



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ  
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING  
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

## İNSANSIZ KARA ARAÇLARI İÇİN LIDAR TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK 3B ORTAM HARİTALAMA SİSTEMİ

A 3D ENVIRONMENT MAPPING SYSTEM FOR  
UNMANNED GROUND VEHICLES USING LIDAR  
TECHNOLOGY

**Yazarlar (Authors):** Ali Topal <sup>id</sup>\*, Tuncay Yiğit <sup>id</sup>



**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Topal A., Yiğit T. "İnsansız Kara Araçları İçin LIDAR Teknolojisi Kullanılarak 3B Ortam Haritalama Sistemi" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 5(2): 171-186, (2021).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.960555

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

# İNSANSIZ KARA ARAÇLARI İÇİN LIDAR TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK 3B ORTAM HARİTALAMA SİSTEMİ

Ali Topal<sup>a</sup> , Tuncay Yiğit<sup>a</sup> 

<sup>a</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

\*Sorumlu Yazar: [alitopal34@gmail.com](mailto:alitopal34@gmail.com)

(Geliş/Received: 01.07.2021; Düzeltme/Revised: 21.07.2021; Kabul/Accepted: 07.08.2021)

## ÖZ

Günümüz dünyasında teknolojik gelişmeler sonucunda insansız kara araçlarının kullanımı ve uzaktan algılama tekniklerinin önemi artmıştır. Bu teknolojiler doğal afetlerden savunma sanayisine kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır. İnsansız kara aracının algılayıcılar sayesinde çevresini tanımasıyla ilgili kişi veya kurumlara ortam hakkında doğru verileri aktarması olası kötü senaryoları önlemektedir. Bu çalışmada, otonom robotların gönderilmesi planlanan ortamlara kullanılacak olan algılayıcı teknikler sayesinde ulaşımının kolaylıkla sağlanması ve ilgili ortamı tanıyarak görevini daha etkin bir şekilde gerçekleştirmesi ve düşük maliyetli olması amaçlanmıştır. Geliştirilen sistemde insansız kara aracının bulunduğu ortamı modelleyebilmesi için LIDAR lazer tarayıcı sensör kullanılmıştır. Sistem tasarımında görüntü işleme tekniği ile gece görüşlü kamera kullanılarak, ortam tanımlaması zenginleştirilmiştir. İnsansız kara aracının motor sürme işlemleri ve çeşitli çevre birimlerinin kontrolü Arduino mikrodenetleyicisi ile sağlanmıştır. LIDAR ve kamera ise Raspberry Pi gömülü sistem bilgisayarı üzerinde çalışmaktadır. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, ilgili kuruluşların çevre algılama sistemleri için ayırmış oldukları mali kaynakları azaltacak ergonomik, güvenli, kullanıcının tehlikeli ortamları uzaktan takip ederek ilgili ortamı tanıyabileceği tümleşik bir robot tasarımı oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansız Kara Araçları. Haritalama Algoritmaları. LIDAR. Robot

## A 3D ENVIRONMENT MAPPING SYSTEM FOR UNMANNED GROUND VEHICLES USING LIDAR TECHNOLOGY

### ABSTRACT

As a result of technological developments in today's world, the use of unmanned land vehicles and the importance of remote sensing techniques have increased. These technologies are used in many different areas from natural disasters to the defense industry. The unmanned land vehicle, thanks to its sensors, is able to recognize its environment and transfers the correct data about the environment to the relevant people or institutions, preventing possible bad scenarios. In this study, it was aimed to provide easy transportation of autonomous robots thanks to the sensor techniques that will be used in the environments that are planned to be sent, and to perform its task more effectively by recognizing the relevant environment and to lower cost. In the developed system, LIDAR laser scanning sensor is used to model the environment where the unmanned land vehicle is located. In the system design, the definition of the environment has been enriched by using image processing technique and night vision camera. The motor driving operations of the unmanned land vehicle and the control of various peripherals are provided by Arduino microcontroller. LIDAR and camera work on Raspberry Pi embedded system computer. As a result of the work carried out, an ergonomic, safe, integrated robot design has been created that will reduce the financial resources allocated by the relevant organizations for environmental detection systems, where the user can recognize the relevant environment by remotely monitoring dangerous environments.

**Keywords:** Unmanned Ground Vehicles. Mapping Algorithms. LIDAR.Robot

## 1. GİRİŞ

Son yüzyılda teknolojik çalışmalar oldukça hızlı bir şekilde ilerlemiştir. Teknolojinin gelişmesiyle “otonom robotlar”, “LIDAR teknolojisi” gibi terimlerde günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Robotlar basit, tekrarlayan görevleri hızlı ve hassas bir şekilde yerine getirmenin yanı sıra günümüz robotları daha karmaşık olan algoritmaları hızlı bir şekilde yürüterek, hareket etme ve "düşünme" biçimleri bir insanın düşünme yapısıyla karşılaştırılabilmektedir. Her geçen gün yaşam standartlarını daha da kolaylaştıran robotlar, insan hayatında yeni keşiflere ışık tutarak, yol gösterici konumuna gelmiştir. Yüzyılın başından günümüze teknik alanda kaydedilen ilerlemeler yeni buluşları da beraberinde getirmiştir. Bu ilerlemeler sonucunda yeni çalışma alanları ortaya çıkmıştır. Proje kapsamında, daha yeni çalışma konularından bazıları incelenmiştir. Konular otonom robotlar, LIDAR ve ortam haritalama olarak sınıflandırılabilir.

Günümüzde farklı amaçlar için geliştirilmiş ortam haritalama sistemleri bulunmaktadır. LIDAR teknolojisinin kullanıldığı bu sistemler ticari veya akademik ortamlarda geliştirilerek çalışmaları yapılmaktadır. Ancak mevcut çalışmalar genellikle tek bir amaç doğrultusunda ilerlemektedir. Günlük yaşantımızda sıkça karşılaştığımız; sürücü için kararlar alarak günlük sürüşü daha güvenli ve daha verimli bir deneyim haline getiren otonom otomobiller [1], engellere takılmadan hareket edebilmek için LIDAR sensör ile bulunduğu ortamın temel haritasını çıkaran otonom temizlik robotları [2], LIDAR sensör yardımıyla sanal gerçeklik uygulamaları kullanımında ortamın haritalanmasına olanak sağlayan telefonlar [3], LIDAR kullanılarak arkeolojik anıtların ve mekanların 3B modellenmesi [4], LIDAR verileri kullanılarak akıllı şehir planlaması [5], LIDAR sensörü kullanarak tarım robotları için bitki algılama ve tarım arazisini modelleme [6] gibi ticari veya akademik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Akay vd. [7], geniş çaplı alanlarda doğal kaynakların yönetilmesi ve gerekli bilgilerin toplanmasında, zaman kaybının ve kaynak tüketiminin önüne geçebilmek için LIDAR uzaktan algılama teknolojisi kullanarak doğru Dijital Yükseklik Modellemeleri (DEM - Digital Elevation Modeling) ile birlikte orman alanlarının 3B karakterizasyonunu çıkarmışlardır. Zhang ve Singh [8] çalışmalarında, lazer tarayıcıların hareket halinde oluşturdukları nokta bulutunda veri kayıplarının yaşanmaması için gerçek zamanlı LIDAR odyometri ve haritalama sistemi gerçekleştirmişlerdir. Wąsik vd. [9], LIDAR tabanlı bağıl konumlandırma ve takip sistemi geliştirmişlerdir. Sunulan yaklaşım, kullandıkları otonom robota tam görüş alanı sağlamak amacıyla ön ve arkaya konumlandırılan iki LIDAR kullanımına dayanmaktadır. Kağızman [10], 3B LIDAR sisteminin geliştirilmesi ve engel tespiti yapmıştır. LIDAR sisteminin koordineli olarak çalışması için robot bileşenlerinin bilgisayar ile kontrol edilmesini sağlayan yazılım platformu olan ROS’u kullanmıştır. Akyol ve Ayşegül [11] çalışmalarında, LIDAR sensörü kullanarak Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM) yöntemi ile ortamın iki boyutlu haritalaması ve eş zamanlı konum belirleme işlemini gerçekleştirmişlerdir. LIDAR sensörlerini kullanmanın belki de en önemli dezavantajı maliyetleridir. Çalışma kapsamında, düşük maliyetli LIDAR ve diğer düşük maliyetli bileşenleri kullanarak insansız kara aracı ile ortam modelleme sisteminin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Işık algılama ve mesafe (LIDAR - Laser Imaging Detection and Ranging) sensörleri, mesafeyi ölçmek için lazer ışığı darbeleri yayan cihazlardır. Radar teknolojisiyle benzerlik göstermektedir. Radar sensörlerde kullanılan radyo dalgaları yerine lazer darbeleri kullanılmaktadır. Sensörlerden toplanan veriler, çevremizdeki ortamların oldukça ayrıntılı 2B ve 3B haritalarını oluşturmak için kullanılmaktadır. Ölçme, tarım, madencilik gibi alanlarda geleneksel haritalama yöntemi kullanılırken, günümüzde teknolojinin gelişmesiyle beraber daha ayrıntılı haritalama yapılabilmesi için birçok alanda LIDAR teknolojisi tercih edilmektedir. Karmaşık algoritmaların yardımıyla, askeri uygulamalarda, otonom araçlar ve kentsel arama kurtarma görevlerinde otonom navigasyonda kullanılmak üzere Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM - Simultaneous Localization and Mapping) problemini çözmek için LIDAR sensörleri kullanılmaktadır. Hava, kara ve deniz platformları için çeşitli SLAM algoritmaları mevcuttur. SLAM, birçok kullanım alanlarının olması ve GPS’e göre çok daha hassas ölçümler yapabilmesi nedeniyle tercih

edilen yöntemlerden birisidir. ROS (Robot İşletim Sistemi) yazılımında yaygın olarak kullanılan iki SLAM paketi mevcuttur. Bunlar; GMapping ve Hector SLAM'dir. Çalışma kapsamında HectorSLAM yöntemi kullanılmıştır. SLAM için LIDAR sensörlerini kullanmanın belki de en kritik dezavantajı maliyetleridir. Gerçekleştirilen çalışmada düşük maliyetli LIDAR kullanılmasına odaklanılmıştır.

