

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

SANAYİDE DİJİTAL TEKNOLOJİLER YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

TAKIM ADI

Guzergah Robotics

PROJE ADI

Guzergah AGV

BAŞVURU ID

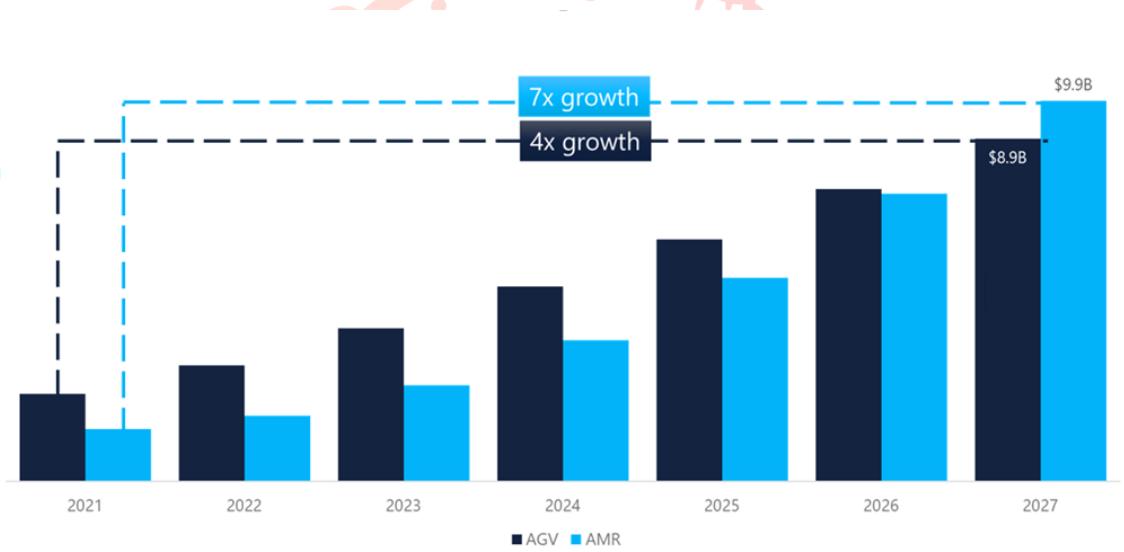
904864

İçindekiler

| | |
|---|----|
| 1. Rapor Özeti | 2 |
| 2. Takım Şeması | 2 |
| 2.1. Takım Üyeleri..... | 2 |
| 2.2 Organizasyon Şeması ve Görev Dağılımı | 4 |
| 3. Proje Mevcut Durum Değerlendirmesi..... | 4 |
| 4. Araç Tasarımı | 5 |
| 4.1 Sistem Tasarımı | 5 |
| 4.2 Aracın Mekanik Tasarımı | 5 |
| 4.2.1 Aracın Mekanik Tasarım Süreci | 5 |
| 4.2.2 Malzemeler..... | 15 |
| 4.2.3 Üretim Yöntemleri..... | 19 |
| 4.2.4 Fiziksel Özellikler | 22 |
| 4.3.1 Elektronik Tasarım Süreci | 24 |
| 4.3.1.1 Güç Birimi | 24 |
| 4.3.1.2 Otonom Kontrol Birimi | 27 |
| 4.3.1.3 Motor Kontrol Birimi | 29 |
| 4.3.1.4 Lift Kontrol Birimi | 34 |
| 4.3.1.4 Uyarı Birimi..... | 34 |
| 4.3.2 Algoritma Tasarım Süreci | 36 |
| 4.3.2.1. Yol Takip Algoritması | 39 |
| 4.3.2.2. QR Kod Algoritması..... | 41 |
| 4.3.2.3. Alternatif Yol Algoritması | 41 |
| 4.3.2.4. Diferansiyel Sürüs Algoritması..... | 42 |
| 4.3.2.5. Navigasyon Algoritması | 43 |
| 4.3.2.6. Haberleşme Algoritması | 44 |
| 4.3.2.7. Haritalama Algoritması..... | 44 |
| 4.3.3. Yazılım Tasarım Süreci | 47 |
| 4.4 Dış Arayüzler..... | 47 |
| 5. Güvenlik..... | 50 |
| 6. Test | 51 |
| 7. Tecrübe..... | 53 |
| 8. Zaman Bütçe ve Risk Planlaması..... | 54 |
| 9. Özgünlük..... | 56 |
| 10. Yerlilik | 56 |
| 11. Kaynakça | 56 |

1. Rapor Özeti

Küresel anlamda otonom teknolojilerin gelişim göstermesi bu gelişimin endüstriyel uygulamalara kaymasına da zemin hazırlamaktadır. Endüstri uygulamalarındaki bu değişimde insan kaynaklı iş gücüné bağlılığın azaltılması, seri üretiminde hacim artışına gidilmesi ve tam otomasyona geçişin sağlanması amaçlanmaktadır. Otomatik güdümlü araçlar (Automated Guided Vehicles, AGV) gibi otonom olarak çalışan insansız robotik sistemler de bu amaçla geliştirilmiştirlerdir. Tüm bu gelişimler “Sanayide Dijital Dönüşüm” olarak gösterilen çalışmalara örnek olmaktadır. Bahsi geçen robotik sistemler, sanayideki bu teknolojik dönüşüm aşamasındaki fabrikaların maliyetlerinin azaltılmasında, kontrollü ve denetimli bir işletme ortamının oluşturulmasında ve işletmedeki verimin artırılmasında önemli bir paya sahip olmaktadır. Bu alanda yapılan dünya çapındaki araştırmalarda son yıllarda görülen otonom robot market hacminin %43'lük bileşik büyümeye oranıyla 2027 yılına kadar 18 milyar dolardan fazla olacağı öngörmektedir. [1]



Şekil 1 Yıllara Göre AGV-AMR Pazarı

Dünyada giderek artan tüketim ihtiyaçlarını karşılayan endüstriyel üretim hatları hızla büyümektedir. Üretim hatlarında gereken iş gücünü karşılayabilmek için geliştirilen birçok yöntem vardır. Bunlardan biri olan otonom güdümlü araçlar (AGV) bileşenlerin taşınmasından, ürünlerin üretim hattına ve üretim hattından montaj hattına kadar taşınmasında görev alır. Ülkemizde üretim hatlarında kullanılan yüksek işçi gücüne olan ihtiyacı azaltmak amacıyla Guzergah Robotics takımını kurduk. Öncelikle geçmişte yapılan çalışmalar ve teknolojik gelişmeler ışığında yapılan literatür araştırmasıyla inovatif fikirler elde edilmiştir. Bu doğrultuda aracımızın doğrudan sanayi şartlarında kullanılabilecek nihai bir ürün olması için çalışmalar yapılmıştır.

2. Takım Şeması

2.1. Takım Üyeleri

Guzergah Robotics takımı, 2022 yılında sanayide dijital teknolojiler üzerine çalışmalar yürütmek için kurulmuştur. 6 Mekatronik Mühendisliği ve 4 Elektrik-Elektronik Mühendisliği öğrencilerinden oluşan takım üyeleri Uluslararası İHA, Serbest kategori, Teknofest Yapay Zekâ ve üniversitelerin otonom sistemler üzerine düzenlediği yarışmalara katılarak tecrübeler

edinmiştir. 2022 Teknofest Sanayide Dijital Teknolojiler Yarışması'nda ön tasarım raporundan 74, detaylı tasarım raporundan 88 puan alarak finalde yarışmaya hak kazanmıştır.

| Mevki | İlgili Alanları ve Kabiliyetler | Takimdaki Görevi |
|---|--|--|
| Doktor Öğretim Üyesi: | Üniversitede robotik ve otonom sistemler alanında dersler ve danışmanlıklar vermektedir. Okulumuzda Teknoloji Yarışmaları Koordinatörlüğü'nün kurucularındandır. | Teknik anlamda ve projeyi yürütme konularında takıma destek vermektedir. |
| Mekatronik Müh. Öğrencisi (Kaptan): | Python, C, C++, robotik sistemler, STM32 | Merkez kontrol kartının ROS ile haberleşmesinde ve motor sürücü için kapalı devre kontrol sistemi geliştirmede görevlidir. |
| EEM Öğrencisi (Elektronik): | Python, C, PyQt, Flutter, Nextion IDE, mikrodenetleyiciler | Araç üzerindeki kullanıcı arayüzünün ve uzak kullanıcı arayüzünün tasarlanması görevlidir. |
| EEM Öğrencisi (Elektronik): | C, mikrodenetleyiciler, fonksiyonel programlama, CAN-I2C-USART-SPI | Gömülü sistem birimlerinin algoritmalarının oluşturulmasında ve birimlerin haberleşme protokollerinde sorumludur. |
| EEM Öğrencisi (Elektronik): | C, Python, güç elektroniği, PCB tasarıımı, Eagle, Altium | Aracın devre kartlarının tasarlanması ve imalatında görevlidir. |
| EEM Öğrencisi (Elektronik): | C, mikrodenetleyiciler, haberleşme sistemleri, güç elektroniği | Araç uyarı sistemlerinin geliştirilmesinde ve gömülü sistem üzerinde LOG kaydı yapılmasında görevlidir. |
| Mekatronik Müh. Öğrencisi (Mekanik): | CAD programları, Catia, Ansys, mekanik analiz | Aracın gerekli statik ve dinamik analizlerinin yapımından ve aracın imalatında görevlidir |
| Mekatronik Müh. Öğrencisi (Mekanik): | CAD programları, Fusion360, Ansys, mekanik analiz, Solidworks | Aracın CAD programında tasarlanması, aracın imalatından ve araç analizinde görevlidir. |
| Mekatronik Müh. Öğrencisi (Yazılım): | Python, C++, otonom sistem algoritmaları, yapay zeka, görüntü işleme, | ROS 'ta otonom sürüş mimarisinin oluşturulmasından, ROS' ta düğümlerin uyumlu çalışmasının kontrolünde görevlidir. |
| Mekatronik Müh. Öğrencisi (Yazılım): | Python, OpenCV, görüntü işleme, otonom sistemler | Görüntü işleme ile şerit takibi ve karekod tespit yazılımlarının geliştirilmesinde görevlidir. |
| EEM Yüksek Lisans Öğrencisi (Yazılım): | Python, C++, ROS, SLAM algoritmaları | ROS'ta haritalandırma algoritmaları oluşturulmasında görevlidir. |

Şekil 2 Takım Üyeleri Yetkinlikleri Tablosu

2.2 Organizasyon Şeması ve Görev Dağılımı



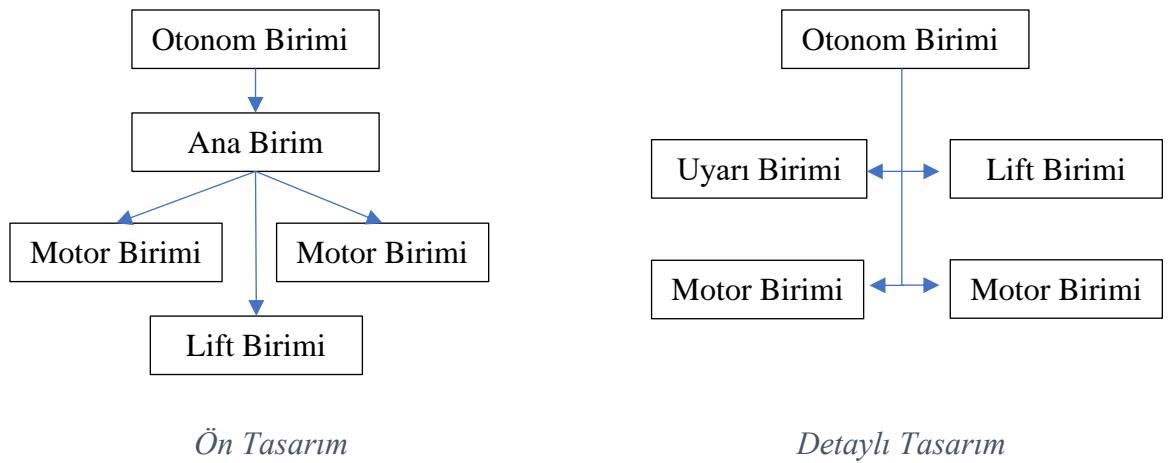
3. Proje Mevcut Durum Değerlendirmesi

Batarya doluluk yüzdesi öğrenmek için kullanacağımız gerilim bölücü devresini kaldırıldı. Bu devre yerine özel olarak üretireceğimiz bataryada bulunan RS232 portu ile bu veriyi öğreneceğiz.

Ön tasarımımızda elektronik birimlerden biri olan “Ana Birim” in otonom birimden verileri alt birimlere iletmesinin sistemi yavaşlatlığı test edilmiştir. Bu sebepten dolayı “Ana Birim” kaldırılarak motor, lift birimleri doğrudan otonom birime bağlanmıştır. Ana birim, uyarı birimi olarak değiştirilmiş ve bazı sensörler çıkarılmıştır.

Mekanik tasarımda ön tasarım sürecinden sonra bir değişiklik yapılmamıştır.

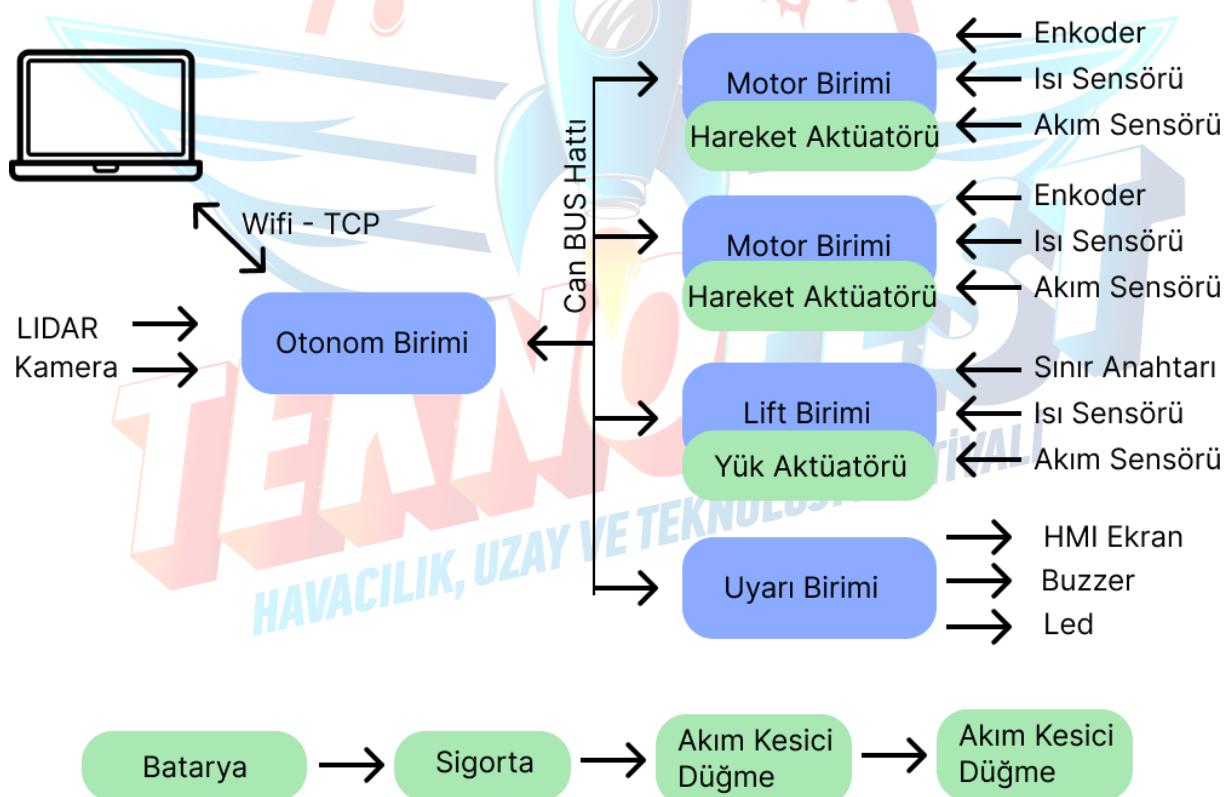
Ön tasarım raporümüzda yaklaşık 32000TL olan yaklaşık bütçemiz kur dalgalanmalarından ve araçtaki bazı malzemelerinden değişimlerinden dolayı, proje detay raporu aşamasında 48531TL olmuştur.



Şekil 4 ÖTR, PDR Elektronik Karşılaştırması

4. Araç Tasarımı

4.1 Sistem Tasarımı



Şekil 5 Sistem Tasarım Şeması

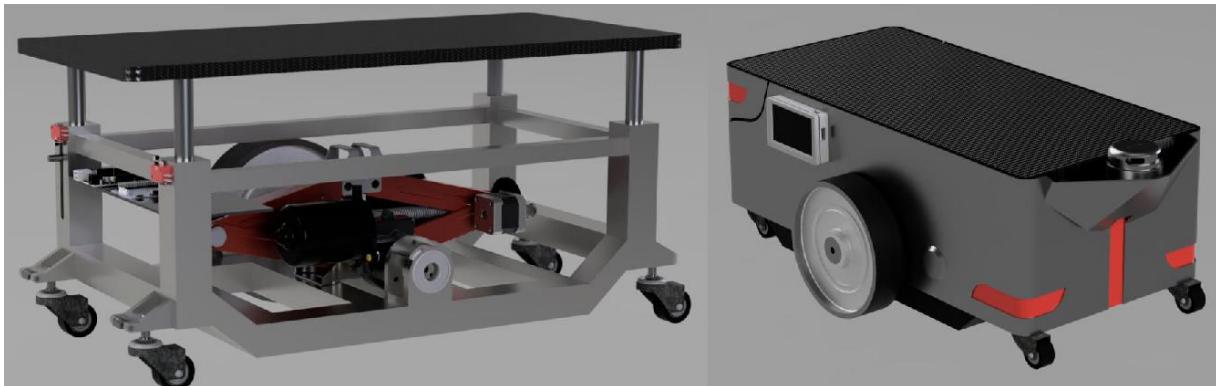
4.2 Aracın Mekanik Tasarımı

4.2.1 Aracın Mekanik Tasarım Süreci

Aracımızın temel işlevi ve üretilme amacı sanayide üretim safhasında olan ara ürünlerin ve hammaddelerin, fabrika içerisindeki lojistiğini ve ulaşımını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda kullanılacak tasarımın ağır yüklemelere ve bu yüklemelerin oluşturduğu

gerilmelere dayanması gerekmektedir. Bu sınırlar altında, tasarım hazırlanırken çalışma ortamı, istenen şartlar ve maliyet gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur.

Tasarım sürecinde 3 farklı tasarım fikri bulunmaktadır. Var olan tasarımlardan ilki olan ve 2022 ön tasarım raporunda yer verilmiş olan tasarım, iki ana tahrik tekeri ve 4 avare teker bulunduran diferansiyel sürüs sistemli tasarımının kullanılması kararlaştırılmıştır. Yük kaldırma mekanizmasında maliyeti ve yükleme şartlarını sağlama sebebiyle motor bağlantısı yapılmış makas kriko kullanılmıştır ancak bu tasarımın dış hatlarının keskinliği ve tahrik tekerlerinin dışında konumlandırılmış olması güvenlik açısından olası olumsuz yönleri göz önüne alınarak kullanılmasından vazgeçilmiştir.



Var olan ikinci tasarımda, ilk tasarımın kusurları göz önünde bulundurularak geliştirmeler yapılmış ve daha kavisli bir tasarım modeli üzerinde durulmuştur. Bu tasarımda ana tahrik tekerleri dış kabuğun içerisinde konumlandırılmıştır. Bu tasarımda ilk tasarımın üzerinde genel olarak kozmetik detaylar üzerinde durulmuş, sistem üzerine kritik bir değişim yapılmamıştır.

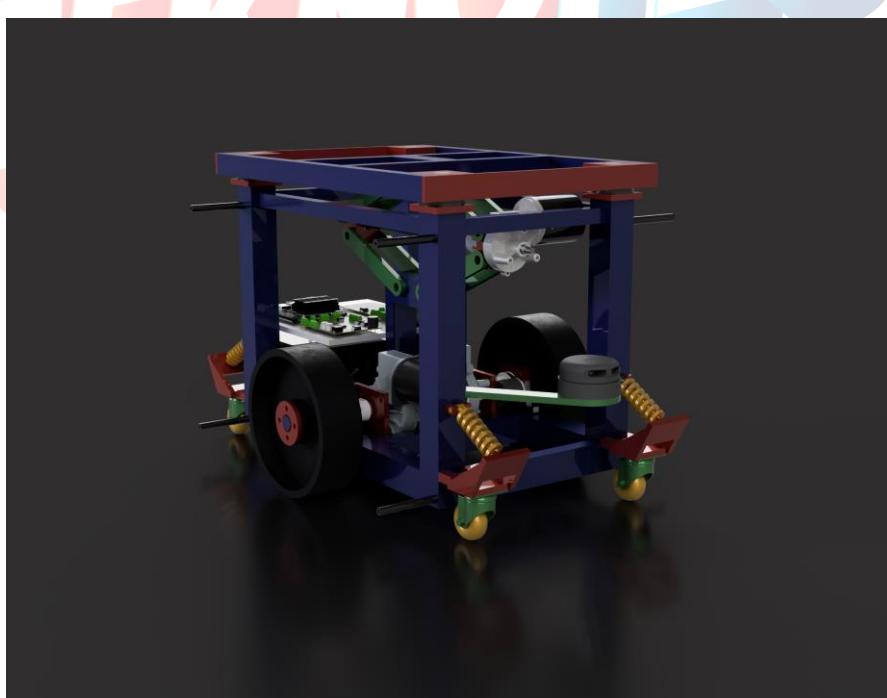


Geçmiş tasarımlar incelendiğinde diferansiyel sürüs sisteminin kabiliyetinin yeterli olduğu görülmüştür. Ancak bu sistemin, bozuk ve engebeli zeminlerde oluşturabileceği olumsuzlukları engellemek amacıyla avare tekerlekler yeni geliştirilen mekanizmayla yaylı bir hale getirilmiştir. Yük kaldırma mekanizmasında herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir ancak lineer raylarda oluşabilecek kesme gerilmelerinin ve yanal yüklemelerin oluşabileceği öngörülülmüştür. Bu kasırmaların yük platformu kapanırken gerçekleşeceği tespit edildiğinden her bir lineer mile yay geçirilerek kuvvetin eşit bir şekilde etki etmesi amaçlanmıştır. Yeni tasarımda LIDAR aracın bölgesinden iç kısmına alınarak oluşabilecek yük devrilmelerine karşı LIDAR sisteminin

korunması hedeflenmiştir. LIDAR bu konumda bulunması yüksekliği az nesnelerin tespitine olanak sağlayarak güvenlik önlemi olarak kullanılabilmesi olanağını da araca kazandırmıştır. Aracın dış kaplaması bu değişime göre şekillendirilerek estetik bir görünüm elde edilmek istenmiştir. Yük platformunun aracın üst tarafında kapladığı alan azaltılarak ekran ve acil stop butonu için ekstra alan yaratılarak açılan bu alanda konumlandırılmıştır. Ekranın ve acil stop butonunun bu alanda konumlandırılması ergonomi açısından oldukça olumlu etkileri olacağı ve acil durumlarda butona ulaşımın daha hızlı ve kolay şekilde gerçekleşmesi hedeflenmiştir.



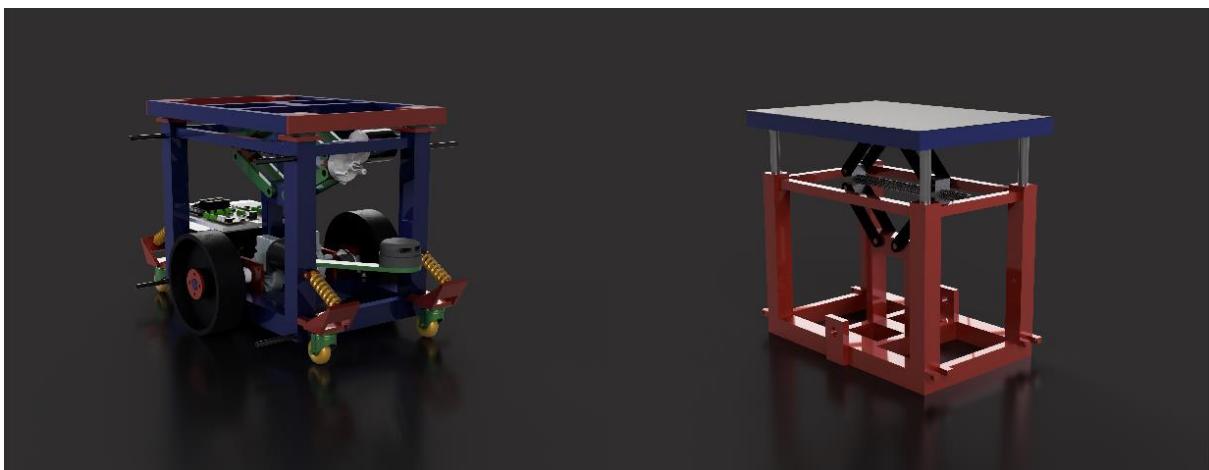
Şekil 8 2023 Araç Dış Tasarımı



Şekil 9 2023 Araç İç Tasarımı

Ana Destek Yapısı

Ana görevi yük taşımak olan aracımızın bu görevi başarıyla gerçekleştirmesi için sağlam bir iskelete ihtiyaç duymaktadır. Aracın bütün sistem bileşenlerinin bağlantısının yapılabacağı bu yapı malzeme olarak çelik kutu profil kullanımı düşünülerek tasarlanmıştır. Dayanım, kolay işlenebilirlik ve kaynak olanağı sebebiyle bu malzemeler tercih edilmiştir. Sistem bileşenlerinin ve donanımsal yapıların bu iskelet ile uyum içerisinde çalışmalar büyük önem arz etmektedir. Kutu profiller kullanılarak, kaynak yöntemiyle birleştirilecek bu yapının, kaynak çarpılmalarını en aza indirilmesi için olabildiğince basit yapıda olmasına dikkat edilmiştir.

