TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

TARIMSAL İNSANSIZ KARA ARAÇLARI

YARIŞMASI

KRİTİK TASARIM RAPORU ŞABLONU

TAKIM ADI

GERGEDAN

PROJE ADI

GERGEDAN İKA

BAŞVURU ID

70406

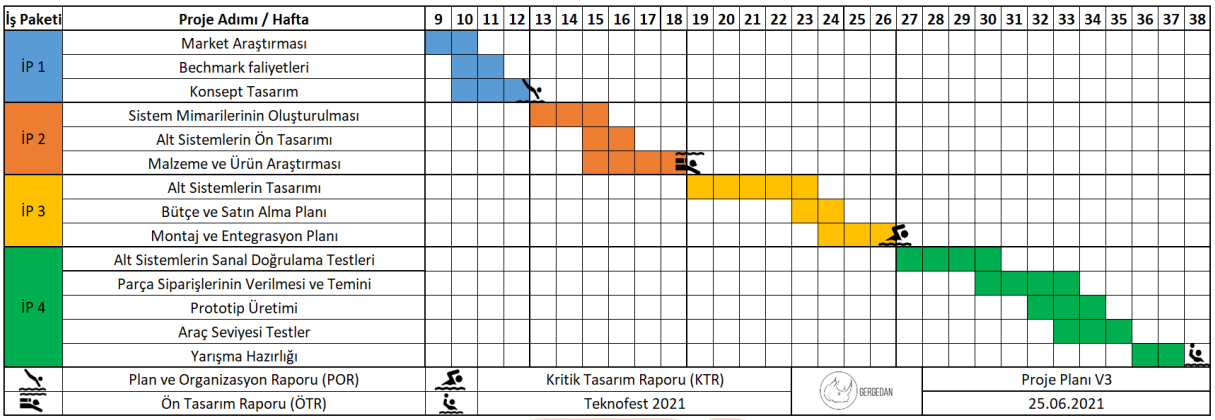
İÇERİK

1. Takım Organizasyonu ... 3
1.1. Gergedan Takımı ve Organizasyon Şeması ... 3
1.2. Takım Üyeleri ... 3
2. Ön Tasarım Raporu Değerlendirmesi ... 3
2.1. Proje Planı ve Değişiklikler ... 3
2.2. Maliyet ve BOM Planı ... 4
3. Araç Özellikleri ... 5
3.1. Mekanik ... 5
3.1.1. Mekanik Tasarım ... 5
3.1.2. Bağlantı Elemanları ... 5
3.1.3. Teknik Veriler ... 6
3.2. Yazılım ... 7
3.3. EE Sistem ... 8
3.4 Yürüyüş Sistemi ... 10
4. Sensörler ... 12
4.1. Stereo Kamera ... 12
4.2. Monokülar Kamera (Ot İmha Kamerası) ... 13
4.3. Mesafe Sensörü ... 13
4.4 Motor Encoder ... 14
4.5. Filtreler ve Sensör Füzyon Algoritmaları ... 14
5. Araç Kontrol Ünitesi ... 15
5.1. Araç Kontrol Ünitesi ve Kablosuz Haberleşme ... 15
5.2. Araç Kontrol Yazılımı ... 15
6. Otonom Sürüş Algoritmaları ... 16
6.1. Algılama ... 16
6.1.1 Yabani Ot Tanıma ... 16
6.1.2 Sıra (Karık) Tanıma ... 18
6.1.3 Engel Tanıma ... 18
6.2. SLAM ... 19
6.3. Yol Bulma ... 20
7. Özgün Bileşenler ... 20
7.1. Değiştirilebilir Batarya ... 20
7.2. Ot İmha Sistemi ... 22
7.2.1. Ot İmha Sisteminin Mekatronik Tasarımı ... 22
7.2.2. Hassas Pozisyon Kontrolü ... 23
7.2.3. Teknik Veriler ... 24
7.3. Big Data ... 25
8. Güvenlik Önlemleri ... 26
9. Simülasyon ve Test ... 27
9.1. Test ... 27
9.2. Simülasyon ... 28
9.3. Yapılacaklar ... 28
10. Referanslar ... 29

1. Takım Organizasyonu

1.1. Gergedan Takımı ve Organizasyon Şeması

Gergedan, 2021 yılında üyelerinin otonom teknolojilere olan ilgisini araç yapma tecrübeleriyle birleştirme amacıyla kurulmuş olup, 1 akademik personel olmak üzere toplamda 5 üyeden oluşmaktadır. Tüm takım üyelerine yetkinliklerine uygun sorumluluklar tanımlanmıştır.



Tablo 1. Gantt Çizelgesi.

İP1'de şekillenmiş olan konsept tasarımda gerekli revizyonlar yapılarak, motor tasarımı, yürüyüş sistemi, ot ihma mekanizması, elektronik tasarım, haberleşme sistemi, enerji ve güç planlaması, yazılım ve veri akışı mimarisi gibi alt sistemlerin ön tasarımları tamamlanarak detaylandırılmaya başlanılmıştır. Aynı zamanda malzeme ve ürün araştırması tamamlanarak, İP3'de yer alan bütçe ve satın alma planlarının altyapısı oluşturulmuştur. Bu çalışmalar 2. İş paketini, aynı zamanda ön tasarım raporunun temelini oluşturmuştur.

İP3'de, ön tasarımları yapılmış alt sistemlerin tasarımları tamamlanmıştır. Ardından bütçe ve satın alma planları, bu planlara paralel olarak da montaj ve entegrasyon planları yapılmıştır.

İP3 tamamlanırken, ortaya çıkan problemleri çözebilmek ve bazı alt sistemlerde maliyet azaltma çalışmalarını desteklemek için bir takım revizyonlar yapılmıştır:

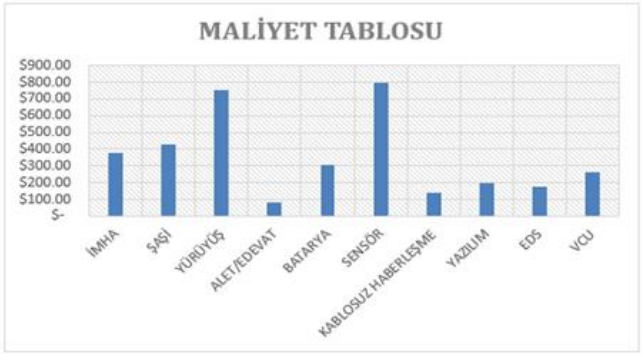
- Aracın bir özelliği olan ayarlanabilir iz genişliği mekanizması, yarışma kuralları değerlendirilerek, aynı zamanda maliyet azaltma çalışmaları kapsamında iptal edilmiştir. Standart karık aralıklarına göre araç iz genişliği optimize edilmiştir.
- Hassas hız kontrolü ihtiyacını karşılamak amacıyla motor sürücüleri eklenmiştir.
- 3. İş paketinde yer alan alt sistem sanal doğrulama maddesi, 4. İş paketine aktarılmıştır.
- Araç boyutları, yarışma kurallarına uygun şekilde revize edilmiştir.
- Yapılan değerlendirmeler sonucu sistem karmaşıklığını ve araç maliyetini azaltmak amacıyla ot imha sisteminin 12VDC gerilim seviyesinde çalışması kararı alınmıştır. Böylece araç üzerinde 2 farklı gerilim seviyesi olacaktır.

2.2. Maliyet ve BOM Planı

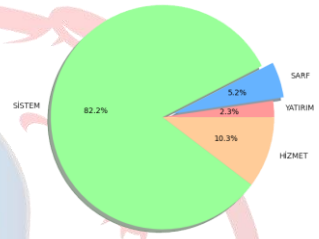
Araçta kullanılacak malzemelerin sipariş takibinin yapılabilmesi için BOM (Bill of Material) listesi oluşturulmuştur. Kullanılacağı sistem, malzeme çeşidi, temin süresi, ve tedarikçi ve maliyet başlıkları altında malzemeler sınıflandırılmıştır. Piyasa araştırması yapıldıktan sonra, prototip sürecinde oluşabilecek tüm masraflar BOM'a dahil edilmiştir. Aracın tasarımı için kritik önem arz eden sistemlerin siparişi verilmiştir. Araçta kullanılacak tüm malzemelerin temini 4 hafta içerisinde gerçekleştirilecektir.

Toplam maliyet, sistemlere ne kadar harcanacağı, malzeme cinslerinin yüzdesel paydası görselleştirilmiş şekilde sunulmuştur. Mali destek talebi aşamasında detaylı BOM listesi paylaşılacak olup, malzemelere ilişkin maliyet azaltma çalışmasının bu aşamada yapılması öngörülmektedir.

SİSTEMLER	
SİSTEM	FİYAT
İMHA	$ 379.00
ŞASİ	$ 427.00
YÜRÜYÜŞ	$ 750.00
ALET/EDEVAT	$ 82.00
BATARYA	$ 308.00
SENSÖR	$ 794.00
KABLOSUZ HABERLEŞME	$ 143.00
YAZILIM	$ 198.00
EDS	$ 179.00
VCU	$ 261.00
TOPLAM	$3,521.00



MALZEME CİNSİ	
CİNS	FİYAT
YATIRIM	$ 82.00
SARF	$ 183.00
SİSTEM	$2,895.00
HİZMET	$ 364.00



Tablo 2. Maliyet ve Malzeme Cinsine Göre Maliyet Dağılım Tabloları.

3. Araç Özellikleri

3.1. Mekanik

3.1.1. Mekanik Tasarım

Gergedan İKA'da ot imha mekanizması ve arazi koşullarının oluşturduğu dinamik yüklere karşı yüksek mukavemet ve rijitlik özellikleri beklenmektedir. Aynı zamanda hafiflik gereksinimi de düşük enerji tüketimi ve uzun menzilli kullanımlar için ön plana çıkmaktadır. Kullanılan konstrüksiyon malzemelerinin modüler olması ise aranan bir diğer özellik olup, proje ilerlerken sistem üzerinde yapılması mümkün olan revizyonlara ve yüksek montaj kolaylığına olanak sağlamaktadır. Bahsedilen kriterleri sağlaması amacıyla ana konstrüksiyon malzemesi olarak 8 kanallı 40x40 alüminyum ağır sigma profil kullanılmıştır. Profillerin yüzeyinin eloksal kaplı olması sayesinde yüksek korozyon ve aşınma direncine sahiptir.

Konstrüksiyon Malzemesi	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (Brinell)
Al6063 T5	190	215	10	67

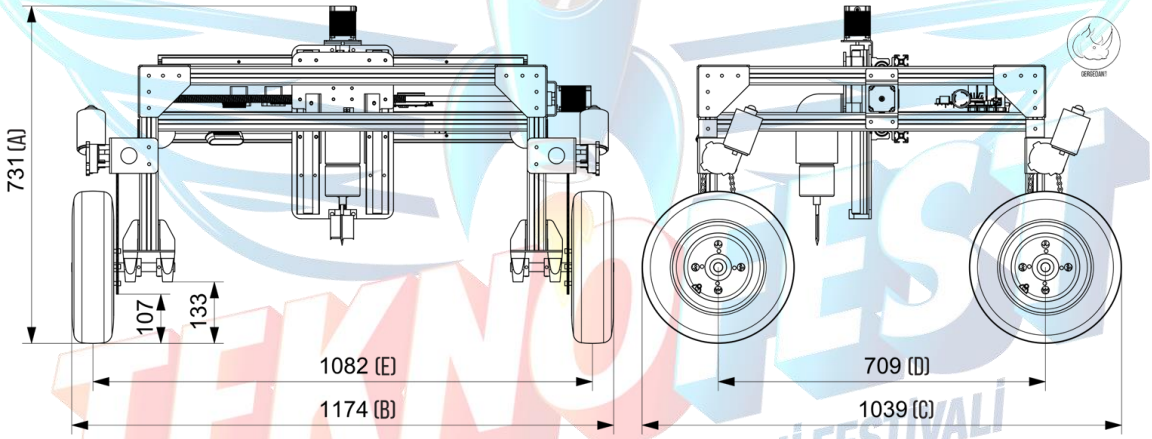
Tablo 3. Konstrüksiyon Malzemesi ve Özellikleri. [1]

3.1.2. Bağlantı Elemanları

Profil bağlantı elemanı olarak, alüminyum sigma profil köşe bağlantıları ve rijitliği arttırmak amacıyla çelik saclardan özel tasarım destek bağlantıları kullanılmıştır. Bağlantı ekipmanı olarak çoğunlukla, tırtıllı yapısı sayesinde sigma profilin iç yüzeyine temas ederek kaymayı ve gevşemeyi engellemesi özelliğinden dolayı, tırtıllı somun ve civatalar kullanılmıştır. Bazı çelik malzemeli ve birden fazla parçadan oluşan bağlantı braketlerinde sökülemez bir bağlantı türü olan kaynak kullanılmıştır.

