

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DRONLARDA KULLANILAN PERVANELERİN KOMPOZİT MALZEMEDEN
TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Ali ÇOLAKOĞLU

ŞUBAT, 2023
UŞAK

**T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DRONLARDA KULLANILAN PERVANELERİN KOMPOZİT MALZEMEDEN
TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Ali ÇOLAKOĞLU

UŞAK, 2023



Canım Babama ve Kızıma

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hasan Ali ÇOLAKOĞLU



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
TEŞEKKÜR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
3. KOMPOZİT MALZEMELER	9
3.1 KOMPOZİT MALZEMELERİN TANIMI	9
3.2 MATRİS TİPİNE GÖRE MALZEMELER.....	10
3.2.1 Metal Matrisli Kompozitler	10
3.2.2 Seramik Matrisli Kompozitler	10
3.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler.....	11
3.3 KOMPOZİTLERİN TAKVİYE MALZEMELERİ	11
3.3.1 Cam Elyafı.....	12
3.3.2 Karbon Elyafı	13
3.3.3 Aramid Elyafı	13
4. KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ	15
4.1 METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	15

4.2	SERAMİK MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	16
4.3	POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	16
4.3.1	Elle Yatırma Yöntemi	17
4.3.2	Elyaf Sarma Yöntemi.....	18
4.3.3	Püskürtme Yöntemi	19
4.3.4	Pultrüzyon Yöntemi	19
4.3.5	Transfer Kalıplama Yöntemi.....	20
4.3.6	Enjeksiyon Yöntemi.....	21
4.3.7	Vakum Kalıplama Yöntemi.....	22
4.3.8	Basınçlı Kalıplama Yöntemi	23
4.3.9	Otoklav Kalıplama Yöntemi	24
5.	DRONLAR.....	26
5.1	DRON STANDARTLARI.....	26
5.2	DRONUN BİLEŞENLERİ	27
5.2.1	Gövde	27
5.2.2	Motor.....	28
5.2.3	Uçuş Kontrol Kartı.....	28
5.2.4	Batarya	28
5.2.5	Kamera	28
5.2.6	Pervane	28
5.2.6.1.	Dron Pervanesi Çeşitleri	33
5.2.6.2.	Dron Pervanesi İsimlendirilmesi	36
5.2.6.3.	Karbon Fiber Dron Pervanesi Üretim Yöntemi	37
5.2.6.4.	Pervane Balanslama	38
6.	MATERYAL VE METOT.....	41

6.1	DRON PERVANESİNDEN ALINAN NUMUNELERE UYGULANAN MEKANİK TESTLER	41
6.1.1	Çekme Deneyi	42
6.1.1.1.	Çekme Dayanımı	44
6.1.1.2.	Birim Şekil Değiştirme	45
6.1.1.3.	Elastisite Modülü	45
6.1.1.4.	Kopma Uzaması	46
6.1.2	Eğilme Deneyi	46
6.1.3	Çentik Darbe Deneyi.....	48
6.1.4	Kalsinasyon Deneyi	50
6.2	DRON PERVANESİNE UYGULANAN SONLU ELEMENLAR ANALİZİ.....	51
7.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	55
7.1	DRON PERVANESİNE YAPILAN SONLU ELAMANLAR ANALİZİ.....	55
7.1.1	Dönme Durumundaki Yapısal Analiz.....	56
7.1.2	Durma Durumundaki Yapısal Analiz	57
7.1.3	Akış Analizi.....	59
7.2	DRON PERVANESİNE UYGULANAN MEKANİK TESTLER.....	60
7.2.1	Çekme Deneyi	60
7.2.2	Eğilme Deneyi	61
7.2.3	Çentik Darbe Deneyi.....	61
7.2.4	Kalsinasyon Deneyi	62
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
	KAYNAKLAR.....	66
	ÖZGEÇMİŞ	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6.1. Mekanik testlerin standartları	41
Çizelge 8.1. Deney sonucunda ortaya çıkan değerler	64



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Elle yatırma yöntemi	18
Şekil 4.2. Elyaf sarma yöntemi	18
Şekil 4.3. Püskürtme yöntemi	19
Şekil 4.4. Pultrüzyon üretim yöntemi	20
Şekil 4.5. Transfer kalıplama yöntemi	21
Şekil 4.6. Enjeksiyon yöntemi	22
Şekil 4.7. Vakum kalıplama yöntemi	23
Şekil 4.8. Basınçlı kalıplama yöntemi	24
Şekil 4.9. Otoklav kalıplama yöntemi	25
Şekil 5.1. Dron pervanesinin parçaları	27
Şekil 5.2. Dron pervanesi dönüş yönleri	30
Şekil 6.1. Modellenen dron pervanesi	41
Şekil 6.2. Kuvvet-uzama eğrisi	44
Şekil 6.3. Eğilme deneyi yapısı	46
Şekil 6.4. Çentik darbe deneyi yapılışı	50
Şekil 6.5. Mesh Tablosu	52
Şekil 6.6. Mesh resmi	53
Şekil 6.7. Uçlarda sabitlenmiş pervane desteği	54
Şekil 7.1. Dron pervanesinin ölçeklendirilmesi	55
Şekil 7.2. Dönme durumundaki toplam deformasyon.....	56
Şekil 7.3. Dönme durumundaki gerilim değerleri.....	56
Şekil 7.4. Dönme durumundaki gerinim değerleri.....	57
Şekil 7.5. Durma Durumundaki toplam deformasyon	58
Şekil 7.6. Durma durumundaki gerilim değerleri	58
Şekil 7.7. Durma durumundaki gerinim değerleri	59
Şekil 7.8. Statik basınç analizi	59
Şekil 7.9. Mutlak basınç analiz	60

RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1. Cam elyaf	12
Resim 3.2. Karbon elyaf	13
Resim 3.3. Aramid elyaf	14
Resim 5.1. Motor ve pervane sayılarına göre dronlar	29
Resim 5.2. Dron pervanesi.....	31
Resim 5.3. Rüzgar tüneli testi.....	32
Resim 5.4. Kanat sayısına göre pervaneler.....	33
Resim 5.5. Ahşap Pervane	35
Resim 5.6. Plastik Dron pervanesi	35
Resim 5.7. Karbon fiber dron pervanesi.....	36
Resim 5.8. Dron pervanesi kalıbı	38
Resim 5.9. Pervane balanslama cihazı	39
Resim 5.10. Pervane balanslama cihazı	40
Resim 6.1. Pervaneden alınan numune kesiti örnekleri	42
Resim 6.2. Çekme deneyi numunesi (a) ve çekme deneyi yapılışı (b)	43
Resim 6.3. Eğilme deneyi numunesi	47
Resim 6.4. Eğilme deneyi yapılışı.....	48
Resim 6.5. Çentik darbe deneyi numunesi	49
Resim 6.6. Kalsinasyon test numunesi	51
Resim 7.1. Eğilme deneyi sonrası numuneler.....	61
Resim 7.2. Çentik darbe deneyi sonrası numune	62
Resim 7.3. Kalsinasyon deneyi sonrası numune	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
σ	Çekme dayanımı
ϵ	Birim uzama
E	Elastisite modülü

Kısaltma	Açıklama
Al_2O_3	Alümina
B_4C	Bor karbür
CCW	Saat yönü tersi
CFD	Hesaplama akışkanlar dinamiği
CMC	Seramik matrisli kompozit
CW	Saat yönü
ESC	Elektronik hız kontrol cihazı
İHA	İnsansız hava aracı
LiPo	Lityum polimer
MMC	Metal matrisli kompozit
PA	Poliamid
PE	Polietilen
PEEK	Polietereterketon
PET	Polietilen tereftalat
PF	Fenolik
PMC	Polimer matrisli kompozit
RPM	Dakikadaki dönüş/devir sayısı
SHARP	Yüksek irtifa röle platformu
Si_3N_4	Silisyum nitrür
SiO_2	Silika
UP	Doymamış polyester

DRONLARDA KULLANILAN PERVANELERİN KOMPOZİT MALZEMEDEN TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hasan Ali ÇOLAKOĞLU

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Şubat 2023

ÖZET

Dronlar geçmişten günümüze kadar birçok sektörde kullanıma sahip olan ve bir kişi tarafından kumanda edilen, ayrıca video kayıt ve resim çekme özelliği olan insansız hava aracıdır. Bu araçlar ilk olarak savaş zamanlarında kullanılırken şimdilerde yine askeri alan haricinde; paket servisi, zirai alanların kontrolü ve ilaçlaması, sulama gibi insan gücü gereken birçok yerde kullanılmaktadır. Kullanım alanlarına bağlı olarak farklı boyutlarda, malzemelerde ve ağırlıklarda üretilebilmektedir. Dronların bu denli yüksek kullanım alanlarından ötürü her geçen gün bu araçlara ihtiyaç artmaktadır. Dronlar pervanesinden-bataryasına, kontrol kartlarından-motoruna kadar sürekli gelişme eğilimindedir. Bu gelişme neticesinde birçok ülke dron sektörü için her sene daha fazla yatırım yapmış ve yapmaya da devam etmektedir. Yapılan yatırımların en önemlilerinden biri de pervane bölümünde olmaktadır. Pervaneler dronun havada hareket etmesini sağlayan önemli bir parçadır. İlk zamanlarda, savaş zamanında pervaneler yıprandığı anda nedenine bakılmadan aynı pervanenin yenisiyle değişim yapılmaktaydı. Sonrasında bilim adamları konu hakkında düşünüp pervanenin dayanımını arttırmak ve daha iyi manevra kabiliyeti sağlamak için araştırmalar yapılmışlardır. Ahşap kullanılan pervanelerden sonra metal pervaneler, plastik pervaneler ve sonrasında günümüzde kompozit pervaneler kullanılmaya başlanmıştır. Ahşap ve metal pervanelerin ağır olması ve çok ses çıkartması, plastik pervanelerin ise dayanımının daha az olması sebebiyle kompozit pervanelerin

kullanımı her geçen gün artmaktadır. Kompozit pervaneler dayanımı yüksek olması haricinde ayrıca daha hafiftir ve uçuş sırasında daha az ses çıkartmaktadır.

Bu tez çalışmasında, iki kanatlı karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeden imalatı yapılan dron pervanesinin, mekaniksel özelliklerini belirlemek için çekme deneyi, eğilme deneyi, çentik darbe deneyi ve kalsinasyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan mekanik testlerden ASTM standartlarına uygun numuneler alınıp testleri yapılmıştır. Yapılan test sonuçları, pervanenin yüksek mekaniksel özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Mekanik özellikleri belirlenen pervanenin 3D tarayıcılar ile modellenmesi yapılmıştır. Modellemesi yapılan pervaneye bilgisayar destekli program ile sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Analizler üç farklı durum için yapılmıştır. Bunlar; akış analizi, dönme durumunda yapısal analiz ve durma durumundaki analizlerdir. Akış analizinde, pervanenin 5000 devir/dak'da ki karakteristiği kontrol edilmiş; kaldırma kuvveti, havanın pervane üzerindeki direnci ve hava akış hızı analiz edilmiştir. Dönme durumundaki yapısal analizde, pervanenin 5000 devir/dak'da ki hava direncinin pervaneye uyguladığı direncin pervane üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Durma durumundaki analizde ise, motor çalıştığı ve pervaneye kuvvet uyguladığı halde bir engelden dolayı pervanenin dönmediği durumda pervane üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda deformasyon miktarının en az kanat uçlarında olduğu ve en fazla da pervanenin orta tarafında bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca en fazla gerilme de kanat uçlarında meydana gelmiş en az gerilme de pervanenin orta kısmında görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Dron, Pervane, Kompozit Malzeme, Üretim

Sayfa Adedi : 93

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Osman ASİ

DESIGN AND PROTOTYPE MANUFACTURING OF PROPELLERS USED IN DRONES USING COMPOSITE MATERIALS

(M.Sc. Thesis)

Hasan Ali ÇOLAKOĞLU

**UŞAK UNIVERSITY
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE
Mechanical Engineering Department**

February 2023

ABSTRACT

Drones are unmanned aerial vehicles that have been used in many sectors from past to present and are controlled by one person, as well as video recording and taking pictures. While these vehicles were first used in times of war, now they are again outside the military field; It is used in many places where manpower is required such as package service, control and spraying of agricultural areas, irrigation. It can be produced in different sizes, materials and weights depending on the usage areas. Due to the high usage areas of drones, the need for these tools is increasing day by day. Drones tend to evolve constantly, from their propeller to their battery, from their control boards to their motor. As a result of this development, many countries have made and continue to invest more each year for the drone industry. One of the most important investments made is in the propeller section. Propellers are an important part that allows the drone to move through the air. In the early days, as the propellers were worn out during the war, the same propeller was exchanged for a new one regardless of the reason. Afterwards, scientists thought about the subject and made researches to increase the strength of the propeller and provide better maneuverability. After the wooden propellers, metal propellers, plastic propellers and later composite propellers have started to be used. The use of composite propellers is increasing day by day because wooden and metal propellers are heavy and

make a lot of noise, and plastic propellers have less strength. Composite propellers are not only durable but also lighter and less noisy during flight.

In this thesis, tensile test, bending test, notch impact test and calcination tests were carried out to determine the mechanical properties of the drone propeller, which is made of two bladed carbon fiber reinforced epoxy matrix composite material. Samples in accordance with ASTM standards were taken from the mechanical tests, and their tests were performed. The test results showed that the propeller has high mechanical properties. The mechanical properties of the propeller were determined and modeled using 3D scanners. Finite element analyzes were performed on the modeled propeller with a computer aided program. Analyzes were made for three different cases. These; flow analysis, rotational structural analysis, and standstill analysis. In flow analysis; the characteristic of the propeller at 5000 rpm was checked; buoyancy force, air resistance on the propeller and air flow velocity were analyzed. In the structural analysis in rotation; The effect of the air resistance applied by the propeller at 5000 rpm on the propeller on the propeller was analyzed. In the standstill analysis, the effect on the propeller is analyzed when the engine is running and the propeller does not rotate due to an obstacle, although it applies force to the propeller. As a result of the analysis, it was determined that the amount of deformation was the least at the wing tips and the most at the middle of the propeller. In addition, the most stress occurred at the wing tips and the least stress was seen in the middle of the propeller.

Keywords : Drone, Propeller, Composite Materials, Manufacturing

Number of pages : 93

Advisor : Prof. Dr. Osman ASİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başladığımdan beri bilgi ve birikimi ile yoluma ışık tutan, kullandığı her cümlesi benim için çok değerli olan, sadece akademik hayatımda değil sosyal yaşantımda da üzerimde emeği bulunan çok kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman ASİ' ye teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatımda sonsuz destekçim, annemle beraber beni bugünlere getiren, hiç yalnız bırakmayan, her kararında arkamda duran, yüksek lisansa başladığımda çok mutlu olan fakat tezimin bitişini göremeden vefat eden ve hayatımın her aşamasında örnek aldığım, oğlu olmaktan her zaman gurur duyacağım canım babam Mehmet ÇOLAKOĞLU teşekkürlerin en güzelini hak etmektedir.

Çocukluğumdan beri benim en yakın arkadaşım, sırdaşım, tüm hayatını çocuklarına adayan, tez yazma sürecimde yanıma gelip yardımını esirgemeyen ve sonsuz desteğini her zaman hissettiğim güzel annem Ayşe ÇOLAKOĞLU' na teşekkürü borç bilirim. Tez aşamasında manevi olarak arkamda olan ve bana her zaman inanan canım kardeşim Fatma İrem ÇOLAKOĞLU' na destekleri için teşekkür ederim.

Dünyanın en güzel hediyesi olan kızımı dünyaya getirip bana babalık duygusunu tattıran, her zaman destekçim, beni hiç yalnız bırakmayıp hep yardımına koşan, tez çalışmamda en az benim kadar emeği olan ve bu periyotta sınırsız sabır gösteren bir tanecik eşim Arş. Gör. Feyza AYDIN ÇOLAKOĞLU' na sonsuz teşekkür ederim. Dünyaya geldiği günden beri hayatıma enerji katan, bir gülüşü ile içimi ısıtıp bana güç veren canım kızım Elif Ada ÇOLAKOĞLU' na çok teşekkür ederim.

Bana her zaman güvenen, tez yazma sürecinde yanıma gelip iyi niyetiyle bizlere yardım eden çok değerli kayınvalidem Anakadın AYDIN' a teşekkür ederim.

Ayrıca iş arkadaşım sayın Ufuk ZEYBEKOĞLU' na tez çalışması sırasında manevi desteği ve bana olan güveni için çok teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Dronlar, uzaktan kumanda aracılığıyla kontrol edilerek yönlendirilebilen insansız hava araçlarıdır. Pek çok sektörlerde yaygın bir şekilde faydalanılan dronlar, günümüzde birçok kişi tarafından hobi aracı olarak da kullanılmaktadır. Bununla birlikte, uçuş yönünü hızlı bir şekilde değiştirme yeteneği ve gelişmiş kullanım gibi diğer çok rotorluluk özellikleri, kurtarma, tarım, güvenlik, filme alma, saha incelemeleri, ulaşım ve tıp gibi uygulamalar için kullanımlarını artırmıştır (Grenzdörffer ve ark., 2018). Dronun yaygınlaşması, ticarileşmesini önemli ölçüde artırmıştır. Küresel dron pazarı, 2019' da yaklaşık 19,5 milyar dolarken, 2020' de 22,5 milyar dolara sıçramıştır. 55,6 milyar dolara ulaşması gereken 2027' ye kadar yılda yaklaşık %20' lik bir büyüme beklenmektedir (Sabino ve ark., 2022). Dronlardan faydalanılan diğer sektörler; enerji, medya, reklamcılık, etkinlikler, trafik, kargo, hobi, doğal afet alanlarında görülemeyen yerleri görmek, kaçakçılık ile mücadele, avcılık ve terörle mücadele gibi örnekler verilebilir.

Dron pervanesi dronu oluşturan en önemli bileşenlerden biridir. Dron pervanesi dronu emniyetli şekilde havada hareket etmesini ve manevra yapmasını sağlayan parçadır. Dronun geçmişten bugüne artan kullanım alanlarından dolayı, pervaneleri de sürekli olarak gelişme eğilimindedir. 20.yy' da dron pervaneleri için ahşap kullanılırken daha sonra plastik kullanılmaya başlanmış ve şimdilerde ise pervaneler kompozit malzemeden üretilmeye başlanmıştır. Dron pervaneleri istenilen boyutta ve malzemede üretilmektedir. Her bir dronda çeşitlerine göre farklı sayıda pervane bulunmaktadır. Her pervanenin belirli bir rolü vardır. Her bir pervanenin hızı değiştiğinde, dronun havada durması, yükselmesi, alçalması, ileri ve geri hareket etmesi gibi parametreler sağlanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeden üretilen dron pervanesinin modellemesi yapılmış ardından pervanenin mekanik özelliklerini belirlemek için mekanik testler uygulanmıştır. Her bir mekanik test için belirlenen ASTM standartları kullanılmıştır. Mekanik testlerden sonra sonlu elemanlar analizi kullanılarak pervane analiz edilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İnsansız hava araçları en eskisi, 1839' da Avusturya askerlerinin, patlayıcılarla dolu insansız balonlarla Venedik şehrine saldırmasıyla görülmüştür (Dronenerds, 2022). Bu balonlarından bazıları başarılı şekilde bombalama yapmış, ancak bir kısmı geri tepmiş ve Avusturyalılar kendi bölgelerini bombalamıştır. Bu nedenle uygulama geniş çapta benimsenememiştir. Kanatlı uçakların icadıyla ise her şey değişmiştir. Wright Brothers'ın ünlü Kitty Hawk uçuşu 1900 yılında olmuş ve bu uçuştan 16 yıl sonra Büyük Britanya ilk pilotsuz kanatlı uçağı olan Ruston Proctor Aerial Target' ı geliştirmiştir.

İkinci Dünya Savaşı' nın bitiminden önce üretilen pervaneler genellikle deneyci bir yaklaşım kullanılarak tasarlanmıştır (Amatt ve ark., 1973). Optimum pervane tasarımı için yöntemler mevcut fakat uygulanması zor olmuştur. Bu yüzden rüzgâr tüneli testi ve uçuş testleri sırasında iyi performans gösteren pervaneleri ölçeklendirmek ve değiştirmek daha pratik olarak görülmekteydi (Weick, 1925).

Değişken hatveli pervaneler, genellikle savaş öncesinde kanat tasarımları çok az değiştirilmiş veya hiç değiştirilmeden kullanılmıştır. Sonunda birçok İkinci Dünya Savaşı dönemi uçağı, uçağın görevi ne olursa olsun neredeyse aynı pervane kanatlarını kullanmıştır (Amatt ve ark., 1973). Daha iyi performans gösteren pervanelere ihtiyaç duyulmaya başlanmış ve optimum pervane tasarımı için basit yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır (Crigler, 1949; Larrabee, 1979).

Borst (1978), içten yanmalı motorlarda kullanılan, 60 ila 90 cm çapında İHA pervanelerinin tasarımına odaklanmıştır. Tam ölçekli pervanelerin kanatlarını analiz etmek için kullanılan yöntemlerin, uçak kanatlarının aerodinamik verilerinin İHA uçuş rejimi için doğru Reynolds sayısında mevcut olduğu sürece, İHA' lar için pervane tasarımına uygulanabileceği gösterilmiştir (Lorenz, 1988). İHA test yatağı olan Sabit Yüksek İrtifa Röle Platformu (SHARP) için pervanelerin tasarımını ve rüzgâr tüneli testini detaylandırmıştır (Lorenz 1988). Tasarlandığı gibi çalışan verimli pervaneler üretmenin mümkün olduğunu bulmuştur. Uçağın verilen görevi tazmin etmek için dayanıklılığının fazlalığı ve yeterli menzile sahip olması gerekmektedir. Optimum verime ulaşmak, düşük Reynolds sayılarında uçağın performansını analiz etmeye yönelik yöntemlerin azlığı ve küçük İHA' lar için birleşik pil-motor-pervane analiz yöntemlerinin

eksikliği dahil olmak üzere çeşitli faktörler nedeniyle fazlaca karmaşıktır (Logan ve ark., 2005).

İHA' lara özgü olmamakla birlikte, Gur ve Rosen, pervane tasarımına multidisipliner bir tasarım ve optimizasyon yaklaşım sunmuşlardır. Gur ve Rosen'in yaklaşımı, uçak ve enerji santrali performansının yanı sıra kanadın aerodinamik, yapısal ve akustik kısıtlamalarını da dikkate almıştır. Çok hafif bir uçak için bu yöntem kullanılarak tasarlanan bir pervanenin teorik analizi, tasarım dışı koşullarda iyileştirilmiş performans göstermiştir (Gur ve Rosen, 2009).

Wall 2012 yılında, elektrikle çalışan İHA' lar için optimize edilmiş pervanelerin tasarımını incelemiştir. Wall'un yaklaşımı, yalnızca pervane kanadını motorun performansına uyacak şekilde optimize etmekle kalmamış, aynı zamanda kanat profili optimizasyonunu da araştırmıştır. Simülasyonlara dayanarak yaptığı çalışmada, optimize edilmiş pervaneler, temel pervaneden daha iyi performans göstermiş ve pervaneler arasında kanat platformunda belirgin farklılıklar olduğu sonucuna varmıştır (Wall, 2012). Bu yaklaşım, uçuşun diğer aşamalarında yapısal gücü veya pervane performansını dikkate almamıştır.

