

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
UÇAK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PARTİKÜLSÜZ GÜMÜŞ İLETKEN MÜREKKEBİN UÇAK  
KANATLARINDA BUZLANMA ÖNLEYİCİ REZİSTANS  
TASARIMLARINA UYGULANMASI VE PERFORMANSININ  
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan  
Yakup SÜLEYMANOĞLU**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Sami PEKDEMİR**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Aralık 2024  
KAYSERİ**



T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
UÇAK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PARTİKÜLSÜZ GÜMÜŞ İLETKEN MÜREKKEBİN UÇAK  
KANATLARINDA BUZLANMA ÖNLEYİCİ REZİSTANS  
TASARIMLARINA UYGULANMASI VE PERFORMANSININ  
İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan  
Yakup SÜLEYMANOĞLU

Danışmanlar  
Dr. Öğr. Üyesi Sami PEKDEMİR

Aralık 2024  
KAYSERİ

## **BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK**

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

**Yakup SÜLEYMANOĞLU**



**“Partikülsüz Gümüş İletken Mürekkebin Uçak Kanatlarında Buzlanma Önleyici Rezistans Tasarımlarına Uygulanması ve Performansının İncelenmesi”** adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

**Hazırlayan**

Yakup SÜLEYMANOĞLU

**Danışman**

Dr. Öğr. Üyesi Sami PEKDEMİR

**Uçak Mühendisliği ABD Başkanı**

Doç. Dr Murat AYDIN

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca farklı bakıő açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bu seviyeye ulaőmamda büyük katkı sahibi olan sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Sami Pekdemir'e teőekkürü bir borç bilirim.

Çalıőmalarımı gerçekleőtirirken desteklerini esirgemeyen ERNAM çalıőanlarına teşekkür ederim.

Aralık 2024, KAYSERİ

# PARTİKÜLSÜZ GÜMÜŞ İLETKEN MÜREKKEBİN UÇAK KANATLARINDA BUZLANMA ÖNLEYİCİ REZİSTANS TASARIMLARINA UYGULANMASI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Yakup SÜLEYMANOĞLU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2024

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sami PEKDEMİR

## ÖZET

Teknoloji ilerledikçe fosil yakıt tüketimi artmış ve bu durum çevreye ciddi zararlar vermiştir. Özellikle CO<sub>2</sub> emisyonlarının yüksek olduğu havacılık sektöründe, soğuk hava koşulları uçaklarda buzlanma problemine neden olmakta, bu da uçuş kalitesini düşürmektedir. Uçaklar, yaklaşık 10,6 km yükseklikte, -50°C ile -60°C arasındaki sıcaklıklarda uçarken, suyun donma noktasının altındaki bu sıcaklıklar buzlanmayı kaçınılmaz kılar. Buzlanma, uçağın ağırlığını ve sürüklenme kuvvetini artırırken, kaldırma kuvvetini azaltır, bu da daha fazla güç ve yakıt tüketimi gerektirir.

Uçaklarda buzlanmayı önlemek için termal, elektrikli ve kimyasal buz önleme sistemleri kullanılır. Buzlanma, kanatlar, kuyruk, gövde, stabilizatörler, kontrol yüzeyleri, motor girişleri, pitot tüpleri, statik portlar ve diğer kritik alanlarda oluşabilir. Uçakların buzlanmasını gidermek için genellikle motorlardan alınan sıcak hava kullanılır. Ancak soğuk havalarda, gerekli ısıyı sağlamak için motor gücünü artırmak gerekebilir ki bu da yakıt tüketimini daha da artırır.

Bu çalışmada buzlanma önleyici ve buz çözücü sistemler için farklı rezistans tasarımları yapılmıştır. Bu sistemlerin tasarımının kanatlar üzerine uygulanması için partikülsüz gümüş mürekkep kullanılarak yüksek performanslı ısıtıcı sistemler üretilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Buzlanma, fosil yakıt, rezistans, gümüş iletken mürekkep

# APPLICATION OF PARTICLE-FREE SILVER CONDUCTIVE INK TO ANTI-ICE SYSTEM DESIGNS IN AIRCRAFT WINGS AND INVESTIGATION OF THEIR PERFORMANCE

Yakup SÜLEYMANOĞLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, December 2024

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Sami PEKDEMİR

## ABSTRACT

As technology advances, there is no doubt that fossil fuel consumption has increased and this has caused serious damage to the environment. The aviation sector is a particular concern, with high CO<sub>2</sub> emissions and the additional issue of icing caused by cold weather conditions, which significantly reduces flight quality. Aircraft fly at temperatures between -50°C and -60°C at an altitude of approximately 10.6 km, which inevitably results in icing due to the temperatures below the freezing point of water. Icing increases the weight and drag of the aircraft, while reducing lift, which inevitably requires more power and fuel consumption.

Anti-icing systems are used to prevent icing on aircraft. These include thermal, electrical and chemical systems. Icing can and will occur on the wings, tail, fuselage, stabilisers, control surfaces, engine intakes, pitot tubes, static ports and other critical areas. Hot air from the engines is the usual method used to de-ice aircraft. However, in cold weather, the engine must be powered up to provide the required heat, which increases fuel consumption.

This study presents a range of anti-icing and de-icing system designs. To apply these designs to the wings, high-performance heating systems were produced using particle-free gum ink.

**Key words :** Icing, fossil fuel, resistance, silver conductive ink,

## İÇİNDEKİLER

### PARTİKÜLSÜZ GÜMÜŞ İLETKEN MÜREKKEBİN UÇAK KANATLARINDA BUZLANMA ÖNLEYİCİ REZİSTANS TASARIMLARINA UYGULANMASI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK .....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL ONAY .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
TABLolar LİSTESİ.....	xv
GİRİŞ .....	1

#### 1. BÖLÜM

##### GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Fosil Yakıt Tüketimi ve Güncel Durum.....	3
1.2. Fosil Yakıt Tüketimi .....	3
1.3. Yatırımlar ve Ekonomik Etkiler.....	3
1.4. Bölgesel Dinamikler ve Yenilenebilir Enerji .....	3
1.5. Fosil Yakıt Sübvansiyonları .....	4
1.6. Uçaklardaki Fosil Yakıt Tüketimi.....	4
1.7. Fosil Yakıt Tüketimi ve Havacılık.....	4
1.8. Tüketim İstatistikleri .....	4
1.9. Çevresel Etkiler .....	5
1.10. Havacılıkta Buzlanma Çeşitleri .....	5
1.10.1. Buzlanmanın Tanımı .....	5
1.10.1.1. Rime Buzlanması.....	6
1.10.1.2. Clear (Glaze) Buzlanması.....	6
1.10.1.3. Karışık Buzlanma .....	6
1.10.1.4. Frost (Kırağı) Buzlanması.....	7

<b>1.11. Uçaklarda Buzlanma ve Önemi .....</b>	<b>7</b>
<b>1.11.1. Buzlanmanın Etkileri.....</b>	<b>7</b>
<b>1.11.1.1. Aerodinamik Etkiler .....</b>	<b>7</b>
<b>1.11.1.2. Ağırlık ve Denge .....</b>	<b>7</b>
<b>1.11.1.3. Motor Performansı.....</b>	<b>7</b>
<b>1.11.1.4. Kontrol Sistemleri .....</b>	<b>7</b>
<b>1.11.2. Buzlanmayı Önleyici Sistemler .....</b>	<b>8</b>
<b>1.11.2.1. Pasif Sistemler .....</b>	<b>8</b>
<b>1.11.2.2. Hidrofobik Kaplamalar .....</b>	<b>8</b>
<b>1.11.2.3. Kimyasal De-icerlar .....</b>	<b>8</b>
<b>1.12. Anti-Icing Sistemleri .....</b>	<b>8</b>
<b>1.13. Isıl Anti-Icing Sistemleri.....</b>	<b>8</b>
<b>1.14. Kimyasal Anti-Icing Sistemleri.....</b>	<b>9</b>
<b>1.15. De-Icing Sistemleri.....</b>	<b>9</b>
<b>1.16. Mekanik De-Icing Sistemleri.....</b>	<b>9</b>
<b>1.17. Isıl De-Icing Sistemleri.....</b>	<b>10</b>
<b>1.18. Kimyasal De-Icing Sistemleri.....</b>	<b>10</b>
<b>1.19. Anti-Icing Sistemleri Avantajları .....</b>	<b>10</b>
<b>1.20. Anti-Icing Sistemleri Dezavantajları.....</b>	<b>10</b>
<b>1.21. De-Icing Sistemleri Avantajları .....</b>	<b>10</b>
<b>1.22. De-Icing Sistemleri Dezavantajları.....</b>	<b>10</b>
<b>1.23. Aktif Sistemler .....</b>	<b>11</b>
<b>1.24. Isıtma Sistemleri.....</b>	<b>11</b>
<b>1.24.1 Elektrik Isıtıcılar .....</b>	<b>11</b>
<b>1.24.2. Hava Kanalları .....</b>	<b>11</b>
<b>1.24.3. Pinomatik Botlar .....</b>	<b>11</b>
<b>1.24.4. Mikrodalga ve Elektromanyetik Sistemler .....</b>	<b>11</b>
<b>1.25. Mevcut Sistemlerin Karşılaştırılması.....</b>	<b>11</b>
<b>1.25.1. Hidrofobik Kaplamalar .....</b>	<b>11</b>
<b>1.25.1.1. Avantajları.....</b>	<b>11</b>
<b>1.25.1.2. Dezavantajları .....</b>	<b>11</b>
<b>1.26. Kimyasal De-icerlar .....</b>	<b>12</b>
<b>1.26.1. Avantajları.....</b>	<b>12</b>

1.26.2. Dezavantajları .....	12
1.27. Elektrik Isıtıcılar .....	12
1.27.1. Avantajları .....	12
1.27.2. Dezavantajları .....	12
1.28. Pinomatik Botlar .....	12
1.28.1. Avantajları .....	12
1.28.2. Dezavantajları .....	12
1.29. Mikrodalga ve Elektromanyetik Sistemler .....	12
1.29.1. Avantajları .....	12
1.29.2. Dezavantajları .....	12

## 2. BÖLÜM

### YÖNTEM ve MATERYAL

2.1. Dikdörtgen Kanat (Rectangular Wing) .....	13
2.1.1. Temel Özellikler ve Tasarım .....	13
2.2. Trapez Kanat (Trapezoidal Wing) .....	14
2.2.1. Temel Özellikler ve Tasarım .....	14
2.3. Eliptik Kanat (Elliptical Wing) .....	15
2.3.1. Temel Özellikler ve Tasarım .....	15
2.4. Epoksi Reçine .....	16
2.5. Stencil Maskeler .....	17
2.5.1. Stencil Maskelerin Kullanımı ve İşlevi .....	17
2.6. Gümüş İletken Mürekkep .....	18
2.6.1. Gümüş İletken Mürekkebin Hazırlanışı .....	19
2.7. Uygulama Yöntemi .....	19
2.8. Elektriksel özelliklerin karakterizasyonu .....	19
2.8.1. Dört nokta iletkenlik ölçümü .....	19
2.9. Joule Isıtma .....	20

## 3. BÖLÜM

### BULGULAR

3.1. NACA 12 Kanat profilinin üretimi .....	22
3.2. Rezistans Tasarımları .....	22
3.3. Rezistans Tasarımlarının uygulandığı Kanat Profilleri .....	23
3.4. Rezistans kalınlığının optimizasyonu .....	24

**3.5. Rezistans kalınlığı ile Elektriksel özellikler arasındaki ilişki.....26**

**3.6. Rezistans tasarımlarının performans analizleri.....28**

#### **4. BÖLÜM**

#### **TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER**

**KAYNAKÇA .....41**

**ÖZGEÇMİŞ.....43**



## KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Alan
Al	: Alüminyum
Ak	: Kanat profil alanı
c	: Özgül ısı
Cu	: Bakır
E	: Enerji
ft	: Feet
h	: Isı taşınım katsayısı
k	: Isı iletim katsayısı
kg	: Kilogram
L	: Uzunluk
m	: Kütle
mm	: Milimetre
Ni	: Nikel
p	: Yoğunluk
P	: Basınç
q	: Isı akısı
Q	: Isı
T, t	: Sıcaklık
C°	: Santigrad Derece
V	: Hacim
W	: Watt

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Parlak - Mat Buz .....	7
Şekil 1.2.	Sönük - Şişmiş Buz Kırıcı.....	9
Şekil 2.1.	Dikdörtgen rezistans tasaramının Solidworks'de tasarlanmış hali .....	14
Şekil 2.2.	İletken çubuğun direncini ölçmek için oluşturulmuş dört terminalli devre .	20
Şekil 3.1.	Kanat profillerinin ve rezistansların üretiminin şematik gösterimi.....	22
Şekil 3.2.	NACA 12 kanat profili için tasarlanmış rezistans çizimleri a) 2mm, b)3 mm, c) 4 mm genişliğindeki tasarımlar.....	23
Şekil 3.3.	NACA 12 kanat profili üzerinde oluşturulmuş rezistanslar a) 2mm, b)3 mm, c) 4 mm .....	24
Şekil 3.4.	Farklı katman kalınlıklarında üretilmiş olan Rezistansların profilometre sonuçları a) 6 katman, b) 8 katman, c) 10 katman, d) 12 katman, e) 4 katman, f) 16 katman.....	24
Şekil 3.5.	Katman sayısı ile rezistans kalınlığı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik .....	25
Şekil 3.6.	Katman sayısı ile ortalama elektriksel direnç arasındaki ilişkiyi gösteren grafik .....	26
Şekil 3.7.	Katman sayısı ile ortalama elektriksel direnç arasındaki ilişkiyi gösteren grafik .....	27
Şekil 3.8.	Rezistans genişliği 2 mm olan ve 6 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmıştır termal kamera görüntüleri. ...	29
Şekil 3.9.	Rezistans genişliği 2 mm olan ve 8 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmıştır termal kamera görüntüleri. ...	30
Şekil 3.10.	Rezistans genişliği 2 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmıştır termal kamera görüntüleri. ...	31
Şekil 3.11.	Rezistans genişliği 2 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği .....	31
Şekil 3.12.	Rezistans genişliği 3 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmıştır termal kamera görüntüleri. ...	32
Şekil 3.13.	Rezistans genişliği 3 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği .....	33
Şekil 3.14.	Rezistans genişliği 4 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmıştır termal kamera görüntüleri. ...	34

- Şekil 3.15. Rezistans genişliği 4 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği .....34
- Şekil 3.16. Rezistans genişliği ve uzunluğuna göre hesaplanmış elektriksel direnç değerlerinin rezistans genişliği ilişkilendirilmiş grafiği.....35
- Şekil 3.17. Rezistans genişliği 3 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın epoksi kaplandıktan sonra 5s'lik aralıkla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği .....37
- Şekil 3.18. Rezistans genişliği 4 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın epoksi kaplandıktan sonra 5s'lik aralıkla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği. ....38
- Şekil 4.1. Rezistans genişliği 2, 3, 4 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımların 5s'lik aralıkla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği .....39

## TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Tasarımı yapılmış rezistansların uzunluğu ve buna bağlı olarak hesaplanmış direnç değerleri.....	35
---	----



## GİRİŞ

Teknolojinin zamanla gelişmesi ile fosil yakıt tüketimi oldukça artmıştır. Fosil yakıtların kullanılması ile çevreye verilen zararda büyük artış olmuştur. Bu durumun önüne geçmek için yüksek CO<sub>2</sub> emisyonuna sebep olan etmenleri en aza indirmek ve yerine sürdürülebilir sistemleri entegre etmek gerekmektedir. CO<sub>2</sub> emisyonunun yüksek olduğu havacılık sektöründe buzlanma sorunu daha fazla yakıt tüketime sebep olmaktadır. Soğuk havalarda sıkça buzlanmalarla karşılaşırız. Bu durumu günlük hayatımızda sıkça gördüğümüz kara taşıtlarında, sürekli gözlemliyoruz. Kara taşıtlarında çok tehlikeli bir durum olarak nitelendirilmeyebilir. Fakat bunu hava taşıtlarında yani uçaklar da düşündüğümüz zaman oldukça tehlikeli olduğunu görebiliriz. Uçaklar ortalama seyir yüksekliği 35000 ft yani 10,6 km 'dir. Bu yüksekliği göz önünde bulundurarak ortalama -50C° ile -60C° arasında bir sıcaklıkta uçakların seyrettiğini görürüz. Suyun donma sıcaklığını (0C° altında) düşündüğümüzde bu sıcaklıklarda buzlanmalar kaçınılmazdır. Buzlanma uçuş kalitesini düşürür, uçağın ağırlığını ve uçağa etki eden sürüklenme kuvvetini artırır ve böylece uçağa etki eden kaldırma kuvvetini azaltır. Uçak üzerinde meydana gelen buzun ağırlığından çok uçak üzerinden geçen hava akımına etkisi çok daha önemlidir. Sürüklenme kuvvetinin artması ve kaldırma kuvvetinin azalmasını karşılamak için uçağın harcadığı güç ve kanatların kritik hücum açısı artar.