Şekil 2. Gergedan V1 İKA Yapısı.

3.1.3. Teknik Veriler

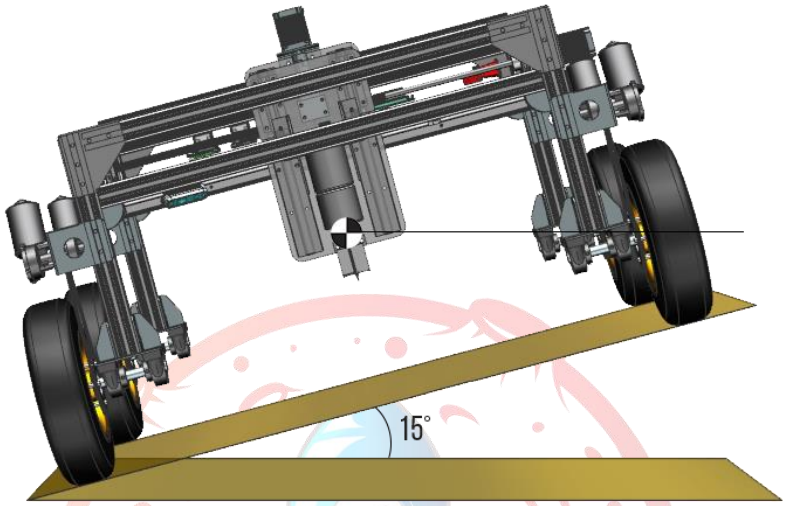


Şekil 3. Yapısal Teknik Veriler.

Model Adı	Gergedan V1
Kategori	Tarımsal İnsansız Kara Aracı
Yükseklik (A)	731 mm
Genişlik (B)	1174 mm
Uzunluk (C)	1039 mm
Dingil Mesafesi (D)	709 mm
İz Genişliği (E)	1082 mm
Tekerlekler	Ø 356 mm, Max. Taşıma Kapasitesi (1 Adet): 130 kg
Lastikler	350x7 Havalı Lastik
Jantlar	Rulmanlı, İç Çap: Ø 20 mm, Malzeme: Çelik Sac

Tablo 4. Yapısal Teknik Veriler Tablosu.

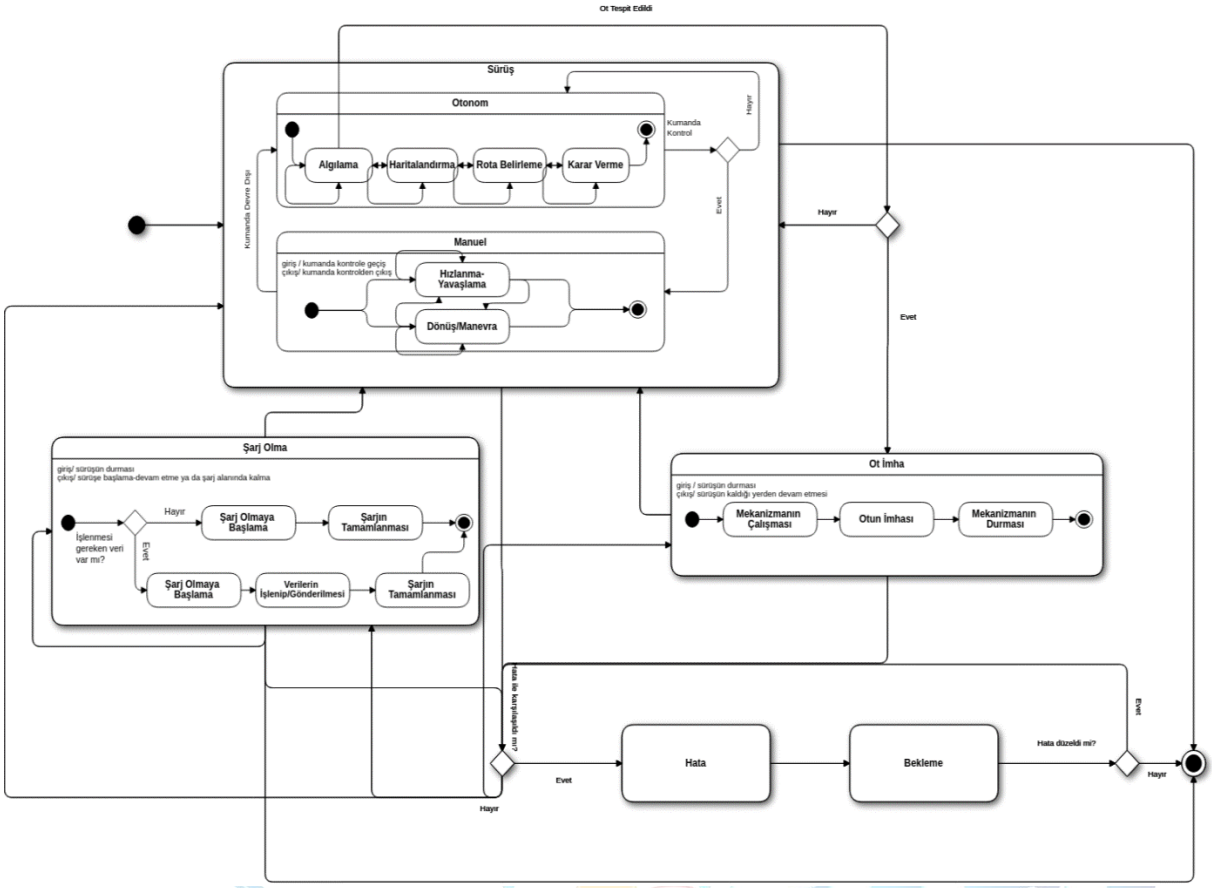
Aracın ağırlık merkezi, 15° yanal eğimde çalışmasını sağlayacak şekilde optimize edilmiştir. (Şekil 4.)



Şekil 4. 15° Yan Eğimde Çalışabilmeye Uygun Ağırlık Merkezi.

3.2. Yazılım

Aracın yazılımı ROS ve ISAAC SDK üzerinde oluşturulan modüler codelet (kodcuk) düğümleri ile hazırlanmaktadır. Bu düğümler hata dayanımı yüksek olması ve kolayca ölçeklenebiliyor olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu dayanımın sebebi ise yazılım düğümlerinin birbirinden izole ve birbirine minimum bağımlılıkla tasarlanmasından dolayıdır. Yazılım iki ayrı platform üstünde koşturulmaktadır. Araç kontol ünitesi yazılımları Raspberry Pi 4 ve Jetson Nano 4 Gb geliştirici kartlarının üzerinde dağıtık olarak tasarlanmıştır. Bu modüler olarak hata dayanımı yüksek düğümlerin donanımsal olarak da desteklenmesini sağlayacaktır. İki ayrı platformun birbiriyle haberleşmesi ise NVIDIA'nın resmi "ros_isaac_bridge" düğümüyle sağlanacaktır. Bu düğüm ROS düğümleri ve ISAAC modülleri arasındaki mesaj ve veri paylaşımını kolaylaştırmaktadır. Filtreler, sensör füzyon işlemleri, mikroişlemci yönetimi ile modem işlemleri gibi CPU ağırlıklı işlemler Raspberry işlemcisi üstünde koşarken, görüntü işleme odaklı GPU ağırlıklı işler NVIDIA işlemcisi üstünde koşacaktır. Araç yazılımının temel fonksiyonları ve karar mekanizması aşağıdaki durum makinesi şablonunda görsel olarak özetlenmiştir.

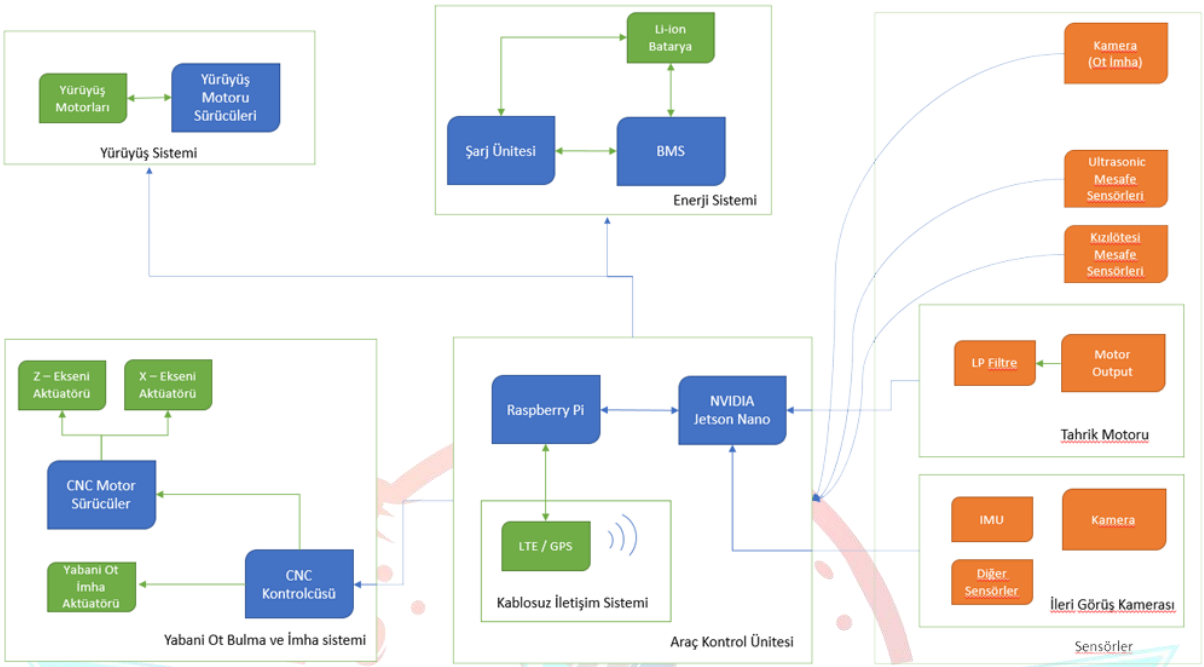


Şekil 5. Algoritma Stateleri.

3.3. EE Sistem

Gergedan İKA'nın elektrik/elektronik sistem mimarisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Burada aracın kontrolü araç kontrol ünitesi aracılığı ile sağlanacaktır. BMS, ot imha, motor sürücü gibi alt sistem kontrolcüleri araç kontrol ünitesinden gelen mesajlara göre kontrol edilecektir. Otonom sürüş için kullanılacak sensör verileri doğrudan araç kontrol ünitesine bağlı olup, alt sistemlerle ilişkili sensör verileri alt sistemin kontrolcüsü tarafından işlenecek ve araç kontrol ünitesine aktarılacaktır.

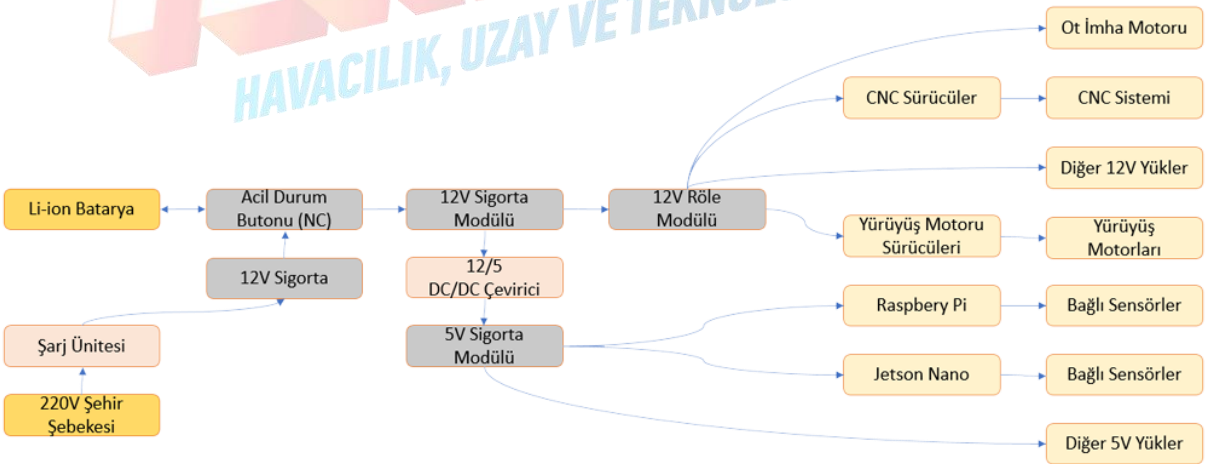
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ



Şekil 6. EE Sistem Diagramı.