Turcanu ve ark. (2015), pervanenin ataletini azaltmanın bir yöntemi olarak düşük yoğunluklu ancak dirençli malzemeler kullanmayı hedeflemişlerdir. Çalışma sonrasında pervanenin yapısını inceleyerek, pervanenin kabuk tipi bir yapı kullanılmasının eylemsizlik momentini azalttığı sonucuna varmışlardır. Karbon fiberin düşük yoğunluğa ve çok iyi bir mekanik dirence sahip bir malzeme olduğunu tespit etmişlerdir.

Yadav ve ark. (2017), farklı pervanelere sahip dronların itme verimliliği ve taşıma kapasitesi üzerine araştırma yapmışlardır. Bu araştırma, manuel ve otonom kontrollü quadcopter ve tricopter üzerindeki farklı boyutlardaki pervanelerin ayrı ayrı analizini içermektedir. Aynı güç kaynağında daha fazla yük taşımak ve daha fazla itme gücü sağlamak için, hangi pervanenin daha verimli olduğunu kontrol etmişler ve aynı konfigürasyon modellerinde performansı artırmak için itme-ağırlık oranının ne olduğunu araştırmışlardır. Tüm hesaplamalar yapıldıktan sonra, farklı pervaneli motorların değişen gazda farklı miktarda itme kuvveti verdiği görülmüştür, %100 gazda 706 gr itiş gücü veren pervane, 1045 tam gazda 737 gr itiş gücü vermiştir. 1045 tam gazda aynı motor konfigürasyonu ile 31 gr daha fazla itme kuvveti verdiği görülmüştür. Daha fazla yük

taşımak için itme verimliliği geliştirmek isteniyorsa, küçük pervane yerine büyük pervaneye ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır.

Andria ve ark. (2018), bir pervane prototipinin tasarımı ve üretimi için 3 boyutlu baskı kullanmışlardır. Bu eklemeli üretim süreci birkaç başarılı uygulama bulmuştur. 3 boyutlu baskı, pahalı bir kalıba ihtiyaç duymadan birkaç saat içinde pervane oluşturma imkânı vermiştir. Çalışmada gerçekleştirilen pervane, performanslarını incelemek, analiz etmek ve hangi alanların iyileştirilebileceğini anlamak için test tezgâhı üzerinde bir motora monte edilmiştir. Geliştirilmiş performansa sahip pervaneler oluşturmak için daha hızlı bir üretim, analiz ve yeniden tasarım sürecini araştırmışlardır.

Jang ve ark. (2019), çalışmalarında küçük pervanelerin yüksek hızda çalıştırıldığında bir bölgeye temas etmesi durumunda, insan derisi dahil yumuşak engeller için tehlikeli olmaya devam ettiğini, daha büyük boyutlu ince bıçakların, dönüş sırasında daha büyük deformasyon gösterdiğini tanımlamışlardır. Bu etmenden ötürü farklı pervane üretmeye odaklanmışlardır. Alternatif olarak, pervaneler daha yumuşak malzemeden yapılabilirliği ölçülerek, esnek bir bıçağın 100 µm kalınlığında bir PET plakadan yapılabilirliğini, pervane çarpışma anında kolayca bükülebilir ve kısa süre sonra orijinal şeklini oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Deney sonucunda, esnek bıçağın darbe kuvvetinin, orijinal bıçağın darbe kuvvetinin yaklaşık onda biri oranında az olduğu ortaya çıkmıştır. Bu bıçağı 3 boyutlu yazıcıda üretmişlerdir.

Suchat ve ark. (2020), çalışmalarında dron pervanelerinde kullanılmak üzere epoksitlenmiş doğal kauçuk ve nanosilikadan yapılan kompozit malzeme kullanılmışlardır. Nanokompozit numuneler, %5 epoksitlenmiş doğal kauçuk ve %3 nanosilika yüklü epoksi reçine ile hazırlanmıştır. Hızlandırılmış hava koşullarına karşı dirençlerinin yanı sıra eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve sertlik gibi mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, oluşan numunelerin darbe dayanımı 168 saat UV radyasyonuna maruz kaldığında %13,33 oranında ve 336 saat UV radyasyonuna maruz kaldığında %33,33 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, çekme mukavemeti özellikleri, yukarıdaki karşılık gelen maruz kalma süresi aralıkları için %35.71 ve %19.05 artmıştır. Bu deneylerde kullanılan nanokompozitler, dış mekân İHA kanat uygulamaları için iyi bir hava koşullarında dayanıklılık göstermiştir.

Scanavino ve ark. (2021), İnsansız Hava Aracı Sistemlerinden değişen hava koşulları altındaki performansları hakkında araştırma yapmıştır. Son yıllarda yaygın

olarak dronların, rüzgâr ortamlarında çalıştırılarak kararlılık ve kontrol edilebilirlikleri geliştirilmiştir. Bununla birlikte, diğer hava durumu değişkenlerinin dron performansı üzerinde etkisi vardır. Bu tür durumların daha iyi anlaşılması için uygun şekilde araştırma yapılmıştır. Çalışmada, iklim kontrollü bir odadaki bir pervanenin ön karakterizasyonu yapılmıştır. Pervane düşük basınçta ve düşük sıcaklıklarda test edilirken mekanik ve elektriksel veriler ölçülmüştür. Test sonuçları, itme ve elektrik gücünün hava yoğunluğundan güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermektedir. Deneysel veriler ile teori hesaplaması arasındaki örtüşme, geometrik belirsizliklere rağmen uygun ve güvenilir bir aerodinamik veri tabanına olan ihtiyacı desteklemektedir. Deney sonuçları, dronun performansının, çalışma ortamından büyük ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Fırçasız motorun gerektirdiği daha yüksek itme ve elektrik gücü, soğuk sıcaklıkların bir sonucu olarak ölçülmüştür. Hava yoğunluğu azaldıkça itme ve gücün düştüğü görülmüştür.

Hunt ve ark. (2021), Çok Rotorlu İHA Pervaneleri İçin Kanat Buz Çözme Tekniklerinin Analizi adlı çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, 2 farklı yöntem denenmiştir. Bu çalışmada incelenen bu tür iki yöntem, kaplamaları ve pervane tersini içermektedir. İlk yöntem, pervane kanatlarına hidrofobik bir kimyasal kaplama püskürtmeyi içermektedir. Etilen glikol, silikon sprej, Rain-X ve WD-40 dâhil olmak üzere çeşitli kaplamalar test edilmiştir. Her bir kaplamalı pervane, uçuş sırasında buzlanmaya neden olduğu bilinen atmosferik koşullar altında bir çevresel bölgede test edilmiştir. Her kaplamalı pervane için itme eğrisi kaydedilip aynı çevre koşullarına tabi tutulan bir dizi kontrol testiyle karşılaştırılmıştır. İkinci yöntem, birikmiş buza sahip bir pervanenin birikintiyi yerinden çıkarmak için hızla ters yönde döndürüldüğü bir pervane ters çevirme tekniğini içermektedir. Gözlemlemek ve değerlendirmek için yüksek hızlı bir kamera kullanılmıştır. Bu araştırmadan elde edilen bulgular, İHA' lar için ek buz çözme tekniklerinin araştırıldığı bir çalışma olmuştur. Kimyasal kaplamaların kullanılması, testlerde bir miktar buz birikmesini azaltmaya yardımcı olsa da, şiddetli buzlanma koşullarında uzun süreli uçuşu sürdürmek için uygun bir seçenek olmadığı görülmüştür. En etkili kaplama olan Rust-Oleum NeverWet (su yalıtım spreji), bazı deneylerde buz oluşumu nedeniyle kaybedilen itme gücünü %29 oranında geri kazanmıştır. Daha yakından incelendiğinde, NeverWet kaplamanın dondurucu sis nedeniyle aşınmaya karşı hassas olduğu ve bağımsız bir çözüm sağlamadığı görülmektedir. Benzer şekilde, uçuş ortasında kanat ters çevirme, kanat sapmasının en

yüksek olduğu pervane tabanının yakınında yalnızca minimum miktarda birikmiş buzu yerinden oynatabildiği tespit edilmiştir.

Nguyen ve Loianno (2020), dron operatörlerinin, çevredekilerin güvenliği ve dronların hasara karşı korunması gerektiğini belirtmiştir. Burada, yusuflu kanatlarından esinlenerek, deforme olabilen pervanelerin yeni bir tasarımını incelemişlerdir. Bu pervanelerin yapısı, bir yusuflu kanadındaki düğüme benzer esnek bir parça içermektedir. Bu esnek segment, çarpışma anında bükülmektedir. Aynı zamanda katlanarak çarpma anında kuvveti emip ve pervaneyi hasardan korumaktadır. Pervanenin ön kenarının bir kısmı, darbe kuvvetlerini emebilen ve kanat keskinliğini azaltabilen esnek bir silikon kauçuk yüzeyden oluşmuştur. Yaklaşık 10 inç uzunluğundaki pervane, 3200 RPM maksimum hızda 1,3 N itme kuvveti üretmektedir. Kanat keskinliği testlerinin sonuçları, deforme olabilen pervanenin sert pervaneden daha güvenli olduğunu göstermiştir. Çarpışma sonrası deformasyondan sonra pervane orijinal haline dönebilmekte ve 0,4 saniye içinde normal şekilde çalışabilmektedir.

You ve ark. (2020), 22 km irtifada güneş enerjisi kullanan insansız hava aracı (İHA) için bir pervane tasarlamıştır. 3 kanatlı pervane için tasarım hedefi, 50 m/s serbest akış hızı altında, 5500 RPM’ de dönen 0,5588 m çaplı pervane ile %72 verimlilik ve 7 N itme kuvveti elde etmektir. Sonuç olarak, verilen irtifada en iyi kaldırma/sürüklenme oranı için FX 63-137 kanat profili seçilmiştir. İkinci olarak, kanatların üç boyutlu konfigürasyonunu belirlemek için Joukowski pervane girdap teorisine dayalı bir MATLAB programı kullanılmıştır. Daha sonra ön tasarım üzerinde CFD simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ön tasarımın pervane verimliliğini artırmak için optimum tasarım yöntemi kullanılmıştır. Kiriş uzunlukları ve kanat hatve açıları dağılımı dâhil olmak üzere beş açıklıklı bölümde on değişken kullanılmıştır. Son olarak, performansı gereksinimi karşılayan 467 W güce sahip optimize edilmiş pervane elde edilmiştir.

Suurnäkki ve ark. (2021), dinamik buzlanma süreci sırasında düşük Reynolds sayılı dron pervane performansını araştırmıştır. Pervane, 3000 ila 5000 RPM arasında değişen dönüş hızları ve sıfır itme elde etmek için süpürülen rüzgâr tüneli hızı ile düşük Reynolds sayılı bir akışta incelenmiştir. Buz birikiminin pervane performansını düşürdüğü görülmüştür. Aynı zamanda kanat yüzeyinin buzlanması nedeniyle sistemin güç tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir.

Karpen ve ark. (2022), buzlanma ortamlarında çok rotorlu küçük dronlar için pervaneye entegre kanat profili ısıtıcı sistemi fizibilite çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında, ortalama ısı gücü yoğunluğu 1 W/cm^2 olan bir elektro termal buz koruma sistemi, küçük çok rotorlu dronlarda kullanılmak üzere tasarlanmış ve geliştirmişlerdir. 33 cm çapında ve ticari olarak temin edilebilen pervane kanatları, süper kapasitörler tarafından bağımsız olarak çalıştırılan, hafif ve çok katmanlı ısıtma folyoları ile güçlendirilmiştir. Isıtmalı pervaneler, küçük ölçekli bir buzlanma rüzgâr tüneline gerçeğe yakın buzlanma koşullarında test edilmiştir. Isıtılmamış bir referans pervane ile ısıtılmış bir pervanenin itme kuvveti, dönüş hızı ve güç tüketimi karşılaştırılmıştır. Buzlu koşullarda, $> -5 \text{ }^\circ\text{C}$ hava sıcaklıklarında, ısıtılmamış pervanenin itme kuvveti, tüm test süresi boyunca sık sık buzlanma ve dökülme döngüleriyle beraber %60 ile %90 arasında dalgalanmıştır. Isıtmalı pervane, aynı buzlanma koşullarında $> \%95$ 'lik bir itme kuvveti sağlamıştır. Hava sıcaklıklarının $< -8^\circ\text{C}$ olduğu kırılgı buz koşullarında, ısıtma yeterli gelmemiştir. Sonucunda ısıtılmayan ve ısıtılan pervanelerin itme gücü benzer şekilde zamanla azalmıştır. Farklı buzlanma koşulları için pervane açıklığı boyunca ısı akısı hesaplamaları yapılmış ve test edilen buz koruma sisteminin ısı gücü yoğunluk dağılımı ile karşılaştırılmıştır.

Rehman ve ark. (2022), PV panellerin üzerinde uçan bir dronun panel üzerindeki tozu temizleyebileceğini ve panellerin verimliliğini artırdığını göstermiştir. Düzenli olarak çalıştırılırsa, dronun, panellerin üzerinde, belirli bir yükseklikte seyir sırasında oluşturduğu aşağı doğru itme kuvveti, biriken tozun çoğunu kaldırmaktadır. Suudi Arabistan'da sık görülen kum fırtınaları, güneş radyasyonuna karşı bir kalkan görevi gören PV panellerinde toz birikmesine neden olur. Sonuç olarak, güneş radyasyonundan kaynaklanan enerji emilimi azalmakta ve sonucunda panellerin enerji çıkışında azalma görülmektedir. Farklı deneyler sırasında, PV panellerin insansız hava aracıyla temizlenmesinin etkinliğini kanıtlamak için panel üzerine 20, 50 ve 100 cc hacimlerinde toz serpilmiştir. Bu deneysel sonuçlar, dronun geri itmesinin tozun çoğunu kaldırdığını ve güneş panellerinin enerji çıkış performansını iyileştirebileceğini göstermiştir.

Rajendran ve Jayaprakash (2022), bir çift kanatlı dron rotor pervanesinin sayısal performans analizini yapmıştır. Bu çalışma, sayısal simülasyon analizi ile azaltılmış titreşim ve sürüklenme ile iyileştirilmiş tork ve performans katsayısına sahip çift kanatlı

bir pervane modeli geliştirmeye odaklanmaktadır. Önerilen kanat tasarımı, pervane torkunun oluşumu üzerindeki etkilerini analiz etmek için 30° kanat açısı ile modellenmiştir. Geliştirilen sayısal simülasyon modelinin geçerliliği ve doğruluğu, geliştirilen modelin ağ ve türbülans parametrelerinden etkilenmektedir. Mevcut çalışmada, türbülans faktörleri, kesme gerilimi taşıma modeli ile modellenmiştir ve ağ oluşturma parametreleri, bir ızgara yakınsama çalışmasına tabi tutulmuştur.

Xie ve ark. (2021) çalışmasında, dronlar için düşük gürültülü bir pervane tasarlamak amacıyla çeşitli prepreglerin ve bunların kombinasyonlarının pervanenin aeroakustik performansı üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Saf karbon prepregden yapılan bir pervanenin en yüksek gürültü seviyesini ürettiği ve en yüksek itme kuvvetini ürettiği, saf keten prepregden yapılan bir pervanenin ise en düşük gürültü seviyesini ürettiği ve en düşük itme kuvvetini ürettiği bulunmuştur. Karbon ve keten prepreglerin hibridizasyonundan yapılan pervanelerin ürettiği gürültü seviyeleri, saf karbon prepreg pervaneye göre daha düşük, ancak saf keten prepreg pervaneye göre daha yüksek bulunmuştur. İtme kuvvetinin sonucu için de benzer bir sonuç gözlemlenmiştir. Keten prepregden yapılan pervanenin düşük gürültülü olmasının yanı sıra, kısa prepreg kürlenme süresine sahip olması, hafif olması ve ayrıca bu çalışmada incelenen dört pervane arasında en ucuz pervane olduğu sonucuna varılmaktadır.

3. KOMPOZİT MALZEMELER

3.1 KOMPOZİT MALZEMELERİN TANIMI

Malzemeler uygarlıkların evrimine ve teknolojinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Taş devrinde kullanılan taş, ahşap ve kemik malzemelerden günümüzde her geçen gün kullanımı artan kompozit malzemelere kadar sürekli gelişim göstermiştir. Geleneksel olarak kullanılmakta olan mevcut malzemelerin veriminin sınırlı oluşundan ötürü, yeni malzemeleri kullanarak yeni fikirleri uygulamaya koyma ihtiyacı gelişmiştir. Bu yüzden, yüksek teknolojik ürünler üretmek için yeni malzemelere olan ihtiyaç artmıştır. Yeni malzemelerin performans verimliliği üst düzeyde olmalı ve yüksek güvenilirlik içermelidir. Hafif olmalı ve aynı zamanda özelliklerin birleşimini göstermelidirler. Yüksek sıcaklık ve basınçta, düşük sıcaklık ve basınçta ve yüksek derecede korozif gibi ortamlarda kullanımları mümkün olmalıdır. Yıllar geçtikçe, teknolojik gereksinimleri karşılamak için pek çok yeni malzeme geliştirilmiştir. Bu nedenle, malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesi düşünülmüştür ve sonucunda kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır (Balasubramanian, 2014).

Kompozit malzeme, bireysel özelliklerden çok birlikte daha güçlü olan (farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip) iki veya daha fazla doğal veya yapay elementin bir araya getirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Bileşen malzemeler birbirleriyle tamamen karışmaz veya bireysel kimliklerini kaybetmezler. Fakat birbirlerinin iyi özellikleri ile beraber güçlü malzeme oluştururlar. Kompozit malzemeler diğer malzemelere göre; daha iyi burulma ve sertlik özelliklerine, ayrıca yüksek yorulma dayanımına sahiptirler. Aynı işlevsel gereksinimler için tasarlanmış alüminyum yapılardan %30-45 daha hafiftirler. Kompozitler çalışma sırasında daha az ses çıkarmakta ve daha az titreşim sağlamaktadır. Ayrıca kompozit malzemeler çok yönlüdür (Balasubramanian, 2014).

Kompozit malzemeler, matris ve takviye fazlarının çeşitlerine göre sınıflandırılabilir. Matris fazına dayalı kompozitler; Metal matrisli kompozitler (MMC), polimer matrisli kompozitler (PMC) ve seramik matrisli kompozitler (CMC) olarak sınıflandırılırken, takviye esaslı kompozitlerin iki ana türü katmanlı kompozitler ve faz kompozittir (Yıldız, 2012).

3.2 MATRİS TİPİNE GÖRE MALZEMELER

Matris malzeme bir kompoziti oluşturan iki temel malzemeden biridir. Matrisler, lifleri çevresel ve fiziksel hasarlardan korumaktadır. Malzemeye gelen yükü tüm lifler arasında eşit olarak dağıtmaktadır. Matris malzemesi, bağlayıcı olması ve yapışkan özellikleri sayesinde donatıları birbirine bağlamaktadır ayrıca kompozite katı formu sağlamaktadır. Matris malzemesi; metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli olmak üzere 3 farklı şekilde sınıflandırılır (Sandhanshiv ve Patel, 2020).

3.2.1 Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler, gelişmiş mukavemet, aşınma ve sürünme direnci, mükemmel sönümlenme ve azaltılmış termal genleşme gösterebilen ileri mühendislik malzemeleridir. Metal matrisler, 200 - 800 °C arasında çalışma sıcaklığına sahiptir. Matris olarak en yaygın olarak kullanılan metaller; alüminyum, titanyum ve magnezyum alaşımlarıdır (Altenbach ve ark., 2004). Ulaşım, kesme aletleri, tüketici elektroniği, savunma, uzay, havacılık, denizcilik gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. (Suresh ve ark., 2013).

Metal matrisli kompozitlerin iyi özellikleri; nem tutmaması, yangına dayanıklı olması, elektriksel ve termal iletkenliğinin üstün olması, yüksek mukavemetli olması ve yüksek sıkıştırma mukavemeti olarak gösterilmektedir.

3.2.2 Seramik Matrisli Kompozitler

Heterojen malzemeler olan seramik matrisli kompozitler, ikinci fazın seramik bir matris içine gömülü olduğu kompozit türüdür. Yüksek sıcaklık uygulamaları için seramik matrisler kullanılmaktadır. Seramik matrisler, kırılma ve işlenmesi zor oldukları için polimerler kadar yaygın olarak kullanılmamaktadır. Ana bileşenleri Al_2O_3 , SiO_2 ve inorganik metalik olmayan maddelerdir. Eşsiz özelliklerinden ötürü, termal bariyer kaplamaları, kesici takımlar ve nükleer, askeri, havacılık, enerji ve inşaat endüstrileri için kullanılmakta olan yapı malzemeleri gibi çok çeşitli kullanım alanları vardır. Hafif

olması, termal direnci, elektrik yalıtımı ve kimyasal kararlılığı üstün özellikleridir (Donald ve McMillan, 1976).

3.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozit, bir organik polimer matris ile birbirine bağlanmış çeşitli kısa veya sürekli liflerden oluşan bir kompozit malzemedir. Üstün özellikleri; yüksek sertliği, aşınma direnci, korozyon direncidir. Polimer matrisli kompozitler; termoplastik ve termoset olarak ikiye ayrılırlar.

Termoplastikler ısıtıldıklarında yumuşar ve bozulmadan yeniden kalıplanabilir. Soğuduklarında ise katılaşır. Bu ısıtma-soğutma döngüsü, ürüne neredeyse sınırsız bir raf ömrü vererek birçok kez tekrarlanabilir. Ayrıca bu kompozitler, ahşap ve metal işçiliğinden elde edilen teknikler kullanılarak da şekillendirilebilmektedir.

Termoset plastikler tekrar şekillendirilmeye ve tekrar kullanılmaya müsait olmayan plastiklerdir. Sıcaklığa dayanımı iyi olan bu plastikler yüksek çarpma dayanımı ve sertliğe sahiptir (Kessler, 2012).

3.3 Kompozitlerin Takviye Malzemeleri

Kompozit malzemeyi oluşturan en önemli elemanlardan biri olan takviyeler, kompozitin mekanik özelliğini arttırmakta ve malzemeye gelen yüklerin çoğunu taşımaktadır. Takviye olarak seçilen elementler genellikle düşük atom numaralı elementlerdir, çünkü hafiflik, yüksek mukavemet ve sertlik gibi arzu edilen mühendislik özellikleri bu elementlerde mevcuttur. Takviyelerine göre kompozitler 4 ana başlık altında sınıflandırılabilir.

