

Uçak Kanatlarının Değişiminin Geçmişten Geleceğe İncelenmesi

Serhat YUDAR¹

¹ Makine Yüksek Mühendisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği,
serhatyudar@gmail.com, 05330476856

Geliş Tarihi/Received: 07.03.2023 Kabul Tarihi/Accepted: 29.08.2023 e-Yayın/e-Printed: 31.08.2023

DOI: 10.52995/jass.1261471

ORCID: 0000-0002-4192-8759

ÖZET

Uçma arzusunun gerçekleştirilmesi için tarih boyunca birçok bilim insanı çeşitli çalışmalar yapmıştır. Orta Çağ'da Abbas İbn Firnas, Leonardo Da Vinci, Hazerfen Ahmet Çelebi gibi isimlerden söz edilebilirken, Sanayi Devrimi döneminde George Cayley, Otto Lilienthal, Wright kardeşler gibi bilim insanları önemli rol oynamışlardır. Sanayi Devrimi sonrasında, uçaklar üzerinde temel bilgiler ve metodoloji oluştuğu için çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmalar, uçuş hızını artırmak, uçmanın maliyetini düşürmek ve uçakların performansı artırmak gibi hedefler üzerine odaklanmıştır. Günümüzde, mühendisler uçakların çeşitli özelliklerini geliştirmek için optimizasyon, aerodinamik, malzeme ve diğer alanlarda çalışmalar yapmaktadır. Bu süreçte, yapılan çalışmalarda uçak kanatları önemli bir yer tutmaktadır. Bu derleme, uçak kanatlarındaki değişimler ve gelişmeler hakkında Türkçe bir kaynak niteliği taşımakta olup özellikle son yıllarda gerçekleştirilen uçak kanatları ile ilgili makalelere yer verilmiştir. İlk olarak, uçak kanatlarının tarih boyunca geçirdiği değişimlerden bahsedilmekte ve daha sonra günümüzde yapılmakta olan veya gelecekte yapılması beklenen uçak kanadı çalışmaları hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yeni Nesil Uçak Kanatları, Uçak Kanadı, Kanat Tarihi, Uçak Kanadı Gelişimi, Modern Uçak Kanatları

A Study of the Change of Aircraft Wings from the Past to the Future

ABSTRACT

Throughout history, numerous scientists have pursued the realization of the desire for flight through various endeavors. In the Middle Ages, figures such as Abbas İbn Firnas, Leonardo Da Vinci, and Hazerfen Ahmet Çelebi can be mentioned, while during the Industrial Revolution era, scientists like George Cayley, Otto Lilienthal, and the Wright brothers played significant roles. Following the Industrial Revolution, with the establishment of fundamental knowledge and methodologies concerning aircraft, research in this field gained momentum. These endeavors were centered around objectives such as increasing flight speed, reducing the cost of aviation, and enhancing aircraft performance. In contemporary times, engineers engage in studies across optimization, aerodynamics, materials, and other domains to enhance various aspects of aircraft. In this process, aircraft wings occupy a paramount position, as they are critical components of flight. This compilation serves as a Turkish resource concerning alterations and advancements in aircraft wings, particularly incorporating articles related to aircraft wing innovations in recent years. Initially, a discussion ensues regarding the historical evolution of aircraft wings, followed by an exposition of ongoing and anticipated future aircraft wing research efforts.

Keywords: New Generation Aircraft Wings, Aircraft Wing, Wing History, Aircraft Wing Development, Modern Aircraft Wings

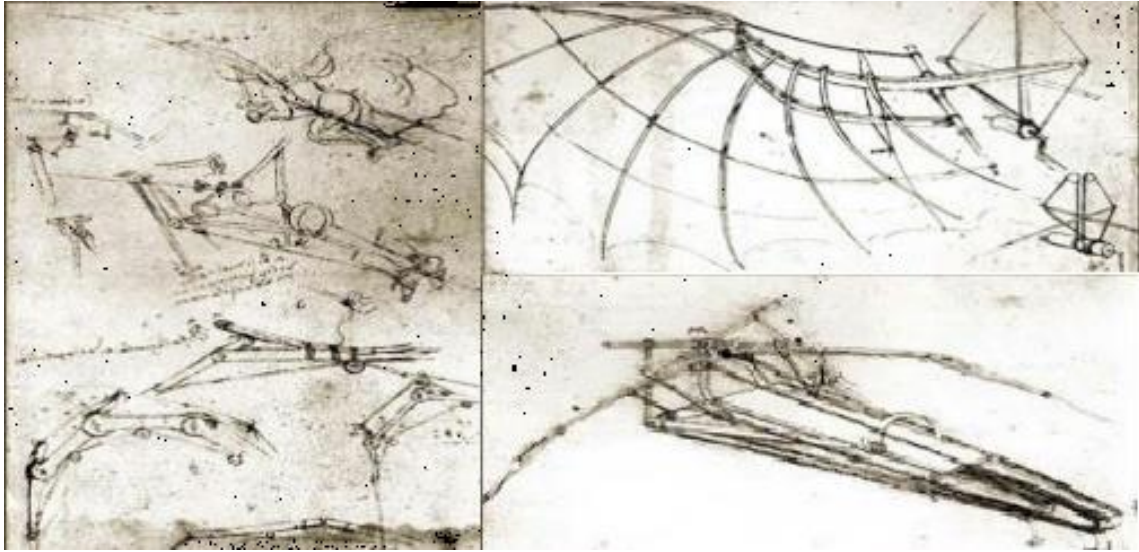
1. GİRİŞ

Uçma fikri ilk yazılı kaynak Antik Yunan medeniyetindeki Daedalus ve Icarus efsanesine dayanmakta olup uçma ile ilgili ilk çalışmalara ise Orta Çağ'da rastlanmaktadır. Orta Çağ'da gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda kuş tüyleri, kumaş ve tahta iskelet kullanarak kuş kanadına benzer bir yapı ile başarılı bir şekilde uçmayı Abbas Ibn Firnas başarmıştır (Kırbıyık, 1988; Koşagız, 2018).

Türk bilim adamı olan İsmail Cevheri ise kuşlardan ilham alarak birçok kanat tasarımı üzerine araştırmışlar yaparak deri ve çubukların birleşiminden imal etmiş olduğu bir çift kanatla, minarenden atlayarak başarısız bir deneme gerçekleştirmiştir (Kılıç, 1993).

15. yüzyılda önemli bilim insanları arasında yer alan Leonardo Da Vinci havacılık alanında da birçok çalışma gerçekleştirmiştir. Leonardo Da Vinci'nin tasarladığı uçuş araçları ve silahlar oldukça dikkat çekici olup özellikle Şekil 1'de gösterilen uçak modeli, günümüzde planör uçaklara oldukça benzerlik göstermektedir (Bernard, 2013; Anderson, 2016).

17. yüzyılda ise önemli bilim adamlarından Hezarfen Ahmet Çelebi havacılık üzerinde çalışmalar gerçekleştirmiştir. Hezarfen Ahmet Çelebi gerçekleştirmiş olduğu çalışmalar sonucunda elde ettiği özgün kanat modeli ile İstanbul Galata Kulesi'nden başarılı bir uçuş denemesi gerçekleştirmiştir (Kaçar, 1998).



Şekil 1. Leonardo Da Vinci Havacılığa Yönelik Örnek Tasarımları

Kaynak: Anderson, 2016:5.

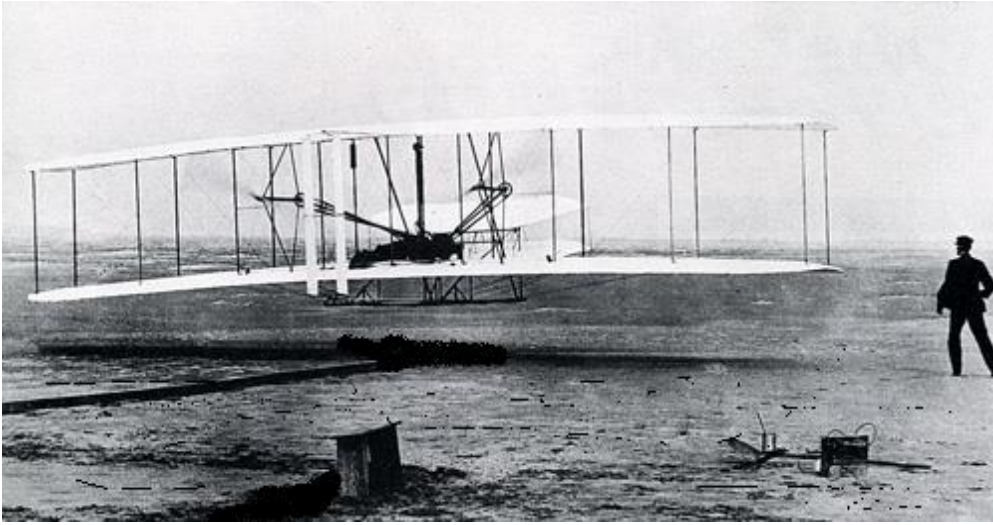
Sanayi Devrimi'nde havacılık sektörü özellikle Sör George Cayley'in Şekil 2'de görseli bulunan sabit kanatlı uçak fikriyle hızlı bir gelişme göstermiş ve sabit kanat kavramı, günümüzde kullanılan uçakların temellerini oluşturmuştur. 1853 yılında, George Cayley çalışmalarının sonuçlarını görebilmek amacıyla bir planör tasarlamış ve tasarladığı planör ile tarihteki ilk planör uçuşunu gerçekleştirmiştir (Anderson, 2016; Keskin ve Kuşhan, 2020).



