



GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI HASSAS TARIM ARACININ TASARLANMASI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Harun SÜMBÜL^{1*}, Ahmet Böğrek², Abdurrahman Tunçer³, Kenan Yıldırım⁴

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yeşilyurt Demir Çelik MYO, Hibrid ve Elektrikli Taşıtlar Teknolojisi Programı, Samsun, Türkiye

³ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yeşilyurt Demir Çelik MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Samsun, Türkiye

⁴ Hüseyin ve Mustafa Hösükoğlu İ.H.O., Gaziantep, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Tarım Teknolojileri, Görüntü İşleme, Ot biçme, Tarım Robotu.</i>	Sürdürülebilir bir tarım için, bağ, bahçe veya tarlalarda erişilmesi zor ve büyük traktörlerin çalışamayacağı alanlarda ot biçme faaliyetlerini hızlı bir şekilde yapılmasına imkân veren ve yorucu olmayan bir yöntemle biçebilen, elektrikle çalışan, şarjlı, uzaktan kumandalı, hava şartlarından bağımsız çalışabilen, zararlı haşerelerden etkilenmeyen çevre dostu, kullanım ve kumandası kolay bir tarım makinesine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu çalışmada, gerçek zamanlı görüntü işleme tekniklerini kullanarak ot yoğunluğunu tespit eden ve otomatik hız kontrolü sağlayan bir sistem başarıyla geliştirilmiştir. Sistem, düşük maliyetli donanım bileşenleri ve açık kaynak kodlu yazılım kütüphaneleri kullanılarak geliştirilmiştir. HSV renk uzayı tabanlı segmentasyon ve morfolojik işlemlerin kombinasyonu, etkili bir ot tespit çözümü sunmuştur. Lineer interpolasyon ile geliştirilen hız kontrol mekanizması, ot yoğunluğuna duyarlı dinamik bir kontrol sağlamıştır. Geliştirilen sistem, hassas tarım uygulamaları için umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Kaynak kullanım verimliliği, enerji optimizasyonu ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sağlayabilecek potansiyele sahiptir.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN IMAGE PROCESSING-BASED PRECISION AGRICULTURE VEHICLE

Keywords	Abstract
<i>Agricultural Technologies, Image Processing, Grass Mowing, Agricultural Robots.</i>	Sustainable agriculture requires an agricultural machine that is fast and effortless to mow in vineyards, orchards, or fields where access is difficult and large tractors cannot operate. It is electrically powered, rechargeable, remotely controlled, weather-independent, resistant to pests, and environmentally friendly. It is also easy to use and control. In this study, a system that detects weed density using real-time image processing techniques and provides automatic speed control was successfully developed. The system was developed using low-cost hardware components and open-source software libraries. The combination of HSV color space-based segmentation and morphological operations provided an effective weed detection solution. The speed control mechanism developed using linear interpolation provided dynamic control sensitive to weed density. The developed system offers a promising approach for precision agriculture applications. It has the potential to provide significant advantages in terms of resource utilization efficiency, energy optimization, and environmental sustainability.

Alıntı / Cite

Sümbül, H., Böğrek, A., Tunçer A., Yıldırım, K., (2025). Görüntü İşleme Tabanlı Hassas Tarım Aracının Tasarlanması ve Gerçekleştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 13(4), 1188-1207.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
H. Sümbül, 0000-0001-5135-3410	Başvuru Tarihi / Submission Date
A. Böğrek, 0000-0001-9767-9897	Revizyon Tarihi / Revision Date
A. Tunçer, 0000-0002-2480-4535	Kabul Tarihi / Accepted Date
K. Yıldırım, 0000-0002-4396-5510	Yayın Tarihi / Published Date

* İlgili yazar / Corresponding author: harunsumbul@cumhuriyet.edu.tr, +90-346-219-1163

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN IMAGE PROCESSING-BASED PRECISION AGRICULTURE VEHICLE

Harun SUMBUL^{1†}, Ahmet Böğrek², Abdurrahman Tunçer³, Kenan Yıldırım⁴

¹Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Sivas, Türkiye

²Ondokuz Mayıs University, Yeşilyurt Iron and Steel Vocational School, Hybrid and Electric Vehicles Technology Program, Samsun, Türkiye

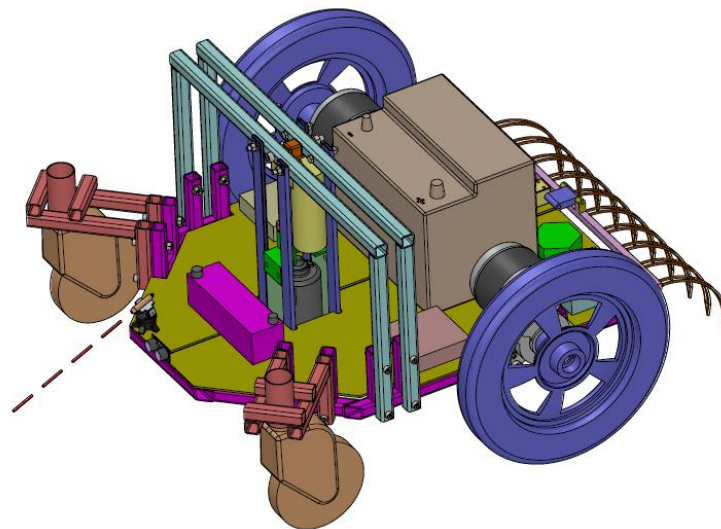
³Ondokuz Mayıs University, Yeşilyurt Iron and Steel Vocational School, Department of Electronics and Automation, Samsun, Türkiye

⁴Hüseyin ve Mustafa Hösükoğlu İ.H.O., Gaziantep, Türkiye

Highlights

- Ability to detect grass density using image processing methods,
- Ability to automatically adjust mower engine speed based on grass density,
- Remote control,
- Ability to avoid obstacles,
- Ability to gather mowed grass together with the scythe feature,

Graphical Abstract



Şekil./Figure. Akıllı Tarım Aracı (Smart Agriculture Vehicle)

Purpose and Scope

The aim of this study is to make grass cutting activities in the agricultural sector more technologically advanced, safe, and sustainable.

Design/methodology/approach

The developed agricultural vehicle combines real-time image processing, precise motor control, and intelligent decision-making mechanisms through the integrated use of Raspberry Pi and Arduino Mega. The Raspberry Pi serves as the image processing and decision-making unit, while the Arduino Mega is used for vehicle control and sensor management.

Findings

The vehicle developed in this study is highly innovative, with features such as being quiet, noiseless, environmentally friendly, clean-powered, rechargeable, remotely controlled via its onboard communication kit, capable of maneuvering smoothly and easily across vast terrain thanks to its servo system and motor drive mechanisms, and featuring a fast mowing system.

Originality

The literature review reveals that there is no commercial agricultural vehicle that uses image processing to autonomously identify grass, adjusts its mowing mechanism, has a remote-controlled rake mechanism, and can avoid obstacles.

[†] Corresponding author: harunsumbul@cumhuriyet.edu.tr, +90-346-219-1163

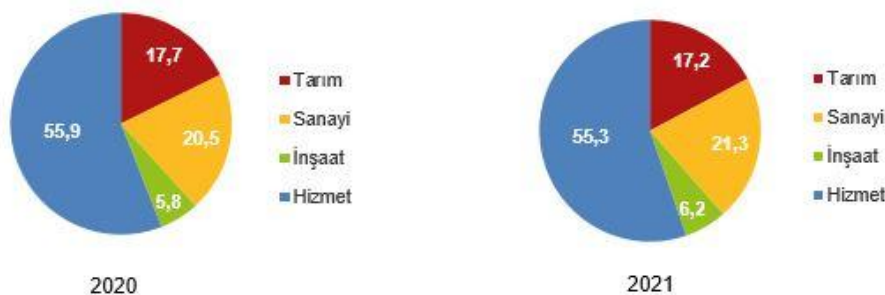
1. Giriş (Introduction)

Tarımsal otomasyon sistemleri, modern tarım uygulamalarında verimliliği artırmak ve insan gücüne olan bağımlılığı azaltmak için giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle istenmeyen otların bertarafı, tarım sektöründe zaman ve kaynak tüketen önemli bir sorundur. Bu işlem için geleneksel yöntemlerde tüm alana homojen şekilde uygulanan kimyasal veya mekanik müdahaleler hem kaynak israfına hem de olumsuz çevresel etkilere neden olmaktadır. Günümüzde tarla ve bahçe işlerinde çalışanların yaş ortalaması giderek artmaktadır. Türkiye istatistik kurumu verilerine göre (TÜİK) 2020 yılı tarım sektöründe çalışanların yaş ortalaması 49,9 iken 2021 yılında bu oran 50,4'e yükseldiği görülmektedir (Anonim, 2025a). Bu oran 2024 yılı itibarı ile 59'a yükselmiştir (Anonim, 2025b). Bu orandaki ciddi yükselme gençlerin tarım sektörüne olan ilgilerinin hızlı bir şekilde azaldığının göstergesidir. Ülkemizde tarımsal mekanizasyonun bir göstergesi olarak 2,55 (kW ha⁻¹) traktör gücü seviyesinde iken (Aybek vd., 2021). Avrupa Birliği için bu rakam 3,00 (kW ha⁻¹) üzerinde olduğu düşünülmektedir. Tarımsal mekanizasyonun az olması çiftçilerin emek yoğun işler yaparak çalışmasına neden olmakta ve gençlerin emek yoğun tarım işlerinden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Türkiye'de tarımsal alanların işlenmesinde kullanılan traktörler en yaygın olarak iç Anadolu bölgesi iken bu sıralamada Karadeniz Bölgesi en son sırada yer almaktadır (Gül vd., 2023). Bunun sebebi arazi eğiminin çok değişken olması ve çok daha dar alanlarda tarım yapılmasından kaynaklanmaktadır. Engebeli tarım arazilerinin işlenmesi süreci giderek zorlaşmaktadır. Gelişen teknoloji ile birçok tarım faaliyeti için daha az çalışan istihdam edilebilmektedir. Tarım sektöründe ülkelerin gelişim seviyesine göre dijital tarım teknolojileri, otonom traktörler, dron teknolojileri, çeşitli sensör destekli IoT sistemler giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerin tarımsal araç ve gereçlere uyarlanması, tarımdaki iş gücü ihtiyacını azaltma yönünde katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca tarıma yönelecek genç sayısını arttırma potansiyeli yüksektir.