Uçaklarda buzlanmayı önlemek için; termal, elektrikli ve kimyasal buz önleme sistemleri kullanılmaktadır. Kanatlarına, kuyruğuna, gövdesine, stabilizer'lerine, kontrol yüzeylerine, motor girişlerine, pitot tube'lerine, static port'larına ve diğer kritik alanlarına, kırağı, buz, kar veya sulu kar birikmesi veya oluşması durumunda, uçağın "take off" olması (kalkışı) mümkün olmayabilir. Kalkışın sağlanabilmesi için daha fazla güç gerekmektedir. Kalkış gerçekleşmese bile yakıt tüketimi ciddi oranda fazlalaşarak sarf maliyeti artırır, çevre kirliliğine de yol açacaktır. Uçakların buzlanmasını gidermek için seyir halindeyken en çok motorun ürettiği ısıdan faydalanılır. Gaz türbinli motorlardan alınan havanın ilgili bölgelere yönlendirilmesiyle buzlanmanın

giderilmesi sağlanır. Çok soğuk havalarda bu gerekli ısının sağlanabilmesi için motorun gücünü arttırmak gerekir. Bu durum uçaklarda fazla yakıt kullanımına sebep olur. Dünya da birçok kaynağın bilinçsizce tüketilmesi, insan nüfusunun hızlı artışı vb. gibi etkenler ekonomik anlamda ülkeleri de zor duruma sokmaktadır. Bu durumda yaptığımız çalışma yakıt tüketimine ihtiyaı azaltarak dünya ekonomisine de katkıda bulunmaktadır.



# 1. BÖLÜM

## GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 1.1. Fosil Yakıt Tüketimi ve Güncel Durum

Fosil yakıtlar, dünya enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturmaya devam ediyor. Küresel enerji talebi artarken, fosil yakıt tüketimi de bu talebe paralel olarak yükselmektedir. 2023 yılında fosil yakıt kullanımında ve buna bağlı yatırımlarda önemli gelişmeler yaşanmıştır.

### 1.2. Fosil Yakıt Tüketimi

Fosil yakıt tüketimi, 2023 yılında küresel enerji talebindeki artışla birlikte yükseldi. Küresel enerji talebi 620 Exajoule (EJ) seviyesine ulaşırken, fosil yakıt tüketimi 505 EJ olarak gerçekleşti ve bu, toplam enerji tüketiminin %81.5'ini oluşturdu. Fosil yakıt tüketimindeki artış, özellikle gelişmekte olan ekonomilerde belirgindi. Hindistan'da kömür tüketimi, ilk kez Kuzey Amerika ve Avrupa'nın toplam tüketimini aştı (KPMG) (IEA).

### 1.3. Yatırımlar ve Ekonomik Etkiler

Fosil yakıt endüstrisi, 2022 yılında yüksek yakıt fiyatlarının etkisiyle büyük kârlar elde etti ve bu durum 2023'te de devam etti. Petrol ve gaz endüstrisindeki yatırımın 2023'te %7 artarak 500 milyar doları aşması bekleniyordu. Ancak, bu yatırımların büyük bir kısmı maliyet artışlarını karşılamak için kullanıldı. Kömür tedarikine yapılan yatırımlar da %10 arttı ve pandemi öncesi seviyelerin üzerine çıktı (IEA).

### 1.4. Bölgesel Dinamikler ve Yenilenebilir Enerji

Fosil yakıt tüketimi bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Gelişmiş ekonomilerde, fosil yakıt kullanımında bir düşüş gözlenirken, Avrupa'da fosil yakıt kullanımı sanayi

devriminden bu yana ilk kez %70'in altına düştü. Buna karşın, Hindistan ve birçok Afrika ülkesinde fosil yakıt kullanımı hızla artmakta ve yenilenebilir enerji büyümesini geride bırakmaktadır. Çin'de ise fosil yakıtların toplam enerji tüketimindeki payı azalmakla birlikte, mutlak tüketim yüksek seviyelerde kalmaya devam etmektedir (KPMG) (IMF).

### **1.5. Fosil Yakıt Sübvansiyonları**

IMF raporuna göre, fosil yakıt sübvansiyonları 2022 yılında 7 trilyon dolar seviyesine ulaştı. Bu sübvansiyonlar, düşük fiyatlandırma ve çevresel maliyetlerin tam olarak yansıtılmaması nedeniyle fosil yakıt kullanımını teşvik etmektedir. Bu durum, yenilenebilir enerji yatırımlarının önünde bir engel olarak görülmektedir (IMF).

### **1.6. Uçaklardaki Fosil Yakıt Tüketimi**

Fosil yakıtlar, özellikle havacılık sektöründe hala temel enerji kaynağıdır. Uçaklar için fosil yakıt tüketimi, hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli bir konudur. Havacılık endüstrisi, küresel enerji tüketiminde belirgin bir paya sahiptir ve sera gazı emisyonlarına önemli bir katkıda bulunmaktadır.

### **1.7. Fosil Yakıt Tüketimi ve Havacılık**

Havacılık sektöründeki fosil yakıt tüketimi, jet yakıtı (kerosen) kullanımını içermektedir. Jet yakıtı, yüksek enerji yoğunluğu ve düşük sıcaklıklarda bile akışkanlığını koruma yeteneği nedeniyle tercih edilir.

- Enerji Yoğunluğu: Jet yakıtı, diğer yakıt türlerine göre yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir, bu da uzun mesafeli uçuşlar için gereklidir.
- Yakıt Verimliliği: Modern uçak motorları, yakıt verimliliğini artırmak için sürekli olarak geliştirilmektedir. Ancak, talepteki artış toplam yakıt tüketimini artırmaktadır (IEA) (IEA).

### **1.8. Tüketim İstatistikleri**

2022 yılında, havacılık sektöründe yaklaşık 300 milyon ton jet yakıtı tüketildi. Bu, küresel petrol tüketiminin yaklaşık %8'ini oluşturmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı

(IEA), havacılık sektörünün enerji tüketiminin 2023-2024 yılında da artmaya devam ettiğini belirtmektedir. (IEA) (IEA).

## 1.9. Çevresel Etkiler

Fosil yakıt tüketimi, havacılık sektöründe önemli çevresel etkilere yol açmaktadır. Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonları, havacılık endüstrisinin sera gazı salınımlarına büyük katkı sağlar. 2022 yılında havacılık sektörü, küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık %2.5'ini oluşturdu.

- **Sera Gazı Emisyonları:** Uçaklar, yaktıkları yakıt miktarı ile orantılı olarak CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazlarını atmosfere salmaktadır. Yakıt tüketimindeki artış, bu emisyonların artmasına neden olmaktadır.
- **İklim Değişikliği:** Havacılık sektöründeki fosil yakıt tüketimi, küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir (KPMG) (IMF).

### Yakıt Verimliliği ve Alternatifler

Havacılık sektörü, yakıt verimliliğini artırmak ve fosil yakıt tüketimini azaltmak için çeşitli stratejiler geliştirmektedir.

- **Aerodinamik İyileştirmeler:** Uçak tasarımlarında yapılan aerodinamik iyileştirmeler, yakıt tüketimini azaltmada önemli rol oynamaktadır.
- **Yeni Motor Teknolojileri:** Daha verimli motorlar ve hibrit-elektrik sistemleri, yakıt tüketimini ve emisyonları azaltmayı hedeflemektedir.
- **Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları (SAF):** SAF'ler, fosil yakıtlara alternatif olarak geliştirilmekte ve karbon ayak izini azaltma potansiyeline sahiptir (KPMG) (IEA).

## 1.10. Havacılıkta Buzlanma Çeşitleri

### 1.10.1. Buzlanmanın Tanımı

Uçaklarda buzlanma, genellikle düşük sıcaklıklarda, yüksek nem oranının olduğu bölgelerde meydana gelir. Uçağın kanatları, kuyruk yüzeyleri, motorları ve diğer dış yüzeylerinde buz birikmesi şeklinde ortaya çıkar. Bu buzlanma, uçağın aerodinamik

yapısını bozarak kaldırma kuvvetini azaltır ve sürtünmeyi artırır, bu da uçuş güvenliğini ciddi şekilde tehlikeye atar.

Uçaklar, çeşitli atmosferik koşullarda uçarken buzlanma ile karşılaşabilirler. Buzlanma, uçuş güvenliğini tehlikeye atabilir ve bu nedenle farklı buzlanma türlerini anlamak ve bunlara karşı önlemler almak hayati önem taşır. Havacılıkta karşılaşılan başlıca buzlanma türleri şunlardır:

- Rime Buzlanması
- Clear (Glaze) Buzlanması
- Karışık Buzlanma
- Frost (Kırağı) Buzlanması

#### **1.10.1.1. Rime Buzlanması**

Rime buzlanması, küçük su damlacıklarının çok hızlı bir şekilde donması ile oluşur. Bu tür buzlanma, genellikle düşük sıcaklık ve düşük su içeriği koşullarında meydana gelir. Oluşan buz, opak ve kırılmandır. Rime buzlanması, genellikle kanatların ve diğer uçak yüzeylerinin ön kenarlarında görülür (FAA, 2016).

#### **1.10.1.2. Clear (Glaze) Buzlanması**

Clear buzlanması, daha büyük su damlacıklarının yavaşça donmasıyla oluşur. Bu tür buzlanma, daha yüksek su içeriği ve sıcaklık koşullarında meydana gelir. Oluşan buz, şeffaf ve yoğun olup yüzeyde pürüzsüz bir tabaka oluşturur. Bu tür buzlanma, uçak yüzeylerinde daha fazla ağırlık ve aerodinamik bozulma yaratır (NASA, 2015).

#### **1.10.1.3. Karışık Buzlanma**

Karışık buzlanma, rime ve clear buzlanmasının bir kombinasyonudur. Bu tür buzlanma, farklı boyutlardaki su damlacıklarının aynı anda donmasıyla oluşur ve genellikle opak, pürüzlü ve yoğun bir buz tabakası oluşturur. Karışık buzlanma, en tehlikeli buzlanma türlerinden biri olarak kabul edilir, çünkü hem ağırlık hem de aerodinamik bozulmaya yol açar (FAA, 2016).

#### 1.10.1.4. Frost (Kırağı) Buzlanması

Frost buzlanması, uçak yerdeyken veya çok düşük sıcaklıklarda uçarken oluşur. Hava soğuk ve nemli olduğunda su buharı doğrudan donarak ince, kristalize bir buz tabakası oluşturur. Frost, genellikle uçak yüzeylerinde ve camlarında oluşur ve uçuş öncesi temizlenmesi gerekir. (NASA, 2015).



Şekil 1.1. Parlak - Mat Buz

### 1.11. Uçaklarda Buzlanma ve Önemi

#### 1.11.1. Buzlanmanın Etkileri

##### 1.11.1.1. Aerodinamik Etkiler

Buzlanma, kanatların kaldırma kuvvetini azaltırken sürtünmeyi artırır, bu da uçağın dengeli uçuş yeteneğini olumsuz etkiler.

##### 1.11.1.2. Ağırlık ve Denge

Uçağın yüzeylerinde biriken buz, uçağın ağırlık merkezini değiştirebilir ve toplam ağırlığını artırabilir.

##### 1.11.1.3. Motor Performansı

Motor girişlerinde buz birikmesi, motorun verimini düşürebilir ve hatta motor arızalarına yol açabilir.

##### 1.11.1.4. Kontrol Sistemleri

Uçağın kontrol yüzeylerindeki buzlanma, pilotun uçağı kontrol etme yeteneğini azaltabilir.

## **1.11.2. Buzlanmayı Önleyici Sistemler**

### **1.11.2.1. Pasif Sistemler**

Pasif sistemler, buzlanmanın oluşumunu fiziksel veya kimyasal yöntemlerle önlemeye çalışan sistemlerdir. Bunlar genellikle buzlanma oluşmadan önce uygulanır ve yüzeylerde buzlanmayı önlemeyi hedefler.

### **1.11.2.2. Hidrofobik Kaplamalar**

Uçağın yüzeylerine uygulanan hidrofobik kaplamalar, suyun yüzeye yapışmasını engelleyerek buzlanmayı önler.

### **1.11.2.3. Kimyasal De-icerlar**

Buzlanmayı önlemek için uçağın yüzeylerine sprej olarak uygulanan kimyasallardır. Genellikle uçuş öncesi ve sırasında kullanılır.

Anti-icing ve de-icing sistemleri, uçaklarda buzlanmayı önlemek veya mevcut buzu temizlemek için kullanılan önemli teknolojilerdir. Bu sistemlerin etkinliği, uçuş güvenliği ve operasyonel verimlilik açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, anti-icing ve de-icing sistemlerinin tanımı, çalışma prensipleri ve birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları tartışılacaktır. Ayrıca literatürden alıntılar yapılarak, kaynaklar detaylandırılacaktır.

## **1.12. Anti-Icing Sistemleri**

Anti-icing sistemleri, buz oluşumunu başlamadan önce engellemek amacıyla kullanılır. Bu sistemler genellikle iki ana yöntemle çalışır: ısı enerjisi (elektrik veya hava) kullanarak kanat yüzeylerinin sıcaklığını artırmak veya kimyasal maddelerle buz oluşumunu önlemek.

### **1.13. Isıl Anti-Icing Sistemleri**

Isıl anti-icing sistemleri, genellikle elektrik rezistansları veya motor çıkış havası kullanarak çalışır. Elektrik rezistansları, kanat yüzeyine entegre edilir ve yüzeyin sıcaklığını artırarak buz oluşumunu önler. Motor çıkış havası ile yapılan sistemlerde ise sıcak hava, kanat yüzeyine yönlendirilerek yüzeyin ısınması sağlanır. Elektrik rezistanslı

anti-icing sistemleri, düşük bakım gereksinimleri ve yüksek verimlilikleri nedeniyle modern uçaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. (Smith, 2020).

#### 1.14. Kimyasal Anti-Icing Sistemleri

Kimyasal anti-icing sistemleri, kanat yüzeyine uygulanan özel kimyasal maddelerle buz oluşumunu önler. Bu kimyasallar, genellikle düşük sıcaklıklarda buz kristallerinin oluşumunu engelleyerek yüzeyin buzlanmasını engeller. Kimyasal anti-icing sistemleri, özellikle küçük uçaklarda ve helikopterlerde etkili bir çözüm sunar, ancak çevresel etkileri nedeniyle kullanımı sınırlıdır (Johnson, 2019).

