

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/khosbd>

Roadable Hava Araçları İçin Başkalaşım Sisteminin Tasarımı

Design of Morphing System for Roadable Air Vehicles

Hüseyin ŞAHİN^{1*} 

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Uçak Teknolojisi Programı, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 28.01.2025
Düzeltilme: 18.04.2025
Kabul: 20.06.2025

Anahtar Kelimeler

Roadable Hava Aracı
Başkalaşım Sistemi
Robot Sistemler
Uçan Araba

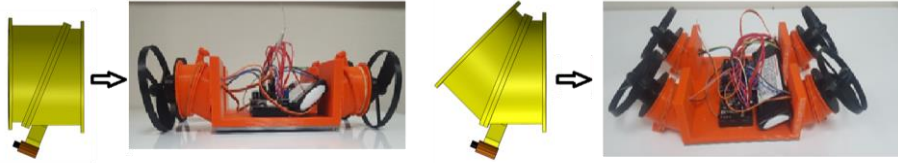
Keywords

Roadable Air Vehicle
Morphing System
Robot Systems
Flying Car

Önemli Noktalar

Bu çalışma, hava ve kara modları arasında sorunsuz geçiş yapabilen özgün bir roadable hava aracının başkalaşım sisteminin tasarımını hedeflemektedir. Araştırma, aerodinamik verimlilik, yapısal dayanıklılık ve enerji yönetimini birleştiren çok disiplinli bir yaklaşım sunmaktadır. Yenilikçi başkalaşım mekanizmaları, aracın modlar arası hızlı, güvenli ve verimli geçişini sağlarken, otonom kontrol teknolojileri çevresel değişkenlere dinamik adaptasyon kabiliyeti sunarak aracın şekil değiştirmesini desteklemektedir. Elektrikli tahrik sistemlerinin entegrasyonu sayesinde sürdürülebilirlik ve operasyonel maliyet azaltımı sağlanmaktadır. Bu sistem, roadable hava araçlarının sivil ve askerî alanlardaki yaygın kullanımını mümkün kılan ileri görüşlü bir mühendislik çözümüdür.

Grafiksel Özet



Özet

Yeni bir roadable hava aracının şekil değiştirme sisteminin tasarımı, aerodinamik, malzeme bilimi ve otonom kontrol prensiplerini birleştirerek havacılık mühendisliğinde yenilikçi bir çözüm temsil etmektedir. Döner kanatlı hava araçları teknolojileri üzerine inşa edilen bu araçlar, farklı çevresel koşullara uyum sağlamak için dinamik şekil değiştirebilmektedir. Bu yetenek, uçuş performansını artırırken araçları kentsel kara yollarında kullanıma uygun hale getirerek askerî ve sivil uygulamalarda konumlandırmaktadır. Bu yaklaşım verimliliği artırırken geleneksel manevra mekanizmalarının karmaşıklığını azaltmakta, bakım maliyetlerini düşürmekte ve güvenilirliği artırmaktadır. Şekil değiştirme sistemlerinin entegrasyonu, alt sistemler arası sorunsuz etkileşim sağlayan çok disiplinli tasarım çerçevesi ile gerçekleştirilmektedir. Bileşenler maksimum kalkış ağırlığı ve yakıt verimliliğine olumlu katkıda bulunmaktadır. Yüksek maliyetler ve düzenleyici uyum zorlukları bulunsada, malzeme bilimi, sensör teknolojisi ve otonom kontrol ilerlemeleri bu engelleri aşarak kentsel hava hareketliliğinde yaygın benimsenmesini sağlamaktadır.

Abstract

The design of a new roadable aircraft morphing system represents an innovative solution in aeronautical engineering, combining the principles of aerodynamics, materials science and autonomous control. Building on rotary-wing aircraft technologies, these vehicles can dynamically change shape to adapt to different environmental conditions. This capability improves flight performance and positions the vehicles for military and civilian applications, making them suitable for use on urban roadways. This approach increases efficiency while reducing the complexity of conventional maneuvering mechanisms, lowering maintenance costs and improving reliability. The integration of the morphing systems is realized through a multi-disciplinary design framework that ensures seamless interaction between subsystems. The components contribute positively to maximum take-off weight and fuel efficiency. While there are high costs and regulatory compliance challenges, advances in materials science, sensor technology and autonomous control are overcoming these barriers, enabling widespread adoption in urban air mobility.

*Corresponding author, e-mail: hsahin@aybu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1.1. Bağlam

Modern ulaşım, kentsel ve kırsal hareketliliğin dinamik ihtiyaçlarını karşılamak için esneklik, verimlilik ve yenilik gerektirmektedir. Araçların farklı operasyonel modlar arasında geçiş yapabilmesini sağlayan farklı ortamlarda hareketini sağlayan taşımacılık hem yoğun nüfuslu kentsel alanlarda hem de uzak kırsal ortamlarda hareket etme şekliyle büyük bir inovasyon devrimi oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu farklı ortamlarda hareket edebilme yeteneğinin vermiş olduğu konsept, hava ve kara yolculuğu arasında sorunsuz bir şekilde geçiş yapabilen ve böylece benzersiz çok yönlülük ve fayda sunan araçları kapsamaktadır. Bu modlar arasında geçişi sağlayan dönüştürücü yaklaşım, araçların trafik sıkışıklığını hava rotaları üzerinden uçmasına ve daha sonra belirli yerlere doğrudan erişim için karasal yollarda yolculuklarına devam etmelerine olanak tanıyarak hareketliliği önemli ölçüde artırabilir. Bu farklı yol koşullarına uyumlu araçların sağladığı çok yönlülük, yalnızca seyahat süresinde bir azalma değil, aynı zamanda operasyonel verimlilik ve erişilebilirlikte de bir artış sağlar [1]. Roadable hava taşımacılığın çığır açan potansiyeli, özellikle trafik sıkışıklığının önemli gecikmelere yol açtığı yoğun nüfuslu şehirlerde çeşitli lojistik zorlukları ele alma kabiliyetinde yatmaktadır. Geleneksel tek modlu sadece havada ya da sadece karada ulaşım için tasarlanan araçlar, altyapı tasarımı ve trafik koşulları ile sınırlıdır ve genellikle verimsizliklere ve daha uzun ulaşım sürelerine neden olur. Ancak başkalaşabilen roadable hava araçları, hava ve kara yolculuğunun ikili

