functions) gerçekleştirilmektedir. Üyelik fonksiyonları genelde μ ile gösterilir ve girdi olarak verilen fiziksel değerleri 0 ve 1 arasında bir üyelik derecesi ile ifade eder. (Zadeh, 1965) Bulanıklaştırma için, üçgen(triangular), gauss, lojistik (sigmoid), trapezoid fonksiyonları gibi bir sıra üyelik fonksiyonları tercih edilebilir. Şekil 2.14’de örnek üyelik fonksiyonlarının bazılarının grafik gösterimi yer almaktadır. (Turhan ve Talu, 2022) MATLAB’ın Bulanık Çıkarım Sistemi (Fuzzy Inference System, FIS) arayüzünün sağladığı üyelik fonksiyonları şekil 2.13’de gösterilmiştir.

Name	Type	Parameters
mf1	Triang...	[-0.416667 0 0.416667]
mf2	Difference of sigmoids	33 0.5 0.916667]
mf3	Gaussian	3 1 1.41667]
	Generalized bell	
	Linear S-shaped	
	Linear Z-shaped	
	Pi-shaped	
	Product of sigmoids	
	S-shaped	
	Sigmoid	
	Trapezoidal	
	Triangular	
	Two-sided Gaussian	
	Z-shaped	

Şekil 2. 13. MATLAB, FIS arayüzünde bulunan üyelik fonksiyonları



Şekil 2. 14. Üyelik fonksiyonları örnek grafikler (Karataş ve diğ., 2020)

Giriş-çıkış sayısı ve üyelik fonksiyonlarının sayısı belirlendikten sonra bulanık mantık kuralları oluşturulur. Kurallar giriş ve her giriş için verilen üyelik fonksiyonlarının sayısına bağlı olarak değişir. Kural sayısı üyelik fonksiyon sayısının giriş sayısı kadar üstel kuvvetine eşittir. Denklem 2.16’da hesaplanma şekli verilmektedir. Tablo 2.4’de, Kural sayısını belirlemek için oluşturulan parametreler verilmektedir. Denklem (2.16)’da ifade edildiği gibi;

$$fr = (mf)^n \quad (2.16)$$

Tablo 2. 4. Kural sayısını belirlemek için oluşturulan parametreler

fr	bulanık kuralların (fuzzy rules) sayısı
mf	üyelik fonksiyonlarının (member of functions) sayısı
n	giriş sayısı

Kurallar ‘IF-THEN’ yapısına sahiptir. Burada AND (ve) veya OR (veya) mantık durumları kullanılabılır. (Lin ve diğ., 2023)

Örnek olarak:

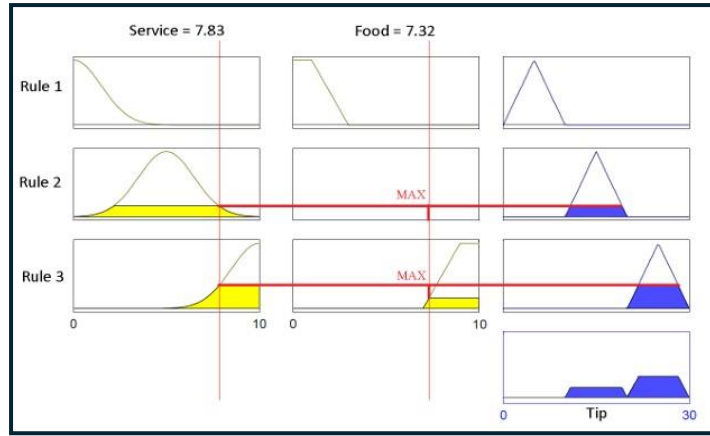
- **IF** giriş1= A **AND** giriş2=B ise **THEN** çıkış C olur. (2 girişli bir sistem için)

2 girişli ve 3 üyelik fonksiyonuna sahip bir model için örnek kural dizisi MATLAB platformu FIS arayüzü üzerinden şekil 2.15’de gösterilmektedir.

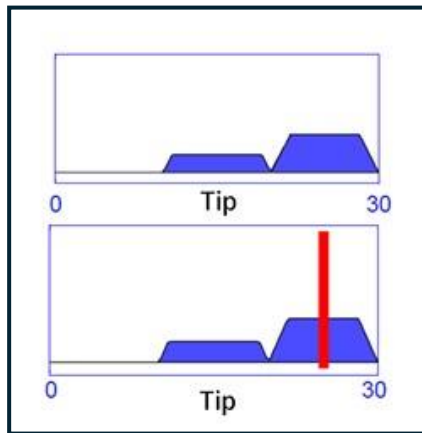
Her bir fiziksel değer için bulanıklaştırma yapıldıktan sonra oluşturulan bulanık kurallar aktive edilir ve bunun sonucunda bulanık kümeler oluşur. Gerçek fiziksel bir sonuç için durulaştırma (de-fuzzification) işlemi yapılır. Buradan elde edilen çıktı kontrol edilmesi istenen sistem için kontrol sinyali oluştura bilir veya gerçek fiziksel bir değere karşılık gelebilir. Durulaştırma için Ağırlık Mekezi (COG, Center of Gravity), Ortalama Ağırlık(Weighted Average), Maksimum Orta (Mean of Max) gibi bir sıra fonksiyonlar kullanılabılır.

Fuzzy Inference System (FIS) Plot			Membership Function (MF) Editor	Rule Editor	
System: mamdaniype1					
Add All Possible Rules		Clear All Rules			
Rule	Weight	Name			
1 If input1 is mf1 and input2 is mf1 then output1 is mf1	1	rule1			
2 If input1 is mf2 and input2 is mf1 then output1 is mf1	1	rule2			
3 If input1 is mf3 and input2 is mf1 then output1 is mf1	1	rule3			
4 If input1 is mf1 and input2 is mf2 then output1 is mf1	1	rule4			
5 If input1 is mf2 and input2 is mf2 then output1 is mf1	1	rule5			
6 If input1 is mf3 and input2 is mf2 then output1 is mf1	1	rule6			
7 If input1 is mf1 and input2 is mf3 then output1 is mf1	1	rule7			
8 If input1 is mf2 and input2 is mf3 then output1 is mf1	1	rule8			
9 If input1 is mf3 and input2 is mf3 then output1 is mf1	1	rule9			

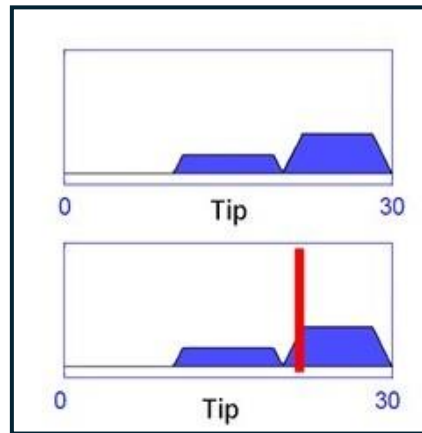
Şekil 2. 15. FIS arayüzünde oluşturulan bulanık kural dizisi



Şekil 2. 16. Bulanık kümelerin durulaştırılması (Dernoncourt, 2013)



Şekil 2. 17(a). Ortalama Maksimum yöntemi ile



Şekil 2.17(b). Ağırlık Merkezi yöntemi ile durulaştırma

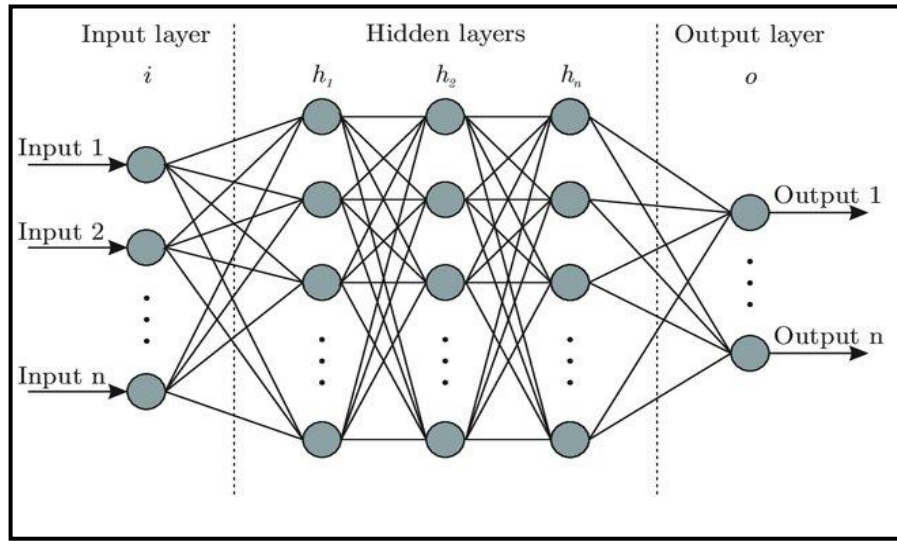
Örnek olması için, Derroncourt (2013) tarafından yapılan çalışmada, gıda ve hizmet kalitesini ölçmek için tasarlanan bir sistem için bulanık mantık kuralları oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Şekil 2.16'da kurallar uygulanan bir sistemin çıktısı verilmektedir. Şekil 2.17(a) ve şekil 2.17(b)'de sırasıyla Ağırlık Merkezi ve Ortalama Maksimum yöntemi ile durulaştırma işlemlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.

2.5.2. ANFIS modeli

Zadeh (1965) tarafından yapılan çalışmada ifade edildiği gibi, karmaşıklık ve kompleks olması sebebiyle bir çok durumlarda olayların matematiksel ifadesi zor olabilir. Bu gibi kompleks ve matematiksel ifadesi zor olan bulanık kümelerin dilsel olarak ifade edilebilmesi için Bulanık Mantık Çıkarım yöntemi kullanılabilir. (Altaş, 1999) Bulanık Mantık Çıkarım sistemini tasarlanması, tecrübe gerektiren bulanık kuralların oluşturulması, bulanık kümelerin oluşturulması ve diğer ayarlama işlemleri gerektirmektedir. Bununla beraber, Bulanık Mantık Çıkarım sistemi ANFIS veya diğer Derin Öğrenme algoritmaları gibi öyrenebilen Yapay Sinir Ağlarına (Artificial Neural Networks, ANN) sahip değildir. Giriş- çıkış ve üyelik fonksiyonlarının sayısına göre bulanık kuralların miktarı artabilmektedir. (Jang, 1993)

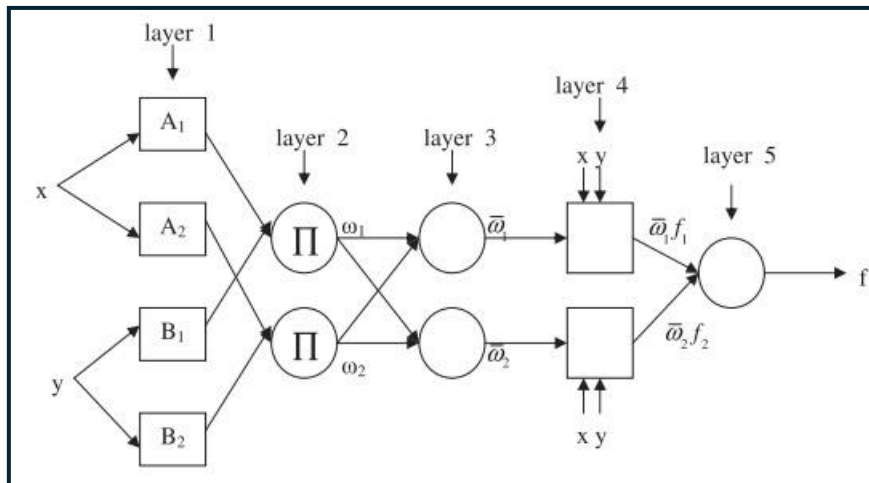
Yapay Sinir Ağları basit hesaplama yapısına sahip modellenen ve öğrenen sistemlerdir. Şekil 2.18'de ANN yapısı verilmiştir. Fakat Bulanık Mantık Çıkarım sistemi gibi karmaşık ve bulanık durumlarla başa çıkabilen ve insan benzeri karar vermek yetisine sahip değildir. (Bre ve diğ., 2018)

Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi ve Yapay Sinir Ağlarının avantajlarının birleştirilerek ANFIS modeli ortaya çıkmıştır. Jang 1993 yılında, Bulanık Mantık Çıkarım Sistemini Uyarlanabilir Ağlarla hibrit bir şekilde sunarak ANFIS modelini ortaya çıkardığı bilimsel çalışmasını sundu. (Jang, 1993) ANFIS için öyrenebilen Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi ve ya bulanık durumlar karşısında bulanık kararlar verebilen Yapay Sinir Ağları da denebilir.



Şekil 2. 18. Yapay Sinir Ağları mimarisi (Bre ve diğ., 2018)

ANFIS modeli 5 katmandan oluşmaktadır. Her katman $O_{k,i}$ ile verilen çıkış nodlarına sahip. Burada i , her k numaralı katmanın i -ci nodunu belirtmektedir. Genel olarak, ANFIS modelinin nasıl çalıştığını anlamak için iki girişli ve tek çıkışlı bir sistem üzerinden anlatım yapılır. Bu iki girişli ve tek çıkışlı sistemin ANFIS yapısı şekil 2.19’da gösterilmektedir. (Güneri ve diğ., 2011)



Şekil 2. 19. ANFIS mimarisi (Güneri ve diğ., 2011)

Katman 1:

Bu katman model için giriş katmanı olarak adlandırılıyor. Giriş değerleri x ve y olan 2 girişli bir sistem için her biri iki üyelik fonksiyondan oluşan A (A_1 ve A_2) ve B (B_1 ve B_2) bulanık kümeleri olsun. Her bir giriş için kurallar aşağıdaki gibi olacaktır. Üyelik fonksiyonlar şekil 2.14’de gösterilmektedir. Denklem (2.17) ve Denklem(2.18)’de ifade edildiği gibi;

$$O_{1i} = \mu_{A_i}(x) , \text{ for } i = 1, 2 \text{ yada} \quad (2.17)$$

$$O_{1i} = \mu_{B_{i-2}}(y) , \text{ for } i = 3, 4 \quad (2.18)$$

Örneğin, Denklem (2.19), denklem (2.20), Denklem(2.21) ve Denklem (2.22)’de sırasıyla ifade edildiği gibi;

$$O_{11} = \mu_{A1}(x); \quad (2.19)$$

$$O_{12} = \mu_{A2}(x); \quad (2.20)$$

$$O_{13} = \mu_{B1}(y); \quad (2.21)$$

$$O_{14} = \mu_{B2}(y) \quad (2.22)$$

Burada nod’lara giren giriş değerleri (x yada y) ve üyelik fonksiyonları (A_i yada B_{i-2}) bu nodlarla ilgili bulanık kümelerdir. Burada elde edilen çıkış değerleri O_{1i} sıradaki katman için varsayımsal bulanık değerler sunar. Her bir çıkış için elde edilecek olan bu bulanık değer kümeleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. (A kümesi için örnek hesaplama) (Haznedar ve diğ., 2021) Denklem (2.23)’de ifade edildiği gibi;

$$\mu_{A_i} = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right) \right]^{b_i}} \quad (2.23)$$

Denklem (2.23)’de verilen a_i , b_i ve c_i önkoşul olarak verilen uyarlanabilir parametrelerdir. (Jagtap ve Pillai, 2014)

Katman 2:

Şekil 2.18’de görüldüğü gibi, bu katmanda daha önceki katmandan gelen çıkış değerleri çarpılmaktadır. Çarpım işleminin matematiksel karşılığı Denklem (2.24), Denklem(2.25) ve Denklem (2.26)’da olduğu gibi verilmektedir;

$$O_{2i} = \omega_i = \mu_{Ai}(x) * \mu_{Bi}(y) , i =1,2 \quad (2.24)$$

$$O_{21} = \omega_1 = \mu_{A1}(x) * \mu_{B1}(y) , (i=1 \text{ için}) \quad (2.25)$$

$$O_{22} = \omega_2 = \mu_{A2}(x) * \mu_{B2}(y) , (i=2 \text{ için}) \quad (2.26)$$

Buradaki çarpım işlemi (*) Bulanık Çıkarım Sistemindeki ‘VE’ (‘AND’) işlemi yerine geçmektedir. Bu işlem Sugeno tip bulanık modelde olduğu gibi kullanılır. (Jagtap ve Pillai, 2014)

Katman 3:

Bu katman ‘normalizasyon’ katmanı olarak biliniyor ve bu işlem Denklem (2.27)’de verilen denklemlerle gerçekleştirilmektedir; (Denai ve diğ., 2004)

$$O_{3i} = \overline{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2} , i =1, 2 \quad (2.27)$$

Örneğin, Denklem (2.28) ve Denklem (2.29)’da olduğu gibi;

$$O_{31} = \overline{\omega}_1 = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_2} , i =1; \quad (2.28)$$

$$O_{32} = \overline{\omega}_2 = \frac{\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} , i =2 \quad (2.29)$$

Katman 4:

Bu katman ‘uyarlanabilen’ katman olarak adlandırılabilir. Bir önceki katmanda normalize edilen çıkış değerleri sonuç parametreleri olan p,q ve r parametreleri ile çarpılıyor. Bu paramterlerde öğrenme işlemi zamanı güncellenmektedir. (Jang, 1996) Gerçekleştirilen işlemlerin matematiksel ifadesi Denklem (2.30)’da olduğu gibi;

$$O_{4i} = \overline{\omega}_i f_i = \overline{\omega}_i * (p_i x + q_i y + r_i), i = 1, 2 \quad (2.30)$$

Örneğin, Denklem (2.31) ve Denklem (2.32)'de olduğu gibi;

$$O_{41} = \overline{\omega}_1 f_1 = \overline{\omega}_1 * (p_1 x + q_1 y + r_1), i = 1; \quad (2.31)$$

$$O_{42} = \overline{\omega}_2 f_2 = \overline{\omega}_2 * (p_2 x + q_2 y + r_2), i = 2 \quad (2.32)$$

Burada kullanılan O_{3i} ve p_i, q_i, r_i parametreleri sonuç olarak verilen uyarlanabilir değerlerdir. (Jagtap ve Pillai, 2014)

Katman 5

4-cü katmandan elde edilen çıkış değerleri bu katmanda tek bir nodda toplanıyor. İşlemin matematiksel ifadesi Denklem (2.33)'de verilmektedir. (Denai ve diğ., 2004)

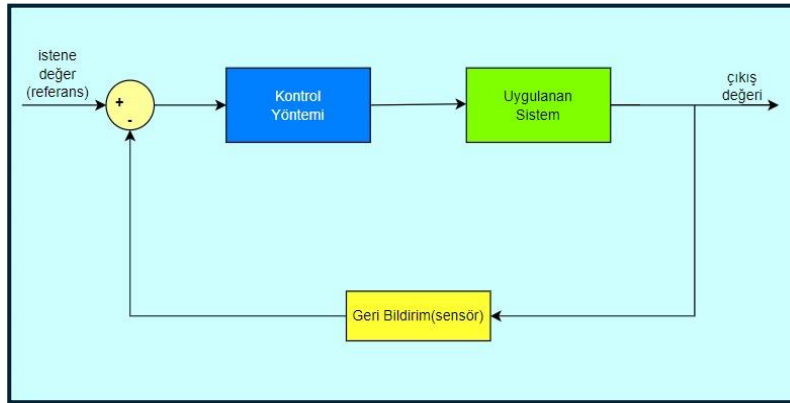
$$O_{5i} = \sum_i \overline{\omega}_i f_i = \frac{\sum_i \omega_i f_i}{\sum_i \omega_i} \quad (2.33)$$

Bahsi geçen önkoşul ve sonuç parametreleri ,sırasıyla{ a_i, b_i, c_i } ve { p_i, q_i, r_i }, hatayı en aza indirecek bir algoritma ile öğrenme işlemi zamanı güncellenmektedir. Bunun için en çok önerilen algoritmalarından biri Hibrit öğrenme algoritmasıdır. Bu karma yöntem: Gradyan temelli (geriyayılım) yöntem ve en küçük karesel hata (Least Square Error, LSE)yönteminin birlikte kullanımıyla oluşturuluyor. Bu öğrenme, ileri ve geri yönde yayılım ile gerçekleştirilmektedir. (Haznedar ve diğ., 2021)

2.6. Kontrol Yöntemleri

Robot kontrolü, robotun hareket etmesi için gereken kuvvetleri ve torkları belirlemenin problemini ele alır ve robotun istenilen konuma gitmesi, istenilen bir izi takip etmesi , genel olarak istenilen performansı sergilemesini ve nihayetinde, bir görevi istenilen performansda gerçekleştirmesini sağlar. (Tzafestas, 2013) Şekil 2.20'de kontrol edilmesi istenen örnek bir sistemin kontrol blok diagramı verilmektedir.

Mobil bir robotun kontrol işlemleri için bir sıra algoritma ve metot mevcuttur. Navigasyon, yön ve hız kontrolü, çizgi takibi, yön planlaması, engelden kaçma ve s. işlemler için bir sıra kontrol teknik ve algoritmaları kullanılmaktadır. PID, ANFIS-PID, Fuzzy-PID (Jali ve diğ., 2015), Bulanık Mantık Kontrolör, Yapay Sinir Ağları (Dewi ve diğ., 2017), Durum Geri Beslemeli Kontrol (State Feedback Control), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) (Rezazadeh ve diğ., 2013) ve s. kullanılan kontrol yöntemleri arasındadır. Örnek olması için şekil 2.21 'de Bulanık Mantık Kontrolör blok diyagramı verilmektedir.



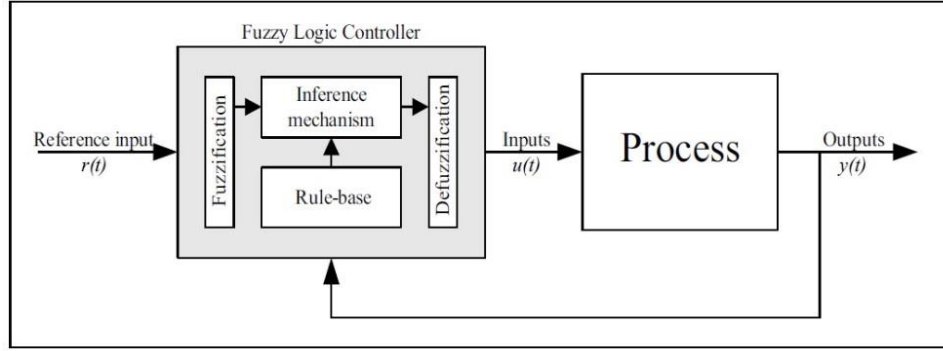
Şekil 2. 20. Örnek bir sistemin kontrol blok diyagramı

Genel olarak, mobil bir robot ve otomatik sistemlerde kullanılan kontrol yöntemlerini aşağıdaki gibi sıralaya biliriz. (Umetani ve Yoshida, 1989) Her bir kontrol yöntemi sistemin gereksinimlerine göre seçilmelidir.

- Oransal-Türevli Kontrol (PD)
- Lyapunov Fonksiyonu Tabanlı Kontrol
- Hesaplanmış Tork Kontrolü (Computed Torque Control)
- Resolve Motion Rate Control (RMRC)
- Resolve Motion Acceleration Control
- Ve .s....

