



Alınma

01 Ocak 2020

Düzeltilme

01 Şubat 2020

Kabul

01 Mart 2020

* Sorumlu yazar.

e-mail:

mfurkanozkan@stu.aydin.edu.tr

Anahtar Kelimeler:

- Döner Kanat İHA
- Aerosol yangın söndürme
- 3D CAD Software

Yangınların Söndürülmesinde Kullanılacak Döner Kanat İHA Tasarımı ve Analizi

Mehmet Furkan Özkan^{1*}, Lütfiye Dahil²

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Aydın Üniversitesi, 34500, İstanbul, Türkiye

² Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Aydın Üniversitesi, 34500, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Hava araçları insanlı ve insansız olarak iki kategoride sınıflandırılır. İnsansız hava araçları arama, kurtarma, araştırma, gözlemlenebilirlik gibi görevler için tercih edilmektedir. Taşıyabileceği faydalı yük, uçuş süresi gibi durumlar hava aracının tasarımında limitler oluşmasına sebep olmaktadır. Geleneksel hava araçlarının seyir edemediği alanlara nüfuz edebilecek ve aynı faydalı yük kapasitesinde hava araçlarına ihtiyaç olmuştur. Bu ihtiyaç, doğadaki kuşların incelemeleri sonucunda şekil değiştirebilen sistemlerin uygulanabilirliği araştırmalara konu olmuştur. Bu çalışmada oluşacak herhangi bir yangın durumunda kullanılabilecek insansız hava aracına portatif monte edilebilen aerosol yangın söndürme jeneratörü sistemi tasarımı CAD ortamında yapılmıştır. Tasarımda aerodinamik uçuş, itki-kalkış, kütle, hacim, hız ve ivmelenme hesaplamaları MATLAB programı ile hesaplanmıştır. Tasarlanan sistemin yangın durumunda İHA'nın üzerinde bulunan aerosol yangın söndürme jeneratörünün monte ve demonte durumlarda maruz kaldığı kuvvetler simüle edilmiştir. Sistemin yangın söndürme esnasında maruz kaldığı kuvvetler, hız ve ivme değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu kapsamda sunuldu.

Rotary Wing UAV Design and Analysis to be Used in Extinguishing Fires

Mehmet Furkan Ozkan^{1*}, Lütfiye Dahil²

¹ Department of Mechanical Engineering, Istanbul Aydın University, 34500, Istanbul, Turkey

² Department of Mechanical Engineering, Istanbul Aydın University, 34500, Istanbul, Turkey

ABSTRACT

Received

01 Ocak 2020

Revised

01 Şubat 2020

Accepted

01 Mart 2020

* Corresponding author.

e-mail:

mfurkanozkan@stu.aydin.edu.tr

Keywords:

- Quadcopter
- 3D CAD Software
- Aerosol fire extinguishing

This study aims to develop a model of aerosol fire suppression unit assembled to a quadcopter to protect the life of inhabitants and rescue workers and stop forest fires more quickly. In the field, unmanned aerial vehicles are mainly used for rescue missions, military and research purposes. Amongst unmanned aerial vehicles, quadcopters have distinct features such as carrying more load, covering more areas and flying more distance compared to previous types of aerial vehicles. The design of the aerosol explosion extinguishing generator system, which can be portably mounted on an unmanned aerial vehicle in case of any fire, is included in the CAD framework. In the design, aerodynamic flight, thrust-takeoff, volume, volume, speed and acceleration programming were calculated with the MATLAB program. The designed system simulates the installation of the aerosol fire extinguishing generator on the UAV and the forces that the device may be exposed to in case of fire. The forces, speed and acceleration changes that the system is exposed to during combustion are triggered. The results show that this capability is put to use.

1. Giriş (Introduction)

Son yıllarda insansız hava araçlarının özellikle taşıma amaçlı kullanımı giderek artmış hatta yadsınamayacak derecede önem kazanmıştır (Oktay ve Özen,2021:319). Dolayısıyla can güvenliğini sağlaması açısından quadcopterler, üzerinde çalışılması gereken bir konu olmuştur. Quadrotor, birden çok pervanesi olan hava aracıdır (Kahveci ve Can,2017:513-514). Bu pervanelerin sayısı değişkenlik gösterebilir. Bunların içinde kıyaslama yapacak olursak, daha dengeli ve kontrolü kolay olan insansız hava aracı, Quadcopter, 4 pervaneli rotorlu bir araçtır. Dört rotorlu insansız hava araçlarında genellikle rotorlar simetrik bir şekilde kullanılır (Civelek,2020:120). Hızlı hareket kabiliyeti olarak birden fazla rotor grubuna sahip quadrotorler İHA olarak yangın söndürme işlemlerinde de kullanılmaktadır. Taşıdığı riskler nedeniyle üzerinde çalışılması gereken bir konu olmuştur. Oluşan yangın durumlarında, kapalı alanlarda hareket kabiliyeti yüksek aynı zamanda taşıdığı faydalı yükler sayesinde verilen görevleri doğru bir şekilde gerçekleştirmesi beklenmektedir (Tahir, 2019:101). Gelişen teknoloji ile birlikte yüksek ağırlıktaki Aerosol yangın jeneratörleri model ve ağırlıklarına göre hava araçlarına takılarak yangın söndürme işlemi için uygulanabilmektedir (Mammacıoğlu, Coşkun ve Soyhan,2017:21-22). Yangın jeneratörlerinden basınçla çıkan kimyasal yanan madde ile temasla girmekte, can ve mal kaybı yaşanmadan yangını söndürebilmekte hava aracının insanlara veya canlılara zarar vermeden görevini yerine getirebilmesini sağlamaktadır. İtki/kaldırma dönme vb. manevra hareketleri tork yükü üzerinde farklılıklar oluşturarak yani motorların dönüş hızını değiştirerek sağlanır. Quadcopterlerin bir özelliği pervane açılarını değiştirilmesine gerek kalmaksızın bakımının yapılabilmesini sağlamaktır. Yapım ve kontrol kolaylığı sayesinde basit uçuş eğitimlerinde quadcopterler kullanılmaktadır (Pehlivan ve Aküner,2020:16).