Bu çalışma, hassas tarım uygulamaları kapsamında, gerçek zamanlı görüntü işleme tekniklerini kullanarak biçilecek alandaki ot yoğunluğunu tespit eden ve bu yoğunluğa bağlı olarak otomatik biçme hız kontrolü yapabilen bir sistem sunmaktadır. Geliştirilen sistem, Raspberry Pi gibi düşük maliyetli bir donanım platformu üzerinde çalışmakta olup, yeşil bitki varlığını Hue Saturation Value (HSV) renk uzayı analizi ile tespit ederek biçici motor hızını dinamik olarak düzenlemektedir. Bahsedilen otonom tanıma ve biçme sistemi, Arduino Mega mikrodenetleyicili bir kontrol sistemi üzerinden uzaktan kumanda ile hareket ettirilecek bir taşıyıcı araç üzerine konuşlandırılmıştır. Nihai sistemin temel amacı, hedefli müdahale ile kaynak kullanım verimliliğini arttırmak, enerji tüketimini optimize etmek ve çevresel olumsuz etkileri minimize etmektir. Bu çalışma, TEKNOFEST Tarım Teknolojileri kapsamında geliştirilmiş olup, tarım teknolojilerinin dijital dönüşümüne katkı sağlamayı hedeflemektedir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Türkiye'nin 78 milyon hektar olan yüzölçümünün yaklaşık olarak üçte birini teşkil eden 24 milyon hektar alan ekilebilir tarım arazisidir (Anonim, 2022a). Ülkemizde aktif kullanılmayan 3 milyon hektarlık tarım arazisi bulunmaktadır (Anonim, 2019). Buna karşılık ülkemizde nüfus artışı da giderek artmaktadır. 2025 yılı başı itibarı ile Türkiye'nin nüfusu 85,6 milyonu geçmektedir (Anonim, 2025c). Ülkemizdeki sığınmacı sayısı 2,5 milyonu geçmekte ve 2025 yılı itibarıyla yıllık yabancı turist sayısı 7 Milyonu geçmektedir (Anonim, 2025d; Anonim, 2025e). Türkiye'deki nüfus artışı gıda ihtiyacının da artmasına sebep olmaktadır. Bu şartlar altında 100 Milyona yaklaşan nüfus için ihtiyaç duyulan tarım ürünlerinin, kişi sayısı giderek azalan bir tarım işgücü tarafından karşılanabilmesini daha da zor bir duruma sokmaktadır. Köyden kente doğru yaşanan göç, tarımsal üretimde çalışacak genç işgücünün azalması, terk edilen arazilerin ekilmeden boş kalması, tarımda üretim ve verimin düşmesi, kırsal yoksulluğun artması gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir (Yalçın, 2016). Bununla birlikte tarımda giderek yaşanan ve tarım dışına kayan bir üretici sorunu da yaşanmaktadır (Sav, 2018). Tarım sektöründe çalışan sayısı kentleşme ve iş yükü nedeniyle giderek azalmaktadır. TÜİK verilerine göre tarımdaki iş gücü 2021 yılında bir önceki yıla oranla %1,4 azalmıştır (Anonim, 2022b). Şekil 1 bu durumu göstermektedir.



Şekil 1. 2021-2022 yıllarındaki istihdam oranları (Employment rates in 2021-2022)

Tarım sektöründeki istihdam oranının azalması tarımsal faaliyetlerin azalmasına ve gıda enflasyonunun yükselmesine de neden olmaktadır. Bu bağlamda ihtiyaç duyulan tarım ürünleri ithalat yolu ile temin edilerek dış ticaret açığının artmasına sebep olmaktadır. Tarımsal mekanizasyon, toprağın kalitesini veya diğer üretim faktörlerini bozmadan insan zamanı ve emeğinin verimliliğini artırmak için alet ve makine kullanımını içerir ve çevresel, ekonomik ve sosyal konularla doğrudan ilişkili olması nedeniyle sürdürülebilirliği etkiler (Evcim vd., 2012). Ayrıca tarımda kullanılan makinelerin ithal ürünlerden oluşması yine dış ticaret açığının artmasına neden olmaktadır.

Tarımda mekanizasyon artışı iş kapasitesinin artmasına, istihdamın daha verimli kullanılmasına olanak tanımaktadır. Yetkililer çiftçilere köye dönüş, çiftçi destek programları, zirai araç ve mazot desteği gibi fırsatlar sunsa da köyden kaçış ve çiftçiliğin ve üretimin azalması da bilinen bir gerçektir. Bunda tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirdiği arazi yapıları da etkilidir. Tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bölgelerde arazi yapısına da bağlı olarak geleneksel yöntemlerin (el yordamı ile tırpan kullanılarak) ağırlıklı olduğu biçme faaliyetleri yürütülmektedir. Bu ise özellikle güney bölgelerde, engebeli arazilerde ve havanın sıcak olduğu zaman dilimlerinde çiftçileri oldukça zorlamaktadır. Şekil 2' de geleneksel ot biçme yöntemleri görülmektedir.



Şekil 2. Geleneksel ot biçme yöntemleri (Traditional grass cutting methods)

Ülkemizde büyük tarım arazilerinde tarımsal toprak işleme yöntemlerinde kullanılan alet ve makineler ise genellikle traktör ile kullanılan tarım aletleridir. Şekil 3' de traktör ile birlikte kullanılan ot biçme makinesi görülmektedir. Traktörlerin yüksek iş kapasitesi avantajının yanı sıra dar arazilerde çalışamaması, dar alanlarda verimsiz kullanım ve insan gücü ihtiyacından dolayı dezavantajları da vardır.



Şekil 3. Tarım traktörleri ve ot biçme aletleri (Agricultural tractors and mowers)

İster traktörle, isterse de mobil ot biçme aletleri ile yapılan işlem sırasında mutlaka bir operatöre ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca otlak arazilerde çalışma, çeşitli riskleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle yaz döneminde ülkemizde görülen KKK (Kırım Kongo Kanamalı Ateşi) hastalığı kene türevi bir böceğin insan vücuduna bulaştırdığı bir hastalık olup genellikle otlak arazilerde çalışan tarım işçileri en yüksek risk grubunda yer almaktadır (Anonim, 2025f). Oldukça ölümcül olan bu vakalar çoğu zaman çiftçiler ile ilgilidir ve medyada bununla alakalı birçok haber bulunmakta olup Şekil 4, bu haberlere bir örnektir. Bu sebeple ot biçme sürecinde otonom ve uzaktan kumandalı bir tarım aleti kullanılması kene gibi haşerat kaynaklı hastalık ve ölüm risklerini de azaltacaktır.



Şekil 4. Kene kaynaklı olumsuzluklar (Tick-borne negativities)

Tarıma elverişli olan tarlalarda tarımsal faaliyetleri zorlaştıran ve her sene belli aylarda biçilmesi gereken otların tırpan vs. araçlar ile biçilmesinin uzun zaman alması ve bu geleneksel yöntemin oldukça yorucu olması, traktör

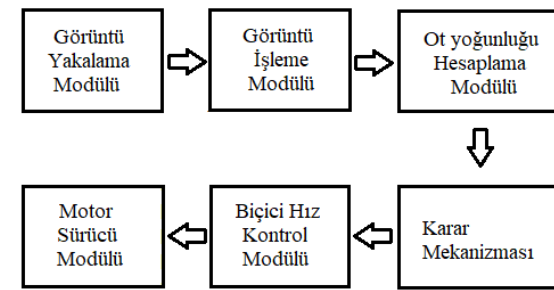
gibi büyük tarım araçlarının da nispeten küçük ve ağaçlık alanlarda kullanılamaması, kene gibi zararlı hayvanatın verdiği endişe ve korku, aşırı sıcak havalarda ot biçme faaliyetlerinin yürütülememesi, kurdaki oynaklık ve artan fiyatlar yüzünden büyük tarım makinelerinin bakım masraflarının artması ve mazot fiyatlarının yükselmesi gibi sebepler bu çalışma fikrinin oluşmasına katkı sağlamıştır.

Bu kapsamda dar kesitli arazilerde çalışırken otonom ve uzaktan kullanım imkanları sayesinde tarım işçilerinin iş gücü kapasitesi ve iş konforu artacaktır. Ayrıca elektrikli motor kullanımı, petrol kökenli yakıt kullanan içten yanmalı motorlu tarım araçlarına olan ihtiyacı da azaltacaktır (Sümbül vd., 2025). Çünkü içten yanmalı motorlara sahip tarım araçları temel enerji kaynağı olarak fosil kökenli yakıtları kullanılmaktadır, bu yüzden içten yanmalı motorlara sahip tarım araçları hava kirliliğinin oluşumunda başlıca kaynak haline gelmiştir. Ayrıca, motorlu taşıtlarda yanmadan sonra açığa çıkan egzoz emisyonları diğer kirleticilere nazaran ani ve doğrudan etkili toksit özelliklere de sahiptir (Kelen, 2014). Bunun yanı sıra dizel motor egzoz emisyonlarının tohum çimlenme özellikleri ve biyokimyasal değişikliklere etkisi üzerine yapılan bir çalışmada, egzoz gazlarının tohumların çimlenme oranını azalttığını, bitki biyokimyasını ve dolayısıyla ürün kalitesini olumsuz etkilediği de belirtilmiştir (Afsharnia, 2021). Tarımda kullanılan içten yanmalı motorların (örneğin traktör ve diğer tarım makineleri) fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını detaylı olarak inceleyen başka bir araştırmada; çiftlik içinde kullanılan enerji ve makine kaynaklı karbon ayak izinin giderek yükseldiğini göstermiştir (Flammini vd., 2022).

Yapılan çalışma ile fosil kökenli yakıt (petrol, kömür ve doğal gazlar) kullanımı kaynaklı olarak arazide ortaya çıkabilecek yangın riski azalacak, hem de arazide üretim ve işleme sırasındaki doğaya karbon salınımı azaltılabilecektir. Bu nedenle sürdürülebilir bir tarım için, bağ, bahçe veya tarlalarda erişilmesi zor ve büyük traktörlerin çalışamayacağı alanlarda ot biçme faaliyetlerini hızlı bir ve yorucu olmayan bir yöntemle biçebilen, elektrikle çalışan, şarjlı, uzaktan kumandalı, hava şartlarından bağımsız çalışabilen, zararlı haşerelerden etkilenmeyen çevre dostu, kullanım ve kumandası kolay bir tarım makinesine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Ot ve çayır biçme konusunda var olan teknolojilerin yabancı menşeli oluşu ve düşük işleme kapasitesi nedeniyle bu alanda eksiklerin ve dışa bağımlılığın olduğu söylenebilir. Bu açıdan tarımda sürdürülebilirlik ve kalkınma için yerli-milli imkânlar ile geliştirilecek teknolojik tarım ürünlerinin desteklenmesi gerekmektedir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Geliştirilen sistem; otomatik ot biçme, ot toplama, lazerle zararlı ot bertarafı ve engelden kaçınma özelliklerini bir araya getiren çok fonksiyonlu bir robotik platformdur. Robot, Raspberry Pi ve Arduino Mega'nın entegre kullanımıyla gerçek zamanlı görüntü işleme, hassas motor kontrolü ve akıllı karar mekanizmalarını birleştirmektedir. Sistem, ot yoğunluğuna göre biçme hızını ayarlarken, aynı zamanda ot uzunluğuna bağlı olarak biçici başlık yüksekliğini otomatik olarak düzenlemektedir. Ek olarak, pan-tilt mekanizması üzerindeki lazer ile hedefli zararlı ot kontrolü ve ultrasonik sensörlerle engel algılama özellikleri de bulunmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, tarımsal işlemlerde verimliliği artırmak, kaynak kullanımını optimize etmek ve çevre dostu bir yaklaşım sunmaktır. Sisteme ait blok diyagramı, Şekil 5' te görülmektedir.



