



TARIMSAL İNSANSIZ KARA ARACI YARIŞMASI KRİTİK TASARIM RAPORU

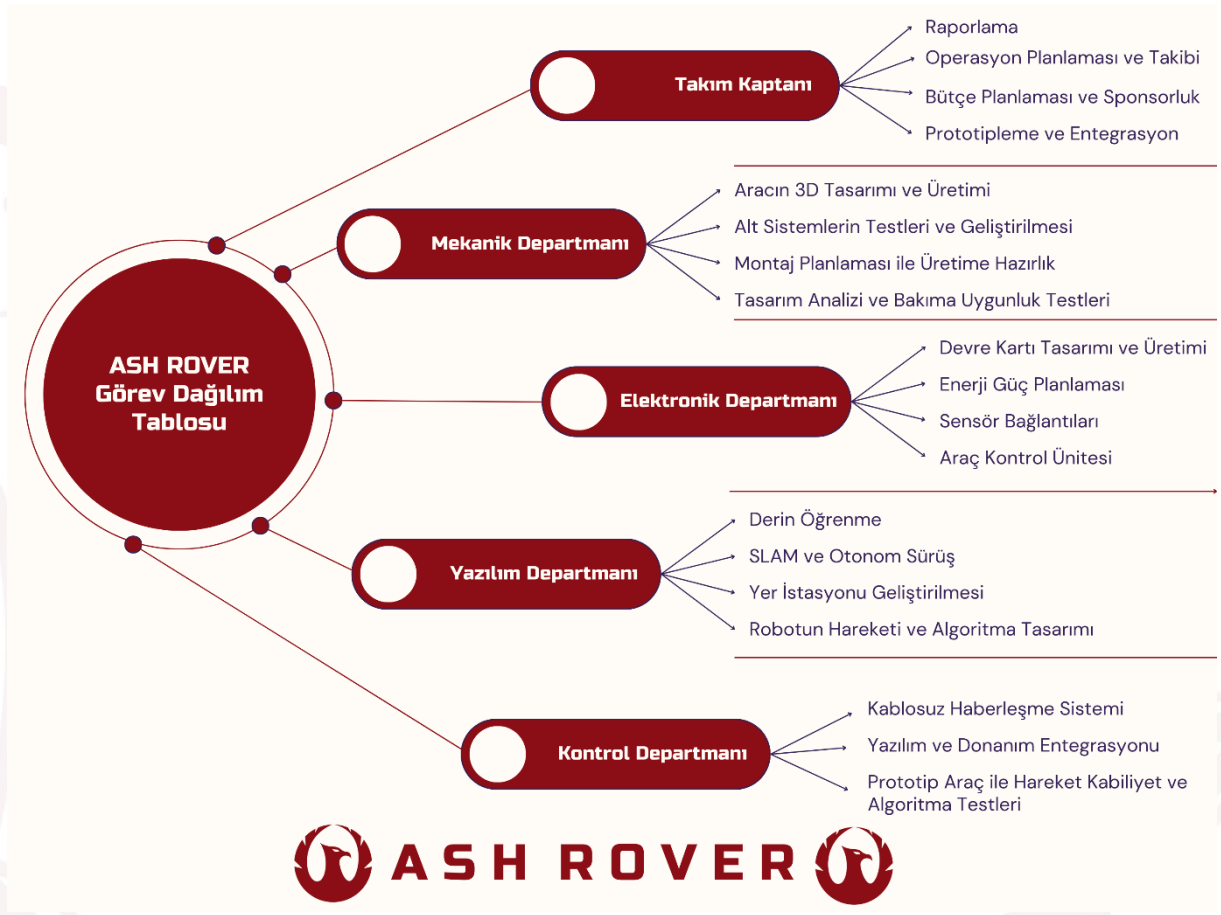
TAKIM ADI: ASH ROVER

BAŞVURU ID: #1676410

İçindekiler Tablosu

1	TAKIM ORGANİZASYONU	3
2	MEVCUT DURUM DEĞERLENDİRMESİ	4
3	ARAÇ ÖZELLİKLERİ	5
3.1	Mekanik Tasarım Süreci	5
3.1.1	Yürür Sistem	5
3.1.2	Süspansiyon Sistemi	6
3.1.3	Çapalama Sistemi	6
3.1.4	Mekanik Sistem	6
3.2	Elektronik Tasarım Süreci	7
3.2.1	Kontrol sistemleri	8
3.2.2	Haberleşme	8
3.2.3	Motorlar	9
3.2.4	Enerji Güç Planlaması	9
3.3	Yazılım Tasarım Süreci	10
3.3.1	Görüntü Edinme	10
3.3.2	Veri Ön İşleme	10
3.3.3	Nesne Tespiti	11
3.3.4	LIDAR ve Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM)	12
3.3.5	Kontrol Ve Navigasyon	12
4	SENSÖRLER	12
5	ARAÇ KONTROL ÜNİTESİ	14
6	OTONOM SÜRÜŞ ALGORİTMALARI	15
7	ÖZGÜN BİLEŞENLER	17
7.1	Güç Dağıtım Kartı	17
7.2	Motor Yük Dağıtım Sistemi	18
7.3	Yer İstasyonu	19
8	GÜVENLİK ÖNLEMLERİ	20
9	SİMÜLASYON VE TEST	20
10	REFERANSLAR	29

1 TAKIM ORGANİZASYONU



Şekil 1. Takım Organizasyonu Şeması

Dinamik ve şeffaf bir çalışma ortamına sahip ekibimiz; takım kaptanı tarafından sağlanan çalışma planı ile departmanların haftalık toplantılarından alınan dönüşler ve test sonuçları ile sürekli geliştirme prensibi ile projenin yaşam döngüsünü sağlanmaktadır.

Makine mühendisliği, elektrik-elektronik mühendisliği, yazılım mühendisliği ve bilgisayar mühendisliği olmak üzere farklı disiplinlerin bir arada çalıştığı ekip üyelerimiz; okulda gördüğü derslerle birlikte takımımızın organize ettiği teknik gezi ve atölye çalışmaları ile sektör bilgilerine de hakim olarak multidisipliner bir nitelik kazanarak çalışmalarını sürdürmektedir.

Proje Planı

Periyotlar 2024 Yılına Haftalık Planlamaları Olarak Düzenlenmiştir.

Period Highlight: 19

Planlı Bitişi

Gerçek Bş.

% Complete

Actual (beyond plan)

% Complete (beyond plan)

AKTİVİTE

PLANLI
BAŞLANGIÇ

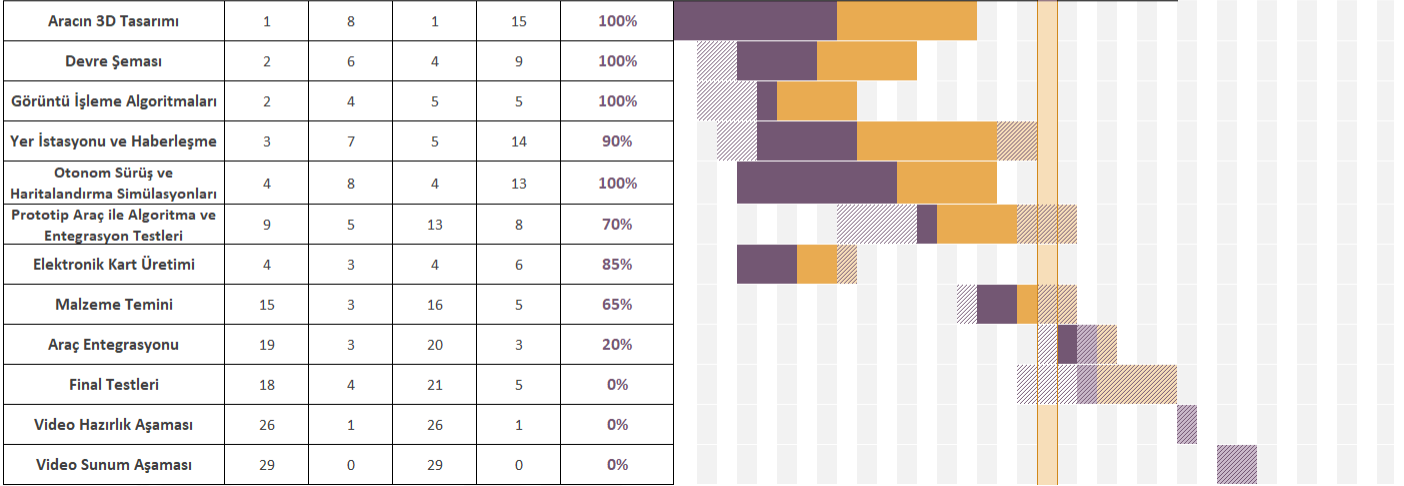
PLANLI SÜRE

GERÇEK
BAŞLANGIÇ

GERÇEK
SÜRE

TAMAMLANMA
YÜZDESİ

PERIODS



Şekil 2. Proje Planı Şeması

ASH Rover takımı tarımsal insansız kara aracı çalışmaları için 2024 yılına ait haftalık planlanan “İş – Zaman Grafiği” Şekil 2’de gösterilmiştir.

2 MEVCUT DURUM DEĞERLENDİRMESİ

Teknik Yeterlilik Formu sonrasında sürekli geliştirme ve gerekli testler ile aracın zayıf ve iyileştirmeye açık yönleri tespit edilmiştir. Bu çerçevede:

- Çapalama Sistemi
- Süspansiyon Mekanizması
- Güvenlik Önlemleri
- Şasi Güncellemesi
- Sensör Bağlantılarının Araca Uygun Tasarımı

Çapalama sistemi için kullanılan step motorlar iptal edilmiş “Lineer Aktüatör” sayesinde radyal bir hareket ile çapalama sağlanmıştır.

Araç TYF aşamasında bir süspansiyon sistemine sahip olmadığı gibi arazi koşullarında avantaj kazandıracak ve testler ile de doğrulanmış “Rocker Bogie” süspansiyon sistemine geçilmiştir.

Acil bir durumda kolay ulaşılabilecek şekilde şasinin üzerinde konumlandırdığımız “Acil Stop Butonu” eklendi.

Arazi koşullarına uygun olacak şekilde şasinin boyutları güncellendi.

Veri iletimi başta olmak üzere kontrol mekanizmasında Pixhawk ile birlikte Arduino da sisteme dahil edildi.

Yenilikler karşısında step motor gibi kullanılmayan ürünler TYF Bütçe Planı listesinden çıkarılmıştır.