Bu çalışmada, birçok alanda kullanılan farklı haritalama sistemlerinin çalışma kapsamında gerçekleştirilmesi planlanan alanlarda kullanılmak üzere, otonom robot ile belirlenen ortamlara erişimi kolaylaştırarak bulunduğu mekânın 3B modelinin oluşturulmasında, daha etkin bir düzeyde modelin gerçekleştirilmesi ve düşük maliyetli olması amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. İnsansız Kara Araçlarının İncelenmesi

İnsansız kara aracı (İKA), fiziksel olarak üzerinde insan bulunmayan ve yerde hareket edebilen robotların genel adıdır. İnsan varlığının ilgili ortamda bulunmasının tehlikeli veya olanaksız olduğu durumlarda kullanılır. Günümüzde birçok farklı boyut, şekil, konfigürasyon ve karakterde insansız kara araçları üretilmektedir. İnsansız kara araçları uzaktan kontrol edilebildiği gibi üzerinde kullanılan sensörleri vasıtasıyla otonom bir şekilde belirli bir hareket planı çerçevesinde görevlerini gerçekleştirebilmektedir. Günümüzde, insansız kara araçları nakliye, teslimat, tarım, madencilik, temizlik, devriye, keşif ve savunma dahil olmak üzere sivil ve ticari uygulamalar, askeri uygulamalar, uzay uygulamaları gibi birçok alandaki uygulamalar için görev yapmaktadırlar. İnsansız kara aracının yakın gelecekte insan hayatını ve kara muharebe biçimini büyük ölçüde değiştireceği beklenmektedir. İnsansız kara aracının temel teknikleri çevre algılama, hareket planlama, şasi dinamiği kontrolü ve bulut kontrolü olarak sınıflandırılabilir.

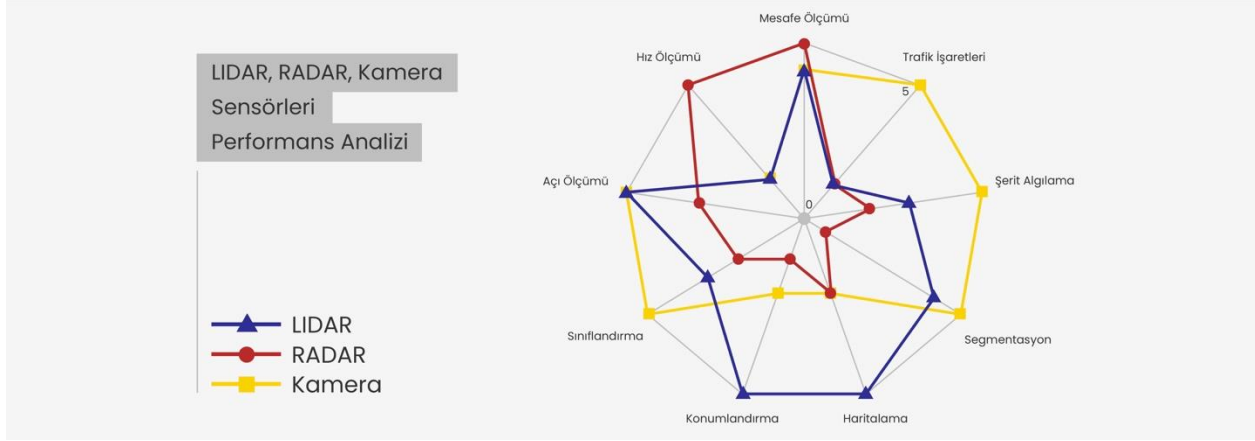
Terim olarak İnsansız Kara Aracı ile Otonom Kara Aracı genellikle karıştırılmaktadır. Otonom Kara Araçları'nı İnsansız Kara Araçları'nın alt kümesi olarak belirtebiliriz. İnsansız Kara Araçları belirlenen rotada veya operasyonel güzergâh üzerinde uzaktan kontrol edilerek gidebilirken, Otonom Kara Araçları tüm eylemlerini, çevreyi algılayarak ve kendi konumlarını bu çevre üzerinde bularak oluşturdukları ortam modeli üzerinde, yapay zekâ uygulamalarının kendi verdiği kararları ile gerçekleştirmektedirler. Günümüzde geliştirilen bazı İKA'ların görselleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek İnsansız Kara Araçları [12] [13].

Bir kara aracına otonom kontrol özelliğinin eklenmesi, özetle sensörler aracılığı ile ilgili ortamın modellenmesi, model kapsamında araç konumunun bulunması, uygulanan karar ve destek algoritmaları ile araç hareketi planlanarak aracın hareket ettirilmesi şeklinde ifade edilebilir. İKA'ların geliştirilmesinde kullanılan algılayıcılar, 2B-3B nesne bulma ve sınıflandırma, mesafe ölçümü, algılayıcı füzyonu, konumlandırma, anlamlandırma, karar ve kontrol gibi mimariler kullanılmaktadır. Algılayıcılar; İKA'ların çevresini tanımlaması için tercih edilmektedir. Kara araçları için genel olarak kullanılan algılayıcılar radar,

LIDAR, IMU, kamera ve odyometri algılayıcıları olarak belirtilebilir. Tüm algılayıcıların birbirleri arasında iyi veya kötü olduğu özellikler söz konusudur. Bazı algılayıcının doğru çalıştığı ortamda ve durumda diğer algılayıcı doğru çalışmayabilmektedir. Bu tarz farklı algılayıcıların araçlar üzerinde test edilerek en uygun algılayıcının belirlenmesi ile algılayıcı füzyonu algoritmalarının yardımıyla, farklı algılayıcıların birbirleri arasındaki dezavantajları ortadan kaldırılabilmekte ve optimum ölçüm alınabilmektedir. Otonom sistemlerde kullanılan farklı gereksinimler için hangi algılayıcıların tercih edilirliliği ile ilgili grafik Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Algılayıcıların tercih edilirliliği ve performansları.

## 2.2. Arduino İşlemcisine ve Raspberry Pi Gömülü Sistemine Genel Bakış

Arduino dijital ve analog giriş / çıkış (G / Ç) pinleri ile donatılmış ve Processing/Wiring dilini içeren geliştirme ortamından oluşan fiziksel programlama platformudur. Arduino'nun temel bileşenleri; Arduino tümleşik geliştirme ortamı (IDE - Integrated Development Environment), Arduino kütüphaneleri, Arduino bootloader, AVR Dude ve derleyiciden (AVR-GCC) oluşur. Geliştirme ortamı, Java dilinde yazılmıştır ve Processing dilinin ortamına dayanmaktadır. Programlamada kullanılan kütüphaneler ise C ve C++ dillerinde yazılarak AVR-GCC ve AVR Libc. ile derlenmiştir. Arduino'nun tercih edilme sebepleri olarak; Evrensel Seri Veriyolu (USB – Universal Serial Bus) ile bilgisayara doğrudan bağlantısı, geliştirilen kitlelere kolaylıkla adapte edilebilen eklenti ve sensör devre elemanlarının piyasada yaygın olarak bulunması, mikrodenetleyiciler için gerekli olan programlayıcıya ihtiyaç duyulmaması, benzer sistemlere göre daha uygun maliyetde olması ve geniş kütüphane desteği sunması gibi avantajları bulunmaktadır.