Kumanda ile sürüş esnasında sinyaller LTE modülü aracılığı ile doğrudan araç kontrol ünitesine iletilecek, aracın anlık verilerine göre araç kontrol algoritması aracı hareket ettirecektir. Araca ait performans verileri, çevresel veriler ve hata mesajları yine LTE modülü aracılığı ile uzak sunucuya aktarılacaktır.

Aracın enerji hesapları ve dağıtım sistemine ilişkin detaylı bilgiler ÖTR aşamasında paylaşılmıştır. Aracın güç dağıtım şemasına Şekil 7'den ulaşılabilir. Buna göre; ÖTR raporunda paylaşılan 24 VDC yükler 12 VDC'ye taşınmıştır. Bu değişim güç hesaplamalarında ve aracın performansında önemli bir fark yaratmamakla birlikte; sistem karmaşıklığının azaltılması ve ilave bir DC/DC konverter ihtiyacının ortadan kalkması nedeniyle oluşacak maliyet avantajı gibi faydalar ortaya çıkarmıştır.



Şekil 7. Elektrik Dağıtım Diagramı.

3.4 Yürüyüş Sistemi

Gergedan İKA'da itki gücü; redüktörlü DC motordan, zincir tahrikli sistem ile yataklı rulmanlara montajlanmış tekerleklere aktarılmaktadır. 15:45 çevirme oranına sahip zincir dişliler ile tahrik, tüm tekerleklerden sağlanmaktadır. (Şekil 8)

Şekil 8. Gergedan İKA Tahrik Sistemi.

Gergedan İKA'nın hareketi otomotiv sektöründe kullanılan silecek motorları aracılığı ile sağlanacaktır. Motor güç hesaplamaları ÖTR'de ayrıntılı olarak paylaşılmıştır. Kullanılacak motorların entegre dişli kutusuna sahip, yüksek tork çıktısı üretebilen, maliyet etkin ve kolay temin edilebilir olması tercihte ayırt edici faktör olmuştur.

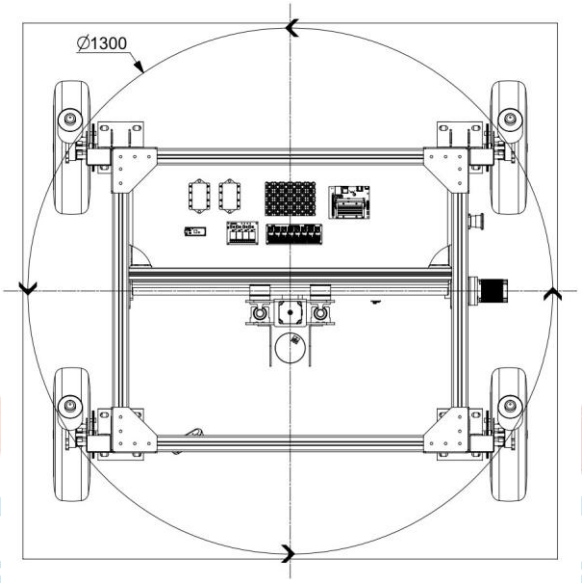
Kullanılan motorlar sonsuz dişliye sahiptirler. Sonsuz dişli çeviren, karşılık dişlisi ise çevrilen olarak kullanılmıştır. Aksi durumda sistemin gücü iletmesi mümkün olmayacağı için mevcut düzende tekerleklerden gelen tepki kuvvetleri motoru döndüremeyecek ve motorlara enerji verilmediğinde frenleme yapacaktır.

Motorların hız kontrolü iki adet sürücü devre yardımıyla sağlanacaktır. Seçilen motor sürücü devresi 2 motoru birbirinden bağımsız olarak besleyebilmektedir. Ayrıca H Bridge yapısı sayesinde motor dönüş yönü rahatlıkla değiştirilebilmektedir. Kontrol yöntemi olarak, fırçalı DC motor kontrol uygulamalarında sıklıkla kullanılan PWM yöntemi kullanılacak olup, sürücü devrenin desteklediği PWM frekansı 100 kHz'dir. Sürücü devre ilave bir soğutucuya ihtiyaç duymadan kanal başına 17 Amper sürekli akım sağlayabilmektedir.

Araç kontrol ünitesi sensor verilerini değerlendirerek, aracın manevra ve tork ihtiyacını tespit edecektir. Bu ihtiyaç doğrultusunda tork talebi motor sürücü devrelerine iletilecektir.

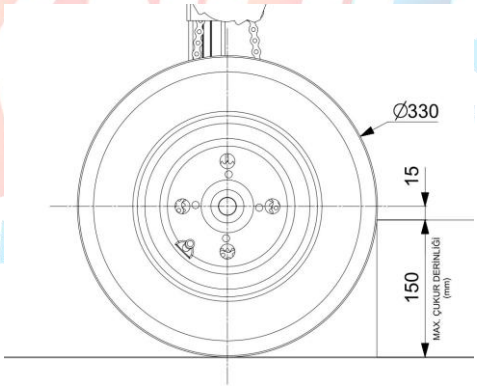
Gergedan İKA, askeri tanklarda kullanılan diferansiyel döndürme sistemine (Differential Steering Method) benzer şekilde manevra yapmaktadır. [2, 3] Bu metot ile 1300 mm'lik dönme çapı ile 360° dönebilmektedir. Bu tasarımın tercih edilmesinde ot imha esnasında yüksek manevra kabiliyeti, karmaşık direksiyon sistemlerinden kaçınmak ve maliyet avantajı sağlamak amaçlanmıştır. Buna göre; aracın sağ ve sol tahrik motorları aynı anda farklı yönlerde

döndürülerek aracın doğrultusunun sağa veya sola çevrilmesi sağlanır. Dönme esnasında tekerleklerin sürüklenmesini azaltmak, motorları verimli şekilde kullanmak ve daha az güç harcamak için bütün tekerlekler aracın dönme ekseni etrafındaki daire üzerinde konumlandırılmıştır. (Şekil 9)



Şekil 9. Gergedan İKA Dönme Ekseni ve Dönüş Çapı.

Arazi koşullarının oluşturduğu yüksek yuvarlanma direnci katsayıları ve yarışma şartnamesindeki teknik isterler bölümünde bulunan çukur boyutları göz önüne alınarak; uygun ebatta, lastik deseninde ve lastik diş derinliğinde tekerlekler seçilmiştir. Yapısal teknik veriler tablosunda tekerlekler hakkında bilgiler verilmiştir. (Tablo 5.)

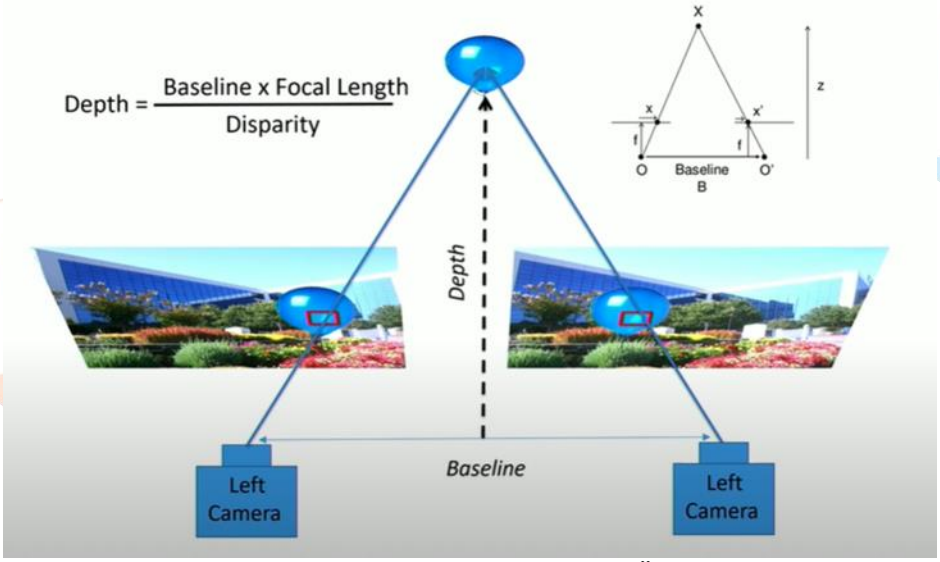


Şekil 10. Maksimum Çukur Derinliği ve Tekerlek Çapı.

4. Sensörler

4.1. Stereo Kamera

Araç üstündeki tüm kritik uygulamalar bilgisayarlı görüye güvenmektedir. Bu sebeple kamera engel tanıma, derinlik bilgisi, otonom sürüş gibi tüm uygulamaların kolayca üstesinden gelebilir olmalıdır. Aynı zamanda seçilen kameranın açık hava robot uygulamalarının zorluğu nedeniyle çevresel dayanıklılığı yüksek olmalıdır. Hem tüm bu sebeplerden dolayı hem de entegre sensörler barındırması, stereo görüşe sahip olması dolayısıyla derinlik bilgisini ölçebilmesi ve pek çok geliştirme ortamına kolayca entegre edilebilir olması nedeniyle kullanılacak kamera olarak Stereolabs firmasının Zed2i adlı modeli seçilmiştir. Kameranın toza ve suya karşı dayanıklı olduğunu gösterir sertifikaya IP66 [9] sahip olması sebebiyle ve (-10) – (+50) derece [10] arasında çalışabiliyor olması aracın görevini sorunsuz bir şekilde tamamlaması için önemlidir. Ayrıca kameranın sahip olduğu polarizasyon filtresi sayesinde yansıma azalmakta böylelikle RGB ve derinlik ölçümlerinin daha iyi ve yüksek çözünürlükle sunulmasını sağlamaktadır. Geniş bir FOV (Field of View) değerine sahip olmasına rağmen 110° (H) x 70° (V) x 120° (D), 0.2-20 m [10] arasında güvenilir değerler verdiğini söylemektedir. Derinlik ile ilgili herhangi bir çözünürlük değeri paylaşılmamıştır. Normalde stereo kameralar Şekil 11'de görüldüğü gibi derinliği ölçmektedirler bu da görüş alanının arttıkça piksel granülütesinin genişleyen alana yayılmasına sebep olur bu durum da birim alandaki çözünürlüğü düşürmektedir. Bu da ölçülen derinliğin mesafesini azaltmaktadır. Ancak Zed2i'de gelen stereo perception verisinin ön eğitimli bir sinir ağından geçerek bu durumu egale ettiği iddia edilmektedir.



Şekil 11. Stereo Kameralarda Derinlik Ölçümü. [11]

Kameranın kendisi için geliştirilmiş özel bir SDK'si ve üstünde özel bir görüntü işleme çipi olması nedeniyle sensör verileri ve görüntü verisi etkin bir şekilde kullanılabilmekte ve gecikme sorunlarının önüne geçilebilmektedir. Bundan dolayı SLAM uygulaması için kritik önemde olan bu sensörün "yer değiştirme algılama sorunu"nu (drifting) minimize etmesi ve tracking kameraya ihtiyaç duymadan bu sorunun üstesinden gelinmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda, kamera, üstünde yer alan IMU, barometre ve magnetometre gibi sensörlerle uzaysal (spatial) algılamayı hızlı ve güvenilir (robust) bir şekilde yapabilmektedir bu da karık (sıra) ve yol

segmentasyonu için kullanılarak sistemin daha güvenilir çalışması sağlanacaktır.