özelliklerinden yararlanarak bu sınırlamaları hafifletebilir ve modern ulaşım sorunları için sağlam bir çözüm sağlayabilir [2-3]. Ayrıca, bu çok modlu yaklaşım, ulaşım ağlarının erişimini ve etkinliğini artırmada önemli bir rol oynamakta ve daha önce geleneksel yollarla erişilemeyen alanlara girmeyi mümkün kılmaktadır. Hava-yer koşullarında kullanıma uygun araçlarının gelişmiş manevra kabiliyeti ve esnekliği, kişisel, ticari ve acil durum taşımacılığının geleceğini yeniden şekillendirebilecek ileri görüşlü bir çözüm sunmaktadır [4].

Havada ve yerde kullanılabilen roadable hava araçlarının başkalaşım sistemlerine sahip olması özellikle arama ve kurtarma operasyonları, acil müdahale ve askerî uygulamalarda önemlidir. Bu araçlar hem hava hem de kara arazilerinde hareket edebilmekte ve böylece kritik durumlara hızlı müdahale için çok yönlü bir çözüm sunmaktadır. Örneğin arama ve kurtarma görevlerinde, yerden hava moduna geçebilme özelliği, bu araçların başka türlü erişilemeyecek alanlara ulaşmasını sağlayarak, tek başına geleneksel kara araçlarından daha hızlı bir şekilde önemli destek sağlar. Bu kabiliyet, özellikle zamana duyarlı operasyonların yaşamla ölüm arasındaki fark anlamına gelebildiği doğal afetler sırasında hayati önem taşır. Benzer şekilde, yangınla mücadele veya acil müdahale senaryolarında, roadable uçan araçlar havaya çıkarak sıkışık kentsel ortamlarda taşımacılığı hızlı ve güvenli şekilde gerçekleştirebilir, böylece engelleri aşabilir ve müdahale sürelerini önemli ölçüde kısaltabilir. Askerî alanda, roadable hava araçları keşif, gözetleme ve lojistik destek yeteneklerini geliştirerek stratejik bir avantaj sunmaktadır. Hava ve yer modlarında

kullanılabilen bu çift modlu ulaşım, çeşitli arazilerde esnek bir şekilde çalışabilmelerini sağlayarak daha yüksek düzeyde operasyonel verimlilik ve uygulanabilirlik sunar. Örneğin, insansız hava-yer araçları keşif ve ikmal teslimatı gibi karmaşık görevleri insan personeli için daha az riskle yerine getirebilir. Gelişmiş kontrol sistemlerinin ve otonom teknolojilerin entegrasyonu, sahadaki faydalarını daha da artırarak düşmanca veya öngörülemeyen ortamlarda daha hassas ve güvenilir operasyonlara olanak tanır. Bu çok yönlü uygulamalar, roadable hava araçlarının görev etkinliğini ve operasyonel yanıt verebilirliği artırma konusundaki devrim niteliğindeki potansiyelinin altını çizmektedir [5].

1.2. Literatür Taraması

Roadable hava araçları hem hava hem de kara modlarında etkin performans gösteren çok modlu ulaşım sistemleri olarak son yıllarda yoğun ilgi görmüştür. Zhang ve diğerleri [6], roadable araçlarının otonom kontrol sistemleriyle entegrasyonunun, operasyonel esnekliği artırdığını ve kentsel hareketlilikte yeni fırsatlar sunduğunu belirtmiştir. Morphobot gibi çalışmalar, başkalaşım mekanizmalarının yapısal entegrasyonunu vurgulayarak, modlar arası geçişlerde stabilite sağlama potansiyelini göstermiştir. Ancak, bu çalışmalar genellikle yüksek enerji tüketimi ve karmaşık mekanik sistemler nedeniyle sınırlıdır. Elektrikli tahrik sistemlerinin kullanımı, Liu ve arkadaşları [7]

tarafından enerji verimliliği açısından incelenmiş ve sivil havacılıkta sürdürülebilir çözümler sunduğu rapor edilmiştir. Savunma sanayiine yönelik uygulamalarda ise, roadable hava araçlarının arama-kurtarma ve lojistik görevlerdeki potansiyeli görülmüştür [8]. Bu çalışma, literatürdeki bu boşluğu doldurmayı hedeflemekte; elektrikli tahrik, otonom kontrol ve kompozit malzemelerin sinerjik entegrasyonu ile savunma sanayiine özgü bir başkalaşım sistemi tasarlamaktadır.

Hava ve yer modları arasında verimli bir şekilde geçiş yapabilen roadable hava araçları, kentsel ortamların karşılaştığı artan lojistik ve ulaşım zorluklarına yeni bir çözüm sunmaktadır. Bu araçlar, sıkışık karayollarını atlamak için hava yollarını kullanarak şehir içi mal ve yolcu taşımacılığının veya görüntü alınması gibi görevlerde verimliliğini önemli ölçüde artırabilir ve böylece daha hızlı ve daha verimli ulaşım çözümleri sunabilir [9]. Ayrıca Elektrikli tahrik sistemlerinin kullanılması, karbon ayak izlerinde önemli düşüşler sağlayabilir ve bu araçları daha yeşil kentsel ulaşım sistemlerine doğru hareketin kritik bir bileşeni olarak konumlandırır [10]. Ayrıca, bu tür araçların akıllı şehir planlarına daha geniş çerçevede entegre edilmesi, trafik yönetiminin optimize edilmesine, kirliliğin azaltılmasına ve kentsel yaşamın genel kalitesinin artırılmasına yardımcı olabilir [11]. Bu gelişmeler, daha sürdürülebilir, verimli ve esnek bir ulaşım altyapısını teşvik ederek yeni bir kentsel hareketlilik çağını başlatabilir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 1: Literatürdeki bazı roadable hava araçları

a) *Cezeri Uçan Araba* [12] b) *Airbus Vahana* [13] c) *EHang* [14] d) *Bell NeXus* [15].