Kontrol yöntemleri istenen performansı sağlaması ve çeşitli senaryolarda başarılı olması için birkaç yöntem birleşik şekilde tasarlanabilir. Örnek olarak, geleneksel PID

yönteminin aksine, Bulanık Mantık ve PID kontrol teknikleri bir arada kullanılarak oluşturulan çoklu kural tabanlı Fuzzy-PID yöntemi parametre çeşitlilikleri, bilinmeyen çevre , doğrusal olmayan durumlar, çoklu giriş-çoklu çıkış (MIMO) sistemlerinde daha iyi ve güvenli bir performans sağlayabiliyor. (Xu ve diğ., 2014)



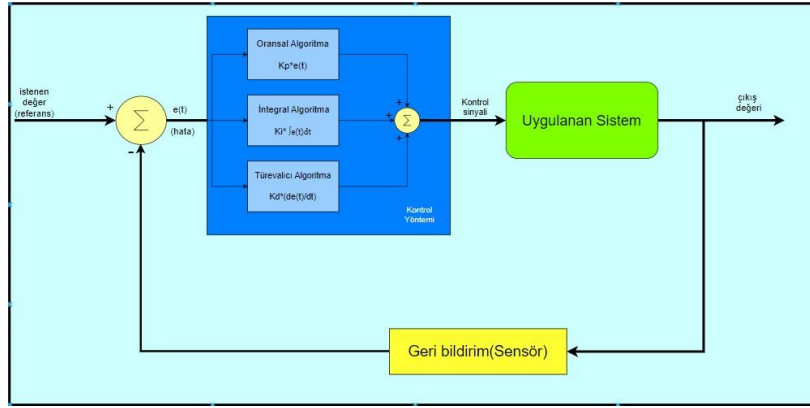
Şekil 2. 21. Bulanık Mantık Kontrolör (FLC) (Choomuang ve Afzulpurkar, 2005)

Kontrol yöntemleri istenen performansı sağlaması ve çeşitli senaryolarda başarılı olması için birkaç yöntem birleşik şekilde tasarlanabilir. Örnek olarak, geleneksel PID yönteminin aksine, Bulanık Mantık ve PID kontrol teknikleri bir arada kullanılarak oluşturulan çoklu kural tabanlı Fuzzy-PID yöntemi parametre çeşitlilikleri, bilinmeyen çevre , doğrusal olmayan durumlar, çoklu giriş-çoklu çıkış (MIMO) sistemlerinde daha iyi ve güvenli bir performans sağlayabiliyor. (Xu ve diğ., 2014)

2.6.1 PID kontrolör tasarımı

PID (Proportional Integral Derivative) kontrolör tasarımı bugün en çok tercih edilen ve kullanılan kontrol stratejilerinden biridir. 2006 yılına kadar, kontrolör tasarımlarının %90'dan fazlasında PID kontrol tasarımının kullanıldığı tahmin ediliyordu. (Knospe, 2006) Basit bir mimariye sahip olması PID kontrol tasarımı için en çok tercih edilme sebeplerinden biri olması ile birlikte , günümüzde yeni çıkan kontrol teknikleri için bir performans karşılaştırma yöntemi olarak tercih edilebilir. (Kumar ve diğ., 2011) Bunun haricinde diğer kontrol teknikleri ile birleştirilerek performans artırma amacı ile kullanılmaktadır. Fuzzy-PID, Uyarlanabilir PID, PIDNets, IMC temelli PID ve s. buna örnek olarak gösterilebilir. (Xu ve diğ., 2023)

PID kontrolcüler ailesinde 4 adet kontrol metodu bulunmaktadır: I)Oransal (P), II)Oransal-İntegral (PI), III)Oransal-Türevacı (PD)ve IV)Oransal-İntegral-Türevacı (PID). (Wang, 2020) Her bir kontrol metodu farklı amaçlar için tercih edilebilir. Kontrol edilmesi istenen sistem hakkında az bilgi mevcut ve sürekli durum işlemlerinde kullanılmayacaksa sadece Oransal kontrolör (P) tercih edilebilir. Fakat sistemin sabit çalışması ve ve kapalı çevrim bir sistem için sönümlenme sağlanmak isteniyorsa Oransal-Türevacı (PD) kontrolör tercih edilmelidir. Oransal-Integral (PI) kontrolör, PID yöntemi arasında en yaygın kullanılan kontrolör yapısıdır. Burada İntegral işlemi ile Oransal (P) kontrolcü ile mevcut olan sürekli durum hatası tamamen ortadan kaldırılabilir. Şekil 2.22’de, PID kontrolör uygulanan örnek bir sistemin blok diyagramı verilmektedir



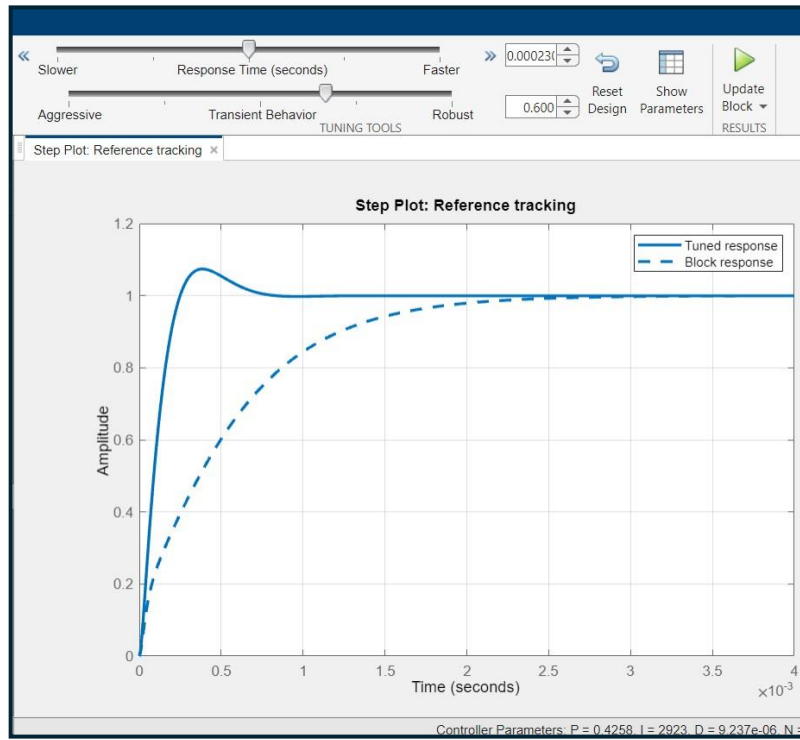
Şekil 2. 22. PID kontrolör uygulanan örnek bir sistemi

PID kontrolör tasarımı en önemli nokta PID kontrolör katsayılarının en az işlem yükü ile bulunmasıdır. Geleneksel yöntemlere bakıldığında bu hesaplama işlemleri 2 yöntemle yapılmaktadır: (Borase ve diğ., 2021)

1. Katsayıların parametrik yöntemle bulunması;
2. Katsayıların karakteristik denklemle bulunması;

Bununla beraber, literatürde bulunan PID parametre ayarlama işlemleri için klasik yöntemler arasında Deneme ve Hata yöntemi (Trial and Error Method), Ziegler–Nichols Adım Tepki yöntemi (Ziegler–Nichols Step Response Method) , Ziegler–Nichols Frekans Tepki yöntemi (Ziegler–Nichols Frequency Response Method) (Ziegler ve Nichols, 1942), Relay Tuning yöntemi (Relay Tuning Method) ve Cohen-Coon yöntemleri gibi yöntemler bulunmaktadır. (Thomas ve Poongodi, 2009)

Bu işlemlerin her biri oldukça karmaşık ve fazla hesaplama yükü getirmekle birlikte ,optimum bir sonuç almak için yeterli olmaya bilir. Bunun yerine PID parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan otomatik ayarlama yöntemleri veya sistem parametrelerine ihtiyaç duymadan geliştirilen tasarımlar kullanıla bilir. Otomatik ayarlama işlemlerinde geleneksel yöntemlerden yararlanılmış ola bilir. Buradaki anlatmak istenilen husus, matematiksel hesaplamalara gerek duyulmadan katsayı veya parametre tahmini işlemlerinin simulasyon araçları üzerinden ilgili tasarımların gerçekleştirilmesidir.



Şekil 2. 23. PID-tuner arayüzü/MATLAB (düz çizgi: tuning işleminden sonraki durum; noktalı çizgi:mevcut durum)

Sistem parametreleri belirlendikten sonra Simulink platformu üzerinden tasarımı yapılan sistem için PID kontrol bloğuna giriş yapılır ve açılan pencerenin sağ alt köşesinde bulunan ‘tuner’ sekmesine tıklanır. Bu işlemlerden sonra şekil 2.23’deki gibi bir pencere açılmaktadır. Burada, istenen sistem davranışı ayarı yapıldıktan sonra ‘Update Block’ sekmesine tıklanır. Bundan sonra istenen performans için otomatik olarak PID katsayı değerleri PID kontrol bloğuna aktarılmış olur. (URL-1)

2.6.2. Bilinmeyen Motor Parametrelerinin belirlenmesi

Tasarlanan bir sistemde istenilen sonuçlara ulaşmak için uygun bir kontrolcü tasarlamak ve sistemin sabit durumunu etkilemeden istenilen tepkilere ulaşmak için bu sistemin dinamik modeline ihtiyaç vardır. Bu da sistemin armatür direnci (R_a), armatür enduktansı (L_a), zıt elektromotor sabiti (back emf constant, K_t), viskos sürtünme katsayısı (B), mil ataleti (J) gibi parametre değerlerini bilmeyi gerektirir. Tasarlanan sistemde kullanılan elemanları, örneğin bir DA(Doğru Akım) motoru modellemek için bu parametreler kullanılabilir. (Nayak ve Sahu, 2019) Ancak parametrelerin verilmediği durumlarda, bu parametreler birkaç yöntemle belirlenebilir.

Kullanıla yöntemler arasında Adaptive PID (Sankardoss ve Geethanjali, 2017), genetik algoritma (GA) (Amiri ve diğ., 2020), Bulanık Mantık yöntemi (Liem ve Ahn, 2012), deneysel çıktılarıyla yapılan ölçümler (Erdal ve Doğan, 2012), Nelder-Mead basitlemesi ve s. gibi yöntemler mevcuttur. (Nayak ve Sahu, 2019)

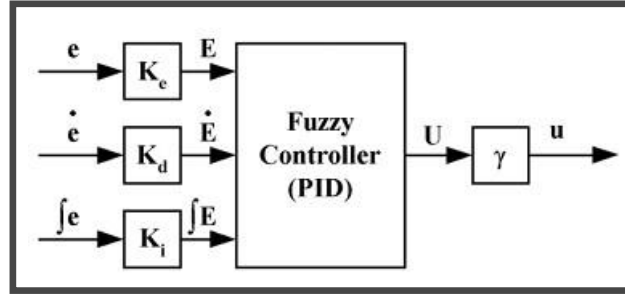
Motor parametreleri sistemin matematiksel modelini oluşturmak ve simulasyon ortamında gerekli ayarlamaları gerçekleştirmek için önemlidir. Mobil robotlarda kullanılan küçük DC motorlar kontrol amaçlı olmayıp ‘dene-yap’ projelerinde kullanılan küçük motorlar ola bilir. Bu çalışmada kullanılan DC çarklı motor (TT 3777) bu amaçla üretilen bir parçadır. (URL-2)

2.6.2.1 Fuzzy-PID kontrolör

İlk Bulanık Mantık Kontrol uygulaması 1974 yılında Mamdani tarafından uygulanmış ve insan benzeri kararverme yeteneğini matematiksel olarak dilsel yöntemle ifade etmesi bekleniyordu. (Yesil ve diğ., 2003) Klassik kontrolcülere göre daha iyi bir performans sağlıyor olsa da, üyelik fonksiyonlarının ve kural dizisinin oluşturulması deneyim gerektiren problemler olarak ifade ediliyor. Fuzzy-PID ,genellikle, Takagi-Sugeno veya Mamdani tip bulanık mantık yöntemi baz alınarak tasarlanıyor. (Petrov ve diğ., 2002)

PID kontrolör mimarisi basit ve kolay anlaşılır yapıya sahip olması, düşük üretim ve bakım maliyeti, çoğu doğrusal sistemlerde kolay ve etkin bir şekilde uygulanabilmesi sebebi ile geçen asırdan beri en çok tercih edilen kontrol algoritması olarak karşımıza çıkmaktadır. (Tang ve diğ., 2001) Geleneksel PID denetleyicilerinin genellikle doğrusal olmayan sistemlerde, daha yüksek dereceli ve zaman gecikmeli doğrusal sistemlerde ve özellikle kesin matematiksel modellere sahip olmayan karmaşık ve belirsiz sistemler için

iyi bir performans sağlayamıyor. (Petrov ve diğ., 2002) Bu gibi problemlerin çözümü için otomatik ayarlanabilir ve ya uyarlanabilir PID (Adaptive PID) tercih edilebilir.



Şekil 2. 24. 3 boyutlu fuzzy-PID kontrolör yapısı (Yesil ve diğ., 2003)

Fuzzy-PID kontrolör tasarlanırken, ilk olarak, geleneksel PID tasarımı baz alınır. Denklem 2.32’de PID eşdeğer denklemi verilmektedir.

$$U(t)=K_p*e(t)+K_i*\int e(t)dt+K_d\frac{de(t)}{dt} \quad (2.34)$$

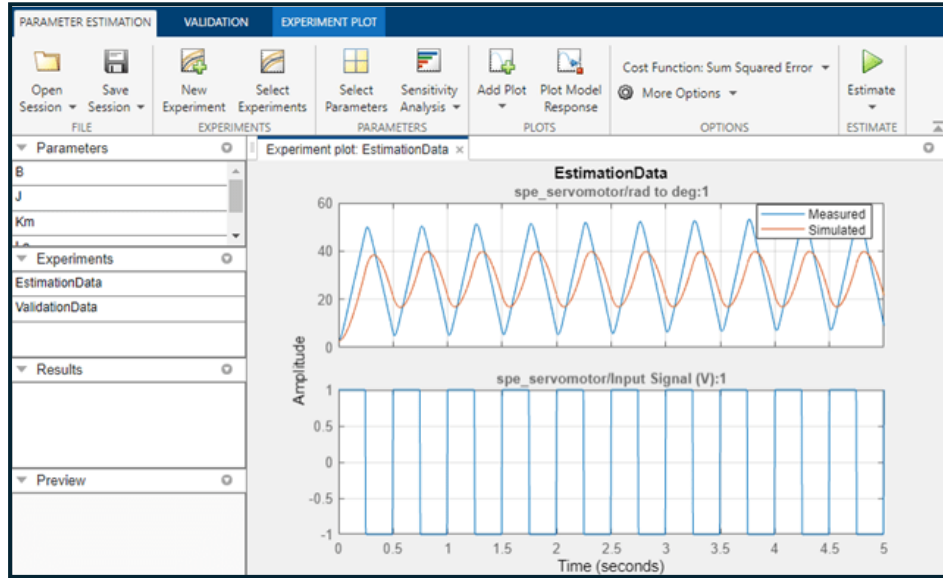
Burada $e(t)$, $\int e(t)dt$ ve $\frac{de(t)}{dt}$ Bulanık Mantık Kontrol bloğunun giriş değerleri olarak kullanılır.(Şekil 2.24) Daha sonra her bulanık kural için *IF*(eğer) *Then*(ozaman) ifadesi kontrolör için tanımlanır. (Chao ve diğ., 2017)

2.6.2.2 Simulasyon Araçları kullanarak Parametre Tahmini

İlk olarak, parametre değerlerinin öğrenilmesi istenilen DA motorun kullanıldığı deney düzeneğinin hazırlaması gerekir. Bu düzeneğe, Elektrik Makinesi Test Ünitesi, DC motor ve sürücü, veri toplama kart (DAQ) ve ölçüm aletlerinden (örn. takometre), mikrodenetleyici ve s. oluşa bilir. (Erdal ve Doğan, 2012) DC motor girişine sinyal gönderilir, motor miline bağlanan optik kodlayıcılar kullanılarak çıkış değerleri kaydedilir. (Salah, 2009)

Tüm parametrelerin deneyler aracılığıyla belirlenmesi zordur. Buna ek olarak, belirlenen parametrelerin doğruluğu, ölçüm cihazlarının doğruluğuna bağlıdır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için tüm dinamik davranışları dikkate alarak, simulasyon ortamında,

gerçek sistem blok diyagram şeklinde tasarlanabilir. Blok diyagram modelinden gelen tepkilerin gerçek (referans) sistem modelinden gelen tepkilerle tam olarak eşleşeceği şekilde optimize edilerek parametre tahmini yapılır. (Salah, 2009)



Şekil 2. 25. Simulink Design Optimization araçkütusunun Parametre Tahmini penceresi (URL-3)

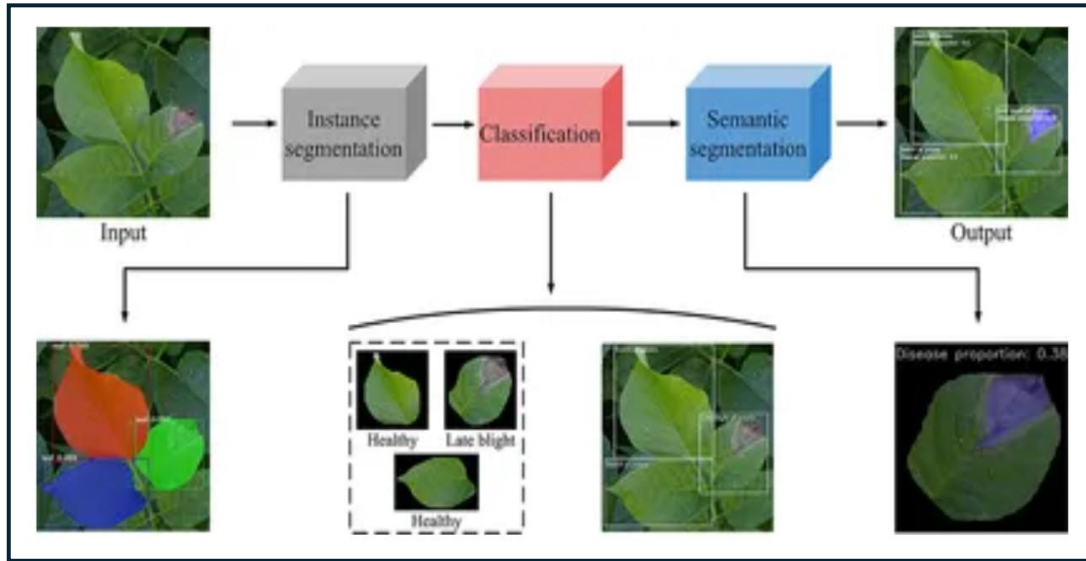
Şekil 2.25’de, Simulink platformunda bulunan Simulink Design Optimization araçkütusu kullanılarak DC motor için parametre tahmini yapılmıştır. Burada, sağ üstte bulunan ‘Select Parameters’ sekmesi tıklanarak açılan pencereye tahmin edilmesi istenen motor parametreleri (R_a , L_a , D_m , J_m ve K_b) girilir. Daha önce gerçek zamanlı olarak elde edilen çıkış değerleri için grafik çizilir. Simulasyonda tasarlanan model için aynı giriş sinyali verilir. Daha sonra ‘Estimation’ bloğuna tıklanır. Elde edilen grafiklerin şekil 2.25’deki gibi üst-üste gelmesi sonucu DC motor parametreleri güncellenir ve gerçek motor parametreleri tahmin edilmektedir. (URL-3)

2.7. Görüntü İşleme Süreci

Patates bitkisi dünya genelinde en çok tüketilen gıdalaradan biridir ve ekonomik ve besin değeri olarak değerli bir tarım bitkisidir. Patates bitkisi yıllık milyarlarca TL ürün kaybına sebep olan ‘early blight’ ve ‘late blight’ gibi fungusit (mantar) hastalıklara maruz

kalmaktadır. Bu hastalıklar bitkinin yaprak lezyonlarına sebep olurken, enfekte olan yaprakların dökülmesine neden olmaktadır. Bu gibi hastalıklar bitkinin fotosentez yeteneğini azaltabilir ve dolayısıyla verim kaybına yol açabilmektedir. (Van der Wals ve diğ., 2001) Daha önceki araştırmalarda bu gibi hastalıkların tespitinde geleneksel görüntü işleme teknikleri ve bölgesel sinir ağıları kullanarak hastalık tespiti işlemi gerçekleştirilmiştir.

Singh ve Misra (2017) tarafından yapılan çalışmada, bitki yapraklarında hastalık tespiti yapmak amacıyla MATLAB’de görüntü segmentasyonu işlemi için genetik algoritması kullanıldı. Dijital kamera ile yakalanan görüntüler daha sonra segmente edilerek ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak, çeşitli bitki yaprakları yüzeyinde hastalık tanımlamak için kullanıldı. Bu algoritmanın doğruluk payı yüksek olsa da, yavaş hızda çalışması sebebi ile gerçek zamanlı hastalık tespiti işlemleri için uygun uygulanmamaktadır. (Singh ve Misra,2017)

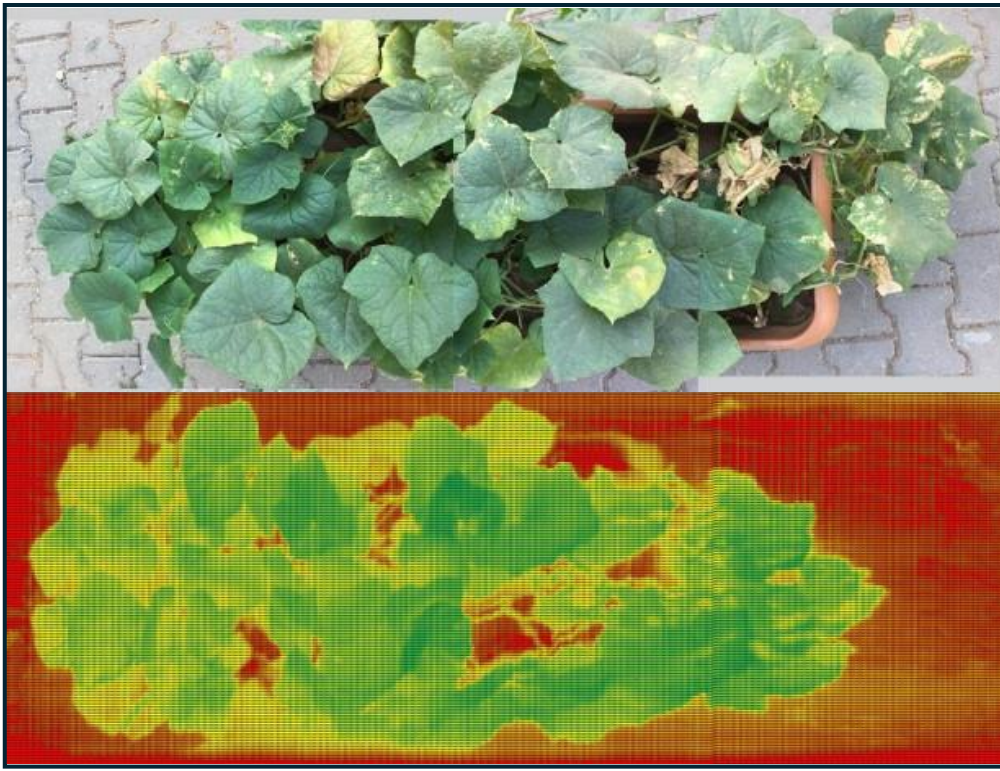


Şekil 2. 26. Patates yaprağında hastalık tespiti ve sınıflandırma işlemi (Li ve diğ., 2022)

Le Dung ve diğerlerinin (2023) yaptığı çalışmada, Raspberry Pi 3 mikrodenetleyiciye uygulanan Single Shot MultiBox Detector (SSD) modelini kullandılar. Sera içerisinde önceden planlanmış yollar üzerinde hareket edebilen bir araç üzerine monte edilen denetleyici ve kamera yardımı ile domates yaprakları üzerindeki hastalıkları tespit etmek için kullanılmıştır. Google Colab üzerinden eğitilen model, tek yön saçılma algoritması

ile hastalıkları tespit etmek üzere geliştirildiği için hız ve doğruluk açısından oldukça başarılı bir çalışma olduğundan gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilir. (Dung ve diğ., 2023)

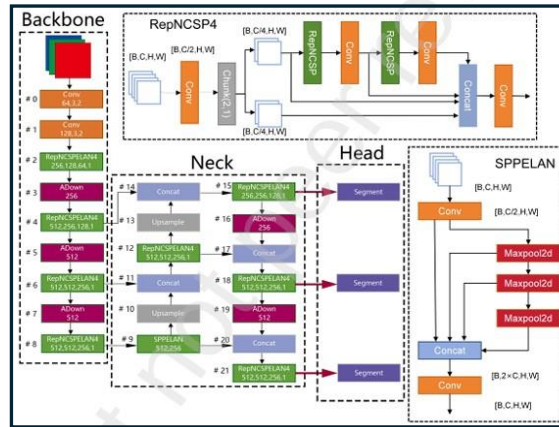
Ahmed J.O. ve diğerleri (2023) tarafından yapılan çalışmada, derin öğrenme algoritmalarını kullanarak domates hastalıklarını ve zararlılarını gerçek zamanlı olarak tespit edebilen Agrobot adlı bir mobil robot geliştirdiğini belirtmektedir. Bu çalışmada, YOLO ailesinin erken üyelerinden olan YOLOv4 ve Tiny YOLOv4 gibi nesne tespit modelleriyle yüksek hassasiyetli sonuçlar elde edilmektedir.



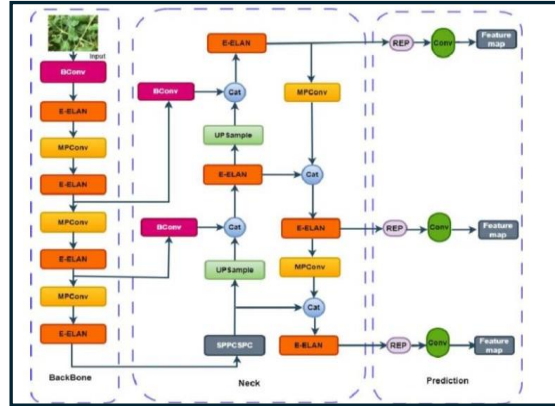
Şekil 2. 27. Multispektral kamera kullanılarak yapılan görüntü işleme (Akkoyun, 2020)

Li ve arkadaşlarının (2022) yaptığı çalışmada, Mask R-CNN modeli ResNet50 ve ResNet101 ağları kullanarak eğitimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ortalama kesinlik değerleri (Average Precision, AP) sırasıyla %78.21 ve %81.87 olmuştur. Çalışmanın sonucunda, patates yapraklarının doğru segmentasyonunu başarıyla gerçekleştirdiğini gösterilmektedir. Patates yaprağı üzerine uygulanan tüm deneysel işlemler, girdi aşamasından çıktı aşamasına kadar, şekil 2.26'de gösterilmektedir. Fakat, gerçek zamanlı

çalışmalarda modelin doğruluk payının yüksek olması beklense de, oldukça hızlı çalışması da istenmektedir. Akkoyun (2020) tarafından yapılan çalışma’da ise, multispektral kamera ile elde edilen görüntüler kullanılarak hastalıklı ve sağlıklı bitki ayırımı işlemi gerçekleştirilmiştir. Bitki sağlı ve yoğunluğunu ölçmek için kullanılan NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Şekil 2.27’e (yukarıda) salatalık bitkisi için multispektral kameradan elde edilen görüntünün NDVI sonucu (aşağıda) gösterilmektedir.



