

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**HAVAALANI PİSTLERİNDE YABANCI MADDELERİN
KONUM TESPİTİ**

MEHMET DEVRİM YAPICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Metin DEMİRTAŞ (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Erdem İLTEN
Doç. Dr. Serhat Berat EFE

BALIKESİR, HAZİRAN - 2024

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Havaalanı Pistlerinde Yabancı Maddelerin Konum Tespiti**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mehmet Devrim YAPICI

ÖZET

HAVAALANI PİSTLERİNDE YABANCI MADDELERİN KONUM TESPİTİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEHMET DEVRİM YAPICI
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. METİN DEMİRTAŞ)

BALIKESİR, HAZİRAN - 2024

Bu çalışma, havaalanlarında meydana gelebilecek kazaları önlemek amacıyla yabancı maddelerin tespiti ve konumlarının belirlenmesine odaklanmaktadır. Günümüzde havaalanı operasyonlarının güvenliği ve verimliliği, pistlerdeki yabancı nesnelere tespiti ve önlenmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Havaalanlarının yapısal bileşenleri incelenerek, özellikle pistlerdeki riskler ve olası tehlikeler ele alınmıştır. Literatür taraması sonucunda, yabancı madde hasarı ve tespiti konularında kullanılan çeşitli teknolojiler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu teknolojiler arasında sabit radarlar, elektro-optik algılama sistemleri, hibrit algılama sistemleri ve mobil radarlar bulunmaktadır. Ancak, mevcut sistemlerin bazı sınırlamaları bulunmakta ve daha etkili çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Arduino Mega ve diğer bileşenlerin kullanımıyla prototip bir araç tasarlanmış ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Arduino Mega, step motorlar, mesafe sensörleri ve bluetooth modülleri gibi bileşenlerin entegrasyonu ile oluşturulan bu sistem, hızlı ve hassas bir şekilde yabancı nesnelere tespitini ve konumlarının belirlenmesini sağlamaktadır. Deneysel çalışmaların sonuçları, tasarlanan sistemin etkinliğini ve kullanılabilirliğini doğrulamıştır. Bu çalışmanın amacı, havaalanı pistlerindeki güvenlik protokollerine teknolojik bir katkı sağlamak ve havacılık endüstrisindeki güvenlik standartlarını artırmaktır.

ANAHTAR KELİMELELER: Arduino, yabancı madde tespiti, pist güvenliği, mesafe sensörleri, bluetooth

ABSTRACT

DETECTION OF FOREIGN OBJECTS ON AIRPORT RUNWAYS MSC THESIS

**MEHMET DEVRİM YAPICI
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

(SUPERVISOR: PROF. DR. METİN DEMİRTAŞ)

BALIKESİR, JUNE - 2024

This study focuses on detecting foreign objects and determining their locations to prevent accidents that may occur at airports. Presently, the safety and efficiency of airport operations are heavily reliant on the detection and prevention of foreign objects on runways.

The structural components of airports were examined, with particular attention to the risks and potential hazards on runways. A detailed review of various technologies used for foreign object damage and detection was conducted through a literature survey. These technologies include fixed radars, electro-optical detection systems, hybrid detection systems, and mobile radars. However, existing systems have some limitations, necessitating the need for more effective solutions.

A prototype embedded system was designed and experimental studies were conducted using Arduino Mega and other components. This system, created through the integration of Arduino Mega, step motors, distance sensors, and bluetooth modules, enables the rapid and precise detection and determination of the locations of foreign objects. The results of experimental studies confirmed the effectiveness and usability of the designed system.

KEYWORDS: Arduino, foreign object detection, runway safety, distance sensors, bluetooth

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Havaalanlarının Yapısı.....	1
1.1.1 Terminal Alanı	3
1.1.3 Apron	4
1.1.4 Taksi Yolu.....	5
1.1.5 Hava Trafik Kontrol Kulesi	5
2. YABANCI MADDE HASARI VE TESPİT EDİLMESİ	7
2.1 Hava Trafik Kontrol Kulesi	7
2.2 Yabancı Maddenin Tespit Edilmesi.....	8
2.3 Yabancı Maddelerin Tespiti İçin Kullanılan Teknolojiler.....	9
2.3.1 Sabit Radar	9
2.3.2 Elektro-Optik Algılama Sistemi.....	11
2.3.3 Hibrit Algılama Sistemi	12
2.3.3 Mobil Radar	13
3. ARDUİNO MEGA İLE YABANCI MADDE TESPİTİ	15
3.1 Arduino	15
3.1.1 Arduino Mega 2560 Rev3	16
3.2 Step Motorlar	17
3.2.1 17HS4401S Nema 17 Step Motor.....	20
3.2.2 28 BYJ-48 Redüktörlü Step Motor	21
3.3 Motor Sürücüler	22
3.3.1 A4988 Step Motor Sürücü Kartı	22
3.3.2 ULN2003A Step Motor Sürücü Kartı.....	23
3.4 Mesafe Sensörleri.....	23
3.4.1 HC-SR04 Ultrasonik Sensör	24
3.4.2 QRD1114 Kızılötesi Sensör.....	25
3.5 Bluetooth Modülleri.....	25
3.5.1 HC-06 Bluetooth Modülü	26
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
4.1 Blok Diyagramı.....	27
4.2 Prototip Araç Tasarımı.....	29
4.3 Prototip Araç Yazılımı	36
5. ELDE EDİLEN BULGULARIN ANALİZİ	37
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41
7. KAYNAKLAR	42

EKLER	46
EK:Prototip Araç Yazılımı.....	47



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: 1909 yılı College Park Havaalanı	2
Şekil 1.2: Havaalanı yapısı.....	3
Şekil 1.3: İstanbul Havalimanı Hava Trafik Kontrol Kulesi.....	6
Şekil 2.1: Yabancı maddeler	7
Şekil 2.2: Yabancı madde tespit yürüyüşü.....	8
Şekil 2.3: Yabancı madde tespit yöntemleri	9
Şekil 2.4: Tarsier radar	10
Şekil 2.5: iFerret sistemi	11
Şekil 2.6: FODetect sistemi	13
Şekil 2.7: FODFinder radar.....	14
Şekil 3.1: Arduino'ya bağlanacak harici cihazlar.. ..	15
Şekil 3.2: Arduino Mega 2560 pinleri	16
Şekil 3.3: Frank W. Wood'un 1,408,555 numaralı patenti.....	18
Şekil 3.4: Step motorlar	19
Şekil 3.5: Step motor çeşitleri	19
Şekil 3.6: 17HS4401S Nema 17 step motor	21
Şekil 3.7: 28 BYJ-48 redüktörlü step motor	21
Şekil 3.8: A4988 step motor sürücü kartının pinleri.....	22
Şekil 3.9: ULN2003 step motor sürücü kartının pinleri.....	23
Şekil 3.10: HC-SR04 ultrasonik sensörün pinleri.....	24
Şekil 3.11: QRD1114 kızılötesi sensörü	25
Şekil 3.12: HC-06 bluetooth modülünün pinleri.....	26
Şekil 4.1: Uygulama algoritmasının blok diyagramı	27
Şekil 4.2: Arduino uygulamasının algoritması	27
Şekil 4.3: Servo plan fonksiyon algoritması	28
Şekil 4.4: Hareket plan fonksiyon algoritması.....	28
Şekil 4.5: Ahşap şase üzerine döner teker yuvası açılması.....	29
Şekil 4.6: Teker milinin hazırlanması	30
Şekil 4.7: Kaplinlerin montajının yapılması	30
Şekil 4.8: Step motorların pin bağlantılarının yapılması	31
Şekil 4.9: Arduino Mega'nın montajının yapılması.....	32
Şekil 4.10: HC-SR04 ultrasonik sensör montajlarının yapılması	32
Şekil 4.11: Delikli plaket ve 9 V pil montajının yapılması.....	33
Şekil 4.12: QRD1114 kızılötesi sensör montajlarının yapılması	33
Şekil 4.13: 28 BYJ-48 step motor montajının yapılması	34
Şekil 4.14: HC06 bluetooth modül montajının yapılması.....	34
Şekil 4.15: Hava delikleri açılması	35
Şekil 4.16: Fan montajının yapılması	35
Şekil 5.1: Başlangıç noktası	37
Şekil 5.2: Bitiş noktası	37
Şekil 5.3: Araç tarafından gönderilen pist sonu uzaklık değerleri	38
Şekil 5.4: Ölçülen pist sonu uzaklık değerleri	38
Şekil 5.5: Araç tarafından gönderilen engel uzaklık değerleri.....	39
Şekil 5.6: Ölçülen engel uzaklık değerleri	39
Şekil 5.7: Araç tarafından gönderilen yabancı madde konum değerleri.....	39
Şekil 5.8: Ölçülen yabancı madde konum değerleri	40

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Arduino Mega 2560'a ait teknik bilgiler..... 17



SEMBOL LİSTESİ

ANNEX 6	: Hava Araçları Operasyonu
ANNEX 11	: Hava Trafik Hizmeti
ANNEX 14	: Havaalanları
ANNEX 19	: Emniyet Yönetim Sistemi
FAA	: Federal Aviation Administration
ICAO	: International Civil Aviation Organisation
IoT	: Internet of Things



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli öneri ve yönlendirmeleri ile sorunsuz ilerlememi sağlayan danışman hocam sayın Prof. Dr. Metin DEMİRTAŞ'a, yüksek lisans eğitimim süresince güven ve destekleri ile en büyük motivasyon kaynağım olan kıymetli eşim ve biricik kızıma, bu günlere gelmemde büyük emekleri olan anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2024

Mehmet Devrim YAPICI



1. GİRİŞ

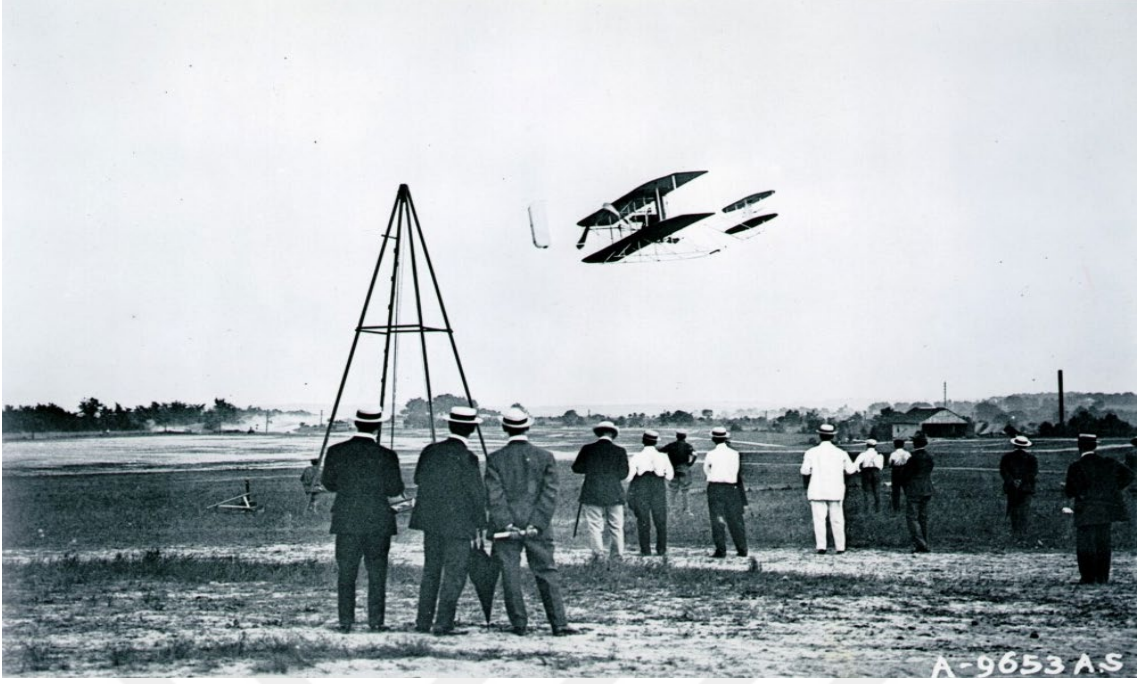
Havacılık endüstrisi, insanlığın sınırlarını zorlayan bir başarıdır. Ancak, bu zarif makinelerin mükemmelliği ve güvenliği, titizlikle korunması gereken hassas bir denge üzerine kurulmuştur. Bu dengeyi tehdit eden unsurlardan biri de havaalanlarında bulunan yabancı maddelerdir. Havacılık endüstrisinde, bu yabancı maddelerin tespit edilmesi ve önlenmesi, güvenlik standartlarının korunması açısından kritik öneme sahiptir.

Havaalanlarında, yabancı maddeleri tespit etmek ve önlemek için çeşitli yöntemler ve teknolojiler kullanılmaktadır. Bunlar arasında, eğitimli personel tarafından düzenli olarak yapılan pist denetimleri, kameralar, radar sistemleri ve otomatik pist izleme sistemleri bulunmaktadır.

Bu çalışmada, havaalanı pistlerindeki yabancı maddelerin tespiti için prototip bir araç tasarlanmıştır. Bu araç, mikrodenetleyici, analog devre, adım motorları ve hassas sensörlerden oluşan elemanlarla tasarlanmıştır. Sensörler tarafından algılanan yabancı maddenin konumu, bu araç tarafından çok kısa sürede belirlenerek bluetooth aracılığıyla bilgisayara aktarılmaktadır. Bu sayede, yabancı maddenin konumu hızla tespit edilmekte ve gerekli müdahaleler zamanında yapılmaktadır. Bu yeni yaklaşım, havaalanı güvenliğinin artırılmasına yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilmekte olup hava seyahati endüstrisinde güvenlik standartlarını yükselterek, işletme performansını artırmayı hedeflemektedir.

1.1 Havaalanlarının Yapısı

Maryland'de 1909'da kurulan College Park Havaalanı, dünyanın en eski havaalanı unvanını taşımaktadır ve faaliyetlerine günümüze kadar devam etmektedir. O dönemin teknolojileri oldukça basitti; uçaklar genellikle kumaş kaplı çift kanatlı ve pervane motorlarından ibaretti. Pistler genellikle çim veya toprak yüzeylerden oluşuyordu [1]. College Park Havaalanının 1909 yılına ait görüntüsü Şekil 1.1'de verilmiştir.

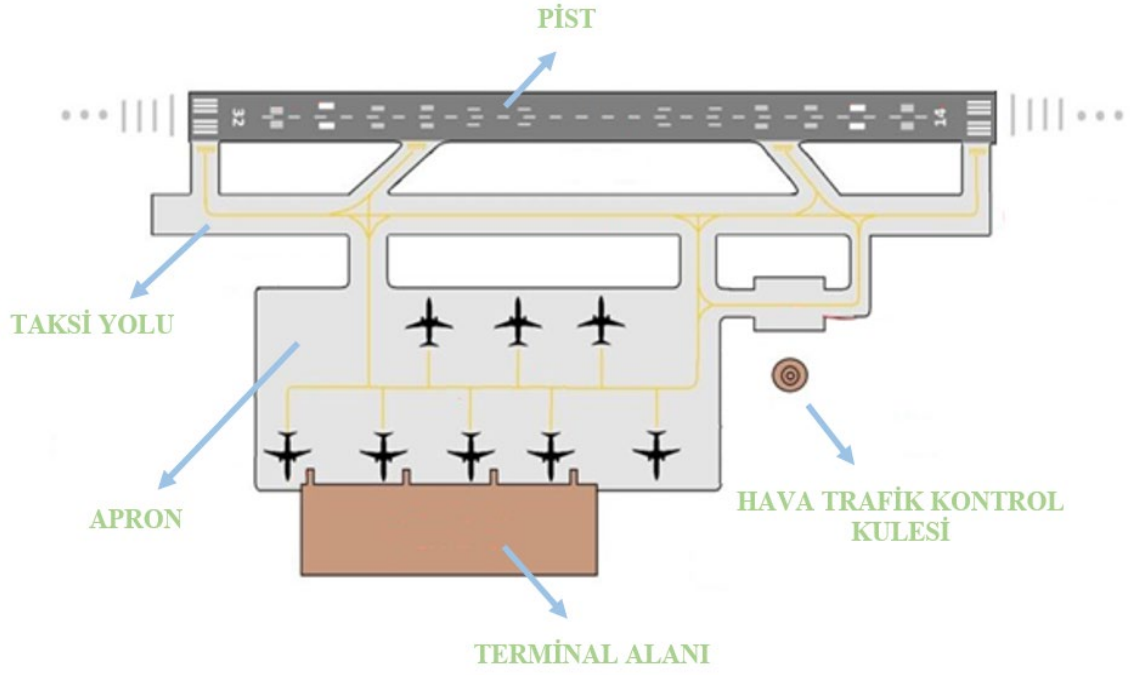


Şekil 1.1: 1909 yılı College Park Havaalanı [2].

Havaalanları, karmaşık bir altyapı sistemi içermekte olup hava taşımacılığı sisteminin vazgeçilmez bir parçasını oluşturan, karayolu ile havayolunun kesiştiği fiziksel yapılardır. Modern havalimanları, uzun pistleri ve taksi yolları, geniş apron ve terminal alanları ile pahalı yer hizmetleri ve uçuş navigasyon ekipmanları ile önemli altyapı yatırımlarını oluşturmaktadır. Bu elemanlar, havaalanlarının güvenli ve verimli bir şekilde işleyebilmesi için hayati öneme sahiptir.

Her ülke, kendi özel coğrafyası, ekonomik yapısı ve kendi ihtiyaçlarına göre ulusal havalimanı sistemi geliştirmektedir. Bu havalimanı sisteminin; ulusal çerçevede, tesisin mevcut ve gelecekteki trafiğinin hacim, uluslararası/iç hat ayrımı, hizmet verilen havayolu sayısı ve büyüme oranları gibi parametreler açısından belirlenmesi önemlidir.

Havaalanlarının genel yapısal özellikleri, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) Ek (Annex) dokümanları tarafından belirlenen uluslararası havacılık standartları (Annex 14, Annex 19, Annex 6 ve Annex 11) ve talepleri doğrultusunda geliştirilmektedir. Bu özellikler, havaalanlarının işlevselliği, güvenliği ve verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Havaalanlarının yapısı, Şekil 1.2’de gösterilmiştir [3].



Şekil 1.2: Havaalanı yapısı [4].

1.1.1 Terminal Alanı

Terminal alanı, havaalanı sisteminin vazgeçilmez bir parçasıdır. Yolcu ve kargo taşımacılığında önemli bir merkezi konumdadır. Bu alanda, terminal binaları, yolcu hizmet tesisleri, uçak park alanları, kargo işleme tesisleri, otoparklar ve toplu taşıma istasyonları gibi çeşitli tesisler bulunmaktadır. Terminal alanı, yolcuların ve kargonun hava taşımacılığına erişimini ve havaalanı ile şehir merkezi veya diğer ulaşım ağları arasında bağlantının kurulmasını sağlamaktadır.

