



İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI PERVANELERİNİN AKIŞ VE YAPISAL ANALİZ ÇALIŞMASI

Tayip TÜRK^{1,a*}, Metin UZUN^{1,b}

¹İskenderun Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi

^atayipturk.hubf20@iste.edu.tr, ORCID: 0009-0004-6758-4749

^bmetin.uzun@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0744-3491

ÖZET

Pervaneli uçaklarda kullanılan pervane palleri, havacılık endüstrisinde önemli bir rol oynamakta olup, bu bileşenlerin performansını ve dayanıklılığını değerlendirmek adına detaylı analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizler, akış ve yapısal özellikleri içermekte olup, Fluent yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve kapsamlı bir rapor ile belgelenmiştir. Akış analizi, pervanedeki hız ve basınç kontürlerini içermekte, ayrıca streamline ve hız vektörleri sonuçlarını detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu veriler, pervanenin aerodinamik performansını anlamak adına kritik öneme sahiptir. Fluent içerisinde yapılan analizlerde ise basınç kuvvetleri, yapısal analizin bir parçası olarak ele alınmıştır. Bu, pervane üzerindeki kuvvetlerin ve etkileşimlerin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Yapısal analiz kapsamında pervane üzerindeki toplam deformasyon, gerilim ve gerinim analizleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu analizler, malzeme dayanıklılığını, genel yapısal bütünlüğü ve potansiyel zayıf noktaları belirleme açısından büyük öneme sahiptir. Sonuç olarak, bu kapsamlı analizler, pervaneli uçaklarda kullanılan pervane pallerinin performansını optimize etmek, dayanıklılıklarını artırmak ve güvenilirliklerini sağlamak adına mühendislik çözümlerine yönlendirilmiş bir yaklaşım sunmaktadır. Bu rapor, havacılık endüstrisindeki teknolojik gelişmelere katkıda bulunan önemli bir mühendislik çalışmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Akış Analizi, Yapısal Analiz, Advence Ratio, Pervane.

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author)**

Geliş (Received): 23.01.2024

Atıf (Citation): TÜRK, T., UZUN, M., "İnsansız Hava Araçları Pervanelerinin Akış ve Yapısal Analiz Çalışması", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 6(2), ss. 80-92, 2024.

Kabul (Accepted): 23.07.2024

Yayın (Published): 31.12.2024

FLOW AND STRUCTURAL ANALYSIS STUDY OF UNMANNED AERIAL VEHICLE PROPELLER

ABSTRACT

Engine blades used in propeller-driven aircraft play an important role in the aviation industry and have been subjected to detailed analysis to evaluate the performance and durability of these components. These analyzes included flow and structural properties and were performed using Fluent software and documented in a comprehensive report. Flow analysis includes velocity and pressure contours in the propeller, and also reveals the results of streamline and velocity vectors in detail. These data are critical to understanding the aerodynamic performance of the propeller. In the analyzes performed within Fluent, pressure forces were considered as a part of the structural analysis. This contributes to the understanding of the forces and interactions on the propeller. Within the scope of structural analysis, total deformation, stress and strain analyzes on the propeller are discussed in detail. These analyzes are of great importance in determining material durability, overall structural integrity and potential weak points. As a result, these comprehensive analyzes provide a directed approach to engineering solutions to optimize the performance of engine blades used in propeller-driven aircraft, increase their durability and ensure their reliability. This report is an important engineering study that contributes to technological advances in the aviation industry.

Keywords:Fluent, Structural Analysis, Advance Ratio, Propeller.

1. GİRİŞ

Günümüzde havacılık endüstrisi, sürekli olarak gelişen teknoloji ve mühendislikle birlikte daha etkili ve verimli uçak tasarımları üzerinde çalışmaktadır. Pervaneli uçaklar, özellikle hafif uçaklardan ticari jetlere kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır [1-3]. Pervaneler, genellikle döner bir mili olan bir rotor etrafında dönerek hareket üretirler. Bu hareket, genellikle bir güç kaynağı tarafından sağlanır ve pervanenin yapılandırmasına ve tasarımına bağlı olarak çeşitli şekillerde kullanılabilir [4]. Pervaneler, çeşitli hava araçlarında önemli bir rol oynar. Uçaklar: Pervaneler, uçaklarda itme sağlamak için kullanılır. Jet motorları, pervane kullanmadan itiş üretirken, pervaneler genellikle pistonlu motorlu uçaklarda bulunur [5-6]. Bu pervaneler, motorun dönme hareketini dışarıya itişe dönüştürür. Helikopterler: Helikopterler, pervane rotorları aracılığıyla yükselme, alçalma, ileri gitme ve yanlamasına hareket etme yeteneğine

