

BAŞKALAŞAN ÖZGÜN HAVA-KARA ARACININ İTKİ SİSTEMİNİN TASARIMI

Hüseyin ŞAHİN¹
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara

ÖZET

Bu makalede havada yerde güvenli bir şekilde kullanım sağlayan başkalaşabilen özgün hava ve karada hibrit kullanılabilen aracın itki sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gelecek teknolojilerinden biri olan uçan araba formlarından biri olan bu araçta itki sistemi olarak da modern araç itki sistemlerinden elektrik tahrikli itki sistemleri tercih edilmiştir. Araç platformunun 4 köşesine yerleştirilen elektrik enerjisi ile tahrik edilen 4 adet fırçasız DC motorun şaftına havada hareket edebilmesi için çember içerisinde bir pervane takılarak yerdeki hareketlerinde pervanenin korunması sağlanmıştır. Konvansiyonel elektrik tahrikli hava aracı itki sistemlerinde kullanılan bileşenler batarya, hız kontrol bilgisayarı, fırçasız DC motor ve pervanedir. Başkalaşan özgün hava-kara aracının itki sistemi konvansiyonel itki sistemlerine ek olarak pervane etrafına yerleştirilen koruma ve pervane yönünü değişimine imkan sağlayan mekanizma kullanılmaktadır. Böylece araç havada ve karada güvenli bir şekilde kullanıma elverişli hale gelmektedir. Araç hava modunda quadcopter döner kanatlı hava aracı gibi hareket ederken, kara modunda ise konvansiyonel bir kara aracı gibi hareket etmektedir. Hava ve kara modları arasında geçişi sağlayan 3bsd mekanizması ise motorların şaft yönünü yere paralelden yere dik konuma değiştirerek sağlamaktadır. Motor şaftı yere dik iken pervane itki üretecek ve kaldırma kuvveti sağlayarak havada uçuş hareketini sağlayacaktır. Motor şaftı yere paralel iken pervane etrafındaki koruyucu çember konvansiyonel tekerler gibi davranarak karada hareketini sağlamaktadır.

GİRİŞ

Bu çalışmada havada ve karada efektif bir şekilde kullanılabilen bir robot olan özgün hava-kara aracının itki sistemi tasarlarken dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir. Bu tür araçlar içerisinde yolcu taşımaları halinde bu araçlara uçan araba olarak literatüre geçmiştir. Yolcu taşımayanları ise robot ismi verilmektedir. İnsansız sistemler ve robotik sistemleri çeşitli problemleri çözmek için kullanılabilir. Robotik sistemlerin en önemli avantajları tehlikeli ve sıkıcı görevleri efektif bir şekilde yerine getirebilmektedir. Robotik ve insansız sistemler birçok görevi uygun maliyetle ve tehlikesiz olarak görevini yerine getirebilir[Arnold, Carey, Abruzzo, Korpella, 2019]. Hem karada hem de havada hareket etmeye elverişli olan robotik sistemler de yer almaktadır[Sihite, Kalantri, Nemovi, Ramezani, Gharib, 2023].

Hibrit hava-kara araçları hem havada hem de karada çalışabilme yetenekleri sayesinde büyük esneklik ve avantajlar sunarak giderek daha fazla ilgi çekmektedir[Pan, Alouini, 2021]. Bu araçlar, acil durum müdahaleleri, askeri operasyonlar, lojistik destek ve tarım gibi birçok alanda önemli faydalar sağlamaktadır. Modern elektrik tahrikli sistemlerin kullanımı, fosil yakıtlara kıyasla çevre dostu ve sürdürülebilir çözümler sunmakta, karbon ayak izini azaltmaktadır[Ahmed, Hulme, Fountas, Eker, Bedyk, Still, Anastasopoulos, 2020; Jing, Yan, Kim, Sarvi, 2016; Sahoo, Zhao, Kyprianidis, 2020].