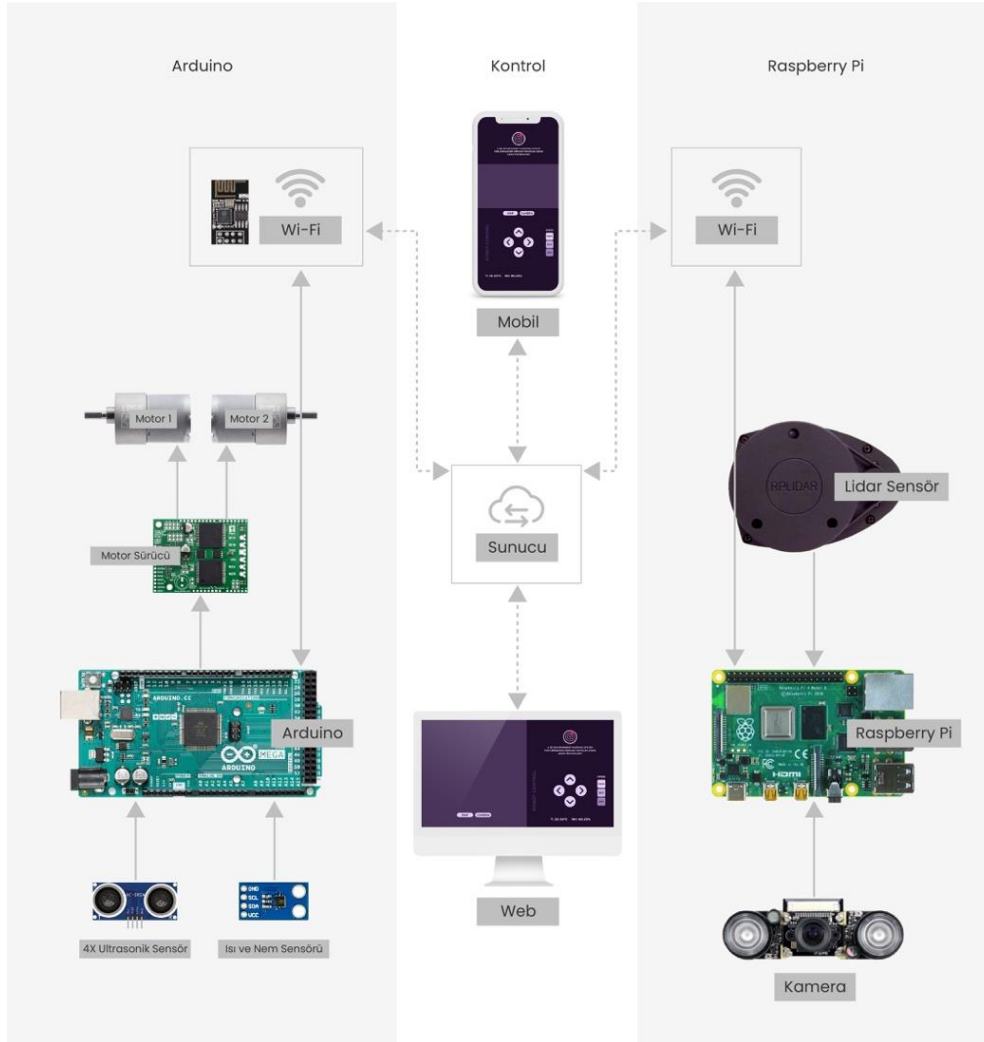
Çalışma kapsamında geliştirilen İKA'nın kontrolü için gerçekleştirilen tüm işlemlerin hızlı ve kararlı bir biçimde yürütülmesinden dolayı Arduino platformunun kullanımı tercih edilmiştir. Arduino kartlarının karakteristik özellikleri araştırıldığında Arduino Mega 2560 kartının proje kapsamında kullanımı uygun bulunmuştur. Kartın genişleme özelliği sayesinde birçok çevre birim ve farklı sensörler ile kolaylıkla haberleşebilmekte ve uygulama kapsamında yürütülecek iş paketleri daha hızlı daha tümleşik bir biçimde gerçekleştirilebilmektedir. Kart üzerinde 54 adet giriş-çıkış bulunmaktadır. 256KB RAM kapasitesine sahip olan kart, 16 MHz çalışma frekansında ve +5V çalışma geriliminde işlem gerçekleştirmektedir.

Çalışmada kullanılan diğer platform ise Raspberry Pi gömülü sistem bilgisayarıdır. RPI üzerinde USB ve Ethernet girişleri bulunan tek karttan oluşan genellikle Linux işletim sistemi ile kullanılan tam donanımlı bir gömülü sistem bilgisayarıdır. Linux ya da Windows işletim sistemleri kurularak normal bir bilgisayar ile yapılabilecek birçok işlemi yapabilmektedir. Ayrıca Linux tabanlı RPI için optimize edilmiş Debian'a dayalı Raspbian işletim sistemi de bulunmaktadır. Başlangıçta eğitim amaçlı tasarlanan bu mini bilgisayar, günümüzde birçok akademik çalışmalarda ve ticari projelerde de kullanılmaktadır.

Geliştirilen İKA'da haritalama ve görüntü işleme süreçleri için gerçekleştirilen tüm işlemlerin daha verimli yürütülmesinden dolayı sistem tasarımında Raspberry Pi 4 Model B kullanılmıştır. Kullanılan kart, dört çekirdekli 1.5GHz 64 bit işlemci ve 4 GB RAM kapasitesine sahiptir. Kart üzerinde 40 adet giriş-çıkış pini bulunmaktadır. Bu giriş-çıkış pinleri ile yapılan geliştirmelerin dış ortam ile bağlantısı sağlanmaktadır.

### 2.3. Sistem Tasarımının Geliştirilmesi

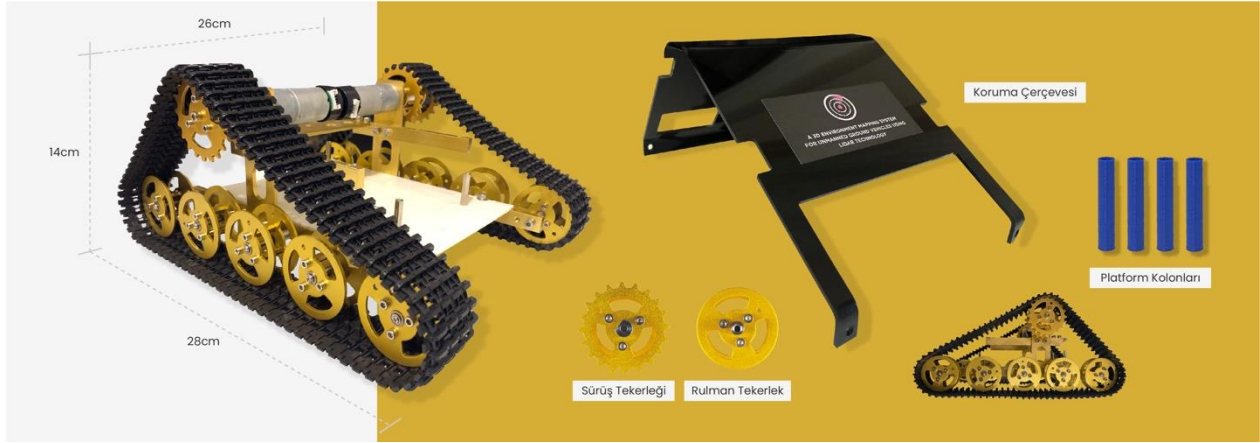
Gerçekleştirilen çalışmada en uygun sonuçların elde edilmesi ve İKA'nın tam performansta çalışmasını sağlamak için Raspberry Pi ve Arduino platformları birlikte kullanılmıştır. Arduino üzerinde bulunan mesafe algılayıcı sensörler ve sıcaklık-nem sensöründen gelen veriler mikrodenetleyiciye aktarılır. Mikrodenetleyiciye bağlı motor sürücü kartı ile motorların kontrolü sağlanır. Tüm bu gerçekleştirilen işlemler Wi-Fi sensörü ile sunucuya iletilir. Benzer şekilde Raspberry Pi gömülü sistem bilgisayarı üzerinde bulunan çevre birimlerden gelen verilerde Raspberry Pi üzerinde tümleşik olarak gelen Wi-Fi aracılığıyla sunucuya iletilir. Bu süreçte iki farklı platformun haberleşmesi mobil uygulama ve web arayüz uygulamaları ile sağlanmaktadır. Robotun dış dünya ile etkileşimi, bu etkileşim sonucunda elde edilen verilerin gözlemlenmesi ve kontrolü dinamik arayüze sahip mobil uygulama ile izlenmektedir. Ayrıca ihtiyaç durumunda internet ortamından da kontrol sağlanabilmektedir. Geliştirilen sistemin blok diyagramı Şekil 3'de gösterilmiştir. Geliştirme sürecinde yürütülen adımlar ve kullanılan yöntemler ayrı başlıklar altında anlatılmıştır.



Şekil 3. Sistem blok diyagramı.

## 2.4. Sistem Tasarımında Kullanılan Bileşenler

Geliştirilen sistem tasarımında robotun gövde tasarımı olarak, zorlu ortam koşullarında ilerleyebilen, yüksek manevra kabiliyetine sahip, üçgen formda paletli bir şasi kullanılmıştır. Şasi üzerinde 2 adet sürüş tekerleği ve 10 adet rulman tekerleği bulunmaktadır. Tekerleklerin bağlantısı 4.5cm x 78cm boyutlarında plastik paletler ile sağlanmaktadır. Gövde tasarımının geliştirilmesinde kullanılan kart ve sensörlerin en uygun konumlara yerleştirilmesi ve konumlandırılan yerlerde çevresinden gelebilecek darbe ve hasarlara karşı önlem almak için koruma çerçevesi tasarlanmıştır. Kullanılan robot şasisinin genel görünümü ve içerdiği parçalar Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Şasi genel görünümü ve içerdiği bileşenler.