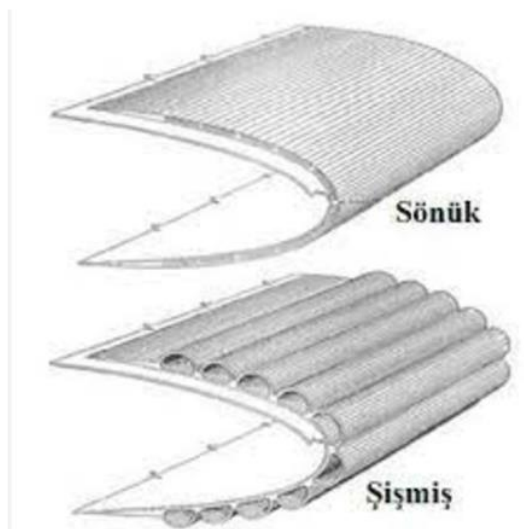
#### 1.15. De-Icing Sistemleri

De-icing sistemleri, halihazırda oluşmuş buzun temizlenmesi amacıyla kullanılır. Bu sistemler genellikle mekanik yöntemler, ısı enerjisi veya kimyasal maddelerle çalışır.

#### 1.16. Mekanik De-Icing Sistemleri

Mekanik de-icing sistemleri, kanat yüzeyindeki buzun fiziksel olarak kırılması veya soyulması prensibine dayanır. Bu sistemlerde genellikle kanat yüzeyine entegre edilmiş titreşim veya darbe uygulayan cihazlar kullanılır.

Literatürden Alıntı: "Mekanik de-icing sistemleri, özellikle rotorcraft'larda yaygın olarak kullanılır ve etkili bir buz temizleme yöntemidir (Brown, 2018).



Şekil 1.2. Sönük - Şişmiş Buz Kırıcı

### **1.17. Isıl De-Icing Sistemleri**

Isıl de-icing sistemleri, elektrik rezistansları veya motor çıkış havası kullanarak kanat yüzeyindeki buzun eritilmesini sağlar. Bu sistemler, buzun hızla erimesine ve yüzeyden uzaklaşmasına olanak tanır. Isıl de-icing sistemleri, geniş gövdeli uçaklarda yüksek verimlilik sağlar, ancak enerji tüketimleri nedeniyle operasyonel maliyetleri artırabilir (White, 2021).

### **1.18. Kimyasal De-Icing Sistemleri**

Kimyasal de-icing sistemleri, kanat yüzeyine uygulanan buz çözücü kimyasallarla çalışır. Bu kimyasallar, buzun çözülmesine ve yüzeyden ayrılmasına yardımcı olur. Kimyasal de-icing sistemleri, özellikle yerdeki operasyonlarda yaygın olarak kullanılır ve hızlı bir çözüm sunar (Green, 2017)

### **1.19. Anti-Icing Sistemleri Avantajları**

- Buz oluşumunu önleyerek sürekli bir koruma sağlar.
- Özellikle uzun uçuşlarda güvenliği artırır.

### **1.20. Anti-Icing Sistemleri Dezavantajları**

- Yüksek enerji tüketimi.
- Bazı kimyasal maddelerin çevresel etkileri.

### **1.21. De-Icing Sistemleri Avantajları**

- Mevcut buzun hızlı bir şekilde temizlenmesini sağlar.
- Çeşitli uygulama yöntemleri ile esneklik sunar.

### **1.22. De-Icing Sistemleri Dezavantajları**

- Mekanik sistemlerde yüksek bakım maliyetleri.
- Isıl sistemlerde yüksek enerji tüketimi.

### **1.23. Aktif Sistemler**

Aktif sistemler, buzlanma oluştuktan sonra buzu çözmek veya uzaklaştırmak amacıyla kullanılan sistemlerdir.

### **1.24. Isıtma Sistemleri**

#### **1.24.1 Elektrik Isıtıcılar**

Uçağın kritik bölgelerine yerleştirilen elektrik ısıtıcılar, bu bölgelerdeki buzu eriterek buzlanmayı önler.

#### **1.24.2. Hava Kanalları**

Motorlardan gelen sıcak hava, kanatlar ve diğeryüzeyler boyunca dağıtılarak buzlanmayı önler.

#### **1.24.3. Pinomatik Botlar**

Kanatların ön kenarlarına yerleştirilen esnek botlar, hava ile şişirilerek buzu kırar ve uzaklaştırır.

#### **1.24.4. Mikrodalga ve Elektromanyetik Sistemler**

Bu sistemler, elektromanyetik dalgalar kullanarak buzu eritme prensibiyle çalışır. Bu teknoloji, henüz geliştirme aşamasındadır ve yaygın kullanıma girmemiştir.

### **1.25. Mevcut Sistemlerin Karşılaştırılması**

#### **1.25.1. Hidrofobik Kaplamalar**

##### **1.25.1.1. Avantajları**

Hafif, bakım gerektirmez, uzun ömürlü.

##### **1.25.1.2. Dezavantajları**

Yüksek maliyet, kaplamanın etkinliği zamanla azalabilir.

## **1.26. Kimyasal De-icerlar**

### **1.26.1. Avantajları**

Uygulaması kolay, etkili.

### **1.26.2. Dezavantajları**

Sık uygulama gerektirir, çevreye zararlı olabilir.

## **1.27. Elektrik Isıtıcılar**

### **1.27.1. Avantajları**

Hızlı etki, kontrollü ısıtma.

### **1.27.2. Dezavantajları**

Yüksek enerji tüketimi, karmaşık kurulum.

## **1.28. Pinomatik Botlar**

### **1.28.1. Avantajları**

Basit yapı, güvenilir.

### **1.28.2. Dezavantajları**

Mekanik aşınma, periyodik bakım gerektirir.

## **1.29. Mikrodalga ve Elektromanyetik Sistemler**

### **1.29.1. Avantajları**

Potansiyel olarak düşük enerji tüketimi, yüksek etkinlik.

### **1.29.2. Dezavantajları**

Geliştirme aşamasında, yüksek maliyet.

## 2. BÖLÜM

### YÖNTEM ve MATERYAL

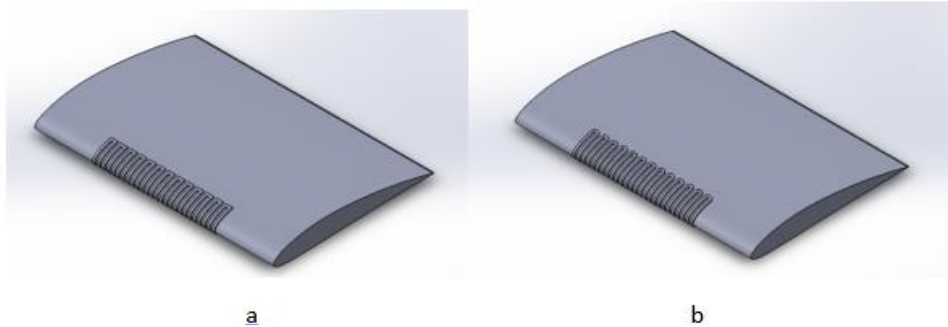
Kanat modellerimizi belirleyip solidworks üzerinde katı modellerini oluşturduk. Toplam da 3 çeşit kanat modeli üzerinde çalışma yaptık.

#### 2.1. Dikdörtgen Kanat (Rectangular Wing)

En basit ve yaygın kullanılan kanat tipidir. Köşeleri dikdörtgen şekildedir.

##### 2.1.1. Temel Özellikler ve Tasarım

- Geometrik Şekil: Dikdörtgen kanatlar, genellikle iki paralel kenar ve iki eşit uzunluktaki dik kenardan oluşur. Bu nedenle adını dikdörtgen şeklinden alır.
- Kullanım Alanları: Dikdörtgen kanatlar genellikle hafif ve yavaş uçan hava araçlarında tercih edilir. Özellikle eğitim uçakları, genel havacılık uçakları ve bazı insansız hava araçlarında bu tasarım sıkça kullanılır.
- Basitlik ve Üretim Kolaylığı: Dikdörtgen kanatlar, aerodinamik tasarım açısından diğer kompleks kanat tiplerine göre daha az zorluk içerir. Bu da üretim maliyetlerini ve zamanını azaltır.
- Aerodinamik Performans: Dikdörtgen kanatlar genellikle düşük hızlarda iyi performans gösterir. Özellikle düşük hızlarda stabilite sağlamak ve kalkış/iniş sırasında manevra kabiliyetini artırmak için idealdir.
- Kesit Profili: Kanatların altında ve üstünde bulunan hava akımı profilleri (aerodinamik profiller), genellikle standart NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) profilleri veya benzeri standart profillerdir.



Şekil 2.1. Dikdörtgen rezistans tasaramının Solidworks'de tasarlanmış hali

## 2.2. Trapez Kanat (Trapezoidal Wing)

Ön kenarının uzunluğu arka kenarından daha uzun olan kanat tipidir. Bu, genellikle performansı artırmak için kullanılır.

### 2.2.1. Temel Özellikler ve Tasarım

- **Geometrik Şekil:** Trapez kanatlar, ön kenarının uzunluğu arka kenarından daha uzun olan bir trapezoid şeklindedir. Bu şekil, genellikle kanat ucundan başlayarak kök kısmına doğru hafif bir şekilde daralabilir.
- **Aerodinamik Performans:** Trapez kanatlar, dikdörtgen kanatlara göre genellikle daha iyi aerodinamik performans sağlar. Özellikle yüksek hızlı uçaklarda, düşük hızlarda stabilite sağlama yeteneği ve manevra kabiliyeti artırılır.
- **Kullanım Alanları:** Bu kanat tasarımı, geniş bir uçak yelpazesinde kullanılır. Sivil havacılıkta yolcu uçakları, genel havacılık uçakları ve bazı askeri uçaklar trapez kanatları kullanabilir. Ayrıca helikopterlerde de benzer trapezoid kanatlar görülebilir.
- **Kesit Profili:** Trapez kanatların altında ve üstünde kullanılan aerodinamik profiller, genellikle uçak performansı ve aerodinamik stabiliteye göre seçilir. Yaygın olarak NACA profilleri veya benzeri standart profiller kullanılır.
- **Yapısal Avantajlar:** Trapez kanatlar, dikdörtgen kanatlara göre yapısal açıdan daha sağlam olabilir. Özellikle kanat kök kısmında daha fazla hacim sağlanabilir, bu da yakıt tankları veya diğer sistemler için ek yer sağlar.

### 2.3. Elliptik Kanat (Elliptical Wing)

Kanat uçları ve köşeleri oval şekilli olan kanat tipidir. Aerodinamik verimlilik için tasarlanmıştır.

#### 2.3.1. Temel Özellikler ve Tasarım

- **Geometrik Şekil:** Elliptik kanatlar, adını geometrik şeklinden alır. Kanat uçları ve köşeleri oval veya elips şeklindedir. Bu tasarım, aerodinamik direnci minimize ederek verimliliği artırır.
- **Aerodinamik Performans:** Elliptik kanatlar, düşük hızlarda ve yüksek hızlarda iyi performans gösterir. Kanat uçlarındaki dairesel şekil, kanat ucundan kaynaklanan turbulent hava akışını azaltabilir, bu da direnci düşürür ve yüksek hızlı uçuşlarda stabilite sağlar.
- **Kullanım Alanları:** Bu kanat tasarımı genellikle süpersonik veya hızlı altı uçaklarda ve yüksek performanslı planörlerde kullanılır. Örneğin, Spitfire gibi ikinci dünya savaşı avcı uçakları, elliptik kanatlarla ünlüdür.
- **Yapısal Avantajlar:** Elliptik kanatlar, genellikle aerodinamik avantajları nedeniyle yapısal olarak da avantajlıdır. Dairesel şekil, malzeme kullanımını optimize eder ve yapıyı güçlendirir.
- **Kesit Profili:** Elliptik kanatların altında ve üstünde kullanılan kesit profilleri, genellikle yüksek performanslı uçakların gereksinimlerine uygun olarak seçilir. NACA profilleri gibi standart profiller veya özelleştirilmiş profiller kullanılabilir.

Kanat modellerini oluştururken çalışmamızı kolaylaştırmak için alt kısımlarına 0.75cm çapında 2 adet vidalama deliği yerleştirdik. Çizimini gerçekleştirdiğimiz bu kanat modellerini ultimaker programına yükledik. Gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra 3D yazıcı da basım işlemi gerçekleştirilir. Basım için seçilen malzeme PETG 'dir. Tabla sıcaklığı 70-90 °C, nozul sıcaklığı ise 210 - 240 °C aralığındadır.

Kanat profilleri 3D yazıcıdan çıkarılarak, hazırlanan epoksi ile kaplama işlemleri gerçekleştirilir.

Epoksi, kimyasal olarak iki bileşenli bir polimerdir ve genellikle bir reçine ve bir sertleştirici (sertleştirici ajan veya kürleştirici) bileşeni içerir. Bu iki bileşen bir araya getirildiğinde kimyasal bir reaksiyon başlatılır ve sonuçta sert, dayanıklı ve yapışkan bir malzeme oluşur.

#### 2.4. Epoksi Reçine

- **Kimyasal Yapı:** Epoksi reçineler, epoksit grupları içeren bir polimerdir. Epoksit grupları, oksirana dönüşebilen üç atomlu bir halka yapısına sahiptir. Bu yapının kimyasal reaktivitesi, epoksi reçinelerin sertleştirici ile reaksiyona girmesini sağlar.
- **Özellikler:** Epoksi reçineler genellikle şeffaf veya opaktır. Dayanıklı, sert, kırılmaya karşı dirençli ve kimyasal maddelere karşı dirençlidirler. Bu özellikleri, geniş bir uygulama yelpazesi sağlar.
- **Kullanım Alanları:** Epoksi reçineler, kompozit malzemeler, yapıştırıcılar, kaplamalar, döküm malzemeleri, laminatlar ve elektronik bileşenler gibi çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalarda kullanılır.

#### Sertleştirici (Kürleştirici)

- **Kimyasal Yapı:** Sertleştirici genellikle bir amin veya izosiyanat gibi kimyasal bileşiklerdir. Epoksi reçine ile karıştırıldığında, bu bileşen kimyasal olarak reaksiyona girer ve reçine polimerizasyonu başlatır.
- **Reaksiyon ve Sertleşme:** Sertleştirici ile epoksi reçine karıştırıldığında, iki bileşen arasında kimyasal bir reaksiyon gerçekleşir. Bu reaksiyon sonucunda çapraz bağlı bir ağ yapısı oluşur, bu da epoksinin sertleşmesini ve dayanıklılığını sağlar.
- **Uygulama Süreci:** Epoksi ve sertleştirici, genellikle belirli bir oranlarda karıştırılır ve ardından uygulama yüzeyine yayılır. Epoksi reçineden 100gr, sertleştiriciden 40gr olacak şekilde oluşturulur. Yani ihtiyaca göre 5/2 oranında karışım oluşturulur. Sertleşme süreci genellikle birkaç saat ila birkaç gün arasında değişir ve sıcaklık, nem ve bileşenlerin kalitesi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir.

Kanat profiller 3 kat şeklinde elyaflarla kaplanır. Her katman da epoksi ile kaplama işlemi gerçekleştirilir. Her noktaya eşit olacak şekilde fırça yardımıyla uygulama yapılır. Bozunma olmaması için bu duruma dikkat edilmelidir.