¹ Öğr. Gör. Dr. Uçak Tek. E-posta: hsahin@aybu.edu.tr

Bu çalışmada hem hava hem de kara ortamında güvenli ve verimli bir şekilde çalışabilecek bir itki sisteminin tasarımı ele alınmıştır. Elektrik motorlarının ve pervane-tekerlek kombinasyonunun iki amaca hizmet edecek şekilde tasarlanması, aracın hem havada itki kuvveti oluşturabilmektedir hem de karada hareket yeteneklerini sağlayabilmektedir. Bu tür hava araçlarında itki sisteminin tasarımı manevra kabiliyeti, güvenlik ve dayanıklılık gibi çeşitli koşullarda kritik öneme sahiptir.

Hibrit hava-kara araçlarının çok yönlü uygulama potansiyeli, birçok sektörde dönüştürücü etkiye sahiptir. Bu araçlar, acil müdahale ve afet yönetiminde, askeri ve savunma sektörlerinde, tarım ve ormancılıkta, lojistik ve dağıtımda ve bilimsel araştırma ve keşif alanlarında önemli iyileştirmeler ve yenilikler vaat etmektedir. Gelişmiş malzemeler, yedekli sistemler ve sıkı düzenleyici standartlara bağlılık, hibrit hava-kara araçlarının güvenli ve dayanıklı olmasını sağlamaktadır.

YÖNTEM

Başkalaşan araçlar literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Bu araçların bir kısmı yürüyebilme[Kim, Spieler, Lupu, Ramezani, Chung, 2021; Peterson, Fearing, 2011; Suzumura, Fujimoto, 2014; Thomson, Sharf, Beckman, 2012], sürünebilme[Kotikian, McMahan, Davidson, Muhammad, Weeks, Daraio, Lewis, 2019], yüzebilme[Ishida, Drotman, Shih, Hermes, Luhar, Tolley, 2019] veya birçok görevi kombine bir şekilde yapabilme kabiliyetine sahiptir.

Bu çalışma hem havada hem de karada kullanıma uygun olan hibrit hava-kara araçları için tahrik sisteminin tasarımına odaklanmaktadır. Havacılık ve uzay mühendisliği, hibrit araç tasarımı ve tahrik sistemleri tasarım gereksinimlerini tanımlanarak, mühendislik analizlerini denetlenerek ve simülasyonları gerçekleştirilmiştir. SolidWorks gibi modern mühendislik araçlarının ve yazılımlarının entegrasyonu sağlandı.

Çalışmada, özgün hibrit hava-kara aracının tahrik sistemini tasarlamak için dört fırçasız DC motor, bataryalar, hız kontrolörleri ve pervane-lastik kombinasyonları kullanılmıştır. Bu bileşenler, verimli ve güvenilir çalışmayı sağlamak için SolidWorks kullanılarak ayrıntılı olarak modellenmiş ve analiz edilmiş bir itki yön değiştirici ile birlikte tasarlanmıştır. Araştırma, mühendislik ilkelerinden ve modern CAD araçlarından yararlanarak hibrit araç uygulamalarına önemli ölçüde katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada kullanılan itki yön değiştirici tasarım ve analiz için endüstri standardı CAD ve CAE uygulamaları sağlayan SolidWorks yazılımı kullanılmıştır. Araç bileşenleri ve entegre sistemler modellenmiş ve analiz edilerek çeşitli tasarım senaryolarının simülasyonuna olanak sağlanmıştır. Çalışmada, aracın hem hava hem de kara modlarında verimli çalışmasını sağlamak için entegre edilmiş fırçasız DC motorlar, Li-Po bataryalar ve kontrol sistemleri kullanılmıştır. SolidWorks ile yapılan detaylı mühendislik analizleri, bileşenlerin statik ve dinamik yükler altındaki performansını değerlendirdi. Yazılımın doğrulama ve test özellikleri potansiyel tasarım zayıflıklarını tespit ederek gerekli iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir.