Şekil 2. Sör George CAYLEY'in Sabit Kanatlı Uçak Kavramı

Kaynak: Anderson, 2016: 6.

Alman mühendis Otto Lilienthal planör üzerinde çeşitli kanat profilleri ve uçuş kontrolü çalışmaları gerçekleştirmiştir. Otto Lilienthal'in çalışmalarının yol göstericiliğinde yapılan çalışmalar sonucunda Wright Kardeşler, Wright 1 uçağını geliştirmiş (Şekil 3) böylece ilk motorlu ve yönlendirilebilir uçuş başarılı olarak tarihe geçmiştir (Anderson, 2016; Minami, 2019; Keskin ve Kuşhan, 2020).



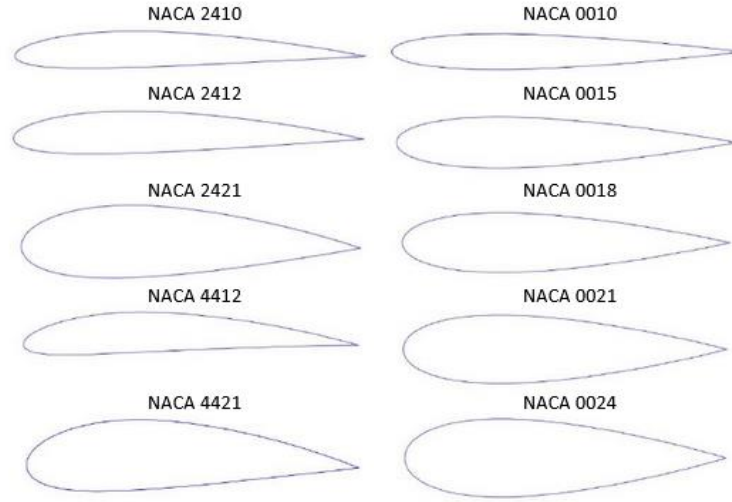
Şekil 3. Wright Kardeşlerin Tasarladıkları Wright 1 Uçağının Görünümü

Kaynak: Minami, 2019: 2.

Wright 1'in başarılı uçuşu sonrasında sırasıyla Wright 2 ve Wright 3 isimli uçaklar geliştirip başarılı uçuşlar gerçekleştirmişlerdir. Wright uçaklarının kanadı ile gövdesi en hafif ve kolay işlenen ahşap malzemeden imal edilmiş olup kanat profilleri oldukça basit düzeydedir. Basit kanat profili uçakların kontrol edilebilirliği sağlamada yeterli olup, performans ve verimlilik açısından sınırlamalar bulunmaktadır (Anderson, 2016; Loutun vd., 2021).

1930'larda ABD Ulusal Havacılık Danışma Komitesi (NACA) uçakların performansını arttırmak ve sürüklenme katsayısı azaltmak için deneysel ve teorik yaklaşımlarla geliştirilen bazı NACA kanat profilleri

Şekil 4'te gösterilmiştir. Ortaya çıkan kanat profillerinin 2. Dünya Savaşı'nda savaş uçaklarının performanslarını büyük ölçüde arttırdığı görülmüştür (Anderson, 2016; Loutun vd., 2021).



Şekil 4. NACA Kanat Profili Örnekleri

Kaynak: Loutun vd., 2021: 42.

İlk geliştirilen NACA kanat profilleri, subsonik hızlarda uçan uçaklara uygun tasarlanmış olup yüksek hızda uçuşlarda etkin performans sergileyememiştir. Yüksek hızlarda oluşan şok dalgalarının yönetilmesi ve süpersonik hızlardaki aerodinamik zorlukların üstesinden gelinmesi amacıyla aerodinamik çalışmalar gerçekleştirilerek uygun kanat profilleri elde edilmiştir. Günümüzde esnek ve uyarlanabilir kanat profilleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Esnek kanat profilleri sayesinde yüksek hızlı uçuşlarda profil şekil değiştirdiğinden dolayı aerodinamik performansın iyileştiği gözlenmiştir (Nguyen, 2014; Anderson, 2016).

Uçakların manevra kabiliyetlerini arttırabilmek amacıyla da çeşitli kanat yapıları geliştirilmiştir. Uçağın yanal ekseninde dönüş yapabilmesi amacıyla aileron yapısı Robert Esnault Pelterie tarafından tasarlanmış ve ilk kez 1903 yılında Wright 1 uçağında başarıyla kullanılmıştır. 1909 yılında kanat yapısında elevator tasarımı geliştirilmiş ve Wright Kardeşler tarafından uçağın yükseklik kontrolünü sağlayabilmek amacıyla kullanılmıştır. 1917 yılında ise uçakların kanat profillerini değiştirerek kalkış, iniş ve düşük hızlarda aerodinamik performansı arttırması amacıyla Hugh Dehavilland tarafından slap yapısı geliştirilmiş ve slap yapısı sayesinde uçakların iniş kalkış mesafesi kısalmıştır. 1921 yılında ise Handley Page tarafından uçuş performansını arttırarak, iniş kalkış mesafesini kısaltmak amacıyla flap yapısı geliştirilmiştir. 1930'larda ise kanat yapılarında metal alaşımların kullanılmasıyla birlikte içi boş kanat yapılarının dayanıklılığını arttırmak amacıyla rib, stringer ve spar iç yapıları geliştirilmiştir (Kumar vd., 2013; Anderson, 2016; Budarapu, 2016).

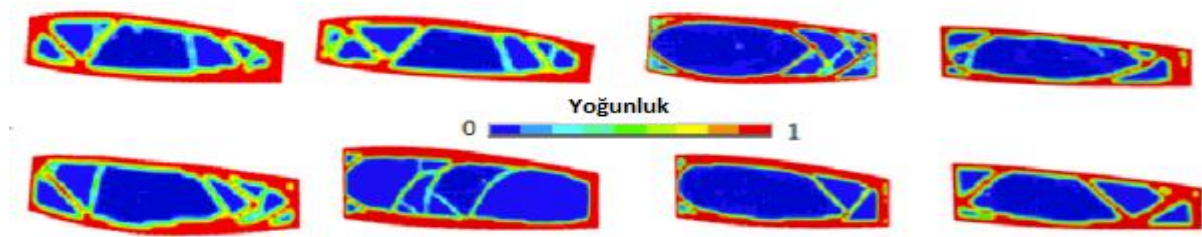
Metal işleme teknolojisinde oluşan gelişmeler ile uçak kanatlarında, streslere karşı dayanıksız olan ahşap yerine metal kullanılmaya başlanmıştır. Metal malzemeler içerisinde en çok alüminyum kullanılmıştır.

Günümüzde ise gelişen teknoloji ile metal malzemeler yerini kompozit malzemelere bırakmaya başlamıştır (Anderson, 2016; Duchene, 2020).

Bu çalışmada, günümüzde kullanılan uçakların kanatları, iç yapıları ve uçaklarda kullanılan malzeme çeşitleri ile hafifletme için kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. IATA'nın (Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği) yayınlamış olduğu yol haritasına ve araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalara göre gelecekte olması öngörülen uçak kanatlarının nasıl olacağı, uçaklarda kullanılacak olan malzemeler, yakıt türleri ve uçak konstrüksiyonları hakkında bilgiler verilmiştir.