## 2.5. Stencil Maskeler

Genellikle elektronik üretim süreçlerinde kullanılan önemli bir teknolojidir. Bu maskeler, elektronik devre kartlarının üretiminde, özellikle lehim maskesi uygulamasında ve baskı devre kartı (PCB) üretiminde kullanılır. İşte stencil maskeler hakkında detaylı bilgi:

### 2.5.1. Stencil Maskelerin Kullanımı ve İşlevi

- **Elektronik Üretim Süreci:** Stencil maskeler, PCB üretiminde lehim maskesi olarak kullanılır. Lehim maskesi, lehim pasta veya lehim topraklarının baskı devre kartındaki belirli bölgelere uygulanması için bir şablon sağlar. Bu, bileşenlerin lehimlenmesi için gerekli olan lehim miktarını ve düzenini kontrol etmeyi sağlar.
- **Tasarım ve Üretim:** Stencil maskeler, CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımı kullanılarak tasarlanır. Tasarım aşamasında, PCB üzerindeki bileşenlerin yerleştirileceği alanlar için doğru boyut, şekil ve açıklık (apertür) özellikleri belirlenir.
- **Malzeme ve Üretim Süreci:** Stencil maskeler genellikle paslanmaz çelik veya nikel kaplı çelikten yapılır. Bu malzemeler, dayanıklılık sağlar ve kimyasal maddelere karşı dirençli olur. Stencil maskeler, lazer kesim veya kimyasal etsiz yöntemlerle üretilir.
- **Stencil Seçimi:** Stencil maskelerin kalınlığı ve özellikleri, PCB tasarımına, bileşen boyutlarına ve lehimleme gereksinimlerine bağlı olarak seçilir. Örneğin, ince pitch bileşenler için ince apertürlü stencil maskeler tercih edilir.
- **Uygulama ve Kontrol:** Stencil maskeler, lehimleme makinesi (SMT makinesi) üzerinde hassas bir şekilde konumlandırılır. Lehim pasta veya toprakları stencil üzerinden baskı devre kartına uygulanır. Bu süreç, PCB üretiminde kalite kontrolünü sağlamak için kritik bir adımdır.

Kaplanan kanat profillerin donma işlemi gerçekleştikten sonra herbir kanat profile stencil maskeler yerleştirilir.

## 2.6. Gümüş İletken Mürekkep

Gümüş iletken mürekkepler, esnek, gerilebilir ve plastik elektronik uygulamaları için yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bu mürekkepler, özellikle organik çözücülerin diğer bileşenlere zarar verebileceği durumlarda solvent içermeyen sulu formülasyonlarla avantaj sağlar. Medikal cihazlar ve giyilebilir teknolojilerde toksik olmayan gereksinimleri karşılamak için tasarlanmışlardır. Genellikle polimerler, kağıt, tekstil, biyolojik materyaller ve diğer ısıya duyarlı yüzeylerde düşük sıcaklıklarda (25 °C ile 190 °C arasında) kürleme yapabilen bu mürekkepler, mükemmel çevresel dayanıklılığa sahiptir ve kürleme sonrası 220 °C'ye kadar termal stabilite gösterir (DZP Technologies)

Reaktif gümüş mürekkepleri, düşük sinterleme sıcaklıklarında (<120 °C) elektriksel performanstan ödün vermeden, mürekkep püskürtmeli yazıcılarla desen oluşturulabilmesi için özel olarak modifiye edilebilir. Bu mürekkeplerin viskozitesi ve yüzey gerilimi, çeşitli desenleme yaklaşımlarını kolaylaştıracak şekilde geniş bir aralıkta ayarlanabilir (Sigma Aldrich).

MacDermid Alpha tarafından sunulan gümüş iletken mürekkepler, PET ve Poliimid gibi çeşitli polimer altlıklara yüksek yapışma, kırışmazlık ve yüksek iletkenlik gibi özellikler sunar. Bu mürekkepler, ince çizgi baskısı, yüksek aşınma direnci ve daha az mürekkep tüketimi sağlayarak ekonomik bir çözüm sunar (MacDermidAlpha).

Ek olarak, bu mürekkeplerin kullanımı son derece esnektir ve ekran baskısı, şablon baskısı veya mürekkep püskürtmeli baskı gibi çeşitli uygulama yöntemleri ile uygulanabilir. Bu ürünler, müşterilerin cihaz performansında güvenilir ve sağlam sonuçlar elde etmesini sağlamak için tasarlanmıştır (MacDermidAlpha).

Son olarak, sinterleme işlemi, gümüş nanopartikülleri içeren mürekkeplerin kürleme sürecinde organik stabilizatörlerin uzaklaştırılmasını ve katı nanopartiküllerin birleşmesini sağlayarak etkili iletken yollar oluşturulmasına yardımcı olur. Sinterleme sıcaklığı, stabilizatörlerin çıkarılma türüne bağlı olarak değişir ve bu süreç, gümüş bazlı

reaktif mürekkeplerde organik çözücü buharlaşmasının yanı sıra kimyasal tepkimeleri de tetikler (MDPI).

Bu özellikler, gümüş iletken mürekkepleri, özellikle baskılı elektronikler ve esnek cihaz uygulamaları için ideal hale getirir.

### **2.6.1. Gümüş İletken Mürekkebin Hazırlanışı**

Çözelti hazırlanma aşamasında 0.5 g gümüş asetat, 1.25 ml amonyak çözeltisi içinde 15 s boyunca karıştırılarak çözündürülecektir. Ardından 0.2 ml formik asit yaklaşık 45 s boyunca çözelti içerisine yavaş yavaş ilave edilecektir. Karışım 30 dk boyunca 4000 rpm'de santrifüjlenecektir.

### **2.7. Uygulama Yöntemi**

Elde ettiğimiz gümüş iletken mürekkebi püskürtme yöntemini kullanarak kanat profillerine işlenir. Atılan her katman sonrası kanat profiller 120 °C de 3 dakika ısıtılır. Dördüncü katman da kanat profillerinde 120 °C de istenilen parametre dirence en yakın direnç elde edilir.

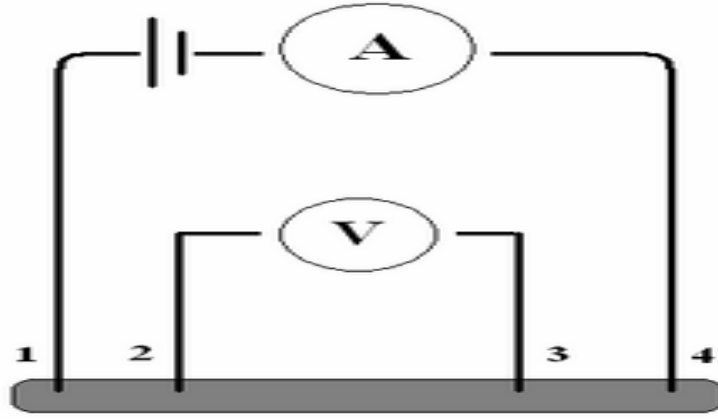
### **2.8. Elektriksel özelliklerin karakterizasyonu**

#### **2.8.1. Dört nokta iletkenlik ölçümü**

Elektriksel iletkenlik- öz direnç ölçümlerini elde etmek için kullanılır. Materyalin yüzeyine dört farklı noktada konumlandırılmaktadır. İki prob akım taşımak için ve sonraki iki prob akımın voltajını ölçmek için kullanılır. Bu sisteme dört noktalı iletkenlik ölçümü denir.

Elektriksel öz direnç (Omaj ya da direnç, belirli bir elektrik direnci ya da hacim rezistivitesi olarak da bilinir), belirli bir materyalin elektrik akımının akışına karşı nicelleştiren bir özelliktir. Düşük seviyeye sahip bir direnç, rahatça elektrik akımının akışını sağlayan bir materyal manasına gelmektedir. Karşıt değeri, elektrik akımının geçiş rahatlığını ölçen elektriksel iletkenliktir. Elektriksel direnç, mekanik sürtünme ile kavramsal paralelliklere sahiptir. Elektriksel direncin SI birimi ohm ( $\Omega$ ), elektriksel iletkenliğin birimi ise siemens (S)'dir. Bir objenin R direnci, voltaj V'nin akım I'ya oranıdır. Elektriksel akım G bunun karşıtıdır.

$$R = \frac{V}{I}, \quad G = \frac{I}{V} = \frac{1}{R}$$



Şekil 2.2. İletken çubuğun direncini ölçmek için oluşturulmuş dört terminalli devre

## 2.9. Joule Isıtma

Joule ısıtması (rezistif, direnç veya Ohmik ısıtma olarak da bilinir), bir elektrik akımının bir iletken üzerinden geçerken ısı üretmesi olarak bilinir .

Eski SSCB ülkelerinde Joule-Lenz yasası olarak da bilinen Joule'ün birinci yasası (sadece Joule yasası), (Xuan, X. 2008) bir elektrik iletkeni tarafından üretilen ısıtma gücünün, direncinin ve akımın karesinin çarpımına eşit olduğunu belirtir. Joule ısıtması, ısıyı bir elektrik bağlantısından diğerine aktaran Peltier etkisinden farklı olarak tüm elektrik iletkenini etkiler. Joule-ısıtma veya dirençli-ısıtma birçok cihazda ve endüstriyel işlemlerde kullanılır. Elektrik ısıya dönüştüren parçaya ısıtma elemanı denir.

Birçok pratik kullanım arasında:

- Bir akkor ampuldeki filaman termal radyasyon (kara cisim radyasyonu olarak da adlandırılır) nedeniyle Joule ısıtması ile ısıtıldığında ışık saçarak aydınlatır.
- Elektrik sigortalarında güvenlik için kullanılır, erimeleri için yeterli akım geçerse eriyerek devreyi keserler.
- Elektronik sigaralar propilen glikol ve bitkisel gliserini Joule ısıtması ile buharlaştırır.

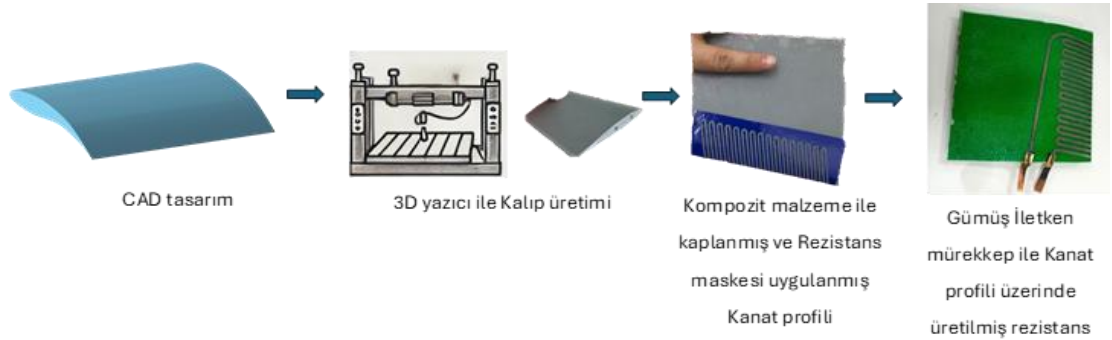
- Elektrikli sobalar, elektrikli ısıtıcılar, lehim havayaları, kartuş ısıtıcılar gibi çok sayıda ısıtma cihazı Joule ısıtmayı kullanır.
- Bazı gıda işleme ekipmanları Joule ısıtmayı kullanılmaktadır:
  - Gıdanın direnci ile birleşen alternatif elektrik akımı ısı oluşumuna neden olur. (Fellows, P. J. (2016).
  - Direnç değerinin atması, üretilen ısıyı artırır. Ohmik ısıtma, gıda ürünlerinin hızlı ve homojen bir şekilde ısıtılmasını sağlayarak kaliteyi korur. Partiküllü ürünler daha yüksek direnç nedeniyle daha hızlı ısınır (geleneksel ısıtma kiyasla). ( Varghese, K. S. vd.2014)

## 3. BÖLÜM

### BULGULAR

#### 3.1. NACA 12 Kanat profiline üretim

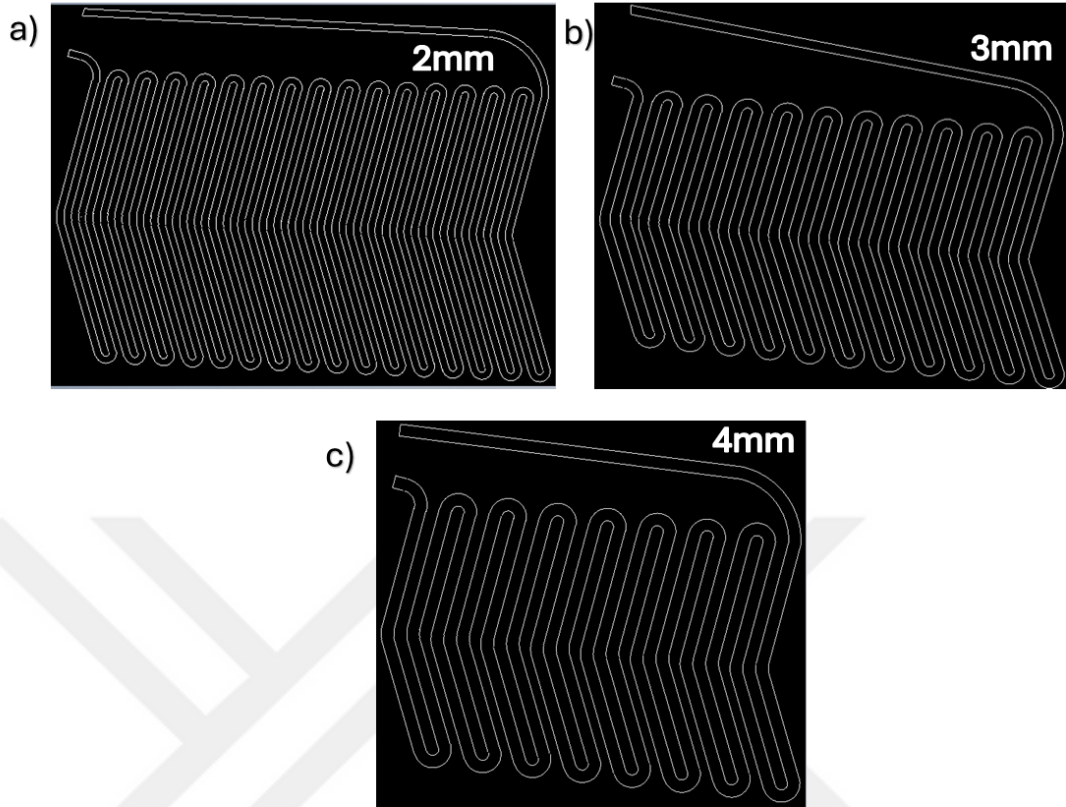
Rezistansların üretiminin yapılacağı kanat profilleri şekil 3.1’de gösterildiği gibi yapılmıştır. Solidworks çizim programında tasarlanmış olan airfoiller katı modelleme ile kanat profillerine dönüştürülmüştür. Daha sonra .STL uzantılı dosyalar alınarak 3d yazıcı ile katılaştırılmıştır. Daha sonra bu profillerin üzerine cam fiber kumaş ve epoksi ile kompozit kaplamalar yapılmıştır. Kaplamaların üzerine laser kesimle üretilmiş stencil maskeler yapıştırılmıştır. Daha sonra hazırlanmış olan gümüş iletken mürekkep hava spreyi ile stencil maskelerle desenlenmiş kanat profilleri üzerine uygulanmıştır.