Bütçe Planlaması		FİYAT (TL)	Bütçe Planlaması		FİYAT (TL)
Malzeme Listesi			Malzeme Listesi		
	Filament	₺1.440,00		Filament	Kargoda
	Tekerlek	₺2.004,00		Tekerlek	Stok
	Jant	₺668,00		Jant	Stok
	Tekerlek Kilit Halkası	₺1.455,62		Tekerlek Kilit Halkası	Stok
	Lastik İçi Sünger	₺668,00		Lastik İçi Sünger	Stok
	Sigma profil	₺750,00		Sigma profil	₺750,00
	Karbon Fiber Boru	₺2.528,92		Karbon Fiber Boru	Kargoda
	Rulman	₺1.800,00		Rulman	Kargoda
	Paslanmaz Sac Metal	₺15.600,00		Paslanmaz Sac Metal	₺15.600,00
	Alüminyum Plaka	₺2.700,00		Alüminyum Plaka	₺2.700,00
	Alüminyum mil	₺400,00		Alüminyum mil	₺400,00
	Araç Bilgisayan	₺24.194,40		Araç Bilgisayan	Kargoda
	Kontrol Kartı	₺15.299,90		Kontrol Kartı	Stok
	Li-ion Pil	₺5.580,00		Li-ion Pil	Stok
	Custom PCB	₺3.000,00		Custom PCB	₺3.000,00
	DC Motor	₺3.249,56		DC Motor	Stok
	DC Motor Sürücü	₺746,28		DC Motor Sürücü	Stok
	Wi-Fi Router	₺900,00		Wi-Fi Router	Kargoda
	Lidar	₺4.953,51		Lidar	Kargoda
	Kamera	₺3.300,00		Kamera	Kargoda
	GPS	₺6.349,90		GPS	Stok
	Toplam=	₺97.588,09		Toplam=	₺22.450,00

Şekil 3. Güncellenmiş Bütçe Planı

3 ARAÇ ÖZELLİKLERİ

3.1 Mekanik Tasarım Süreci

3.1.1 Yürür Sistem

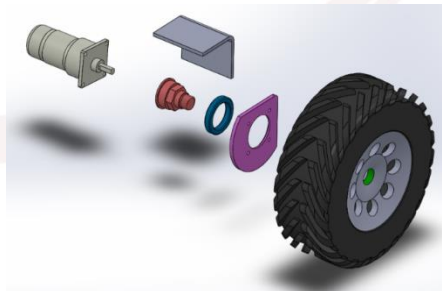
Motorlardan iletilen gücün kayıpsız bir şekilde tekerleklere iletilmesi ve yükün motor milinden ziyade doğrudan tekerleklere aktarılması için motor güç aktarım organından “Motor Yük Dağıtım Sistemi” tasarımına geçiş yapılmıştır.



Şekil 4. Güç Aktarım Organı Test



Şekil 5. Güç Aktarım Organı Üretim Sonrası Fotoğrafı



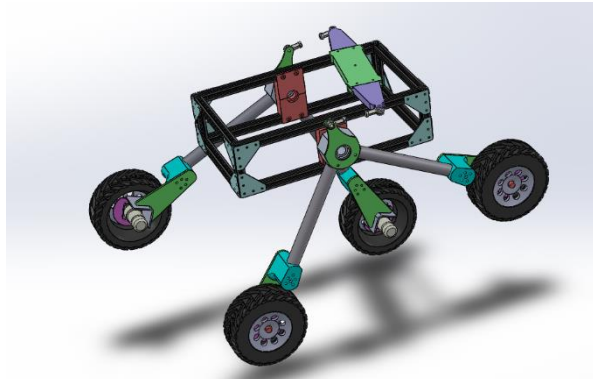
Şekil 6. Motor Yük Dağıtım Sistemi Patlatılmış Görüntüsü

3.1.2 Süspansiyon Sistemi

Taşıyıcı sistemin doğrudan şasiye bağlanması engebeli arazi için yetersiz kaldığından her koşulda 4 tekerin de yere basması fikri baz alınarak geliştirilen “Rocker Bogie” tasarımı ile gerekli testlerle birlikte üretilmiş ve araca entegrasyonu için hazırlanmıştır.



Şekil 7. Rocker Bogie Prototipi



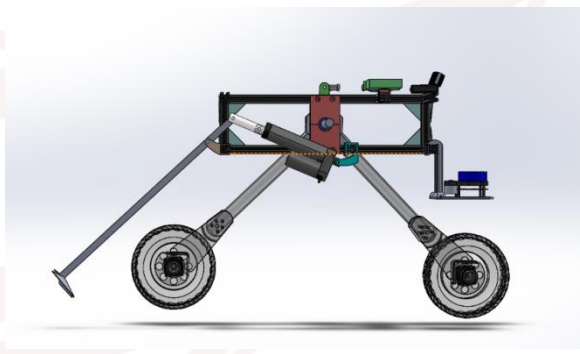
Şekil 8. Süspansiyon Araç Entegrasyon Testi

3.1.3 Çapalama Sistemi

Kaz ayağı tipi abkant büküm ve kaynak imalatından faydalanarak sac metalden üretilen çapa; zemine dik lineer hareketli sistemden maliyet, ağırlık dengesi ve kontrol gibi temel sebeplerden dolayı değişikliğe uğrayarak lineer aktüatör kullanılarak radyal bir hareket kazandırılarak yeniden geliştirilmiştir.



Şekil 9. Eski Çapalama Sistemi

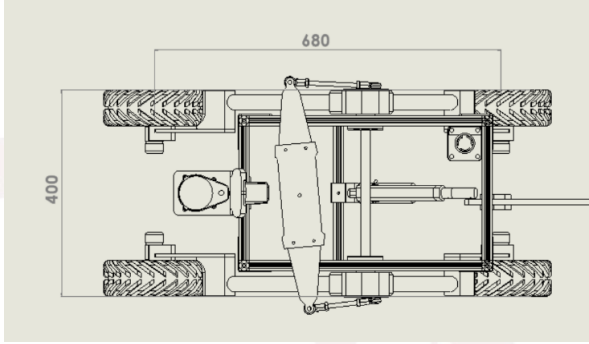


Şekil 10. Güncellenmiş Çapalama Sistemi

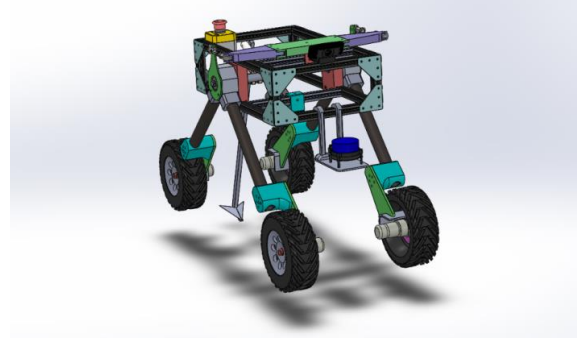
3.1.4 Mekanik Sistem

Aracımızın tarımsal alana uyum sağlayarak toprağa ve bitkilere zarar vermemesi önem arz etmektedir. Tekerleklerimizin boyutu ve sünger dolgusu sayesinde patlama gibi risk senaryolarının önüne geçerken alternatif sistemlerden biri olan paletli sisteme göre arazide aracımıza ve çevreye avantaj sağladığı gözlemlenmiştir ayrıca tasarım süreçlerinde tespit edilen riskler doğrultusunda aracın şasisi 100mm daraltılarak 400mm yapılmıştır. Aracın zemine uyguladığı kuvvetin hesaplanması doğrultusunda araçta kullanılan ana malzemeler hafif ve dayanıklı olması göz önünde bulundurularak

seçilmiştir. Geliştirilen sistemler montaja ve üretilebilirliğe uygun olarak tasarlanmıştır. CNC freze, CNC torna, abkant büküm tezgahı ve 3 boyutlu baskı gibi çeşitli yöntemlerle üretilcek aksamlar için sektör araştırması yapılarak üretimi planlanmıştır. Araç hafif olmasıyla birlikte üzerine binecek yükleri yapılan analizler doğrultusunda rijit yapısını mukavemet kaybetmeden taşıyacaktır. Ana şasi 20x20 alüminyum sigma profillerden L köşe bağlantıları ile oluşturulmaktadır. Bu bağlamda araç 680mm x 400mm x 580mm ölçülerindedir.



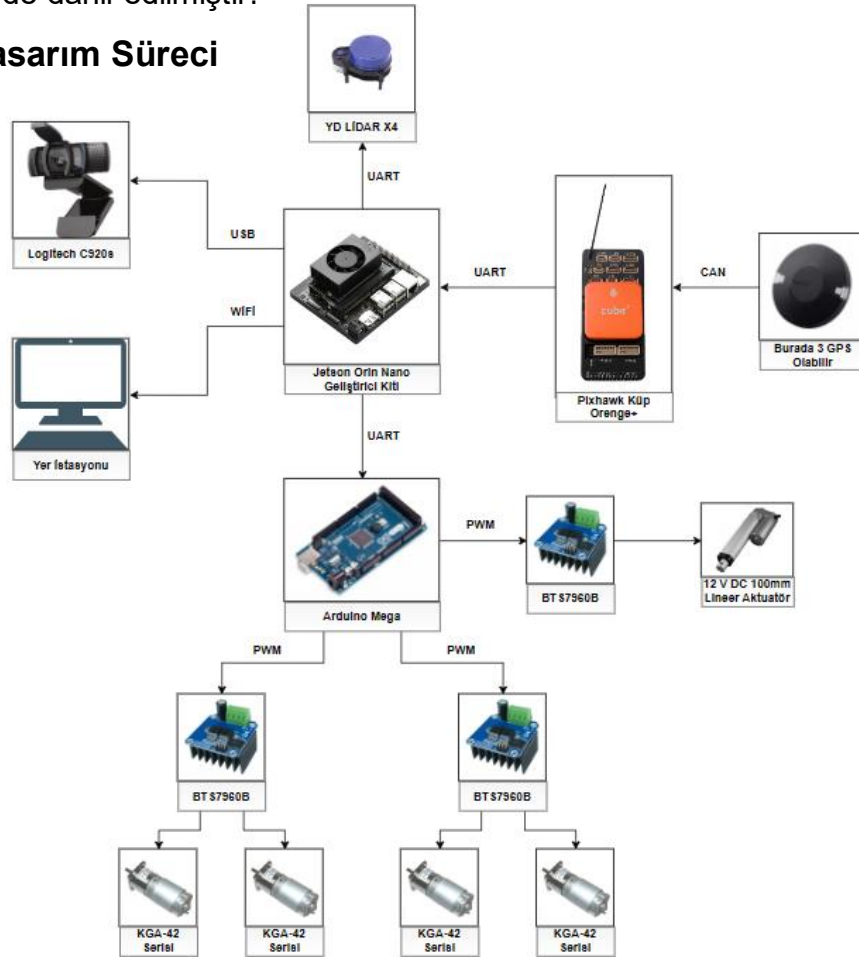
Şekil 11. Aracın Üstten Görünümü



Şekil 12. Aracın Bilgisayar Destekli Tasarımının Görüntüsü

Tüm bileşenler ile birlikte aracımız toplam 20 kilogram ağırlığındadır. Faydalı yük ise 17 kilogram olduğundan %85 oranında faydalı yük hesaplanmıştır. Hesaplamaya tüm elektronik bileşenler de dahil edilmiştir.

3.2 Elektronik Tasarım Süreci



Şekil 13. Sistemin Elektroniksel Tasarımı

3.2.1 Kontrol sistemleri

Araç kontrolünü sağlamak için 2 adet BTS7960B 40 Amper Motor Sürücü modülleri kullanılarak 4 adet KGA 42 dc motor kontrol edilmiştir. BTS7960B 40 Amper Motor Sürücü Kartları aracımızda kullandığımız DC motorlar gibi yüksek akım ve gerilim gerektiren motorlar için ideal olup; aşırı akım, aşırı ısınma ve kısa devre gibi durumlarda motorları korumak için entegre koruma özelliklerine sahiptirler. BTS7960B motor sürücü, 12V güç kaynağından aldığı gücü kullanarak lineer aktüatörü kontrol etmektedir. Arduino Mega ile birlikte kullanılarak, kullanıcının belirli bir mesafe boyunca lineer aktüatörü hareket ettirebilmesi veya belirli bir hızda kontrol edebilmesi sağlanmıştır. Motor hızını ve yönünü kontrol etmek için PWM sinyalleri kullanılmış ve sistemdeki tepki hızı ayarlanarak sürtünme yükü gibi mekanik etkiler nedeniyle oluşan sapmalar en aza indirilerek PWM sinyallerinin dinamik olarak ayarlanması sağlanmıştır. Böylece araç üzerinde stabil bir kontrol sağlanması hedeflenmiştir. Aynı zamanda gerektiğinde motor gücünü kesmek için de kullanılabilir.

Aracın konum kontrolü ve hız verileri için Pixhawk ile bağlanmış Here 3 GPS gerçek zamanlı konum verilerini araç kontrol ünitesine destek sağlanmıştır.