2. MODERN UÇAK KANATLARI

Son yıllarda uçuş maliyetini azaltmak için yakıt tasarrufu, bilgisayar yazılımları ve kullanılan malzemeler üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Uçaklarda yakıt tasarrufu sağlamak için en bilinen yöntem hafifletme olup Airbus ve Boeing gibi firmalar uçakları hafifletme amacıyla optimizasyon, kompozit malzeme ve aerodinamik çalışmalara yoğunlaşmıştır. Optimizasyon çalışmaları ile uçak kanatlarının stres gibi etmenlere dayanacak minimum et kalınlığı ve boşalma yerleri belirlenmesinde kullanılmıştır (Kaya vd., 2019). Yapılmış bir optimizasyon çalışması Şekil 5'te gösterilmekte olup çalışmalar sonucunda %0,03-5 arasında yakıt tasarrufu sağlandığı görülmektedir (Economon vd., 2011; Holly vd., 2015; Arsenyeva ve Duddeck, 2015).



Şekil 5. Kanat İçerisinde Bulunan Rib Yapısına Yapılan Topoloji Optimizasyonu Çalışması

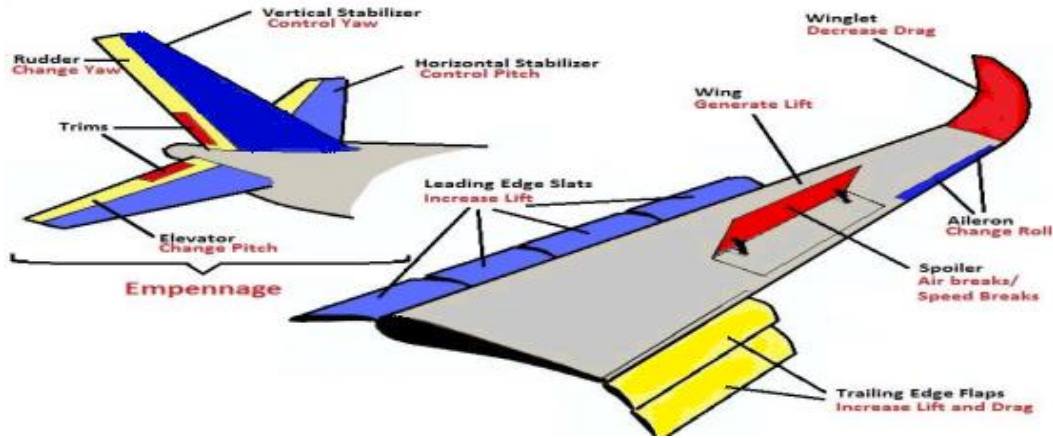
Kaynak: Arsenyeva ve Duddeck, 2015: 4.

Modern uçaklarda metal alaşımlı malzemelerin kullanılmasıyla beraber ortaya çıkan rib, stringer, spar yapısal komponentler üzerinde günümüzde ağırlık hafifletme çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle rib yapısı üzerinde yapılan hafifletme çalışmaları sayesinde kanat üzerinde %25-30 arasında, uçakların toplam ağırlığında %10-15 hafifleme sağlamıştır. Günümüzde topoloji optimizasyonu ve eklemeli imalat teknolojilerinin gelişmesiyle beraber ağırlık hafifletilmesi üzerine çalışmalar artmaktadır (Schuhmacher vd., 2002; Rinku ve Ananthasuresh, 2015; Holly vd., 2015; Kaya vd., 2019).

Metal ve alaşımları yerine günümüzde daha dayanıklı ve ucuz kompozit malzemeler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. İlk olarak kanat kısmında başlayan kompozit kullanımı günümüzde gövde, motor gibi birçok uçak parçasında da tercih edilmektedir. Hafifletme amacıyla kompozit malzemelerde cam elyaf ve karbon fiber katkılı polimer kompozitler oldukça fazla kullanılmaktadır. Cam elyaf ve karbon fiber katkılı polimer kompozit malzemeler Airbus A350 XWB uçağında %53 oranında kullanılarak %40 ağırlık hafifletilmesi sağlanmıştır. Boeing 787 uçağında kullanılan karbon fiber ve cam elyaf katkılı kompozit

malzeme miktarı %50 civarında olup kompozit malzemelerin kullanım miktarının artmasıyla uçakta %42'ye varan hafifletme sağlanmıştır Yapılan çalışmalar neticesinde uçaklarda kullanılan kompozit malzemeler ile hafifletme, dayanım/ağırlık oranında artış sağlanmaktadır (Mrazova, 2013; Bachmann vd., 2017; Kesarwani, 2017; Kuşhan vd., 2019).

Kanat üzerine yapılan aerodinamik çalışmalar ile kanadın taşıma kuvvetinin artırılması, hava tarafından oluşan bozunum azaltılarak uçağın geçişinin daha pürüzsüz ve daha verimli hale getirilmiştir. Aerodinamik çalışmalar sonucunda winglet adı verilen ve kalkış sonrası oluşan girdap dalgalarını azaltılması sağlayan bir yapı bulunmuştur. Bunu sağlayan yapı genellikle kanatların uçlarında yukarıya doğru çıkan küçük uzantı biçiminde (winglet) bulunmaktadır. Winglet, Boeing 767 model uçağına uyarlandığında yakıt tüketiminde %4-5 dolaylarında bir tasarruf sağladığı gözlemlenmiştir (Kuşhan vd., 2019). Winglet dışında uçak kanadının kanat yüzeyindeki akışı kontrol ederek taşıma kuvvetini arttırmakta ve uçağın kontrolünün daha kolay sağlanması amacıyla, flap, slat ve aileron gibi yapılar kullanılmıştır. Aerodinamik çalışmaların sonucu çıkan kanat yapıları Şekil 6'da detaylı olarak gösterilmektedir (Schuhmacher vd., 2002; Holly vd., 2015; Anderson; 2016)



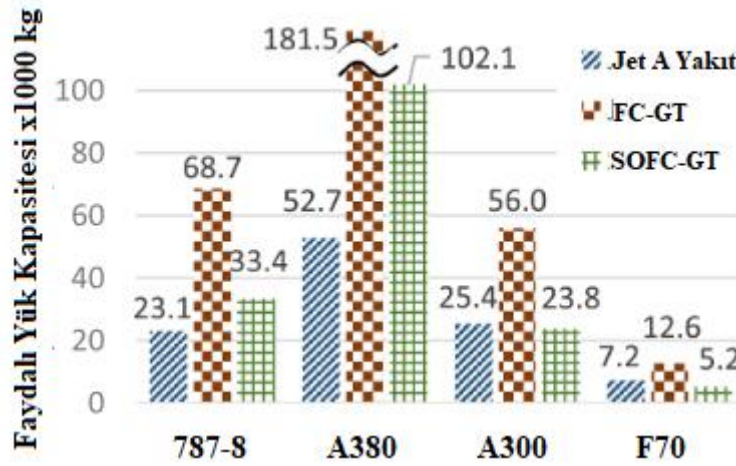
Şekil 6. Kanatlardaki Aerodinamik Yapılar

Kaynak: Lisitsin, 2020

Modern uçaklarda elektrik enerjisi kullanılmaya başlanmasıyla uçaklarda faydalı yük miktarı artmaktadır. Airbus A300, Airbus A380, Boeing 787-8, Fokker F70 uçaklarının JetA yakıtının, FC-GT (Sıvı yakıt hücreli gaz türbini) ve SOFC-GT (Katı oksit yakıt hücreli gaz türbini) batarya kullanılarak gerçekleştirilen karşılaşmalar sonucu elde edilen faydalı yükler Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü üzere gaz türbinlerinin yakıt hücreleriyle entegrasyonu sonrasında uçaklarda %50'den fazla faydalı yük artışı sağlanmaktadır. Pillerin ve yakıtın verimlilikleri ve enerji yoğunlukları Tablo 1'de belirtildiği üzere yakıt pillerinin diğer yakıt türlerine göre daha verimliliği olduğu görülmüştür. Sıvı yakıt pilinin enerji yoğunluğu JetA yakıtına oranla düşük olduğu görülmesine rağmen yakıt pillerinin hafifliği kullanımda ön plana çıkarmıştır. Yakıt pillerinin kullanılmasıyla gerekli yakıt ağırlığının %70 oranda azaldığı görülmüştür. (Collins ve McLarty, 2020).

Tablo 1: Uçaklara Göre Yakıt Türlerinin Verimlilik ve Enerji Yoğunluklarının Karşılaştırılması (Collins ve McLarty, 2020)

Uçak		787-8	A380	A300	F70
Verimlilik (%)	JetA	%51	%49.2	%42	%29.6
	SOFC	%51	%49.2	%42	%29.6
	FC-GT	%67	%67.1	%65.4	%65.7
Enerji Yoğunluğu (kWhkg ⁻¹)	JetA	9.51	9.81	9.23	7.78
	SOFC	16.9	17.9	16.1	12.1
	FC-GT	8.58	7.4	6.28	3.31



Şekil 7. Kullanılan Yakıt Türüne Göre Çeşitli Uçaklarda Sağlanan Faydah Yük Miktarları

Kaynak: Collins ve McLarty, 2020: 8.