Havaalanı terminal alanları, genellikle modern teknoloji ve tasarım ilkeleriyle donatılmıştır. Yolculara konforlu bir seyahat deneyimi sunmak için tasarlanan terminal binaları, check-in ve güvenlik kontrolleri gibi işlemleri kolaylaştırmak için düzenlenmiştir. Ayrıca, terminal alanları, yolcuların ve kargonun etkin bir şekilde aktarılmasını sağlamak için optimize edilmiş bir altyapıya sahiptir.

Terminal alanları, havaalanlarının büyüklüğüne ve trafiğine bağlı olarak farklı boyutlarda olabilir. Büyük uluslararası havaalanları genellikle geniş terminal binalarına ve çeşitli hizmet tesislerine sahipken, küçük bölgesel havaalanları daha sınırlı tesislere sahiptir [5].

1.1.2 Pist

Pistler, bir havaalanının temel altyapı öğelerinden biridir ve uçakların güvenli bir şekilde iniş ve kalkış yapabilmesi için kritik öneme sahiptir. Her biri kalkış veya iniş için ayrılan düzgün bir yüzey olan pistler, havaalanı operasyonlarının merkezinde yer almaktadır. Pistlerin uzunluğu, genişliği, taşıma kapasitesi ve diğer teknik özellikleri, uluslararası havacılık standartlarına ve yerel düzenlemelere uygun olarak belirlenmektedir.

Havaalanlarının yerleşim planlamasında, pistlerin konumlandırılması büyük önem taşımaktadır. Bu konumlandırma, bölgenin iklim koşulları, özellikle de rüzgâr yönü/hızı, arazinin topografyası ve havaalanının büyüklüğü gibi faktörlere bağlı olarak yapılmaktadır. Ayrıca, pistlerin hizmet vereceği hava trafiği türü ve yoğunluğu, uçakların performans gereksinimleri ve gürültü düzeyleri de dikkate alınmaktadır.

Pistlerin tasarımında ve yapımında dikkate alınan bazı temel kriterler bulunmaktadır. Bu kriterler arasında pistin uzunluğu, genişliği, yüzey malzemesi, eğimi, ışıklandırması ve güvenlik unsurları bulunmaktadır. Pistin uzunluğu, havaalanında operasyon yapacak uçakların tipine ve ağırlığına, pistin genişliği ise uçakların kanat açıklıklarına ve manevra kabiliyetlerine göre belirlenmektedir. Pistin yüzey malzemesi, dayanıklılık, sürtünme ve su drene edebilme gibi faktörler göz önünde bulundurularak seçilmektedir. Ayrıca, pistin eğimi ve ışıklandırması, uçağın iniş ve kalkış sırasında güvenliğinin sağlanması için çok önemlidir.

Pistlerin yanı sıra, havaalanlarında pistlerin etrafındaki güvenlik alanları, apron ve taksit yolları gibi diğer altyapı unsurları da önemlidir. Tüm bu unsurlar, havaalanlarının sorunsuz ve güvenli bir şekilde devam etmesini sağlamak için bir araya gelmektedir. Bu bağlamda, pistlerin tasarımı ve yapımı uluslararası havacılık standartlarına ve yerel düzenlemelere uygun olmak zorundadır. Düzgün tasarlanmış ve bakımlı pistler, havaalanlarının güvenliğini ve verimliliğini artırmaktadır [6].

1.1.3 Apron

Apronlar, havaalanlarının önemli bir bileşenidir ve hava ile karayolu tesisleri arasındaki arayüzü sağlamaktadır. Yolcu terminali apronları, kargo terminali apronları, uzun süreli otopark apronları, servis ve hangar apronları veya genel havacılık apronları gibi çeşitli türleri bulunmaktadır. Bu alanlar, havaalanının trafik tipi ve hacmine bağlı olarak farklı büyüklüklerde ve fonksiyonlarda olabilirler.

Uzun süreli otopark apronları, havaalanının uzak bölgelerinde bulunur ve gece konaklayan uçaklar ile uzun süre park halinde bekleyecek uçaklar tarafından kullanılmaktadır. Genel havacılık apronları ise, havaalanında bulunan gezici uçaklar ve bazı özel uçaklar için ayrılan alanlara hizmet verir.

Apron operasyonlarında önemli bir faktör, uçakların dönüş yarıçapıdır. Bu, uçağın döndüğü merkezi nokta ile bu noktadan en uzakta bulunan uçağın parçası arasındaki mesafedir. Dönüş yarıçapı, uçağın kanat açıklığının %65 ile %100'ü arasında değişmektedir ve genellikle uçağın ana iniş takımlarının merkezi boyunca, uçağın gövdesinin merkezinden belirli bir mesafede, genellikle kanadın iç kısmının altında bulunan bir noktadır [7].

1.1.4 Taksi Yolu

Taksi yollarının tasarımı ve işletimi, uluslararası havacılık standartlarına ve yerel düzenlemelere uygun olmalıdır. Bu standartlar, taksi yollarının genişliği, dönüş yarıçapları, işaretlemeleri ve aydınlatmaları gibi unsurları belirlemektedir. Ayrıca, taksi yollarının bakımı düzenli olarak yapılmalı ve gerektiğinde onarımları sağlanmalıdır. Bu, uçakların güvenli ve sorunsuz bir şekilde taksi yapmalarını sağlamaktadır.

Taksi yollarının tasarımında, havaalanının fiziksel yapısı, trafiğin yoğunluğu, yerel hava koşulları ve diğer çevresel faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörler, taksi yollarının düzenlenmesinde ve işletilmesinde önemli bir rol oynar ve havaalanı operasyonlarının etkinliğini etkilemektedir [8].

1.1.5 Hava Trafik Kontrol Kulesi

Hava trafik kontrol kuleleri, havaalanlarının merkezi bir unsuru olup, kalkış, iniş ve taksi işlemlerinin güvenli ve düzenli bir şekilde yürütülmesinden sorumludur. Genellikle havaalanının merkezinde veya yüksek bir noktada konumlanan bu kuleler, uçakları görsel olarak izler ve hava trafik kontrolörleri aracılığıyla yönlendirirler.

Hava trafik kontrol kuleleri, hava trafik kontrolörleri tarafından işletilmektedirler. Bu kontrolörler, hava trafiğini izlemek ve yönetmek için radar sistemlerini ve diğer hava trafik kontrol ekipmanlarını kullanırlar. Hava trafik kontrol kulelerinin ana görevi, uçakların güvenli bir şekilde havalanmasını ve iniş yapmasını sağlamaktır.

Hava trafik kontrol kuleleri, havaalanı operasyonlarının merkezi bir bileşenidir ve diğer hava trafik kontrol birimleriyle ve pilotlarla sürekli iletişim halindedirler. Bu işbirliği, hava trafiğinin düzenli ve güvenli bir şekilde yapılmasını sağlar. Hava trafik kontrol kulelerinde çalışan personel, hava trafiğinin yoğunluğunu ve havaalanı operasyonlarının gereksinimlerini dikkate alarak uçakların taksi rotalarını belirler ve trafik akışını koordine etmektedirler. Şekil 1.3'te İstanbul Havalimanı Hava Trafik Kontrol Kulesi gösterilmektedir.



Şekil 1.3: İstanbul Havalimanı Hava Trafik Kontrol Kulesi [9].

2. YABANCI MADDE HASARI VE TESPİT EDİLMESİ

Bu bölümde yabancı madde hasarları, hasar tespit etme yöntemleri ve bu alanda kullanılan teknolojiler verilmektedir.

2.1 Yabancı Madde Hasarı

Yabancı madde hasarı; pist, apron veya havacılık ekipmanlarına, istenmeyen kontrolsüz metal parçaları, bakım gereçleri, ikram malzemeleri, yapı materyalleri, taş, moloz canlı/cansız hayvanlar, lastik parçaları, asfalt parçaları gibi yabancı cisimlerin, uçaklara zarar vermesi veya uçuş güvenliğini tehlikeye atması durumunu ifade etmektedir.

Şekil 2.1’de gösterilen yabancı maddeler, motorlarda tıkanmalara, pervane kanatlarında yırtılmalar ve aşınmalara, gövde hasarlarına, lastik patlamalarına, iniş takımı arızalarına ve uçuş emniyetini tehlikeye atan diğer olası sonuçlara sebep olabilirler. Bu tür zararlar uçaklarda ciddi hasarlara ve hatta kazalara neden olabilirler. Bu nedenle, havaalanlarında yabancı maddelerin uçaklara zarar vermesinin engellenmesi için sıkı tedbirler alınması gerekmektedir.



Şekil 2.1: Yabancı maddeler [10].

2.2 Yabancı Maddenin Tespit Edilmesi

Her geçen gün hava yolcu trafiği büyük ölçüde artış göstermektedir. Pistlerde ve taksi yollarında çeşitli yabancı madde hasarları, kuş-uçak çarpışmaları, hava terminali ve çevresindeki alanlarda artan dron miktarı gibi tehditler uçakların güvenliği açısından daha fazla endişeye sebep olmaktadır. Bu tür olumsuzlukların meydana gelmemesi için sürekli izleme, yabancı maddelerin tespit edilmesinde en önemli adımdır. Bu kontroller görsel inceleme ve otomatik tespit sistemleri ile yapılmaktadır.

Görsel inceleme kontrolleri yabancı madde tespit etmek amacıyla yürüyüş ve karayolu araçları ile yapılmaktadır. Yabancı madde tespit yürüyüşleri, pist veya taksi yolları boyunca yabancı madde aramak için havalimanı çalışanları tarafından gerçekleştirilir. Bu yöntem, insan kaynaklı hatalara daha fazla açıktır ve oldukça zaman almaktadır. Diğer manuel inceleme yöntemi ise karayolu araçları kullanılarak yapılmaktadır. Araçlar pist ve taksi yollarını sürekli dolaşarak yabancı maddeleri tespit etmektedir. Şekil 2.2'de yabancı madde tespit yürüyüşü gösterilmiştir.



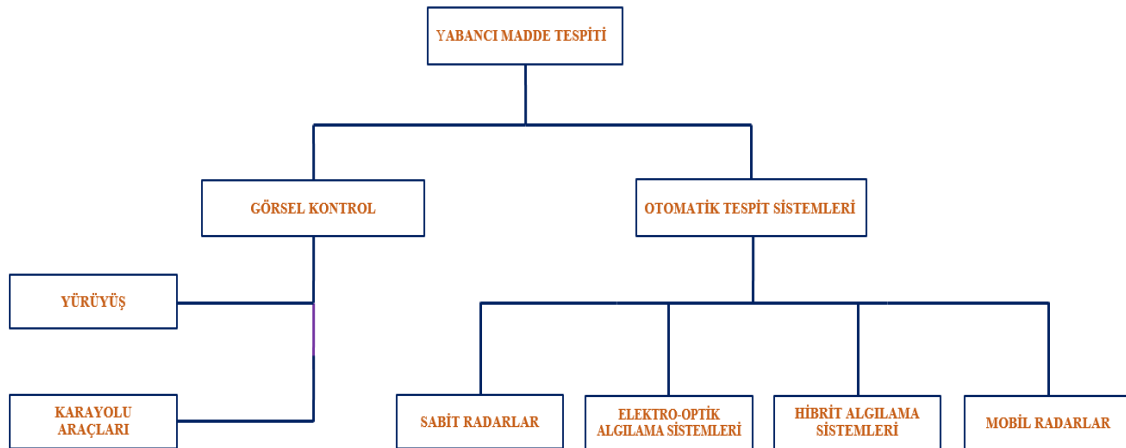
Şekil 2.2: Yabancı madde tespit yürüyüşü [11].

2005 yılında Vancouver Uluslararası Havaalanı otomatik tespit sistemleri uygulamaya başlayan ilk havayolu olmuştur. Havaalanında görsel incelemelerle her iki ayda bir yabancı madde tespit edilirken otomatik tespit sistemleri ile iki günde bir yabancı madde tespit edilmeye başlanmıştır.

Sonuç olarak otomatik tespit sistemleri 30 kat fazla yabancı madde tespit ederken, görsel inceleme kontrollerinin havaalanlarındaki yabancı maddelerin %97'sini gözden kaçırdığı anlaşılmıştır. Otomatik tespit uygulamaları radar, kamera sistemleri ve elektro-optik sensörler gibi cihazlar aracılığıyla yapılmaktadır [12].

2.3 Yabancı Cisim Tespiti için Kullanılan Teknolojilerin Genel Değerlendirmesi

Havayolu güvenlik tehditlerini azaltmak için en iyi uygulamaların ve teknolojilerin kullanılması gerekmektedir. Havaalanlarında yabancı cisim tespiti için kullanılan otomatik tespit sistemleri 4'e ayrılmaktadır. Bunlar sabit radarlar, elektro-optik algılama sistemleri, hibrit algılama sistemleri ve mobil radarlardır. Şekil 2.3'te farklı tespit yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Yabancı madde tespit yöntemleri [12].

2.3.1 Sabit Radarlar

Sabit radarlar, stratejik konumlarda havaalanları, limanlar ve sınır güvenliği gibi alanlarda kullanılan önemli güvenlik araçlarıdır. Bu sistemler, belirli bir konumda sabitlenmiş kulelerde yerleştirilmiş radar sensörlerine dayanmaktadır.

Örneğin, QinetiQ'nun geliştirdiği Tarsier Radar gibi sistemler, havaalanlarında hava trafiğini izlemek, uçaklarla kuşların çarpışmalarını önlemek ve güvenliği artırmak için kullanılmaktadır. Şekil 2.4'te gösterilen Tarsier Radar gibi radar sistemleri, genellikle yüksek frekanslı radar dalgaları kullanır. 94 GHz koherent radarı, milimetre dalga boyunda yüksek çözünürlüklü algılama sağlamaktadır. Bu, sistemin uzun mesafelerden daha küçük hedefleri tespit edebilecek kadar hassas olmasını sağlamaktadır.

Sabit radarların temel performans ölçütleri, radarın etkinliğini değerlendirmemize yardımcı olmaktadır. Olumsuz hava koşullarında bile radarın performansının korunması önem arz etmektedir.

Radar anteni, pist boyunca tarama yapacak şekilde tasarlanmıştır. Bu, radarın belirli bir alandaki hava trafiğini sürekli olarak izlemesini ve tehditleri tespit etmesini sağlamaktadır. Sabit radar sistemleri, yabancı madde tespiti gibi önemli görevleri de yerine getirmektedir. Yabancı madde tespitinde alarm üreten ve kullanıcıya bilgi gönderen bir sistem, hızlı tepki ve müdahale için kritik öneme sahiptir. Bu özellikler sayesinde sabit radar sistemleri, havaalanı güvenliğini artırmak için önemli bir role sahiptir [13].



Şekil 2.4: Tarsier radar [14].

2.3.2 Elektro-Optik Algılama Sistemleri

Elektro-optik algılama sistemleri, bir kuleye monte edilmiş optik/video sensörlerine dayanır ve taranacak yüzeyden 175 metre (500 ft) uzaklıktadır. Bu sistem, optik zoom yeteneğine sahip bir video kamerasıyla donatılmıştır ve görüntü işleme yazılımı tarafından desteklenmektedir. Pist boyunca sürekli izleme için birden fazla sensöre sahiptir ve pistlerde, taksi yollarında, apronlarda ve rampa alanlarında çalışabilir. Elektro-optik algılama sistemlerinin tarama aralıkları, pist gözetimi uygulamalarında 70 saniyeden az olacak şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 2.5'te gösterilen iFerret, elektro-optik algılama sistemleri kategorisine örnek olarak gösterilebilir. iFerret, FAA tarafından onaylanmış dünyanın ilk zeki görüntü tabanlı sistemidir. iFerret, radyo frekansı spektrumunda elektromanyetik sinyalleri algılamak ve analiz etmek için kullanılır. Yabancı madde tespit edildiğinde, sesli ve görsel bir uyarı gönderir, tespit edilen yabancı maddenin görüntüsünü yakınlaştırma seçeneği sunar. Bu sistem, havaalanı pistlerindeki yabancı maddeleri tespit etmek ve önlemek için tasarlanmıştır.



Şekil 2.5: iFerret sistemi [16].

Elektro-optik algılama sistemleri, yüksek çözünürlüklü görüntüleri hızlı bir şekilde tespit edebilir ve sensörü pasiftir, yalnızca ortamdaki ışığı kullanır. Gelişmiş görüntü işleme yazılımı sayesinde, değişen aydınlatma ve yüzey koşullarında yabancı maddeleri algılayabilir. Bu özellikler, iFerret gibi sistemlerin havaalanı güvenliği için kritik bir role sahip olmasını sağlamaktadır [15].

2.3.3 Hibrit Algılama Sistemleri

Hibrit algılama sistemleri, tarama yapılacak yüzeye yakın konumlandırılan bir tarayıcı ünitesinde bir araya getirilmiş radar ünitesi ve elektro-optik sensörlerin bir birleşimidir. Sensörler arasında 76-77 GHz aralığında bir radar ve bir video kamera bulunmaktadır. Bu yüzey tespit ünitesi, görüntü ve radar işleme yazılımı tarafından desteklenmektedir. Hibrit algılama sistemleri, var olan pist veya taksi yolu kenar ışık altyapısına entegre edilmiş yüzey tespit ünitesi kullanan bir dağıtılmış sensör sistemi ile taranan yüzeylerin sürekli gözetimini sağlar. Ancak, kurulumuna bağlı olarak ayrı bir altyapı kullanılabilir.

Yüzey algılama ünitesinde, sürekli tarama için mekanik sistem ve bir sunucuya bağlı işlem sistemi bulunmaktadır. Her yüzey tespit ünitesi, pistin bir bölümünü tarar ve yabancı madde tespit etmek için verileri yerel olarak analiz eder. Yabancı madde tespit edildiğinde, Hibrit algılama sistemlerinin operatörü, yabancı madde ögesini tespit eden üniteden sesli ve görsel bir uyarı alır. Hibrit algılama sistemleri, her biri yaklaşık olarak pist uzunluğu boyunca birden fazla 60 metrelik yüzey tespit ünitesi kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Hibrit algılama sistemleri, çoklu sensör dağıtımı sayesinde 30 saniyede tam taramalar sağlamaktadır.