22.2v 6S batarya ile beslenen Powerbrick çıkışına Pixhawk bağlanarak 5v ile beslenmiştir. CAN konnektörü aracılığı ile Here 3 GPS entegrasyonu sonucunda bağlantı işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Kurulum aşamasında ara yüz olarak Mission Planner kullanılmış olup GPS modülünün doğru pozisyon ve hız verilerini sağlaması için kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 Haberleşme

Sistemde elektronik haberleşme için Jetson Orin Nano ana bilgisayar ve Arduino Mega mikro denetleyici kullanılmıştır. YD Lidar X4 Jetson Orin Nano'nun CP2102 UART USB dönüştürücüsü ile USB portuna bağlanarak Software Serial bağlantısı kurulmuş olup çevredeki ortamın taranması sağlanmıştır. Jetson Orin Nano, Lidar verilerini alır ve bu verileri Logitech C920s Kamera modülünden USB portu aracılığıyla aldığı görüntüyle birleştirerek görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmalarıyla görsel odyometri yöntemlerini kullanarak daha kapsamlı bir çevre haritası oluşturur. Bu sayede, nesne tanıma ve algılanan engellerin tespitiyle aracın sorunsuz bir şekilde ilerlemesi sağlanır. Toplanan veriler, Jetson Orin Nano tarafından ROS 2 ile sağlanan Nav2 paketiyle işlenir ve Lidar verileri SLAM yöntemiyle otonom sürüş için haritalandırılır ve konumlandırılır. Gerekli hareket komutları, ROS Control paketi aracılığıyla Jetson Orin Nano tarafından üretilir ve UART üzerinden bağlanan Arduino Mega mikro denetleyicisine yönlendirilir. Bu hareket komutları, denetleyicinin BTS7960B motor sürücülerine doğru PWM sinyalleri üretilerek aracın hareket etmesi sağlanır.

3.2.3 Motorlar

12 V DC 100 mm Lineer Aktüatör:

Tasarladığımız aracımızda, toprak işleme işlevlerini optimize etmek için 100mm'lik bir lineer aktüatör kullanılacaktır. Bu aktüatörün uçlarında yer alan Limit Switch'ler, motorun sınıra ulaştığını algılar ve böylece voltaj verilse bile motorun çalışmasını önler. Bu özellik, çapalama işlemi sırasında aktüatörün aşırı uzamasını veya kısılmasını engelleyerek sistemin güvenliğini sağlar. Ayrıca, 750 N/m torka sahip olması, çapalama işlemi için gerekli olan gücü sağlamak için yeterli olduğunu göstermektedir.

Özellikleri:

- Çalışma Gerilimi: 12V
- Yük Kapasitesi (Tork): 500N
- Hız: 13mm/s yükte, 16mm/s boşta
- Uzunluk: 100 mm
- Zorlanma Akımı: 3000 mA



Şekil 14. Lineer Aktüatör

24V 150 RPM 42mm Redüktörlü DC Motor:

Arazi koşulları da dikkate alınarak, düşük hız ve yüksek tork sunan bir redüktörlü motor tercih edilmiştir. 12V-24V aralığında çalışabilen ve 150 RPM hıza sahip olan bu motor, çeşitli sistemlerde ve robotlarda kullanılabilir. Bu özellikleriyle aracımızda büyük bir esneklik sağlar.

Özellikleri

- Çalışma Voltaj Aralığı: 12V-24V
- Hız: 150 RPM/Dk
- Motor Çapı: 36mm
- Redüktör Çapı: 42mm
- Boşta Çektiği Akım: 55mA
- Güç: 7.5W Ağırlık: 230gr

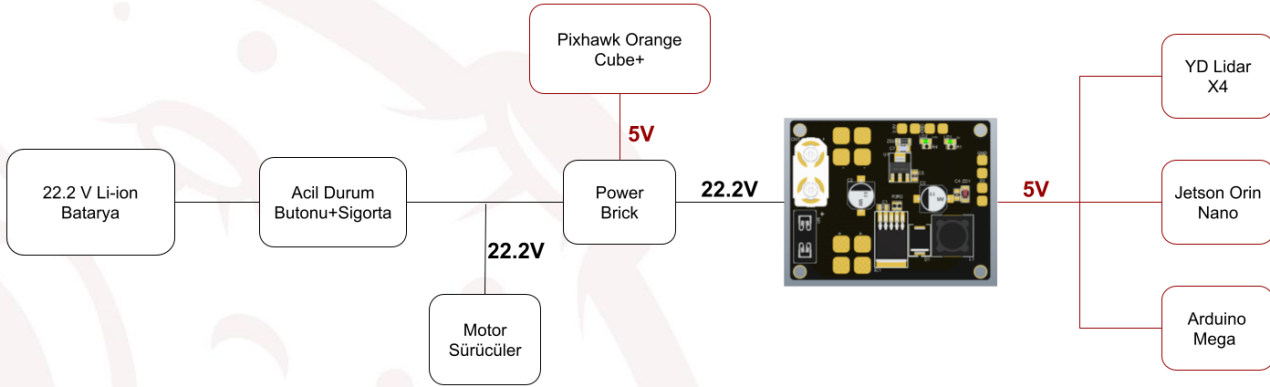


Şekil 15. DC Motor

3.2.4 Enerji Güç Planlaması

Motorun gereksinimlerine göre seri pil sayısı belirlenmiş ve ağırlık-süre hesaplaması yapılarak paralel pil sayısı belirlenmiştir. Pil paketi 6 seri ve 3 paralel bağlantı ile toplamda 22.2V ve 6300mAh kapasiteye sahiptir.

Aşağıdaki şemada, aracımızın temel sistemini sadeleştirilmiş gösterimi vardır. 22.2V Li-ion batarya aracın güç kaynağıdır. Bataryadan sağlanan güç öncelikle sigortaya bağlanır. Buradan güç ham bir şekilde Power Brick ve motor sürücülere yönlendirilir. Power brickin 5 volt çıkışı Pixhawk'a bağlanır ve Power Brick'ten devam eden voltajı kendi tasarladığımız güç dağıtım kartına xt60 konnektöründen bağlanır. Güç dağıtım kartındaki 5 volt çıkışlarından Jetson Orin Nano, Arduino Mega ve Lidar modülü beslenir ve tüm sistemin güç beslemesi tamamlanır.



Şekil 16. Elektrik Devre Şeması

3.3 Yazılım Tasarım Süreci

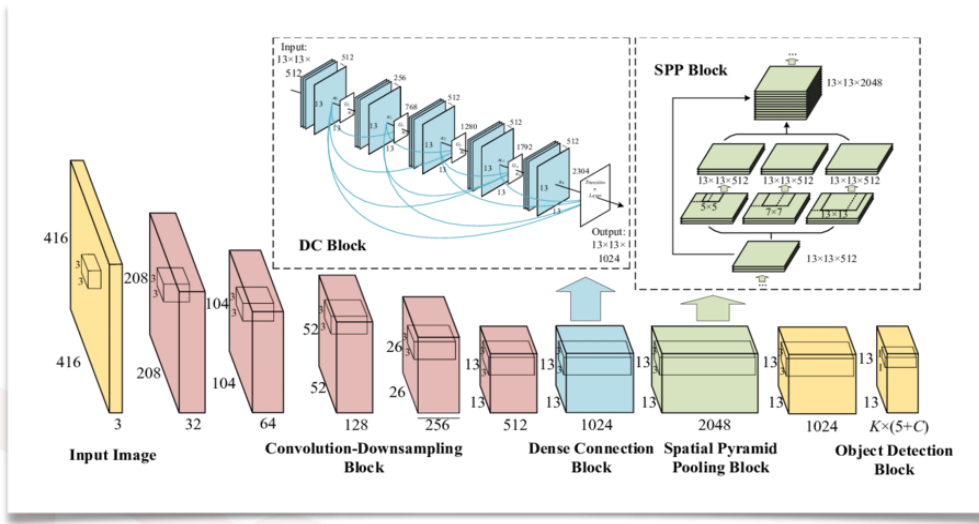
3.3.1 Görüntü Edinme

Tasarlanan araç, üzerinde bulunan yüksek çözünürlük ve 78 derece geniş açılı Logitech c920s USB kamerayı kullanarak tarım arazisindeki çevreyi gözlemleyecektir. Görüntü edinme süreci, bu kameradan alınan görüntülerle başlar ve Jetson Orin Nano üzerinde görüntü işleme ile devam eder.

3.3.2 Veri Ön İşleme

Görüntü işleme algoritmasının başarılı olması için girdi verilerinin önceden işlenmesi gerekir. Bu adımda, görüntülerin boyutlarını düzelttik, gürültüyü azalttık ve renk uzaylarının dönüştürülmesi işlemlerini gerçekleştirdik. Ön işleme adımları, algoritmanın daha hassas ve etkili olmasını sağlar. Bu adımda Python programlama dili ve Python programlama dilinin bir kütüphanesi olan OpenCV (Open Computer Vision Library) kütüphanesini kullandık.

Veri ön işleme aşaması tamamlandıktan sonra daha ileri seviye işlemler için YOLO (You Only Look Once) algoritmasını kullandık. YOLO, nesne tespiti için sıkça kullanılan bir derin öğrenme algoritmasıdır. YOLO, bir görüntüyü tek bir aşamada analiz ederek çeşitli nesneleri ve bunların konumlarını tespit edebilir.



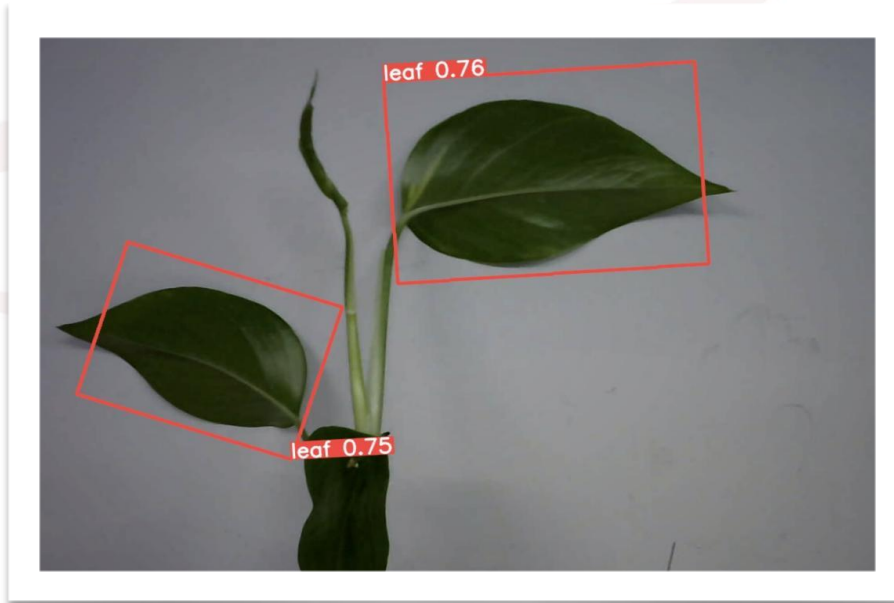
Sekil 17. YOLO Algoritma Mimarisi

3.3.3 Nesne Tespiti

Nesne tespiti, aracın çevresindeki engelleri ve yabancı bitkileri tanımlamak için kullanılır. Bu süreç, YOLO gibi derin öğrenme algoritmalarıyla gerçekleştirilir. YOLO, tek bir aşamada görüntüyü analiz ederek çeşitli nesneleri ve bunların konumlarını tespit eder. Aracın çevresindeki engelleri ve yabancı bitkileri tanımlamak için kullanılır.