Şekil 3.1. Kanat profillerinin ve rezistansların üretiminin şematik gösterimi

#### 3.2. Rezistans Tasarımları

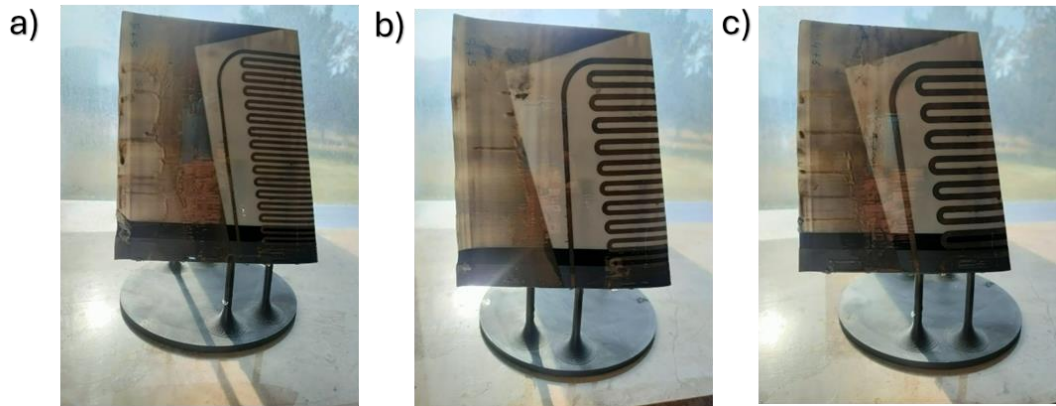
Rezistans tasarımı için kanat üzerindeki hücum kenarları üzerinde durulmuştur. Buzlanma durumunun bu kısımlarda yoğunlaşması nedeniyle buzlanma için proaktif bir yaklaşım ön görülerek tasarımlar yapılmıştır. Şekil 3.1’de NACA 12 kanat profili için yapılmış cad tasarımları görülmektedir. Bu tasarımlar esnek stencil maskeler üzerine basılarak kanat profilleri üzerine uygulanmıştır.



Şekil 3.2. NACA 12 kanat profili için tasarlanmış rezistans çizimleri a) 2mm, b) 3 mm, c) 4 mm genişliğindeki tasarımlar

### 3.3. Rezistans Tasarımlarının uygulandığı Kanat Profilleri

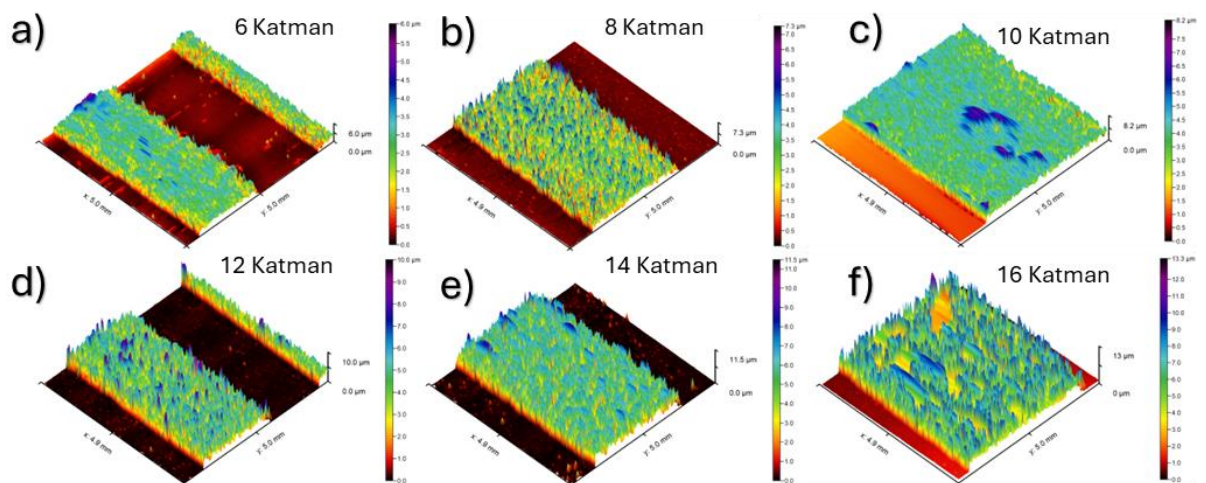
Hava spreyi ile gümüş iletken mürekkep kanat profilleri üzerine uygulanıp daha sonra 120 °C’de 2 dk. süreyle ısıtılmıştır. Bu şekilde döngüsel olarak kaplama işlemi yapılarak rezistans bütünlüğünün homojen bir şekilde kanatlar üzerinde oluşturulması hedeflenmiştir. Böylece üretilen rezistansların istenilen performansı tüm hücum kenarı boyunca sağlaması hedeflenmektedir. Şekil 3.3’de üzerine rezistans üretilmiş kanat profilleri gösterilmektedir.



Şekil 3.3. NACA 12 kanat profili üzerinde oluşturulmuş rezistanslar a) 2mm, b)3 mm, c) 4 mm

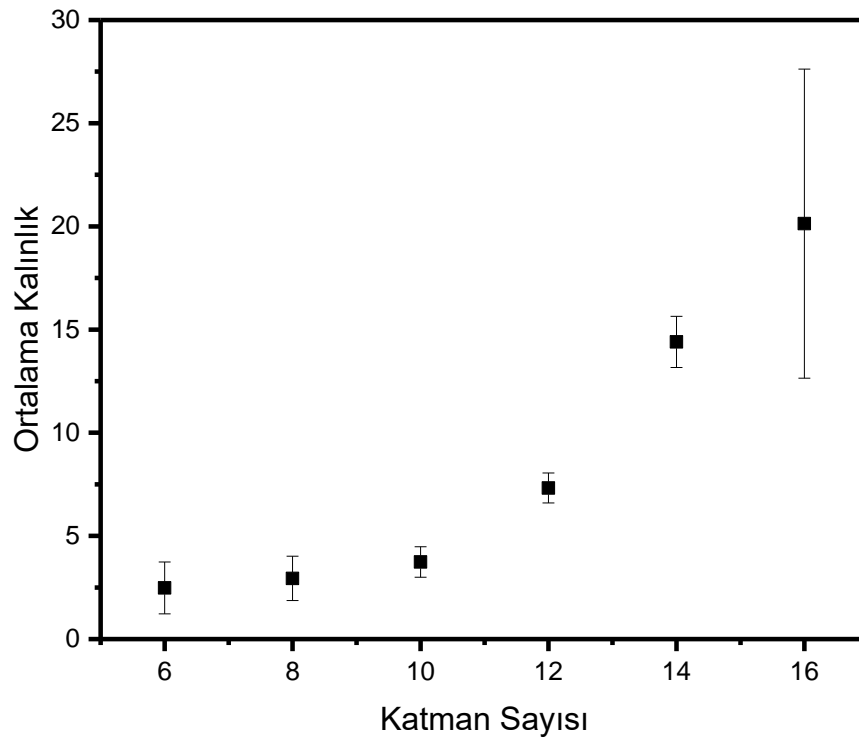
### 3.4. Rezistans kalınlığının optimizasyonu

Rezistansların sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi ve performans gösterebilmesi için üretim işleminin optimizasyonunun yapılması gerekir. Bu da farklı kaplama döngüleri ile üretilen rezistansların kalınlık ve buna bağlı olarak da direnç ölçümleri ile yapılmıştır. Öncelikle farklı kalınlıklarda kaplamalar yapılarak profilometre ile ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.4'te farklı sayıda katmanla kaplanmış gümüş iletken mürekkeplerin profilometre ile ölçülmüş kalınlık ölçümleri verilmiştir.



Şekil 3.4. Farklı katman kalınlıklarında üretilmiş olan Rezistansların profilometre sonuçları a) 6 katman, b) 8 katman, c) 10 katman, d) 12 katman, e) 4 katman, f) 16 katman.

Bu ölçüm sonuçlarını kullanarak, elde edilen ortalama kalınlık sonuçları şekilde 3.5'deki grafikte verilmektedir. Elde edilen ortalama kalınlık değerleri, bize gerekli olan öz direnç verilerini hesaplama imkânı vermektedir. Böylece farklı genişlikteki dirençlerin birbirleri ile kıyaslanmasına imkân vermektedir. İlk katmanlarda hata oranının artmış olması daha sonra 10 ve 12 katman sayılarında bu hatanın daha azalması ve 14 ve 16 katmanlarda ise hata payının çok artması göze çarpmaktadır. Bunun sebebi olarak ilk katmanlarda sprej üretmeden kaynaklı olarak pürüzlerin ve boşlukların fazla olması olarak söylenebilir. On ve oniki nolu katmanlarda ise Pürüzlü ve boşluklu yapı daha düzenli ve daha az pürüzlü bir yapıya dönüşmektedir. Böylece hem yüzey pürüzlü azalmakta hem de yapının bütünlüğü sağlamlaşmaktadır. Şekil 3.4'teki profilometre görüntüleri bu durumu destekleyen nitelikte sonuçlar göstermektedir. Katman sayısı ve buna bağlı olarak kalınlık arttıkça yüzeyde bozulmalar ve filmin bütünlüğünü etkileyecek sonuçlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Özellikle katman 16 da standart sapma çok fazla artmış olarak gözükmektedir bunun sebebi yüzeyde katman kalınlığının artmasıyla ilişkili olan film buruşmaları sebep olmaktadır. Şekil 3.4.f'de sunulan profilometre görüntüsü bunu destekler niteliktedir.

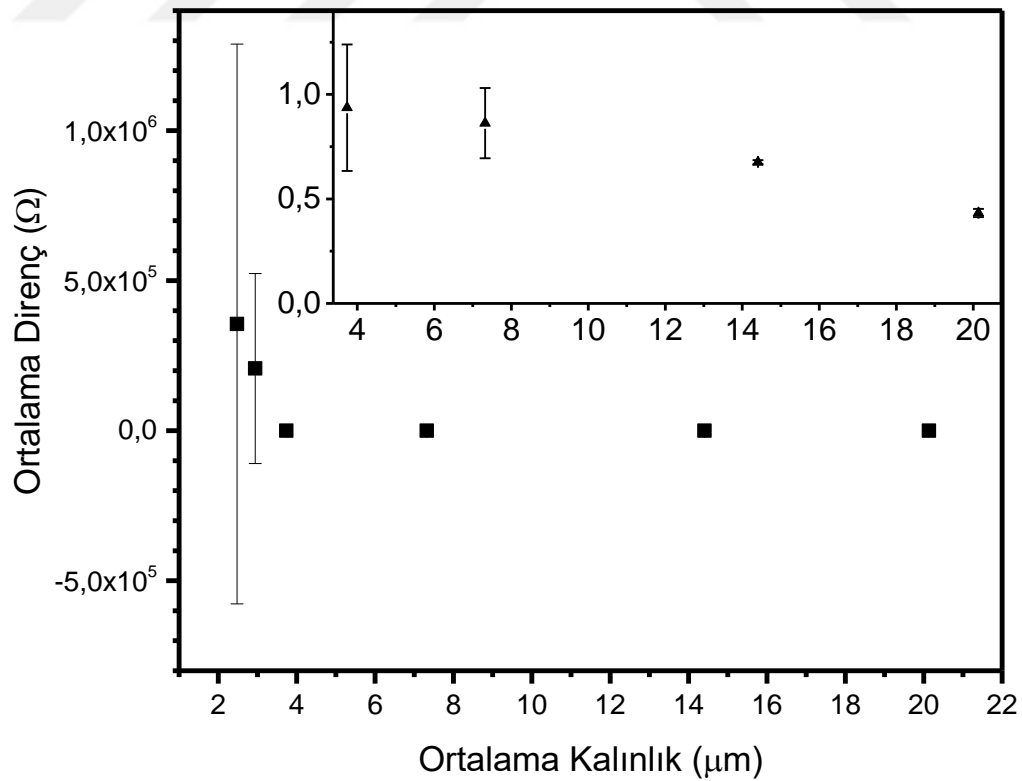


Şekil 3.5. Katman sayısı ile rezistans kalınlığı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik

Buzlanma önleyici rezistans tasarımı için optimum rezistans katman kalınlığı olarak 10 katman seçilmiştir. Bu bağlamda stencil maskeler kullanılarak buzlanma önleyici rezistans tasarımları kanat profilleri üzerine aktarılmıştır.

### 3.5. Rezistans kalınlığı ile Elektriksel özellikler arasındaki ilişki

Bu kısımda ortalama direnç ile kalınlık arasındaki ilişki incelenmiştir. Kalınlık değerleri ilk ilk katmanlarda 2 mikron civarlarında iken ortalama direnç değeri 400 M mertebelerindedir. Fakat kalınlık arttıkça direnç değeri düşmektedir. Bunun sebebi bir önceki kısımda da bahsettiğimiz üzere film bütünlüğünün oluşmaya başlaması ve buna bağlı olarak rezistans bütünlüğünün ortaya çıkmasıdır. Katman sayısı 10 olduğunda elde edilen yaklaşık 4  $\mu\text{m}$ 'lik film kalınlığı, rezistans performansı göstermek için yeterli olduğu şekil 3.6'da anlaşılmaktadır. Ortalama kalınlık değerine karşılık ortalama direnç değerlerinin verildiği grafikte yaklaşık 4  $\mu\text{m}$  kalınlığındaki rezistans film,  $1\Omega$ 'dan daha düşük elektriksel direnç göstermektedir. Bu da rezistans performansı göstermesi için yeterlidir.

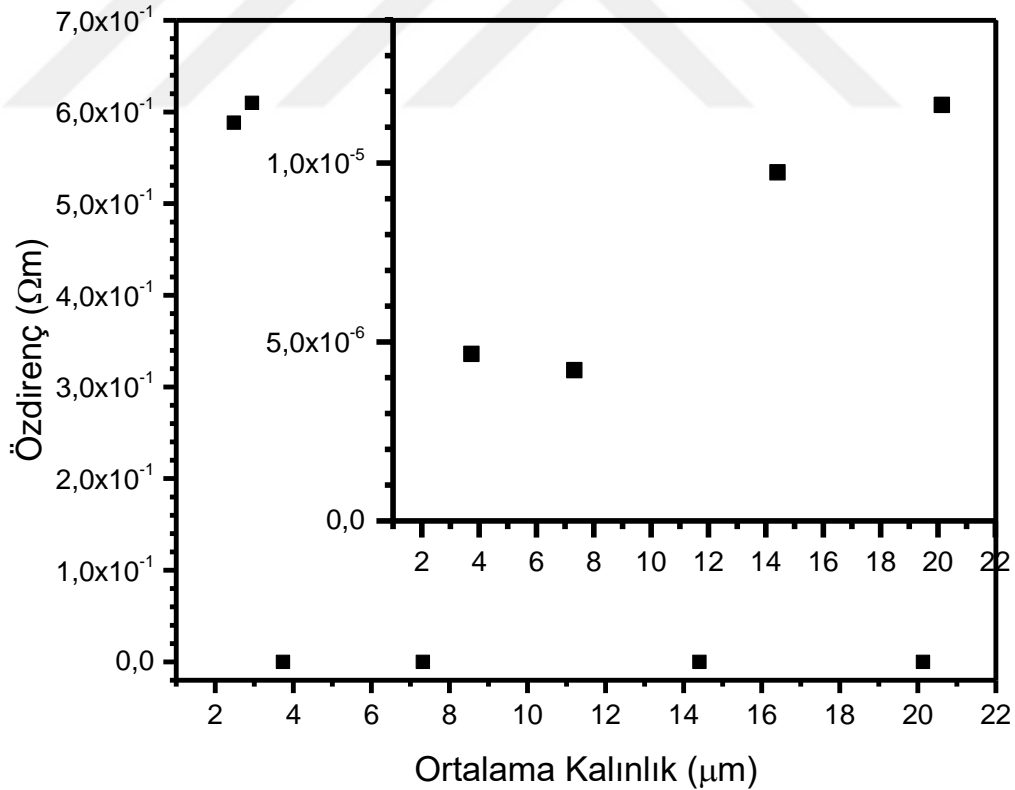


Şekil 3.6. Katman sayısı ile ortalama elektriksel direnç arasındaki ilişkiyi gösteren grafik

Rezistans tasarımının ölçeklendirilebilmesi ve performanslarının karşılaştırılması için özdirenç değerlerinin de hesaplanması gerekmektedir. Şekil 3.7’de ortalama kalınlık değerlerine göre hesaplanmış özdirenç değerlerinin değişimi verilmiştir. Özdirenç değerlerini hesaplarken **Pouillet kanunundan** (1) hesaplanmıştır.