sahiptir. Ana rotor ve kuyruk rotoru olarak iki tip pervane bulunur. İHA'lar (İnsansız Hava Araçları): İnsansız hava araçları, pervaneler aracılığıyla uçuşlarını gerçekleştirirler. Bu pervaneler, uçağın kontrolünü ve manevra kabiliyetini sağlar. Planörler: Planörler, çoğunlukla çekici bir uçak tarafından çekilirken, bazı durumlarda pervanelerle de uçabilirler. Bu pervaneler genellikle yükselme ve yönlendirme için kullanılır. Rotor Kanatlı Uçaklar (VTOL ve STOL): Dikey kalkış ve iniş (VTOL) veya kısa kalkış ve iniş (STOL) yeteneklerine sahip hava araçları, pervane rotorlarını kullanarak dikey kalkış ve iniş yapabilirler. Bu tür uçaklar, helikoptere benzer şekilde pervanelerle kalkış ve iniş yapabilirler, ancak daha sonra sabit kanatlarıyla düz uçuşa geçerler. Sayısal ve deneysel olarak Pervanelerin birçok konuda literatür analizleri mevcuttur. Bunlar; Aerodinamik performans analizi, Yük analizi, termal analiz, Akustik analizler ve Optimizasyon çalışmalarıdır [7-9]. Pervanelerin verim analizinde, pervanenin enerji dönüşüm verimliliğini, itme veya taşıma kuvveti üretme kapasitesini belirli yakıt tüketimi altında sağlamanın oldukça önemlidir. Pervanenin aerodinamik profili, verimlilik üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Akışın pervane etrafındaki şekli, dönme etkisi, kavitasyon ve türbülans gibi faktörler pervanenin performansını belirler [10-13]. Pervanenin verimliliği, çeşitli hızlarda ve yükler altında değişebilir. Pervane verim eğrisi, farklı çalışma koşullarında pervanenin verimliliğini gösteren bir grafikdir. Bu eğri, pervanenin en iyi verimlilik seviyelerini ve kullanım aralığını belirlemeye yardımcı olur. Pervaneler için advance ratio, pervanenin performansını değerlendirmek ve optimize etmek için kullanılır [14-17]. İlerleme oranı, pervanenin ileri hızını pervanenin dönme hızına oranlayarak ifade edilir. Bu çalışmada literatüre katkı sunmak için farklı pervane çapı ve farklı ilerleme oranlarına sahip pervanelerin kullanım alanına göre aerodinamik performans analizi yapılmıştır.

$$APC=V/n*D$$

Denklem 1

Burada: V hava hızını, n pervane devir sayısını, D ise pervane çapını temsil eder.

Advance Ratio'nun değeri, pervane tasarımını ve performansını anlamak açısından önemlidir. Yüksek Advance Ratio değerleri, yüksek hızlı uçaklar için daha uygun olan pervane tasarımlarını gösterir. Düşük Advance Ratio değerleri ise düşük hızlarda daha etkili olan pervane tasarımlarını ifade eder [18-19].

Tablo 1.1. Sayısal Analizleri yapılan Farklı Pervane Özellikleri

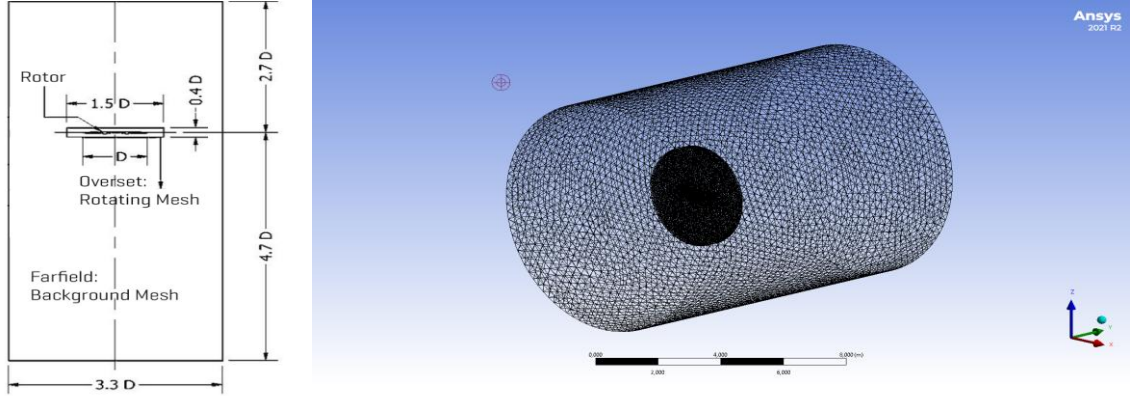
Hava Hızı	10 m/s	Hava Hızı	10 m/s
Devir Sayısı	200 dev/dk	Devir Sayısı	200 dev/dk
Pervane Çapı	0,25 m	Pervane Çapı	1,5 m
Advance Ratio	0,2	Advance Ratio	0,03
Pervane Profili	NACA 2415	Pervane Profili	NACA 2415

Advance Ratio'nun bu şekilde değişimi, pervane tasarımını ve performansını anlamak açısından önemlidir. Daha büyük çaplı pervaneler genellikle düşük hızlarda daha etkilidir, bu nedenle düşük Advance Ratio değerlerine sahiptir. Daha küçük çaplı pervaneler ise yüksek hızlarda daha etkili olabilir, bu da yüksek Advance Ratio değerlerine yol açar.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (CFD) teknolojisi, günümüzde karmaşık rotor aerodinamik simülasyonlarını başarıyla gerçekleştirebilmektedir. Bu teknoloji, havanın ve diğer akışkanların etkileşimini matematiksel modeller ve sayısal çözümleme yöntemleri kullanarak simüle eder. Ancak, etkili bir analiz yapabilmek için belirli adımların dikkatlice izlenmesi gerekmektedir. İlk adım, net ve doğru bir geometri oluşturmaktır. Pervane tasarımı, bu simülasyonların temelini oluşturur ve bu nedenle doğru bir şekilde modellenmelidir. Ayrıca, gelişmiş ağ yapısıyla uygun hesaplama alanını tanımlamak da önemlidir. Hesaplama alanının doğru belirlenmesi, sonuçların güvenilirliğini etkiler. Gelişmiş ağ yapısı, hesaplama alanını statik ve dönen alanlar olmak üzere iki ana bölüme ayırmayı içermelidir. Bu noktada, overset mesh tekniği devreye girer. Pervanenin geometrisini içeren dönen alan, sınırlardan yeterli boşluklarla birlikte silindirin merkezine yerleştirilir. Bu, simülasyonun doğruluğunu artırır. Ayrıca, en uygun hesaplama yönteminin belirlenmesi kritik bir adımdır. Doğru pervane simülasyonu elde etmek üzere silindirik bir tasarım, hesaplama algoritmasının temelini oluşturur. Bu algoritma, havanın akışını ve pervanenin etkileşimini doğru bir şekilde modellemek için tasarlanmıştır. Özellikle, overset mesh tekniği kullanılarak hesaplama alanı iki ana bölüme ayrılmıştır: statik ve dönen alanlar. Pervanenin geometrisini içeren dönen alan, sınırlardan yeterli boşluklarla birlikte silindirin merkezine yerleştirilmiştir. Ayrıca, uzak alan mesafesi, pervanenin akışını doğru bir şekilde simüle etmek için gerekli olan mesafeye ayarlanmıştır. Son olarak, hesaplama alanının boyutları dikkatlice belirlenmelidir. Bu boyutlar, simülasyonun doğruluğunu ve hesaplama