Roadable hava araçları efektif şekilde çalışan başkalaşım sisteminin geliştirilmesi, aerodinamik verimlilik, malzeme bilimi, yapısal tasarım, yapay zekâ ve kontrol sistemleri de dahil olmak üzere birçok alanda önemli mühendislik ilerlemelerine bağlıdır. Aerodinamik verimlilik, aracın hem hava hem de yer modlarında en iyi şekilde performans göstermesini sağlamak için kritik öneme sahiptir; aracın uçuş sırasında sürtünmeyi en aza indirir ve kaldırmayı en üst düzeye çıkarırken araç kara modunda iken yerde stabilite ve manevra kabiliyetini korur. Malzeme bilimindeki yenilikler hem hava hem de kara ortamlarının streslerine dayanabilecek hafif ve dayanıklı yapılar oluşturmak için gereklidir. Yapısal tasarım, aracın ağırlık dağılımını dengelemede çok önemli bir rol oynar ve modlar arasındaki geçişin bütünlüğünü veya

performansını tehlikeye atmamasını sağlar. Yapay zekâ ve gelişmiş kontrol sistemleri, dönüşüm sürecini otomatikleştirmek için çok önemlidir ve kullanıcı güvenliğini korurken aracın pilot müdahalesi olmadan kara-hava modları arasındaki geçişi ve seyrüseferi sağlar. Bu sistemler sağlam, güvenilir ve değişen rüzgar hızları, zemin yüzeyleri ve engellerden kaçınma gibi dinamik çevresel koşullarla başa çıkabilecek kapasitede olmalıdır. Bu teknolojilerin entegrasyonu, çok disiplinli bir yaklaşım ve çeşitli senaryolarda performansı doğrulamak için kapsamlı testler gerektirir [16]. Ek olarak, yapay zekâ tarafından etkinleştirilen kontrol sistemleri, dönüşüm süreci sırasında gerçek zamanlı ayarlamalara izin verir ve böylece aracın operasyonel koşullardaki ani değişikliklere uyum sağlama yeteneğini artırır. Bu teknolojiler, aracın

dönüşümünün sadece verimli değil aynı zamanda güvenli olmasını sağlayarak kalkış, iniş veya mod değiştirme gibi kritik aşamalarda olası arızaları önler [17]. Dolayısıyla, bu mühendislik gelişmeleri arasındaki etkileşim, karmaşık ortamlarda ulaşım anlayışımızda devrim yaratabilecek yenilikçi, güvenilir ve yüksek performanslı bir roadable hava aracı geliştirmenin en temel gereksinimlerini oluşturmaktadır.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Özgün Katkısı

Bu bilimsel makalenin temel amacı “Bir araç hava ve yer modları arasında nasıl sorunsuz geçiş yapabilir?” sorusunu cevaplamaktır. Bu araştırma makalesi, hava ve kara modları arasında hızlı ve güvenilir geçiş yapabilen bir başkalaşım sisteminin tasarımını sunarak, mevcut roadable hava aracı tasarımlarına yenilikçi bir perspektif getirmeyi amaçlamaktadır. Özgün katkı, elektrikli tahrik sistemleriyle entegre edilmiş, otonom kontrol algoritmalarıyla desteklenen ve savunma sanayiinde arama-kurtarma, lojistik ve keşif gibi görevlerde kullanılabilecek bir başkalaşım mekanizmasının geliştirilmesidir. Bu sistem, literatürdeki mevcut tasarımlardan farklı olarak, enerji verimliliğini maksimize etmek için dinamik aerodinamik konfigürasyonlar kullanmakta, böylece operasyonel maliyetleri azaltmakta ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Araştırmanın temel hedefi, aerodinamik verimlilik, yapısal dayanıklılık ve otonom kontrol sistemlerini entegre ederek, savunma sanayiinde arama-kurtarma, lojistik ve keşif gibi görevlerde kullanılabilecek çok modlu bir platform geliştirmektir. Çalışma, kentsel ve kırsal

hareketlilik ihtiyaçlarını karşılayarak, özellikle zamana duyarlı operasyonlarda stratejik avantajlar sunmayı hedefler. Çalışmada roadable hava araçlarının, her iki modda da verimli bir şekilde çalışan başkalaşımı sisteminin tasarımını amaçlanmaktadır. Buradaki zorluk, aerodinamik gereksinimler, yapısal bütünlük, enerji yönetimi ve kontrol sistemleri gibi iç içe geçmiş birçok faktörün dengelenmesinden oluşmaktadır. Sorunsuz bir geçişin sağlanması, aracın her moddaki farklı aerodinamik ve yapısal taleplere uyum sağlamak için konfigürasyonunu dinamik olarak değiştirmesi gereken mühendislik çözümleri gerektirir. Optimum ağırlık dağılımı dengesi, başkalaşım mekanizmalarının hızlı ve güvenilir bir şekilde harekete geçirilmesi ve sağlam kontrol algoritmaları bu sorunsuz geçiş için kritik öneme sahiptir. Yaklaşımımız, geçişler sırasında aracın yapısal ve aerodinamik verimliliğini korumak için tasarlanmış yenilikçi bir dönüşüm sistemi aracılığıyla çözmeye odaklanmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