Şekil 2. 28. Yolov9 mimarisi (Zhang ve diğ., 2024)



Şekil 2. 29. Yolov7 mimarisi (Umar ve diğ., 2023)

Redmon ve arkadaşları tarafından YOLO algoritmasının ilk sürümünün yayınlanmasın beri , birçok versiyon yayınlanarak bu algoritmayı en çok tercih edilen algoritmalarından biri haline getirdi. YOLO birden fazla aşamaya gerek duymadan tek bir saçılma yönü

kullanarak görüntülerdeki her nesne için sınırlayıcı kutular ve sınıf olasılıklarını tahmin edebilir. Algoritmanın tek bir saçılma yönü kullanarak işlem yapması, bu algoritmayı çok hızlı bir denetleyici yaparak, gerçek zamanlı görüntü ve videoların işlenmesini içeren çeşitli uygulamalarda kullanılması için olanak sağlıyor. Haleflerinden önce, YOLOv7, 5 FPS ile 160 FPS aralığında hem hız hem de doğruluk açısından bilinen tüm nesne tespiti algoritmalarını üstelemekteydi ve GPU V100 üzerinde 30 FPS veya daha yüksek hızda bilinen tüm gerçek zamanlı nesne tespitçileri arasında en yüksek doğruluk oranı olan %56.8 AP'ye sahip olmaktaydı. (Wang ve diğ., 2022) YOLOv7 algoritması, verimli katman birleştirme ağlarını (ELAN) genişletmiştir. E-ELAN ağı orijinal gradyan yolunu yok etmeden sürekli olarak öğrenme yeteneğini artırmak için genişleme, karıştırma ve birleştirme niceliğini kullanmaktadır. (Olorunshola ve diğ., 2023) YOLOv8, en popüler derin öğrenme yöntemlerinden biridir ve Ultralytics tarafından geliştirilmiştir. Son YOLO sürümlerinden biri olan YOLO-v8, nesne tespit performansını artırmak için yeni özellikler sunmaktadır. (Chitranningrum ve diğ., 2024) Geliştirilmiş özelliklerinden dolayı, YOLO-v8'in, önceki YOLO sürümlerinden daha iyi doğruluk sağladığına dair kaynak (URL-4) tarafından belirtilmektedir. Wang ve arkadaşlarının (2024) yapmış olduğu çalışmada, ELAN temelli geliştirilmiş ELAN (GELAN) tasarımı yer almaktadır. GELAN tasarımı, aynı anda parametre sayısını, hesaplama karmaşıklığını, doğruluğu ve çıkarım hızını dikkate almaktadır.

Bu tasarım, kullanıcıların farklı çıkarım cihazları için uygun hesaplama bloklarını istedikleri gibi seçmelerine olanak tanımaktadır. Wang ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan çalışmada, önerilen PGI (programmable gradient information) ve GELAN'ın (Generalized Efficient Layer Aggregation Network) birleştirilmesinin ardından YOLOv9'un tasarımı verilmiştir. Şekil 2.28 ve şekil 2.29'de, sırasıyla, Yolov9 ve Yolov7 algoritmalarının mimarisi verilmektedir.

3. MATERYEL VE YÖNTEM

Bu bölümde İKA'nın modellenmesi, tasarım aşamaları, kullanılan malzeme ve yöntem hakkında geniş yelpazede bilgiler yer almaktadır. İlk önce, otonom aracın istenen görevleri yerine getirebilmesi için fiziksel olarak tasarlanması ve bu fiziksel özelliklere uygun bir şekilde modellenmesi istenmektedir.

Aracın otonom sürüş kabiliyetinin oluşturulması için modüler bir tasarım benimsenilmiştir. Yol Planlama, Navigasyon, Karar verme ve Kontrol modüllerinin tasarımı bu bölümde verilmektedir. Yol Planlama algoritmasının oluşturulmasında aracın operasyon alanında gitmesi gereken ara noktalar belirlenmelidir. Aracın çevresini doğru bir şekilde algılaması amacı ile Navigasyon modülünün geometrik tasarımı verilmektedir. Aracın otonom sürüş süreçleri için oluşturulan Karar verme modülünün ana bileşeni olan ANFIS yönteminin tasarım aşamaları bu bölümde verilmektedir. ANFIS modelinin eğitimi için veri setlerinin oluşturulması, şartların ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi bu bölümde gerçekleştirilmiştir.

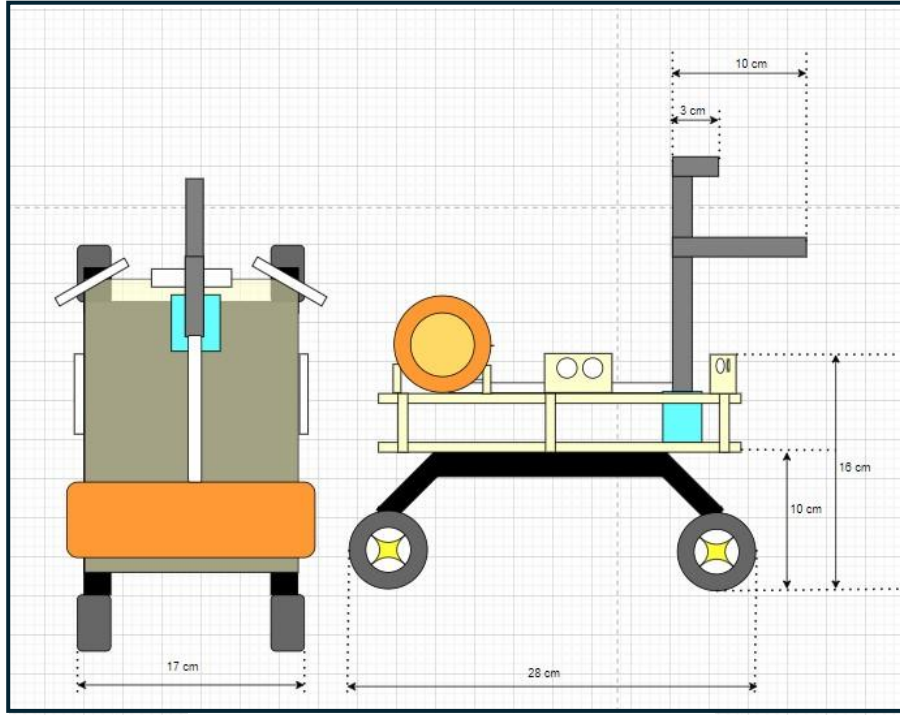
Patates bitkisi için "Late Blight" ve "Early Blight" gibi fungusit hastalıklarının tespitinin gerçekleştirilmesi için tasarlanan Görüntü İşleme modülünün tasarım aşamaları ve gerekli donanımsal ve yazılımsal özellikler burada ifade edilmektedir. YOLO algoritmasının son 3 versiyonu olan Yolov7, Yolov8 ve Yolov9 modellerinin eğitim aşamaları gerçekleştirilmiş ve bu modellerin performanslarının karşılaştırılması için çıktı değerleri elde edilmiştir.

Tarımsal İKA'nın istenen görevleri başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmesi için donanımsal ve yazılımsal tasarım aşamaları bu bölümde verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve deneysel test çalışmaları 4-cü bölümde detaylı bir şekilde ifade edilmektedir.

3.1. İnsansız Kara Aracının Modellenmesi

Tarım arazisinde görev yapmak üzere düşük bütçe ile tasarlanan İnsansız Kara Aracı, yüklenme kapasitesi, görev süresi, arazinin eğimi ve yüzey sürtünmesi gibi parametreler dikkate alınarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada tasarlanan İKA, düşük hızda hareket eden

ve üzerinde görüntü işleme modülü ile patates bitkilerinde hastalık tespiti yapabilen, tespit yapılan bitki üzerine püskürtme şeklinde ilaçlama yapabilen ve görev süresince otonom hareket edebilen 4 tekerlekli mobil bir robottur. Şekil 3.1’de, aracın şase, gövde ve sensor tutucuları 2 boyutlu olarak gösterilmektedir. Aracın boyutları 17x28x16 (cm)’dir. İlaçlama tankı ve kamera tutucu ile aracın boyutu büyümektedir.



Şekil 3. 1. İnsansız Kara Aracının 2 boyutlu gösterimi

Tasarlanan aracın itici gücünü hesaplamak için Newtonun ikinci yasası kullanılabilir. Aracın hareket ettiği güzergahın eğimi, sürtünme katsayısı ve havanın sürüklenme katsayısı dikkate alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Burada ismi geçen tüm kuvvetleri toplayarak, hesaplanması gereken maksimum tork ve güç değerlerini istenen durum için düzenlene bilmektedir. Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)’de gerekli hesaplamalar verilmektedir;

$$F_{\Sigma} = F_{\text{net}} + F_{\text{eğim}} + F_{\text{sür}} + F_{\text{hava}} \quad (3.1)$$

$$P = T * \omega \quad (3.2)$$

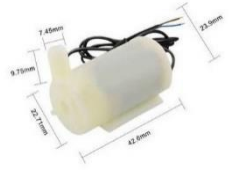
Denklem (3.1)'de, F_{net} , Newtonun ikinci yasası gereği aracın hareket etmesi için oluşturulan itki kuvveti için, kütle ve ivme değerleri ile hesaplanmaktadır.

Denklem (3.2)'de, P güç (W), T tork (Nm) ve ω açısal hızı ifade etmektedir. Tablo 3.1'de, tasaralanan İKA'nın özellikleri verilmektedir.

Tablo 3. 1. Tarımsal İKA'nın özellikleri

Özellik	Karşılık geldiği parametre
Maksimum ek ağırlık	0.75 kg
Maksimum hız	0.804 m/s (2.89 km/h)
Sürüş yöntemi	Kaydırma Döndürme
Tahrik sistemi	Diferansiyel tahrik sistemi
Görev süresi	60 dakika
Motor sürüş yöntemi	PWM
Materyal	Pleksi, Sert Plastik
Boyutlar	170 x 280 x160 (mm)
Aracın ağırlığı	1.8 kg

Tablo 3. 2. Tarımsal İKA tasarımında kullanılan komponentler

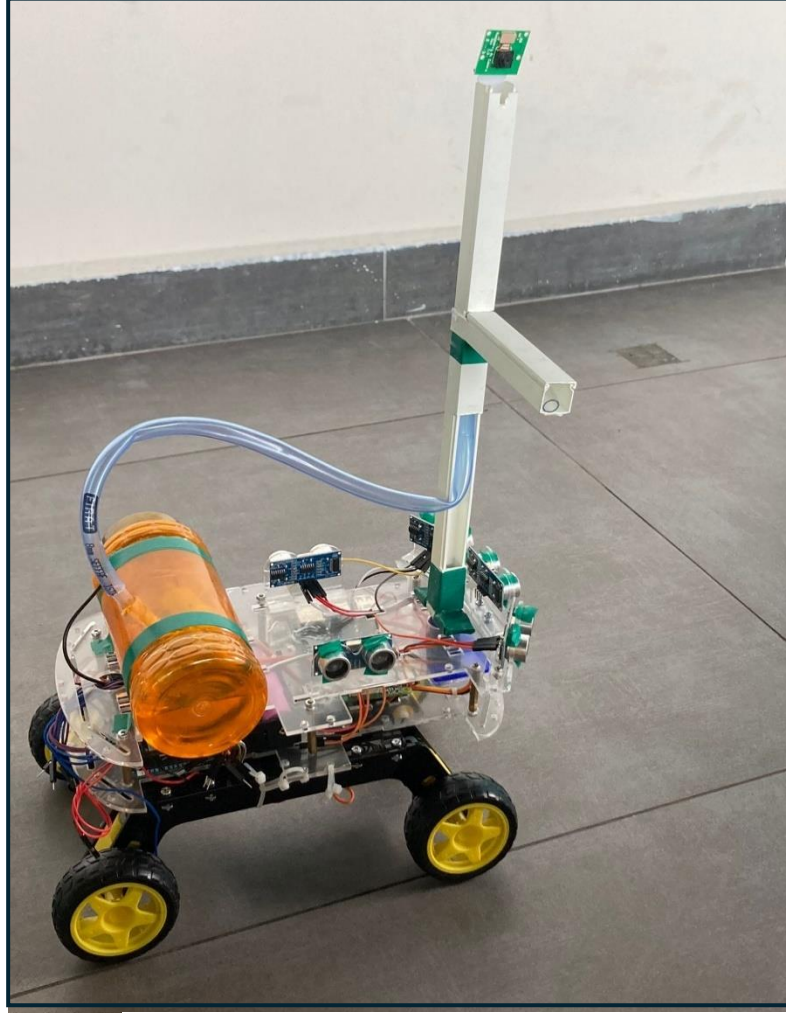
Komponent	Özelliği	Adet	Görsel ifadesi
Li-ion Şarjlı Pil	18650 3.7 V 2600mAh Liion	4	
Li-ion Pil Şarj Devresi	Şarjlı Pil – Kutup Başlı TP4056 Type-C 1S 3.7V	2	
Redüktörlü DA Motor	6V 250 RPM , 1:48	4	
Ultrasonik Mesafe Sensörü	400cm,5V/DC	5	
Mini Dalgıç Su Pompası	3V-6V DC	1	
Mikrodenetleyici	ATMEGA2560-16U SMD 8-Bit 16MHz	1	
Geliştirme kartı	1.5 GHz dört çekirdekli ARM Cortex-A72 CPU 64-bit SoC Broadcom 2711, 4Gb LPDDR4 RAM 4kp60 HEVC video	1	

68.63 x 94.09 x 26.63 mm

Tablo 3.2 (Devam). Tarımsal İKA tasarımında kullanılan komponentler

Kamera	Webcam SPC520NC/00	1	
Servo motor	4.8-6V/DC 100mA-360mA 0,1sn/60	1	
Enkoder	5VDC	1	
Motor Sürücü Kartı	L298D Voltaj Regülatörlü	1	

Şekil 3.2’de İKA’nın montaj işlemi bittikten sonraki hali gösterilmektedir. İlaçlama başlığı ve kamera araç üzerine monte edilen plastik direk üzerinde yerleştirilmektedir. Görüntü işleme modülü ile işlem yapılırken web kamerası ve Raspberry Pi uyumlu iki türlü kamera kullanılmıştır.



Şekil 3. 2. İKA'nın montaj işleminden sonraki görünümü

3.1.1 Aracın mekanik özellikleri

Araç 4 adet fırçasız doğru akım motoruna sahiptir. Araç 4 tekerli diferansiyel tahrik sistemli bir tasarıma sahip olduğu için nonholonomik yapıda ve sadece ileri ve geri yönde harekete edebilmektedir. Tarım alanında manevra yapmak ve aracın dönebilmesi için Kaydırma Döndürme (Skid Steering) yöntemi kullanılmaktadır. Aracın istenen hıza ulaşması için Darbe Süresi Modülasyonu (PWM) yöntemi kullanılmaktadır.

Aracın boyutları şekil 3.1'de verilmektedir. Aracın arazi koşullarına uygun hareket edebilmesi için hazır, içi havasız ve sert tekerlekler kullanılmaktadır. Tekerlek çapı 65

mm'dir. Mesafe sensörlerini araç üzerinde sabit şekilde yerleştirmek için 5 adet B tip ultrasonik sensör tutucu kullanılmaktadır.



Şekil 3. 3. Şase ve araç gövdesi

Şekil 3.3'de aracın şase ve gövde parçaları gösterilmektedir. Aracın şasesi üzerine 2 katlı mobil robot gövdesi eklenmiştir. Alt katta aracın mikrodenetleyici, mikroişlemci, batarya-şarj sistemleri, ilaçlama fıskiyesini ve kamerayı döndürmek için kullanılan servo motor ve gerekli kablo bağlantıları yerleştirilmiştir. Araç gövdesinin üst kısmında ilaçlama tankı, ultrasonik sensör takımı, kamera modülü ve ilaçlama başlığı yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 4. Fıskiye tasarımı ve ilaçlama başlığı

Aracın boyutları şekil 3.1’de verilmektedir. Aracın arazi koşullarına uygun hareket edebilmesi için hazır, içi havasız ve sert tekerlekler kullanılmaktadır. Tekerlek çapı 65 mm’dir. Mesafe sensörlerini araç üzerinde sabit şekilde yerleştirmek için 5 adet B tip ultrasonik sensör tutucu kullanılmaktadır.

Aracın sağ ve sol sırada işlem yapabilecek şekilde, hastalık tespiti yapması için kullanılan kamera başlığı ve ilaçlama başlığı, ölçüleri şekil 3.1 ve şekil 3.4’de verilen namlu üzerinde yerleştirilmektedir. Sert plastikten yapılan namlu, 180 derece dönüş açısına sahip servo motor üzerine monte edilebilmektedir. İlaçlama başlığı, arabalarda ön cam temizliyinde kullanılan fiskiye başlığıdır. İlaçlama deposundan suyu ilaçlama başlığına taşımak için bir adet dalgıç su pompası kullanılmaktadır. İlaçlama işleminde, ilaç deposundan ilaçlama fiskiyesine şeffaf hortumla bağlantı sağlanmaktadır.

3.1.2. Aracın yazılımsal özellikleri

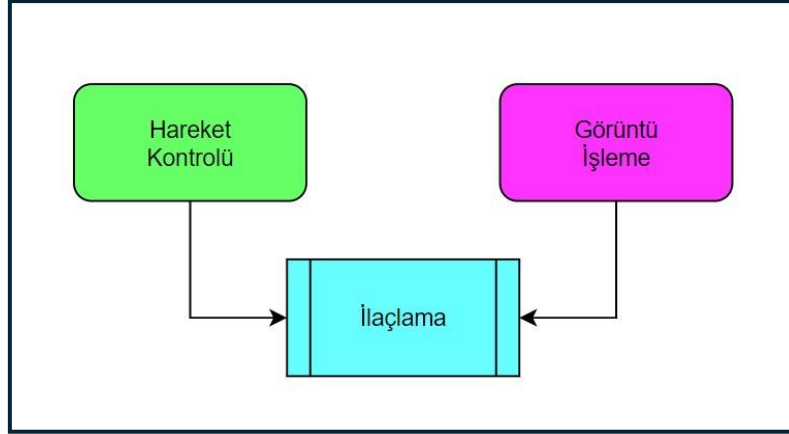
Bu çalışmada , Tarımsal İnsansız Kara Aracının yazılımsal tasarımında ağırlıklı olarak C, C++ ve Python programlama dilleri kullanılmaktadır.Tarımsal İKA’nın tasarımı 3 aşamadan oluşmaktadır:

1. Aracın otonom sürüşü için Hareket Kontrolü;
2. Hastalık tespiti işlemi için Görüntü İşleme;
3. Hastalık tespit edilen bitkiler için yerinde İlaçlama işlemi

Aracın yazılımsal tasarımı hareket kontrolü ve görüntü işleme aşamalarından oluşmaktadır. Şekil 3.5’de Aracın tasarım aşamaları gösterilmektedir. Bu aşamalar esas alınarak, aracın yazılımsal tasarımı farklı platformalarda geliştirilmiştir

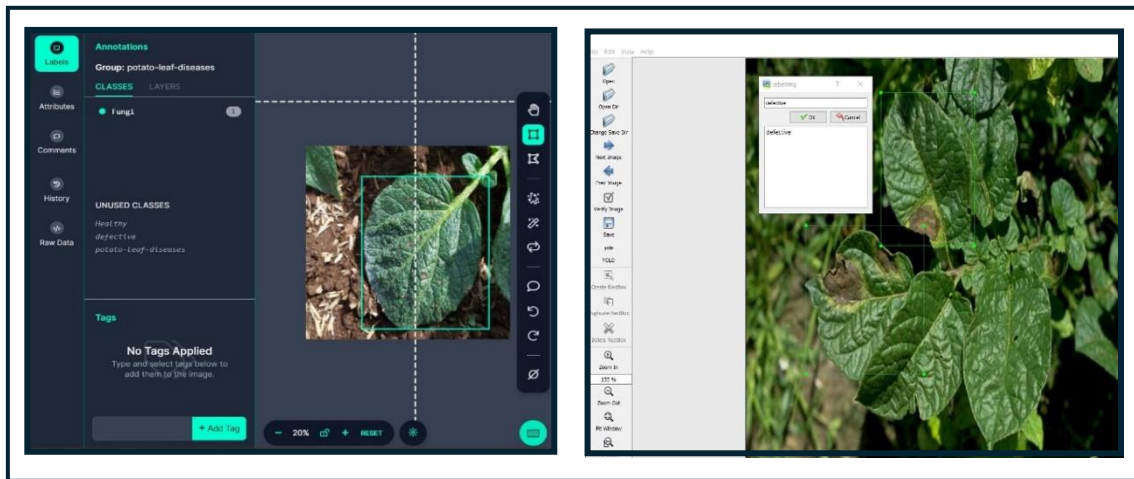
Hareket kontrolü için Yol Planlama algoritması ve Navigasyon modülü tasarlandıktan sonra, Kararverme modülü için ANFIS sistemi ve aracın görevleri yerine getirmesi için bir sıra algoritmalar tasarlanmıştır. ANFIS tasarımı MATLAB/Simulink platformu üzerinden Neuro-Fuzzy Designer arayüzü kullanılarak gerçekleştirilmiş ve test edilmiştir. ANFIS tasarımı tamamlandıktan ve test işlemleri gerçekleştirildikten sonra her bir nod

için ağırlık değerleri elde edilmiştir. Elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak Arduino IDE üzerinden yazılım dosyası oluşturulmuştur.



Şekil 3. 5. Tarımsal İKA'nın tasarım aşamaları

Bu çalışmada, hastalıklı patates bitkilerinin tespit edilmesi işlemi için Yolo algoritması kullanılmaktadır. Kaggle platformundan elde edilen veri setleri Anaconda Prompt ve Google Colab üzerinden işlenmektedir. Elde edilen veri setleri etiketlenmediğinden, bu verilerin hastalıklı ve sağlıklı olmak üzere etiketleme, bölme ve çoğaltma işlemleri Roboflow ve Anaconda platformu üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada Yolo algoritmasının Yolov7, Yolov8 ve en son sürüm olan Yolov9 versiyonları kullanılmış ve en iyi performansa sahip olan model hastalık tespiti işlemi için seçilmiştir.



Şekil 3. 6. Veri setlerinin labelImg ve Roboflow'da işlenmesi.

Bu çalışmanın veri işleme aşamasında, görüntülerin etiketlenmesi için Anaconda Navigator platformu üzerinden 'labelImg' fonksiyonu kullanılmaktadır. Verilerin çoğaltılması ve bölünmesi işlemi Roboflow veb platformunda gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.6'da yapılan işlemlerin görsel ifadesi verilmektedir. Projede Numpy, OpenCV, CUDA ve cuDNN gibi çeşitli kütüphaneler kullanılmaktadır. Her 3 modelin eğitimi yüksek ve ücretsiz GPU desteği sağladığı için Google Colab kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Eğitilen model, Raspberry Pi'nin grafiksel masaüstüne erişmek için VNC sunucusu kullanarak aktarılmaktadır.

Hastalık tespiti işlemi gerçekleştirildikten sonra ilaçlama işlemi yapılmaktadır. İlaçlama işlemi için kullanılan bir adet DC motor içeren su pompası mikroişlemcinin dijital pini kullanılarak çalıştırılmaktadır. İlgili hastalık mesajı alındıktan sonra yazılımsal tasarım içerisinde ilaçlama işlemi gerçekleştirilmektedir.

3.2. Aracın Hareket Planlaması ve Yön Kontrolü

Patates tarlasında ekin sırası boyunca hareket eden İKA'nın hastalık tespiti yapması, eğer hastalık tespiti yapılmışsa, ilgili bitkinin köküne veya gövdesi boyunca yerinde sıvı püskürtme şeklinde ilaçlama görevlerini yapması için aracın hareket planlaması yapılmalıdır. Aracın bu görevleri yapma bilmesi için beklenen adımlar aşağıdaki gibi verilmektedir:

Adım 1: Aracın başlangıç noktasına getirilmesi;

Adım 2: Aracın işleme başladığı ekin sırasını bilmesi;

Adım 3: Aracın otonom bir şekilde harekete başlaması;

Adım 4: Aracın ekin sırası boyunca kendisi ve işlem yaptığı sıra boyunca iki sıra arasındaki mesafesini koruyarak sağlıklı bir şekilde ilerlemesi;

Adım 5: Aracın sıra boyu bitkileri gözlemlemesi ve hastalık tespiti yapma bilmesi;

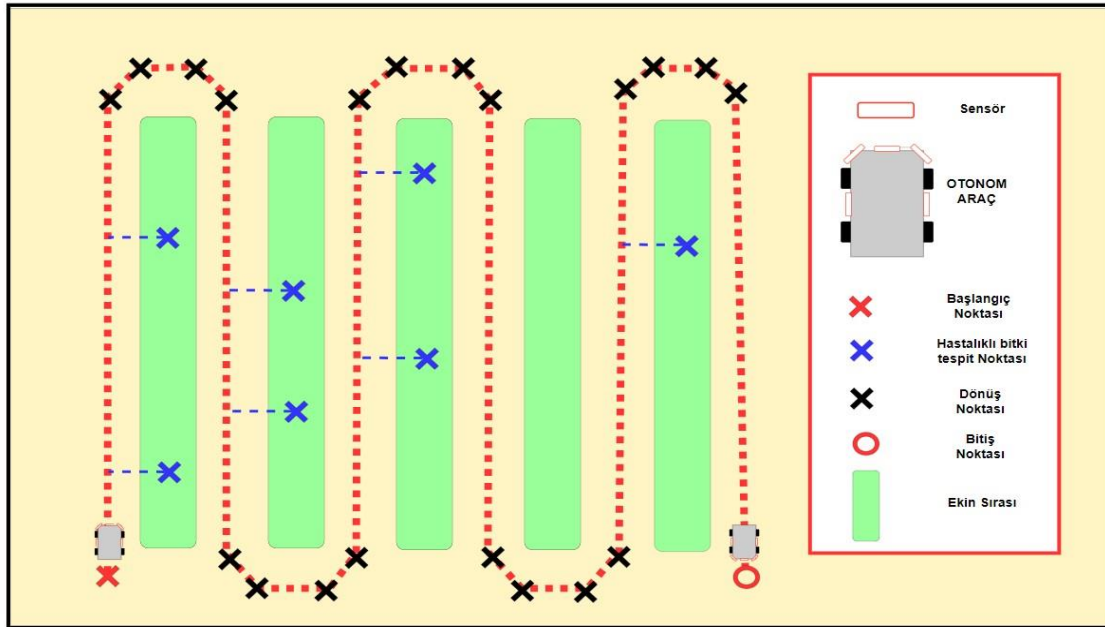
Adım 6: Hastalık tespiti yapıldığında, aracın durması ve yerinde ilaçlama işlemi yapıldıktan sonra yola devam etmesi;

Adım 7: Aracın sıra sonunda diğer sıraya geçmesi için sağlıklı dönüş açılarını hesaplaması ve dönme işlemini gerçekleştirebilmesi;

Adım 8: Araç yeni sıraya geçtiğinde başlangıç sırasına göre kaçınıcı sırada olduğunu bilmesi;

Adım 9: Aracın ekin alanında son sırada olduğunu bilmesi ve sıra sonunda işlemleri bitirerek (eğer varsa) görevini tamamlaması.