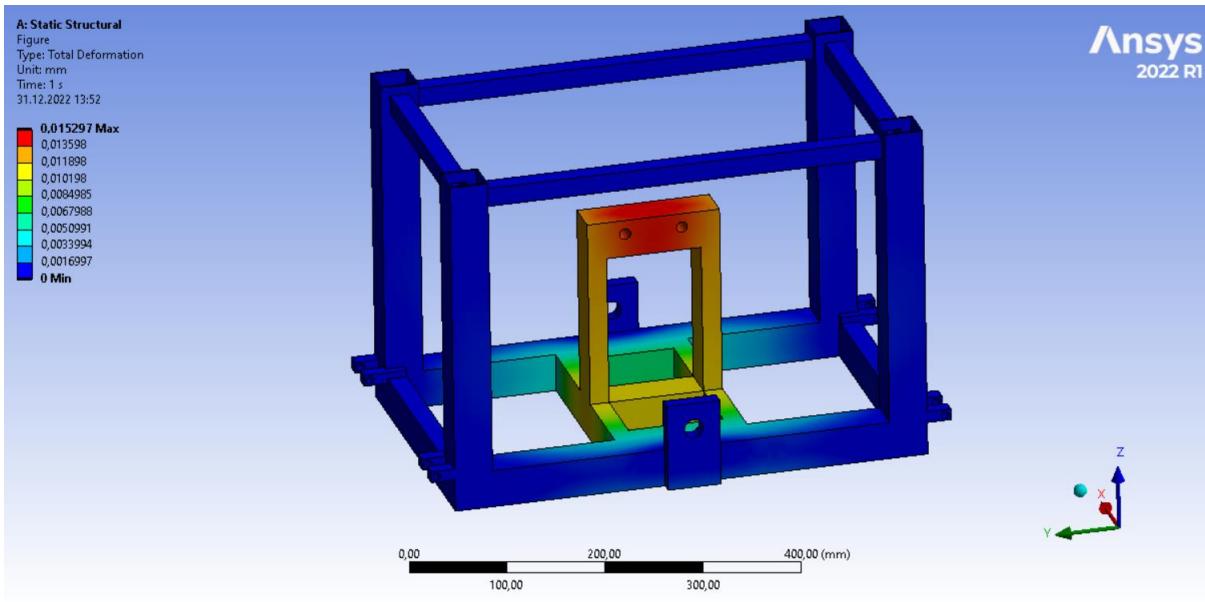


Şekil 10 Araç İskeleti

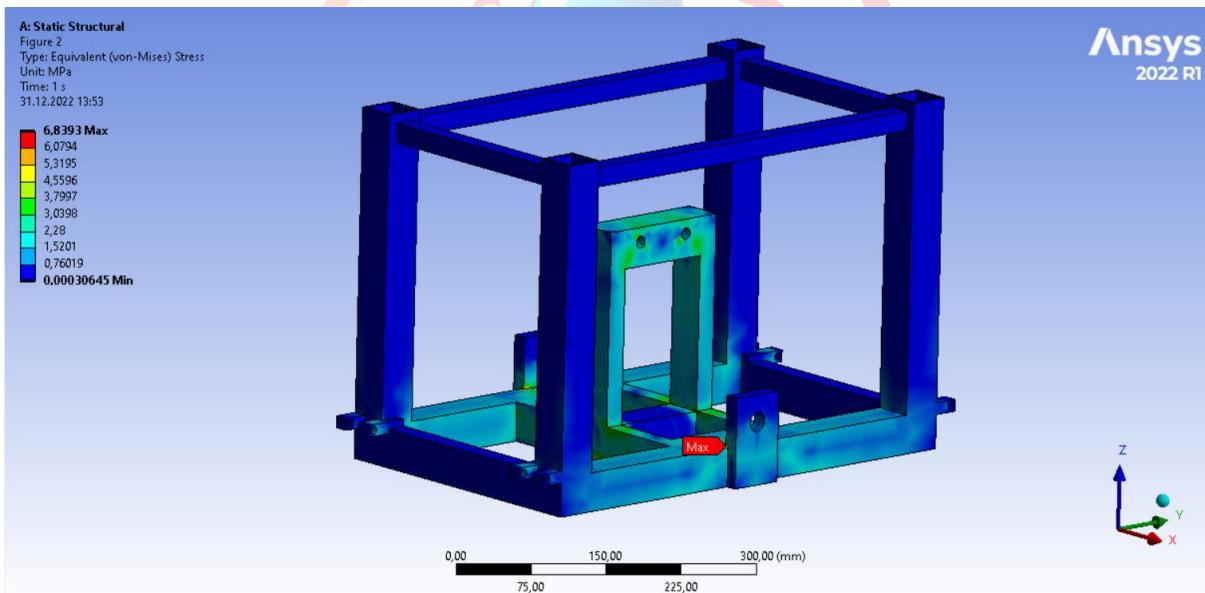
Ana destek yapısının analizi yapılarak yük altında dayanımı gözlemlenmiştir.

Yapısal analizin ana amacı, gerçekleşecek yüklemeler altında üretilecek ürünün sınır koşullarında nasıl etkileneceğini ve olası plastik/elastik deformasyonların durumunu ve oluşacak gerilmeleri üretim safhasından önce tespit ve simüle etmektir.

Analiz kısmında önemli olan kriterlerimiz; deformasyon ve gerilme değerlerimizin sanayi koşullarında karşılaşabilecek kritik değerlerin altında kalmasıdır. Bu kritik değerlerin altında kalan deformasyon ve gerilme değerleri sistemin yapısının bozulmasına veya sorun oluşturacak herhangi bir tasarım hatasının oluşmasına imkân bırakmayacaktır. Yapısal bütünlüğün korunduğu ve sorun teşkil edecek yapısal bir kusur olmadığı yapılan deformasyon ve gerilme testleriyle tespit edilmiştir. Yüklemelere dayanması gereken en önemli parçalarından biri şasedir. Şase analizleri aşağıda görüleceği gibidir.



Şekil 4 Araç İskelet Gerilim Analizi



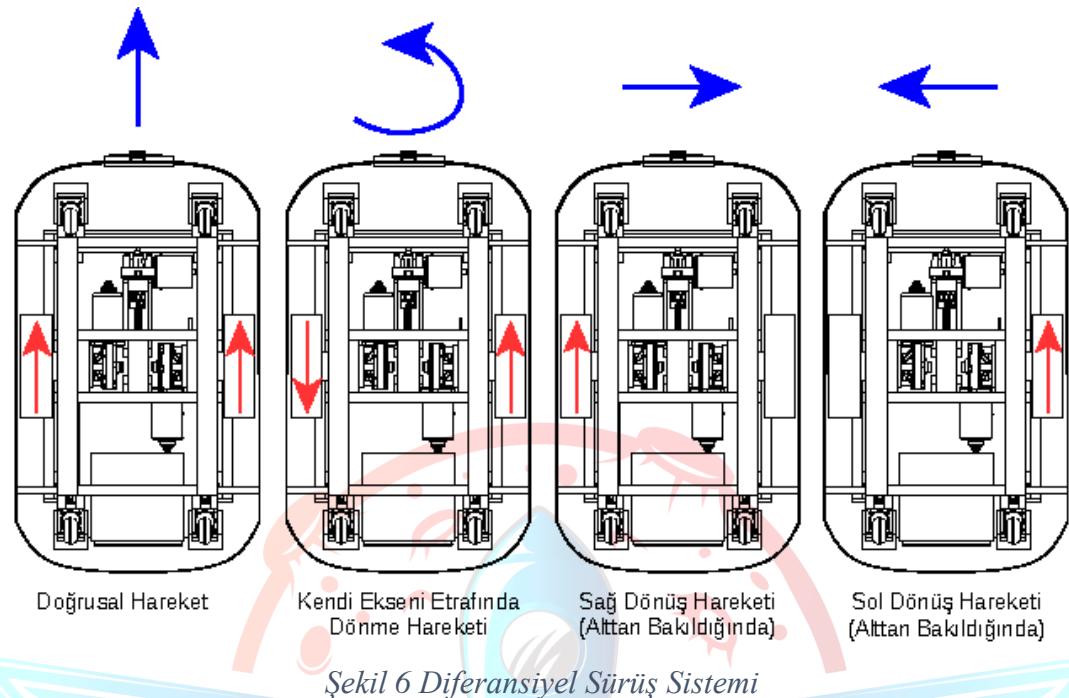
Şekil 5 Araç İskelet Stres Analizi

Kullanmayı hedeflediğimiz çelik profillerin (ST-37) akma gerilmesi yaklaşık olarak 360MPa civarındadır. Şasede oluşan maksimum gerilmeler (6,8393MPa) bu eşinin çok altında olduğu için şasede herhangi bir plastik deformasyon gözlemlenmeyecektir. Oluşacak elastik deformasyonların en yüksek değeri 0,015297mm'dir. Bu deformasyon değeri bağlantı noktalarında ve aracın yapısında herhangi bir sorun oluşturabilecek değerin çok altındadır. Bu sebeple aracımızın şasesi yeterli dayanım değerlerini sağlamaktadır.

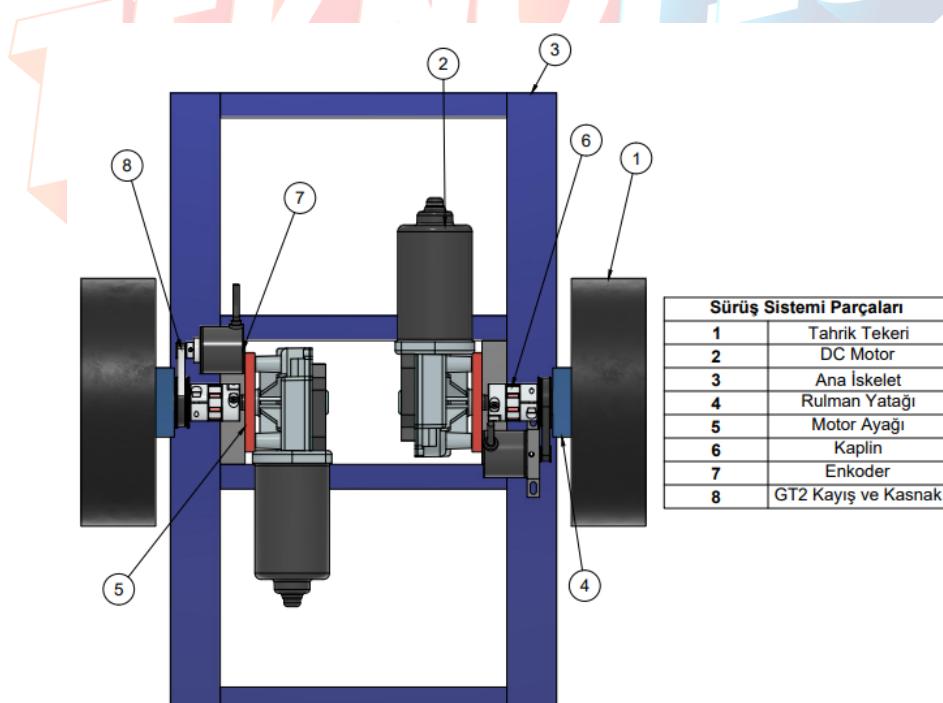
Hareket Sistemi

Aracımız için kullanılacak olan hareket sistemi seçilirken araştırmalar neticesinde diferansiyel sürüs sistemini hedeflerimize uygun olduğu görülmüştür. Diferansiyel sürüs sisteminde iki ana tıkanık tekeri ve dört avare teker konfigürasyonu kullanılmaktadır. Bu iki ana tıkanık tekeri birbirine zıt veya eş zamanlı hareket yaparak sürüsü gerçekleştirmektedir. Diferansiyel sürüs sistemi dar alanlarda yüksek manevra kabiliyeti, düşük maliyetli oluşu ve

sürüsunun kolay kontrol edilebilmesi gibi nedenler göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir.

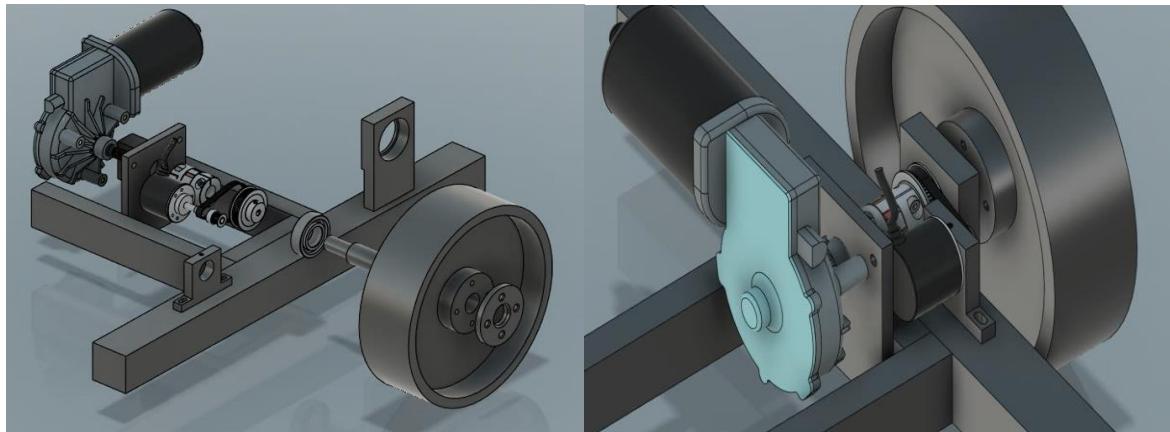


Ana tıkanık tekeri bağlantısı, iki rulman yatağıyla sabitlenmiş mil ile gerçekleşecektir. Teker mili, motor miline kaplin kullanılarak bağlanacaktır. Kaplin mil bağlantılarında kayma oranını belirli ölçüde tolerere eder ve kaplinler belirli bir tork aktarma oranına göre üretilirler. Sistemde kullanılacak kaplinler bu tork hesabı göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Teker milinin diğer ucunda teker bağlantısı için flanş bulunmaktadır. Bu flanş civatalar ile tekere sabitlenecektir.



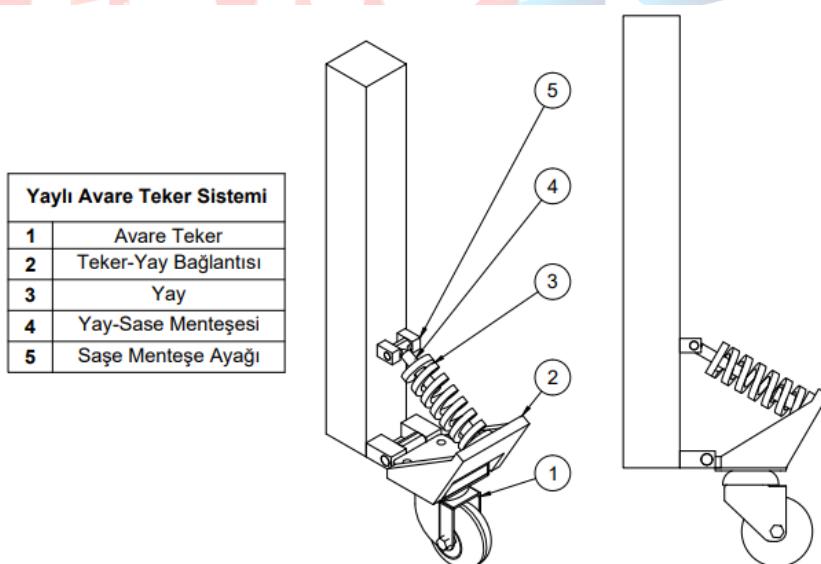
Şekil 7 Süriş Sistemi Parçaları

Diferansiyel sürüs sisteminin basit olmasının yanında aracı düz bir çizgide hareket ettirmek için iki ana tahrik tekerini aynı hızda sürmek oldukça zordur. Bu durumda aynı hızda hareket etmeyen tahrik tekerleri, aracı yavaş olan teker ekseninde döndürme eğiliminde olur. Sürüs kontrollerini iyileştirmek ve bu gibi hataların önüne geçmek için tahrik tekerleri enkoderli hale getirilmelidir.



Şekil 8 Tahrik Sistemi Explode ve Montaj Görselleri

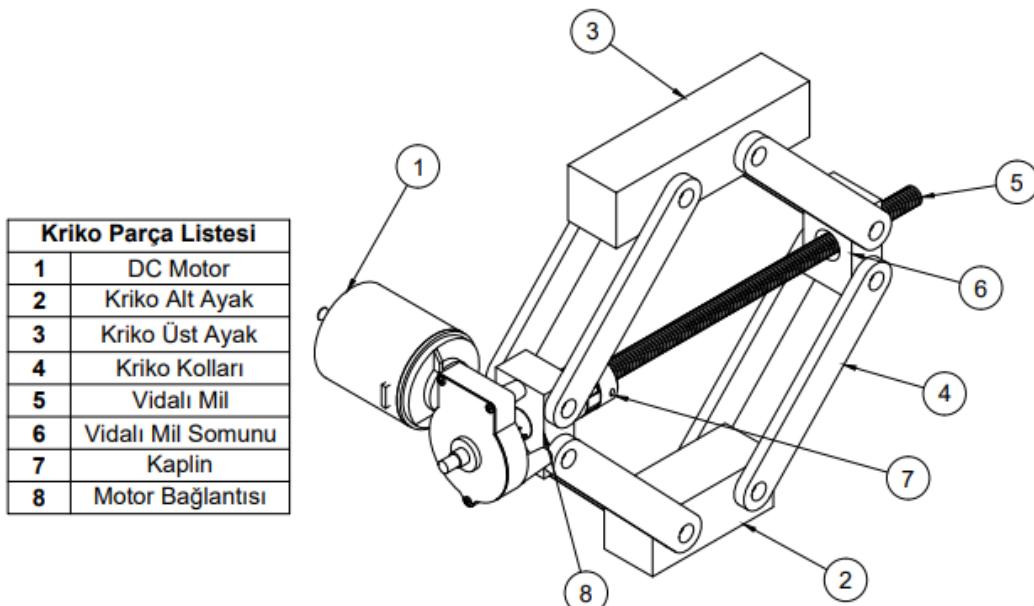
Diferansiyel sürüs sisteminde aracın manevra kabiliyeti teker konumlandırılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Bu sistemde tahrik tekerleri genelde aracın iki yanında konumlandırılarak aracın merkez konumdan dönüş yapması sağlanır. Tahrik edilmeyen tekerler ise aracı dengede tutacak şekilde konumlandırılır. Bu tekerler kendi eksenlerinde donecek özellikte olmalı ve konumlandırmalarının iyi yapılması gerekmektedir. Avare olarak adlandırılan bu tekerler kötü zeminde, zemin ile yeterli sürtünmeyi sağlamadığı takdirde istenmeyen manevralar yapabilmektedir. Bu sorunu en aza indirmek ve istenmeyen manevralardan kurtulmak için avare tekerlere yay mekanizması bağlanması gerekmektedir. Piyasada hazır halde satılan bu tekerlerin maliyetli ve tedarikinin zor olması bizi kendi yay mekanizmamızı üretmeye teşvik etmiştir. Geliştirilen bu yay mekanizmasında avare teker iskelete menteşe benzeri sistem ile montaj yapılacak ve yay ile ters bir kuvvet uygulanacaktır.



Şekil 9 Yaylı Avare Parça Listesi

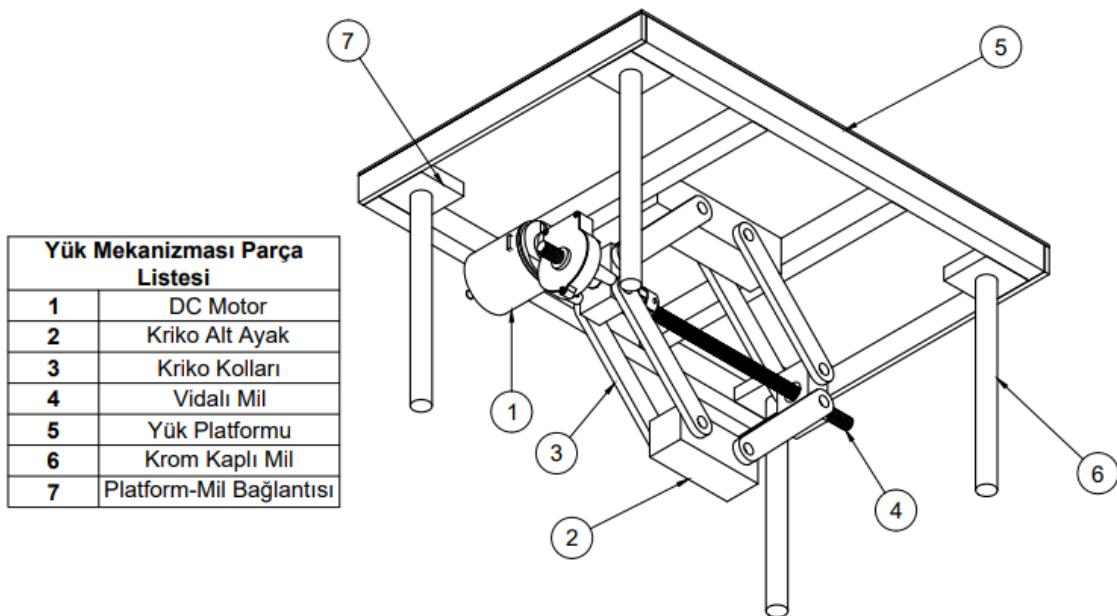
Yük Kaldırma Sistemi

Tasarlanan yük kaldırma mekanizmasında ana unsur olan makas kriko araç içerisinde olabildiğince az hacim kaplaması sebebiyle tercih edilmiştir. Bu makas kriko, arabalarda lastik değiştirmek amacıyla kullanılmakta ve motor bağlantısı bulunmamaktadır. Bu sebeple krikonun vidalı miline kaplin kullanılarak redüktörlü DC motor bağlanması düşünülmüştür.



Şekil 10 Kriko Parça Listesi

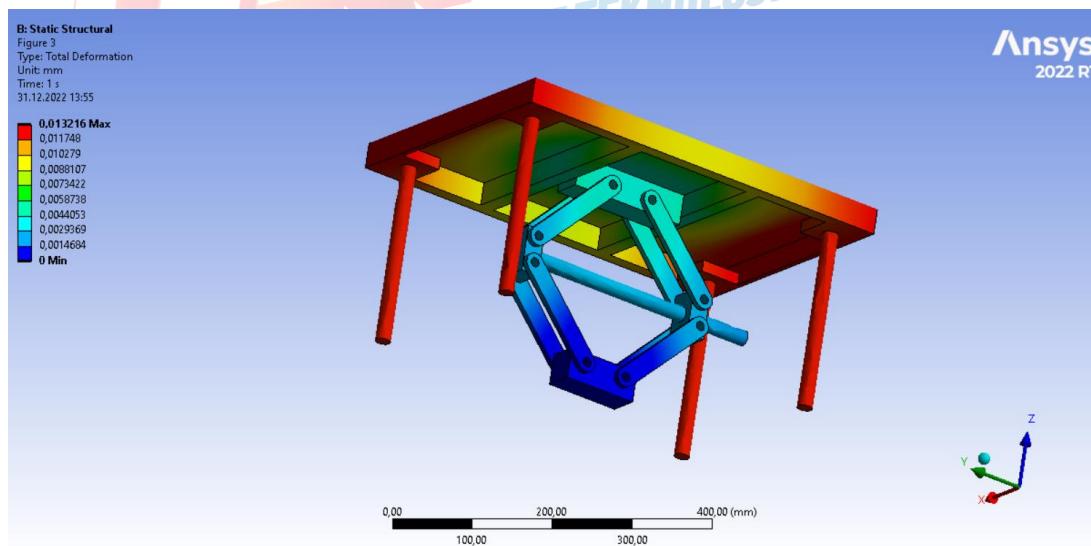
Makas kriko sistemi, üstten yük platformuna alttan ise ana iskelet ayaklarına montajı gerçekleştirilecektir. Yük platformunun merkezinden uygulanan kaldırma kuvvetini dengelemek amacıyla platformun 4 köşesine lineer mil ve yatak bağlantıları yapılacaktır. Bu lineer mil ve yataklar ile yük kaldırma kuvvetinin platforma eşit bir şekilde dağıtilması amaçlanmaktadır. Yük platformu kapanırken oluşabilecek kasılmalar göz önünde bulundurularak mil ve yataklar arasına yay koyularak her köşeden eşit ters kuvvet oluşturulması düşünülmüştür.



