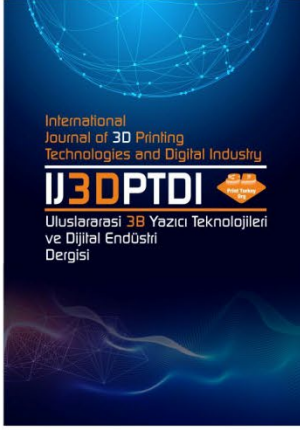




ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

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

ROBOTİK KOL ENTEGRELİ MOBİL ARAMA VE KURTARMA ROBOTUNUN TASARIMI VE UYGULAMASI

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MOBILE SEARCH AND RESCUE ROBOT INTEGRATED WITH A ROBOTIC ARM

Yazarlar (Authors): Cemal Beik , Merdan Özkahraman 

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Beik C., Özkahraman M., “Robotik Kol Entegreli Mobil Arama ve Kurtarma Robotunun Tasarımı ve Uygulaması” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 9(1): 129-141, (2025).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1595180

Araştırma Makale/ Research Article

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

ROBOTİK KOL ENTEGRELİ MOBİL ARAMA VE KURTARMA ROBOTUNUN TASARIMI VE UYGULAMASI

Cemal Beik^a  Merdan Özkahraman^a 

^aIsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü,
TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: cemalbeik@gmail.com

(Geliş/Received: 02.12.24; Düzeltme/Revised: 27.01.25; Kabul/Accepted: 27.02.25)

ÖZ

Son yıllarda yaşanan doğal afetler, arama ve kurtarma operasyonlarının hızını ve etkinliğini artıracak teknolojik çözümlere duyulan ihtiyacı ortaya koymuştur. Bu çalışmada, doğal afetler sırasında kullanılmak üzere robotik kol entegreli mobil bir arama ve kurtarma robotu tasarımı ve gerçekleştirilmesi ele alınmaktadır. Robot, dar alanlarda manevra yapabilme ve enkaz altındaki hayatta kalanlara temel ihtiyaç malzemelerini ulaştırabilme kapasitesine sahiptir. Robotun termal kameralar, ses sensörleri gibi ileri teknolojilerle donatılması ve insan kurtarma ekipleri ile etkili bir şekilde iletişim kurabilmesi, kurtarma operasyonlarının verimliliğini artırmaktadır. Robotun kabiliyetleri, zamanın kritik olduğu acil durumlarda hızlı müdahale imkânı sunarak hayatta kalanların bulunmasını ve kurtarılmasını hızlandırmaktadır. Ayrıca, robotun riskli bölgelere insanların girmesine gerek kalmadan müdahale edebilme yeteneği, kurtarma ekiplerinin güvenliğini artırmaktadır. Robotun tasarımı ve gerçekleştirilmesi sürecinde kullanılan ileri teknolojiler ve mühendislik çözümleri, bu tür robotların gelecekteki arama ve kurtarma operasyonlarında yaygın olarak kullanılmasını sağlayabilir. Bu çalışma, ülkenin afetlerle başa çıkma yeteneğini artırmak için teknolojik yenilik ve istihdam fırsatları sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mobil Robot, Robotik, Robotik Kol, Arama ve Kurtarma Teknolojileri.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MOBILE SEARCH AND RESCUE ROBOT INTEGRATED WITH A ROBOTIC ARM

ABSTRACT

Recent natural disasters have highlighted the need for technological solutions that enhance the speed and efficiency of search and rescue operations. This study focuses on the design and implementation of a mobile search and rescue robot integrated with a robotic arm, intended for use during natural disasters. The robot is capable of maneuvering in confined spaces and delivering essential supplies to survivors trapped under debris. Equipped with advanced technologies such as thermal cameras and sound sensors, the robot can effectively communicate with human rescue teams, thereby improving the efficiency of rescue operations. The robot's capabilities allow for rapid response in critical emergency situations, expediting the location and rescue of survivors. Furthermore, the robot's ability to operate in hazardous areas without requiring human entry enhances the safety of rescue teams. The advanced technologies and engineering solutions employed in the design and implementation of this robot could facilitate its widespread use in future search and rescue operations. This study offers technological innovation and employment opportunities to enhance the country's disaster response capabilities.

Keywords: Mobile Robot, Robotics, Robotic Arm, Search and Rescue Technologies.

1. GİRİŞ

Afetlerde artan ölümlerin başlıca nedenleri arasında zamanında ilk yardımın yapılamaması, duruma hemen müdahale edilememesi veya afet mağdurunun yerinin tespit edilememesi bulunmaktadır. Ne yazık ki, afet mağdurunun hayatta kalma şansı dakikalarla ölçülmektedir. Türkiye, Kuzey Anadolu Fay Hattı olarak bilinen dünyanın en aktif fay hatlarından birinin üzerinde yer almaktadır. Ayrıca, Türkiye sismik aktivite bakımından dünyada üçüncü sıradadır. Her gün yaklaşık 2.0 büyüklüğünde 10 deprem kaydedilmektedir. Kuzey Anadolu Fay Hattı, 1939'dan bu yana 7 büyük deprem üretmiştir. Uzmanlara göre, İstanbul'da önümüzdeki 20-25 yıl içinde 7.0 büyüklüğünde yıkıcı bir deprem beklenmektedir [1-3]. Nitelsiz yapıların fazlalığı ve arama-kurtarma çalışmalarındaki yetersizlikler, afetten etkilenen insan sayısını artırmaktadır. Geçmiş yıllarda, arama-kurtarma operasyonları insan ve hayvan gücüyle gerçekleştirildiğinden dramatik sonuçlar doğurmuştur. Günümüzde bu tür operasyonlarda modern yaklaşımlar, karmaşık makineler ve özel kurtarma ekipmanlarının kullanımını önermektedir. Ancak, bu tür gelişmiş cihazlar bile mağdurların yerini tespit edemeyebilir; bu durum kurtarma çalışmalarının yavaşlamasına ve dramatik sonuçlara yol açabilir. Bunun başlıca nedenleri arasında, mağdurun enkaz altındaki yerinin tespit edilmesindeki zorluklar, inşaat ekipmanlarının yavaş hareket kapasitesi, kurtarma ekipmanlarının sınırları ve eğitimli personel ihtiyacı bulunmaktadır [4,6].

Son yıllarda, farklı boyutlarda ve kapasitelerde arama kurtarma amaçlı mobil robotlar tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu sayede afetzedelerin tespit edilmeleri ve arama kurtarma personeli için potansiyel tehlikelerin belirlenmesi mümkün olmuştur [7]. Arama ve kurtarma için kullanılan mobil robotların genel amacı, acil durumlar ve afetler gibi riskli veya tehlikeli koşullarda insan hayatını kurtarmak ve yardımcı olmaktır. Bu robotlar genellikle yangınlar, depremler, patlamalar veya doğal afetler gibi durumlarla ilişkilendirilen yıkıcı olaylara müdahale etmek için kullanılmaktadır [10]. Bu çalışma, acil durum koşullarında daha etkin arama-kurtarma operasyonları gerçekleştirmek amacıyla "Kurtarma operasyonlarında kullanılmak üzere robotik kol entegreli mobil arama robotu geliştirilmesi" konseptine odaklanmıştır. Geliştirilen model,