Tasarlanan otonom araç diferansiyel tahrik sistemli 4 tekerli mobil robotdur. Diferansiyel tahrikli mobil robot mekanik olarak basit ve uygulaması kolay bir tasarıma sahiptir. Dönme işlemi için Kayma Döndürme (Skid Steering) yöntemi bu sistem için uygulanan en yaygın yöntemdir. Ekin sıra sonunda diğer sıraya geçmek için sağ ve sol olarak ayrılan tekerlek grubuna farklı hızlar (birine maksimum hız, diğerine en az maksimum hızın 1/3'ü kadar) verilecektir



Şekil 3. 7. Otonom Aracın Hareket planlaması

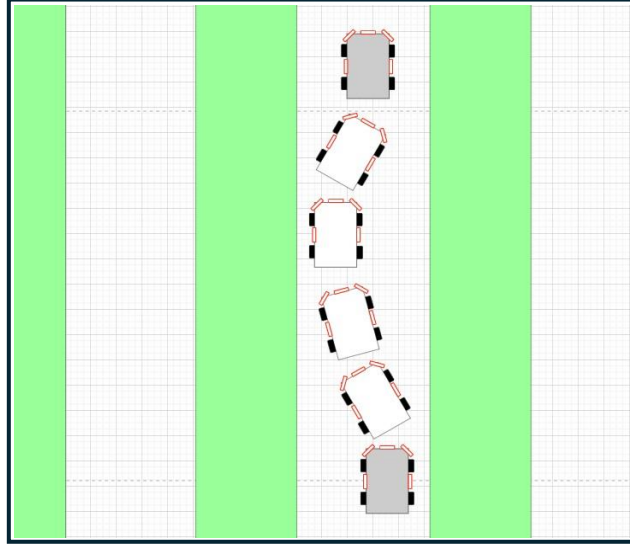
Aracın hareket planlaması yapılırken, aracın otonom bir şekilde hareket etmesi için birlikte çalışacak şekilde tasarlanan modüller karışıklık olmaması adına ayrı-ayrı tasarlanarak anlatılacaktır. Bu modüller:

1. Yol Planlama Modülü
2. Navigasyon Modülü
3. Kararverme veya Yönlendirme Modülü
4. Kontrol Modülü

Yol Planlama modülü için ilk önce aracın yol planlama altkategorisi (Noktadan-Noktaya veya Kapsamlı Yol Planlaması) aracın görev yapacağı çalışma alanına göre belirlenecektir. Daha sonra araç için ara noktalar (waypoints) belirlenecektir. Ardından, aracın mevcut konumdan hedef konuma en uygun yolu belirlemesi için navigasyon sistemi ve kararverme modülünün çalışma şekli göz önüne alınarak Yol Planlama algoritma şeması çıkartılacaktır. Bu algoritma sensörler ve kameradan gelen bilgiler gibi çeşitli faktörleri dikkate alarak tasarlanacaktır. Navigasyon sistemi ise araç üzerinde bulunan mesafe sensörleri ve kameradan oluşmaktadır. Uygun bir biçimde yerleştirilen mesafe sensörleri araç için doğru konumda hareket etmesini ve görevini yol boyunca yerine getirmesine engel olacak durumlardan muhafaza etmesini sağlayacaktır. Detaylı tasarım navigasyon modülü bölümünde verilecektir. Aracın navigasyon sisteminden gelen veriler Yönlendirme veya Kararverme modülü olarak adlandırılan kısımda ANFIS yöntemi işlenecek ve aracın konumunu koruması için uygun refrans hız değerleri üretilecektir. Kontrol modülü, Yönlendirme modülünden gelen bilgileri dikkate alarak kontrol sinyallerinin üretiminden sorumludur.

3.2.1. Yol Planlama Algoritması

Yol Planlama algoritması, aracın yol boyunca karşılaştığı senaryolar dikkate alınarak tasarlanmıştır. Burada ilk adım, aracın çalışma alanında görevi süresince uğrayacağı ar noktaların belirlenmesi ve hangi altkategori yol planlama algoritmasının tercih edileceği olmaktadır.

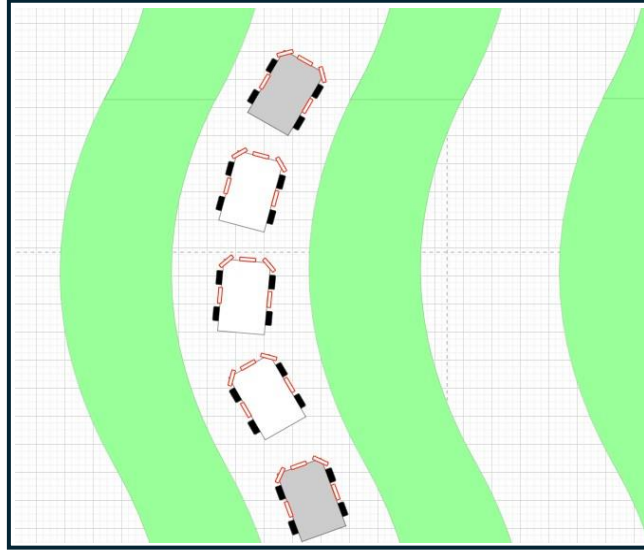


Şekil 3. 8. Aracın sıra boyunca bozulan konumunu düzeltmesi senaryosu

Şekil 3.7’de verildiği gibi, aracın başlangıç ve bitiş noktaları, sıra sonu ve sıra başı gibi dönüş noktaları, aracın kamerası ve görüntü işleme ünitesinde elde edilen hastalıklı bitki noktaları araç için aranoktalar. Aracın tarlada ekin sırası boyunca, görev başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar bütün alan boyunca hareket etmesi gerektiğinden Kapsamlı Yol Planlaması(Coverage Path Planning) tercih edilmiştir.

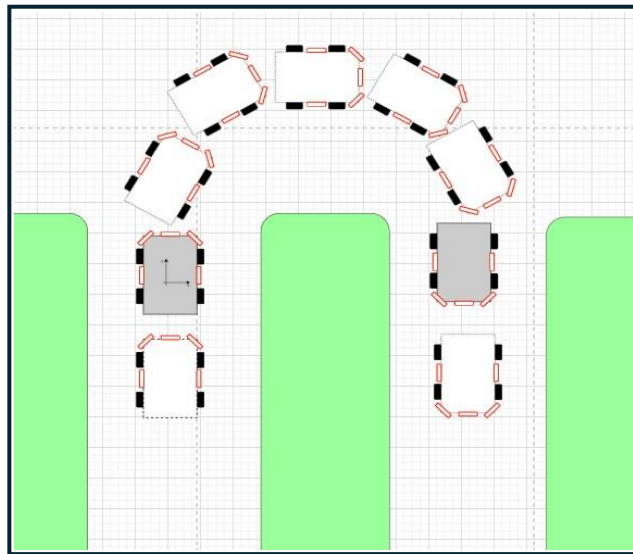
Şekil 3.8’de aracın ekin sırası boyunca muhtemel karşılaşılabileceği konumunun bozulması senaryosu tasvir edilmiştir. Araç ilaçlama yapacağı sıraya çok yakın olduğu zaman konumunu düzeltmesi için buradaki gibi manevralar yapması gerekmektedir. Sıradan uzaklaşacağı takdirde, bozulmuş konumunu bunun tersi şeklinde bir manevra yaparak düzeltmesi beklenmektedir.

Aracın yol planlaması yapılırken sadece düz yolda değil, ideal bir şekilde düz olmayan veya eğri patikalarda nasıl davranacağı da göz önüne alınmıştır. Burada, aracın ilaçlama yapacağı ekin sırasına uygun konumda olması ve yoldan çıkarak işlemsiz duruma gelmemesi için yol planlaması yapılırken bu gibi gerçekbenzeri durumların dikkate alınmasının önemi verilmiştir. (Şekil 3.9)



Şekil 3. 9. Aracın düz olmayan bir ekin sırasında muhtemel hareketi senaryosu

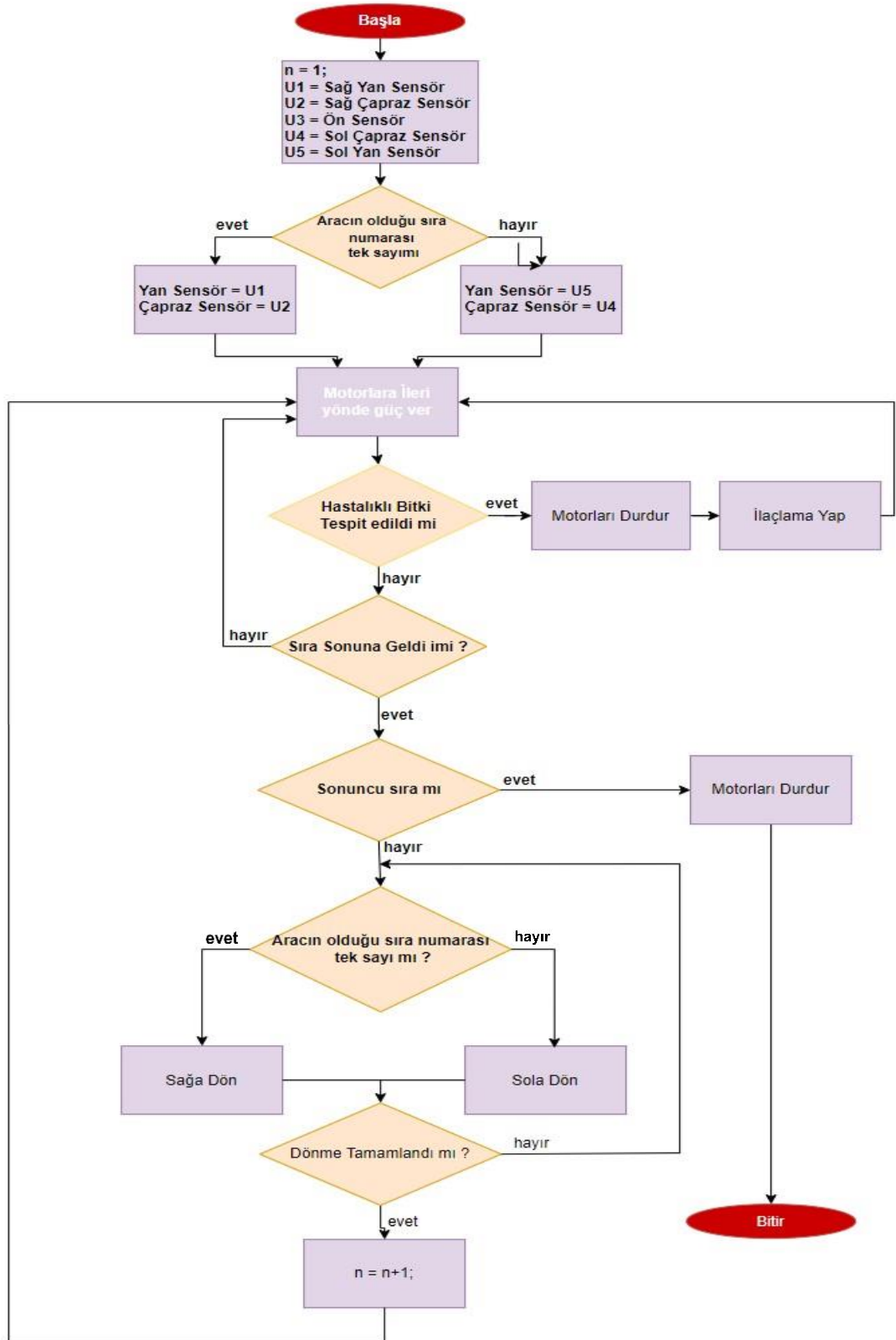
Aracın diğer sıraya geçip görevine devam etmesi için muhtemel ve ideal dönüş senaryosu şekil 3.10’da tasvir edilmiştir. Tasarlanan araç 4 teker diferansiyel tahrikli tasarıma sahip olması sebebiyle nonholonomik bir yapıdadır. Sağa veya sola dönme işlemi Kaydırma Döndürme yöntemi ile yapılmaktadır. Aracın yapısı ve üzerinde hareket ettiği zeminin sürtünmesi göz önüne alındığında, sağlıklı bir dönüş için doğru dönüş açılarıyla dönme işlemi gerçekleştirilmelidir. Bunun için dönüş esnasında sağ ve sol tekerlek grubuna farklı hızlar verilmelidir. Aracın sahip olduğu navigasyon sistemi ve yönlendirme modülü vasıtasıyla dönme işlemi için doğru referans değerlerin üretilmesi beklenmektedir.



Şekil 3. 10. Aracın ekin sırası sonunda muhtemel dönüş senaryosu

Aracın şekil 3.8, şekil 3.9 ve şekil 3.10'daki gibi muhtemel senaryolarda konumunu koruması ve göreve devam edebilmesi için navigasyon sisteminin bu gibi durumlara çözüm sağlayacak şekilde tasarlanması ve yönlendirme biriminin hem doğru referans değerleri üretebilmesi hem de navigasyon sisteminden sağlıklı bilgileri alıp hesaplayarak çıkarım yapması beklenmektedir. Şekil 3.11'de, n sayısı sıra sayısını temsil etmektedir.

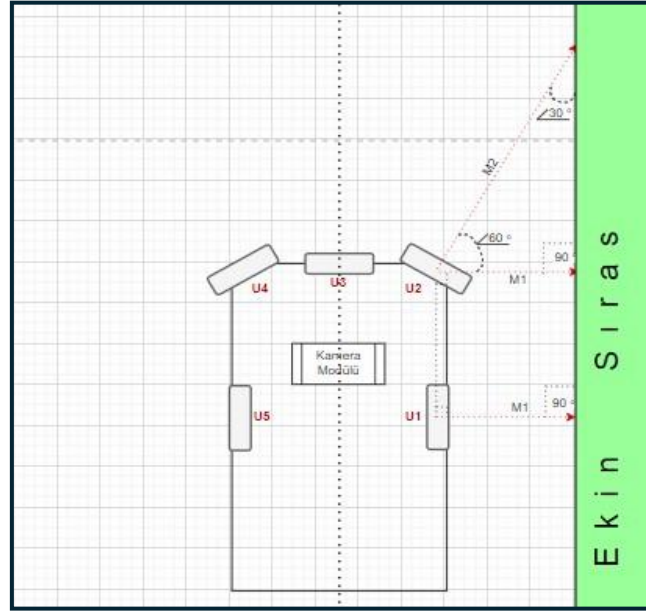
Bu bilgilerin ışığında aracın otonom bir şekilde hareket etmesi ve istenen görevleri başarılı bir şekilde tamamlaması için Yol Planlama algoritmasının verilmesi gerekmektedir. Şekil 3.11'de araç için yol algoritması akış şeması verilmiştir.



Şekil 3. 11. Aracın Yol Planlama Algoritması akış şeması

3.2.2. Navigasyon Modülü

Otonom araçlar insan müdahalesine çok az ve ya hiç ihtiyaç duymadan kendi kendine yol ala bilen araçlar olduğundan, bu araçların güvenli ve başarılı bir şekilde hareket etmeleri için navigasyon sistemlerinin geliştirilmesine gerek duymaktadır. Otonom araçlar için Navigasyon sistemi, aracın çevresini algılaması, konumunu belirlemesi, rotasını planlaması ve bu rotaya göre işlem yapmasını sağlar. Navigasyon sistemi algılayıcılar, GPS (Global Positioning System) modülü, haritalama, rota planlama gibi birleşenleri içerebilir. Bu çalışmada Algılayıcılar olarak ultrasonik sensörler ve kamera modülü tercih edilmiştir. Rota planlama otonom aracın Yönlendirme Modülünde ele alınacaktır.



Şekil 3. 12. Araç üzerinde yerleşen sensörlerin geometrik konumlandırılması

Araç üzerinde 5 adet ultrasonik mesafe sensörü bulunmaktadır. Hastalıklı bitki tespiti yapmak ve elde edilen görüntüyü işlemek üzere araç üzerinde 1 adet kamera modülü bulunmaktadır. Ultrasonik mesafe sensörlerinin fazla olmasının sebebi, bu sensörlerin birlikte kullanımı araç için lidar sensörü yerine geçmesidir. Bu sensörlerin araç üzerinde doğru bir şekilde konumlandırılması, Kararverme modülünün Navigasyon sisteminden gelen verileri doğru bir şekilde işleyebilmesi bakımından önemlidir.

Şekil 3.12’de görüldüğü üzere, işlem yaptığı ekin sırası boyunca 2 sensörü aktif olarak kullanacaktır. Örnek olarak, araç sağ taraftaki ekin sırası boyunca işlem yaptığında

mesafe verisi toplamak için U1 ve U2 ultrasonik mesafe sensörlerini kullanacaktır. Eğer sol tarafta yerleşen ekin sırasında işlem yapacaksa veri toplamak için U4 ve U5 sensörlerini kullanacaktır. Burada, U1 ve U5 yan mesafe sensörü , U2 ve U4 çapraz mesafe sensörüdür. U1 ve U2 sensörleri arasında konum olarak 60° açı farkı bulunmaktadır. Aynı pozisyon U5 ve U4 sensörleri için geçerlidir.

Aracın sağ taraftaki ekin sırası boyunca işlem yapacağını kabul ederek, bu aracın sağlıklı bir şekilde işlem yapması için araç ve bitki gövdesi arasındaki mesafe yaklaşık düz bir çizgi üzerinden planlanmaktadır. Bu geometrik kısıtlamalar göze dikkate alındığında, aracın ekin sırası boyunca yaklaşık düz bir çizgi üzerinde gitmesi için U2 çapraz sensörden gelen M2 mesafesi, U1 sensöründen gelen M1 mesafesinin yaklaşık 2 katı olacaktır. Dik üçgende 30°'lik açı karşısındaki kenar uzunluğu ($\sim M1$), hipotenüsün ($\sim M2$) yarısına eşittir. Buradaki ilişki Denklem (3.3)'de verilmektedir. Buradaki çıkarım şekil 6 üzerinden gözlemlenerek yapılmıştır. Aynı durum, araç sol tarafta işlem yaptığında sırasıyla U5 ve U4 mesafe sensörleri için de geçerlidir.

$$M2 \approx 2 * M1 \quad (3.3)$$

Şekil 3.12'de gösterildiği gibi aracın ön kısmına yerleştirilen U3 ve çaprazda yerleşen U2 ve U4 ultrasonik mesafe sensörleri engel algılamada ve aracın yeni sıraya geçtiğinde, geçtiği sırayı saya bilmesi için kullanılmaktadır.

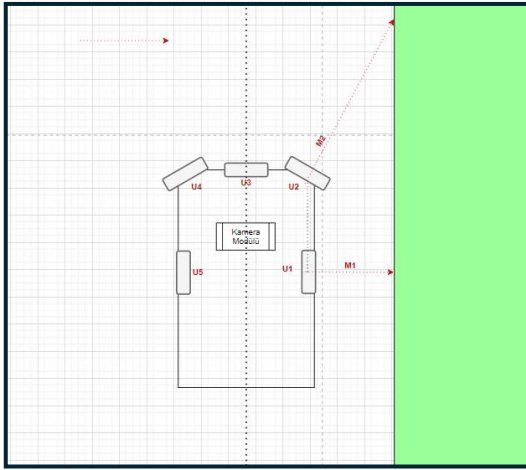
İşlem yapılan sıra boyunca, kamera modülünden elde edilen veriler Yolo algoritması kullanılarak işlenmektedir. Hastalıklı bitki tespit edilmişse, aracın durması ve ilaçlama yapıp görevine devam etmesi beklenmektedir. Kamera modülü araç etrafında bulunan bitkinin sağlık durumunun tanınmasında kullanılmaktadır.

3.2.3. Kararverme Modülü

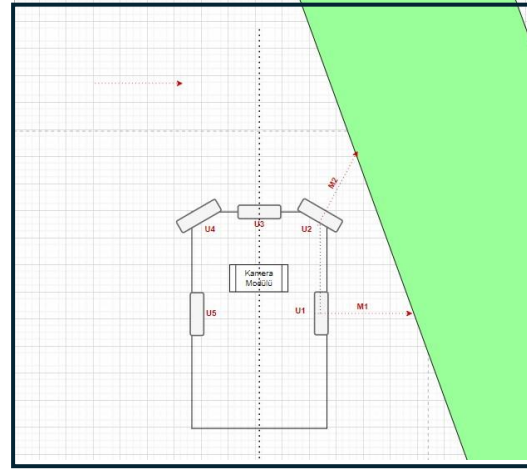
Kararverme veya Yönlendirme modülü, otonom aracın konumunu koruması ve görevini başarılı bir şekilde tamamlaması için Yol Planlama algoritması ve Navigasyon sisteminin çıktılarını kullanır. Yönlendirme modülünde hesaplanan veriler aracın hareket kontrolü için referans değerlerinin üretiminde kullanılır. Hareket planlama blok şemasından

görüldüğü üzere hareket planlama için gerekli olan bütün modüller bir-birine bağlı bir şekilde çalışmaktadır. Bu bağlamda, her birini aynı müşterek bir sistem üzerinden anlatımını yapmak anlaşılabilirlik bakımından zor olacağından , her bir modülün tek-tek incelenmesi ve tasarımının yapılması daha uygun görülmüştür. Kararverme Modülünün başarılı bir şekilde çalışıp elde edilen çıktıları sisteme uygulanması için, Navigasyon sisteminden elde edilen veriler zaman geçikmeli olmadan Yönlendirme modülüne aktarılmalıdır. Aynı şekilde, Yönlendirme Modülünden çıktı olarak elde edilen referans değerler Kontrol Modülünde kullanıldıktan sonra elde edilen kontrol sinyalleri gecikmeli olmadan sisteme uygulanmalıdır.

Aracın Hareket Planlamasındaki Kararverme Modülü Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemine (ANFIS) dayanarak çalışmaktadır. Aracın ekin sırasında çeşitli senaryolarda kendi konumunu doğru bir mesafede koruması, ekin sonunda dönme işlemini başarılı bir şekilde tamamlaması ve görev bitimine kadar otonom sürüş için referans değerlerin sağlıklı bir şekilde üretilebilmesi için uygun eğitim verileri hazırlanmalıdır.



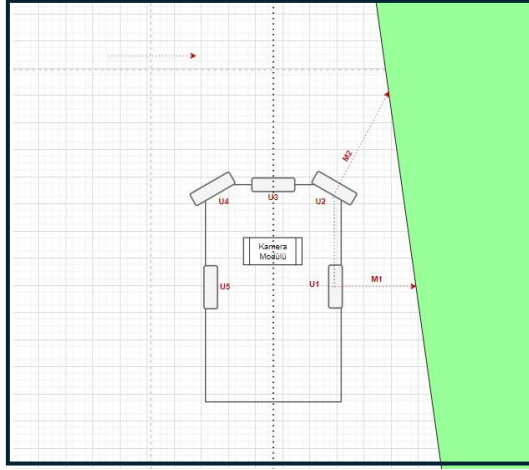
Şekil 3.13(a). Arac ekin sırasına paralel gittiğinde ($M2 \approx 2 * M1$)



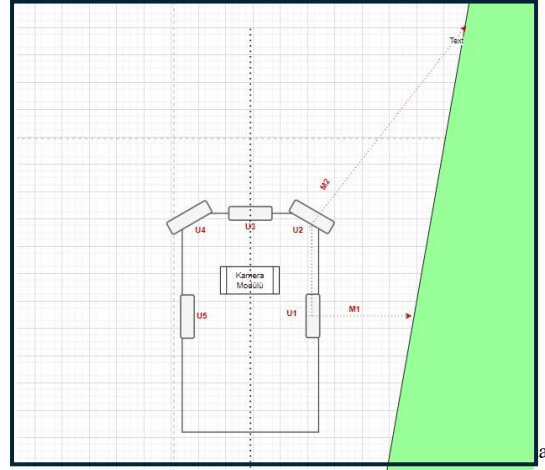
Şekil 3.13(b). Arac ekin sırasına çok yaklaştığında ($M1 > M2$)

Şekil.3.13(a)'de ve şekil 3.14(a)'de, araç ekin sırası boyunca paralel hareket etmektedir ve araç istenen konumdadır. Fakat burada ideal konum, aracın bitki gövdesi ile arasındaki mesafenin 20 ile 30 cm arasında olması gerektiğidir. Şekil 3.13(b), Şekil 3.13(c) ve şekil 3.13(d)'de, aracın konumunu düzeltmesi gerekmektedir. Yan mesafe sensörünün uzaklık

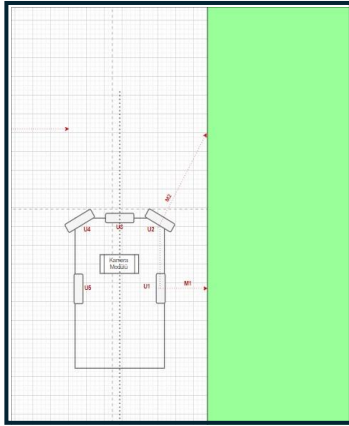
konumuna göre yaklaşarak ve ya uzaklaşarak ekin sırasına paralel bir konuma gelmesi beklenmelidir.



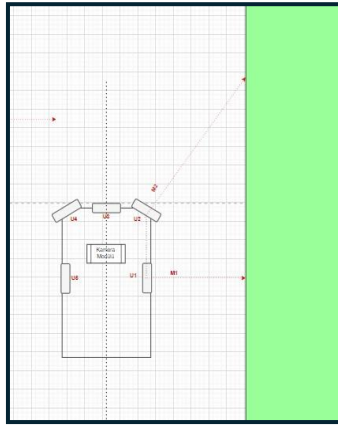
($M2 < 2 * M1$).