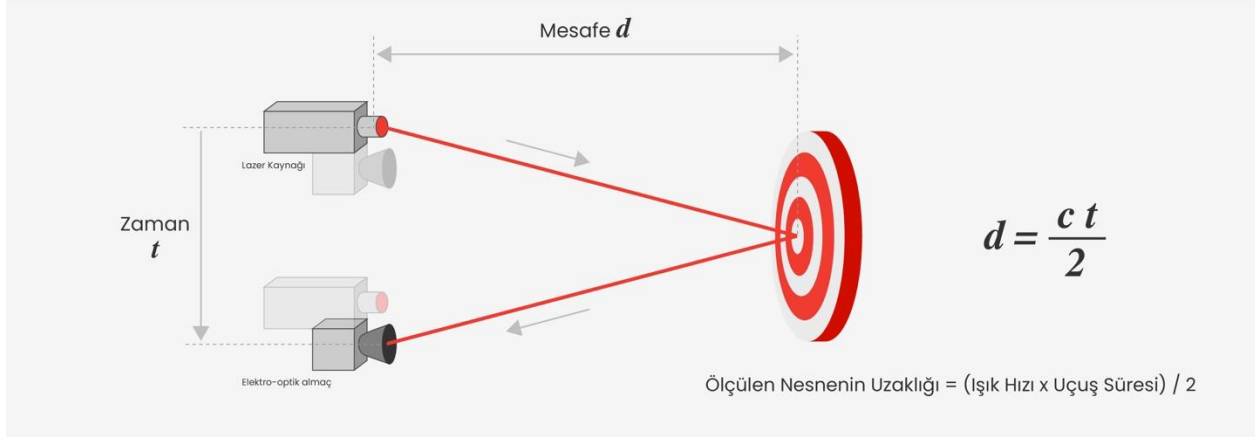
### 2.4.1. Arduino ve bağlı olduğu çevre birimler

İKA'nın motor kontrolü ve ortam verilerinin elde edilmesi için kullanılan çevre birimler Arduino Mega ile kontrol edilmektedir. Motor kontrollerinin sağlanması için Arduino mikrodenetleyici üzerinde Pololu marka VNH5019 motor sürücü kartı kullanılmıştır. A-star 32u4 Arduino kütüphanesini kullanan bu kart, 2 adet çift yönlü DC motor kontrolünü desteklemektedir. VNH5019 motor sürücüsü 5.5V ile 24V arasında çalışır. Maksimum PWM frekansı 20kHz dir. Arduino fiziksel programlama platformu üzerinde yer alan bir diğer çevre birim ultrasonik mesafe sensörüdür. İKA'nın otonom sürüş kontrolünde çevresindeki engellere takılmadan ilerleyebilmesi için aracın önünde ve arkasında ikişer tane olmak üzere toplam dört adet mesafe sensörü kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 4 metreye kadar uzaklıkları ölçebilen HC-SR04 Ultrasonik sensör tercih edilmiştir. Bu sensör 5V ile çalışıp 15mA akım çekmektedir. Ses dalgalarının nesnelere gidip gelme süresini ölçerek mesafeyi ölçme prensibi ile çalışmaktadır. Geliştirilen kara aracı bulunduğu ortamın sıcaklık ve nem verisini de toplamaktadır. Arduino üzerine entegre edilen yüksek hassasiyetli sıcaklık ve nem sensörü olarak CJMCU-1080 HDC1080 sensörü kullanılmıştır. Bağlı nem doğruluğu  $\pm\%2$  ve sıcaklık doğruluğu  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir [14]. Sistem tasarımında Arduino üzerinde kullanılan tüm bileşenler kablosuz olarak kontrol noktasına aktarılmaktadır. Kablosuz bağlantının gerçekleştirilmesi için TCP/IP protokolünü destekleyen ESP8266 Wi-Fi modülü kullanılmıştır. ESP8266 üzerinde bulunan dahili anten ile veri paketleri rahatlıkla transfer edilebilmektedir. Ayrıca bu sensör dahili düşük güç tüketimine sahip 32-bit'lik işlemciye sahiptir.

### 2.4.2. Raspberry Pi ve bağlı olduğu çevre birimler

İKA'da haritalama ve görüntü işleme süreçleri için gerçekleştirilen tüm işlemlerin daha verimli yürütülmesinden dolayı yüksek görüntü işleme performansı ve karakteristik özelliklere sahip Raspberry Pi 4 Model B gömülü sistem bilgisayarı kullanılmıştır. Çalışmanın ana temasını belirleyen ortam haritalama sistemi için LIDAR teknolojisi kullanılmaktadır. İKA'nın çevresinin düşük maliyette 3B modellenmesi için RPLIDAR A1M8 2B 360 derece lazer tarayıcı sensörü tercih edilmiştir. 5.5Hz tarama hızında saniyede 2000 örnekleme kapasitesine sahiptir. RPLIDAR'ın varsayılan tarama hızı kullanıcı tarafından motora gönderilen PWM sinyali 2-10Hz arasında değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Böylece 10Hz tarama hızında

saniyede maksimum 8000 örnekleme hızına çıkılabilmektedir. Nesneleri algılama aralığı maksimum 12 metredir. Algılamadaki açısal hassasiyeti  $\leq 1$  derece dir. Lazer mesafe sensörlerinin çalışma ilkesi, gönderdikleri lazer ışınlarının ilgili nesneye çarparak geri dönmesine kadar geçen zamanın mesafe cinsinden hesaplanmasına dayanır [11]. Lazer enerjisi kısa sürede ve belirli bir mesafedeki nesnelere doğru iletilir. Lazer sensörün menzili içinde bulunan herhangi bir nesne, gönderilen ışık enerjisinin belirli bir bölümünü geri yansıtır. Geri dönen ışık enerjisi, lazer sensörünün algılayıcısı tarafından algılanır. Sensörden çıkan ışık enerjisinin nesneye çarpıp geri dönmesi için geçen süre hesaplanır. Lazerden çıkan bu ışık demetinin hızı, ışık hızı bilindiğinden nesne ile sensör arasındaki mesafe kolaylıkla bulunabilir. Lazer tarayıcı sensörünün nasıl çalıştığı basit bir şekilde Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Lazer mesafe ölçümü.

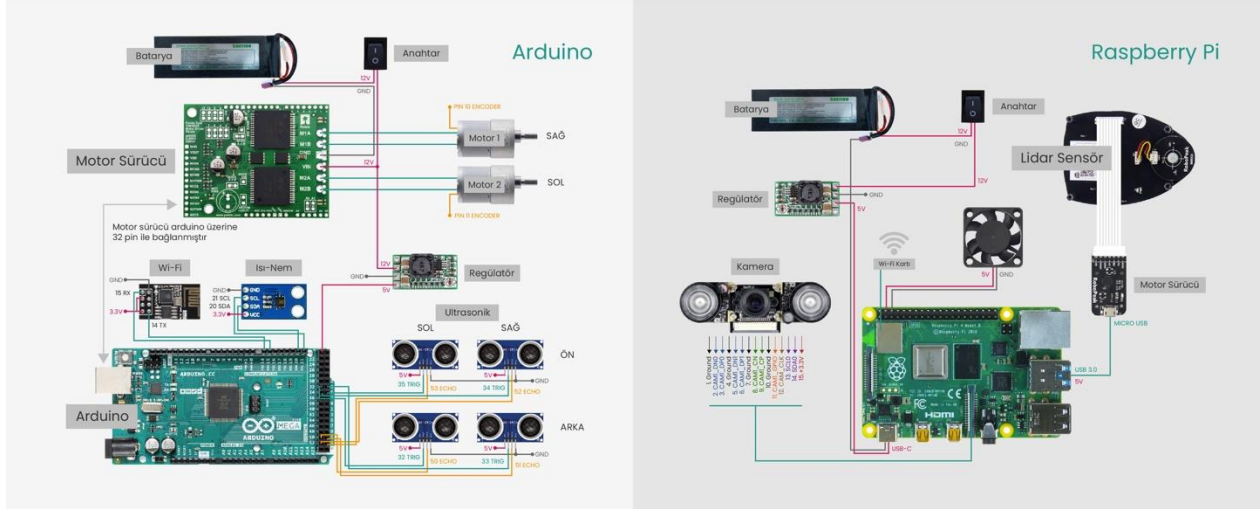
Raspberry Pi platformu üzerinde bir diğer çevre birim olarak RPI Kamera kullanılmaktadır. Kamera üzerinde bulunan 2 adet IR kızılötesi LED’leri sayesinde gece görüşü bulunmakta ve karanlık ortamlarda net görüntüler elde edilmektedir. Kameranın gece görüşü kayıt mesafesi 8 metre olup 5MP çözünürlüğe sahip bu kamera, 1080p sensör çözünürlüğünde kayıt yapabilmektedir.

