

Atf İçin: Çaçka, S. ve Gökçe, B. (2023). Mikro İnsansız Hava Aracı İçin Batarya Tüketim Modelinin Elde Edilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 252-258.

To Cite: Çaçka, S., & Gökçe, B. (2023). Obtaining Battery Consumption Model For The Micro Unmanned Aerial Vehicle. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1), 252-258.

Mikro İnsansız Hava Aracı İçin Batarya Tüketim Modelinin Elde Edilmesi

Serkan ÇAŞKA^{1*}, Barış GÖKÇE²

Öne Çıkanlar:

- Mikro İHA'ların batarya tüketim değerleri ile regresyon modelleri oluşturulabilmektedir.
- Batarya tüketiminin modellenmesinde doğrusal olmayan modeller ve yöntemler kullanılmalıdır

Anahtar Kelimeler:

- İnsansız hava aracı
- Batarya tüketim modeli
- Doğrusal regresyon
- Doğrusal olmayan regresyon

ÖZET:

İnsansız hava araçları günümüzde insanlar için tehlikeli ve zahmetli olabilecek birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu araçların kullanım alanını kısıtlayan en büyük etkenlerden biri batarya kapasitelerinin birçok uygulama için yeterli olmamasıdır. Son yıllarda, bu kısıtın ortaya çıkardığı zorlukları en aza indirmek için insansız hava araçlarının farklı etkenler altında batarya tüketimlerinin nasıl gerçekleştiğine dair çalışmalar olmuştur. Bu çalışmada mikro sınıfında bir insansız hava aracının yatay düzlemde farklı hızlarda hareket ettirilmesi durumunda oluşacak batarya tüketim değerleri deneysel olarak elde edilmiştir. Batarya tüketimine ait veriler kullanılarak doğrusal regresyon ve doğrusal olmayan regresyon yöntemleri ile batarya tüketim modelleri elde edilmiştir. Deneysel veriler ve modellerin başarısını gösteren sonuçlar tablo ve grafik halinde sunulmuştur.

Obtaining Battery Consumption Model For The Micro Unmanned Aerial Vehicle

Highlights:

- Regression models can be created using battery consumption values of Micro UAVs
- Nonlinear models and methods should be used in modeling the battery consumption of micro UAVs.

Keywords:

- Unmanned aerial vehicle
- Battery consumption model
- Linear regression
- Nonlinear regression

ABSTRACT:

Today, unmanned aerial vehicles are used in many applications that can be dangerous and troublesome for humans. One of the most important factor that limits the usage of these vehicles is that the battery capacities are not sufficient for many applications. In recent years, there have been studies on how the battery consumption of unmanned aerial vehicles occurs under different factors in order to minimize the difficulties caused by this constraint. In this study, the battery consumption value that will occur when a micro class unmanned aerial vehicle is moved with different speeds in the horizontal plane have been obtained experimentally. Battery consumption models were obtained using linear regression and non-linear regression methods using data on battery consumption. Experimental data and the results shows the success of the models are presented in tables and graphs.

¹ Serkan ÇAŞKA (Orcid ID: 0000-0002-2157-8931), Manisa Celal Bayar Üniversitesi, HFT Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

² Barış GÖKÇE (Orcid ID: 0000-0001-6141-7625), Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Serkan ÇAŞKA, e-mail: serkan.caska@cbu.edu.tr

GİRİŞ

İnsansız araçlar uzaktan kontrol edilebilen, içinde veya üzerinde insan operatörü bulunmayan platformlardır. İnsansız araçlar çoğunlukla insanlı araçlar ile yürütülmesi tehlikeli ve zor olan görevlerde kullanılmaktadır. İnsansız hava aracı (İHA) içinde pilot bulunmayan bir tür uçan araçtır (Kahvevi ve Can, 2017). Günümüzde İHA'lar çoğunlukla keşif amaçlı kullanılmaktadır. Bununla birlikte, İHA'lar, son zamanlarda yangın söndürme gibi özel görevlerde de kullanılmaktadır.