3. YENİ NESİL UÇAK KANATLARI

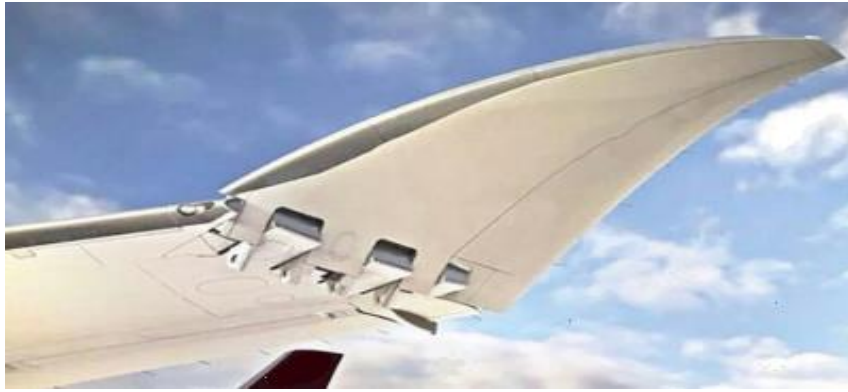
Çeşitli firmalar ve kuruluşlar uçaklarda yakıt tüketimini ve uçağın ağırlığını azaltmak amacıyla birlikte yolcu sayısı ve yük miktarlarını arttırmak için birçok araştırma gerçekleştirmektedir. Bu kapsamda kanatlar üzerinde yapılacak veya düşünce aşamasında olan yeni araştırmalar ve projeler askeri ve sivil amaçlı çalışmalar olarak iki kısma ayrılmaktadır.

3.1. Ticari Uçak Kanatları

Ticari uçaklarda gerçekleştirilen kanat çalışmaları genellikle, yolcu sayısı arttırmak, yakıt tasarrufu ve takat süresini arttırmaya yönelik çalışmalardır. Bu amaçları gerçekleştirebilmek amacıyla sivil havacılık firmaları tarafından çeşitli kanat yapıları ortaya çıkartılmaktadır. Katlanabilir kanat, kutu kanat, destekli kanat, C-Wing, elektrikli uçaklar günümüzde popüler olan çalışma konularındır.

Yeni nesil katlanabilir kanat teknolojisi üzerinde yapılan çalışmalarda uçak ağırlığı artmasına rağmen aynı yakıt miktarıyla, takat değeri %70 ve taşıma/sürüklenme (L/D) değeri %60 oranında artış sağlandığı gözlenmiştir. Bu sayede uçak performansında ciddi iyileştirmeler olduğu rahatlıkla belirtilebilir (Xiaopeng ve Haixin, 2015).

Boeing firmasının 3. nesil 777 serisi uçakları kanat genişliği nedeniyle standart terminallere sığmadığından, uçağın terminallere sığabilmesi için Boeing firması kanatlanabilir kanat teknolojisi üzerinde çalışmaktadır. Yeni kanat teknolojisi kanadın uç kısmında olacak biçimde şekil 8'deki gibi tasarlanmıştır. Katlanabilir kanatlarla 3. nesil 777 serisi uçağın hangarlara sığmasının yanı sıra bu yapı sayesinde kanat uçlarında oluşan türbülansları ve girdapları azaltarak yakıt tüketim oranını düşürmek hedeflenmiştir. Kanat genişliği sayesinde taşıma kuvveti artacağından uçağın daha kolay havalanması sağlanmıştır. Böylece havalandığında kanat genişliği sayesinde uçak daha kolay manevra imkanına sahip olmuştur. Boeing 777x katlanabilir kanat teknolojisi sayesinde uçak ağırlığında %1 artış sağlanırken, sürüklenme katsayısında (C_D) yaklaşık %10 azalma ve yakıt tüketim miktarında ise %10'a varan azalmanın olduğu görülmüştür (Kuşhan vd., 2019; Gill, 2022; Kretov ve Tiniakov, 2022; Bodell, 2023).



Şekil 8. Boeing 777x Katlanabilir Kanat Yapısı

Kaynak: Kuşhan vd., 2019:16.

Airbus ise katlanabilir kanat teknolojisine benzer bir teknoloji üzerinde çalışmalar yapmıştır. Airbus yetkilileri fıkri albatros kuşlarından esinlenerek tasarladıklarını belirtmişlerdir. Yaptıkları sistemi Albatros One (Şekil 9) adı verilen bir insansız hava aracı üzerine yerleştirerek test etmişlerdir. Kanat tasarımı yarı-elastik menteşeler sayesinde kanat uçlarının aynı albatros kuşunda olduğu gibi hareket etmesini sağlaması amaçlanmıştır (Airbus, 2019; Airbus, 2019). Albatros çalışmasında, katlanabilir kanat teknolojisindeki gibi kanat açıklığı arttığı için kalkış esnasında taşıma kuvveti artmaktadır. Havalandığında ise katlanabilir kanat teknolojisinden farklı olarak, kanat uçlarında oluşan türbülansları ve girdapları azaltmak için seyir esnasında hareket etmektedir. Hava akımının değişime göre kanat ucu otomatik hareket ederek sürtünmeyi azaltmaya çalışmaktadır. Bu sayede uçakta yakıt tasarrufu sağlanacağı belirtilmektedir (Airbus, 2019; Airbus, 2019).



Şekil 9. Albatros One ve Kanat Uç Tasarımı

Kaynak: Airbus, 2019.

Boeing, Airbus ve NASA katlanabilir kanatların katlanma kısmını kanadın tam ortasına yakın bir yerden katlayarak açıldığı zaman daha uzun kanat yapısına sahip olan uçaklar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Kanadın uzamasından dolayı oluşacak gerilmeler ise destek yapısı sayesinde giderilecektir. Kanat yapısının uzamasıyla daha fazla taşıma kuvveti oluşacak ve yakıt tasarrufu sağlanacaktır. Kanat yapısının uzun olmasının diğer faydası motor boyutlarının küçülmesidir. Kanat tasarımında düşünülen diğer iyileştirme ise kanat profilinin inceleştirilerek uçak aerodinamiğini iyileştirmektir. Böylece yapılan iyileştirmeler ile uçak daha hafif olup yakıt maliyeti de azalacaktır. Boeing ve NASA'nın beraber yapmış olduğu ve transonik makas kanatlı uçak adı verilen tasarım Şekil 10'da gösterilmektedir. IATA (2019)'nın yayınlamış olduğu bildiriye göre kanat yapısının bu haliyle %29 daha az yakıt tüketimi sağlayacağını belirtmektedir. Çalışmalar şu anda deneme olup tasarlanan kanat modelinin en erken 2035-2040 yılları arasında kullanılmaya başlanması hedeflenmektedir (Livne ve Nelson, 2012; Wood, 2017; IATA, 2019; IATA, 2019; Howard, 2019).



Şekil 10. NASA/Boeing Destekli Katlanabilir Uçak Kanadı

Kaynak: Howard, 2019.

Katlanabilir kanat üzerinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmesine rağmen FAA (Federal Aviation Administration) katlanabilir kanat yapısını oldukça tehlikeli gördüğünden dolayı bu kanat yapısı hakkında firmalardan fazladan güvenceler istemektedir. FAA tarafından kanatların havadayken katlanması veya doğru pozisyondan sapması durumlarının felakete yol açabileceğini düşünülmektedir (Norris ve Flottau, 2023).

Uçak kanat yapısı ile ilgili başka bir çalışma ise 1924 yılında Ludwig Prandtl tarafından önerilen box-wing (kutu kanat) konstrüksiyonudur. Prandtl'in yapmış olduğu öneriye göre, farklı yerlere yerleştirilen, iki adet benzer yatay kanatların uçları birleştirilerek kanatlardan bir kare yani kutu elde edilmektedir. Kanatlardan biri gövde tarafında diğeri ise kuyruk kısmında ve ters olacak şekilde tasarlanmıştır. Önerilen konstrüksiyon (Şekil 11) sayesinde kanat genişliği artması ile kanattaki taşıma kuvveti artıp uçağın geleneksel olmayan kanat yapısından dolayı oluşan sürüklenme kuvvetleri azalacağından yakıt tasarrufu sağlaması öngörülmektedir. Pisa Üniversitesi tarafından yürütülen araştırma projesi olan Parsifal ile kutu kanat konstrüksiyona sahip bir uçak üretimi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Üretilmek istenen uçağın Airbus A320 veya Boeing B737 ile aynı kanat açıklığına bir uçak olacağı belirtilmiştir. Uçağın hedef olarak Airbus A330 veya Boeing 767 gibi büyük kategorideki hava araçları ile aynı kapasitede olacağı ve daha az yakıt tüketeceği belirtilmiştir (Parsifal, 2017; IATA, 2019; IATA, 2019; Parsifal, 2020). Kutu kanat yapısında uçak ağırlığında (OEM) yaklaşık %10 artış sağlanırken, takat değeri aynı kalmakta, yakıt/yük oranında %15 oranında bir azalma, kalkış mesafesinde %20 azalma ve iniş mesafesinde %10 azalma olduğu belirlenmiştir (Jemitola ve Fielding, 2012).