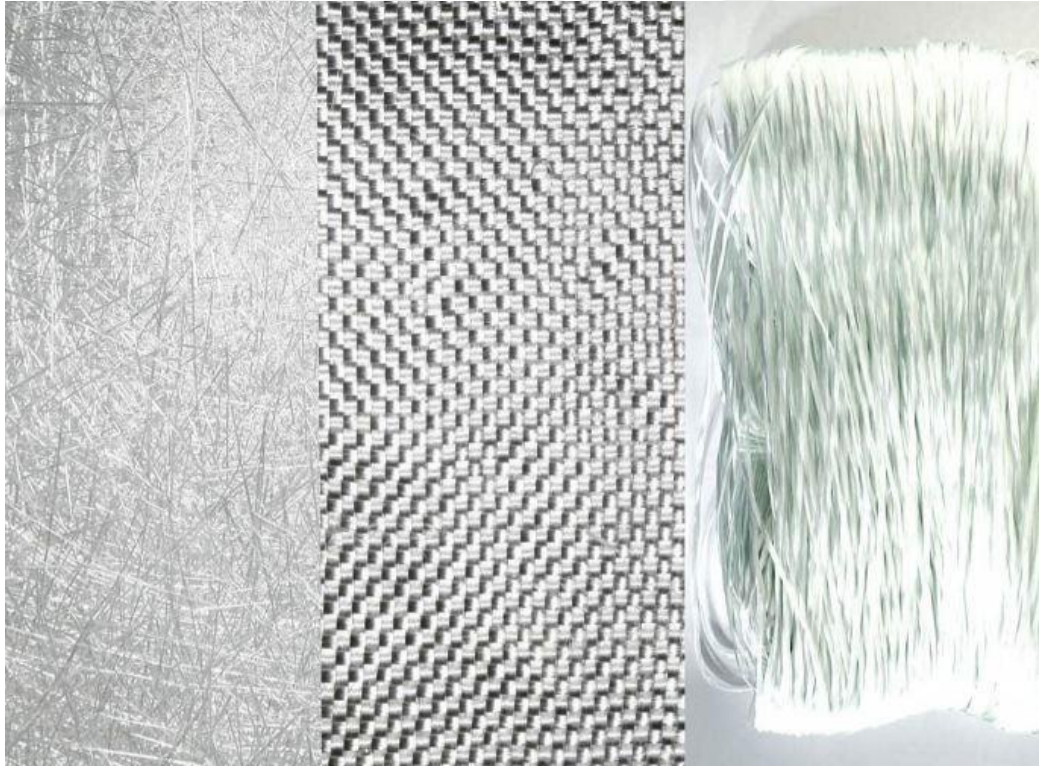
Bunlar; en çok kullanılan takviye olan, elyaf takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitler, tabakalı kompozitler ve karma kompozitlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerdeki takviye malzemeleri cam, aramid ve karbondur.

Elyaf Takviyeli Kompozitler, matris yapısındaki elyaflardan oluşur ve elyaf uzunluğuna göre sınıflandırılabilir. Uzun elyaf takviyeli kompozitler sürekli elyaf takviyeli kompozitler olarak adlandırılırken, kısa elyaf takviyeli kompozitler süresiz elyaf takviyeli kompozitler olarak adlandırılır.

Kompozit malzemeler için çok sayıda lif mevcuttur ve bunlar öncelikle doğal veya sentetik lifler olarak sınıflandırılmaktadır. Doğal lifler; kolayca elde edilebilen, doğada kolaylıkla bulunabilen malzemelerdir. Sentetik lifler; kimyasal sentezle üretilen insan yapımı liflere denir ve organik veya inorganik olarak sınıflandırılırlar. Cam elyaf, karbon elyaf, aramid elyaf en çok kullanılan sentetik elyaflardır (Rajak ve ark., 2019).

3.3.1 Cam Elyaflar

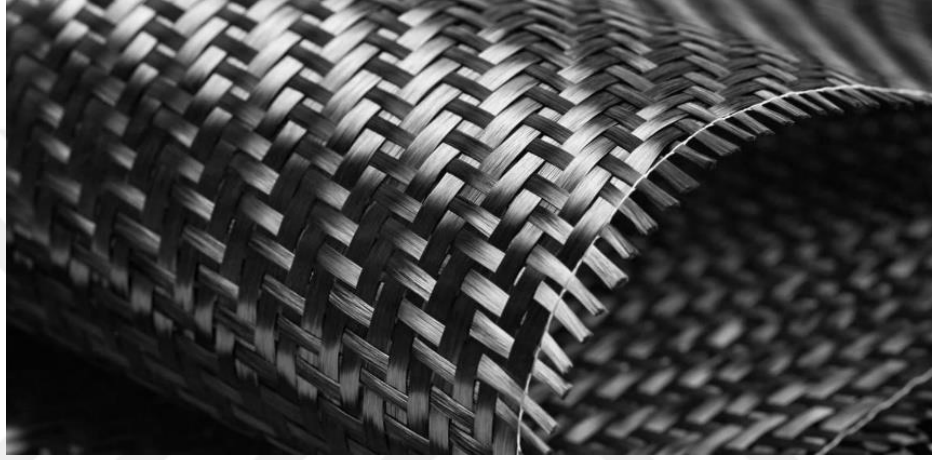
Elektriksel yalıtım özelliği yüksek olan cam elyaflar, düşük nem hassasiyeti ve üstün mekanik özelliklerinden dolayı polimer matrisli kompozitlerde fazlaca kullanılan takviye elemanıdır. Cam elyaflar mükemmel mekanik özelliklere sahiptir ve belirli formlarda çelikten daha güçlüdür. Daha düşük modül, kritik sertliğin sahip olduğu durumlarda bazı özel tasarım işlemi gerektirmektedir. Resim 3.1’ de cam elyaf parçaları görülmektedir.



Resim 3.1. Cam elyaf (Kosse Composite Marketing, 2022)

3.3.2 Karbon Elyaf lar

Karbon elyaf, takviye malzemeleri arasında en yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptir. İyi derecede yüksek sıcaklık performansı vardır. Karbon fiber kompozitler, cam veya aramidden daha fazla kırılıgandır. Karbon fiberler, metallerle beraber kullanıldıklarında galvanik korozyona sebep olabilir. Resim 3.2’ de karbon elyaf parçası görölmektedir.



Resim 3.2. Karbon elyaf (Ünsal Kompozit, 2021)

3.3.3 Aramid Elyaf lar

Aramid elyaf lar, tokluk veya darbe direnci avantajı ile düşük yoğunlukta iyi mekanik özellik sunmaktadır. Cam ve karbona kıyasla oldukça yüksek gerilme mukavemetine ve çok düşük yoğunluğa sahip olmaları onları ayıran özelliklerdir. Aramid elyaf lar hem elektrik hem de ısı yalıtkanlarıdır ve kompozitlerin darbe direncini arttırmaktadır. Resim 3.3’ de aramid elyaf parçası görölmektedir.



Resim 3.3. Aramid elyaf (Skywell, 2022)

4. KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ

4.1 METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Metal matrisli kompozit malzemeler, toz metalürjisi ve döküm yöntemleriyle üretilmektedir. Matris malzemesi, takviye elamanı ile birbiri içerisinde çözünmemelidir. Takviye malzemesi homojen olarak dağılmalıdır. Ayrıca en kısa sürede birbirleri ile katılaşma sağlamalıdır. Bu kompozitlerde matris malzemesi olarak Alüminyum (Al) ve alaşımları, Zn ve alaşımları, Cu ve Mg kullanılmaktadır. En fazla kullanılan takviye malzemeleri ise; silikon karbür, grafit, bor, tungsten alüminadır. MMC malzemeler 5 farklı şekilde üretilmektedir. Bunlar; katı faz üretim, sıvı faz üretim, sıvı-katı üretim, biriktirme üretim ve in-situ üretim yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır.

Sıvı faz üretim yöntemi katı faz üretim yöntemine göre maliyet bakımından daha düşüktür. Bu üretim yöntemi de kendi arasında; compo-casting, infiltrasyon ve basınçlı döküm olmak üzere 3 farklı şekilde yapılmaktadır. Compo-casting dökümde ergimiş olan metale, homojen şekilde dağıtılan seramik katı olarak elde edilir. Fazla miktarda üretime uygundur ve maliyeti düşüktür. İnfiltrasyon üretim yöntemi, fiber partiküllerin gözeneklerine sıvı metal eklenmesi ile yapılır. Takviye elemanı ve metalin bileşiği, sıcaklığı ve hacmi bu üretimdeki önemli parametrelerdir. Basınçlı döküm yöntemi de, plakalar arasındaki ergimiş metale basınç altında şekil verme işlemidir.

Katı faz üretim yöntemi, katı fazda olan matris ve takviye elemanlarının birbirleri ile iyice karıştırılıp şekil verilmesi aşamasıdır. Katı faz üretim yöntemi, toz metalürjisi ve difüzyonla bağlanma yöntemi olmak üzere 2 farklı şekilde yapılmaktadır. Toz metalürjisi yöntemi, partikül şeklindeki kompozit malzemelerin üretiminde kullanılır ve karıştırılan partiküller, presleme ve sinterleme ile birlikte birleştirilip nihai ürün elde edilir. Difüzyonla bağlanma yönteminde ise matristen üretilen folyolar, matris tozu ile toz bağlayıcı ile fiberler dizilir. Ardından vakum ortamında sıcak presleme yapılarak nihai ürün ortaya çıkmış olur. Bu üretim yöntemi ile karmaşık şekilli parçalar üretilebilir.

Sıvı-katı üretim yöntemi, matris elemanının hem katı hem de sıvı olarak bulunduğu matris ve takviye elemanının karıştırılmasıyla elde edilen üretim yöntemidir.

Biriktirme üretim, fiberlerin belirlenen matris ile kaplanması ile difüzyon bağlama işleminden oluşmaktadır. Döküm yöntemine göre daha homojen malzemeler ortaya çıkmaktadır (Uslular Hadde, 2022).

In-situ üretimde; takviye elemanı, matris içerisine doğrudan sentezlenmektedir. Bu üretim yönteminde takviye elemanı homojen dağılım sağlamaktadır ve iyi birleşme olduğundan dolayı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üstün olmaktadır (Kısasöz, 2018).

4.2 SERAMİK MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Seramik malzemeler, sertliğinin yüksek oluşu, erozyona direnci, aşınma direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı nedeniyle tercih edilmektedir. Yüksek sıcaklık gerektiren yerlerde dayanımları nedeniyle SMC malzemeler fazlaca kullanılmaktayken, çok kırılgan olmalarından ötürü birçok sanayide tercih edilmemektedir. SMC malzemeler 3 farklı şekilde gruplandırılabilir. Bunlar; süreksiz takviyeli, sürekli fiber takviyeli ve partiküllü kompozitlerdir. SMC malzemelerin üretiminde seramik üretiminde kullanılan yöntemlere ilaveten farklı yöntemler de kullanılmaktadır. Soğuk presleme ve sinterleme, sıcak presleme tepkime bağlama, tepkin sinterleme ve kendiliğinden ilerlemekte olan yüksek derecede sıcaklık sentezi, seramik emdirme, sol jel ve kimyasal buhar emdirme şeklinde üretim yapılabilmektedir (Kalemtaş, 2022).

SMC' lerde; matris olarak Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B_4C fazlaca kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak da fiber konumuna getirilen Al_2O_3 ve SiC kullanılmaktadır.

4.3 POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ

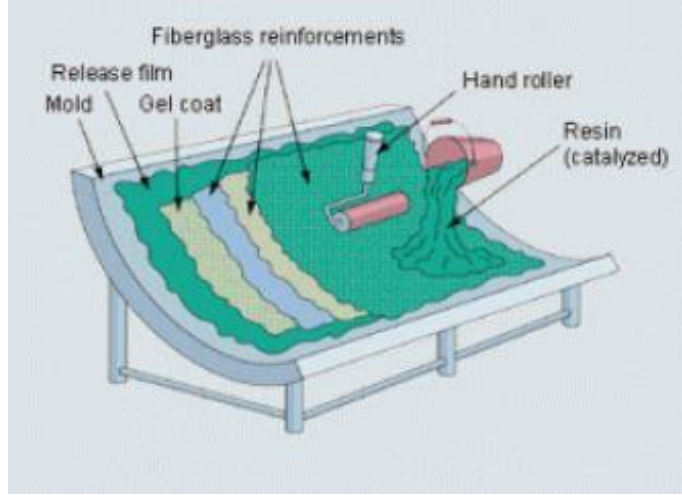
PMC' ler polimer matrisle birleştirilmiş lifli faz ile oluşmaktadır. PMC' lerin maliyetleri diğer kompozitlere göre daha düşüktür ve daha fazla kullanılmaktadır. Polimer matrisli kompozitlerin avantajları; aşınma, korozyon ve delinme direncinin yüksek olması, sertlik ve kırılma tokluğunun iyi oluşu ve çekme mukavemetinin yüksekliğidir. PMC' lerin en büyük avantajı, takviye yönü boyunca yüksek sertlik ve

mukavemet ile birlikte hafif olmalarıdır. PMC' lerde matris malzemesi olarak termosetler ve termoplastikler kullanılmaktadır. Takviye malzemesi olarak da cam elyaf, karbon elyaf ve aramid elyaflar kullanılmaktadır. PMC' deki takviye, yüksek mukavemet ve sağlamlık sağlamaktadır.

Termosetler, oda sıcaklığında sıvı olarak bulunurlar. Isı veya kimyasal ile sertleşmektedir. Kalıplama yöntemi ile üretilirler ve sonrasında kürleme yapılarak kalıcı bağlar oluşturulmaktadır. En çok kullanılan termoset reçineler polyesterler, vinylesterler, epoksiler, bismaleimidler ve poliamidlerdir. Termoset polyesterler çoğunlukla fiber takviyeli plastiklerde kullanılmaktadır ve epoksiler, mevcut durumda en çok kullanılan kompozit reçinedir. Termoset PMC malzemelerin üretim yöntemleri; elle yatırma yöntemi, elyaf sarma yöntemi, püskürtme yöntemi, pultrüzyon yöntemi, transfer kalıplama yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır (Chohan ve ark., 2022).

4.3.1 Elle Yatırma Yöntemi

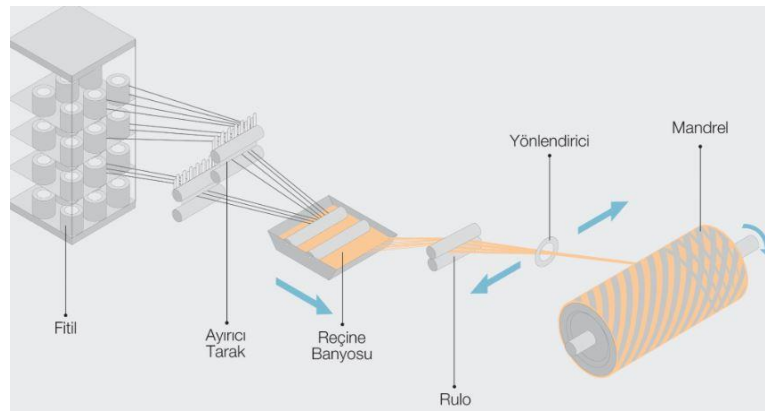
El yatırması yöntemi, en eski dokuma kompozit üretim yöntemidir. İşlem öncesinde kalıbın yüzeyi malzemenin yapışmaması için bir yapışma önleyici madde ile kaplanmaktadır. Sonrasında ürünün pürüzsüz çıkması için kalıbın plakalarına plastik levha monte edilir. Takviye katmanları, kalıbın yüzey bölgesine yerleştirilmektedir. Ardından reçine diğer bileşenlerle karıştırılır ve düzgün bir şekilde yayılması için bir yardımcı fırça kullanılarak kalıptaki takviye malzemesi yüzeyine enjekte edilir. Sonrasında keçeler, önceki polimer tabakasının üzerine yerleştirilir. Ardından hava kabarcıklarını ve fazla olan polimerleri parçadan dışarı çıkartmak için basınç uygulanır. Bu işlemden sonra kalıp kapatılır ve basınç altında kürleme işlemi yapılır. Oda sıcaklığında kürleme işlemi yapıldıktan sonra kalıp açılmakta ve dokuma kompozit kalıp yüzeyinden çıkarılmaktadır. Bu teknik büyük boyuttaki parçalar için fazlaca kullanılmaktadır (Raji ve ark., 2019). Şekil 4.1' de elle yatırma yönteminin yapılışı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Elle yatırma yöntemi (Malzeme Bilimi.Net, 2016)

4.3.2 Elyaf Sarma Yöntemi

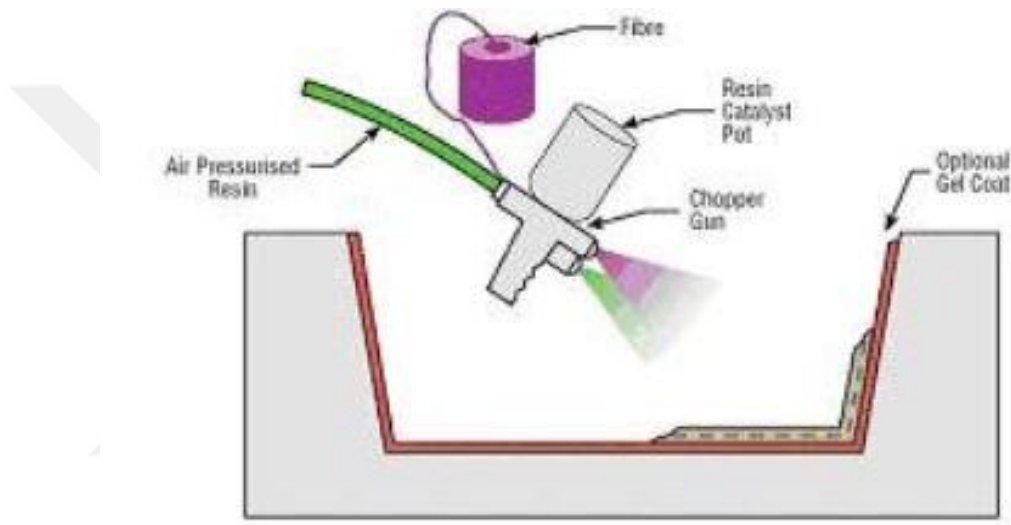
Bu yöntem, reçineyle ıslatılan sürekli elyaf liflerinin makaradan çekilerek kalıbın üzerine sarılması işlemidir. Lifler sarma makarasına geçmeden önce reçine havuzuna daldırılır. Ardından rollerden geçen lifler son işlem öncesi sarma makinasına sarılırlar. Sürekli lifler sarılırken farklı açılar kullanılması, mekanik özelliklerini de belirlemektedir. Elyaf sarıldıktan sonra çıkan malzeme sertleşmektedir. Sonrasında kalıptan ayrılmaktadır. Bu yöntemin üretim maliyeti düşük ve imalatı kolaydır. Elyaf sarma yöntemi, araba şaftları, basınç tankları gibi ürünleri üretmek için kullanılmaktadır (Işık, 2008). Elyaf sarma yönteminin aşamaları Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Elyaf sarma yöntemi (Poliya, 2022)

4.3.3 Püskürtme Yöntemi

Bu yöntem el yatırması yönteminin benzeri ve biraz daha gelişmiştir. Reçine ve takviye elemanı el ile değil de püskürtme aletiyle kalıp yüzeyine uygulanmaktadır. Burada tabanca içerisindeki bir bölümde lifler kırılmakta ve reçine ile püskürtülmektedir. El yatırması yöntemine kıyasla lifler belli şekilde yönlendirilmediği ve rastgele dağıtıldığı için ürün dayanımı daha düşüktür. Püskürtme yöntemi Şekil 4.3’ de gösterilmiştir.



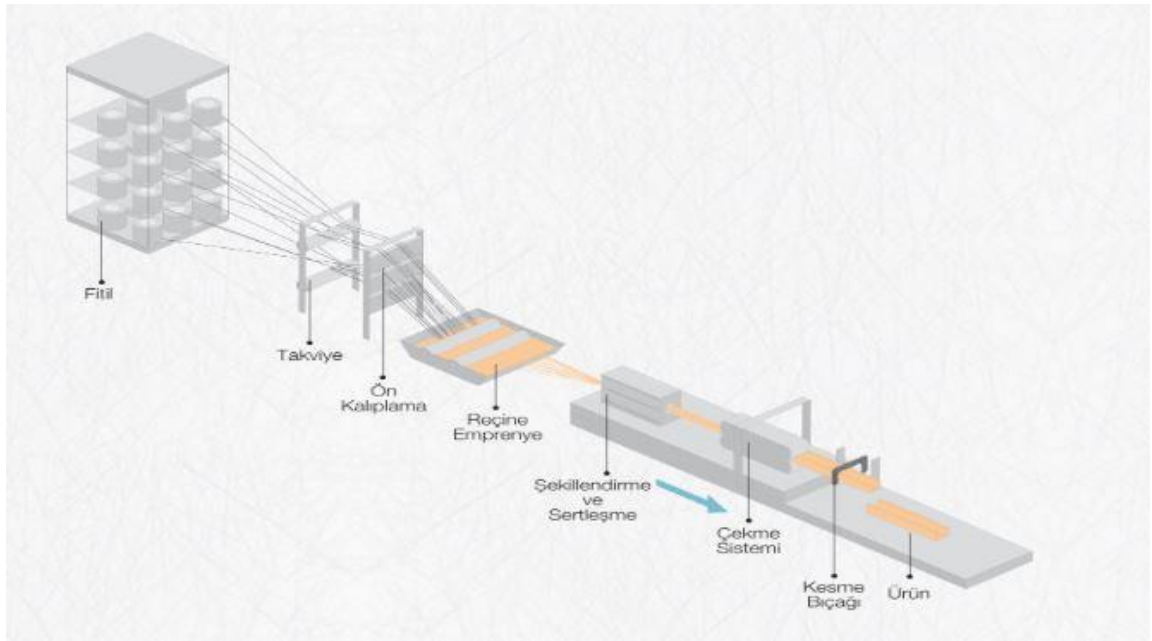
Şekil 4.3. Püskürtme yöntemi (Turkcadcam, 2022)

4.3.4 Pultrüzyon Yöntemi

Pultrüzyon ile üretim, sabit şekilde enine kesite sahip olan sürekli uzunluklardaki cam elyafı takviyeli polimerlerin üretildiği üretim yöntemidir. Lamalar ve rijit çubukların üretilmesi için kullanılan bu yöntem profil çekme olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemde üretilen ürünlerin boyuna çekme mukavemetleri oldukça iyidir. Takviye malzemesi olarak E-cam, karbon ve aramid lifler kullanılmaktadır. Pultrüzyon üretimde, takviye malzemeleri, amaca uygun bir reçine seçilerek reçine havuzunda ıslatılmaktadır. Islatılan malzeme, yine ıslatılmış olan sıcak kalıpta kürlenerek sertleştirilir. Kalıp içerisinde sıcaklık ve basınç ile reçinenin kürlenmesi sağlanmaktadır. Bazı durumlarda

reçine ve fiberlere ön ısıtma yapıp kürleme işlemi kısa tutulmaktadır. Sonrasında sertleşen ürünler istenilen şekillerde kesilip nihai ürün elde edilmektedir.