YOLO mimarisi şekil 17’de verildiği gibi çeşitli özellik çıkarıcı ve kompleks evrişimli bloklardan oluşmaktadır. SPP ve DC bloklarıyla nesne tespitinin sonuçlarını ayırıştırır. YOLO algoritması, PyTorch kütüphanesi kullanılarak hazırlanmış açık kaynaklı implementasyonu GitHub üzerinden paylaşılmaktadır. Biz de bu kodu ve zararlı otlardan oluşan veri setimizi kullanarak Google Colab aracılığıyla derin öğrenme modelimizi eğittik. Yaklaşık ~ 500 görselden oluşan veri setinde negatif ve birden fazla objeli görseller de bulunmakta. Elde edilen model harici bir kamera kullanılarak test edilmiştir. Kendi oluşturduğumuz veri seti ile fine tuning edilmiş YOLO algoritmasının örnek görsel üzerindeki başarısı aşağıda gösterilmiştir.

YOLO’nun doğruluğu, hızı ve güvenilirliği değerlendirilir. Doğruluk, nesne tespiti sırasında yanlış pozitif ve yanlış negatif tespitlerin azaltılması için önemlidir. Hız, aracın gerçek zamanlı olarak engelleri algılamasını sağlar. Güvenilirlik ise farklı çevresel koşullar altında tutarlı sonuçlar üretme yeteneğidir.



3.3.4 LIDAR ve Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM)

Tasarladığımız Tarımsal insansız kara aracı, SLAM haritalama ve konum belirleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde araç hiç tanınmadığı bir ortama bırakıldığı zaman kendi lokasyonunu ve çevresindeki engelleri tespit etmesini sağlar. LIDAR verileri, SLAM için gerekli duvar ve engellerin uzaklığını Jetson Orin Nano bilgisayarına verir ve Nav2 paketi ile gerekli görselleştirmeler yapılmaktadır.

3.3.5 Kontrol Ve Navigasyon

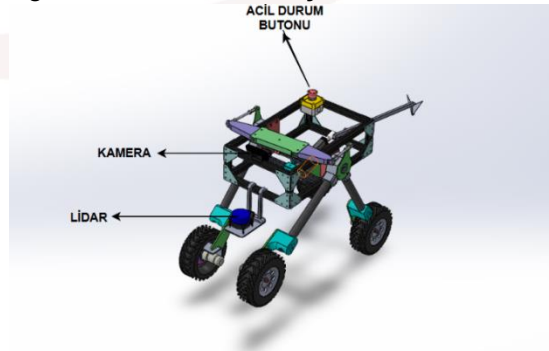
Tarım alanında etkili bir şekilde hareket etmek ve görev için gerekli tarım işlemlerini gerçekleştirmek için gelişmiş navigasyon ve kontrol sistemlerine ihtiyaç duyar. Navigasyon, ROS tarafından desteklenen Nav2 paketi aracın navigasyon ve otonom kontrolü için SLAM yöntemi ile haritayı çıkarttıktan sonra doğru konumlama yapmasını sağlayıp aracın belirlenmiş hedeflere güvenli ve doğru bir şekilde ulaşmasını sağlar. Jetson Orin Nano tarafında kullanılan ros_control paketi aracın hareketlerini Arduino Mega aracılığıyla aracın hızını, yönünü ve manevra kabiliyetini yönetir ve güvenli bir şekilde hareket etmesini sağlar.

Neden Python ?

Öncelikle, Python'un kolay okunabilir ve anlaşılır sözdizimi, kodun hızlı bir şekilde yazılmasını ve anlaşılmasını sağlar, böylece karmaşık algoritmalar ve sistemlerle uğraşırken hataların azaltılmasına yardımcı olur. Ayrıca, OpenCV, PyTorch, TensorFlow ve ROS paketleri gibi geniş kütüphane desteği sayesinde, görüntü işleme, makine öğrenmesi ve robotik gibi alanlarda kullanılan karmaşık problemleri çözmek için hazır çözümlere erişim sağlanır. Python'un geniş geliştirici topluluğu sayesinde sorunlarla karşılaşıldığında veya rehberlik arandığında çözümlere ve yardıma daha kolay erişilebilmesini sağlar ki Python'un en büyük avantajlarından biri budur. Ayrıca, Python'un çapraz platform desteği, farklı donanım ve yazılım ortamlarında uygulamanın kolayca çalıştırılmasını ve simülasyon gibi ortamları mümkün kılar. Yüksek seviyeli ve dinamik bir sisteme sahip olması sebebiyle Hızlı prototipleme ve geliştirme sürecine olanak tanır.

4 SENSÖRLER

Aşağıdaki görselde kullandığımız sensörlerin araç üzerindeki konumlarına yer verilmiştir.



Şekil 19. Araç Üzerindeki Sensör Konumları

YD Lidar X4:

Lidar ışınları kullanarak uzak mesafelerdeki nesneleri tespit etmek, konumlarını belirlemek ve şekillerini haritalamak için kullanılan bir uzaktan algılama teknolojisidir. Tarımsal insansız kara aracında YDLidar X4 - Pro tarafından geliştirilen 360 derecelik bir 2 boyutlu Lidar kullanılmıştır. Üçgenleme ilkesine dayanarak ilgili optik donanıma sahiptir. Mekanik bilgi ve açı bilgileriyle birlikte tarama ortamının bulut verilerini sürekli olarak uzatmak için 360 derece dönebilir. Küçük tasarımı ve düşük güç tüketimi, araç uygulamaları için ideal bir çözüm sunar. Bu özellikler sayesinde, aracımızda kullanımı uygun olacağından; aracın karşılaşılabileceği engelleri tespit ederek rota bulma da kullanılmıştır.

Özellikleri:

- Algılama Mesafesi: 0.1 m - 10 m (100 mm - 10,000 mm)
- Ölçüm Hassasiyeti: ± 1 cm (10 mm)
- Tarama Hızı: 6000-12000 rpm (ayarlanabilir)
- Arayüz: USB, RS232, UART, I2C
- Çalışma Sıcaklığı: -10°C ila 60°C
- Güç Kaynağı: 5V DC
- Güç Tüketimi: 2.5W



Şekil 20. LİDAR

Here 3 CAN GPS:

GPS dünya çapında konum belirleme ve zaman bilgisi sağlayan bir uzay tabanlı navigasyon sistemidir. Tarımsal insansız kara aracında Here 3 CAN GPS kullanılmıştır. Here 3 CAN GPS, uygun maliyetli bir GNSS (Global Navigation Satellite System) sistemidir. 3/3+ GPS ve RTK modlarını destekler ve ideal koşullarda santimetre seviyesinde konumlandırma hassasiyeti sağlar. Güçlü işlemcisi ve dahili Atalet Ölçüm Birimi ile gelişmiş navigasyon ihtiyaçlarını karşılar. Gerçek zamanlı konumu tespit edebilmek için Pixhawk Otonom Kartı için geliştirilmiş GPS modülü kullanılmıştır.



Şekil 20. GPS

Özellikleri:

- Alıcı Tipi: u-blox M8 yüksek hassasiyetli GNSS modülleri (M8P)
- Uydu Takımı/yıldızı: GPS L1C / A, GLONASS L1OF, BeiDou B1I
- Konumlandırma doğruluğu: 3D FIX: 2,5 m / RTK: 0,025 m
- Navigasyon Güncelleme Hızı: Maks: 8Hz
- Ağırlık: 48,8 g

Pixhawk IMU:

IMU, bir nesnenin hızı, ivmesi ve dönme oranı gibi kinematik ölçümleri yapabilen bir cihazdır. IMU'lar, ivmeölçer ve jiroskoplar gibi sensörleri kullanarak füzyon algoritmaları ile birleştirilerek mutlak oryantasyon verilerini çıktı olarak üretir. Bu sensörler, nesnenin ivme, dönme ve eğim gibi hareketlerini ölçmek için kullanılır. Tarımsal insansız kara aracında kullandığımız IMU Pixhawk Cube Orange+'a dahili olarak gelmektedir. ICM42688, ICM20948 ve ICM20649 olarak 3 adet IMU sensörü içerir. Bu IMU'lar, hassas konumlandırma ve güvenilir navigasyonu sağlar, böylece aracın güvenli ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlar.

Logitech C920s:

Logitech C920s, Geniş 78 derecelik görüş açısı ve Full HD 1080p video çözünürlüğü ile olası odometri testleri, RTSP video yayınları ve diğer çevrim içi iletişim uygulamaları için yeterli olduğu gözlemlenmiştir. Otonom görevlerde bitki sıraları arasına girme yeteneği ile birlikte zararlı ve yararlı otları ayırt etmek için geliştirilecek görüntü işleme ve yapay zeka algoritmaları için kullanılmış olup USB-A bağlantı ile Jetson Nano Orin üzerine bağlanarak veri aktarımı sağlanmıştır.



Şekil 22. Kamera

Acil Durum Butonu:

Aracın arka köşesinde konumlandırılmış olup elektronik cihazlara zarar gelmemesine karşın acil durumda ana enerji hattını kesecektir.



Şekil 23. Acil Durum Butonu

5 ARAÇ KONTROL ÜNİTESİ

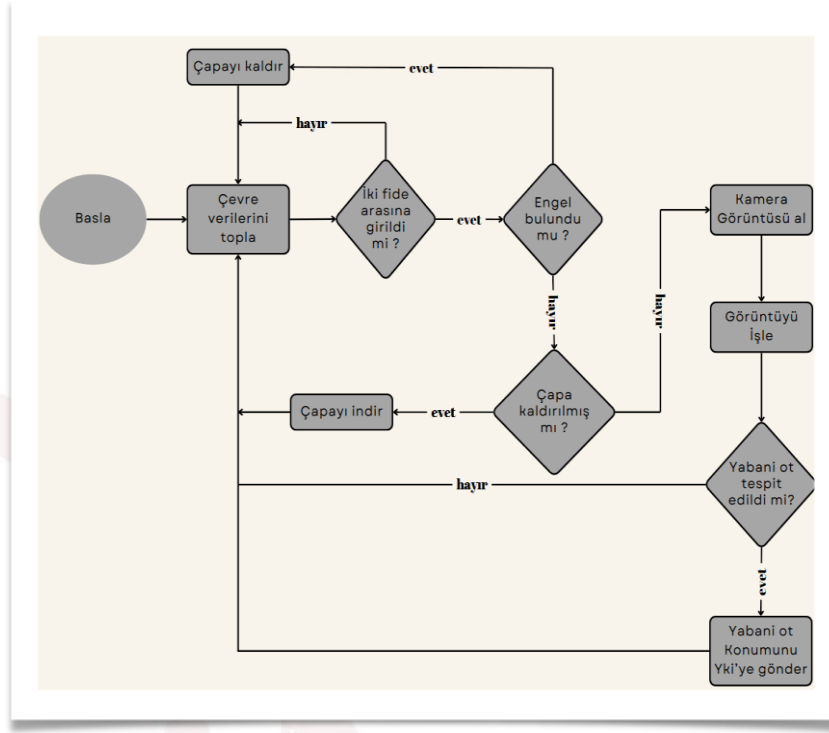
Kablosuz Haberleşme Sistemi

The diagram illustrates the proposed system architecture. It shows a flow from a 'Yer İstasyonu' (Location Station) to a 'Pihawk' node. The 'Yer İstasyonu' is connected to a 'Wi-Fi' network, which is then connected to the 'Pihawk' node. The 'Wi-Fi' network is represented by a box labeled 'Orin' (Router) with a Wi-Fi symbol. The 'Pihawk' node is represented by a box labeled 'Pihawk' with a Wi-Fi symbol. The 'Yer İstasyonu' is represented by a box labeled 'Yer İstasyonu' with a Wi-Fi symbol. The 'Wi-Fi' network is represented by a box labeled 'Orin' (Router) with a Wi-Fi symbol. The 'Pihawk' node is represented by a box labeled 'Pihawk' with a Wi-Fi symbol. The flow is indicated by arrows: from 'Yer İstasyonu' to 'Wi-Fi', and from 'Wi-Fi' to 'Pihawk'.