güncel teknolojik gerekliliklerden faydalanarak hareket kabiliyetini ve esnekliği en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir. Robot tasarımında kullanılan robotik kol, dar ve zorlu alanlarda manevra yapabilme yeteneğine sahip olup, kurtarma operasyonlarını daha etkili hale getirmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, mobil robotun haberleşme sistemi, enkaz altında mahsur kalan kişileri tespit etme ve yerlerini doğru bir şekilde belirleme konusunda fayda sağlaması beklenmektedir. Bu sayede, gelecekteki acil durum senaryolarında daha hızlı ve güvenilir müdahalelerin gerçekleştirilmesine katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Afet durumlarında, mobil robotlar insan kurtarma ekiplerine kritik destek sağlayarak, bu tür zorlu görevlerde önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır. Literatürde, mobil robotların bağımsız bir şekilde çalışarak kurtarma ekiplerine işlevsel ve hayati bilgiler sağladığı vurgulanmaktadır. Ancak, bu verilerin doğruluğunu değerlendirmek ve operasyonel sonuçları güvence altına almak için insan gözetiminin gerekliliği sıklıkla ifade edilmiştir. Özellikle küçük boyutlu ve yüksek hareket kabiliyetine sahip mobil robotların, literatürde kurtarma operasyonları için sağladığı avantajlara dikkat çekilmektedir. Bu robotların, ekipmanların ve arama köpeklerinin erişemediği dar alanlara ve enkaz yığınlarındaki yaşam üçgenlerine ulaşabilme yeteneği, kurtarma süreçlerinde önemli bir fark yaratmaktadır. Ayrıca, çökmüş binaların dengesiz ve dinamik yapılar sergilediği, artçı sarsıntılarla tetiklenebilecek ek çöktüşlerin kurtarma ekipleri için ciddi bir tehlike oluşturduğu vurgulanmaktadır. Mobil robotlar, bu tür tehlikeli bölgelerde güvenli bir mesafeden veri toplanmasını sağlayarak, ekip üyelerinin güvenliğini artırmaktadır.

Bu çalışmada, özellikle deprem operasyonları için tasarlanan mobil kurtarma robotlarının geliştirilmesi üzerine odaklanılmıştır. Literatür, afet sonrası insanlara yardım etme amacıyla geliştirilen kurtarma robotlarının mekanik tasarımında, hareket kabiliyeti ve güvenlik unsurlarının kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, acil durum müdahale ekiplerinin hayat kurtarma misyonlarını desteklemek üzere robotik çözümlerin tasarlanması ve uygulanması

gerektiği literatür kapsamında sıkça dile getirilmektedir.

2.1. Arama ve Kurtarma Mobil Robotunun Temel Hedefleri

İnsan Hayatını Kurtarmak: Arama ve kurtarma robotları, acil durum bölgelerine hızlı bir şekilde ulaşabilir ve mahsur kalmış veya tehlikede olan insanları tespit edebilir. Bu robotlar, insanları kurtarmak için gereken hızlı ve etkili müdahaleyi sağlayabilir [12].

Bilgi Toplamak: Robotlar, afet bölgelerindeki durumu izlemek, hasar tespiti yapmak ve verileri toplamak için kullanılabilir. Bu veriler, kurtarma ekiplerine yardımcı olmak ve afet sonrası çalışmaları planlamak için kullanılabilir [11].

Çevre Tespiti ve Analizi: Arama ve kurtarma robotları, tehlikeli kimyasalların sızıntılarını veya zararlı gazları tespit etmek için kullanılabilir. Ayrıca, hasarlı yapıların stabilitesini değerlendirebilir ve kurtarma ekiplerine güvenli bölgeler hakkında bilgi sağlayabilir [14, 15].

İletişim Sağlamak: Afet bölgelerinde iletişim altyapısının hasar görmesi durumunda, arama ve kurtarma robotları iletişim kanallarını kurabilir veya sağlamlaştırabilir. Bu sayede, mahsur kalmış insanlarla iletişim kurulabilir ve acil yardım talepleri yönlendirilebilir [16,18].

Lojistik ve Malzeme Taşıma: Arama ve kurtarma robotları, enkaz altında mahsur kalanlara acil tıbbi malzemeler, su, yiyecek ve diğer önemli kaynakları taşıyarak kurtarma ekiplerinin işini kolaylaştırabilir [19, 20].

2.2. Mevcut Arama Kurtarma Robotları

Günümüzde standart bir arama ve kurtarma ekibi yaklaşık on kişiden oluşmaktadır. Her ekipte köpekler, bir sağlık görevlisi, bir mühendis ve çeşitli uzmanlar bulunmakta olup, mağdurları bulmak ve kurtarmak için özel ekipmanlar kullanılmaktadırlar. Mevcut ekipmanlar arasında kameralar ve çeşitli dinleme cihazları yer almaktadır. Genellikle video kameralar, mağdurların izlerini aramak için cihazların üzerine monte edilen ve boşluklara ve deliklere yerleştirilebilen arama kameraları olarak kullanılmaktadır. Diğer tarafta boş bir alanın varlığı şüphesi varsa, genellikle engelleyici duvarlara delik açılır.

Hareket eden veya kurtarıcılara tepki vermeye çalışan bir kişiyi dinlemek için oldukça hassas mikrofonlar ve dinleme cihazları da kullanılır. Bir binayı aramak için yapılan toplam arama faaliyetleri saatler sürebilir. Eğer bir kişi bulunursa, tüm kurtarma operasyonları daha da uzun sürebilir. Kurtarma operasyonlarındaki ilk ve en önemli görevler, durumu değerlendirmek, mağdurların koordinatlarını belirlemek ve onlarla ilk teması kurmaktır. Bunu yapmak, insan kurtarıcılar için hem çok zor hem de çok risklidir. Çökmüş yapılar dirençsizdir, delikler ve boşluklar insan geçişi için çok dar olabilir, enkazda yön bulmak zordur ve yangın ile duman görüşü engelleyebilir. Kurtarma ekiplerinin görevlerini yerine getirdiği tehlikeli ortamlardan dolayı, ikincil afetlerden yaralanmalar yaşayabilirler. Bu nedenle, afetin tehlikeli ortamında insan hayatını kurtaran kurtarma makineleri veya robotlarının geliştirilmesi ve itfaiye istasyonları, polis karakolları, tren istasyonları ve belediye binaları gibi yerlere temin edilmesi gerekmektedir [22, 23].

Özellikle kurtarma robot türleri, RoboCup Kurtarma yarışmalarında görülmektedir. Yaklaşık yarısı tekerlekli araçlar, diğer yarısı ise paletli araçlar olmuştur [28, 29]. Bir dizi sensör kullanılmıştır, örneğin sonar, video kameralar, mesafe ölçerler, tamponlar ve mikrofonlar. Boyutlar 100 mm kareden 500 mm kareye kadar değişmektedir. Bu robotların çoğu kablosuz bağlantılar üzerinden uzaktan kumanda edilmektedir, yani çok az otonomileri vardır. Tanım gereği, bir afet durumundaki koşullar tam olarak tahmin edilemez veya kontrol edilemez. Kurtarma robotlarının tasarımında çeşitli modeller ve uygulamalar test edilmiştir. Bu robotların performansını ve etkinliğini artırmak için araştırmacılar doğadan ilham almışlardır. Kurtarma robotları kategorize edildiğinde, robotların hareket sistemi genellikle ya paletli araçlar ya da yılan tipi robotlar olarak görülmektedir. Şekillerini değiştirebilirlerse, dar alanlarda tırmanma ve manevra yapmalarına yardımcı olacağı da önerilmiştir. Tekerlekli bir robotun kurtarma operasyonlarında kolayca kullanılamamasının nedeni, bir tekerleğin çapından daha büyük bir engelin üzerinden geçememesi nedeniyle engelleri aşma kabiliyetinin daha az olmasıdır. Yılan tipi robotun mekanik tasarım avantajı, genişlik ve yükseklik açısından küçük olabilmesi, bu da robotun paletli bir araca

kıyasla enkazın içine daha kolay nüfuz etmesini sağlamaktadır. Ancak; yılan tipi robotlar daha zor kontrol edilir ve yük taşıma kapasitesi paletli bir robota göre daha düşüktür [25, 26].