Şekil 5. Sistem blok diyagramı (System block diagram)

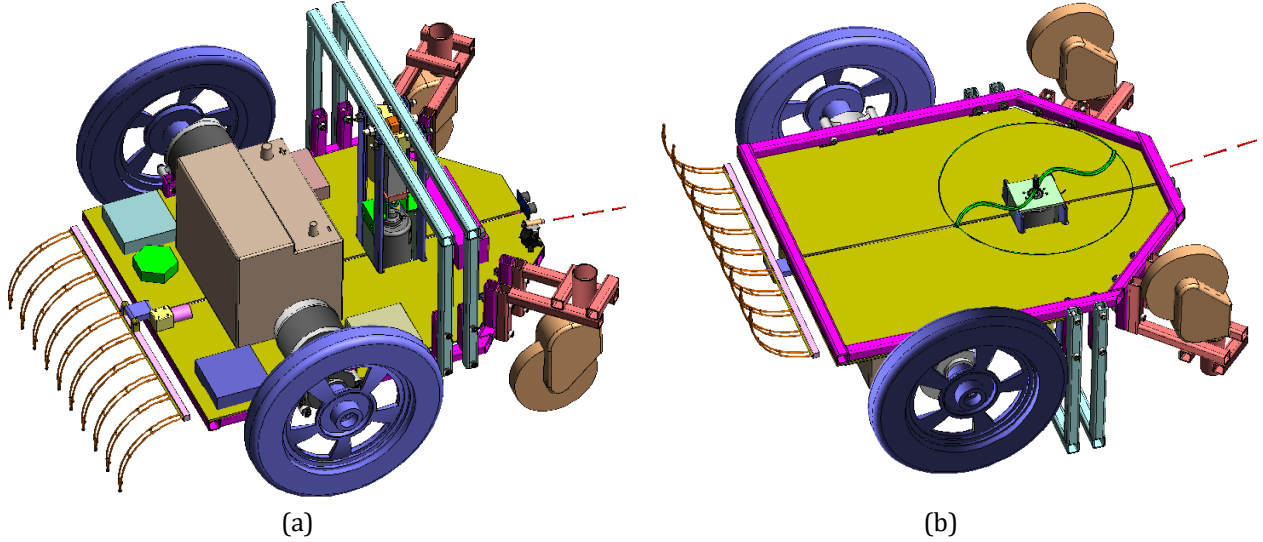
Sistem, birbirleriyle iletişim halinde çalışan iki ana kontrolcü üzerine kurulmuştur:

1. Görüntü İşleme ve Karar Alma Birimi (Raspberry Pi)
 - Kamera veri işleme
 - Ot yoğunluğu analizi
 - Biçme stratejisi belirleme
 - Yükseklik kontrol kararları
2. Motor Kontrol ve Sensör Yönetimi Birimi (Arduino Mega)
 - Tüm motorların kontrolü
 - Sensör verilerinin işlenmesi
 - Kumanda sinyallerinin yorumlanması
 - Güvenlik protokollerinin uygulanması

Sistem, modüler bir yaklaşımla tasarlanmıştır. Raspberry Pi görüntü işleme ve karar alma birimi olarak kullanılırken, Arduino Mega araç kontrol ve sensör yönetimi için kullanılmıştır (Sümbül vd., 2021). İki birim arasındaki iletişim seri port üzerinden sağlanmaktadır.

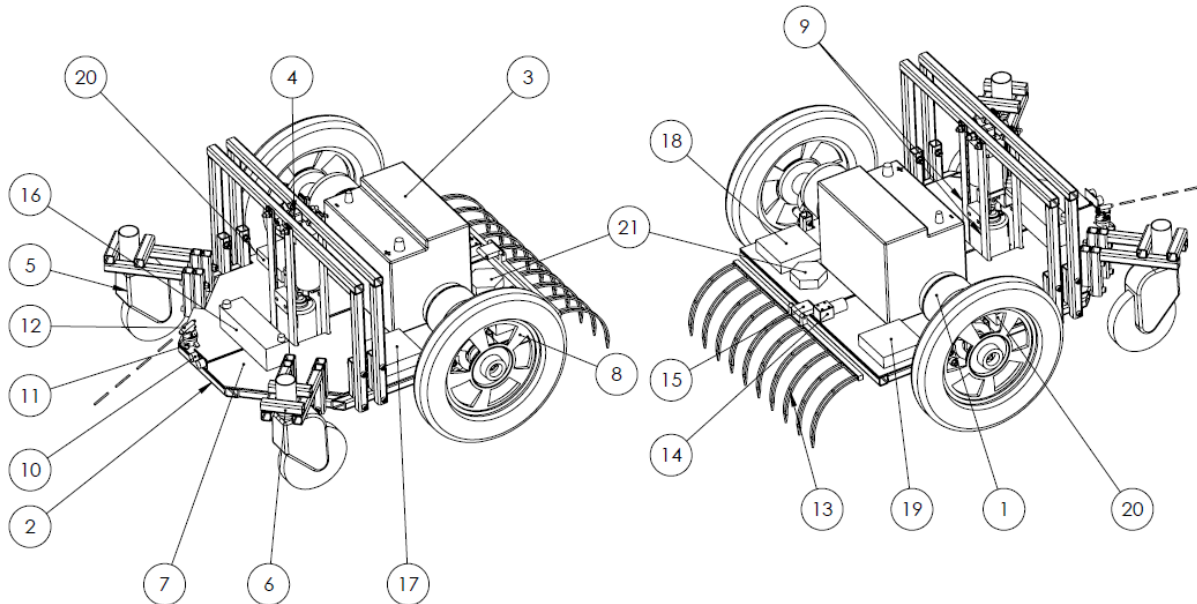
3.1. Donanım Mimarisi (Hardware Architecture)

Uzaktan kumandalı ot biçme makinesinin prototipi; 4 tekerlekli olup, harici olarak 2 tekerlekten tahrikli olacak şekilde tasarlanmıştır. Geleneksel palet sisteminin yerine geniş çaplı teker tercih edilmesinin sebebi, engebeli arazilerde, ıslak zeminlerde veya yoğun otun bulunduğu alanlarda manevra kabiliyetini arttırmak ve aracı daha hassas hale getirmektir. Akü, kumanda tablası, regülatör, sürücü, iletişim kartı ve kontrol kartı gövde içerisinde yerleştirilmiştir. Biçme özelliği elektrik motoru ile tahrik edilen bir tırpan ile sağlanmaktadır. Şekil 6'da ot biçme makinesinin Solidworks programında çizilmiş genel görünümü yer almaktadır.



Şekil 6. Prototipin genel görünümü, üst görünüm (a), alt görünüm (b)
(General view of the prototype, top view (a), bottom view (b))

Uzaktan kumandalı ot biçme makinesi ana gövdesi arka kısmında, gövde dengesini sağlayabilmek için 2 adet serbest salımlı tekerlek yer almaktadır. Biçme motoru ana gövde ön kısmına sabitlenmiştir. Tekerlek tahrik motorları 12 VDC gerilim ile desteklenmektedir. Sürücü ve regülatör elektrik motorlarına gerilim yönlendirilmesi sırasında kullanılmaktadır. Şekil 7 ve Tablo 1' de ot biçme makinesinin genel bileşenleri ve gerekli açıklamalar gösterilmektedir.



Şekil 7. İlk prototip bileşenleri (patlatılmış montaj görünüm) (First prototype components (exploded assembly view))

Tablo 1. Araç üzerinde kullanılan parçalar ve açıklamaları (Parts used on the vehicle and their descriptions)

PARÇA NO	PARÇA AÇIKLAMA	PARÇA MİKT.
1	Tahrik Motoru	2
2	Ana Şasi	1
3	Akü	1
4	Tırpan Köprüsü	1
5	Ön teker	2
6	Ön teker tutucu	2
7	Taban	1
8	Tahrik Tekerleği ve Jant	2
9	Tırpan Yükseklik Kızağı	4
10	Engel Sensörü	1
11	Lazer Sehpası	1
12	Lazer	1
13	Tırmık	1
14	Tırmık motoru	1
15	Tırmık motoru rodu	1
16	İkincil Akü	1
17	İletişim Kartı	1
18	Kontrol Kartı	1
19	Regülatör	1
20	Sürücü	1
21	Tırpan kontrol ünitesi	1

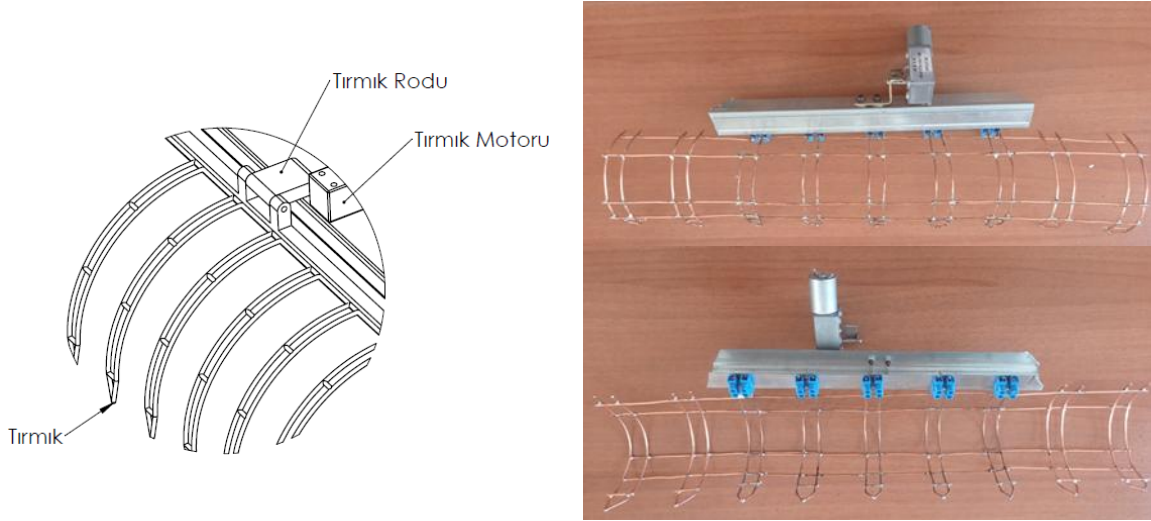
Tahrik tekerleklerine ana gövde içerisinde yerleştirilecek olan 2 adet elektrik motorundan doğrudan bir kaplin bağlantısı ile hareket verilmektedir. Biçme motoruna (Tırpan), misina veya zincirli biçme başlığı takılabilmektedir. Araç üzerine entegre edilmiş ot tanıma sistem ise, Raspberry Pi 5 tek kart bilgisayarı temel alınarak geliştirilmiştir. Görüntü yakalama için Raspberry Pi kamera modülü kullanılmıştır. Biçici motor kontrolü için 40A 60V Pwm DC Motor yön ve hız kontrol modülü ve 12V 60RPM Frenli DC motor tercih edilmiştir. Sistem durumunu görsel olarak bildirmek amacıyla bir LED gösterge entegre edilmiştir.

Aracı kumanda etmek için Radiolink AT9S Pro 2.4GHz 12 kanal kumanda ve R9DS Alıcısı kullanılmıştır. Günümüzde, Uzaktan kumandaların neredeyse hepsi 2.4 GHz frekansta çalışmaktadır. Bu sayede anten boyları kısalmış ve frekansın birbiri ile karışma olasılığı neredeyse yok olmuştur, çünkü 2.4 GHz kumandalar, eski 35 MHz veya 72 MHz kumandaların aksine dijital haberleşme yaparlar ve alıcı ile kumanda bir şifreleme ile birbirine eşleşir. Bu eşleşme işlemi sadece bir kez yapılır ve daha sonra o kumanda sadece kendi şifresini tanıyan alıcılar ile haberleşebilir. 2.4 GHz sistemler, menzil konusunda ise en az 500m civarında bir performans gösterirler. Bu mesafe, orta boyutlu bir bahçenin biçilmesi için fazlasıyla yeterli olduğu görülmüştür.