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (1)$$

Burada; R; direnç,  $\rho$ ; özdirenç,  $\ell$ ; uzunluk, A; kesit alanı’dır. Bulk gümüşün öz direnç değeri  $1,59 \times 10^{-8} \Omega.m$ ’dir. Katman sayısının 12 olduğu ortalama kalınlığın  $7 \mu m$  olduğu rezistans tasarımından en düşük olan özdirenç değeri olarak  $4,21 \times 10^{-6} \Omega.m$  elde edilmiştir. Fakat ona en yakın değer olan  $4 \mu m$  kalınlığındaki rezistans tasarımlarından elde edilen özdirenç değeri  $4,66 \times 10^{-6} \Omega.m$ ’dir. Maliyet hesabı göz önünde bulundurulduğunda aradaki fark ihmal edilebilir seviyededir. Bu yüzden  $4 \mu m$  kalınlığındaki tasarımlarla bundan sonraki uygulamalar yapılmıştır.



Şekil 3.7. Katman sayısı ile ortalama elektriksel direnç arasındaki ilişkiyi gösteren grafik

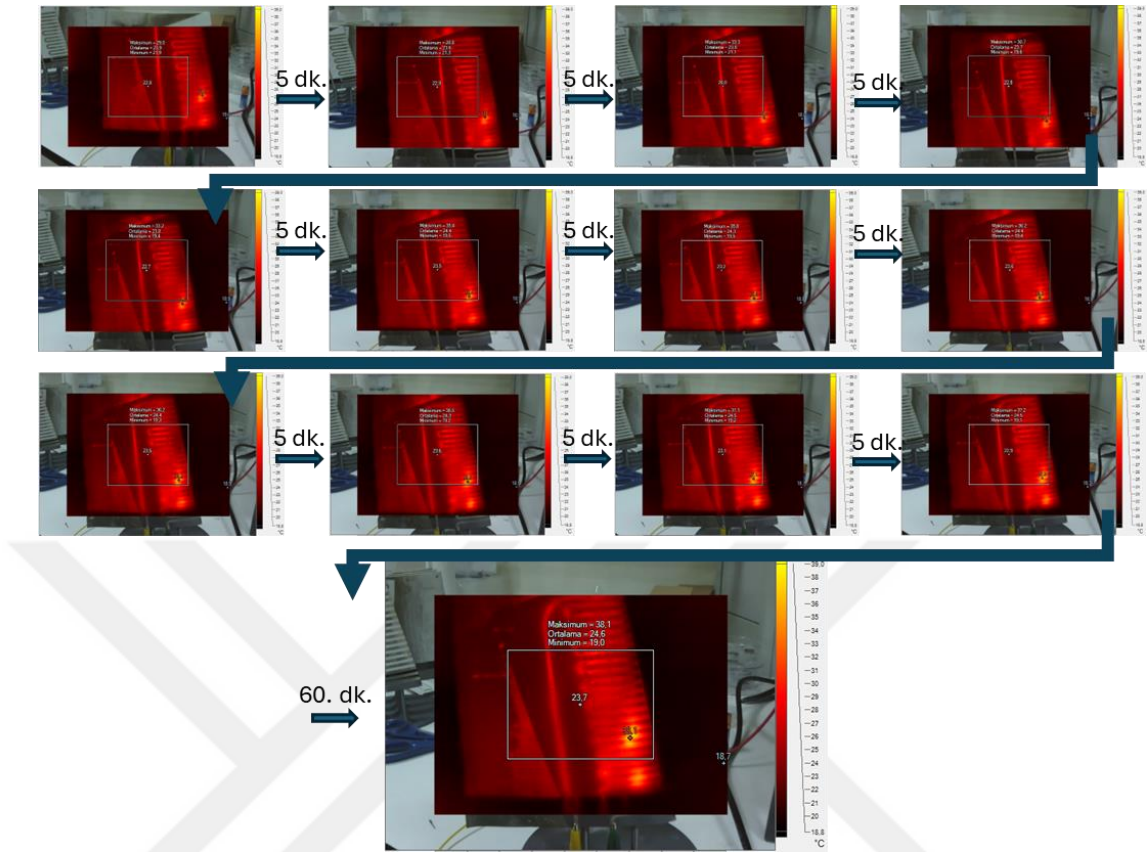
### 3.6. Rezistans tasarımlarının performans analizleri

Kanat profilleri üzerine uygulanmış olan farklı katman kalınlığındaki rezistans tasarımları 0.1 A akım değeri uygulanarak ısıtılmıştır. Isıtma mekanizması olarak joule ısıtma (Joule heating) prensibinden yararlanılmıştır. Doğrusal akım için

$$P = IV = IR^2 \quad (2)$$

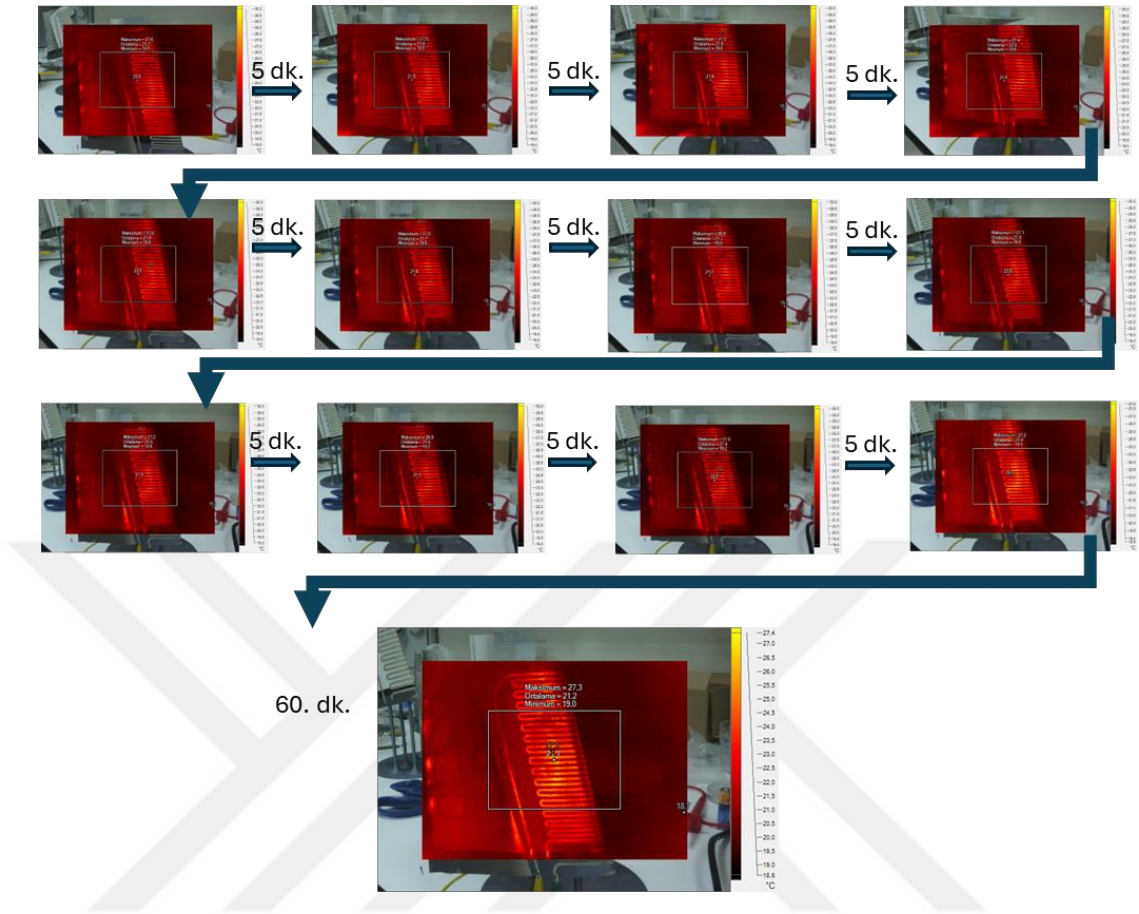
Denklemden faydalanarak Akım (I) ve elektriksel direnç (R) değerinde, rezistansın ürettiği enerji miktarı hesaplanabilmektedir.

Kanat profili üstündeki rezistansların elektrik akımı altındaki termal kamera ile görüntülenmiştir. Şekil 3.8’de termal kamera ile kaydedilmiş video görüntülerinin 5 s’lik aralıklarla kaydedilmiş anlık görüntüleri verilmiştir. Burada göze çarpan detaylardan ilki, 60 sn sonunda kanat profilindeki rezistansın sıcaklığının 21 °C ortam sıcaklığından 36 °C’ye çıkmasına rağmen, 120 s sonra sıcaklığın 38 °C’ye çıkabilmesidir. 2mm kalınlığında 6 katmandan oluşan rezistanslara direnç uygulanarak 5 sn de bir zaman içerisindeki sıcaklık değişimlerinin incelenmesi yapıldı. Burada termal kamera ile alınan görüntülerde de görüldüğü üzere, rezistans deseni üzerindeki homojen olmayan bölgeler görülmektedir. Bu bölgelerin sebebi, kaplamanın homojen olmaması ve ince bölgelerin daha fazla ısınmasından kaynaklanmaktadır.



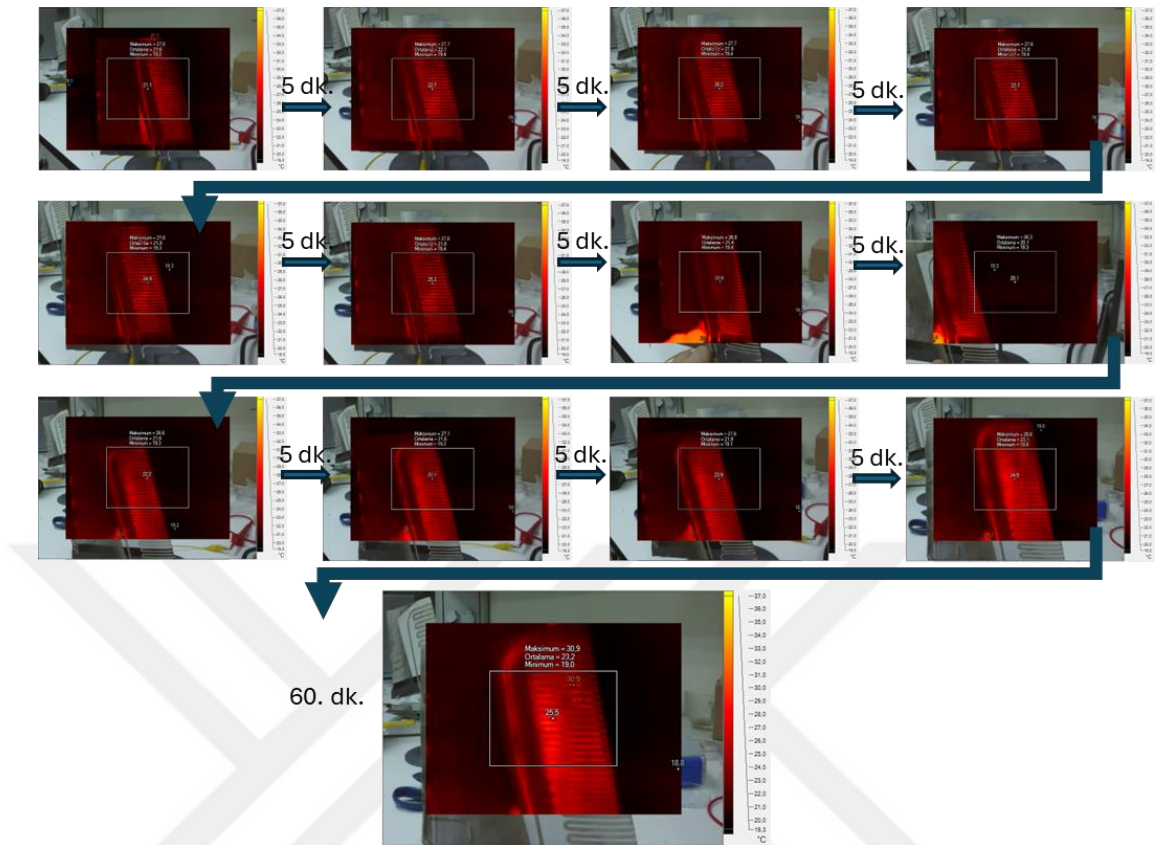
Şekil 3.8. Rezistans genişliği 2 mm olan ve 6 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmıştır termal kamera görüntüleri.

Şekil 3.9'de termal kamera ile kaydedilmiş video görüntülerinin 5 s'lik aralıklarla kaydedilmiş anlık görüntüleri verilmiştir. Burada göze çarpan detaylardan ilki, 60 sn sonunda kanat profilindeki rezistansın sıcaklığının 21 °C ortam sıcaklığından 27 °C'ye çıkmasına rağmen, 120 s sonra sıcaklığın 28 °C'ye çıkabilmesidir. Burada ortaya çıkan durum, ısıtmanın lineer olmadığını ve buna bağlı olarak öz direnç değerinin ısınma sonucu değiştiğini göstermektedir.

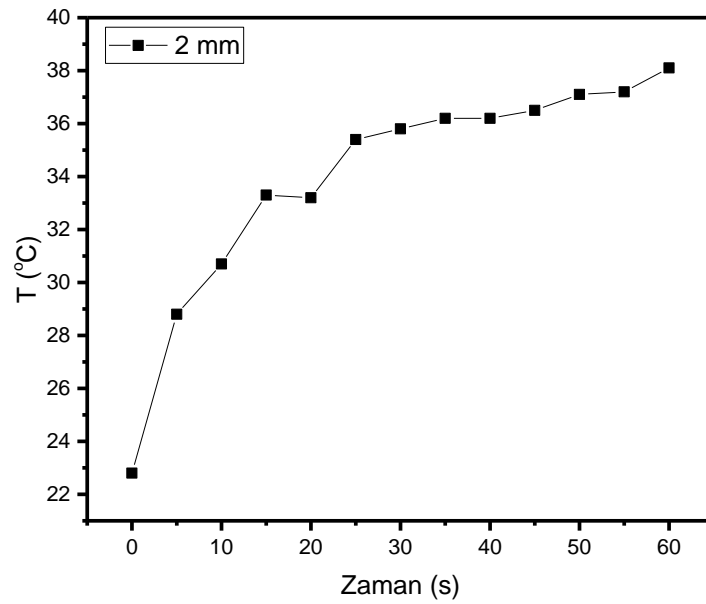


Şekil 3.9. Rezistans genişliği 2 mm olan ve 8 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıklarla alınmıştır termal kamera görüntüleri.

Tasarımda optimum kalınlık değeri olarak belirlediğimiz katman değeri (10 katman) ve ona karşılık gelen  $4 \mu\text{m}$  kalınlık değeri için ürettiğimiz numuneler ile termal kamera ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, şekil 3.10'da rezistans genişliği 2 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıklarla alınmıştır termal kamera görüntüleri sunulmaktadır. Şekil 3.11'de de her 5 s'de alınmış olan ölçümlerin sıcaklık verileri ile oluşturulmuş zamana göre kanat profili üzerinde üretilen sıcaklığın grafiği oluşturulmuştur. Grafiği incelediğimizde, joule ısıtma etkisinin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu etki, rezistansa akım verilmesinin akabinde hızlı bir şekilde artmakla birlikte, 30 s'den sonra artışı yavaşlamıştır. Bu durum ısınma ile öz direnç değişiminin gerçekleşmesine sebep olduğu öngörülmektedir. Öz direnç değişimine bağlı olarak rezistans yapısının direncinin de değiştiği düşünülmektedir. Bu durum joule ısıtma etkisinin yavaşlamasına sebep olmaktadır.