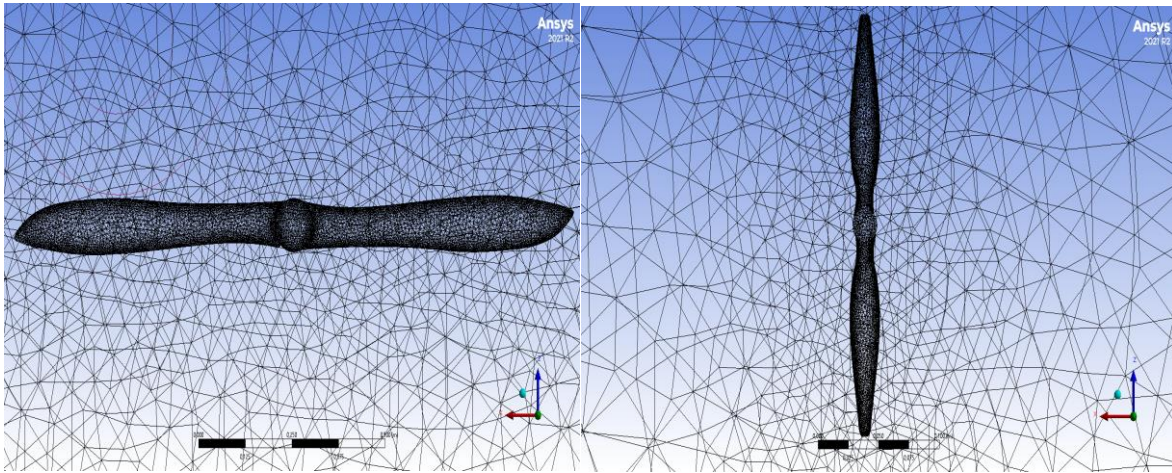
süresini optimize etme açısından önemlidir. Her bir adımın doğru bir şekilde takip edilmesi, hassas sonuçların elde edilmesini sağlar ve tasarım süreçlerini optimize etme potansiyelini artırır.



Şekil 2.1. Dış Akış Hacmi Görüntüsü ve Boyutlandırılması

Tablo 2.1. Mesh Eleman Özellikleri ve Sınır Koşulları

Ortalama Skewness	0,23564
Orthogonal Quality	0,76352
Mesh elemanı sayısı	847694



Şekil 2.2. Farklı Çaptaki Pervane Pallerini Mesh Görüntüleri

3.HESAPLAMA YÖNTEMİ VE SINIR KOŞULLARI

Akışkanlar dinamiği çalışmalarında, önceki araştırmalar benzer analiz koşulları altında en doğru sonuçların $k-\omega$, $k-\epsilon$ ve Spalart-Allmaras türbülans modellerinden elde edildiğini göstermiştir. K-omega modeli viskoz alt katmandaki akışı başarıyla simüle ederken, k-epsilon

modeli duvardan uzak akışları etkili bir şekilde modelleyebilir. Bu çalışmada, eğrilik düzeltmeli türbülans modeli olarak k- ω SST modeli kullanılmıştır [20-22]. Bu model, k-omega ve k-epsilon modellerini birleştiren, iki denklemlilik bir girdap-viskozite hibrit modelidir. Analizde incelenen pervanenin (200 dev/dk- 600 dev/dk- 1000 dev/dk) hızla döndüğü belirlenmiştir. Bu durumda akışın sıkıştırılmaz olduğu varsayılabilir. Analizin fiziksel parametreleri, hız girişi için uzak alan koşulları, basınç çıkışı için belirlenmiş tanımlamalar ve taşan dönen ağ bölgesi için çerçeve hareketi olarak dönme hızı tanımlamalarını içermektedir. Deniz seviyesi koşullarında, hava yoğunluğu, dinamik viskozite ve sıcaklık özellikleri de tanımlanmıştır.

Tablo 3.1. Sınır Koşulları

Türbülans Modeli	k- ω SST
Inlet Velocity	10 m/s
Outlet Pressure	0 Pa
Thermal	300 K
Operating Conditions	101325 Pa
Dönen Akış Hacmi	200 dev/dk- 600 dev/dk- 1000 dev/dk