Çalışmada tırpan motoru için lityum polimer (li-po) tipteki piller kullanılmıştır. Ot biçme makinesi şehir şebekesinden bağımsız çalışmaktadır. Bu piller ağırlık ve boyutlarına oranla oldukça fazla enerji verebilme yeteneğine sahiptir. Lityum polimer pillerin her bir hücresi, nominal olarak 3,7V, tam dolu olduklarında ise 4,2V gerilime sahiptir. Bu hücreler, birbirine paralel ve seri bağlanarak bataryanın kapasitesinin veya geriliminin artımı sağlanır. Yürüyüş motorlarının beslemesinde ise 12 VDC 60 Ah'lık bataryalar kullanılmıştır. Otlak bir arazide yaklaşık 30 kg ağırlığında bir makinenin rahatça ve uzun süre ilerleyebilmesi için yüksek akım verebilme kapasitesine sahip bataryalara ihtiyaç duyulmaktadır.

3.1.1 Tırmık mekanizması (Rake mechanism)

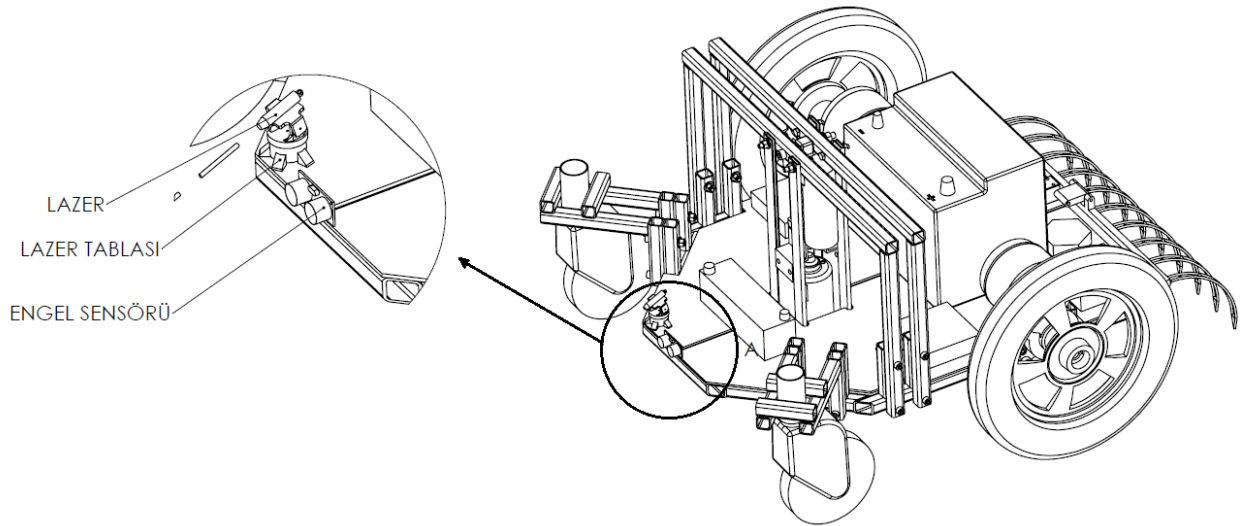
Tırmık sistemi, biçilen otların bir araya getirilmesi ve aracın biçilen otlar arasından zorlanmadan ilerlemesi amacı ile, uzaktan kumanda yardımı ile istenilen zamanda aktifleştirilebilecek bir mekanizma olarak tasarlanmıştır. Prototip 9 diş tırmıktan oluşmakta olup bu dişler bir rod aracılığı ile tırmık motoruna bağlıdır. Kumanda komutları ile tırmık motoru hareketlendirilip tırmık sisteminin yukarı-aşağı hareket etmesi sağlanabilmektedir. Yürüyüş motorları ile birlikte tırpan motoru da uzaktan kumanda ile kontrol edilebilmektedir. Şekil 8' de araç üzerine sabitlenebilecek tırmık sistemi görülmektedir.



Şekil 8. Tirmık Mekanizması (Rake Mechanism)

3.1.2 Lazer ve engel algılama tablası (Laser and obstacle detection table)

Prototip olması dolayısı ile araç üzerinde pan-tilt modül üzerinde konuşlandırılmış düşük güce sahip (100 Mw) bir lazer ışık kaynağı mevcuttur. Bu kaynağın bulunduğu pan-tilt sistemindeki servo motorlar, kumandadan kontrol edilerek lazer ışık kaynağının pozisyonu belirlenebilmektedir. İmha edilmesine karar verilen ot tespit edildiğinde de yine kumanda üzerinde tanımlanmış bir buton yardımı ile lazer aktifleştirilebilmektedir. Şekil 9' da lazer modülünün araç üzerindeki yerleşimi görülmektedir.



Şekil 9. Lazer kaynağının araç üzerindeki konumu (Position of the laser source on the vehicle)

3.2. Yazılım Mimarisi (Software Architecture)

Yazılım geliştirmesi Python programlama dili (Python 3.11 spyder anaconda) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme için OpenCV kütüphanesi, donanım kontrolü için RPi.GPIO kütüphanesi ve sayısal işlemler için NumPy kütüphanesi kullanılmıştır. Araç kontrol ve kumanda işlemleri içinse Arduino IDE yazılımı kullanılmıştır. Geliştirilen görüntü işleme algoritmasına göre kamera modülünden sürekli görüntü kareleri yakalanmış ve bu görüntüler BGR (blue, green, red) renk uzayından HSV (Hue, Saturation ve Value) renk uzayına dönüştürülmüştür.

RGB ve HSV çalışmalarda en çok kullanılan renk uzaylarıdır ancak, RGB renk uzayı, renk algısını tam olarak modelleyemediği için bazı uygulamalarda uygun olmayabilir (Efitli, 2025). HSV renk uzayı ise renklerin ton, doygunluk ve parlaklık bileşenlerine ayrılmasıyla renk analizi için daha esnek bir yapı sunmaktadır (Karcioglu, 2025). Görüntü işleme tekniklerinden renk anları kullanılarak farklı renk uzaylarında (RGB ve HSV) öznitelik çıkarımı yapılmıştır ve görüntüler sayısal değer haline getirilmiştir.

Şekil 10' da bu durum gösterilmiştir. 10 (b)' de ot, kameraya daha çok yakınlaştırılmıştır. Renk segmentasyonu işlemleri için HSV renk uzayında yeşil tonlar için daha önce tanımlanmış alt (LOWER_GREEN) ve üst (UPPER_GREEN) sınır değerleri kullanılarak maskeler oluşturulmuştur. Oluşturulan maskeye sırasıyla erozyon ve genişleme işlemleri uygulanarak gürültü azaltılmış ve nesne sınırları daha da iyileştirilmiştir. Daha sonra oluşturulan maskedeki sıfırdan farklı pikseller sayılarak yeşil alanın piksel cinsinden büyüklüğü hesaplanmış ve yeşil piksel sayısı, toplam piksel sayısına oranlanarak ot yoğunluk yüzdesi elde edilmiştir.



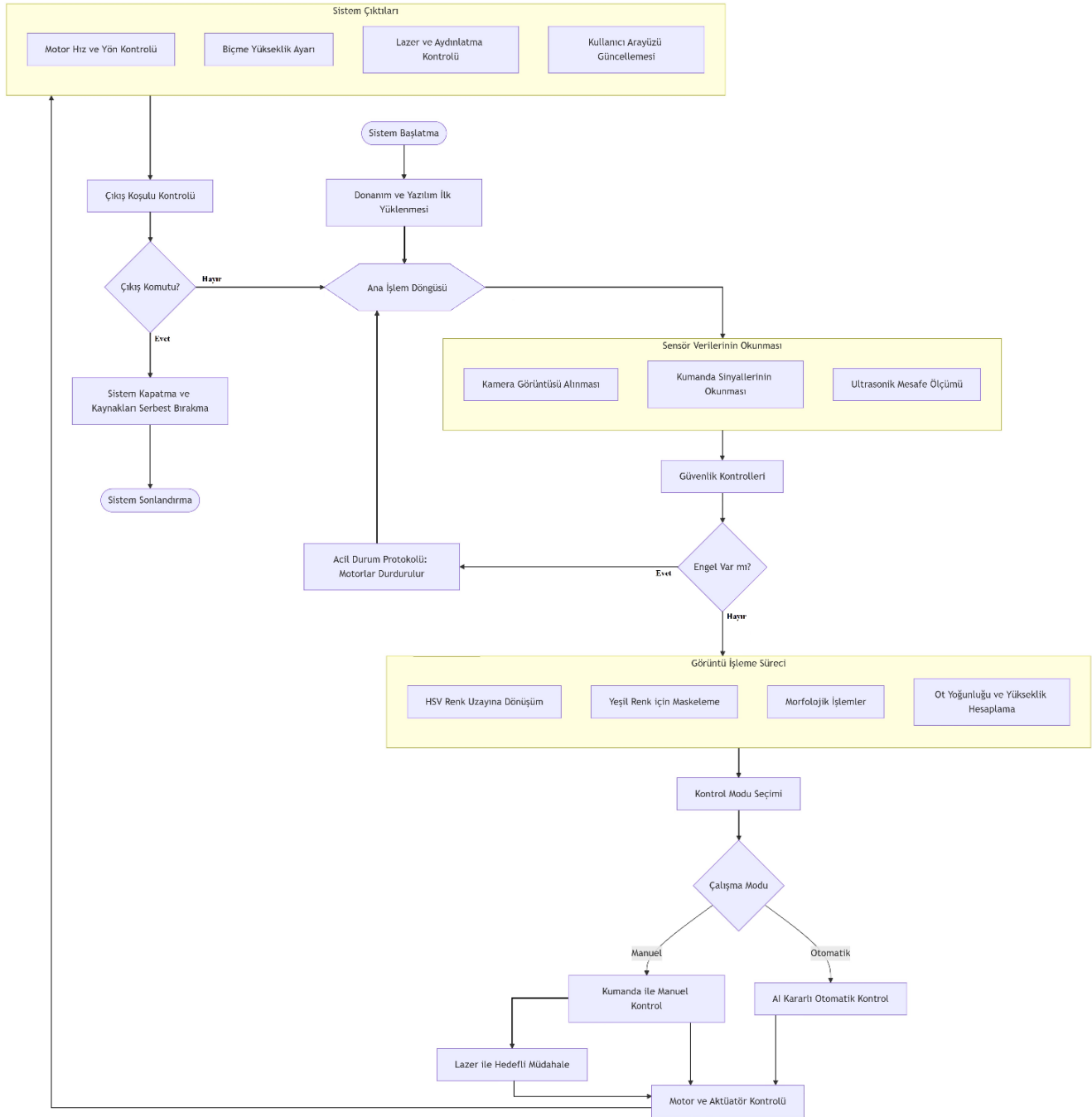
Şekil 10. Renk uzayları arası dönüşüm, BGR (a), HSV (b) (Conversion between color spaces, BGR (a), HSV (b))

Tırpan motoru biçici hız kontrol mekanizması, lineer interpolasyon prensibine dayanmaktadır. Minimum (MIN_PIXELS) ve maksimum (MAX_PIXELS) eşik değerleri arasında, yeşil piksel sayısına bağlı olarak motor hızı aşağıdaki verilen algoritma kullanılarak hesaplanmıştır;

$EĞER \text{ green_pixels} < MIN_PIXELS \rightarrow speed = 0$

$DEĞİLSE \rightarrow speed = ((green_pixels - MIN_PIXELS) / (MAX_PIXELS - MIN_PIXELS)) * (MAX_SPEED - MIN_SPEED) + MIN_SPEED$

Elde edilen bu bilgi ise tırpan mekanizmasında bulunan biçici motora PWM değeri olarak girilmiştir. Böylece yeşil ot yoğunluğuna göre biçme motor hızını kendisi ayarlayabilen bir biçme mekanizması oluşturulmuştur. Yazılım mimarisi için gerekli akış diyagramı Şekil 11' de görülmektedir.