## 2.5. Sistemin Elektronik Devre Tasarımları

Sistem tasarımındaki robot kontrol işlemlerinin gerçekleştirilmesi Arduino Mega 2560 ve bu karta bağlı olan VNH5019 motor sürücü kartı ile sağlanmıştır. 12V’luk lipo batarya tarafından beslenen motor sürücü ve Arduino kartı arasına 1-0 anahtar yerleştirilmiştir. Ayrıca Arduino ve anahtar arasınada 0.8-20V gerilim aralığına sahip regülatör konumlandırılmıştır. VNH5019 motor sürücü kartı arduino üzerine 32 pin ile yerleştirilmiştir. 5V gerilime sahip 4 adet HC-SR04 ultrasonik sensörün trig ve echo pinlerinin bağlantısı ve 3.3V gerilimle çalışan yüksek hassasiyetli sıcaklık ve nem sensörünün SDA ve SCL pinleri Arduino platformu üzerine bağlanmıştır. Son olarak 3.3V ile çalışan ESP8266 sensörünün TX ve RX pinlerinin bağlantısı sağlanmıştır.

Robotun çevreyi algılama işlemlerinin gerçekleştirilmesi Raspberry Pi 4 Model B sistem bilgisayarı üzerinden sağlanmıştır. Sistem bilgisayarı gücünü Arduino da olduğu gibi 12V’luk Lipo bataryadan almaktadır. Raspberry Pi ile batarya arasına Arduino’da kullanılan regülatör bağlanmış olup 5V çıkış gerilimine ayarlanmıştır. LIDAR lazer tarayıcının bağlantısı Raspberry Pi üzerinde yer alan USB 3.0 portu ile yapılmıştır. Kamera ise RPI kartı üzerinde bulunan 15 pinlik kamera giriş portu ile bağlanmıştır. Arduino fiziksel programlama platformu ve Raspberry Pi gömülü sistem bilgisayarı üzerinde bulunan bileşenlerin elektronik bağlantı şeması Şekil 6’da verilmiştir.





Şekil 6. Arduino ve Raspberry Pi elektronik bağlantı şeması.

İKA'nın motor kontrol gibi Arduino platformu üzerinde kullanılan tüm çevre birimlerin bağlantıları geliştirme sürecinde jumper kablolar vasıtasıyla sağlanmıştır. Sistem tasarımının fiziki boyutları ve yüzey alanlarını küçültmek, devre tasarımında kullanılan kablo karmaşıklığını gidermek için baskı devre kartı tasarlanmıştır. Arduino Mega 2560 kartı ve bu platforma bağlı bulunan devre elemanlarının tamamı baskı devre kartına aktarılmıştır. Baskı devre kartının geliştirilmesi sonucunda daha stabil devre tasarımı elde edilmiştir.

## 2.6. Arduino Kontrol Yazılımının Geliştirilmesi

Sistem üzerinde kullanılan sensörleri kodlama sürecinde gerçek zamanlı işletim sistemi FreeRTOS kütüphanesi kullanılmıştır. Bu kütüphane sayesinde tüm işlemlerin eş zamanlı olarak çalıştırılması sağlanmıştır. Motor kontrolleri için DualVNH5019MotorShield kütüphanesi kullanılmıştır. Motorların güç bağlantıları sürücü kartına M1A-M1B ve M2A-M2B portları ile bağlantısı yapılarak motor kontrolünde gerekli olan PWM pinlerinin arduino ile bağlantısı sağlanmıştır. Arduino motor sürücüsüne maksimum 400 PWM sinyali gönderir. Motor 1 ve Motor 2 için hız ve yön ayarları yapılmıştır. Kullanılan sürücü kartının özelliğinden dolayı hız için -400 ile 400 arasında bir değer verilmiştir. Robotun hızı hızlı (400), orta (200) ve yavaş (50) olmak üzere üç kademede ayarlanmıştır. Motor ilk çalıştırıldığında 200 PWM sinyalinde hareket edecektir. Daha sonra istenildiği durumda hız kademeleri ile robotun hareket hızı belirlenebilecektir. Fren ayarı ise 0 ile 400 arasında belirlenmiştir. Bu noktada 400 tam frene karşılık gelir.

Arduino ve çevre birimlerinin uzaktan kontrolünün sağlanması için ESP8266 Wi-Fi sensörü kullanılmıştır. Bu sensörün haberleşmesinde I2C iletişim veriyolu kullanılmıştır. ESP8266 modülünün çalışmasında I2cMaster ve Wire kütüphaneleri kullanılmıştır. 3.3V ile çalışan bu sensörün güç bağlantıları yapıldıktan sonra, üzerinde bulunan veri alma (RX – Receive X) ve veri iletme (TX – Transmit X) için ilgili pinlerin Arduino üzerindeki bağlantıları da sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında motorların otonom kontrolü için kullanılan 5V gerilime sahip 4 adet ultrasonik mesafe sensörünün güç bağlantıları yapıldıktan sonra, trig ve echo pinlerinin bağlantısı yapılmıştır. Trig sensörün ses dalgasını gönderen kısmı, echo ise gönderilen ses dalgasını alan kısımdır. En verimli ölçüm aralığı 2-200cm olan sensörün çalışma prensibi olarak trig pinine en az 10  $\mu$ S (mikrosaniye) süreli bir pulse uygulandığında başlar. Buna karşılık olarak, sensör 40 KHz'de 8 darbeden oluşan bir ses patlaması iletir. Bu 8 darbe, cihazın benzersiz ses imzası ile çıkar ve echonun gelen ses dalgalarını, ortam gürültüsünden ayırtmasını sağlar. 8 ultrasonik ses darbesi trigden çıktıktan ve nesneye çarpıp geri gelip echo pinine ulaştıktan sonra, echo pini sinyalin başlangıcını oluşturmaya başlamak için HIGH olur. Giden ses dalgaları geri gelmez ise, echo sinyali 38 mS (milisaniye) sonra zaman aşımına uğrayarak azalır. Böylece 38 mS'lik

bir darbe sensör aralığında herhangi bir engel olmadığını gösterir. Bu süreç de, darbeler nesneye çarpıp geri gelirse, sinyal alınır alınmaz echo LOW olur. Bu olay, sinyalin alınması için geçen süreye bağlı olarak genişliği 150 uS ile 25 mS arasında değişen bir darbe üretir. Alınan sinyalin gidiş ve geliş süresi arasında geçen zaman, nesneye olan mesafeyi hesaplamak için kullanılır.

Geliştirilen otonom aracın bulunduğu ortamı tanıma sürecinde sıcaklık ve nem verileri de kullanılmaktadır. Bu aşamada düşük güç tüketimine sahip yüksek hassasiyetli CJMCU-1080 HDC1080 sıcaklık-nem sensörü kullanılmıştır. Sensör üzerinde bulunan I2C iletişim veriyoluna sahip SCL ve SDA pinlerinin Arduino ile bağlantısı sağlanmıştır. Sensörün kullanımı için Arduino platformuna MLX90615 kütüphanesi yüklenmiştir.

## 2.7. Gömülü Sistem Yazılımının Geliştirilmesi

Geliştirilen otonom İKA'nın, bulunduğu ortamı tanıması için üzerine yerleştirilen algılayıcı sistemler olarak LIDAR ve RPI Kamera kullanılmıştır. Kullanılan algılayıcıların yazılımının geliştirilmesi RPI üzerinden gerçekleştirilmiştir. İlk olarak sistem bilgisayarına Linux tabanlı Raspberry'nin açık kaynak işletim sistemi olan Raspbian yüklenmiştir. Ortamın 2B haritalanmasında ROS üzerinde SLAM algoritması kullanılmıştır. Robot İşletim Sisteminin Melodic sürümü, ROS resmi internet sitesindeki talimatlara göre kurulmuştur [15]. Bu işlemde sonra artık SLAM paketlerinin kurulması gerekmektedir. LIDAR verilerini alan rplidar\_ros paketi ve bu verileri harita oluşturmak için yorumlayan SLAM paketi, RoboPeak'in Github sayfasından yüklenmiştir [16]. Robotun bulunduğu ortamı taraması sonucunda 2B haritasının görüntülenmesi için Rviz görselleştirme ortamı kullanılmıştır. Robot ilk çalıştığında Rviz, robotun çevresinin tamamlanmamış bir haritasıyla açılmaktadır. Robot, map\_update\_distance\_thresh parametresi tarafından belirtilen mesafeyi her hareket ettirdiğinde veya map\_update\_angle\_thresh parametresi tarafından belirtilen bir açıyla döndüğünde harita güncellenir. Sistem tasarımında kara aracının bulunduğu ortamı 2B haritasını çıkarmasının yanında, geliştirilen yazılımla aynı ortamın 3B modelini de elde etmektedir. İlgili yazılım Python dilinde geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılımın akışında ilk olarak RPLidar ve pygame modülleri kurulmuştur ve ekran kurulum ayarları yapılmıştır. Verilerin ekrana sığacak şekilde ölçeklendirilmesi sağlanmıştır. Lazer tarayıcıdan gelen verilerin ekranda gösterimi için şekil, boyut, renk özellikleri belirlenerek nokta bulutu oluşturulmuştur. Elde edilen nokta bulutları 2B lazer tarayıcıdan dolayı sadece x ve y eksenlerini vermektedir. 3B modellemenin yapılabilmesi için gerekli olan z eksenini, yazılım içerisinde belirlenen en uygun koşulda değerler üretmektedir. Algılamadaki açısal hassasiyeti  $\leq 1$  derece olan LIDAR sensörün, z değeri için mesafe ölçüm hassasiyeti 0.5mm olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte robot üzerinde bulunan LIDAR sensöründe ayarlanabilir platformu sayesinde aşağı-yukarı yönde hareket ederek taramasını gerçekleştirmektedir. Uygulanan yöntemlerden sonra, saniyede 8000 örnekleme hızında çalışan LIDAR sensör verileri, yazılım içinde lidar\_scan.xyz adında oluşturulan ".xyz" uzantılı dosya içerisinde birleştirilmiştir. Dosya, yazılımın ana dizinine kayıt edilir. Elde edilen nokta bulutu verilerinin örnek koordinat çıktısı Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Örnek nokta bulutu verileri.