Tablo 3.2. Farklı devirlerde pervanelerin parametre sonuçları

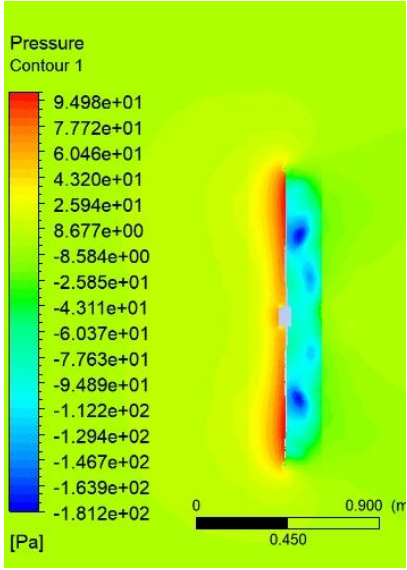
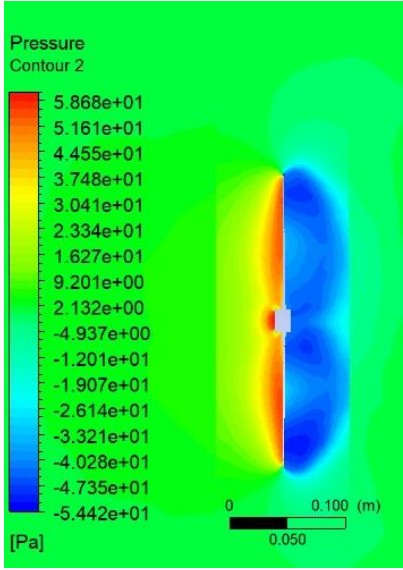
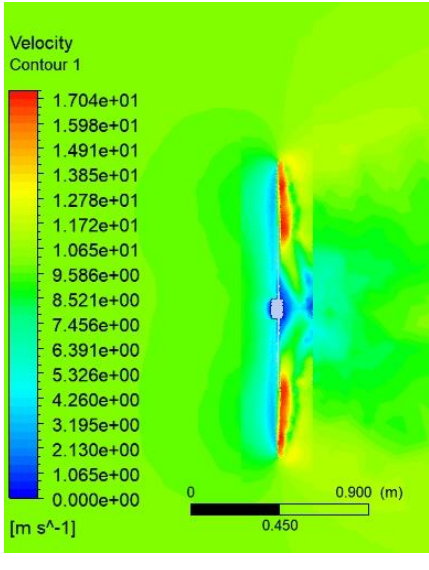
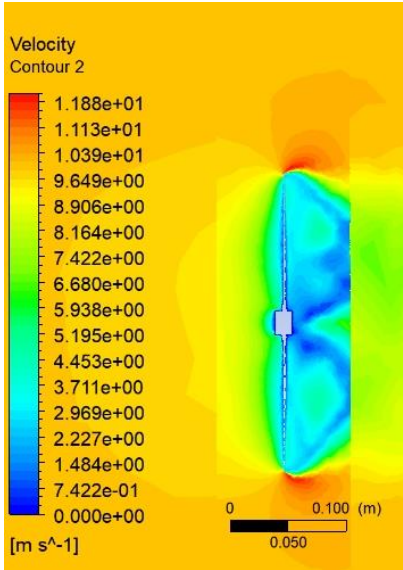
Devir Hızı	Forces (Newton)		Power (Watt)	
	Çap 1.5 m	Çap 0.25 m	Çap 1.5 m	Çap 0.25 m
200 Dev/dk	19.6 N	0.35 N	0.332 W	0.0156 W
600 dev/dk	90.05 N	0.38 N	0.4775 W	0.0529 W
1000 dev/dk	222.65 N	0.5 N	17.4 W	1.0372 W

Uzun çapa sahip pervaneler, daha geniş bir hava kütleini hareket ettirme yeteneğine sahiptir. Bu durum, uçağın ileriye doğru itilmesini sağlar ve bu sayede daha yüksek hızlara ulaşabilir. Ancak, uzun çapa aynı zamanda daha fazla dirençle karşılaşır, bu da daha fazla güç tüketimini gerektirir. Pervanenin ürettiği kuvvetin, enerji tüketimine göre dengeli olması, bir uçağın performansını belirleyen önemli bir unsurdur. Kısa çapa sahip pervaneler ise daha az güç

tüketebilir, ancak ürettikleri kuvvet miktarı sınırlıdır. Bu durum, düşük hızlı uçuşlar veya belirli uçuş koşulları için uygun olabilir. Ancak, genel uçuş performansı ve enerji verimliliği göz önünde bulundurulduğunda, uzun çapa sahip pervaneler daha avantajlı olabilir. En verimli pervane tasarımı belirlerken, üretilen kuvvetle tüketilen güç arasındaki dengeyi sağlamak önemlidir. Yüksek performanslı bir uçak tasarımında, bu dengeyi bulmak, hem hızlı hareket hem de enerji tasarrufu sağlamak açısından kritik bir unsurdur.