Şekil 11. Akış diyagramı (Flow chart)

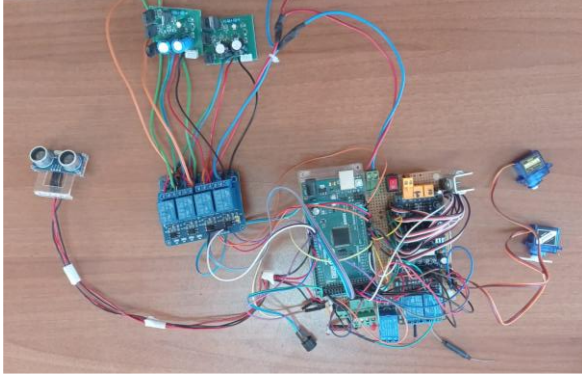
Kullanıcı arayüzü kapsamında sistem, gerçek zamanlı olarak işlenen görüntüyü, ot yoğunluk yüzdesini ve motor hız bilgisini kullanıcıya sunan bir arayüz içermektedir. Arayüze ayrıca proje logosu ve tanıtım bilgileri entegre edilmiştir. Arayüz için 3.5 inch Raspberry Pi Dokunmatik LCD Ekran tercih edilmiştir. Bütün veriler bu ekran üzerinden anlık izlenebilmektedir.

3.3. Sözde Kod (Pseudocode)

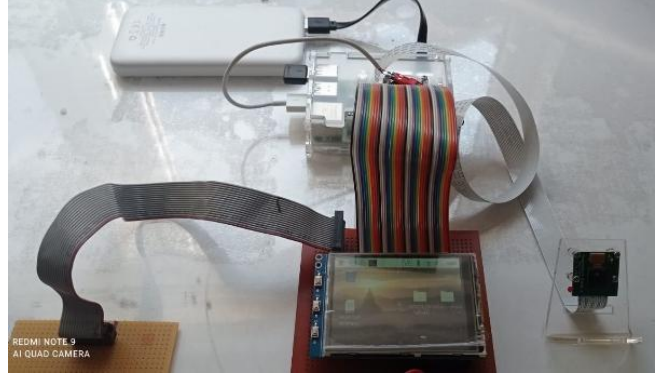
Sözde kod, bilgisayar bilimi ve yazılım mühendisliği alanında temel bir araç olarak hizmet vermektedir. Bir algoritmanın veya programın mantığını açıklamak için yapılandırılmış bir format sağlayarak doğal dil ile programlama dilleri arasındaki boşluğu doldurur. Sözde kod, herhangi bir özel programlama dilinin sözdizimine bağlı kalmadan mantığını ana hatlarıyla belirten bir algoritmanın yapılandırılmış metinsel temsili olarak tanımlanabilir (Sumbul vd., 2024). Normalde mikrodenetleyici üzerinde 1500'den fazla komut satırı yer almaktadır. Geliştirilen sistemdeki gömülü sistemin yazılım kodlarının sözde kodları Ek olarak makale sonunda paylaşılmıştır.

3.4. Elektronik Aksam (Electronic Parts)

Geliştirilen tarım aracı, Raspberry Pi ve Arduino Mega'nın entegre kullanımıyla gerçek zamanlı görüntü işleme, hassas motor kontrolü ve akıllı karar mekanizmalarını birleştirmektedir. Raspberry Pi görüntü işleme ve karar alma birimi olarak kullanılırken, Arduino Mega araç kontrol ve sensör yönetimi için kullanılmıştır. Dolayısı ile 2 ayrı devre kurulmuş ve daha sonra birbirleri ile uyumlu çalışabilecek bir hale getirilmiştir. Şekil 12' de Arduino kontrol devresi (a) ve Raspberry kullanılarak görüntü işleme yapan devre (b) görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 12. Arduinolu kontrol devresi (a) ve Raspberry devresi(b)(Arduino control circuit (a) and Raspberry circuit (b))

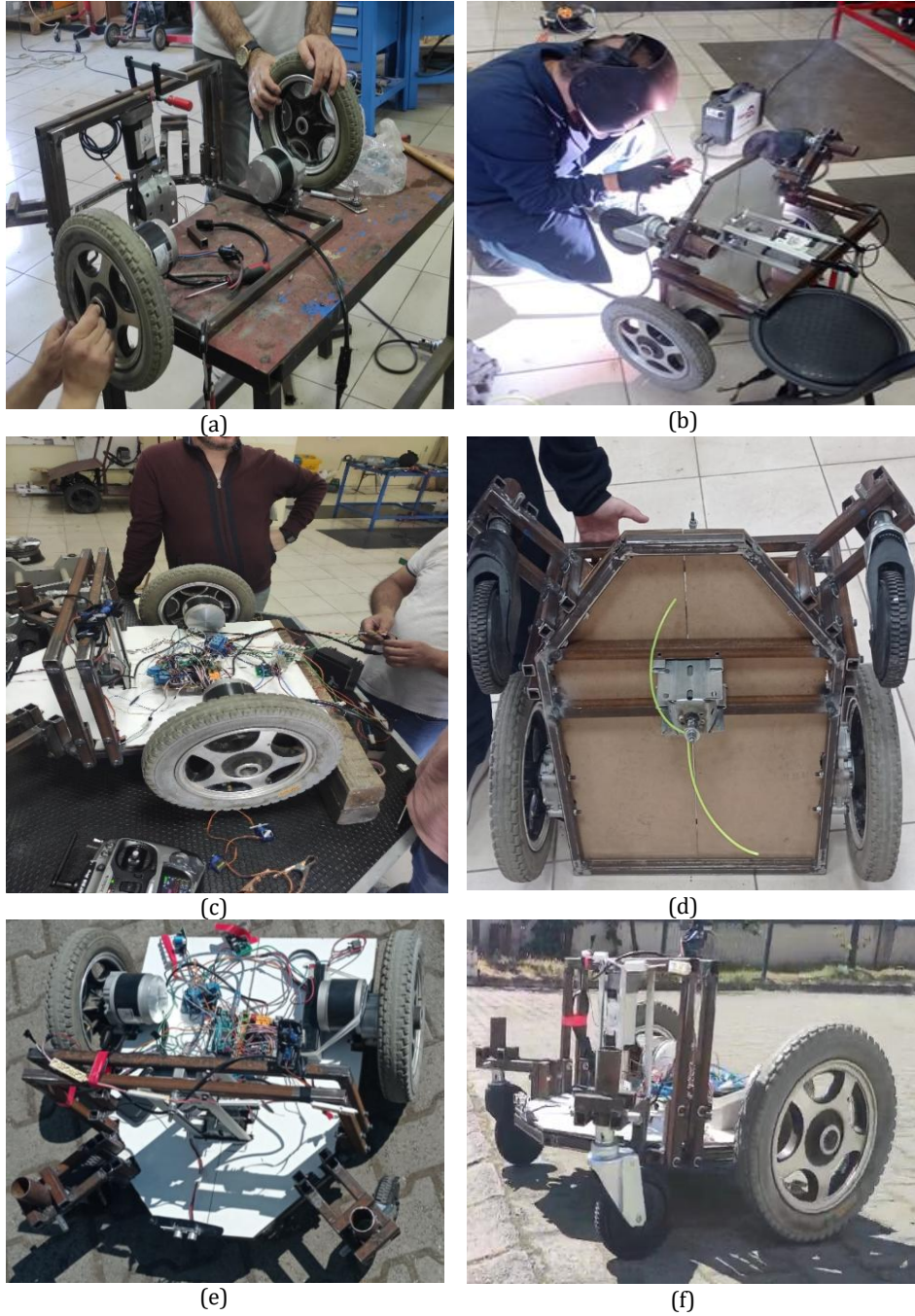
4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Ot biçme makineleri ile ilgili literatürde yer almış çalışmalar bulunmakla birlikte bu cihazlar tarlada insansız olarak ve kumanda kontrollü kullanımda yaygınlaşmamıştır. Buna rağmen ülkemizde yerli-milli üretilen ve yaygın olarak kullanılan bir cihaz üretimi de bulunmamaktadır. Kullanılan cihazlar genellikle yurtdışı menşeli olup uzaktan kumandalı biçme makineleri kullanımı ise çok sınırlıdır. Tarım sektöründe kullanılabilecek bir kumandalı ot biçme makinesi üretimi ile hem ulusal pazarda büyük bir açık kapatılabilir hem de uluslararası pazarda ülkemizin adının duyulması sağlanabilir.

Yapılan saha araştırmaları ve çiftçi görüşmeleri (Samsun -Sivas bölgeleri) neticesinde çiftçilerden ot biçme konusunda hangi problemler ile karşılaştıkları sorulmuş ve genel olarak aşağıdaki cevaplar alınmıştır;

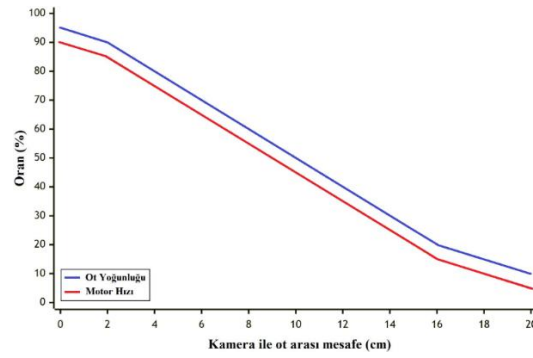
- Biçim alanının büyüklüğü,
- Aşırı sıcaklar
- Biçme sırasında ortaya çıkan toz
- Biçilen bitki parçalarının operatöre çarpması
- Yılan, akrep, kene vb. tehlikeli canlıların doğrudan yaşam ortamlarında bulunma
- Aşırı iş yükü nedeni ile bu işlemlere vakit ayıramama
- Benzinli ot biçme makinelerinin kullanımı sırasındaki tehlikeler

Bu kapsamda bahsedilen problemlere çözüm oluşturabilmesi adına yapılan çalışma neticesinde ortaya tam donanımlı bir ot biçme makinesi çıkmıştır. Özellikle biçme aparatının sabit olması, engebeli ve taşlık araziler sorun oluşturmaktadır. Bu sorunun çözülmesi için yüksekliği ayarlanabilir tırpan mekanizması geliştirilmiştir. Bu amaçla geliştirilen ilk prototip ile yazılımın ilk test sürüş denemeleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan ürünün başarılı bir şekilde işlevsel olduğu ve kullanılabilirliği belirgin bir şekilde görülmüştür. Aracın ilk prototip üretim aşamaları ve son haline ait görseller Şekil 13' de görülmektedir. Ürünün geliştirilme çalışmaları devam etmektedir.