Şekil 11. Kutu Kanat Konstrüksiyonunun Görünümü

Kaynak: Parsifal, 2017.

Günümüzde kullanımı artmış olan elektrik enerjisi ile çalışan araba konsepti, uçaklar içinde kullanılması gündemdedir. Uçakların elektrik enerjisine geçme sebepleri, elektrik enerjisinin fosil yakıtlara göre daha ucuz olmasıdır. Avrupa Komisyonu tarafından 2006 yılında uçakların küresel ısınmaya %3-5 olan etkisini azaltmak amacıyla bazı projeler yapılmaya ve kararlar alınmaya başlanmıştır (Council of the European Union, 2008; Bachmann vd., 2017). Uluslararası firmalarla yapılan çalışmalarla beraber 2021

yılında açıklanan bir raporda havacılık sektörünün neden olduğu karbon emisyon oranının %24 olarak azaltıldığı belirtilmiştir. 2030 yılında bu oranın %55 olması ve 2050 yılında ise sıfır emisyon safhasına ulaşılması hedeflenmiştir. Firmaların emisyon oranları düşürmeleri için 2003 yılında 3000 ton/yıl olan emisyon oranı 1000 ton/yıl olarak değiştirilmiş ve bu değişimin 10 yıl boyunca ölçülerek tespit edilmesi karara bağlanmıştır (Council of the European Union, 2008; Bachmann vd., 2017; European Commission, 2020; European Commission, 2021). ICAO ve Avrupa Birliği Komisyonu firmaların karbon emisyonu çalışmalarını yapmaları için destekler verilmektedir. Emisyon sınırı ve AB destekleri sayesinde uçak firmaları, hava araçlarında emisyon oranı düşük motorlar tercih edilip emisyon problemi olmadan uçuş yapabilmek için elektrik enerjisi kullanılması hedeflenmiştir. Wright Electric firması kanatlara elektrik motorunun yerleşeceği ve bataryaların her uçuş sonrasında kolaylıkla değiştirilebileceği bir uçak üzerinde çalışmaktadır. Elektrik motorlarının tasarımı dolayısıyla kanat tasarımında farklılığa gidilmiş olup yeni tasarıma sahip uçak Şekil 12’de gösterilmiştir. Şekil 12’de kanadın gövdeye yakın olan kısmında, tasarlanan jet motoru görülmekte olup ilgili çalışmanın 2035 sonunda biteceği öngörülmektedir (Constine, 2017; IATA, 2019; IATA, 2019; Manthey, 2020).



Şekil 12. Wright Electric Firmasının Tasarladığı Bataryalı Uçak Kanadı

Kaynak: IATA, 2019: 30.

Bauhaus Luftfahrt Araştırma Enstitüsü, uçak için gerekli olan elektrik enerjisi verecek olan pillerin ağırlığını ve kullanılacak enerji miktarını azaltmak amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Geleneksel uçak gövde ve kanat tasarımı yerine, aerodinamiğe daha önem veren Şekil 13’te görülen yenilikçi bir tasarım Bauhaus Luftfahrt Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Tasarlanmış oldukları kanat yapısına C-Wing sayesinde daha az enerji harcayarak havalanacağı için fazla piller çıkartılarak ağırlık azaltımı sağlanmıştır. Araştırma enstitüsü 2012 yılında başladığı projeyi en yakın 2035 yılında bitirmeyi hedeflemektedir (Hornung vd., 2013; Naveen, 2018; IATA, 2019). C-Wing yapısında 0,85 Mach değerinde hücum açıları değiştirilerek belirlenen taşıma katsayıları (C_L) ve sürüklenme katsayıları (C_D) incelendiğinde, hücum açısı 0° olduğunda L/D oranında %300 artış gözlenmiştir. Hücum açısı arttıkça geleneksel kanat yapısına benzer L/D oranları ortaya çıkmış ve 4 hücum açısında L/D oranı %7'lere düşmüştür. C-Wing L/D oranının iyi sonuç verdiği görülmüş olup kanat yapısının aerodinamik olarak daha iyi olduğu belirlenmiştir. (Suresh vd., 2015).



Şekil 13. Bauhaus Luftfahrt Araştırma Enstitüsü Tasarımdan Tasarlanan Elektrikli Uçak

Kaynak: IATA, 2019: 30.

3.2. Askeri Uçak Kanatları

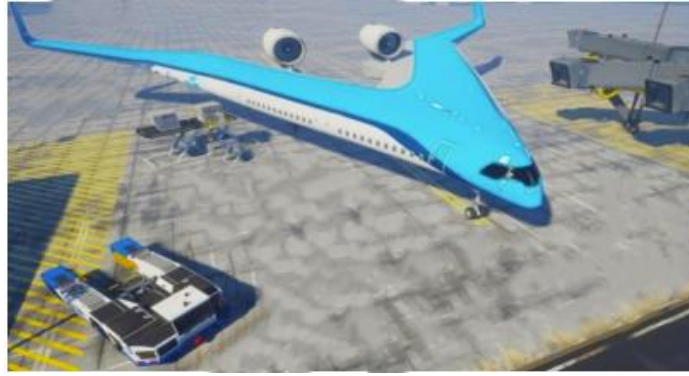
Askeri uçaklarda gerçekleştirilen kanat çalışmaları genellikle, uçak hızını, manevra kabiliyetini ve takat süresini arttırmaya yönelik çalışmalardır. Bu amaçları gerçekleştirebilmek amacıyla askeri havacılık firmaları tarafından çeşitli kanat yapıları ortaya çıkartılmaktadır. Gövde ve kanat birleştirme (BWB), şekil hafızalı kanatlar, değişken kanat açılı kanatlar, kanatlana kanat, teleskopik kanat ve elektrikli uçaklar günümüzde çalışılan konulardır.

Uçak kanatlarında yapılmakta olan diğer bir çalışma ise, kanat ile gövde arasında bulunan ayırım noktasının net olarak belli olmayan uçak tasarımıdır. Çalışma bütünleşik uçan kanat (BWB) ismiyle anılmaktadır. BWB projesi üzerinde çeşitli kurum ve kuruluşlar çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bu kanat modelinde NASA'nın NASA X, Boeing'in X45 ve X48 ve Airbus'ın Airbus Maveric gibi prototip çalışmaları vardır. Uçak gövdesi ile kanadı geleneksel bağlantı metotları kullanılmadan birleştirilmekte olup tasarım örnekleri Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilmiştir. Yapılan birleştirme sonucunda, ayırım noktasında geleneksel metotta oluşan sürükleme kuvveti daha az olarak tespit edilmiştir. Sürükleme kuvvetinde meydana gelen azalma sebebiyle uçakların ulaşabileceği en yüksek mach değeri artmaktadır. Bağlantının diğer artışı ise, kanat yapısının değişmesi ve genişliğinin artması ile uçağın taşıma kuvvetinde artış sağlayacak ve geleneksel yöntemlerle birleştirilmiş uçaklara göre daha az yakıt tüketmesi sağlanmıştır. (Banke, 2016; Boeing, 2016; Gipson, 2018; IATA, 2019). BWB kanat yapısına sahip uçaklar askeri uçaklarda kullanıldığı için yapılan çalışmalar transonik ve daha üstü hızlar için gerçekleştirilmektedir. 0,8-0,85 arası hızlarda gerçekleştirilen çalışmalarda geleneksel uçak kanatlarıyla elde edilen L/D oranı %15 artmakta ve %40 oranında daha az sürükleme katsayısı elde edilmiştir. BWB yapısıyla beraber %20-30 arasında yakıt tasarrufu sağlandığı gözlenmiştir (Hileman vd., 2010; Kuntawala vd., 2011).



Şekil 14. Uçak Gövde ve Kanadı Birleştirme (BWB) Çalışmaları

Kaynak: Banke, 2016.



Şekil 15. Flying-V Kargo ve Yolcu Uçağı

Kaynak: IATA, 2019: 23.



Şekil 16. NASA X-Plane

Kaynak: Gibson, 2018.