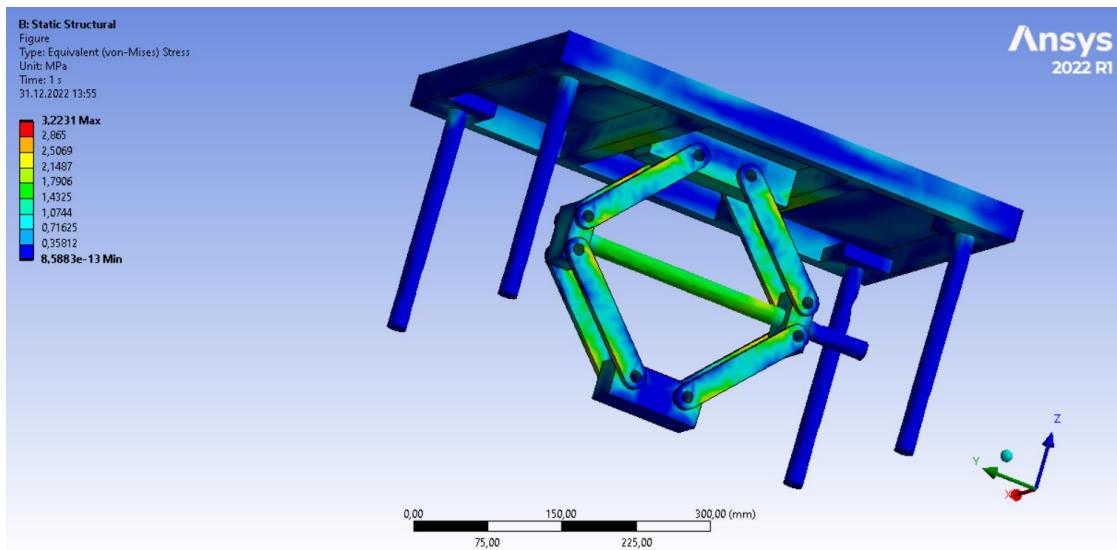
Şekil 11 Yük Kaldırma Mekanizması Parça Listesi

Bu sistemin gereken mühendislik hesaplamaları yapılarak gereken şartları fazlaşıyla karşıladığı görülmüş ve kullanılmasına karar verilmiştir.

Krikolu kaldırıcı sistemi, istenilen yükleme miktarlarına karşı koyarak ürünü belli miktarlarda yükseltmek ve alçaltmak ile görevlidir. Karşılaşılabilecek iki ana sorun bulunmaktadır. Bu sorunlardan ilki kaldırıcı mekanizmasının yüklenen yük miktarına dayanamaması yani oluşan gerilmelerin kaldırıcı sistemini oluşturan hammaddelerin akma gerilimlerinden büyük olmasıdır. Bunun önüne geçilmesi için simülasyon ortamında yapılan deformasyon ve gerilme analiziyle bu değerlerde herhangi bir sorun veya kritik değer olup olmadığı kontrol edilmiştir. İkinci olası sorun ise üst platformun ağırlık altında deform olmasıdır. Yine bu sorununda analizi ilk sorunla aynı koşulları içermesinden kaynaklı olarak tek bir analiz olarak yapılmış ve analiz değerleri incelendiğinde böyle bir sorunun oluşmayacağı öngörülmüştür.



Şekil 12 Yük Kaldırma Mekanizması Gerilim Analizi



Şekil 20 Yük Kaldırma Mekanizması Stres Analizi

Sonuç olarak bakıldığından oluşan gerilmeler, güvenli sınırlar içinde kalmakta ve herhangi bir sorun öngörülmemektedir.

Dış Tasarım

Aracın sistem bileşenlerini saklayacak kozmetik detaylara sahip dış tasarımındır. Aracın dış tasarımı araç ergonomisiyle uyumlu ve estetik detaylara sahip olacak şekilde oluşturulmuştur. Yeni tasarımda önemli değişiklerden olan LIDAR konumunun değiştirilmesiyle LIDAR vizör penceresi açılmıştır. LIDAR konumunun değişmesi aracın üstünde alan açmasıyla durum ekranı ve acil stop butonları aracın üstüne taşınarak bu sistemlere ulaşım kolaylaştırılmıştır. Aracın dış tasarımında uyarı ıkaz sistemleri olarak ışıklandırma yapılacaktır. Bu ışıklandırma aracın belirli durumlarını temsil edecek renkte yanması planlanmaktadır. Aracın çizgi takip sisteminde kullanılacak kamera aracın ön tarafında açılı bir şekilde konumlandırılacaktır. Dış tasarım alüminyum levha malzemeden büküm yöntemleriyle üretilmesi planlanmaktadır.



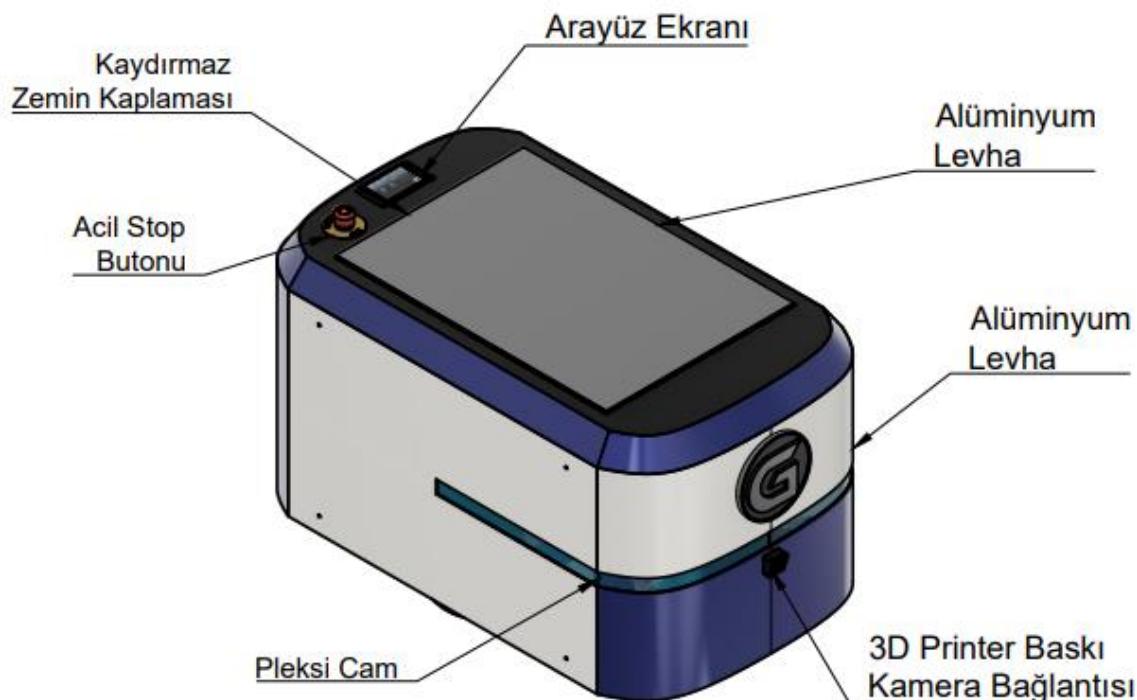
Şekil 13 Araç Dış Tasarımı



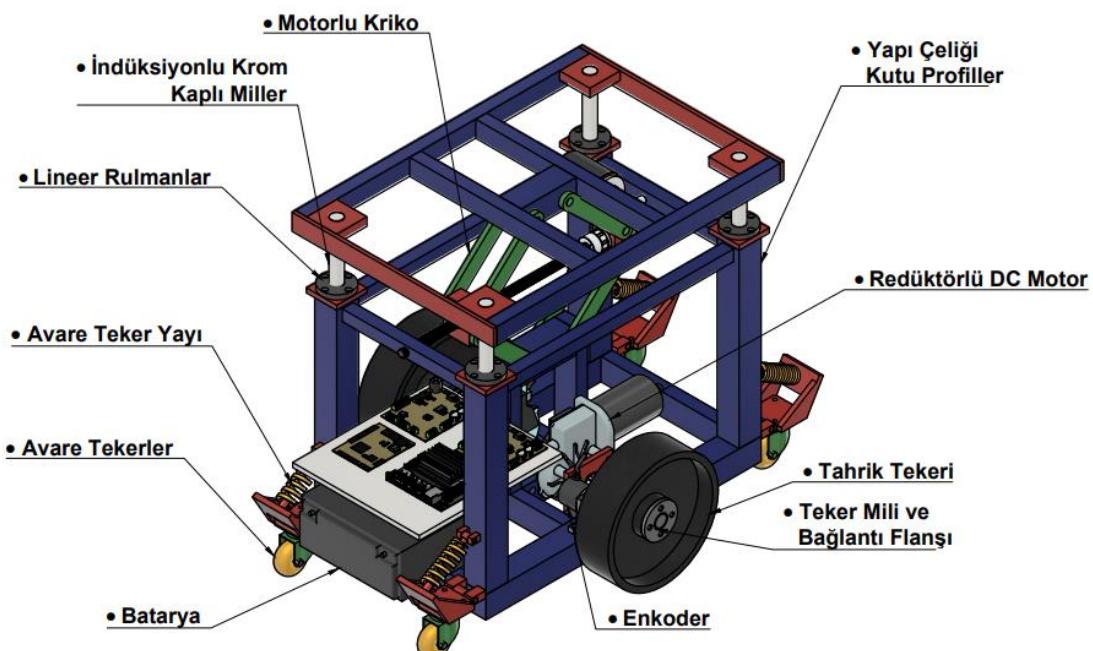
Şekil 14 Araç Dış Tasarımı

4.2.2 Malzemeler

Araç sisteminde kullanılacak bileşenler belirlenirken sistem kalitesinden ödün vermeyecek şekilde düşük maliyetli seçimler yapılmasına özen gösterilmiştir. Belirli sistemlerin piyasada çok pahalı olması bizi bu sistemleri kendi tasarımlarımızı oluşturmaya yöneltti. Araçta kendi tasarımımız olan bileşenleri kullanmamız sistemin özgünlüğünü artırmaktadır. Sistemde kullanılacak parçaların satın alınması veya üretilmesine karar verilmesi zaman, maliyet, üretilebilirlik gibi faktörler düşünülerek karar verilmiştir.



Şekil 15 Dış Tasarım Malzemeleri



Şekil 16 İç Tasarım Malzemeleri

Yüklü bir şekilde 120 kg olarak belirlenen aracımızda kullanılacak elektrik motorlarının seçimi yapılmıştır. Aracımızda bir adet yük sistemi tahrik motoru ve iki adet tekerlek tahrik motoru olmak üzere 3 aktuatör kullanılmaktadır. Bu motorların seçiminde ihtiyacımız olan tork değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Motorda üretilen moment ve gücün tekerleklerle iletilmesi aktarma organları sayesinde olur. Aktarma esnasında verime bağlı olarak bazı kayıplar söz konusudur ve bunu hesaplamalarda göz önüne almak gereklidir ve bunların sistem veriminin hesabında dikkate alınması gereklidir.

Tahrik kuvveti

$$F_{tt} = M_t / R_t = (M_m * \eta_a) / R_t \text{ (N)}$$

$$F_{tt} =$$

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| F _{tt} | Tekerlekteki tahrik kuvveti (N) |
| M _t | Tahrik momenti (Nm) |
| η _a | Aktarma organlarının toplam verimi |
| M _m | Motor momenti (Nm) |
| İ _a | Toplam aktarma oranı |
| R _t | Tekerleğin yarıçapı (m) |

Tahrik kuvvetinin aksi yönünde direnç kuvvetleri oluşur. Aerodinamik(hava) direnç, yuvarlanma direnci, eğim direnci, ivme direnci. Hava direnci araç ile rüzgârin bağlı hızına bağlı olarak değişir. Yuvarlanma direnci lastik ile asfalt arasındaki sürtünmeye bağlıdır ve hızla bağlı olarak değişmez. Eğim direnci aracın tırmandığı yokuşun eğimine bağlıdır. Ivme direnci ise aracın ivmesine ve etkin kütlesine bağlı olarak değişen bir dirençtir.

Hava Direnci (Aerodinamik Direnç)

$$F_{\text{hava}} = 0.5 * \rho * A * C_d * V_b^2 \text{ (N)}$$

$$F_{\text{hava}} = 0.5 * 1.225 * 213,38 * 0.2 * 3^2$$

$$F_{\text{hava}} = 0,235 \text{ (N)}$$

(İdeal koşullara göre hesaplanmıştır (Sıcaklık, Rüzgâr vs.))

| | |
|----|---|
| P | Havanın yoğunluğu (kg/m^3) |
| A | Projeksiyon alanı (m^2) (Önden bakıldığından görülen alan) |
| Cd | Havanın sürüklendirme katsayısı |
| Vb | Bağıl hız (m/s) |

Yuvarlanma Direnci

Yuvarlanma direnci, lastik yola yaptığı zaman oluşan deformasyon sonucu tüketilen enerjiyi de ifade eder. Tekerleğin her dönüşümde, lastik sırt alanı zeminin yüzeyiyle temas geçtiğinden bükülmekte ve biçim değişikliğine uğramaktadır. Kauçuk biçim değiştirdiğinden ısınmaktadır ve ısı biçiminde enerji kaybedilmektedir.

$$F_{\text{yuvarlanma}} = m * g * \mu \text{ (N)}$$

$$F_{\text{yuvarlanma}} = 57,7 * 9,81 * 0,0015$$

$$F_{\text{yuvarlanma}} = 0,849 \text{ (N)}$$

| | |
|---------|-------------------------------------|
| m: | Aracın ağırlığı (kg) |
| g: | Yerçekimi ivmesi (m/s^2) |
| μ : | Yuvarlanma direnç katsayısidır |

| Yolun Durumu | μ |
|---------------------|-------------|
| Düzgün asfalt,beton | 0,0015 |
| Küçük taş döşenmiş | 0,0015 |
| İri taş döşenmiş | 0,0015 |
| Şose | 0,02 |
| Çamurlu yol | 0,05 |
| Gevşek toprak, kum | 0,1....0,35 |

Eğim Direnci:

Eğim direnci aracın hareket doğrultusunun aksi yönündeki eğimden kaynaklı kuvvettir.

$$F_{\text{eğim}} = m * g * \sin(\alpha) \text{ (N)}$$

$$F_{\text{eğim}} = 57,7 * 9,81 * \sin(0)$$

$$F_{\text{eğim}} = 0$$

Aracımız tamamen düz bir alanda çalışacağı için $F_{\text{eğim}} = 0$ oluyor

| | |
|----|-------------------------------------|
| m: | Aracın ağırlığı [kg] |
| g: | Yerçekimi ivmesi [m/s^2] |

| | |
|------------------------|--|
| $\text{Sin}(\alpha)$: | Aracın bulunduğu zeminle yaptığı açının sinüs değeridir. |
|------------------------|--|

İvme Direnci:

Araçların durgun halden harekete geçmesi esnasında eylemsizlikten kaynaklı bir direnç kuvveti oluşmaktadır. Bu dirence ivme direnci veya atalet direnci adı verilmektedir. İvme direnci taşıtin efektif kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir.

$$F_{\text{ivme}} = m_e \cdot a \quad (\text{N})$$

$$F_{\text{ivme}} = 60,152 \cdot 0,5$$

$$F_{\text{ivme}} = 30,07$$

| | |
|---------|---|
| m_e : | Aracın etkin kütlesi (kg) ($m_e = 1.04 + 0.0025 \cdot I_a^2$) |
| m : | Kütle (kg) |
| a : | İvme (m/s^2) |

Toplam Direnç Kuvveti:

$$F_{\text{td}} = F_{\text{yuvarlanma}} + F_{\text{hava}} + F_{\text{egim}} + F_{\text{ivme}} \quad (\text{N})$$

$$F_{\text{td}} = 0,849 + 0 + 0,235 + 30,07$$

$$F_{\text{td}} = 31,154 \quad (\text{N})$$

İvmelenme Kuvveti:

$$F_a \quad (\text{kg}) = WGV \quad (\text{kg}) \times V_{\text{max}} \quad (\text{m/s}) / (9.75 \quad (\text{m/s}^2) \times t_a \quad (\text{s}))$$

| | |
|--------------------|--|
| $F_a =$ | İvmelenme kuvveti (kg) |
| $WGV =$ | Toplam araç ağırlığı (kg) |
| $V_{\text{max}} =$ | Maximum hız (m/s) |
| $t_a =$ | Maximum hızla ulaşmak için gereken zaman (s) |

Maximum hızımızı 0,3 m/s, hızlanmak için gereken zamanı 2 saniye olarak belirlendi.

$$F_a \quad (\text{kg}) = 126.8 \times 0.3 \text{ m/s} / (9.81 \text{ m/s}^2 \times 2) = 1.93 \quad (\text{kg})$$

Motor Torku Hesabı:

$$T_w \quad (\text{kg-cm}) = TTE \cdot R_w \cdot RF$$

$$T_w = 3,234 \cdot 10,007 \cdot 1,15$$

$$T_w = 37,217 \quad (\text{kg-cm})$$

Direnç faktörü çeşitli kayıpları hesaba katmaktadır. Tipik değerler 1.1 ile 1.15 (veya 10% ile 15%) arasındadır.

| | |
|---------|-------------------|
| $T_w =$ | Motor torku (N-m) |
|---------|-------------------|

| | |
|-------|-------------------------|
| TTE = | Toplam çekiş gücü (kg) |
| Rw = | Tekerleğin yarıçapı (m) |
| RF = | Direnç Faktörü |

Maximum Çekiş Torku Hesabı:

$$\underline{MTT = Ww(kg) * \mu * Rw(cm)}$$

$$MTT = 36,718 * 0,6 * 10,007$$

$$MTT = 220,462(\text{kg}\cdot\text{cm})$$

| | |
|---------|--|
| Ww = | Tahrik tekerleğine binen yük |
| μ = | Tekerlek ile zemin arasındaki statik sürtünme katsayısı (Beton üzerinde sert lastik için ~0,6) |
| Rw = | Tekerleğin yarıçapı |

Buradaki şart $Tw < (MTT \times \text{tahrik tekeri sayısı})$ eşitsizliğinin sağlanmasıdır. Sonuçlara baktığımızda bu şartın fazlasıyla karşılandığı görülmektedir. Kilogram cinsinden her bir motor için $Tw = 18,6$ (kg·cm) Torka ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Makinenin tahrik ve kriko sisteminde olmak üzere toplamda 3 adet otomobil silecek motoru kullanılmıştır. Bu motorların en belirgin özellikleri sonsuz dişlidenden düz dişliye geçişli redüktörleridir. Bu redüktör yüksek güç gerektiren makinelerde sıkılıkla kullanılmaktadır. Sonsuz dişlidenden düz dişliye geçişte çok yüksek redüksiyon oranları oluşturmaktadır. Seçtiğimiz motor, 55rpm devir ve 120W güç tüketiminde 12Nm (122kg·cm) nominal tork üretmektedir. Bu değerler görev için yeterli olmaktadır.



Sekil 17 24V DC Motor

4.2.3 Üretim Yöntemleri

Öncelikle aracın bütün bileşenlerini taşıyacak olan ana iskeletle üretime başlanır. Ana iskeleti oluşturacak olan kutu profiller temiz bir işçilikle uygun yerlerden kesilir. Kaynak yapılacak

yerlere kaynak ağızı açılır. Metal, ahşap gibi çeşitli malzemelerden kaynak kalıbı hazırlanarak hassas bir kaynak oluşturulur. Kaynak işlemi kolaylık ve düzgün bir iş çıkarması bakımından, gaz altı (MIG-MAG) kaynak makinesiyle yapılması tercih edilmiştir. Şase kaynağında olabildiğince rijit bir yapı oluşturulmasına özen gösterilir ve şaseye bağlanacak diğer parçaların üretimine geçilir.



Şekil 17 Kaynak İşlemi

İki ana tahrık tekerini taşıyacak olan rulman yatakları alüminyum malzemeden imal edilecektir. Bu yataklar CNC tezgahlarda oldukça hassas bir şekilde rulman montaj toleransları dahilinde üretilicektir. Daha sonra rulmanlar sıkı geçme ile yuvalarına oturmaları sağlanacaktır. Rulmanları montajlanan ve çapakları alınmış rulman yatak blokları şaseye açılmış deliklerden cıvata somun kullanılarak şaseye montajı yapılacaktır. Rulman yatakları şaseye montajlanırken aynı eksende olmaları büyük önem taşımaktadır.



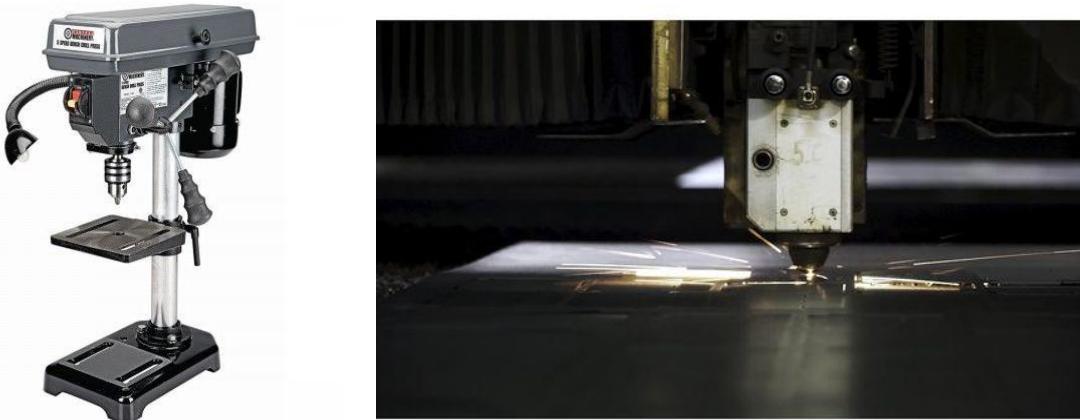
Şekil 18 CNC Makine ile Alüminyum İşlemesi

Tahrik tekerinin motor ile bağlantısını sağlayacak mil motor tarafına kaplin ile bağlanacaktır. Bu bağlantıda kaplin kullanılmasının amacı olası eksen kayıklıklarının önüne geçmektir. Kaplin bağlantısı için çap ufaltma işlemleri ve rulman dayanakları torna tezgahında talaş kaldırma işlemi ile yapılacaktır. Milin teker bağlantısı için teker flanşı mil ucuna kaynak işlemi yapılarak bağlanacaktır. Bu flanşın tekere bağlantı tekerde bulunan dış açılmış yuvalara civata ile yapılacaktır. Teker bağlantı ve rulmanlara geçirilen mil enkoder dişli bağlantı yapıılır. Bu dişli mile setskur ile sabitlenecektir. Gereken bağlantıları yapılan mil motora bağlanarak hazır hale getirilecektir.



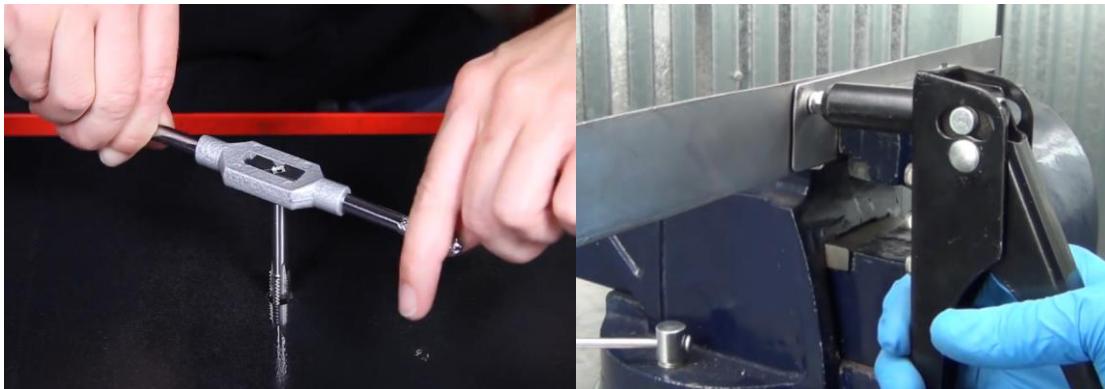
Şekil 19 Torna ile Mil İşlenmesi

Motor ayakları, avare tekerlerin yay mekanizmasında kullanılan bağlantı parçaları, lineer mil bağlantı ayakları, lineer rulman bağlantı flanşları gibi parçalar kalınlığına göre sac seçimi yapılacaktır. Bu parçalardan hassas kesim gerektiren parçalar lazer kesimde yapılacaktır. Lazerde kesilmeyen parçaların delik işlemleri sütun matkapta yapılacaktır.