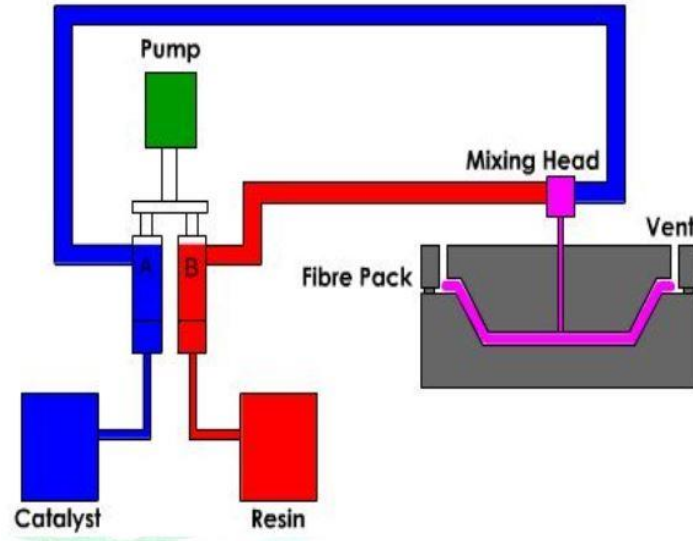
Pultrüzyon ile üretimin avantajları; ekonomik olması, istenilen boyutta ürün üretilmesi, hafif olması, korozyon direncinin yüksek olması ve üretimin hızlı olması sayılabilmektedir (Minchenkov ve ark., 2021). Pultrüzyon ile üretim yönteminin aşamaları Şekil 4.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Pultrüzyon üretim yöntemi (Fiberr, 2022)

4.3.5 Transfer Kalıplama Yöntemi

Bu yöntemde daha çok karmaşık yapıları ve küçük parçaları üretilmektedir. Önceden hazırlanıp ön ısıtma yapılan polimerin bir yolluk yoluyla önceden ısıtılmış bir kalıba dökülüp üretildiği bir yöntemdir. Bu yöntem daha çok termoset reçinelerin uygulandığı bir yöntemdir. Transfer Kalıplama, kalıp boşluğuna yerleştirilen seramik veya metalik ekler ile kalıplama için uygundur. Bu üretimde reçine malzemesi olarak genelde; epoksi, doymamış polyesterler (UP), fenolikler (PF) ve vinylester kullanılmaktadır (Monroeengineering, 2021).

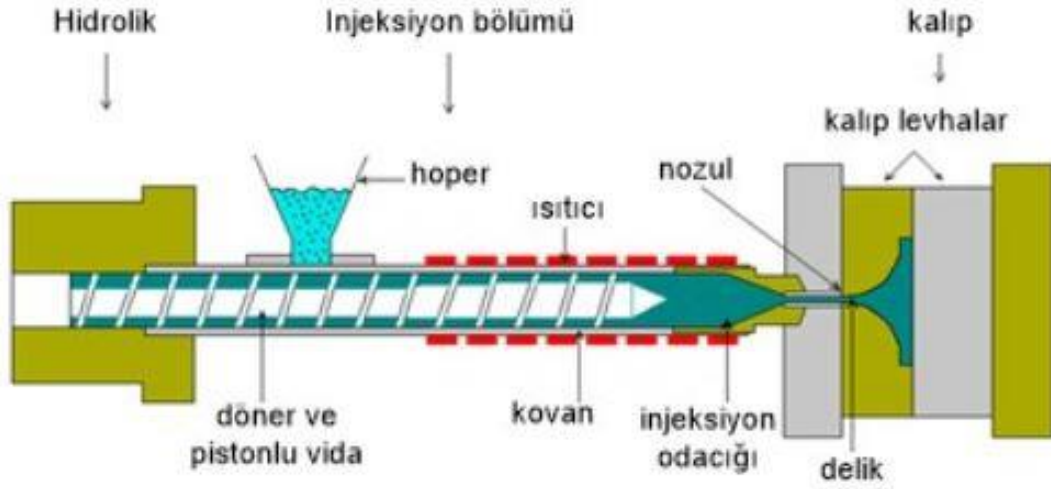


Şekil 4.5. Transfer kalıplama yöntemi (Silo.tips, 2016)

Termoplastikler, termosetlerin tersine oda sıcaklığında katı olarak bulunup sıcaklık ile yumuşamaktadırlar. Sıvı halde olan termoplastikler istenilen şekilde gelmesi için kalıba dökülmektedir. Ayrıca bu plastikler sıvılaştırılıp tekrar kalıp yapılp üretilmektedirler. Geri dönüşümleri mevcuttur. PE, PP ve PA en çok kullanılan termoplastiklerdir. Termoplastik PMC malzemelerin üretim yöntemleri; enjeksiyon yöntemi, vakum kalıplama yöntemi, basınçlı kalıplama yöntemi, otoklav kalıplama yöntemi olarak sınıflandırılır. Transfer kalıplama yöntemi Şekil 4.5’ de gösterilmiştir.

4.3.6 Enjeksiyon Yöntemi

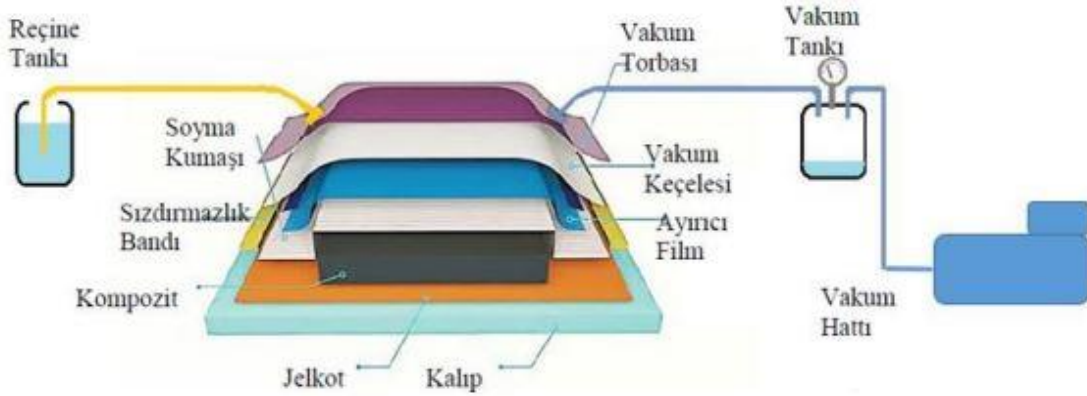
Enjeksiyon yöntemi, yüksek üretim kapasitelerine sahip olan üretim yöntemidir. Bu yöntemde, yüksek basınç ve sıcaklıkta polimer malzeme ile birleştirilen takviye malzemesi kalıp içerisine enjekte edilerek üretilmekte ve sonucunda ürün ortaya çıkmaktadır. Enjeksiyon ile üretim yönteminde yüksek hızda ve karmaşık şekillerdeki parça üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin üretim kapasitesi çok yüksektir. Enjeksiyon üretim yöntemiyle kısa elyaf ve uzun elyaf takviyeli termoplastik kompozit parçaların üretimi yapılmaktadır (TWI, 2022). Şekil 4.6’ da enjeksiyon yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Enjeksiyon yöntemi (Beşergil, 2022)

4.3.7 Vakum Kalıplama Yöntemi

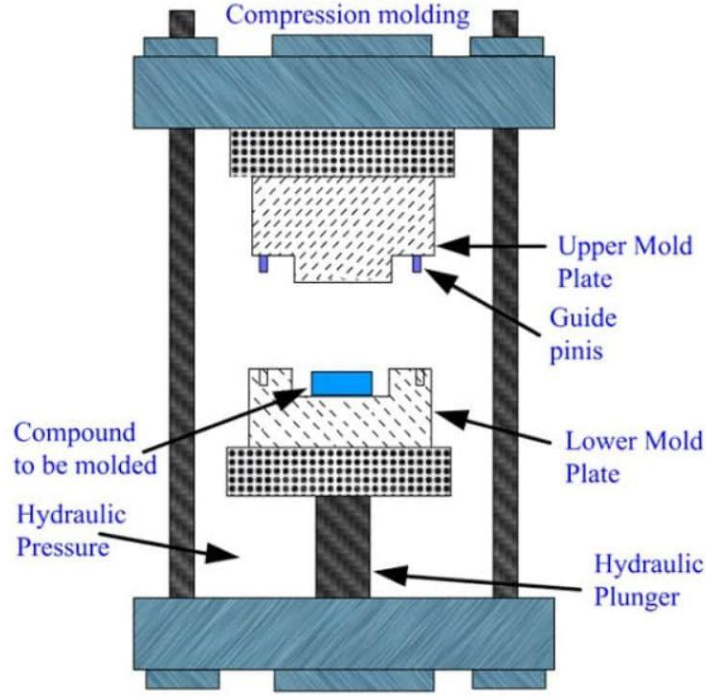
Bu yöntemde, vakum kullanılarak plastik levhayı istenen şekle getirmek esastır. Vakum kalıplama işlemi, plastik tabakanın yumuşayana kadar ısıtılması ve ardından plastiğin bir kalıbın üzerine dökülmesini içerir. Plastiği kalıba emerek vakum uygulanır. Üretilen levha daha sonra kalıptan çıkarılır. Bu süreç düşük ile orta ölçekli üretim ve geniş formatlı montajlar için uygundur. Plastik vakumla şekillendirme genellikle enjeksiyonlu kalıplamadan fiyat olarak daha uygun şekilde gerçekleşmektedir. Vakum kalıplama yönteminde diğer yöntemlere göre daha düşük şekillendirme basınçları kullanılmaktadır. Proseste düşük basınç kullandığından, kalıplar daha ucuz malzemelerden yapılabilir ve kalıp imalat süresi oldukça kısadır (Ansini, 2022). Şekil 4.7' de vakum kalıplama yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Vakum kalıplama yöntemi (Korkmaz, 2014)

4.3.8 Basınçlı Kalıplama Yöntemi

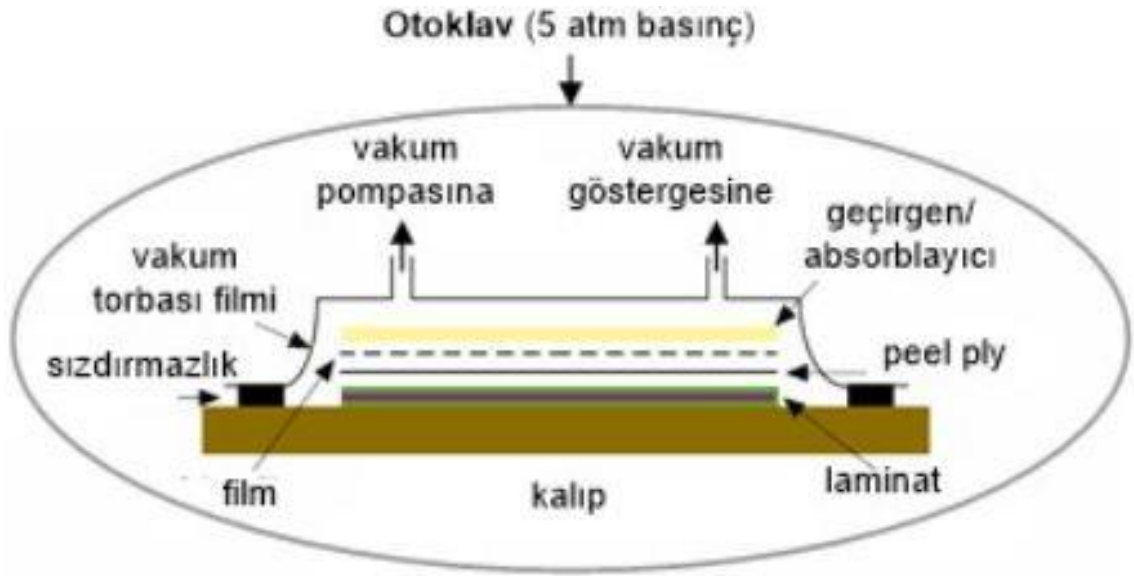
Basınçlı kalıplama, daha çok otomotiv bileşenleri gibi yüksek üretim hacmindeki kompozit bileşenler üretmek için kullanılan bir üretim sürecidir. Basınçlı kalıplama, termoset plastiklerde kullanılan bir yöntemdir. Termoset plastik malzeme, granül formda veya viskoz bir malzeme olabilir. Malzeme sıcak bir kalıba yerleştirilir ve kalıp bir hidrolik pres ile kapatılır. Malzeme kürünü aldıktan sonra kalıp açılır ve plastik ambalaj dışarı itilir. Basınçlı kalıplama, düşük maliyetli bir süreçtir ve yüksek hacimli üretim kapasitesine sahiptir. İki tür sıkıştırma kalıplama işlemi vardır. Bunlar; soğuk sıkıştırma ve sıcak sıkıştırma kalıplamadır. Basınçlı kalıplama işleminde, soğuk sıkıştırmada basınç uygulanır ve sıcak sıkıştırmada, kalıplama gerçekleştirildikten sonra basınç ve sıcaklık bir kalıp boşluğuna yerleştirilir. Soğuk sıkıştırma kalıplamada kütleme işlemi oda sıcaklığında gerçekleşirken, sıcak preste kalıba ısı uygulanarak gerçekleşir ve ardından kompozitlere aktarılır. Bu işlemde kullanılan matrisler, termoset polimerler için UP, vinil ester ve fenolik içerirken, termoplastik polimerlerden PP, poliamid ve PEEK kullanılabilir (Hashmi, 2014). Basınçlı kalıplama üretim yönteminin şematik görünümü Şekil 4.8’ de verilmiştir.



Şekil 4.8. Basınçlı kalıplama yöntemi (Learnmech, 2022)

4.3.9 Otoklav Kalıplama Yöntemi

Otoklav işlemi, büyük karmaşık yapıları üretilmesi için yapılan ve yüksek performanslı uygulamalar için kullanılan fiber takviyeli plastik kompozit malzeme üretmek için tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde kısmen kürlenmiş reçine ile emprenye edilmiş fiber katmanları kesilmekte ve istenen şekle sahip bileşen ürün için montaj işlemi yapılmaktadır. Montajdan sonra, belirlenen kumaşlarla kaplanmakta ve bir vakum torbası içinde kapatılmaktadır. Ardından fazla reçine emdirilmektedir. Havalandırmalar, kürlenme sırasında havanın ve uçucu gazların parçadan uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Sonrasında parçayı sertleştirmek için kürlenme basınç ve sıcaklık uygulanmaktadır. Sonuç olarak, sertleşen ürün torbadan alınmakta ve bitirme işlemleri için hazırlanmaktadır (CSIR, 2022). Otoklav kalıplama yöntemi Şekil 4.9’ da verilmiştir.



Şekil 4.9. Otoklav kalıplama yöntemi (Beşergil, 2022)

5. DRONLAR

5.1 DRON STANDARTLARI

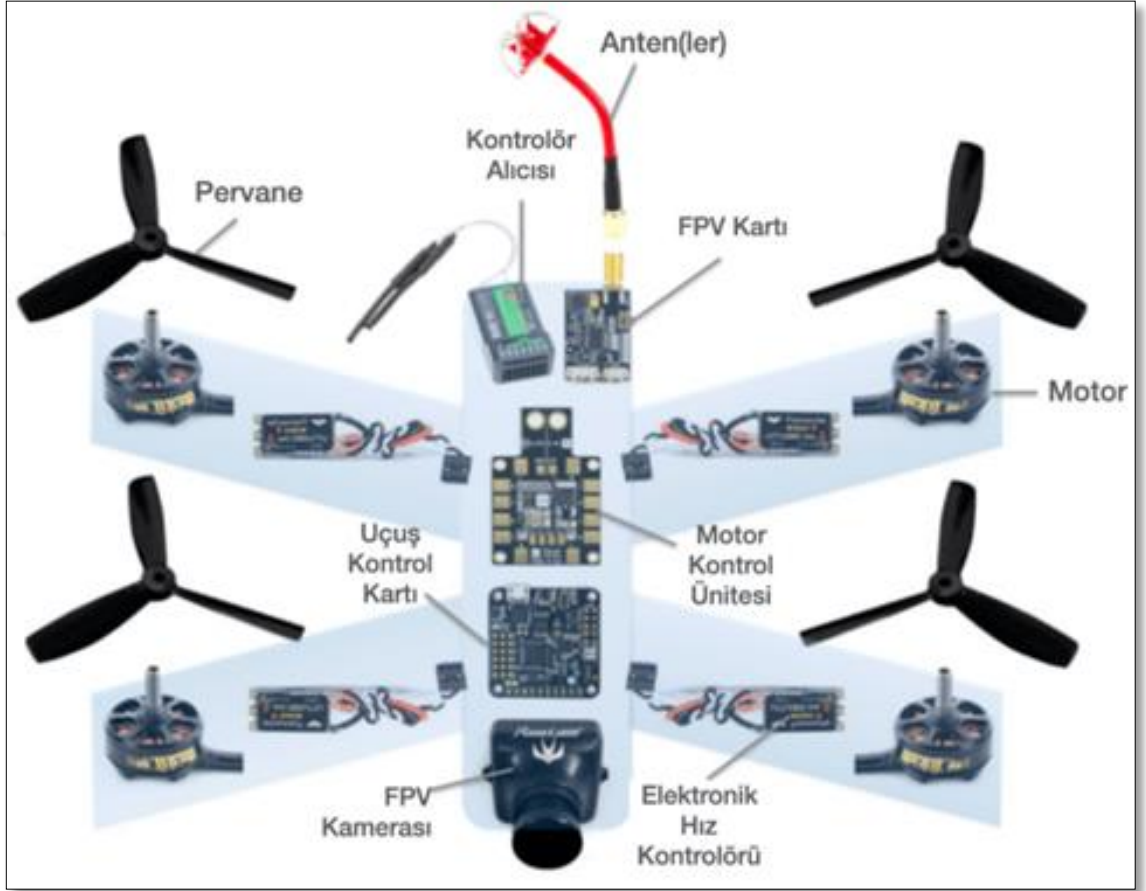
İnsansız hava aracı sistemleri ile ilgili 2019 yılında ilk ISO onaylı güvenlik standartları yayınlanmıştır. “ İnsansız Hava Aracı Sistemleri Standartları ” olarak adlandırılan bu standart; kalite, emniyet, güvenlik konuları ve ticari dron kullanımına ilişkin genel kuralları kapsamaktadır. Bu standardın odak noktası hava emniyetidir. Ticari amaçlı kullanılan dronların, hayatı kolaylaştırmak için ortaya konulan konuları vardır. Standartlarda bir diğer unsur da hayat gizliliğidir. İnsansız hava araçlarında kişilerin hayatını kolaylaştırmak esas alınmıştır. İnsansız hava araçlarının çevreden aldıkları görüntülerin de sorumluluğu dronu kullanan operatörüdür. Operatörlerin uçuş sırasında iletişim ve kontrol planlamasının yanı sıra verileri işlemek için uygun sistemlere sahip olmaları talep edilmektedir (Suasnews, 2019).

Bu endüstri standardı (ISO 21384, 2021), çok çeşitli gereksinimleri içermektedir:

- Emniyet ve Güvenlik
- Veri koruması
- Operatör Belgeleri
- Sigorta
- Hava Sahası Bilgileri
- Tesis ve Ekipman
- Operasyonlar (uçuş planlaması, uçuş hazırlığı, iletişim, uçuş operasyonları, devir teslimleri, konuşlandırmaya özgü hususlar, yolculuk günlüğü, gözetim, operatör uygunluğu ve yetkinliği dâhil)
- Bakım (donanım, yazılım ve konfigürasyon yönetimi dâhil)

5.2 DRONUN BİLEŞENLERİ

Dronlar; pervane, gövde, motor ve kontrol kartları, batarya ve kameradan oluşmaktadır (Foundation Structures, 2022). Şekil 5.1’ de dronu oluşturan parçalar gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Dron pervanesinin parçaları (Havayolu 101, 2020)

5.2.1 Gövde

Gövde dronun ağırlık taşıyan bölgesi olup, motorlar, kameralar ve diğer parçaların ağırlığını kaldırmak için yeterli güce sahip olmalıdır.

5.2.2 Motor

Motorların temel görevi çok rotorlu dronların pervanelerini döndürerek uçmalarını sağlamaktır. Fırçalı ve fırçasız tipleri kullanılabilir. Fırçasız tip motorlar güçlüdür ve enerji açısından oldukça verimlidir. Ancak hızlarını kontrol etmek için ESC ihtiyaç duyarlar.

5.2.3 Uçuş Kontrol Kartı

Farklı vericiler kullanarak denge ve telekomünikasyon kontrollerini yöneten bilgisayar işlemcisidir. İvmeölçer, barometre, manyetometre, jirosensör ve GPS için sensörler bu üniteye bulunur.

5.2.4 Batarya

Çoğu dron için yüksek güç kapasiteli LiPo kullanılır. Batarya 3S (3 hücreli) veya 4S (4 hücreli) olabilir (CFD Flow Engineering, 2022).

5.2.5 Kamera

Dronun uçuşu sırasında videoya almak için kullanılan parçadır.

5.2.6 Pervane

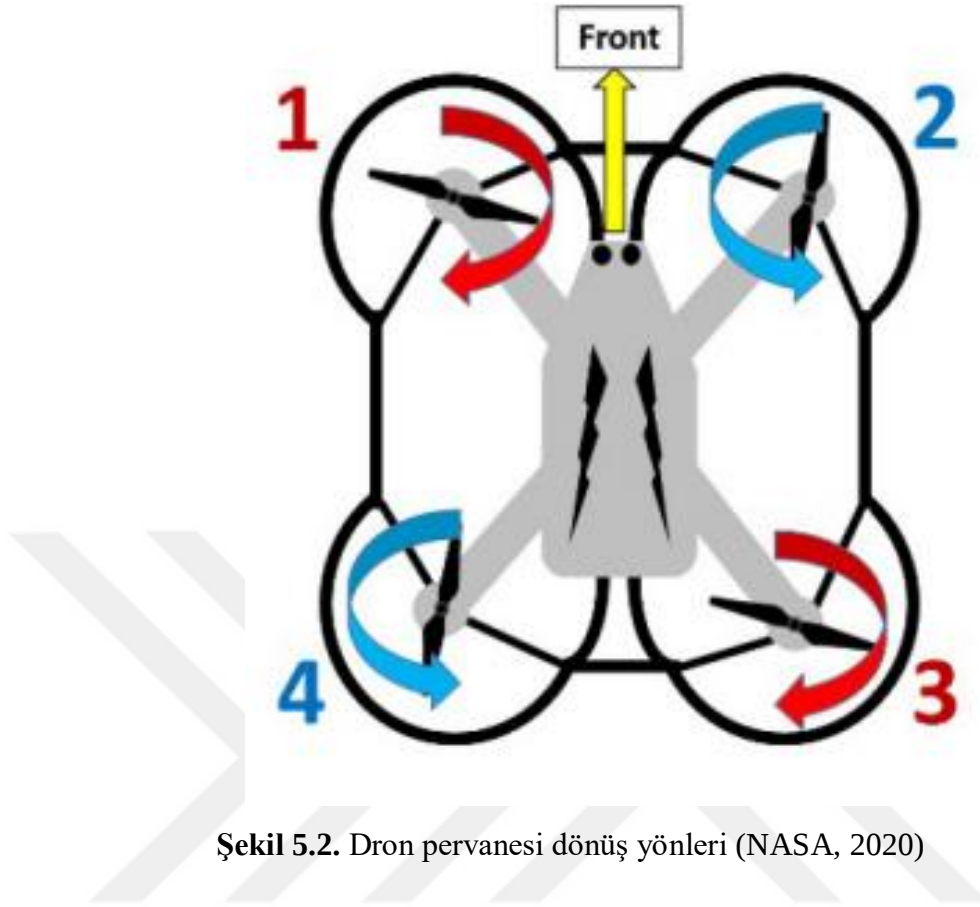
Bir dronun havada uçuşmasını sağlayan parçadır. Bir dronun hızı ve yük kaldırma yeteneği, pervanelerin şekline, boyutuna ve sayısına bağlıdır. Uzun pervaneler, ağır yükleri düşük hızda taşımak için büyük itme kuvveti oluşturur ve dönüş hızını değiştirmeye karşı daha az hassastır. Kısa pervaneler daha az yük taşır. Dönme hızlarını hızla değiştirirler ve daha fazla itme gücü için yüksek hız gerektirirler.