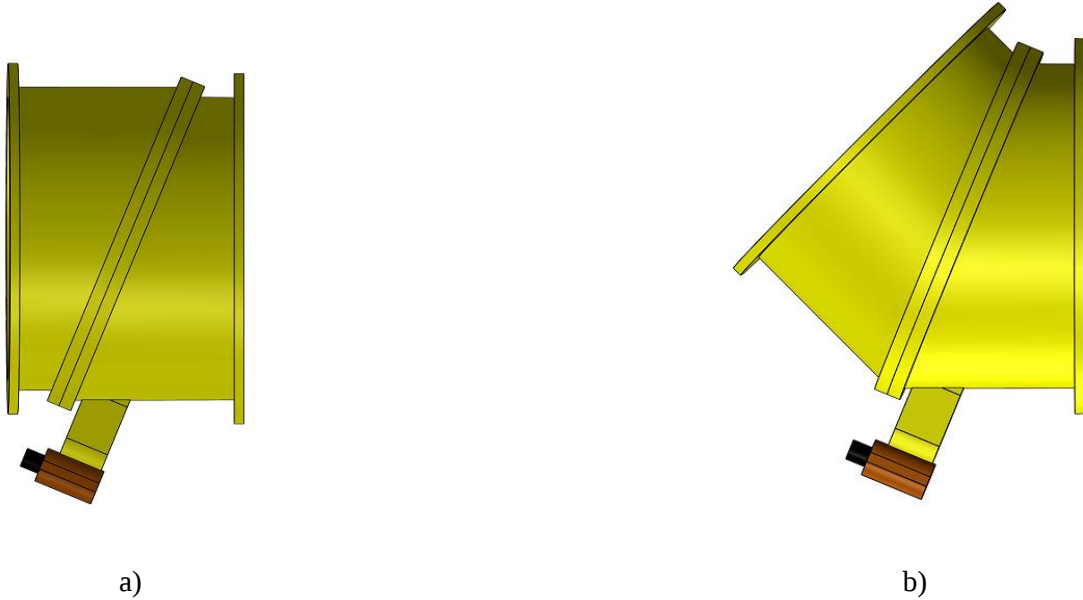
2.1. Metodolojik Çerçeve

“Özgün roadable hava aracının başkalaşım sisteminin tasarımı” konulu araştırma, havada ve karada efektif olarak kullanılabilen bir robot aracın başkalaşım sisteminin kapsamlı bir analizini ve geliştirilmesini sağlamak üzere tasarlanmış çok yönlü bir metodolojik çerçeveyi kapsamaktadır. Bu araştırma, bu yenilikçi ulaşım çözümünün sunduğu zorlukları ve fırsatları bütünsel olarak ele almak için deneysel ve teorik çalışmaları entegre eden karma bir yöntem yaklaşımı kullanmaktadır.

2.2. Prototip Tasarımı ve Geliştirilmesi

Çalışmada, bir prototip aracın geliştirilmesi ve test edilmesine odaklanan bir deneysel çalışma ile başlamaktadır. Bu aşama, bir prototipin karmaşık tasarımını ve yapımını ve ardından çeşitli operasyonel senaryolarda dönüşüm sisteminin etkinliğini, güvenliğini ve performansını değerlendirmek için titiz testleri içermektedir. Toplanan deneysel veriler, aracın yetenekleri ve operasyonel dinamikleri hakkında doğrudan bilgi sağlar.

Bu pratik yaklaşımları tamamlayan kapsamlı bir literatür taraması sağlam bir teorik temel sağlamaktadır. Çalışma, roadable hava araçlarının, başkalaşım mekanizmaları ve tahrik teknolojileri üzerine mevcut araştırmaları inceleyerek, mevcut en iyi uygulamaları, bilgi boşluklarını ve geliştirme sürecini bilgilendiren yenilikçi tasarım ilkelerini tanımlamaktadır. Bu teorik temel, çalışmanın en son gelişmelerle uyumlu olmasını ve yerleşik bilimsel bilgiden yararlanmasını sağlar.



Şekil 2: Solidworks programı kullanılarak oluşturulan başkalaşım sisteminin tasarımı

a) Başkalaşım sistemi kara modunda

b) Başkalaşım sistemi hava modunda.

Araştırma, bu bütünleştirici metodolojik yaklaşımı kullanarak roadable hava araçları için efektif olarak çalışabilen ve verimli bir başkalaşım sistemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Prototipleme, simülasyonlar ve teorik analizin birleşimi, aracın tasarımını ve performansını doğrulamak için sağlam bir çerçeve sağlar ve böylece havacılık ve uzay mühendisliği ve farklı

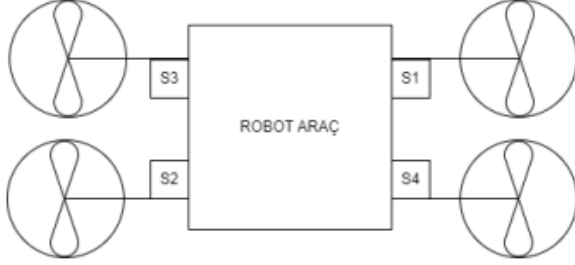
ortamlarda kullanılabilen ulaşım alanına önemli ölçüde katkıda bulunur.

2.3. Test Senaryoları ve Veri Toplama

Bu çalışmanın veri toplama yöntemleri kapsamlı ve sistematik bir yaklaşımla ele alınmıştır. Öncelikle, roadable hava aracının prototipi üzerinde gerçekleştirilecek test senaryoları geliştirilmiştir. Bu senaryolar, aracın hem hava

hem de kara koşullarında farklı performans metriklerini değerlendirebilmek için dikkatlice tasarlanmıştır. Test senaryolarında, aracın hız,

manevra kabiliyeti, enerji tüketimi ve dönüşüm süreci gibi kritik parametreler göz önünde bulundurulmuştur.