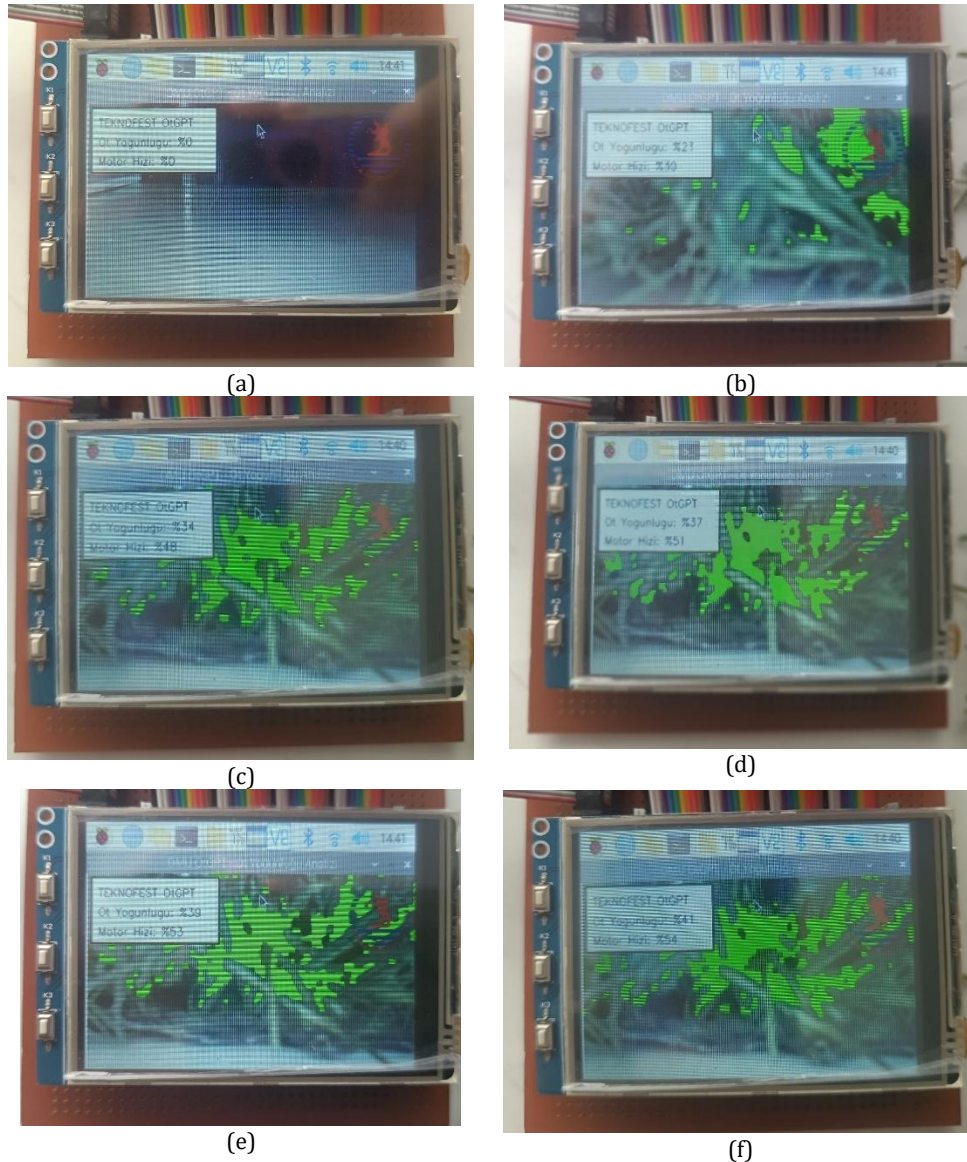
Şekil 13. İlk prototip üretim aşamaları, (a) ana şasi oluşturma, (b)tekerlek montajı kaynak işlemleri, (c) elektronik kontrol kartı montajı, (d) araç alt görünümü-biçici başlık montajı, (e) aracın yürüyen aksam kontrolleri, (f)aracın prototipinin son hali (The first prototype production stages, (a) Main chassis creation, (b) wheel assembly welding operations, (c) electrical control card assembly, (d) vehicle bottom view - mower head assembly, (e) vehicle chassis controls, (f) final version of the vehicle prototype)

Şekil 14, ot mesafesi, yoğunluk ve biçici motor hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 13 dikkatlice incelendiğinde, kameraya yakın mesafelerde yüksek ot yoğunluğu, uzaklaştıkça da azalan ot yoğunluğunun olduğu anlaşılmaktadır. Benzer şekilde yoğunluk ve mesafeye bağlı olarak optimize edilmiş hız değerleri de görülmektedir. Bu veriler, gün ışığı aydınlatmada (10.000 lüks), %60-70 nem oranına sahip bir bahçede, 25°C ortam sıcaklığında ve 30 FPS kamera kayıt hızı ile elde edilmiştir. Çalışmadaki tepki süresi<100ms, doğruluk oranı $\pm\%5$ ve güç tüketimi ise 3.5-7.2W aralığındadır.



Şekil 14. Ot mesafesi, yoğunluk ve biçici motor hızı arasındaki ilişki
(Relationship between grass distance, density and mower engine speed)

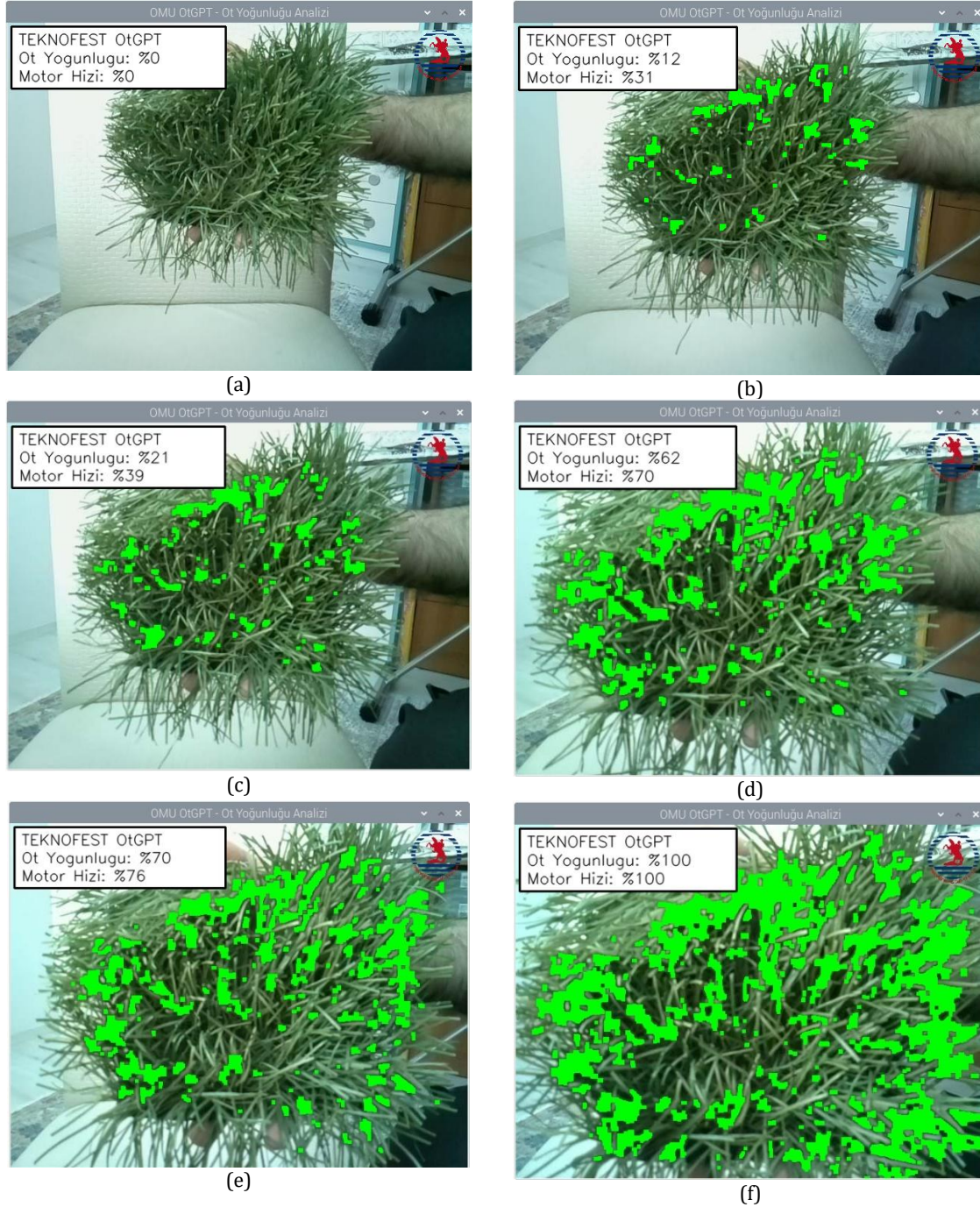
Raspberry ve kamera kullanarak geliştirilen ot algılama sistemine ait, farklı ot yoğunluklarının algılandığı kullanıcı arayüz ekran görüntüleri Şekil 15’ de görülmektedir.



Şekil 15. Farklı ot yoğunluklarının algılandığı kullanıcı arayüz ekran görüntüleri, (a) ot yoğunluğu %0, (b) ot yoğunluğu %21, (c) ot yoğunluğu %34, (d) ot yoğunluğu %37, (e) ot yoğunluğu %39, (f) ot yoğunluğu %41 (User interface screenshots showing different grass densities detected, (a) grass density 0%, (b) grass density 21%, (c) grass density 34%, (d) grass density 37%, (e) grass density 39%, (f) grass density 41%)

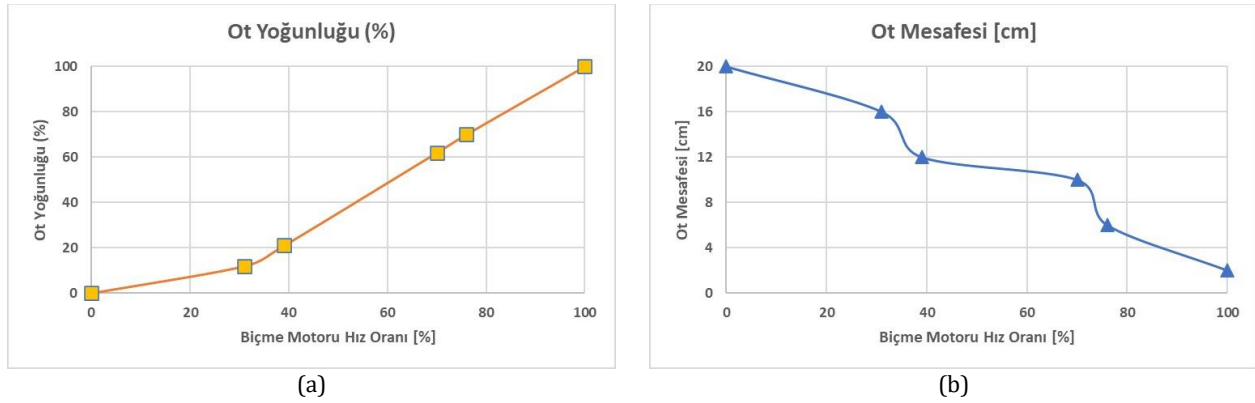
Şekil 16 ise alınan görüntülerin aktarıldığı bilgisayar ekranı üzerinden ot yoğunluk oranını gösteren resimleri içermektedir. Buradan da anlaşıldığı üzere, kamera önünde ot yok iken motor boşa çalışmayacak ve enerji

harcamayacaktır. Ot yoğunluğuna bağlı olarak motor hızı otomatik arttırılacaktır. Bu işlem kumanda ile manuel olarak ta yapılabilir.