Motor ve pervane sayılarına göre dronlar: Bicopter, Tricopter, Quadcopter, Pentacopter, Hexacopter, Octocopter gibi farklı isimlerle adlandırılır (Rakesh ve ark., 2021). Resim 5.1’ de pervane sayılarına göre dronlar listelenmiştir.



Resim 5.1. Motor ve pervane sayılarına göre dronlar (Roboticsbiz, 2019)

Bunlardan en çok kullanılanı ve popüler 4 rotorlu olan Quadcopter' dir. Quadcopterin 4 rotoru vardır ve her bir zıt rotor çifti aynı yönde hareket etmektedir. (Kuantama ve ark. 2017). Bir quadcopterin, çerçevesinin dört köşesinde dört pervane bulunmaktadır. Her pervanenin hız ve dönüş yönü, dronun dengesi ve hareketi için bağımsız olarak kontrol edilmektedir. Quadrotorda, dört rotor da eşit uzaklıkta yerleştirilmiştir. Sistemin dengesini korumak için bir çift rotor saat yönünde, diğer çift ise saat yönünün tersi yönde dönmektedir. Yukarı hareket etmek için, tüm rotorlar yüksek hızda çalışmalıdır. Rotorların hızını değiştirerek dron ileri, geri ve sağ sol yana hareket ettirilebilmektedir (CFD Flow Engineering, 2022).



Şekil 5.2. Dron pervanesi dönüş yönleri (NASA, 2020)

Şekil 5.2’ de görüldüğü üzere dronun 2 ve 4 numaralı pervaneleri aynı yöne dönerken 1 ve 3 numaralı pervaneleri farklı yöne dönmektedir. Burada dönüş yönlerine ters yönde açısal momentum oluşmaktadır. Dronu saat yönünde döndürmek istersek 1 ve 4 numaralı rotorun hızları arttırılmalıdır. Bu durumda momentumları 2 ve 3 numaralı pervanelere göre fazla olur ve dönüş yapılır. Dronun önünü havaya kaldırmak için de 1 ve 2 numaralı pervanelerin hızını arttırmak gerekir. Hız artınca hava itmesi de artacağından dronun ön tarafı havalanır.

Dronları temelde sabit kanatlı ve çok rotorlu olarak ikiye ayırabiliriz. Dronların çoğunluğu bu iki tipte tanımlanmaktadır (Vergouw ve ark., 2016). Genel olarak dronlar performans özelliklerine göre de sınıflandırılabilir. Ağırlık, kanat açıklığı, menzil, irtifa, hız, dayanıklılık ve üretim maliyetleri gibi özellikler, dronları birbirinden ayıran ve sınıflandıran parametrelerdir (Hassanalıan ve Abdelkefi, 2017).

Dronu oluşturan temel bileşenlerden birisi de pervanelerdir. Temelde dron pervanesinin görevi dronu havada emniyetli bir şekilde hareket ettirmektir. Pervaneli bir

dronun performansı; kalkış mesafesi, maksimum yük ve dayanıklılığı, pervanesinin verimliliği ile doğrudan ilişkilidir.



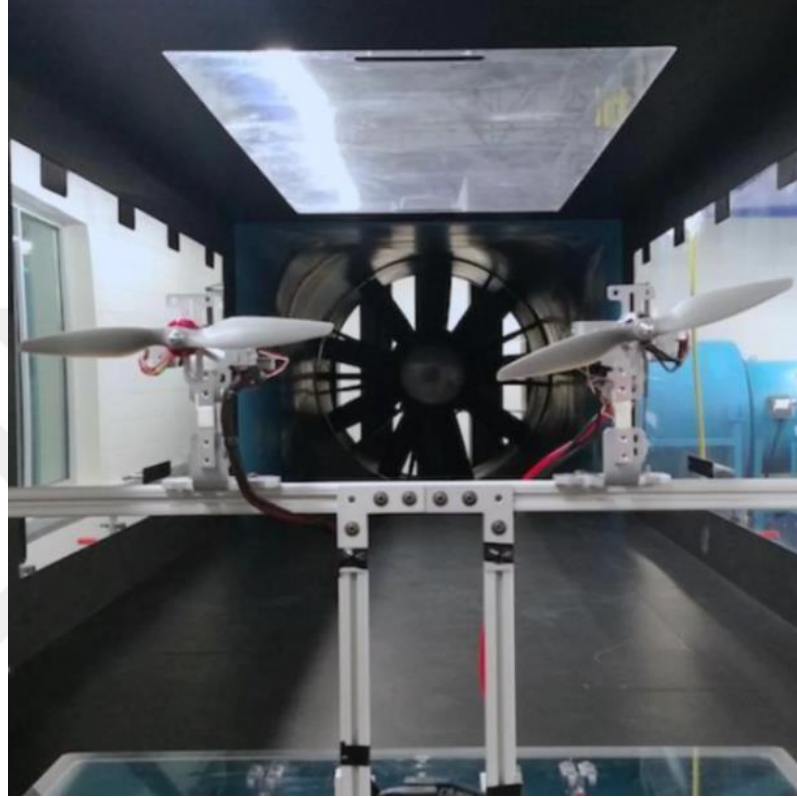
Resim 5.2. Dron pervanesi (Meizlik, 2022)

Bir dron için en iyi pervaneyi seçmek, tahrik sisteminin en üst düzey verimliliğini sağlama ve uçağın performans verilerini karşılamamanın zorluğu nedeniyle zaman olarak uzun ve pahalı olabilir. Bunun sonucunda yine de dronun istenen görevi güvenli veya verimli bir şekilde yerine getirmesini sağlamayan bir pervanenin kullanılması uçak açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkartabilir.

Dronların kanatların çapının büyük olması dronun manevra kabiliyetini azaltır ve hızının da aynı şekilde azalmasına neden olur. Dron kanatları ne kadar büyük olursa, üretilen kaldırma kuvveti o kadar büyük olur, pervane göbeğine uygulanan basınç da artar ve sonuç olarak pervaneleri deforme eden kuvvetler büyür. Pervane kanatları ne kadar büyükse, oluşan tork ile başa çıkmak için motor da o kadar güçlü olmalıdır. Ayrıca, oluşan titreşimleri en aza indirmek için kullanımdan önce pervaneleri dengeye getirmek önemlidir. Motoru ve pervaneleri, dronların belirli bir yükü uzun süre kaldırabileceği şekilde seçmek çok önemlidir (Kardasz ve ark., 2016).

Dron pervaneleri üretildikten sonra, pervanelere bazı performans testleri yapılmaktadır. Bunlar;

FAR bölüm 35 uçuşa elverişlilik standartlarına uygunluk, UIUC Rüzgâr Tüneli, Görsel Test, İtme ve Tork Ölçümleri, Pervane Hız Ölçümü, Serbest Akış Hızı Ölçümü, Motor, Hız Kontrol Cihazı ve Pervaneler, Veri Toplama, Tuzlu Ortam ve Mukavemet Testleridir (Brandt ve Selig, 2011).



Resim 5.3. Rüzgar tüneli testi (TYTO Robotics, 2022)

Resim 5.3’ de rüzgar tüneli testi gösterilmiştir. Rüzgâr tünellerinde çoğu zaman hava, güçlü fanlar tarafından borudan geçirilir. Test edilecek nesne hareket etmeyecek şekilde tünele sabitlenir. Nesne, bir aracın küçük bir modeli olabilir. Sadece bir araç parçası olabilir. Tam boyutlu bir uçak veya uzay aracı olabilir. Hareketsiz nesnenin etrafında hareket eden hava, nesne havada hareket ediyorsa ne olacağını gösterir. Havanın nasıl hareket ettiği farklı şekillerde incelenebilir. Duman veya boya havaya yerleştirilebilir ve hareket ettikçe görülebilir. Havanın nasıl hareket ettiğini göstermek için nesneye iplikler de takılabilir. Havanın nesne üzerindeki kuvvetini ölçmek için genellikle özel aletler kullanılır (NASA, 2017).

5.2.6.1. Dron Pervanesi Çeşitleri

Dron pervaneleri iki, üç, dört veya daha fazla kanatlı olarak üretilir. Pervane sayısı arttıkça, dönüş başına havada hareket eden yüzey alanının çokluğu nedeniyle daha yüksek miktarda kaldırma kuvveti sağlar, ancak artan sürtünme nedeniyle verimi düşüktür. Resim 5.4’ de kanat sayılarına göre pervaneler görülmektedir.



Resim 5.4. Kanat sayısına göre pervaneler (The Corona Wire, 2022)

Dron pervane kanatları, karbon fiber, plastik ve ahşap gibi farklı malzemelerden yapılabilir. Ahşap, iyi bir mukavemet-ağırlık oranı sunmaktadır. Ahşap kolayca elde edilebilen bir malzemedir ve CNC freze makinesiyle kolaylıkla pervane üretebilmektedir. Bunun dışında, özel pervaneler için ahşap kullanmanın bazı dezavantajı vardır. Bir freze hızlı bir şekilde pervane üretebilirken, pervanenin mümkün olan en iyi performansa sahip olması için bıçaklar manuel olarak zımparalanıp dengelenmektedir. Fakat ahşap, sıcaklık ve nem nedeniyle eğilmeye eğilimlidir ve çakıl taşları ve yağmurdan etkilendiğinde kolayca hasar görür veya aşınırlar. Bu etmenlerden ötürü şimdilerde en yaygın kullanılan pervaneler, plastik veya karbon fiber malzemeden yapılmış olan pervanelerdir. Plastik pervaneler daha ucuz ve esnektir, bu da darbeyi daha iyi emmelerini sağlar. Fakat plastik

pervanelerde çalışırken çıkan ses oldukça fazladır. O nedenle karbon fiber pervaneler tercih edilmeye başlanmıştır. Günümüzde cam ve karbon elyafı pervaneler, üstün özellikleri nedeniyle dronlarda fazlaca kullanılmaktadır. Genel olarak, rijitlik-ağırlık oranı yüksektir (Ramesh ve ark., 2021). Karbon fiber pervanelerin sertliği ve dayanımı daha fazladır, bu nedenle titreşimi azaltarak dronun uçuş performansını iyileştirir ve daha sessiz hale getirir. Aynı zamanda karbon fiber plastikten daha hafiftir ve bu da ağırlık olarak avantaj sağlamaktadır. Karbon fiber bıçakların, sertlikleri nedeniyle daha az titreşim sağlamaları, plastik malzemeden daha güçlü ve onlardan daha hafif olmaları gibi birçok avantajı vardır, bu da daha hızlı hız değişimi anlamına gelmektedir. Ahşap olan pervaneler diğer pervanelere göre daha ağırdır ve daha yavaş hız değişikliği sağlamaktadır (Rutkay ve Laliberté, 2016).

Bir dron pervanesi seçerken birçok açıdan değerlendirmek gerekir. Dikkate alınması gereken faktörler; pervane malzemesi, güç, RPM, hava yoğunluğu ve maksimum gürültüdür.

Dron pervaneleri şekline göre 3 farklı şekilde yapılmaktadır. Bunlar; konik pervane, boğa burunlu pervane ve katlanır pervanedir.

Konik pervane, normal pervane diye adlandırılır ve belirgin uçlara sahiptir. Bu pervaneler, boğa burunlu pervanelere göre daha az güç tüketmektedir. Boğa burunlu pervanelerin ise konik pervanelerden farklı, bıçak uçlarının küt ve daha kalın oluşudur. Ayrıca bu pervaneler konik pervanelerden daha kısadır ve daha hızlı hareket istenilen dronlarda tercih edilir. Katlanır pervaneler daha çok dronlarıyla seyahat etmek isteyen tüketicilerin tercih ettiği pervane türüdür. Kanatlarının katlanabilmesi nedeniyle yer kaplamadan ve kolayca çantaya sığabilmektedir.



Resim 5.5. Ahşap Pervane (Dji, 2016)



Resim 5.6. Plastik Dron pervanesi (Dji, 2016)



Resim 5.7. Karbon fiber dron pervanesi (Dreamstime, 2022)

Bu tez çalışmasında dronlarda kullanılan pervanelerin kompozit malzemeden tasarımı, prototip imalatı ve performans testleri yapılacaktır.

5.2.6.2. Dron Pervanesi İsimlendirilmesi

Bir pervane üzerindeki $R(CW)$, saat yönünde dönüşe sahip olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, amaçlandığı gibi çalışmasını sağlamak için pervanenin saat yönünde dönen bir motora takılması gerekir. Bir pervane, saat yönünün tersine döndüğü anlamına gelen $C(CCW)$ ile de işaretlenmektedir. Bir pervane setinde genellikle iki farklı pervane modeli bulunur. Biri saat yönünde dönerken diğeri ters yönde dönecek şekilde tasarlanmıştır.

Bir dron pervanesi, birbirine zıt kanatlar üzerindeki en uzak noktalar arasındaki mesafe belirlenerek ölçülür. Bu uzunluk aynı zamanda çap olarak da bilinir. Başka bir deyişle, pervane boyutu, pervane göbeğinin merkezinden kanatlardan birinin ucuna olan mesafenin iki katıdır. Bu uzunluk inç cinsinden ölçülür ve tipik olarak bir pervane numarasının ilk kısmıdır.

Pervaneler üzerindeki numaraların ne anlama geldiğini bilmek gerekmektedir. Birinci hane boyut, ikinci hane hatve ve üçüncü hane bıçak sayısına karşılık gelmektedir.

Örneğin;

- 16x5x2 pervane numarasında;
Pervane 2 kanatlı,
16 inç çapında ve
5 hatveli olduğunu göstermektedir.
Başka bir örnekte;
- 16×5,5 (1655 olarak da bilinir) pervaneler;
16 inç uzunluğundadır ve
5,5 inç hatveye sahiptir.

Pervanenin çapı, boyutunu ifade eder. Çapın artırılması pervane verimliliğini artırır ancak aynı zamanda motordan daha fazla akım tüketir. Pervane üzerindeki “BN” etiketi, pervanenin boğa kenarlı pervane olduğunu göstermektedir. Yani, pervane körelmiş bir uca sahiptir. Bir BN pervanesi, tüm pervane şekillerinden daha fazla yüzey alanına sahiptir. Boğa burunlu pervaneler, konik pervanelerden daha kalın ve sağlam uçlara ve geniş yüzey alanlarına sahiptirler. Bu nedenle daha fazla itme kuvveti oluştururlar, ancak konik pervanelerden ağırdırlar ve fazla enerji tüketirler. BN pervanelerinde, pervane boyutunu artırmadan itiş gücü maksimize edildiğinden, küçük yarış dronları için idealdir.

Bir dronun çerçeve boyutu ölçülmek istenirse de, zıt uçlarda bulunan motorlar arasındaki mesafe belirlenerek ölçülebilir. Bu okuma milimetre cinsinden alınır. Örneğin, dron çerçeve boyutunu elde etmek için sağdaki ön motordan soldaki arka motora kadar ölçüm yapılabilir (Dronesgator, 2022).

5.2.6.3. Karbon Fiber Dron Pervanesi Üretim Yöntemi

Karbon fiber pervaneleri yapmadan önce pervaneye uygun olarak kalıp yapılır. Yapılan kalıp pürüzsüz olmalıdır. Kalıpta pürüzlü bölümler var ise pürüzsüzleştirme işlemi yapılmaktadır. Karbon fiber levhalar ürün ölçülerine göre boyutlandırılmakta ve epoksi reçine ile emprenye etmek suretiyle hazırlanmaktadır. Prepreg kullanılıyorsa eğer emprenye işlemi yapılmamaktadır. Çünkü prepreg levhalar epoksi ile emprenye edilmiştir. Bu işlem sonrasında karbon fiber malzemeler kalıbın içine veya üzerine yerleştirilmektedir. Her tabakanın tüm yüzeyinin emprenye edildiğinden emin olmak için

her katmana ek epoksi reçinesi uygulanmaktadır. Hava kabarcıklarının veya boşlukların miktarını azaltmak ve kürlenme sırasında havayı çıkarmak için vakumlama işlemi yapılabilir. Pervane tasarımına göre katman sayısı belirlenmektedir. Bazı parçalar diğerlerinden daha fazla katman gerektirmektedir. En son adımda, kalıp yalıtımlı bir ortama yerle tirilmekte, biraz ısı ve basınç uygulanmaktadır. Sertleşme süresi epoksinin çeşidine bağlıdır. Sertle en pervane kalıptan alınmakta ve kontrol işlemleri yapılmaktadır.



Resim 5.8. Dron pervanesi kalıbı (Mejzlik, 2022)

5.2.6.4. Pervane Balanslama

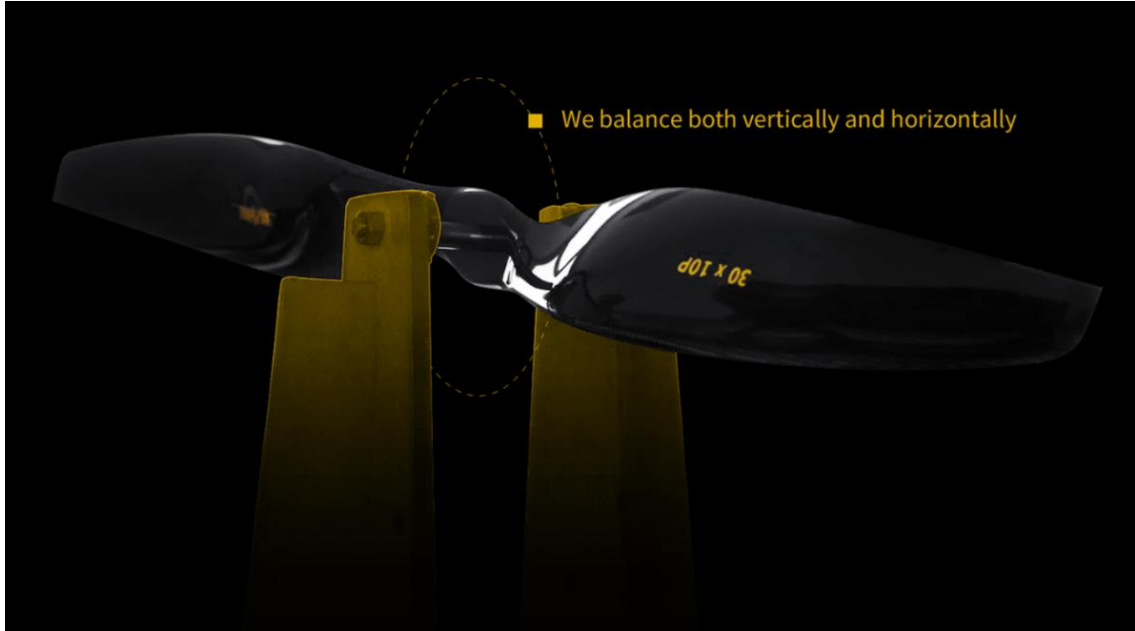
 retimi olan pervanenin balansı kontrol edilir. Balans yapılmasının amacı aşırı titre imden kurtularak performansı ve güvenilirliği artırmaktır. Dengeli pervanelere sahip bir dron sorunsuz uçar ve bu nedenle görüntüleri sabit bir şekilde kaydeder. Benzer şekilde, dronun d hili bileşenleri, ek baskı altında olmadıkları için daha uzun süre dayanır. Bir kanat diğerinden daha ağır olduğunda, pervane dönerken sürekli sallanır. Bu, karşılık gelen motoru gereksiz yere yükler.

Pervane balansını almanın iki yolu vardır. Bunlar dinamik ve statik dengelemedir. Dinamik dengeleme dönen bir pervanedeki dengesizlik doğrudan elektronik ekipman kullanılarak ölçülür. Statik dengeleme ise bir dengeleyicinin kullanılmasını içerir ve pervane sabit tutulur.

Dinamik dengelemede başta sensörlerden oluşan ekli bir sistem analizörü olmak üzere özel ekipman kullanılarak elde edilir. Bu arada pervane sabit, yüksek bir hızda döndürülür. Analiz cihazından alınan ölçümlerden sonra teknisyen, dengesizliği kademeli olarak gidererek uygun bir çözüm geliştirmesine olanak tanır. Bu genellikle vidalar, somunlar veya cıvatalar eklenerek yapılır. Tüm süreç, kabul edilebilir bir titreşim büyüklüğüne ulaşılan kadar devam eder.

Statik dengeleme pervanenin statik durumda yatay olarak dengelenmesini içermektedir. Bu nedenle, dinamik balanslamadan farklı olarak, pervane sisteminden tamamen yalıtılmıştır ve çalışmamaktadır. İhtiyaç olan tek parça pervanenin yerleştirildiği dengeleyicidir. Dengesizlik, pervane yatay ekseninde tamamen sabit olana ve düz bir şekilde oturana kadar ya malzeme çıkarılarak ya da ekstra ağırlık eklenerek giderilir. Bir dengeleyici minimum sürtünme için tasarlanmıştır ve bu işlemi çok kolaylaştırır.

Bir dron pervanesini, uyumlu bir kit ile bir pervane dengeleyiciye yerleştirerek statik olarak dengelenir. Yapışan bıçak daha hafiftir. Daha hafif bıçağa tamir bandı yapıştırılabilir veya pervane bir tarafa eğilmeyi bırakana kadar daha ağır bıçaktan malzeme zımparalanabilir (Servo, 2016).



Resim 5.9. Pervane balanslama cihazı (Mejzlik, 2022)



Resim 5.10. Pervane balanslama cihazı (Rotordronepro, 2017)

6. MATERİYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında 16 inç boyutundaki 2 bıçaklı karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeden dron pervanesinin modellenmesi yapılmıştır. Modellemesi yapılan dron pervanesi presleme yöntemiyle üretilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Modellenen dron pervanesi

6.1 DRON PERVANESİNDEN ALINAN NUMUNELERE UYGULANAN MEKANİK TESTLER

Karbon fiber takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeden üretimi yapılan dron pervanesinin mekaniksel özelliklerini belirlemek için uygun standartlarda çekme deneyi, eğilme deneyi, çentik darbe deneyi ve kalsinasyon deneyi yapılmıştır. Deneyler için uygulanan standartlar Çizelge 6.1’ de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Mekanik testlerin standartları

Deney Adı	Deney Standardı
Çekme Deneyi	ASTM D-638
Eğilme Deneyi	ASTM D-790
Çentik darbe Deneyi	ASTM D-256

Kalsinasyon Deneyi	ASTM D-2584
--------------------	-------------

Deneyler için 3 adet üretilen dron pervanesinden Resim 6.1’ de gösterildiği gibi numune kesitleri alınmıştır.



Resim 6.1. Pervaneden alınan numune kesiti örnekleri

6.1.1 Çekme Deneyi

Çekme deneyi ASTM D638 test metoduna göre yapılmıştır. ASTM D638 test metodu, plastiklerin ve diğer reçine malzemelerinin çekme dayanımını test etmek ve mekanik özelliklerini hesaplamak için kullanılan bir test metodudur. Bu test yönteminde, 25 mm veya 50 mm ölçü uzunluğuna sahip köpek kemiği şeklindeki numuneler kullanılmaktadır (SHIMADZU, 2022).