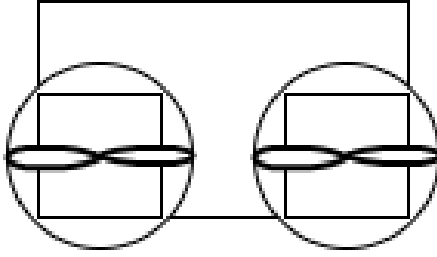


a)

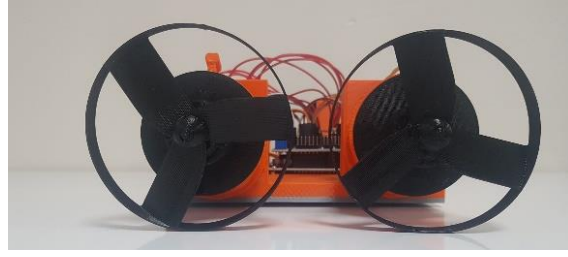


b)

Şekil 3: Roadable hava aracının hava modunda üstten görünümünün a) Şekli b) Prototipi.

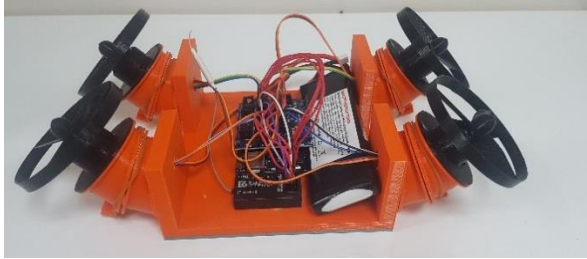


a)

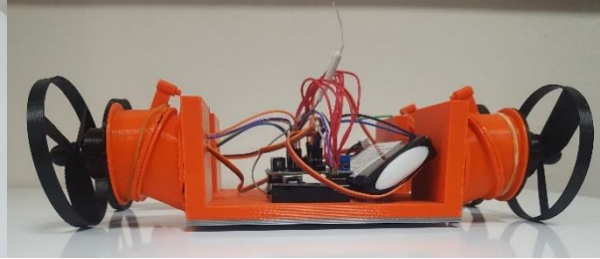


b)

Şekil 4: Roadable hava aracının kara modunda yandan görünümü a) Şekli b) Prototipi.



a)



b)

Şekil 5: Başkalaşım sistemine sahip roadable hava aracın prototipinin görüntüleri

a) Hava modunda

b) Kara modunda

Aynı zamanda, mevcut literatürün detaylı bir taraması yapılmıştır. Araç başkalaşım sistemleri, itki sistemleri ve otonom sistemler üzerine daha önce yapılmış araştırmalar incelenmiş ve

çalışmanın teorik çerçevesinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu aşamada, roadable hava araçlarının tasarımı ve performansı ile ilgili mevcut bilgiler derinlemesine değerlendirilmiş

ve analitik model geliştirme sürecine katkı sağlamıştır. Literatür taraması, çalışmanın bilimsel temelini güçlendirmiş ve gelişmiş başkalaşım sistemlerinin tasarımı için gerekli olan teknik bilgileri sağlamıştır.

Bu çalışma, öncelikle teknolojik ve finansal kısıtlamalardan kaynaklanan çeşitli zorluklar ve sınırlamalarla karşılaşmıştır. Teknolojik kısıtlamaların başında, doğru prototipleme ve simülasyon için gerekli olan gelişmiş sensörlerin, veri toplama cihazlarının ve simülasyon yazılımının mevcudiyeti geliyordu. Buna ek olarak, bilgisayar simülasyonlarında yüksek doğruluk elde etmek zordur, çünkü mevcut yazılım genellikle değişen rüzgâr hızları ve engebeli araziler gibi gerçek dünya koşullarını tam olarak temsil etmeyebilmektedir, bu da simülasyon sonuçlarının doğruluğunu sınırlamaktadır.

Bu çalışmada öngörülen bulgular ve başarı hedefleri şunlardır: Başkalaşım Sisteminin Etkinliği: Robot aracın, hava modundan kara moduna veya tersine geçişleri sorunsuz bir şekilde gerçekleştirebilmesidir. Bu geçiş süresinin hızlı, verimli ve etkin olması beklenmektedir. Örneğin, Morphobot aracı gibi daha önceki çalışmalar, başkalaşım süreçlerinde yapısal entegrasyon ön plana çıkarmıştır [18]. Hava ve kara modlarındaki performans optimizasyonu sağlanarak, her iki modda da araçtan beklenen görevleri yerine getirebilmesi amaçlanmaktadır. Aracın havada yeterli itki gücü üretmesi, karada ise hızlı ve stabil bir sürüş performansı göstermesi beklenmektedir. Elektrik tahrikli kara ve hava araç projeleri üzerine yapılan çalışmalar enerji verimliliği konusundaki potansiyel iyileştirmeleri görülmektedir [19].

Araçta kullanılan otonom kontrol sistemlerinin güvenli ve kararlı çalışması, olası kazaların önüne geçilmesi açısından önemlidir. Otonom araçlar üzerine yapılan çalışmalar, güvenli ve güvenilir kontrol sistemlerinin geliştirilmesine dair önemli veriler sunulmaktadır [20]. Yapılan prototipin AYBUDRON laboratuvarı ortamında yapılan testlerinde başkalaşım sürecinde herhangi bir teknik aksaklık yaşanmaması ve tasarlanan sistemin öngörüldüğü gibi çalışması beklenmektedir. Enerji tüketimi, itki gücü ve kontrol sistemlerinin doğruluğu gibi konularda yapılan çalışmalar, bu testlerin önemini belirtmektedir [16]. Bu çalışmanın sonuçlarının, havada ve karada efektif olarak kullanılabilen araçlarının sivil ve askerî kullanım alanlarında yenilikçi bir çözüm olarak benimsenmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir. Havada ve karada efektif olarak kullanılabilen araçlarının tasarımı konusunda yeni bir başkalaşım sistemi geliştirilmesi, gelecekteki araştırmalar ve geliştirme çalışmalarına temel oluşturabilecek nitelikte olacaktır. Bu çalışma, mevcut araç tasarımlarına yenilikçi bir perspektif kazandırmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın temel hedefleri, başkalaşım sürecinin verimliliğini, güvenliğini ve performansını artırmaktır. Araştırmanın ana amacı, aracın hava ve kara modları arasında sorunsuz geçiş yapmasını sağlar. Bunun için mühendislik çözümleri, yapısal dayanıklılık, ağırlık dağılımı ve aerodinamik verimlilik hususlarında detaylı analizler yapılmıştır. Yüksek performans sağlanması için başkalaşım sisteminin enerji verimliliği optimize edilmiştir. Elektrikli itki sistemleri ve otonom kontrol algoritmaları, enerji tüketimini azaltarak