NASA, bütünleşik uçan kanat (BWB) çalışması kapsamında tasarlayacağı uçakta ileride elektrik enerjisi ile havalanabilmesini hedeflenmektedir. NASA bu kapsamda N3-X isimli bir çalışma başlatmış olup N3-X uçak tasarımı Şekil 17'de gösterilmektedir. BWB tasarımına sahip uçaklar aerodinamik açıdan ve havalanmak için gerekli olan enerji bakımından iyileştirilerek yakıt maliyeti azaltılmış ve böylece elektrik enerjisi kullanımı ile karbondioksit emisyonlarının azaltılması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen N3-X

çalışmalarının 2040 yılı ve sonrasında tamamlanması beklenmektedir (Gipson, 2013; Felder, 2014; Felder, 2015; IATA, 2019).



Şekil 17. NASA'nın N3-X Hibrit Uçak Tasarımı

Kaynak: Gipson, 2013.

Kanatlar üzerindeki çalışmalar sadece konstrüksiyon ile sınırlı olmayıp malzeme üzerine de çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Uçaklarda kompozit malzemeler ve hafif metal alaşımları kullanılarak önemli miktarda ağırlık azalması sağlanmış olsa da araştırmacılar ağırlık azaltımını ve uçuş performansını daha da arttıracak malzemeler üzerine araştırmalar yapmaktadır. NASA katlanabilir kanat teknolojisinin daha efektif kullanılabilmesi için kanatların bazı bölümlerinde nikel-titanyum alaşımını kullanmaya çalışmaktadır. Nikel-titanyum ısıtıldığında deformasyona uğradığı zamanki şekline dönebilen ve soğutulması ile şekil bozulmasına uğramadan önceki haline dönebilen kısaca şekil hafızalı bir alaşım olup bu tip malzeme ile NASA tarafından Şekil 18'deki uçak geliştirilmektedir. Şekil hafızalı alaşımlar sayesinde, kanat uçuş esnasında duruma göre rahatlıkla şeklini değiştirecek ve sonrasında deformasyona uğramadan ilk haline dönebilecektir (Kumar vd., 2015; IATA, 2019).



Şekil 18. NASA Tarafında Şekil Hafızalı Malzeme ile Tasarlanmış Uçak

Kaynak: IATA, 2019: 24.

Nikel-titanyum gibi akıllı malzemeler sadece katlanabilir uçak teknolojisinde kullanılmamaktadır. NASA ve MIT'nin beraber gerçekleştirmekte oldukları bir kanat projesinde, kanadın çeşitli yerlerine akıllı malzemeler ekleyerek günümüz uçaklarına göre daha hafif ve aerodinamik açıdan daha iyi bir kanat elde edilmek istenmektedir. Birkaç yıl önce NASA'nın yaptığı sunumunda kanadın rüzgâr tünellerinde denemelerine başlandığı belirtilmiştir. Prototipi yapılan kanat Şekil 19'da gösterilmektedir. Kanadın ne zaman kullanıma başlanacağı ile ilgili kesin bir bilgi bulunmamaktadır (Harrington ve Williams, 2015; Kuşhan vd., 2019; IATA, 2019).



Şekil 19. NASA ve MIT'nin Geliştirmekte Olduğu Uçak Kanadı

Kaynak: Kuşhan vd., 2019:16.

Akıllı malzemelerle yapılan başka bir çalışma ise şekil değiştirebilen kanatlar üzerinedir. Çalışma katlanabilir kanat ucundan farkı ise değişimin tüm kanat üzerinde uygulanması olup uygun durumlarda kanat açılarını değiştirebilmesi üzerinedir. Şekil 18'de kanat ok açısını değiştirebilen bir uçak gösterilmekte olup bu özellik geliştirilmek istenmektedir. Böylelikle havalanırken ya da havadayken kanadı uygun pozisyonda tutarak uçağın aerodinamiğini iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Akıllı malzemeler yardımıyla kanadın şeklinin değişmesinin yanı sıra kanat genişliği de arttırabilmekte ve kanat genişliğinin artması ile uçak daha fazla taşıma kuvvetine sahip olması ve yakıt tasarrufu sağlanması öngörülmektedir. Akıllı malzemeler kullanılarak uçak kanadının hafiflemesi sağlanacak olup şekil değiştirebilen uçaklara örnek olarak Şekil 20 ve Şekil 21'deki tasarımlar gösterilmektedir (Özgen vd., 2008; Ünlüsoy, 2017; Russel, 2017; Uzun vd., 2021).

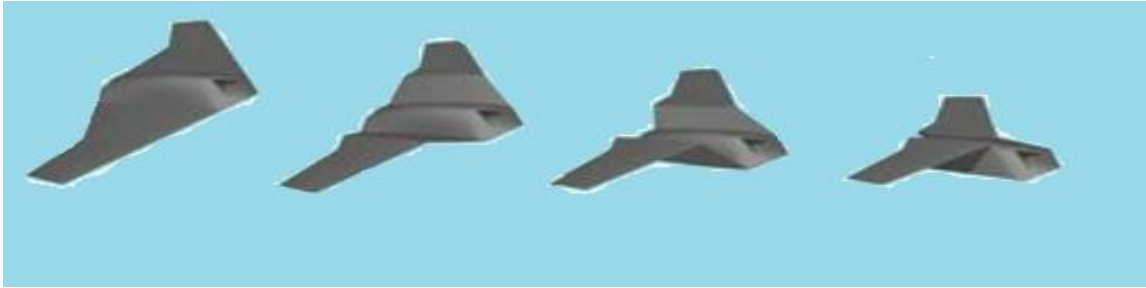
Şekil değiştirebilen uçaklara diğer bir örnek ise teleskopik kanatlı uçaklardır (Şekil 22). Teleskopik kanatlar iniş ve kalkış aşamalarında kanat açıklığını arttırmak ve uçuş esnasında kanat açıklığını azaltmak için kullanılmaktadır. İç içe giren kanat yapıları sayesinde, pnomatik, hidrolik veya elektronik sistem vasıtasıyla istenilen kanat açıklığına ayarlanabilmektedir. Teleskopik kanatlar farklı kanat açıklıklarına ayarlanabilmeleri sayesinde uçak performansında artış, yakıt tasarrufu ve taşıma kuvvetinde artış sağlanması öngörülmektedir. Ayrıca uçakların yüksek hızlarda seyrederken daha dar bir kanat açıklığına ihtiyaç duymaktadırlar. Teleskopik kanatların kanat açıklığının ayarlanabilir olması sayesinde yüksek hızlarda daha

stabil bir uçuş ve daha iyi bir manevra kabiliyetine sahip olacağı öngörülmektedir (Ajaj ve Jankee,2018; Özel vd., 2020; Patil ve Katkhade, 2021).



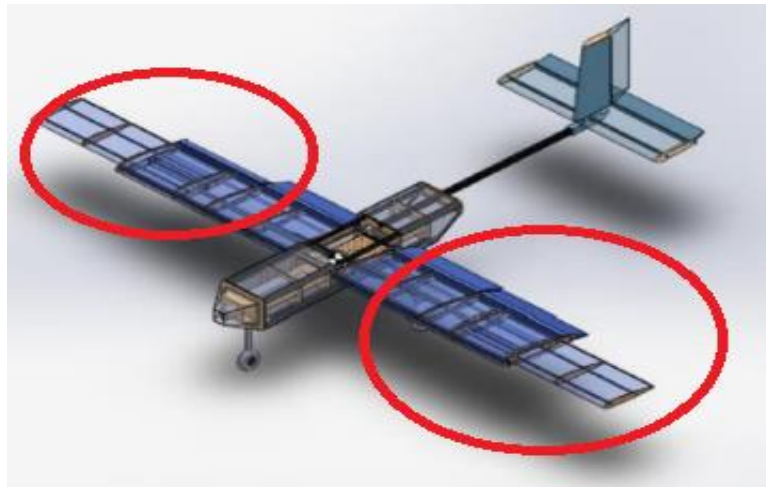
Şekil 20. NextGen Firmasının "Değişken Açız, Değişken Veter" Konsepti

Kaynak: Özgen, 2008: 2.



Şekil 21. Lockheed-Martin'in "Katlanan Kanat Konsepti"

Kaynak: Özgen, 2008: 2.



Şekil 22. Teleskopik Kanat Yapısına Sahip Örnek Uçak Tasarımı

Kaynak: Ajaj ve Jankee: 6.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Uçak kanatları geçmişten günümüze kadar oldukça çeşitli değişimler geçirmiştir. Güncel araştırmalar incelendiğinde, yeni nesil uçakların mevcut uçaklara kıyasla daha geniş ve hafif malzemeli kanat yapılarına sahip olacağı, aerodinamik özelliklerinin iyileştirileceği, yüksek yakıt verimliliği sergileyeceği ve farklı bir kanat profili benimseyeceği öngörülmektedir.