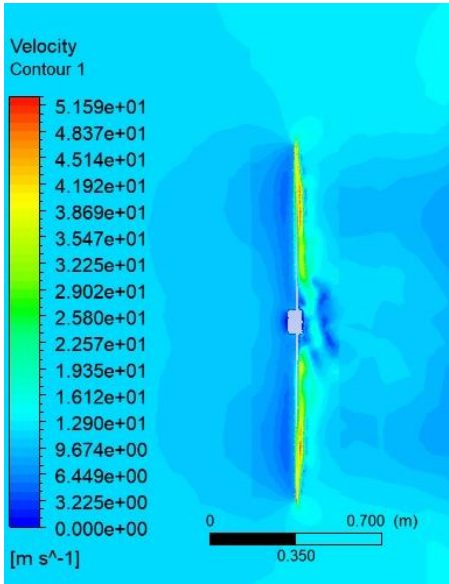
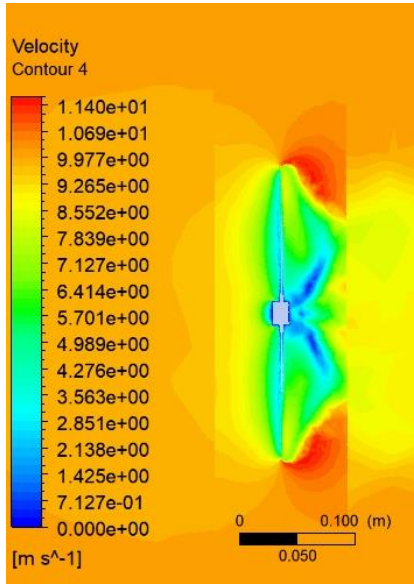
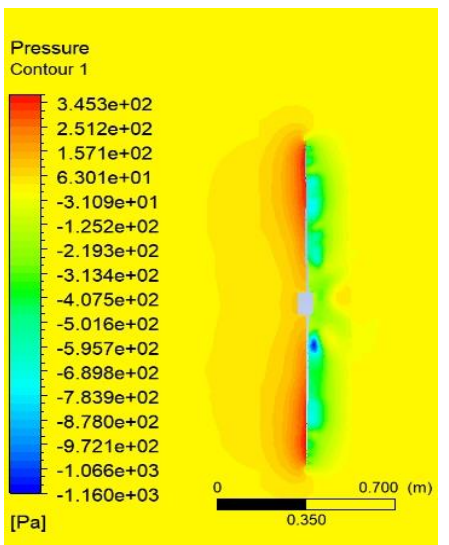
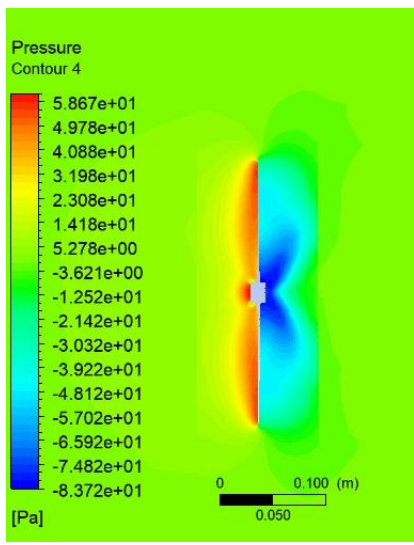
4.SONUÇ VE TARTIŞMA

Tablo 4.1. 200 dev/dk pervanelerin akışkan görüntüleri

	Çap 1.5 m	Çap 0.25 m
Basınç	 <p>Pressure Contour 1</p> <p>9.498e+01 7.772e+01 6.046e+01 4.320e+01 2.594e+01 8.677e+00 -8.584e+00 -2.585e+01 -4.311e+01 -6.037e+01 -7.763e+01 -9.489e+01 -1.122e+02 -1.294e+02 -1.467e+02 -1.639e+02 -1.812e+02</p> <p>[Pa]</p> <p>0 0.900 (m) 0.450</p>	 <p>Pressure Contour 2</p> <p>5.868e+01 5.161e+01 4.455e+01 3.748e+01 3.041e+01 2.334e+01 1.627e+01 9.201e+00 2.132e+00 -4.937e+00 -1.201e+01 -1.907e+01 -2.614e+01 -3.321e+01 -4.028e+01 -4.735e+01 -5.442e+01</p> <p>[Pa]</p> <p>0 0.100 (m) 0.050</p>
Hız	 <p>Velocity Contour 1</p> <p>1.704e+01 1.598e+01 1.491e+01 1.385e+01 1.278e+01 1.172e+01 1.065e+01 9.586e+00 8.521e+00 7.456e+00 6.391e+00 5.326e+00 4.260e+00 3.195e+00 2.130e+00 1.065e+00 0.000e+00</p> <p>[m s⁻¹]</p> <p>0 0.900 (m) 0.450</p>	 <p>Velocity Contour 2</p> <p>1.188e+01 1.113e+01 1.039e+01 9.649e+00 8.906e+00 8.164e+00 7.422e+00 6.680e+00 5.938e+00 5.195e+00 4.453e+00 3.711e+00 2.969e+00 2.227e+00 1.484e+00 7.422e-01 0.000e+00</p> <p>[m s⁻¹]</p> <p>0 0.100 (m) 0.050</p>

Tablo 4.1. de farklı pervanelerin 200 dev/dk döndürülmesi sonucu elde edilen hız ve basınç bilgileri verilmiştir. 0.25 m çapındaki pervane için basınç değeri $6.391e01$ pa olurken, 1.5 m çapındaki pervane için ise $1.681e02$ pa basınç oluşmuştur. Bunların birlikte pervaneler üzerinde oluşan hız bilgileri ise $1.212e01$ ve $1.740e01$ elde edilmiştir.