Kontrol Yazılımı

6 OTONOM SÜRÜŞ ALGORİTMALARI

Robotic Operating System (ROS) yazılım çatısı ile aracın sensörler tarafından topladığı veriler işlenip tekrar araca komut olarak dönüt yapılır. ROS yazılım çatısı düğümleri yayın yapma ve yapılan yayına abone olma mantığı ile tasarlanmış ve ROS çekirdeği ile düğümlerin birbiri ile iletişime geçebileceği bir yapıya sahiptir. Birden fazla konu bir düğümde bulunabilir ve konularda ise batarya verisi, konum

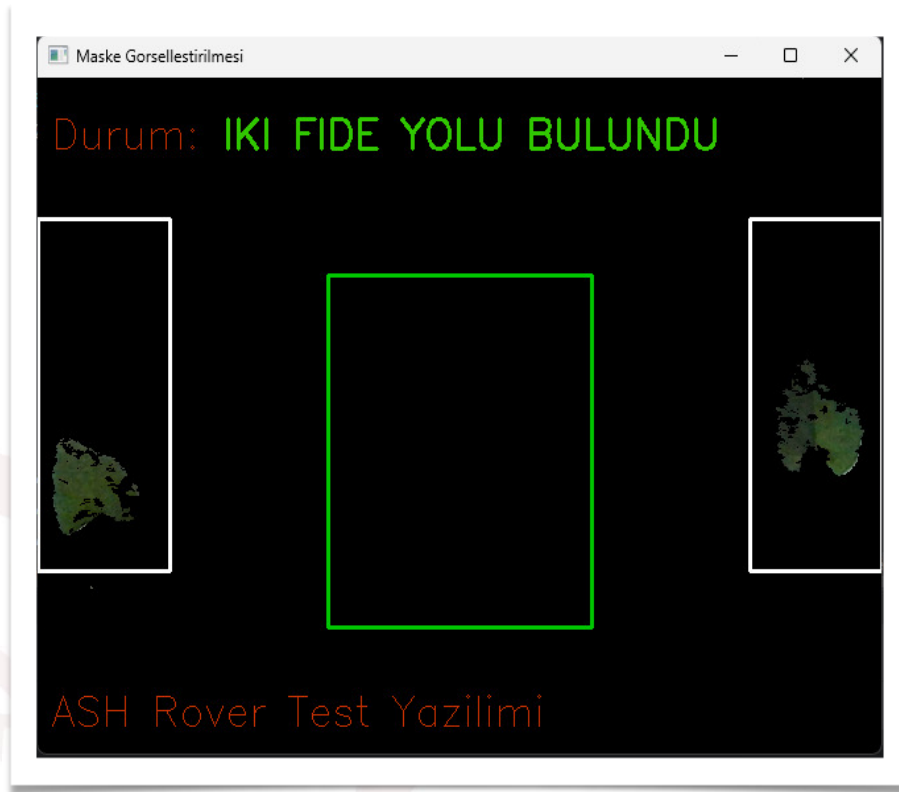


Şekil 24. Otonom Sürüş Algoritması

bilgisi, Lidar verisi, işlenen kamera görüntüsü, çapa durumu gibi veriler yayınlanacaktır. ROS tarafından desteklenen Gazebo programı sayesinde simülasyon ortamında aracımızın URDF formatında modeli çıkartılmış ve simülasyon ortamında denenmesi için hazırlanmıştır. Ayrıca yine ROS tarafından desteklenen RViz programı ile aracın bulunduğu ortamı nasıl gördüğünü görselleştirilmesi yapılmıştır.

Belirlenen görevde ve sahada otonom hareket için en büyük sorun olan bulunduğu ortamı keşfetme ve konumlanması için ros_nav2 paketinde bulunan SLAM yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile araç bulunduğu ortamda haritalandırma (Mapping), mutlak konumlandırma (Localization) ve bunların ardından işaretlenen yol noktalarından planlı ve optimal bir şekilde geçmesi(navigation) sağlanacaktır. Ayrıca dinamik haritalandırma sayesinde haritalandırdıktan sonra önüne çıkacak yeni bir engel olması dahilinde etrafından dolaşma gibi yeteneklere sahip olacaktır.

İKA, SLAM yöntemi, IMU oryantasyon verileri ve GPS modülü konum verilerini kullanarak konumunu bulacak ve çevrenin haritasını çıkartacaktır. Haritalandırmayı



Şekil 25. Sıra Arası Tespit Uygulaması

yaparken Jetson Nano Orin üzerinde çalıştırılan derin öğrenme destekli yapay zeka yazılımı ile iki fide arasına hem maskeleme yöntemi hem de derin öğrenme yöntemi ile birleştirilerek özgün bir yöntem ile doğruluk oranı Jetson Orin Nano'nun hem CPU hem GPU gücü ile desteklenmesi planlanmaktadır. Kameradan alınan görüntünün odometri yöntemlerinden de yararlanarak görüntü işleyerek hem sağında hem solunda gerekli bitkileri görmesi halinde ve Lidar sensörünün de bu sonuca doğru orantılı bir yanıt vermesi durumunda araç otonom bir şekilde Lidar sensörünün de desteği ile iki fide arasında düz ilerleyecek ve yabancı ot arama moduna geçecektir. Yabancı ot tespit etmesi durumunda anlık lokasyonunu yer kontrol istasyonu yazılımına bildirerek ve parkuru tamamlayarak görevini başarıyla tamamlayacaktır.

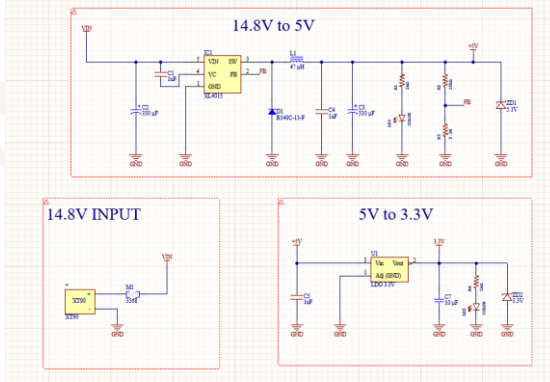
İki fide arası tespitin İşlemci üzerinde maskeleme yöntemi ile desteklenmesi ve orta yeşil çerçevede yabancı ot arama moduna geçişi gösterilmiştir.

7 ÖZGÜN BİLEŞENLER

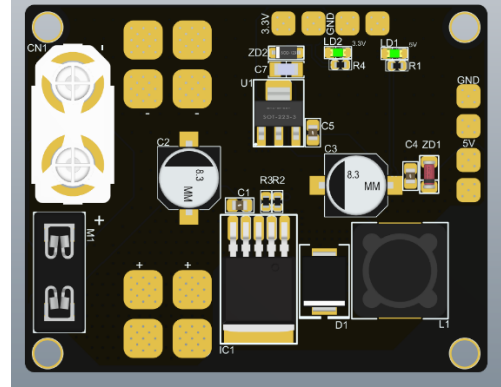
7.1 Güç Dağıtım Kartı

Aracın üstünde bulunan ana bilgisayar ve diğer elektronik komponentlerine güç sağlamak ve doğru gerilimi elde etmek için XL4015 entegresi tabanlı bir DC-DC konvertör ve güç dağıtım kartı geliştirildi. Gücünü XT-60 konnektörü aracılığıyla 22.2V'lik(6S) lityum-iyon bataryadan alan bu konvertör, üstünde bulunan pad'ler aracılığıyla motorlara güç sağlayabiliyor ve bu sayede kablo karmaşıklığından sistemin yönetimini sadeleştirebiliyor.

Geliştirilen DC-DC konvertör, 5V/5A çıkışa sahiptir. Entegrenin kendi içine barındırdığı dahili aşırı akım, aşırı sıcaklık koruması gibi önlemlerle sistemi güvenilir hale getirmiştir. Sensörler için genellikle kullanılan 3.3V beslemesini de LM1117 entegresi kullanılarak 5V çıkışından 3.3V'a indirgenmiştir. Her iki çıkışta da bulunan zener diyotlar aracılığıyla gerilim dalgalanmalarının önüne geçilecektir. Bataryadan gelen hatta seri bağlanan cam sigorta ile de devrenin güvenirliliği arttırılmıştır. Mekanik bağlantılar için de dört köşeden vida delikleri belirlenmiştir.



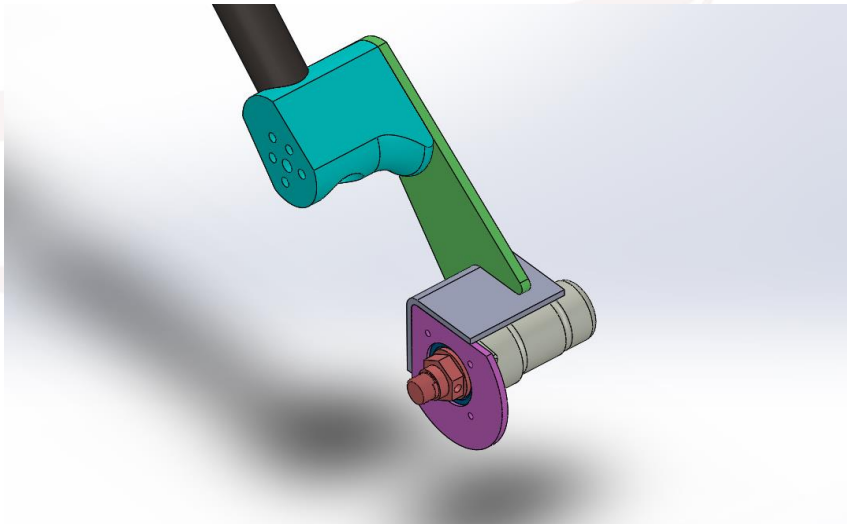
Şekil 26. Güç Dağıtım Kartı Şeması



Şekil 27. Güç Dağıtım Kartı CAD Görüntüsü

7.2 Motor Yük Dağıtım Sistemi

Aracın hareketi için güç verilen DC motorlarda motor milinin dönüş ekseninin dışında aldığı her kuvvet motora ve aracın balansına doğrudan zarar vermektedir. Bu yüzden motor milinin yalnızca dönme ekseninde kuvvete maruz kalacağı bir tasarım yapılarak aracın yükü ve arazi koşullarının oluşturduğu kuvvet bilyalı rulman sayesinde doğrudan tekerleklerle ve süspansiyona iletilmiştir.



Şekil 28. Motor Yük Dağıtım Sistemi 3 Boyutlu Görüntüsü

7.3 Yer İstasyonu

Aracın kontrol edilmesi ve görüntülenmesi için kullanıcı dostu bir arayüz sunulmaktadır. Ayrıca, arayüzde yer alan önemli bileşenlerin fonksiyonları ve bu bileşenlerin projeye sağladığı katkılar detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

PyQt kütüphanesi, Python dilinde kullanıcı arayüzü tasarımı için geniş bir yelpaze sunan ve özellikle esneklik ve güvenilirlik açısından tercih edilen bir kütüphanedir. PyQt, kapsamlı dokümantasyonu ve topluluk desteği ile projenin ihtiyaçlarını karşılamak için ideal bir seçimdir.

PyQt üzerinden arayüz oluştururken sürükle-bırak mantığıyla süreci kolaylaştırıp arayüzü daha efektif bir hale getirebilmek için Qt Designer adlı uygulama kullanıldı. Visual Studio Code üzerinden gerekli haberleşme protokolleri kullanılarak verilerin arayüze sağlıklı şekilde aktarılması sağlandı. Bu sayede arayüz ihtiyaçlarımıza tam olarak karşılık veren bir hal aldı.