2.2.1. Tekerlekli robotlar

Robotların, normal ofis ortamlarında ihtiyaç duyulan özelliklerin ötesine geçebilen, sağlam bir yapıya ve yeterli hareket kabiliyetine sahip olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca, bu robotların alandaki çözülmemiş bilimsel soruların incelenmesine olanak tanıyacak bir esnekliğe sahip olmaları önemlidir. Japonya'nın Fukuoka şehrinde düzenlenen 2002 RoboCup Kurtarma yarışmasına katılan prototip robotlarla elde edilen deneyimler temel alınarak yeni bir robot türü geliştirilmiştir. Bu robot, mekanik sistemlerden sensörlere ve aktüatörlere kadar tamamen iç tasarım odaklı olarak oluşturulmuştur. Böyle bir tasarım, kurtarma operasyonlarına özgü görevlerin optimize edilmesine olanak sağlamıştır. Geliştirilen robotlar, CubeSystem temelinde yapılandırılmış olup, ultrasonik sonar, aktif kızılötesi sensörler, USB kameralar, motor kontrol birimleri, hareket kontrol mekanizmaları ve odometri gibi zengin bir donanım ve yazılım modülleri setine sahiptir [27]. Robotların yarı otonom bir yapıya sahip olduğu ve teleoperasyona izin vermekle birlikte oldukça bağımsız işlevsellik sunduğu belirlenmiştir. Geliştirilen bu sistem, insan tarafından okunabilir haritalar oluşturabilme özelliğiyle dikkat çekmiştir. Bu haritalar, doğrudan kurtarma ekiplerine iletilerek mağdurların hızlı bir şekilde tespit edilmesine katkıda bulunmuştur. Robot, bu özelliğiyle kurtarma operasyonları için benzersiz bir çözüm sunmaktadır. Bu kapsamda, AMBOT firmasının geliştirdiği IP tekerlekli robot sistemi, özellikle hareket kabiliyeti ve esnekliğiyle dikkat çekmektedir (Şekil 1). AMBOT'un geliştirdiği bu sistem, robotların dar alanlarda manevra yapmasını ve karmaşık yüzeylerde etkin bir şekilde hareket etmesini mümkün kılarak, kurtarma operasyonlarında kullanılabilecek etkili bir çözüm sunmaktadır [28].

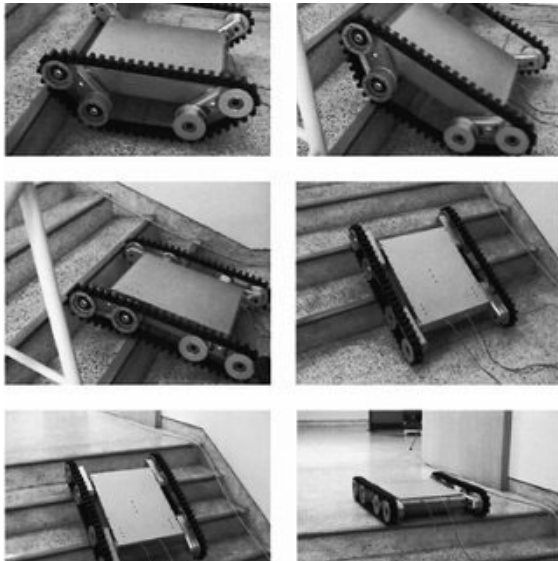


Şekil 1. Tekerlekli mobil robot [28].

2.2.2. Paletli Robotlar

Paletli robotların, tekerlekli robotlar ile böcek veya ayak tipi robotlara kıyasla daha üstün arazi performansı sunduğu bilinmektedir. Düzensiz arazilerdeki hareket kabiliyetini artırmak amacıyla çeşitli paletli robot tasarımları geliştirilmiştir. Genel bir mühendislik bakış açısıyla, bir robotun sahip olduğu mekanik parçaların ve serbestlik derecelerinin azalması, mekanik arızaların meydana gelme olasılığını da azaltmaktadır. Bu nedenle, mekanik tasarımların mümkün olduğunca basit ve işlevsel bir yapıda olması hedeflenmektedir [29]. Robot, önde, ortada ve arkada olmak üzere üç ana gövdeden oluşmakta ve bu gövdeler, merkez gövdenin pitch ve yaw eksenleri etrafında simetrik olarak hareket eden özel bir iki boyutlu eklem mekanizması ile bağlanmaktadır. Bu mekanizma, robotun esnekliğini artırırken, aynı zamanda mekanik karmaşıklığı sınırlamaktadır. Robotun palet sistemi, altı segmentin tamamını tek bir elektrik motoru ile hareket ettirecek şekilde tasarlanmıştır. Böylelikle, toplamda yalnızca üç serbestlik derecesi kullanılarak hem hareket kabiliyeti sağlanmış hem de sistemin güvenilirliği artırılmıştır. Bu tasarım, basit ama etkili bir yapı sunarak, çeşitli felaket sahnelerinde kurtarma operasyonları için uygun bir çözüm haline gelmiştir. Ayrıca, robotun ön kısmına yerleştirilen CCD kamera ve mikrofona, enkaz altında kalan kurbanların tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Bu özellikleriyle, robot, kurtarma operasyonlarında hem güvenli hem de verimli bir araç olarak kullanılmaya uygun hale getirilmiştir. Literatürde, bu tür robotların felaket senaryolarında hızlı ve güvenilir veri toplama kabiliyeti sayesinde, kurtarma ekiplerinin iş yükünü azalttığı ve operasyon güvenliğini artırdığı belirtilmektedir [11].

Paletli robotlar genellikle tekerlekli robotlardan, böcek veya ayak tipi robotlardan daha iyi off-road yeteneğine sahiptir. Düzensiz arazide performansı artırmak için birçok paletli araç tasarlanmıştır. Genel bir makine mühendisliği bakış açısından, bir robotun sahip olduğu mekanik parçalar ve serbestlik dereceleri ne kadar az ise, mekanik arızaların olasılıkları o kadar azdır. Yılan benzeri robotların mekanik tasarımını optimize etmek için paletli bir tür eklemlenmiş gövdeli hareketli bir araç geliştirildi. Sınırlı sayıda serbestlik derecesi ile tasarlanmış olmasına rağmen, yine de yılan robotlara özgü iyi hareket kabiliyeti özellikleri sunmaktadır. Bu robot, önde, ortada ve arkada olmak üzere üç gövdeden oluşur; bu gövdeler, merkez gövdenin pitch ve yaw ekseninde simetrik olarak ön ve arka gövdelerin duruşunu değiştiren özel 2 boyutlu eklem mekanizmalarıyla birbirine bağlıdır. Ayrıca, tüm 6 palet segmenti tek bir elektrik motoru ile hareket ettirilir, böylece robotun tamamı için sadece 3 serbestlik derecesi toplamda bulunur. Bu robot, en önde bir CCD kamerası ve bir mikrofon içerir ve bir felaket sahnesinin enkazı altında gömülü kurbanları bulmak için uygundur [11]. Jeong ve arkadaşları (2008), değişken tek paletli bir robotun engel aşma sırasında sürüş modu karar mekanizmasını detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Bu çalışmada, robotun hareket kabiliyeti, arazi koşullarına adaptasyonu ve engel aşma performansı görselleştirilmiş ve optimize edilmiştir. Şekil 2’de tasarlanmış olan paletli robot kol görselleri yer almaktadır.