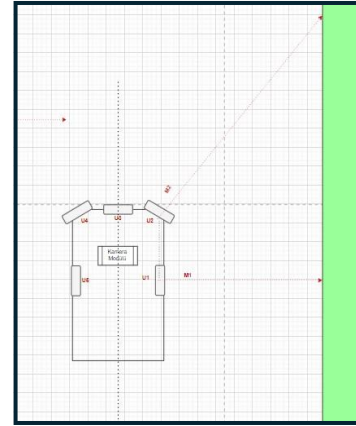
($M2 > 2 * M1$).



Şekil 3. 14(a). Araç: $10 \leq M1 < 20$ (cm)

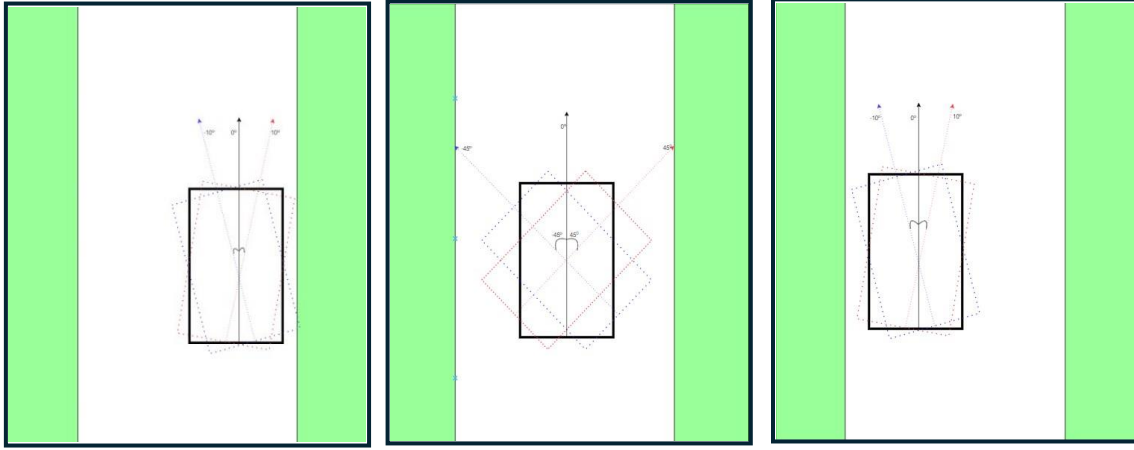


.14(b). Araç: $20 \leq M1 \leq 30$ (cm).



Şekil 3.14(c). Araç: $30 < M1 \leq 40$ (cm).

Şekil 3.14’de aracın ekin sırasına uzaklığı tasvir edilmeye çalışılmıştır. Araç şekil 3.14(a)’de gösterildiği gibi ekin sırasına yakın hareket ediyorsa (burada, M1 mesafesi 10 ile 20 cm arasında ise), sağ motorlara daha fazla hız verilip sola doğru dönmesi (Eğer yan ve çapraz mesafe sensörü olarak sağ yan ve sağ çapraz sensörleri seçilmişse, tersi ise bu senaryo soldaki sıra için tasvir edilmelidir.) sağlanmalıdır. Bu işlem gerçekleştikten sonra, araç şekil 3.13(d)’de olduğu gibi konumlanacaktır. Bundan sonra, sol motor grubuna sağ motor grubundan daha fazla hız verilerek işlem araç şekil 3.14(b)’de olduğu konuma



Şekil 3. 16(a). Araç: $10 \leq M1 < 20$ (cm)

Şekil 3.16(b). Araç: $20 \leq M1 \leq 30$ (cm)

Şekil 3.16(c.) Araç: $30 < M1 \leq 40$ (cm)

Şekil 3.16’da tasvir edilen durumlar, aracın 2 ekin sırası arasında hareket kısıtlamasını göstermektedir. Buradaki kısıtlamalar aracın ANFIS modeli için gerekli olan eğitim ve test veri setlerinin oluşturulması zamanı dikkate alınacaktır. Şekil 3.16(a)’da araç tam ortadayken 45° sağa ve sola doğru (-45° , 45°) döne bilirken, araç işlem yapılan sıraya 10 cm ve 20 cm aralığında uzaklıkdayken (şekil 3.16(b)) dönme açısı kısıtlanmakta. Aynı durum araç işlem yapılan ekin sırasından 30 cm ve 40 cm aralığında uzak olduğunda (şekil 3.16(c)) da geçerli. Bu bilgi ve senaryolar ışığında, aracın Karaverme Modülü için tasarlanacak ANFIS için eğitim seti hazırlanacak ve ANFIS’in eğitim aşaması için kullanılacaktır.

Tablo 3. 3. Aracın dönme açısına göre Yan ve Çapraz sensör değer aralığı

$-45^\circ - 0^\circ$	$M2 > 2 * M1$
0°	$M2 = 2 * M1$
$0^\circ - 15^\circ$	$M2 > M1$
$15^\circ - 45^\circ$	$M2 < M1$

Tablo 3.3’de Aracın dönme açılarına göre Yan ve Çapraz mesafe sensörlerden okunan mesafe değerlerinin bir biri ile olan bağlantısı verilmiştir. ANFIS veri seti bu tablo dikkate alınarak oluşturulmuştur. Başarılı bir sonuç almak için bu çalışma için ANFIS modelinin en az 3 girişe ihtiyacı vardır. Bunlar, yan ve çapraz sensörlerden gelen mesafe bilgileri ve aracın ekin sırasındaki dönüş açılarıdır. Tablo 3.3’de verilen şartlarla, ANFIS modeli için gerekli olan giriş değerleri sayı 3’den 2’ye indirgenmiştir.

3.2.3.1. İKA Kararverme Modülü için ANFIS tasarımı

ANFIS tasarımında en önemli aşama kararverme şartlarının belirlenmesidir. Şekil 3.12’de görüldüğü üzere, araç konumunu koruması için sağ ve sol tarafta ,yan ve çapraz olmak üzere 4 adet ve 1 adet ön kısımda engel algılama ve ekin sırası belirlemek için kullanılmak üzere toplamda 5 adet ultrasonik mesafe sensörü ile donatılmıştır. Ekin sırası numarasına bağlı olarak, 4 adet yan ve çaprazda bulunan sensörler, eğer araç tek numaralı sırasadaysa sağ taraftaki sensör grubunu(U1 ve U2), çift numaralı ekin sırasındaysa sol taraftaki sensör grubunu kullanacaktır. Eğitim setlerinin hazırlanmasında sağ ve sol tarafın seçilmesi bir değişiklik yaratmıyor. Bu sebeple, aracın tek numaralı ekin sırasında işlem yaptığını var sayarak , şartların belirlenmesi için U1 ve U2 sensörlerinin çalıştığı kabul edilerek çalışma tamamlanacaktır. Şekil 3.12, şekil 3.13 ve şekil 3.14’de U1 ve U2 sensörlerden gelen mesafe bilgileri cm cinsinde, sırasıyla, M1 ve M2 olarak adlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yazılım programı üzerinden aracın hem sağ tarafta, hem de sol tarafta işlem yapacağı şekilde düzenlenecektir. Burada önemli olan, İKA için konum bilgisine dayanarak Kararverme Modülünün tasarımının yapılmasıdır.

Eğitim seti tamamlandıktan sonra Excel programı üzerinden Matlab ortamına aktarılacaktır. Dikkat edilmesi gereken başka bir husus ANFIS modeli tasarlanırken girdi sayısının çok fazla olmamasına önem vermektir. ANFIS modeli için en fazla 5 adet girdi sayısının kabul edilebilir olduğu görünmektedir

Tasarlana ANFIS modeli için 2 adet girdi ve 2 adet çıktıya ihtiyaç duyulmaktadır. Yan ve Çapraz sensörlerden gelen konum bilgileri girdi olarak, aracın sağ ve sol motor gruplarına verilecek sağ ve sol tekerlek hızları çıktı olarak alınacaktır.

	M1 (cm)►	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
derece	M2 (cm)▼	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	70	75	80
45	1								11	13	15								
30	3						13	16	19	22	25								
20	4					13	16	19	22	25	28	30							
15	5			15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35					
10	6		15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51				
0	7	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78			
-10	8			70	72	74	76	78	80	80	80	80	80	80	80				
-15	9			74	76	78	80	80	80	80	80	80	80	80					
-20	10				76	78	80	80	80	80									
-30	11					80	80	80	80	80									
-45	12							80	80	80									
sirasor	13	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

Şekil 3. 17. ANFIS eğitimi için giriş değerlerinin oluşturulması (şartı)

Ultrasonik sensörlerin algılama kapasitesi 2-450 cm arasında değişmektedir. Burada mesafe aralığı her iki sensör için 0-80 cm arasında seçilmiştir. Aracın ekin sırasındaki konumu, ANFIS modeli için veri set oluşturmak için dikkate alınmıştır. Örneğin, aracın ekin sonunda veya ekin boyunca olan konumu dikkate alınarak veri seti oluşturulmuştur. Şekil 3.13 ve şekil 3.14 aracın ekin sırası boyunca mevcut durumunu göstermektedir. Bu duruma aracın sıra sonuna gelmesi varsayımı eklenince şekil 3.17’de olduğu gibi veri tablosu oluşturulmaktadır. Burada, sağlıklı bir karar verme sistemi oluşturmak için ANFIS modeli için 3 girdiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar yan ve çapraz mesafe sensörlerinden gelen mesafe bilgileri ve aracın ekin sırasına göre dönme derecesidir. Dönme derecesi aracın ekin sırasındaki işlem yapılan ekin sırası ile arasında olan eğim derecesidir. Şekil 3.8 , şekil 3.9 ve şekil 3.13’de gösterildiği gibi araç ekin sıralarına sadece paralel ($\sim 0^\circ$) olmaya bilir. Burada dönme derecesi -45° ile 45° arası seçilmiştir. Şekil 3.17’de gösterilen tabloda Bir mesafe sensörüne karşılık gelen aynı değerdeki değerler (80 cm) derece farkı sebebi ile oluşmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi, yapılan çalışmada 3-cü giriş değeri olarak ifade edilen aracın ekin sırasındaki dönme açı değerleri ihmal edilebilir durumdadır. Bu sebeple, ANFIS modelinin eğitimi için aracın yan ve çapraz mesafe

sensörlerinden gelen uzaklık bilgileri kullanılacaktır. Aracın ekin sırasındaki dönme açıları ve aracın sıra sonundaki davranışı çıkış değerlerine yansıtılacaktır.

Tablo 3. 4. Her bir motor için motor hız aşamaları ve yönleri (m/s)

-Motor yönü	-Hız aşamaları	-Karşılık Gelen Sayısal Değer (0-255)
İleri	Maksimum İleri Hız	255
İleri-orta	Maksimum İleri Hız*(2/3)	170
İleri-yavaş	Maksimum İleri Hız*(1/3)	85
Geri	Maksimum Geri Hız	255
Geri-orta	Maksimum Geri Hız*(2/3)	170
Geri-yavaş	Maksimum Geri Hız*(1/3)	85
DUR	0	0

Tablo 3.4’de aracın tek bir motoru için hız aşamaları ve yönleri verilmiştir. Araç diferansiyel tahrik sistemine sahip olduğu için nonholonomik bir yapıya sahiptir. Araç sadece ileri ve geri yönde hareket edebilmektedir. Sağ ve sol yönde hareketi sağlamak için, Kaydırma Döndürme (Skid Steering) yöntemi kullanılarak aracın her bir motor grubuna farklı hız değerleri verilmektedir. Örneğin aracın sağa dönmesi isteniyor ise, sol motor grubuna maksimum hız verilirken , sağ motor grubuna daha düşük hız verilmektedir. Bu yöntem kullanılarak Tablo 3.5’de aracın hız değerleri ve hareket yönleri verilmiştir.

Tablo 3. 5. Aracın hareketi için her motor grubunun hız aşamaları ve yönleri (m/s)

Aracın hareket yönü hızı (m/s)	Sağ Motor Grubu (m/s)	Sol Motor Grubu (m/s)
İleri	Maksimum İleri Hız	Maksimum İleri Hız
İleri-orta	Maksimum İleri Hız*(2/3)	Maksimum İleri Hız*(2/3)
İleri-yavaş	Maksimum İleri Hız*(1/3)	Maksimum İleri Hız*(1/3)
Sağ	0	Maksimum İleri Hız
Sağ-orta	Maksimum İleri Hız*(1/3)	Maksimum İleri Hız*(2/3)
Sağ-yavaş	0	Maksimum İleri Hız*(1/3)
Sol	Maksimum İleri Hız	0
Sol-orta	Maksimum İleri Hız*(2/3)	Maksimum İleri Hız*(1/3)
Sol-yavaş	Maksimum İleri Hız*(1/3)	0
Geri	Maksimum Geri Hız	Maksimum Geri Hız
Geri-orta	Maksimum Geri Hız*(2/3)	Maksimum Geri Hız*(2/3)
Geri-yavaş	Maksimum Geri Hız*(1/3)	Maksimum Geri Hız*(1/3)
DUR	0	0

Şekil 3.17’de verilen tabloya göre, tablo 3.6’da aracın çıkış hız değerleri için şartlar oluşturulmuştur. Bu şartlara aracın sırasını olma durumları eklenince , ANFIS modeli için oluşturulan veri seti, şekil 3.18’de verilen örnek veri seti tablosunda olduğu gibi tasarlanmaktadır. Araç, işlem yapacağı ekin sırasının başlangıç sırasına göre tek veya çift olması durumunda referans hız değerlerinin sağ veya sol motor grubuna verilmesi yazılım aşamasında ayarlanmıştır. Tablo ve şekillerde verilen değerler, araç tek numaralı ekin sırasında işlem yaptığı kabulü ile oluşturulmuştur

Tablo 3.6’da görüldüğü üzere, aracın ekin sırası boyunca hareket ettiği güzergahla yaptığı dönme açısı, -90° ile -45° arasında olması durumu aracın -45° ile 0° arasında olması durumu ile aynı çıkış değerlerini sağlamaktadır. Bu durum araç 45° ile 90° arasında olması ile aynı durumu ihtiva etmektedir

Tablo 3. 6. ANFIS modelinin çıkış değerlerinin oluşturulması şartları

M2►	M2>2*M1			M2≈2*M2	M2<2*M1	M2<M1	
M1▼	$-45^\circ - -30^\circ$	$-30^\circ - -15^\circ$	$-15^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - 15^\circ$	$15^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 45^\circ$
$10 < M1 < 20$	-----	Sağ-orta	İleri-orta	Sol-orta	Sol	-----	-----
$20 \leq M1 \leq 30$	Sağ	Sağ-orta	Sağ-orta	İleri	Sol	Sol	Sol
$30 < M1 < 40$	-----	Sağ	Sağ	Sağ-orta	Sol-orta	-----	-----
$40 < M1 < 80$	-----	-----	Sağ	Sağ	İleri-orta	-----	-----

Şekil 3.18’de otonom aracın Kararverme Modülünün ana parçası olan ANFIS modeli için veri tablosu verilmektedir. Veri tablosu, aracın yan ve çapraz sensörlerinden gelen mesafe bilgileri, sırasının durumu ve aracın güzergah ile yaptığı dönme açısı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Veri seti oluşturulken dikkat edilen bu değerler, şekil 3.17 ve tablo 3.6’da ifade edilmiştir..

Tablo 3. 7.ANFIS modeli için veri seti sayı

Veri türü	Eğitim veri sayı	Test veri sayı
Yan sensör	110	30
Çapraz sensör	110	30
Araç yönü	110	30

Tablo 3. 8. Aracın yön bilgisin (-1 ; 1) değerleri ile haritalanması

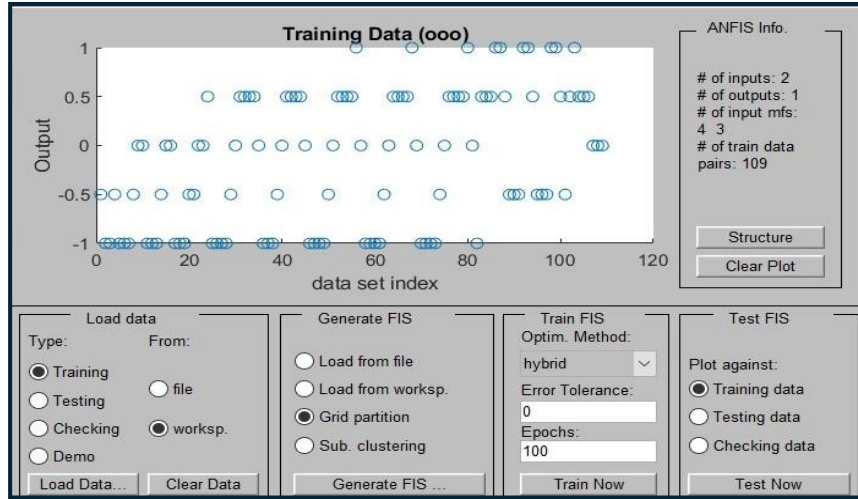
Sağ	1
Sağ-orta	0.5
İleri	0
Sol-orta	-0.5
Sol	-1

ANFIS modeli , Sugeno tip bulanık çıkarım sisteminin üyelik fonksiyonlarını kullanır. ANFIS modeli, Neuro-Fuzzy Designer arayüzü kullanılarak oluşturulmuştur. Burada model çoklu çıktıya sahip ola bilirken, sadece tekli çıkışa sahip olabilmektedir. Bu sebepten şekil 3.18’de verilen, sağ ve sol motorlar için verilen çıkış değerleri, tablo 3.8’de verilen değerlerle ifade edilmektedir. Burada oluşturulan çıktı değeri aracın yönünü belirtmektedir. Aracın yönü belirlendikten sonra sağ ve sol motora verilmesi gereken referans değerler şekil 12’de Çıkış 1 ve Çıkış 2 olarak ifade edilmiştir.

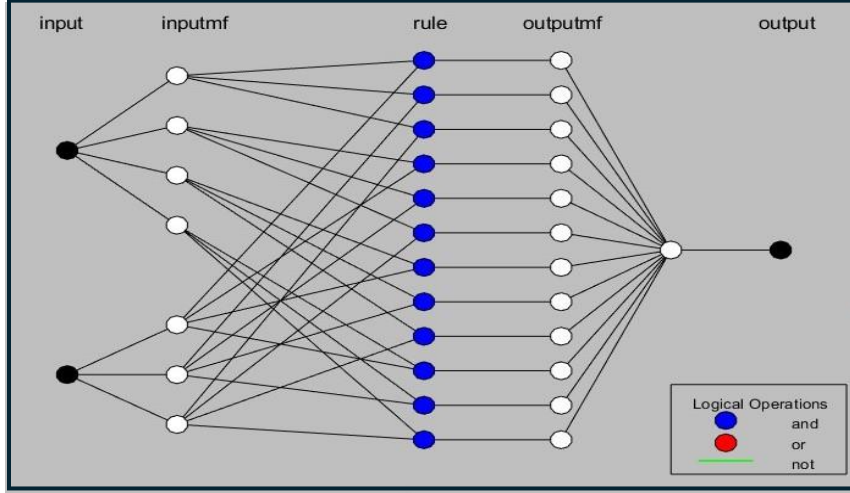
Şekil 3.19’da, eğitim veri setinin ANFIS modeline eklendikten sonra görsel ifadesi yer almaktadır. Model ilk önce 1000 aşama (epoch), daha sonra 5000 aşama ile eğitilmiştir. 5000 aşama sonra modelin ortalama hata değeri değişmediğinden, daha fazla eğitilmesi tercih edilmemiştir. Eğitilen model '.fis' dosya formatında kayıt edilmiştir. İşlemciye aktarılan model küçük uyarlamalar yapıldıktan sonra, otonom aracın otonom sürüş kısmına eklenmiştir

Giriş 1	Giriş 2			Çıkış 1	Çıkış 2	
M1	M2		Araç yönü	Sağ M	Sol M	S-Sıra sonu
Yan (cm)	Çapraz(cm)	Dönme açısı		Out 1	Out2	
11	22	0	Sol-orta	170	85	
11	80		Sol	255	0	S
13	15	10	Sol	255	0	
13	26	0	Sol-orta	170	85	
13	80		Sol	255	0	S
15	15	15	Sol	255	0	
15	18	10	Sol	255	0	
15	30	0	Sol-orta	170	85	
15	70	-10	İleri-orta	170	170	
15	74	-15	İleri-orta	170	170	
15	80		Sol	255	0	S
17	17	15	Sol	255	0	
17	21	10	Sol	255	0	
17	34	0	Sol-orta	170	85	
17	72	-10	İleri-orta	170	170	
17	76	-15	İleri-orta	170	170	
17	80		Sol	255	0	S
19	13	20	Sol	255	0	
19	19	15	Sol	255	0	
19	24	10	Sol	255	0	
19	38	0	Sol-orta	170	85	
19	74	-10	İleri-orta	170	170	
19	76	-15	İleri-orta	170	170	
19	78	-20	Sol-orta	85	170	

Şekil 3. 18. ANFIS modelinin eğitiminde kullanılan eğitim veri setinin örnek parçası



Şekil 3. 19. Eğitim setinin Neuro-Fuzzy Designer arayüzüne eklenmesi



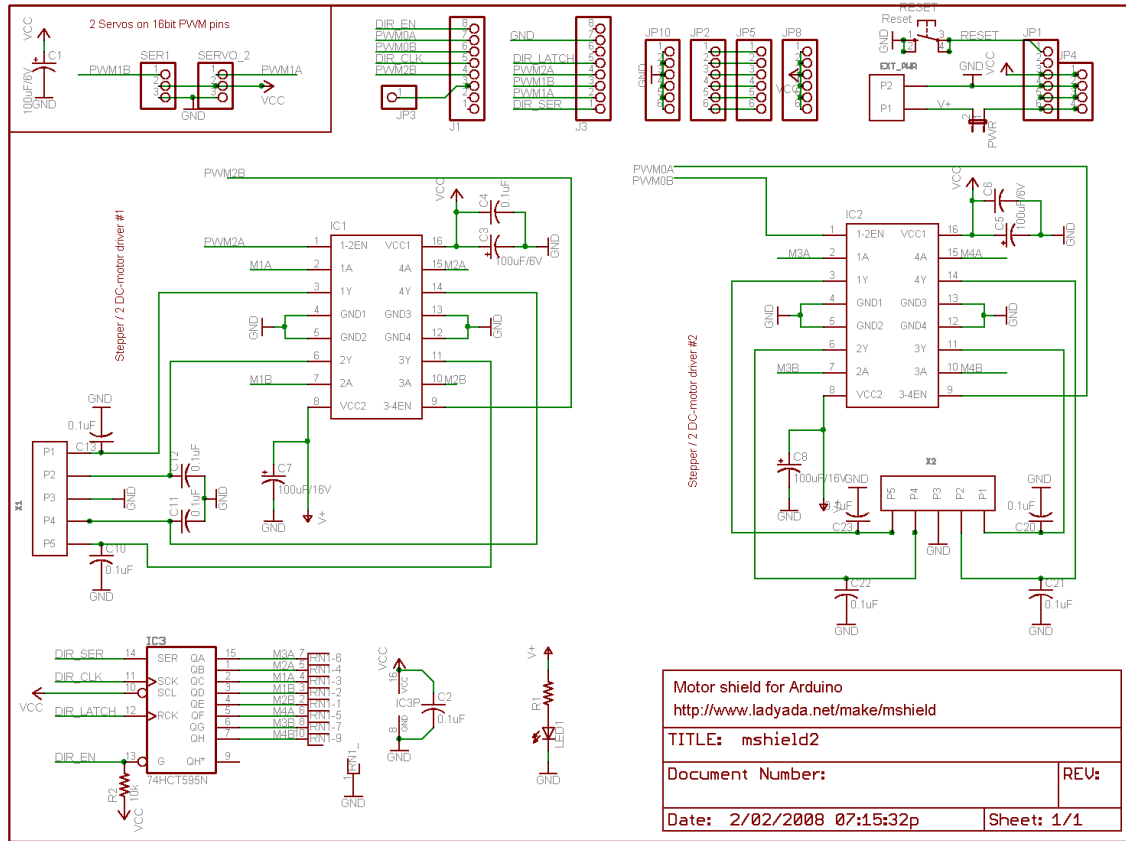
Şekil 3. 20. Tasarlanan ANFIS modelinin yapısı

ANFIS modeli şekil 3.20’de gösterildiği gibi 2 giriş ve 1 çıkışlı olarak tasarlanmıştır. Yan sensör girişi 4 üyelik fonksiyonu ile, çapraz sensör girişi 3 üyelik fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Aracın yönünü temsil eden çıkış değeri 12 kural ile oluşturulmaktadır. Eğitim aşamasının bitmesinin ardından, ayrılan test verileri ile model test edilmiştir. Elde edilen bulgular bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde verilmektedir.

3.2.3. Kontrol Modülü

İKA’nın orantılı bir şekilde istenen yöne hareket edebilmesi için fırçasız DC motor kullanılmaktadır. Araç nonholonomik yapıda olduğu için dönme işlemini gerçekleştirmek amacıyla Kaydırma Döndürme yöntemi kullanılmaktadır. Aracın manevra yapabilmesi ve istenen yönde dönebilmesi için aracın sağ ve sol motor gruplarına farklı hızlar verilmektedir. Mevcut durumda istenen referans hız değerleri Kararverme Modülü tarafından üretilmektedir. Motorların istene hızlarda sürülebilmesi için Darbe Genişliği Modülasyonu (PWM) yöntemi kullanılmaktadır.