Ağırlığı 2 kg'dan az olan İHA'lara mikro İHA denir ve bu İHA'lar insansız araçlar teknolojisinde önemli bir yere sahiptir (Lykou ve ark., 2020). Mikro İHA'ların neredeyse tamamı enerjisini bir bataryadan sağlayıp elektrik motoru tahrikli olarak çalışmaktadır (Zakaria ve ark., 2012). 4 adet motoru ve pervanesi olan yüksek uçuş kabiliyetine sahip İHA'lara quadcopter veya dört rotorlu denmektedir (Ostojic ve ark., 2015). Dört rotorlular helikopterlerin aksine simetrik olarak yerleştirilmiş pervaneler içerir. Dört rotorlunun kontrolü motorların dönüş hızı değiştirilerek sağlanır (Thua ve ark., 2017). Dört rotorlu İHA'lar dikey iniş ve kalkış yapabilen robotlardır. Yüksek manevra kabiliyeti sağlayan tasarımları sayesinde hem kapalı hem açık alanda uçabilirler (Stolaroff ve ark., 2018). Ayrıca fiyatlarının düşüklüğü ve kolay monte edilebilmesi sebebiyle birçok farklı alandan araştırmacının İHA seçimi konusunda başlıca tercihidir.

Literatürde, İHA'ları içeren birçok çalışma mevcuttur. Bununla birlikte İHA'ların enerji tüketimini inceleyen çalışmaların sayısı sınırlıdır (Alyassi ve ark., 2022). Geliştirilen modellerin önemli bir kısmı deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş tahmine dayalı yaklaşık sonuç veren modellerdir (Zhang ve ark., 2021). İHA üzerindeki harici yük, İHA'nın yatay ve dikey hızı gibi değişkenlerin İHA'nın enerji tüketiminde etkili olduğu bilinmektedir (Abeywickrama ve ark., 2018). Özellikle lojistik alanında zaman ve yakıt tüketimi önemli bir etken olduğu için İHA'ların enerji tüketimine ait çalışmalar son yıllarda artmıştır (Aiello ve ark. 2021). İHA'ların enerji tüketiminin modellenmesi ve İHA'ların görev sürekliliğinin sağlanması birçok araştırmaya konu olmuştur (Jaafar W ve ark., 2021). İHA'ların üzerine solar paneller yerleştirilerek dahili güç sağlama ve İHA bataryası çevresinde elektromanyetik alan oluşturarak harici güç sağlama gibi yöntemlerden hangisinin daha verimli olduğu literatürde tartışılmıştır (Pham ve ark., 2022).

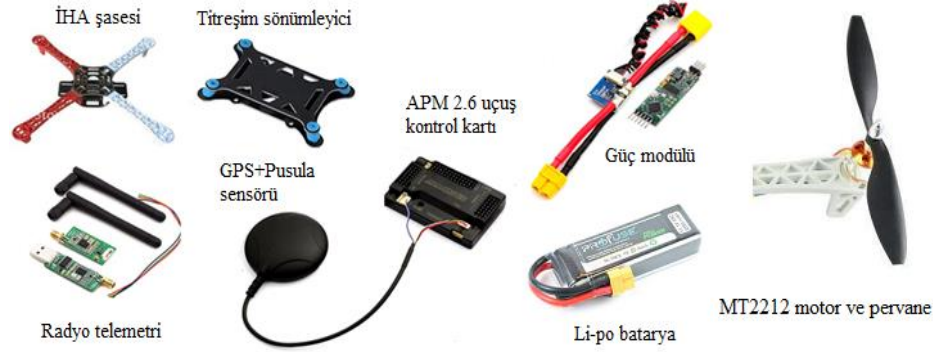
Doğrusal regresyon, bir dizi noktaya en uygun düz çizgiyi bulmak için kullanılan bir yöntemdir. Başka bir ifadeyle doğrusal regresyon, bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasında en uygun düz çizgiyi kullanarak doğrusal bir ilişki kurar (Uyanık ve Güler, 2013). Doğrusal olmayan regresyon, bir çıkış büyüklüğünün ya da bir bağımlı değişkenin bir veya birden fazla bağımsız değişken ile arasında doğrusal olmayan ilişkisini ihtiva eden bir fonksiyonla modellenmesini içeren bir regresyon analizi türüdür (Uysal ve ark., 2021).