Şekil 2. Paletli mobil robot.[38]

2.2.3. Yılan Benzeri Robotlar

Yılan benzeri robotların tasarımı, sahip oldukları yüksek serbestlik derecesi ve karmaşık hareket planlaması nedeniyle oldukça zorlu bir süreçtir. Literatürde, bu tür robotların çeşitli yenilikçi türlerinin geliştirilmiş olduğu belirtilmektedir. Ancak, elde edilen başarılı performansla rağmen, bu robotlar için enerji kaynağı hala büyük bir endişe konusudur. Arama ve kurtarma robotlarının saatlerce, hatta günlerce kesintisiz çalışabilmesi gerekmektedir. Robotların sadece enerji ihtiyacını karşılamak için operasyon alanını terk etmesi kabul edilemez bir durumdur. Bu tür bir senaryoda, robotun geri döneceği varsayımında bulunmak da gerçekçi bir yaklaşım olarak görülmemektedir [30, 31]. Kentsel arama ve kurtarma, tehlikeli ortamlarda endüstriyel denetimler ve askeri istihbarat gibi çeşitli alanlarda, çökmüş bina enkazı üzerinde hareket edebilen, dar alanlardan geçebilen ve düşman sığınaklarına girerek istihbarat toplayabilen küçük boyutlu mobil robotlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür yüksek hareket kabiliyetine sahip robotların başlıca örneklerinden biri yılan robotlarıdır. Yılan robotları, eklemlerinin dalga benzeri hareketlerinden itiş gücü elde eden çok segmentli mekanizmalardır ve bu özellikleriyle tekerlek, bacak veya palet kullanmaksızın hareket edebilirler [32]. Yılan robotlar, karmaşık bir yapıya sahip olmalarına rağmen, ince ve uzun tasarımları sayesinde dar alanlara erişebilir ve küçük çatlaklarda etkili bir şekilde hareket edebilirler. Bu tür robotlar, hareket sırasında gövdelerini bacak gibi kullanabilirken, geçiş yaparken kollar gibi işlev görebilir. Ancak, enerji kaynağı, hız ve elektronik bileşenler için yeterli alan sağlama gibi dezavantajları bulunmaktadır. Batarya kapasitesinin yüksek olması, mekanik bağlamaların çalıştırılması için kritik öneme sahiptir; ancak bu durum, robotun toplam ağırlığında artışa neden olabilir. Genellikle üç veya daha fazla sert segmentten oluşan yılan benzeri robotlar, 2 veya 3 serbestlik derecesine sahip eklemlerle birbirine bağlanmaktadır. Segmentler, güçlendirilmiş tekerlekler, paletler veya bacaklarla itiş sağlarken, eklemler hareket kabiliyeti için güçlendirilmiş olabilir. Örneğin, OmniTread tasarımında (Şekil 3), her biri dört tarafında iki uzunlamasına palet bulunan dört segment yer almaktadır ve bu sayede toplam sekiz palet kullanılmaktadır. Segmentler arasındaki iki serbestlik derecesine sahip

eklemler, pnömatik silindirlerle hareket ettirilmektedir.



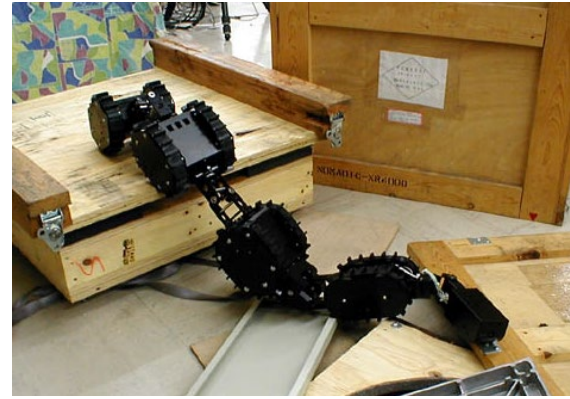
Şekil 3. OmniTread serpentine robot. [37]

Yılan benzeri robotların farklı bir tasarım yaklaşımı, "Spirochete" adlı burulma hareketi yapan mikroorganizmanın hareketini temel alan bir 3D aktif kordon mekanizmasıdır. Bu tasarım, amfibik robotların su ve karada etkili bir şekilde hareket edebilmesini sağlamaktadır. Böyle bir tasarım, özellikle kıyı alanlarında gerçekleştirilen arama ve kurtarma operasyonları için son derece faydalı olma potansiyeline sahiptir.

Mekanik yılanların tasarımı zordur çünkü çok sayıda serbestlik derecesi ve hareket planlamasındaki karmaşıklıklar vardır. Buna rağmen, yazarlar benzersiz özelliklere sahip birçok yeni tür yılan benzeri robotlar geliştirmiştir. Ancak, mobil robotlarımız tarafından elde edilen iyi performansa rağmen, hala büyük bir endişe konusu bulunmaktadır: enerji kaynağı. Arama ve kurtarma robotları, saatlerce, hatta günlerce kesintisiz çalışmalıdır ve bir robotun sadece şarj etmek veya pilleri değiştirmek için yüzeye dönmesine tahammül edilemez. Gerçekçi olmak gerekirse, robotun geri dönmeyi başaracağını beklemek mümkün değildir.

Kentsel arama ve kurtarma, tehlikeli ortamlarda endüstriyel denetimler ve askeri istihbaratın ortak bir ihtiyacı vardır: çökmüş bir binanın enkazı üzerinde hareket edebilen, dar sürünme alanlarından geçebilen ve istihbarat toplamak için düşman sığınaklarına girebilen küçük boyutlu mobil robotlar. Bu tür yüksek hareket kabiliyetini sağlayabilecek mobil robot türlerinden biri, yılan robotu veya yılan benzeri robottur. Bir "yılan robotu" veya yılan benzeri robot, dalgalanmalardan (sadece eklemlerin dalga benzeri hareketi) itiş gücü elde eden çok segmentli bir mekanizmadır, yani itiş için tekerlekler, bacaklar veya paletler kullanmaz.

Yılan robotlar ileri hareket yeteneklerine sahiptir. Hareket ederken vücutlarını bacak olarak veya geçiş yaparken kol olarak kullanabilirler. Uzun ve ince yapıları sayesinde dar yerlere girebilir ve küçük çatlakların içinde hareket edebilirler. Yılanların karmaşık bir tasarıma sahip olması gerekir çünkü birçok serbestlik derecesine ihtiyaç duyarlar. Bu tür robotların diğer dezavantajları enerji kaynağı, hız ve elektronik bileşenler, sensörler ve devreler için yeterli alanın olmamasıdır. Bataryanın kapasitesi yüksek olmalı çalışabilme kolaylığı sunarken robotun toplam ağırlığının azalmasına neden olmaktadır. Üç veya daha fazla sert segmentten oluşan yılan benzeri robotlar genellikle 2 veya 3 serbestlik derecesine sahip eklemlerle birbirine bağlanır. Segmentler genellikle güçlendirilmiş tekerlekler, paletler veya bacaklarla ileri doğru itiş sağlar, eklemler ise güçlendirilmiş veya güçlendirilmiş olabilir [32, 33]. Robot News platformunda sunulmuş olan yılan benzeri mobil robot görseli Şekil 4'te sunulmaktadır [34]. Bu robotun tasarımı, hareket kabiliyeti ve dar alanlarda çalışma kapasitesi ile özellikle arama ve kurtarma operasyonlarında etkili bir çözüm sunmaktadır.



Şekil 4. Yılan benzetimli mobil robot [34].