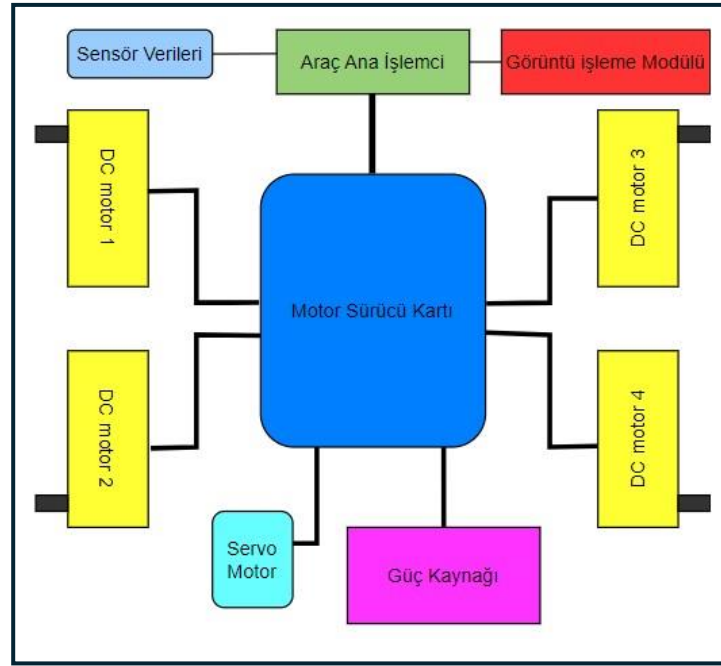
İlaçlama namlusunu ve kamera başlığını istenen konuma döndürmek için kullanılan servo motor Motor Sürücü devresi ile sürülmektedir. Hastalıklı bitki tespiti işlemi sonrası ilaçlama işlemi için kullanılan su pompası ise, mikroişlemcinin dijital pinlerine verilen sinyal ile çalıştırılmaktadır.



Şekil 3. 21. Motorları sürmek için kullanılan sürücü kartının şematik gösterimi

Motorları istenen referans hız değerleri ile sürmek için kullanılan motor sürücü kartının şematik gösterimi şekil 3.21’de verilmektedir. Çalışma kapsamında, sürücü kartı ile aynı anda 4 adet BDC motor ve 1 adet servo motor sürülmektedir.

Raspberry Pi 4 geliştirme kartı, görüntü işleme uygulamaları ve nesne algılama için kullanılmaktadır. Arduino Mega, ana işlemci kartı olarak, motor sürme işlemi, mesafe sensörlerinin verilerini toplamak, spreng mekanizmasının kontrolü ve otonom sürüş karar mekanizması için kullanılmaktadır. Arduino Mega ana işlemci ile ve Raspberry Pi 4 bilgisayarı UART ile master-slave çerçevesinde çalışmaktadır. Şekil 3.22’de otonom aracın kontrol blok şeması verilmektedir.

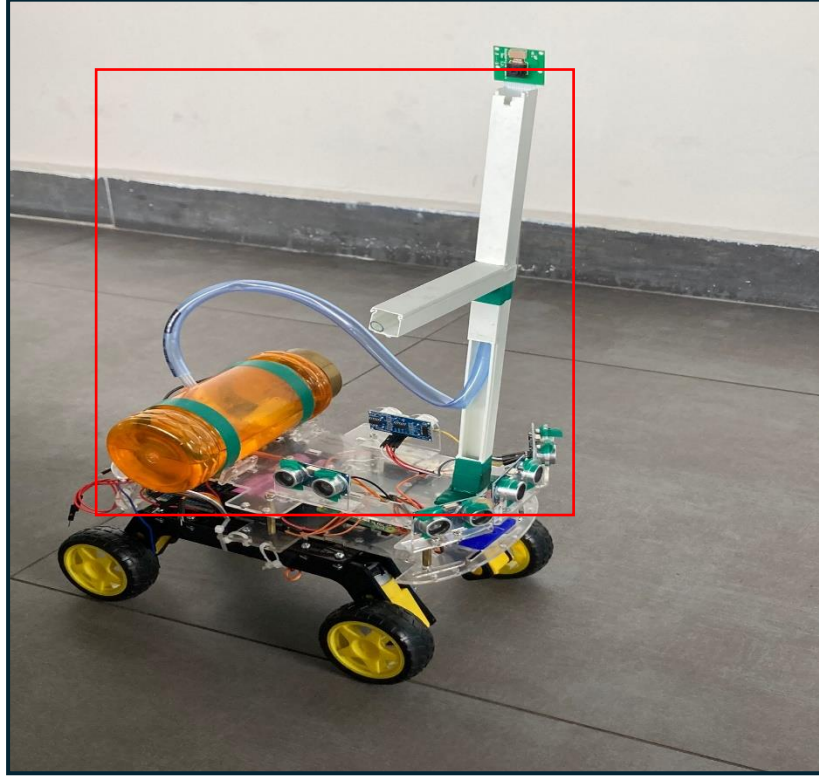


Şekil 3. 22. İKA'nın kontrol blok şeması

3.3. Patates Yaprağı Üzerinde Hastalık Tespiti Ve Otomatik İlaçlama

Patates bitkisi hayat döngüsünde bir sıra hastalıklarla karşılaşa bilmektedir. Bu hastalıkların bazıları patates bitkisi için çok tehlikeli olmakla, ürünün mahvolmasına veya ürünün pazar değerinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu gibi zararlı durumların sonuçlarını engellemek veya zayıflatmak için ilaçlama teknikleri kullanılabilmektedir. Doğru dozda ilaçlama yapmak hem bitkinin gereğinden fazla kimyasala mağruz kalmasını engellemekte hem de kaynakları doğru kullanmak için imkan sağlamaktadır.

Çalışmanın bu bölümü Tarımsal İKA üzerine yerleştirilen, derin öğrenme algoritması ile desteklenen gerçek-zamanlı bitki hastalığı ve zararlı tesbiti yapan bir modülün geliştirilmesini kapsamaktadır. Modül, Raberry Pi denetleyici ile Yolo algoritması kullanılarak eğitilen modelin, patates bitkisinin yapraklarında görünen en çok zarar verme tehdidine sahip fungusit (mantar) hastalıkların tesbitini yapan, İKA üzerine yerleştirilen bir dizin ekipmandan oluşmaktadır. Şekil 3.23'de Tarımsal İKA üzerine monte edilen görüntü işleme ve ilaçlama modülü verilmektedir

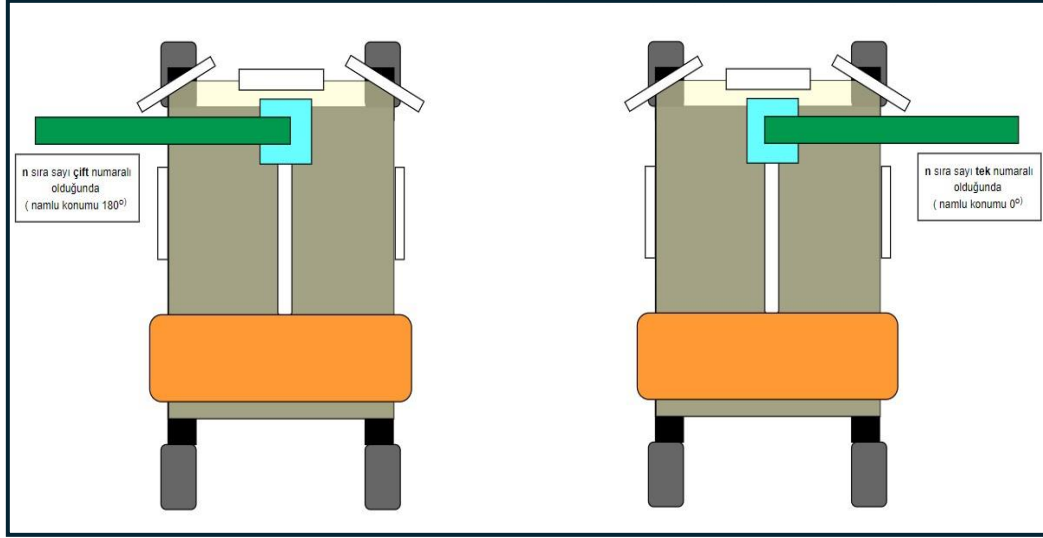


Şekil 3. 23. Tarımsal İKA üzerine monte edilen görüntü işleme ve ilaçlama modülü

Otonom aracın üst gövdesine monte edilen ve on-line video görüntü alan bir Raspberry Pi uyumlu kamera, patates yaprağında görülen değişiklikleri aktararak hastalık tespiti yapmaktadır. Kapsamlı bir görme eksenini için servo motor kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında Yolo algoritmasının son üç versiyonu olan Yolov7, Yolov8 ve Yolov9 algoritmasının performansları karşılaştırılmaktadır. En iyi performansa sahip olan Yolo algoritması hastalık tespitinde kullanılmaktadır. Karşılaştırılan bu algoritmalar içerisinde en iyi performansa sahip olan Yolov8 algoritması hastalık tespiti işlemi için seçilmiştir. Çalışmanın sonuç kısmında ayrıntılı bilgi verilmektedir.

Hastalıklı patates bitkisi tespit edildikten sonra aracın yerinde ilaçlama yapma bilmesi için aracın üst kısmına ilaçlama modülü monte edilmiştir. İlaçlama modülü ilaçlama tankı, su pompası, plastik hortum, ilaçlama fışkıya başlığı ve namludan oluşmaktadır. Araç sağ ve sol sırada işlem yaparken hem kamera modülünün hem de ilaçlama başlığının etkin ekin sırasında işlem yapma bilmesi için 180° dönme eksenine sahip servo motor

kullanılmaktadır (şekil 3.24). Bu şekilde araç tek numaralı sırada olduğunda sağ tarafta yerleşen ekin sırası boyunca, çift numaralı sırada işlem yaparken sol tarafta yerleşen ekin sırası boyunca işlem yapılabilmektedir.



Şekil 3. 24. Araç çift ve tek numaralı ekin sırasında işlem yaparken ilaçlama namlusunun konumu

Otomatik ilaçlama işlemi, aracın üzerine monte edilen Görüntü İşleme Modülünden ‘hastalıklı’ bilgisi geldiğinde aktif olmaktadır. Otomatik ilaçlama işlemi için algoritma akış şeması şekil 3.28’de verilmektedir.

3.3.1 Yolo Algoritması ile hastalıklı patates bitkisi tespiti

Eldeki girdiler bir seferde sinir ağından geçirilerek girdideki nesnelerin koordinatları ve sınıfı tahmin edilmektedir. Girdiler bu işlem sırasında $N*N$ ’lik ızgaralara ayrılmaktadır. Izzaralar bünyelerinde nesne var olup olmadığını sorgular, eğer nesne var ise merkez noktasının kendi bünyesi içinde olup olmadığını sorgulanmaktadır. Daha sonrasında algoritma tarafından nesne tespit ettiği bölgenin etrafına bir çerçeve çizdirilmektedir. Çerçeve çizilen bu bölgelerde nesne bulunma olasılığı hesaplanmaktadır. Bu işlemlerin ardından her bir çerçeve için güven skoru hesaplanmıştır. Bir nesnenin yüzde kaç doğrulukla tespit edildiği nesne olması durumuna güven skoru adı verilmektedir. Güven skoru ızgara içinde nesnenin bulunma olasılığı ve IoU çarpımı ile bulunmaktadır. Bu

işlemlerden sonra ‘Non-Maximum Suppression’ adı verilen algoritma güven skoru en yüksek olan çerçevenin kalmasını ve diğer çerçevelerin silinmesini sağlamaktadır



Şekil 3. 25. Hastalıklı (yukarıda) ve sağlıklı (aşağıda) patates yaprağı örnekleri

Şekil 3’te, model eğitimi zamanı kullanılan veri setlerinden örnekler paylaşılmaktadır. Bu çalışmada YOLO algoritmasının son 3 versiyonları olan YOLOv7 YOLOv8 ve YOLOv9 modelleri kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucu en iyi performansa sahip model Görüntü İşleme modülü için tercih edilmektedir.

3.3.1.1. Hastalık tespiti için donanımsal ve yazılımsal tasarım

Görüntü İşleme modülünün tasarımı donanımsal ve yazılımsal tasarım olarak 2 kısımdan oluşmaktadır. Modülün donanımsal tasarımında kullanılan ekipmanlar ve özellikleri aşağıda verilmektedir.

1) Raspberry Pi 4 Model B: (4 GB RAM). Bir önceki sürümleri olan Raspberry Pi 3 A+ ve Raspberry Pi 3 B+ ile geriye dönük uyumluluğunu korurken, işlemci hızı, çoklu medya sistem performansını, sistem belleğini ve özelliklerini artırarak geniş çaplı uygulama özelliğini artırmıştır. Cihaz hesaplamaları gerçekleştirmek ve diğer komponentleri kontrol etmek için kullanılmaktadır. Geleneksel yöntem ve görüntü işleme tekniklerinde

kullanılan araçlara kıyasla oldukça düşük bir maliyetle kullanılabilmektedir. Gelişmiş program ve algoritmaları çalıştırma yeteneği nedeniyle çalışma kapsamında kullanılması tercih edilmiştir.

2) Raspberry Pi uyumlu Kamera Modülü: Raspberry Pi Kamera v2, yüksek kaliteli 8 megapiksel bir kameradır. Kamera, Raspberry Pi'nin Kamera Seri Arabirimi (CSI) veri yoluna esnek bir şerit kablosu aracılığıyla bağlanan küçük bir devre kartından (25mm x 23mm x 9mm) oluşmaktadır. Yüksek kaliteli ve küçük boyutlu olması canlı bir video akışı için nesne tespiti uygulamasını uygun hale getirmektedir.

3) Web kamerası SPC520NC/00: Görüntü kalitesi 1,3 megapiksel ve 30 FPS görüntü alma hızı. Raspberry Pi uyumlu Kamera Modülü'nün kullanılamadığı durumlarda kullanılması tercih edilmiştir.

4) Servo Motor: Kamerayı istenen konuma döndürmek için servo motor kullanılmaktadır. Servo motor, bir sinyal telinden gelen kontrol darbelerine yanıt olarak belirli bir yönde dönebilir ve belirli bir konumu veya açığı koruyabiliyor. Burada sıra numarasına göre namlunun 0° ve 180° konumlanması için kullanılmaktadır.

5) Kamera Tutucu: Kamerayı araca sabitlemek için kamera tutucu direk kullanılmıştır. Tutucu direk üzerine hem kamera başlığı hem de ilaçlama namlusu yerleştirilmiştir.

6) Motor sürücü devresi: Kamera tutucu ve ilaçlama namlusunun uygun konuma döndürülmesi için kullanılan servo motoru kontrol etmek için kullanılmaktadır.

Görüntü İşleme modülü için yazılımsal tasarım aşağıda verilmektedir.

1) Veri setlerinin toplanması

Veri setleri Kaggle platformundan 'Fungi' , 'Early Blight' ve 'Late Blight' gibi ilgili hastalık isimleri üzerinden toplanmıştır. Bu görüntü verileri etiketlenmemiş durumda 'PlantVillage ve 'New Plant Disease' veri setlerinden elde edilmiştir.

2) Verilerin etiketlenmesi:

Elde edilen veriler Anaconda terminali üzerinden, labelImg fonksiyonu kullanılarak toplu olarak 'defective' etiketi ile etiketlenmiştir. Her bir veri için .txt dosyası oluşturulmuş ve YOLO için uygun format sağlanmıştır.

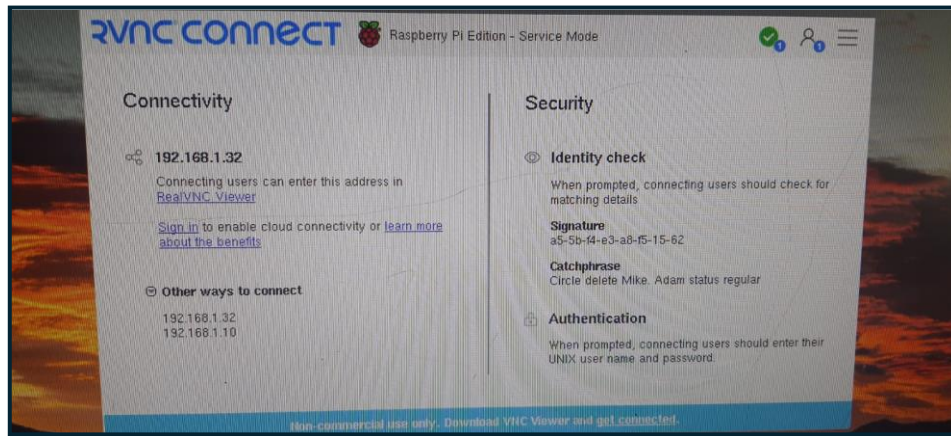
3) Verilerin çoğaltılması ve bölünmesi

Veri setleri etiketlendikten sonra çoğaltma ve bölünme işlemi gerçekleştirilmiştir. Veri setinin oluşturulması işlemi şekil 3.6'da verilmektedir

Elde edilen veriler işlendikten sonra uygun formatda Google Drive üzerinden eğitim ortamına aktarılmış ve Google Colab üzerinden bütün işlemler gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada OpenCV kütüphanesi, özellikleri belirlenen bir nesnenin anlık videoda takip edilmesinde kullanılmaktadır. OpenCV (Açık Kaynak Bilgisayarlı Vizyon Kütüphanesi) C ++, Python ve Java arayüzlerine sahiptir.

Bu projede, RaspBerry'e erişimin uzaktan sağlanması için VNC(Virtual Network Connection, Sanal Ağ Bağlantısı) uygulaması kullanılmaktadır. Bu doğrultuda RaspBerry'de bulunan VNC sunucusu ve bilgisayara yüklenen RealVNC VNC Viewer (VNC görüntüme uygulaması) kullanılmıştır.



Şekil 3. 26. VNC Uygulamasının Raspberry Pi'deki Görüntüsü

VNC, başka bir bilgisayarı uzaktan kontrol etmek için Uzak Çerçeve Arabelleği protokolünü (RFB) kullanan grafiksel bir masaüstü paylaşım sistemidir. Klavye ve fare

girişini bir bilgisayardan diğerine aktararak grafik ekran güncellemelerini bir ağ üzerinden iletmektedir. VNC, Raspberry Pi işletim sisteminde kurulu olarak bulunmaktadır. Şekil 3.26’da VNC Uygulamasının Raspberry Pi’deki görüntüsü verilmektedir.

3.3.1.2. Yolov7, Yolov8 ve Yolov9 algoritmaları ile hastalık tespiti

Yolov7, Yolov8 ve Yolov9 modellerinin her üçünün eğitimi gerçekleştirildi. Her üç model için 50 epoch , 64 batchsize ve 16 subdivision ayarı yapıldı. Her iki hastalık türü için ayrı-ayrı toplam 4772 resim verisi kullanıldı. Veri setlerinin ayırımı tablo 3.9’da verilmektedir. Her aşama için Ortalama Kesinlik (mAP) ve Doğrulma kayıp (valLoss) grafiği değerleri elde edilmiştir. Konfigürasyon dosyasındaki parametreleri ayarladıktan ve ilgili dosyaları aktardıktan sonra, Google Colab’ın çalışma zamanı GPU’ya geçirildi ve daha hızlı eğitim ve geliştirilmiş performans sağlanmaktadır. Eğitim sürecini optimize etmek ve modellerin performansını artırmak için, önceden eğitilmiş ağırlıklar Github platformu üzerinden indirilip Google Colab’a eklendi ve transfer öğrenme yöntemi kullanıldı.

Tablo 3. 9. Veri seti sayıları

Hastalık türü	Eğitim verisi sayısı	Test veri sayısı	Doğrulama veri sayısı
Early Blight	3702	1070	1070
Late Blight	3702	1070	1070

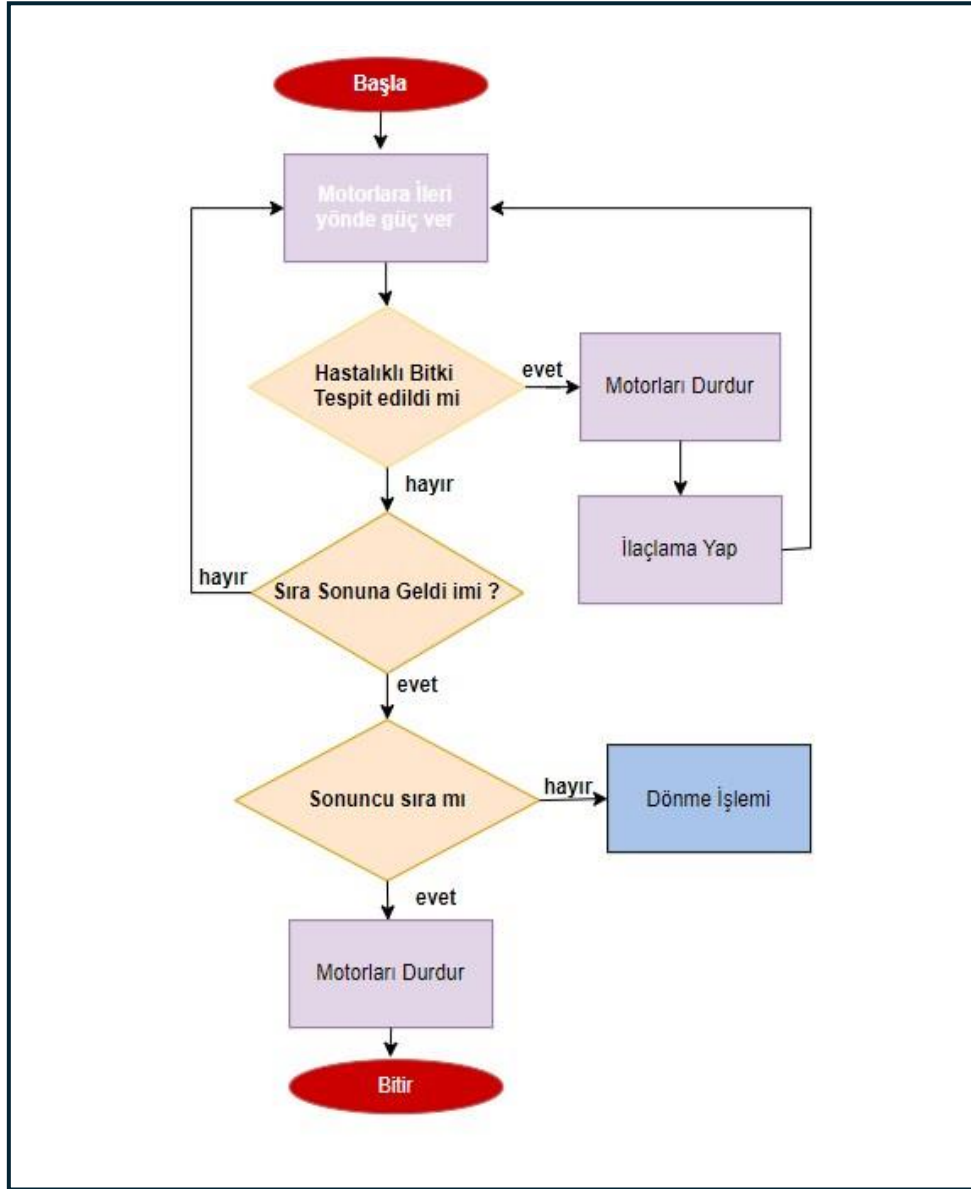
Patates bitkisi için veri setleri oluşturulurken ‘Plant Village’ ve ‘New Plant Disease’ veri setleri birleştirilerek kullanıldı. Hazırlıklar tamamlandıktan sonra, eğitim süreci başlatıldı. Eğitim aşaması boyunca, tüm ağırlık güncellemeleri Google Drive’da bir yedek klasörde kaydedildi. Böylelikle, Google Colab bağlantısı kesilse bile elde edilen ilerlemeler korunmaktadır. Şekil 3.25’de eğitim zamanı kullanılan hastalıklı (yukarıda) ve sağlıklı (aşağıda) patates yaprağı örnekleri tek bir karede verilmektedir.

3.3.2 Otomatik İlaçlama Tekniği

Depoda bulunan ilaç, su pompası yardımıyla sert kauçuktan imal edilen plastik kanallardan tasarlanan gövde üzerine eklenen namlu kullanılarak püskürtme şeklinde hastalık tespit edilen patates bitkisinin gövdesine nozul ile ilaçlama işleminde kullanılmaktadır.

Araç üzerine monte edilen görüntü işleme modülünün tespit ettiği hastalıklı bitkinin ilaçlanmasında kullanılacak kimyasal sıvının saklandığı 50x150 mm'lik silindir şekilli haznedir. Hastalık tespit edildiği zaman aracın izleyeceği algoritma, şekil 2.8'de verilmektedir. İlaçlama zamanı ilaçlama modülü 1 sn'lik bir süreyle kimyasal püskürtmesi yapmaktadır. Şekil.3.27'de otomatik ilaçlama algoritması akış şeması verilmektedir.

İlaçlama modülü silindir şekilli 750 mm'lik hazne, 0.5 m şeffaf plastik boru, 2.5-6 V çalışma gerilimine sahip su pompası, plastik namlu ve uygulama için seçilmiş kimyasal sıvıdan oluşmaktadır.



Şekil 3. 27. Otomatik ilaçlama algoritması akış şeması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitki hastalıklarının ürün verimliliyi bakımından başlıca sorunlardan biri olduğu bilinen bir gerçektir. Bu sorunu çözmek için genellikle, çevre için zararlı kimyasallar içeren pestisitlerin bitkilere püskürtülmesiyle yapılan geleneksel püskürtme yöntemleri kullanılmaktadır. Geleneksel ilaçlama yöntemlerinin kullanılması tarımsal zararlılarla mücadelede çözüm üretmiş olsa da hassas tarım uygulamaları için uygun değildir. Gereğinden fazla yapılan ilaçlama işlemi, kaynakların doğru kullanılmamasına ve bitkinin gereğinden fazla kimyasala maruz kalmasına sebep ola bilmektedir. İş gücü ve kaynakların doğru bir şekilde kullanılması tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirlik açısından karşılaşılabileceği riskleri zayıflatabilir.