4.2. Monokülar Kamera (Ot İmha Kamerası)

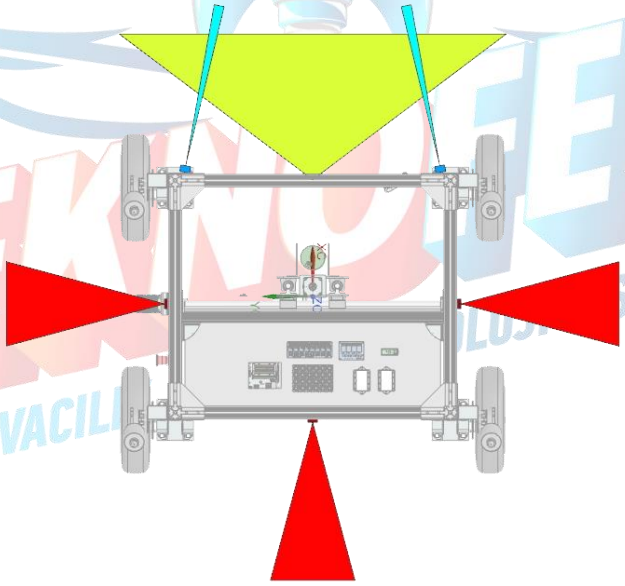
Ot tanıma için stereo kamerayı da kullanıyor olmamıza ragmen, tespit edilen otun yerinin tespiti ve ot imha mekanizmasının otu imha edebilmesi için mekanizmayı yönlendirebilmek adına ikinci bir monokülar kamera kullanma ihtiyacı duyulmuştur. Bu kamera aracın orta bölümüne, aracın altına bakacak şekilde monte edilecektir. Böylece, ot imha düzeneğinin hemen önünde yer alacak ve aracın üstünde gittiği sırayı müdahale için takip edebilecektir.

Kameranın bulunduğu konum ve görevi gereği iki ana sorun tespit edilmiştir. Bu sorunlardan ilki; monokülar kameranın aracın alt kısmına bakıyor olması nedeniyle yeterince ışık alamaması riskidir. Bu dezavantajı berteraf etmek için led flaşı olan bir kamera seçilmiştir. İkinci sorun ise tek bir pin hole kamera kullanılmasından kaynaklanan geometrik görüntü bozulumudur. Bu sorunun önününe geçmek için homografik görüntü işleme yapılacaktır.

Seçilen kamera 8 megapiksel Sony IMX219 imaj sensörüne sahip olup, görüntü işleme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kamerenın çözünürlüğü 3280 × 2464'tür. 77 derece görüş açısına sahiptir, Jetson Nano modülüne entegre edilerek kullanılacaktır.

4.3. Mesafe Sensörü

Araçta 3 adet ultrasonik, 2 adet kızıl ötesi mesafe sensörü bulunmaktadır. Sensörlerin araç üzerindeki yerleşimi ve görüş açıları Şekil 12'de gösterilmiştir.



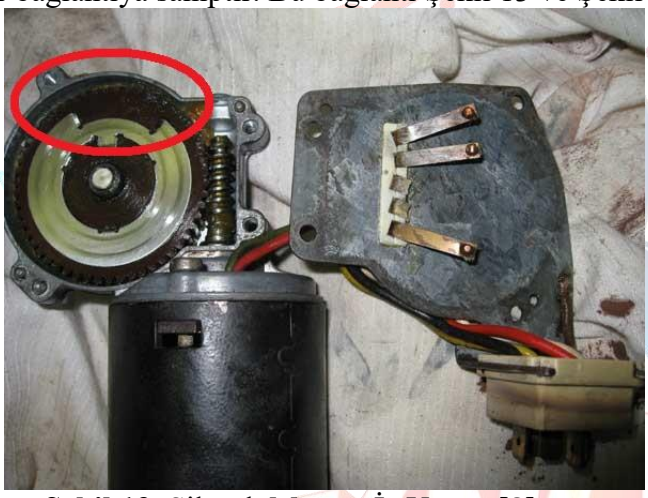
Şekil 12. FOV: a)Ultrasonik Sensör: Kırmızı, b)Mesafe Sensörü: Mavi, c) Kamera: Sarı.

Ultrasonik sensörler aracın yan ve arka ayrıtlarına güvenlik amacıyla yerleştirilmiştir. Kullanım amacı güvenlik bölümünde anlatılmıştır. Sensörler mesafe ölçümü için ultrasonik ses dalgalarının katı cisimlere çarpıp yansıma özelliğinden faydalanır. 2-400 cm aralığında, 3 cm hassasiyetle ölçüm yapabilir. Görme açısı 15 derece olup TTL sinyali aracılığı ile araç kontrol ünitesine mesafe ölçüm bilgisi iletmektedir.

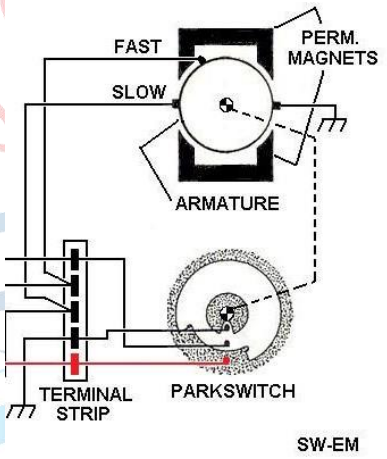
Kızıl ötesi mesafe sensörü, ileri görüş kamerasındaki olası ölçüm hatalarını doğrulamak amacıyla sisteme eklenmiştir. Sensörlerden gelen veriler sensör füzyon algoritmaları ile birlikte değerlendirilecek ve daha kesin bir mesafe ölçüm sonucu elde edilecektir. Sensör mesafe ölçümü için Time of Flight Infrared Rangefinder (ToF-IR) [7] yöntemini kullanır. 10-1200 cm aralığında, 5 cm hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Sensörün görüş açısı 3.6 derecedir. Sensör mesafe ölçüm verisini UART arayüzü aracılığı ile araç kontrol ünitesine iletir.

4.4 Motor Encoder

Odometri verilerinin hesaplanması amacıyla tekerlek dönüş bilgisinin elde edilmesi gerekmektedir. Araçta kullanılan silecek motorlarının kendine has yapısı yardımıyla tekerlek dönüş sayıları hesaplamalı olarak bulunabileceğinden ilave bir encoder kullanılmamasına karar verilmiştir. Buna göre silecek motorları, sileceğin park konumunu tespit etmek amacıyla ilave bir bağlantıya sahiptir. Bu bağlantı Şekil 13 ve Şekil 14'te kırmızı renkte gösterilmiştir.



Şekil 13. Silecek Motoru İç Yapısı.[8]



Şekil 14. Silecek Motoru Şematiği. [8]

Motor turunu tamamlarken bu çıktıyı üretecektir. Bu çıktı sayesinde motorun kaç tur döndüğü dolayısıyla bağlı tekerleklerin kaç tur döndüğü hesaplanabilecektir. Motordan elde edilecek sinyalinin gürültü içereceği öngörüldüğü için gürültüyü azaltma adına sinyal hattına birinci derece alçak geçiren elektronik filtre de entegre edilecektir.

4.5. Filtreler ve Sensör Füzyon Algoritmaları

Seçilen sensörlerin bir kısmı için füzyon yapılması gerekirken bir kısmı için de yalnızca çıkışlarına gürültüyü azaltmak için filtre konulması yeterli olacaktır. Çünkü kimi sensörler birlikte kullanılırken kimisi yalnız kullanılacaktır.

4.5.1. Filtreler

IMU: IMU sensörü stereo kameranın içinde gelmektedir. Bundan dolayı IMU verilerini filtrelenmiş ve düzeltilmiş bir şekilde SDK üzerinden elde edilebildiğinden ayrıca bir filtreye ihtiyaç yoktur.

Barometre ve Magnetometre: Bu iki sensör de kameraya entegre bir şekilde gelmektedir. IMU'da olduğu gibi bu sensörlerin verisi de filtrelenmiş bir şekilde elde edilebilmektedir. Bu yüzden ekstra bir filtreye gerek duyulmamaktadır.

GPS: GPS verilerini düzeltmek için MAF (Moving Average Filter) seçilmiştir. Bu filtre en çok kullanılan ve en basit sayısal filtrelerden biridir. Filtre gerçeklenirken düşük maliyetli işlem

gücü gerektirmesi bu filtrenin en önemli seçilme nedenidir. Bu filtre temelde artan ölçüm sayılarına göre ortalamasını alıp ölçümü düzeltmeye dayanır.

Mesafe Sensörü: Mesafe sensörleri çok fazla ölçüm yaptığından kullanılacak filtre de anlık değişimlere hızlı tepki vermelidir. Bundan dolayı MAF yerine hızlı değişimlere daha iyi yanıt veren EWMAF (Exponentially Weight Moving Average) filtresinin kullanılması kararlaştırılmıştır. EWMAF temelde özelleştirilmiş bir MAF filtresidir. Ancak ortalama, son okunan verinin ağırlığı en fazla ilk gireninki de en az olacak şekilde eksponansiyel değişmesiyle hesaplanır. Bu mesafe sensörü için çok uygundur örneğin herhangi bir engele denk geldiğinde onu geçmişteki nokta sayısına göre ağırlıklandırmak o andaki sinyali geriye çekeceğinden engeli bulamamasına ya da olduğundan daha farklı algılamasına sebep olabilir.

4.5.2. Sensör Füzyon Algoritmaları

IMU + Kamera: RGB-D ve IMU verilerinin EKF (Extended Kalman Filter) kullanılarak birleştirilmesi düşünülmüştür. Bunun sebebi EKF'nin değişen durumlara ve lineer olmayan koşullara daha iyi cevap vermesidir.

5. Araç Kontrol Ünitesi

5.1. Araç Kontrol Ünitesi ve Kablosuz Haberleşme

Elektronik sistem mimarisi; alt sistemler ve dağıtık bir araç kontrol ünitesinden (Raspberry Pi ve Jetson Nano) oluşmaktadır. Sensör verileri dağıtık işlem biriminde işlenecektir. İşlenen veriler araç algoritması için girdi oluşturacak ve bu işlemler sonucu verilen kararlarla üç alt sistem (enerji, ot imha, otonom sürüş) kontrol edilecektir. Ayrıca toplanan çevresel veriler ve araç seyir verileri kablosuz haberleşme arayüzü ile kullanıcıya aktarılacaktır.

Araç kontrolü Raspberry Pi 4 ve Jetson Nano geliştirme kartları aracılığı ile sağlanacaktır. Bu iki modül, birbirleriyle ethernet protokolü aracılığı ile haberleşecek olup, kablosuz haberleşme Raspberry Pi üzerine yerleştirilecek olan LTE modülü aracılığı ile sağlanacaktır.

Araç kontrol ünitesi bir bütün olarak ele alındığında, Gergedan İKA'nın ihtiyaçlarını karşılamak için oldukça yüksek işlem gücü sunar. Raspberry Pi 4'de bulunan 1.5 GHz 4 çekirdekli işlemci haberleşme ve temel araç fonksiyonlarını yönetme konusunda oldukça yeterlidir. Buna ek olarak görüntü işleme uygulamalarının paralel işleme algoritmalarının paralel işlem ihtiyacı Jetson Nano'nun 128 çekirdekli Maxwell işlemcisi tarafından karşılanacaktır. Araç kontrol üzerinde bulunan toplam 90 adet GPIO pini, 6 adet USB 3.0, 4 adet CSI MIPI portu, UART, I^2C ve SPI bağlantıları Gergedan İKA'nın ihtiyaç duyduğu pek çok çevresel üniteyi ilave bir modüle ihtiyaç duymadan araç kontrol ünitesine bağlanma imkanı tanımaktadır. Bağlantıların doğrudan araç kontrol ünitesi üzerinden yapılacak oluşu, olası hata durumlarının tespitini kolaylaştıracaktır.

Kablosuz haberleşme modülünün sisteme entegre olması, sistemin güvenirliliğini artıran bir etken olarak düşünülmüştür. Modül 4G desteği sayesinde tarımsal alanlarda aracın kablosuz haberleşme işlevini sorunsuz yerine getirebilecek, GPS ve GLONASS bağlantısı ile aracın coğrafi konumu tespit edilebilecektir. Kablosuz haberleşme parametreleri ÖTR dokümanında detaylı olarak açıklandığından, tekrara düşmemek adına teknik veriler paylaşılmamıştır.