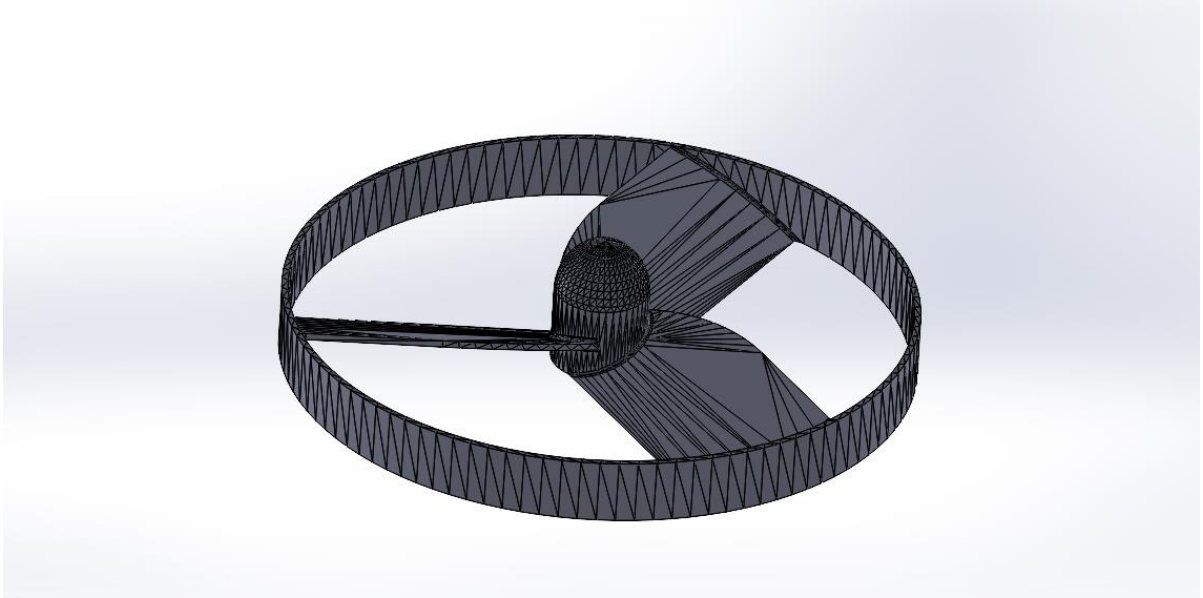
Özellikle hem hava hem de kara modlarında çalışan araçlar için karmaşık mekanik sistemlerin ve entegre itki sistemlerinin tasarlanması ve modellenmesi zordur. Etkili ve güvenilir geçiş mekanizmaları, SolidWorks gibi CAD yazılımları kullanılarak ayrıntılı modelleme ve analiz gerektirir. Elektrik motorları, pervaneler ve tekerlekler gibi bileşenlerin entegrasyonu karmaşıklığı artırır ve hassas mühendislik hesaplamaları gerektirir. Tasarım, yeterli tork ve hız sağlayan motorlar ve verimli çalışmayı destekleyen bataryalar ile her iki modda da kararlılığı sağlamalıdır. Simülasyonlar ve testler tasarım iyileştirmelerine rehberlik ederek mod geçişleri sırasında performans kararlılığı sağlar.

Prototip oluşturma ve test etme, yenilikçi olan hava-kara aracı projesinin kritik ancak zorlu yönleridir. Prototipleme, pahalı bileşenler ve titiz işçilik gerektiren benzersiz tasarımlarla birlikte yüksek maliyetler ve kaynak talepleri içermektedir. Hibrit hava-kara araçlarının test edilmesi hem hava hem de kara denemeleri için geniş ve güvenli ortamlar gerektirir. Özellikle hava testleri sırasında güvenliğin sağlanması çok önemlidir. Doğru ve güvenilir test verileri gelecekteki gelişim için hayati önem taşımaktadır. Bu tür projelerin başarısı büyük ölçüde etkili prototip üretimi ve testine bağlı olduğundan, bu zorluklar dikkatli planlama ve stratejik kaynak kullanımı gerektirir.