Çekme deneyi için standartlara uygun alınan numuneye şekilde görüldüğü üzere çekme testi yapılmıştır. Çekme deneyi yapılırken deney cihazının üst ve alt kısımlarına yapılan numune sabitlenmiş ve parça kopana kadar tek taraflı çekme işlemi yapılmıştır (Resim 6.2).



a

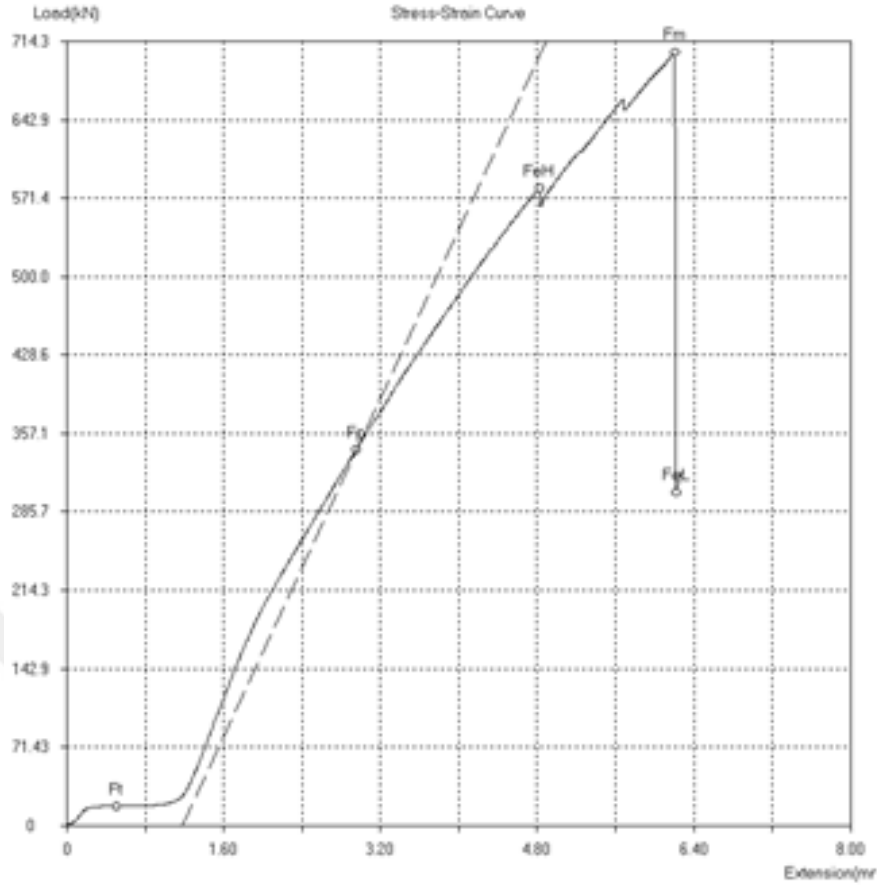


b

Resim 6.2. Çekme deneyi numunesi (a) ve çekme deneyi yapılışı (b)

Çekme deneyi resim de gösterilen Utest 7013 üniversal test cihazında yapılmıştır. Kullanılan cihaz 50 kN kapasitelidir.

Çekme deneyi sonucunda Şekil 6.2' de gösterilen kuvvet-uzama eğrisi ortaya çıkmıştır. Bu eğride cihaz tarafından numuneye uygulanan kuvvet sonucunda numunedeki boyuna uzama ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6.2. Kuvvet-uzama eğrisi

Çekme deneyi, malzemelerin mukavemet özelliklerini belirlemek için mühendislikte en yaygın testlerden biridir. İzotropik malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için yapılır. Bu test temel olarak, numuneye zıt yüzlerden aynı yönde çekme kuvveti uygulanması ve malzeme kopana kadar malzeme üzerindeki gerilmenin izlenmesi esasına dayanır. Çekme testi sonucunda malzemenin akma dayanımı, maksimum çekme dayanımı, süneklik, Young modülü, kayma modülü ve Poisson oranı elde edilebilir.

6.1.1.1. Çekme Dayanımı

Çekme dayanımı, deneyi yapılan parçanın kopuncaya kadarki dayanabildiği maximum gerilme olarak adlandırılmaktadır. Bu değer parçaya uygulanan en yüksek kuvvet ile ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan gerilme " σ " işareti ile gösterilmektedir.

Çekme dayanımı hesaplanırken kuvvet, test numunesinin kesit alanı bilinmesi gerekmektedir. Çekme dayanımı;

$$\sigma = P / A_0 \quad (6.1)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada P ile gösterilen değer N cinsinden normal kuvvet iken, A_0 ile gösterilen değer de numunenin kesit alanıdır ve birimi m^2 dir.

6.1.1.2. Birim Şekil Değişirme

Birim şekil değişirme, kuvvet uygulanan malzemenin kuvvet uygulandıktan sonraki boyunun, kuvvet öncesi boyuna oranı ile bulunmaktadır. Birim şekil değişirme;

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (6.2)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada ΔL numunenin kuvvet uygulandıktan sonraki uzama miktarını gösterirken, L_0 değeri de numunenin ilk boyunu göstermektedir. Boy birimleri mm'dir.

6.1.1.3. Elastisite Modülü

Malzemenin mukavemet ölçüsü olarak bilinmektedir. Young modülü olarak da gösterilmektedir. Malzemenin Young modülü ne kadar büyük olur ise dayanım da o kadar fazladır. Bu dayanımdan ötürü de malzemenin şekil değişimi o oranda direnç göstermektedir. Elastisite modülü;

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (6.3)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada, σ çekme dayanımını gösterirken, ε birim şekil değiştirmeyi göstermektedir.

6.1.1.4. Kopma Uzaması

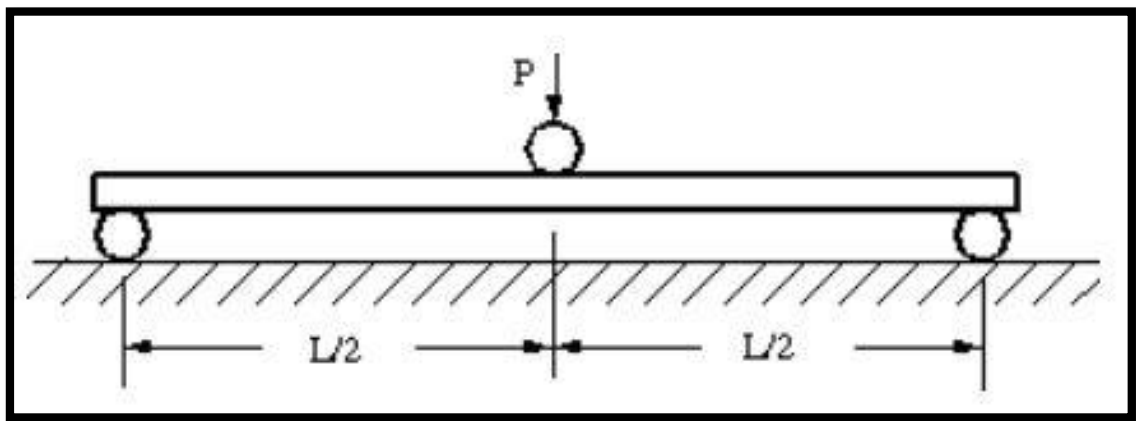
Çekme deneyi yapıldığında 2 adet şekil değiştirme gözlemlenmektedir. Bunlar plastik ve elastik şekil değiştirmedir. Deney yapılırken parçada meydana gelen en yüksek plastik uzama ölçüsüdür. Boyca uzama miktarı, numunenin kırılmadan öncesi maximum boyu ile ilk boyu arasındaki fark ile bulunmaktadır. Boyutlar mm cinsinden hesaplanmaktadır. Boyca uzama miktarı hesaplandıktan sonra, bu değer numunenin ilk boyuna bölüp 100 ile çarpılması halinde % kopma uzaması bulunmaktadır.

$$\Delta L = L_k - L_0 \quad (6.4)$$

$$\%e = \Delta L * 100 / L_0 \quad (6.5)$$

6.1.2 Eğilme Deneyi

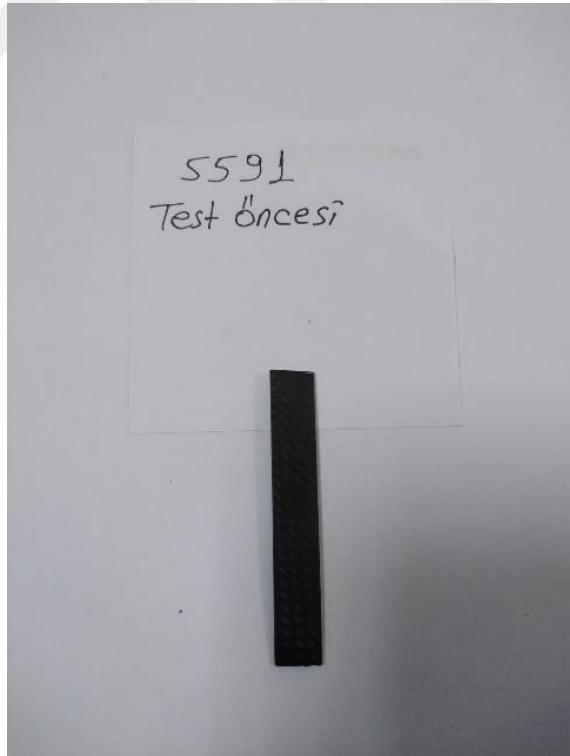
Eğilme deneyi, basit kiriş yüklemesine maruz kalan malzemelerin davranışını ölçer. Genellikle polimerler, ahşap ve kompozitler gibi nispeten esnek malzemeler için yapılmaktadır. En temel düzeyde, bir eğilme test makinesinde, bir numune iki destek üzerine yerleştirilir ve malzeme özelliklerini ölçmek için 1 veya 2 yükleme örsü üzerinde kuvvet uygulanarak eğilme testi gerçekleştirilir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Eğilme deneyi yapısı (Çapık ve Kaya, 2015)

Eğilme testi, parçanın belirli bir kuvvet altındaki eğilmeye karşı mukavemetini ölçmek için yapılan bir testtir. Şekilde görüldüğü gibi parçayı 2 destek üzerine yerleştirip parçanın tam ortasına bir P kuvveti uygulanır ve parçadaki eğilme mukavemeti ölçülmüş olur. Yapılacak numune dikdörtgen, daire, silindirik ya da prizma parçalardan yapılabilmektedir. Bu çalışmada numune dikdörtgen olarak seçilmiş ve eğilme deneyi dikdörtgen numune üzerinde yapılmıştır. Ayrıca eğilme testi için farklı boyutlarda üç farklı numune alınmıştır.

Eğilme deneyi ASTM D790 test metoduna göre yapılmıştır. Bu test metodu, plastiklerin ve kompozitlerin bükülme mukavemetini belirlemek için kullanılmaktadır. ASTM D790 test metodu ile eğilme özellikleri testi, bir kirişi üç noktalı yükleme makinesi altında bükmek için gereken darbeyi ölçmek için kullanılmaktadır. ASTM D790'a göre numune %5 saptmaya ulaşırsa veya %5'e ulaşmadan kırılırsa test durdurulur. ISO 178'e göre, numune nihai olarak kırıldığında test durdurulur. Numune kırılmazsa teste devam edilir ve %3,5'te ölçülen gerilim (geleneksel sapma) kaydedilir (İnfinitalab, 2022).



Resim 6.3. Eğilme deneyi numunesi



Resim 6.4. Eğilme deneyi yapılışı

Eğilme deneyi numunesi Resim 6.3’ de gösterilmiştir. Resim 6.4’ de pervaneden alınan numunenin eğilme deneyi yapılışı görülmektedir.

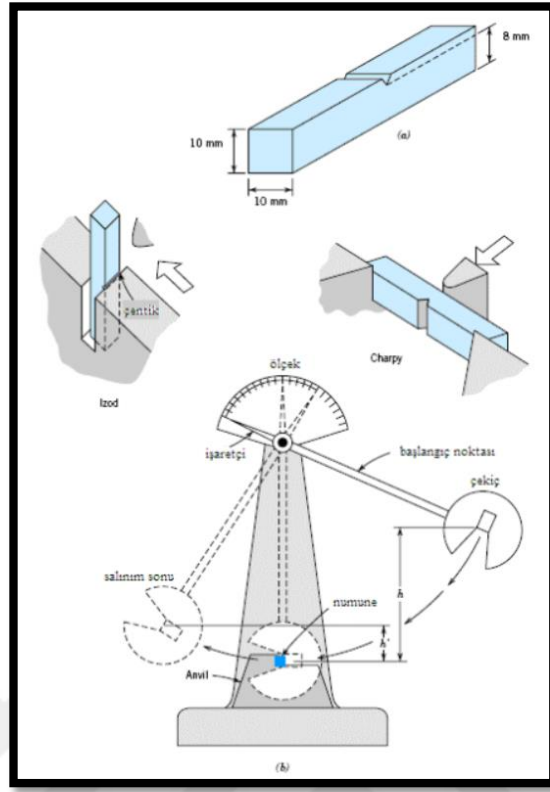
6.1.3 Çentik Darbe Deneyi

Çentik darbe deneyi ASTM D256 test metoduna göre yapılmıştır. ASTM D256'ya göre Izod çentikli darbe testi, kalınlığa bağlı bir enerji değeri biçiminde yüksek gerinim hızlarında darbe direnci ve çentik hassasiyeti için karakteristik değerler üretmektedir. Testler genellikle ASTM D618'e göre 23° sıcaklık ve %50 bağıl nem içeren normal bir iklimde gerçekleştirilir. Çentik darbe deneyi için hazırlanan numune de Resim 6.5’ de gösterilmiştir.



Resim 6.5. Çentik darbe deneyi numunesi

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir deneydir. Çentik darbe testi numunesi kırıldıktan sonra kırılma yüzeyi incelenerek kırılma tipi hakkında fikir edinilebilir. Bu tür kırılmalar sünek kırılma, gevrek kırılma vb. farklı şekillerde olabilir (Focuskalite, 2022).



Şekil 6.4. Çentik darbe deneyi yapılışı (Sezer Ç., 2012)

Çentik darbe deneyinde, malzemenin sünek mi gevrek mi olduğunu tespit etmek ve test malzemesi kırılırken absorbe edeceği enerji miktarı ölçmek esastır (Şekil 6.4).

6.1.4 Kalsinasyon Deneyi

Kalsinasyon deneyi ASTM D2584 test metoduna göre yapılmıştır (Resim 6.6). Bu test metoduna göre hazırlanan numune ilk önce tartılmıştır. Ardından kalsinasyon deneyinde hazırlanan numune 670 °C de 45 dak sürede kül fırınında beklemiştir. Bu süre sonunda yüksek derecede numunede bulunan reçine yanmaktadır. Yanan reçine sonunda geriye sadece karbon elyaf kalmaktadır. Yanma işlemi bittikten sonra geriye kalan malzeme tekrar tartıya konulmuş ve karbon oranı belirlenmiştir.

ASTM D2584 testi, kürlenmiş takviyeli reçinelerin yanma işlemi bittikten sonra kalan elyaf içeriğini değerlendirerek tutuşma kaybını belirlemektedir. Üründe sadece cam

takviyesi ve organik reçine varsa, elde edilen tutuşma kaybı reçine içeriği olarak kabul edilmektedir.



Resim 6.6. Kalsinasyon test numunesi

6.2 DRON PERVANESİNE UYGULANAN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Pervanenin mekanik özellikleri belirlendikten sonra 2 bıçaklı 70 gr ağırlığındaki pervanenin 400 kW güç ile 5000 RPM devirde 3 farklı durum için sonlu elemanlar analizi yapılmıştır.

1. Analizde dönme durumunda; pervanenin 5000 devir/dak' daki hava direncinin pervaneye uyguladığı direncin pervane üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Pervanede meydana gelen toplam deformasyon miktarı, gerilme ve gerinim değerleri ölçülmüştür.

2. Analizde durma durumunda; durma durumundaki analizde, motor çalıştığı ve pervaneye kuvvet uyguladığı halde bir engelden dolayı pervanenin dönmediği durumda pervane üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Analiz üç farklı durum için yapılmıştır.

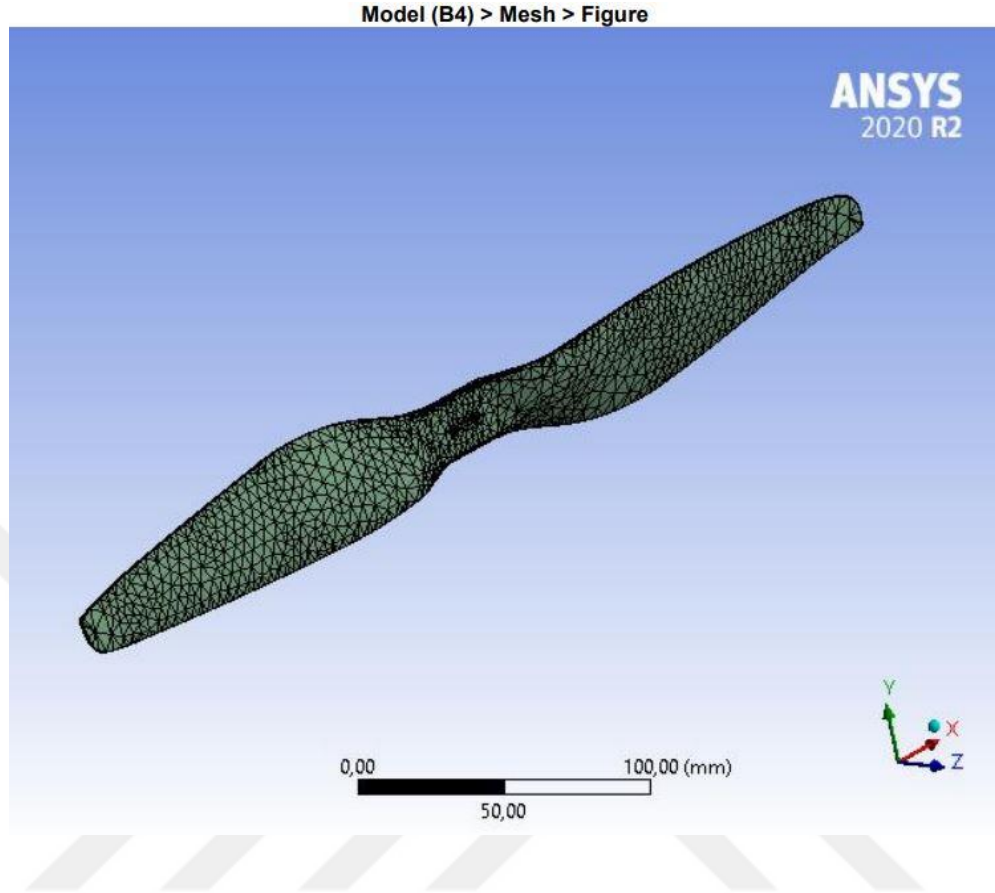
Pervanede meydana gelen toplam deformasyon miktarı, gerilme ve gerinim değerleri ölçülmüştür.

3. Analiz de akış analizi olup; Pervanenin 5000 devir/dak'daki karakteristiği kontrol edilmiştir. Kaldırma kuvveti, havanın pervane üzerindeki direnci ve hava çıkış hızı analiz edilmiştir.

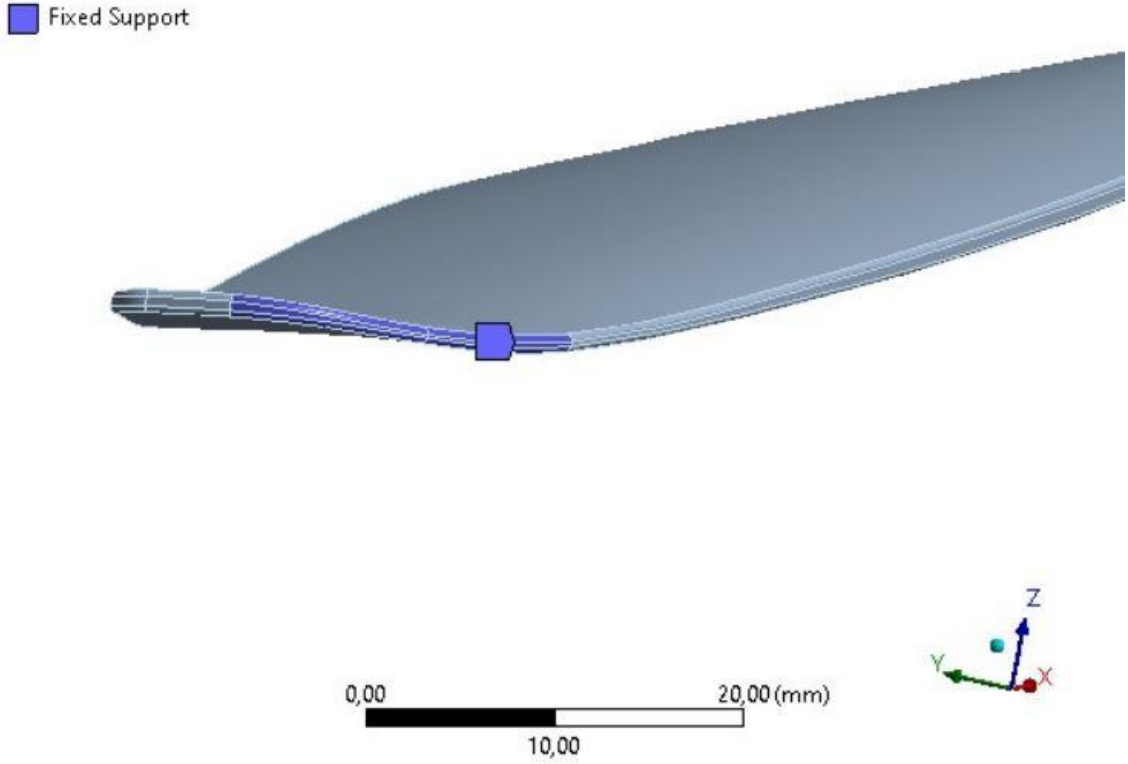
Şekil 6.5' de 3 durum içinde kullanılan analiz öncesi yapılan mesh tablosu gösterilmiştir. Şekil 6.6' da, dron pervanesine uygulanan mesh gösterilmiştir.