Bu çalışmada mikro İHA'ların yatay düzlemde farklı hız değerleri ile hareket ettirilmesi durumunda meydana gelecek batarya tüketim değerleri deneysel olarak elde edilmiştir. Bu verilerle, doğrusal regresyon ve doğrusal olmayan regresyon yöntemleri kullanılarak batarya tüketim modelleri elde edilmiştir. Batarya tüketim modelleri deneysel olarak uygulanmamış hızlarda da batarya tüketiminin nasıl olacağını tahmin edilmesini sağlayacaktır. Modellerin başarısı R^2 ve MSE kriterleri dikkate alınarak tartışılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan mikro İHA'ların yapısında 4 adet fırçasız doğru akım motoru kullanılmıştır. İHA yapısındaki motorlar MT2212 türünde olup düşük maliyetli olması sebebiyle temin edilmesi kolaydır ve robot uygulamalarında oldukça fazla tercih edilmektedir. Mikro İHA bataryası Lithium-polimer yapıda olup 2200 mAh 11.1 Volt olarak seçilmiştir. Motor hız kontrolcüsü (MHK) ile

4 adet fırçasız doğru akım motorlarının hız kontrolü yapılmaktadır. MHK uçuş kontrol kartından aldığı darbe genişlik modülasyonu sinyallerine göre motor hızlarını düzenlemektedir ve İHA'nın istenen yönde hareket etmesini sağlamaktadır. Mikro İHA'nın uçuş kontrol kartı ArduPilot Mega (APM) 2.6 uçuş türündendir. Uçuş kontrol kartında dahili olarak ivme ölçer, barometre ve jiroskop bulunmaktadır. Uçuş kontrol kartına harici olarak pusula ve GPS bağlanabilmektedir. İHA şasesi F450 tipte seçilmiştir ve şasenin karşılıklı iki motor bağlantı noktası arası mesafesi 455mm'dir. Deneylede kullanılan mikro İHA'yı oluşturan ana bileşenler Şekil 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 1. Dört rotorlu mikro İHA'nın ana bileşenleri

Şekil 1'de gösterilen ana bileşenler ve kablolar, soketler gibi yardımcı bileşenlerle birlikte bir mikro İHA'nın toplam ağırlığı yaklaşık 0.85 kg'dır. Deneylede kullanılan mikro İHA'nın genel görünümü Şekil 2'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. Deneylede kullanılan mikro İHA

Bu çalışmada İHA'ların farklı hızlarda hareket etmesini sağlayan ve batarya tüketim değerlerini kaydetmemizi sağlayan Mission Planner yazılımıdır (Anonim, 2022). Bu yazılım açık kaynak kodlu bir arayüz programıdır ve son yıllarda insansız araçların kontrolünde oldukça fazla tercih edilmektedir. Google Maps ile bağlantı sağlayabilmesi sebebiyle insansız araçların dünya üzerindeki yerinin anlık olarak izlenmesini sağlamaktadır. Ayrıca operatörün komutlarının bilgisayar üzerinden insansız araçlara iletilmesini sağlamaktadır. İHA bataryasında kalan % enerji seviyesi APM 2.6 uçuş kontrol kartı tarafından okunmaktadır. APM 2.6 kartı telemetri ekipmanları üzerinden bir yer bilgisayarı ile bağlantı sağlayabilmektedir. Ayrıca telemetri yardımıyla bilgisayar üzerinden İHA'ya hız talimatı verilebilmektedir. Bu çalışmada, bilgisayar üzerinden gönderilen hız talimatlarına karşı İHA bataryasında meydana gelen % enerji tüketim değerleri yer bilgisayarında kurulu Mission Planner yazılımından okunarak elde edilmiştir. Mission planner yazılımında mikro İHA'lara hız talimatlarının gönderilmesi ve mikro İHA'ların konum ve hız bilgilerinin okunması Şekil 3'te görülen komut ve durum sekmelerinden yapılmaktadır.



Şekil 3. Mission Planner yazılımında İHA'larla iletişimin sağlanması

Bu çalışmada regresyon modellerinin elde edilmesinde MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Doğrusal model elde edilmesinde “fitlm”, doğrusal olmayan model elde edilmesinde “fitnlm” fonksiyonu kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmadaki deneyler özdeş bileşenlere sahip iki adet mikro İHA üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mikro İHA'lar üzerinde 2200 mAh'lık batarya takılı haldeyken yatay düzlemde farklı hızlarla 1 s boyunca hareket ettirilmesi ile meydana gelen enerji tüketim değerleri Çizelge 1'deki gibidir.