Şekil 20 Sütun Matkap ve Lazer Kesimi

Delikleri açılan parçalar civata bağlantıları için kılavuz yardımıyla civata dişleri açılacaktır. Yük platformu sacı gibi söküp takılması planlanmayan parçaların perçin bağlantısı yapılarak sabitlenmesi planlanmaktadır.



Şekil 21 Kılavuz ile Diş Açılması ve Perçinleme İşlemi

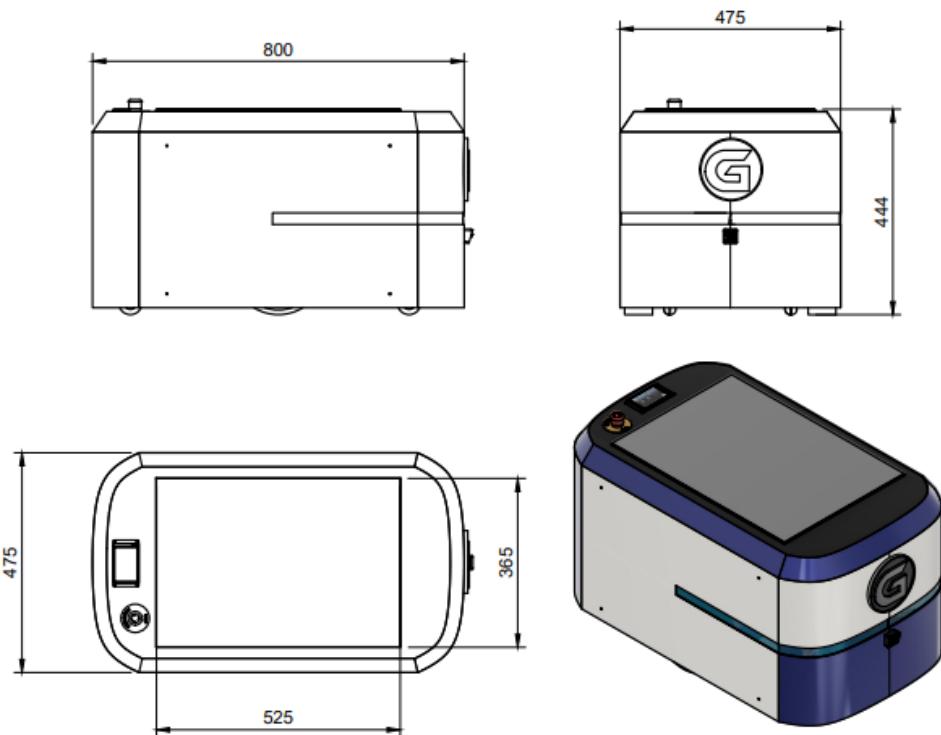
Aracın dış kabuğu alüminyum levhadan üretilecektir. Alüminyum levhalar uygun ölçülerde dekupaj testere ile kesilerek çapakları temizlenecektir. Abkant büküm makinelerinde uygun yerlerden büükümleri yapılan levhalar, şasede bulunan yükseltme ayaklarına civata ile bağlantısı yapılacaktır. Civata ile bağlantı yapılmasıyla aracın içerisinde ulaşımın daha kolay bir şekilde gerçekleşmesidir.



Şekil 30 Abkant Büküm

4.2.4 Fiziksel Özellikler

Araç, 800 mm uzunluk, 440 mm yükseklik ve 475 mm genişliği bulunmaktadır. Aracın kabuk kısmının oluşturduğu 167 cm^3 hacim içerisinde, sistem bileşenleri ve donanımsal yapılar ve hareket tahrif elemanları bulunmaktadır. Aracın yaklaşık toplam kütlesi 50 kg civarlarındadır. Aracın yük yüklenmiş toplam kütlesi yaklaşık olarak 120 kg civarlarına ulaşmaktadır. Aracın teknik resimleri, 1:1 oranda ve milimetrik ölçekte verilmiş ve aşağıda gösterilmektedir. Aracın kütle tablosu da yine aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 22 Araç Teknik Çizimi

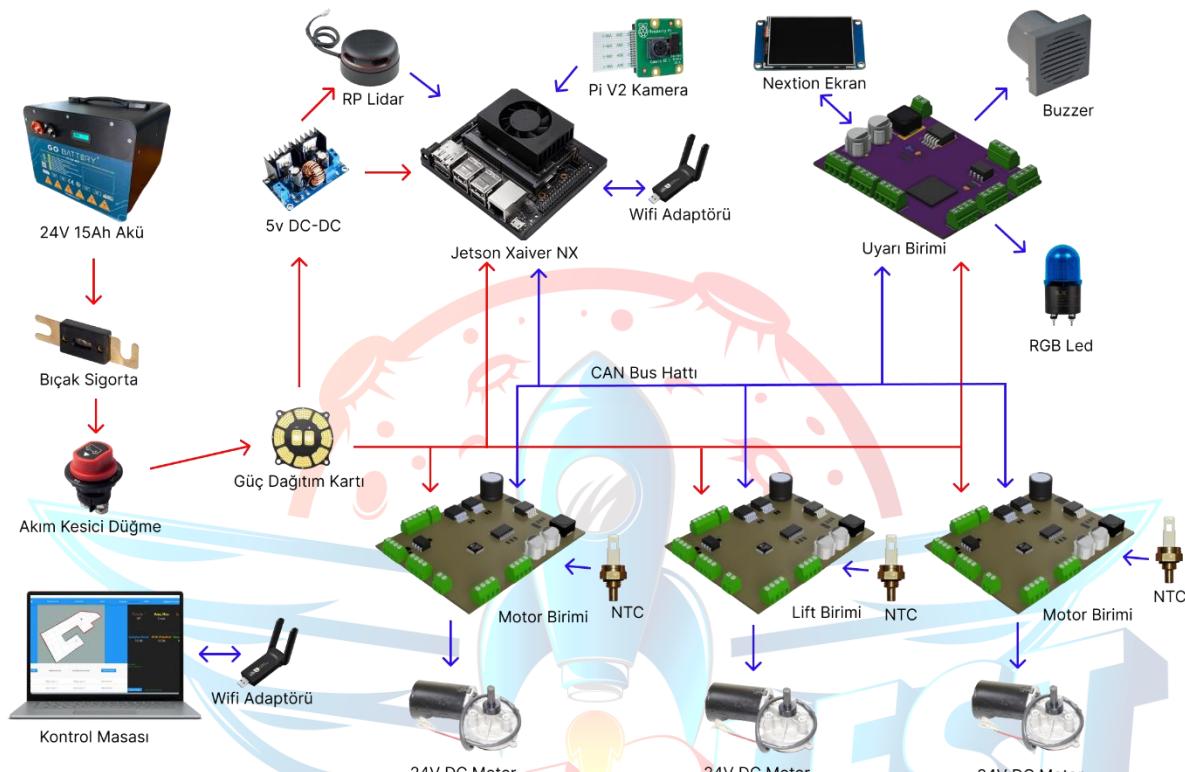
| Bileşen | Kütle (Kg) |
|----------------------|----------------|
| Şase Profiller | 12 kg |
| Yük Kaldırma Sistemi | 6 kg |
| Dış Kabuk | 6 kg |
| Motorlu Kriko | 5 kg |
| Teker Sistemleri | 7 kg |
| Mekanik Bağlantılar | 5 kg |
| Motorlar | 2,5 kg |
| Akü | 3 kg |
| Elektronik Donanım | 3 kg |
| Toplam | 49,5 kg |

Şekil 23 Kütle Tablosu

Aracın, yere basma ve denge performansları yaylı tekerler vasıtasıyla iyileştirilmiştir. Lakin yük dengesinin düzgün sağlanabilmesi için ağırlık merkezinin önemli bir yeri bulunmaktadır. Aracın ağırlık merkezinin yere yakın bir konumda bulunması yük dengesini artıran bir unsurdur. Tasarımda bu konu üzerine özellikle çalışılmıştır. Yarışma koşullarında yük kaldırma sırasında oluşacak yükseklik sınırları göz önünde bulundurularak aracın şase aksamı, tıhrik teker merkezlerinden daha alçakta konumlandırılmıştır. Ağırlık merkezinin olabildiğince alçakta olması hedeflenmiştir.

4.3.1 Elektronik Tasarım Süreci

Araç üzerinde bulunan elektronik sistemler modüler ve birbirlerinden bağımsız olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sistem güç birimi, uyarı birimi, motor birimi, lift birimi ve otonom birimi olmak üzere 5 birimden oluşmaktadır. Uyarı, motor ve lift birimlerinin sıfırdan tasarlanmış mikrodenetleyici tabanlı devre kartları olacaktır. Tüm birimler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.



Şekil 24 Elektronik Devre Şeması

4.3.1.1 Güç Birimi

Aracın tüm bileşenlerine güç sağlamak ve dağıtmak için kullanılacak olan birimdir.

| Bileşen | Adet | Voltaj (V) | Akım (A) | Toplam Güç (W) | | |
|---------------------|------|------------|----------|----------------|-----------------|------------|
| Dc Motor (Yüklü) | 2 | 24 | 5 | 240 | | |
| Lift Motoru (Yüklü) | 1 | 24 | 6 | 144 | | |
| Jetson Xaiver | 1 | 5 | 4 | 20 | Toplam Güç= | 421,81 |
| RP Lidar | 1 | 5 | 1,2 | 6 | | |
| WiFi Alıcı | 1 | 5 | 0,2 | 1 | Toplam 24V için | |
| Pi Kamera | 1 | 5 | 0,4 | 2 | Amper*Saat (Ah) | 17,5754167 |
| Stm32 | 4 | 3,3 | 0,1 | 1,32 | | |
| Led | 1 | 5 | 0,4 | 2 | | |
| Buzzer | 1 | 12 | 0,02 | 0,24 | | |
| Motor Sürücü | 3 | 5 | 0,2 | 3 | | |
| Nextion Ekran | 1 | 5 | 0,2 | 1 | | |
| Can Bus modülü | 5 | 5 | 0,05 | 1,25 | | |

Şekil 25 Güç Tüketimi Tablosu

Batarya

Aracımızın sanayi ortamında sürekli olarak çalışabilir halde olması için, hızlı şarj edilebilir olma özelliğine ve yüksek şarj-deşarj döngüsüne sahip olması gereklidir. Bu nedenle, lityum hücreleri kullanılarak diğer batarya türlerine (aküler vs.) göre daha uzun şarj deşarj döngüsü süresine sahip ve hızlı şarj edilebilir olan lion bataryaları tercih edilecektir.

Batarya voltajı, aracın motorlarının çalışma voltajına göre seçilecektir. Ayrıca, aracımızdaki diğer elektronik bileşenlerin beslenmesi için gereken 5V ve 3.3V gerilimleri, DC-DC voltaj regülatörleri aracılığıyla sağlanacaktır.

Bu gereksinimler dikkate alındığında, Go Battery firması tarafından aracımıza özel olarak üretilen ve 24V 15Ah kapasitesine sahip lion batarya kullanılacaktır. Bu batarya aracımıza yaklaşık 1 saatlik sürüş sağlayacaktır. Bataryanın üzerinde bulunan gösterge paneli ile bataryanın şarj durumunu anlık olarak takip edebileceğiz.



Şekil 26 24V 15Ah Lion Batarya

Sigorta ve Akım Kesici

Araçta bulunan elektronik bileşenlerin korunması amacıyla, bataryadan gelen ana hat kablosuna seri olarak bir bıçak sigorta bağlanacaktır. Bu bıçak sigorta, araç yüklü halde çekebileceği maksimum akım olan 17,5 A'dan daha yüksek bir değere sahip olacak şekilde seçilerek 25 A bıçak sigorta kullanılacaktır. Aracın acil durumlarda tüm gücünü manuel bir şekilde kesebilmek için bıçak sigortadan sonra ana hat kablosuna seri bir şekilde bağlı olacak akım kesici düğme kullanılacaktır.



Şekil 27 Bıçak Sigorta



Şekil 28 Akım Kesici Düğme

Güç Dağıtımları ve Kablolama

Bataryadan gelen ve seri bir şekilde bıçak sigorta ile akım kesici düğmeden geçen güç hattı 200A kadar akım paralelleyebilen güç dağıtım kartı ile tüm elektronik sistemlerde dağıtilacaktır. Bu güç dağıtım kartı üzerinde gelen gücü 6 hatta kadar paralelleyebilmektedir.



Şekil 29 Güç Dağıtım Kartı

Kablo seçimlerinde piyasadaki bulunabilirlikleri genel tercih sebebi olmuştur. Kabloların arasında eğilip bükülmesinin kolay olması kablo yerleşimlerini kolaylaşdıracaktır. Bu sebepten dolayı tüm kablo tiplerinin dış kılıfı silikon tipi olacak şekilde seçilmiştir.

Güç dağıtım ve haberleşmede kullanılacak kablolar aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. [2]

| Bağlantı | Kablo | Tercih Sebebi |
|---|--------------|--|
| Akü → Sigorta → Akım Kesici Düğme → Güç Dağıtım Kartı | 5 AWG Kablo | 47A taşıma kapasitesi ile tüm aracın güç ihtiyacını taşıyabilecek bir kablodur. İletken Kesiti: $16,8 \text{ mm}^2$ |
| Güç Dağıtım Kartı → Motor ve Lift Birimi | 12 AWG Kablo | Her bir motor biriminin motor ile çekebileceği en fazla akım olan 8A'lık akımı taşımak için 9A taşıyabilen kablo tercih edilmiştir. İletken Kesiti: $3,31 \text{ mm}^2$ |
| Güç Dağıtım Kartı → Uyarı Birimi | 12 AWG Kablo | Led, Buzzer, ekran gibi komponentlerin çekebileceği en fazla akım olan 3-5A'e göre 9A taşıyabilen kablo büyük gelse de bulunabilirlikten dolayı tercih edilmiştir. İletken Kesiti: $3,31 \text{ mm}^2$ |
| Güç Dağıtım Kartı → Otonom Birim | 12 AWG Kablo | Mini bilgisayar, LIDAR gibi otonom birim elemanları yaklaşık olarak 8A çekmektedir. İletken Kesiti: $3,31 \text{ mm}^2$ |
| Otonom Birimi → Motor ve Lift Birimi | CAT 5 Kablo | Haberleşmelerin yüksek frekansta gerçekleşmesinden dolayı 100MHz'lik çok yüksek frekans geçirgenliğine sahip, internet kablosu olarak da bilinen CAT5 kablo kullanılacaktır. İletken Kesiti: $0,205 \text{ mm}^2$ |

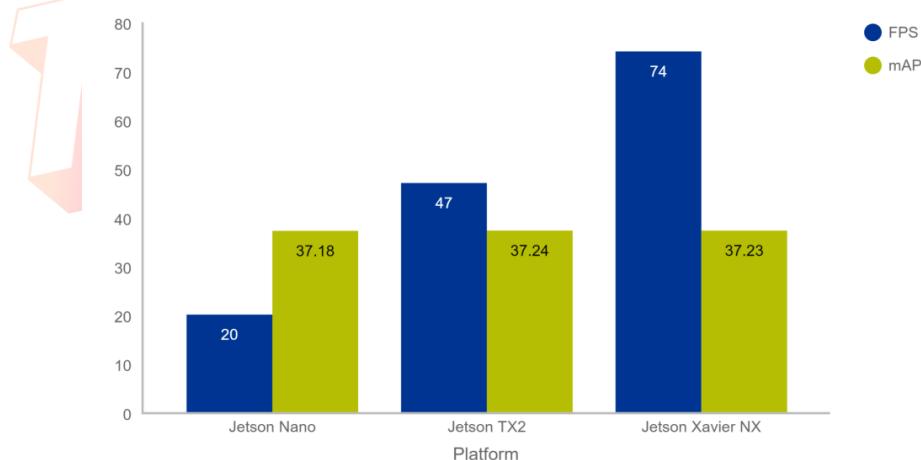
Şekil 30 Kablo Kullanım Tablosu

4.3.1.2 Otonom Kontrol Birimi

Aracın otonom algoritmalarını yönetecek ve alt kontrol birimleri ile haberleşecek birimdir. İçerisinde mini bilgisayar, kamera, LIDAR ve voltaj regülatörü bulunmaktadır.

Bu birime ait bileşenler aşağıda açıklanmıştır.

Merkezi Kontrol Bilgisayarı



Jetson Xaiver modeli SPI, UART ve CAN haberleşme protokollerini de desteklemektedir. Bu mini bilgisayara CSI kamera ve RP LIDAR A2M8 bağlanacaktır.

TP-Link TL-WN722N Wireless Alıcı

Jetson Xaiver bilgisayarına kablosuz haberleşme kazandıracak olan wireless alıcısıdır. 2.4 GHz bandında 150 metreye kadar haberleşme menziline sahiptir.



Şekil 33 TP-Link TL-WN722N Wireless Alıcı

RP LIDAR A2M8

İstenen isterlere göre aracın engelleri hassas bir şekilde algılayabilmesi ve ortamın haritasının çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen ve sıkılıkla kullanılan sensörlerden biri LIDAR (Light Dependent and Ranging) modülleridir.

LIDAR teknolojisi, bir ışık kaynağı ve alıcısıyla ortamdaki nesnelerin uzaklığını ölçmeye çalışan bir yöntemdir. Bu yöntem, kaynaktan çıkan lazer darbelerinin nesneye çarptıktan sonra alıcıya geri dönene kadar geçen sürenin ölçülmesine dayanmaktadır. LIDAR yaklaşımı, ışık hızında çalışan lazer darbelerini kullandığı için, RADAR gibi diğer mesafe ölçüm yaklaşımlarına göre daha hızlı çalışmaktadır ve daha yüksek doğrulukta bir performans sergilemektedir.

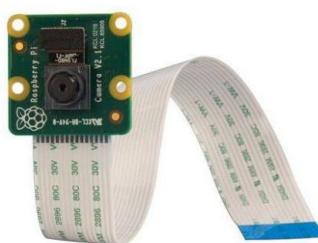
Aracımızda, ekonomik LIDAR sensörleri arasında yüksek performans ve sistem uyumluluğu nedeniyle RPLIDAR A2M8 lazer tarayıcı tercih edilmiştir. Bu sensör, fırçasız motor kullanarak 360 derecede lazer tarama işlemi gerçekleştirir. Tipik tarama hızı 10Hz (600 RPM) ve bu koşullardaki açısal hassasiyet çözünürlüğü 0.9 derece olan bu sensör, saniyede 8000 örneklemeye yapabilir. 16 metre menzile kadar 0.5 milimetrenin altında ölçüm hassasiyetiyle nesneleri algılar. Sensör, algıladığı ortam verilerini USB üzerinden Jetson Xaiver mini bilgisayarına göndermektedir.



Şekil 34 RP LIDAR A2M8

Pi V2 Kamera

Araçta çizgi takibi ve QR kod için kullanılacak olan kameradır. 8MP (3280,2464 piksel) çözünürlüğe sahiptir. Sony IMX219PQ model görüntü algılayıcısına sahip olan bu kamera 62.2 derecelik görüş açısı ile QR kodları okuyabilecektir. Jetson Xaiver bilgisayarına CSI portu üzerinden doğrudan bağlanabilmektedir ve ek bir güç bağlantısına gerek duymamaktadır.



Şekil 35 Pi V2 Kamera

XL4016 Voltaj Regülatörü

24V'luk ana batarya gerilimine 5V'a dönüştürerek Jetson Xaiver ve LIDAR için gerekli gerilimi sağlayacaktır. 8A'e kadar akım sağlayabilmektedir ve bu değer Jetson ile LIDAR'ı fazlası ile besleyebilmektedir. Anahtarlamalı bir voltaj regülatörü olması %95 dönüşüm verimliliği sağlamaktadır. Aşırı akım koruması, aşırı sıcaklık koruması ve kısa devre korumasına da sahiptir.

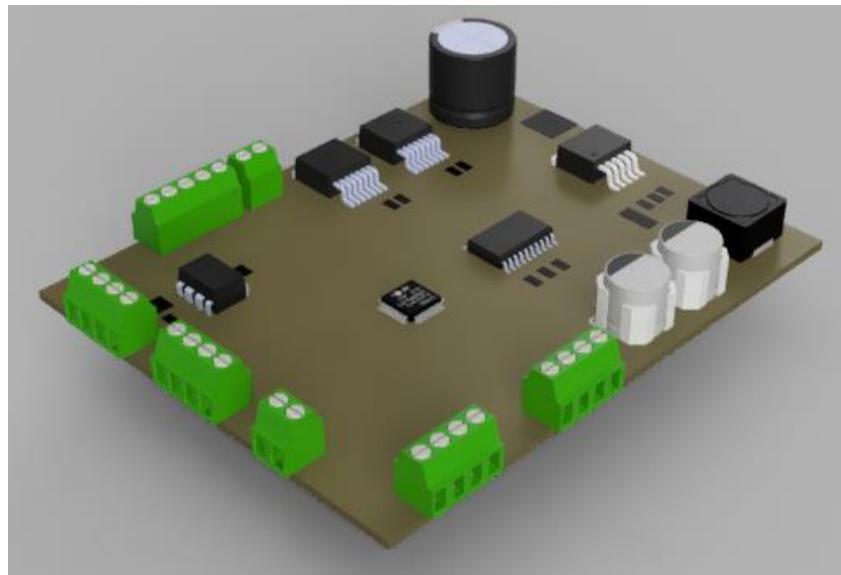


Şekil 36 XL4016 Voltaj Regülatörü

4.3.1.3 Motor Kontrol Birimi

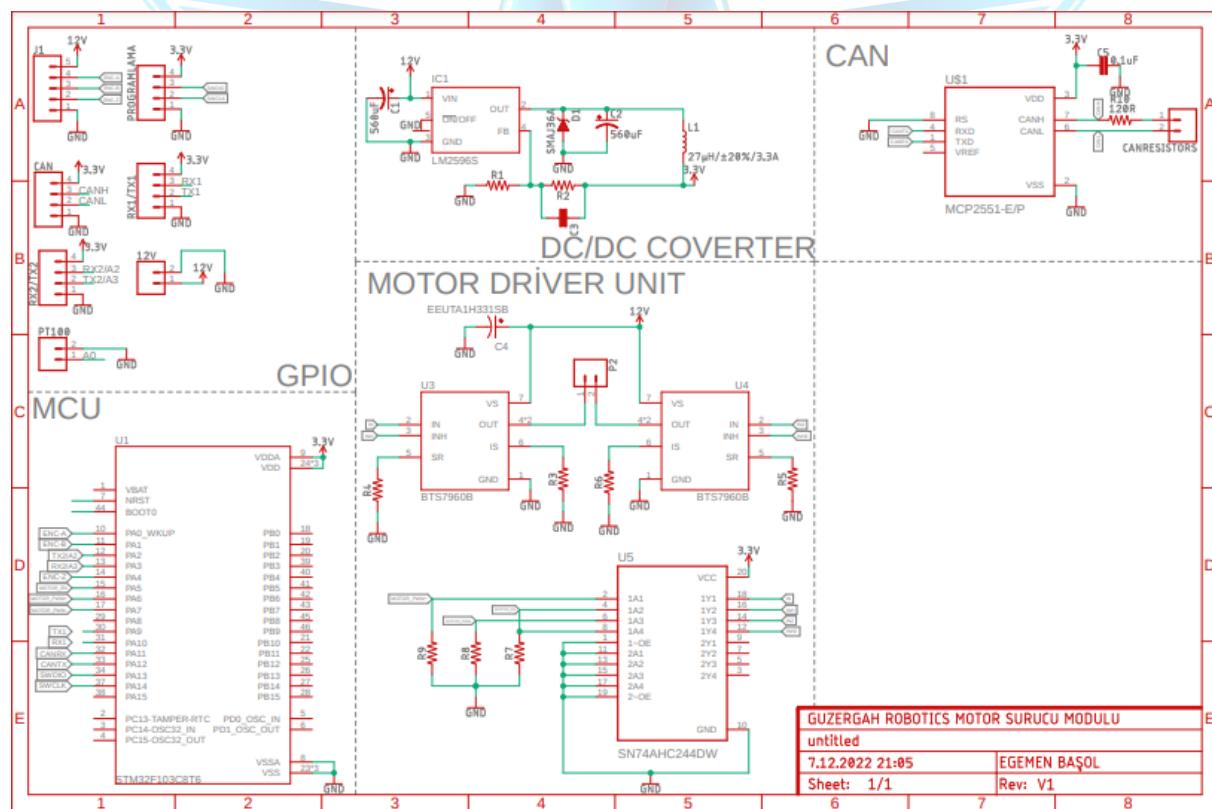
Otonom kontrol biriminden CAN Bus haberleşme hattının üzerinden gelen verilere göre motorları süren içerisinde mikrodenetleyici, voltaj regülatörleri, motor sürücü vs. içeren elektronik devre sistemidir. Bu birimden 2 tane motorunun her biri için bir adet kullanılacaktır.