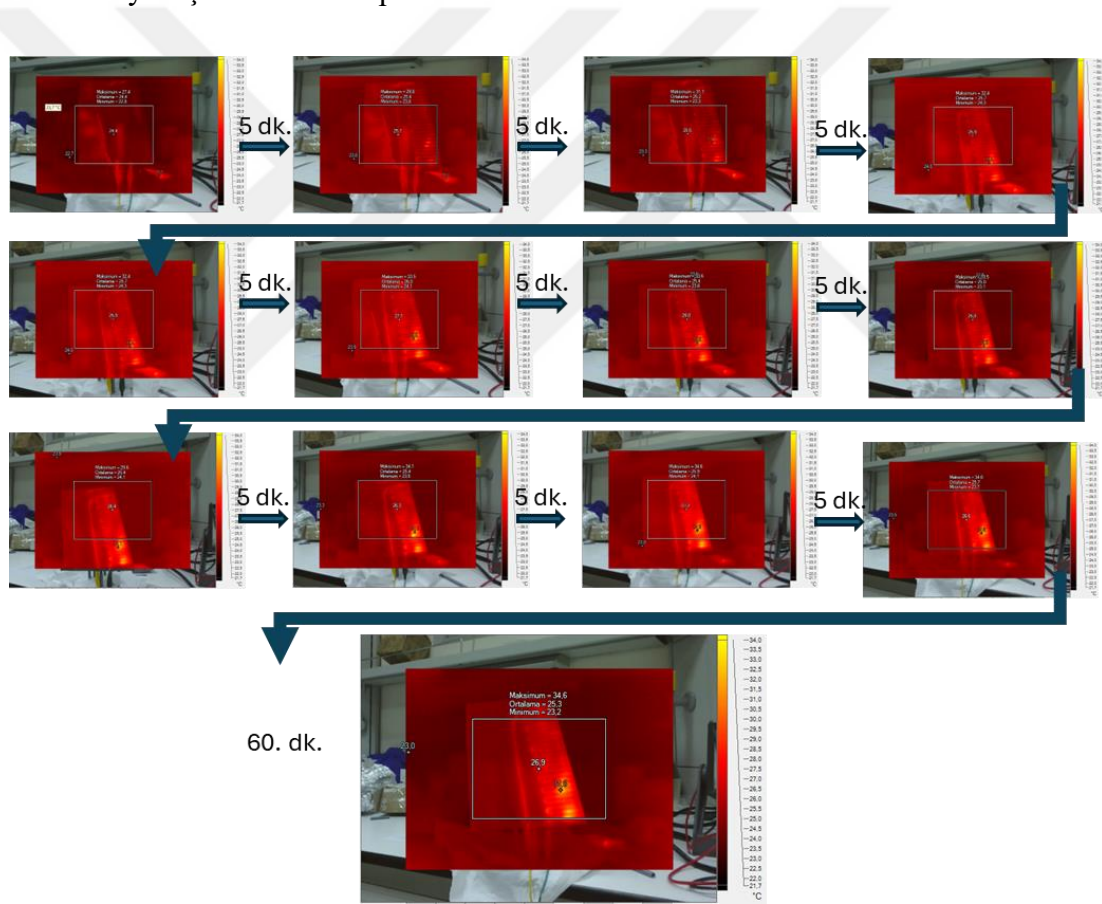


Şekil 3.10. Rezistans genişliği 2 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmıştır termal kamera görüntüleri.

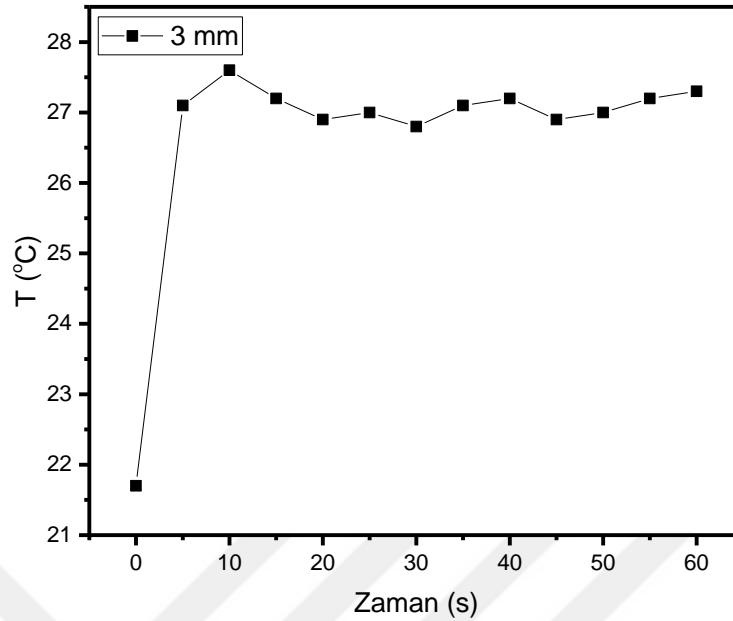


Şekil 3.11. Rezistans genişliği 2 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği

Şekil 3.12’de rezistans genişliği 3 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s’lik aralıklarla alınmıştır termal kamera görüntüleri sunulmaktadır. Şekil 3.13’de de her 5 s’de alınmış olan ölçümlerin sıcaklık verileri ile oluşturulmuş zamana göre kanat profili üzerinde üretilen sıcaklığın grafiği oluşturulmuştur. Grafiği incelediğimizde, joule ısıtma etkisinin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu etki, rezistansa akım verilmesinin akabinde hızlı bir şekilde artmakla birlikte, 10 s’den sonra artışı yavaşlamıştır. Hatta azalma meyline girmiştir. Bu durum ısınma ile öz direnç değişiminin gerçekleşmesine sebep olduğu öngörülmektedir. Öz direnç değişimine bağlı olarak rezistans yapısının direncinin de değiştiği düşünülmektedir. Bu durum joule ısıtma etkisinin yavaşlamasına sebep olmaktadır.

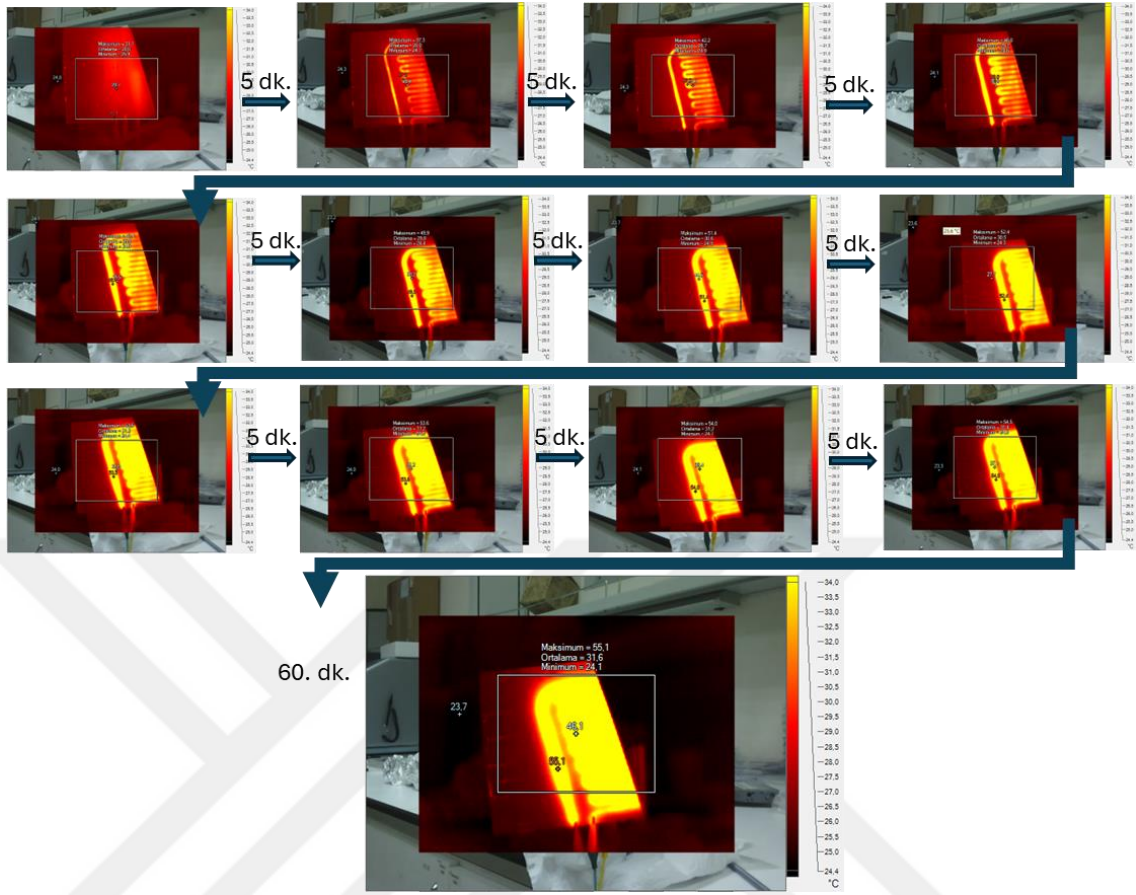


Şekil 3.12. Rezistans genişliği 3 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s’lik aralıklarla alınmıştır termal kamera görüntüleri.

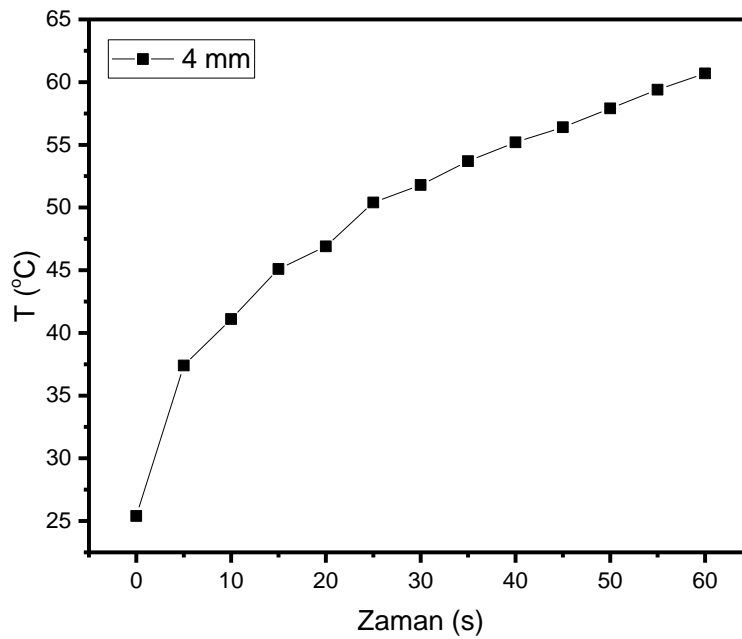


Şekil 3.13. Rezistans genişliği 3 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği

Son olarak, Şekil 3.14'te rezistans genişliği 4 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmıştır termal kamera görüntüleri sunulmaktadır. Şekil 3.15'te de her 5 s'de alınmış olan ölçümlerin sıcaklık verileri ile oluşturulmuş zamana göre kanat profili üzerinde üretilen sıcaklığın grafiği oluşturulmuştur. Grafiği incelediğimizde, joule ısıtma etkisinin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu etki, rezistansa akım verilmesinin akabinde hızlı bir şekilde artmakla birlikte, 30 s'den sonra artışı yavaşlamıştır. Bu durum ısınma ile öz direnç değişiminin gerçekleşmesine sebep olduğu öngörülmektedir. Öz direnç değişimine bağlı olarak rezistans yapısının direncinin de değiştiği düşünülmektedir. Bu durum joule ısıtma etkisinin yavaşlamasına sebep olmaktadır. Fakat sıcaklık üretimindeki bu yavaşlamaya rağmen joule ısıtma ile 61 °C'ye kadar ısıtma sağlanabilmiştir. Bu değer, tüm tasarımlar içerisinde elde edilmiş en yüksek sıcaklık değeridir.



Şekil 3.14. Rezistans genişliği 4 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmıştır termal kamera görüntüleri.

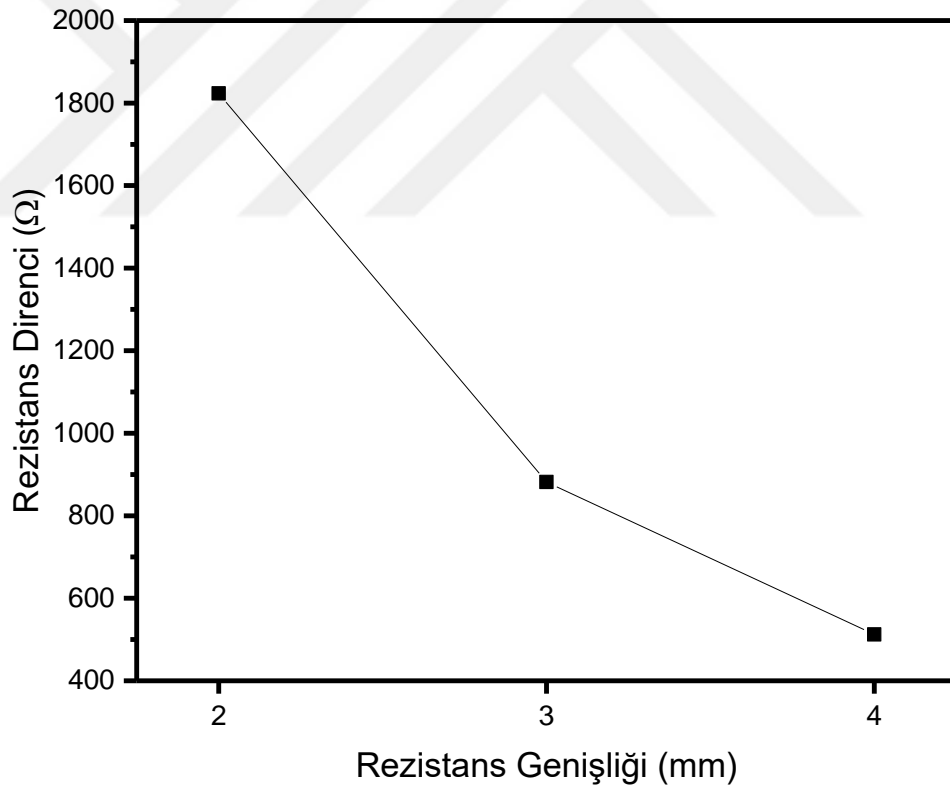


Şekil 3.15. Rezistans genişliği 4 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın 5s'lik aralıkla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği

Tasarımlardan alınan ölçümlerden elde edilen öz direnç değerleri göz önünde bulundurularak 2, 3 ve 4 mm genişliğindeki tasarımlar için elektriksel direnç değerleri hesaplanmıştır. Tablo 1’de Rezistans uzunlukları ve bu uzunluklara bağlı olarak hesaplanmış olan direnç değerleri verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen grafik Şekil 3.16’da gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Tasarımı yapılmış rezistansların uzunluğu ve buna bağlı olarak hesaplanmış direnç değerleri

REZİSTANS GENİŞLİĞİ (MM)	REZİSTANS UZUNLUĞU (MM)	DİRENÇ DEĞERİ ( $\Omega$ )
2	2915.76	1823,35956
3	2115.43	881,91747
4	1638.3	512,25237