Şekil 29: PyQt ile hazırlanan arayüz.

Aracımızın yer istasyonunda sunulan bilgiler:

- Anlık kamera görüntüsü (“cv2” kütüphanesi kullanılarak anlık görüntü sağlanmıştır.)
- Aracın gerçek zamanlı batarya durumu (Bu veriye “psutil” kütüphanesi ile erişilmiştir.)
- Aracın anlık hız bilgisi (Bu veri için “pymavlink” kütüphanesinden “mavutil” fonksiyonunu kullanarak hız bilgisini hesaplayan kod yazılmıştır.)

8 GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

Acil Stop Butonu

Elektrik devre şemasında da yer verilen olası acil durumlarda kullanılmak üzere bütün sistemin gücünü kesecek şekilde tasarlanmıştır. Butona basıldığı anda araçta herhangi bir sistem çalışmayacaktır.

Sigorta

Elektrik sigortası devrede bataryadan sonra sistemin başında yer alarak risk senaryolarında devreyi korumaktadır.

Loctite Vida Kitleme Yapıştırıcısı

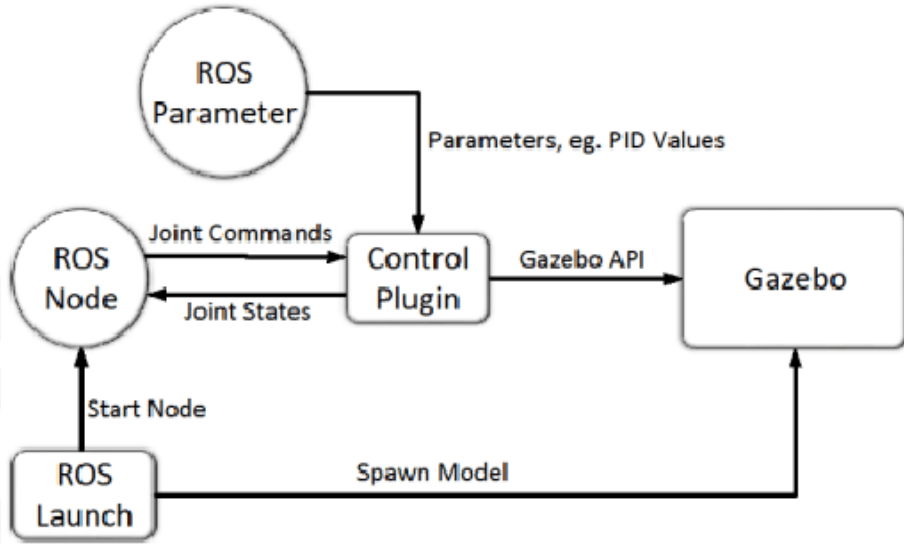
Başta arazi koşulları ve hareketli sistemlerin sebep olduğu titreşim sonucu aksamaların montajlı yapıların bütünlüğünü koruması önem arz etmektedir. Bunun için araçta bağlantı noktalarında rulmanlar pul ile desteklenmiş kullanılan vida ve somunlar “Loctite” vida kitleme yapıştırıcısı kullanılmıştır.

Isı Yalıtımı ve Darbe Engelleme

Çevresel faktörler ve sistemin çalışma sıcaklığı da dikkate alınınca aşırı ısınma ile oluşabilecek yangın ve sistemin zarar görmesi gibi senaryolar için araçta elektronik bileşenlerin bulunduğu şasinin iç kısmı; ısıya dayanıklı strafor paneller ile kaplanacaktır. Araç şasisinin dış kısmı olası darbelerden ve doğrudan güneş ışınlarını engellemek için paslanmaz sac çelikten büküm yöntemiyle giydirme yapılarak kaplanacaktır.

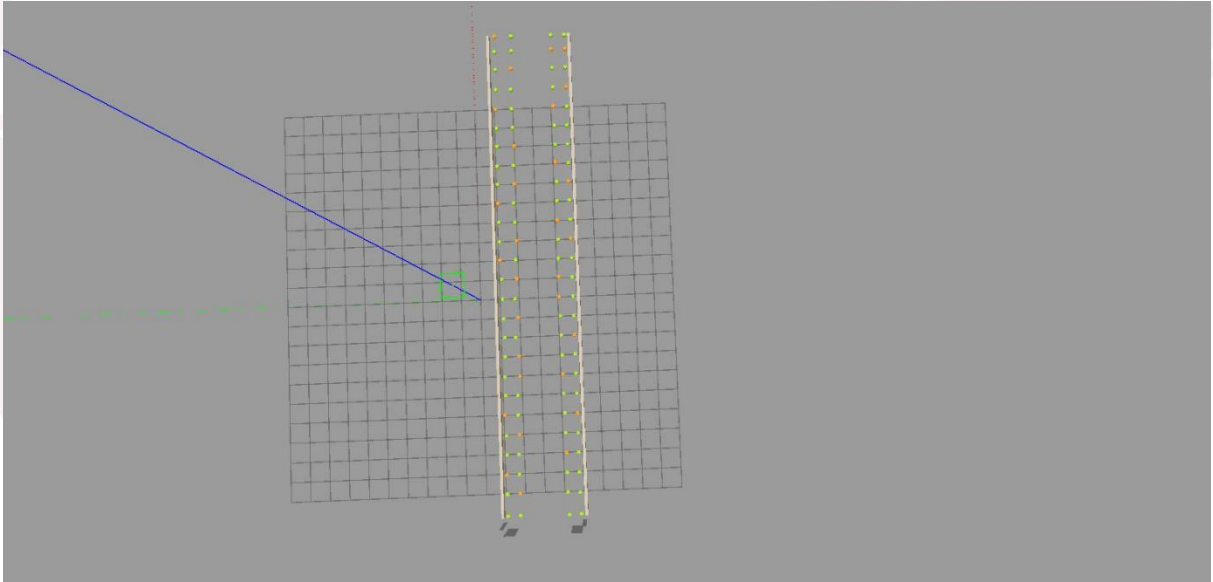
9 SİMÜLASYON VE TEST

Simülasyon için, Ubuntu 22.04 işletim sistemi kurulu olan Jetson Nano Orin ana bilgisayarımızın içerisinde otonom sürüşü sağlamak için kurduğumuz ROS 2 Humble (Robot Operating System) ile optimize bir şekilde çalışan "Gazebo" simülasyon uygulaması tercih edilmiştir. Şartnamede belirtilen hedefleri gerçekleştirmek ve bu hedef doğrultusunda atılan adımlarda ortaya çıkacak durumları inceleyebilmek amacı ile Gazebo üzerinden yarışma parkurunu oluşturduk ve bu parkur üzerinden otonom sürüş testlerimizi açık kaynaklı bir robot platformu olan ve ROS 2 Humble ile entegre bir biçimde çalışabilen TurtleBot3 üzerinden gerçekleştirdik.



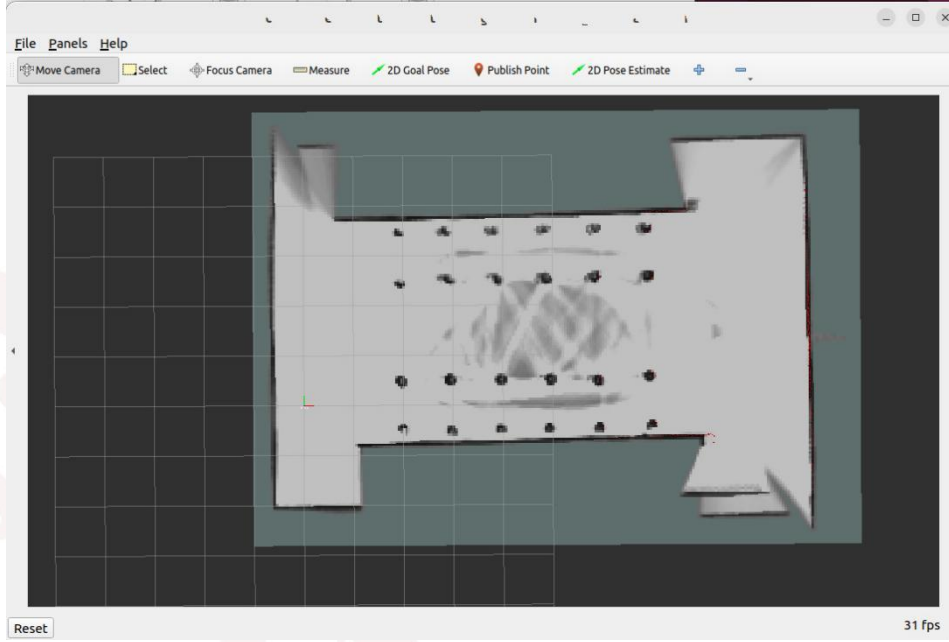
Şekil 30. Gazebo ile ROS Çalışma Prensibi

Yarışma şartnamesinin 10.2 başlıklı “Parkur Detayları” kısmında verilen bilgiler ışığında Gazebo simülasyon uygulaması üzerinden oluşturduğumuz sanal yarışma parkuru aşağıdaki gibidir. Normal bitkiler yeşil, zararlı bitkiler ise kırmızı renkte olacak şekilde etiketlenmiştir.

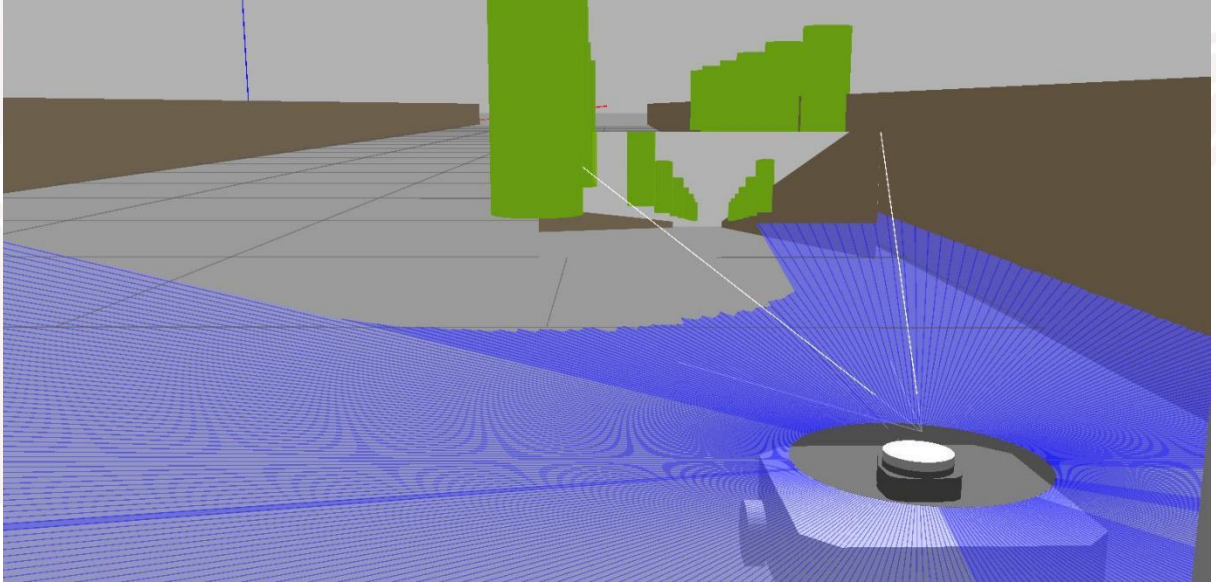


Şekil 31. Gazebo’da Hazırlamış Olduğumuz Sanal Yarışma Parkuru

Oluşturduğumuz sanal yarışma parkurunda elde ettiğimiz verileri görselleştirmek ve yorumlayabilmek için ROS 2 Humble ile birlikte gelen RViz2 (ROS Visualization) uygulamasını kullandık. Bu uygulama üzerinden haritalandırma, lokalizasyon ve hedef nokta gönderme görevlerini gerçekleştirdik. Aynı zamanda uygulama üzerinde bulunan "kamera" sekmesinden görüntü işleme kodumuzun testlerini ve geliştirmelerini yaptık.