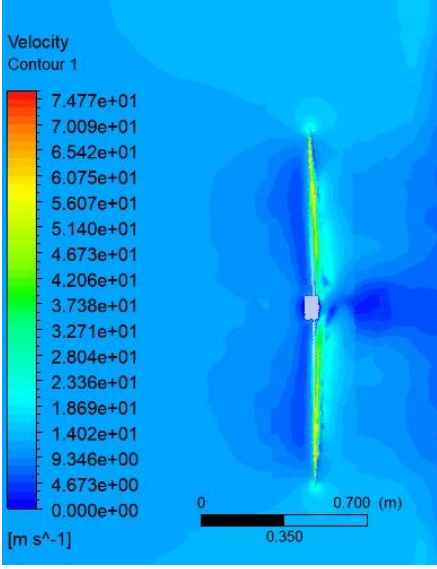
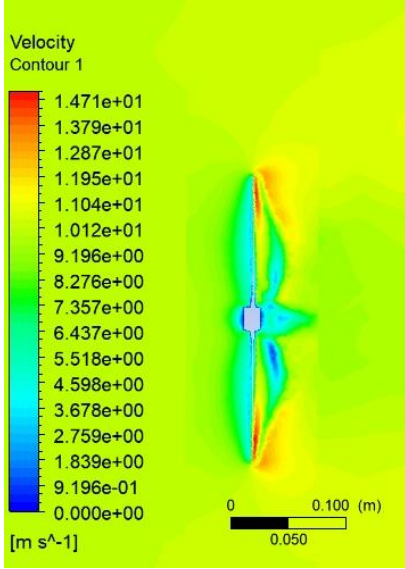
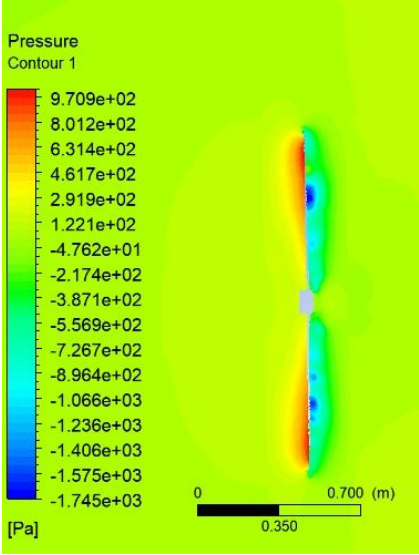
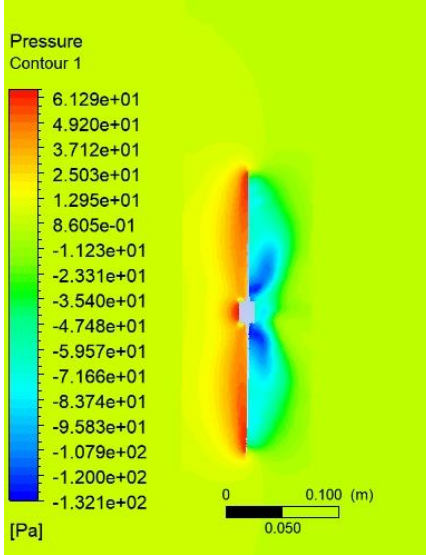
Tablo 4.2. 600 dev/dk pervanelerin akışkan görüntüleri

	Çap 1.5 m	Çap 0.25 m
Hız		
Basınç		

Tablo 4.2. de farklı pervanelerin 600 dev/dk döndürülmesi sonucu elde edilen hız ve basınç bilgileri verilmiştir. 0.25 m çapındaki pervane için basınç değeri $8.664e01$ pa olurken, 1.5 m

çapındaki pervane için ise $9.971e02$ pa basınç oluşmuştur. Bunlar birlikte pervaneler üzerinde oluşan hız bilgileri ise $1.124e01$ ve $5.267e01$ elde edilmiştir.

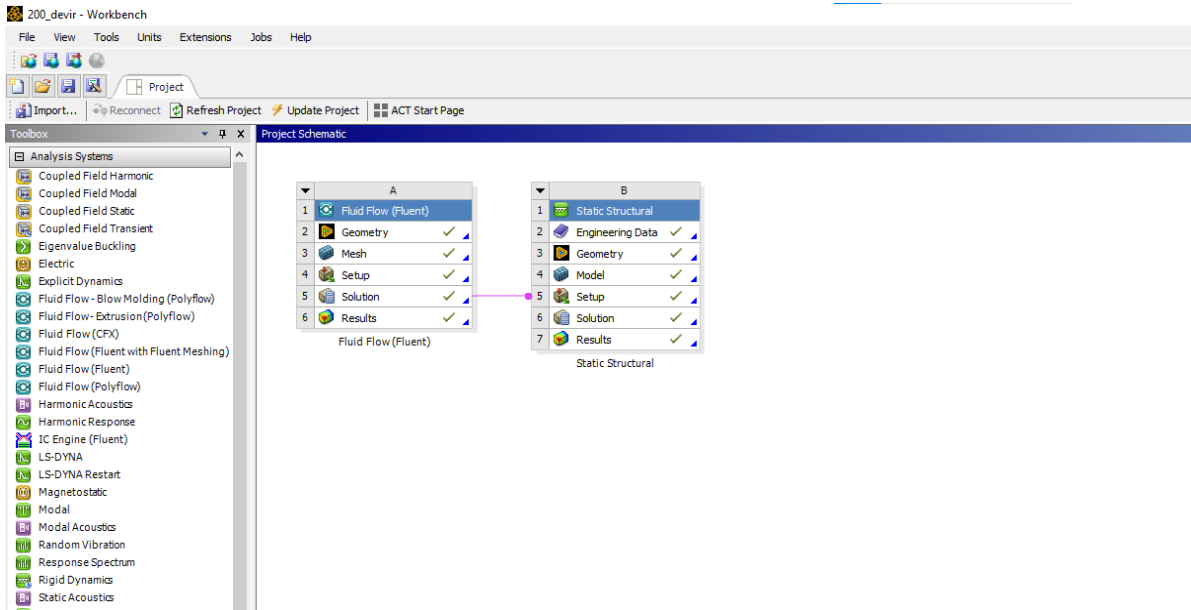
Tablo 4.3. 1000 dev/dk pervanelerin akışkan görüntüleri

	Çap 1.5 m	Çap 0.25 m
Hız		
Basınç		

Tablo 4.3 de farklı pervanelerin 600 dev/dk döndürülmesi sonucu elde edilen hız ve basınç bilgileri verilmiştir. 0.25 m çapındaki pervane için basınç değeri $1.463e02$ pa olurken, 1.5 m çapındaki pervane için ise $2.599e03$ pa basınç oluşmuştur. Bunlar birlikte pervaneler üzerinde oluşan hız bilgileri ise $1.502e01$ ve $7.632e01$ elde edilmiştir.

