TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

TARIMSAL İNSANSIZ KARA ARAÇLARI YARIŞMASI

KRİTİK TASARIM RAPORU ŞABLONU

TAKIM ADI

İTÜ GENÇLİK MERKEZİ İTÜ RAKE TİKA TAKIMI

PROJE ADI

Zararlı Otlarla Mücadele Aracı (Z.O.M.A.)

BAŞVURU ID

365767

İÇERİK

1. Takım Organizasyonu ---------- 3

2. Ön Tasarım Raporu Değerlendirmesi ---------- 3

3. Araç Özellikleri ---------- 5

4. Sensörler ---------- 10

5. Araç Kontrol Ünitesi ---------- 15

6. Otonom Sürüş Algoritmaları ---------- 18

7. Yabancı Otla Zirai Mücadele Yöntemleri ---------- 20

8. Özgün Bileşenler ---------- 21

9. Güvenlik Önlemleri ---------- 23

10. Test ----------24

11. Referanslar ----------28

1. Takım Organizasyonu

Biz ekibimizi 4 ekibe bölmüş bulunmaktayız.

1. Organizasyon

   Organizasyon Ekibi, raporların hazırlanması sürecinden, görev dağılımı, yarışma için gerekli olan belgelerin imzalanması gibi görevleri bulunmaktadır.

2. Elektronik

   Aracın elektronik donanımları ve haberleşmesinden sorumlu birimdir. STM32 serisi mikrodenetleyicilerin programlanmasında pin ayarlarının yapılması için CubeMx programı kullanılmakta ve C programlama diliyle derlenen yazılımlar Keil uVision programı ile kartımıza yüklenmektedir. Ayrıca güç kartı tasarımı için ise Eagle programı üzerinden PCB tasarımları gerçekleştirilmektedir. Elektronik ekibi kendi içerisinde, devre kartı tasarımı, haberleşme ve kontrolcü olarak 3 ana bölümden oluşmaktadır.

3. Yazılım

   Çeşitli simülasyon programlarında ve yazılım programlarında yazılan algoritmaların robot sistemine entegre edilmesini sağlayan alt ekiptir. ROS ana makinesinin içinde Python ve C++ kullanılarak sensörler ve aktüatörler arasında olan bağlantıyı sağlamaktadır. Aracın yürür eksen ve robot kol aktüatörlerinin efektif sürülmesi ve robot davranışlarının istenildiği gibi olmasını sağlayan ekiptir. Çeşitli kontrolörler ve makine öğrenmesi algoritmalarını kullanmaktadır. Çalışma ortamı genel olarak Matlab ve Python'dır. Yazılım Ekibi, robot kol ve yürür sistem kontrollü, görüntü işleme ve otonom sistem olarak kendi içerisinde 3 bölüme ayrılır.

4. Mekanik

   Aracın mekanik tasarımının ve sistemin stabilitesini kontrol eden ekiptir. Ekipteki üyeler tasarım konusunda Fusion360 veya Solidworks gibi programları kullanabiliyor olması gerekmektir. Yapılan tasarımların analizleri için Ansys programı ile tasarlanan parçaların analizi yapılarak parçanın dayanıklılığını ölçen, gözlemleyen ekiptir. Bu ekipte robot kol, yürür sistem ve analiz olarak kendi içerisinde de 3'e ayrılır.

2. Ön Tasarım Raporu Değerlendirmesi

Ön tasarım raporundan bu yana değişen bir şey yoktur. Fakat bütçe planlamasında değişiklikler olmuştur.

Teknik Masraflar

Mekanik Masrafları	
Üretim Masrafları	15.500₺
Motorlar	17.000₺
Redüktörler	1.600₺
Metal Parçalar	9.000₺
Atölye Montaj Aletleri	4.350₺
Dişli - Zincir Sistemi	1.500₺
Kompozit Parçalar	4.000₺
Toplam Mekanik Masrafları	52.950₺
Elektronik Masrafları	
Enkoder	5.000₺
Mikrodenetleyiciler	1.550₺
CO_2 Sensörü	550₺
IMU Sensör	600₺
Kablo - Sigorta - Acil Durum Butonu	480₺
Pil ve şarj cihazı	3.500₺
Atölyede elektronik alet ihtiyaçları	1.500₺
Elektronik Parçalar	3.350₺
Baskı Devre Masrafları	450₺
Ana İstasyon Kutusu	250₺
Toplam Elektronik Masrafları	17.230₺
Yazılım Masrafları	
Kameralar	750₺
Araç Üzerinde Konumlanacak Olan Bilgisayar	2.000₺
Termal Kamera	1.400₺
Mikrofonlar	450₺
LIDAR Sensör	4.000₺
Wireless Modem	700₺
Ana İstasyon Bilgisayarı	2.000₺
Kontrol Kumandası	500₺
Ana İstasyon Kontrol Monitörü	700₺
Toplam Yazılım Masrafları	12.500₺
5 Eksen Robot Kol Masrafları	17.500₺
Tüm Teknik Masraflar	100.180₺

Şekil 1:Eski Bütçe planlaması

Elektronik	Açıklama	Miktar
STM32F103 Mikrodenetleyici(12	Robot Kol ve Yürür Sistem Kontrolü için Mikrodenetleyici	2.500,00 ₺
Orbus 12v 24AH Jel Akü	Büyük araca güç sağlamak için	1.500,00 ₺
BTS7960 Motor Sürücü(12 Adet)		1.800,00 ₺
Redline am-3773a Encoder (12 A	Motor Hız ve Konum Bilgilerini Ölçme Komponenti	$9.306,00
Arduino Nano(3 Adet)	Küçük araç motor konrolü için mikrodenetleyici	2.556,00 ₺
Ray Klemens(4 Adet)		20,00 ₺
PL2303 USB TTL Dönüştürücü(2 Adet)		₺25,00
Yürür Sistem Baskı Devresi(PCB)		
Robot Kol Baskı Devresi(PCB)		
20 AWG Kablo(1.5 metre)		₺200,00
10 AWG Kablo(1.5 metre)		₺150,00
JCD8898 750W Lehimleme İstasyonu		₺1.000,00
3s 3300mah 40C Lipo Batarya	Küçük araca güç sağlamak için	₺370,00
Ara Toplam		19.427,00 ₺
Yazılım	**Açıklama**	**Miktar**
Slamtec RPLIDAR A2M8	Sensör	7.500,00 ₺
Nvidia Jetson Nano 4GB	Robotta kullanılacak bilgisayar	3.500,00 ₺
Gaz senör modülleri	Sensör	600,00 ₺
Joystick		400,00 ₺
Spigen DuraSync USB-C to USB-C 60W Hızlı Şarj ve 480mb/s Data Hızı Kablo (1.5 Metre) C11C1 White – 000C		₺90,00
MQ-7 Karbonmonoksit Ölçüm Modülü (CO)		₺30,00
MQ-4 Doğal Gaz ve Metan Gazı Ölçümleme Modülü		₺30,00
MQ-2 LPG, Propan ve Hidrojen Ölçümleme Modülü		₺30,00
MQ-135 Hava Kalitesi Ölçüm Modülü (Air Quality Module)		₺30,00
DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü		₺30,00
PolyGold 4 Port USB 3.0 Çoğaltıcı Hub		50,00 ₺
Ara Toplam		12.290,00 ₺
Mekanik	**Açıklama**	**Miktar**
Yürür sistem sac kesimi	Lazer kesim	25.000,00 ₺
Yürür sistem CNC işleme	Dişli ve sac freze işlemi	10.000,00 ₺
Torna Masrafları	Bağlantılı tornacımıza ödenen ücret	5.000,00 ₺
Rulman ve Bağlantı elemanlar	Bilgenler ve Kamergaz	6.000,00 ₺
3d printer masrafı	ENDER 3 PRO	5.000,00 ₺
3d printer filament masrafları	ABG Filament (PETG ve PLA)	4.000,00 ₺
mekanik ekipman masrafları	Bauhaus ve İzeltaş	4.000,00 ₺
Ar-ge masrafları	Prototip deneme masrafları	10.000,00 ₺
Ara Toplam		69.000,00 ₺

Şekil 2:Hesapladığımız Bütçe

Bu hesaplamalar içerisinde daha kamera masrafları eklenmemiştir. Çünkü kameraların fiyatı çok değişkenlik gösterdiğinden ve miktarı yapılacak görüntü işlemeye göre belirleneceğinden dolayı daha bütçeye dahil edilmemiştir.

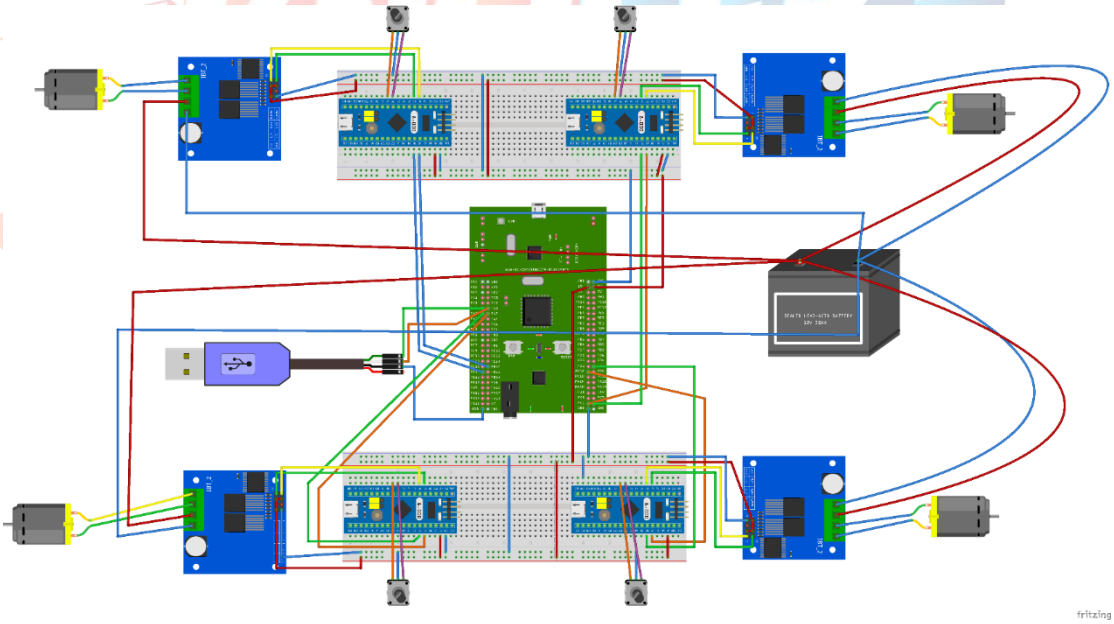
3. Araç Özellikleri

a) Elektronik:

Aracın elektronik aksamı; gömülü sistem, haberleşme ve motor kontrolü olmak üzere üç alt başlıkta incelenebilir.