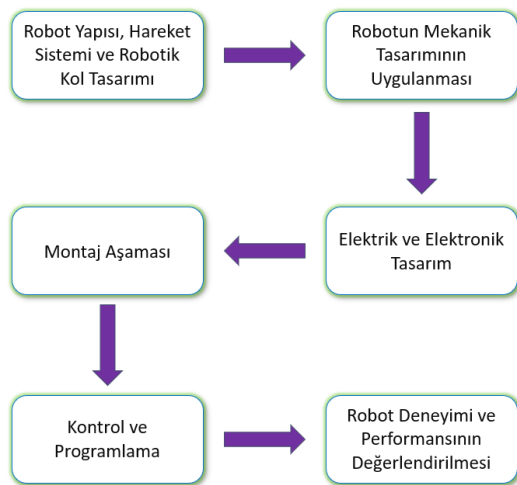
2.3. Robotların Sınırlamaları

Mobil robotların tasarımında görev süresi, kablosuz çalışma mesafesi, zorlu arazi koşullarına uyum ve düşme dayanıklılığı gibi temel sınırlamaların dikkate alınması gerekmektedir. Enkaza müdahale eden bir robotun, kurtarma operasyonlarında ek kısıtlamaları karşılaması beklenmektedir. Bu bağlamda, mobil robotların enkaz alanındaki dengesiz nesnelere zarar vermeyecek kadar küçük ve hafif bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, zorlu arazi koşullarında etkin bir şekilde hareket edebilen

mobil bir tabanın tasarlanması, kurtarma robotu geliştirilmesinde karşılaşılan en önemli zorluklardan biridir. Literatürde, Dünya Ticaret Merkezi'nde kullanılan mobil robotların çoğunlukla askeri uygulamalar için tasarlandığı, bu nedenle deprem bölgeleri gibi afet alanlarındaki kurtarma operasyonlarında sınırlı bir etkililik sergilediği belirtilmiştir [11]. Bu robotların gözetim amaçlı kullanımında başarı sağlanmış olsa da, kurtarma operasyonları için gereken özel gereksinimlere uygun olmadıkları ifade edilmektedir. Önceki çalışmalarda, kurtarma alanlarında mobil robotların karşılaştığı sorunlara değinilmiş olmasına rağmen, robot tasarım süreçleri detaylı bir şekilde ele alınmamıştır. Bu durum, kurtarma robotlarının tasarımında yenilikçi yaklaşımların gerekliliğini ve zorlu arazi şartlarına uygun hareket mekanizmalarının geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada geliştirilen robotik kol entegreli mobil arama-kurtarma robotunun tasarım ve uygulama süreci, sistematik bir yaklaşım benimsenerek gerçekleştirilmiştir. Tasarım süreci; mekanik yapı, elektrik-elektronik tasarım, montaj, kontrol ve programlama aşamalarını kapsamaktadır. Şekil 5'de, projenin adım adım gerçekleştirilme süreci ile bu aşamalar arasındaki ilişkiler görselleştirilmiştir. Tüm tasarım aşamaları, robotun işlevselliğini en üst düzeyde sağlayacak şekilde planlanmış ve uygulanmıştır.



Şekil 5. Arama kurtarma robotu üretim süreci ve yöntemlerinin ayrıntılı blok diyagramı.

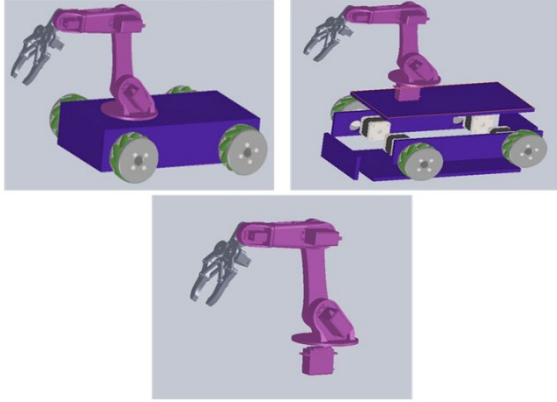
Bu çalışmada geliştirilen robotik kol entegreli mobil arama-kurtarma robotunun tasarımı ve

uygulanması, mevcut teknolojik çözümlerden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Robotun tasarımında How to Mechatronics web sitesinde yer alan açık kaynak kodlu bir robotik platformun temelleri kullanılmıştır. Bu açık kaynak tasarım, çalışmanın ihtiyaçlarına göre güncellenmiş ve özelleştirilmiştir. Robotun orijinal hali etik kurallar gözetilerek değiştirilmiş olup, robotun işlevselliği artırılmıştır. Bu kapsamda orijinal platformun sahip olduğu mekanik ve elektronik sistemler yeniden gözden geçirilmiş ve arama-kurtarma operasyonları için optimize edilmiştir.

3.1. Mekanik Tasarım

Robotun çeşitli parçalarının üretiminde 3 boyutlu baskı teknolojisi kullanıldı, ardından basılan 3 boyutlu model incelendi, kalitesi ve doğruluğu gözden geçirildi. Basılı modelden alınan geri bildirimlere dayalı olarak orijinal tasarımda iyileştirmeler ve değişiklikler yapıldı. Robotun kolu için dayanıklılığı ve hafifliği nedeniyle ABS plastik tercih edilmiştir. 3 boyutlu baskı ile üretilen bu parçalar, daha sonra birleştirilerek robotun kolu oluşturulmuştur. Tahtadan robot kutusu yapıldı. Tahta kutu ise, robotun elektronik bileşenlerini korumak için seçilmiştir. Tahta, hafif, kolay işlenebilir ve çevre dostu bir malzemedir. Robot kolu ve uç işlevcisi için ise, esneklik ve dayanıklılık gerektiğinden, 3 boyutlu baskı ile üretilen esnek bir filament tercih edilmiştir. Bu sayede robot, hem güçlü hem de hızlı hareket edebilme özelliğine sahip olmuştur. Mobil robot uzunluğu 34 cm, genişliği 28 cm, yüksekliği 52 cm olarak tasarlanmıştır. Prototip ağırlığı 5560 gr olarak bulunmuştur. Pil ömrü olarak 3 saatlik bir çalışma süresi hedeflenmektedir. Bu çalışma süresi robotun kullanım türüne ve hareket sıklığına göre değişmektedir.

Robotun mekanik yapısı, çeşitli afet senaryolarında kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Robot, dar alanlarda manevra yapabilmesi ve engebeli arazilerde etkili bir şekilde hareket edebilmesi için Mecanum tekerlek sistemi ile donatılmıştır. Robot kolunun tasarımı, enkaz altındaki objelere ulaşma ve onları manipüle edebilme kapasitesini artırmak için optimize edilmiştir. Kol sistemi, dar alanlarda hassas hareket yeteneği sunmak üzere 6 serbestlik derecesine (6-DOF) sahiptir ve bu sayede karmaşık manipülasyonlar gerçekleştirebilir.



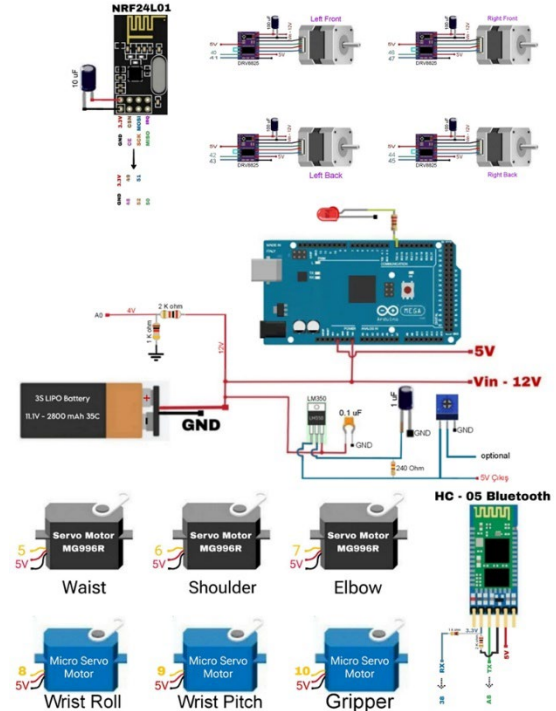
Şekil 6. Mobil robot simülasyon benzetimi.