Çizelge 1. Mikro İHA 1 ve Mikro İHA 2 İçin Farklı Hızlarda Gerçekleşen Batarya Tüketim Değerleri

Hız(m/s)	İHA 1(%)	İHA 2(%)
1	0.34	0.34
2	0.35	0.36
3	0.36	0.36
4	0.37	0.37
5	0.39	0.38
6	0.41	0.40
7	0.43	0.42
8	0.45	0.44
9	0.48	0.47
10	0.52	0.51

Çizelge 1'de verilen hız ve batarya tüketim değerleri dikkate alınarak MATLAB ortamında doğrusal regresyon ve doğrusal olmayan regresyon elde edilmiştir. Oluşturulan modellere ait R^2 ve MSE değerleri Çizelge 2'deki gibidir.

Çizelge 2. Regresyon Yöntemleri ile Elde Edilen Modellerin Modelleme Başarıları

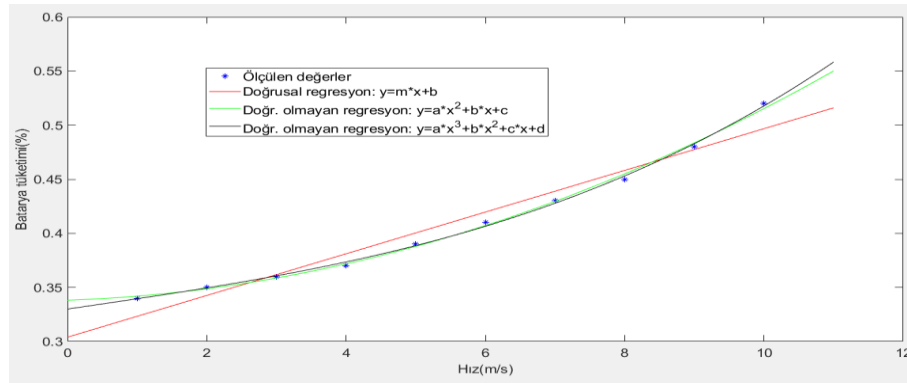
Model	İHA 1		İHA 2	
	R^2	MSE	R^2	MSE
Doğrusal regresyon	0.958	1.690E-4	0.930	2.371E-4
Doğrusal olmayan regresyon 1	0.997	1.115E-5	0.992	3.091E-5
Doğrusal olmayan regresyon 2	0.998	9.1204E-06	0.996	1.6241E-05

Modelleme başarıları Çizelge 2'de verilen modellere ait parametre değerleri Çizelge 3'teki gibi elde edilmiştir.

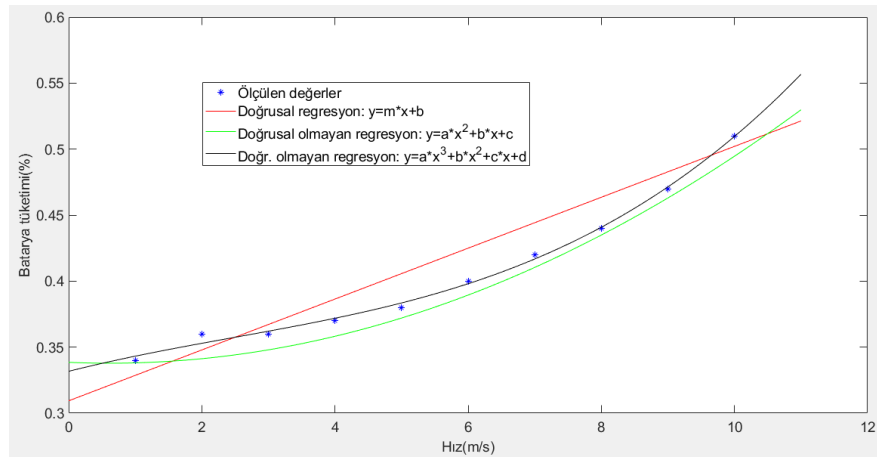
Çizelge 3. Modellere Ait Parametre Değerleri

Model adı	Modellere ait parametreler	İHA 1 Parametre değerleri	İHA 2 Parametre değerleri
Doğrusal regresyon	$y=m*x+b$	$b=0.30400$ $m= 0.019273$	$b=0.30933$ $m= 0.019273$
Doğrusal olmayan regresyon 1	$y=a*x^2+b*x+c$	$a=0.001553$ $b=0.002180$ $c=0.338170$	$a=0.001780$ $b=-0.00219$ $c=0.338500$
Doğrusal olmayan regresyon 2	$y=a*x^3+b*x^2+c*x+d$	$a=9.5183E-05$ $b=-1.7483E-05$ $c=0.0094328$ $d=0.33$	$a=0.00019619$ $b=-0.0014569$ $c=0.012741$ $d=0.33167$

Mikro İHA 1 ve mikro İHA 2'den elde edilen batarya tüketim değerleri ve modellerden elde edilen tahmini tüketim değerleri Şekil 6'da ve Şekil 7'de görüldüğü gibidir. Şekil 6'daki ve Şekil 7'deki grafiklerde ölçülen batarya tüketim değerleri ve modellerden elde edilen eğriler birlikte verilmiştir.