Yazılımında kendine ait tanımlanmış bir CAN ID'si bulunmaktadır. Motor kontrol birimi ile iletişime geçmek isteyen cihazlar bu ID üzerinden motorların sürüşünü sağlayabilecektir.



Şekil 27 3 Boyutlu Motor Birimi Kartı

Tasarlanacak devre kartının tüm komponentlerin bağlantıları aşağıdaki şemada gösterilmiştir.



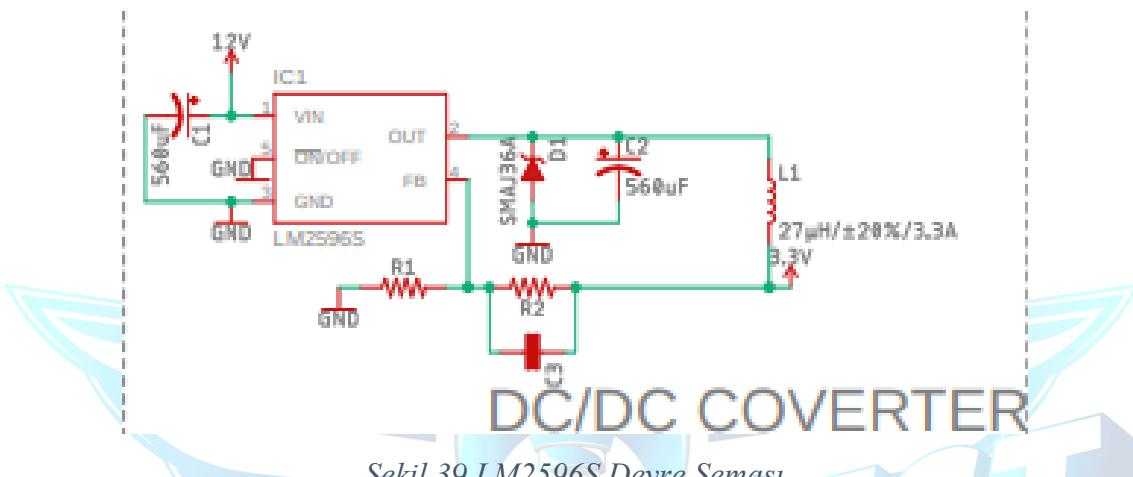
Şekil 28 Motor Birimi Devre Kartı Şeması

STM32F103C8T6 Mikrodenetleyicisi

72Mhz Cortex-M3 çekirdekli 64KB hafıza ve 20KB Ram'e sahip bir mikrodenetleyicidir. Ayrıca 2x SPI, 3x Usart, 2x I2C, 1x Can haberleşme birimlerine sahiptir. CubeIDE aracılığı ile HAL kütüphanelerini kullanarak C ile programlanmaktadır. Devre kartının beynini oluşturmaktadır. Araç için gereken haberleşme protokollerini içermesi ve AVR, PIC gibi mikrodenetleyicilere göre çok hızlı olmasından dolayı tercih edilmiştir.

LM2596S Voltaj Regülatörü

SMPS (Anahtarlama) bir voltaj regülatörüdür, Temel olarak, enerji dönüşümü ve regülasyonunun, sürekli olarak yüksek frekansla “açıp” “kapanan” güç yarı iletkenleri tarafından sağlandığı cihazlar SMPS olarak adlandırılır. 24V gerilimi, elektronik bileşenlerimizin çalışma gerilimi yani 3.3V seviyesine düşürmek için kullanılacaktır. Aşağıda devre kartımızda için tasarlamış olduğumuz LM2596S devresi görülmektedir.

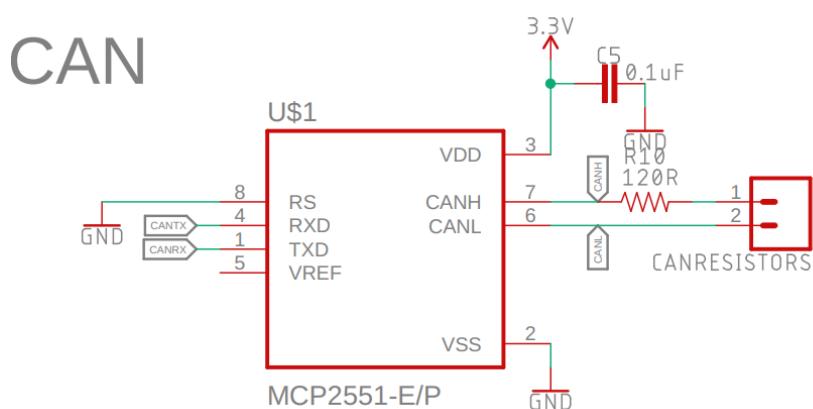


Sekil 39 LM2596S Devre Semasi

MCP2551 Can Entegresi

STM32 mikrodenetleyicisinde Can birimi bulunsada CAN haberleşme hattı ile haberleşebilmesi için Can entegresine ihtiyaç duymaktadır. 5V'da çalışan MCP2551 entegresi, hata ayıklama özelliği sahiptir ve Can veri yolu ile dış kaynaklarda oluşan parazitler arasında bir tampon sağlamaktadır. ISO-11898 haberleşme standartları ile uyumludur ve 1Mb/s'lik hızda kadar haberleşme yapabilmektedir.

Entegre beslemesinde parazitlenmeye engellemek için bir kapasitor kullanılmıştır. Ayrıca CANH ve CANL hatları arasında bulunan 120 ohm'luk direnci aktif edebilmek için kısa devre konnektörü kullanılacaktır.



Sekil 40 MCP2551 Bağlantı Seması

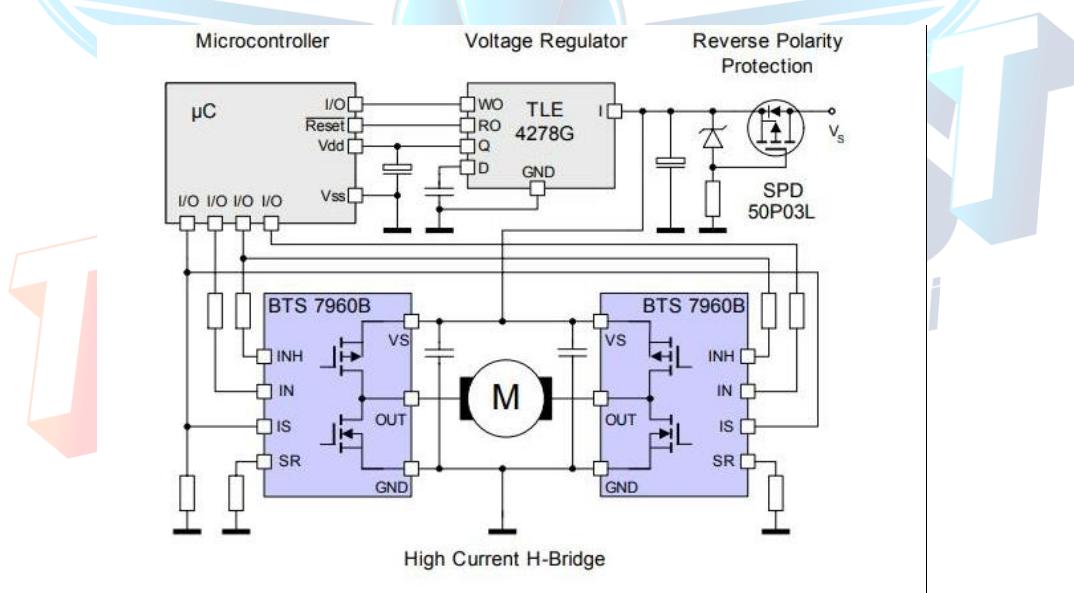
BTS7960B Motor Sürücü

Araçta 24V'da ve 5A'de çalışacak motorlar için BTS7960B motor sürücüsü kullanılacaktır. Bu motor sürücü 28V ve 20A'e kadar akım çekebilen motorları kontrol edebilmektedir.



Şekil 41 BTS7960B Motor Sürücü

Devrede bulunan H köprüsü ile motoru saat yönü ve saat yönün tersine süreblmektedir. Üzerinde bulunan pasif soğutucu yeterli soğutmayı yapabildiğinden ek bir soğutucuya gerek yoktur. Bu motor sürücüsünün kontrolü, STM32 mikrodenetleyicisinde oluşturulacak 10KHz'lık PWM sinyali ile sağlanacaktır. PWM sinyalinin doluluk oranı değiştirilerek motorun hız kontrolü sağlanacaktır. Ayrıca düşük voltajda, aşırı akıma ve yüksek sıcaklığa karşı koruma özellikleri bulunmaktadır.



Şekil 42 Motor Sürücü Şeması

E38S6G5-600BG24N Encoder

Araçta şerit katibinde çizginin daha stabil takip edilebilmesi için motor dönüş hızının olabildiğince hassas tespit edilmesi gerekmektedir. Bu dönüş hızını alabilmek için optik algılamalı enkoder kullanılacaktır.

Optik algılamalı enkoderler, kullanıldıkları sistemlerde konum, açı ve devir sayıları hakkında bilgi üreten; motor milinin hareketlerine göre sinyal üretip geri bildirim vermeye yarayan

elektromekanik cihazlardır. Dönen mil için sürekli kare sinyaller üreterek sahip olduğu konum hakkında ve sayma işlemlerinde bilgi verir.



Şekil 43 Optik Algılamalı Enkoder

ACS712 Akım Sensörü

20Amper'e kadar akım okuyabilen bu sensör motorların çektığı akımı ölçmek için kullanılacaktır. Bu sensör Hall Effect'e dayanır. Sensör çıkışında üzerinden geçen akıma orantılı olacak şekilde analog voltaj üretir. Bu akım sensörü için örnek akım değerlerine göre oluşan voltaj değeri aşağıdaki tablo görülmektedir.

| Voltage [mV] | Current [mA] | Calculated current [mA] |
|--------------|--------------|-------------------------|
| -2,00 | 0,00 | -0,56 |
| 0,20 | 10,55 | 11,06 |
| 7,50 | 43,50 | 49,60 |
| 23,40 | 130,00 | 133,55 |
| 27,30 | 154,80 | 154,14 |
| 47,41 | 258,00 | 260,32 |
| 62,50 | 350,00 | 340,00 |
| 57,00 | 315,00 | 310,96 |
| 236,00 | 1250,00 | 1256,08 |
| 259,00 | 1380,00 | 1377,52 |

Şekil 44 ACS712 Voltaj Akım İlişkisi

PT100 Sıcaklık Sensörü

Araç motorlarının sıcaklıklarını güvenlik amaçlı ölçmek için kullanılacaktır. Aslında bir direnç olup sıcaklık durumuna göre öz direnci değişen bir sensördür. -50, 250 ° C sıcaklık aralığında ölçüm yapabilmektedir. [\[3\]](#)



Şekil 29 PT100 Sıcaklık Sensörü

4.3.1.4 Lift Kontrol Birimi

Aracın yükü alması için kullanılacak olan elektronik devre sistemidir. Can hattı üzerinden kendi ID'sine gelecek komut ile motorları sınır anahtarı tetiklene kadar hareket ettirilecek ve yük alınacaktır.

Lift kontrol biriminin devre kartı motor kontrol biriminin devre kartı ile aynı olacaktır. Bu sayede ek bir tasarım oluşturmamıza ve üretmemize gerek kalmayacaktır.

Motor kontrol biriminde kullanılan enkoder burada kullanılmayacak onun yerine sınır anahtarı kullanılacaktır.

Sınır Anahtarı

Motorun krikoyu belirli bir noktanın üstüne çıkarmaması gerekmektedir. Bu durumu denetlemek için en yüksek noktaya bir sınır anahtarı yerleştirilecektir. Sınır anahtarı üzerinde bulunan metal çubuğu butona dokunması ile sınır anahtarı dijital çıkış vermektedir.

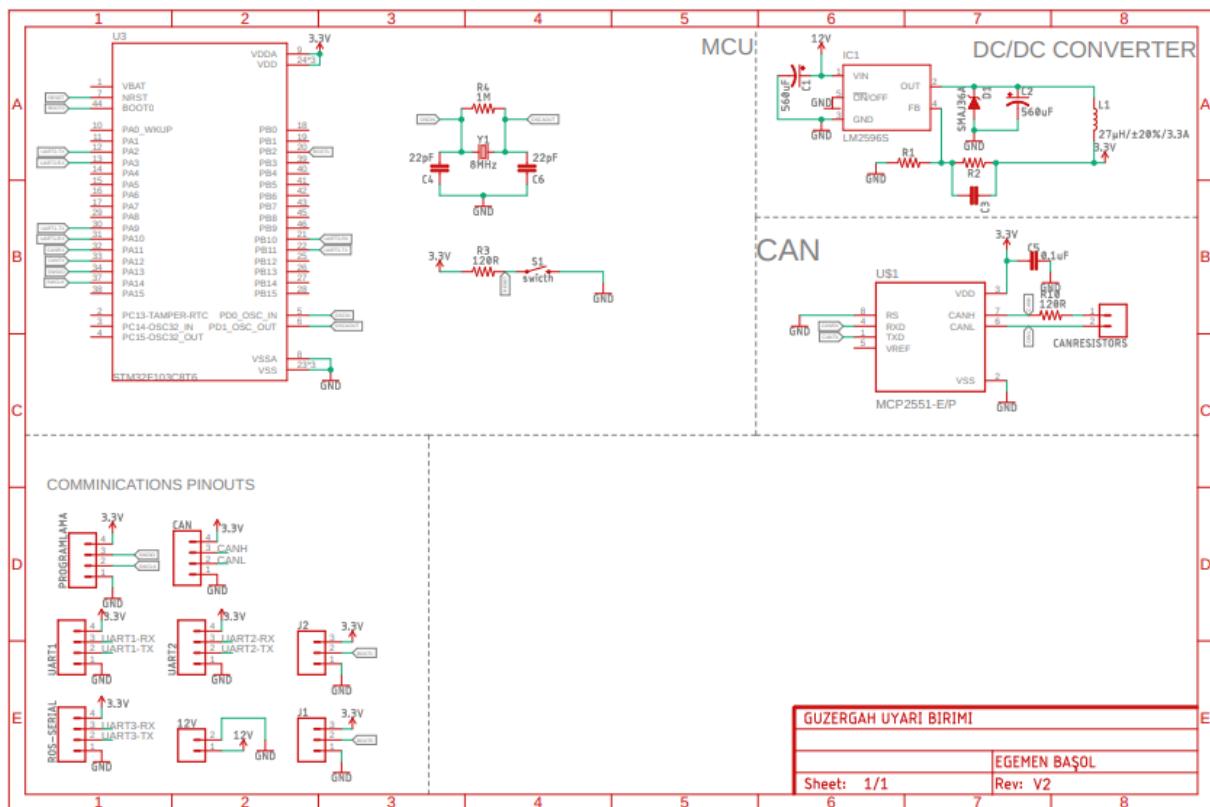


Şekil 46 Sınır Anahtarı

4.3.1.4 Uyarı Birimi

Aracın hata durumlarında, engel durumlarında herhangi bir güvenlik durumunda fabrika ortamında bulunan çalışanları uyarmak için geren sesli ikaz ve görsel uyarı sistemlerini kontrol eden birimdir.

Diğer kontrol birimlerinde kullanılan STM32F103C8T6 mikrodenetleyici, MCP2551 Can modülü ve LM2596S voltaj regülatörü bu birimde de kullanılacaktır.

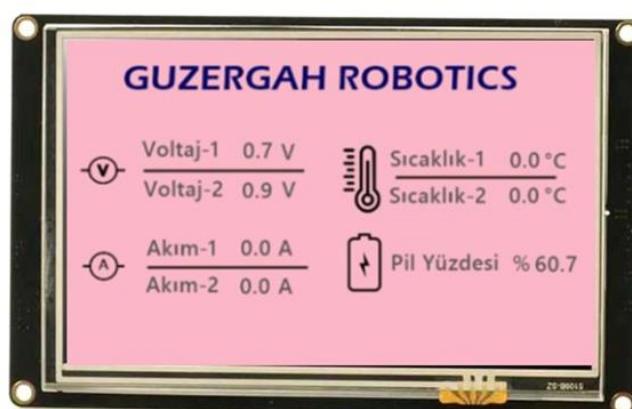


Şekil 47 Uyarı Birimi Şeması

Nextion Ekran

Araç üzerinde görünür bir şekilde bulunacak olan bu ekran fabrika çalışanlarına araçtaki sensörler hakkında bilgi vermek için kullanılacaktır.

İnsan-makine arayüzü (Human-Machine Interface, HMI) çözümü olarak kullanılan Nextion ekran, Nextion Editor'un desteklediği Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface, GUI)'nın tasarım ve programlamada kolaylık sağlayacağı düşünülerek tercih edilmiştir. İsterler doğrultusunda ekrana yazdırılacak değerler arasında gerilim, akım, sıcaklık ve pil yüzdesi değerleri vardır. Bu değerleri STM32 mikrodenetleyicisinden USART protokolü üzerinden alan Nextion ekran, bu verileri kendi içerisinde bulunan mikrodenetleyici ile ekrana yazdıracaktır. Aracımız için tasarlamış olduğumuz arayüz aşağıdaki görselde gösterilmektedir.



Şekil 48 Nextion Ekran Arayüzü

WS2812B Şerit Led

Fabrika ortamında çalışanları görsel olarak uyarmak için kullanılacaktır. 5V'da çalışan bu şerit led adreslenebilirdir. Bu özellik sayesinde her bir ledi tek bir dijital çıkış kullanarak stm32 üzerinden kontrol edebileceğiz. Engel tanıma, yazılımsal hata, yük alma-bırakma gibi durumlarda farklı renklerde yanacaktır. [4]



Şekil 49 WS2812B Şerit Led

Buzzer

Fabrika çalışanlarını hata durumlarında sesli bir şekilde uyarmak için kullanılacak buzzer, 3-24V aralığında çalışmakta ve çektiği 120mA akım ile 120dB gibi çok yüksek bir ses çıkarmaktadır.

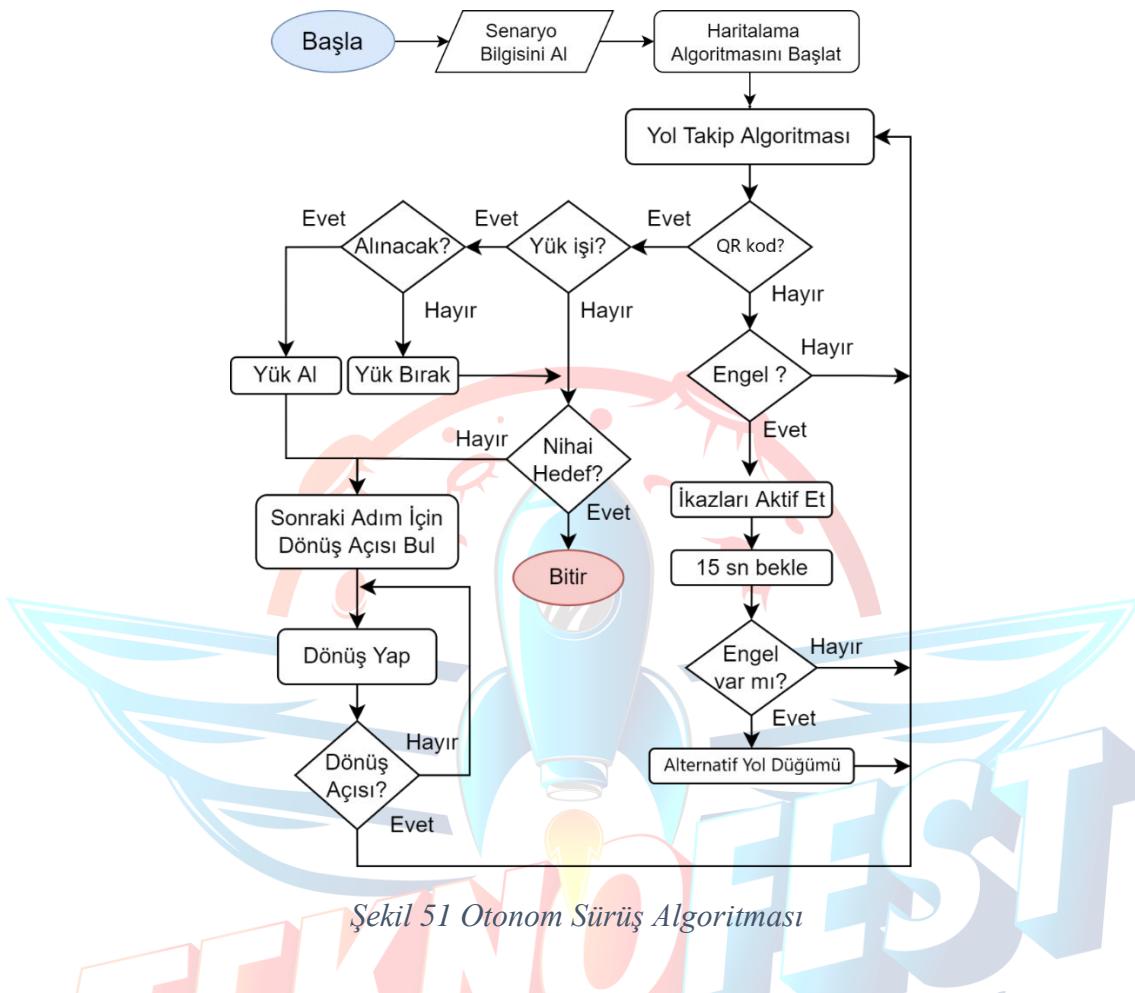


Şekil 50 Aktif Buzzer

4.3.2 Algoritma Tasarım Süreci

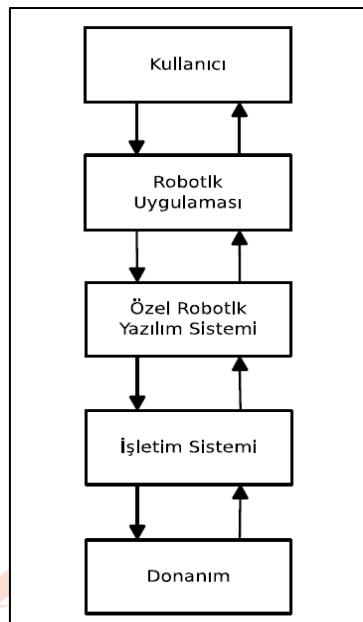
Güdümlü robotların otonom kabiliyetleri görevye özel algoritmaların tasarlanması gerektiğini gerektirmektedir. Sistemimizde merkezi komuta ve yardımcı kontrol birimi bulunmaktadır. Ana komutları içeren otonom sürüş algoritması, merkezi birim üzerinde diğer yardımcı görev algoritmalarıyla eş zamanlı ve paralel bir şekilde çalışmaktadır. Bu ekosistem, merkezi birim üzerinde ROS tabanlı olarak geliştirilmiştir. Bu birimden gelen tüm komutlar yardımcı kontrol

birimine haberleşme algoritmamızla gönderilmekte ve sistem veri akışı sağlanmaktadır. Otonom sürüş komutlarını içeren ana algoritmamızın akış diyagramı aşağıda verilmiştir.



Otonom sürüs komutları gömülü sistem birimlerine iletilerek robotun hareketi sağlanmaktadır ve robottan okunan sensör değerleri bu birimden merkeze iletilmektedir. Sistem algoritması öncelikle senaryo bilgisinin girdisiyle çalışmaktadır. Alınan komutlar kaydedilerek robotun güzergâh ön tanım bilgileri belirlenmektedir. Otonom araç ilk olarak haritalama algoritmasını çalışmaktadır. Ardından kameradan alınan görüntülerin işlenmesi sonucunda görüntü temelli kontrolü sağlayan yol takip algoritması çizgi takibi yaparak harekete başlamaktadır. Seyir döngüsünde sürekli QR kod ve engel durumu kontrol edilmektedir. Robot bir sonraki noktaya gitmesi için navigasyon algoritmasını çalışmaktadır. Daha önce kaydedilen rota bilgileri navigasyon algoritmasına girdi parametresi olarak verilmektedir. Bu algoritmada gerekli olan dönüş açısı hesaplanarak araç seyrine devam etmektedir. Okunan QR kod değeri nihai hedefe ulaştığında ise görev sonlanmaktadır.