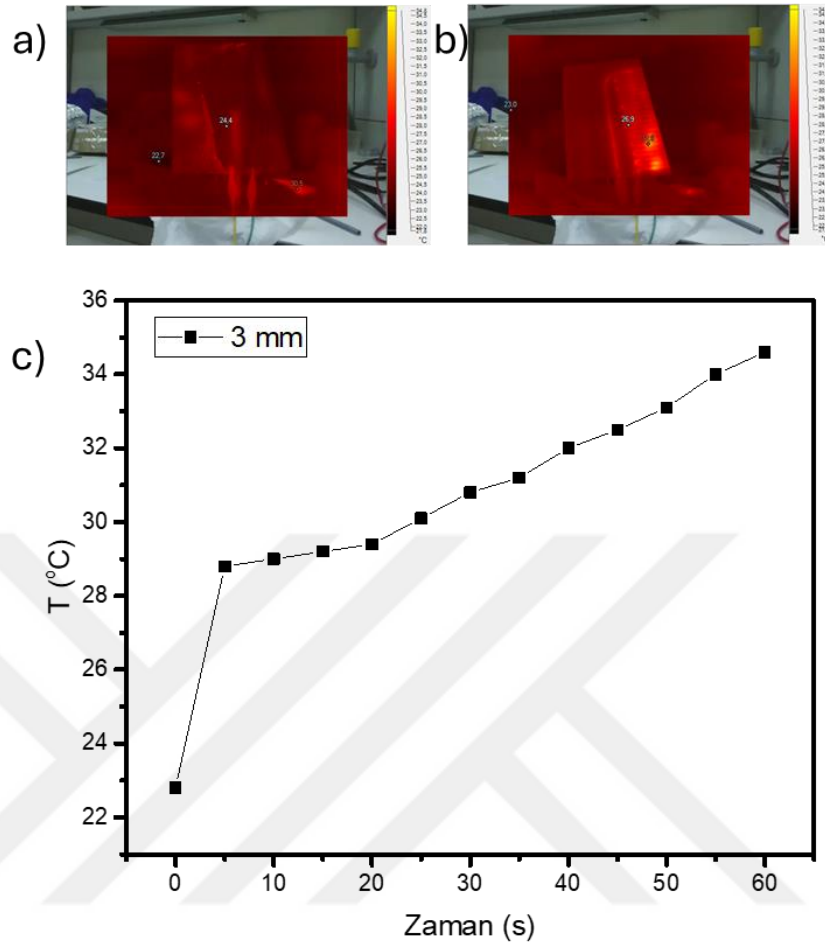


Şekil 3.16. Rezistans genişliği ve uzunluğuna göre hesaplanmış elektriksel direnç değerlerinin rezistans genişliği ilişkilendirilmiş grafiği

Rezistans yapıları metalik bir yapıda oldukları için özellikle korozyona karşı hassasiyetleri vardır. Özellikle bu şekilde ısıtma-soğutma işlemlerinde aktif olarak görev alan elemanlar, ardışık ısınma ve soğuma süreçlerinden dolayı bu duruma daha açıktırlar.

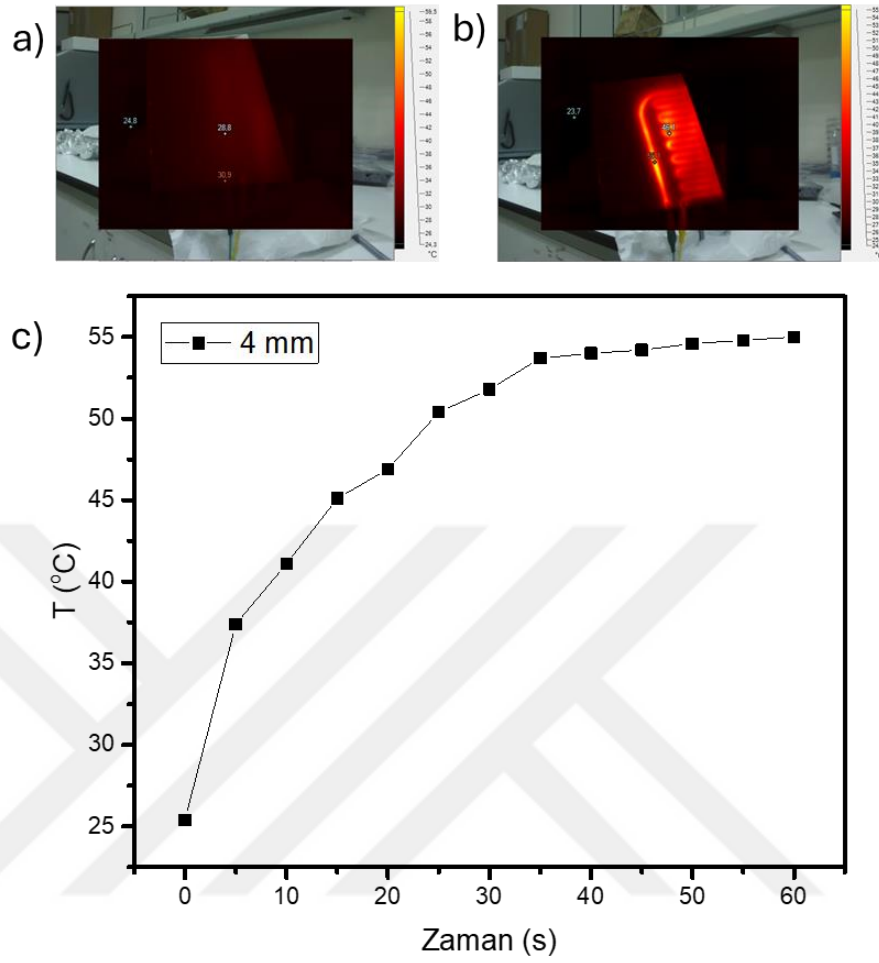
Bu yüzden rezistans yapılarının korozyondan korunması için epoksi ile kaplanması gerektiğini öngördük. Buradan yola çıkarak rezistansları bir katman haline epoksi ile kaplayarak vakum altında kurumaya aldık. Böylece epoksi ve rezistans arasında nem ve hava kabarcıklarının kalması engellenmiştir. Arada kalan hava kabarcıkları korozyon oluşumu için ciddi bir sorun oluşturmaktadır.

Diğer yandan, epoksi kaplamaların ısı iletim özellikleri ( 0,17-0,52 W/(m\*K)), gümüş iletken mürekkebin ısı iletkenlinden (0,035-0,040 W/(m.K)) daha düşüktür. Bu yüzden üretilen ısının tamamıyla yüzeye aktarımında verim düşmesi beklenmektedir. Bu yüzden aynı rezistans tasarımlarında epoksi kaplanmış durumdaki kızılötesi kamera görüntüleri alınmıştır. Şekil 3.18'de 3 mm rezistans genişliğine sahip tasarımın epoksi kaplanmış olan kanat profilinden alınmış olan kızılötesi kamera görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.18.a'da 0,1 A akım verilmeden önce kanat profilinden alınmış olan termal kamera görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.18.b'de 0,1 A akım verildikten sonra kanat profilinden alınmış olan termal kamera görüntüsü verilmiştir. İki görüntü arasında açık bir şekilde rezistansın ısıtma yapıldı gözlemlenmektedir. Şekil 3.18.c'de 5 s aralıklarla alınmış olan termal kamera görüntülerinden elde edilen sıcaklık verilerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Önce sonuçlarla kıyaslandığında, ilk ölçüm sıcaklığı olan 37.8 °C'den 34.6 °C'ye düşmüştür. Bu durumda korozyona karşı kaplama %11'e kadar verim ve performans azalmasına sebep olmuştur.



Şekil 3.17. Rezistans genişliği 3 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın epoksi kaplandıktan sonra 5s'lik aralıklarla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği

Şekil 3.18'de 4 mm rezistans genişliğine sahip tasarımın epoksi kaplanmış olan kanat profilinden alınmış olan kızılötesi kamera görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.19.a'da 0,1 A akım verilmeden önce kanat profilinden alınmış olan termal kamera görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.19.b'de 0,1 A akım verildikten sonra kanat profilinden alınmış olan termal kamera görüntüsü verilmiştir. İki görüntü arasında açık bir şekilde rezistansın ısıtma yapıldı gözlemlenmektedir. Şekil 3.19.c'de 5 s aralıklarla alınmış olan termal kamera görüntülerinden elde edilen sıcaklık verilerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Önce sonuçlarla kıyaslandığında, ilk ölçüm sıcaklığı olan 61.0 °C'den 55.1 °C'ye düşmüştür. Bu durumda korozyona karşı kaplama % 10'a kadarlık bir verim ve performans azalmasına sebep olmuştur.

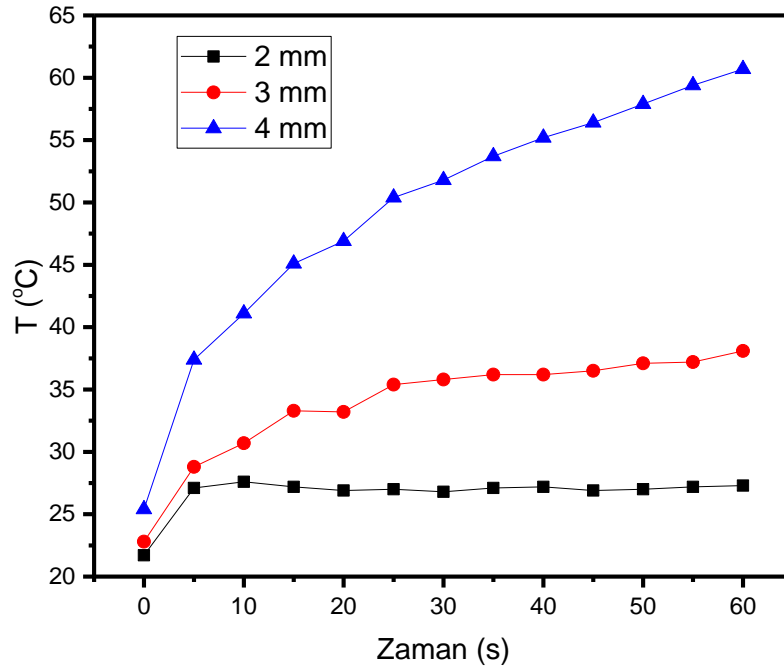


Şekil 3.18. Rezistans genişliği 4 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımın epoksi kaplandıktan sonra 5s'lik aralıkla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği.

## 4. BÖLÜM

### TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı rezistans genişliklerinde tasarlanmış olan buzlanma önleyici sistemler tasarlanmıştır. Bu tasarımlar NACA 0012 kanat profilleri üzerine uygulanarak joule ısıtma yöntemiyle sıcaklık üretme kapasiteleri termal kamera ile incelenmiştir. Sonuç olarak 4 mm rezistans genişliğinde 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplama yapılarak elde edilen 4 µm kalınlığındaki tasarım yüksek bir performans göstererek 60 s'de 61 °C'ye çıkarak iyi bir performans sergilemiştir. Şekil 4.1'de farklı rezistans genişliklerine göre 5 s aralıklarla alınmış termal kamera görüntülerinden elde edilen sıcaklık verileri, kıyaslama kolaylığı için, birlikte sunulmuştur. En iyi performansı gösteren 4 mm genişliğindeki rezistans tasarımı diğer tasarımlardan %98 daha iyi performans göstermiştir.



Şekil 4.1. Rezistans genişliği 2, 3, 4 mm olan ve 10 katman gümüş iletken mürekkep kaplanmış tasarımların 5s'lik aralıklarla alınmış sıcaklık verilerinin grafiği

Korozyona karşı dayanımı arttırmak için yapılmış olan ve termal iletkenlik için performansı artırma potansiyeli olmayan epoksi kaplama olmasına rağmen, Rezistans tasarımları yaklaşık %90'lık bir performans göstermeye devam etmişlerdir.

Bu çalışmada daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için kanat profillerinin üretiminde kullanılan reçinenin daha yüksek sıcaklık değerlerine (~170 °C) dayanabilen bir reçine seçilmesi tavlama sıcaklığının daha yüksek sıcaklıklarda ve daha uzun süre yapılmasına izin verebilir. Bu da rezistansın içerisinde kalan amonyak ve formik asidin büyük oranda buharlaşmasına ve elektriksel özelliklerinin iyileşmesine imkân verecektir.

Ayrıca, hava spreyi sisteminin inkjet sistemi ile değiştirilmesi rezistans tasarımlarının gelişimine katkı sağlayacaktır. Özellikle inkjet sisteminde hem katman kalınlıkları daha homojen hale gelecektir hem de stencil maske basamağı ortadan kalkarak inkjet baskı kafasının hareket ettirilebilme kabiliyetinde faydalanılarak rezistans desenleri oluşturulabilecektir.

## KAYNAKÇA

- Ayers, M. A., Brown, R. G. and Oberts, G. L. 1985. Runoff and chemical loading in small watersheds in the twin cities metropolitan area, Minnesota, **US Geological survey, water-resources investigations report**, 85–4122.
- Brown, M. 2018. "Mechanical De-Icing Techniques for Rotorcraft." **Helicopter Technology Review**, **28** (4), 112-120.
- Fellows, P. J. 2016. Food Processing Technology: Principles and Practice. Elsevier Science.
- Green, D. 2017. Chemical De-Icing Agents: Efficacy and Environmental Impact. **Journal of Aviation Environmental Science**, **21**(5), 145-158.
- IMF, "Fossil Fuel Subsidies Data: 2023 Update".
- IMF, "Fossil Fuel Subsidies Data: 2023 Update". KPMG, "Statistical Review of World Energy - KPMG Global".
- International Energy Agency (IEA), "World Energy Investment 2023".
- International Energy Agency (IEA), "World Energy Investment 2023".
- International Energy Agency (IEA), "World Energy Outlook 2023".
- International Energy Agency (IEA), "World Energy Outlook 2023".
- Johnson, L. 2019. Chemical Anti-Icing Methods in Aviation. **International Journal of Aviation Science**, **32**(2), 87-95
- KPMG, "Statistical Review of World Energy - KPMG Global".
- L. Chang, 2010, Aircraft icing and aviation safety Aeronaut. Sci. Technol., 5 , pp. 12-14
- Meuler, A.J.; Smith, J.D.; Varanasi, K.K.; Mabry, J.M., McKinley, G.H.; Cohen. R.E. 2010. Relationship between water wettability and ice adhesion. **ACS Appl Mater. Interfaces**, **2**, 3100–3110.
- Smith, J. 2020. Modern Aircraft Anti-Icing Systems. **Journal of Aerospace Engineering**, **45**(3), 123-135.
- Terry T. Lankford, Aircraft Icing, McGraw-Hill, New York 2002

- Thomas Mühl: Elektrische Messtechnik. 5. Baskı. Springer Vieweg, Wiesbaden 2017, ISBN 978-3-658-15720-3
- White, R. 2021. Thermal De-Icing Systems for Wide-Body Aircraft. **Aerospace Systems Quarterly**, **37**(1), 78-90.
- X. Shen, X. Liu, G. Lin, 2019. Effects of anisotropic composite skin on electrothermal anti-icing system, P. I. Mech. Eng. G-J. Aer. 2019:0954410019845980.
- Xuan, X. 2008. Joule heating in electrokinetic flow. **Electrophoresis**, **29**(1), 33–43.
- Varghese, K. S., Pandey, M. C., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. 2014. Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. **Journal of Food Science and Technology**, **51**(10), 2304–2317.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Yakup SÜLEYMANOĞLU

**Uyruğu:** Türkiye (T.C)

**Doğum Tarihi ve Yeri:**

**Medeni Durum:**

**e-mail:**

**Yazışma Adresi:**

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Uçak Mühendisliği	2024
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği	2019
Ön Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon Meslek Yüksek Okulu, Makine Ve Metal Teknolojileri	2011

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2024	EUROPEN	Müdür

### YABANCI DİL

İngilizce

### YAYINLAR