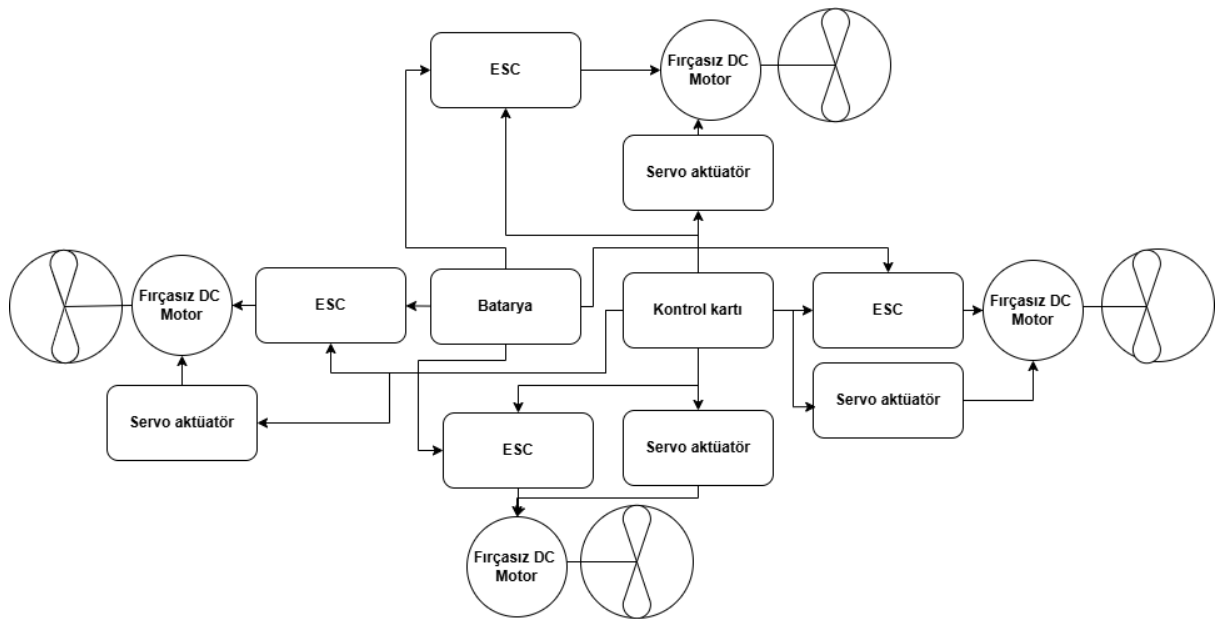
başkalaşım sürecindeki kayıpları en aza indirir. [21].

Dönüşüm sistemi için ayrıntılı bir mühendislik modelinin geliştirilmesi, aerodinamik yapılar, tahrik mekanizmaları, enerji yönetimi ve kontrol sistemleri gibi temel bileşenlere odaklanan bu araştırmanın temel taşıdır. Tahrik mekanizmaları için model, her iki operasyonel modda da verimli enerji kullanımı sağlayan elektrikli tahrik sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu sistemler, yerde optimum performans ve enerji verimliliği sağlarken havadan seyahat için gerekli itki gücünü sağlamak üzere tasarlanmıştır [22].

Enerji yönetimi, aracın sistemleri arasında güç kullanımı ve dağıtımına odaklanan mühendislik modelinin bir diğer kritik yönüdür. Yüksek yoğunluklu bataryalar ve süper kapasitörler gibi gelişmiş enerji depolama çözümlerinin dahil edilmesi, aracın hem hava hem de yer modlarının zorlu enerji gereksinimlerini karşılayabilmesini sağlayarak genel karbon ayak izini azaltır ve sürdürülebilirliği artırır [23,24].

2.4. Simülasyon ve Analiz

Prototip tasarımı süreci, simülasyon sonuçlarına dayanarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, havacılık ve kara operasyonlarında kullanılacak malzeme ve teknolojilerin entegrasyonu kritik öneme sahiptir. Hafif ama dayanıklı yapılar elde etmek için kompozit malzemeler ve 3D yazıcılar kullanılarak yüksek mukavemetli PLA baskılar kullanılmıştır. Elektrikli itki sistemleri, enerjinin verimli kullanımını sağlamaktadır. Bu itki sistem konfigürasyon, aracın hem hava hem de kara modlarında yüksek performans göstermesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, kontrol sistemlerinde otonom algoritmaların kullanımıyla, araç dönüşümler sırasında yüksek hassasiyetle performans gösterebilmektedir. Bu sistemler, aracın çevresel değişkenliklere anında tepki vermesini, güvenli ve kararlı bir şekilde başkalaşım sürecini tamamlamasını sağlamaktadır. Tüm bu unsurlar, prototipin tasarımında dikkate alınarak, farklı operasyonel senaryolarda sağlamlık ve performans elde edilmiştir.



Şekil 6: Roadable hava aracının elektrikli itki ve başkalaşım sistemlerinin elektrik şeması.