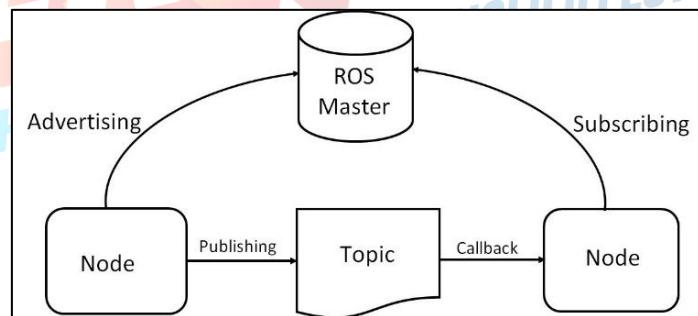
Robotun karar verme mekanizması merkezi birimde üzerinde koşan algoritmalarla bağlıdır. Aynı anda kompleks görevlerin işlenmesi, ortak veri akışının kurulması ve birden fazla sistemin kontrolü gibi kurgular sıralı ve seri döngü (superloop) programlama yapısıyla sağlanamamaktadır. Bu sebeple karmaşık algoritmaların bir arada çalışmasına olanak tanıyan özel bir ekosisteme ihtiyaç duyulmaktadır [5]. Günümüzde bunun için geliştirilen yapılar ara katman yazılımları olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 52 Özel Ara Katman Yazılım Yapısı

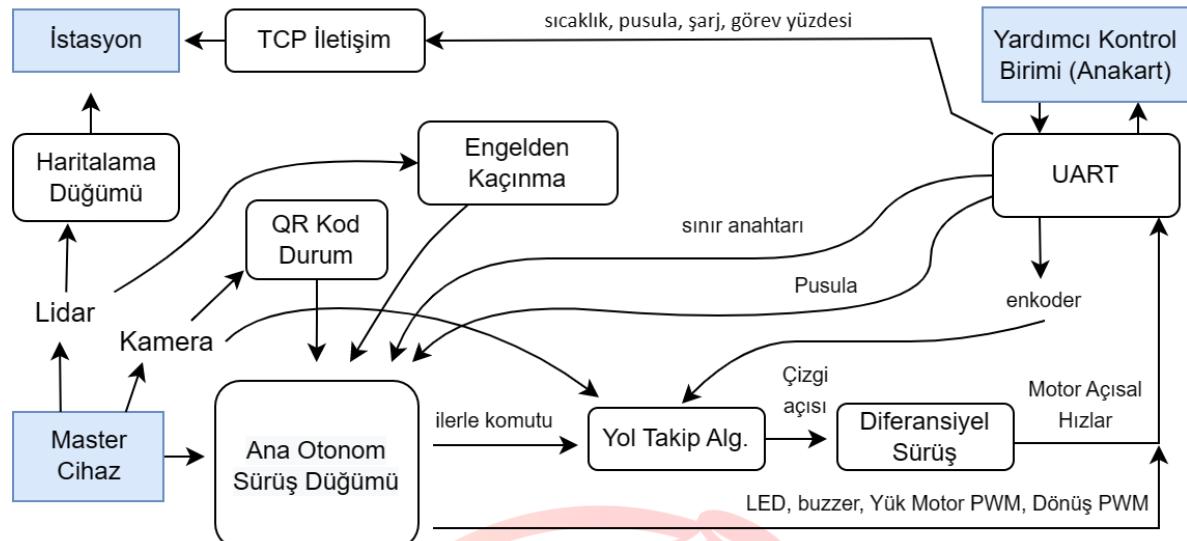
Robot işletim sistemi (ROS), robotik uygulamalar için tasarlanmış açık kaynaklı bir ara katman yazılımıdır [6]. Robotik yazılımımızdaki veri transfer yükünün yönetilmesi, tasarlanan kontrol algoritmalarının paralel ve senkron bir şekilde çalıştırılması için oldukça popüler olan bu sistem tabanı tercih edilmiştir. Ek olarak ROS simülasyon, grafik, hata ayıklama gibi zengin paket içeriğinden dolayı diğer ara işletim sistemlerinden ön plana çıkmaktadır.

ROS yapısı, robotun dış dünyadan aldığı verileri dahili yazılım bloklarıyla işlenmesi için bir yönetim mekanizması oluşturur. Farklı kontrol görevlerine sahip yazılım parçaları düğüm (node) bloğu olarak tanımlanırken düğümler arası dolaşan veri yolu birimlerini konu (topic) yapısı temsil etmektedir. Düğümlerin birbirlerine abone veya yayıcı olarak konu mesajları üzerinden haberleşmesi Rosmaster tarafından sağlanmaktadır. Rosmaster, tüm bilgi kayıtlarını ROS çekirdeğinde (Roscore) merkezi bir ortamda tutan ana yönetici hizmetidir.



Şekil 53 ROS Sistem Yapısı

Sistemimizde başta ana otomatik sürüş algoritması olmak üzere 9 farklı kontrol algoritması geliştirilmiştir. Yol takip algoritması, QR kod algılama, alternatif yol, diferansiyel sürüş algoritması, navigasyon algoritması, engelden kaçınma, haberleşme algoritması ve haritalama algoritması düğümler üzerinde temsil edilerek sistemde senkron bir şekilde çalışmaktadır. Düğümler arası sistem mimarisi aşağıdaki şekilde blok diyagramı olarak verilmiştir.

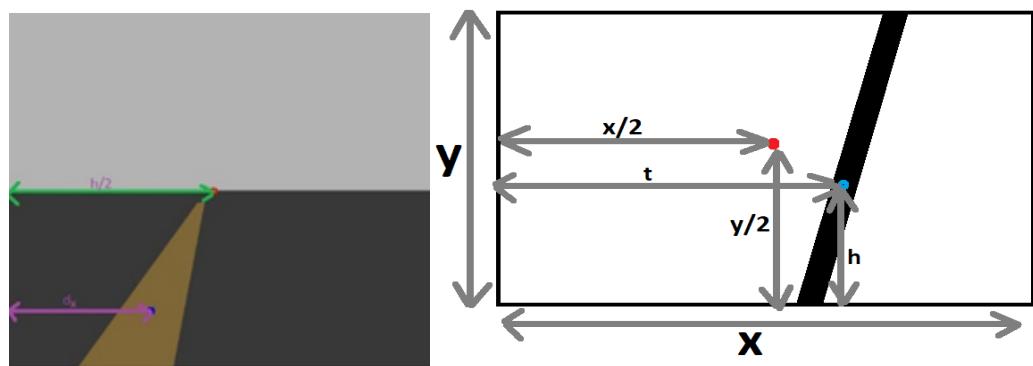


Şekil 54 ROS Düğüm Mimarisi

4.3.2.1. Yol Takip Algoritması

Otomotiv aracımızın rotasını kararlı bir şekilde takip edebilmesi en önemli performans kriterlerinden biridir. Kontrol algoritmaları kullanılmadan yol takibi yapılan sistemler pratik olmayan kararsız sistemlerdir. Aracımız yol takibini visual servoing kontrolüyle gerçekleştirmektedir. Görüntü işleme tekniğiyle elde edilen şerit açıları diferansiyel sürüş düğümüne gönderilmektedir. Sürüş düğümü çıktı olarak motorlara uygulanacak olan açısal hız değerini gömülü sisteme göndererek PID algoritmasının set point değerini oluşturmaktadır. Böylece robot yol takibini fiziksel olarak sağlayacaktır.

Şerit takip algoritması, otonom sürüş yapacak olan bir otonom aracın görüntü işleme tekniklerini kullanarak, yol üzerinde bulunan şeridin tespit edilmesi, ortalanması ve bu şeride doğru hareket etmesini sağlamaya yönelik bir algoritmadır. Bu algoritma, otonom aracın konumlandırılmış olan kamerasından alınan görüntülerini işlemekte ve şeridin tespiti için gerekli maskeleme işlemlerini yapmaktadır. Şeridin ortasındaki açı değeri ve bu açı değerine göre otonom aracın konumunu düzgün bir şekilde kontrol etmekten sorumludur. Bu sayede, otonom aracın istenilen rotaya uygun olarak hareket etmesi sağlanmaktadır. Görüntülerin daha anlamlı hale getirmek için "OpenCV" kütüphanesi ve matematiksel hesaplamalar yapabilmek için "NumPy" kütüphanesi kullanılmıştır. İlk başta Kameradan gelen görüntünün gri kanala çevrilmektedir. Bu, görüntüdeki tüm renkleri aynı parlaklıktaki olacak şekilde değiştirmektedir ve her bir piksel için bir açılık değeri vermektedir. Daha sonra, bu grayscale görüntü binary'e çevrilerek şeritin ağırlık merkezi hesaplanmaktadır. Görüntünün orta noktası da saptandıktan sonra orta nokta ve ağırlık merkezi arasında hedef açı hesaplanmaktadır.

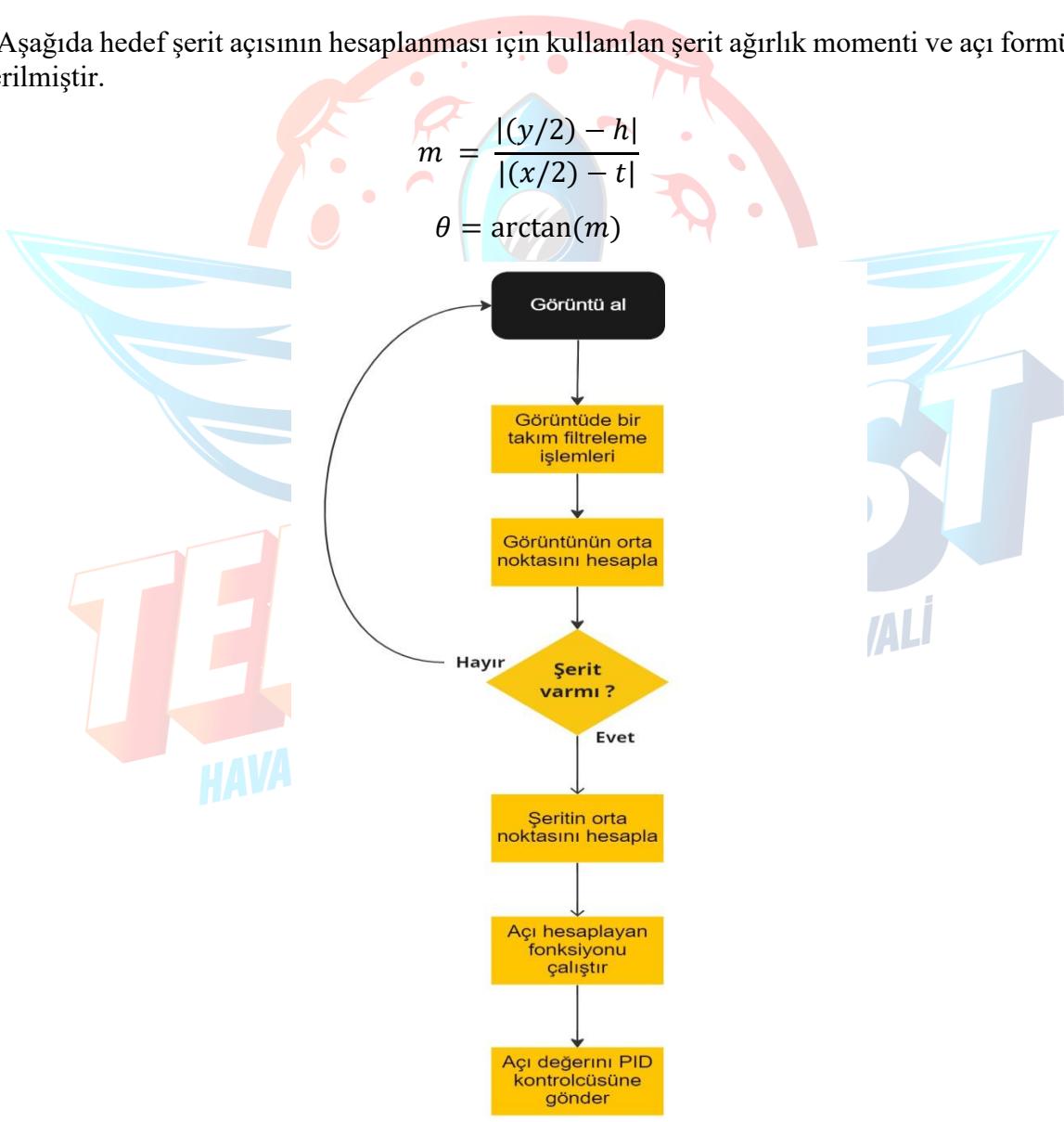


Şekil 55 Şerit takibi

Aşağıda hedef şerit açısının hesaplanması için kullanılan şerit ağırlık momenti ve açı formülü verilmiştir.

$$m = \frac{|(y/2) - h|}{|(x/2) - t|}$$

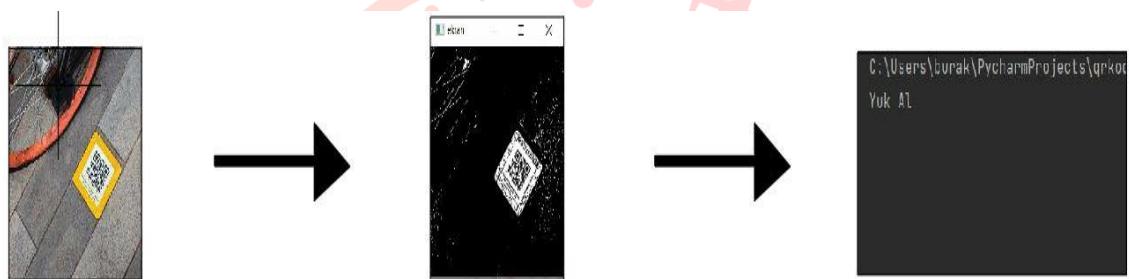
$$\theta = \arctan(m)$$



Şekil 56 Yol takip algoritması

4.3.2.2. QR Kod Algoritması

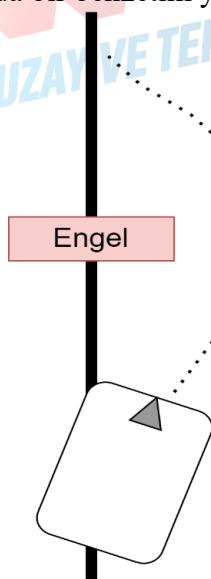
Parkurun belirli bölgelerinde bulunan QR kare kodları tespit etmek için gereken görüntüler aracımızda bulanan kamera modülü sayesinde elde edilmektedir. Kameradan gelen görüntünün anlamlı hala dönüştürülebilmesi için OpenCV kütüphanesini kullanılmıştır. Kare kodlar görüntü işleme araçları yardımıyla tespit edilip bir string mesaja dönüştürülerek bilgisayar hafızasında kaydedilmektedir. Testlerimizde olası 2 farklı duruma göre kare kod tespiti yapılmaktadır. Birinci durumda görüntünün farklı aydınlatma koşullarına sahip olması gibi durumda kare kod tespitinin sınırlandığı görülmüştür. Bu sorunun çözümü için ‘adaptiveThreshold’ fonksiyonun yardımıyla görüntü matrisinde bir takım filtreleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. İkinci durumda ise görüntüdeki kare kodların yamuk, ters veya eğimli olması durumunda kare kod tespit algoritmalarında olumlu sonuçlar alınmadığı tespit edilmiştir. Bu duruma çözümü olarak da görüntüde algılanan kare kodun oryantasyonunun düzeltilmesi hedeflenmiştir. Kod görüntüsünü kuş bakış perspektifine çeviren wrap fonksiyonu sayesinde kare kodlar hatasız bir şekilde tespit edilmektedir.



Şekil 57 QR Kod Görüntüsünün İşlenmesi

4.3.2.3. Alternatif Yol Algoritması

Seyir esnasında engel ile karşılaşılması durumunda engelden kaçınma algoritması çalışmaktadır. Bu işlem içerisinde 15 saniye beklenmekten sonra “engel var” durumu yayınlanırsa alternatif yol algoritması devreye girmektedir. Bu algoritmanın temel amacı robotun önündeki engeli çizgiden çıkararak aşması ve tekrar yer çizgisine kilitlenmesi olarak özetlenebilir. Bu kabiliyet için aşağıda bir benzetim yapılmıştır.

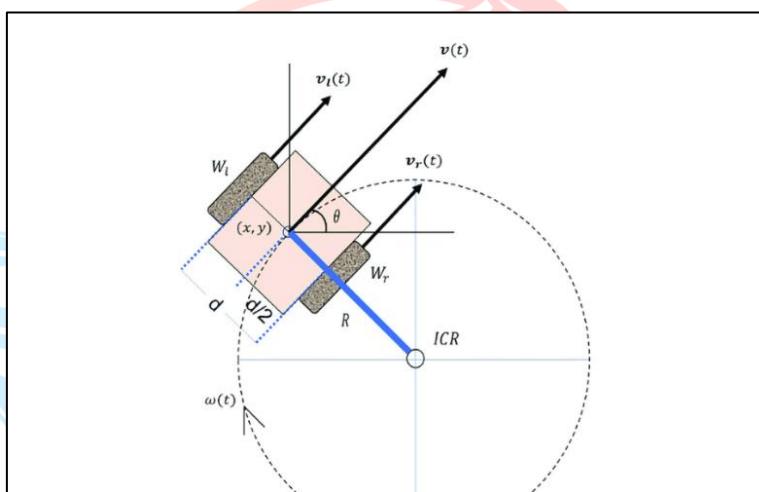


Şekil 58 Alternatif Yol benzetimi

Sözü edilen kabiliyet için mesafe ve LIDAR sensörleri kullanılmaktadır. Yazılımsal bir döngü içerisinde çizgiye yaklaşma eğiliminde olan robot sensör verileriyle eğilimini kırmaktadır. Mesafe verilerinin düşük seviyede olmadığı durumda çizgi sensöründen veri beklenmektedir. Çizgi sensörü yer bandını analog fark ile algıladığında Yol Takip Algoritması düz seyrine devam etmektedir.

4.3.2.4. Diferansiyel Sürüs Algoritması

Aracımızın kinematik kontrolü görüntüsel çizgi izleme temeline dayanmaktadır. Yol takip algoritmasından alınan açı değerleri robotun çizgisel ve açısal hızlarının belirlenmesinde etkin bir rol oynamaktadır. Bu amaçla sistemimizde temel diferansiyel sürüs sistemi kullanılmıştır. Bu sistem robot hızının analiz edilmesinde ve kinematik hesaplarının yapılmasında elverişli bir yöntemdir [7]. Ayrıca aracımızın fiziği bu yöntem için oldukça uygundur. Aşağıda aracın diferansiyel sistem benzetimi verilmiştir.



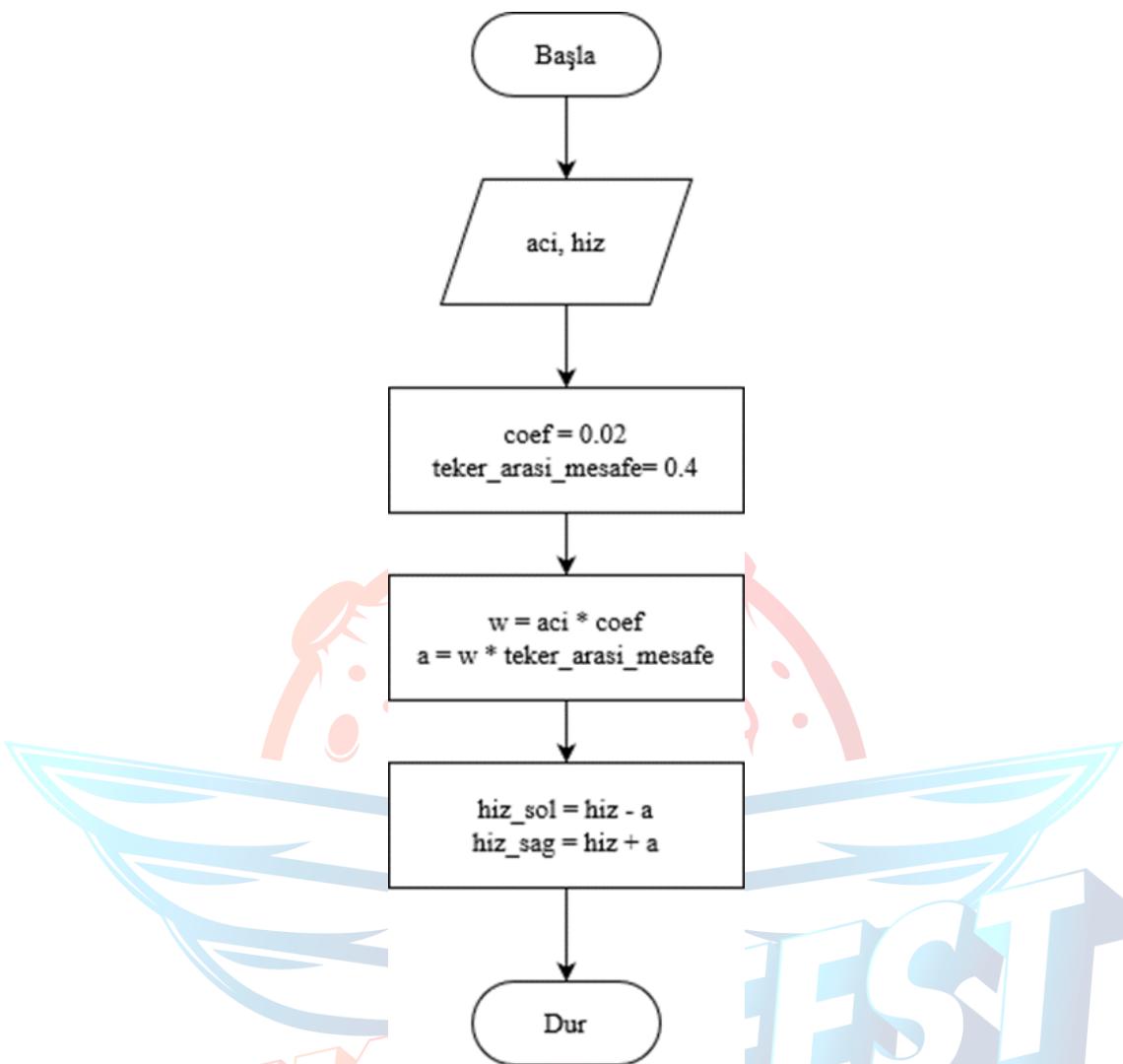
Şekil 59 Diferansiyel Sürüs Sistem Benzetimi

$$V_l = \omega_l * r \quad V_r = \omega_r * r$$

$$V = \frac{V_l + V_r}{2} \quad \omega = \frac{V_l - V_r}{d}$$

Şekil 60 Diferansiyel Sürüs Kinematik Denklemleri

Aracımızda, ROS Kontrol yapısı aracın hareket eklemlerine doğru açısal hız değerlerini vermek için kullanılmaktadır. Diferansiyel sürüs teknigi kullandığımız için, iki tıhrik tekerine de diferansiyel sürüs düğümünden gelen açısal hız değerleri verilerek aracın hareket ettirilmesi sağlanır. Görüntü işleme yöntemiyle tespit edilen yol çizgisinin hata oranı, diferansiyel sürüs düğümüne gönderilir. Bu düğüm, açı değeri girdisi alır. Çıktı olarak ise tekerler arasındaki mesafe oranına göre teker açısal hızlarını verir. Hesaplanan değerler, 'sol_istenen_hiz' ve 'sag_istenen_hiz' topic başlıklarıyla ROS üzerinde yayınlanır. Rosserial haberleşme düğümü, bu istenen hız topiclerini merkez kontrol kartına iletir ve bu bilgiler gerekli kontrol modülüne gönderilerek hareket gerçekleştirilir. Motor modülüne gelen 'istenen hız bilgisi', tekerin anlık hız değeriyle karşılaştırılır. PID denklemiyle birlikte sürüs hızının dengelenmesi sağlanır. Bu sayede, istenen hız ayarlanmış olur.