5. YAPISAL ANALİZ ÇALIŞMALARI

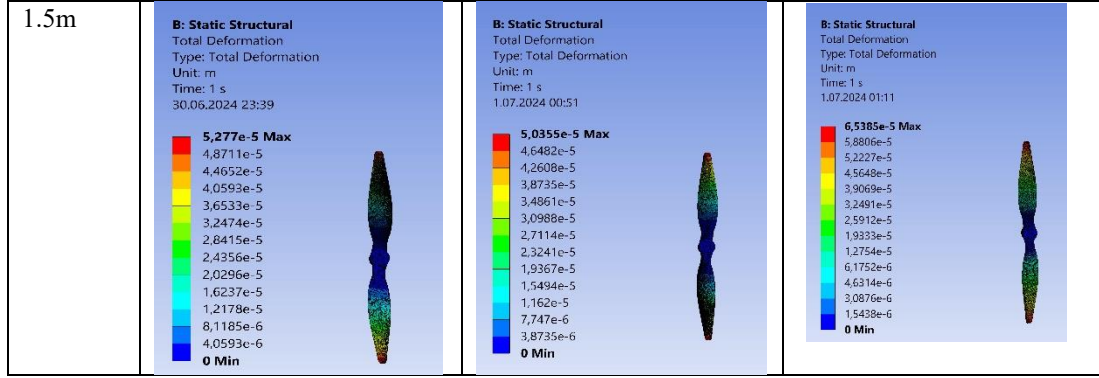
Elde ettiğimiz akış analizi sonuçları, yapısal analizde kullanılmak üzere kuvvetlere dönüştürülmüştür. Yapısal analiz çalışması kapsamında, akış sonucu nozula etki eden basınç kuvvet değeri kuvvet girdisi olarak tanımlanmıştır. Şekil 3 de görüldüğü gibi akışkan analizinin sonuç kısmı, yapısal analiz için girdisi olarak tanımlanmıştır. Burada belirli dönüş hızında döndürülen pervanelerden elde edilen parametre sonuçları ile yapısal analiz verileri birleştirilmiştir[6].



Şekil 5.1. Akışkan ve Yapısal Analiz Birleştirilmesi

Tablo 5.1. Farklı Devir Sayılarında Statik Analiz Verileri (Deformasyon)

Çap	Maksimum Deformasyon (mm)		
	200 Dev/dk	600 Dev/dk	1000 Dev/dk
0.25 m	<p>B: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: m Time: 1 s 1.07.2024 01:23</p> <p>0,00091594 Max 0,00084549 0,00077503 0,00070457 0,00063411 0,00056366 0,0004932 0,00042274 0,00035229 0,00028183 0,00021137 0,00014091 7,0457e-5 0 Min</p>	<p>B: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: m Time: 1 s 1.07.2024 01:36</p> <p>0,0048407 Max 0,0044684 0,004096 0,0037236 0,0033513 0,0029789 0,0026065 0,0022342 0,0018618 0,0014895 0,0011171 0,00074473 0,00037236 0 Min</p>	<p>B: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: m Time: 1 s 1.07.2024 01:53</p> <p>0,012663 Max 0,011689 0,010715 0,0097407 0,0087667 0,0077926 0,0068185 0,0058444 0,0048704 0,0038963 0,0029222 0,0019481 0,00097407 0 Min</p>



Tablo 5.1 de farklı pervanelerin belirli devirlerde elde edilen akışkan analizi sonucu verileri, statik analize aktarılmış ve elde edilen maksimum deformasyon verileri verilmiştir. 0.25 m çapındaki pervane için 200 dev/dk da $5.277e-5$ mm deformasyon gözlenirken, 0.5 m çapındaki pervane için $9.1633e-4$ mm oluşmuştur. Bununla birlikte 600dev/dk ve 1000 dev/dk gibi daha yüksek devirlerde özellikle pervane uçlarında daha yüksek deformasyonlar görülmüştür.

Tablo 5.2. Farklı Devir Sayılarında Statik Analiz Verileri (Ömür)

Çap	Maksimum Ömür (gün)		
	200 Dev/dk	600 Dev/dk	1000 Dev/dk
0.25 m	<p>B: Static Structural Life Type: Life 1.07.2024 01:24</p> <p>1,1574e+12 Max 1,1574e+12 Min</p>	<p>B: Static Structural Life Type: Life 1.07.2024 01:36</p> <p>1e8 Max 1e8 Min</p>	<p>B: Static Structural Life Type: Life 1.07.2024 01:54</p> <p>1,1574e+12 Max 1,1574e+12 Min</p>
1.5 m	<p>B: Static Structural Life Type: Life 30.06.2024 23:52</p> <p>2,7778e+13 Max 2,7778e+13 Min</p>	<p>B: Static Structural Life Type: Life 1.07.2024 00:52</p> <p>2,7778e+13 Max 2,7778e+13 Min</p>	<p>B: Static Structural Life Type: Life 1.07.2024 01:12</p> <p>1e8 Max 1e8 Min</p>

Tablo 5.2 da malzeme olarak alüminyum seçilen pervaneler için farklı devir sayılarında elde edilecek çalışma ömürleri hakkında detaylı veriler açıklanmıştır. Devir sayıları arttıkça malzeme ömrü giderek azalmaktadır. Örneğin 0.25 m çapındaki pervane 200 dev/dk da $2.7778e13$ elde ederken 1000 dev/dk da ise $1e8$ e düşmüştür.