Bu çalışmada özellikle orman yangınları olmak üzere belirli bir metreküp hacme kadar tüm yangın söndürme çalışmalarında kullanılabilecek sök-tak özelliği bulunan portatif taşınabilir, hafif ortamdaki oksijen miktarını azaltmayan bir sistemin İHA larda uygulanabilirliği üzerine CAD ortamında tasarımı yapılmıştır (Özdemir,2022:2563). Bu planlama doğrultusunda başta İHA modeli seçilip (Ulvi ve Oruç,2023:48), hareket ve sabitleme mekanizmaları, kullanılacak olan aerosol yangın söndürme jeneratörü seçilerek sistem tasarımı oluşturulmuştur. Geniş açık alanlarda ve yüksek yapılarda yangın söndürme görevine uygun olarak model oluşturulmuştur. (Günay ve Korkut,2024:1224).

2. Materyal Metot (Materials And Methods)

2.1. Malzeme (Material)

Bu çalışmada tasarımı yapılan quadcopterin gövde taşıyıcı, kol ve yangın söndürücü jeneratörü ayrı malzemelerden seçilerek hazırlandı. Yapılan seçimlerde ağırlık, itki söndürme kapasitesi ve ekonomi gibi önemli faktörler malzeme seçiminde göz önünde bulunduruldu. Çünkü yangın söndürmede kullanılacak kimyasal ağırlığı ve gövde ağırlığı İHA'nın kaldırma kuvvetine doğrudan etki ederek daha güçlü motorların kullanılmasını zorunlu kılacak bu durum maliyeti arttırarak üretimi daha zor hale getirecektir. Ancak çok hafif olan İHA'ların rüzgâr dayanımı düşük olur ve İHA'nın kontrolünü zorlaştırır. Bu durumda yapılacak en doğru seçim gövde malzemesinin hafif ama dayanıklı, yangın söndürme jeneratörünün ise gövdeye oranla daha ağır olması gerekmektedir. **Şekil-1'** de tasarımı yapılan İHA da prototip gövde ayak ve kanatlar için malzeme olarak eklemeli imalat yöntemi ile elde edilen PLA malzeme kullanıldı (Akgümüş Gök ve Gudar, 2023).



Şekil-1 Tasarımı yapılan İHA görseli (Visual of the designed UAV)

Eklemeli imalat yöntemleri usulleri sayesinde birbirinden farklı özelliklere sahip malzemelerden oluşan filamentler kullanılarak 3D yazıcı ile birçok malzeme üretilip farklı sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Başta tekstil sektöründe giyilebilir eldiven üretimi (Akgümüş Gök ve Gudar, 2023), Kompozit malzeme üretimi ve son dönemde yaygın olarak kullanılan robot kolların üretiminde (Bakırcı, Demiray, 2023:3) kullanılmaktadır. İHA 'larda kullanılacak malzemeler görev niteliği ve çalışma koşulları göz önünde bulundurarak farklı malzemelerden yapılabilirler. Çalışma kapsamında 3D yazıcılarda kullanılabilen karbon içerikli filament malzemeleri bu İHA'nın imalatı için seçilmiştir. İHA'nın görevi gereği kullanılacak olan aerosol yangın söndürme sisteminin tasarımı ve üretimi için kullanılacak ekipman olan HFX-200 model numaralı aerosol yangın söndürme sisteminin de üretildiği malzeme çok önemlidir. Yüksek basınçları kendi içerisinde absorbe edebilecek sert dayanımı yüksek malzeme seçilmelidir. HAFEX aerosol yangın jeneratörünün tasarımı ve uygulamasında malzeme seçimi yaparken, oluşacak maximum itiş, faydalı yük ağırlığı, etki alanı, motor itki gücü parametreleri özellikle göz önünde bulundurulmuştur. (**Şekil-2**)



Şekil-2 Tasarımı yapılan yangın söndürme jeneratörü (Designed fire extinguishing generator)

HAFEX modelinde kullanılacak malzemeden beklenen en önemli özellik oluşacak olan kabin içi basıncı kendi içinde sıkıştırabilmesidir (Balcı, Yurdakul ve İç, 2018:124). HAFEX modelinin malzeme seçiminde kullanılacak genel malzeme belirli bir kalınlığa sahip DKP malzemesidir (Taşdemir, Baksan ve Çelikyürek, 2021:145). Birden fazla parçanın hem sökülebilir hem sökülemez olarak birleştirilmesi sonucu oluşturulan HFX-200 modeli malzemelerinin çoğunluğu DKP olarak belirlendi. Üzerinde bulunan ateşleme mekanizması ise paslanmaz metal malzemeden üretildi.

Şekil-2’ de HAFEX200 yangın jeneratörsu Solidworks sac levha tasarımı gösterilmiştir. **Tablo-1’** de ise üretilen yangın jeneratörsunun ağırlık ve ölçü birimlerini göstermektedir.

Tablo 1. HFX-200 Yangın söndürme jeneratörü fiziksel bilgileri (HFX-200 Fire fighting generator physical information)

Bürüt Ağırlık	Kimyasal Ağırlık	Boyutlar (mm)	Yangın Söndürme Kapasitesi
1,83 kg	200 gr	80x80x147	A sınıfı yangınlar = 2 m ³ B sınıfı yangınlar = 4 m ³

2.2. Tasarım (Design)

Bulduğumuz yüzyılda makine veya makine parçası imalatında tasarım çok önemli bir yer kaplamaktadır. İmalattan önce yapılan tasarım ve analizlerde oluşacak riskli ve yanlış olan durumları önceden görüp hatayı minimum düzeylerde tutmamıza olanak sağlamaktadır. Yapılan tasarımlar başta ürünlerin kapladığı alandan başlayarak, ağırlık, renk, malzeme görünümü, birleştirme noktaları, montaj şeması gibi durumları net bir şekilde görmemize olanak sağlar. Yangın söndürmede kullanılacak olan döner kanat İHA nın tasarımı CAD ortamında yapıldı. Şekil-3’ de gösterildiği gibi CAD ortamında 1/1 oranını bozmayacak şekilde simetrik olarak tasarlandı. Kanat yüzeylerinin üzerinde oluşacak stresi azaltmak için kanatlarda merkez dengeyi bozmayacak şekilde aerodinamik boşluklar bırakıldı. Tasarımın ana amacı malzeme üzerinde oluşacak yorulmanın önüne geçmektir.