Şekil 6. Mikro İHA 1'e ait ve modellerden elde edilen batarya tüketim verileri



Şekil 7. Mikro İHA 2'ye ait ve modellerden elde edilen batarya tüketim verileri

SONUÇ

Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin modelleme başarısının belirlenmesinde literatürde sıkça kullanılan R^2 ve MSE kriterleri kullanılmıştır. Çizelge 2'de verilen R^2 ve MSE değerleri dikkate alındığında, bu çalışmada kullanılan metotların modelleme başarılarının yüksek ve birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. R^2 değerlerinin 1'e ve MSE değerlerinin 0'a yakın elde edilmesi yapılan modellemelerin başarılı olduğunu göstermektedir. Çizelge 2'deki en yüksek modelleme başarısının İHA 1 için $R^2=0.998$ ve $MSE=9.1204E-06$, İHA 2 için $R^2=0.996$ ve $MSE=1.6241E-5$ olduğu görülmektedir. Bu durumda her iki İHA'nın batarya tüketim modeli için en yüksek başarımın doğrusal

olmayan regresyon yöntemi ve 3. dereceden eşitlik kullanılarak elde edildiği tespit edilmiştir. Bu bakımdan, bu çalışmanın literatürden farkı ve literatüre katkısı mikro İHA'ların batarya tüketimi üzerinde yapılan deneylere ait verilerin modellenmesinde doğrusal olmayan regresyon yöntemlerinin doğrusal regresyon yaklaşımından daha iyi sonuç verdiğini göstermesidir. Ayrıca doğrusal olmayan modelin derecesi arttıkça modelleme başarısı da arttığı görülmüştür.

Çizelge 2 incelendiğinde her iki İHA ile yapılan deneylerde İHA hızının artmasıyla batarya tüketiminin de arttığı fakat bu artışın doğrusal olmadığı görülmektedir. Bu sebeple mikro İHA'ların batarya tüketim modelinin elde edilmesinde yapay sınır ağları gibi doğrusal olmayan modelleme yöntemlerinin de kullanılması uygun olacaktır. Özellikle kargo İHA'larının farklı yüklerle, hızlarla ve batarya kapasiteleriyle gerçekleştireceği batarya tüketim davranışının modellenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple, gelecekte yazarlar tarafından daha yüksek hızlarda, daha fazla ağırlığa sahip İHA'larla deneysel çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

Bu çalışmada sunulan batarya tüketim verileri yerden 10 metre yükseklikte ve rüzgarsız şartlarda elde edilmiştir. Bu sebeple rüzgar gibi genliği ve sıklığı öngörülemez bir bozucu etkinin batarya tüketimi üzerindeki etkisinin de ayrıca incelenmesi gerekir. Deneylerde kullanılan İHA'lar düşük maliyetli bileşenlerle üretilmiştir. Bu sebeple deneylerin daha kaliteli bileşenlerle yapılmasının sonuçların değişmesine sebep olması muhtemeldir. Ayrıca özdeş bileşenlerle meydana getirilen İHA'ların birbirine yakın fakat farklı tüketim değerlerine sahip olması İHA'ların özdeş imal edilemediğini göstermektedir. Bu sebeple bir İHA ile yapılacak deneylerden elde edilecek sonuçların aynı yapıdaki İHA'ların tümü için tam olarak geçerli olamayacağını göstermektedir. İHA'ların batarya tüketimlerinin farklı olmasının sebebinin İHA'ların bataryalarının kalan kullanım sürelerinin farklı olması, bazı bileşenlerinin daha yeni/eski olması vb. olması muhtemeldir. Deneylerde daha yüksek kalitedeki bileşenlerle meydana getirilen İHA'ların kullanılması ile sonuçlar arasındaki farkın azalması sağlanabilir. İHA'ların enerji tüketim değerlerinin kararlılığı 8 m/s'nin üzerindeki hızlarda azalmaktadır. Bu durumun verilerin güvenilirliğini etkilememesi için deneylerde maksimum hız 10 m/s olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar mikro İHA'ların verilecek bir görev senaryosunu ne kadarlık bir tüketimle gerçekleştirebileceğini önceden tahmin edilmesini sağlaması açısından önemlidir. Bununla birlikte bu çalışmada giriş değişkeni olarak yalnızca İHA'nın yatay hızı ele alınmıştır ve bu bir İHA'nın batarya tüketiminin tam olarak modellenmesi için yeterli değildir. Mikro İHA'lar ile yapılacak deneysel çalışmaların farklı ağırlık, hız ve irtifada gerçekleştirilmesi durumunda çalışmanın akademik ve endüstriyel değeri artacaktır. Bu çalışmada kullanılan modelleme yaklaşımları ile geliştirilecek batarya tüketim modelleri dikkate alınarak bir mikro İHA'nın verilecek görevi yerine getirip getiremeyeceği önceden tespit edilebilir. Bu durumda İHA sayısının artırılarak görevin başarısının garanti altına alınması sağlanabilir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