x	y	z
-117.094867	383.000054	1.1
1274.948479	-594.518239	1.2
1331.492504	-592.818657	1.7

İnsansız kara aracı sistem tasarımının geliştirilmesinde, ortamın 2B haritasını ve 3B modelini çıkarmasına ek olarak aracın kamera ile çevresindeki nesnelere tanıması için görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Araç üzerinde kullanılan kızılötesi RPI Kamera'nın yazılımı Python dili ile geliştirilmiştir. Yazılımda OpenCV açık kaynak kütüphanesi kullanılmıştır. Kullanılan kamera ile aracın etrafındaki nesne veya canlılar tanımlanarak, verinin mobil uygulama ile aktarımı sağlanmıştır. Bu aşamada, oluşturulan camera.py dosyası

ile nesnelerin dizinde saklanması, değişkenlerin atanması gibi işlemler gerçekleştirilmiştir. Nesnelerin tanımlanması ilgili nesnenin birçok farklı yapı veya şekillerinin bulunduğu fotoğraflarla sistemin eğitilerek nesneyi algılaması sağlanmıştır. Nesne veya canlıların örnek görüntüleri objects klasöründe toplanmıştır. Görüntü dosya adından nesne veya canlı adının çıkarılması işlemide camera.py dosyası içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kamera görüntüsü, html dili ile tasarlanan arayüzde görüntülenmektedir. camera.py'de yazılan kodun çalıştırılması, kameranın arayüze aktarımı ve geliştirilen mobil programda görüntülenmesi işlemleri de main.py dosyası içerisinde geliştirilmiştir.

Geliştirilen sistemin kontrolünün ve olası durumlarda sistem üzerinde yapılacak güncellemelerin kolaylıkla yapılabilmesi için Raspberry Pi'ye uzak masaüstü uygulamasıyla erişilebilmektedir. Uzak masaüstü uygulaması olarak Raspberry Pi ile hızlı çalışan VNC Server masaüstü paylaşım sistemi kullanılmıştır. Uzak bağlantı ayarlarında optimum bağlantı noktasının belirlenmesi için RPI'nin konfigürasyon ayarları yapılmıştır.

## 2.8. Mobil Yazılım ve Arayüz Tasarımının Geliştirilmesi

İKA'nın geliştirilmesinde kullanılan Arduino ve Raspberry Pi platformlarının kontrolü, mobil uygulama veya masaüstü web uygulaması aracılığıyla sağlanmaktadır. Masaüstü web uygulamasının yazılım sürecinde arayüz tasarımı için html ve Java dilleri kullanılmıştır. Geliştirme ortamı olarak NetBeans platformu tercih edilmiştir. Ayrıca mobil uygulamada Android Studio üzerinden geliştirilmiştir. Uygulama arayüzünde görüntü boyutlarının küçülmemesi için map ve camera butonları eklenmiştir. Butonlar arasında geçiş yaparak ilgili alanın gösterimi net bir şekilde sunulmuştur. Motor kontrolünün sağlandığı yön butonları ise erişilebilir olması için uygulamanın arayüzünde en uygun yere konumlandırılmıştır. Kara aracının motor kontrol hızı, üç kademeden biri olarak seçilebilmektedir. Ayrıca Arduino platformu üzerinde bulunan sıcaklık ve nem sensörünün verileri de arayüz tasarımında görüntülenebilmektedir. Arayüz uygulamasının mobil telefon ve masaüstü bilgisayar üzerindeki genel görüntüsü Şekil 7'de gösterilmiştir.



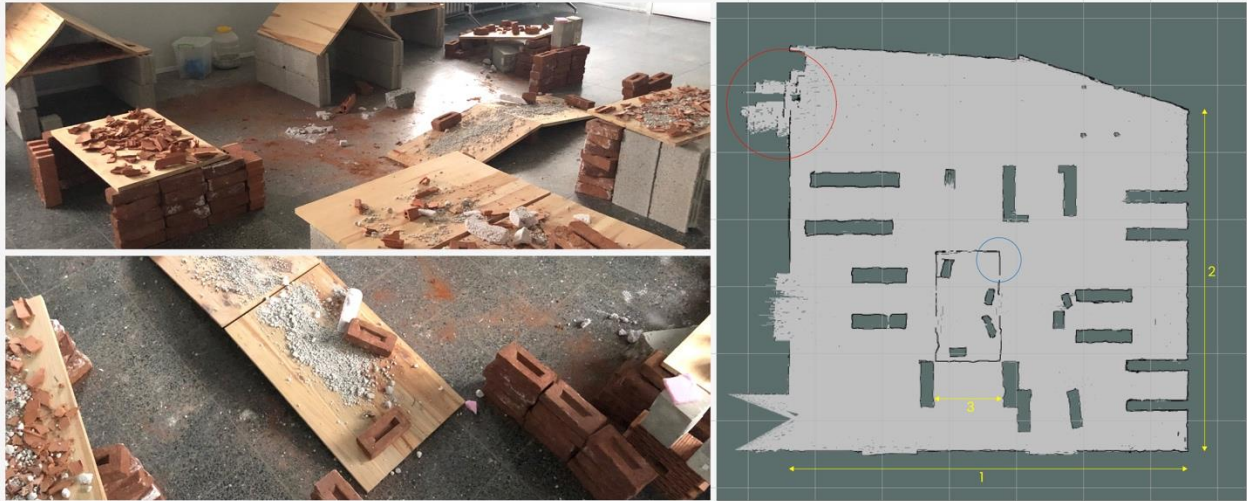
Şekil 7. Arayüz uygulaması genel görüntüsü.

Geliştirilen arayüz uygulaması ile insansız kara aracının tüm yeteneklerinin kontrol edilebildiği, LIDAR lazer tarayıcının oluşturduğu ortam haritasının görüntülenebildiği, görüntü işleme tekniği kullanan kamera ile ortamın daha iyi tanımlanması için oluşturulan görüntülerin gözlemlenebildiği ve kara aracı üzerinde bulunan diğer sensör verilerinin tek ekran üzerinde erişilebildiği tümleşik bir arayüz tasarımı oluşturulmuştur.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

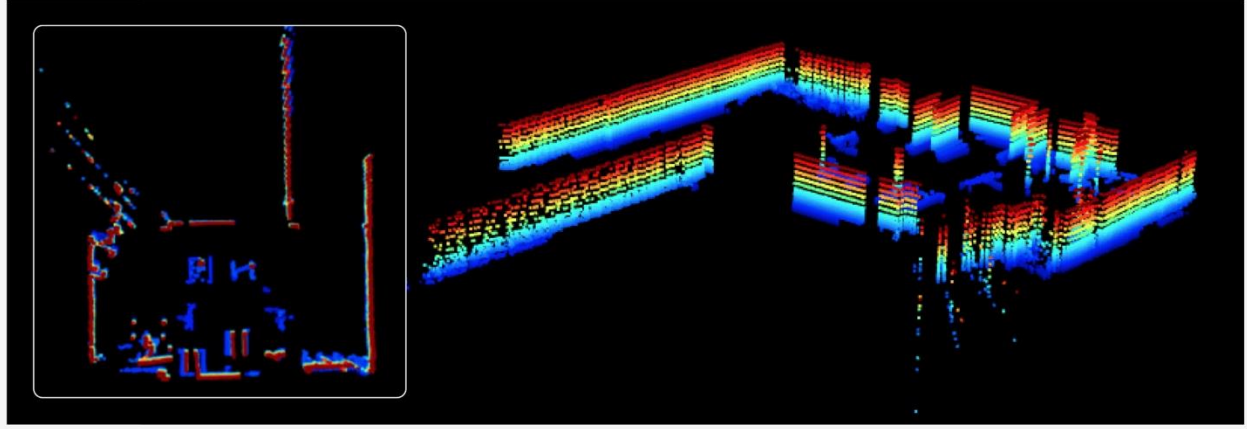
#### 3.1. Haritalama İşlemlerinin Çıktıları