5.2. Araç Kontrol Yazılımı

Araç kontrol yazılımı acil durumlarda aracın kontrolünün devralınarak, aracın acil durumdan çıkarılmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Kontrol yazılımı olarak aracın verilerinin iletileceği

React ile yazılmış bir web uygulaması ve bu uygulamanın kontrol sekmesi olacaktır. Bu sekmede sürüşün takip edilebilmesi için kamera görüntüsünün aktarıldığı embedded bir pencere ve yanında "Hızlan", "Dur", "Sağa Dön", "Sola Dön" tuşları ile "Geri-İleri" modu olacaktır. Bu tuşlar arayüz olarak tasarlanıp uygulamaya yerleştirilecektir. Aracın React üzerinden kontrolünü ise ROS'un en çok kullanılan paketlerinden olan tarayıcı üzerinden paket yayınlayıp oluşturmaya izin veren "roslibjs" [13] kütüphanesini de barındıran "react-ros" kütüphanesi aracılığıyla yapılacaktır. React-ros kütüphanesi roslibjs paketinin tüm özelliklerini React içinde kullanılabilmesine izin vermektedir. Roslibjs tarayıcı üzerinden araca websocket aracılığı ile bağlanacaktır. Ardından aracın ROS işlemlerinin yapıldığı workspace üzerinde yukarıda belirttiğimiz manuel sürüşü gerçek kılacak "sürüş kontrol" ROS topici yayınlanacak ve kullanıcının kumanda sekmesinde otonom sürüşü devralmasını bekleyecektir. Kullanıcı sürüşü devral butonuna bastığında embedded playera kamera görüntüsü gelecek ve tüm ROS uygulamalarını ezip sürüşü sadece kullanıcı komutlarıyla mümkün kılacaktır. Kullanıcı sürüşü tamamladıktan sonra tekrardan otonom sürüşe geri dönebilecektir.

6. Otonom Sürüş Algoritmaları

Araç için otonom sürüş algoritmaları 3 temel ana başlık altında toplanmıştır. Bu başlıklar: algılama (perception), haritalandırma ve lokalizasyon (SLAM) ile yol ve rota bulma (path planning) ana modülleridir.

6.1. Algılama

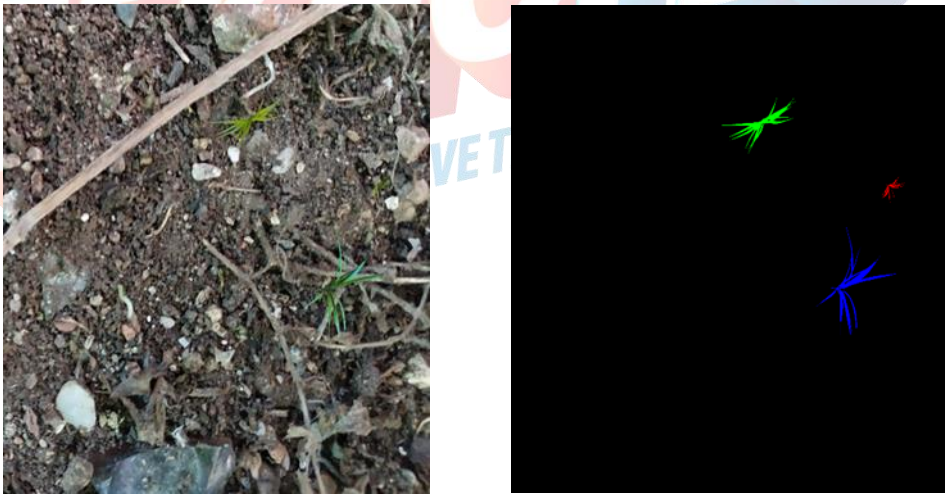
Aracın algılama işlevi, yabani ot bulma ve imha ile kendisini yarışma parkuru içinde otonom olarak sevk ve idare etmesinin temellerini oluşturur. Bu sebeple aracın algılama işlevi, yarışmada istenen eylemleri gerçekleştirecek üç temel modüle ayrılmış ve bu modüller için geliştirilen ya da geliştirilecek model ve yöntemler aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

6.1.1 Yabani Ot Tanıma

Aracın yabani otu yarışma alanında tanıyabilmesi için gönderilen yabani ot örneğinden bir veri seti oluşturulmuş ve ardından bu veri seti ile derin öğrenme metodu kullanılarak bir yabani ot tanıma modeli geliştirilmiştir. Derin öğrenme için diğer tekniklere göre göreceli daha çok eğitim verisi gerekmektedir. Bundan dolayı da mevcut şartlarda gönderilen tek örnek ve kısıtlı insan kaynağı ile sadece veri seti oluşturmak bile haftalar süren bir süreç olacaktır. Bundan dolayı sentetik veri seti oluşturma yoluna gidilmiştir. Sentetik veri seti oluşturmak için, öncelikle 58 adet çeşitli toprak fotoğrafları bitkisiz olarak çekilmiş ve arka plan olarak kullanılmıştır. Gönderilen bitkinin çeşitli açılardan çekilen 32 adet fotoğrafı ise ön plan fotoğrafları olarak kullanılmıştır. Ön ve arka plan fotoğrafları rastgele birleştirilerek COCO (Common Object in Context) [14] formatında bir veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setinin 15.000 tanesi test verisi, 15.000 tanesi maske verisi ve 1.500 tanesi (%10'u kadar) de validasyon verisinden oluşmaktadır. Çekilen arka plan fotoğrafları ile oluşturulan ön plan fotoğraf örnekleri aşağıda verilmiştir.

Şekil 15. Arka Plan Olarak Çekilen Birkaç Toprak Görüntüsü Örneği.

Şekil 16. PNG Formatında Oluşturulan Bitki Fotoğrafları.



Şekil 17. Sentetik Olarak Oluşturulan Eğitim Verisi ve Onun Maskelerinden Bir Örnek.

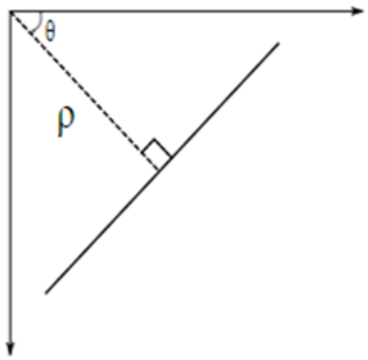
Oluşturulan veri seti Keras [15] ve Tenserflow [16] kullanılarak ResNET-50 [17] üzerinde Mask-RCNN olarak eğitilmiştir. ResNET-50 50 adet katmandan (layer) oluşan bir

konvolüsyonel sinir ağıdır. 152 katmanlı olan versiyonuna göre tek mobil GPU kullanan sistemimizi daha az zorlayacağı ve daha hızlı eğitilebileceği için 50 katmanlı olan versiyonu seçilmiştir. Ayrıca tek bitki/kategori üzerinden eğitileceği için 50 katmanlı versiyonu istenilen sonucu vermiştir. Eğitim ResNET'in Keras üstündeki önceden eğitilmiş versiyonunda gerçekleştirilmiştir. 8 epoch'da, her epoch'un batch büyüklüğü 1024 olarak ayarlanarak başlatılmış ve sona erdirilmiştir. Zamandan tasarruf sağlamak ve ağırlıkları öğreterek tüm katmanların eğitilmesi sonucunda oluşacak gradyan bozulumunu önlemek için, ilk 4 epoch sadece üst (high) katmanları kullanmıştır. . Son 4 epoch'da ise fine-tunning gerçekleştirmek için tüm katmanlar eğitime sokulmuştur. Test sonuçları "Test ve Simülasyon" başlığı altında paylaşılmıştır.

6.1.2 Sıra (Karık) Tanıma

Sıra veya karık tanıma fonksiyonu aracın sürüş/kontrol ile haritalandırma için temel bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. Temel olarak bu fonksiyonu gerçekleştirebilmek için iki farklı yaklaşım belirlenmiştir. Bunlardan ilki uzaysal (spatial) algılama için eğitilmiş bir DNN (Derin Sinir Ağı) kullanmak olacaktır. Kullanmayı düşündüğümüz ISAAC SDK içinde gelen bir pre-trained model olan Freespace-DNN [18] aslında açık kaynak veri setlerini (MsCOCO vb.) kullanarak görüntüyü segmente eden bir yöntemdir. Bu model engel tanıma modülünde daha detaylı açıklanmaktadır.

İkinci yöntem ise gelen her bir görüntü üzerinde Hough Transform [18] (HT) uygulayarak imge üstündeki çizgileri hesaplatarak sıraları bulma olarak kurgulanmıştır. HT'yi matematiksel olarak ifade edecek olursak $y = mx + c$ şeklindeki çizgiyi şekil-1'de ifade edilen açı ve uzunluk cinsinden şu şekilde $\rho = x * \cos\theta + y * \sin\theta$ x ve y koordinatı olarak ifade edebiliriz. Sonrasında da gelen frame siyah-beyaz formata (grey scale) çevirip, noktaları iki boyutlu bir arraye dönüştürüp satırdaki x ve y ikililerine sırayla 0-180 derecelerini vererek bu denklem karşılığına denk gelen piksel yoğunluklarına göre puanlama yapıp çizgileri bulma üstüne kuruludur. Kullanılan test ve sonuçları test ve simülasyon kısmında paylaşılmıştır.

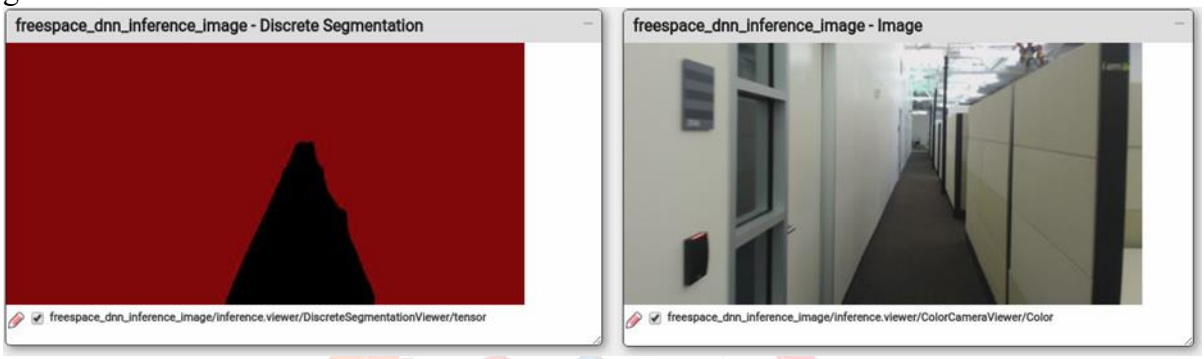


Şekil 18. Çizginin Orijinle Yaptığı Saat Yönünün Tersi Gösterim.

6.1.3 Engel Tanıma

Karık tanıma kısmında da bahsedildiği gibi engel tanıma yöntemi olarak ön eğitimli ISAAC SDK içinde yer alan Freespace-DNN modeli kullanılacaktır. Basitçe ifade edecek olursak, bu model aracın gittiği yolun açık olup olmadığını ve gittiği yüzeyin değişip değişmediğini segmentasyon yöntemiyle bulmaktadır. Bu nedenle hem engel tanıma hem de sıra tanıma

için kullanılabilir. Temelde bu yöntem monoküler (monocular) bir kamerayla çalışacak şekilde iyi sonuç verse de kullanılacak stereo kameranın derinlik bilgisi ve yakınlık sensörlerinin verisi ile birleştirilince çıkarılacak maliyet haritası (costmap) daha hızlı ve güvenilir olacaktır.