Bilimsel ve teknik belirsizlikler, hibrit hava-kara araçlarının geliştirilmesinde önemli zorluklar teşkil etmektedir. Yenilikçi tasarımlar genellikle öngörülemez riskler içerir ve sürekli adaptasyon ve problem çözme gerektirir. Yeni malzemeler ve tasarım yöntemleri performansı ve güvenliği artırabilir ancak kapsamlı test ve doğrulama gerektirir. Gelişmiş kontrol sistemleri ile motorlar ve bataryalar gibi kritik bileşenlerin entegrasyonu karmaşıklığı artırır. Bu belirsizliklerin yönetilmesi, riskleri azaltmak ve inovasyon sürecinin başarısını artırmak için kapsamlı planlama ve sürekli test gerektirir.

Pervane-Teker sistemi

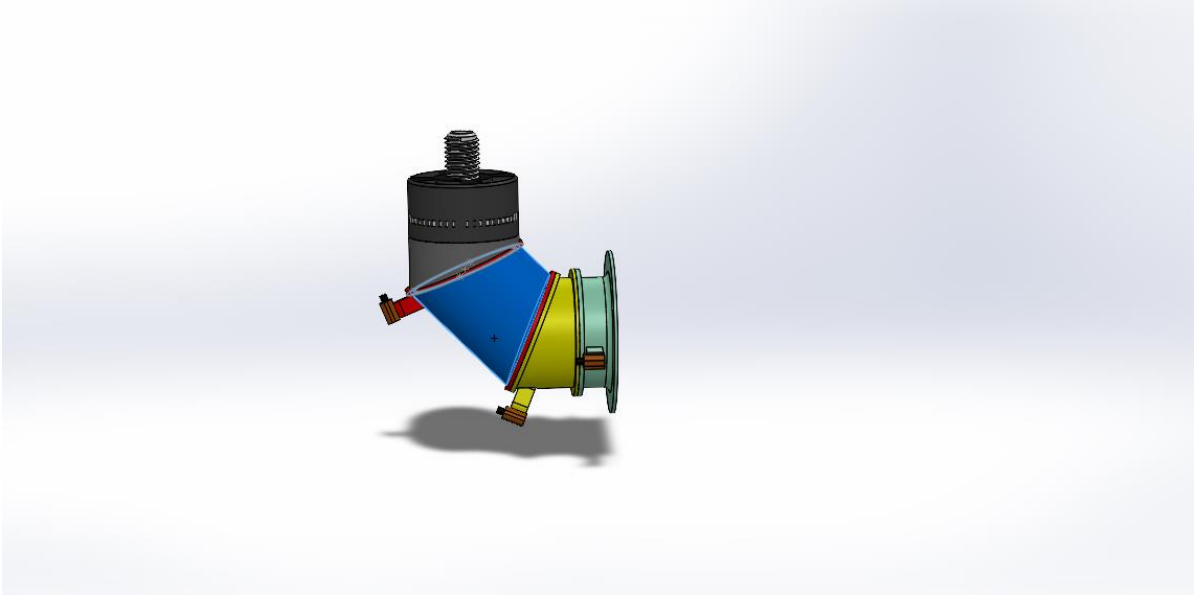
Motora bağlı olan pervane-teker sistemi robotun hava modunda pervane gibi, kara modunda ise pervane koruyucusu olan parçanın tekerlek olarak çalışmasını sağlamaktadır[Yu, Tang, Zhang, Liu, 2010]. Bu sistem sayesinde her iki modda da güvenli ve verimli bir şekilde motorun dönme hareketini itkiye çevirebilmektedir. Hava modunda pervaneler dönerek kaldırma kuvveti oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Kara modunda ise pervanelerin üzerine yerleştirilmiş koruyucu ekipmanlar yere temas ederek kara aracı tekerleri gibi davranmasına yardımcı olacaktır. Motor yönü değiştirme sistemi sayesinde aynı zamanda pervane-teker sisteminin de yönün değiştirecektir. Böylece kara modundan ve hava moduna geçiş sağlanabilmektedir.