Şekil 2.6'da gösterilen FODetect, hibrit algılama sistemine bir örnektir. Var olan pist ve taksi yolunda bulunan aydınlatma yapılarına takılan otomatik bir yabancı madde tespit sistemidir ve ana yapılarından güç almaktadır. Bu sistem, yüzeylerdeki yabancı maddeleri tespit etmek ve müdahale etmek için tasarlanmıştır. Hibrit algılama sistemlerinin sunduğu radar ve elektro-optik sensör birleşimi, havaalanı güvenliği açısından kritik bir rol oynamaktadır [17].



Şekil 2.6: FODetect sistemi [18].

2.3.4 Mobil Radarlar

Mobil radarlar, havaalanlarında yabancı cisim artıklarını tespit etmek, haritalamak ve temizlemek için kullanılan önemli bir sistemdir. Bu sistem, bir araca monte edilmiştir ve bir dizi özellik içerir. Bunlar arasında bir radar sensörü, video kayıt yetenekleri ve bir tablet bilgisayar tarafından kontrol edilen yerleşik veri işleme sistemi bulunmaktadır. Tablet bilgisayar, kullanıcıyla etkileşim sağlar ve sistemin verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

Radar, aracın önünde geniş bir alanı tarayabilen bir platforma monte edilmiş ve 78-81 GHz frekans aralığında çalışan bir sensör içerir. Bu radar sensörü, dakikada 30 görüntü taraması yapabilir ve aracın önünde yaklaşık 200 metre mesafede, 1m x 1m'lik bir alanda tespit yapabilir. Anten eğimi sabit olduğundan, sistem sürekli olarak taranacak alanı gözlemleyebilir.

Sistem, mobil olduğu için sadece pistlerde değil, aynı zamanda taksi yolları, apron alanları vb. üzerinde de yabancı madde tespiti yapabilir. Araç ilerledikçe, sistem aracın önündeki alanı tarar ve operatöre hem radar hem de video verilerini gönderir. Yabancı madde,

ekranda tespit edildiğinde, operatöre ögeyi alması için talimat verilir. Yabancı madde alındıktan sonra, numara verilerek fotoğraflılır.

Şekil 2.7’de gösterilen FODFinder, mobil radar sistemlerinin bir örneğidir. Bu sistem, havaalanlarının güvenliğini artırmak ve operasyonları daha verimli hale getirmek için önemli bir rol oynamaktadır [19].



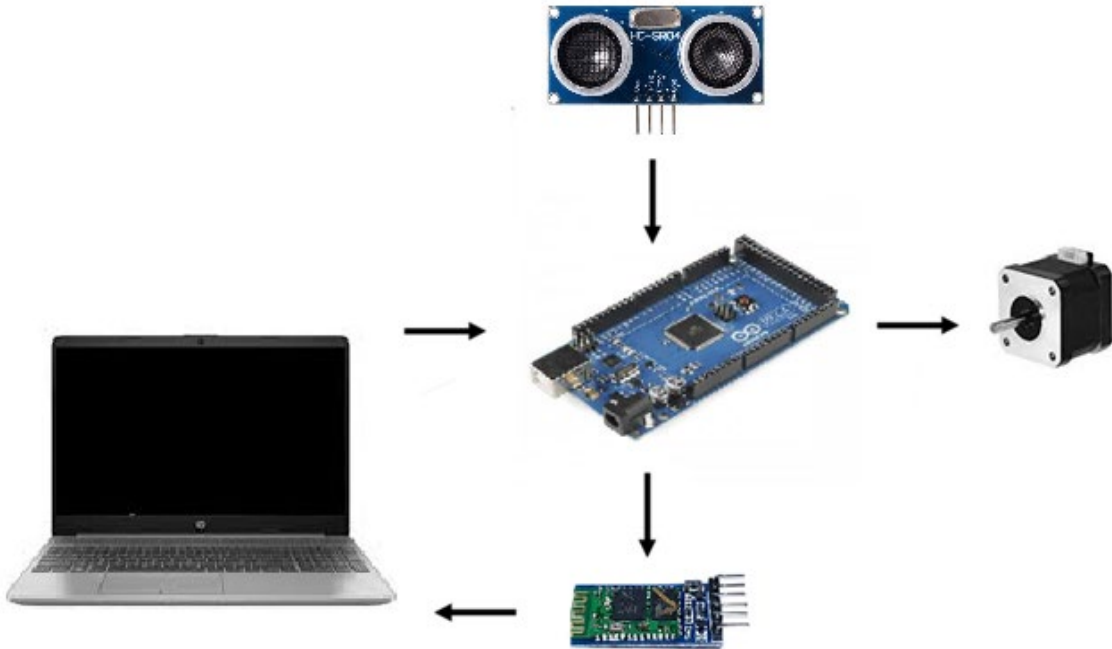
Şekil 2.7: FODFinder radar [20].

3. YABANCI MADDE TESPİTİ

Bu bölümde, havaalanlarında yabancı cisim tespiti için Arduino Mega platformunun nasıl kullanılabileceği ve bu platformun bluetooth iletişimi aracılığıyla nasıl veri iletebileceği incelenecektir. Arduino Mega'nın teknik özellikleri, kullanım alanları ve avantajları hakkında detaylı bilgiler verilecek ve ardından cisim tespiti için kullanılan sensörlerin tanıtımı yapılacaktır. Ayrıca, Arduino Mega ile bluetooth modülü arasındaki iletişim nasıl kurulur ve nasıl veri alışverişi sağlanır, adım adım ele alınacaktır.

3.1 Arduino

Arduino, basit ve karmaşık projelerde kullanılabilen açık kaynaklı programlanabilir bir devre kartıdır. Nesneleri algılamak ve kontrol etmek için programlanabilir bir mikrodenetleyici içermektedir. Sensörlere ve girişlere yanıt vererek LED'ler, motorlar ve ekranlar gibi çeşitli çıkışlarla etkileşime girebilmektedir. Esnekliği ve düşük maliyeti nedeniyle etkileşimli donanım projeleri oluşturmak isteyenler için çok tercih edilen bir seçenektir. Bu kart, hem dijital hem de fiziksel dünyada çok fazla kullanılmaktadır. Arduino'nun diğer mikrodenetleyici kartlarından önemli farklarından biri de maliyettir. Arduinoya bağlanacak harici cihazlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

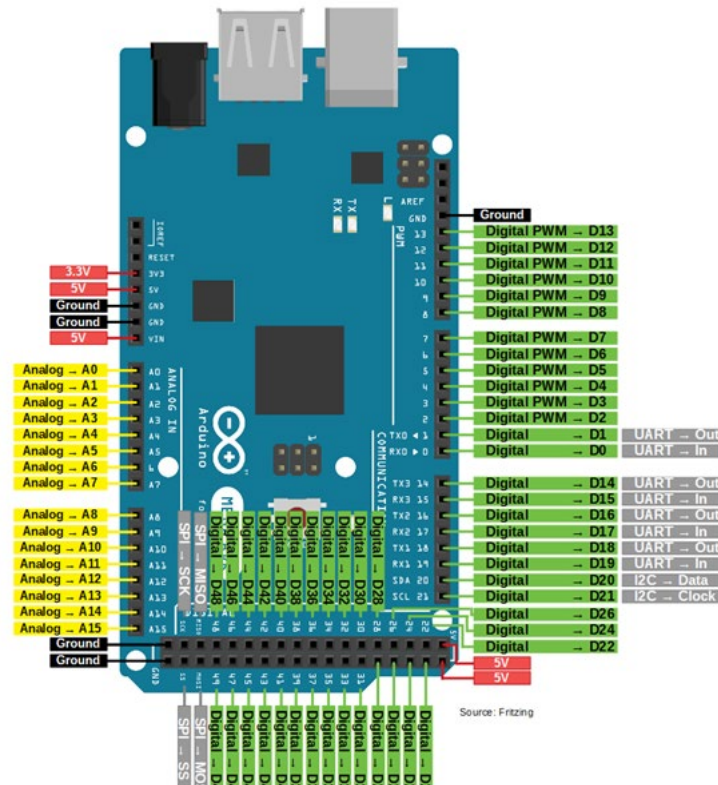


Şekil 3.1: Arduino'ya bağlanacak harici cihazlar.

Arduino, Kuzey İtalya'daki Interaction Design Institute Ivrea'daki öğrencilerin ucuz ve kullanımı kolay bir mikrodenetleyici bulamama sorununu dile getirmesi sonucu proje olarak ortaya çıktı. 2003 yılında Hernando Bar, Wiring adlı bir geliştirme platformu oluşturdu. Bu proje, IDII'de yüksek lisans tezi olarak kabul edildi. Amacı, hobi meraklıları ve profesyonellerin, aktüatörler ve sensörler kullanarak çevreyle etkileşime geçmelerini sağlayan kolay ve düşük maliyetli bir yöntem sunmaktı. Başlangıç seviyesi cihazlar, basit hareket dedektörleri, robotlar ve termostatlar içermekteydi [21].

3.1.1 Arduino Mega 2560 Rev3

Arduino Mega 2560'ta 54 dijital I/O pini vardır. Bunların 14 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. 16 analog girişi, 4 UART (serial port), 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, adaptör girişi (2.1 mm), ICSP çıkışı ve bir reset butonu bulunmaktadır. Arduino Duemilanove ve Diecimila için tasarlanmış tüm eklentilere (shield) uyumludur. USB kablosu ile bilgisayara bağlanarak, 7-12 V aralığında harici bir adaptör veya 9 V pil yardımıyla da çalıştırabilmektedir. USB aşırı akım koruması bulunmaktadır. Arduino Mega pinleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir [22].



Şekil 3.2: Arduino Mega 2560 pinleri [23].

Arduino Integrated Development Environment (IDE), Arduino platformu için özel olarak geliştirilmiş bir programlama ortamıdır. Bu ortam, Arduino kartlarıyla iletişim kurmak, kod yazmak, derlemek ve yüklemek için kullanılmaktadır. Arduino programlama dili, Wiring adı verilen C++ temelli bir dilin Arduino eklemeleriyle genişletilmiş halidir. Bu dil, mikrodenetleyiciler üzerinde donanıma doğrudan erişim sağlamakta olup dijital ve analog pinlere veri okuma/yazma, PWM sinyalleri oluşturma, seri iletişim kurma gibi işlemlerin yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Arduino Mega'nın teknik bilgileri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Arduino Mega 2560'a ait teknik bilgiler

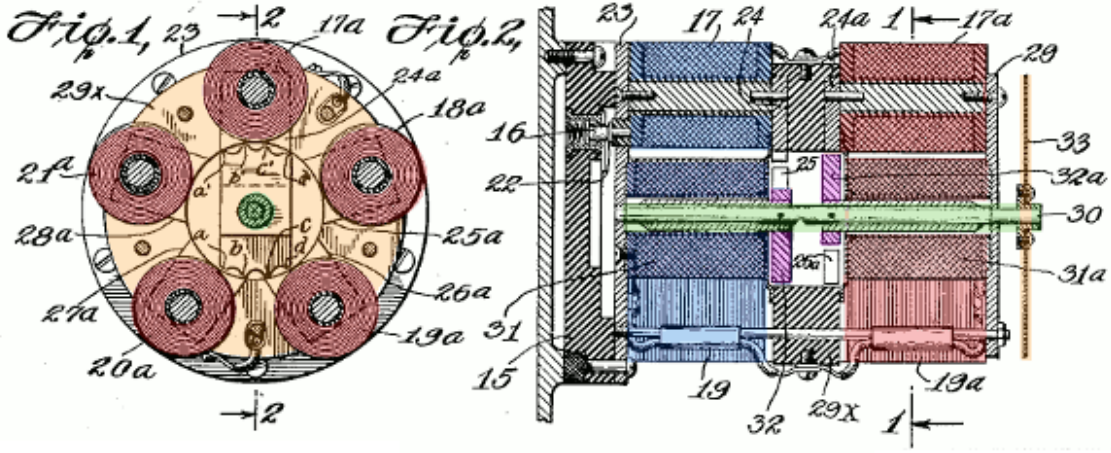
Parametre Adı	Değer	Birim
Mikro denetleyici	ATMega 2560	
Çalışma gerilimi	5	V
Besleme gerilimi (Önerilen)	7-12	V
Besleme gerilimi (Limit)	6-20	V
Dijital giriş – çıkış pinleri	54	
Analog giriş pinleri	16	
DC akımı (pin başına)	20	mA
DC akımı (3.3V pin)	50	mA
Flash Bellek	256	KB
SRAM	8	KB
EEPROM	4	KB
Mikrodenetleyici Hızı	16	MHz
Uzunluk	101.52	mm
Genişlik	53.3	mm
Ağırlık	37	g

3.2 Step Motorlar

İlk step motor, 20. yüzyılın başlarında Frank W. Wood tarafından icat edildi. Bir çift iç mıknatısı ve bir şaftı döndürmek için, beş mıknatıstan oluşan bir dış halkanın kullanıldığı tasarımın patent başvurusu 1918'de yapılmış ve "Art of producing step-by-step movements," başlığı altında Şekil 3.3'teki patenti 7 Mart 1922'de almıştır. Bu icat, step motorların evriminde önemli bir dönüm noktasıdır [24].

1,408,555.

Patented Mar. 7, 1922.



Şekil 3.3: Frank W. Wood'un 1,408,555 numaralı patenti [24].

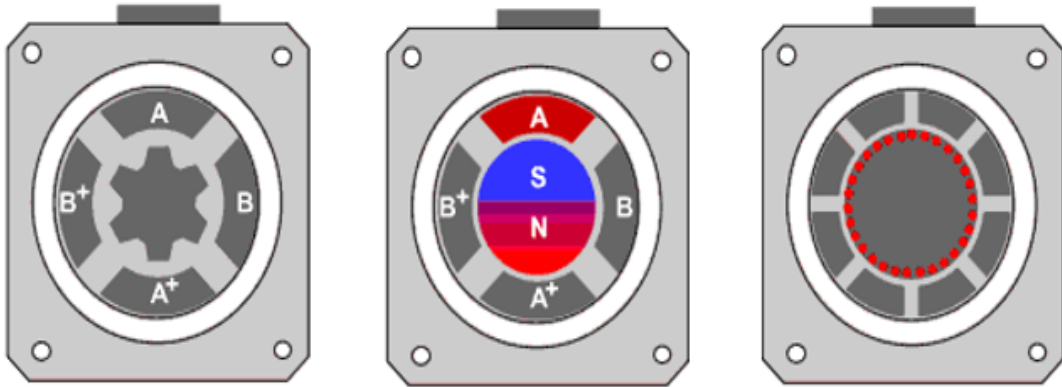
Step motorlar, dijital sinyallerle kontrol edilir ve çıkışları belirli açılı adımlarla gerçekleşen dijital kontrollü bir motor türüdür. Motorun dönme açısı, uygulanan dijital darbelerin sayısına bağlıdır ve bu sayede motorun pozisyonu hassas bir şekilde kontrol edilebilir. Bu nedenle, step motorlar birçok hassas hareket kontrol uygulamasında tercih edilen motorlardır. Step motorlar Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

Step motorlar, elektrik sinyalini mekanik harekete dönüştüren elektromekanik sistemlerdir. Kesikli bir hareket gerçekleştirerek hassas bir konuma ulaşmayı amaçlarlar. Bu hareket, bobinler tarafından sağlanan ve mıknatıslar tarafından algılanan bir manyetik alanın kullanımıyla gerçekleşir. Bobinlerden biri enerjiyle doldurulduğunda, manyetik bir alan meydana gelir ve bu alan, enerji döngüsel olarak sağlandığında (giriş darbeleriyle), manyetik alan değişir. Mıknatıs, bu değişken manyetik alana yerleştirildiğinde, kendisini en düşük enerji durumunda (denge) konumlandırır ve bu da hareketi sağlar. Bu prensip, döngüsel olarak enerjiyle doldurulmuş bobinlerden oluşan sabit bir kısım (stator) ve ferromanyetik malzemeden veya mıknatıslardan yapılmış hareketli bir kısım (rotor) içeren step motorda kullanılır.



Şekil 3.4: Step motorlar [25].

Yapısal olarak 3 farklı tipte step bulunmaktadır. Bunlar; değişken relüktanslı (VR), sabit mıknatıslı (PM) ve hibrit (HB) step motorlardır. Daimi mıknatısların kullanımına ve/veya lamine çelik statorlar ile demir rotorların yapısına bağlı olarak farklılık göstermektedirler [26]. Şekil 3.5'te step motor çeşitleri gösterilmiştir.



Değişken Relüktanslı Step Motor

Sabit Mıknatıslı Step Motor

Hibrit Step Motor

Şekil 3.5: Step motor çeşitleri [27].

Step motorlar, geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Bu motorlar; yazıcılar, çiziciler, fotokopi makineleri ve tarayıcılar, iklim kontrol sistemleri, tıbbi cihazlar, robotlar, test cihazları, fabrika otomasyonları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Step motorların geniş kullanım alanları bulmasının temel sebebi, bu motorların bazı önemli avantajlara sahip olmasıdır. Bununla birlikte, bu motorlar bazı dezavantajlara da sahiptir.

Avantajlar:

- Motorun dönüş açısı, giriş darbesi ile orantılıdır.
- İyi step motorlar adım başına % 3-5 doğruluğa sahip olmaları nedeniyle hassas konumlandırma ve tekrarlanabilirlik sağlar.
- Başlatma/durdurma/ters çevirme işlemlerine mükemmel bir yanıt verir.
- Motorda temas fırçalarının olmaması nedeniyle çok güvenilirdir.
- Millere doğrudan bağlı bir yük ile çok düşük hızlı senkron dönüş elde edilebilir.
- Hız, giriş darbesinin frekansına orantılı olduğundan geniş bir dönme hızı aralığı elde edilebilir.

Dezavantajlar:

- Doğru bir şekilde kontrol edilmezse rezonanslar oluşabilir.
- Çok yüksek hızlarda çalıştırmak kolay değildir [28].