Şekil-3 Tasarımı yapılan yangın söndürme işlemini gerçekleştirecek İHA görseli (Visual of the UAV that will carry out the designed extinguishing process)

Bu çalışmada, quadcopter üzerine bağlı bir Aerosol yangın söndürme jeneratörünün (HFX-200) oluşan bir yangın anında, yangına müdahalesi sırasında oluşan kinematik ve kinetik analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda HFX-200 ün Solidworks sac levha kısmından modeli ve quadcopterin Solidworks programında katı model oluşturma kısmında tasarımları yapılmıştır (Açıkgöz ve Topçu, 2019:991). Katı modelleme ve sac metal tasarımları yapıldıktan sonra montaj oluşturulmuş, Solidworks Motion (hareket etüdü) ile kinematik ve kinetik analizi yapılmıştır (Karaca, Akmeşe ve Ünal, 2021:20).

2.3. CAD Ortamında Katı Model ve Sac Levha Tasarımlarının Oluşturulması (Creating Solid Model and Sheet Metal Designs in CAD Environment)

Simülasyon ortamında oluşturulan montajın kinematik ve kinetik analizini yapabilmek için öncelikle katı modelin ve sac levha tasarımının yapılması gerekmektedir (Karaca, Akmeşe ve Ünal, 2021:20). Şekil 1’ de görüldüğü gibi quadcopter ana montaj gövdesi, simetrik kanat (4 adet), simetrik ayak takımı (2 adet) uzuvlarından oluşmaktadır. Belirtilen parçaların boyutları malzemesi ve ağırlıkları **TABLO-2’** de verilmiştir.

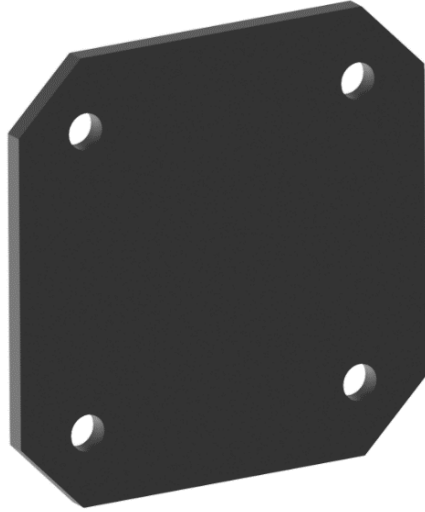
Tablo-2. Tasarımı yapılan İHA nın parça listesi malzemesi ve toplam ağırlıkları (Parts list material and total weights of the designed UAV)

Malzeme Adı	Malzeme Cinsi	Adet	Ağırlık
Ana Montaj Gövdesi	PLA	11	100 gr
Simetrik Kanat	PLA	4	180 gr
Simetrik Ayak Takımı	PLA	2	62 gr

Tablo-3. Seçilen PLA malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri (Mechanical and physical properties of PLA material) (Farah, Anderson, Langer, 2016)

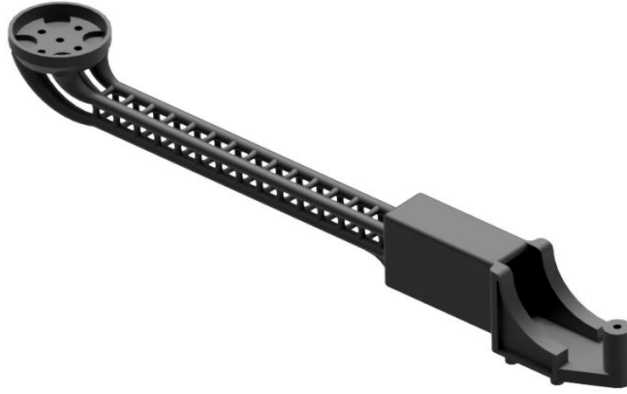
ÖZELLİK	Değer
Yoğunluk	1.25 g/cm ³
Erime sıcaklığı	150-160°C
Çekme mukavemeti	50-70 MPa
Elastik modül (e-modül)	3-4 GPa
Çentikli darbe dayanımı	2-16 kJ/m ² (düşük darbe direnci)
Maksimum gerilme mukavemeti	50 MPa
Uzama (kopma anında)	2-10%
Eğilme mukavemeti Su emme (24 saat)	65-110 MPa
Cam geçişi	0.5- 1.0%
Termal sıcaklık	60-65°C
Genişleme katsayısı	68 µm/m°C
Shore sertliği	80-85D
İşlenebilirlik	Basit

Prototip model için kullanılacak PLA malzemesinin mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo-3 de verilmiştir.



Şekil-4 Tasarımı yapılan ana montaj gövdesi (Designed main assembly body)

Tasarlanan ana montaj gövdesinin kalınlığı altına sök-tak yapılacak olan yangın söndürme jeneratörünün sökülebilir bağlantısının güçlü olması gerektiğinden 7 mm olarak hesaplandı. İniş-kalkış sistemlerinin dengesini korumak ve manevra kabiliyetini yüksek tutmak için ana montaj gövdesi kare olarak bir kenar uzunluğu 12,4 cm olacak şekilde tasarlandı. (Şekil-4)



Şekil-5 Tasarımı yapılan simetrik kanat (Symmetrical wing designed)

Tasarlanan kanatlarda gövde üzerinde eğilme yaşanmaması için kanat uzunluğu 25 cm olarak hesaplandı. Kanatın motor yerleştirme 43.000 rpm hıza ulaşabilen motorlar sipariş edilerek özel olarak ölçüleri alınıp tasarımı gerçekleştirildi. Kanat gövdesi üzerinde havada dengede kalmayı sağlaması amacıyla aerodinamik boşluklar bırakıldı. (Şekil-5)



Şekil-6 Tasarımı yapılan simetrik ayak takımı (Symmetrical foot set designed)

Tasarımı yapılan simetrik ayak takımı ayaklar gövdeye 45° açılı olacak şekil tümleşik iki ayrı parça halinde tasarlanmıştır. Bu tasarımın amacı iniş-kalkışlarda deformasyonu azaltıp, İHA'nın yer çekimi ve ağırlığından ötürü maruz kalacağı dikey yöndeki stresi azaltarak eşit yaymak amacıyla bu şekilde yapılmıştır. İki tümleşik ayak arası açıklık 22 cm, bacakların dikey yüksekliği 12 cm, bacaklar ve gövde bağlantısı arası aralık 10 cm olacak şekilde tasarlandı. (Şekil-6)

3. İtke-Ağırlık Hesaplamaları ve Matlab Kodları (Thrust-Weight Calculations and Matlab Codes)

3.1. İtke ve Ağırlık Hesaplamaları (Thrust-Weight Calculations)

Fizikte ve mühendislikte İtke ve Ağırlık Hesaplamaları aşağıdaki dört denklemle tanımlanır (Serway ve Jewett, 2014:115-118).