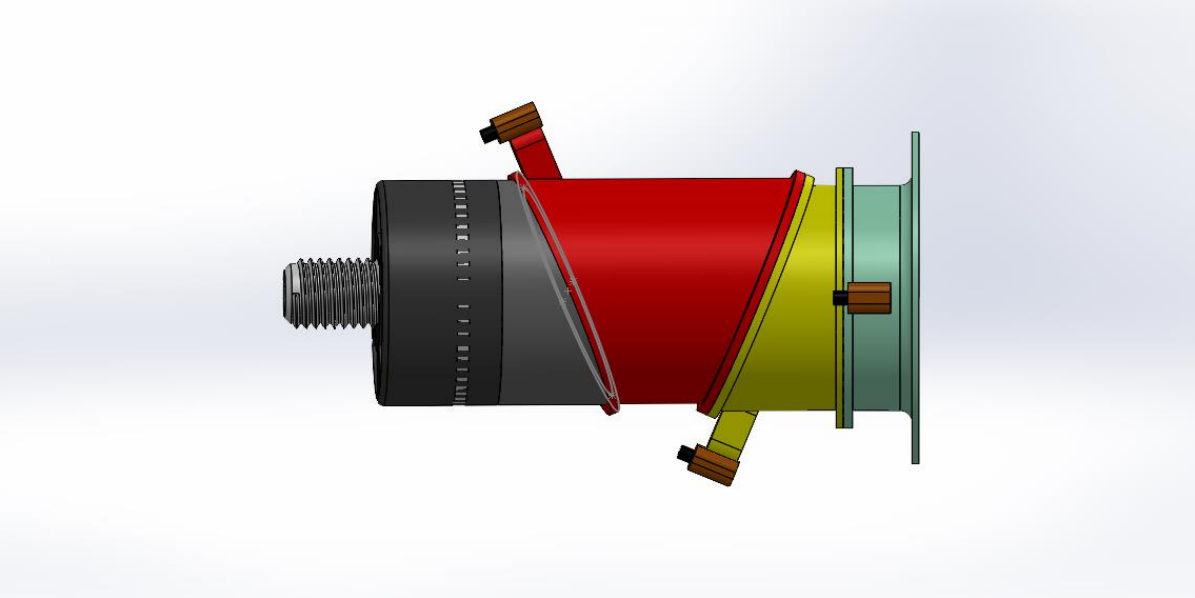
Şekil 1. Karada ve Havada İtki Sağlayan Pervane-Teker Sistemi

Motor yönü değiştirme sistemi

Pervane motor kombinasyonunun yönünün değişmesi robot sisteminin en temel yapısı konumundadır. Ana itki sistemi olan pervane-teker kombinasyonunun yönü değişerek hava ve kara modları arasındaki geçişi sağlamaktadır. Motor yönü değiştirme sisteminde servo aktüatörler kullanılarak motorun bağlı olduğu motor yuvasının yere göre konumunun değişimine olanak sağlamaktadır. Motor yuvası ve bağlı elemanlar servo aktüatörler arasında dişli sistemler yer almaktadır. Böylece servo motorun hareketi motor yuvasına aktarımı gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2. Robot sistemin hava modunda motor yönü