NASA X-Plane, N3-X ve Flying V, Bauhaus Luftfahrt oldukça yenilikçi tasarımlara sahiptir. Flying V uçağı incelendiğinde yük taşıma ve yolcu taşıma için alanların arttırıldığı gözlenmektedir. Kanat tasarımının gövdeyle birleşik olması ise manevra kabiliyeti ve sürüklenme katsayısının azalmasına yol açmaktadır. N3-X, Bauhaus Luftfahrt vb. elektrikli araçlar sayesinde uçakların faydalı yük miktarı artacağı gözlenmektedir. Günümüzde kullanılan uçaklara yakıt pilinin uygulanmasıyla %50 ve üzere faydalı yükte artış sağlanacağı gözlenmiştir. Avrupa Komisyonu'nun belirlemiş olduğu karbon emisyon oranının ve 2030 yılında emisyon oranında %55 azalma istendiği için elektrik motorlu ve hibrit uçaklara yönelim artmaktadır.

Yakıt tasarrufu için akla gelen fikirlerden biri uçağın hafifletilmesi olup günümüzde hafifletme çalışmalarında topoloji, şekil, boyut vb. optimizasyonlar kullanımının yanına kompozit malzeme kullanımı da eklenmiştir. Kompozit malzemeler ile metallerin dayanım özelliklerine sahip fakat yoğunluğu daha az olan malzemeler elde edilmiştir. Topoloji optimizasyonlarıyla elde edilen %10-15'lik ağırlık hafifletilmesi kompozit malzemelerle beraber hafifletme oranı %25-30'lara çıkmaktadır. Hafifletme sayesinde faydalı yük miktarı ve uçuş performanslarında artışlar sağlanmaktadır. Gelecek çalışmalarda kompozit malzemelerin yanı sıra nikel-titanyum gibi akıllı malzemeler üzerinde de yoğun çalışmalar olduğu araştırma sonucunda görülmektedir. Konuyla ilgili olarak NASA ve MIT yoğun olarak çalışmalar yapmakta ve konsept tasarımlar ve denemeler gerçekleştirmişlerdir. Özellikle Lockheed-Martin'in katlanan kanat teknolojisine sahip uçağında akıllı malzemelere oldukça yer verildiği belirlenmiştir.

Uçak performansını arttırmak için kanat şeklinin ve bağlantıları değiştirilmektedir. Geleneksel George Cayley'in sabit kanat teorisinin dışına çıkılarak aerodinamik açıdan iyileştirilmiş yeni nesil kanatlar geliştirilmektedir. Çalışmalara bakıldığında hareketli (Albatros One), geniş, yenilikçi kanat-gövde birleştirilmesi (NASA X45 ve Airbus Maveric) ve tasarımı farklı kanatların (NASA X, Flying V ve Parsifal) geliştirilmekte olduğu görülmüştür. Katlanabilir kanat yapısı bir başlangıç olarak günümüzde Airbus (Albatros One) ve Boeing (Boeing 777x) firmaları tarafından kullanılmaktadır. Boeing 777x katlanabilir kanatla C_D ve yakıt tüketim miktarında %10'a varan azalmanın olduğu gözlenmiştir. 2035 yılına kadar Albatros One uçağındaki katlanabilir kanat teknolojisinin Airbus A321 uçağına uygulanarak göklerdeki yerini alması planlanmaktadır. Kutu kanat yapısıyla ilgili olarak kalkış ve iniş mesafelerinde kısalmalara meydana geleceği ve tüketilen yakıt miktarının azalacağı görülmektedir. BWB kanat yapısında ise kanat birleşme noktalarında meydana gelen sürüklenme kuvvetleri azalacağı için L/D oranında en az %15 artıştan söz edilmektedir. Kanat yapısının değiştirilmesine yönelik çalışmalar yakıt tüketiminin azaltılması, taşıma

kapasitesinin artırılması, uçak performans ve manevra kabiliyetini iyileştirilmesi etkileri olacağı öngörülmektedir.

IATA (2019) tarafından yayınlanan yol haritasına göre, firmaların ve araştırma merkezlerinin yapmış olduğu yeni nesil kanat çalışmaları en erken 2035 yılında sonlanacağı belirtilmektedir. Bu sayede gökyüzünde yeni nesil kanatlara sahip, yüksek mach değerlerine ulaşabilen, hafif, az yakıt tüketen, çok yolcu ve yük taşıyan uçaklar görülebilecektir.

5. KAYNAKÇA

Airbus (2019). The albatross is inspiring tomorrow's aircraft Wings. <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2019-07-the-albatross-is-inspiring-tomorrows-aircraft-wings#:~:text=The%20albatross%20sea%20bird%20can,albatross%20enjoys%20a%20legendary%20status.> , erişim tarihi: 06.03.2023. ,

Airbus. (2019). How the albatross is inspiring next generation of aircraft Wings. <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2019-06-how-the-albatross-is-inspiring-next-generation-of-aircraft-wings>, erişim tarihi: 06.03.2023.

Ajaj, R., M., Jankee, G., K. (2018). The Transformer aircraft: A multimission unmanned aerial vehicle capable of symmetric and asymmetric span morphing. *Aerospace Science and Technology*, 76, 512-522.

Anderson, Jr., D. (2016). Uçuşa Başlangıç (Çev. A. Yükselen). Nobel Akademik Yayıncılık, s.1-68, İstanbul.

Arsenyeva, A., Duddcek, F. (2015). Efficient and Adaptive Parametric Modeling For Shape Optimization of a Wingbox. Young Investigators Conference 2015, 1-5. Aachen, Almanya.

Bachmann, J.i Hidalgo, C., Bricout, S. (2017). Environmental analysis of innovative sustainable composites with potential use in aviation sector—A life cycle assessment review. *Science China Technological Sciences*, 60, 9, 1301-1317.

Banke, J. (2016). NASA Takes Next Step in Green Aviation X-planes Plans. <https://www.nasa.gov/aero/nasa-green-aviation-x-planes>, erişim tarihi: 07.03.2023.

Bernard, B. (2013). Leonardo Da Vinci's Human Powered Helicopter Becomes Reality. <https://info.natacs.aero/blog/bid/328863/leonardo-da-vinci-s-human-powered-helicopter-becomes-reality>, erişim tarihi: 10.03.2021.

Bodell, L. (2023). 3 Years Since The 1st Flight: What's Happening With The Boeing 777X?. <https://simpleflying.com/boeing-777x-3-year-update/>, erişim tarihi: 06.03.2023.

Boeing. (2016). Blended Wing Body Back to the Tunnel. <http://www.boeing.com/features/2016/09/blended-wing-body-09-16.page>, erişim tarihi: 07.03.2023.

Budarapu, P., R., Sudhir, S., Y., B., Natarajan, R. (2016). Design Concepts of an Aircraft Wing: Composite and Morphing Airfoil with Auxetic Structures. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 10, 394-408.

Collins, J., M., McLarty, D. (2020). All-Electric Commercial Aviation With Solid Oxide Fuel Cell-Gas Turbine-Battery Hybrids. *Applied Energy*, 265, 1-9.

Constine, J. (2017). Wright Electric unveils its commercial electric plane business. <https://techcrunch.com/2017/03/21/wright-electric-planes/>, erişim tarihi: 07.03.2022.

Council of the European Union. (2008). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC so as to include aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community - Impact Assessment of the inclusion of aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community. 11498/08, 1-58, Brussels.

Duchene, E., A. (2020) Flight Without Formulae Simple Discussions on the Mechanics of the Aeroplane. Alpha Editions, pp 1-220.

Economon, D., T., Alonso, J., J., Copeland, S., Zeinali, M., Rutherford, D. (2011). Design and Optimization of Future Aircraft for Assessing the Fuel Burn Trends of Commercial Aviation. 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 1-20, Orlando, Florida.

European Commission. (2020). Revision of the EU Emission Trading System Directive 2003/87/EC Concerning Aviation. (2020)3515933, 1-7.

European Commission. (2021). Reducing emissions from aviation. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation_en, erişim tarihi: 26.05.2023.

Felder L. J. (2014). NASA N3-X with Turboelectric Distributed Propulsion. NASA Glenn Research Center, 1-18 Cleveland, OH United States.

Felder, L., J. (2015). NASA Electric Propulsion System Studies. NASA Glenn Research Center, Cleveland, OH United States.

Gill, H., T. (2022). What it's like inside Boeing's new 777x. <https://edition.cnn.com/travel/article/inside-boeing-new-777x/index.html>, erişim tarihi: 06.03.2022.