- Gömülü Sistem

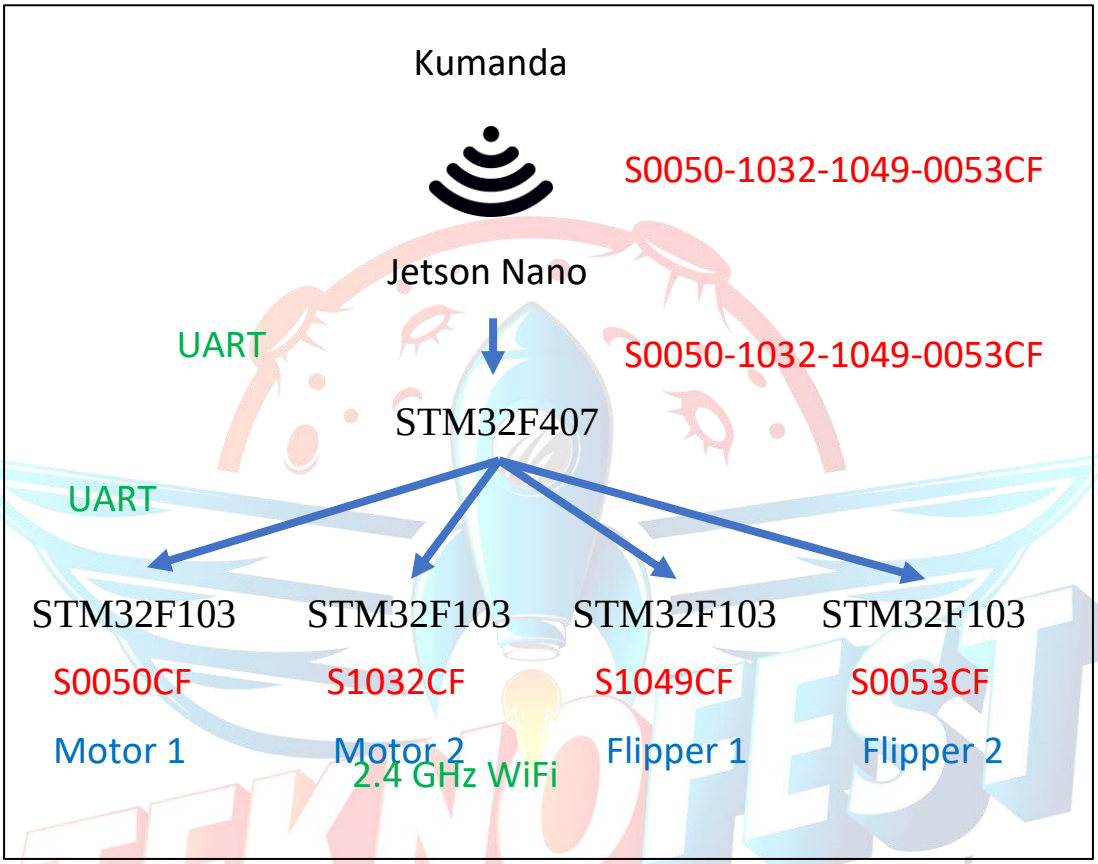
Aracın işleyişini sağlayan elektronik sistemde 4 adet STM32F103, 1 adet STM32F407 olmak üzere toplamda 5 adet mikrodenetleyici bulunmaktadır. STM32F407 kartı, yazılım tarafında gelen verinin ayrıştırılması ve yönlendirilmesinden, STM32F103 kartları ise kendilerine gelen veri doğrultusunda PID hesaplamalarının yapılması ve motor sürücülerin kontrolünden sorumludur. STM32 serisi kartlar, sistemde ihtiyaç duyulan enkoder okuması, PWM üretimi, UART haberleşmesi, vb. özellikleri sunmaktadır. Tüm bunların yanı sıra, sahip oldukları yüksek performans ve düşük güç tüketimi STM32 serisi mikrodenetleyicileri bu sistem için ideal kılmaktadır. Mikrodenetleyicilerin programlanması kısmında CubeMX ve Keil uVision yazılımları ve C programlama dili kullanılmaktadır. Geliştirme sürecini daha optimize hale getirmek amacıyla sık kullanılan fonksiyonları barındıran kütüphaneler yazılmıştır.



Şekil 3:Gömülü Sistem

- Haberleşme

Yukarıda bahsedilen kartların kendi aralarında sağladığı haberleşme için UART protokolü kullanılmaktadır. Çift taraflı asenkron haberleşmeye imkan sağlayan bu protokol sayesinde yazılım tarafından gelen veriler STM32F407 kartına ulaşmakta ve burada ayrıştırılan veri STM32F103 kartlarına dağıtılmaktadır. 115200 baud rate'inde kullanılmakta olan UART haberleşmesi gerekli hız ve güvenilirliği sağlamaktadır.



Şekil 4:Haberleşme Sistemi

- <u>Motor Kontrolü</u>

Aracın yürür sisteminde ve Flipper'larında yüksek performans ve yüksek RPM (Revolutions Per Minute) sunan Andymark Redline 775 model, fırçalı DC motorlar kullanılmıştır. Bu motorların kontrolü için, çektikleri yüksek akımı destekleyecek bir motor sürücüye ihtiyaç duyulmuştur. Bu noktada, 20A'e kadar akım çekilmesini destekleyen BTS7960B model motor sürücüler tercih edilmiştir. Motorların istenilen hız değerini stabil olarak sağlayabilmesi için döndükleri hız ve yön verilerinin ölçümü gereklidir. Bu amaç doğrultusunda Andymark Mag Encoder kullanılmıştır. Motorlara monte edilen bu manyetik enkoderlar sayesinde mikrodenetleyiciler motorun hızını ve yönünü ölçebilmekte ve PID hesaplamaları ile stabil bir kontrol sağlayabilmektedir.

b) <u>Mekanik:</u>

i. Robot Kol

- Genel Özellikler

Kol yarışmanın koşullarını ideal şekilde gerçekleştirmek amaçlanarak 5+1 eksenli olarak tasarlanmıştır. Kolun açık haldeyken uzunluğu 99cm, kapalı haldeyken uzunluğu 39cm'dir ve kolun yaklaşık ağırlığı 12kg'dır. Robot kolun en ucunda ise paralel açılan 2 çeneli bir vidalı gripper bulunmaktadır. 5 eksende de Nema motor kullanılmıştır.

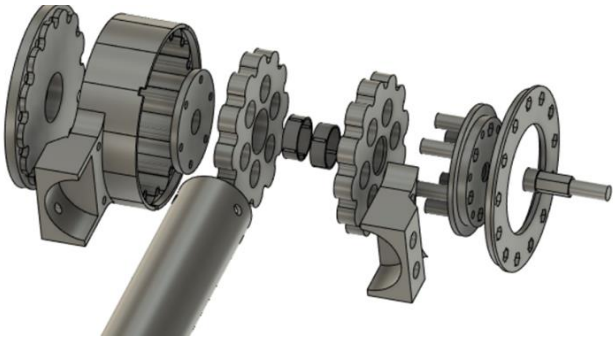
- Tahrik aktarımı

İlk eksende tahrik aktarım sistemi olarak planet dişli kullanılmıştır, eksendeki tahrik aktarım oranı 12/56'dır ve nema 17 motor kullanılmıştır. İkinci eksendeki tahrik aktarım sistemi ise kompakt yapısı sebebiyle sikloidal dişlilerdir. Bu dişlilerin bir diğer önemli özelliği ise torku isteğimiz miktarda kolayca değiştirebilmemize katkı sağlamasıdır. Tahrik aktarım oranı 1/144'tür ve kullanılan motor nema 23'tür. Ayrıca bu eksende daha hassas dönme açılarına ulaşabilmek için encoder kullanılmıştır. Üçüncü eksende de aynı şekilde nema 17 motor kullanılmış anca burada encoder kullanmaya gerek duyulmamıştır. Bu eksendeki tahrik aktarım oranı 1/6'dır ve sikloidal dişli kullanılmıştır. Dördüncü eksende ise aktarım oranı 2/7'dir. Bu eksenin ihtiyacını karşılamaya en uygun dişli sisteminin helisal dişliler olduğu düşünülmüştür. Nema 17 step motor ikinci eksendeki gibi milin ucuna encoder bağlanarak kullanılmıştır. Beşinci eksen olan son eksende de yine nema 17 motor kullanılmıştır ve aktarım oranı 1/1'dir. Nema 14 motor ise kolun en ucunda bulunan vidalı gripperın çenelerini açıp kapamak için kullanılmıştır.

- Malzeme

Malzeme ise esnek olması ve gıda sektöründe kullanılan insan sağlığına zararlı bir madde olmaması sebebiyle PETG olarak seçilmiştir. Esnek olması kolun beklenmedik bir darbe veya engelle karşılaşması durumunda olabildiğince az hasarla kurtulmasını sağlamaktadır. Buna ek olarak uzun süreli kullanılacak bu kolun elastik bir malzemeyle üretilmiş olması sayesinde çatlama ve gevrek kırılma gibi olaylar daha erken tespit edilebilir. Ayrıca gerek duyulan yerlerde bölgeye özel tasarlanmış alüminyum parçalar kullanılarak kolun kırılmaya karşı dayanımı arttırılmıştır.

Şekil 6:Robot Kol



Şekil 5:Sikloidal Dişli

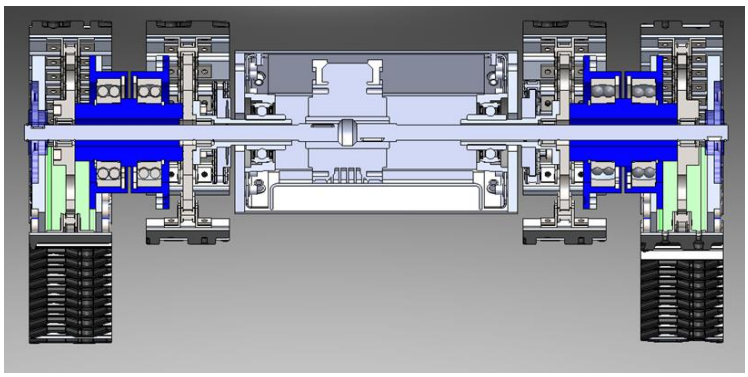
ii. <u>Yürür sistem</u>

Yürür sistemin gövdesinde 2 adet palet kullanılmıştır ve bu paletlerin kenarlarında ön ve arkada ikişer adet olmak üzere toplamda 4 adet 360° dönebilen flipper vardır. Yürür sistemin toplam uzunluğu 120cm, genişliği 60cm ve yüksekliği 10cm'dir. na paletlerin tahrik aktarımı 1/39 planet redüktör ile sağlanırken flipper hareketi için 1/48 planet ve 1/50 sonsuz dişli redüktör kullanılmıştır.