Abeywickrama, H.V., Jayawickrama, B.A., He Y. ve Dutkiewicz, E. (2018). Comprehensive Energy Consumption Model For Unmanned Aerial Vehicles Based On Empirical Studies Of Battery Performance. IEEE Access, 6, 58383-58394.

- Aiello, G., Inguanta, R., D'Angelo, G. ve Venticinque, M. (2021). Energy Consumption Model of Aerial Urban Logistic Infrastructures. *Energies*, 14(5998), 1-19.
- Alyassi, R., Khonji, M., Karapetyan, A., Chau, S. C., Elbassioni, K. ve Tseng, C. (2022). Autonomous Recharging and Flight Mission Planning for Battery-Operate Autonomous Drones. *IEEE Transactions On Automation Science And Engineering*, 1-13.
- Jaafar, W. ve Yanikomeroğlu, H. (2021). Dynamics of Laser-Charged UAVs: A Battery Perspective. *IEEE Internet Of Things Journal*, 8(13), 10573–10582.
- Kahveci, M. ve Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu. *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Dergisi*, 5(4), 511-535.
- Lykou, G., Moustakas, D. ve Gritzalis, D. (2020). Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber- Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies. *Sensors*, 20(3537), 1-35.
- Mhatre, M. S., Siddiqui, F., Dongre, M. ve Thakur P. (2015). A Review paper on Artificial Neural Network: A Prediction Technique. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(12), 161-163.
- Mission Planner Home. (2022, 15 Aralık). Erişim adresi <https://ardupilot.org/planner/>
- Ostojić, G., Stankovski, S., Tejić, B., Đukić, N. ve Tegeltija, S. (2015). Design, Control and Application of Quadcopter. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEEM)*, 6(1), 43-48.
- Pham, K. L., Leuchter, J., Bystricky, R., Andrie, M., Pham, N. N. ve Pham, V. T. (2022). The Study of Electrical Energy Power Supply System for UAVs Based on the Energy Storage Technology. *Aerospace* 9(500), 1-23.
- Stolaroff, J. K., Samaras, C. ve O'Neill E. R. (2018). Energy use and life cycle greenhouse gas emissions of drones for commercial package delivery. *Nature Communications*, 9(409), 1-13.
- Thu, K. M. ve Gavrilova, A. I. (2017). Designing and modeling of quadcopter control system using L1 adaptive control. *Procedia Computer Science*, 103, 528-535.
- Uyanık, G. K. ve Güler, N. (2013). A study on multiple linear regression analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 106, 234-240.
- Uysal, S. Ö. K., Kaymak, N. G. ve Çiçek, Y. (2021). A Nonlinear Regression Model, Analysis And Simulations For The Second Wave Of Covid-19: The Case Study Of Turkey. *Eskişehir Technical University Journal Of Science And Technology A- Applied Sciences And Engineering*, 22(1), 36-44.
- Zakaria, M. Y., Moatassef, M. A. ve Elshafie, M. A. (2012). Design and Production of Small Tailless Unmanned Aerial Vehicle (SAKR 2). 5th International Conference On Applied Mechanics and Mechanical Engineering içinde (1-25 ss.). Cairo, Egypt. <http://dx.doi.org/10.21608/amme.2012.36970>.
- Zhang, J., Campbell, J. F., Sweeney, D. C. ve Hupman, A. C. (2021). Energy consumption models for delivery drones: A comparison and assessment. *Transportation Research Part D: Transportation and Environment*, 90(2021), 1-23.