Geliştirilen sistem tasarımında, İKA'nın bulunduğu ortamı 2B haritalaması ve 3B modellemesi için 2B LIDAR lazer tarayıcı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan işlemler, kara aracı için özel olarak hazırlanmış deney ortamında gerçekleştirilmiştir. İKA'nın üzerine konumlandırılan LIDAR sensör ile ilk olarak ortamın 2B haritalama işlemi gerçekleştirilmiştir. 2B haritalama işleminde LIDAR tarama yüksekliğinin sınırlı seviyede olmasından dolayı, ortamda bulunan yüksek forma sahip nesnelerin harita üzerinde görünümü anlamsız kalabilmektedir. Deneysel çalışmalarda, haritalama sırasında karşılaşılan pencere gibi camlı nesnelere önemli komplikasyonlara neden olmuştur. LIDAR tarafından gönderilen lazer ışığının tekrar LIDAR'a yansıtılması yerine cam nesnelere nüfuz edebilmektedir. Bu senaryolar genellikle SLAM algoritmasının bu taramaları çok uzaktaki nesnelere yorumlamasına veya taramaları haritaya hiç kaydetmemesine neden olarak, bulanık veya kırık görünümlü duvarlar ile haritayı kırabilir. Bu durum, Şekil 8'deki 2B ortam haritası üzerinde kırmızı daire içine alınmış bölgede görülebilmektedir. Sadece cam nesnelere haritada kötü okumalara neden olmakla kalmaz, aynı zamanda LIDAR'dan gelen veri eksikliği nedeniyle HectorSLAM'ın çökmesine de neden olabilirler. SLAM algoritması tarafından üretilen haritaların ölçeğinin ne kadar doğru olduğunu belirlemek için Şekil 8'de sarı renk ile gösterilen üç uzunluk gerçek hayattaki ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Haritadaki her kare 1m'yi temsil etmektedir. Harita ölçümlerinin gerçek ölçümlerle karşılaştırılması sonucunda, birinci uzunluk 5.9m, ikinci uzunluk 6.1m, üçüncü uzunluk 0.9m olarak ölçülmüş ve birebir aynı değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan deney ortamının fiziksel görüntüsü ve oluşturulan 2B ortam haritası Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Deney ortamının fiziksel görüntüsü ve 2B haritası.

Sistem tasarımında İKA'nın bulunduğu ortamın 2B haritasını çıkarmasıyla birlikte Python platformunda geliştirilen yazılımla aynı ortamın 3B modelide çıkarılmaktadır. Haritalama işleminde olduğu gibi cam nesnelere ortamın modellenmesinde LIDAR'dan gelen eksik veri nedeniyle nokta bulutunun oluşturulmasında sorunlar yaşanabilmektedir. Saniyede 8000 örnekleme ile çalışan LIDAR sensörü ilgili ortamı ne kadar çok tararsa, nokta bulutu verisinin yoğunluğu nedeniyle o ortamın net bir şekilde modellenmesi sağlanmaktadır. Tarama sonucunda elde edilen verilerin oluşturduğu nokta bulutu, yükseklik değeri esasına dayanarak renkli bir biçimde görüntülenmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan deney ortamında oluşturulan 3B ortam modeli Şekil 9'da gösterilmiştir. Kara aracının otonom kontrollerinin, arayüz uygulaması ile uzaktan takip edilerek, ortamın kamera ve 2B-3B harita verilerine düşük maliyette erişilebilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen sistemin özellikleri bakımından literatürde bulunan bazı çalışmalar ile karşılaştırması Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 9. Deney ortamının 3B modeli.

Çizelge 2. İKA'nın literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması.

<i>Çalışma Adı</i>	<i>Haritalama</i>	<i>Otonom Kontrol</i>	<i>Arayüz Desteği</i>	<i>Mali Durum</i>
Haala vd. [17]	3B	Yok	Var	Yüksek
Weiss ve Biber [6]	3B	Yok	Yok	Yüksek
Teixidó vd. [18]	2B	Yok	Yok	Düşük
Wasik vd. [9]	2B	Var	Var	Yüksek
Ocando vd. [19]	3B	Var	Var	Yüksek
Kağızman [10]	3B	Yok	Yok	Yüksek
Akyol ve Ayşegül [11]	2B	Var	Yok	Düşük
Geliştirilen İKA	3B	Var	Var	Düşük

### 3.2. Gömülü Sistem Kamera Çıktıları

Geliştirilen insansız kara aracının bulunduğu ortamı daha iyi tanıması ve kullanıcılara detaylı bilgi sunabilmesi için RPI Kamera ile görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Gömülü sistem bilgisayarı üzerinde kullanılan kamera, aynı zamanda kızılötesi özelliği ile karanlık ortamlarda da kaliteli görüntüler elde etmektedir. Nesne ve canlıların tanımlamasında, ilgili cismin fotoğrafları ile sistem eğitilmiştir. Çalışma kapsamında her bir nesne veya canlı için yaklaşık on örnek görüntü, sistemin eğitilmesi için yeterli olmuştur. Kamera kadrajında yer alan uygun açıya sahip her nesne için tanımlama işlemi kararlı bir şekilde sağlanmıştır. Tek görüntü karesinde birçok nesne tanımlanabilmektedir. Deney sahasına canlı tespitinde örneklendirilebilmesi için ortam içerisinde kedi biblosu da yer almıştır. Yapılan çalışmaya örnek verecek olursak, hasar görmüş bir binanın içerisinde tehlikeli bir ortamda görev yapan İKA, bulunduğu ortamda bir canlı ve hasardan kaynaklanan etrafa saçılmış nesnelere algılayarak, nesne ve canlıyı kare içerisinde alarak isimlendirilmesini sağlamaktadır. Örneğin; kedi veya tuğla gibi canlı ve nesneyi, belirlenen isimleri ile görüntü üzerinde belirtmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada hazırlanan deney ortamının kamera ile çekilmiş görüntüsü ve görüntü işleme tekniği ile oluşturulan kamera görüntüsü ise Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Görüntü işleme tekniği ile ortam görüntüsü.

### 3.3. Geliştirilen İKA Tasarımı ve Performansı

Geliştirilen sistem tasarımının kontrol arayüz uygulaması ve LIDAR haritalama uygulaması Raspberry Pi gömülü sistem bilgisayarı üzerinde geliştirilmiştir. Raspberry Pi üzerinde ortam haritalama ve oluşturulan haritanın mobil programa iletilmesi işlemleri etkin ve kararlı bir biçimde çalışmaktadır. Kullanılan gömülü sistem bilgisayarı 4 GB RAM kapasitesine sahip olduğundan dolayı uygulamaların çalışma zamanında herhangi bir yavaşlama veya problem ile karşılaşılmamıştır. Sistem tasarımında kara aracının motor kontrolleri ve çevre birimlerin yönetimi ise Arduino Mega 2560 kartı ile sağlanmıştır. Proje geliştirme sürecinin ilk aşamasında tüm sensör ve motorların devre tasarımı jumper kablolar ile sağlanmaktayken, veri akışında sorunlar yaşanmıştır. Tüm çevre birim bağlantılarını tek bir kart üzerinde toplayan baskı devre kartı hazırlanarak sorun çözülmüştür. Arduino ve Raspberry platformlarından sunucuya veri aktarımı için çıkan radyo dalgaları gecikme ve veri kaybı yaşamadan arayüz uygulamasına aktarıldığı gözlenmiştir. İKA üzerinde yer alan ultrasonik sensörler aracın otonom sürüşünün yüksek performansta gerçekleşmesi için şasinin dört köşesine yerleştirilmiştir. Yüksek hassasiyetli sıcaklık ve nem sensörü şasinin tam ortasında yer almıştır. Ortamın anlık görüntüsüne en uygun açıdan erişebilmek için RPI Kamera yerden 200 mm yüksekliğe monte edilmiştir. Kara aracının bulunduğu ortamı modellemesi için kullanılan LIDAR ise aracın boyutunu göz önüne alarak en uygun koşullarda tarama yapabilmesi için şasinin en üstüne konumlandırılmıştır. Bu yerleşim planı sonucunda sistem kararlı bir şekilde çalışmaktadır.