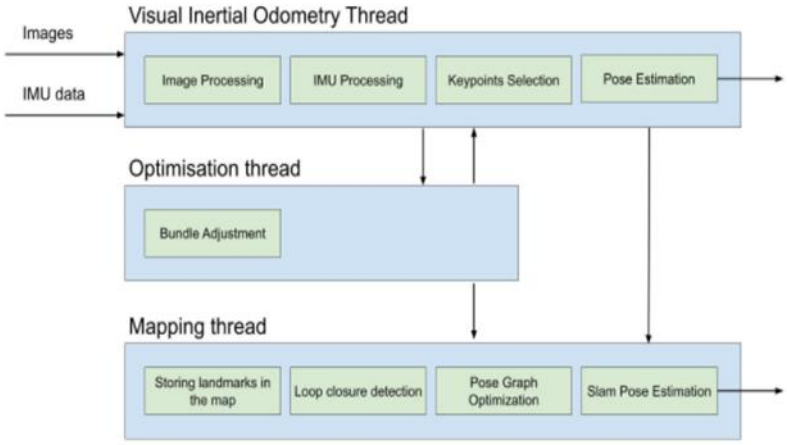
Şekil 19. Freespace-DNN segmentasyon örneği. [19]

Bir diğer alternatif yöntem ise stereo kameradan gelecek nokta bulutu (point cloud) verisi ile yarışma parkurunda bulunacak olan çukur, yükselti ve taşları bulmak olacaktır. Ancak nokta bulutu (point cloud) çok fazla sistem kaynağı tüketebilmesi ve istasyonla aracın arasındaki bant genişliğinin büyük çoğunluğunu tüketmesi gibi bir olumsuz yanı vardır. Bunun için de bir obje fark edildiği anda veriyi uç üniteden yer istasyonuna aktarması ve orada verinin işlenmeye başlanması böylelikle uç ünitenin yükünü ve bant genişliğini etkin kullanmak amaçlanmıştır. Bu sırada oluşacak gecikmeyi tolere etmesi için aracın hızının bilerek düşürülmesi planlanmaktadır.

6.2. SLAM

Aracın tarlanın ya da parkurun haritasını çıkararak yön-yol bulmayı optimize etmesi, engel tanıma ile costmap çıkarıp, rota belirlemesi ve otlara müdahale edeceği/ettiği noktaların farkında olarak görevini istenilen sürede ve otonom tamamlanması amaçlanmaktadır. Bunun için seçilen yöntem ise Visual Odometry'dir. VO temel olarak kameranın görüntü verisinin kullanarak aracın konumunun değişmesi ve bunun üstünden yaklaşık olarak yer değiştirmeyi hesaplaması olarak özetleyebiliriz. VO birçok noktada iş görse de dezavantaj olarak yüksek maliyetli işlemci yükü ve kameranın takip ettiği çevrenin değişmiyor oluşu takip etme (tracking) özelliğini aksatıp aracın yer değiştiriyor olsa bile yer değiştirmiyor olduğunu sanması olarak ifade edebiliriz. Bu önemli sorunları aşmak için stereo kameranın derinlik bilgisi ile çevrenin değişiminin takip edilmesi (tracking) aynı zamanda kameranın içindeki IMU sensöründen gelen verilerle de tracking özelliği aksasa bile aracın yer değişiminin IMU ile hesaplanması düşünülmüştür.

SLAM için ISAAC SDK içinde bulunan Elbrus paketi kullanılacaktır. Özetle, Elbrus filtreden geçirilmiş IMU verilerini, görüntü verileri ile EKF (Extended Kalman Filter) kullanarak bir araya getirip, landmarklar yardımıyla pozisyon grafı oluşturup ve bu düğümleri optimize ederek mevcut konumu SLAM konum tahminiyle birleştirir. Karık tanımada kullandığımız HT ile sıra tespiti landmark olarak kullanılıp pozisyon grafının ve düğümlerinin oluşturulmasına yardımcı olacaktır.



Şekil 20. Elbrus Mimarisi. [20]

6.3. Yol Bulma

Aracın yol bulma algoritması tüm tarlanın, parkurun her alanının gezilmesi üzerine kurulu olduğu için algoritma olarak area coverage (alan kapsayıcı) seçilmiştir. Klasik anlamda uygulanan point to point (noktadan noktaya) algoritmalarının (A*, traveler salesman, ant colony vb) temel amacı bir noktaya mevcut konumdan en az maliyetle nasıl gidilir üzerine kuruludur. Bizim durumumuzda temel yaklaşım ya noktadan noktaya yaklaşımın hibrit bir yaklaşımla tüm alanı gezecek şekilde modifiye etmek ya da aracın area coverage ile tüm alanı gezmesini sağlamak olmalıdır. Ancak alan kapsayıcı yaklaşımların görevin gerçekleştirilmesinde geç kalmaları -tüm alanı gezdikleri için- ya da alanı kapsayacak rotayı belirlemek için önceden elde edilmiş bir haritaya ihtiyaç duymalarından dolayı bu algoritmalar haritası belli olmayan durumlarda uygulanabilirlik avantajını yitirmektedir. Bu noktada geliştirdiğimiz algoritma şu aşamaları izleyecektir. Araç göreve başladığında konumlandığı noktadan HT ile sıraları tespit edecek kareye (frame) dik inen ve karenin orta noktasına en yakın olan sırayı ortalayacaktır. Ardından karenin orta noktasında sıranın üstüne denk gelecek şekilde daraltılmış bir kutucuk baz alıp bu kutucuğun altında ve üstünde daha ufak iki küçük komşu kutucuk daha oluşturacaktır. Aslında bunu yaparak orta kutucuğu mevcut takip ettiği nokta, altındaki komşu kutucuğu geçmiş takip ettiği nokta, üstündeki kutucuğu da gelecek nokta olarak konumlandırılmasını amaçlanmıştır. Bu üç kutucukta da eş zamanlı HT yapılarak hem aracın sıranın üstünde kalması sağlanıp hem de takip edilen noktaların gridi oluşturulacaktır. Bu sırada kamera açısından öndeki engeller tespit edilip, SLAM işlemine devam edilerek ortamın haritası çıkarılacaktır. Çıkarılan harita sayesinde sonraki işlenmemiş sıraya geçip görevi gerçekleştirecektir. Böylelikle tüm parkur gezilmiş olacaktır.

7. Özgün Bileşenler

7.1. Değiştirilebilir Batarya

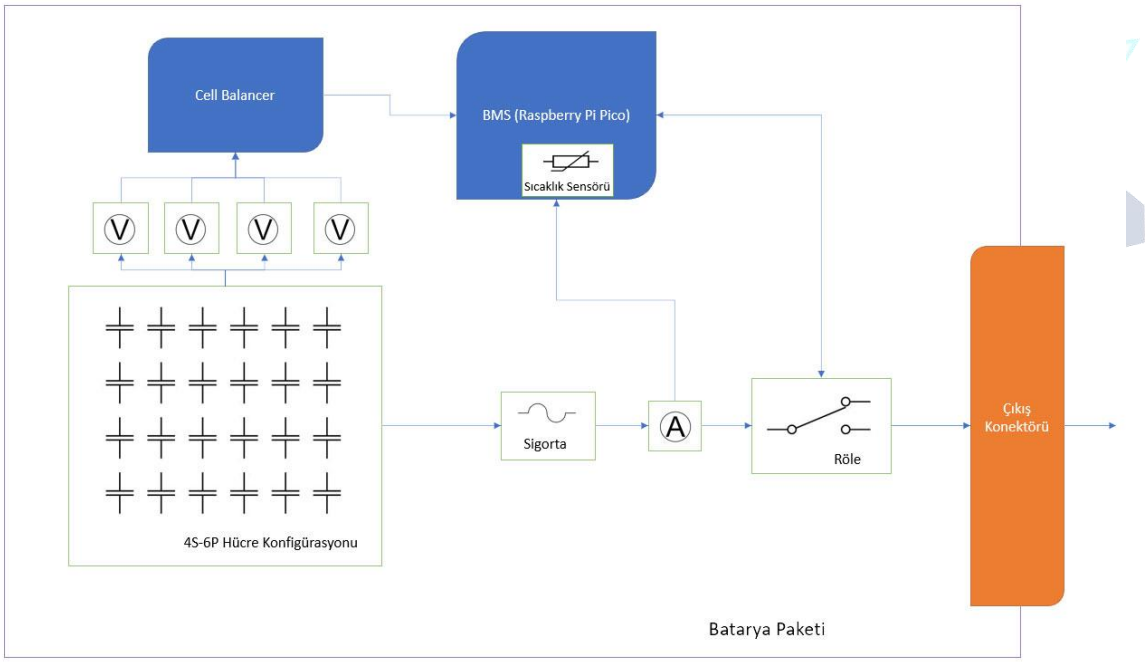
Gergedan İKA enerjisini bu proje için geliştirilmiş 289,44 Wh enerji kapasitesine sahip Li-İon batarya paketinden karşılayacaktır. Aracın toplam ağırlığı hesaba katılarak yapılmış güç hesapları ve bu hesapların yarışma teknik isterlerine uyumu ÖTR'de detaylı olarak paylaşıldığından, bu raporda geliştirilen batarya paketi hakkında detaylı bilgiler paylaşılmıştır.

Pil paketi nominal kapasitesi 3200 mAh, nominal gerilimi 3.6V olan 24 adet 18650 Li-İon hücrenin 4S-6P (4 seri, 6 paralel) konfigürasyonda birleştirilmesi ile oluşturulacaktır. Hücreler nikel şeritler aracılığı ile punta kaynak yapılarak birleştirilecektir. Oluşturulan batarya paketinin teknik özellikleri Tablo 5'te paylaşılmışıtır.

Nominal Batarya Gerilimi	14.4 V	**Çalışma Sıcaklık Aralığı (Şarj)**	(0) - (+45) °C
Maksimum Batarya Gerilimi	16.8 V	**Çalışma Sıcaklık Aralığı (Deşarj)**	(-20) - (+60) °C
Minimum Batarya Gerilimi	10 V	**C Oranı (25 °C)**	1 C
Maksimum Batarya Kapasitesi	289.44 Wh	**Ağırlık**	2 kg ± 0.25
Nominal Batarya Kapasitesi	276.48 Wh	**Maksimum Şarj Akımı (25 °C)**	0.5 C

Tablo 5. Batarya Paketinin Teknik Özellikleri.

Batarya paketinin sistem mimarisi Şekil 21'de paylaşılmıştır. Buna göre; batarya paketinin güvenliğini sağlamak, batarya paketine ait SOC (State of Charge - Şarj Durumu), SOH (State of Health - Pil Sağlık Durumu) parametrelerini hesaplamak ve batarya paketini verimli kullanmak amacıyla sistemde ilave bileşenler kullanılmıştır.



Şekil 21. Batarya Sistem Mimarisi.

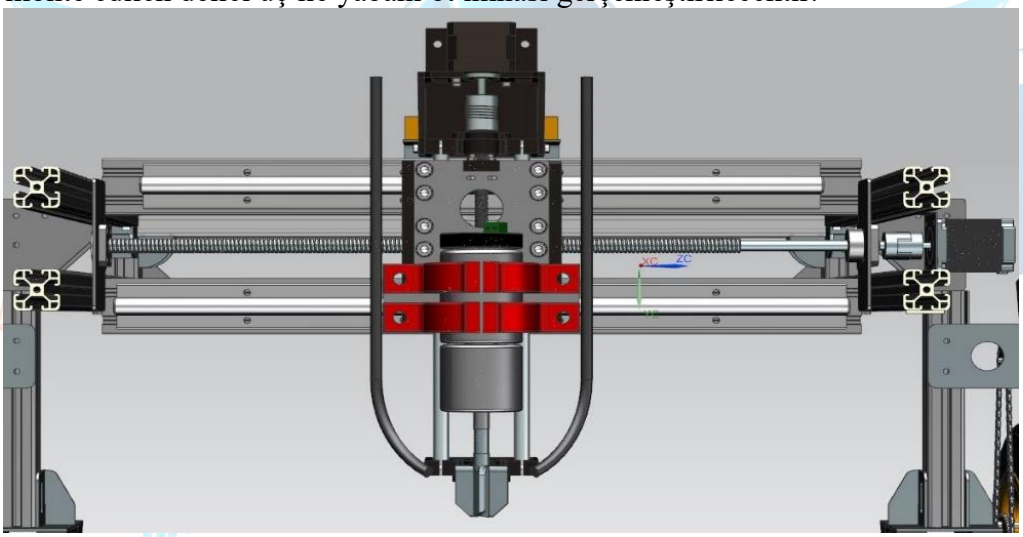
Batarya paketi sökülebilir yapıda olacak, araç ile bağlantısı bu uygulama için seçilen konektör aracılığı ile sağlanacaktır. Güvenlik amacıyla batarya maksimum deşarj akımı ve gerilimine uygun röle ve sigorta seçimi yapılmıştır. Röle kontrolü yazılımı Gergedan ekibi tarafından geliştirilmekte olan BMS ünitesi üzerinden sağlanacaktır. Seri bağlanan hücreler arası oluşabilecek olası gerilim farkları gidermek amacıyla pasif hücre balansı sağlayacak analog bir devre pil paketinde yer alacaktır. [4] Bu sayede batarya ömrünün kısalmasının önüne geçilecektir.