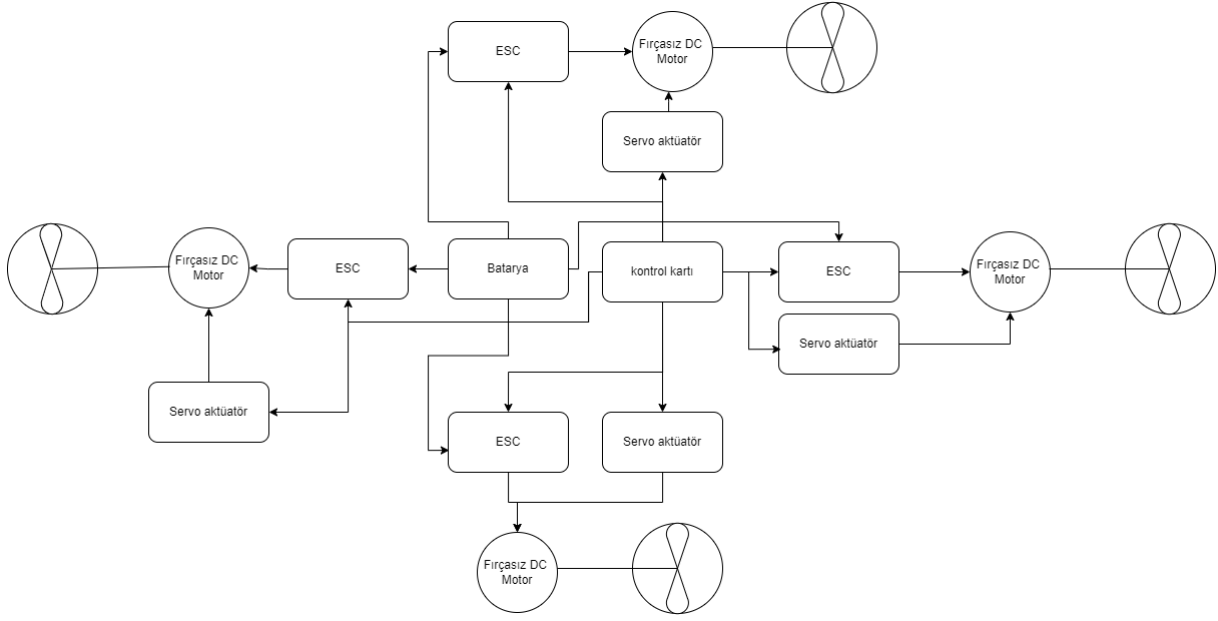


Şekil 3. Robot Sistemin kara modunda motor yönü

Elektrik tahrikli itki sistemleri

Modern sistemlerin çoğunda itki sistemi temel enerji kaynağı olarak elektrik enerjisi tercih edilmektedir. Bu tercihin temel nedeni olarak da elektrik enerjisi yenilenebilir kaynaklardan kullanılabilir olması, ucuz, kolay uygulanabilir olması gibi birçok faktör yer almaktadır. Temel enerji kaynağı elektrik olan itki sistemlerinde kullanılan komponentler elektrik motoru, motor hız kontrolcüsü ve bataryadır[Şahin, Oktay, 2017]. Elektrikli motorun dönüş hareketinin itki üretebilmesi için ise pervane veya teker gibi parçalara da ihtiyaç bulunmaktadır.

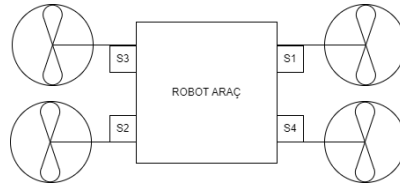
Motor ve batarya teknolojilerinin belirli sınırlamaları vardır. Elektrikli tahrik sistemlerinde kullanılan döngüsel hareketi fırçasız DC motorlar sağlamaktadır. Enerjisi depo edip, operasyon için temel enerji kaynağı batarya, kapasite ve enerji yoğunluğuna bağlıdır olarak belirlenirken; Lityum bataryalar yüksek enerji yoğunluğu sunmakla birlikte şarj süresi ve kullanım ömrü gibi sınırlamalara sahiptir. Kontrol sistemi tasarımı ve entegrasyonu karmaşıktır ve hem hava hem de kara modlarında güvenli ve verimli çalışma için sofistike algoritmalar ve gerçek zamanlı veri işleme gerektirir. Kapsamlı simülasyonlar ve testler gereklidir ancak hesaplama gücü ve zaman açısından zordur ve gerçek dünya koşullarında sistem performansının optimizasyonunu zorlaşmaktadır.