Şekil 61 Diferansiyel sürüs algoritması

4.3.2.5. Navigasyon Algoritması

Navigasyon algoritmasının temel amacı robotun dönüş açılarıyla rotasını oluşturmaktır. Aracımız görevine ilk başladığı anda senaryo bilgisini almaktadır. Verilen rota bilgileri robotun ön tanımlı noktalarıyla ilişkilendirilmektedir. Bu fonksiyon rota işlemini küçük alt parçacıklara bölgerek her köşe noktasında dönüş açısı değeri döndürmektedir. Bu işlem güncel konum ve bir sonraki hedef konum olmak üzere iki farklı girdinin alınmasıyla mümkündür. Hedef konumlar senaryo bilgisile önceden alınmakta ancak mevcut başlangıç konumu bilinmemektedir. QR kod etiketlerinden okunan veriler söz konusu fonksiyona tabi tutularak dönüş açılarının hesaplanması sağlanmaktadır. Bu açılar güncel pusula değerine trigonometrik yön referansıyla eklenerek dönüş esnasında denetim yapılmaktadır. Her bir rota parçasının işlem sırası aşağıdaki blok diyagramında verilmiştir.



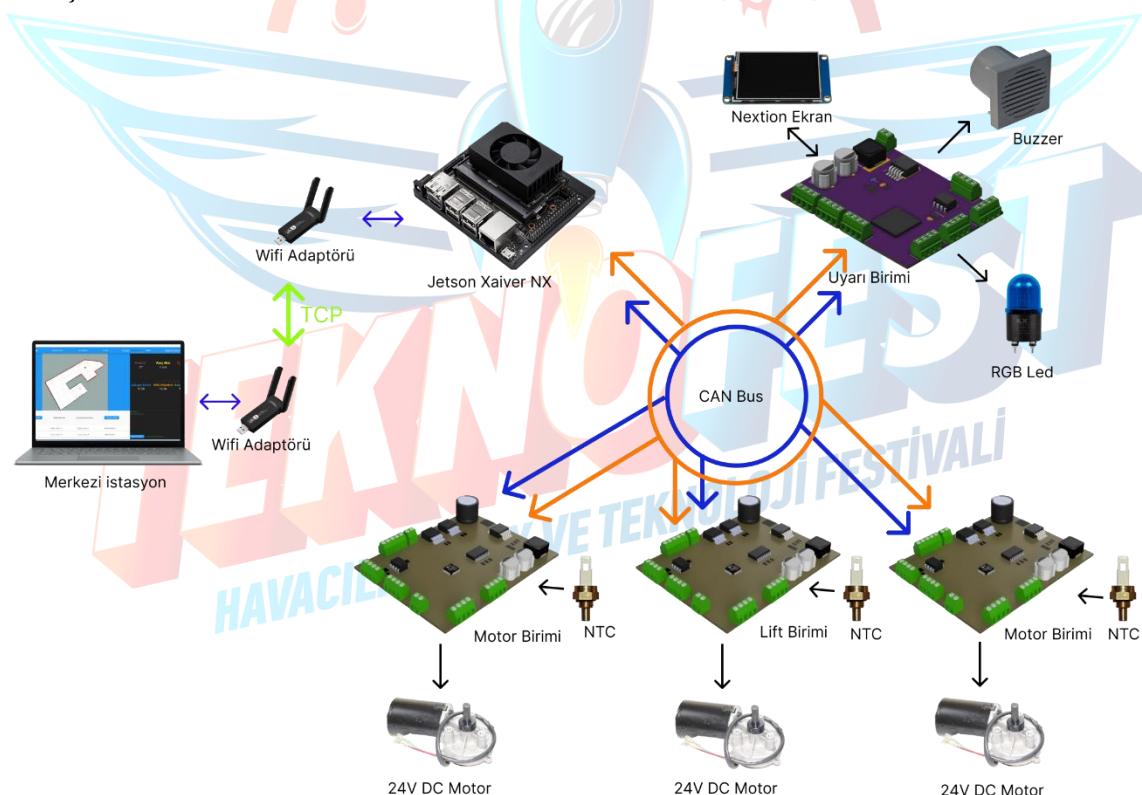
Şekil 62: Rota Parçasının İşlem Diyagramı

4.3.2.6. Haberleşme Algoritması

ROS tabanlı iletişim düğümleri ve kullanıcı arayüzünün haberleşmesi için 2 cihazın da ortak bir kablosuz ağa bağlı olması gerekmektedir. Kullanıcı arayüzünün yüklü olduğu istasyon, Jetson Xaiver master cihaz üzerindeki Wifi alıcı-vericisi ile oluşturulan ağa bağlanmaktadır. Aynı ağa bağlı iki farklı birimin haberleşme protokolü TCP olarak belirlenmiştir. Bu protokol kullanılarak master cihaz üzerinde Python3 Socket Framework yapısı dahilinde sunucu kurulmaktadır. Merkezi birim tarafından TCP ile iletilen veri demeti, sensörlerin anlık bilgilerini ve ROS haritasının görüntü matrislerini içermektedir.

ROS sisteminin, sensörlerin ve güvenlik modüllerinin toplandığı STM32 tabanlı kontrol kartı ile haberleşip verileri alması ve gerekli komutları göndererek kontrol kartı aracılığı ile motorları sürmesi gerekmektedir. Bu iki kontrol birimleri arasında UART haberleşme protokolü tercih edilmiştir. ROS sisteminin, modüllerle haberleşmesi için merkezi kontrol birimiyle iletişim kurması gerekmektedir. Bu amaçla, UART protokolünü kullanan Rosserial haberleşme yöntemi tercih edilmiştir. Rosserial sayesinde, iletişim son derece güvenli ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Merkezi birim tarafından alınan veriler, CAN haberleşme yoluyla diğer kontrol modüllerine (örn. motor, lift) iletilmiş ve haberleşme döngüsü tamamlanmıştır.

ROS sistemi, STM32 tabanlı kontrol kartları ile CAN Bus haberleşmesi üzerinden haberleşmektedir.



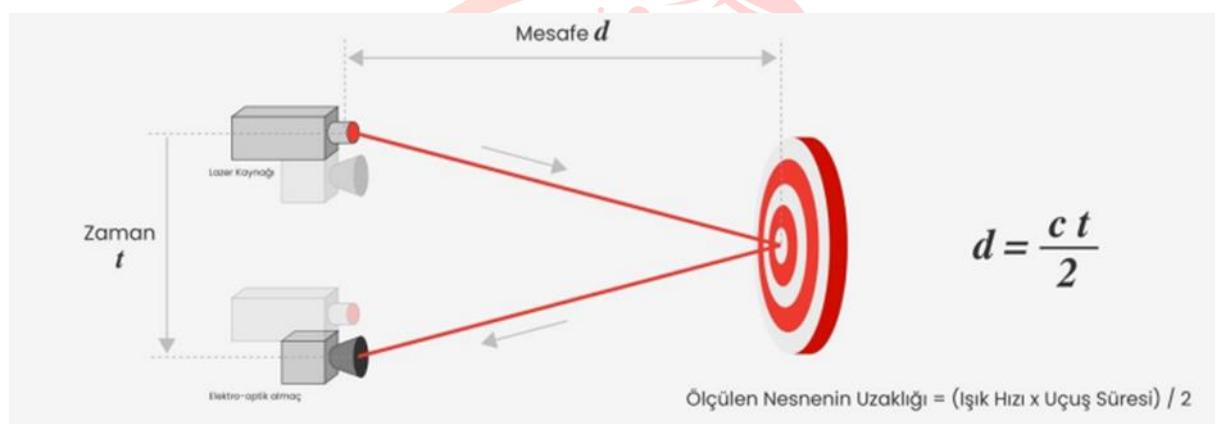
Şekil 63 Haberleşme Sistem Diyagramı

4.3.2.7. Haritalama Algoritması

Otonom aracımızın kabiliyetlerinden birisi de bulunduğu ortamın 2 boyutlu haritasını çıkarabilmesidir. Bu görev için geliştirilmiş çeşitli SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) haritalandırma algoritmaları bulunmaktadır. SLAM, otonom robotların hareket

etmeleri amacıyla bulundukları ortamı bilmelerini sağlamaktadır. Bu bilgi doğrultusunda otonom robotlar kendilerini bu ortamda konumlandırabilir ve verilen görevleri bu bilgi yardımıyla gerçekleştirebilirler. Söz konusu lokalizasyon analizlerinin tamamına Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM) denmektedir.

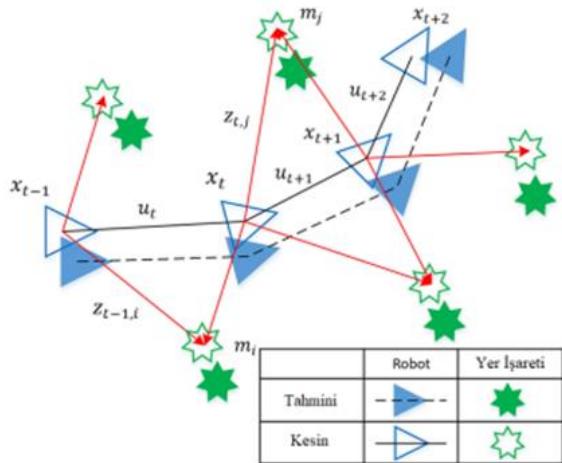
Haritalandırma görevinin yerine getirilmesi için LİDAR tabanlı Lazer mesafe sensörleri kullanılmaktadır. Bu sensörler, lazer ışınlarının bir nesneye çarparak geri dönmesi ve bu dönüş için geçen sürenin uzaklık cinsinden hesaplanması prensibine dayanmaktadır. Lazer tarayıcıdan alınan verilerin anlamlandırılması kaliteli bir harita çıktısı için önem arz etmektedir. LIDAR sensörlerinin çalışmasına bakıldığından menzil içinde bulunan herhangi bir nesne, gönderilen ışık enerjisinin belirli kısmını geri yansıtır. Geri dönen ışık enerjisi, lazer sensörünün algılayıcısı tarafından algılanır. Lazer sensörden çıkan ışık demetinin hızı, ışık hızı bilindiğinden nesneye çarparak geri dönülmesi için geçen süre kolaylıkla hesaplanır. Lazer tarayıcı sensörünün nasıl çalıştığı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir [8]. Lazer tarayıcıdan alınan verilerin iyi bir şekilde anlamlandırılması harita çıkartılması açısından oldukça önemlidir.



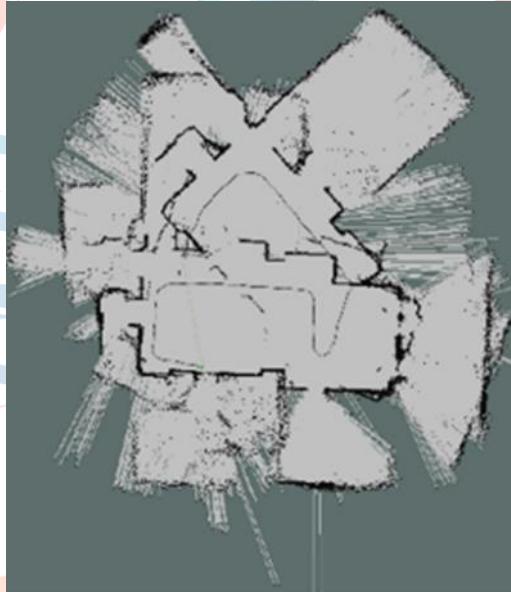
Şekil 64 LIDAR çalışma prensibi

Geliştirilmiş en popüler SLAM algoritmaları GMapping, Cartographer, Frontier Exploration, TinySlam ve HectorSlam'dır. Bu algoritmalar LİDAR sensörlerinden aldıkları verileri işleyerek çalışmaktadır. Probleme temel yaklaşım fikri ve ek verilerin kullanımı gibi farklı prensiplerle birbirinden ayrılan bu algoritmalar farklı ortamlarda birbirlerine karşı belirli üstünlükler sergileyebilmektedir [9].

Gerçek zamanlı otonom araçların en zorlu problemlerinden biri de aracın kendi haritalandırma ve lokalizasyon işlemlerini yapabilmesidir. Bu görev için geliştirilmiş birçok haritalandırma algoritmaları bulunmaktadır. SLAM sorun için “Eş Zamanlı Lokalizasyon ve Haritalama” yöntemi olarak bilinen bir çözüm önerisi olabilmektedir [10].



Şekil 65 SLAM Algoritması çalışma prensibi



Şekil 66. SLAM harita çıktısı örneği [11]

Teknofest yarışma isterleri göz önüne alındığında haritalandırma algoritmamızda en sık kullanılan ve popüler bir SLAM algoritması olan HectorSlam yaklaşımının kullanılması tercih edilmiştir. Gerek kullanım kolaylığı gerekse de odyometri verisinden bağımsız çalışabilmesi açısından kullanılmaktadır.

Bilinen SLAM yöntemlerinden farklı olarak HectorSLAM, odyometri (kilometre sayacı) bilgisi gerektirmez ve robotun pozu sadece tarama eşleştirme yöntemlerine dayanarak tahmin edilir. Modern LIDAR sensörlerin hız ve doğruluk oranı arttığından bu yöntemle doğru haritalar elde edilmektedir [12]. Bu metoda göre lazer ışınlarının bitiş noktaları sürekli izlenmektedir. Bu noktalar en iyi hizalanma fonksiyonuna göre optimize edilmektedir. Otonom sürüs algoritması haritalama düğümünü çalıştırdığı anda HectorSlam haritalama fonksiyonu çalışmaya başlamaktadır. Robot seyrine devam ettikçe LIDAR verileri harita çıktısı için veri beslemesi yapmaktadır. Araştırmalar göz önüne alındığında bu yöntemin eksileri arasında şeffaf ve geçirgen olan yüzeylerde (cam, pencere, ayna gibi) yüzeyin ötesini de ölçmesi

problemi bulunmaktadır. Algoritmamızda harita görüntüsü sürekli güncellenerek TCP üzerinden ana istasyona aktarılmaktadır. Bu sayede eş zamanlı izlemeyle takip gerçekleştirilerek olası durumlar inceleneciktir.

HectorSlam algoritması, haritalama yaklaşımında yalnızca LİDAR verilerini kullanmaktadır. Bu metoda göre lazer ışınlarının bitiş noktaları sürekli izlenmektedir. Bu noktalar en iyi hizalanma fonksiyonuna göre optimize edilmektedir. Otonom sürüş algoritması haritalama düğümünü çalıştırıldığı anda HectorSlam haritalama fonksiyonu çalışmaya başlamaktadır. Robot seyrine devam ettikçe LİDAR verileri harita çıktısi için veri beslemesi yapmaktadır. Algoritmamızda harita görüntüsü sürekli güncellenerek TCP üzerinden ana istasyona aktarılmaktadır.

4.3.3. Yazılım Tasarım Süreci

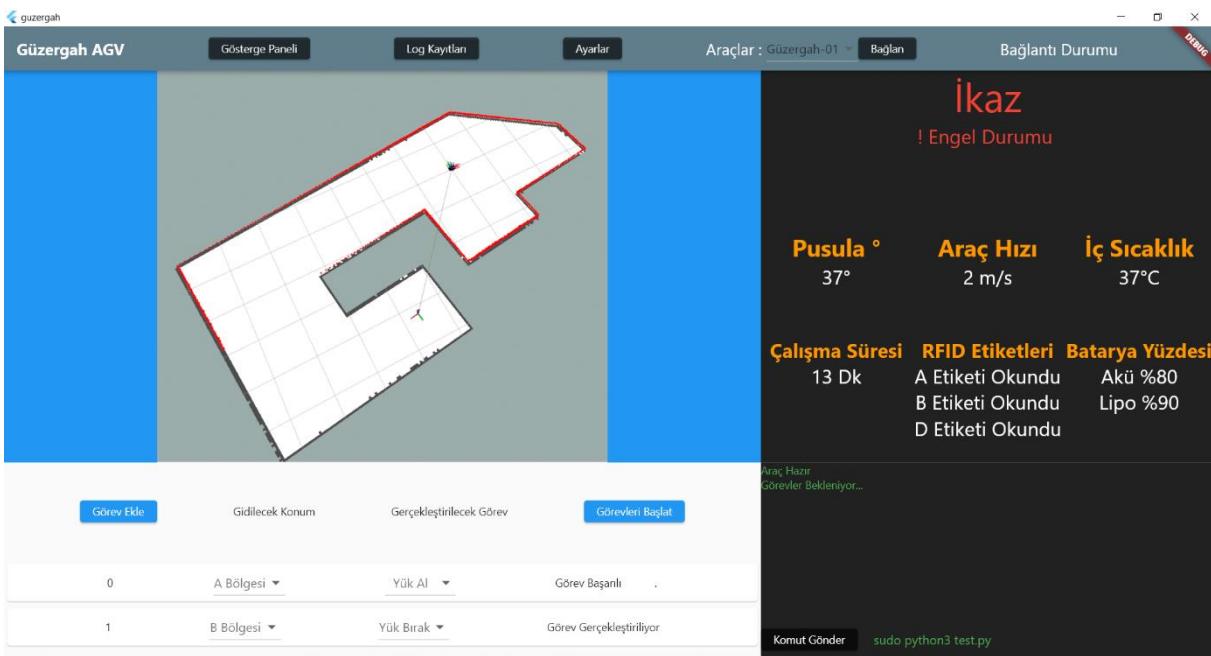
Aracımızın tüm yazılımları iki ana birim üzerine yüklenmektedir. Sistemimizdeki tüm otonom algoritmalar merkezi komut birimi olan Jetson Xaiver master cihazı üzerinde koşturulmaktadır. Bu algoritmalar senkron çalışabilecek şekilde fonksiyonel düğümler halinde ROS Noetic tabanlı olarak geliştirilmiştir. Sistem kodları bir Linux dağıtımını olan Ubuntu 20.04 işletim sisteminde Python programlama dilinde yazılmaktadır. Python, sahip olduğu geniş kütüphane imkânı ve modüler söz dizimiyle tercih edilmektedir. Gazebo robot hareketlerinin 3 boyutlu olarak görüntülenmesine imkân tanıyan ve özel çevre oluşturarak robotlar üzerinde deneyler gerçekleştirilen açık kaynak kodlu simülasyon arayüzüdür. Geliştirilen yazılımlar Gazebo simülasyon ortamında görevler için senaryo benzetimi yapılarak denenmekte ve Rviz görselleştirme araçlarıyla analiz edilmektedir.

Robotun yol takip algoritmasında sistem modellemesi MATLAB Simulink ortamında yapılmıştır. Benzer şekilde PID kontrolcüsünün parametreleri Simulink arayüzü üzerinden ayarlanarak sistem çıkış sinyali gözlemlenmektedir.

Aracın harekete geçmesini sağlayan yardımcı kontrol birimi olan stm32 anakartı üzerindeki yazılımlar zengin sensör kütüphanesine sahip C++ programlama dili üzerinde fonksiyon tabanlı olarak “class” yapısında geliştirilmektedir.

4.4 Dış Arayüzler

Aracın görev senaryosunun oluşturulması ve araç sensör verilerinin anlık olarak takibi için kullanılacak olan kullanıcı arayüzüdür. Araç için özel olarak programlanan bu arayüz, bilgisayar üzerinde çalışacaktır. Aşağıda arayüz sisteminin ekran görüntü verilmiştir.



Şekil 67 Ana Ekran Görüntüsü

Geliştirilen arayüz programı, AGV aracının SLAM haritasını, sensör bilgilerini, sistem durumunu ve aracın görev döngüsünü göstermektedir. Windows işletim sistemleri üzerinde çalışan bu arayüz programı Google firmasının geliştirmekte olduğu Dart-Flutter programlama dilinde geliştirilmiştir. Flutter, çok hızlı bir şekilde estetik arayüzlerin geliştirilmesine imkân vermekte ve tek kod sistemi ile mobil ve masaüstü platformlarda uygulamaların çalıştırılmasını sağlamaktadır. Arayüzün, robot ile haberleşmesi için Dart programlama dilinin TCP kütüphanesi kullanılmıştır. Flutter ve TCP yapılarını kullanarak yazılan kodların anlaşılır ve geliştirmeye açık olması için MVVM mimarisi kullanılmıştır. Bu mimari Model-View dosya yapısını sağlamaktadır. Bu dosya yapısında Model katmanında TCP haberleşmesi gerçekleştirilmektedir. View Model katmanında ekranda gösterilen verilerin yapıları ve fonksiyonları tutulmaktadır. View katmanında ise arayüz programında gösterilen ve kullanıcının görmekte olduğu görsel öğeler bulunmaktadır.

Üst Panel

Arayüz programının üst barında araca bağlanabilmek için bir araç seçim port listesi bulunmaktadır. Ayrıca gösterge paneli, log kayıtları ve ayarlar sayfalarına bu bölümden geçilmektedir. Barın sağ tarafında bulunan bağlantı durumu yazısının durumu ile araç ile bağlantı denetlenebilecektir.

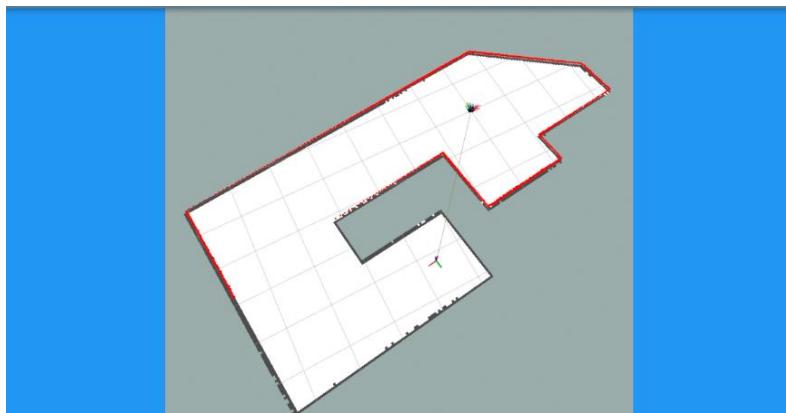


Şekil 68 Arayüz Üst Bar

Harita Paneli

Kullanıcı arayüzünün harita bölümünde aracın LIDAR vasıtası ile oluşturulmuş Slam haritası görülecektir. Bu harita aracın LIDAR verilerinin her yenilenmesi ile gerçek zamanlı bir şekilde

güçellenecektir. Ayrıca harita bölümü içerisinde yük alma-bırakma, engel, QR kod noktaları gösterilecektir.



Şekil 69 Harita Paneli

İkaz Paneli

Aracın sensör verilerinin takip edilebileceği bölümüdür. Bölüm içerisinde okunan Qr Kod etiketleri son okunan değerden başlamaz üzere sıralanmaktadır. Aracın sıcaklık durumu, hızı ve çalışması süresi gibi değerlerde burada gösterilecektir.



Şekil 70 İkaz Paneli

Görev Paneli

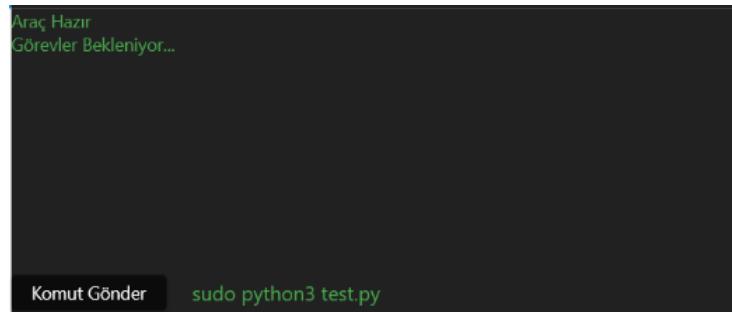
Aracın yarışma alanındaki rotası ve görev senaryo bilgileri bu alanda kurgulanacaktır. Kullanıcı bu panelde “görev ekle” butonu ile senaryo adımlara ekleyebilecektir. Eklediği bu adımların gidilecek konum ve gerçekleştirilecek görev durumlarını belirterek aracın senaryosunu kurgulayacaktır. “Görevleri Başlat” komutu ile birlikte araç kurgulanan senaryoyu gerçekleştirmeye başlayacaktır ve anlık olarak gerçekleşen görevler panelde gerçek zamanlı olarak gösterilecektir.

| Görev Ekle | Gidilecek Konum | Geçerlilik Tarihi | Görevleri Başlat |
|------------|-----------------|-------------------|--------------------------|
| 0 | A Bölgesi | Yük Al | Görev Başarılı |
| 1 | B Bölgesi | Yük Bırak | Görev Gerçekleştiriliyor |

Şekil 71 Görev Atama Paneli

Terminal Paneli

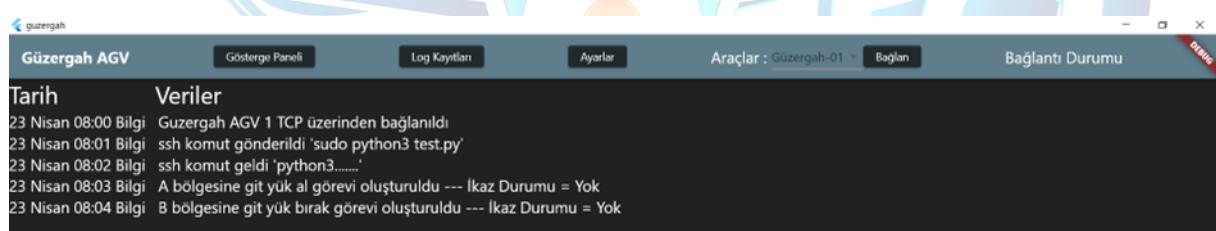
Jetson Xaiver bilgisayarına aracın gerçekleştireceği senaryolar dışında müdahale etmek gerekebilecektir. Bu durumda ayrı bir programdan Jetson Xaiver'a bağlanma durumunu gerektirmemek için geliştireceğimiz kullanıcı arayüzü bir SSH paneli yerlestireceğiz. Bu sayede Linux terminalinin komutlarını kullanıcı arayüzümüzden Jetson bilgisayarına iletebileceğiz.