- Newton'un birinci ve ikinci yasasına göre:

$$\sum \mathbf{F}_{net} = m_{toplam} \times \begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \ddot{Y} \\ \ddot{Z} \end{bmatrix} \quad (1)$$

- Dünyadaki bir cisme g kadar ivme uygulanıyor:

$$\mathbf{F}_g = m_{toplam} \times \begin{bmatrix} 0 \\ g \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

- İtme ve Kalkış:

$$\mathbf{F}_{itme} = \begin{bmatrix} \sin \alpha \times \mathbf{FM1} + \sin \alpha \times \mathbf{FM2} + \sin \alpha \times \mathbf{FM3} + \sin \alpha \times \mathbf{FM4} \\ \cos \alpha \times \mathbf{FM1} + \cos \alpha \times \mathbf{FM2} + \cos \alpha \times \mathbf{FM3} + \cos \alpha \times \mathbf{FM4} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{F}_{kalkış} = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{FM1} + \mathbf{FM2} + \mathbf{FM3} + \mathbf{FM4} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

3.2. Matlab Kodları (Matlab Codes)

3.2.1. Döner Kanatlı İHA Kinetik Enerji Hesabı (Rotary Wing UAV Kinetic Energy Calculation)

% İHA'nın fiziksel parametreleri

```

m = ; % İHA'nın toplam kütlesi (kg)
v = ; % İHA'nın doğrusal hızı (m/s)
% Rotorun fiziksel parametreleri
I = ; % Rotorun eylemsizlik momenti (kg·m^2)
omega = ; % Rotorun açısal hızı (rad/s)
% Doğrusal kinetik enerji hesaplama
KE_linear = 0.5 * m * v^2;
% Dönme kinetik enerjisi hesaplama
KE_rotational = 0.5 * I * omega^2;
% Toplam kinetik enerji
KE_total = KE_linear + KE_rotational;
% Sonuçları ekrana yazdırma
fprintf('Doğrusal Kinetik Enerji: %.2f Joule\n', KE_linear);
fprintf('Dönme Kinetik Enerjisi: %.2f Joule\n', KE_rotational);
fprintf('Toplam Kinetik Enerji: %.2f Joule\n', KE_total);

```

3.2.2. Kütle Merkezi Korunumu Hesaplama (Center of Mass Conservation Calculation)

```

% Parçaların kütleleri (kg)
masses = [5, 10, 15]; % Örnek kütleler
% Parçaların konumları (metre, 2D örneği: [x, y])
positions = [2, 3; % 1. kütlenin (x, y) konumu
             4, 5; % 2. kütlenin (x, y) konumu
             6, 7]; % 3. kütlenin (x, y) konumu
% Toplam kütle
total_mass = sum(masses);
% Kütle merkezi hesaplama (x ve y için ayrı ayrı)
R_cm_x = sum(masses .* positions(:,1)) / total_mass; % x bileşeni

```

```

R_cm_y = sum(masses .* positions(:,2)) / total_mass; % y bileşeni
% Kütle merkezi (x, y) formatında
R_cm = [R_cm_x, R_cm_y];
% Sonuçları ekrana yazdırma
fprintf('Kütle Merkezi (x, y): (%.2f, %.2f)\n', R_cm_x, R_cm_y);

```

3.2.3. Yer Değiştirme Hesaplamaları (Displacement Calculations)

% 1. Sabit hızla yer değiştirme

```

v = ; % Hız (m/s)
t = ; % Zaman (s)
x_constant_velocity = v * t; % Yer değiştirme

```

% 2. Sabit ivmeli hareket (başlangıç hızı ile)

```

v0 = ; % Başlangıç hızı (m/s)
a = ; % İvme (m/s^2)
x_acceleration = v0 * t + 0.5 * a * t^2; % Yer değiştirme

```

% 3. Sabit ivmeli hareket (başlangıçsız)

```

v_final = ; % Son hız (m/s)
x_acceleration_no_v0 = (v_final^2 - v0^2) / (2 * a); % Yer değiştirme

```

% 4. Parabolik hareket

```

vx = ; % Yatay hız (m/s)
vy = ; % Düşey hız (m/s)
g = 9.81; % Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
t_flight = ; % Havada kalma süresi (s)
x_parabolic = vx * t_flight; % Yatay yer değiştirme
y_parabolic = vy * t_flight - 0.5 * g * t_flight^2; % Düşey yer değiştirme

```

```

% === SONUÇLARIN GÖSTERİLMESİ ===

fprintf('1. Sabit Hızla Yer Değiştirme: %.2f m\n', x_constant_velocity);
fprintf('2. Sabit İvmeli Yer Değiştirme (Başlangıç Hızı ile): %.2f m\n', x_acceleration);
fprintf('3. Sabit İvmeli Yer Değiştirme (Başlangıçsız): %.2f m\n', x_acceleration_no_v0);
fprintf('4. Parabolik Hareket Yatay Yer Değiştirme: %.2f m\n', x_parabolic);
fprintf('5. Parabolik Hareket Düşey Yer Değiştirme: %.2f m\n', y_parabolic);

rpm = 20000;      % Dakika başına devir (rpm)
omega = rpm * 2 * pi / 60; % Açısal hız (rad/s)
r = 0.1;          % Dönme çapı (örnek: 0.1 metre)
t = linspace(0, 5, 100); % Zaman aralığı (0-5 saniye)

% Yer değiştirme hesaplama
theta = omega * t; % Açısal yer değiştirme (rad)
s = r * theta;     % Lineer yer değiştirme (metre)

% Grafik çizimi
figure;
plot(t, s, 'b', 'LineWidth', 2);
xlabel('Zaman (saniye)');
ylabel('Yer Değiştirme (metre)');
title('Yer Değiştirme Grafiği');
grid on;