Flipperlar robotun basamakları daha rahat bir şekilde çıkabilmesine ve engelleri aşabilmesine yardımcı olur. Aracın sağındaki ve solundaki paletlerin mekanizmaları birbirinden bağımsız olduğu için araç kendi ekseni etrafında dönebilmektedir. Arazi koşulları göz önünde bulundurularak daha rahat hareket edebilmesi ve dişlerle alakalı kırılma veya dişlerin arasına taş sıkışması vb. problemlerin yaşanmaması için zincir sistemi kullanılmıştır. Yol tutuşunu arttırması için PETG malzemeden flipperların her birinde 34, ana zincirlerde 51er tane olmak üzere toplam 238 tane plastik parça kullanılmıştır.

Yürür sistemde kolay şekillendirilebilen ve hafif olan alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Ayrıca korozyona dayanıklı olması sebebiyle tarım alanları için uygundur. Yüksek mukavemet gereken yerlerde dökme demire göre hafif olması sebebiyle çelik kullanılmıştır. Çeliğin sahip olduğu kırılganlık gibi dezavantajları St-42 çeliği seçilerek mümkün olduğunca kapatılmaya çalışılmıştır. St-42 çeliği sıcak haddelenmiş çeliklerin en yumuşaklarından biri olması sebebiyle kolay işlenebilir bir yapıya sahiptir ve araç için uygundur.

Parçalar lazer kesim ile kesilmiştir ve torna ve freze ile kullanıma hazır hale getirtilmiştir. Kaynak ve farklı farklı bağlama elemanları ile araç birleştirilerek montajı yapılmıştır.



Şekil 7:Flipper Mekanizması ve Tahrik Aktarımı

c) Yazılım

Yer Kontrol İstasyonu (GCS) olarak bir ana bilgisayar ve robot bilgisayar olarak bir Jetson Nano 4 GB bilgisayar kullanıyoruz. Bu iki bilgisayarı SSH üzerinden bağlıyoruz. Bağlantı işlemini kolaylaştırmak için bir rooter satın aldık ve robot bilgisayar için statik bir IP belirledik. Kamera kayıtlarını, LIDAR verilerini, IMU verilerini, kodlayıcı verilerini ve motor komutlarını aktarmak için SSH kullanıyoruz.

Yazılımın çoğunu çalıştırmak için GCS kullanmayı tercih ettik. Robot bilgisayarı aşırı yüklemek istemedik. Örneğin robot bilgisayar ile kamera kayıtlarını alıyoruz, GCS'ye gönderiyoruz ama GCS üzerinde görüntü işleme algoritmalarını çalıştırıyoruz. Kamera kayıtlarını izlemek için web tabanlı UI ve web_video_server paketimizi kullandık.

i. <u>ROS (Robot İşletim Sistemi) ve Simülasyon</u>

Bu kısım, algoritmaların robot sistemine entegrasyonunu içerir. Yazılım başkanlığındaki çalışmalar, ROS'un on üçüncü dağıtımı olan ROS Noetic tarafından yürütülmektedir. Genel olarak yazılım ekibimiz, sensör ve aktüatörleri birbirine bağlamak için Python ve C++ programlama dilleri ile çalışan, açık kaynaklı bir mobil robotik platform olan Leo Rover'ın alt yapısı üzerinde çalışmaktadır. Robotun üzerinde otonom ve manuel testler uygulanmadan önce, robotun davranışı Gazebo adlı bir simülasyon programı ve Rviz adlı bir görselleştirme aracı yardımıyla doğrulanır.

ii. <u>Otonom Sürüş ve Algoritmalar</u>

Yerelleştirme ve haritalama, düzgün ve yüksek verimli otonom sürüş elde etmek için gerekli bölümlerdir. Bu nedenle çalışmalarımız açık kaynaklı

SLAM (Simultaneously Localization and Mapping) ve genel olarak hector_mapping, hector_slam, Gmapping ve AMCL gibi navigasyon algoritmalarının kullanımını içermektedir. Bu algoritmalar sayesinde robotumuz çevresini tanıyor ve bu da onu felaket altındaki bir ortam için daha iyi bir seçenek haline getiriyor. Apth planlaması için ROS üzerinde açık kaynaklı RRT paketlerini kullanmayı tercih ediyoruz. Diğer yandan A* algoritmasını kendimiz yazmaya çalışıyoruz ama bu süreç devam ediyor. Ayrıca robotu ve kol aktüatörlerini etkin bir şekilde sürmek için MATLAB ve Python'da bazı kontrolörler ve makine öğrenme algoritmaları geliştirilmiştir.

Ayrıca robotumuzda bazı sistem tanımlamalarını gerçekleştirmek ve bazı denetleyici algoritmalarını test etmek için MATLAB kullanıyoruz.

iii. AI ve Görüntü İşleme

Bu kısım robotumuzun durumunun tespit edilmesinde ve nesnelerin tanınmasında önemli bir role sahiptir. Nesneleri tanıma süreci, Derin Sinir Ağı yapısının yapılandırılması, anlamsal görüntü bölümleme ve maskeleme adı verilen bir görüntü işleme yöntemi gibi alt süreçlerden oluşur. Görüntü işleme aşamaları sırasıyla görüntünün yakalanması ve dönüştürülmesi, görüntü kalitesinin iyileştirilmesi, bozulmaların giderilmesi, renkli görüntü işleme ve son olarak görüntünün boyut ve çözünürlüğünün yeniden düzenlenmesidir. Bu aşamalarla birlikte görüntülerden daha doğru bilgiler elde etmek için ekibimiz AI ve Machine Learning ile çalışıyor. Görüntü işleme için PyTorch ve OpenCV gibi diğer Python kitaplıklarını kullandık.

4. Sensörler

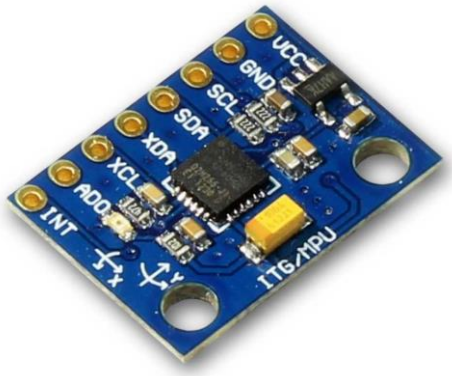
Araçta kullanılan sensörler:

- **LIDAR:** LIDAR teknolojisi, uzun süredir kullanılan radar teknolojisi ile benzer bir altyapıyı kullanır. İkisi arasındaki fark LIDAR sensörlerin radarda kullanılan radyo dalgaları yerine ışık (lazer) göndererek uzaklık tayin etmesidir. Kelime olarak incelenirse LIDAR kelimesi " Laser Imaging Detection and Ranging" yani "lazer ile nesne tespiti ve mesafe bulma" gibi bir anlama gelerek kullandığı teknolojinin özetini anlatmaktadır. Sensör, bulunduğu ortamı tarayarak robota çevresindeki engellere ne kadar uzak olduğunu ölçmekte kullanılabilir ve çeşitli haritalama ve yer belirleme algoritmaları kullanarak robotta bu fonksiyonların gerçekleştirebilmesi için kullanılmıştır. Tarımsal insansız kara aracında LIDAR sensör olarak SLAMTEC tarafından geliştirilen RPLIDAR A2 kullanıldı. Bu model çevresini 360 derece görüntüleyebilen 2

boyutlu point cloud verisi üreten bir sensör olup diğer modellere görece ekonomik olarak daha uygun olduğu için araçta tercih edilmiştir. Bu sensör 8 metreye kadar bulunduğu ortamı tarayabilmekte ve çeşitli frekanslarla çalıştırılarak farklı örneklemeler üretilebilmektedir.

Şekil 8:RPLidar A2M8

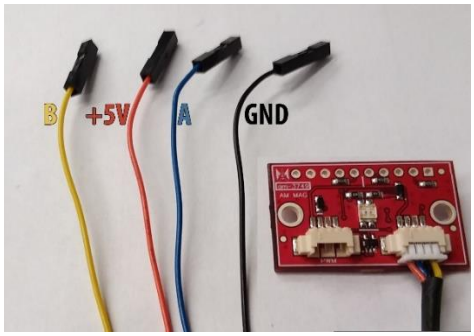
- **IMU:** İngilizce açılımı "Inertial Measurement Unit" olan içerisinde ivmeölçer ve jiroskop bulunan, araçta hız, ivme, dönüklük miktarı, oryantasyon vb. değerleri belirlemek için kullanılan farklı sensörlerden oluşan bütünleşik bir sensördür. GPS sensörü ile beraber kullanımları da mevcuttur. Özellikle GPS verisinin alınamadığı ortamlarda IMU yardımı ile konum tespiti yapılabilmektedir. İvmeölçer 3 ayrı eksende analog sinyal üretir. İtici sistemden ve fiziksel limitlerden dolayı, ivme ölçen bu sensörlerdeki en önemli durum yer çekiminden etkilenmeleridir. Diğer sensör olan jiroskop ise dönüş ölçerdir. Jiroskobun temelde iki özelliği vardır. Yatay eksende dönmekte olan bir jiroskoba yatay eksende bir kuvvet uygulandığında eksen etrafında dönmeye başlar. Diğer özelliği ise jiroskobun dönüş eksenine sabit kalmasıdır. Jiroskop ve ivmeölçer tek başlarına güvenli ve stabil veriler sağlayamazlar. Bu yüzden birbirlerini referans alarak iki sensör birleştirilir ve hız, pozisyon gibi bilgiler tek bir birimden yani IMU'dan alınır. IMU' ların dezavantajı sensörde üretilen hatanın hıza, konuma da hata olarak yansıması ve bu hatanın giderek büyümesidir. Bu durumu çözmek için çeşitli sensörlerle sensör füzyon algoritmaları kullanır ve doğruluk yüksen oranda artar.Tarımsal insansız kara aracında IMU olarak MPU6050 6 eksen ivme ve gyro sensörü kullanılmıştır. Bu sensör saniyede 2000 dereceye ve 8g ivmeye kadar ölçüm yapabilmesi ile robotun gerekliliklerini bu üst sınırlara yaklaşmadan bile istenilen veriyi üretebilmektedir.