3.2.1 17HS4401S Nema 17 Step Motor

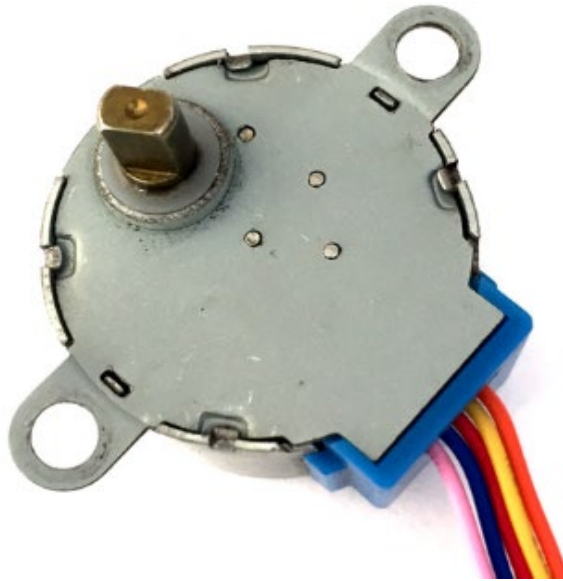
2 fazlı bir step motordur. Ürün bağlantısı için 4 (100 cm uzunluğunda) tel kullanılır ve genellikle 3D yazıcılar, CNC makineleri, otomasyon sistemleri, robotlar ve benzeri uygulamalarda kullanılmaktadır. Motor, 1.8° (200 adım) adım açısına sahip ve yüksek hassasiyetli bir motordur. Çalışma voltajı 4.8 V, çalışma akımı 1.5 A, iç direnci 1.5Ω , faz endüktansı 2.8 mH, torku 42 N.cm, 66 W gücündedir. Motor 5 mm çapında ve 22 mm uzunluğunda D tipi mile sahiptir. Boyutlar: 38x42x42 mm ve 255 g. ağırlığındadır [29]. Şekil 3.6'da 17HS4401S Nema 17 step motor gösterilmiştir.



Şekil 3.6: 17HS4401S Nema 17 step motor [29].

3.2.2 28 BYJ-48 Redüktörlü Step Motor

4 fazlı redüktörlü step motoru 5 V çalışma gerilimine, 5.625x1/64 adım açısına, 27 mm motor çapına, 100 Hz frekansa, 50 Ω dirence sahiptir. Arduino projelerinde en çok kullanılan step motor türlerindedir [30]. Şekil 3.7’de redüktörlü step motor gösterilmiştir.



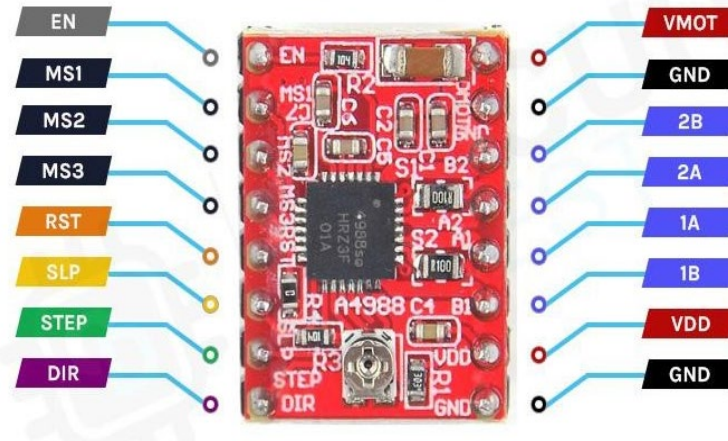
Şekil 3.7: 28 BYJ-48 redüktörlü step motor [30].

3.3 Motor Sürücüler

Motor sürücüler, bir motorun kontrolünü sağlayan elektronik cihazlardır. Bu modüller, bir mikrodenetleyici veya başka bir kontrol cihazı tarafından sağlanan sinyallere göre motorun hızını, yönünü ve konumunu kontrol ederler. Motor sürücü modülleri, genellikle birçok farklı tip motorla uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır ve farklı motor tipleri için çeşitli kontrol stratejilerini desteklemektedir. Bu modüller, endüstriyel otomasyon, robotik, CNC makineleri, 3D yazıcılar ve birçok diğer uygulama alanında yaygın olarak kullanılır. Motor sürücü modüllerinin temel görevleri arasında akım kontrolü, hız kontrolü, pozisyon kontrolü, aşırı akım koruması ve motorun korunması yer alır. Bu modüller, sistemin güvenilirliğini ve performansını artırmak için önemli role sahiptirler.

3.3.1 A4988 Step Motor Sürücü Kartı

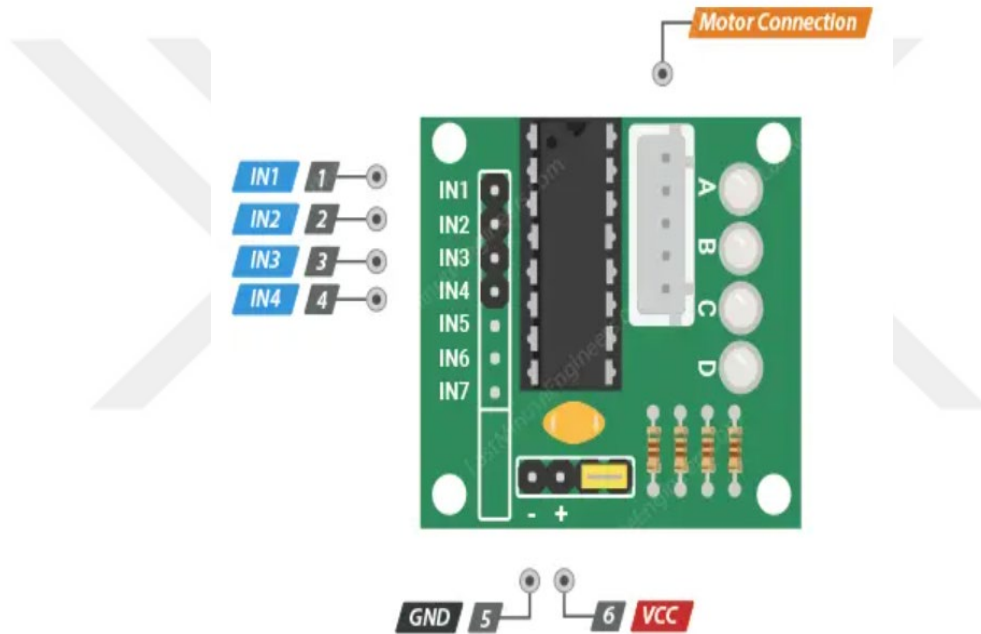
Sürücü, ayarlanabilir akım sınırlama, aşırı akım ve aşırı sıcaklık koruması ile tam, 1/2, 1/4, 1/8 ve 1/16 adım modlarında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. 8-35 V aralığında çalışabilen step motorlar için uygundur. Bobin başına 2 A'e kadar akım sağlayabilmektedir. Ayarlanabilir akım kontrolü, bir potansiyometre ile maksimum akım çıkışını ayarlanmasını sağlamaktadır. Aşırı sıcaklık, düşük voltaj, yüksek akım ve kısa devre korumaları mevcuttur [31]. Motor sürücünün bağlantı pinleri Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: A4988 step motor sürücü kartının pinleri [32].

3.3.2 ULN2003 Step Motor Sürücü Kartı

ULN2003 entegreli step motor sürücü kartı, bağımsız bir güç kaynağından motorlara 5-12 V arasında güç sağlamaktadır. Kartta ULN2003 entegresi, 4 adet LED diyot ve sınırlama dirençleri bulunmaktadır. Bu kart, step motorların kontrolü için tasarlanmıştır ve genellikle endüstriyel robotik, CNC makineleri, 3D yazıcılar gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. ULN2003A entegresinde, 7 adet darlington dizisi transistörü bulunmaktadır ve düşük akım sinyallerini yüksek akım sinyallerine dönüştürerek güçlü yükleri kontrol etmektedir. Her bir darlington çıkış transistörü bir sınırlama direnci içermektedir [33]. Sürücünün bağlantı pinleri Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9: ULN2003 step motor sürücü kartının pinleri [34].

3.4 Mesafe Sensörleri

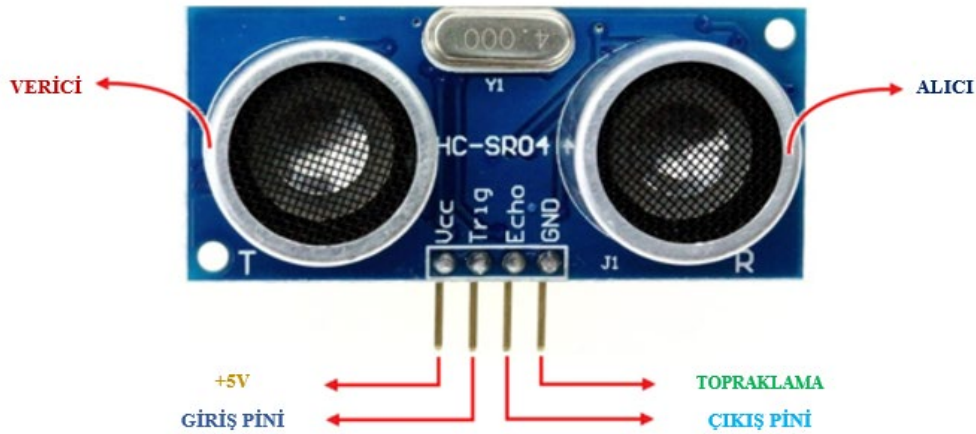
Mesafe sensörleri bulunduğu konum ile mesafesini ölçmek istediğimiz nesnenin bulunduğu noktanın arasındaki uzaklığı ölçmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Bu cihazlar, ışık, sıcaklık, hareket, basınç, manyetizma, ses ve diğer çeşitli fiziksel değişkenler gibi çeşitli çevresel uyarıcıları algılar ve bunları elektrik sinyallerine dönüştürür. Sensörler, endüstriyel otomasyondan tıbbi cihazlara, otomotivden akıllı telefonlara kadar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır.

3.4.1 HC-SR04 Ultrasonik Sensör

Ultrasonik sensörler, mesafe ölçümü yapmak için ultrasonik ses dalgalarını kullanan elektronik cihazlardır. Bu sensörler, ses dalgalarının hızından daha hızlı hareket eden ultrasonik dalgaları kullanır. Temel olarak, ultrasonik sensörlerin, bir verici (nesneye ultrasonik dalgalar yollar) ve bir alıcı (ses nesneden yansıdıktan sonra karşılar) olmak üzere iki önemli bileşeni bulunmaktadır. Ultrasonik sensörlerin çalışma prensibi, ses dalgalarının nesneye çarpması ve yansması esasına dayanır. Bu yansıma süresi, sensörün mesafeyi hesaplamasına olanak sağlamaktadır. Bu hesaplama, (1.1) formülüyle yapılır (D: mesafe, T: zaman, C: ses hızı) [35].

$$D = \frac{1}{2} T \times C \quad (1.1)$$

HC-SR04 modülünde toplam dört pin bulunmaktadır. Şekil 3.10'da gösterilen pinler; Vcc, Gnd, Trig, Echo pinleridir. Sensör tarafından üretilen 40 kHz frekansında ses dalgası Trig pininden yayılır ve bu ses dalgası herhangi bir cisme çarpıp geri döndüğünde Echo pini yansıyan sinyali algılar. Sensör 5 V gerilim ile çalışmaktadır. En verimli algılama mesafesi 2 cm ile 400 cm arasındadır [36].

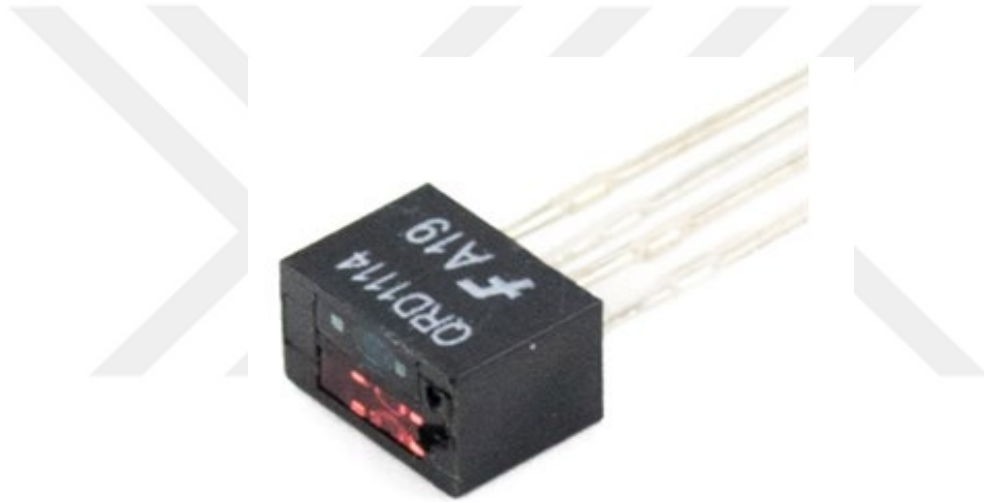


Şekil 3.10: HC-SR04 ultrasonik sensörün pinleri [37].

3.4.2 QRD1114 Kızılötesi Sensör

Sensör, kısa menzilli bir kızılötesi optik sensördür. Işık kaynağı (kızılötesi diyot) ve dedektör (fototransistör) aynı yönde düzenlenmiş kompakt bir tasarıma sahiptir. Kızılötesi diyotu, yansıtıcı bir yüzeyde (beyaz renk gibi) yansıyan kızılötesi ışık demetini yayar, bu ışık fototransistör tarafından algılanır ve bu da akımın geçişine izin verir. Sensör, NPN tipi fototransistör çıkışına ve yanlış algılamaları mümkün olduğunca önlemek için gün ışığı filtresine sahiptir.

Şekil 3.11’de gösterilen sensör, içinde bulundurduğu kızılötesi alıcı ve verici sayesinde 1 cm mesafeye kadar algılama yapabilmektedir. Çizgi takibi, renk ayrımı, cisim algılama gibi projelerde kullanılmaktadır. 5V ile çalışmaktadır [38].



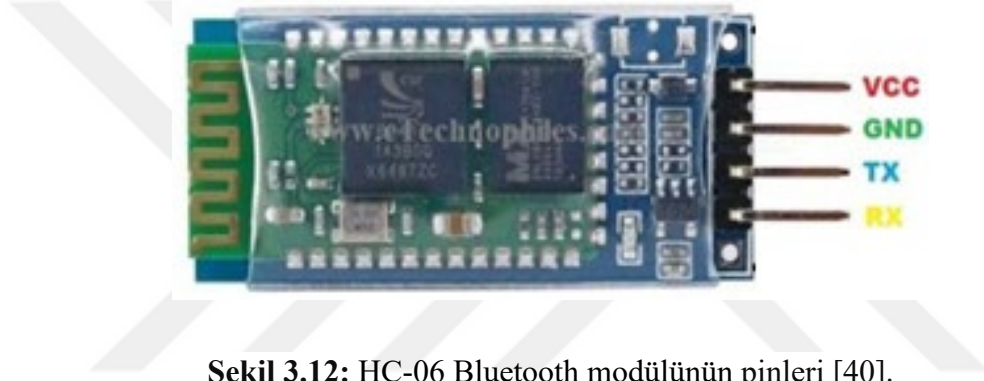
Şekil 3.11: QRD1114 kızılötesi sensörü [38].

3.5 Bluetooth Modülü

Bluetooth modülleri, elektronik cihazların kablosuz iletişim kurmasını sağlayan cihazlardır. Bu modüller, bluetooth teknolojisi aracılığıyla veri iletimi yaparlar ve çeşitli cihazlar arasında kablosuz bağlantı sağlamaktadır. Bluetooth modülleri, mikrodenetleyicilerle, bilgisayarlarla, akıllı telefonlarla ve diğer bluetooth özellikli cihazlarla iletişim kurabilmektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamalarında ve dijital elektronik cihazlarda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bluetooth modülleri, genellikle düşük güç tüketimi, düşük maliyet ve kablosuz bağlantı kolaylığı sağlamalarıyla tercih edilmektedir.

3.5.1 HC-06 Bluetooth Modülü

HC-06 Bluetooth modülü, kısa mesafeli kablosuz veri iletişimi için tasarlanmış bir karttır. Bluetooth 2.0 ile uyumlu olan bu modül, mikrodenetleyiciler arasında hızlı ve güvenilir iletişim sağlar. Kablosuz seri iletişim uygulamalarında kullanılmak üzere optimize edilmiştir ve 2.1 Mb/s'ye kadar yüksek hızlarda dosya aktarımı yapabilir. Çalışma gerilimi 3.3-5 V aralığında olan HC-06, veri alışverişini 3.3 V seviyesinde gerçekleştirir, bu da geniş bir mikrodenetleyici yelpazesine entegrasyonu kolaylaştırır. Ayrıca, 2.4 GHz frekansında çalışması, kablosuz iletişimde yaygın olarak kullanılan bir frekans aralığına sahip olması nedeniyle çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır [39]. Modülün bağlantı pinleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



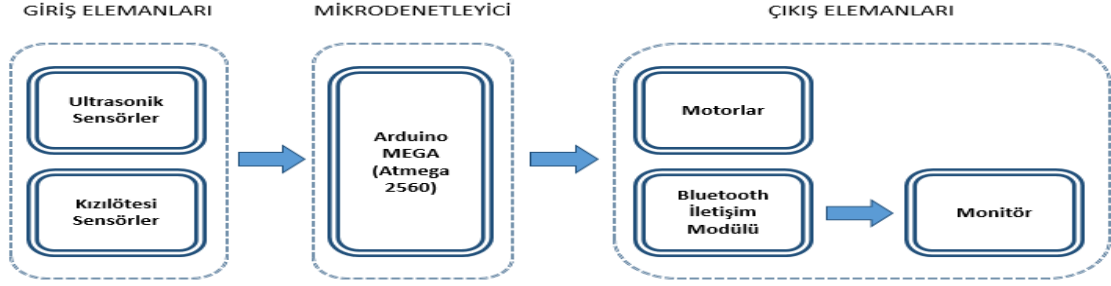
Şekil 3.12: HC-06 Bluetooth modülünün pinleri [40].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, yapılan çalışmanın blok diyagramı, aracın tasarlanması ve yazılımı anlatılacaktır.