Şekil 16. Farklı ot yoğunluklarının farklı mesafelerden algılandığı bilgisayar ekran görüntüleri, (a) kamera-ot arası mesafe: 20cm, (b) kamera-ot arası mesafe: 16cm, (c) kamera-ot arası mesafe: 12cm, (d) kamera-ot arası mesafe: 10cm, (e) kamera-ot arası mesafe: 6cm, (f) kamera-ot arası mesafe: 2cm (Computer screenshots showing different grass densities detected from different distances: (a) camera-to-grass distance: 20cm, (b) camera-to-grass distance: 16cm, (c) camera-to-grass distance: 12cm, (d) camera-to-grass distance: 10cm, (e) camera-to-grass distance: 6cm, (f) camera-to-grass distance: 2cm)

Şekil 17' de ot yoğunluğu ve kamera-ot arası mesafesine göre biçici motor hızı grafiği görülmektedir. Buna göre ot yoğunluğu arttıkça ve kamera-ot arası mesafe azaldıkça, biçici mekanizmadaki motor hızı artmaktadır.



Şekil 17. Biçici motor hızı grafiği, (a) Ot yoğunluğuna göre, (b) kamera-ot mesafesine göre
(Mower engine speed graph, (a) According to grass density, (b) According to camera-grass distance)

Literatürde daha çok traktör – biçerdöver gibi çalışmalarda kullanılan araştırmalar yer bulmuştur. Şimdiye kadar incelenen benzer ticari ürünlerde bulunan başlıca sınırlamalar şunlardır:

- Her arazi şartına uygun olmama,
- Fosil yakıt kullandığından çevreye zarar da verme, havayı kirletme,
- Dar ve kısıtlı alanlarda (özellikle traktör ve ot biçme makineleri için) kullanım sınırlılığı,
- Gürültülü çalışmaları,
- Çevresel faktörlerden (sıcak-soğuk hava vs.) olumsuz etkilenmesi,
- İnsan gücüne dayalı biçme yapma,
- Operatörün kene vs. zararlı hayvanattan olumsuz etkilenmesi,
- Elden motorlu biçme araçlarında işçilerin ellerinde titreşim sonucu oluşan deformeler,

Yukarıda belirtilen sınırlamalara dayanarak, bu çalışmada geliştirilen prototip, şu ana kadar geliştirilen ticari prototipleri ve ekipmanları iyileştiren bir tasarım içermeyi amaçlamıştır. Bu kapsamda geliştirilen araç; sessiz, gürültüsüz, çevre dostu, temiz enerjili, şarjlı oluşu, üzerinde barındırdığı haberleşme kiti ile uzaktan kumanda edilebilme özelliği, yine üzerinde barındırdığı servo sistem ve motor sürücü mekanizmalar ile engin arazilerde rahat, takılmadan ve sorunsuzca manevra yapabilme kabiliyeti, hızlı bir biçer sistemine sahip olması gibi özellikleri ile oldukça yenilikçidir.

Bu çalışma ile üretilen prototip uzaktan kumandalı ot biçme makinesi; yerli üretim olacak ve cihaz hem tarımsal faaliyetlerde çiftçilerimize yardımcı olacak (çiftçiliği eğlenceli hale getirip cazipleştirerek yeni nesil çiftçileri tekrar topraklarına döndürecek) hem de çevreyi kirletmeden, sessiz ve gürültüsüz aynı zamanda da hızlı bir şekilde tarımsal sorunlara çözüm sunacaktır. Tablo 2, yapılan çalışmanın literatüre katkısını sunmak amacıyla, geliştirilen cihazın literatürdeki farklı araştırmacılar tarafından önerilen diğer önemli çalışmalar arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir.

Tablo 2. Geliştirilen cihaz ile güncel literatürdeki diğer önemli çalışmalar arasında bir karşılaştırma
(A comparison between the developed device and other important studies in the current literature.).

Kaynakça	Haberleşme Protokolü	Biçme Sistemi	Otomatik ot tanıma/yöntemi	Ot toplama/tırmık mekanizması	Kullanım bölgeleri
Yuki Iwano vd., 2025	Futaba T10j 2.4GHz kumanda	döner şafta monte edilmiş birden fazla kesme bıçağı, sabit mekanizma	yok	yok	Pirinç tarlalarında
M. Nørremark vd., 2012	RTK-GPS	çatal rotorlu (sikloid) çapa, sabit mekanizma	yok	yok	Kök sökme ve gömme için işlem görmüş alanlarda
Yuki Iwano vd., 2010	TPIP2 Kablosuz LAN	ileri geri hareket eden bıçak, sabit mekanizma	yok	yok	Duvar gibi bir engelin yanındaki arazilerde
Vasanthi Ramiseti vd., 2024	Bluetooth	Sabit yükseklikte döner tek bıçak, sabit mekanizma	yok	yok	Küçük boyutlu bahçelerde
Noman Sharif vd., 2023	Bluetooth	döner tek bıçak, sabit mekanizma	yok	yok	Orta ve büyük ölçekli bahçelerde
Aditya S. Rajmani vd., 2019	Manuel	döner ikili çelik bıçak, sabit mekanizma	yok	yok	Kriket sahası, futbol sahası ve diğer oyun alanlarında
Önerilen Sistem	Radiolink AT9S Pro 2.4G 12 Kanal Kumanda	Misina, bıçak/otonom ayarlanabilir mesafe	Var, görüntü işleme	9 dişli tırmık	Dar, engebeli veya düz arazide, ağaçlık altlarında

Yerli imkanlarla geliştirilecek olan ot biçme makinesi bu alandaki dışa bağımlılığın azaltılmasına yardımcı olacaktır. Bunun yanı sıra tarımsal faaliyetlerdeki iş yükünün hafifletilmesine katkı sağlayacaktır. Çiftçilerin personel eksikliğinden dolayı kullanamadıkları zira alanlar yeniden işlenebilir hale getirilecek ve tarım ekonomisine kazandırılacaktır. Ayrıca traktör vb. hasat makinelerinin dar arazilerde çalışması hem verimsiz olduğundan, park ve bahçelerdeki otların biçilmesi daha ekonomik ve pratik hale gelecektir. Çalışmaya ait Swot (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats, Güçlü yönler, Zayıf yönler, Fırsatlar, Tehditler) analiz görseli Şekil 18’ de görülmektedir.

S	W	O	T
Güçlü Yönler	Zayıf Yönler	Fırsatlar	Tehditler
Uzaktan/otonom kontrol edilebilme, Bataryalı, çevre dostu ürün, Sessiz çalışma, Çevresel faktörlerden (böcek, sıcak-soğuk) etkilenmeme, Eğimli arazi şartlarında çalışabilme, Toplama haznesi ile biçilen otları toplama, Lazer ile yazarlı bitkileri yok edebilme, Yapay zekası ile daha kararlı ve güvenli çalışabilme.	Maddi imkansızlıklar, Kırdağı oynaklıklar, Malzeme tedarik sorunu, Zayıf ışık kalitesi, Biçici misina başlığının değiştirilmesindeki mekanik zorluklar,	Mevcut pazarda seri üretime sahip bir ürün bulunmaması, Ülkemizin zengin tarım arazilerine ve yoğun mera sahalarına sahip olması,	Marka eksikliği, Ürün çeşitliliği olmaması, Henüz tüketici güvenine sahip bir tecrübe bulunmaması, Şirketleşememek, Satış sonrası servis imkanının olmaması,

Şekil 18. Çalışmaya ait SWOT analizi (SWOT analysis of the study)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Geliştirilen sistem, tarımsal otomasyon için pratik ve düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır. HSV renk uzayının kullanılması, ışık değişimlerine karşı daha dayanıklı bir renk tespiti sağlamıştır. Ancak, aşırı güneş ışığı veya yapay aydınlatma koşullarında sistem performansının etkilenebileceği gözlemlenmiştir. Morfolojik işlemlerin uygulanması, yalnızca renk temelli segmentasyon kullanmaya kıyasla gürültüyü önemli ölçüde azaltmış ve tespit doğruluğunu artırmıştır. Ancak, bu işlemlerin hesaplama karmaşıklığı, düşük donanımlı sistemlerde performansı etkileyebilir. Lineer hız kontrol algoritmasının basitliği ve etkinliği dikkat çekicidir. Ancak, farklı ot türleri ve yoğunluk dağılımları için adaptif eşik değerlerinin kullanılması sistemin genellebilirliğini artırabilir.

Sistemin en önemli sınırlılığı, yalnızca renk bilgisine dayanması ve şekil veya doku analizi yapmamasıdır. Bu nedenle, yeşil renge sahip diğer nesneler yanlış pozitif sonuçlara neden olabilmektedir.

Gelecek çalışmalarda, derin öğrenme tabanlı semantik segmentasyon yöntemlerinin entegrasyonu ile sistemin doğruluğu ve güvenilirliği artırılacaktır. Ayrıca, çoklu sensör füzyonu (derinlik kamerası, hiper spektral kamera vb.) kullanılarak sistem performansı iyileştirilmesi de düşünülmektedir. Bunlara ek olarak ta sistem güneş paneli montajı ile temiz enerjili ve çevre dostu bir formata dönüştürülecektir.

Bu çalışmada, gerçek zamanlı görüntü işleme tekniklerini kullanarak ot yoğunluğunu tespit eden ve otomatik hız kontrolü sağlayan bir sistem başarıyla geliştirilmiştir. Sistem, düşük maliyetli donanım bileşenleri ve açık kaynak kodlu yazılım kütüphaneleri kullanılarak geliştirilmiştir. HSV renk uzayı tabanlı segmentasyon ve morfolojik işlemlerin kombinasyonu, etkili bir ot tespit çözümü sunmuştur. Lineer interpolasyon ile geliştirilen hız kontrol mekanizması, ot yoğunluğuna duyarlı dinamik bir kontrol sağlamıştır.

Geliştirilen sistem, hassas tarım uygulamaları için umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Kaynak kullanım verimliliği, enerji optimizasyonu ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sağlayabilecek potansiyele sahiptir.