Model (A4) > Mesh	
Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	5, mm
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	409,1 mm
Average Surface Area	151,43 mm ²
Minimum Edge Length	0, mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	22526
Elements	11553

Şekil 6.5. Mesh Tablosu



Şekil 6.6. Mesh resmi

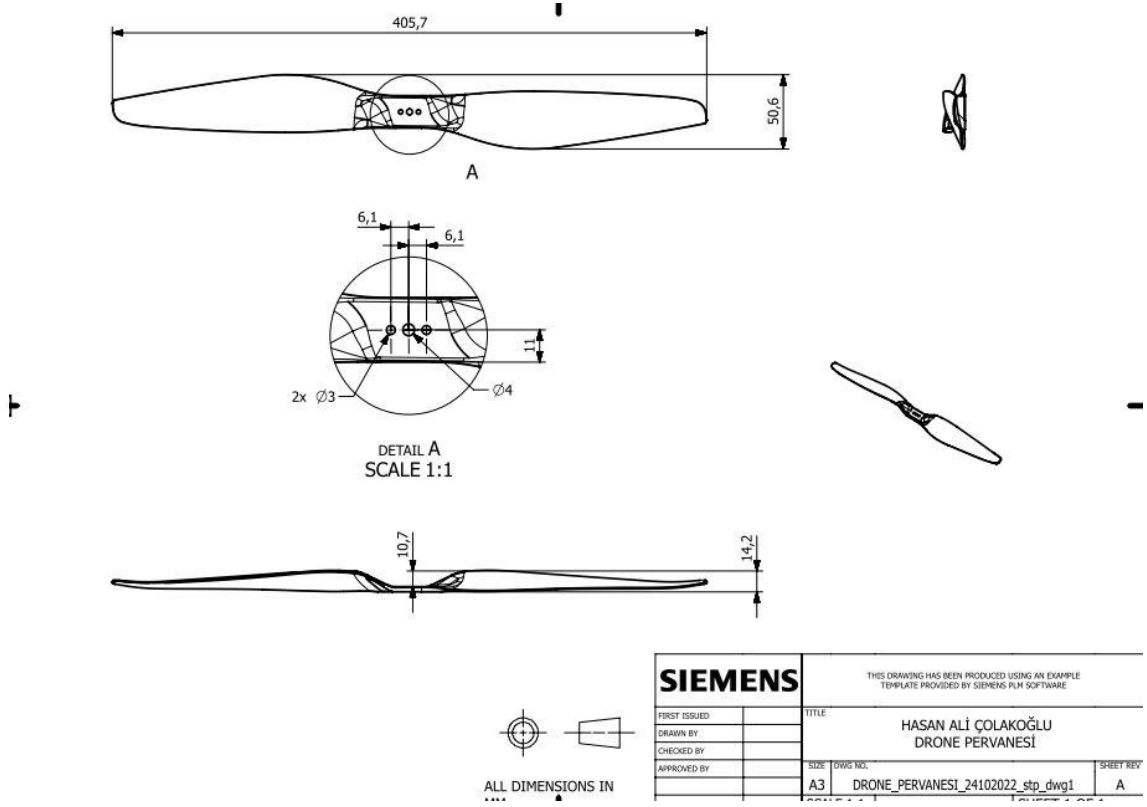


Şekil 6.7. Uçlarda sabitlenmiş pervane desteği

Dron pervanesi engellere veya duvara çarpması nedeniyle yatay bükülmeye maruz kalır. Dönme eksenine etrafında uygulanan dönme momenti altındaki eğilme deformasyonunu hesaplamak için pervane uç tarafından Şekil 6.7’ de gösterildiği gibi sabitlenmiştir.

Yapılan analizlerdeki renk konturları, minimumdan maksimuma kadar olan deformasyon aralığını tanımlamaktadır. En fazla deformasyon olan bölge kırmızı renkte gösterilmiştir. En az deformasyona uğrayan bölge de koyu mavi renk ile gösterilmektedir.

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR



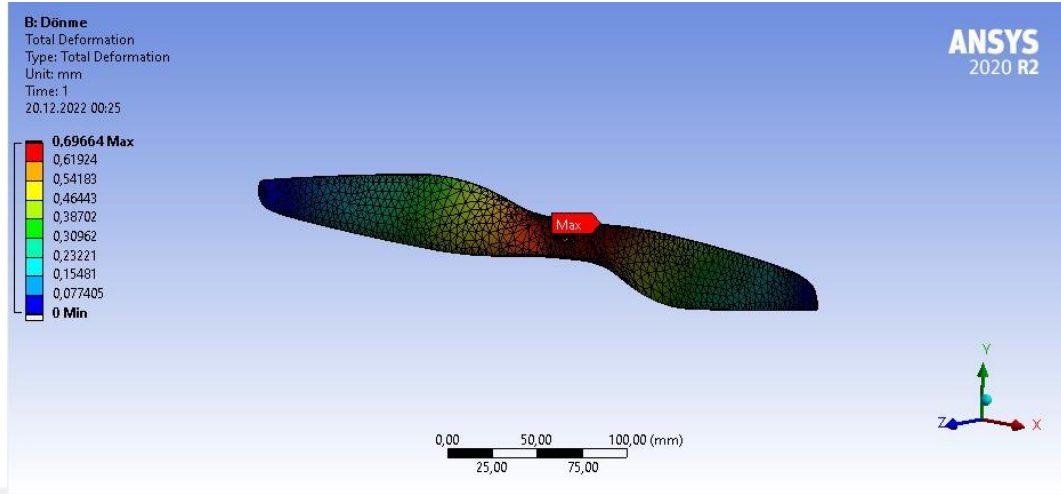
Şekil 7.1. Dron pervanesinin ölçeklendirilmesi

Üretimi yapılan dron pervanesinin 3D yazıcı ile modellemesi yapıldıktan sonra pervane ölçeklendirilmiştir (Şekil 7.1). Ardından ANSYS programı ile sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Bu analizlerle pervanede meydana gelen deformasyon miktarları hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

7.1 DRON PERVANESİNE YAPILAN SONLU ELAMANLAR ANALİZİ

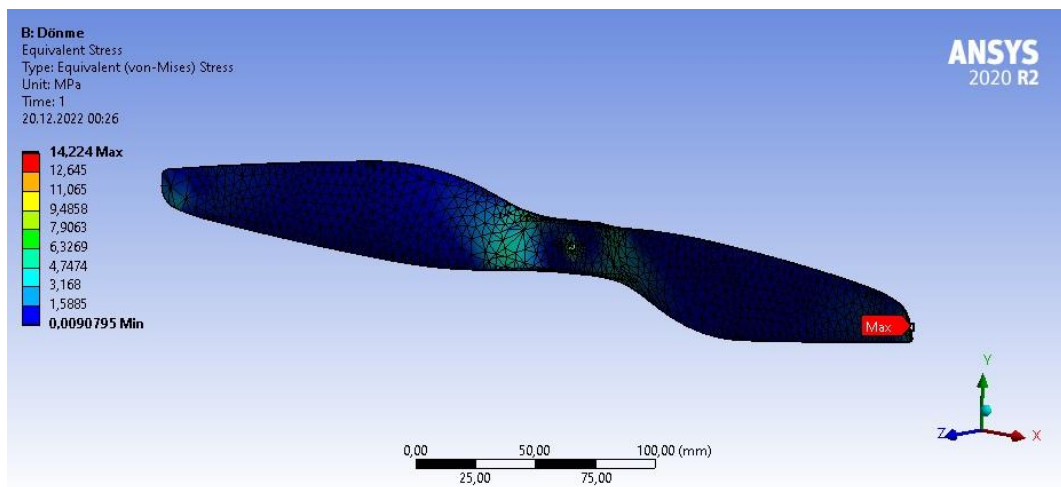
Sonlu eleman analizi, potansiyel olarak tehlikeli veya yıkıcı yük koşullarının ve arıza durumlarının güvenli simülasyonunu sağlayarak mühendislerin bir sistemin herhangi bir konumdaki fiziksel tepkisini keşfetmesine olanak tanımaktadır.

7.1.1 Dönme Durumundaki Yapısal Analiz



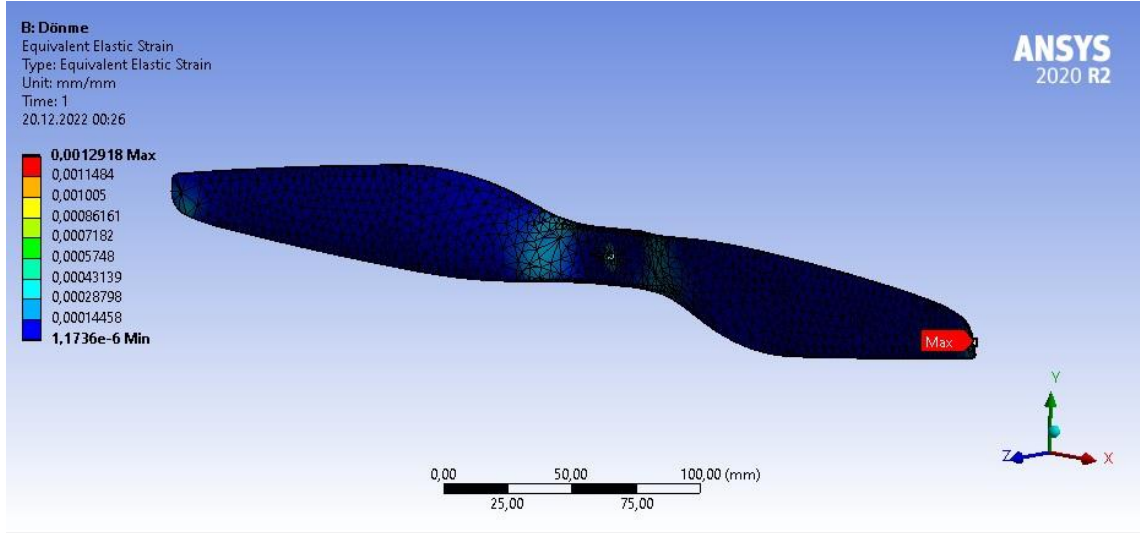
Şekil 7.2. Dönme durumundaki toplam deformasyon

Şekil 7.2’ de dron pervanesinin dönme durumunda yüzeyinde meydana gelen toplam deformasyon gösterilmektedir. En fazla deformasyon olan bölge kırmızı renkte gösterilmiş ve pervanenin orta kısmında olup en az deformasyonda pervanenin uç kısımlarında gösterilmiştir. En fazla deformasyon olan bölge pervanenin orta kısmında olup 0,66964 mm maximum deformasyon görülmektedir. En az deformasyon olan bölge de kanat kısımlarında olup, ortalama deformasyon miktarı 0.39277 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.3. Dönme durumundaki gerilim değerleri

Pervanede maximum gerilme kanat uçlarında meydana gelmiştir. Minimum gerilme değeri pervane bıçaklarının orta kısımlarında ortaya çıkmıştır. Dron pervanesinin dönme durumunda en fazla gerilime maruz kaldığı bölge pervanenin kanat kısımlarında olup 14.224 Mpa olarak ölçülmüştür. En düşük gerilme de pervanenin kanat uçları ve orta bölgesinin arasında kalan yer olup 0.0090795 MPa olarak ölçülmüştür (Şekil 7.3).



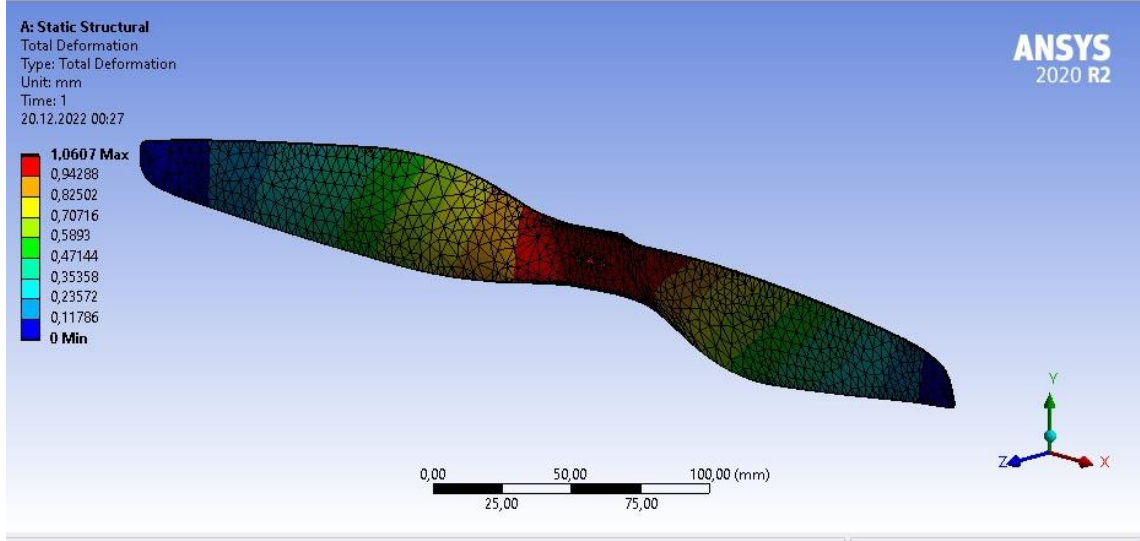
Şekil 7.4. Dönme durumundaki gerinim değerleri

Dönme durumunda gerinim değerinin maximum olduğu bölge pervanenin kanat uçlarında ölçülmüştür (Şekil 7.4). Minimum olarak ölçülen bölge de pervane bıçaklarının orta kısmında ortaya çıkmıştır. Dron pervanesinin dönme durumundaki birim şekil değiştirme miktarı en yüksek kanat uçlarında görülmüştür. Değeri saniyede 0.0012918 olarak ölçülmüştür. En düşük birim şekil değiştirme değeri de kanat uçları ve orta bölgesinin arasında kalan yer olup 1.1736e-6 olarak ölçülmüştür.

7.1.2 Durma Durumundaki Yapısal Analiz

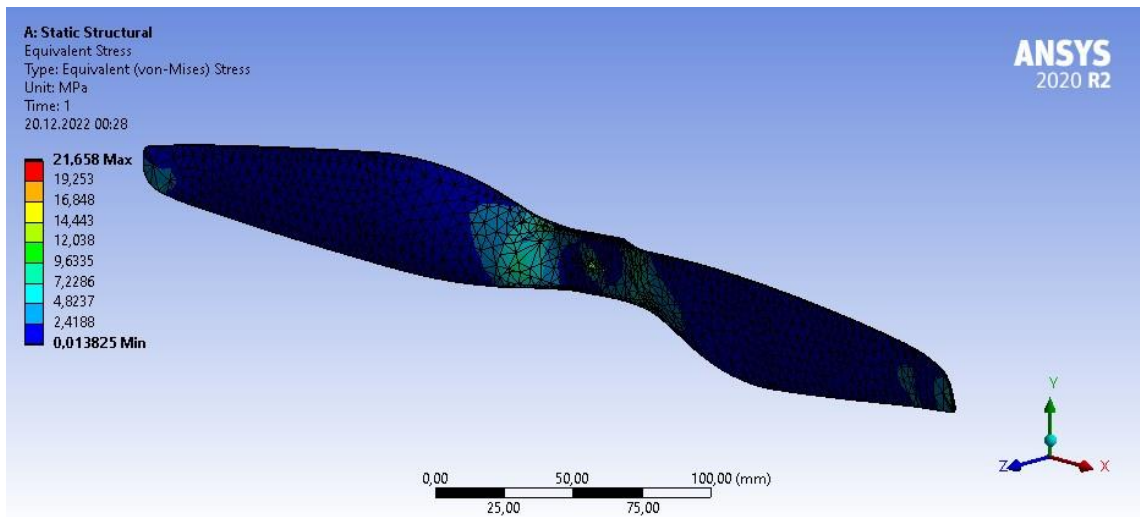
Şekil 7.5’ de dron pervanesinin durma durumunda yüzeyinde meydana gelen toplam deformasyon miktarı gösterilmektedir. Pervane durma durumunda, motor çalıştığı fakat herhangi bir engelden ötürü pervanenin dönmediği durumdaki parçada meydana gelen toplam deformasyon ölçülmüştür. Bu analizde en fazla deformasyon pervanenin orta kısmında görünürken en az deformasyon pervanenin kanat ucunda görülmüştür.

Pervanede 1,0607 mm maximum deformasyon görülmektedir. Ortalama deformasyon miktarı 0.59804 mm olarak ölçülmüştür.



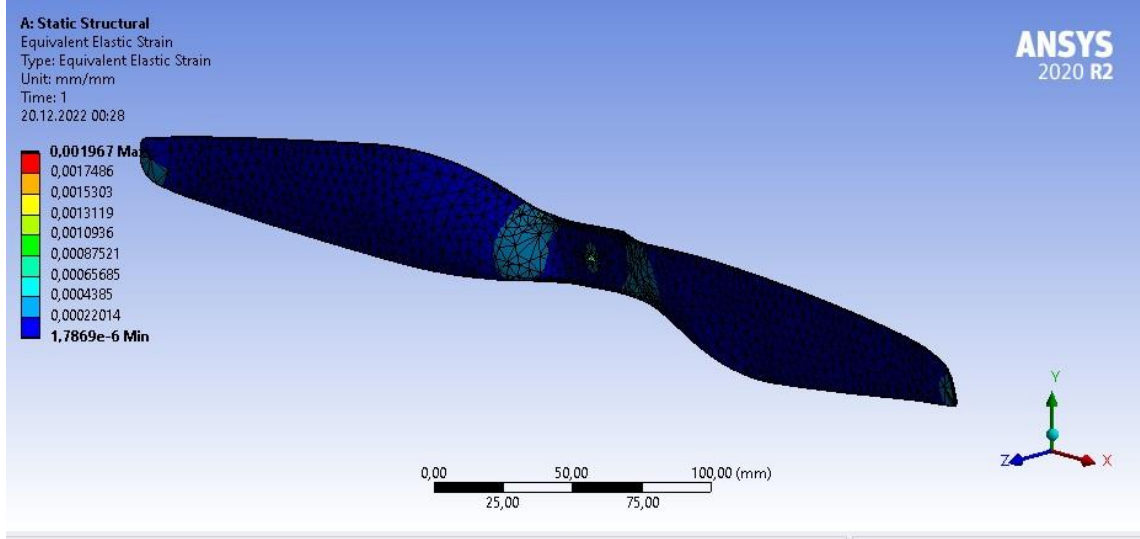
Şekil 7.5. Durma Durumundaki toplam deformasyon

Pervanede maximum gerilme değeri kanat uçlarında meydana gelmiştir ve değeri 21.658 MPa olarak bulunmuştur. Minimum gerilme değeri pervane bıçaklarının orta kısımlarında oluşmuş ve 0.013825 MPa olarak ölçülmüştür (Şekil 7.6).



Şekil 7.6. Durma durumundaki gerilim değerleri

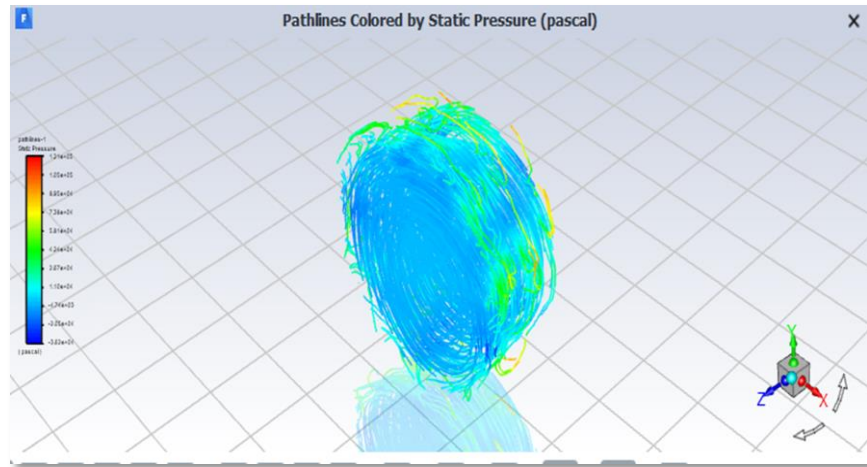
Durma durumunda gerinim değerin maximum olduğu bölge kanat uçlarında olup 0.001967 olarak bulunmuştur. Ayrıca minimum bölge de kanat uçları ile pervane merkezinin arasında olan bölgede gerçekleşmiş ve değeri 1.7869×10^{-6} olarak ölçülmüştür (Şekil 7.7).



Şekil 7.7. Durma durumundaki gerinim değerleri

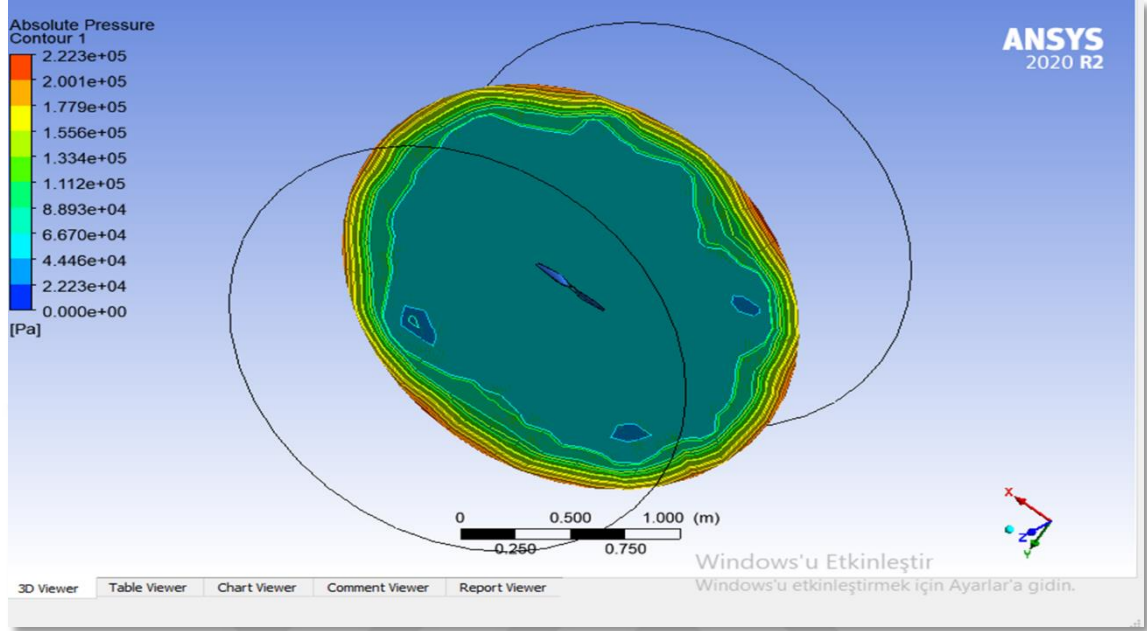
7.1.3 Akış Analizi

Şekil 7.8' de yapılan akış analizinde statik basınç değerleri gösterilmektedir. Maximum basınç 1.31×10^{25} Pa olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.8. Statik basınç analizi

Şekil 7.9’ da mutlak basınç analizi görülmektedir. Maximum mutlak basınç değeri 2.223×10^5 olarak ölçülmüştür ve belirlenen sınır değerine yakındır.



Şekil 7.9. Mutlak basınç analiz

7.2 DRON PERVANESİNE UYGULANAN MEKANİK TESTLER

Modellenmesi yapılan dron pervanesinin üretimi öncesinde kalıbı yapılmıştır. Kalıbı yapılan dron pervanesinin presleme yöntemi ile üretimi yapılmıştır. Üretim sonrasında, imalatı yapılan pervanelerden ilgili standartlara uygun şekilde numuneler hazırlanarak, pervanelerin mekaniksel özelliklerini belirlemek için çekme deneyi, eğilme deneyi, çentik darbe deneyi ve kalsinasyon deneyleri yapılmıştır. Testler sonucunda imalatı yapılan pervanelerin yüksek mekaniksel özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

7.2.1 Çekme Deneyi

Çekme deneyi sonucunda; boyuna elastisite modülü 18,0 GPa, boyuna çekme dayanımı ise 564 MPa olarak ölçülmüştür. Deney sonucunda çekme mukavemet diyagramı ortaya çıkmıştır (Şekil 6.2).