Geleneksel yöntemlerin eksiklikleri göz önünde bulundurularak, bu tezde, yaygın olarak kullanılan geleneksel yöntemlerden daha az kimyasal kullanan ve hastalık tespiti yapılan bitkilere yerinde ilaçlama işlemi uygulayan otonom aracın geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, ilaçlama uygulamalarının bitkiler üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak amacıyla otomatik ilaçlama sistemi geliştirilmiştir. Bu amaçla, Yolo algoritması kullanarak hastalıklı patates bitkisi tespiti yapabilen görüntü işleme ve otomatik ilaçlama modülüne sahip bir insansız kara aracı (İKA) tasarımı gerçekleştirilmiştir.

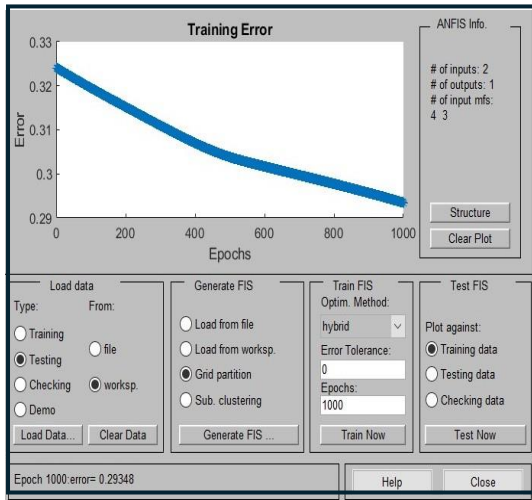
Otonom sürüş için kararverme süreci ANFIS yöntemi ile yapılmaktadır. Tasarlanan sistem otonom sürüş için hareket kontrolünü sağlamakla istenen performansı göstermektedir.

Hastalık tespiti yapmak için Yolo algoritmasının son 3 versiyonu karşılaştırmalı bir şekilde tasarlanmış ve en iyi sonuca sahip Yolov8 algoritması bu işlem için seçilmiştir.

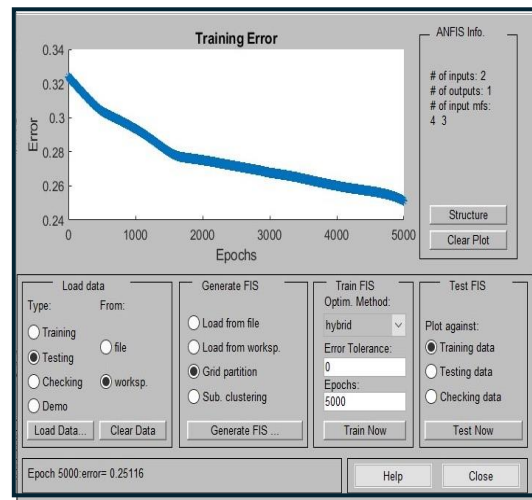
Tasarımın tamamlanması ardından deneysel test işlemleri gerçekleştirilmiş ve beklenen performans sağlanmıştır. İKA tasarımında en çok karşılaşılan problem donanımsal özelliklerden kaynaklanmaktadır. Fiziksel koşullara uygun tasarımın yapılması ve ekipmanların seçilmesi çalışmanın iyileştirilmesi bakımından önem arz etmektedir.

4.1. ANFIS ile Eğitilen Modelin Test Grafik Sonuçları.

ANFIS modelinin eğitimi sonrası elde edilen bulgular, grafik sonuçları bu bölümde verilmektedir. Elde edilen bulgular, modelin performans değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Model 1000 ve 5000 aşama ile (epoch) ile eğitimi gerçekleştirilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Modelin eğitimi sırasında, 5000 aşama sonrası sistemin ortalama hata değeri 0.25 olarak sabit kaldığı için daha fazla eğitim aşamasına ihtiyaç duyulmamaktadır.



Şekil 4. 1(a). ANFIS modelinin eğitim hata grafiği (1000)

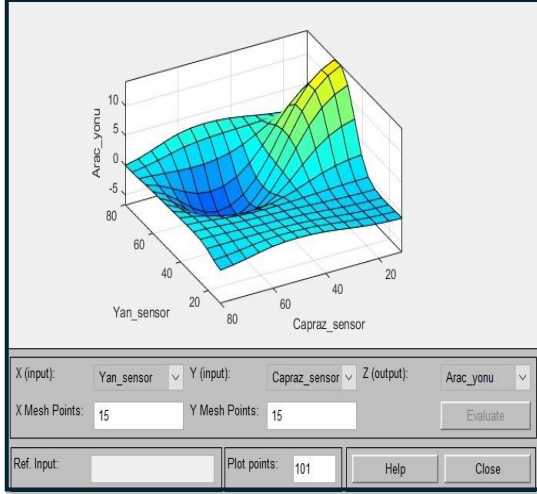


Şekil 4.1(b). ANFIS modelinin eğitim hata grafiği (5000).

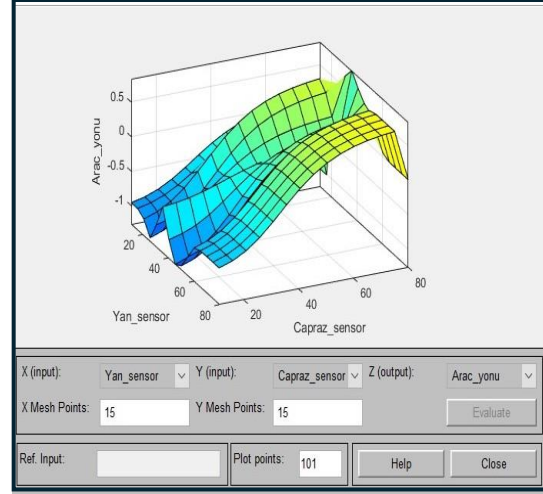
Şekil 4.1’de, eğitilen modelin 1000 ve 5000 aşama ile eğitildikten sonra ortalama hata grafiği gösterilmektedir. 1000 aşama ile eğitilen model için ortalama hata değeri 0.2935 (Şekil 4.1(a)), 5000 aşama ile eğitilen modelin ortalama hata değeri 0.2512’dir (Şekil 4.1(b)). Modelin 5000 aşamadan biraz fazla eğitimi sonrası ortalama hata değeri 0.2505 değerini bulurken, füzuli bir fark olmadığından eğitim aşaması en fazla 5000 aşama olarak tercih edilmiştir.

Şekil 4.2’de, modelin eğitimi sonrası oluşturulan bulanık mantık kurallarının yüzey sonuç grafiği verilmiştir. Şekil 4.2(a)’da modelin yüzey grafiğinin yan sensör ve çapraz sensör girişleri için 0 ile 40 cm ve 70 ile 80 cm arasındaki mesafeler için daha doğru sonuçlar tahmin ederken, diğer mesafe değerleri için daha karmaşık sonuçlar elde edildiği gözlemlenmektedir. Burada, araç yönü için tahmin edilen değerler -1 ve 1 arasındaki

değerleri aştığı gözlemleniyor. Şekil 4.2(b)'de, modelin 5000 aşama eğitimi ile edilen yüzey grafiği verilmektedir. Modelin yan ve çapraz sensör verileri ilde elde edilen sonuç yüzey grafiği her bir mesafe için orantılı sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Araç yönü için tahmin edilen -1 ve 1 arasındaki değerlerin aşılmadığı gözlemlenmektedir.

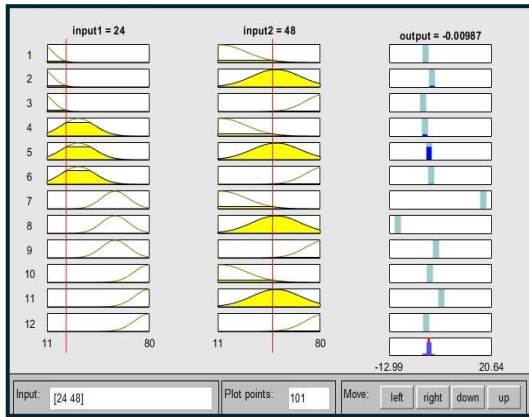


Şekil 4. 2(a). ANFIS modelinin sonuç yüzey grafiği (1000)

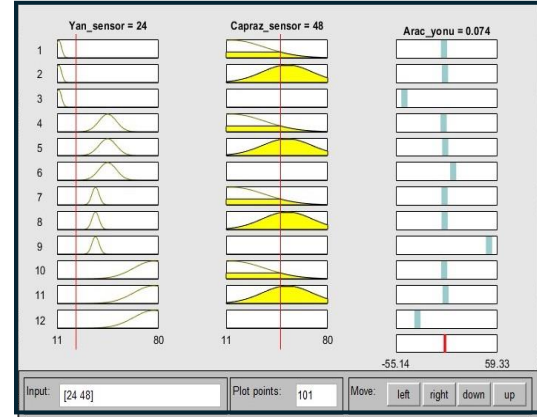


Şekil 4.2(b). ANFIS modelinin sonuç yüzey grafiği (5000).

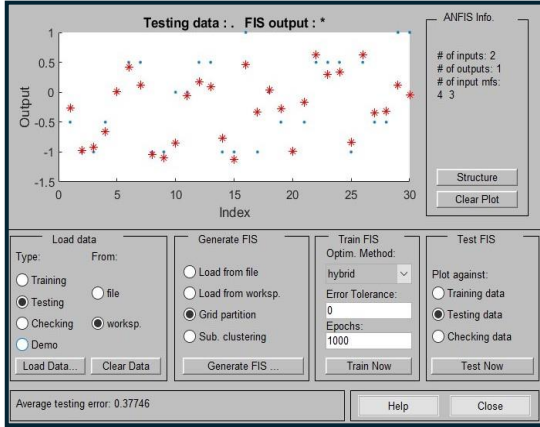
Şekil 4.3'de, model için bulanık kuralların ve bu kuralların durulaştırma işlemlerinin grafiksel ifadesi verilmektedir. Modelin 1000 aşama ve 5000 aşama eğitimi sonrası elde edilen sonuçların her ikisinin, ilk gözlem sonrası, kullanılabilir olduğu gözlemlenmektedir. Örneğin her iki model için verilen giriş değerleri için elde edilen sonuçlar farklı olsa da, her iki sonuç aracın istene yönde hareket etmesini sağlamaktadır.



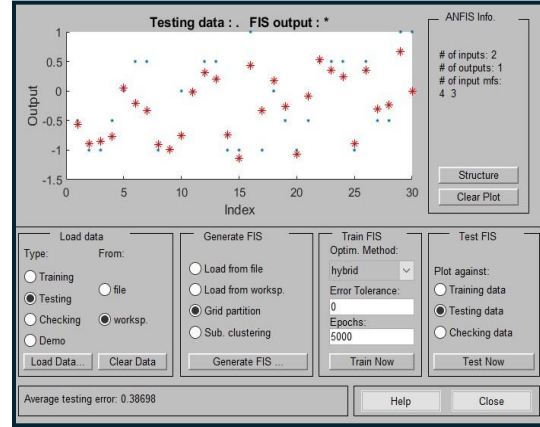
Şekil 4. 3. ANFIS modeli için bulanık kurallar(1000)



Şekil 4.3(b). ANFIS modeli için bulanık kurallar(5000).

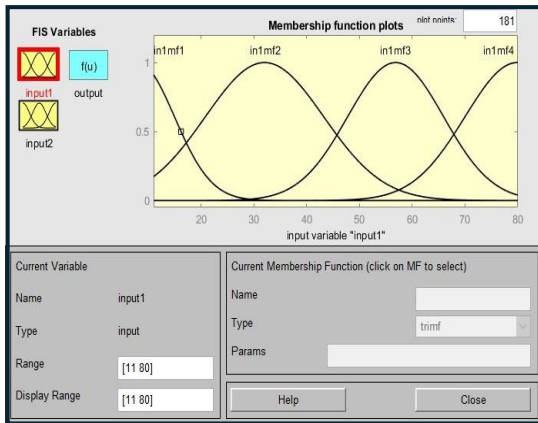


Şekil 4. 4(a). ANFIS modelinin test sonuçları (1000)

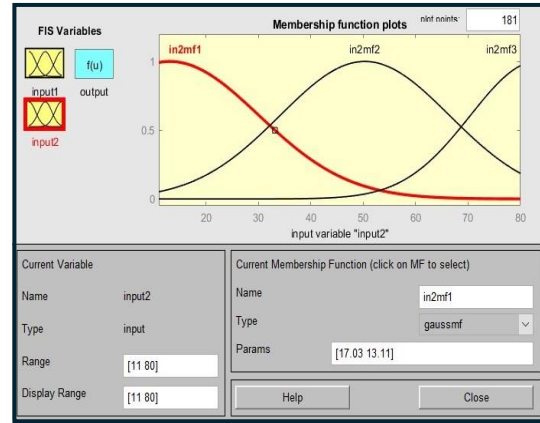


Şekil 4.4(b). ANFIS modelinin test sonuçları (5000).

Şekil 4.4’de, ayrılan test veri seti ile eğitilen modelin test sonuçları verilmiştir. 1000 aşama ile eğitilen modelin test verileri ile test edildikten sonraki ortalama hata değeri 0.3775 çıkmıştır. Bu değer, model 5000 aşama ile eğitildikten sonra yapılan test işleminden sonra 0.38698 olarak elde edilmiştir. Her iki model için hata değeri kabuledilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 5(a). Giriş 1 için oluşturulan üyelik fonksiyonları



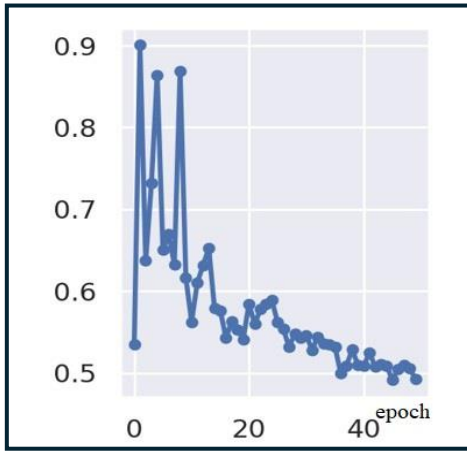
Şekil 4.5(b). Giriş 2 için oluşturulan üyelik fonksiyonları.

Şekil 4.5’de, model eğitildikten sonra elde edilen üyelik fonksiyonları verilmektedir. ANFIS modeli eğitildikten sonra elde edilen bu fonksiyonlar, modelin eğitim aşamasından önce belirlenen şartları karşıladığı gözlemlenmektedir. Model eğitimi aşamasında , üyelik fonksiyonu olarak ‘gauss’ üyelik fonksiyonu (gaussmf) tercih edilmiştir.

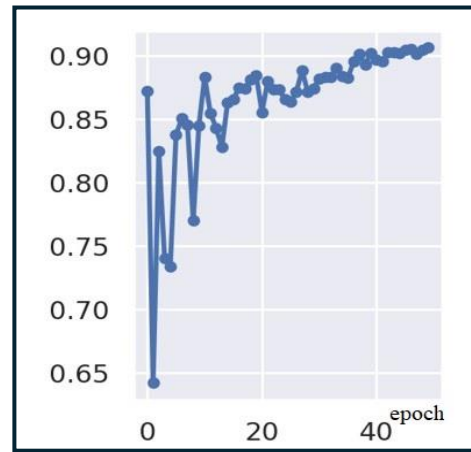
4.2. YOLO ile Eğitilen Modelin Test Grafik Sonuçları

YOLO algoritmasının eğitimi sonrası elde edilen bulgular ve grafik sonuçları bu bölümde verilmektedir. Elde edilen bulgular, modelin performans değerlendirilmesi için kullanılmaktadır.

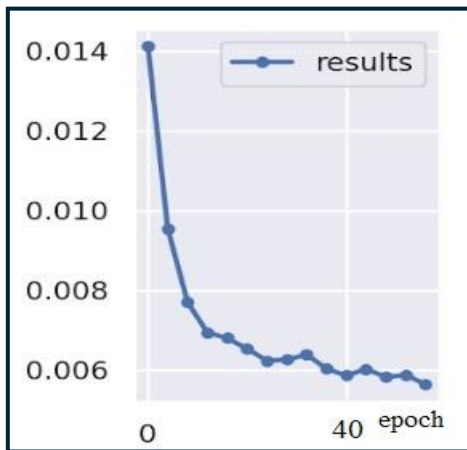
Patates bitkisinde erken hastalık teşhisi yapması için tasarlanan model , optimum seviyede performans sağlamıştır. Eğitilen 3 model için ortalama doğruluk ($mAp@0.5$) ve doğrulama kayıp (val_loss) değerleri hesaplanmış ve istenen değerler elde edilmiştir. Şekil 4.6’da gösterilen grafiğe göre Yolov7 beklenen ortalama doğruluk ($mAp@0.5$) değerini korumuş ve yeterli bir performans sağladığı görülmektedir.



Şekil 4. 6(a). Yolov7 doğrulama kayıp (val_loss) grafiği .



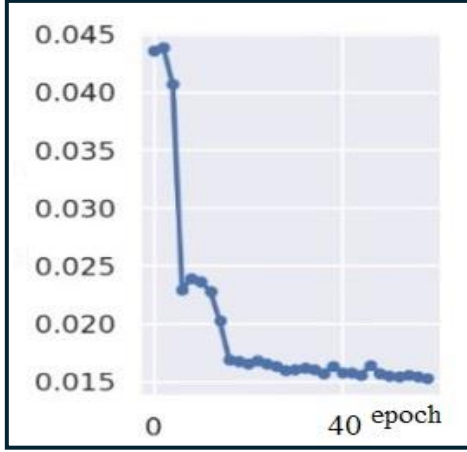
Şekil 4.6(b) Yolov7 ortalama doğruluk ($mAp@0.5$) grafiği.



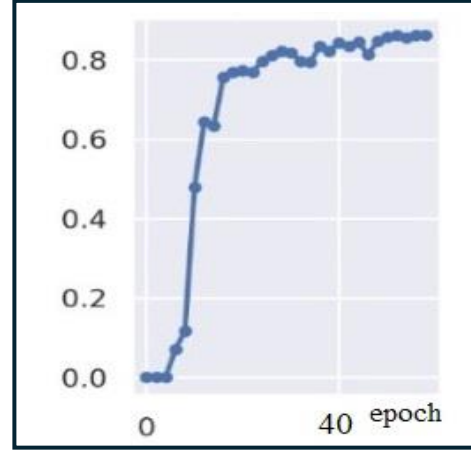
Şekil 4. 7(a). Yolov8 doğrulama kayıp (val_loss) grafiği



Şekil 4.7(b) Yolov8 ortalama doğruluk ($mAp@0.5$) grafiği .

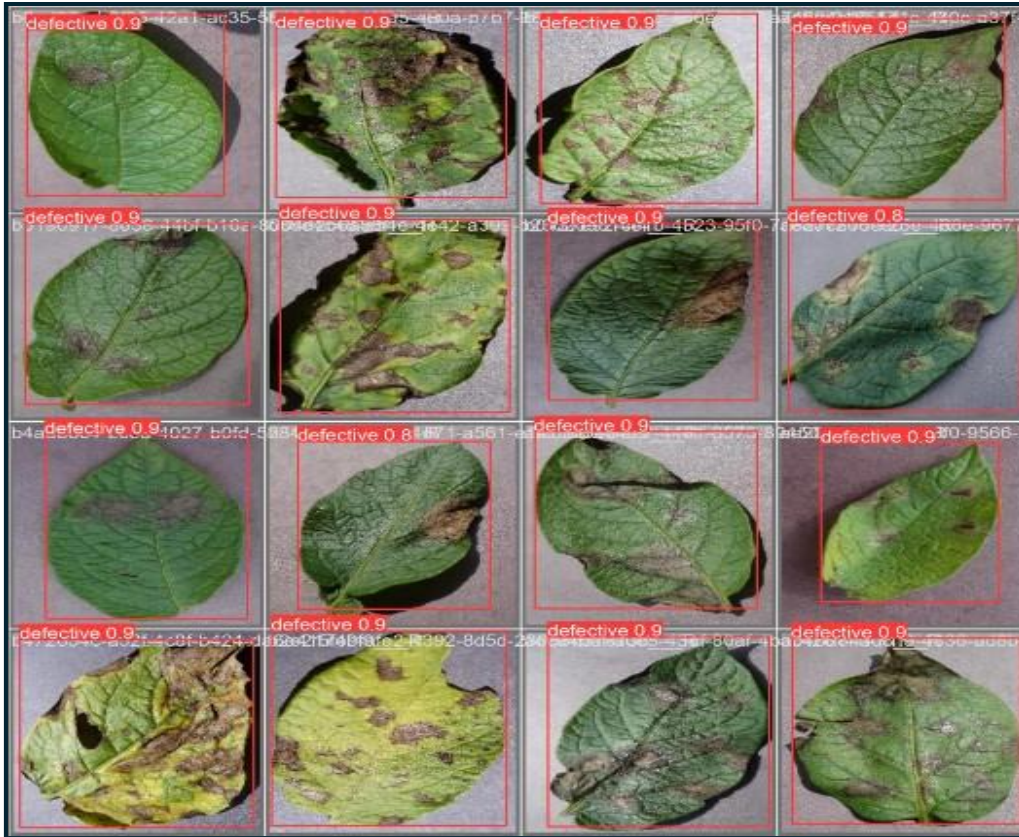


Şekil 4. 8. Yolov9 doğrulama kayıp (val_loss) grafiği



Şekil 4.8(b) Yolov9 ortalama doğruluk (mAp@0.5) grafiği.

Şekil 4.7 ve şekil 4.8’de sırasıyla Yolov8 ve Yolov9 sonuç grafikleri gösterilmektedir. Yolov7 ile kıyasla daha fazla ortalama doğruluk değerlerine sahip olmakla daha iyi performans sağladıkları müşahade edilmektedir.



Şekil 4. 9. Doğrulama verilerinin %90’lık başarımı

Eğitilen modeller içerisinde Yolov8 daha kararlı ve yüksek ortalama doğruluk değerlerine sahip olduğu görünmektedir. Doğrulama kayıp (val_loss) değerleri her üç model için istenen değerlerde olsa da, Yolov7 daha az kayıp değerine sahip. Yolov7 ve Yolov8 modellerine kıyasla, Yolov9 modeli daha yüksek ortalama doğruluk değerlerine ($mAp@0.5 = +90\%$) sahip olsa da kayıp değerlerine de bakılacak olursa kararlılık bakımından değişken (sallantılı) değerlere sahip olduğu gözlemlenmektedir.

şekil 4.9’da, doğrulama verileri (validasyon verileri) ile elde edilen %90’lık başarım gösterilmektedir. Gsterdđi yeterli performans sebebi ile, hastalık tespiti işlemi için Yolov8 algoritması Görüntü İşleme modülünde kullanılmak üzere tercih edilmektedir.

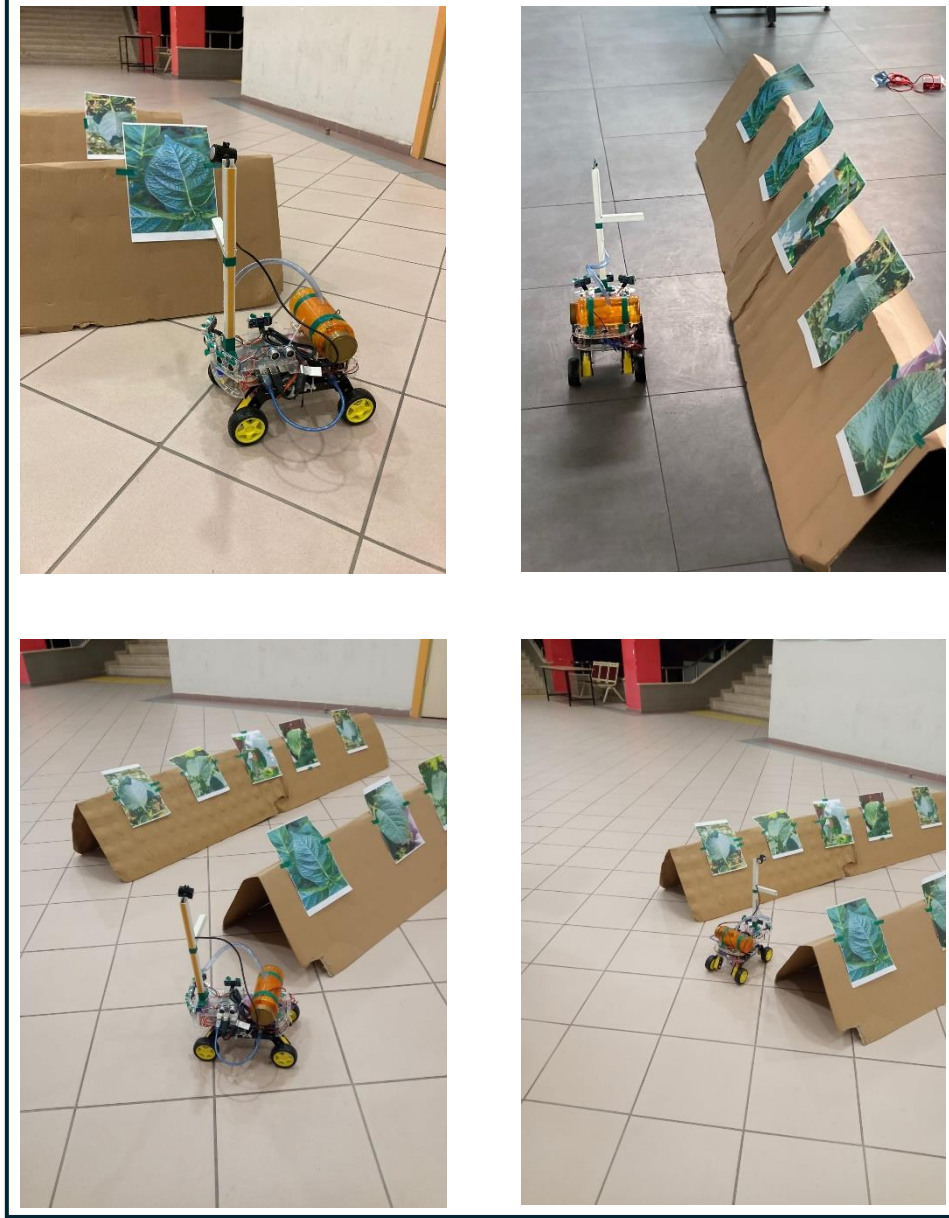
4.3. Deneyisel Test alışmaları

İKA’nın mekanik, elektronik ve yazılımsal tasarımı ve simülasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından, deneyisel test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneyisel test çalışmalarının amacı, İKA’nın ekin sırası boyunca otonom sürüş kabiliyyetini srdre bilmesi için ANFİS ile yapılan kararverme süreçlerinin, YOLO algoritması kullanılarak oluşturulan Görüntü İşleme modülünün hastalık tespitindeki başarımının ve ilaçlama işleminin gerçekleşmesi süreçlerinin test edilmesidir.