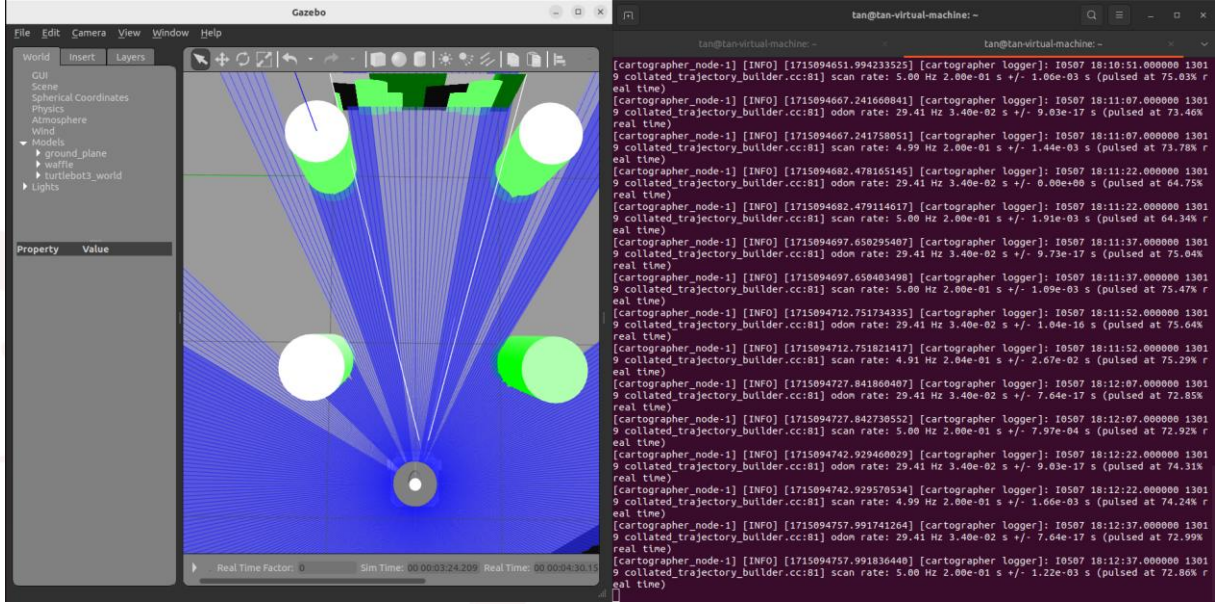


Şekil 32. SLAM Kullanılarak ile Çıkarılmış Sanal Yarışma Parkuru Haritası



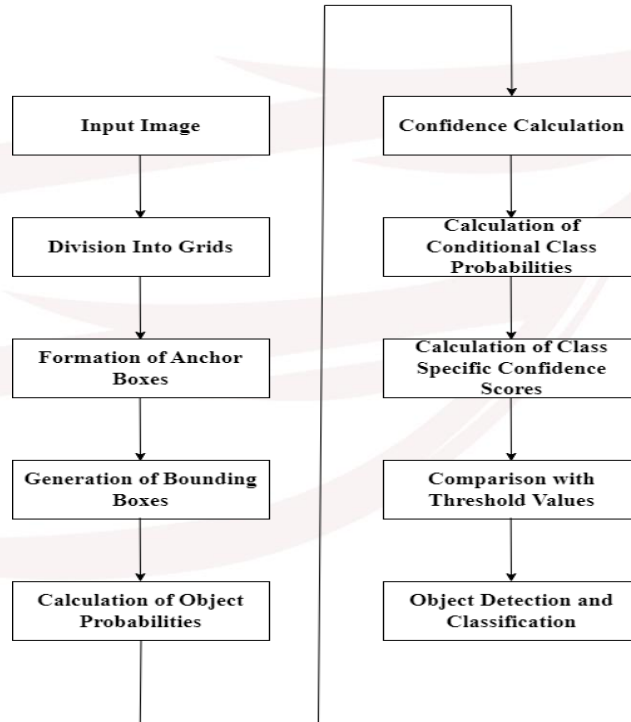
Şekil 33. Simülasyondan Araç Kamerası Açısı

Harita oluşturma ve lokalizasyon için Google tarafından geliştirilen ve ROS 2 ile optimize bir şekilde çalışabilen Cartographer SLAM Algoritmasını kullandık. Navigasyon ve hareket planlama için ise ROS Navigation 2 (ros_nav2) paketini kullandık.



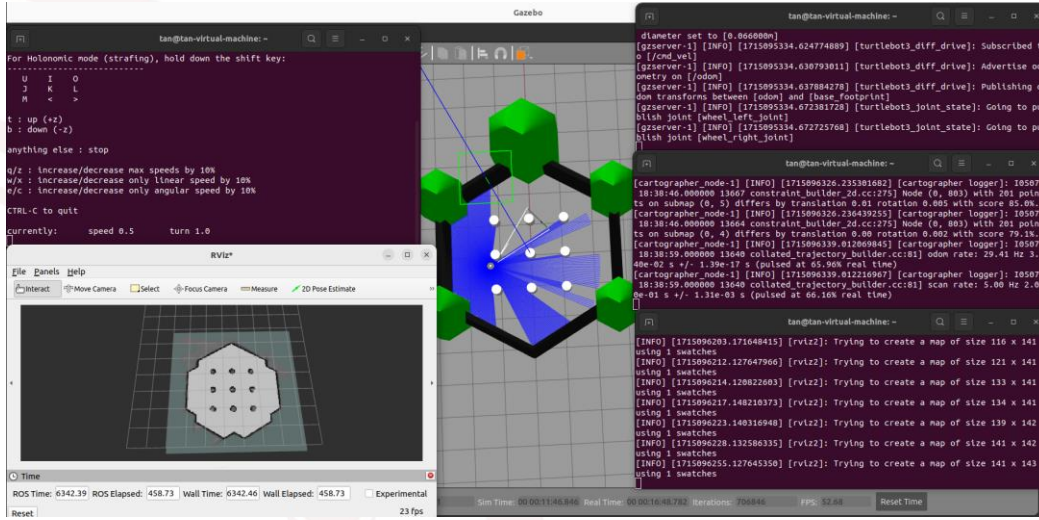
Şekil 34. Cartographer SLAM Algoritmasının Kullanımı

Aracın üzerindeki kamera aracılığı ile yabancı bitkileri algılaması ve iki sıra bitki arasına kendini hizalayabilmesi için kameralardan gelen verilerin işlenmesi gerekmektedir. Bunun görevi gerçekleştirmesi için kullanılacak olan algoritma, nesne tanıma algoritması olan YOLO algoritması (You Only Look Once) olacaktır. Bu algoritma aracılığı ile hem yarışma parkurunda bulunan yapraklardan oluşan sıraları kamera aracılığı ile algılayıp yaprak sıraları arasından ilerleme hem de yol boyunca karşısına çıkacak zararlı bitkileri algılama görevlerini ROS 2 Humble üzerinde oluşturduğumuz görüntü işleme düğümü ile yerine getirmesi sağlanacaktır.

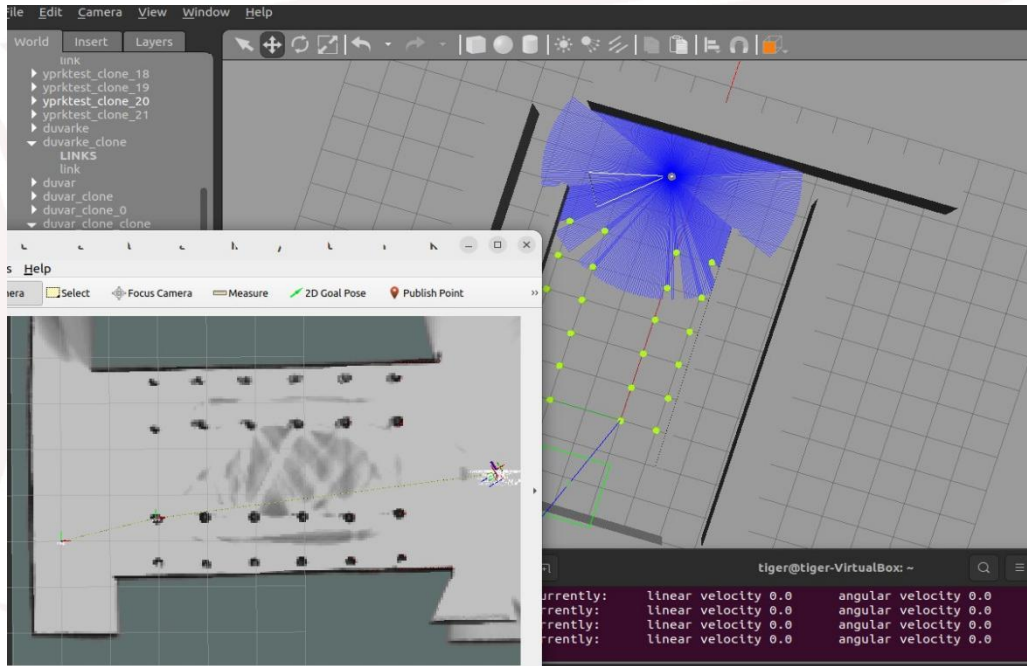


Şekil 35. YOLO Algoritmasının Çalışma Prensibi

Yarışma şartnamesinde bizden istenilen görevler neticesinde sanal ve gerçek ortamlarda yaptığımız simülasyonlar ve testler başarıyla tamamlanmıştır. Simülasyon ortamında oluşturduğumuz harita parkurunu aracımız, hiçbir engele takılmadan sorunsuz bir şekilde bitirmiştir. Simülasyon süresince elde edilen gerçek görüntüler ve aracın üzerinde bulunan sensörlerden elde edilen algılama sonuçları; robotun çevresindeki ortamı Cartographer SLAM Algoritmasını kullanarak tutarlı bir şekilde haritalandırıp, haritalandırma yaptığı esnada tespit ettiği engellerden rahatlıkla kaçabildiğini göstermektedir.



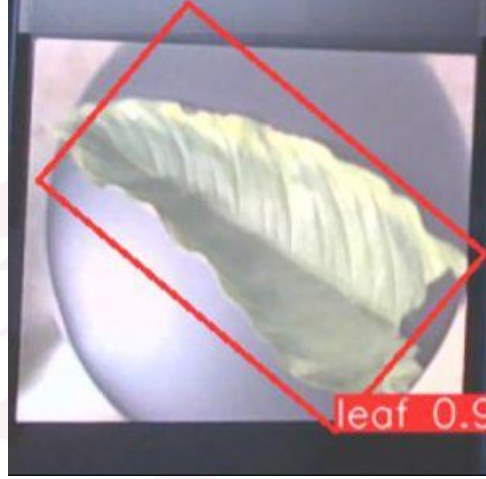
Şekil 36. Otonom Sürüş ile Haritalandırma



Şekil 37. Otonom Sürüş ile Sanal Yarışma Parkurunun Haritalandırılma

Simülasyon ortamındaki aracın üzerinde bulunan kameradan alınan görüntüler, sanal olarak oluşturduğumuz yarışma parkurundaki bitki sıralarını ve zararlı bitkileri net bir şekilde algıladığını göstermektedir. Gerçek ortamda araç üzerine monte edeceğimiz harici kamera ile yaptığımız testlerde ise örnek bir yaprak ögesi, güncel olarak

kullanıyor olduğumuz YOLO Algoritması aracılığıyla test edilmiştir. Yapmış olduğumuz testlerimizin sonucunda; YOLO kullanarak yazmış olduğumuz görüntü işleme kodunun uzaklık ve ortamdaki ışık miktarına karşı hassas olmadığını, her türlü ışık ve uzaklık değerlerine karşılık sağlıklı bir şekilde çalışabildiği sonucu elde edilmiştir.