Mobil robotun üzerinde konulandırılmış olan robotic kol; Temel (base), omuz, dirsek ve bilek olmak üzere dört döner eklemden oluşur. Temel, kolu z-ekseni etrafında döndürürken, diğer üç ekleme x-ekseni etrafında döner. Y-ekseni etrafında dönüş yoktur, bu da hareketleri sınırlasa da kinematik hesaplamaları kolaylaştırır. Her eklemden, bilek, dirsek ve omuz için ileri ve geri, temel için ise sağa ve sola dönüş sınırlamaları vardır. Kolun tutacağı, döner dişlilerle açılıp kapanır ancak prongları paralel kalır. Bu nedenle tutma hareketi bir ekleme olarak kabul edilmez. Sonuç olarak:

- Robot tutacağı katlanabilir.
- Kolun bileği 180° dönebilir.
- Kolun aparatı 180° hareket edebilir.
- Kolun zemin kısmı 180° dönebilir.
- Zemin eklemi aparatı, 180° ileri ve geri hareket edebilir.

3.2. Elektronik Tasarım

Robotun elektronik kısmında Arduino Mega mikrodenetleyicisi kullanılmış ve robotun motorları, sensörleri ve iletişim sistemi bu platform üzerinden kontrol edilmiştir. İletişim, Bluetooth 5.0 modülü kullanılarak uzaktan kumanda edilmiştir. Bu sayede operatör, robotu güvenli bir mesafeden yönetebilme olanağına sahip olmuştur. Arduino MEGA kullanılarak, tekerlekler için 4 adet Step Motor ve 4 DRV8825 sürücü, kol hareketi için 3 adet standart Servo motor ve uç işlevsellik için 3 adet Mini Servo motor tercih edilmiştir. Kablosuz iletişim için NRF24L01 modülü ve anten kullanılmıştır. Güç kaynağı olarak ise Li-Po 12V pil tercih edilmiştir. Bu bileşenlerin tümü, Şekil 7'de mobil robotun elektronik yapısının şematik gösterimiyle detaylandırılmıştır.



Şekil 7. Mobil robot elektronigi şematik gösterimi.

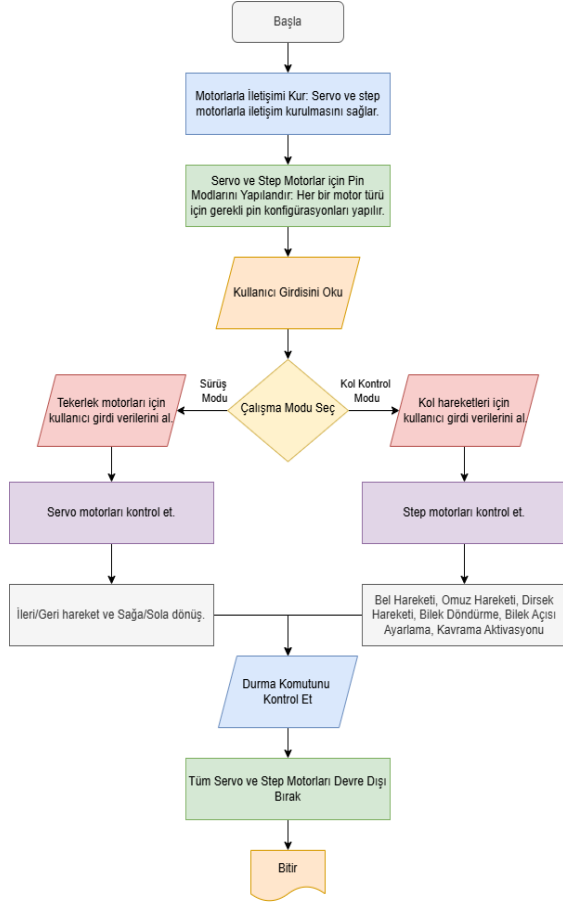
LiPo (Lithium Polymer) piller şarj edilebilir bir batarya türü olup, küçük boyutlarına rağmen yüksek enerji sağlayabilme kapasitesi sayesinde robotik uygulamalarda kullanılabilir. Bu projede, robotu verimli bir şekilde çalıştırmak için 2800mAh kapasiteye ve 11.1V gerilime sahip bir LiPo pil kullanılmıştır. Bu pil ile robotun yaklaşık 3 saat boyunca çalışması hedeflenmektedir.

Mobil robot üzerinde kullanılan HC-05 Bluetooth modülü Bluetooth 5.0 teknolojisini desteklemektedir. Yüksek hız, düşük güç tüketimi ve uzun menzil gibi avantajlara sahip olup, 2.4 GHz frekansında haberleşme sağlamaktadır. Bağlantı stabilitesi testleri, modülün 10 metreye kadar çalışma mesafesinde sorunsuz bir şekilde veri iletimi sağladığını göstermektedir. Çalışma gerilimi 1.7 ile 3.6V arasında olup, Arduino üzerinden 3.3V çıkışıyla beslenmelidir. Ayrıca, modülün senkron hızı 2Mbps, asenkron hızı ise 5Mbps'dir ve üzerinde kimlik doğrulama ve şifreleme yazılımı bulunmaktadır.

3.3. Programlama ve Kontrol Sistemi

Robotun kontrol algoritmaları, Arduino IDE platformu kullanılarak kodlanmış ve robotun çeşitli görevleri yerine getirmesi için gerekli yazılım altyapısı oluşturulmuştur. Robotun hareketleri ve kol operasyonları, uzaktan komutlarla yönlendirilmiş olup, sistemin genel

performansı optimize edilmiştir. Şekil 8’de mobil robotun kontrol akış şeması verilmiştir. Şekil 10’da ise robotun mobil uygulamadan kontrolünü sağlayacak arayüz tasarımının görseli görülmektedir.



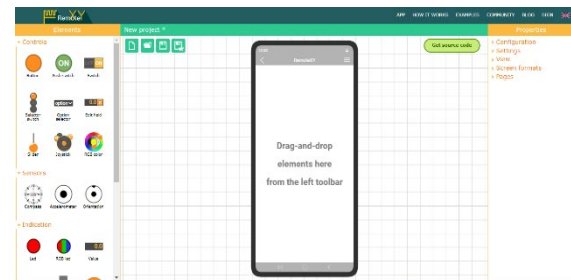
Şekil 8. Mobil robot kontrol akış şeması.

Şekil 8’de verilmiş olan akış şeması, bir mobil robot ve robot kol mekanizmasını kontrol etmek için kullanılan bir sistemin kontrol mantığını göstermektedir. İlk adımda işlem başlar ve sistem, servo ve step motorlarla iletişim kurar. Bu adım, motorların çalışmasını mümkün kılacak iletişim altyapısını oluşturur. Ardından, her motor türü için gerekli pin modları yapılandırılarak motorların çalışması için gereken teknik altyapı sağlanır. Bu süreç, motorların doğru bir şekilde çalışabilmesi için kritik öneme sahiptir. Sistemin bir diğer önemli aşaması, kullanıcı girdisinin alınmasıdır. Kullanıcıdan alınan bilgilerle çalışma modu belirlenir. İki temel çalışma modu sunulmaktadır: sürüş modu ve kol kontrol modu. Sürüş modu, robotun hareketlerinin servo motorlar aracılığıyla kontrol edilmesini sağlar. Bu modda servo motorlar ileri, geri, sağa ve sola hareketleri gerçekleştirir. Diğer taraftan,

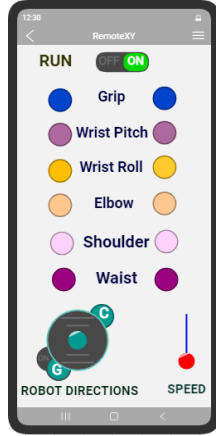
kol kontrol modu step motorların kullanımını içerir. Bu mod, robot kolunun farklı hareketlerini sağlar. Temel, omuz, dirsek, bilek ve kavrama gibi hareketlerin her biri, kullanıcı tarafından belirlenen komutlara göre gerçekleştirilir.