İKA'nın sürüş yeteneği, zaman zaman optimalin altında olmasından dolayı genellikle düşük haritalama performansına neden olmuştur. En önemlisi, araç genellikle beton zeminler gibi pürüzsüz yüzeyleri aşmakta zorlanmıştır. Bu sorunu en aza indirmek ve çekişi artırmak için tekerlerin etrafına darbelerde kırılmayan, yüksek sıcaklığa dayanıklı, aşınmayan ulpolen plastik malzemeden üretilmiş palet tercih edilmiştir. Paletler zemini iyi kavrarken, kara aracını hareket ettirmek için motorların gereken torku sağladığı gözlemlenmiştir. Geliştirilen İKA'nın şasisi gerekli performansı sağlamakta ve kararlı bir biçimde görevini tamamlayabilmektedir. Geliştirilen İKA'nın üzerinde bulunan bileşenlerin yerleşim planı ve aracın nihai tasarımı Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. İKA'da kullanılan bileşenlerin yerleşim planı ve nihai tasarımı.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Günümüzde farklı amaçlar için geliştirilmiş ortam haritalama sistemleri bulunmaktadır. LIDAR teknolojisinin kullanıldığı bu sistemler ticari veya akademik ortamlarda geliştirilerek çalışmaları yapılmaktadır. Ancak mevcut çalışmalar genellikle tek bir amaç doğrultusunda geliştirilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda LIDAR teknolojisi, görüntü işleme tekniğine sahip kamera ve diğer algılayıcı sensörlerin bir arada bulunduğu çevre algılayıcı robot sistemler bulunmamaktadır. Bu sebeple ilgili ortamı daha fazla tanıyabilmek için farklı sistemlerin yüksek maliyetlerde kullanılmasını gerektirmektedir. Ayrıca geliştirilen sistem tasarımlarının genelinde robot manuel olarak kontrol edilmekte veya robotun elde ettiği veri sunucuya kararlı bir şekilde aktarılamamaktadır. Haritalama sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda, LIDAR sensör olarak genellikle 3B veri setini oluşturan sensörler kullanılmış ve sensör kontrolünü de çoğunlukla Nvidia Jetson TX geliştirme kartı gibi oldukça yüksek maliyetli donanım bileşenleri tercih edilmiştir.

Geliştirilen sistem tasarımında ortam tanımlamasına katkı sağlayacak çeşitli çevre birimlerin LIDAR ile birlikte tek bir robot üzerinde toplanması sağlanmıştır. LIDAR sensörlerini kullanmanın belki de en kritik dezavantajı maliyetleridir. Çalışma kapsamında, düşük maliyetli LIDAR ve diğer düşük maliyetli bileşenler kullanarak, otonom robot ile belirlenen ortamlara erişimin kolaylaştırılıp bulunduğu mekânın daha etkin bir düzeyde 3B modelinin oluşturulması sağlanmıştır. İKA'nın tüm yeteneklerinin kontrol edilebildiği, LIDAR'ın oluşturduğu ortam haritasının görüntülenebildiği, ortamın daha iyi tanımlanması için kamera ile anlık olarak çevrenin gözlemlenebildiği ve kara aracı üzerinde yer alan diğer sensör verilerinin tek ekran üzerinde erişilebildiği tümleşik bir arayüz uygulaması geliştirilmiştir. Raspberry Pi kartı üzerinde geliştirilen bu çalışmalar için benzer mimaride işlem gerçekleştiren daha yüksek performansa sahip bir gömülü sistem bilgisayarları kullanılabilir. İKA'nın kontrolünün sağlandığı ve verilerin görüntülediği arayüz uygulaması, TCP/IP bağlantı yoluyla Wi-Fi kartları üzerinden Arduino ve Raspberry Pi ile haberleşmesi hızlı ve kararlı bir şekilde sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında İKA'nın kullanımı kolay olmayan mekân senaryoları da göz önünde bulundurulmuştur. Aracın çarpılmalar nedeniyle ani hareketler ve agresif dönüşler olmadan her zaman sorunsuz çalışması gerekmektedir. Geliştirilen kara aracının şasisinde pirinç metal tercih edilerek araç iskeletinin dayanıklılığı artırılmıştır. Paletlerde kullanılan plastik malzeme ile de aracın zemini iyi kavraması ve motorların gerekli tork performansı sağlanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, çevre tanıma sistemlerinde ve ortam modellemede düşük maliyetli RPLIDAR'ın SLAM algoritmasını uygulamak için uygun bir seçenek olduğunu görülmüştür. Bu durum

yakın zamana kadar LIDAR pek çok geliştirici veya öğrenci için ekonomik bir çözüm olmamasından dolayı oldukça önemlidir. Bu teknolojinin giderek daha fazla kullanılabilir hale gelmesi ile otonom navigasyon, haritacılık, arama kurtarma ve savunma sanayi gibi alanlarda ilerleme ve yenilikler yapılabilecektir. Geliştirilen sistem ile arama kurtarma veya ortam tanıma sistemleri üzerine çalışmaları bulunan kurumların gerçekleştirdikleri çalışmalarda kullanılan malzemeleri için ayırmış oldukları mali kaynakları azaltacak bir proje oluşturulmuştur. Buna ek olarak geliştirilen İKA'nın ortamdaki süreçleri kontrol etme ve izleme becerisi sayesinde tehlikeli olduğu düşünülen alanlarda kullanılması ile insan güvenliğinin de artırılması öngörülmektedir. İlgili ortamın 2B veri seti oluşturan LIDAR ile 3B modellenmesi sağlanmış, elde edilen verilerin etkin bir şekilde görüntülenerek kişi ve kurumların ortamı ayrıntılı olarak takip etmelerine imkân tanınmıştır. Bu özellikler sayesinde taşınabilir, ergonomik, güvenli, kullanıcının tehlikeli ortamları uzaktan takip ederek ilgili ortamı tanyabileceği tümleşik bir robot tasarımı oluşturulmuştur.

## TEŞEKKÜR

FYL-2020-7499 numaralı proje ile desteklenen bu çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Pettigrew, S., "Driverless cars", <https://theconversation.com/driverless-cars-really-do-have-health-and-safety-benefits-if-only-people-knew-99370>, April 16, 2018.
2. Roborock, "S6 MaxV", <https://us.roborock.com/pages/roborock-s6-maxv>, April 16, 2020.
3. Stein, S., "Tech Mobile" <https://www.cnet.com/how-to/future-of-lidar-cool-now-going-to-be-cooler-apple-iphone-12-and-ipad-pro/>, April 16, 2021
4. Corns, A., and Shaw, R., "High resolution 3-dimensional documentation of archaeological monuments & landscapes using airborne LIDAR", *Journal of Cultural Heritage*, Vol.10, Pages 72-77, 2009.
5. Dwivedi, M., Uniyal, A., Mohan, R., "New Horizons in Planning Smart Cities using LIDAR Technology", *International Journal of Applied Remote Sensing and GIS*, Vol.1 Issue 2, Pages 40-50, 2015.
6. Weiss, U., and Biber, P., "Plant detection and mapping for agricultural robots using a 3D LIDAR sensor", *Robotics and autonomous systems*, Vol.59 Issue 5, Pages 265-273, 2011.
7. Akay, A. E., Oğuz, H., Karas, I. R., Aruga, K., "Using LIDAR technology in forestry activities", *Environmental monitoring and assessment*, Vol.151 Issue 1, Pages 117-125, 2009.
8. Zhang, J., and Singh, S., "LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time", In *Robotics: Science and Systems*, Vol 2, No 9, 2014.
9. Waşık, A., Ventura, R., Pereira, J. N., Lima, P. U., Martinoli, A., "Lidar-based relative position estimation and tracking for multi-robot systems", In *Robot 2015: Second Iberian Robotics Conference*, Pages 3-16, Springer, Cham, 2016.
10. Kağızman, A., "Otonom araçlar için 2B lazer tarayıcı kullanılarak yeni 3B LIDAR sistemi elde edilmesi ve engel tespiti", Yüksek Lisans Tezi, [Obtaining a new type 3D LIDAR system using 2D laser scanner for autonomous vehicles and obstacle detection] [Thesis in Turkish], İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2018.
11. Akyol, S., and Uçar, A., "Rp-lidar ve mobil robot kullanılarak eş zamanlı konum belirleme ve haritalama", *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Vol.31 Issue 1, Pages 137-143, 2019.
12. Boston Dynamics, "Legacy Robots", <https://www.bostondynamics.com/legacy>, June 09, 2015.



13. Aselsan, “KAPLAN Unmanned Ground Vehicle Family”, <https://www.aselsan.com.tr/ffdf27dd-4f67-4abb-bf02-9022a7ce042c.pdf>, June 09, 2017.
14. Texas Instruments, “HDC1080 Temperature Sensor”, [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/hdc1080.pdf?ts=123524310036&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/hdc1080.pdf?ts=123524310036&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F), June 12, 2016.
15. Lalancette, C., “Debian install of ROS Melodic”, <http://wiki.ros.org/melodic/Installation/Debian>, June 12, 2018.
16. Robopeak, “RpLidar ROS”, [https://github.com/robopeak/rplidar\\_ros](https://github.com/robopeak/rplidar_ros), June 12, 2018.
17. Haala, N., Peter, M., Kremer, J., Hunter, G., “Mobile LIDAR mapping for 3D point cloud collection in urban areas- A performance test”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, Vol. 37, Pages 1119-1127, 2008.
18. Teixidó, M., Pallejà, T., Font, D., Tresanchez, M., Moreno, J., Palacín, J., “Two-dimensional radial laser scanning for circular marker detection and external mobile robot tracking”, *Sensors*, Vol.12 Issue 12, Pages 16482-16497, 2012.
19. Ocando, M. G., Certad, N., Alvarado, S., Terrones, Á., “Autonomous 2D SLAM and 3D mapping of an environment using a single 2D LIDAR and ROS”, In 2017 Latin American Robotics Symposium (LARS) and 2017 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), Pages 1-6, IEEE, 2017.