```

4. Prototip Model ve Uçuş Simülasyonu (Prototype Model and Flight Simulation)

4.1. Prototip Model (Prototype Model)

Herhangi bir sistemin imalatı yapılmadan önce yapılacak ilk iş sistemin mühendislik hesaplamalarının yapılması ve tasarım hatalarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Hesaplamaları kontrol edilen ve tasarım hataları düzeltilen sistemin üretimine sonrasında başlanabilir. Özel PLA malzemesi ile 3D yazıcıdan üretilen döner kanat İHA'nın görüntüsü **Şekil-7'** de gösterilmiştir.



Şekil-7 Üretilen İHA nın gövde parça görüntüsü (Body part view of the produced UAV)

Üretimi yapılan parçaların sökülemez birleştirmeleri yapıldıktan sonra kaplamaları yapılması gerekmektedir. Kaplamaları yapılan İHA nın son hali **Şekil-8'** de gösterilmiştir.



Şekil-8 Üretilen İHA nın kaplama görüntüsü (Coating image of the produced UAV)

Üretilen İHA nın üzerine elektronik kart yerleşimi yapılır ve kanat yolları takip edilerek hazırlanan özel yoldan motor bağlantıları gerçekleştirilir. Motor bağlantıları tamamlandıktan sonra uygun açılı kanatlar karşılıklı olarak takılması gerekir. (**Şekil-9**)



Şekil-9 Üretilen İHA nın gövde üzerine elektronik kart, motor ve kanatların takılması (Installing the electronic card, engine and wings on the body of the produced UAV)

Uçmaya hazır hale getirilen İHA için son aşama HFX-200 model yangın söndürme jeneratörü ile birbirlerine bağlanmasıdır. (Şekil-10)



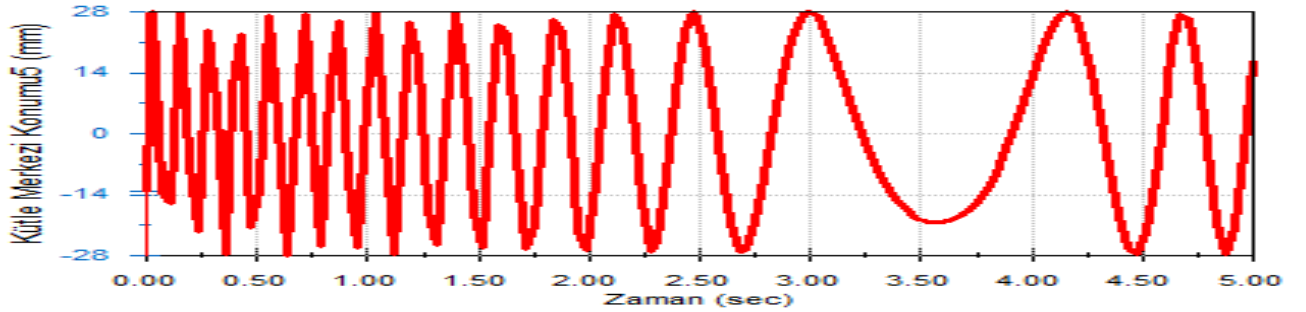
Şekil-10 Üretilen İHA ve HFX-200 yangın söndürme jeneratörü (Produced UAV and HFX-200 fire extinguishing generator)

4.2. Uçuş Simülasyonu (Flight Simulation)

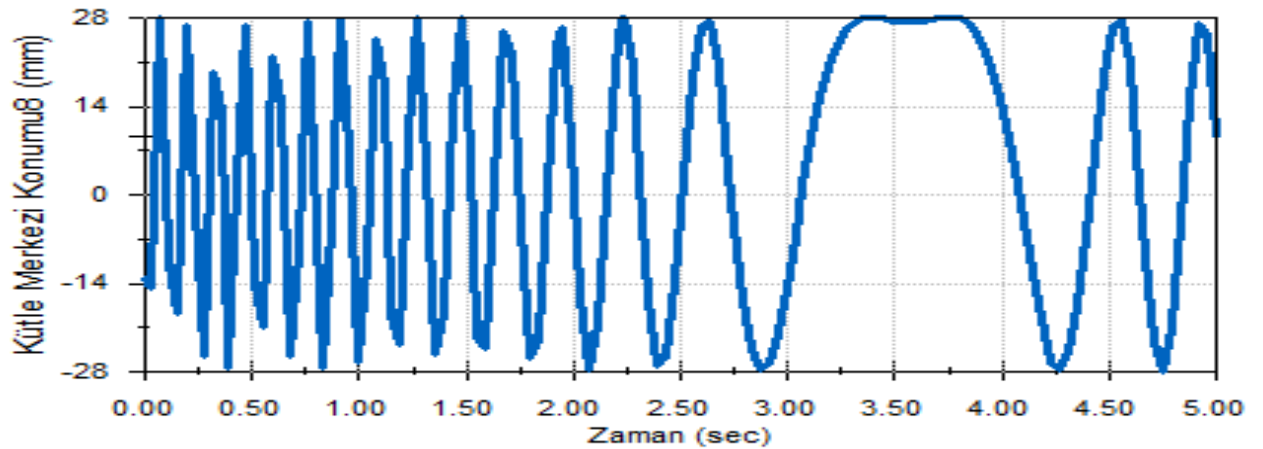
Bu simülasyonda quadcopter başlangıçta $F_{itme} > F_g$ olduğu anda 90° dik kalkış yapar. Bu esnada rotorlar bir tork üretir (Göv, 2020:488). Hareket esnasında rotorlarda oluşan tork farkından hareket sağlanır (Günay ve Korkut,2024:1224). Yanan ateşin bulunduğu noktaya geldiğinde püskürtme ile HFX-200’ den gelen basınç quadcopter üzerinde yukarı yönde fazladan itiş sağlar. Simülasyon için her bir kanatda 968 adet trigular mesh oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada rotorların dönüş hızı 20.000 rpm olarak belirlenmiştir.