Sistem, çalışma sırasında durma komutunu kontrol etmek için sürekli bir izleme mekanizması kullanır. Eğer durma komutu algılanırsa, tüm servo ve step motorlar devre dışı bırakılır. Bu, sistemin güvenli ve kontrollü bir şekilde sonlandırılmasını sağlar. İşlem, durma komutunun ardından sonlandırılarak tamamlanır.

Sayısal veri iletişimde bağlantı hızı (baud rate) ve pin kullanımı, sistemin performansı ve doğru çalışması açısından kritik unsurlar arasında yer alır. HC-05 Bluetooth modülleri, varsayılan olarak 9600 baud hızında çalışır. Bu hız, sistemin veri aktarım hızını belirler ve çoğu standart uygulama için yeterli bir değer sunar. Ancak, kullanıcı AT komutlarını kullanarak bu hızı değiştirebilir. Maksimum hız, Software Serial bağlantılar için 38400 baud ile sınırlıdır. Sistemin tasarımında, kullanıcı dostu özellikleri ve gerekli işlevselliği bir araya getiren Remote XY programı tercih edilmiştir. Remote XY programı, web tabanlı bir platformda basit ve anlaşılır bir arayüz sunar. Bu arayüzde, robotun tekerlek ve kol hareketlerini kontrol etmek için uygun düğmeler ve komutlar eklenmiştir. Kullanıcı, Bluetooth modülünün tipini seçer ve projede kullanılan Arduino modelini belirler. Ardından, Bluetooth modülünün Arduino'ya nasıl bağlanacağına dair bir diyagram ve uygun kodların nasıl indirileceği hakkında bilgi sağlanır. Bağlantı kurulduktan sonra, sistem test edilir ve robot, Remote XY aracılığıyla sorunsuz bir şekilde kontrol edilebilir hale gelmektedir. Şekil 9’da Remote XY uygulama arayüzü verilmiştir.



Şekil 9. Remote XY Uygulama Arayüzü.



Şekil 10. Mobil robot kontrol arayüz görseli.

4. UYGULAMA BULGULARI

Bu çalışmada geliştirilen robotik kol entegreli mobil arama ve kurtarma robotu, tasarım ve uygulama süreçlerinde test edilmiş ve aşağıdaki önemli bulgular elde edilmiştir:

- **Hareket Kabiliyeti:** Robot, mecanum tekerlek sistemi sayesinde dar alanlarda manevra yapabilme ve engebeli arazilerde etkili bir şekilde hareket edebilme yeteneğini göstermiştir. Bu özellik, karmaşık ve dengesiz enkaz ortamlarında hızlı ve güvenli müdahaleler için büyük avantaj sağlamaktadır.

- **Algılama ve Tespit Performansı:** Robot, termal kameralar ve ses sensörleri gibi ileri teknoloji ile donatılabilme potansiyeline olup, enkaz altında mahsur kalan mağdurları yüksek hassasiyetle tespit edebileceği düşünülmektedir. Bu sistemler, arama ve kurtarma ekiplerinin kritik bilgilere zamanında ulaşmasını sağlayacaktır.

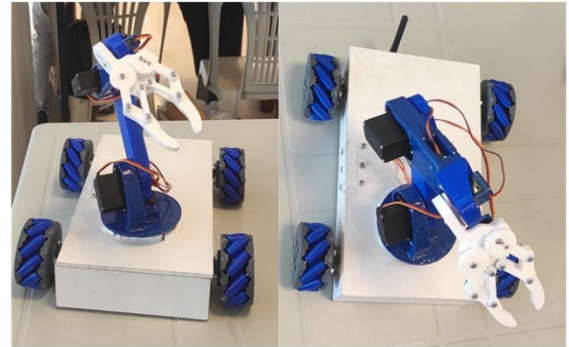
- **Robotik Kolun İşlevselliği:** 6 serbestlik derecesine sahip robotik kol, dar alanlarda hassas manipülasyon görevlerini yerine getirebilmektedir. Şekil 11'de gösterildiği gibi, robot kolun parçaları üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiş, bu tasarım hem maliyeti düşürmüş hem de özelleştirme imkânı sunmuştur. Şekil 12'de ise robotun nihai hali gösterilmekte, bu kolun operasyonel ortamda işlevselliği başarıyla sergilenmektedir.

- **Uzaktan Kontrol ve İletişim:** Bluetooth 5.0 modülü sayesinde, robot operatörler tarafından güvenli bir mesafeden kontrol edilebilmiştir. Bu özellik, kurtarma ekiplerinin güvenliğini artırırken operasyonların koordinasyonunu da kolaylaştırması beklenmektedir.

Bu bulgular, robotun sahada uygulanabilirliğini ve başarısını göstermiş, gelecek arama ve kurtarma operasyonlarında kullanım potansiyelini ortaya koymuştur.



Şekil 11. Mobil robotun üretim görselleri.



Şekil 12. Robotik kol entegreli mobil arama ve kurtarma robotunun nihai hali.

5. SONUÇ

Bu çalışma, doğal afetler ve acil durumlar için robotik kol entegreli mobil bir arama ve kurtarma robotu tasarımını ve uygulamasını kapsamaktadır. Robotun test sonuçları, tasarım hedeflerinin başarıyla gerçekleştirildiğini ortaya koymuştur. Robotun hareket kabiliyeti, algılama sistemleri, manipülasyon becerisi ve uzaktan kontrol yetenekleri, mevcut arama ve kurtarma teknolojilerinin ötesine geçecek nitelikte sonuçlar vermiştir. Bu bağlamda çalışmanın sunduğu katkılar şu şekilde özetlenebilir:

- İnsan Güvenliğine Katkı: Robot, tehlikeli bölgelerde insanların yerine geçerek kurtarma ekiplerinin güvenliğini sağlamıştır. Bu özellik, afet bölgelerinde riskleri önemli ölçüde azaltmıştır.
- Operasyonel Verimlilik: Robotun teknolojik kabiliyetleri, arama ve kurtarma operasyonlarının daha hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımış, bu da hayatta kalanların kurtarılma şansını artırmıştır.
- Afet Müdahalesine Yeni Yaklaşımlar: Bu çalışma, robotik teknolojilerin afet yönetimi süreçlerinde ne denli kritik bir rol oynayabileceğini göstermiştir.

Geleceğe yönelik olarak, bu tür arama ve kurtarma robotlarının, otonom karar verme yeteneklerinin geliştirilmesi, yapay zekâ tabanlı tespit algoritmaları ile donatılması ve daha dayanıklı malzemelerle üretilmesi hedeflenmelidir. Ayrıca, bu robotların yalnızca afet yönetiminde değil, endüstriyel kazalar, yangın müdahaleleri ve hatta savaş alanlarında kullanılabilirliği artırılabilir. Gelişmiş batarya teknolojileri, robotların daha uzun süreli operasyonlar gerçekleştirmesine olanak tanıyabilir.

Bu tür robotların yaygınlaşması hem insani hem de ekonomik anlamda olumlu etkiler yaratacaktır. Geliştirilen teknolojilerin, uluslararası iş birlikleri ve standartlaşma süreçleri ile dünya genelinde uygulanabilir hâle gelmesi, afet müdahale kapasitesinin daha da artırılmasını sağlayabilir.