Şekil 4. Hibrit hava-kara aracının itki sisteminin elektrik şeması

Başkalaşan özgün hibrit hava-kara aracının ağırlığı kullanım amacı ve alanı göz önüne alınarak güvenli bir şekilde seyrüsefer sağlayabilmesi için hava modunda üretmesi gereken itki robot sisteminin toplam ağırlığının en az 2 katı olması gerekmektedir. 850gr olarak tasarlanan robot sisteminin 1700gr kaldırma kuvveti oluşturması gerekmektedir. Her bir pervanenin 425gr kaldırma kapasitesine sahip olması anlamına gelmektedir. Pervane çapı 5", hatvesi 3" olan sistemde elektrik motorları 2250kv değerindeki motorlar tercih edilmiştir. Seçilen motorların maksimum yükte çalıştığında aracın enerji tüketimi 140W olarak hesaplandığı için 20A gücündeki ESC'ler tercih edilmiştir. Batarya seçimi hava modu için önemli bir parametredir. Düşük ağırlık ve yüksek güç verebilen Lityum bazlı batarya tercih edilmiştir. 3700mAh kapasiteli bataryanın 11.3 dakika uçuş sağlayabildiği hesaplanmıştır.

Elektrikli itki sistemine sahip olan robot sisteminin konvansiyonel quadcopter hava araçları gibi 4 pervane sistemine sahiptir. Konvansiyonel quadcopter hava araçlarından farkı tricopter hava araçlarının kuyruk rotorunda olduğu gibi rotorun yönünü değiştirmeye yardımcı olacak servo motorlar ile donatılmış olmaları. Bu servo motorlar her bir rotor şaftına takılarak bütün şaftların ve rotorların dönmesini ve böylece hava modundan kara moduna geçişine imkan tanıyacaktır. Robot sistem hava aracı moduna alındığında kontrol kartından servo aktüatörlere sinyal gönderilir ve pervane-teker sisteminin bağlı olduğu motor yuvasının yönü değişir ve quadcopter hava aracı görüntüsüne sahip olur.



Şekil 5. Başkalaşan robot araç sisteminin hava modunda üstten görüntüsü

SONUÇ

Başkalaşan özgün hava-kara aracı hem havada hem de karada efektif bir şekilde kullanılabilmesi için itki sisteminin özenle tasarlanması ve üretilmesi gerekmektedir. İtki sisteminin temel enerji kaynağı olarak elektrik tercih edilmiştir. Hava aracı modunda motorların yüksek hızda dönmesi gerekliliğinden dolayı fırçasız DC motorlu tasarlanmıştır. Kullanılan motor sayısını azaltmak ve efektif bir şekilde kullanılması için motor yönünün değiştirilmesi gerekmektedir. Kullanılan tekerlerin aynı zamanda pervane olarak kullanılabilmesi için pervane ve tekeri tek bir yapıda birleştirilmiştir.

Gelecekte, bu tür hibrit hava-kara araçlarının daha geniş bir uygulama yelpazesine yayılması beklenmektedir. Örneğin, şehir içi ulaşımda trafik sıkışıklığını azaltma, afet bölgelerinde hızlı müdahale ve malzeme taşımacılığı gibi alanlarda önemli katkılar sağlayabilirler. Ayrıca, bu araçların askeri ve güvenlik amaçlı kullanımları, sınır güvenliği ve keşif görevlerinde büyük faydalar sağlayabilir.

Teknolojik gelişmeler ve yenilikçi mühendislik çözümleri, hibrit hava-kara araçlarının performansını ve güvenilirliğini artırmaya devam edecektir. Özellikle, daha güçlü ve verimli batarya teknolojilerinin geliştirilmesi, bu araçların menzilini ve operasyonel sürelerini önemli ölçüde uzatacaktır. Ayrıca, otonom sistemlerin entegrasyonu ile bu araçların daha bağımsız ve akıllı bir şekilde hareket etmeleri sağlanacaktır.