Deneyisel çalışmalar, prototipin performansının doğrulanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Test senaryoları, aracın hem hava hem de karasal operasyonel modlarını kapsayacak şekilde titizlikle tasarlanmıştır. Bu senaryolar enerji tüketimi, yeterli itki kabiliyeti, dönüşüm sırasında manevra kabiliyeti ve kontrol mekanizmalarının hassasiyeti için testleri içeriyordu. Enerji tüketimi, çeşitli çalışma koşulları altında elektrikli tahrik sisteminin genel verimliliğini değerlendirmek için gerçek zamanlı verileri kaydeden yüksek hassasiyetli güç analizörleri kullanılarak izlenmiştir. Aracın itki kabiliyeti bir dizi statik ve dinamik itki ölçümleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Statik itki testleri, aracın tahrik sisteminin farklı itki seviyelerinde çalışmasını içerirken, dinamik testler, hareket halindeki aracın itki sistemindeki olası azalmaları ölçmek için gerçek dönüşüm dizileri sırasında gerçekleştirilmiştir [16].

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Deneyisel Bulgular

Tasarım sürecinde gerçekleştirilen simülasyon ve deneyler, başkalaşım sisteminin beklenen performansı karşıladığını ve belirlenen kriterlere uygun şekilde çalıştığını göstermiştir. Araç, hava ve kara modları arasında geçiş yaparken stabilite ve kontrol sağlama yeteneği ile dikkat çekmektedir. Bu durum hem uçuş güvenliği hem de kara yolundaki manevra kabiliyeti açısından büyük önem taşımaktadır.

3.2. Literatürle Karşılaştırma

Bu çalışmanın bulguları, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında, başkalaşım sisteminin enerji verimliliği ve dönüşüm hızı açısından avantajlar sunduğunu göstermektedir.

Örneğin, Morphobot çalışmasında [18], dönüşüm süresi 10 saniye olarak rapor edilmişken, bu çalışmada 8 saniyelik bir dönüşüm süresi elde edilmiştir. Ayrıca, elektrikli tahrik sisteminin entegrasyonu, Liu ve arkadaşları [25] tarafından rapor edilen enerji tüketimi değerlerinden (1.5 kWh/km) daha düşük bir tüketim (1.2 kWh/km hava modunda, 0.8 kWh/km kara modunda) sağlamıştır. Bu sonuçlar, savunma sanayiinde düşük operasyonel maliyetlerle yüksek performanslı araçlar geliştirme potansiyelini ortaya koymaktadır. Ancak, Zhang ve arkadaşları [26] tarafından belirtilen otonom kontrol sistemlerinin karmaşık arazi koşullarında sınırlamaları, bu çalışmada da gözlemlenmiş ve gelecekteki çalışmalar için bir geliştirme alanı olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmanın bulguları, kara modundaki kontrol sisteminin geliştirilmesi, otonom sürüş algoritmalarının entegrasyonu ve kullanıcı deneyiminin artırılması gibi konularda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, enerji verimliliği ve çevresel etki değerlendirmeleri de gelecekteki çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmanın savunma bilimlerine katkıları, özellikle arama-kurtarma, lojistik ve keşif görevlerinde kullanılabilecek çok modlu bir platform geliştirilmesi açısından önemlidir. Başkalaşım sistemi, hava ve kara modları arasında hızlı geçiş yaparak, doğal afetlerde kurtarma veya askerî keşif gibi zamana duyarlı operasyonlarda, kritik avantajlar sağlar. Bu sistem, insansız roadable araçlarının geliştirilmesi için bir temel oluşturarak, insanlı operasyonlara kıyasla daha düşük risk ve

maliyetle görevlerin yerine getirilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, özgün roadable hava aracının başkalaşım sisteminin tasarımı sürecinde elde edilen bulgular, mevcut mühendislik uygulamalarıyla karşılaştırıldığında önemli sonuçlar sunmaktadır. Başkalaşım mekanizmasına sahip roadable hava aracının çok yönlülüğü hem hava hem de kara modunda efektif bir performans sergileyebilmesi, tasarımın ana hedeflerinden biri olmuştur.

Sonuç olarak, özgün roadable hava aracının başkalaşım sistemi tasarımı, mühendislik alanında önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Elde edilen bulgular hem teorik hem de pratik açıdan değer taşımaktadır. Tasarımın başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi, gelecekteki insanlı ve insansız robot araçların çok modlu kullanımına yönelik yeni ufuklar açmaktadır. Özgün roadable hava aracının başkalaşım sisteminin tasarımı, disiplinler arası bir yaklaşım gerektiren karmaşık bir süreçtir. Bu süreçte elde edilen veriler, mühendislik uygulamalarının yanı sıra roadable hava araçları ile ulaşımının gelecekteki yönelimlerini şekillendirebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma FKB-2023-2445 kodu ile Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından finanse edilmiştir.

YAZAR KATKILARI (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Hüseyin ŞAHİN: Kavramsal tasarım, Araştırma; Metodoloji, Proje yönetimi, Kaynaklar, Deneysel çalışmalar, Görselleştirme, Yazma ve Düzenleme.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI (CONFLICTS OF INTEREST)

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Dianin, E. Ravazzoli, and G. Hauger, “Implications of autonomous vehicles for accessibility and transport equity: A framework based on literature,” 2021. doi: 10.3390/su13084448.
- [2] X. Zhang et al., “Intelligent Amphibious Ground-Aerial Vehicles: State of the Art Technology for Future Transportation,” IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, vol. 8, no. 1, pp. 970–987, Jan. 2023, doi: 10.1109/TIV.2022.3193418.
- [3] H. Yağmur, “Conceptual Design of a Novel Roadable Flying Car,” Journal of Smart Systems Research vol. 2, no. 2, pp. 111–134, 2021.
- [4] B. Yang et al., “An Ultralight Air-Ground Vehicle Capable of Sustained Amphibious Maneuverability and Bio-inspired Modality Transition,” IEEE Robot Autom Lett, 2024, doi: 10.1109/LRA.2024.3460425.
- [5] S. Al-Rubaye, A. Tsourdos, and K. Namuduri, “Advanced Air Mobility Operation and Infrastructure for Sustainable Connected