5. Sonuçlar (Conclusions)

Quadcopter simetrik dört kanat ve dört motordan oluşturulmuştur. Solidworks Motion’ da her kanata bir motor takılmıştır. Motorlara 20.000 RPM hız verilmiştir. Modeli belirlenmiş quadcopterin toplam 5 saniye süreyle yerçekimine karşı yüklü ve yüksüz hareket ettirilerek, kütle merkezi korunumu grafikleri, açısal hız grafikleri, toplam kinetik enerji grafikleri, yer değiştirme grafikleri Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18’ da gösterildiği gibi çizilmiştir.

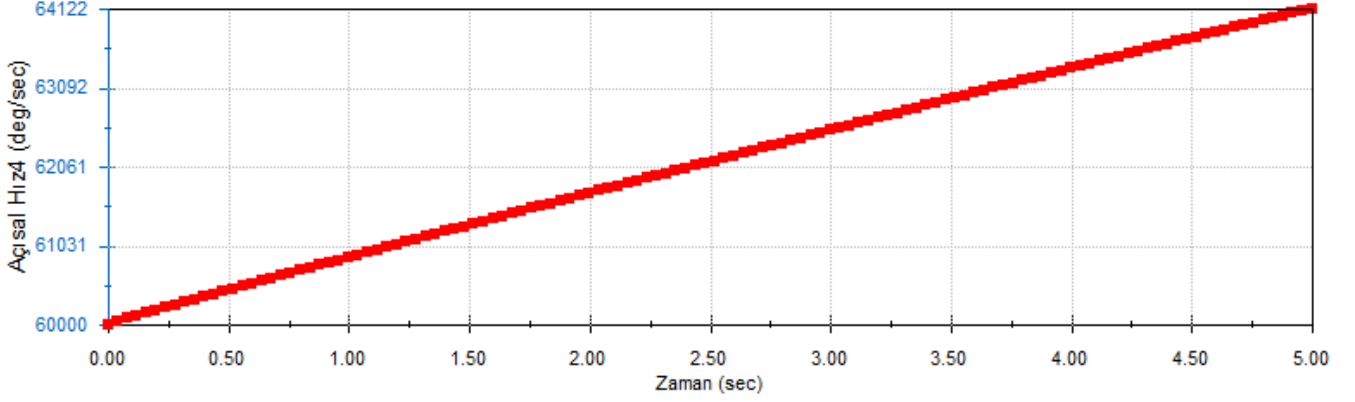


Şekil 11 – yüklü kütle merkezi korunumu (loaded center of mass conservation)

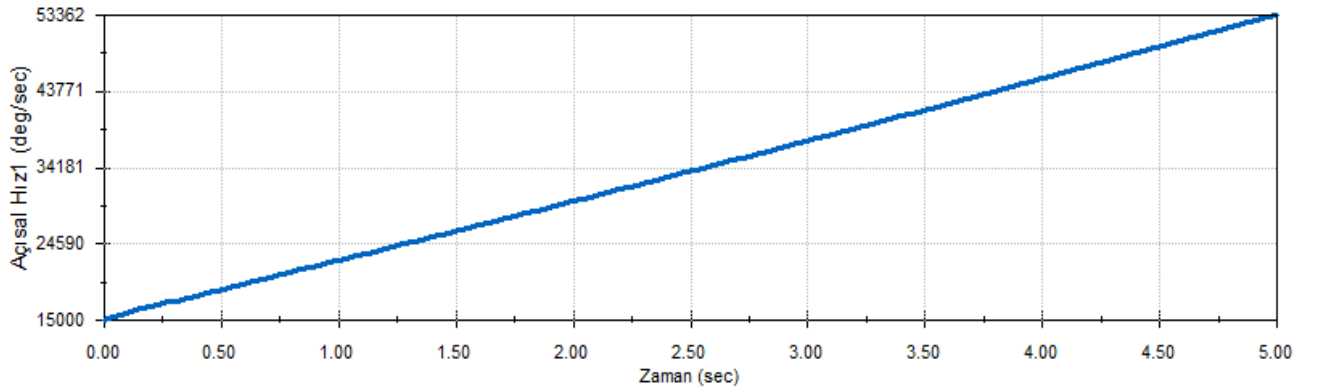


Şekil 12 – yüksüz kütle merkezi korunumu (unloaded center of mass conservation)

Şekil 11 ve Şekil 12 de 4. saniyede motorlarda oluşan tork değişiminde kütle merkez kaymaları gözlemlenmiştir. Yüklü olan quadcopterlerde kütle merkezi değişimi daha dengeli olduğu için ani dönüş içeren manevraları daha stabil yapabileceği görülmektedir.

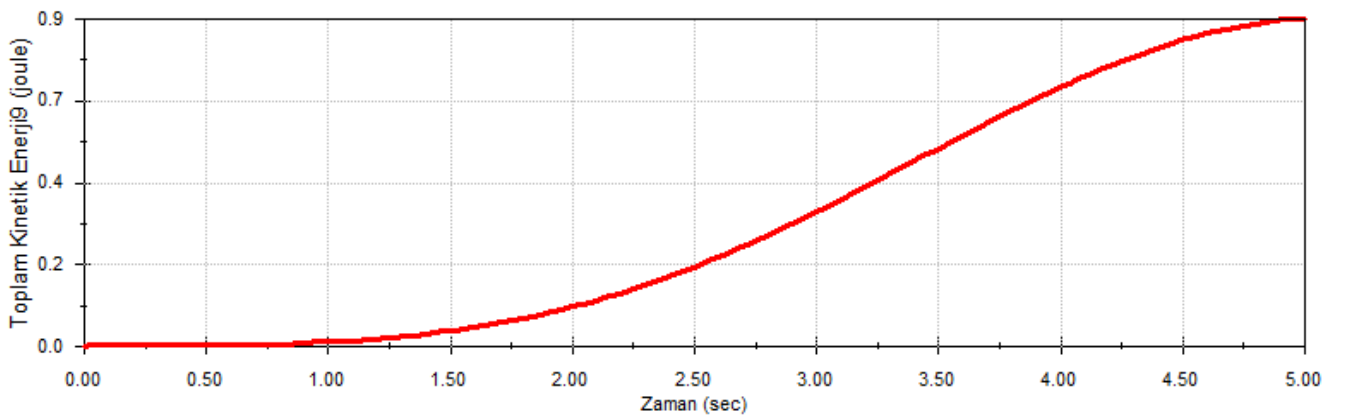


Şekil 13 – Yüklü açısal hız grafiği (Loaded angular velocity graph)