Pil paketinin gerilimi, akımı ve sıcaklığı paket içerisindeki sensörler aracılığı ile anlık olarak takip edilecektir. SOH parametresi bataryanın şarj-deşarj döngüsü sayılarak elde edilecektir. SOC bilgisi batarya gerilimi, batarya sıcaklığı ve bataryapas akımı girdilerinin takibi sonucu geliştirilen algoritma ile hesaplanacaktır. SOC [5], SOH, batarya gerilimi ve sıcaklık verileri BMS üzerinden araç kontrol ünitesine aktarılacaktır. Elde edilen veriler aracın kontrol uygulamasına girdi oluşturacaktır. Ayrıca bu veriler kablosuz haberleşme sistemi aracılığı ile bulut sunucuya da aktarılacaktır. Batarya sıcaklığı güvenlik amacıyla da takip edilecek olup, sıcaklık limitinin tehlike arz edecek kadar yükselmesi durumunda batarya sistemden röle yardımıyla otomatik olarak ayrılacaktır.

Batarya şarjı temin edilecek off-board ünite üzerinden sağlanacaktır. Off-board ünite tercihinin değiştirilebilir batarya kurgusuna daha uygun olduğu düşünülmüştür. Ünitenin araç üzerinde yer almayacak olması ağırlık optimizasyonu ve verim artışı gibi yan faydalar da getirecektir. Şarj yöntemi olarak CCCV (Constant Current Costant Voltage – Sabit Akım Sabit Gerilim) [6] presibi benimsenmiş olup, şarj süresinin yaklaşık 4 saat sürmesi planlanmaktadır.

7.2. Ot İmha Sistemi

Aracın yabani ot sistemi için iki eksenli robot sistemi tercih edilmiştir. Kameralar vasıtası ile algılanan bitkinin bulunduğu koordinata giden bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistem step motorlar tarafından tahrik edilen Y ve Z eksenlerindeki vidalı millerden oluşmaktadır. Mekanizma sonuna monte edilen delici uç ile yabani ot imhası gerçekleştirilecektir.

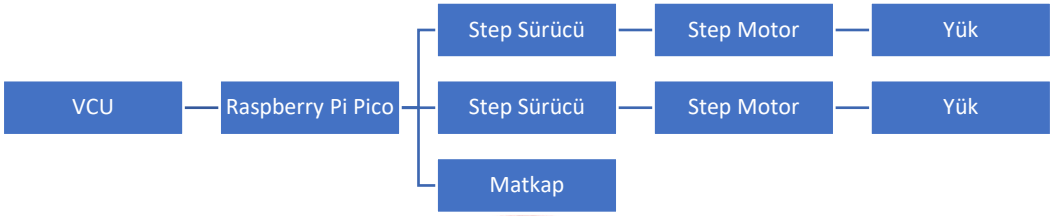


Şekil 22. Ot İmha Sistemi.

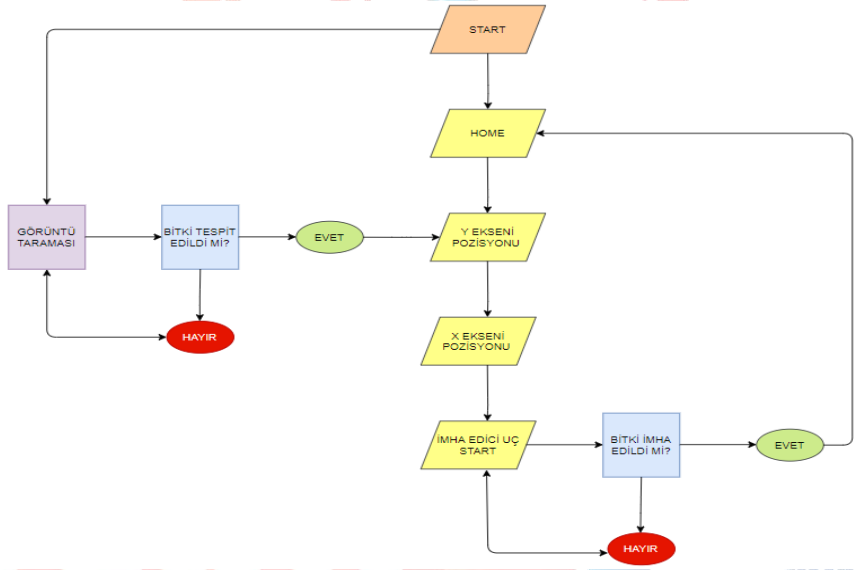
7.2.1. Ot İmha Sisteminin Mekatronik Tasarımı

Makina, elektrik ve yazılım gibi birden fazla disiplinin buluşma noktası olan imha sistemi mekatronik bir sistemdir. Ot imha mekanizmasında hassas konumlamalar yapılabilmesi için eksenel hareketlerde yüksek hız, ani yavaşlamalar, kızaklarda yüksek sertlik, titreşimleri sönümleme ve tepki kuvvetlerine karşı yüksek direnç özellikleri istenir. Bu nedenle yönlendiricilerde düşük sürtünmeye sahip doğrusal kızak sistemi, doğrusal rulmanlı yataklar ve indüksiyonlu krom kaplamalı miller kullanılmıştır. Doğrusal rulmanlı yataklar içlerinde bilya sisteminin sürekli devir daim yapması mantığıyla çalıştığından sürtünme ve sistemde meydana

gelebilecek zorlanmalar en aza indirgenmiştir. Bu mekanizmanın kontrolünün sağlanması için Raspberry Pi Pico işlemcisi seçilmiştir. İşlemciden gelen pulsler aracılığı ile HY-DIV268N-5A step motor sürücü motorları istenilen hız ve hassasiyette çalıştıracaktır. Sistemin sağlıklı çalışması için gerekli olan hassas hareket ve tork, NEMA 23 step motorlar ile sağlanacaktır.



Şekil 23. Ot İmha Sistemi Kontrol Diyagramı.



Şekil 24. Ot İmha Sistemi Algoritma Diyagramı.

7.2.2. Hassas Pozisyon Kontrolü

Kameralardan algılanan yabani otun konumu koordinatlara dönüştürülecektir. 800 mm olması planlanan vidali milin her bir hatvesi fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Algoritma yabani ota en yakın olan pozisyon fonksiyonunu seçip, Y eksenindeki motoru çalıştıracaktır. Motorun bir tur atması için gereken adım sayısı 360/1.8= 200'dür. Sürücünün 8 mikrostep modunda çalıştırılması hedeflenmektedir. Kullanılacak vidalı milin hatvesi 5 mm'dir. Yukarıdaki verilerin ışığı altında, sistemin Y ekseninde 5 mm mesafe kat edebilmesi için mikrodenetliyiciden gönderilmesi gereken uygulama sayısı 320'dir. Z ekseninde ise imha edici ucun bitkiyi etkisiz hale getirmesi için gereken mesafe ile home pozisyonu arası 24 cm'dir. Gerekli uygulama step sayısı hesabı altta verilen formül aracılığı ile yapılacaktır.

$$Uygulama\ step\ sayısı = \frac{motor\ step\ sayısı\ x\ mikro\ step\ sayısı}{vidalı\ mil\ hatvesi}$$

Formül 1. Motor ve Hareket Hesabı.

7.2.3. Teknik Veriler

7.2.3.1 Raspberry Pi Pico

Yüksek işlem hızı, yeterli hafıza ve kanalları, kapladığı küçük alan ve düşük maliyeti gibi avantajlı özelliklerinden dolayı kullanılmasına karar verilmiştir. 12/5 V gerilim düşürücü ile işlemciye güç verilecektir. Tedarikçinin sağladığı veriler doğrultusunda, bu gerilim ve akımda sistemin sağlıklı bir şekilde çalışması hedeflenmektir. Motor kontrolü için PWM sinyal kullanılacaktır.

İşlemci	Çift çekirdekli Arm Cortex M0
Flash Bellek	264KB SRAM ve 2MB
GPIO Pini	26 ×
Kanallar	2 × SPI, 2 × I2C, 2 × UART, 3 × 12-bit ADC, 16 × PWM
Programlanabilir G/Ç	8 ×
Programlama Dili	C, Pyhton
Çalışma Gerilimi	1.8V – 5V DC

Tablo 6. Raspberry Pi Pico Teknik Verileri.

7.2.3.2. HY-DIV268N-5A Step Motor Sürücü

Ayarlanabilir step sayısı, az dalgalanma torku, yüksek hassasiyeti, hafif ağırlığı, küçük hacmi, farklı gerilimlerde çalışabilme, tarım arazilerindeki değişken sıcaklık ve zorlu koşullar için tasarlanmış alimünyüm kutu özellikleri nedeniyle seçilmiştir. Gerekli olan verilerin doğrulaması, tedarikçilerin paylaştığı dokümanlardan teyit edilmiştir.

Faz Sayısı	2, 4 x
Giriş Gerilimi	12V – 48V DC
Giriş Akımı	1A – 5A
Çıkış Akımı	0,2A – 5A
Çalışma Sıcaklığı	-10°C – 45°C
Mikrostep Sayısı	1, 2, 4, 8, 16
Boyut	7.5cm x 10.5cm x 3.5cm

Tablo 7. HY-DIV268N-5A Step Motor Sürücü Teknik Verileri.

7.2.3.3. Nema 23 Step Motor

Hassas konumlama için gerekli olan yüksek adım sayısı, yeterli güç ve tork, hafif ağırlıgı, küçük hacim özellikleri bu motorun kullanılmasında önemli bir rol oynamıştır. Gerekli bilgiler tedarikçinin verdiği veri sayfalarından çekilmiştir.

Adım Açısı	1.8 °
Tutunma Akımı	3A
Çıkış Torku	2,3 Nm
Statik Momenti	1.8N/cm

Çalışma Sıcaklığı	-10 – 50 °C
Mil Çapı	8mm
Ağırlık	1.3 kg
Mikrostep Sayısı	8x

Tablo 8. Nema 23 Step Motor Teknik Verileri.

7.2.3.4. Sistem Tork Hesabı

Sisteme tahrik verecek olan vidalı mile binecek olan yük kızaklar tarafından paylaşılacaktır. Böylece, Z eksenindeki yükü hareket ettirecek tork ihtiyacının düşürülmesi planlanmıştır. Detaylı test ve hesaplamaları malzeme tedariğinden sonra gerçekleştirilecektir. Matkap Torku Tedarikçiden sağlanan parametreler doğrultusunda 81 Bm uygulayabilmektedir. Bu kuvvetin bitki kökünü rahat bir şekilde imha edeceği aşikardır.

7.2.3.5. Hava koşullarına Uyum

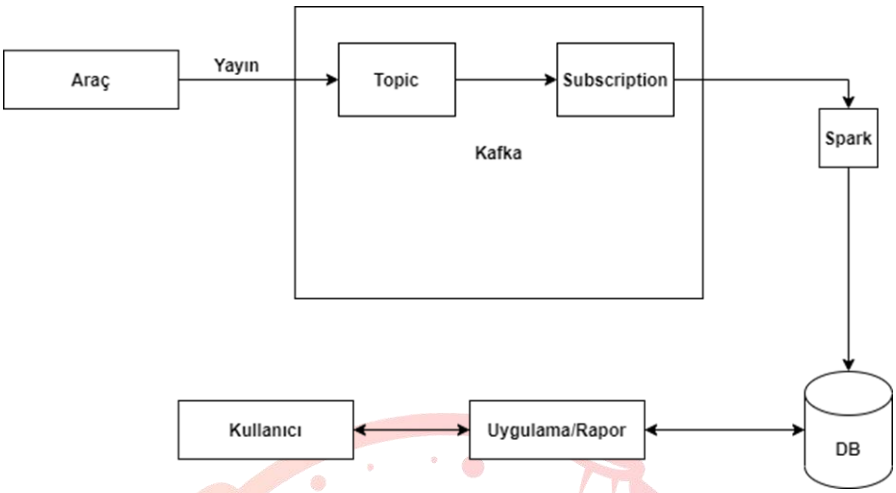
Ot İmha Sisteminde kullanılacak olan elektrik bileşenler -10 – 50 °C arasında çalışabilmektedir. Türkiye'deki tarım arazilerinin limit sıcaklık değerleri ile karşılaştırıldığında sistemin verimli bir şekilde çalışacağı test edilmiştir. Ayrıca komponentleri yağmur, kar gibi çeşitli etkenlerden korumak için fanlı bir kutu tasarlanmıştır.