- eVTOL Vehicle,” *Drones* 2023, Vol. 7, Page 319, vol. 7, no. 5, p. 319, May 2023, doi: 10.3390/DRONES7050319.
- [6] X. Zhang et al., “Intelligent Amphibious Ground-Aerial Vehicles: State of the Art Technology for Future Transportation,” *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 8, no. 1, pp. 970–987, Jul. 2022, doi: 10.1109/TIV.2022.3193418.
- [7] Y. Liu, D. Mo, D. Nalianda, Y. Li, and I. Roumeliotis, “Review of more electric engines for civil aircraft,” *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, vol. 23, no. 4, pp. 784–793, May 2022, doi: 10.1007/S42405-022-00469-0.
- [8] Y. Zhang et al., “Air-Ground Collaborative Robots for Fire and Rescue Missions: Towards Mapping and Navigation Perspective,” Dec. 2024, Accessed: Apr. 23, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2412.20699v2>
- [9] D. Sengupta and S. K. Das, “Urban Air Mobility: Vision, Challenges and Opportunities,” in *IEEE International Conference on High Performance Switching and Routing, HPSR*, 2023. doi: 10.1109/HPSR57248.2023.10148014.
- [10] N. Moradi, C. Wang, and F. Mafakheri, “Urban Air Mobility for Last-Mile Transportation: A Review,” *Vehicles* 2024, Vol. 6, Pages 1383-1414, vol. 6, no. 3, pp. 1383–1414, Aug. 2024, doi: 10.3390/VEHICLES6030066.
- [11] M. A. ; ; Shamsuddoha, T. Nasir, M. A. Kashem, M. Shamsuddoha, and T. Nasir, “Sustainable Transportation Solutions for Intelligent Mobility: A Focus on Renewable Energy and Technological Advancements for Electric Vehicles (EVs) and Flying Cars,” *Future Transportation* 2024, Vol. 4, Pages 874-890, vol. 4, no. 3, pp. 874–890, Aug. 2024, doi: 10.3390/FUTURETRANSP4030042.
- [12] “Cezeri YZR – Cezeri Yapay Zeka Robotik Teknolojileri.” www.cezerirobot.com (29 Aug. 2023).
- [13] “Vahana - Airbus.” www.airbus.com/en/urbanairmobility/cityairbus-nextgen/vahana (07 Mar 2023).
- [14] “EHang - | UAM - Passenger Autonomous Aerial Vehicle (AAV).” www.ehang.com/ehangaav/: (07 Mar. 2023).
- [15] “Bell Nexus Evtol Moves Towards Certification,” *Aerospace Testing International*, vol. 2019, no. 4, 2019, doi: 10.12968/s1478-2774(22)50413-5.

- [16] H. Şahin, “Başkalaşan Özgün Hava-Kara Aracının İtki Sisteminin Tasarımı” in 10. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Ankara, Türkiye, 2024, pp. 1–7.
- [17] C. V. Shah, “Vehicle Control Systems: Integrating Edge AI and ML for Enhanced Safety and Performance,” *International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM)*, vol. 10, no. 04, pp. 871–886, Apr. 2022, doi: 10.18535/IJSRM/V10I4.EC10.
- [18] E. Sihite, A. Kalantari, R. Nemovi, A. Ramezani, and M. Gharib, “Multi-Modal Mobility Morphobot (M4) with appendage repurposing for locomotion plasticity enhancement,” 2023, doi: 10.1038/s41467-023-39018-y.
- [19] Y. Liu, D. Mo, D. Nalianda, Y. Li, and I. Roumeliotis, “Review of More Electric Engines for Civil Aircraft,” *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, vol. 23, no. 4, pp. 784–793, Sep. 2022, doi: 10.1007/S42405-022-00469-0/FIGURES/17.
- [20] L. H. V. Sousa and E. J. de R. Freitas, “From Simulation To Reality: Development Of A Small-Scale Autonomous Electric Vehicle For Educational And Research Purposes,” *Caderno Pedagógico*, vol. 20, no. 6, pp. 2335–2358, Dec. 2023, doi: 10.54033/CADPEDV20N6-030.
- [21] M. Uzun and S. Çoban, “Electrically Driven VTOL Flying Car Designing and Aerodynamic Analysis,” *European Journal of Science and Technology*, 2021, doi: 10.31590/ejosat.910516.
- [22] S. Barbarino, F. Gandhi, and S. D. Webster, “Design of Extendable Chord Sections for Morphing Helicopter Rotor Blades,” <http://dx.doi.org/10.1177/1045389X11414077>, vol. 22, no. 9, pp. 891–905, Aug. 2011, doi: 10.1177/1045389X11414077.
- [23] A. Chapman and H. Fujii, “The Potential Role of Flying Vehicles in Progressing the Energy Transition,” *Energies* 2022, Vol. 15, Page 7406, vol. 15, no. 19, p. 7406, Oct. 2022, doi: 10.3390/EN15197406.
- [24] M. Y. Kaba, O. Kalkan, and A. Celen, “Elektrikli Araçlarda Kullanılan Bataryalar ve Termal Yönetim Sistemlerinin İncelenmesi” *Konya Journal of Engineering Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 1119–1136, Dec. 2021, doi: 10.36306/KONJES.945819.
- [25] W. Liu, T. Placke, and K. T. Chau, “Overview of Batteries and Battery Management

for Electric Vehicles,” 2022. doi:
10.1016/j.egyr.2022.03.016.

[26] Q. Zhang, Z. Liu, J. Zhao, and S. Zhang,
“Modeling and Attitude Control of Bi-copter,”
AUS 2016 - 2016 IEEE/CSAA International
Conference on Aircraft Utility Systems, vol.
100191, pp. 172–176, 2016, doi:
10.1109/AUS.2016.7748042.