Bu çalışmanın sunduğu sonuçlar, gelecekteki robotik arama ve kurtarma teknolojileri için bir temel oluşturmaktadır. Gelecek projelerde, bu sistemlerin otonomi seviyelerinin artırılması ve daha karmaşık senaryolarda test edilmesi büyük önem taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında 1919B012303729 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. AFAD, "Türkiye Deprem Tehlike Haritası", <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>, 2 Ocak 2024.
2. AFAD, "Türkiye'de Afetler", https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/35429/xfiles/Turkiye_de_Afetler.pdf, 4 Ocak 2024.
3. Alam, I. and Y. Ali. "Studying the effects of Türkiye earthquake disaster and its impact on real estate industry: A risk analysis based on input-output & non-linear optimization models," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 96, Pages 103920, 2023.
4. Hussain, E., S. Kalaycıoğlu, C.W. "Milliner, and Z. Çakır, Preconditioning the 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) earthquake disaster." *Nature Reviews Earth & Environment*, Vol. 4, Issue 5, Pages 287-289, 2023.
5. Goldberg, D.E., et al., "Rapid characterization of the February 2023 Kahramanmaraş, Türkiye, earthquake sequence." *The Seismic Record*, Vol. 3, Issue 2, Pages 156-167, 2023.
6. İnce, O., "Structural damage assessment of reinforced concrete buildings in Adıyaman after Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023." *Engineering Failure Analysis*, Vol. 156, Pages 107799, 2024.
7. Li, L. and Z. Zhao, Performance Test, Index System Establishment, and Comprehensive Evaluation of Earthquake Rescue Robots. *Electronics*, Vol. 13, Issue 7, Pages 1401, 2024.
8. Li, F., S. Hou, C. Bu, and B. Qu, "Rescue robots for the urban earthquake environment." *Disaster medicine and public health preparedness*, Vol. 17 Pages e181, 2023.
9. Park, S., Y. Oh, and D. Hong, "Disaster response and recovery from the perspective of robotics." *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 18, Pages 1475-1482, 2017.
10. Bogue, R., "Disaster relief, and search and rescue robots: the way forward." *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application*, Vol. 46, Issue 2, Pages 181-187, 2019.
11. Akdemir, Derya Gümüş. *Design of a rescue robot for search and mapping operation*. MS thesis. İzmir Institute of Technology (Turkey), 2006.

12. Saha, S., et al. "Life Saver Robotic Car for Accidental or Disaster Place Emergency Situation." ICT Analysis and Applications: Proceedings of ICT4SD, Springer, Issue 2, 2021.
13. Yılmaz, M., & Yıldız, M. (2021). Dört ayaklı robotların modellenmesi, kontrolü ve engeli yüzeylerde yürüyüşü üzerine bir literatür araştırması. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, Cilt 70, Sayı 1, Sayfa 1-15.
14. Bahadori, S., Iocchi, L., Nardi, D., Settembre, G.P., "Improved method for stereo vision-based human detection for a mobile robot following a target person", *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol. 26, Issue 1, Pages 1-10, 2015.
15. Güzel, B., Yılmaz, A., "Robotlar İçin Nesne Tespiti ve Haritalama Uygulamaları", *Journal of Robotics and Automation*, Cilt 19, Sayı 3, Sayfa 45-58, 2023.
16. Hasan, İ., Kara, T., "Design, Construction and Control of an Autonomous Mobile Rescue Robot", *European Journal of Science and Technology*, Vol. 37, Pages 65-71, 2022.
17. Bonarini, A., "Communication in human-robot interaction." *Current Robotics Reports*, Cilt 1 Sayı 4 Sayfa 279-285, 2020.
18. Çetin, G., Aksakal, E., & Taşkın, S. İnsan-Robot Etkileşimi Çalışmalarına yönelik İnsanın OctoMap ile Duygu Tanıma. *Journal of Mechanical Engineering and Technology*, Cilt 13, Sayı 1, Sayfa 1-10, 2021.
19. Bian, X., Zhao, W., Tang, L., Zhao, H., Mei, X., "FastSLAM-MO-PSO: A Robust Method for Simultaneous Localization and Mapping in Mobile Robots Navigating Unknown Environments", *Applied Sciences*, Vol. 14, Issue 22, Pages 10268, 2024
20. Lin, R., H. Huang, and M. Li, "An automated guided logistics robot for pallet transportation." *Assembly Automation*, Cilt 41 Sayı 1 Sayfa 45-54, 2021.
21. Reddy, A.H., B. Kalyan, and C.S. Murthy, "Mine rescue robot system—a review." *Procedia Earth and Planetary Science*, Cilt 11 Sayfa 457-462, 2015.
22. TÜBİTAK Bilim Genç, "Arama Kurtarma Robotu", <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/proje/arama-kurtarma-robotu>, 27 Nisan 2025.
23. Çetin, G., Aksakal, E., Taskın, S., "Göçük Altında Kalanların Tespiti için Biyonomik Yılan Robot Tasarımı", *Journal of Materials and Mechatronics: A*, Cilt 3, Sayı 1, Sayfa 63-78, 2022.
24. Chou, S.Y. and D. Chen, Emergent disaster rescue methods and prevention management." *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, Cilt 22 Sayı 3 Sayfa 265-277, 2013.
25. Sheh, R., Schwertfeger, S., Visser, A., "16 years of RoboCup Rescue", *KI – Künstliche Intelligenz*, Vol. 30, Issue 3-4, Pages 267-277, 2016.
26. Skinner, C. and S. Ramchurn. "The robocup rescue simulation platform." *Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Sayı 1, 2010.
27. Gilpin, K. and D. Rus, "Modular robot systems." *IEEE robotics & automation magazine*, Cilt 17 Sayı 3 Sayfa 38-55, 2010.
28. Birk, A. "Fast robot prototyping with the cubesystem." *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Proceedings. ICRA'04. 2004.
29. Chen, S., et al., "Soft crawling robots: design, actuation, and locomotion." *Advanced Materials Technologies*, Cilt 5 Sayı 2 Sayfa 1900837, 2020.
30. Zhao, Z., et al. "Obstacle negotiation and driving mode decision for variable track robots in dynamic environments." *Journal of Field Robotics*, Vol. 39, Issue 1, Pages 68-82, 2023.
31. Çetin, G., Aksakal, E., Taşkın, S., "Göçük Altında Kalanların Tespiti için Biyonomik Yılan Robot Tasarımı", *Journal of Materials and Mechatronics*, Cilt 3, Sayı 1, Sayfa 63-78, 2022
32. Liljebäck, P., K.Y. Pettersen, Ø. Stavdahl, and J.T. Gravdahl, "A review on modelling, implementation, and control of snake robots." *Robotics and Autonomous systems*, Cilt 60 Sayı 1 Sayfa 29-40, 2012.
33. Lee, J., et al. "Dynamic obstacle avoidance and negotiation in tracked robots: A simulation and experimental study." *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 129, Pages 103562, 2020.
34. Zhao, M., et al. "Kinematic and dynamic modeling for a snake robot using a hybrid motion control approach." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 68, Issue 8, Pages 6672-6682, 2021.

35. How To Mechatronics, “Arduino Robot Arm and Mecanum Wheels Platform Automatic Operation”, <https://howtomechatronics.com/projects/arduino-robot-arm-and-mecanum-wheels-platform-automatic-operation/>, 28 Mart 2024.

36. Granosik, G., Hansen, M.G., Borenstein, J., “The OmniTread serpentine robot for industrial inspection and surveillance”, *Industrial Robot: An International Journal*, Cilt 32, Sayı 2, Sayfa 139-148, 2005.

37. Biorobotics Lab, “Modular Snake Robots”, https://biorobotics.org/posts/2023/08/18/modular_snake/, 22 Mart 2024.

38. Choi, J., Kim, H., Oh, S., “Design of a Stair-Climbing Robot for Rescue Applications”, *Proceedings of the IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics*, Sayfa 1-5, 2006.