Bu çalışma, hibrit hava-kara araçlarının gelecekteki potansiyelini ve uygulama alanlarını vurgulayarak, bu alandaki araştırma ve geliştirme çalışmalarının önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. İtici sistemlerinin optimize edilmesi ve yeni teknolojilerin entegrasyonu ile bu araçların daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması mümkün olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2445 kodu ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ahmed, S. S., Hulme, K. F., Fountas, G., Eker, U., Benedyk, I. V., Still, S. E., & Anastasopoulos, P. C. (2020). The Flying Car—Challenges and Strategies Toward Future Adoption. *Frontiers in Built Environment*, 6, 544716. <https://doi.org/10.3389/FBUIL.2020.00106/BIBTEX>
- Arnold, R., Carey, K., Abruzzo, B., & Korpela, C. (2019). What is A Robot Swarm: A Definition for Swarming Robotics.
- Ishida, M., Drotman, D., Shih, B., Hermes, M., Luhar, M., & Tolley, M. T. (2019). Morphing Structure for Changing Hydrodynamic Characteristics of a Soft Underwater Walking Robot. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(4), 4163–4169. <https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2931263>
- Jing, W., Yan, Y., Kim, I., & Sarvi, M. (2016). Electric vehicles: A review of network modelling and future research needs. In *Advances in Mechanical Engineering* (Vol. 8, Issue 1). <https://doi.org/10.1177/1687814015627981>
- Kim, K., Spieler, P., Lupu, E. S., Ramezani, A., & Chung, S. J. (2021). A bipedal walking robot that can fly, slackline, and skateboard. *Science Robotics*, 6(59). <https://doi.org/10.1126/scirobotics.abf8136>
- Kotikian, A., McMahan, C., Davidson, E. C., Muhammad, J. M., Weeks, R. D., Daraio, C., & Lewis, J. A. (2019). Untethered soft robotic matter with passive control of shape morphing and propulsion. *Science Robotics*, 4(33), 7044. https://doi.org/10.1126/SCIROBOTICS.AAX7044/SUPPL_FILE/AAX7044_SM.PDF
- Pan, G., & Alouini, M. S. (2021). Flying Car Transportation System: Advances, Techniques, and Challenges. *IEEE Access*, 9, 24586–24603. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056798>
- Peterson, K., & Fearing, R. S. (2011). Experimental dynamics of wing assisted running for a bipedal ornithopter. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*. <https://doi.org/10.1109/IROS.2011.6048800>
- Şahin, H., & Oktay, T. (2017). Powerplant System Design for Unmanned Tricopter. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics*, 1, 9–21.
- Sahoo, S., Zhao, X., & Kyprianidis, K. (2020). A Review of Concepts, Benefits, and Challenges for Future Electrical Propulsion-Based Aircraft. *Aerospace 2020*, Vol. 7, Page 44, 7(4), 44. <https://doi.org/10.3390/AEROSPACE7040044>
- Sihite, E., Kalantari, A., Nemovi, R., Ramezani, A., & Gharib, M. (2023). Multi-Modal Mobility Morphobot (M4) with appendage repurposing for locomotion plasticity enhancement. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39018-y>
- Suzumura, A., & Fujimoto, Y. (2014). Real-time motion generation and control systems for high wheel-legged robot mobility. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(7). <https://doi.org/10.1109/TIE.2013.2286071>

- Thomson, T., Sharf, I., & Beckman, B. (2012). Kinematic control and posture optimization of a redundantly actuated quadruped robot. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2012.6224927>
- Yu, J., Tang, Y., Zhang, X., & Liu, C. (2010). Design of a wheel-propeller-leg integrated amphibious robot. 11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2010, 1815–1819. <https://doi.org/10.1109/ICARCV.2010.5707341>