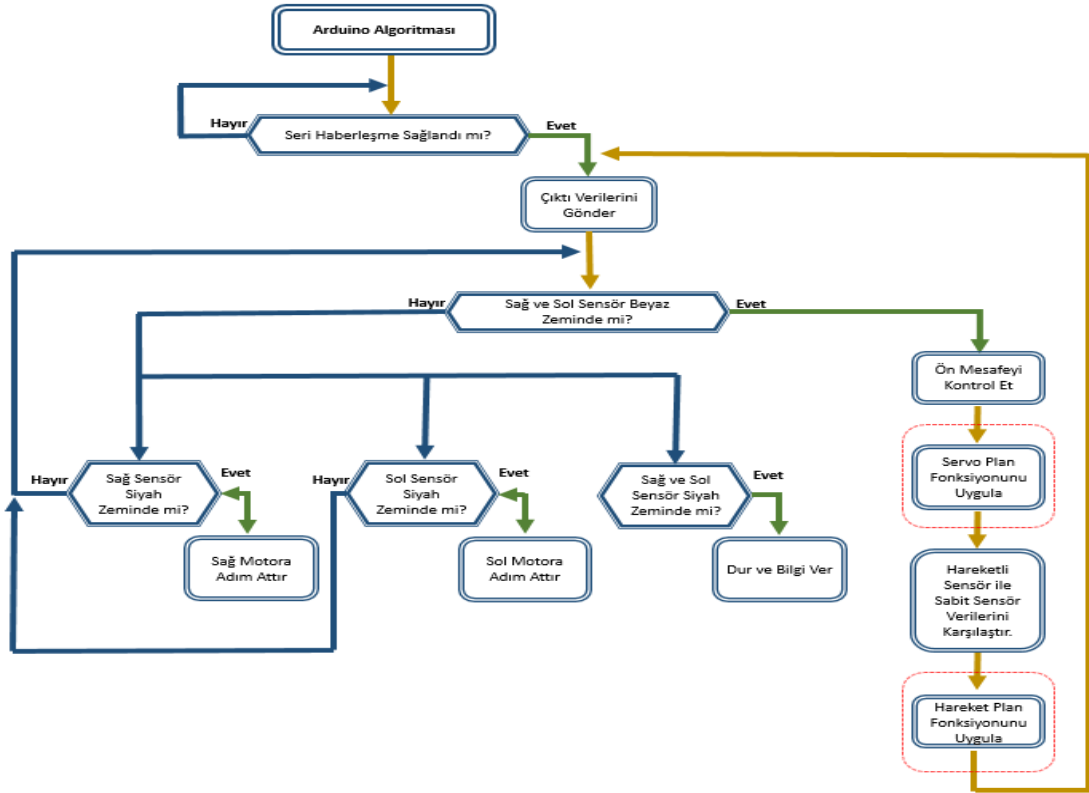
4.1 Blok Diyagramı

Tasarlanan araca ait uygulama algoritmalarının blok diyagramı Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



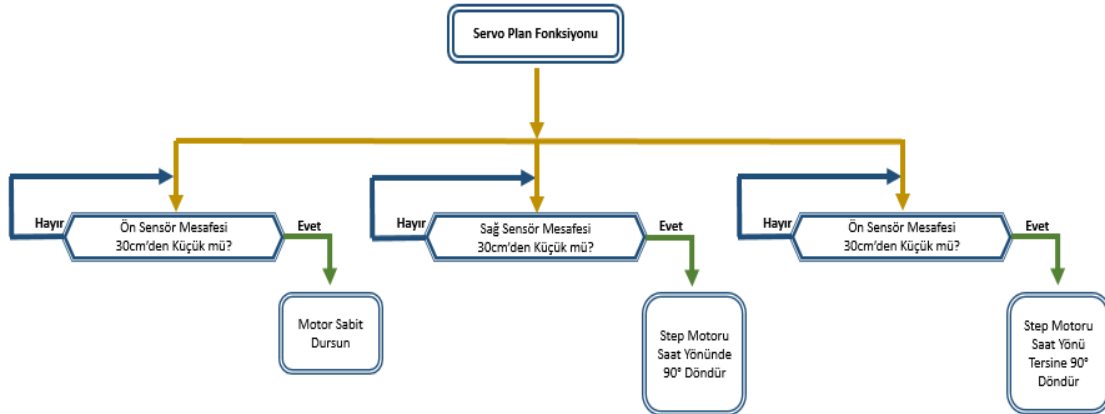
Şekil 4.1: Uygulama algoritmasının blok diyagramı.

Arduino algoritmasının blok diyagramı Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



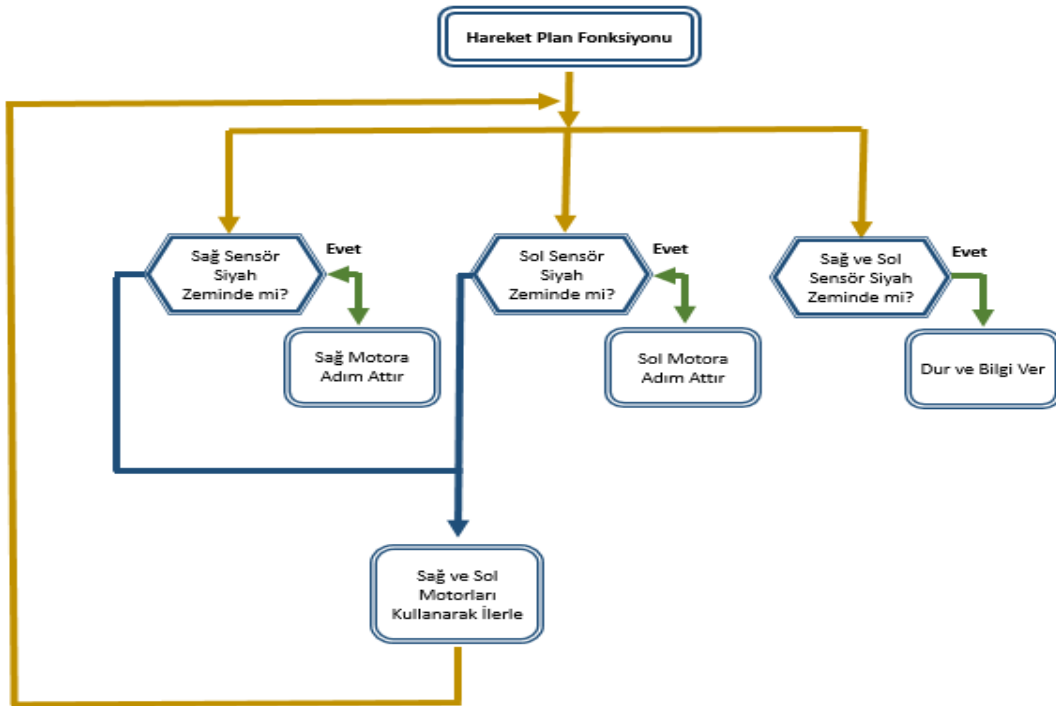
Şekil 4.2: Arduino uygulamasının algoritması.

Servo plan fonksiyon algoritmasının blok diyagramı Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Servo plan fonksiyon algoritması.

Hareket plan fonksiyon algoritmasının blok diyagramı Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Hareket plan fonksiyon algoritması.

4.2 Prototip Araç Tasarımı

Bu bölümde, havaalanı pistlerinde yabancı maddelerin tespit edilmesi için tasarlanan araç prototipinin detaylı tasarımı incelenmektedir. Prototip, Arduino Mega 2560 R3 mikrodenetleyici kartı, çeşitli step motorlar, sensörler ve bluetooth modülü kullanılarak tasarlanmıştır.

Ahşap şase, dayanıklı ve hafif bir yapı sağlamak için tercih edilmiştir. Şekil 4.5'te ahşap şase, diğer bileşenlerin montajına uygun olarak tasarlanmış ve şekillendirilmiştir. Bu sayede, şase üzerindeki diğer bileşenlerin montajı kolaylıkla yapılmıştır.



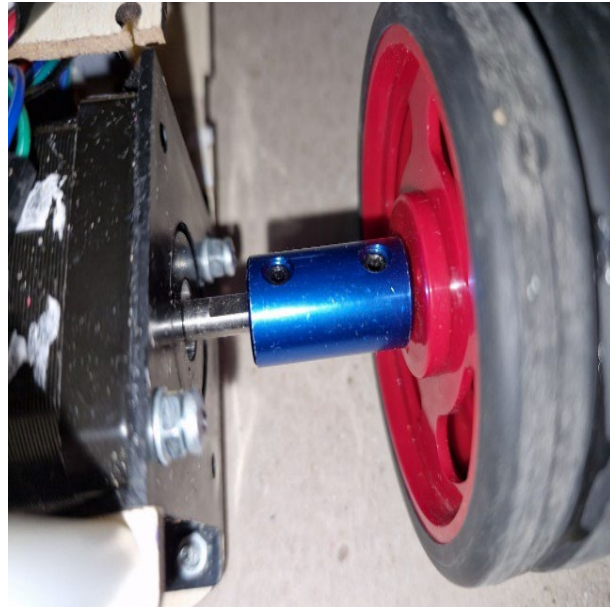
Şekil 4.5: Ahşap şase üzerine döner teker yuvası açılması.

Tekerlerde, mil olarak civata kullanılmıştır. Kullanılan civataların dişleri taş motoru ile Şekil 4.6’da gösterildiği gibi uygun hale getirilmiştir.



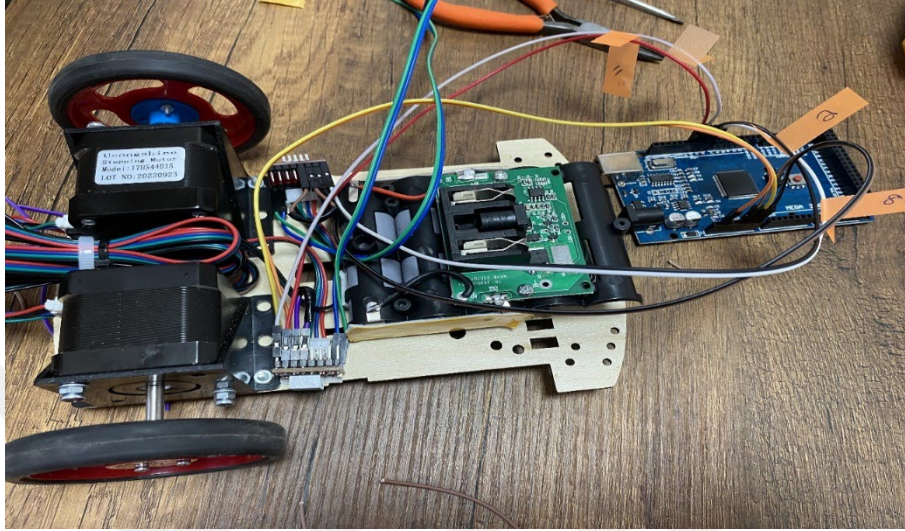
Şekil 4.6: Teker milinin hazırlanması.

Step motor ile tekerler arasında bağlantının sağlam ve dengeli çalışabilmesi için ara bağlantı elemanı olarak Şekil 4.7’deki kaplin malzeme kullanılmıştır.



Şekil 4.7: Kaplinlerin montajının yapılması.

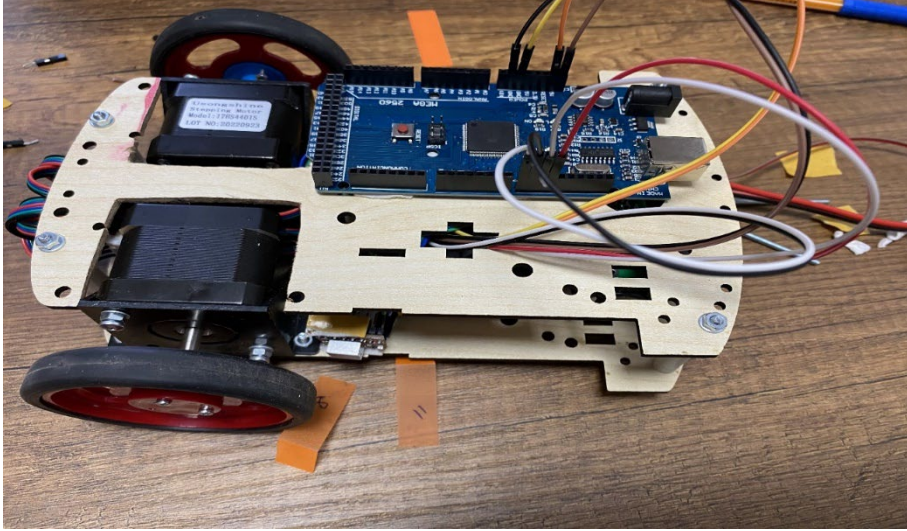
Nema 17 step motorların gövdeye sabitlenmesi için uygun boyutlarda ve uyumlu vidalar kullanılmıştır. Motorlar, Arduino Mega üzerindeki 8, 9, 10 ve 11 numaralı pinlere Şekil 4.8'deki gibi bağlanmıştır. Bu şekilde, aracın hareket sisteminin düzgün çalışması için gerekli temel bileşenlerin montajı tamamlanmıştır.



Şekil 4.8: Step motorların pin bağlantılarının yapılması.

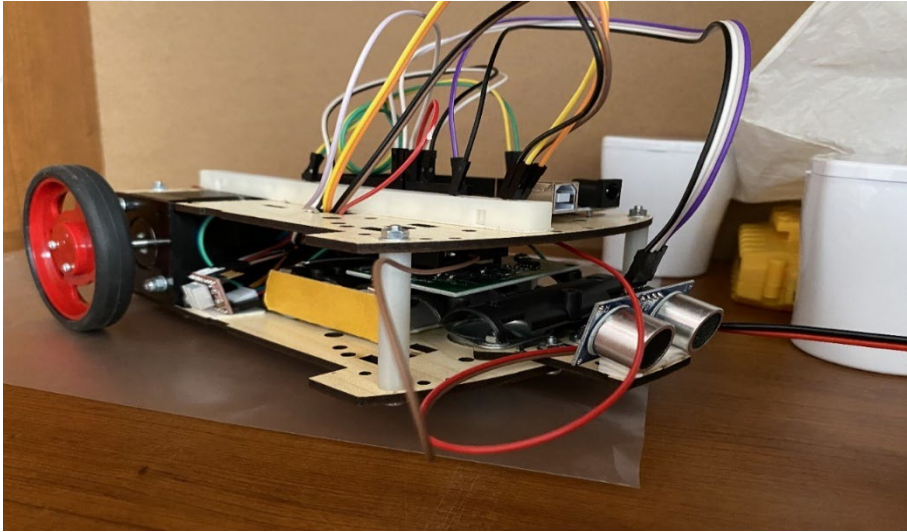
Gövdeye monte edilen 12 V'luk Li-ion batarya, aracın güç kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu batarya, motorların güçlü ve sürekli bir şekilde çalışmasını sağlamak için tercih edilmiştir. Araçta Nema 17 step motorların bulunduğu yük hattı nominal olarak 0.8-1.2 A aralığında, anma akımı olarak ise 6 A kadar anlık yük çekebilmektedir. Batarya, gövdeye silikon bant kullanılarak sağlam bir şekilde monte edilmiştir. Bataryanın besleme uçları, önce anahtara ve ardından Arduino Mega ve Nema 17 step motorların sürücü kartlarının ana beslemelerine paralel olarak bağlanmıştır. Bu düzenleme ile, güç kaynağının tüm bileşenleri dengeli bir şekilde beslemesi sağlanarak sistem daha güvenilir bir hale getirilmiştir.

Arduino Mega, Şekil 4.9'da gösterilen aracın gövdesine monte edilmiştir. Bu Arduino modeli, yabancı madde tespit aracının merkezi kontrol ünitesi olarak görev yapmaktadır. Bu ünite, aracın diğer bileşenleriyle uyumlu bir şekilde çalışarak, sensör verilerini işleyip gerekli kararları alarak aracın hareketlerini kontrol etmektedir.



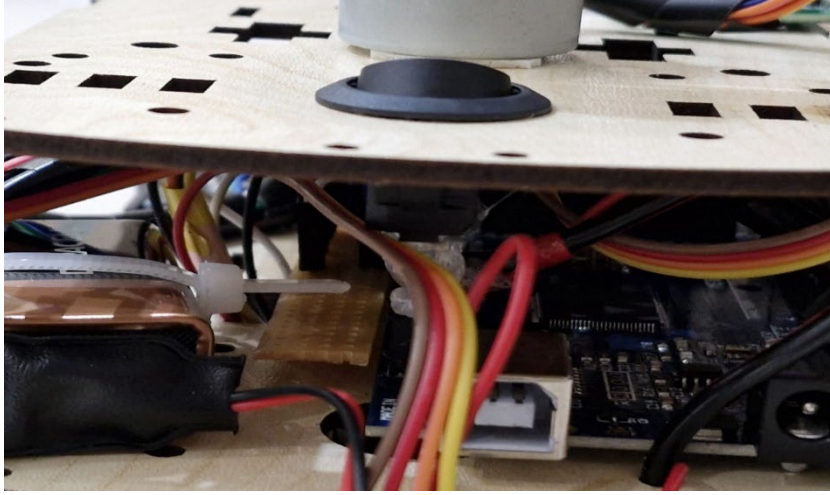
Şekil 4.9: Arduino Mega'nın montajının yapılması.

Aracın alt bölümündeki 3 adet HC-SR04 ultrasonik sensörden, ön sensör Arduino Mega'daki 48 ve 49 numaralı pinlere, sağdaki sensör 22 ve 23, soldaki sensör 50 ve 51 numaralı pinlere bağlanmıştır. Bu sensörler, pistteki yabancı maddenin tespit edilmesi için monte edilmiştir (Şekil 4.10).



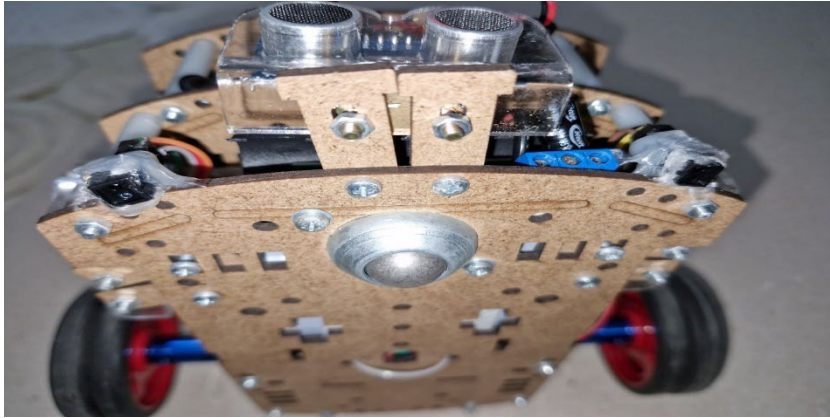
Şekil 4.10: HC-SR04 ultrasonik sensör montajlarının yapılması.

Gövdeye delikli plaket ve 9 V pil montajı yapılmıştır. Plaket üzerine kullanılan malzemelerin besleme bağlantıları bağlanmıştır. Arduino Mega ile 9 V'luk pilin bağlantıları yapılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Delikli plaketa ve 9 V pil montajının yapılması.