Şekil 72 Arayüz Terminali

Log Kayıtları Sayfası

Bu sayfada aracın tüm zamanlarda gerçekleştirdiği senaryoların, hata durumlarının, arayüzde yapılan işlemlerin kayıtları veri tabanında tutulacaktır. Bu kayıtlar kullanıcıya PDF çıktısı olarak verilebilecektir.



Şekil 73 Log Sayfası

5. Güvenlik

Otonom sistemlerde, güvenlik önemli bir konudur ve aracımızda potansiyel tehlikeleri önlemek için çeşitli güvenlik tedbirleri alınmıştır. Bu tedbirler kapsamında araç tasarıımı sırasında güvenlik prensiplerine uygun olarak uygulanmıştır. Aşağıda alınan tedbirlerden bahsedilecektir.

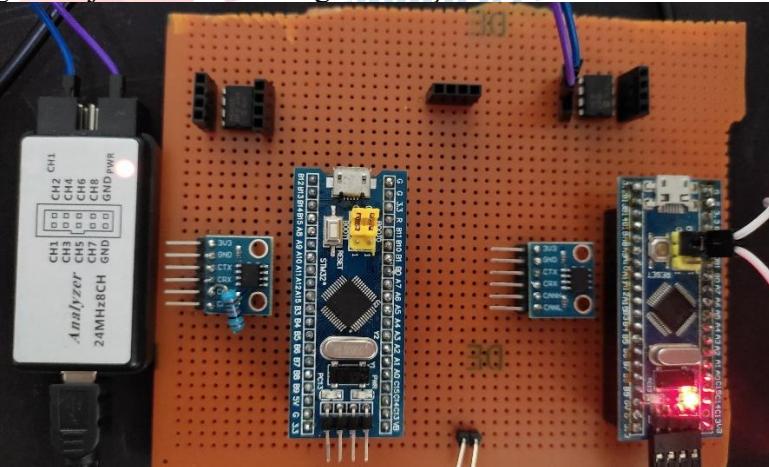
- **Devre Kesici Sigorta:** Olası aşırı güç durumlarına karşı bıçak sigorta kullanılacaktır. Örneğin motor gibi kaynaktan yüksek akım çekilebilecek elemanlara karşı, sigorta devreye seri bağlanarak aşırı yüklenme hali önlenecek ve tüm devre elemanları korunacaktır.
- **İç Sıcaklık:** Özellikle ısınma ihtiyalî yüksek olan motor gibi bileşenler üzerine sıcaklık sensörü entegre edilmiştir. Bu sayede motorlarda oluşabilecek sorunların sonucu olan

ısınmayı denetleyerek, yazılımın sistemi durdurması ve fabrika çalışanlarını uyarması sağlanacaktır.

- İkaz Sistemi: Otonom sürüş esnasında algılanan engeller için ikaz sistemimiz devreye girmektedir. Sistem içinde RGB şerit LED takımı ve buzzer ses modülü bulunmaktadır. Engel ile karşılaşılması durumunda kırmızı LED ışıkları ve tehlike sesi ile uyarı sağlanır. Güvenli sürüste ise aracın üzerindeki yeşil ışıkların yanıp sönmesi sağlanmaktadır.
- Uyarı Levhaları: Aracın dış tarafına eklenecek olan dikkat çeken yapıda fosforlu levha etiketleriyle, uyarı ve yönlendirmenin oluşturulması sağlanacaktır.
- Acil Durum Butonu: Araç üzerinde kolay ulaşılabilir noktada bulunacak olan butona basıldığı anda aracın tüm gücü kesilecektir.
- Sonsuz Dişli Motor: Sonsuz dişli motorlar tekerlerin boşta dönmesini engelleyecektir. Bu durum aracın dışardan gelen kuvvetler ile hareket almasını engelleyecektir.
- Araç Tasarımı: Tahrik tekerleri aracın içinde konumlandırılarak dış müdahalelerden korunacaktır.

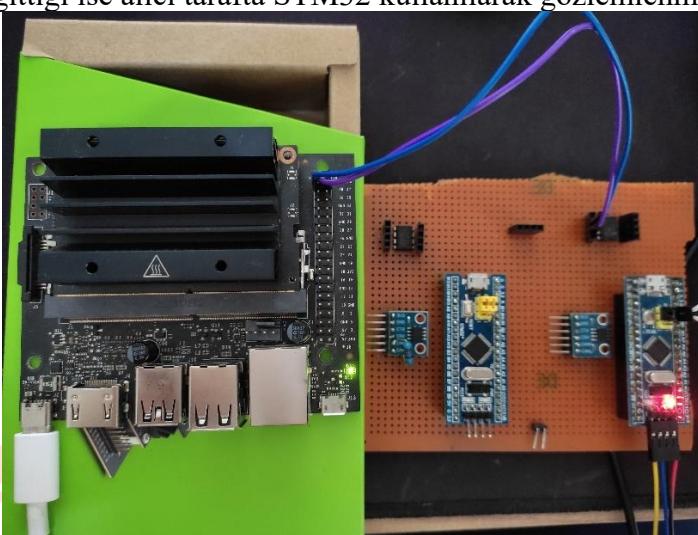
6. Test

Geliştirmekte olduğumuz araç için belli testler plandık ve bunları gerçekleştirdik. Okulumuzun atölyelerinde bulunan malzemeler ile gerçekleştirdiğimiz elektronik, mekanik ve yazılım testleri ile aracın bütçesi oluştuktan sonra hızlı bir şekilde aracın tamamlanması amaçlanmıştır. Aşağıdaki tablolarda gerçekleştirdiğimiz testlerin test numaraları, test adları, kullanılan malzemeler ve test süreci görülmektedir.

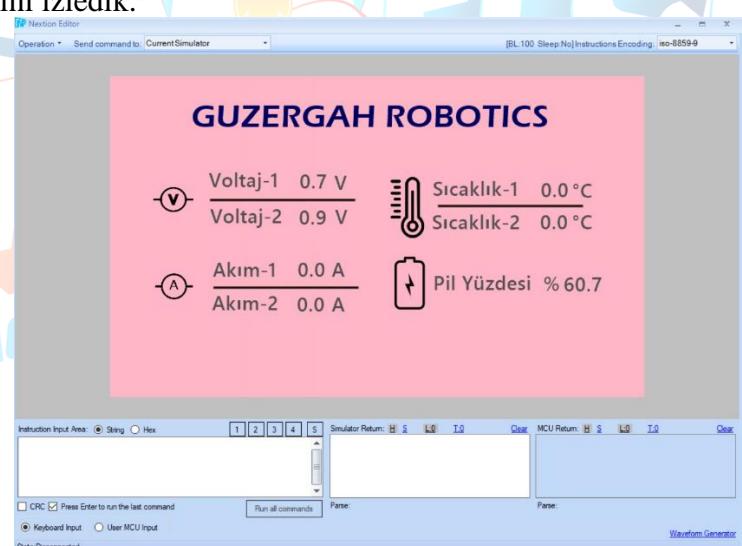
| | |
|---------------------|--|
| Test No: 1 | STM32 Can Haberleşme Testi |
| Malzemeler | 2 Adet STM32F103C8 Mikrodenetleyicisi Lojik Analizör 2 Adet MCP2551 Can Modülü St-link Debugger |
| Test Aşaması | <p>STM32 mikrodenetleyicilerinin MCP2551 Can modülleri ile aralarındaki haberleşme test edilmiştir. Bu haberleşme de STM32'den Can modüllerine verinin gittiği St-Link debugger ile doğrulanmıştır. Can hattına verilerin iletiliği de lojik analizör ile doğrulanmıştır.</p>  |

| | |
|-------------------|---|
| Test No: 2 | Jetson Nano Can Haberleşme Testi |
| Malzemeler | Jetson Nano Bilgisayarı STM32F103C8T6 Mikrodenetleyicisi |

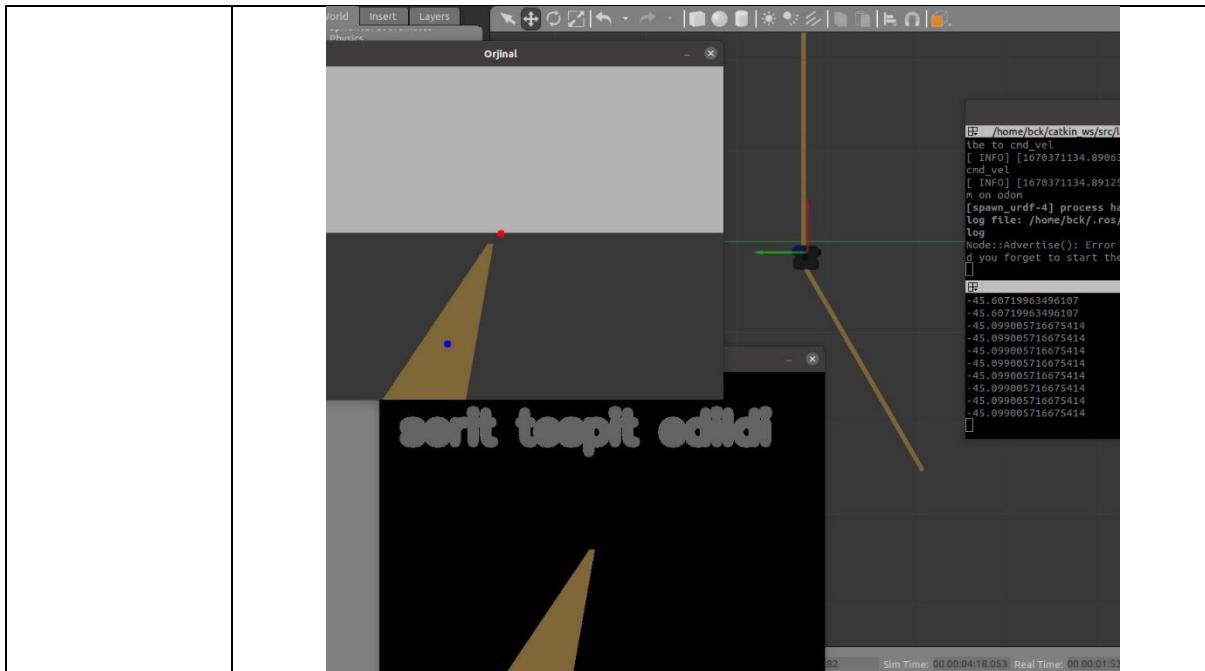
| | |
|---------------------|---|
| | MCP2551 Can Modülü |
| Test Aşaması | Jetson Nano ile MCP2551 arasındaki haberleşme lojik analizör ile test edilmiş ve haberleşmenin başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Can hattına verilerin gittiği ise alıcı tarafta STM32 kullanılarak gözlemlenmiştir. |



| | |
|---------------------|--|
| Test No: 3 | Nextion Ekran Simülasyonu |
| Malzemeler | Arduino Uno |
| Test Aşaması | Elimizde Nextion ekran bulunmasa da Nextion Editör programı bizlere kendisini Nextion ekran olarak taklit edip mikrodenetleyicilerden gelen verileri Com Port üzerinden okuyabiliyor. Bu simülasyona Arduino Uno üzerinden USART protokolü ile veri gönderdik ve ekranın simülasyon tepkilerini izledik. |



| | |
|---------------------|---|
| Test No: 4 | Şerit Takip Simülasyonu |
| Malzemeler | Linux Gazebo Ortamı |
| Test Aşaması | Gazebo simülasyon ortamında şerit takip algoritması test edilmiştir. Aracın çizgiden kaçmalarına göre açı değerlerini düzgün bir şekilde verdiği gözlemlenmiştir. |



Elektronik birimi olarak bütçe temininden sonra üretecek olduğumuz PCB'lerin testlerin gerçekleştirileceğiz.

Araç üretilene kadar geçen süreçte diferansiyel sürüs sistemini harici bir modelde test edilecektir.

7. Tecrübe

Teknofest 2022 Sanayide Dijital Teknolojiler Yarışması'nda finalde bulunarak yapılan çalışmaları gözleme fırsatı edindik. Bu gözlemlerden ve çalışmalarımız esnasında oluşan sorunlardan yola çıkarak bulduğumuz çözümleri bu seneki yarışma sürecinde dikkate aldık.

Tespit edilen mekanik ve elektronik tasarım yetersizlikleri, proje süreci sırasında giderilerek tecrübe kazanılmıştır. Özellikle mekanik tasarımda, zorlanma durumları, sürtünmeler ve olumsuz ortam koşulları göz önünde bulundurularak tasarımda bazı revizyonlar yapılmıştır. Aracın yol tutuşunun zemin bozukluklarından etkilenmemesi için, avare tekerlere süspansiyon modifikasyonu yapılmış ve bu işlemin yol tutuş performansını artttığı deneyimlenmiştir.

Elektronik sistem tamamen test edilerek tasarıma dahil edilmiştir. Performans öncesi çalışmalar ve sensörlerden alınan düşük doğruluk oranına sahip veriler, elektronik birimimize çok önemli bir tecrübe kazandırmıştır. Bu sayede, yeni donanım kriterleri belirlenmiş ve bileşenler yenilenmiştir. Bunun yanı sıra, bu problemler takım çalışmasıyla birlikte çözüme ulaştırılmıştır.

Sistemde tek bir kontrol kartı yerine, görevlerin birden fazla modüle dağıtılması sağlanmıştır. Bu sayede kontrol kartı sayısının artırılması deneyi yapılmış ve başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Merkez kontrol kartının Jetson otonom sürüş bilgisayarı ile haberleşebilmesi gerekir. Bunun için ilk olarak UART protokolünü kullanan rosserial haberleşme yöntemi test edilmiştir. Daha sonra SPI haberleşme protokolünü kullanarak MCP2515 entegresi ile CAN haberleşmesi ölçülmüştür. İki yöntemin de kendi aralarında avantajları ve dezavantajları değerlendirilerek hangi yöntemin kullanılacağına testlerin ardından kesin bir karar verilecektir.

8. Zaman Bütçe ve Risk Planlaması

Projemizin gerekli iş parçaları yarışma takvimi süresine uygun olarak planlanmıştır. İş organizasyonu detaylı tasarım, prototipleme ve test olmak üzere aşağıdaki süreçte yayımlanmıştır.

| Ana Paket | Gereksinim | 2022 - 2023 | | | |
|----------------------|-------------------------------|-------------|------|-------|------|
| | | 2022 | Ocak | Şubat | Mart |
| Detaylı Tasarım | Mekanik tasarım | | | | |
| | Elektronik bileşen seçimi | | | | |
| | Algoritma tasarımları | | | | |
| Prototipleme | Üretim ve imalat | | | | |
| | Elektronik Donanım ve Yazılım | | | | |
| Optimizasyon ve Test | Test ve görev denemesi | | | | |
| | İyileştirme çalışması | | | | |
| | Güvenlik kontrolleri | | | | |
| Yarışma | Araç bakımı ve görev | | | | |

Şekil 74 İş – Zaman Tablosu

Projenin gereksinimleri detaylıca düşünülmüş ve gerekli satın alma işlemleri bütçe tablosunda özetlenmiştir. Buna göre aracımızın toplam maliyeti 48531,8 TL'dir.

| Elektronik Komponentler | Birim Fiyatı | Adet | Toplam Fiyat |
|----------------------------|--------------|------|--------------|
| Jetson Xaiver | 16276,92 | 1 | 16276,92 |
| PCB Üretimi | 1200 | 1 | 1200 |
| Enkoder | 348,99 | 2 | 697,98 |
| RP LIDAR A2M8 | 12110,53 | 1 | 12110,53 |
| Nextion Ekran | 1804,57 | 1 | 1804,57 |
| Li-on Batarya + Şarj Aleti | 4500 | 1 | 4500 |
| Pi V2 Kamera | 698,23 | 1 | 698,23 |
| Wifi Adaptörü | 253,67 | 2 | 507,34 |
| STM32F103C8T6 Blue Pil | 132,04 | 5 | 660,2 |
| MCP2551 (CAN Modülü) | 60,52 | 5 | 302,6 |
| BTS7960B 20A Motor Sürücü | 134,1 | 3 | 402,3 |
| XL4005 Voltaj Regülatör | 38,97 | 4 | 155,88 |

| | | | |
|--------------------------|--------|---|--------|
| MPU9250 IMU | 220,52 | 1 | 220,52 |
| PT100 Isı Sensörü | 27,51 | 3 | 82,53 |
| WS2812B Led | 486,28 | 1 | 100 |
| Buzzer | 80,83 | 1 | 80,83 |
| ACS712 Akım Sensörü | 42,91 | 3 | 128,73 |
| Devre Kesici Düğme | 119,51 | 1 | 119,51 |
| Bıçak Sigorta | 50 | 1 | 50 |
| 12AWG Kablo | 68,26 | 5 | 341,3 |
| 6 AWG Kablo | 40,57 | 2 | 81,14 |
| CAT6 Kablo | 81 | 1 | 81 |
| Çeşitli Konnektör Takımı | 300 | 1 | 300 |
| 24V DC Motor | 1008 | 3 | 3024 |
| Kaplin | 149,77 | 2 | 299,54 |
| Rulman B | 51,15 | 4 | 204,6 |
| Cıvatalar | 160,99 | 1 | 160,99 |
| Fiber Reçine | 255 | 1 | 255 |
| Avare Tekerler | 127,62 | 4 | 510,48 |
| Tahrik Tekerleri | 373 | 2 | 746 |
| Boyalar | 69,9 | 2 | 139,8 |
| Fiber Elyaf | 45 | 5 | 225 |
| Kriko | 200 | 1 | 200 |
| Alüminyum Levha | 131 | 5 | 655 |
| Kutu Profil | 223 | 5 | 446 |

Şekil 75 Bütçe Tablosu

Risk Planlaması

Yeterli bütçe oluşturulamadığı durumlarda, Jetson Xaiver yerine daha uygun fiyatlı olan Jetson Nano bilgisayarı kullanılacaktır ve modüler olan elektronik sistemde sadeleşmeye

gidilerek tek kartlı bir tasarım yapılacaktır. Bu iki sadeleşme 10000TL'lik bir tasarruf sağlayacaktır.

Aracın dış tasarım ve boyama gibi kozmetik detaylarında sadeleşmeye gidilebilir. Tahrik tekerleri satın alınmayıp atölyelerimizde sıfırdan üretilebilir.

9. Özgünlük

Projede endüstriyel şartlar ve yarışma kriterleri göz önünde bulundurularak özgün ve işlevsel bir tasarım çalışması yapılmıştır.

Aracın elektronik sistemi, motor, lift, uyarı ve güç birimleri olmak üzere birimlere ayrılmıştır. Bu modülerleştirme devre kartı tasarımları ve programlanması aşamasında gelişim kolaylığı sağlayacaktır. Bu kartlarda güç verimliliğini gözetmek adına anahtarlamalı (SMPS) voltaj regülatörleri kullanılacaktır. Bu kartların birbirleri ile haberleşmesinde CAN haberleşme protokolü kullanılacaktır. Bu yöntem ile haberleşme güvenliği ve hızı artıracaktır. Ayrıca araca ek bir kart eklenmesi durumunda yapılması gereken tek işlem bu kartı CAN hattına bağlamak olacaktır. Bu durum aracı gelişime açık tutacaktır. Geliştirilen bu kartlardan raporun [4.3.1](#) numaralı bölümünde detaylıca bahsedilmiştir.

Aracın zemindeki pürüzlerden kaynaklı titreşimlerini engellemek için avare tekerlerde yaylı bir mekanizma kullanılacaktır. Yük mekanizmasında düşük maliyet ile yüksek performans alınabilmesi için motorlu makas kriko sistemi kullanılacaktır.

Tüm araç aksiyonları birimlere ayrılarak Robotik İşletim Sistemi'nin sağlamış olduğu yapılar ile özel yazılım mimarileri oluşturulmuştur.

10. Yerlilik

Yarışmanın çıkış noktası niteliğindeki Milli Teknoloji Hamlesi, tüm çalışma boyunca benimsenmiş ve yerli olanaklar aracın ortaya çıkarılmasında öncelikli tercih nedenlerinden olmuştur. Aracın yapım aşamasında kullanılacak olan tüm ekipmanlar detaylı olarak incelemiş olup kullanılabılırlik ve maliyet açısından uygunluk göz önünde bulundurularak seçim yapılmıştır. Seçilen bu ekipmanların teminlerinde olabildiğince yerli şirketlere yönelik böylesce ekibin kendisini geliştirmesinin yanı sıra ülke ekonomisine de destek olunması amaçlanmıştır. Ekipman seçiminde izlenen bu yerliliğe bağlılık, aracın üretilmesi esnasında da uygulanacaktır.

Mekanik parçaların (Alüminyum bloklar, reçine, boyası vs.) temininde yerli firmalar öncelikli olarak tercih edilecektir. Bu parçaların montajları, okulumuzun Teknoloji Yarışmaları Koordinatörlüğü atölyelerinde mekanik birimi tarafından yapılacaktır.

Aracımız baryası yerli bir firma olan Go Battery firması tarafından aracımızın isterlerine göre özel olarak üretilicektir. Aracın elektronik kısmının en önemli parçalarını oluşturulan motor, lift ve uyarı birimlerinin devre kartları (PCB) olarak üretilmeleri ekibin anlaştığı yerli firma tarafından gerçekleştirilecek ve kartların dizgileri okulumuzun atölyelerinde yapılacaktır. Bu kartların kontrolleri ve programlanması tamamı takımın yazılımı ekibi tarafından yapılacaktır. Böylece devre kartlarının tasarımından üretimine ve programlanmasına kadar olan bütün aşamalarda yüksek oranda yerlilik görülecektir.

Aracın otonom, gömülü sistem ve kullanıcı arayüzü yazılımları, yazılım birimimiz tarafından geliştirilecektir. Türkçe bir kaynak oluşturmak adına projenin yazılımları ve tasarımları açık kaynak şeklinde Github platformu üzerinden paylaşılacaktır.

11. Kaynakça

- [1] www.researchandmarkets.com/reports/5398204/agv-automated-guided-vehicles-and-amr
- [2] https://www.powerstream.com/Wire_Size.htm
- [3] <https://wolles-elektronikkiste.de/en/acs712-current-sensor-2>
- [4] <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812B.pdf>
- [5] Çelik, O. M. (2019). Lazer mesafe ölçer ile otonom mobil robotlar için navigasyon planlaması (Master's thesis).
- [6] YAYAN Uğur vd., ROS ile Robot Programlama (Robot İşletim Sistemi), Seçkin Yayıncılık, Ankara 2020.
- [7] Büyükkelek, A. F., Yusefi, A., Dağadası, M., Türkmenoğlu, Y. & Durdu, A. (2020). DJI Tello ile ROS Tabanlı Haritalandıma Simülasyonu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (Özel Sayı), 504-508.).
- [8] A. TOPAL and T. YİĞİT, “İNSANSIZ Kara Araçları İçin LidaTeknolojisi Kullanılarak 3B OrtamHaritalamSistemi,” Int. J. 3D Print. Technol. Digit. Ind., vol. 5, no. 2, pp. 171–186, 2021, doi: 10.46519/ij3dptdi.960555.
- [9] Jiménez, A. C., Anzola, J. P., García-Díaz, V., González Crespo, R., & Zhao, L. (2020). PyDSLRep: A domain-specific language for robotic simulation in V-Rep. Plos one, 15(7), e0235271.
- [10] M. N. DEMİR and Y. ALTUN, “Otonom Araçla Genetik Algoritma Kullanılarak Haritalama ve Lokasyon,” Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg., no. January, pp. 654–666, 2020, doi: 10.29130/dubited.640063.
- [11] Q. H. Nguyen, P. Johnson, and D. Latham, “Performance evaluation of ROS-based SLAM algorithms for handheld indoor mapping and tracking systems,” IEEE Sens. J., vol. XX, no. Xx, pp. 1–9, 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3224224.
- [12] E. M. Erturan and M. Ulusoy, “EasyChair Preprint A New Measurement Method in Survey Studies : Slam Applications with the Help of LIDAR Sensor Rölöve Çalışmalarında Yeni Bir Ölçme Yöntemi : LIDAR Sensör Yardımıyla SLAM Uygulamaları,” 2022.