Şekil 9: IMPU 6050

- **Enkoder:** Enkoderlar basit anlamda bir milin döndürülürken ne kadar döndürüldüğünü ölçmemize yarayan, elde edilen çıkış sinyalleri ile milin açısal olarak hangi konumda olduğunu belirlenmesine ve kaç tur attığı bilgisinin elde edilmesini sağlayan sensörlerdir. Enkoderlar 2 farklı sinyal üretebilir: Bunlardan biri absolute (mutlak) sinyal bir diğeri ise incremental (artımlı) sinyaldir. Artımlı sinyaller herhangi bir özel konum belirtmezler, sadece herhangi bir dönme durumunda dönme yönünün ve derecesinin belirlenmesine yarayan sinyallerdir. Mutlak sinyaller ise her konumu özel bir sinyal ile ifade eder. Yürür sistemde herhangi bir özel konuma ihtiyaç duyulmadığı, sadece milin ne kadar döndüğü bilinmesi gerektiği için incremantal(artımlı) sinyal üretmesi için kullanılan enkoder artımlı modda çalıştırılmıştır. Tarımsal insansız kara aracında enkoder olarak AndyMark 775 Redline Motor'a kolayca entegre edilebilen ve tavsiye edilen enkoder olduğu için RedLine Encoder Kit (am-3773a) kullanılmıştır. Artımlı sinyal üretmek için encoder kablo soketi enkoderda bulunan quadrature pinout soketine takılmıştır. Bu sokette 4 adet çıkış olup 2si güç 2si sinyal okumak için kullanılmaktadır. A ve B pinleri motor şaftının her devrinin 1/1024 ü kadar adımda sinyal üreterek ne kadar açı döndüğü bilgisini vermekte olup, A ve B sinyalleri arasındaki faz farkı da dönüş yönü bilgisini vermektedir. Tüm bu anlamlı veriler ile motor rpmi ve dönüş yönü elde edilmekte ve bu veri çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.
-

Şekil 10:Redline Encoder Kit



Şekil 11:Incremantal Signal Pinout

- **Stereo Kamera:** Stereo kameralar 2 ya da daha fazla lensin kullanıldığı kamera türüdür. 2 farklı lensin dolayısıyla resim sensörünün kullanması ile insan gözü algısına yaklaşan bir görüntü üretilebilmeye imkan sağlanmıştır. Bu algı görülen görüntülerin 2 boyutla kalmayıp 3 boyutlu görüntü oluşturması ile derinlik bilgisinin de resim verisine aktarılması şeklinde yorumlanabilir. Bu kameralar derinlik bilgisini üretmek için çeşitli matris işlemleri kullanır. Stereo kameranın iki resim sensörünün çektiği iki resim önce düzenlenerek birleştirilir, sonra obje tespiti yapılır. Görüntü birleştirme işlemi yapılırken çıkarılan eşitsizlik haritası ile derinlik (mesafe) hesabı yapılır. Son olarak görüntü 3 boyutlu olarak yeniden yapılandırılır. Tarımsal insansız kara aracında stereo kamera olarak Microsoft Kinect 3D Camera Sensor – System kullanılmıştır. Bu kamera RGB renk uzayını kullanır ve 640*480 piksel çözünürlüğünde saniyede 30 kare görüntü aktarabilmektedir.

Şekil 12:Microsoft Kinect 3D Camera

- **Diğer Kameralar:**

Robotta diğer görüntü ileyerek otonom uygulamalar (duvar takibi, nesne tanıma, engel tanıma) gerçekleştirmek için ve arayüzde operatörün çevreyi ve robotu düzgün bir şekilde görüntüleyebilmesi için çeşitli kameralar kullanılmıştır:

  - ESP-EYE

    ESP-EYE kamera 2 megapixel görüntü sensörüne sahiptir ve

esp32 modülü sayesinde wifi üzerinden kendi arayüzüne yayın yapabilmektedir. Ayrıca üzerinde mikrofon da bulunmaktadır ve sesli komutu mümkün kılmaktadır. Ayrıca üzerinde tiny machine learning çalışmaktadır, bu sayede çeşitli nesne tespitleri yapmaya olanak sağlamaktadır

Şekil 13: ESP-EYE Kamera

- SQ11 Camera

Bu kamera ile kullanılan bilgisayar ile USB üzerinde görüntü alınabilmektedir. 1920*1080 piksel çözünürlüğünde video çekebilmektedir. Ve bu görüntüler operatörün robot etrafını ve çevresini gözlemlenmesi sağlamaktadır. Ayrıca çeşitli görüntü işleme yöntemleri ile otonom uygulamarda kullanılmaktadır.

Şekil 14:SQ11 Kamera

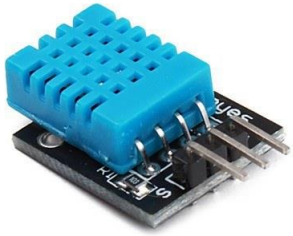
- **Ortam Durum Ölçme Sensörleri:**

- MQ-2 LPG, Propan, Hidrojen Ölçümleme Sensörü:
  Ortamda LPG, Propan, Hidrojen gazlarının miktarını ölçen sensördür.
- MQ-4 Doğal Gaz ve Metan Gazı Ölçümleme Sensörü:
  Ortamda Doğal Gaz ve Metan Gazı gazlarının miktarını ölçen sensördür.
- MQ-7 Karbonmonoksit Ölçüm Sensörü:
  Ortamda Karbonmonoksit gazının miktarını ölçen sensördür.
- MQ-135 Hava Kalite Sensörü:

Ortamda hava kalitesini ölçen sensördür.

- DHT 11 Sıcaklık ve Nem Sensörü:
  Ortamın sıcaklık ve nem değerlerini ölçen sensördür.

Şekil 15: DHT-11 Sensörü

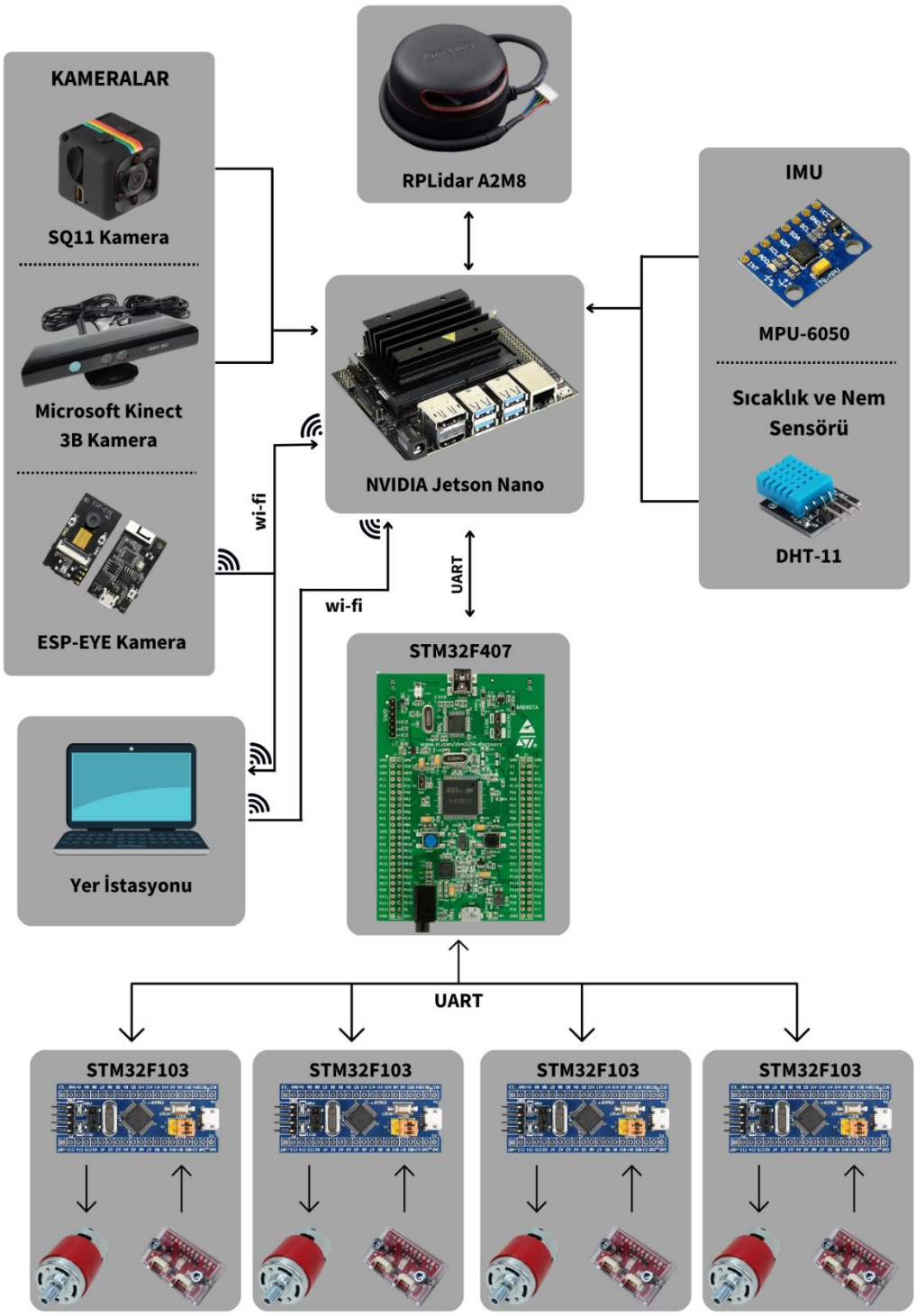


Şekil 16:MQ-x Sensörleri

5. Araç Kontrol Ünitesi

5.1 Kontrol Ünitesi

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ



Şekil 17:Araç Kontrol Ünitesi

Otonom bir araç genel olarak etrafındaki çevreyi sensörler yardımıyla anlamlandırıp bilgisayarı içerisindeki çeşitli algoritmalar ile yol güzergahını, zararlı bitkileri vb. bilgileri kendisine döndürür. Daha sonra elde edilen bu bilgi doğrultusunda gerekli motor komutları gönderilir ve bu bir döngü olarak devam eder.

NVIDIA Jetson otonom araçta ana bilgisayar kullanılmıştır:

Kendisine bağlanan LIDAR sensör ile ortamın 2 boyutlu point cloud verisini toplayıp, bu bilgiyi yine kendi içinde bulunan haritalama ve yer belirleme algoritmaları için kullanmaktadır.

Aracın tüm kameraları ana bilgisayara bağlıdır. Bu kameralardan ESP-EYE olanı görüntüyü internet sunucu aracılığıyla bilgisayara wi-fi ile aktarılır. Bu kamera basit nesne tespit işlemleri ve operatöre yardımcı olarak kullanılmaktadır. Diğer bir kamera olan Microsoft Kinect 3B Kamera bir stereo kamera olup kameranın gördüğü nesnelerin kendisinden ne kadar uzak olduğu bilgisini otonom araca iletir. SQ-11 kamera ise duvar takibi ve operatöre yardımcı olarak kullanılmaktadır.

Diğer sensörlerden biri olan MPU-6050 bir IMU sensörü olup aracın rotasyonu, hızı, ivmesi hakkında bilgi verir. LIDAR tarafından toplanan veri ile IMU tarafından toplanan veriler extented kalman filtresine sokularak algoritmaların doğruluk oranını yükseltmeye yarar. Sıcaklık ve nem sensörü olan DHT-11 ise ortamın sıcaklık ve nem bilgisini bilgisayara iletir.

Bilgisayar topladığı bu veriler ile otonom sürüş algoritmalarını çalıştırır, wi-fi ile yer istasyonuna topladığı verileri iletir: ayrıca yer istasyonundan gelecek komutları da işler. Algoritma çıktılarını ya da yer istasyonundan gelen verileri UART ile ana mikrodenetleyici olan STM32F407'ye gönderir.