şekil 4. 10. Deney ortamının oluşturulması

İKA'nın test işlemleri için, aracın hareket edeceği ekin sırası temsili olarak 2 sıra şeklinde ve her bir sırada hastalıklı ve sağlıklı olmak üzere toplam 5 örnek olacak şekilde oluşturulmuştur. Şekil 4.10'da, İKA'nın deney alanının bir bölümü verilmektedir.



Şekil 4. 11. İKA'nın deney alanında test çalışmaları

Şekil 4.11'de, İKA'nın deney alanında test çalışmaları görüntüleri verilmektedir. İKA'nın deney alanında otonom sürüş süreçleri, hastalık tespit ve ilaçlama işlemleri test edilmiştir. Aracın sıra sonuna kadar kendi konumunu doğru bir şekilde koruması ve sıra sonu

geldiğinde dönme işlemleri gözlemlenmiştir. Sıra boyunca hastalıklı ve sağlıklı patates bitkisi örnekleri kullanılmıştır. Şekil 4.12’de, test işlemleri sürecinde , İKA ’nın hastalıklı patates yaprağı tespiti işlemi gösterilmektedir.



Şekil 4. 12. İKA’nın test işlemleri sürecinde hastalıklı patates bitkisi tespiti işlemi

Hastalık tespit işlemi gerçekleşdikten sonra, araç üzerinde bulunan ilaçlama modülü kullanılarak ilaçlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Hastalık tespiti işlemi gerçekleştiği zaman ‘hastalıklı’ bilgisi 3.5-4 sn gibi bir süre ile gecikmeli bir şekilde gerçekleştirildiğinden, ana işlemci üzerinde tasarlan algoritma ile fiili olarak çözülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bitki hastalıkları, tarımsal üretimde verimliliği önemli ölçüde etkileyen bir sorundur. Geleneksel yöntemlerle bu hastalıkların kontrol altına alınması genellikle kimyasal içerikli pestisitlerin kullanımını gerektirir. Ancak, bu yöntemler çevre için zararlı olabilir ve hassas tarım uygulamaları için uygun değildir. Ayrıca, gereğinden fazla kimyasal kullanımı, kaynakların doğru kullanılmamasına ve bitkilerin aşırı kimyasal maruziyetine yol açabilir. Bu nedenle, doğru kaynak yönetimi ve iş gücü kullanımı, tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği açısından önemlidir.

Bu bağlamda, geleneksel yöntemlerin eksikliklerini gidermek amacıyla daha az kimyasal kullanan ve hastalık tespiti yapabilen otonom bir ilaçlama aracı geliştirilmiştir. Bu araç, görüntü işleme ve otomatik ilaçlama modülüne sahip insansız bir kara aracı olarak tasarlanmıştır. Otonom sürüş için karar verme süreci ANFIS yöntemiyle gerçekleştirilirken, hastalık tespiti için YOLO algoritması kullanılmıştır.

Çalışmanın sonuçları, tasarlanan sistemde beklenen performansın sağlandığını göstermektedir. Özellikle, Yolov8 algoritması hastalık tespiti için en iyi performansı sergilemiştir. Deneysel testler, aracın hastalık tespiti ve ilaçlama işlemlerini başarıyla gerçekleştirebildiğini ortaya koymuştur.

Bu gelişmeler, tarımsal faaliyetlerde teknolojinin daha etkin kullanımını teşvik etmekte ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının önünü açmaktadır. Gelecekte, bu tür otonom araçların kullanımıyla verimlilik artabilir ve çevresel etkiler azaltılabilir.

Deneysel test işlemleri zamanı karşılaşılan problemler daha çok donanımsal karakterli sorunlar olmuştur. Bunlardan biri araç üzerinde monte edilen mesafe sensörlerinden zaman-zaman yanlış bilgileri aktarılması olmuştur. Doğruluk payı yüksek ve hassas uygulamalar için kullanılan mesafe sensörleri bu sorunu çözebilmektedir. Bu çalışma için diğer bir sorun, Raspberry Pi kullanılarak tasarlanan Görüntü İşleme modülünün zaman geçikeli olarak çalışması olmuştur. Ana işlemci üzerinden yapılan algoritma tasarımı ile karşılaşılan sorun fiili olarak giderilmiştir. Diğer bir problem ise, motor ve tekerlek arasında olan bağlantı sorunu olmuştur. Örneğin, Kararverme modülünden gelen ‘ileri’ bilgisi ana işlemci tarafından doğru yorumlansa da tekerlek hızları arasında küçük bir fark

olması ise zaman-zaman aracın hafif sağı veya sola kayması gözlemlenmiştir. İlgili donanımsal sıkıntılar giderildiği takdirde tasarlanan sistem kesintisiz olarak istenilen performansı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abatari, H. T., & Tafti, A. D. (2013, February). Using a fuzzy PID controller for the path following of a car-like mobile robot. In 2013 First RSI/ISM international conference on robotics and mechatronics (ICRoM) (pp. 189-193). IEEE.
- Abbas, I., Liu, J., Faheem, M., Noor, R. S., Shaikh, S. A., Solangi, K. A., & Raza, S. M. (2020). Different sensor based intelligent spraying systems in Agriculture. *Sensors and Actuators A: Physical*, 316, 112265.
- Abdin, Z. U., & Rachid, A. (2020, August). Modeling, identification and control of photovoltaic/thermal solar panel. In 2020 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA) (pp. 1-6). IEEE.
- Abdin, Z. U., Khan, T. I., & Shabir, M. (2021, October). Modelling and Control of Unmanned Ground Vehicle. In 2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME) (pp. 1-6). IEEE.
- Abhiram, R., & Megalingam, R. K. (2022, November). Autonomous Fertilizer Spraying Mobile Robot. In 2022 IEEE 19th India Council International Conference (INDICON) (pp. 1-6). IEEE.
- Adhav, A. B., Jagtap, V. D., Sonawane, R. R., & Gaikwad, G. K. (2019). Agricultural pesticide spraying robotic system controlled using android application. *Int J Adv Res Sci, Eng Technol*, 6(11), 11492-11495. [62-67].
- Ahmed, A. J., Babiker, A., Elhag, A., & Drar, M. (2023, November). Real-Time Agricultural Monitoring with Agrobot: A Raspberry Pi and YOLO Based Solution. In 2023 International Conference on Computer and Applications (ICCA) (pp. 1-5). IEEE.
- Akkoyun, Fatih. "Design and Development of an Unmanned Aerial and Ground Vehicles for Precision Pesticide Spraying." Doctoral Thesis, February 07, 2020. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/252931>.
- Altaş, İ. H. (1999). Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62(1), 80-85.
- Amiri, M. S., Ibrahim, M. F., & Ramli, R. (2020). Optimal parameter estimation for a DC motor using genetic algorithm. *Int. J. Power Electron. Drive Syst*, 11(2), 1047-1054.
- Aravind, K. R., Raja, P., & Pérez-Ruiz, M. (2017). Task-based agricultural mobile robots in arable farming: A review. *Spanish journal of agricultural research*, 15(1), e02R01-e02R01.
- Ay, F., & İnce, G. (2015, May). Application of pesticide using unmanned aerial vehicle. In 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1268-1271). IEEE.

- Beloiu, R. (2014, October). Dynamic determination of DC motor parameters-Simulation and testing. In *Proceedings of the 2014 6th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)* (pp. 13-18). IEEE.
- Berenstein, R., & Edan, Y. (2017). Automatic adjustable spraying device for site-specific agricultural application. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15(2), 641-650.
- Bonadies, S., Lefcourt, A., & Gadsden, S. A. (2016, May). A survey of unmanned ground vehicles with applications to agricultural and environmental sensing. In *Autonomous air and ground sensing systems for agricultural optimization and phenotyping* (Vol. 9866, pp. 142-155). SPIE.
- Borase, R.P., Maghade, D.K., Sondkar, S.Y. et al. A review of PID control, tuning methods and applications. *Int. J. Dynam. Control* 9, 818–827 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40435-020-00665-4>
- Bre, F., Gimenez, J. M., & Fachinotti, V. D. (2018). Prediction of wind pressure coefficients on building surfaces using artificial neural networks. *Energy and Buildings*, 158, 1429-1441.
- Campbell, S., O'Mahony, N., Carvalho, A., Krpalkova, L., Riordan, D., & Walsh, J. (2020, February). Path planning techniques for mobile robots a review. In *2020 6th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering (ICMRE)* (pp. 12-16). IEEE.
- Cantelli, L., Bonaccorso, F., Longo, D., Melita, C. D., Schillaci, G., & Muscato, G. (2019). A small versatile electrical robot for autonomous spraying in agriculture. *AgriEngineering*, 1(3), 391-402.
- Chao, C. T., Sutarna, N., Chiou, J. S., & Wang, C. J. (2017). Equivalence between fuzzy PID controllers and conventional PID controllers. *Applied Sciences*, 7(6), 513.
- Chitraningrum, N., Banowati, L., Herdiana, D., Mulyati, B., Sakti, I., Fudholi, A., Saputra, H., Farishi, S., Muchtar, K., & Andria, A. (2024). Comparison Study of Corn Leaf Disease Detection based on Deep Learning YOLO-v5 and YOLO-v8 . *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 56(1), 61–70. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.1.5>
- Choomuang R, Afzulpurkar N. Hybrid Kalman Filter/Fuzzy Logic based Position Control of Autonomous Mobile Robot. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 2005;2(3). doi:10.5772/5789
- Choudhary, A., Kobayashi, Y., Arjonilla, F. J., Nagasaka, S., & Koike, M. (2021, January). Evaluation of mapping and path planning for non-holonomic mobile robot navigation in narrow pathway for agricultural application. In *2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)* (pp. 17-22). IEEE.

- Chwa, D. (2010). Tracking control of differential-drive wheeled mobile robots using a backstepping-like feedback linearization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 40(6), 1285-1295.
- Denai, M. A., Palis, F., & Zeghib, A. (2004, October). ANFIS based modelling and control of non-linear systems: a tutorial. In 2004 IEEE International conference on systems, man and cybernetics (IEEE Cat. No. 04CH37583) (Vol. 4, pp. 3433-3438). IEEE.
- Dernoncourt, F. (2013). Introduction to fuzzy logic. *Massachusetts Institute of Technology*, 21, 50-56.
- Dewi, T., Risma, P., Oktarina, Y., & Roseno, M. T. (2017, September). Neural network controller design for a mobile robot navigation; A case study. In 2017 4th international conference on electrical engineering, computer science and informatics (EECSI) (pp. 1-5). IEEE.
- Dou, H., Zhang, C., Li, L., Hao, G., Ding, B., Gong, W., & Huang, P. (2018, September). Application of variable spray technology in agriculture. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 186, No. 5, p. 012007). IOP Publishing.
- Du, X., Li, X., Liu, D., & Dai, B. (2016, July). Path planning for autonomous vehicles in complicated environments. In 2016 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES) (pp. 1-7). IEEE.
- Dung, L., & Toan, T. (2020). Research on disease detection systems in tomato plants using artificial intelligence. *International Journal of Computer Applications*, 175(36), 1-10.
- Erdal, H., & Doğan, B. (2012). Dc Motor Parametrelerinin Deney Tabanlı Belirlenmesi Ve Parametre Belirleme Sonuçlarının İyileştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(3).
- Galceran, E., & Carreras, M. (2013). A survey on coverage path planning for robotics. *Robotics and Autonomous systems*, 61(12), 1258-1276.
- Gao, X., Li, J., Fan, L., Zhou, Q., Yin, K., Wang, J., ... & Wang, Z. (2018). Review of wheeled mobile robots' navigation problems and application prospects in agriculture. *IEEE access*, 6, 49248-49268.
- Gonzalez-De-Santos, P., Fernández, R., Sepúlveda, D., Navas, E., & Armada, M. (2020). Unmanned ground vehicles for smart farms. *Agron.-Clim. Chang. Food Secur*, 6, 73.
- Güneri, A. F., Ertay, T., & Yücel, A. (2011). An approach based on ANFIS input selection and modeling for supplier selection problem. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 14907-14917.

- Haznedar, B., Arslan, M. T., & Kalinli, A. (2021). Optimizing ANFIS using simulated annealing algorithm for classification of microarray gene expression cancer data. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 59, 497-509.
- Jagtap, P., & Pillai, G. N. (2014, February). Comparison of extreme-ANFIS and ANFIS networks for regression problems. In 2014 IEEE International Advance Computing Conference (IACC) (pp. 1190-1194). IEEE.
- Jali, M. H., Mustafa, N. E. S., Izzuddin, T. A., Ghazali, R. and Jaafar, H. I., “ANFIS-PID controller for arm rehabilitation device,” *Int. J. Eng. Technol.* 7(5), 1589–1597 (2015).
- Jang, J. S. (1996, September). Input selection for ANFIS learning. In *Proceedings of IEEE 5th international fuzzy systems* (Vol. 2, pp. 1493-1499). IEEE.
- Jang, J.-S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665-685. doi: 10.1109/21.256541.
- Jiacong Xu, Zixiang Xiong, Shankar P. Bhattacharyya; *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2023, pp. 19529-19539
- Karataş, F., Koyuncu, İ., Tuna, M., & Alçın, M. (2020). Bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının fpga üzerinde gerçekleştirilmesi. *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 1-9.
- Kavraki, L. E., & LaValle, S. M. (2016). Motion planning. In *Springer handbook of robotics* (pp. 139-162). Cham: Springer International Publishing.
- Knospe, C. (2006). PID control. *IEEE Control Systems Magazine*, 26(1), 30-31.
- Ko, M. H., Ryuh, B. S., Kim, K. C., Suprem, A., & Mahalik, N. P. (2014). Autonomous greenhouse mobile robot driving strategies from system integration perspective: Review and application. *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, 20(4), 1705-1716.
- Komasilovs, V., Stalidzans, E., Osadcuks, V., & Mednis, M. (2013, November). Specification development of robotic system for pesticide spraying in greenhouse. In 2013 IEEE 14th International symposium on computational intelligence and informatics (CINTI) (pp. 453-457). IEEE.
- Kumar, V., Nakra, B. C., & Mittal, A. P. (2011). A review on classical and fuzzy PID controllers. *International Journal of Intelligent Control and Systems*, 16(3), 170-181.
- Lekkas, A. M. (2014). Guidance and path-planning systems for autonomous vehicles.
- Li X, Zhou Y, Liu J, Wang L, Zhang J and Fan X (2022) The Detection Method of Potato Foliage Diseases in Complex Background Based on Instance Segmentation and

Semantic Segmentation. *Front. Plant Sci.* 13:899754. doi: 10.3389/fpls.2022.899754

- Li, X., Giles, D. K., Niederholzer, F. J., Andaloro, J. T., Lang, E. B., & Watson, L. J. (2021). Evaluation of an unmanned aerial vehicle as a new method of pesticide application for almond crop protection. *Pest Management Science*, 77(1), 527-537.
- Liem, D. T., & Ahn, K. K. (2012, October). DC motor parameters identification and sensorless torque estimation using Fuzzy PID. In 2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems (pp. 76-81). IEEE.
- Lin, T. Y., Liao, C. J., & Kacprzyk, J. (Eds.). (2023). *Granular, Fuzzy, and Soft Computing*. Springer Nature.
- Liuping Wang, "Basics of PID Control," in *PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink*, IEEE, 2020, pp.1-30, doi: 10.1002/9781119469414.ch1.
- Malu, S. K., & Majumdar, J. (2014). Kinematics, localization and control of differential drive mobile robot. *Global Journal of Research In Engineering*, 14(1), 1-9.
- Mandow, A., Martinez, J. L., Morales, J., Blanco, J. L., Garcia-Cerezo, A., & Gonzalez, J. (2007, October). Experimental kinematics for wheeled skid-steer mobile robots. In 2007 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (pp. 1222-1227). IEEE.
- Maulana, E., Muslim, M. A., & Zainuri, A. (2014, August). Inverse kinematics of a two-wheeled differential drive an autonomous mobile robot. In 2014 Electrical Power, Electronics, Communications, Control and Informatics Seminar (EECCIS) (pp. 93-98). IEEE.
- Meshram, A. T., Vanalkar, A. V., Kalambe, K. B., & Badar, A. M. (2022). Pesticide spraying robot for precision agriculture: A categorical literature review and future trends. *Journal of Field Robotics*, 39(2), 153-171.
- Mester, G. (2006, June). Intelligent Mobile Robot Controller Design. In 2006 International Conference on Intelligent Engineering Systems (pp. 282-286). IEEE.
- Moysiadis, V., Tsolakis, N., Katikaridis, D., Sørensen, C. G., Pearson, S., & Bochtis, D. (2020). Mobile robotics in agricultural operations: A narrative review on planning aspects. *Applied Sciences*, 10(10), 3453.
- Mustak, A., Ma, H., Song, L., & Jin, Y. (2022). Embedded design of automatic pesticide spraying Robot control system. *arXiv preprint arXiv:2210.13689*.
- Myint, C., & Win, N. N. (2016). Position and velocity control for two-wheel differential drive mobile robot. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, 5(9), 2849-2855.

- Nayak, B., & Sahu, S. (2019). Parameter estimation of DC motor through whale optimization algorithm. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 10(1), 83.
- Oksanen, T., & Visala, A. (2009). Coverage path planning algorithms for agricultural field machines. *Journal of field robotics*, 26(8), 651-668.
- Olorunshola, O. E., Irhebhude, M. E., & Ewwiekpaefe, A. E. (2023). A comparative study of YOLOv5 and YOLOv7 object detection algorithms. *Journal of Computing and Social Informatics*, 2(1), 1-12.
- ORMAN, K., & DERDIYOK, A. (2017). Speed and direction angle control of four wheel drive skid-steered mobile robot by fractional order sliding-mode control. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1(1), 38-46.
- Parhi, D. R., & Deepak, B. B. V. L. (2011). Kinematic model of three wheeled mobile robot. *Journal of Mechanical Engineering Research*, 3(9), 307-318.
- Petrov, M., Ganchev, I., & Taneva, A. (2002, September). Fuzzy PID control of nonlinear plants. In *Proceedings First International IEEE Symposium Intelligent Systems* (Vol. 1, pp. 30-35). IEEE.
- Raja, P., & Pugazhenth, S. (2012). Optimal path planning of mobile robots: A review. *International journal of physical sciences*, 7(9), 1314-1320.
- Rezazadeh, S., Ardestani, M. A., & Sadeghi, P. S. (2013, December). Optimal attitude control of a quadrotor UAV using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). In *The 3rd International Conference on Control, Instrumentation, and Automation* (pp. 219-223). IEEE.
- Rivera, Z. B., De Simone, M. C., & Guida, D. (2019). Unmanned ground vehicle modelling in Gazebo/ROS-based environments. *Machines*, 7(2), 42.
- Salah, M. S. (2009). Parameters identification of a permanent magnet DC motor. *The Islamic University of Gaza*, 94.
- Sankardoss, V., & Geethanjali, P. (2017). Parameter estimation and speed control of a PMDC motor used in wheelchair. *Energy Procedia*, 117, 345-352.
- Santos, L. C., Santos, F. N., Pires, E. S., Valente, A., Costa, P., & Magalhães, S. (2020, April). Path planning for ground robots in agriculture: A short review. In *2020 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)* (pp. 61-66). IEEE.
- Scivoli, S. (2020). Modelling, control and simulation of an unmanned ground vehicle for agriculture 4.0 (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).
- Shalal, N., Low, T., McCarthy, C., & Hancock, N. (2013). A review of autonomous navigation systems in agricultural environments. *SEAg 2013: Innovative agricultural technologies for a sustainable future*.

- Shreyas, V., Bharadwaj, S. N., Srinidhi, S., Ankith, K. U., & Rajendra, A. B. (2020). Self-driving cars: An overview of various autonomous driving systems. *Advances in Data and Information Sciences: Proceedings of ICDIS 2019*, 361-371.
- Singh, V., & Misra, A. K. (2017). Detection of plant leaf diseases using image segmentation and soft computing techniques. *Information processing in Agriculture*, 4(1), 41-49.
- Stefek, A., Van Pham, T., Krivanek, V., & Pham, K. L. (2020). Energy comparison of controllers used for a differential drive wheeled mobile robot. *IEEE Access*, 8, 170915-170927.
- Sun, S. (2005). Designing approach on trajectory-tracking control of mobile robot. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 21(1), 81-85.
- Tang, K. S., Man, K. F., Chen, G., & Kwong, S. (2001). An optimal fuzzy PID controller. *IEEE transactions on industrial electronics*, 48(4), 757-765.
- Thomas, N., & Poongodi, D. P. (2009, July). Position control of DC motor using genetic algorithm based PID controller. In *Proceedings of the world congress on engineering* (Vol. 2, pp. 1-3).
- Turhan, M. M., & Talu, M. F. (2022). Adaptif Sigmoid, Lojistik Sigmoid ve Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonların Tam Bağlı ve Konvolüsyonel Sinir Ağlarında Kıyaslanması. *Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 3(2), 89-101.
- Tzafestas, S. G. (2013). *Introduction to mobile robot control*. Elsevier.
- Umar, M., Altaf, S., Sattar, K., Somroo, M. W., & Sivakumar, S. (2023). Multi-Disease Recognition in Tomato Plants: Evaluating the Performance of CNN and Improved YOLOv7 Models for Accurate Detection and Classification.
- Umetani, Y., & Yoshida, K. (1989). Resolved motion rate control of space manipulators with generalized Jacobian matrix (Doctoral dissertation, Tohoku University). [79]
- URL-1: <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/ug/automated-tuning-of-simulink-pid-controller-block.html> (Ziyaret tarihi: 20 Nisan 2024)
- URL-2: <https://www.adafruit.com/product/3777#description>, (Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2024)
- URL-3: <https://www.mathworks.com/help/slido/ug/dc-servo-motor-parameter-estimation.html> (Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2024)
- URL-4: <https://www.augmentedstartups.com/blog/yolov8-vs-yolov5-choosing-the-best-object-detection-model>, (20 Şubat 2024)
- URL-5: <https://124.im/6pzCKHV> (Ziyaret tarihi: 25 Mart 2024)

- URL-6: <https://www.fao.org/3/cc0330en/cc0330en.pdf> (Ziyaret tarihi: 25 Mart 2024)
- URL-7: <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/field-robots/xag-r150-robots-on-their-way-to-growers-in-australia/> (Ziyaret tarihi: 20 Şubat 2024)
- Van der Waals J E, Korsten L & Aveling T A S2001. A review of early blight of potatoes. *African Plant Protection* 7(2): 91–102
- Walia, N., Singh, H., & Sharma, A. (2015). ANFIS: Adaptive neuro-fuzzy inference system-a survey. *International Journal of Computer Applications*, 123(13).
- Wang, C. Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H. Y. M. (2022). YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. *arXiv preprint arXiv:2207.02696*.
- Wang, C. Y., Yeh, I. H., & Liao, H. Y. M. (2024). YOLOv9: Learning What You Want to Learn Using Programmable Gradient Information. *arXiv preprint arXiv:2402.13616*
- Xu, Q., Kan, J., Chen, S., & Yan, S. (2014). Fuzzy PID based trajectory tracking control of mobile robot and its simulation in Simulink. *International journal of control and automation*, 7(8), 233-244.
- Yesil, E., Guzelkaya, M., & Eksin, I. (2003, September). Fuzzy PID controllers: An overview. In *The Third Triennial ETAI International Conference on Applied Automatic Systems*, Skopje, Macedonia (pp. 105-112). ETAI Society of Macedonia.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353 [52] (Zadeh, 1965)
- Zhang, W., Zhou, Y., Wang, Y., Wang, R., & Yang, H. (2024). Automatic Crack Detection and Segmentation of Masonry Structure Based on Yolov9-Seg and Edge Detection. Available at SSRN 4812249.
- Ziegler John G, Nichols Nancy B (1942) Optimum settings for automatic controllers. *J Dyn Syst Meas Control Trans ASME* 115:220–222

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Guliyev, H., & Yılmaz, S., (2024). REAL-TIME DISEASE DETECTION USING THE YOLO ALGORITHM WITH A MODULE MOUNTED ON A ROVER . 6th International Azerbaijan Congress on Life, Engineering, Mathematical, and Applied Sciences (pp.247-254). Baku, Azerbaijan

ÖZGEÇMİŞ

Hafis İlham oğlu Guliyev, orta okul ve lise öğrenimini Azerbaycanda tamamladı. 2017 yılında kabul aldığı Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği programını lisans derecesi ile 2021 yılında bitirdi. 2021 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına başladı. Yüksek lisans eğitiminde ANFIS yöntemi ile İKA hareket kontrolü ve Görüntü işleme tekniği ile hastalıklı bitki tespiti konusunda çalışmaları bulunmaktadır.