Gelecek çalışmalarda, sistemin farklı tarımsal senaryolarda performansının değerlendirilmesi ve yapay zekâ tabanlı geliştirmelerle desteklenmesi planlanmaktadır. Ayrıca, bulut tabanlı veri analitiği ve uzaktan izleme özelliklerinin entegrasyonu ile daha kapsamlı bir tarım otomasyon platformu hedeflenmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) koordinatörlüğü tarafından BAP08-2025-6004 proje numarası ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Afsharnia, F., Moosavi, S.A. Effects of diesel-engine exhaust emissions on seed germination and seedling growth of Brassicaceae family using digital image analysis. *J Environ Health Sci Engineer* 19, 1887–1900 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00742-6>
- Anonim, 2025a. Tarımda çalışan nüfusun yaş ortalaması, <https://www.yenimesaj.com.tr/tarimda-calisan-nufusun-yas-ortalamasi-giderek-artiyor-gencler-ise-tarimdan-uzaklasip-kentlere-goc-ediyor-H1520689.htm>, (Erişim Tarihi. 12. 10 2025)
- Anonim, 2025b. 2024 yılı itibarıyla çiftçilerimizin yaş ortalaması, <https://kayserigurhaber.com/haber/tzob-baskani-bayraktar-2024-yili-itibariyla-ciftcilerimizin-yas-ortalamasi-59a-yukseldi-610961.html>, (Erişim Tarihi. 12. 10 2025)
- Anonim, 2025c. TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Haber Bülteni, Sayı: 53783, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuc-lari-2024-53783> (Erişim Tarihi. 13. 09 2025)
- Anonim, 2025d. <https://multeciler.org.tr/turkiyedeki-suriyeli-sayisi/> (Erişim Tarihi. 13. 09 2025)
- Anonim, 2025e. TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Haber Bülteni, Sayı: 54155, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Turizm-Istatistikleri-I.-Ceyrek:-Ocak-Mart,-2025-54155> (Erişim Tarihi. 13. 09 2025)
- Anonim, 2025f. Kırım Kongo Kanamalı Ateşi (KKKA). Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı. <https://hsgm.saglik.gov.tr/zoonotik-ve-vektorel-hastaliklar/kkka.html>, (Erişim Tarihi. 13. 09 2025)
- Anonim, 2022a. DSI Faaliyet Raporu, Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. <https://www.dsi.gov.tr/sayfa/detay/759> (Erişim Tarihi. 13. 09 2025)
- Anonim, 2019. Çiftçilik yapmak isteyenlere arazi devletten. <http://www.turktarim.gov.tr/Haber/353/ciftcilik-yapmak-isteyenlere-arazi-devletten> (Erişim Tarihi. 13. 09 2025)
- Anonim, 2022b. TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Haber Bülteni, Sayı: 45645, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=%C4%B0%C5%9Fg%C3%BCc%C3%BC-%C4%B0statistikleri-2021-45645> (Erişim Tarihi. 13. 09 2025)
- Aybek, A., Kuzu, H., & Karadöl, H. (2021). Türkiye'nin ve Tarım Bölgelerinin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyindeki Değişimlerin Son On Yıl (2010-2019) ve Gelecek Yıllar (2020-2030) için Değerlendirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 24(2), 319-336. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.747163>
- Efitli, E., Karcioglu, A. A., Simsek, E., Ozdogan, A., Karatas, F., ve Senocak, T. (2025). Farklı Klinik Işıklarında Metamerizmi Öllemek İçin Renk Anlari Kullanılarak Makine Öğrenmesi Tabanlı Diş Rengi Değerlendirmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Dergisi*, 15(1), 71-82. Evcim, H. Ü., Degirmencioglu, A., Ertuğrul, G.Ö., Aygun, i., 2012. Advancements and transitions in technologies for sustainable agricultural production. *Economic and Environmental Studies*, 12(4), 459-466.
- Flammini A, Pan X, Tubiello F.N., Qiu S.Y., Souza L.R., Quadrelli R., Bracco S., Benoit P, and Sims R, Emissions of greenhouse gases from energy use in agriculture, forestry and fisheries: 1970–2019, *Earth System Science Data*, 14:2, 811–821, 2022, <https://doi.org/10.5194/essd-14-811-2022>
- Gül, E. N., Ersoy, H., & Altuntaş, E. (2023). Adana ve Mersin İllerinin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyi, Toprak İşleme ve Ekim Makinaları Projeksiyonu. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 19(3), 215-233.
- Iwano Y., Tanaka, A., Iizuka, K., 2025. Development of a Flail-Type Mowing System, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 37(3), 555-562, doi:10.20965/jrm.2025.p0555
- Iwano Y. vd., 2010. Development of the mowing robot of trimmer type, *Proceedings of SICE Annual Conference*, Taipei, Taiwan, 1349-1352.
- Karcioglu, A. A., Efitli, E., Simsek, E., Ozdogan, A., Karatas, F., & Senocak, T. (2025). ML-based tooth shade assessment to prevent metamerism in different clinic lights. *Lasers in medical science*, 40(1), 39. doi: 10.1007/s10103-025-04297-y
- Kelen, F., 2014. Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 80-87.
- Murgod, V.M., Aditya, S., Rajmani, A.S., Gaonkar, A.N., Darak, A., Joshi, A., 2019. Design and Fabrication of Hybrid Operating Grass Cutter, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 8(05)795-799.
- Nørreemark, M., Griepentrog, H.W., Nielsen, J. et al. 2012. Evaluation of an autonomous GPS-based system for intra-row weed control by assessing the tilled area. *Precision Agric* 13, 149–162. doi:10.1007/s11119-011-9234-5
- Ramisetti, V., Chowdary, P.S., Bankuru, C., Peda, S., Pasala, M., 2024. Automatic Grass Cutting Robot Using Arduino and Ultrasonic Sensor, 11th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO), Noida, India, 2024, 1-4, doi: 10.1109/ICRITO61523.2024.10522393.
- Sav, O., Sayin, C., 2018. Tarımda Kalma Eğilimini Etkileyen Başlıca Faktörlerin Genel Bir Değerlendirmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21, 190 – 197. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.472890>

- Sharif, N., vd., 2023 N. Sharif, S. Afridi, A. Hussain, M. Hasnain and S. Rasheed, Solar Powered Automated Grass Cutter Machine with Lawn Coverage, International Conference on Emerging Power Technologies (ICEPT), Topi, Pakistan, 1-7, doi: 10.1109/ICEPT58859.2023.10152343.
- Sümbül, H., Gülay, C., 2025. Elektrik kesilmelerine karşı akıllı priz sistemi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 13(1), 369-381. <https://doi.org/10.21923/jesd.1511742>
- Sümbül, H., Böğrek, A., Tunçer, A., 2021. Demiryolu Ulaşım Güvenliği için Makinist Uyarım Sistemi Kavramsal Tasarımı ve Simülasyonu. Demiryolu Mühendisliği Dergisi. 14: 1-13. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.832113>
- Sümbül, H., Tunçer, A., Yıldırım, K., 2024. Developing an Artificial Intelligence Feeding System to Feed Street Animals, Informatics and Technology Transfer Bridging Innovation and Implementation, Editör: Dr. İsmail ÇETİN, Pegem Akademi, Samsun, ss.33-41.
- Yalçın, G. E., Kara, F. Ö., 2016. Kırsal Göç ve Tarımsal Üretime Etkileri. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 20(2), 154-158.

Ekler (Appendix):

Sözde Kod (Pseudocode)

```
// GLOBAL VARIABLES
PROGRAM OtGPT_Ot_Yogunlugu_Algilama
// Sabitler ve Değişkenler
DEĞİŞKEN MOTOR_PIN1, MOTOR_PIN2, ENABLE_PIN, LED_PIN: TAMSAYI
DEĞİŞKEN CAMERA_WIDTH, CAMERA_HEIGHT, CAMERA_FPS: TAMSAYI
DEĞİŞKEN LOWER_GREEN, UPPER_GREEN: DİZİ[3]
DEĞİŞKEN MIN_PIXELS, MAX_PIXELS, MIN_SPEED, MAX_SPEED: TAMSAYI
FONKSİYON setup_gpio(): PWM
    GPIO modunu ayarla (BCM)
    GPIO pinlerini çıkış olarak ayarla
    PWM nesnesi oluştur ve başlat
    PWM döndür
FONKSİYON setup_camera(): VIDEO_CAPTURE
    Kamera nesnesi oluştur
    Kamera çözünürlük ve FPS ayarlarını yapılandır
    Kamera nesnesini döndür
FONKSİYON load_logo(): (DİZİ, DİZİ)
    Logo dosyasını yükle
    Logoyu yeniden boyutlandır
    Alpha kanalını ayır
    Logo RGB ve alpha maskesi döndür
FONKSİYON detect_green(hsv_frame): DİZİ
    // HSV renk uzayında yeşil için maske oluştur
    mask = cv2.inRange(hsv_frame, LOWER_GREEN, UPPER_GREEN)
    // Gürültü azaltma işlemleri
    kernel = np.ones((5,5), np.uint8)
    mask = cv2.erode(mask, kernel, iterations=2)
    mask = cv2.dilate(mask, kernel, iterations=1)
    mask döndür
FONKSİYON calculate_speed(green_pixels): TAMSAYI
    EĞER green_pixels < MIN_PIXELS İSE
        speed = 0
    DEĞİLSE
        // Lineer interpolasyon ile hız hesaplama
        speed = ((green_pixels - MIN_PIXELS) / (MAX_PIXELS - MIN_PIXELS)) * (MAX_SPEED - MIN_SPEED) + MIN_SPEED
        speed = min(100, speed) // Maksimum sınırlama
    TAMSAYI(speed) döndür
FONKSİYON motor_control(pwm, speed)
    EĞER speed > 0 İSE
        GPIO.output(MOTOR_PIN1, YÜKSEK)
        pwm.ChangeDutyCycle(speed)
        GPIO.output(LED_PIN, YÜKSEK)
    DEĞİLSE
        GPIO.output(MOTOR_PIN1, DÜŞÜK)
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
        GPIO.output(LED_PIN, DÜŞÜK)
FONKSİYON process_frame(cap, pwm, logo_rgb, alpha)
    DÖNGÜ (DOĞRU)
        frame = cap.read() // Kameradan kare al
        // Görüntü işleme
        hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)
        mask = detect_green(hsv)
```

```
green_pixels = cv2.countNonZero(mask)
density_percent = min(100, (green_pixels / MAX_PIXELS) * 100)
// Hız kontrolü
speed = calculate_speed(green_pixels)
motor_control(pwm, speed)
// Görsel iyileştirmeler
EĞER green_pixels > MIN_PIXELS İSE
    frame[mask != 0] = [0, 255, 0] // Yeşil alanları vurgula
    frame = add_logo(frame, logo_rgb, alpha)
    // Bilgi paneli oluştur
    cv2.rectangle(frame, (5, 5), (190, 90), (255,255,255), -1)
    cv2.putText(frame, "TEKNOFEST OtGPT", (15, 30), ...)
    cv2.putText(frame, f"Ot Yoğunluğu: %{density_percent}", (15, 55), ...)
    cv2.putText(frame, f"Motor Hizi: %{speed}", (15, 80), ...)
    cv2.imshow('OMU OtGPT - Ot Yoğunluğu Analizi', frame)
EĞER cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q') İSE
    DÖNGÜDEN_ÇIK
FONKSİYON main()
    pwm = setup_gpio()
    cap = setup_camera()
    logo_rgb, alpha = load_logo()
    process_frame(cap, pwm, logo_rgb, alpha)
    // Kaynakları serbest bırak
    cv2.destroyAllWindows()
    cap.release()
    pwm.stop()
    GPIO.cleanup()
PROGRAMI_ÇALIŞTIR
```