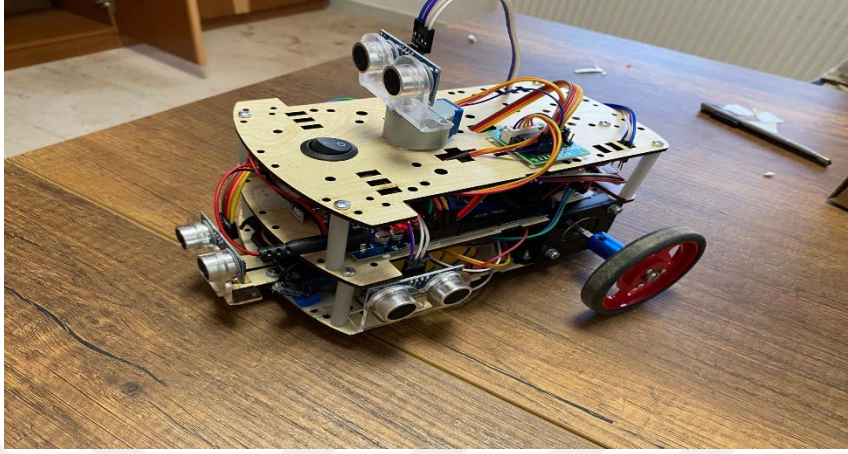
QRD1114 kızılötesi sensörler; aracın, pist orta çizgisini hizalayıp sürekli çizgi üzerinde gitmesini, pist bitimi aracın durarak pist dışına çıkmamasını sağlaması amacıyla, aracın ön sağ ve sol kısımlarına monte edilmiştir. Bu sensörler, kızılötesi ışığın yansıtılmasıyla oluşan sinyalleri Arduino Mega üzerindeki belirli pinlere ileterek işlenmesini sağlamaktadır. Kızılötesi sensör bağlantıları Arduino Mega'nın A0 ve A1 pinlerine yapılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: QRD1114 kızılötesi sensör montajlarının yapılması.

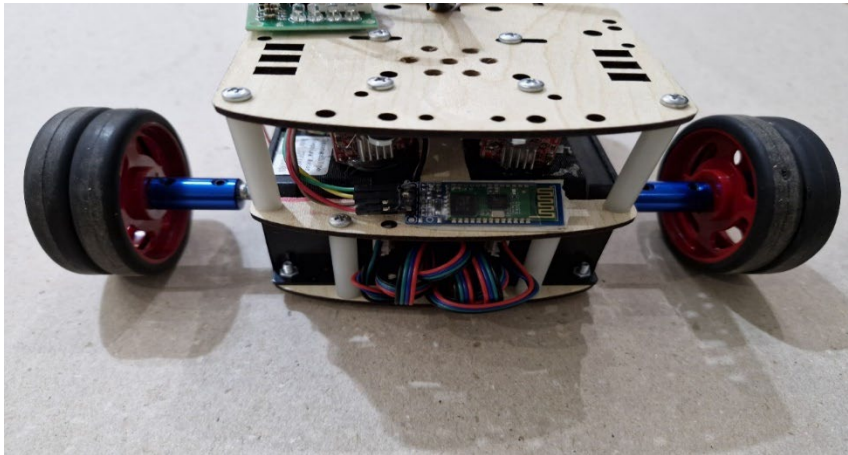
28 BYJ-48 step motor ve üzerine bağlı olan HC-SR04 ultrasonik sensör ile birlikte araç gövdesinin en üstüne Şekil 4.13'teki gibi monte edilmiştir. Altta ultrasonik sensörlerin algıladığı cismin bulunduğu yöne aracın gitmesini sağlayarak algılanan cismin yabancı madde mi yoksa engel mi olduğuna karar vermektedir.

28 BYJ-48 step motorunun bağlantıları Arduino Mega üzerindeki 1, 2, 3 ve 4 numaralı pinlere, üzerinde bulunan ultrasonik sensörün bağlantıları ise 6 ve 7 numaralı pinlere yapılmıştır.



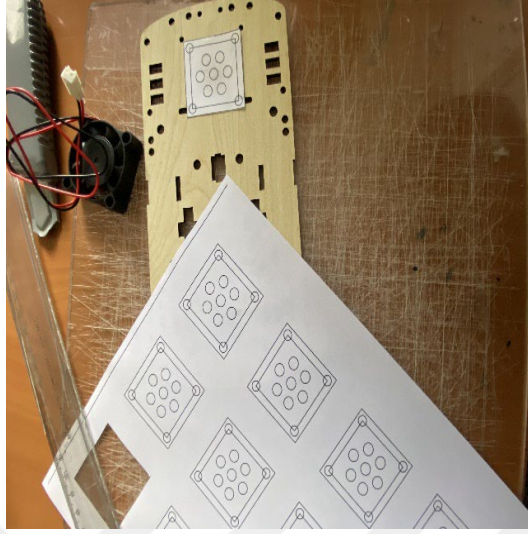
Şekil 4.13: 28 BYJ-48 step motor montajının yapılması.

Araç gövdesine monte edilen HC06 bluetooth modülü sayesinde araç, kablosuz iletişim sağlamaktadır. Şekil 4.14'te bluetooth modülünün bağlantıları Arduino Mega'nın 14 ve 15 numaralı pinlerine yapılmıştır. HC-SR04 ultrasonik sensörleri tarafından tespit edilen cisimlerin türünü (yabancı madde/engel) veya QRD1114 kızılötesi sensörler tarafından bildirilen pistin bittiği bilgisi, bilgisayara aktarılmıştır.



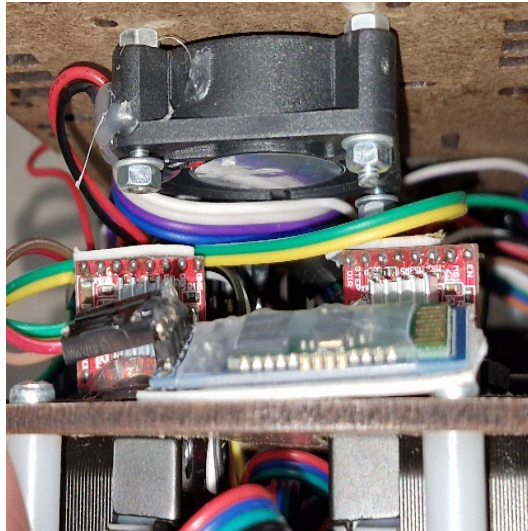
Şekil 4.14: HC06 bluetooth modül montajının yapılması.

Şekil 4.15'te tekerlere bağladığımız Nema 17 step motor sürücülerinin üzerindeki gövdede hava delikleri açılmıştır.



Şekil 4.15: Hava delikleri açılması.

Şekil 4.16'da 40x40 mm boyutlarında bir soğutma fanı monte edilmiştir. Fan, sürücülerin aşırı ısınmasını önleyerek sistemin daha güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamıştır. Bu sayede, step motor sürücülerinin performansı artırılarak daha uzun ömürlü bir kullanım sağlanmıştır.



Şekil 4.16: Fan montajının yapılması.

4.3 Prototip Araç Yazılımı

Başlangıç noktasından bitiş noktasına giderek pist üzerinde bulunan yabancı madde ve engelleri tespit ederek pist sonuna geldiğinde duran yabancı madde tespit aracına ait program yazılımı Ekler kısmında verilmiştir.



5. ELDE EDİLEN BULGULARIN ANALİZİ

Yabancı madde tespit etmesi ve pist sonuna geldiğinde durması için tasarlanan prototip araç, Şekil 5.1’de başlangıç noktasından başlayıp Şekil 5.2’de bitiş noktasına ulaşarak durmuştur. Burada pistteki olası eğim veya aracın sağa sola kayması durumunda pist çizgisini terk edip etmeyeceğini ve gönderdiği konum değerinin piste ve pist orta çizgisine olan uzaklıkla aynı olup olmayacağını anlayabilmek amacıyla pist çizgisi sağ tarafa doğru yönlendirilmiştir.



Şekil 5.1: Başlangıç noktası.

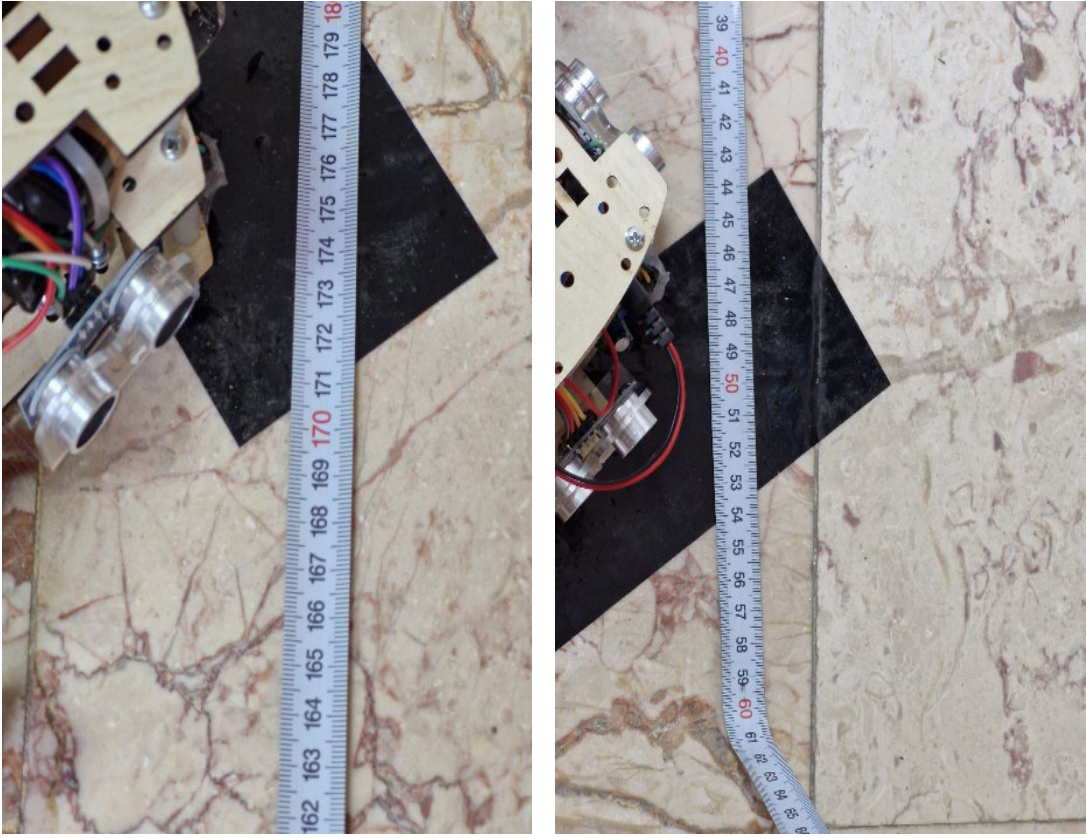


Şekil 5.2: Bitiş noktası.

Araç pist sonuna kadar çizgiyi takip etmeyi bırakmamış olup pist sona ulaştığında durmuştur. Araç tarafından bilgisayara gönderilen Şekil 5.3'teki pist başlangıç noktasına ve pist çizgisine olan uzaklık değerleri ile Şekil 5.4'teki ölçülen değerlerin birbirine çok yakın değerler olduğu gözlemlenmiştir.

```
X koordinatı : 178.70  
Y koordinatı : 51.84  
zemin tamamen siyah muhtemelen pist sonundayız
```

Şekil 5.3: Araç tarafından gönderilen pist sonu uzaklık değerleri.

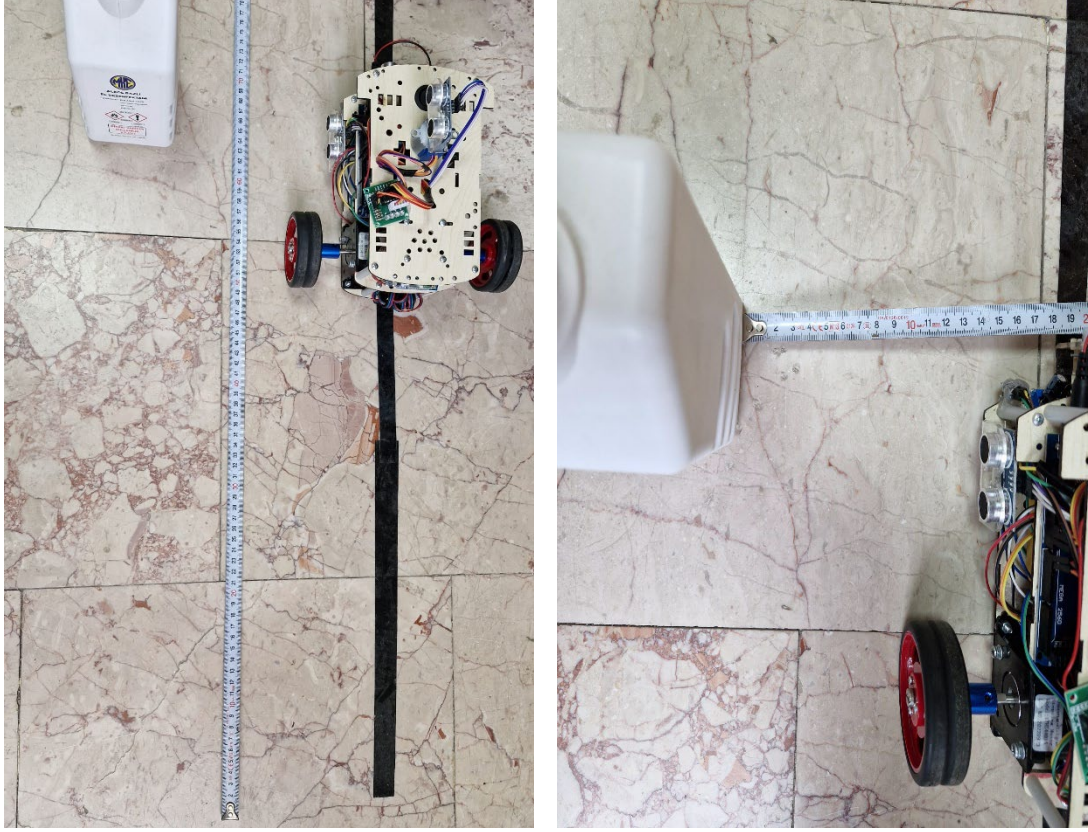


Şekil 5.4: Ölçülen pist sonu uzaklık değerleri.

Engel testi için pistin sol tarafına bırakılan büyük ebatlı cisim, araçtaki alt ve üst sensörlerin birlikte fark etmesi nedeniyle cismin engel olduğu araç tarafından tespit edilerek, pistin başlangıç noktası ile pist orta çizgisine olan uzaklığı ve yönü (- sol) bilgileri bilgisayara gönderilmiştir. Araç tarafından bilgisayara gönderilen Şekil 5.5'teki değerler ile Şekil 5.6'daki ölçülen değerlerin birbirine çok yakın değerler olduğu gözlemlenmiştir.


```
***ENGEL ALGILANDI***  
***ENGEL KONUMU***  
x = 64.25  
y = -14
```

Şekil 5.5: Araç tarafından gönderilen engel uzaklık değerleri.

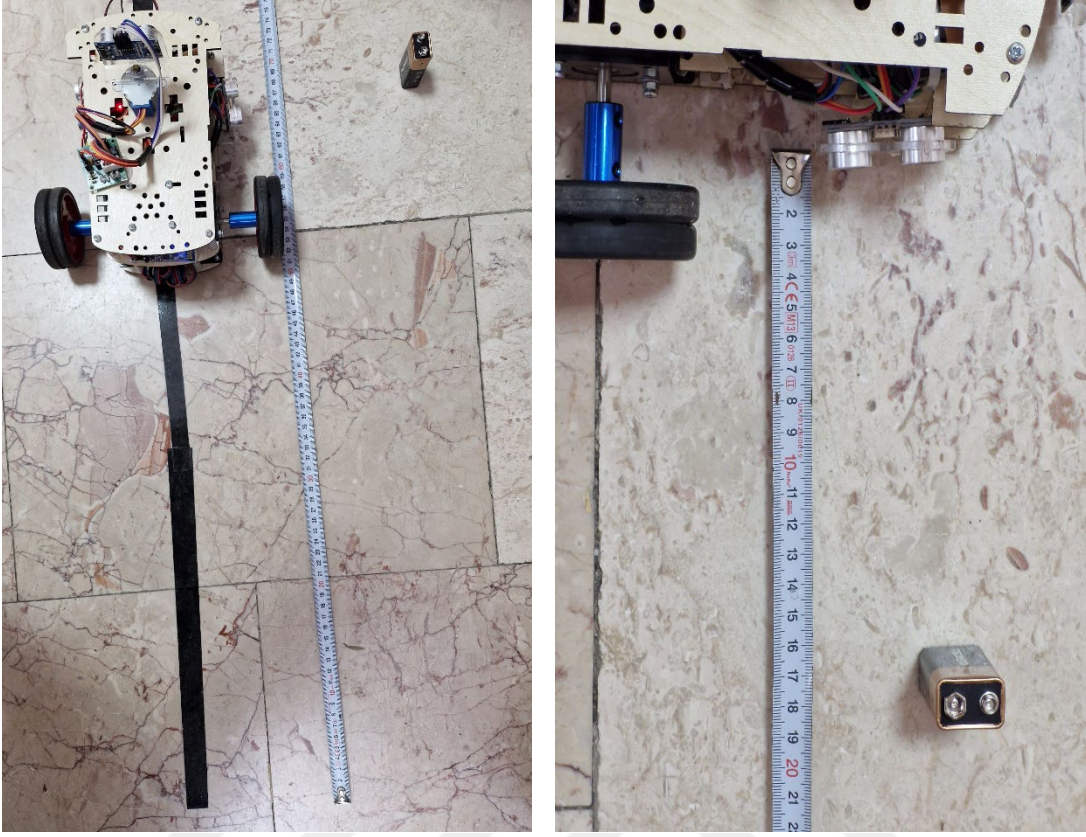


Şekil 5.6: Ölçülen engel uzaklık değerleri.

Son olarak yabancı madde tespit testi için pistin sağ tarafına bırakılan küçük ebatlı cismin, aracın sadece alt sensörü tarafından fark edilmesi nedeniyle cismin yabancı madde olduğu araç tarafından tespit edilmiş olup, pistin başlangıç noktası ile pist orta çizgisine olan uzaklığı ve yön (+ sağ) bilgileri bilgisayara gönderilmiştir. Araç tarafından bilgisayara gönderilen Şekil 5.7'deki değerler ile Şekil 5.8'deki ölçülen değerlerin birbirine çok yakın değerler olduğu gözlemlenmiştir.

```
***YAMAHA ALGILANDI***  
***YAMAHA KONUMU***  
x = 66.25  
y = 16
```

Şekil 5.7: Araç tarafından gönderilen yabancı madde konum değerleri.



Şekil 5.8: Ölçülen yabancı madde konum değerleri.

Yabancı madde tespit etmesi için yapılmış olan araç, uyumlu malzeme kullanımı ve doğru programlama ile görevini sorunsuz şekilde yerine getirmiştir.

6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Aracın tasarım ve uygulama sürecinde çeşitli zorluklar ve sorunlarla karşılaşmıştır. Bu süreçte elde edilen sonuçlar ve yapılan gözlemler, gelecekteki benzer projeler için kaynak teşkil edecektir.