7.2.2 Eğilme Deneyi

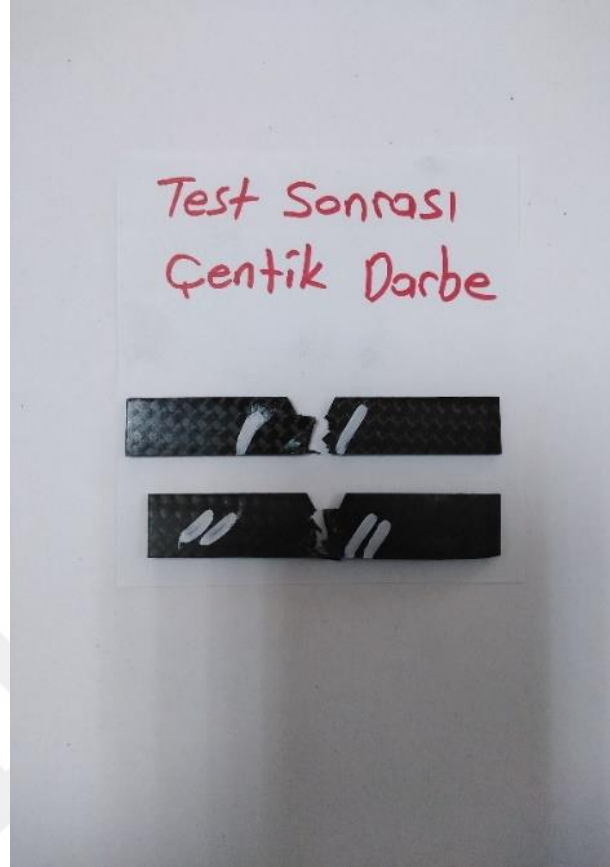
Eğilme testi sonucunda; boyuna eğilme dayanımı 860 MPa, boyuna eğilme modülü 43,8 GPa olarak bulunmuştur. Resim 7.1’ de eğilme deneyi sonucunda malzemede meydana gelen deformasyon gösterilmiştir.



Resim 7.1. Eğilme deneyi sonrası numuneler

7.2.3 Çentik Darbe Deneyi

Pervane malzemesinin çentik darbe dayanımı 1,5 j olarak bulunmuştur. Resim 7.2’ de çentik darbe deneyi sonucunda meydana gelen deformasyon şekli görülmektedir.



Resim 7.2. Çentik darbe deneyi sonrası numune

7.2.4 Kalsinasyon Deneyi

Malzemedeki yüzde karbon oranını belirleyebilmek için kalsinasyon deneyi yapılmıştır. Kalsinasyon deneyi sonucunda malzemedeki yüzde karbon oranı % 44.1 olarak tespit edilmiştir. Resim 7.3’ de kalsinasyon deneyi sonucunda malzemedeki şekil değişimi görülmektedir.



Resim 7.3. Kalsinasyon deneyi sonrası numune

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dron pervaneleri, dronun birçok özelliğine etki eden önemli bir bileşenidir. Dronu havada hareket ettiren dron pervanesinin verilen görevi sağlıklı bir şekilde yerine getirebilmesi için malzeme seçimi ve kanat profili son derece önemlidir. Dron pervane malzemesi için günümüzde daha çok plastik pervaneler kullanılmaktadır. Bu pervanelerin de dayanıklılığı düşük ve çok sesli çalışmaktadır. Ayrıca bu pervaneler fazla yük taşıyamamaktadır. Dayanımının düşük olmasından ve taşıma kapasitesinin düşük olmasından ötürü pervanelerin çalışma saatleri düşüktür. Bu tez çalışmasında kanat malzemesi için karbon fiber takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeden dron pervanesinin üretimi yapılmıştır. Üretim yapıldıktan sonra dron pervanesinin performansını ölçmek için mekanik testler ve çalışma sırasında karşılaşılabilecek sorunları önceden görmek için sonlu elemanlar analizi yapılmıştır.

Dron pervanesinin mekanik özelliklerini belirlemek için, çekme deneyi, çentik darbe deneyi, eğilme deneyi ve kalsinasyon deneyi yapılmıştır. Çekme deneyinde malzemenin mekanik yükleme karşısında mekanik özelliklerini belirlemek için yapılmış olup deney sonucunda kullanılmakta olan plastik ve ahşap malzemelere kıyasla üstün mekanik özellik gösterdiği görülmüştür. Çentik darbe deneyinde malzemenin kopana kadar ne kadar enerji absorbe ettiği ölçülmüştür. Deney sonucunda malzemenin kolayca kırılmadığı ve deney sonucunun başarılı olduğu görülmüştür. Eğilme deneyinde alınan numuneye belirli P yükü uygulanmış ve malzemenin dayanımı test edilmiştir. Kalsinasyon deneyinde de pervane yapımı için kullanılan karbon miktarı ölçülmüştür. Yapılan mekanik testlerin sonuçları Çizelge 8.1’ de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Deney sonucunda ortaya çıkan değerler

Çekme dayanımı	564 N/mm ²
Elastisite modülü	18 GPa
Eğilme dayanımı	860 N/mm ²
Eğilme modülü	43.8 GPa
Yüzde karbon elyaf miktarı	44.1
Yoğunluk	1800 kg/m ²

Dron pervanesine mekanik testler haricinde sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Bu analiz ANSYS programı ile gerçekleştirilmiştir. Programda malzemenin değerleri girilerek normal hava şartlarında kontrolleri yapılmıştır. 3D yazıcı ile modellemesi yapılan dron pervanesi 3 farklı durumda analiz edilmiştir. Pervaneye akış analizi, durma durumunda analiz ve pervane dönme durumunda analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda pervanedeki deformasyon miktarları düşük seviyede görülmüştür.

Yapılan deneyler hesaba katılarak karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeden yapılan dron pervanesinin dronlarda kullanılan plastik ve ahşap pervanelere kıyasla daha etkin sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu malzeme kullanılarak daha büyük dronlar için daha büyük pervanelerin tasarımı yapıp üretilebilir ve kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- Altenbach, H., Altenbach, J., Kissing, W. (2004). Classification of composite materials. In Mechanics of composite structural elements, Springer Press, 503s, Berlin, Heidelberg.
- Amatt, W., Bates, W. E., Borst, H. V. (1973). Summary of Propeller Design Procedures and Data Volume 2. Structural Analysis and Blade Design. National Techilcal Information Service U. S. Department Of Commerce, 323s, Springfield.
- Andria, G., Di Nisio, A., Lanzolla, A. M. L., Spadevecchia, M., Pascazio, G., Antonacci, F., Sorrentino, G. M. (2018). Design and performance evaluation of drone propellers. In 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), 20-22 June 2018, 407-412s, Rome, Italy.
- Ansini, (2022). A Complete Guide to Vacuum Forming. Erişim Tarihi: 03.01.2023. <https://www.ansini.co.uk/news/guide-to-vacuum-forming/>
- Balasubramanian, M. (2014). Composite materials and processing, CRC press, 595s, Boca Raton, Florida.
- Beşergil, B. (2022). Polimer Matris Kompozitler; Üretim Prosesleri (production processes). Erişim Tarihi: 13.12.2022. http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_96.html
- Borst, H. V. (1978). Aerodynamic Design and Analysis of Propellers for Mini-Remotely Piloted Air Vehicles. Volume 1 Open Propellers. National Techilcal Information Service U. S. Department Of Commerce, 323s, Springfield, USA.
- Brandt, J., Selig, M. (2011). Propeller performance data at low reynolds numbers. In 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 4-7 January 2011, 1255-1275s, Orlando, Florida.

- CFD Flow Engineering, (2022). Working Principle and Components of Drone. Erişim Tarihi: 13.12.2022. https://cfdflowengineering.com/working-principle-and-components-of-drone/#_Yaw_Motion
- Chohan, J. S., Boparai, K. S., Singh, R., Hashmi, M. S. J. (2022). Manufacturing techniques and applications of polymer matrix composites: a brief review. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 8(1), 884-894.
- Crigler, J. L. (1949). Application of Theodorsen's theory to propeller design, Rapor No: NACA-TR-924, 83s.
- CSIR, (2022). Autoclave molding. Erişim Tarihi: 10.01.2023. <https://www.nal.res.in/en/techniques/autoclave-molding>
- Çapık, M., Kaya, S. (2015). Deney adı: eğilme (bükölme) dayanımı. Erişim Tarihi: 22.12.2022. https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/maden_263ff.pdf
- Dji, (2016). Propeller Types. Erişim Tarihi: 10.09.2022. <https://forum.dji.com/thread-40912-1-1.html>
- Donald, I. W., McMillan, P. W. (1976). Ceramic-matrix composites. *Journal of materials Science*, 11(5), 949-972.
- Dreamstime, (2022). Set of four carbon fiber self-tightening propellers for a quadcopter drone against grunge wood. Erişim Tarihi: 10.09.2022. <https://www.dreamstime.com/stock-photo-carbon-fiber-self-tightening-drone-propellers-set-four-quadcopter-against-grunge-wood-image46839448>
- Dronenerds, (2022). The Evolution of Drones, Then and Now. Erişim Tarihi: 29.09.2022. <https://enterprise.dronenerds.com/the-evolution-of-drones/>
- Dronesgator, (2022). Complete Guide to Drone Propeller Terminology. Erişim Tarihi: 10.09.2022. <https://dronesgator.com/drone-propeller-terms-and-numbers/>
- Fiberr, (2022). Pultrüzyon. <https://www.fiberr.com.tr/pultruzyon> (Erişim Tarihi: 18.12.2022)

- Focuskalite, (2022). Notch Impact Test. Erişim Tarihi: 13.12.2022.
<https://www.focuskalite.com/destructive-tests/notch-impact-test/>
- Foundation Structures, (2022). 10 Drone Parts Everybody In Construction Should Know. Erişim Tarihi: 10.08.2022. <https://www.foundationstructures.com/10-drone-parts-everybody-in-construction-should-know/>
- Grenzdörffer, G. J., Engel, A., Teichert, B. (2008). The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31(B3), 1207-1214.
- Gur, O., Rosen, A. (2009). Optimization of propeller based propulsion system. *Journal of Aircraft*, 46(1), 95-106.
- Hashmi, S. (2014). Comprehensive materials processing. Elsevier, 5634s.
- Hassanalian, M., Abdelkefi, A. (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131.
- Havayolu 101, (2020). Otonom hava araçlarının yükselişi ve özel servisleri. Erişim Tarihi: 22.12.2022 <https://www.havayolu101.com/2020/04/07/otonom-hava-aracLARININ-yukselisi-ve-ozel-servisleri/>
- Hunt, B., Rawlins, C., Hill, B. (2021). An Analysis of Blade Deicing Techniques for Multi-Rotor UAV Propellers, In 2021 IEEE Aerospace Conference (50100), 06-13 March 2021, 1-6s, Big Sky, MT, USA.
- ISO 21384, (2021), Unmanned aircraft systems, ISO, Cenevre.
- Işık, A. (2008). Kompozit malzemeden imal edilmiş bir takviye elemanının eğilme ve burulma yükü altında deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, İstanbul.
- İnfinalab, (2022). ASTM D790, ISO 178 Flexural Properties Testing. Erişim Tarihi: 13.12.2022. <https://infinitalab.com/astm/astm-d790-iso-178/>

- Jang, J., Cho, K., Yang, G. H. (2019). Design and experimental study of dragonfly-inspired flexible blade to improve safety of drones. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(4), 4200-4207.
- Kalemtaş, A. (2022). Ceramic materials I ders notu. Erişim Tarihi: 18.12.2022.
https://metalurji.mu.edu.tr/Icerik/metalurji.mu.edu.tr/Sayfa/6_Kalemtas_A_Ceramics_Materials.pdf
- Kardasz, P., Doskocz, J., Hejduk, M., Wiejkut, P., Zarzycki, H. (2016). Drones and possibilities of their using. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 6(3), 1-7.
- Karpen, N., Diebald, S., Dezitter, F., Bonaccorso, E. (2022). Propeller-integrated airfoil heater system for small multirotor drones in icing environments: Anti-icing feasibility study. Erişim Tarihi: 25.08.2022.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165232X22001355>
- Kessler, M. R. (2012). Polymer matrix composites: A perspective for a special issue of polymer reviews. *Polymer Reviews*, 52(3), 229-233.
- Kırsasöz, A. A. (2018). Alüminyum matrisli titanyumdiborür in situ takviyeli kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, İstanbul.
- Korkmaz, N. (2014). Karbon elyaf takviyeli dokuma kumaş içeren kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 158s, Isparta.
- Kosse Composite Marketing, (2022). Cam Elyaf.
<http://www.kossecomposite.com/camelyaf.html> (Erişim Tarihi: 22.12.2022)
- Kuantama, E., Craciun, D., Tarca, I., Tarca, R. (2017). Quadcopter propeller design and performance analysis. *New Advances in Mechanisms, Mechanical Transmissions and Robotics*, Springer International Publishing, 269-277s, Springer, Cham.

- Larrabee, E. E. (1979). Practical design of minimum induced loss propellers. SAE Technical Paper No: 790585, 2053-2062s.
- Learnmech,(2022). Compression molding Process- Advantages and Disadvantages. Erişim Tarihi: 13.11.2022. <https://learnmech.com/compression-molding-process/>
- Logan, M., Vranas, T., Motter, M., Shams, Q., Pollock, D. (2005). Technology challenges in small UAV development. Rapor No: AIAA Paper 2005-7089, 1-5s.
- Lorenz, R. H. (1988). An experimental investigation of single- and dual-rotating propellers. Erişim Tarihi:17.05.2022 <http://go.utlib.ca/cat/4117254>
- Malzeme Bilimi.Net, (2016). Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerde El Yatırma Yöntemi. <https://malzemebilimi.net/elyaf-takviyeli-kompozit-malzemelerde-el-yatirma-yontemi.html> (Erişim Tarihi: 22.12.2022)
- Mejzlik, (2022). Get to know our high-quality/cutting edge propellers. <https://www.mejzlik.eu/product> (Erişim Tarihi: 03.09.2022)
- Minchenkov, K., Vedernikov, A., Safonov, A., Akhatov, I. (2021). Thermoplastic pultrusion: A review. *Polymers*, 13(2), 180.
- Monroeengineering, (2021). What Is Transfer Molding and How Does It Work? Erişim Tarihi: 02.01.2023. <https://monroeengineering.com/blog/what-is-transfer-molding-and-how-does-it-work/>
- NASA, (2017). What Are Wind Tunnels? Erişim Tarihi: 02.09.2022. <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-are-wind-tunnels-k4.html>
- NASA, (2020). Advanced Air Mobility: The Science Behind Quadcopters Reader—Student Guide. Erişim Tarihi: 02.09.2022. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/aam-science-behind-quadcopters-reader-student-guide_0.pdf

- Nguyen, D. Q., Loianno, G. (2020). Towards design of a deformable propeller for drone safety. In 2020 3rd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft) 15 May -15 July 2020, 464-469s, New Haven, United States.
- Poliya, (2022). Fitil Sarma. <https://poliya.com/tr/fitil-sarma/> (Erişim Tarihi: 18.12.2022)
- Rajak, D. K., Pagar, D. D., Kumar, R., Pruncu, C. I. (2019). Recent progress of reinforcement materials: a comprehensive overview of composite materials. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6354-6374.
- Rajendran, P., Jayaprakash, A. (2022). Numerical performance analysis of a twin blade drone rotor propeller. Erişim Tarihi: 03.11.2022
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322067153>
- Raji, M., Abdellaoui, H., Essabir, H., Kakou, C. A., Bouhfid, R. (2019). Prediction of the cyclic durability of woven-hybrid composites. In *Durability and life prediction in biocomposites, fibre-reinforced composites and hybrid composites*, Woodhead Publishing, 27-62s, Duxford, United Kingdom.
- Rakesh, D., Kumar, N. A., Sivaguru, M., Keerthivaasan, K. V. R., Janaki, B. R., Raffik, R. (2021). Role of UAVs in Innovating Agriculture with Future Applications: A Review. In 2021 International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA). 08-09 October 2021, 1-6s, Coimbatore, India.
- Ramesh, M., Vijayanandh, R., Kumar, G. R., Mathaiyan, V., Jagadeeshwaran, P., Kumar, M. S. (2021). Comparative Structural Analysis of Various Composite Materials based Unmanned Aerial Vehicle's Propeller by using Advanced Methodologies. Erişim Tarihi: 24.09.2022.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1017/1/012032/pdf>
- Rehman, S., Mohandes, M. A., Hussein, A. E., Alhems, L. M., Al-Shaikhi, A. (2022). Cleaning of Photovoltaic Panels Utilizing the Downward Thrust of a Drone. *Energies*, 15(21), 8159, 1-14.

- Roboticsbiz, (2019). Seven Basis Components For Building A Drone. Erişim Tarihi: 19.10.2022 <https://roboticsbiz.com/seven-basis-components-for-building-a-drone/>
- Rotordronepro, (2017). Shake off Vibration Du, Bro Workshop Video Tip, Blade Balancing. Erişim Tarihi: 08.10.2022. <https://www.rotordronepro.com/shake-vibration-du-bro-workshop-video-tip-blade-balancing/>
- Rutkay, B., Laliberté, J. (2016). Design and manufacture of propellers for small unmanned aerial vehicles. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 4(4), 228-245.
- Sabino, H., Almeida, R. V., de Moraes, L. B., da Silva, W. P., Guerra, R., Malcher, C., Passos, F. G. (2022). A systematic literature review on the main factors for public acceptance of drones. Erişim Tarihi: 22.09.2022. <https://ideas.repec.org/a/eee/teinso/v71y2022ics0160791x2200238x.html>
- Sandhanshiv, R. D., Patel, D. M. (2020). Carbon Fibre Reinforced Composite Material: Review of Properties and Processing for various Metal Matrix Materials. Erişim Tarihi: 11.01.2022 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/810/1/012014/pdf>
- Scanavino, M., Avi, A., Vilardi, A., Guglieri, G. (2021). Unmanned Aircraft Systems Performance in a Climate-Controlled Laboratory. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 102(1), 1-16.
- Servo, (2016). The multi-rotor hobbyist — understanding and balancing propellers. Erişim Tarihi: 13.08.2022. https://www.servomagazine.com/magazine/article/December2016_MultiRotorHobbyist_Understanding-Balancing-Propellers
- Sezer  ., (2012). Malzemelerde  entik Darbe Deneyi Raporu. Erişim Tarihi: 23.12.2022 <https://www.sezercoban.com/malzemelerde-centik-darbe-deneyi-raporu/>

- SHIMADZU, (2022). ASTM D638 - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Erişim Tarihi: 13.12.2022.
<https://www.ssi.shimadzu.com/industries/automotive-materials-testing/plastics-polymers/astm-d638/index.html#:~:text=ASTM%20D638%20specifies%20methods%20for,or%2050%20mm%20gauge%20length.>
- Silo.tips, (2016). Plastik malzemelerin işlenme teknikleri.
<https://silo.tips/download/plastk-malzemelern-lenme-teknkler-4> (Erişim Tarihi: 15.12.2022)
- Skywell, (2022). Aramid Elyaf. <https://turkish.carbonfiberrawmaterial.com/sale-12521055-yellow-carbon-fiber-composite-materials-bulletproof-aramid-fabrics-1000d-200gsm.html> (Erişim Tarihi: 22.12.2022)
- Suasnews, (2019). The World's First ISO Approved Drone Safety Standards announced today. Erişim Tarihi: 13.12.2022. <https://www.suasnews.com/2019/12/the-worlds-first-iso-approved-drone-safety-standards-announced-today/>
- Suchat, S., Lanna, A., Chotikhun, A., Hiziroglu, S. (2020). Some Properties of Composite Drone Blades Made from Nanosilica Added Epoxidized Natural Rubber. *Polymers*, 12(6), 1293, 2-11.
- Suresh, S., Mortensen, A., Needleman, A. (2013). Fundamentals of metal-matrix composites. Elsevier, Butterworth Heinemann, 400s, Stoneham, USA.
- Suurnäkki, P., Tiihonen, M., Jokela, T. (2021). UAV Icing: Low Reynolds Number Drone Propeller Performance During Dynamic Icing Process. Erişim Tarihi: 18.08.2022 <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2021-2672>
- The Corona Wire, (2022). Drone Propellers Explained: Detailed Beginner's Guide To Drone Anatomy. Erişim Tarihi: 02.09.2022.
<https://www.thecoronawire.com/drone-propellers-explained-detailed-beginners-guide-to-drone-anatomy/>

- Turcanu, D., Nicola, I., Prisecaru, T., Predoi, C., Todirica, C., Ciobanu, M. C. (2015). The Influence of Carbon Fiber Propeller on the Brushless DC Motor Control. *Material Plastice*, 52, 525-528.
- Turkcadcam, (2022). Püskürtme (spray-up).
<http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index3.html> (Erişim Tarihi: 18.12.2022)
- TWI, (2022). What is injection moulding? – Definition, types and materials. Erişim Tarihi: 04.01.2023. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-injection-moulding>
- TYTO Robotics, (2022). Propeller Wind Tunnel Testing.
<https://www.tytorobotics.com/pages/propeller-wind-tunnel-testing> (Erişim Tarihi: 05.11.2022)
- Uslular Hadde, (2022). Metal matrisli kompozit malzemeler.
<https://uslularhadde.com/metal-matrisli-kompozit-malzemeler> (Erişim Tarihi: 21.12.2022)
- Ünsal Kompozit, (2021). Karbon Elyaf.
https://unsalkompozit.com/icerik?lang=tr_tr&blog=karbon-elyaf (Erişim Tarihi: 22.12.2022)
- Vergouw, B., Nagel, H., Bondt, G., Custers, B. (2016). Drone technology: Types, payloads, applications, frequency spectrum issues and future developments. In The future of drone use, 21-45s, TMC Asser Press, The Hague.
- Wall, D. (2012). Optimum propeller design for electric uavs, Graduate Faculty of Auburn University, Doctoral dissertation, 147s, Auburn, Alabama.
- Weick, F. E. (1925). Simplified propeller design for low-powered airplanes, Rapor No: NACA-TN-212, 1-18s.

- Xie, J., Zhu, L., Lee, H. M., Lee, H. P. (2021). Performance of Hybrid Composite Propellers for Drone. *Journal of Aerospace Engineering*, 34(4), 04021038.
- Yadav, S., Sharma, M., Borad, A. (2017). Thrust efficiency of drones (quadcopter) with different propellers and there payload capacity. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, 4(2), 18-23.
- Yıldız, R. (2019). Karbon Prepreg, Cam Prepreg ve Bazalt Elyaf ile Üretilmiş Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, İstanbul.
- You, K., Zhao, X., Zhao, S. Z., Faisal, M. (2020). Design and optimization of a high-altitude long endurance UAV propeller. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 9-11 July 2020, 1-6s, Kuala Lumpur, Malaysia.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Hasan Ali Çolakoğlu

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi/Makine Mühendisliği A.B.D.	2023
Lisans	Anadolu Üniversitesi/İşletme	2020
Lisans	Karabük Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2017
Lisans	Karabük Üniversitesi/ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2016
Lise	Mimar Kemal Lisesi	2011

Mesleki Deneyim

Yıl	Yer	Görev
2020 - Devam ediyor	Erkar Petrol	Proje Müdürü

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Çolakoğlu, H., Osman, A. (2022). Dron Pervanesinin Modellenmesi ve Bilgisayar Destekli Analizi, 10. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, 24-26 Aralık 2022, 971-975s, İstanbul, Türkiye.

- Çolakoğlu, H., Osman, A. (2022). Dron Pervanesinin Üretimi ve Mekaniksel Özelliklerinin Belirlenmesi, 10. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, 24-26 Aralık 2022, 976-979s, İstanbul, Türkiye.