7.2.3.6. Matkap Uç

Zararlı yabani otun sökülmesi için gerekli olan tork ve gücü sağlayabilecek, toprağın içine girdiğinde tutulma, sekme gibi işlemler ile sisteme zarar vermeyecek, kolay kontrol edilebilir bir matkap modeli tasalanmıştır. Bu matkabın ucuna toprağı rahat deşebilecek, çelikten imal edilecek bir yaprak uç tasarlanmıştır. 81 Nm değerinde bir tork ile toprağı delmesi ve yabani otun köklerini parçalaması planlanmaktadır.

7.3. Big Data

Çevresel sensörlerden gelen veriler, aracın görev sırasındaki bulguları ve araç telemetrileri yer istasyonuna gönderilirken aynı zamanda uzak sunucuya taşınması, bu verilerden içgörü (insight) çözümlemeleri yapılması ve bu sayede ileride aracın temel görevinin dışında kullanıcılara tahminleme ve rapor hizmeti de verilmesi amaçlanmıştır. Bant genişliğini ve araç işlem biriminin işlem gücünü zorlamayacak olan telemetri (enkoder ve imu ile elde edilmiş güvenilir hız verisi, GPS verisi vs.) ve anlık çevresel verilerin (sıcaklık, basınç vb.) gerçek zamanlı olarak, yer istasyonu ile birlikte bir NoSQL veri tabanına (tercihen Cassandra ya da MongoDB) yazdırılması düşünülmüştür. Ayrıca bulgu elde edilen point-cloud verisi ya da görüntü karesi gibi görev sırasında sınırlı olan sistem kaynağını çokça tüketen veriler ise araç şarj olurken batch iş olarak bu verileri uzak sunucuya gönderecektir. Uzak sunucuya veriler Kafka ve Spark kullanılarak iletilecektir. İleride SparkML kullanılarak yazılacak modeller ile verinin gerçek zamanlı iletimi sırasında aracın değişimleri üstünden uyarı modelleri yazılması da planlanmaktadir.



Şekil 25. Big Data Diagram.

8. Güvenlik Önlemleri

Gergedan İKA tasarımındaki güvenlik önlemleri sistematik olarak değerlendirilmiştir. Araçta gerçekleşebilecek olası riskler dört başlık altında ele alınmıştır. Bu başlıklar; elektrik sistemi kaynaklı riskler, batarya sistemi kaynaklı riskler, hareketli aksamın oluşturabileceği riskler, istenmeyen hareketler (Unintended Movement) sonucu oluşabilecek risklerdir.

Elektrik sistemi kaynaklı riskleri önlemek adına tüm enerji hatları birbirinden bağımsız sigortalar üzerinden beslenmiştir. İlave olarak acil durum butonuna basıldığında aracın enerjisi mekanik olarak kesilecektir. Acil durum butonu olarak pek çok saha uygulamasında kullanılan, güvenilir (Reliable) bir buton tercih edilmiştir.

Batarya sisteminin güvenliği BMS sistemi aracılığı ile yapılacaktır. Batarya sıcaklığının tehlike arz edecek kadar yükselmesi, aşırı akım deşarjı, aşırı gerilim, düşük gerilim durumlarında batarya paketi içerisindeki role, BMS devresi tarafından açık konuma getirilecek ve bataryanın enerji bağlantısı kesilecektir. Batarya rölesi NO (Normally Open) konfigürasyonda kullanılacak BMS sisteminin devre dışı kalması durumunda role otomatik olarak açık konuma gelecektir. Batarya paketi gerilim ve ısıl dayanımı yüksek malzemelerden oluşacaktır.

Gergedan İKA'nın ot imha mekanizmasının güvenlik değerlendirilmesi yapılmış ve çevredeki canlılar için risk oluşturabilecek bir aksam olarak kabul edilmiştir. Riskleri ortadan kaldırmak amacıyla aracın tüm ayrıtlarına sensörler yerleştirilmiştir. Buna göre ot imha mekanizması çalışırken araca 2 metre veya daha fazla yaklaşan bir canlı tespit edildiğinde ot imha mekanizması otomatik olarak durdurulacaktır. Böylece sistemin çalışması sonucu çevreye fırlayabilecek taş, dal vb. doğal materyallerin ve sistemde mekanik bir arıza olması durumunda fırlayabilecek malzemelerin çevrede bulunan canlılara zarar verme riski ortadan kaldırılmıştır. Bu yapıya ek olarak yabani ot kamerasının görüş açısına girecek olası bir yabancı cismin tespiti durumunda da ot imha mekanizması durdurulacaktır.

İstemeyen araç hareketleri de ciddi bir risk faktörüdür. Bu durumun önüne geçmek amacıyla aracın hareketinin amaçlanmadığı durumlarda tahrik ve ot imha sistemlerinin enerjisi kesik durumda olacaktır. Görüntü işleme esnasında tespit edilen nesnelerin sabit olduğunun teyit edilmemesi durumunda araç harekete geçmeyecektir. Aracın geri manevrası esnasında herhangi

bir kamera verisinin kullanılmaması nedeniyle oluşabilecek risklerin önüne geçmek amacıyla aracın tüm ayrıtlarına mesafe sensörleri yerleştirilmiş ve kör noktalar ortadan kaldırılmıştır.

9. Simülasyon ve Test

9.1. Test

Ot tanıma için eğitilen modelin kayıpları (loss) Tablo 9'da her epoch için verilmiştir.

Epoch	1	2	3	4	5	6	7	8
Loss	1.9682	1.4836	1.3117	1.2829	1.1310	1.0787	1.0318	1.0058

Tablo 9. Epoch-Loss Tablosu.

Daha sonra eğitilen model gönderilen yabani otun gerçek otlarla birlikte çekilen test verisi için inference modunda çalıştırılmıştır. Aşağıda çıkan sonuçlardan birkaçını bulabilirsiniz.

Şekil 26. Yabani Ot Tanıma Test Görselleri.

Görüldüğü gibi sonuçlar tatmin edici olsa da hala false positiveler sonucu etkileyebilecek düzeydedir. Bunun nedeni olarak ot örneğinin dokusunu yeterince iyi gösteren farklı açılardan çekilmiş yabani ot fotoğraflarının olmayışı olduğu düşünülmüştür. Ayrıca maskelenmiş veri setlerinde maskelerin kalabalıklaşması iç içe girmesi de bu duruma sebep olabilmektedir. Bunun Haricinde geliştirilen model uç birim üstünde bir gömülü sistemde çalışacağı için inference modu TensorRT [21] ile FP16 (float point 16) girişim modeline

düşürülmüştür. Performans artışı sağlansa bile noise oluştuğu gözlemlenmiştir. Kaydedilen modelin TensorRT'ye dönüştürmek yerine her epochta kaydedilen ağırlıkları frozen graph'a dönüştürecek şekilde eğitim verisi artırılarak modelin tekrar eğitilmesi düşünülmektedir.
Hough Transform için bir codelet yazılmış ve kameramızın açısına uygun birkaç test fotoğrafı üstünde denenmiştir. Aşağıda sonuçlardan birkaçını bulabilirsiniz.

Şekil 27. Sıra Tanıma Test Sonucu.

9.2. Simülasyon

Tasarlanan sistemde ISAAC SDK kullanmayı düşündüğümüz için testlerini ve simülasyonlarını ISAAC Sim üstünde yapmamız gerekmektedir. Foto-gerçekçi bir simülasyon olan ISAAC Sim için modeller ISAAC Sim Unity [22] üstünde modellenecektir. Simülasyon bulut üzerinde kiralanacak bir sunucu üstünde gerçekleştirilecektir.

9.3. Yapılacaklar

ISAAC Sim Unity üzerinde oluşturulacak parkur ile "öğret ve tekrar et" (teach and repeating) yöntemiyle ilk başta kontrolcü ile her engelde, çukurda veya yükseltide kullanıcının verdiği tepkiler ile sürüşün gerçekleştirilmesi. Ardından araca elde edilen veriler (dönüşlerde, engellerde kullanıcının verdiği kararlar), simülasyon ortamında değişen parkur şartları, engel sayısı ve zamanla artırılacak zorluk ile "curriculum learning" tekniğiyle öğretilmek istenmektedir. Böylelikle kontrol mekanizmasında kural bazlı yaklaşım minimuma indirilebilir. Verilecek destek ile birlikte alınan Jetson Nano kart, stereo kamera ve simülasyon ortamı için kiralanan sunucunun ardından SLAM düğümü, derinlik ölçümü ve Freespace-DNN'in simülasyon ortamında parkura uygun hale getirilmesi planlanmaktadır. Mevcut geliştirilmiş karık tanıma, yol kontrol ve ot tanıma modülleri ise daha da iyileştirilecektir.

10. Referanslar

[1] AVAS METAL | 6063 ALÜMİNYUM, https://www.avasmetal.com.tr/?/aluminyum/6063-aluminyum, 29 Haziran 2021.

[2] Wu, X., Xu, M., Wang, L., (2013). Differential Speed Steering Control for Four-Wheel Independent Driving Electric Vehicle, IEEE International Symposium on Industrial Electronics.

[3] rakeshmondal.info, 4 Wheeled Robot Design Basics and Challenges, https://www.rakeshmondal.info/4-Wheel-Drive-Robot-Design, 29 Haziran 2021.

[4] wikipedia.org, Battery Balancing, https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_balancing, 29 Haziran 2021.

[5] batteryuniversity.com, BU-903: How to Measure State-of-charge, https://batteryuniversity.com/article/bu-903-how-to-measure-state-of-charge, 29 Haziran 2021.

[6] engineering.com, Battery Management Systems: Battery Charging Methods, https://www.engineering.com/story/battery-management-systemspart-3-battery-charging-methods, 29 Haziran 2021.

[7] wikipedia.org, Time-of-Flight Camera, https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_camera, 29 Haziran 2021.

[8] sw-em.com, Windshield Wiper Systems, https://www.sw-em.com/Windshield%20Wiper%20Systems.htm, 29 Haziran 2021.

[9] www.iec.ch, IP Ratings, https://www.iec.ch/ip-ratings, 28 Haziran 2021.

[10] stereolabs.com/, ZED 2i, https://www.stereolabs.com/zed-2i/, 30 Haziran 2021.

[11] intelrealsense.com, Datasheet, https://www.intelrealsense.com/wp-content/uploads/2020/06/Intel-RealSense-D400-Series-Datasheet-June-2020.pdf, 10 Haziran 2021.

[12] stereolabs.com, ZED 2 Camera and SDK Overview, https://www.stereolabs.com/assets/datasheets/zed2-camera-datasheet.pdf, 9 Haziran 2021.

[13] wiki.ros.org/, roslibjs, http://wiki.ros.org/roslibjs, 12 Haziran 2021.

[14] cocodataset.org/, What is COCO?, https://cocodataset.org/#home, 27 Haziran 2021.

[15] keras.io, Getting Started, https://keras.io/getting_started/, 19 Haziran 2021.

[16] tensorflow.org/, Intoduction to Tensorflow, https://www.tensorflow.org/learn, 11 Haziran 2021.

[17] He, Kaiming ve Arkadaşları, (2015). Deep Residual Learning for Image Recognition.

[18] docs.nvidia.com, Free Space Segmentation, https://docs.nvidia.com/isaac/isaac/packages/freespace_dnn/doc/freespace_segmentation.html , 22 Haziran 2021.

[19] homepages.inf.ed.ac.uk, Hough Transform, https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/hough.htm, 20 Haziran 2021.

[20] docs.nvidia.com, Architecture, https://docs.nvidia.com/isaac/isaac/packages/visual_slam/doc/elbrus_visual_slam.html, 15 Haziran 2021.

[21] docs.nvidia.com, TF-TRT Workflow, https://docs.nvidia.com/deeplearning/frameworks/tf-trt-user-guide/index.html, 10 Haziran 2021.

[22] docs.nvidia.com, Isaac Sim Unity3D, https://docs.nvidia.com/isaac/isaac/doc/simulation/unity3d.html, 1 Haziran 2021.

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