Nema 17 step motorun başlığına uygun teker bulunamaması tasarım sürecinde bir engel oluşturmuş ancak alternatif çözümlerle bu sorun aşılmış ve aracın işlevselliği korunmuştur. Sorun, ara bağlantı malzemesi olarak kaplin ile çözülmüştür.

Fakat bu defa da araç teker mili olarak kullanılan civataların dişleri sayesinde teker ile step motor bağlantıları istenilen şekilde olmamıştır. Bu problem ise dişlerin temizlenmesiyle çözülmüştür.

Batarya ebatının küçültülmesi, şase boyutları ve ağırlık önemli bir gereklilik olmuş ve pil kılıfsız olarak kullanılmıştır. Böylece, hem aracın ağırlığı azaltılmış hem de hacim problemi çözülmüştür.

Aracın çalışmaları yapılırken breadboard kullanılmış fakat test konusunda birçok sorunla karşılaşmıştır. Bu sorunların başlıca nedenlerinin breadboard'un yeterince yüksek iletkenliğe sahip olmaması sebebiyle yüksek frekanslı iletişim gerektiren step motor sürme gibi işlemlerde veya analog olarak alınan sensör verilerinde hatalar görülmüştür. Çözüm olarak eleman beslemeleri delikli plaket ile, iletişim girişleri ise direkt kablo eki olarak kullanılmıştır.

Gelecekte benzer projeler yapılması durumunda yere daha sağlam tutunan teker ve daha hassas sensörler kullanılarak daha güzel sonuçlar alınabileceği değerlendirilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Exploring the World's Oldest Airports: A Journey Through Time and Technology. (31 Mayıs 2023). [Online] Erişim adresi: <https://tavtechnologies.aero/en-EN/review/pages/oldestairports>.
- [2] A DC Hidden Gem: College Park Airport. (05 Haziran 2020). [Online] Erişim adresi: www.linkedin.com/pulse/college-park-airport-ryan-dunn.
- [3] N. J. Ashford, H.P.M. Stanton, C.A. Moore, P. Coutu, & J.R. Beasley, *Airport Operations*. Boston USA: McGraw-Hill, 2013.
- [4] Airport Apron Design: What It Is and Why It Matters. (05 Kasım 2023). [Online] Erişim adresi: <https://www.aviationfile.com/airport-apron-design-what-it-is-and-why-it-matters/>.
- [5] A.T. Wells and S. Young, *Airport Planning & Management*. Boston USA: McGraw-Hill, 2004.
- [6] R. Horonjeff, F.X. McKelvey, W.J. Sproule & S.B. Young, *Planning and Design of Airports*. Boston USA: McGraw-Hill, 2005.
- [7] R. de Neufville, A.R. Odoni, P.P. Belobaba & T.G. Reynolds, *Airport Systems Planning, Design & Management*. Boston USA: McGraw-Hill, 2003.
- [8] R. Horonjeff, F.X. McKelvey, W.J. Sproule & S.B. Young, *Planning and Design of Airports*. Boston USA: McGraw-Hill, 2005.
- [9] İstanbul'un Yeni Simgesi Göz Kamaştıracak. (29 Ekim 2018). [Online] Erişim adresi: <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/istanbulun-yeni-simgesi-goz-kamastiracak-391517.html>.
- [10] Fod Risk Assessment Template. (24 Ocak 2024). [Online] Erişim adresi: <https://riskpublishing.com/fod-risk-assessment-template/>.
- [11] Time For A Fod Walk. (28 Aralık 2013). [Online] Erişim adresi: <https://www.flickr.com/photos/usairforce/11593141175>.
- [12] A.F. El-Sayed, *Foreign Object Debris and Damage in Aviation*. Florida, ABD: Taylor & Francis Group, 2022.
- [13] Performance Assessment of a Radar-Based Foreign Object Debris Detection System. (Şubat 2011). [Online] Erişim adresi: <https://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar1033.pdf>.

- [14] Tarsier FOD Radar Tower. (28 Temmuz 2009). [Online] Erişim adresi: <https://www.flickr.com/photos/35264437@N06/3767135298/in/photolist-6JTy6s-CM8aHs-6JTy5A-6JTy6q-6JPju6-6JTy6E-6JTy6C>.
- [15] Performance Assessment Of An Electro-Optical-Based Foreign Object Debris Detection System. (Mart 2012). [Online] Erişim adresi: <https://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar11-13.pdf>.
- [16] Changi Airport Group strengthens runway safety with enhanced FOD detection technology. (13 Şubat 2023). [Online] Erişim adresi: <https://www.internationalairportreview.com/article/182568/changi-airport-group-runway-safety-fod-detection-technology/>.
- [17] Performance Assessment of a Hybrid Radar and Electro-Optical Foreign Object Debris Detection System. (Haziran 2012). [Online] Erişim adresi: www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/tc12-22.pdf.
- [18] Xsight Systems Welcomes Vandewater Capital Holdings as its First American Investor. (22 Haziran 2016). [Online] Erişim adresi: www.prnewswire.com/news-releases/xsight-systems-welcomes-vandewater-capital-holdings-as-its-first-american-investor-300288576.html.
- [19] The U.S. Government Invests In The FOD Finder™ XM-M State-of-the-Art Technology To Clear Debris Off Of Airfields And Runways. (12 Ekim 2016). [Online] Erişim adresi: [Online] Erişim adresi: <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-us-government-invests-in-the-fod-finder-xm-m-state-of-the-art-technology-to-clear-debris-off-of-airfields-and-runways-300343072.html>.
- [20] Mobile FOD Solutions. (28 Eylül 2016). [Online] Erişim adresi: <https://www.varec.com/resources/mobile-fod-solutions/>.
- [21] Introduction to Arduino: History, Hardware, and Software. (08 Eylül 2022). [Online] Erişim adresi: <https://control.com/technical-articles/introduction-to-arduino-history-hardware-and-software/>.
- [22] Arduino Mega 2560 Nedir?. (03 Şubat 2012). [Online] Erişim adresi: <http://arduinoturkiye.com/arduino-mega-2560-nedir/>.
- [23] What is Arduino Mega?. (30 Kasım 2020). [Online] Erişim adresi: <https://robu.in/what-is-arduino-mega/>.
- [24] Stepper Motors. (25 Mart 2023). [Online] Erişim adresi: <https://www.explainthatstuff.com/how-stepper-motors-work.html>.

- [25] What is a Stepper Motor?. (10 Temmuz 2018). [Online] Erişim adresi: <https://automationforum.co/what-is-a-stepper-motor/>.
- [26] Step Motors Reference Guide. (08 Temmuz 2000). [Online] Erişim adresi: <https://lavinia.as.arizona.edu/~minimaestro/MAESTRO/Construction/References/step101.pdf>.
- [27] Step Motor Nedir? Step Motor Çeşitleri Nelerdir?. (17 Haziran 2022). [Online] Erişim adresi: <https://www.meonotomasyon.com/blog/step-motor-nedir-step-motor-cesitleri-nelerdir>.
- [28] Stepper Motor Advantages (31 Ocak 2012). [Online] Erişim adresi: <https://www.smoothmotor.com/a-news-advantages-and-disadvantages-of-hybrid-stepper-motors>.
- [29] 17HS4401S. (29 Ekim 2018). [Online] Erişim adresi: <https://datasheetpdf.com/datasheet/17HS4401S.html>.
- [30] 28BYJ-48 - 5V Stepper Motor (5 Mart 2021) <https://components101.com/motors/28byj-48-stepper-motor>.
- [31] A4988 Stepper Motor Driver Module. (22 Ağustos 2019). [Online] Erişim adresi: <https://components101.com/modules/a4988-stepper-motor-driver-module>.
- [32] Stepper Motor Control with A4988 Stepper Motor Driver and Arduino UNO. (08 Mart 2023). <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interface-a4988-stepper-motor-driver-with-arduino>.
- [33] ULN2003 Motor Driver IC. (13 Haziran 2021), [Online] Erişim adresi: <https://components101.com/ics/stepper-motor-driver-ic-uln2003-pinout-datasheet>.
- [34] Interfacing 28BYJ-48 Stepper Motor Arduino using ULN2003 Driver. (15 Temmuz 2023), [Online] Erişim adresi: <https://arduinokitproject.com/28byj48-stepper-motor-arduino-tutorial/>.
- [35] HC-SR04 Ultrasonic Module User Guide. (12 Ağustos 2013). [Online] Erişim adresi: <https://www.electronicsforu.com/blog/post/hc-sr04-ultrasonic-module-user-guide.html>.
- [36] Learn Everything About Ultrasonic Sensor HC SR04. (18 Eylül 2023). [Online] Erişim adresi: <https://vayuyaan.medium.com/learn-everything-about-ultrasonic-sensor-hc-sr04-25aac5de28fb>.
- [37] HC SR04 Datasheet and Pinout – Ultrasonic Sensor Noncontact Range Detection. (25 Haziran 2021). [Online] Erişim adresi: <https://netsonic.fi/en/hc-sr04-datasheet-and-pinout-ultrasonic-sensor-noncontact-range-detection/>.

- [38] QRD1113 / QRD1114 Reflective Object Sensor (01 Haziran 2013). [Online] Erişim adresi: <https://www.mouser.com/datasheet/2/149/QRD1114-192054.pdf>.
- [39] HC-06 Bluetooth Module. (03 Kasım 2018). [Online] Erişim adresi: <https://components101.com/wireless/hc-06-bluetooth-module-pinout-datasheet>.
- [40] HC-06 Bluetooth Module: Pinout, Datasheet pdf and Arduino Connection. (23 Kasım 2021). [Online] Erişim adresi: <https://www.utmel.com/components/hc-06-bluetooth-module-pinout-datasheet-pdf-and-arduino-connection?id=884>.



EKLER

EK: Prototip Araç Yazılımı

```
1 //bu kısımda programda kullanacağımız kütüphaneleri ekliyoruz
2 #include <SoftwareSerial.h>
3 #include <Arduino.h>
4 #include<math.h>
5
6 //200 adım = teker çevresi yaklaşık 21,98 cm'dir (teker yarıçapı 3.5cm)= 360 derece yani 1 tura eşittir.
7 //200 adım 21,98 cm ise 10 adım 1,1 cm dir (momentten doğan savrulma ve zeminden kaynaklanan kayma durumu hariç)
8 // ön arka teker uzaklığı 12cm
9 //tek yönde sag ve sol komutu çalışınca 550 adım 360 derecedir öyleyse 1 adım 0,655 derecedir sağ yön pozitif kabul edilecektir.
10
11 SoftwareSerial mySerial(14, 15); // RX, TX (bluetooth sensörünün rx ve tx pinleri bu pinler tx-rx ve rx-tx olacak şekilde zıt bağlanır.)
12 #define IN1 28 //sensöre bağlı step motor fazları in(1,2,3,4)
13 #define IN2 30
14 #define IN3 32
15 #define IN4 34
16
17 #define dirpinsol 8 //tekere bağlı nema 17 step motor fazları
18 #define steppinsol 9
19 #define dirpinsag 10
20 #define steppinsag 11
21
22 #define seritsag A0//sağ çizgi sensörü
23 #define seritsol A1//sol çizgi sensörü
24
25 int sure = 2000; //Step motor adım süresi microseconds
26
27 int adım;
28 int ontrig = 49; //öndeki ultrasonik sensör pinleri
29 int onecho = 48;
30 int sagtrig = 23; //sağ ultrasonik sensör pinleri
31 int sagecho = 22;
32 int soltrig = 50; //sol ultrasonik sensör pinleri
33 int solecho = 51;
34 int usttrig = 6; //üstteki ultrasonik sensör pinleri
35 int ustecho = 7;
36 int ilerlemesay=0; //ilerleme olarak belirtilen fonksiyonun kaç kez çalıştığını sayar.
37 unsigned long sure_on=0; //bu değişkenler mesafe sensörünün ses hızına göre mesafeyi algılama değişkenleridir.
38 double Yol_on=0;
39 unsigned long sure_sag=0;
40 double Yol_sag=0;
41 unsigned long sure_sol=0;
42 double Yol_sol=0;
43 unsigned long sure_ust=0;
44 double Yol_ust=0;
45
46 int onMesafe=0; //öndeki mesafe değişkeni
47 int sagMesafe=0; //sağdaki mesafe değişkeni
48 int solMesafe=0; //soldaki mesafe değişkeni
49 int ustMesafe=0; //üstteki mesafe değişkeni
50 int gelenbyte; //bluetooth sensörünün bilgisayara veri aktardığı değişken
51 int Deger1; //sağ çizgi sensör değerinin hafızaya alındığı değişken
52 int Deger2; //sol çizgi sensör değerinin hafızaya alındığı değişken
53 int MesafeFark=0; //öndeki ve üstteki iki sensörün mesafe farkından oluşan hatayı hesaplayıp çıkartan değişken
54 float x=0; //x koordinatının değişkeni
55 float x_haf=0; //x koordinatını hafızada tuttuğumuz değişken
56 float y=0; //y koordinatının değişkeni
57 int y_haf=0; //y koordinatını hafızada tuttuğumuz değişken
58 float yon_aci=0; //dönmede sağlanan sağ sol açılış durumunu hafızaya aldığımız değişken
59 int ilk_bekle=0; //ilk anda aracı yerleştirme ve hazırlık yapmak için tanınan zaman fonksiyonunun tek seferlik anahtarı(3 saniye)
60
61 void setup() {
62     //burada tanımlanan pinlerin giriş ve çıkış pini olduğunu belirttik
63     pinMode(usttrig, OUTPUT);
64     pinMode(ustecho, INPUT);
65     pinMode(ontrig, OUTPUT);
66     pinMode(onecho, INPUT);
67     pinMode(sagtrig, OUTPUT);
68     pinMode(sagecho, INPUT);
69     pinMode(soltrig, OUTPUT);
70     pinMode(solecho, INPUT);
71     pinMode(dirpinsol, OUTPUT);
72     pinMode(steppinsol, OUTPUT);
73     pinMode(dirpinsag, OUTPUT);
74     pinMode(steppinsag, OUTPUT);
75     pinMode(IN1, OUTPUT);
76     pinMode(IN2, OUTPUT);
77     pinMode(IN3, OUTPUT);
78     pinMode(IN4, OUTPUT);
79     pinMode(seritsag, INPUT);
80     pinMode(seritsol, INPUT);
81     //9600 bantında seri haberleşme başlattık
82     Serial.begin(9600);
83
84     while(!Serial){} //seri haberleşme varsa işlem yap!
85
86     iletisim();
87 }
88
89
```

```

90 void loop() {
91   if(ilk_bekle==0){ // ilk süre sayan kısım
92     ilk_bekle=ilk_bekle+1;
93     for(int a=0;a<4;a++){
94       delay(1000);
95       Serial.println(a);
96     }
97   }
98
99
100  if(Serial.available()>0){ // Serial Porta girdi değerinin olup olmadığını kontrol et(Haberleşme için)
101    gelenbyte = Serial.read(); }
102
103    //Seri haberleşmede değerler sırayla bilgisayara gönderilir bunun için fonksiyonu ölçerek çıktıyı gönderen hazır fonksiyon kullanılır.
104    Serial.write(onMesafe);
105    Serial.write(sagMesafe);
106    Serial.write(solMesafe);
107    Serial.write(ustMesafe);
108    //sag ve sol çizgi sensörleri analog pine bağlılar bu yüzden analog okuma yapılır.
109    Deger1 =analogRead(seritsag);
110    Deger2=analogRead(seritsol);
111
112
113    Serial.print("deger1="); //kontrol için çizgi sensör çıktısının alındığı kısım
114    Serial.println(Deger1);
115    Serial.print("deger2=");
116    Serial.println(Deger2);
117
118
119
120    delay(200); //200 ms bekle
121
122
123    while(Deger1>=300&&Deger2>=300){ //zemin beyaz tonlarıysa (sag ve sol sensör beyaz görüyorsa) bu fonksiyon çalışır
124
125      Deger1 =analogRead(seritsag); //tekrar okuma yapılır tekrar okuma yapılmazsa yani while şartı değişmezse fonksiyon sonsuz kadar çalışır.
126      Deger2=analogRead(seritsol);
127
128      ustmesafe(); //mesafe fonksiyonlarını çalıştığı kısım, ölçüm yapıyoruz.
129      onmesafe();
130      sagmesafe();
131      solmesafe();
132
133      Serial.print("deger1="); //kontrol için çizgi sensör çıktısının alındığı kısım
134      Serial.println(Deger1);
135      Serial.print("deger2=");
136      Serial.println(Deger2);
137
138      Serial.print("////ilerleme sayısı : "); //ilerleme fonksiyonu kaç kere çalışmış kontrol için çıktıda gösterdik
139      Serial.println(ilerlemesay);
140      Serial.print("X koordinatı : "); // x koordinatı
141      Serial.println(x);
142      Serial.print("Y koordinatı : "); // y koordinatı
143      Serial.println(y);
144      delay(100);
145
146
147      if(Serial.available()>0){ /* burada yukardaki fonksiyonların aynısı(while döngüsüne girmeden 1 sefer ilk çalışma için kullanılmış ve
148      açıklanmıştır, otonom biçimde döngünün devam etmesi için while döngüsü içinde tekrar verilmiştir. */
149        gelenbyte = Serial.read(); }
150
151        Serial.write(onMesafe);
152        Serial.write(sagMesafe);
153        Serial.write(solMesafe);
154        Serial.write(ustMesafe);
155        servo_plan();
156
157        hareket_plan();
158      }
159      while(Deger2>Deger1&&Deger1<=300&&Deger2>=300){
160        //arac sola kayıyorsa yani sağdaki çizgi sensörü sola dönerek çizgiye yaklaştıysa araç sağa dönmelidir savrulmadan, doğan ilerlemeyi
161        engellemek için biraz geri gelmiştir.
162        sag();
163        azgeri();
164        //ileri();
165        dur();
166        Serial.println("saga donecek");
167
168        Serial.print("deger1=");
169        Serial.println(Deger1);
170        Serial.print("deger2=");
171        Serial.println(Deger2);
172        Deger1 =analogRead(seritsag);
173        Deger2=analogRead(seritsol);
174
175      }
176      delay(100);
177    }
178    while(Deger1>Deger2&&Deger1>=300&&Deger2<=300){
179      //arac sağa kayıyorsa yani soldaki çizgi sensörü sağa dönerek çizgiye yaklaştıysa araç sola dönmelidir, savrulmadan doğan ilerlemeyi
180      engellemek için biraz geri gelmiştir.
181      sol();
182      azgeri();
183      //ileri();
184      dur();
185      Serial.println("sola donecek");