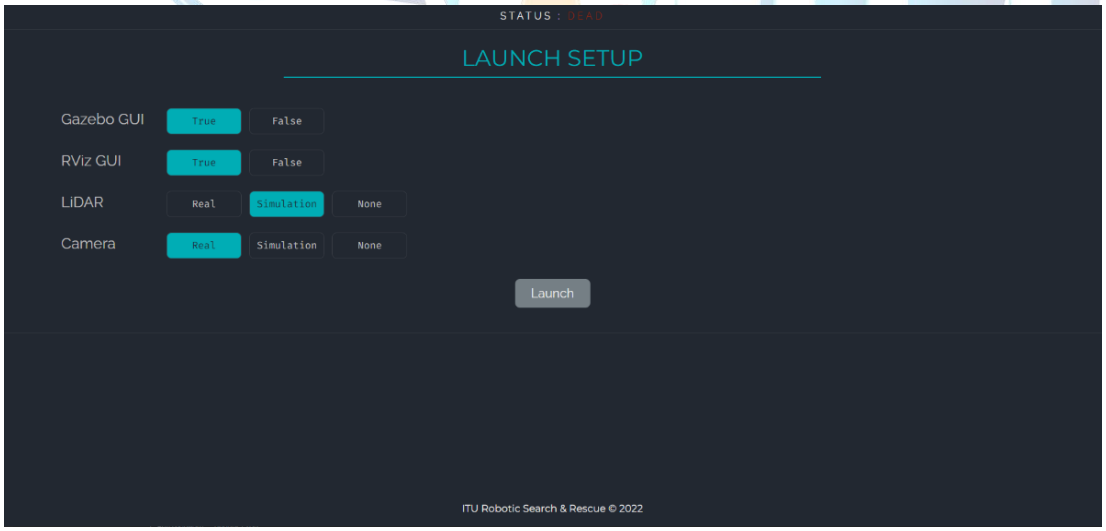
NVIDIA Jetson tarafından UART haberleşme protokolü ile STM32F407 mikrodenetleyicisine aktarılan komut, her bir motoru kontrol eden STM32F103 kartlarına gönderilmek üzere ayrıştırılır. Oluşturulan yeni komutlar UART ile STM32F103 kartlarına aktarılır. Bu noktadan sonra kartın görevi, motorları komutta yer alan hız değerinde döndürmektedir. STM32F103, oluşturduğu PWM sinyalini BTS7960 motor sürücülere göndererek motorlara enerji gitmesini sağlar. Her bir motora monte edilmiş manyetik enkoderlardan gelen veri, sisteme geri beslenir. Kartlar üzerinde çalışan PID algoritmaları; sürtünme, yük, vb. mekanik etkenlerin oluşturduğu sapmayı minimuma indirecek şekilde PWM sinyalini değiştirir. Bu döngünün sürekli devam etmesi sonucu, motorların stabil bir şekilde gelen komuttaki hız değerinde dönmesi sağlanır.

Mevcut durumda, kumandadan araç üzerindeki bilgisayara (Jetson Nano) gönderilen komutların aktarımı WiFi üzerinden sağlanmaktadır. Araç üzerinde kullanılan antenin teknik bilgileri şu şekildedir:

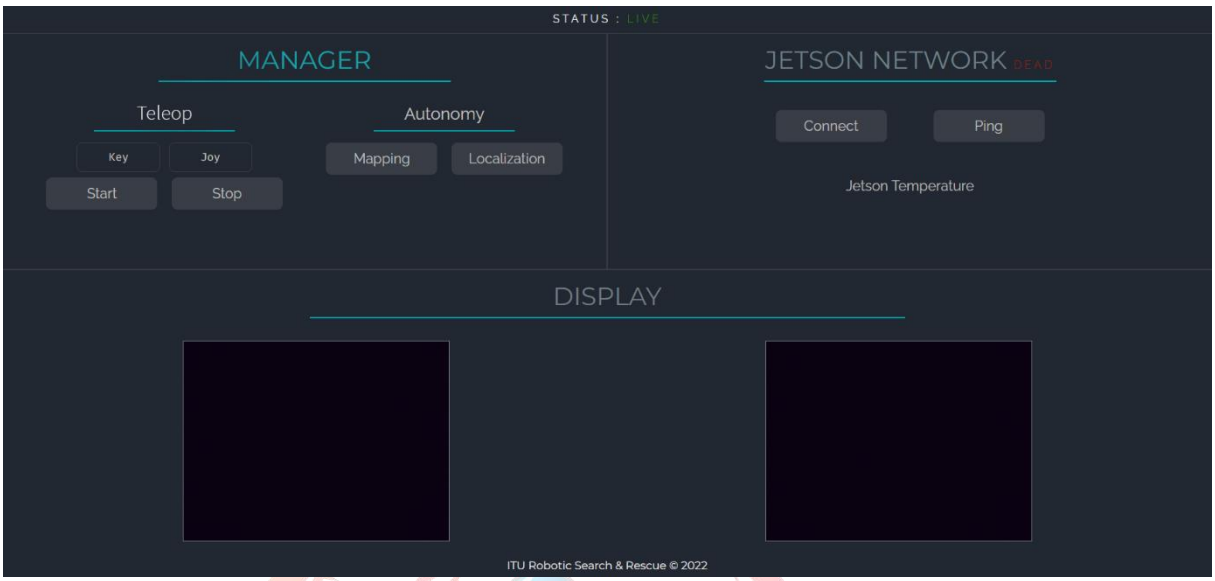
Tablo 1:Kullanılan Anten Değerleri

Frekans Aralığı	2400 - 2483.5MHz
VSWR	<1.8
Kazanç	12dBi
Maksimum Güç	10W
Giriş Empedansı	50Ω
Anten Yüksekliği	220mm

5.2 Araç Kontrol Arayüzü



Şekil 18:Arayüz Başlatma Ekranı



Şekil 19:Arayüz Kontrol Ekranı

Başlatma Arayüzü:

Başlatma arayüzü (launch setup) sistem başlatılırken fonksiyoların nasıl çalıştırılması gerektiğinin girildiği ekranıdır. Bu ekranda aşağıdaki ayarlamalar yapılmaktadır:

- Gazebo Graphical User Interface: aç/açma,
- RViz Graphical User Interface: aç/açma,
- Lidar: Gerçek dünyada veya simülasyonda çalıştır, ya da hiç çalıştırma,
- Kamera: Gerçek dünyada veya simülasyonda çalıştır, ya da hiç çalıştırma.

Kontrol Arayüzü:

Kontrol arayüzü 3 bölüme bölünmüştür:

- Yönetim Bölümü (Manager Section):
  - Komut göndermek için *start*.
  - İşlem (process) öldümek için *kill*.
  - Haritalamayı başlatmak için *mapping*.
  - Yer belirlemeyi başlatmak için *localization*.
- Jetson Bölümü (Jetson Network):
  - NVIDIA Jetson ile yer kontrol bilgisayarın birbirine bağlı olup olmadığı izlenebilir.
  - NVIDIA Jetson' a bağlanmak için *connect*.
  - Bağlantıyı kontrol etmek için *ping*.
  - NVIDIA Jetson' ın anlık sıcaklığı yine bu sekmeden izlenebilir.
- Ekran Bölümü (Display Section):
  - Kamera görüntüleri bu bölümde izlenir.
  - RViz verileri bu bölümde izlenir.

Arayüzün Teknik Özellikleri:

Arayüz web tarayıcıları üzerinde çalışmaktadır.

Arayüzün tasarımında (front-end) kısmında HTML, CSS ve JavaScript kullanılmıştır. HTML ve CSS tasarımı oluştururkeni JavaScript ile arayüze dinamiklik kazandırılmıştır. Örnek olarak Jetson bağlantısının durumuna göre arayüzdeki yazıların değişmesi örneği verilebilir.

Back-end kısmında bir Python framework ü olan Flask kullanılmıştır. Bu sayede arayüzde web servislerinden faydalınabilmektedir. Arayüzdeki işlemler, istek (request) olarak komutlandırılıp gerekli işlemler yapılabilmektedir. Ayrıca arayüzdeki ekranlara görüntü aktarımı yine web servisler ile gerçekleşmektedir.

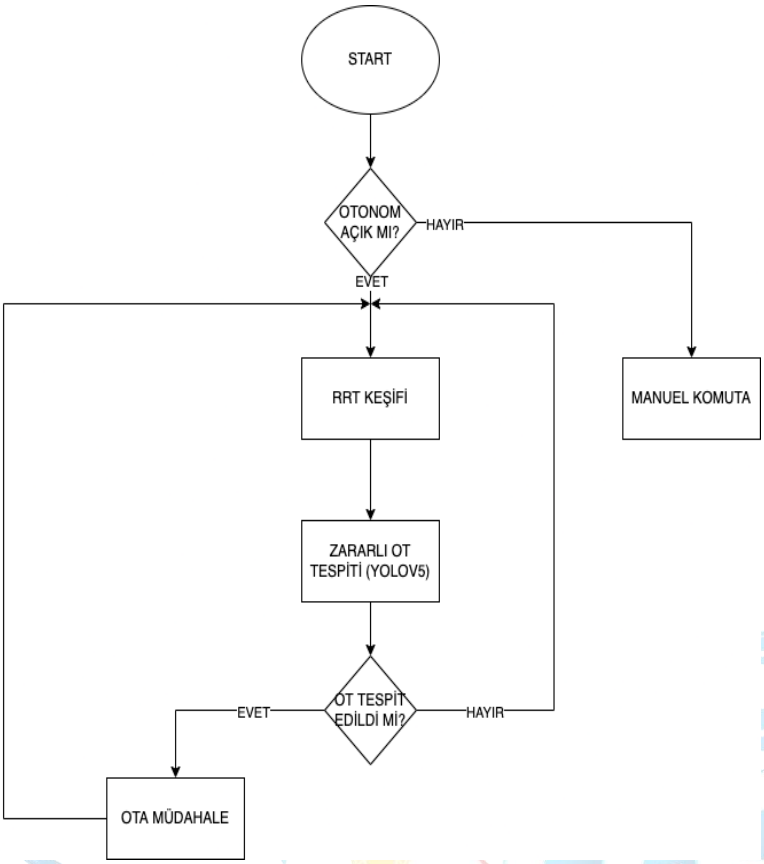
6. Otonom Sürüş Algoritmaları

Otonomi, yarışma şartnamesinde bulunan en önemli görevlerden birisidir. Yarışmada, bizlerden otonom şekilde aracın zararlı otları tespit etmesi, yok etmesi, ilaçlama yapması gibi görevler beklenmektedir. Bunların sağlanması için yazılım ekibimiz tarafından çeşitli algoritmalar kullanıldı ve geliştirildi. Şekil 17'de Tarımsal İnsansız Kara Aracı'mızın, görev tipine bağlı genel çalışma algoritması verilmiştir. Görüldüğü üzere Otonom ve Manuel olmak üzere 2 adet görev modu bulunmaktadır.