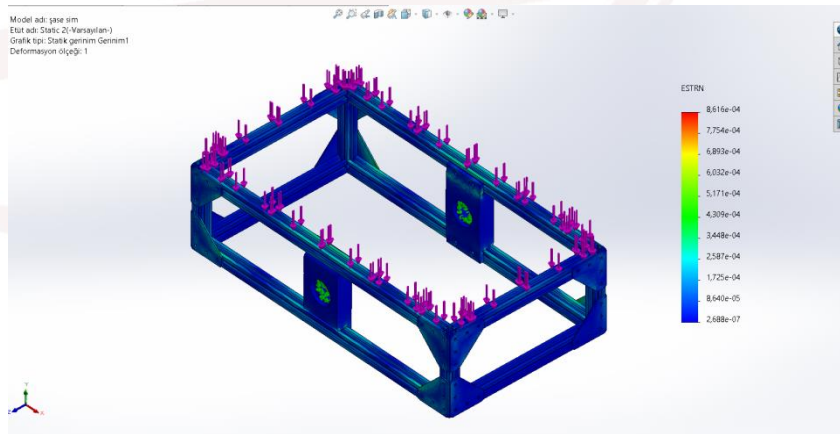


Şekil 38. Görüntü İşleme Testi

Aracımızın tasarımını Solidworks Bilgisayar Destekli Tasarım Programı ile gerçekleştirdikten sonra yine Solidworks uygulamasının içerisinde bulunan burkulma/dayanım simülasyonu eklentisi kullanılarak aracın mekanik açıdan sağlamlığı analiz edilmiştir. Aracın şase ve bacak kısımları ayrı ayrı simüle edilmiştir. Analiz 3 aşamada gerçekleşmiştir.

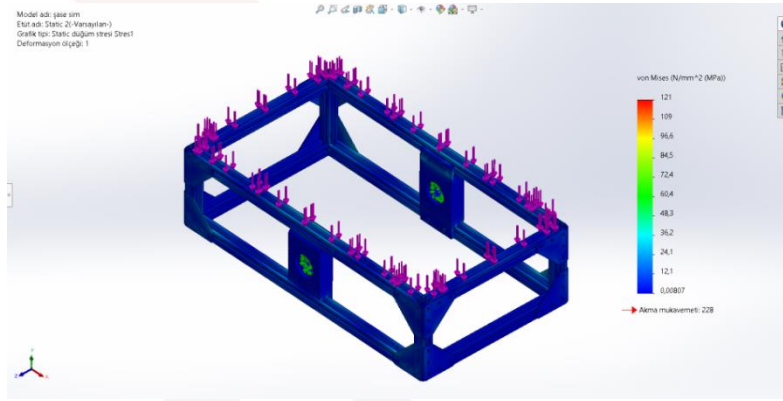
Bu aşamalar: Yer Değiştirme, Stres ve Gerinim analizleridir.

Tarımsal İnsansız Kara Aracımızın şasesini 20x20 sigma profilleri uygun ölçüde kestirilerek uygun bağlantı elemanlarıyla üzerine yüklenecek elemanları hesaba katarak tasarladık. Şasemizin simülasyonlarını Solidworks simülasyon ortamında şasinin 2,5 kg ve şasenin üzerine eklenecek araç bileşenleri de hesaplanıp 10 katı büyüklüğünde alabileceği maksimum kuvvete göre analizleri yapılmıştır. Gerilme, yer değiştirme ve gerinim sonuçları aşağıdaki gibidir.



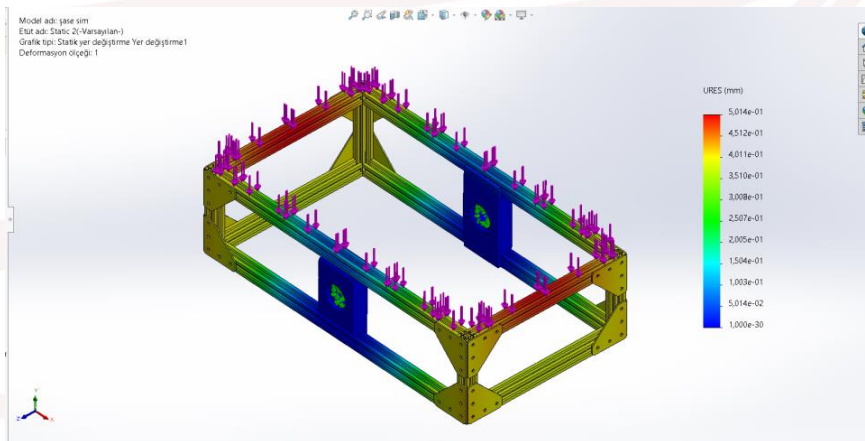
Şekil 39. Şasi Gerinim Analizi

Aracın şasi bölümü sigma profillerden oluşmaktadır malzemesi 6061 t4 ss 'dir. Akma mukavemeti 228 olduğuna göre maksimum gerilme 121 MPa olduğuna göre güvenlik faktörü $228/121 = 1,88$ olarak hesaplanmıştır. Bu koşullar için uygun bir değerdir. Şasi üzerine yüklenen yükü emniyetli olarak taşımaktadır.



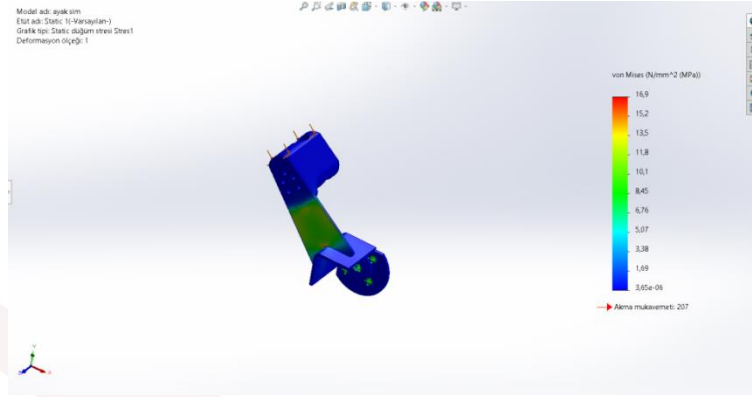
Şekil 40. Şasi Stres Analizi

Maksimum gerinim ve yer değiştirme sonuçlarına bakıldığında 5,014 e maksimum gerinim ve %0,09'luk çok küçük bir maksimum yer değiştirme görülmüştür. Malzemeni yapısı göz önüne alındığında bu değerler emniyetli bölgededir ve elastik bölgesinin dışına çıkmamaktadır.



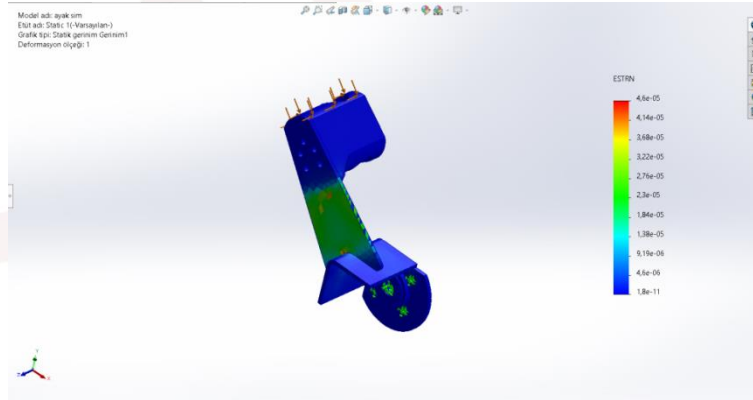
Şekil 41. Şasi Yer Değiştirme Analizi

Aracın toplam kilosu 20 kg olarak hesaplanmıştır. Tekerlek, karbon fiber ayak ve motoru bağlayan kaynak parçasına uygulanan toplam kilogramın $\frac{1}{4}$ ü kadar 5 kg yaklaşık 50 Newton kuvvet uygulayarak Solidworks ortamında simüle edilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.



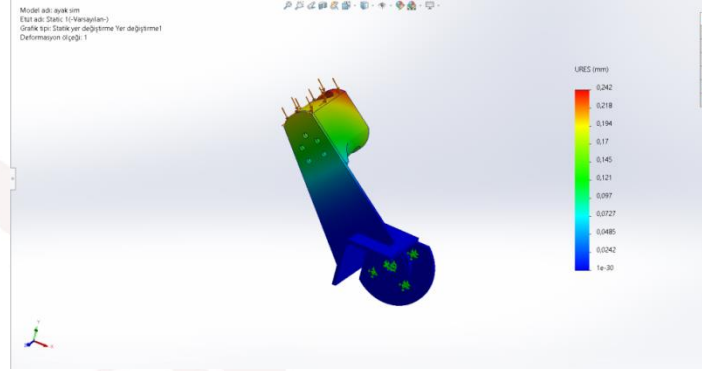
Şekil 42. Taşıyıcı Ayak Stres Analizi

Bu yükleme şeklinde maksimum gerilme 16,9 MPa olarak ölçülmüştür. Akma dayanımı 200 Mpa olan Alüminyum parçasına göre emniyet katsayısı $207/16,9= 12,25$ olarak hesaplanmıştır. Ayak parçasının kesiti gelen yüklemeyi emniyetli olarak taşıyabilmektedir. Mevcut yükleme sonucu akma gerilmesi geçilmediğinden elastik bölgede kalınmıştır.



Şekil 43. Taşıyıcı Ayak Gerinim Analizi

Parçanın yer değıştirme ve gerinim sonucuna baktığımızda maksimum yer değıştirme 0,242 mm ve maksimum gerinim 4,6 e değindedir. Bu yer değıştirme ve gerinimde mevcut parçanın mekanizmada çalışmasını engelleyebilecek seviyede değildir.



Şekil 44. Taşıyıcı Ayak Yer Değıştirme Analizi

Yapılan analizler ile TİKA'nın her bir alt sisteminin hedeflerimiz çerçevesinde örtüştüğü ve tasarımlarımız üretilebilirlik esaslarına da uygun olmak koşuluyla kullanılabileceği ön görülmektedir.

10 REFERANSLAR

- 1- <https://ieeexplore.ieee.org/document/8917118>
- 2- <https://ieeexplore.ieee.org/document/8917118>
- 3- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169907001688>
- 4- <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/17/3552>
- 5- <https://www.hindawi.com/journals/js/si/273714/>
- 6- Adarsh, P., Rathi, P., & Kumar, M. (2020). YOLO v4-Tiny: Object Detection and Recognition using one stage improved model. 2020 6th International Conference on Advanced Computing and doi:10.1109/icaccs48705.2020.9074315
- 7- «MAVLink Developer Guide,» [Çevrimiçi]. Available: <https://mavlink.io/en/>. [Erişildi: 25 Haziran 2021].
- 8- <https://www.akinrobotics.com/tr/tarim-robotu-pncr> , 12 Mart 2022.
- 9- Bingöl, M. S., Kaymak, Ç., Uçar, A., 2019.Derin Öğrenme Kullanarak Otonom Araçların İnsan Sürüşünden Öğrenmesi, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 31(1), 177-185.
- 10- Dr.N.Ramchandra, Sameeksha, T.Shivani,Ch.Bala Bhaskar, G.Tarun An Agricultural Rover for smart agricultural practices , 27 Kasım 2022.