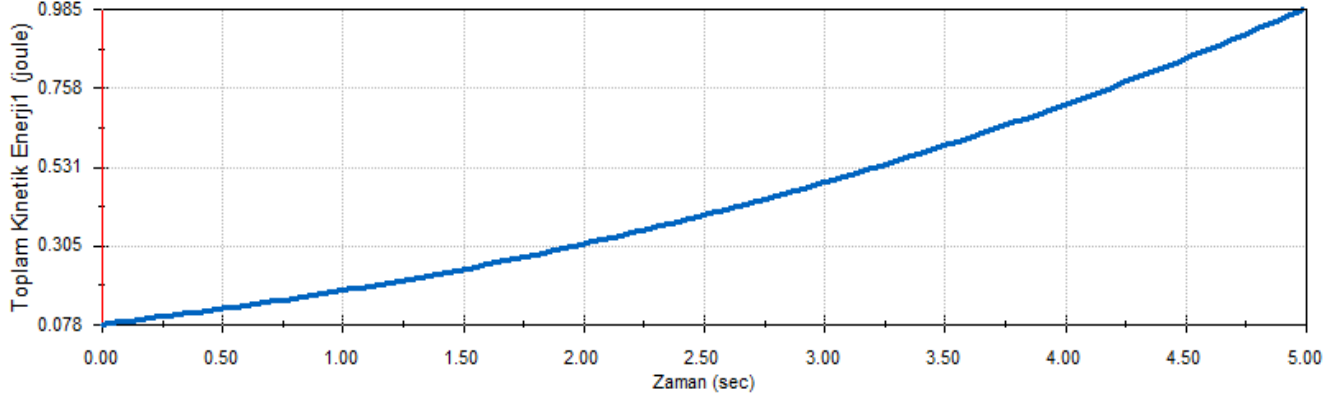


Şekil 14 – Yüksüz açısal hız grafiği (unloaded angular velocity graph)

Tasarlanan quadcopter Şekil 13’ de yük (HFX-200) ile kalkış için daha fazla açısal hıza gereksinim duyulduğu gözlemlenmektedir 20.000 RPM de yapılan analizlerde açısal hızlar incelendiğinde yüklü olan quadcopter de açısal hız değişiminin çok az olduğu gözlemlenmiştir, diğer yüksüz quadcopter da ise (Şekil 14) açısal hız değişimleri daha fazladır.

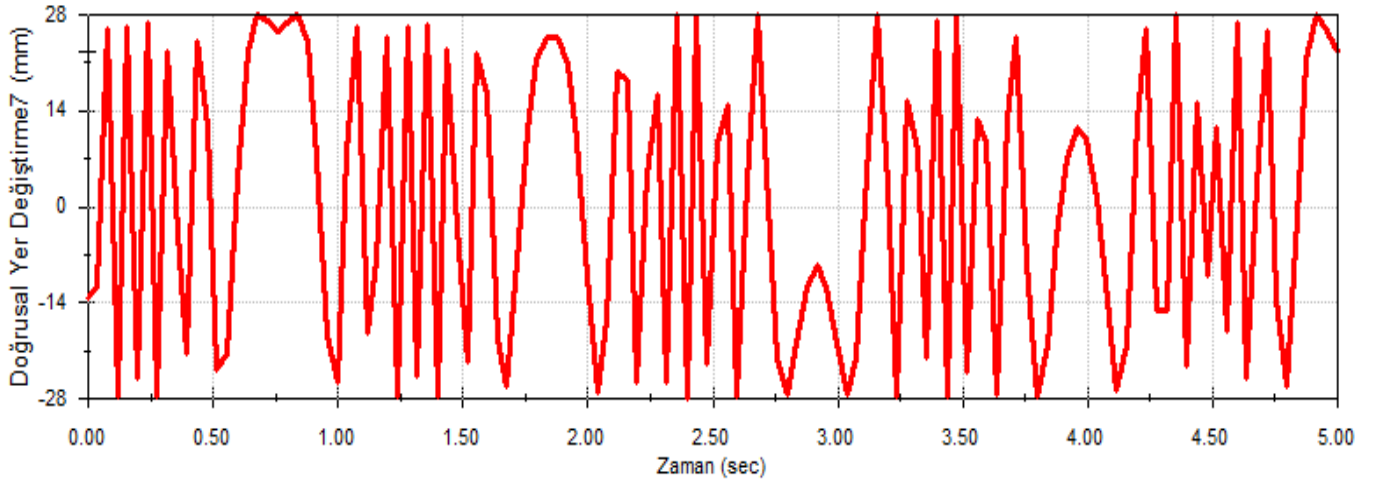


Şekil 15- Yüklü toplam kinetik enerji (Total kinetic energy loaded)