Manuel görev modunda, Araç Kontrol Ünitesi tarafından verilen komutlar doğruca ROS üzerinden aracın yürür sistemine ve robot kol pozisyonlama modülüne iletilmektedir. Operatör, arazide istediği noktaya araç kontrol ünitesi üzerinden verdiği komutlarla gidebilmektedir. Otonom modda ise kullanıcının bir kere bu modu açması yeterlidir. Bundan sonra araç, sahip olduğu derin öğrenme ve keşif algoritmaları ile Zararlı otları tespit edecek, robot kolu ile ilaçları yapabilecektir. Bunun için akış şu şekildedir; Otonomi aktivasyonu sonrası robot RRT modülünü -bu modülün işleyişi hakkında ileride bilgi verilecektir- aktive eder.

Tüm yazılım altyapısının ve sensor verilerinin ROS tabanlı olmasından ve iletilmesinden dolayı modüller arası etkileşimin oldukça verimli olduğunu söyleyebiliriz. Lidar ve IMU gibi sensörler kullanılarak yapılan SLAM sonucu elde edilen haritayı RRT kullanarak keşifi gerçekleştirmektedir. Bu keşif sırasında YOLO v5 ile tespit edilen otlar, haritada lokalize edilerek Rviz üzerinde işaretlenmektedir. Bu tespit edilen ota gerekli müdahale yapıldıktan sonra bu döngünün devamı sağlanmaktadır. Bu geliştirilen sistem, Roomba ev tipi otonom süpürgelerde kullanılana oldukça benzeyen fakat daha üst seviyede çalışan versiyonudur. Nasıl otonom süpürgelerde temel amaç çöpleri toplamaksa, bizim aracımızda daha iyi rota planlaması ile rastgele olmayan belirli nesnelere müdahale içeren bir algoritma bulunmaktadır.

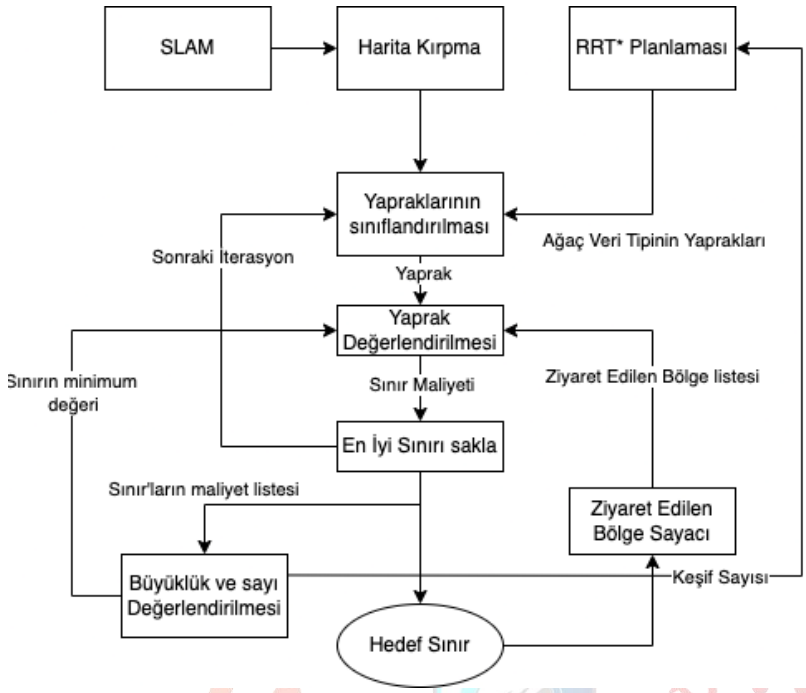
Takımımız, kazazede tespitinde kullandığı algoritmayı temel alarak bu algoritmayı geliştirmiştir.



Şekil 20:Tarımsal İnsansız Kara Aracı'nın Otonom Sürüş Algoritması

Şekil 18'de RRT Keşif Algortiması'nın detayları verilmektedir. Arazide aracın, otları bulabilmesi için keşif yapması gerekmektedir. Bu keşifi de Lidar, IMU gibi sensörler kullanılarak yapılan SLAM sonucu çıkan harita kullanılarak yapılmaktadır. Yukarıda anlatıldığı gibi akış diyagramı şu şekildedir; Harita kırpılarak maliyet haritaları oluşturulur. Bu maliyet haritaları üzerinde RRT planlaması yapılır. Maliyet haritası kullanılarak, RRT algoritması sonucu çıkan ağaç yapısındaki yapraklar sınıflandırılır ve bulunduğu konuma göre frontier yani sınır olarak adlandırılır.

Bu sınırlar, bilinen noktanın sınırlarıdır. Bu sınırlara ziyaret gerçekleştirilerek, var olan sınırlar genişletilir ve arazi taranmış olur. Bu işlem tüm çevrenin engellerle sınırlandırılmasına kadar yapılır. Bu şekilde bir arazinin tamamını keşfetmiş ve kamera ile tarama fırsatına erişmiş oluruz.



Şekil 21:RRT Keşif Algoritması

7. Yabancı Otla Zirai Mücadele Yöntemleri

İlaçlama sisteminin çalışma prensibi , ilaçlama için gerekli sıvının bulunduğu hazneden motor yardımı ile çekilen gerekli sıvının basıncı artırarak aracının robot kolunun en uç noktasına kadar tanışarak su püskürtme nozulluyla birlikte haznedeki sıvıyı istenmeyen bitkilere ulaştırılması hedeflenmiştir. Nozul aracın 4 eksen bağlantı bölgesine konumlandırılmıştır. Nozulun konum gereği aracın yaklaşmasına gerek kalmadan kolun diğer 3 ekseninden gelen mesafe sayesinde daha dar ve ulaşılması zor olan yerlere kolaylıkla ulaşabilmektedir.

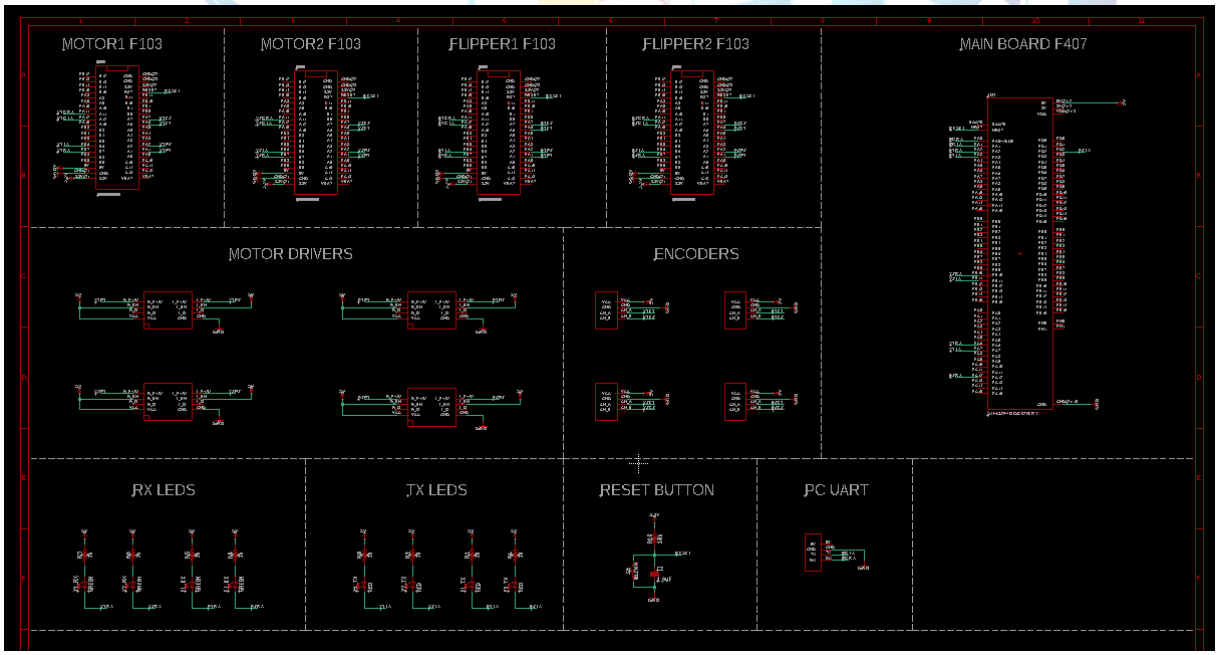
İlaçlama sisteminde, içerisinde 12V DC motor barındıran bir sıvı aktarma pompası kullanılmaktadır. Bu motor, 80 PSI maksimum basınç altında dakikada 3.1 Litre sıvı aktarma gücüne sahiptir. Çalışma sırasında 2.2A akım çekmektedir. Bu özellikler göz önünde bulundurularak, ilaçlama sisteminin elektronik kontrolü için motor sürücü olarak BTS7960B, mikrodenetleyici olarak Arduino Nano kullanılmıştır. Arduino Nano'dan motor sürücüye gönderilen sinyaller doğrultusunda motora ulaşan gerilim kontrol edilebilmekte, bu sayede zararlı ot tespit edildiğinde aracın ilaç püskürtmesi sağlanmaktadır. Motorun 12V ile çalışması; herhangi bir voltaj dönüştürücüye ihtiyaç duyulmadan, araç üzerinde hali hazırda yer alan aküden beslenmesini mümkün kılmaktadır.

Şekil 22:Pompası Sistemi

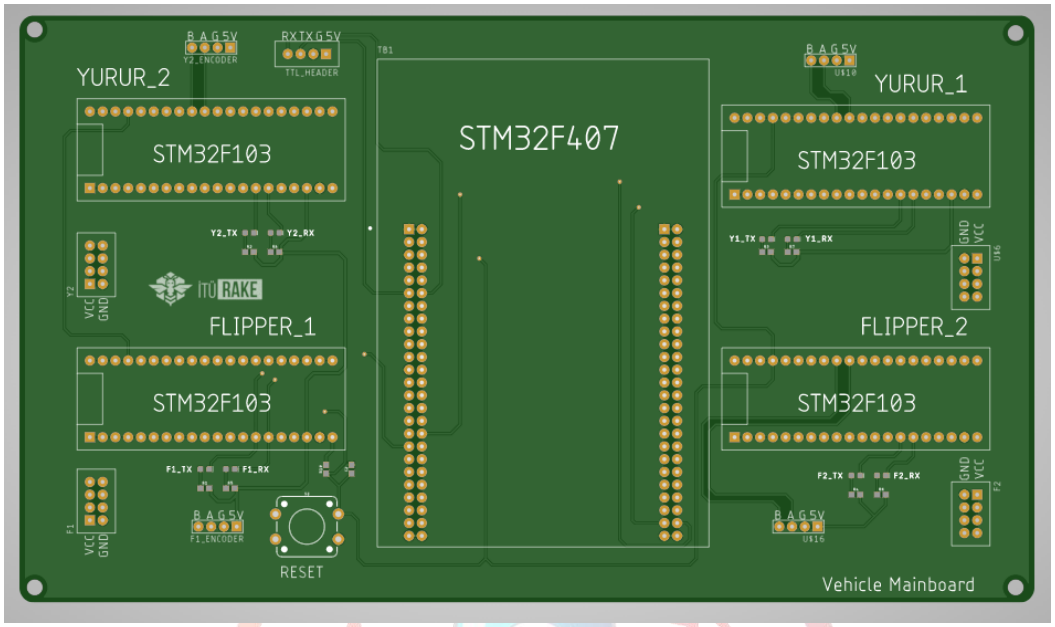
8. Özgün Bileşenler

a) <u>Elektronik</u>

Aracın elektronik sisteminin sağlıklı ve güvenilir şekilde çalışması, kablo karmaşasının azaltılması amaçları doğrultusunda sisteme özel bir PCB tasarlandı. Mikrodenetleyicilerin karta takılıp çıkarılabileceği bir tasarım tercih edildi. Bu sayede, kartlarda meydana gelecek bir sorunda hızlıca değişim yapılması amaçlandı. Kartın tasarlanması sırasında; kompanentlerin yerleşimi, haberleşme ve güç hatlarının uzunluğu ve kalınlığı gibi hususlara dikkat edildi. Tüm bu çalışmalar sonucu, devre bütünlüğü temelli sorunlar minimuma inmiş oldu.