6. SONUÇ

Yüksek devirde dönen pervaneler, havayı etkili bir şekilde sürükleyerek çeşitli endüstriyel ve taşımacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu yüksek devirlerdeki pervanelerin maruz kaldığı deformasyon olayları, pervanelerin performansını ve ömrünü etkileyebilecek önemli bir faktördür. Bu makalede, pervane tasarımındaki çeşitli faktörlerin deformasyon üzerindeki etkileri incelenmiş ve bu bağlamda önemli gözlemler elde edilmiştir. Öncelikle, yüksek devirlerde dönen pervanelerin deformasyon eğilimleri daha düşük devirde dönen pervanelere göre daha belirgin hale gelir. Bu durum, pervane malzemesinin maruz kaldığı yüklerin artmasıyla doğrudan ilişkilidir. Aynı devirde dönen pervanelerde ise, uzun çapa sahip olan pervanelerde kısa çapa sahip olanlara göre daha fazla deformasyon gözlemlenir. Bu durum, pervanenin uzunluğunun deformasyon üzerindeki etkilerini vurgular. Deformasyonun pervane ömrü üzerindeki etkileri de önemlidir. Daha fazla deformasyona maruz kalan pervaneler, ömür analizi sonuçlarında daha kısa bir ömür süresine sahip olacaktır. Bu durum, pervane tasarımında deformasyonu minimize etmenin, ömrü artırıcı bir faktör olduğunu göstermektedir. Aynı devirde dönen pervanelerin karşılaştırılmasında, uzun çapa sahip pervanelerin kısa çapa sahip pervanelere göre daha büyük gerilim ve elastik gerinim değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu, uzun çapa sahip pervanelerin malzeme mukavemet sınırlarını daha fazla zorladığını ve bu nedenle daha yüksek gerilimlere maruz kaldığını gösterir. Sonuç olarak, pervane tasarımında devir, çapa uzunluğu ve malzeme seçimi gibi faktörlerin deformasyon üzerinde belirleyici etkileri bulunmaktadır. Bu faktörlerin dikkate alınması, pervane performansını optimize etme ve ömrünü uzatma açısından önemlidir. Bu çalışma, yüksek devirde dönen pervanelerin deformasyon özelliklerini anlamak ve bu anlayışı tasarım iyileştirmelerine yönlendirmek adına önemli bir katkı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Oktay, T., & Eraslan, Y. (2020, June). Computational fluid dynamics (Cfd) investigation of a quadrotor UAV propeller. In International Conference on Energy, Environment and Storage of Energy (pp. 1-5).
- [2] Seenı, A. (2019). Aerodynamic Performance Characterization of Slotted Propeller: Part B Effect of Angle. INCAS Bulletin, 11(4), 155-170.
- [3] Zhang, B., Song, Z., Zhao, F., & Liu, C. (2022). Overview of propulsion systems for unmanned aerial vehicles. Energies, 15(2), 455. [4] Cummings, D. (1973). Numerical Prediction of Propeller Characteristics. Journal of Ship Research, 17, 12-18. <https://doi.org/10.5957/JSR.1973.17.1.12>.
- [5] Wald, Q. R. (2006). The aerodynamics of propellers. Progress in Aerospace Sciences, 42(2), 85-128. Fratello, G., Favier, D., & Maresca, C. (1988).

- [6]Fratello, G., Favier, D., & Maresca, C. (1991). Experimental and numerical study of the propeller/fixed wing interaction. *Journal of AIRCRAFT*, 28(6), 365-373.
- [7]Asnaghi, A., Svennberg, U., & Bensow, R. E. (2018). Numerical and experimental analysis of cavitation inception behaviour for high-skewed low-noise propellers. *Applied Ocean Research*, 79, 197-214.
- [8]Wang, L., Luo, W., & Li, M. (2022). Numerical investigation of a propeller operating under different inflow conditions. *Physics of Fluids*, 34(10).
- [9]Xu, H. Y., Ye, Z. Y., & Shi, A. M. (2012). Numerical study of propeller slipstream based on unstructured dynamic overset grids. *Journal of Aircraft*, 49(2), 384-389.
- [10]Morgado, J., Abdollahzadeh, M., Silvestre, M. A. R., & Páscoa, J. C. (2015). High altitude propeller design and analysis. *Aerospace Science and Technology*, 45, 398-407.
- [11]Xiang, S., Liu, Y. Q., Tong, G., Zhao, W. P., Tong, S. X., & Li, Y. D. (2018). An improved propeller design method for the electric aircraft. *Aerospace Science and Technology*, 78, 488-493.
- [12]Tang, E., & Chung, S. J. (2022). Rapid extraction of propeller geometry using photogrammetry. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 14, 17568293221132044.
- [13]Sawale, A., Archana, D., & Seshank, C. (2018, December). Design and analysis of propeller. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 455, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- [14]Gur, O., & Rosen, A. (2005). Propeller performance at low advance ratio. *Journal of aircraft*, 42(2), 435-441.
- [15]Laitone, E. V. (2000). Fixed-pitch propeller selection for light airplanes. *Journal of Aircraft*, 37(3), 390-395.
- [16]De Young, J. (1965). Propeller at high incidence. *Journal of Aircraft*, 2(3), 241-250.
- [17]Czyż, Z., Karpiński, P., Skiba, K., & Wendeker, M. (2021). Wind tunnel performance tests of the propellers with different pitch for the electric propulsion system. *Sensors*, 22(1), 2.
- [18]Cruzatty, C., Sarmiento, E., Valencia, E., & Cando, E. (2022). Design methodology of a UAV propeller implemented in monitoring activities. *Materials Today: Proceedings*, 49, 115-121.
- [19]Rajendran, P., & Jayaprakash, A. (2023). Numerical performance analysis of a twin blade drone rotor propeller. *Materials Today: Proceedings*, 80, 492-498.
- [20]Catalano, P., & Amato, M. (2003). An evaluation of RANS turbulence modelling for aerodynamic applications. *Aerospace science and Technology*, 7(7), 493-509.
- [21]Kwak, E. K., Lee, N. H., Lee, S. S., & Park, S. I. (2012). Performance evaluation of two-equation turbulence models for 3D wing-body configuration. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 13(3), 307-316.
- [22]Egorov, Y., & Menter, F. (2008, January). Development and application of SST-SAS turbulence model in the DESIDER project. In *Advances in Hybrid RANS-LES Modelling: Papers contributed to the 2007 Symposium of Hybrid RANS-LES Methods*, Corfu, Greece, 17-18 June 2007 (pp. 261-270). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.