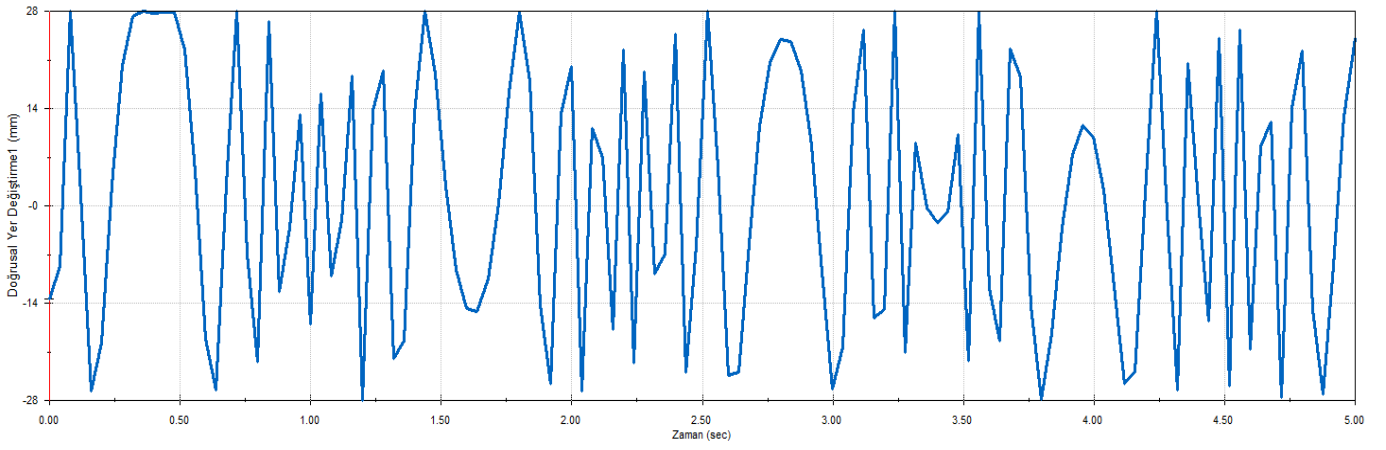


Şekil 16- Yüksüz toplam kinetik enerji grafiği (Total kinetic energy unloaded)

Tasarlanan quadcopterde, Şekil 15’de yük (HFX-200) ile kalkış için z ekseninde başlangıç konumundan 1. saniyeye kadar var olan elektrik enerjisinin kinetik enerjiye dönüşümü düşük, hatta 0’ a yakın olarak gözlemlenmiştir, diğer yandan yüksüz quadcopterde Şekil 16 de 0.50 saniye içinde elektrik enerjisi kinetik enerjiye dönüşmüştür. Bu durum yükü olan quadcopterin daha geç havalanması olarak incelenebilir.



Şekil 17- Yüklü doğrusal yer değiştirme grafiği (Loaded linear displacement graph)



Şekil 18 – Yüksüz yer değiştirme grafiği (unloaded linear displacement graph)

Tasarlanan quadcopterde Şekil 17’ da yük ile doğrusal hareketlerde ani konum değişimlerine daha az rastlanırken, Şekil 18’ da yüksüz olan quadcopter daha ani yer değiştirmelere yatkın olduğu gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak elde edilen veriler incelendiğinde avantaj olarak ağırlık merkezi kaymasının daha az olduğu gözlemlenmiştir, dezavantajı manevra kabiliyetinin ve hızın daha düşük seviyelerde olduğudur. Eğer ki gereken güç ve hız quadcoptere kazandırılırsa istenilen uygulamaların rahatlıkla yapılabileceği analizlerle incelenmiştir.

Teşekkür (Acknowledgment)

Bilim çalışmalarına katkılarından ötürü YG yangın Güvenliği firmasının yönetim kurulu üyeleri Sayın Yalçın GÜNAYDIN, Sayın Murat BORAN, Sayın Serdar KORKMAZ ve Sayın Ufuk Can GÜNAYDIN’ a sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

6. Kaynaklar (References)

Açıkgöz, E., Topçu E. E. (2019). seramik sırlama makinesi pnömatik eyleyici sisteminin tasarımı ve sistemin imalatı. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(3), 989-998.

Akgümüş Gök D., Gudar B. (2023). Computational analysis wearable glove produced with FDM technology. *Proceedings of the International Conference on Science, Engineering Management and Information Technology*. Ankara.

Bakirci M., Demiray A. (2023). Pre-production design of a robotic arm mounted on an unmanned aerial vehicle (UAV). *Computational Intelligence, Data Analytics and Applications*, 1-8. DOI: 10.1007/978-3-031-27099-4_6.

Balcı, A., Yurdakul, M., İç, T. M. (2018). Basıncılı kaplarda malzeme seçimine yönelik bir karar destek sisteminin geliştirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(1), 115-125.

Civelek, Z. (2020). Quadrotorün dikey hareketi için tasarlanan oransal-integral-türevsel kontrolörünün katsayılarının genetik algoritma ile optimizasyonu. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(3), 119-124.

- Farah S., Anderson DG., Langer R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications - A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367-392.
- Göv, İ. (2020). Rotor spacing and blade number effect on the thrust, torque, and power of a coaxial rotor. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(2), 487-502.
- Günay M.B., Korkut İ. (2024). Dron için hareketli kol tasarımında sistematik inovasyon geliştirme. *Journal of Polytechnic*, 27(4), 1223-1231.
- Kahveci, M., Can, N. (2017). İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve türkiye'deki yasal durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 511-535.
- Karaca F., Akmeşe F., Ünal E. (2021). Kinetic and kinematic analysis of the lower extremity stand to sit. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(1), 32-35.
- Mammacıoğlu, O., Coşkun, G., Soyhan, S. H. (2017). Su ile karışmayan yağ (b, f, k sinifi) yangınlarda yangın söndürme cihazlarının doğru kullanımı. *Fuels, Fire and Combustion in Engineering Journal*, 5, 19-23.
- Oktay, T., Özen, E. (2021). System design and control of rotary wing unmanned aerial vehicle. *European Journal of Science and Technology*, 27, 318-324.
- Oruç, E. M., Ulvi, A. (2023). Maden sahalarındaki deformasyonların iha'lar ile izlenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(2), 43-57.
- Özdemir, A. (2022). Bilgisayar destekli tasarım ve tasarımcı. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 12(4), 2562-2571.
- Pehlivan, K., Aküner, C. M. (2020). Quadrotor test düzeneği için pid kontrolör tasarımı ve uygulaması. *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*, 2(1), 15-24
- Serway, A. R., Jewett, W. J. (2014). *Physics for scientistand engineer's 9th Edition, Chapter 5 laws of motion*. Brooks/Cole.
- Tahir, A., Böling, J., Haghbayan, M. H., Toivonen, H. T., & Plosila, J. (2019). Swarms of unmanned aerial vehicles a survey. *Journal of Industrial Information Integration*, 16, 100-106.
- Taşdemir, A., Baksan, B., Çelikyürek, İ. (2021). Investigation of the effect of some factors on resistance spot welding of dkp steel using response surface method. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics*, 16, 145-152.