Şekil 23: Kart Tasarımları



Şekil 24:PCB Şematiği

b) <u>Mekanik</u>

Robotumuzun yürür sisteminde ülkemizin arazi şartlarında zorlanmaması ve taş gibi engellere takılmaması amaçlanarak zincir palet kullanılmıştır. Eğimi yüksek bölgelerde kolayca hareket edebilmesi için ise 4 adet flipper takılmıştır. Bu flipperlar 360° dönebildiğinden araç 45°'lik eğimi zorlanmadan çıkabilmektedir. Buna ek olarak robotta 99cm kadar açılabilen 3d yazıcı ile üretilmiş 5 eksenli kol bulunmaktadır. Bu kol robotu hareket ettirmeden de istediğimiz bölgeye erişip ilaçlama yapmamıza yardımcı olur. 3d yazıcı kullanmamız kola düşük maliyetle tamamen kendi tasarladığımız parçaları en hassas şekilde PETG gibi hafif ve araç için ideal esneklikteki bir malzemeden üretmemizi sağlamıştır. Ayrıca araç metalik aksamdan ve petg malzemeli koldan kaynaklı olarak hasarlara karşı dayanıklıdır. Hayvan saldırısı veya fırtına gibi beklenmeyen durumları hasar almadan atlatabilir.

c) <u>Yazılım</u>

- **Bağlantı Kopmasına Karşı Fail-Safe Modu:** Otonom aracın yer istasyonu ile wi-fi bağlantısının kopması durumunda olası durumları önlemek adına bağlantı kopunca tüm görevlerini (hareket, mapping, müdahale) bağlantı kuruluncaya kadar durduran koruma scripti mevcuttur.
- **Robot Launch Dosyaları:** Robotun bileşenlerinin (donanım, yazılım) çalıştığı her düğümün nasıl, hangi parametrelerle, hangileriyle çalıştırılması gerektiğinin belirtildiği ve düğümleri çalıştırmayı sağlayan .launch dosyaları İTÜ RAKE'ye özgündür.

- **Kamera Verilerini ROS Platformuna Entegre Etme:** Kamera verileri takım tarafından yazılan scriptlerle alınıp bu verilerin ham bir şekilde ROS platformuna entegre edilmesi İTÜ RAKE'ye özgündür.

9. Güvenlik Önlemleri

- Test aşamasında insansız kara aracının manuel kontrolü sırasında kullanılması planlanan wifi tabanlı bir uygulama tasarlanması planlanmıştı. Fakat wifi bağlantısının kopması dahilinde robotun kontrolü kaybedilmesi söz konusu olduğu için robotun böyle bir durumda kendisine otomatik bir şekilde durdurmasını planlıyoruz. Bunun için herhangi bir malzeme gerekli değildir.
- Yabani ota ilaçlama ile müdahale etmeyi düşünüyoruz. İlacın sıvı olmasından dolayı elektrik sistemlere verebileceği zarardan dolayı elektronik aksamımızı korumak amaçlı kapalı bir sistem kurmayı düşünüyoruz. Aynı zamanda robot kolda açıkta bulunan kablolar için özel kablo koruyucular ile birlikte elektrik mekanizmasını korumayı amaçlıyoruz.
- Herhangi bir olağan dışı bir durum olduğunda hem arayüzde hem de araç üzerinde gücü kesen bir stop tuşu bulunduruyoruz.

Şekil 25:Kullandığımız Stop Butonu

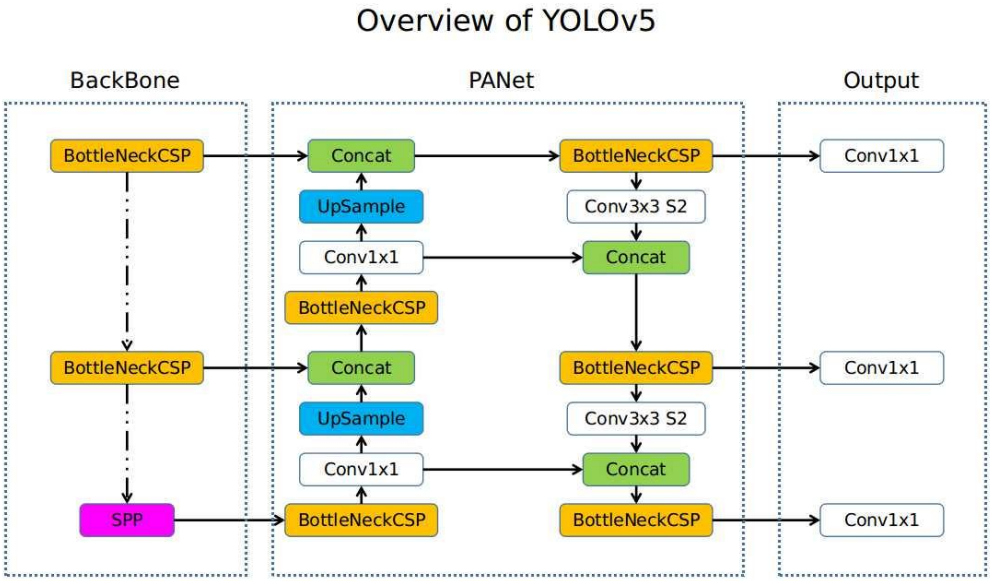
Şekil 26:Kablo

10. Simülasyon ve Test

a) Zararlı Ot Tespit Testi

Yarışma şartnamesinde bizden, arazide bulunan zararlı otları tespit etmemiz ve müdahale etmemiz beklenmektedir. TİKA aracımızın otonom modda bitkileri tespit etmesi için aracın üstünde ve robot kolunda bulunan ESP32 kameraları ile görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmaları kullanarak nesnenin tespiti ve lokalizasyonu sağlanır. Nesne tespiti için pek çok framework ve algoritma

bulunmaktadır. Bunlar arasında ot tespiti en verimli, yüksek doğruluğa sahip ve en ünlülerinden olan YOLO V5 algoritmasını kullanıldı.



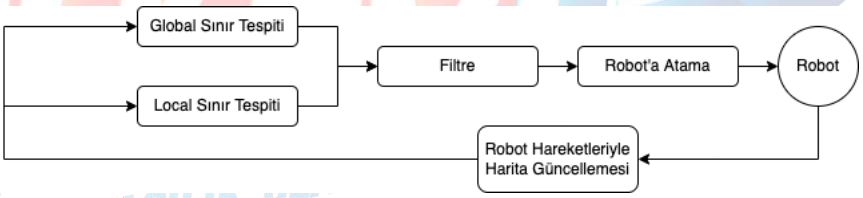
Şekil 27:YOLO V5 Mimarisi

Yolo V5 mimari, Şekil 3'te verildiği gibi çeşitli özellik çıkarıcı ve kompleks convolution bloklarından oluşmaktadır. BottleNeckCSP bloklarıyla oluşturulan özel bir BackBone kullanan algoritma, PANet adı verilen bir Network Head'i kullanmaktadır. Bu networkün çıktıları olarak da nesne tespitinin sonuçları elde edilmektedir. Yolo V5 algoritması, PyTorch kütüphanesi kullanılarak hazırlanmış açık kaynaklı implementasyonunu github üzerinden paylaşmaktadır. Biz de bu kodu ve zararlı otlardan oluşan veri setimizi kullanarak Google Colab aracılığıyla derin öğrenme modelimizi eğittik. Burada YOLO V5'in önceden eğitilmiş modeline fine tuning yapma metodunu kullandık. Fine tuning ile önceden eğitilmiş modelin isabeti kullanılarak daha isabetli bir model eğitimi mümkün olmaktadır. Yaklaşık ~172 görselden oluşan veri setinde negatif ve birden fazla objeli görseller de bulunmakta. Elde edilen model, Nvidia kartlı bir notebook kullanılarak test edilmiştir. Kendi oluşturduğumuz veri seti ile fine tuning edilmiş YOLO V5 algoritmasının, örnek görsel üzerindeki başarısı yukarıda görülmektedir.

Şekil 28: YOLO V5 Algoritması ile Zararlı Ot Tespiti

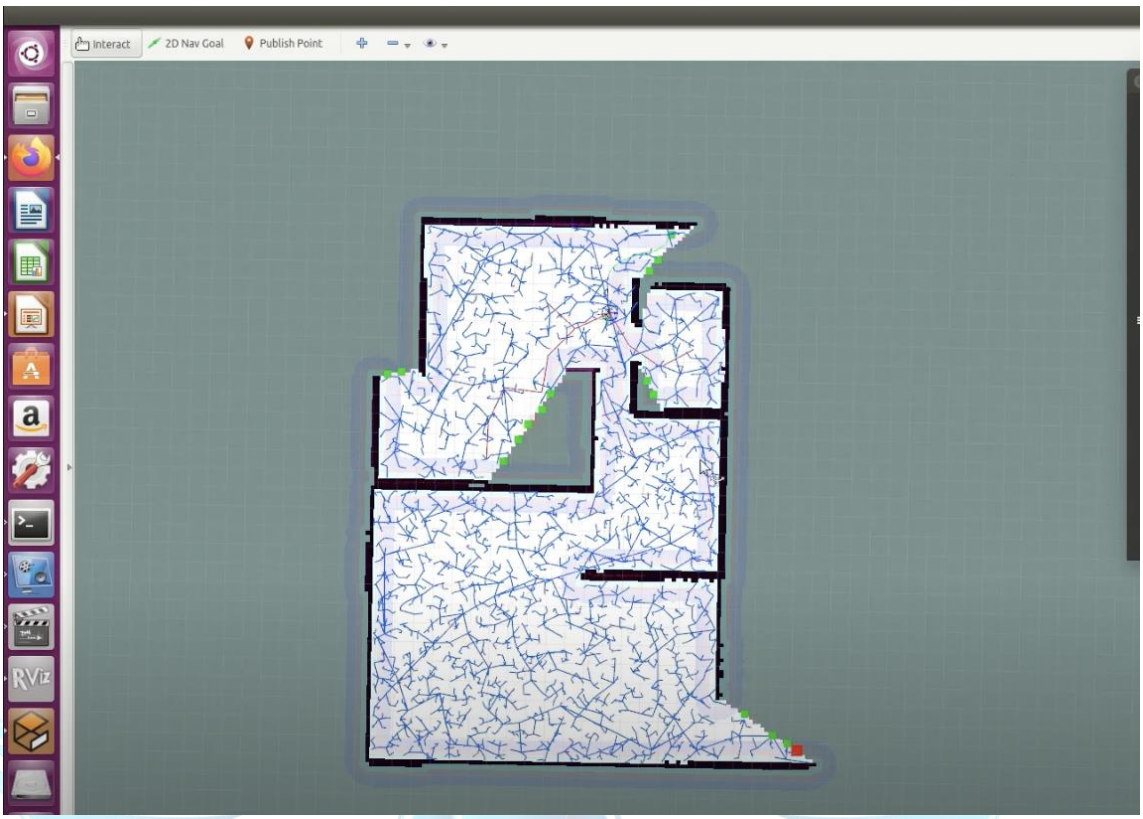
b) Keşif Algoritması Simülasyonu ve Testi