```

```

186
187     Serial.print("deger1=");
188     Serial.println(Deger1);
189     Serial.print("deger2=");
190     Serial.println(Deger2);
191     Deger1 =analogRead(seritsag);
192     Deger2=analogRead(seritsol);
193
194     delay(100);
195 }
196
197 while(Deger1<=100&&Deger2<=100){
198     //zeminin tamamen siyah olduğu yada aracın yerle temasının olmadığı durumda araç durur ve koordinat gönderir.
199     Serial.println("zemin tamamen siyah muhtemelen pist sonundayız");
200     Serial.print("deger1=");
201     Serial.println(Deger1);
202     Serial.print("deger2=");
203     Serial.println(Deger2);
204
205     Serial.print("X koordinatı : ");
206     Serial.println(x);
207     Serial.print("Y koordinatı : ");
208     Serial.println(y);
209     delay(100);
210     Deger1 =analogRead(seritsag);//while fonksiyonunun doğru çalışması için değışkenin mutlaka döngü içinde kontrol edilmesi gerekir.
211     Deger2=analogRead(seritsol);
212     dur();
213 }
214 }
215
216 }
217
218 void iletisim(){//eğer haberleşme yok ise 'deger alınamıyor' bilgisini gönder( bluetooth sensörü ve bilgisayar arasında)
219 while(Serial.available()<0){
220     Serial.println("deger alınamıyor");
221
222     delay(10);
223 }
224 }
225
226 void geri(){// geri yönde ilerleme fonksiyonu
227     for(adim=0;adim<100;adim++){
228         digitalWrite(dirpinsol,LOW);
229         digitalWrite(dirpinsag,LOW);
230         digitalWrite(stepinsol,HIGH);
231         digitalWrite(stepinsag,HIGH);
232         delayMicroseconds(1200);
233         digitalWrite(stepinsol,LOW);
234         digitalWrite(stepinsag,LOW);
235         delayMicroseconds(1200);
236
237     }
238 }
239
240 void azgeri(){// geri yönde daha az ilerleme fonksiyonu
241     for(adim=0;adim<25;adim++){
242         digitalWrite(dirpinsol,LOW);
243         digitalWrite(dirpinsag,LOW);
244         digitalWrite(stepinsol,HIGH);
245         digitalWrite(stepinsag,HIGH);
246         delayMicroseconds(1200);
247         digitalWrite(stepinsol,LOW);
248         digitalWrite(stepinsag,LOW);
249         delayMicroseconds(1200);
250
251     x=(x-1.1);//buradaki fark ilerleme fonksiyonu ile az geri fonksiyonu arasındaki 10 adım farktan oluşuyor
252 }
253 }
254
255 void ileri(){// ileri yönde ilerleme fonksiyonu
256     for(adim=0;adim<15;adim++){
257
258         digitalWrite(dirpinsol,HIGH);
259         digitalWrite(stepinsol,HIGH);
260         digitalWrite(dirpinsag,HIGH);
261         digitalWrite(stepinsag,HIGH);
262         delayMicroseconds(1300);
263         digitalWrite(stepinsol,LOW);
264         digitalWrite(stepinsag,LOW);
265         delayMicroseconds(1300);
266
267     }
268 }
269
270 }
271 void kalkis(){// ilk kalkışta tekerde patinajı önlemek için daha yavaş kalkış sağlanır.
272     for(adim=0;adim<10;adim++){
273
274         digitalWrite(dirpinsol,HIGH);
275         digitalWrite(dirpinsag,HIGH);
276
277         digitalWrite(stepinsol,LOW);
278         digitalWrite(stepinsag,LOW);
279         delayMicroseconds(2000);
280
281         digitalWrite(stepinsol,HIGH);
282         digitalWrite(stepinsag,HIGH);
283         delayMicroseconds(2000);}

```

```

284 |
285 | }
286 |
287 | void yavaslama(){//durma anında kayıp savrulmayı engellemek için motorlar 2 kademeli halde yavaşlatılır.
288 |     for(adim=0;adim<10;adim++){
289 |
290 |         digitalWrite(dirpinsol,HIGH);
291 |         digitalWrite(dirpinsag,HIGH);
292 |
293 |         digitalWrite(steppinsol,LOW);
294 |         digitalWrite(steppinsag,LOW);
295 |         delayMicroseconds(2000);
296 |
297 |         digitalWrite(steppinsol,HIGH);
298 |         digitalWrite(steppinsag,HIGH);
299 |         delayMicroseconds(2000);}
300 |
301 | }
302 |
303 | void sag(){// sağa dönme fonksiyonu
304 |     for(adim=0;adim<20;adim++){
305 |
306 |         digitalWrite(dirpinsol,LOW);
307 |         digitalWrite(dirpinsag,HIGH);
308 |
309 |         digitalWrite(steppinsol,HIGH);
310 |         digitalWrite(steppinsag,HIGH);
311 |         delayMicroseconds(1300);
312 |
313 |         digitalWrite(steppinsol,LOW);
314 |         digitalWrite(steppinsag,LOW);
315 |         delayMicroseconds(1300);}
316 |     yon_aci=yon_aci+3;
317 | }
318 |
319 | void sol(){// sola dönme fonksiyonu
320 |     for(adim=0;adim<20;adim++){
321 |
322 |         digitalWrite(dirpinsol,HIGH);
323 |         digitalWrite(dirpinsag,LOW);
324 |
325 |         digitalWrite(steppinsol,HIGH);
326 |         digitalWrite(steppinsag,HIGH);
327 |         delayMicroseconds(1300);
328 |
329 |         digitalWrite(steppinsol,LOW);
330 |         digitalWrite(steppinsag,LOW);
331 |         delayMicroseconds(1300);}
332 |     yon_aci=yon_aci-3;
333 | }
334 |
335 | void dur(){// durma fonksiyonu
336 |
337 |
338 |     digitalWrite(dirpinsol,LOW);
339 |     digitalWrite(dirpinsag,LOW);
340 |     digitalWrite(steppinsol,LOW);
341 |     digitalWrite(steppinsag,LOW);
342 |
343 |
344 | }
345 |
346 | //mesafe fonksiyonları ile ultrasonik sensörler çalışır ve ölçüm yapılır, içeride verilen açıklama satırları sensörleri kontrol etmek içindir.
347 |
348 | void onmesafe(){
349 |     digitalWrite(ontrig, LOW);
350 |     delayMicroseconds(5);
351 |     digitalWrite(ontrig, HIGH);
352 |     delayMicroseconds(5);
353 |     digitalWrite(ontrig, LOW);
354 |     sure_on = pulseIn(onecho, HIGH);
355 |
356 |     Yol_on = (double)sure_on * 0.034;
357 |     onMesafe = Yol_on / 2;
358 |     /*Serial.print("on mesafe sensör ile karsisindaki yuzey arasindaki mesafe :");
359 |     Serial.print(onMesafe);
360 |     Serial.println("cm.\n");*/
361 |     delay(50);
362 | }
363 |
364 | void sagmesafe(){
365 |     digitalWrite(sagtrig, LOW);
366 |     delayMicroseconds(5);
367 |     digitalWrite(sagtrig, HIGH);
368 |     delayMicroseconds(5);
369 |     digitalWrite(sagtrig, LOW);
370 |     sure_sag = pulseIn(sagecho, HIGH);
371 |     Yol_sag = (double)sure_sag * 0.034;
372 |     sagMesafe = Yol_sag / 2;
373 |     /*Serial.print("sag mesafe sensör ile karsisindaki yuzey arasindaki mesafe :");
374 |     Serial.print(sagMesafe);
375 |     Serial.println("cm.\n");*/
376 |     delay(50);
377 | }
378 |

```

```

379 void solmesafe(){
380   digitalWrite(soltrig, LOW);
381   delayMicroseconds(5);
382   digitalWrite(soltrig, HIGH);
383   delayMicroseconds(5);
384   digitalWrite(soltrig, LOW);
385   sure_sol = pulseIn(solecho, HIGH);
386
387   Vol_sol = (double)sure_sol * 0.034;
388   solMesafe = Vol_sol / 2;
389   /*Serial.print("sol mesafe sensör ile karsisindaki yuzey arasindaki mesafe :");
390   Serial.print(solMesafe);
391   Serial.println("cm.\n");*/
392   delay(50);
393 }
394
395 void ustmesafe(){
396   digitalWrite(usttrig, LOW);
397   delayMicroseconds(5);
398   digitalWrite(usttrig, HIGH);
399   delayMicroseconds(5);
400   digitalWrite(usttrig, LOW);
401   sure_ust = pulseIn(ustecho, HIGH);
402   Vol_ust = (double)sure_ust * 0.034;
403   ustMesafe = Vol_ust / 2;
404   /* Serial.print("ust mesafe sensör ile karsisindaki yuzey arasindaki mesafe :");
405   Serial.print(ustMesafe);
406   Serial.println("cm.\n");*/
407   delay(50);
408 }
409
410 void SaatYonu(int adimSayisi) { // üstte bulunan step motoru saat yönünde döndürdüğümüz fonksiyon
411   for (int i = 0; i < adimSayisi; i++) {
412     digitalWrite(IN4, HIGH);
413     delayMicroseconds(sure);
414     digitalWrite(IN4, LOW);
415     digitalWrite(IN3, HIGH);
416     delayMicroseconds(sure);
417     digitalWrite(IN3, LOW);
418     digitalWrite(IN2, HIGH);
419     delayMicroseconds(sure);
420     digitalWrite(IN2, LOW);
421     digitalWrite(IN1, HIGH);
422     delayMicroseconds(sure);
423     digitalWrite(IN1, LOW);
424     if(i==0||i==134){
425       onmesafe();
426       sagmesafe();
427       solmesafe();
428       ustmesafe();
429       Serial.println("ölçüm yapıldı");
430       delay(10);
431     }
432   }
433 }
434 }
435
436 void SaatTersYonu(int adimSayisi) { // üstte bulunan step motoru saat yönünün tersinde döndürdüğümüz fonksiyon
437   for (int i = 0; i < adimSayisi; i++) {
438     digitalWrite(IN1, HIGH);
439     delayMicroseconds(sure);
440     digitalWrite(IN1, LOW);
441     digitalWrite(IN2, HIGH);
442     delayMicroseconds(sure);
443     digitalWrite(IN2, LOW);
444     digitalWrite(IN3, HIGH);
445     delayMicroseconds(sure);
446     digitalWrite(IN3, LOW);
447     digitalWrite(IN4, HIGH);
448     delayMicroseconds(sure);
449     digitalWrite(IN4, LOW);
450     if(i==0||i==134){
451       onmesafe();
452       sagmesafe();
453       solmesafe();
454       ustmesafe();
455       Serial.println("ters yön ölçüm yapıldı");
456       delay(10);
457     }
458     if(i==134) Serial.println("Kalibrasyon");
459   }
460 }
461 }
462 }
463
464 void hareket_plan(){ //aracın nasıl hareket edeceğini planladığımız kısım
465
466   if(onMesafe<=30) {
467     //geri();
468     Serial.println("Şeritte engel yada yabancı madde !"); // şerit üzerinde bir problem var
469     dur();
470   }
471 }
472
473

```

```

474     else {
475         ilerleme();
476         delay(10);
477     }
478 }
479 }
480
481 void servo_plan(){//servo motorun nasıl hareket edeceğini planladığımız kısımdır, engel, yabancı madde bu kısımda tespit edilir ve konumlarının
482 çıktısı burada verilir.
483
484     if (onMesafe<=30) {//8cm fark
485         ustmesafe();
486         ilerleme();
487         MesafeFark=(ustMesafe-onMesafe-8);
488         int hafiza = abs(MesafeFark);
489
490         Serial.print("Önde mesafe farkı: ");
491         Serial.println(hafiza);
492         if(hafiza<8){
493             Serial.println("****ENGEL ALGILANDI****");
494             delay(2000);
495         }
496         else{
497             Serial.println("****YABANCI MADDE ALGILANDI****");
498
499             delay(2000);
500         }
501     }
502 }
503
504
505
506     if (sagMesafe<=30){//6cm fark
507         SaatYonu(135);
508         //buraya step motora bağlı sensörün verisini okutacaksınız
509
510         ustmesafe();
511         ilerleme();
512         MesafeFark=(ustMesafe-sagMesafe-6);
513         int hafiza = abs(MesafeFark);
514
515         Serial.print("Sağda mesafe farkı: ");
516         Serial.println(hafiza);
517         if(hafiza<8){
518
519             x_haf=x;
520             y_haf=y;
521
522             Serial.println("****ENGEL ALGILANDI****");
523             Serial.println("****ENGEL KONUMU****");
524             Serial.print("x = ");
525             Serial.println(x_haf-10);
526             Serial.print("y = ");
527             Serial.println(y_haf+sagMesafe);
528
529
530             delay(2000);
531
532         }
533         else{
534             x_haf=x;
535             y_haf=y;
536
537             Serial.println("****YABANCI MADDE ALGILANDI****");
538             Serial.println("****YABANCI MADDE KONUMU****");
539             Serial.print("x = ");
540             Serial.println(x_haf-10);
541             Serial.print("y = ");
542             Serial.println(y_haf+sagMesafe);
543
544             delay(2000);
545
546         }
547     }
548
549     SaatTersYonu(135);
550 }
551
552
553     if (solMesafe<=30){
554         SaatTersYonu(135);
555         ustmesafe();
556         ilerleme();
557         MesafeFark=(ustMesafe-solMesafe-6);
558         int hafiza = abs(MesafeFark);
559
560         Serial.print("Solda mesafe farkı: ");
561         Serial.println(hafiza);
562         if(hafiza<8){
563             x_haf=x;
564             y_haf=y;
565
566             Serial.println("****ENGEL ALGILANDI****");
567             Serial.println("****ENGEL KONUMU****");
568             Serial.print("x = ");
569             Serial.println(x_haf-10);
570             Serial.print("y = ");
571             Serial.println(y_haf-solMesafe);
572

```



```

573         delay(2000);
574     }
575     else{
576     |
577         x_haf=x;
578         y_haf=y;
579         Serial.println("****YABANCI MADDE ALGILANDI****");
580         Serial.println("****YABANCI MADDE KONUMU****");
581         Serial.print("x = ");
582         Serial.println(x_haf-10);
583         Serial.print("y = ");
584         Serial.println(y_haf-solMesafe);
585     |
586         delay(2000);
587     }
588
589
590
591     Serial.print("ilerleme sayısı : ");
592     Serial.println(ilerlemesay);
593     Serial.print("X koordinatı : ");
594     Serial.println(x);
595     Serial.print("Y koordinatı : ");
596     Serial.println(y);
597     delay(100);
598
599     SaatYonu(135);
600 }
601
602 }
603
604 void ilerleme(){//x ve y koordinatını hesaplar, aracın savrulmasını engellemek için bu kısım planlanmıştır.
605     kalkis();
606     ileri();
607     yavaslama();
608     dur();
609
610     |
611     |
612     |
613     |
614     |
615     |
616     |
617     |
618     |
619     |
620     |
621     |
622     |
623     |
624     |
625     |
626     |
627     |
628     |
629     |
630     |
631     |
632     |
633     |
634     |
635     |
636     |
637     |
638     |
639     |
640     |
641     |
642     |
643     |
644     |
645     |
646     |
647     |
648     |
649     |
650     |
651     |
652     |
653     |
654     |
655     |
656     |
657     |
658     |
659     |
660     |
661     |
662     |
663     |
664     |
665     |
666     |
667     |
668     |
669     |
670     |
671     |
672     |
673     |
674     |
675     |
676     |
677     |
678     |
679     |
680     |
681     |
682     |
683     |
684     |
685     |
686     |
687     |
688     |
689     |
690     |
691     |
692     |
693     |
694     |
695     |
696     |
697     |
698     |
699     |
700     |
701     |
702     |
703     |
704     |
705     |
706     |
707     |
708     |
709     |
710     |
711     |
712     |
713     |
714     |
715     |
716     |
717     |
718     |
719     |
720     |
721     |
722     |
723     |
724     |
725     |
726     |
727     |
728     |
729     |
730     |
731     |
732     |
733     |
734     |
735     |
736     |
737     |
738     |
739     |
740     |
741     |
742     |
743     |
744     |
745     |
746     |
747     |
748     |
749     |
750     |
751     |
752     |
753     |
754     |
755     |
756     |
757     |
758     |
759     |
760     |
761     |
762     |
763     |
764     |
765     |
766     |
767     |
768     |
769     |
770     |
771     |
772     |
773     |
774     |
775     |
776     |
777     |
778     |
779     |
780     |
781     |
782     |
783     |
784     |
785     |
786     |
787     |
788     |
789     |
790     |
791     |
792     |
793     |
794     |
795     |
796     |
797     |
798     |
799     |
800     |
801     |
802     |
803     |
804     |
805     |
806     |
807     |
808     |
809     |
810     |
811     |
812     |
813     |
814     |
815     |
816     |
817     |
818     |
819     |
820     |
821     |
822     |
823     |
824     |
825     |
826     |
827     |
828     |
829     |
830     |
831     |
832     |
833     |
834     |
835     |
836     |
837     |
838     |
839     |
840     |
841     |
842     |
843     |
844     |
845     |
846     |
847     |
848     |
849     |
850     |
851     |
852     |
853     |
854     |
855     |
856     |
857     |
858     |
859     |
860     |
861     |
862     |
863     |
864     |
865     |
866     |
867     |
868     |
869     |
870     |
871     |
872     |
873     |
874     |
875     |
876     |
877     |
878     |
879     |
880     |
881     |
882     |
883     |
884     |
885     |
886     |
887     |
888     |
889     |
890     |
891     |
892     |
893     |
894     |
895     |
896     |
897     |
898     |
899     |
900     |
901     |
902     |
903     |
904     |
905     |
906     |
907     |
908     |
909     |
910     |
911     |
912     |
913     |
914     |
915     |
916     |
917     |
918     |
919     |
920     |
921     |
922     |
923     |
924     |
925     |
926     |
927     |
928     |
929     |
930     |
931     |
932     |
933     |
934     |
935     |
936     |
937     |
938     |
939     |
940     |
941     |
942     |
943     |
944     |
945     |
946     |
947     |
948     |
949     |
950     |
951     |
952     |
953     |
954     |
955     |
956     |
957     |
958     |
959     |
960     |
961     |
962     |
963     |
964     |
965     |
966     |
967     |
968     |
969     |
970     |
971     |
972     |
973     |
974     |
975     |
976     |
977     |
978     |
979     |
980     |
981     |
982     |
983     |
984     |
985     |
986     |
987     |
988     |
989     |
990     |
991     |
992     |
993     |
994     |
995     |
996     |
997     |
998     |
999     |
1000    |

```