Tarımsal İnsanız Kara Aracı'mız keşif için RRT algoritmasını kullanmaktadır. Bu algoritma, Ros'ta bulunan rrt_exploration paketi aracılığıyla kullanılmaktadır. Bu paket, SLAM sonucu yayınlanan cost_map topic'ine abone olmaktadır. Bu paketten elde ettiği maliyet haritasını kullanarak Global ve Local sınır (frontier) tespiti yapmaktadır. Bu sınırları filtreleyen paket, kara aracına hedef ataması yapmaktadır. Araç, hareketleriyle SLAM'e yeni veriler kazandırmakta ve haritayı güncellemekte ve genişletmektedir. Genişleyen harita ile sınır tespitleri güncellenmektedir.



Şekil 29:Ros RRT modülü

Algortimanın performansının testi için Gazebo ve ROS kullanılarak Simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonda, TurtleBot adı verilen robot modeli ve dinamiği kullanılmışıtır. TurtleBot tıpki bizim aracımızda olduğu gibi lidar ve IMU sensörlerine sahiptir ve SLAM aracılığıyla maliyet haritası oluşturabilmektedir. TurtleBot'un oluşturduğu maliyet haritasını kullanan rrt_exploration paketi aşağıda görüldüğü gibi sınırlandırılmış alanı keşfetmektedir ve pathler oluşturmaktadır.



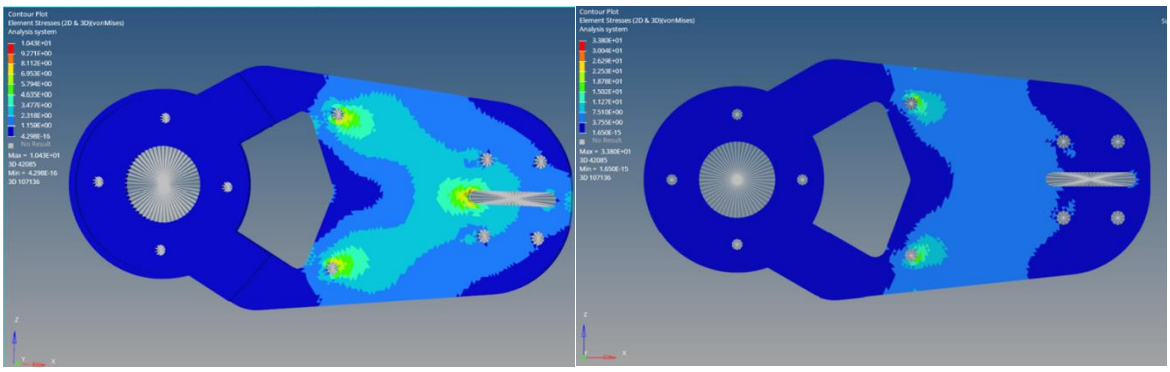
Şekil 30:TurtleBot Aracılığıyla Keşif Algoritması Simülasyonu

c) Flipper ve Robot Kol Dayanım Artırıcı Malzeme Analizi

- Flippera takılı motor "AndyMark 775 RedLine" motorun gücü=O.382kW. Tekerleğe aktarılan devir 54,058 rpm olarak hesaplandı. Palet üzerindeki tork 67.48 Nm Olarak bulunur. Analiz esnasında bu değer 100 Nm alınması uygun görülmüştür.

  Aracın 80 kg ağırlığının tek bir tekere bindiği durum göz önünde bulundurularak, analiz için yükleme durumunun 1000N olarak alınması uygun görüldü.

  Parçanın malzemesi alüminyum 5754 alaşımıdır. Analiz hesaplamalarında elastisite modülü 69000 MPa ve yoğunluk 2,66 g/cm3 değerleri kullanıldı. Bu yükleme durumlarında 2 farklı eksende yapıldığında gerilme sonuçların maksimum 34 MPa çıktığı görüldü. Akma dayanımının 90 MPa olduğunu göz önüne alırsak, akma dayanımı 90/34=2,7 olarak bulunur. Böyle bir durumda yeterlidir.

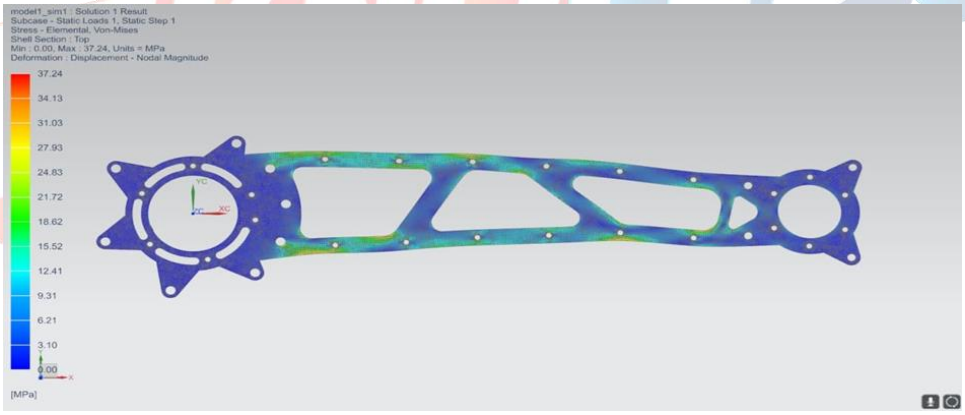


Şekil 31: Flipper Analiz Görüntüleri

- Bu parça robot kolun üretimi esnasında hafiflik ve maliyet açısından plastik malzeme kullandığımız için bilhassa 2. ve 3. eksenler arasında oluşabilecek eğilme momentlerinden korunabilmek ve parçanın mukavemetini artırabilmek için tasarlanmıştır.

  Eksenlerdeki parçaların ve motorların ağırlığı göz önüne alınarak yükleme durumu yaklaşık 60 N olarak belirlenmiştir.

  Parçanın malzemesi alüminyum 1050 alaşımıdır. Analiz hesaplamalarında elastisite modülü 69000 MPa ve yoğunluk 2,71 g/cm3 değerleri kullanıldı. Bu yükleme durumunda maksimum gerilme 37 MPa çıktı. Akma dayanımı 100 MPa olduğuna göre emniyet katsayısı 100/37= 2,7 olarak bulunur. Böyle bir durum için uygun bir değerdir.



Şekil 32: Analiz Görüntüleri

11. Referanslar (Kaynakça)

- Wikipedia, *Lidar*, https://tr.wikipedia.org/wiki/LIDAR
- Sparkfun, *Lidar*,

https://cdn.sparkfun.com/assets/e/a/f/9/8/LD208_SLAMTEC_rplidar_datasheet_A2M8_v1.0_en.pdf
- Wikipedia, *IMU*, https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit
- IMU kısmında 2021 İTÜ TAKE TİKA raporundan faydalanıldı. ‘İvmeölçer 3 ayrı eksende analog sinyal üretir. İtici sistemden ve fiziksel limitlerden dolayı, ivme ölçen bu sensörlerdeki en önemli durum yer çekiminden etkilenmeleridir. Diğer sensör olan jiroskop ise dönüş ölçerdir. Jiroskobun temelde iki özelliği vardır. Yatay eksende dönmekte olan bir jiroskoba yatay eksende bir kuvvet uygulandığında eksen etrafında dönmeye başlar. Diğer özelliği ise jiroskobun dönüş eksenine sabit kalmasıdır. Jiroskop ve ivmeölçer tek başlarına güvenli ve stabil veriler sağlayamazlar. Bu yüzden birbirlerini referans alarak iki sensör birleştirilir ve hız, pozisyon gibi bilgiler tek bir birimden yani IMU’dan alınır.’ **" (2021, Tarımsal İnsansız Kara Aracı, İTÜ RAKE TİKA)**
- Invensense DatasSheets, *PS-MPU*, https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Components/General%20IC/PS-MPU-6000A.pdf
- Wikipedia, *Rotary Encoder*, https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder
- Encoder, *What is an encoder*, https://www.encoder.com/article-what-is-an-encoder#:~:text=Simply%20put%2C%20an%20encoder%20is,count%2C%20speed%2C%20or%20direction.
- Andymark, *Redline Encoder Kit*, https://www.andymark.com/products/redline-encoder-kit-a
- Wikipedia, *Stereo Camera*, https://en.wikipedia.org/wiki/Stereo_camera
- Researchgate, *The Microsoft Kinect 3D Camera Sensor System an IR-transmitter 3D Depth Sensors*, https://www.researchgate.net/figure/The-Microsoft-Kinect-3D-Camera-Sensor-System-an-IR-transmitter-3D-Depth-Sensors_fig15_309740491
- Ordinoscope, *SQ11 mini DV. User Guide*, https://www.ordinoscope.net/images/7/78/SQ11_manual_ord-info.pdf
- Github, *ESP-EYE Getting Started Guide*, https://github.com/espressif/esp-who/blob/master/docs/en/get-started/ESP-EYE_Getting_Started_Guide.md
- Aosong Electronics, *Temperature and Humidity Module DHT11 Product Manual*, https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/DHT11-Temperature-Sensor.pdf
- Pérez Higueras, Noé & JARDÓN HUETE, Alberto & Rodriguez, Angel & Balaguer, Carlos. (2019). 3D Exploration and Navigation with Optimal-RRT Planners for Ground Robots in Indoor Incidents. Sensors. 20. 220. 10.3390/s20010220.
- Github, *Ultralytics*, https://github.com/ultralytics/yolov5
- Github, *Hasauino*, https://github.com/hasauino/rrt_exploration