Gipson, L. (2013). Hybrid Wing Body Goes Hybrid. <https://www.nasa.gov/content/hybrid-wing-body-goes-hybrid>, erişim tarihi: 07.03.2023.

Gipson, L. (2018) New NASA X-Plane Construction Begins Now. <https://www.nasa.gov/lowboom/new-nasa-x-plane-construction-begins-now>, erişim tarihi: 07.03.2022.

Harrington, J., D., Williams L. (2015). NASA Successfully Tests Shape-Changing Wing for Next Generation Aviation. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-successfully-tests-shape-changing-wing-for-next-generation-aviation>, erişim tarihi: 07.03.2023.

Hileman, J., I., Spakovszky, Z., S., Drela, M., Sargeant, M., A., Jones, A. (2010). Airframe Design for Silent Fuel-Efficient Aircraft. Journal of Aircraft, 47, 3, 956-969.

Holly, E., Darron, D., Zia, W. (2015). Optimisation of Aircraft Cost Indices to Reduce Fuel Use. Transportation Research Board 94th Annual Meeting, 1-12, Washington DC.

Hornung, M., Işıkveren, T., A., Cole, M., Sizmann, A. (2013). Ce-Liner Case Study for eMobility in Air Transportation. Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, 1-11, Münih, Almanya.

Howard, C., E. (2019). Boeing and NASA unveil lightweight, ultra-thin, more aerodynamic Transonic Truss-Braced Wing concept. <https://www.sae.org/news/2019/01/boeing-and-nasa-unveil-lightweight-ultra-thin-more-aerodynamic-transonic-truss-braced-wing-concept>, erişim tarihi: 07.03.2023.

IATA. (2019). Aircraft Technology Roadmap to 2050. 21-35.

IATA. (2019). Technology Roadmap for Environmental Improvement. 1-2.

Jemitola, P., O., Fielding, J., P. (2012). Box Wing Aircraft Conceptual Design. 28th International Congress of the Aeronautical Sciences, 1-10.

Kaçar, M. (1998). Hezarfen Ahmed Çelebi. Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi, 17,297.

Kaya, N., Çiftçi, E., Gürkaş, O., Yudar, S., Aksu, B., M., Ada, M., Erçel, S., F., Karagöz, S., Çetin, T. (2019) "Hava Taşıt Kanatlarında Topoloji ve Boyut Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltımı", TUSAŞ Genç Mühendisler Semineri, 23-25, Ankara, 2019.

Kesarwani, S. (2017). Polymer Composites in Aviation Sector A Brief Review Article. International Journal of Engineering Research & Technology, 6, 6, 518-525.

Keskin, G., Kuşhan, M. C. (2020). Biyomimetik, Kuşlar ve Planörler. Makina, 164, 11-12.

- Kılıç, H. (1993). Cevheri İsmail B. Hammad. Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi, 7, 459.
- Kırbyık, K. (1988). Abbas B. Firnas. Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi, 1, 24.
- Koşagöz, A. (2018). İlk uçan insan kimdi?. <http://www.kokpit.aero/ilk-ucan-insan?writer=25>, erişim tarihi: 07.04.2020.
- Kretov, A., Tiniakov, D. (2022). Evaluation of Mass and Aerodynamic Efficiency of A High Aspect Ratio Wing for Prospective Passenger Aircraft. *Aerospace*, 9, 497, 1-17.
- Kumar, A., R., Blakrishnan, S., R., Balaji, S. (2013). Design of An Aircraft Wing Structure For Static Analysis and Fatigue Life Prediction. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2, 5, 1154-1158.
- Kumar K, Sharma N., Raj T. (2015). Applications of Nickel-Titanium Alloy. *Journal of Engineering and Technology*, 5, 1, 1-7.
- Kuntawala, N., B., Hicken, J., E., Zingg, D., W. (2011). Preliminary Aerodynamic Shape Optimization of A Blended-Wing Body Aircraft Configuration. 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 1-15.
- Kuşhan, C., M., Arslanoğlu, B., Şahin, E. (2019). Yeni Nesil Uçak Kanatları. *Makina*, 17-18, 156, Eskişehir.
- Lisitsin, O. (2020). From Ailerons to Flaps: The Main Stages of Design of An Aircraft Wing. <https://engre.co/blogs/articles/from-ailerons-to-flaps-the-main-stages-of-design-of-an-aircraft-wing/> , erişim tarihi: 25.07.2023
- Livne, E., Nelson, C., P. (2012). From Blank Slate to Flight Ready New Small Research UAVs in Twenty Weeks - Undergraduate Airplane Design at the University of Washington. AIAA Aerospace Sciences Meeting, 1-39, Nashville, USA.
- Loutun, M., J., T., Didane, D., H., Batcha, M., F., M., Abdullah, K. (2021). 2D CFD Simulation Study on Performance of Various NACA Airfoils. *CFD Letters*, 13, 4, 38-50.
- Manthey, N. (2020). Wright Electric Works on Large Electric Passenger Plane. <https://www.electrive.com/2020/02/02/wright-electric-works-on-large-electric-passenger-plane/>, erişim tarihi: 07.03.2023.
- Minami, Y. (2019). Transition of Space Propulsion and Challenge to the Future -Breakthrough of Propulsion Technology. *International Journal of Civil Aviation*, 3, 1, 1-31.
- Mrazova, M. (2013). Advanced Composite Materials of The Future in Aerospace Industry. *Incas Bulletin*, 5, 3, 140-150.
- Naveen, R. (2018). Aerodynamic Analysis of C-Wing Aircraft. *Incas Bulletin*, 10 ,3 157-165.
- Norris G., Flottau, J. (2023). EASA, Boeing Agree On 777X Certification Criteria. <https://aviationweek.com/air-transport/safety-ops-regulation/easa-boeing-agree-777x-certification-criteria>, erişim tarihi: 06.03.2023.
- Nguyen N., Livne, E., Precup, N., Urnes, J., Nelson, C., Ting, E., Lebofsky, S. (2014). Experimental Investigation of a Flexible Wing with a Variable Camber Continuous Trailing Edge Flap Design. 32nd AIAA Applied Aerodynamics Conference, 1-37.
- Özel, C., Özbek, E. & Ekici, S. (2020). A REVIEW ON APPLICATIONS AND EFFECTS OF MORPHING WING TECHNOLOGY ON UAVS. *International Journal of Aviation Science and Technology*, 01 (01) , 30-40 .
- Özgen, S., Seber, G., Şahin, M., Yaman, Y., Bayram, G., Uludağ, Y., Yılmaz, A. (2008). Şekil Değiştiren Uçaklar Havacılıkta Yeni Bir Devrim Yaratabilir Mi?. *Savunma ve Havacılık*, 1-4,125.
- Parsifal. (2017). About. <https://parsifalproject.eu/> , erişim tarihi: 07.03.2023.

Parsifal. (2020). PARSIFAL Prandtlplane ARchitecture for the Sustainable Improvement of Future AirpLanes. <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-transport/aviation/parsifal>, erişim tarihi: 07.03.2023.

Patil, S., P., ve Katkhade, R., P. (2021). Design and analysis of morphing wing mechanism for unmanned aerial vehicle. *International Journal of Aerospace System Science and Engineering*, 8(2), 65-70.

Rinku, A., Ananthasuresh, G., K. (2015). Topology and Size Optimization of Modular Ribs in Aircraft Wings. *11th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimisation*, 1-6.

Russel J. (2017). Aviation Renaissance: NASA Advances Concepts for Next-gen Aircraft. <https://www.nasa.gov/feature/aviation-renaissance-nasa-advances-concepts-for-next-gen-aircraft>, erişim tarihi: 07.03.2023.

Schuhmacher, G., Murra, I., Wang, L., Laxander, A., O'Leary, O., J., Herold, M. (2002). Multidisciplinary Design Optimization of A Regional Aircraft Wing Box. *9th AIAA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis And Optimization*, 1-10.

Suresh, C., Ramesh, K., Paramaguru, V. (2015). Aerodynamic Performance Analysis of A Non-Planar C-Wing Using CFD. *Aerospace Science And Technology*, 40, 56-61.

Uzun, S., İsen, B., Sınmazçelik, T. (2021). Havacılıkta Şekil Değiştirebilir Teknoloji Uygulamaları. *İleri Mühendislik Çalışmalar ve Teknolojileri Dergisi*, 2, 1, 53-62.

Ünlüsoy, L., Körpe, S., D., Şahin, M., Özgen, S., Yaman, Y. (2012). Büyük Oranda Şekil Değiştirebilen Kanatların Aerodinamik Yapısal Tasarımı. *6.Savunma Teknolojileri Kongresi*, 1-8.

Wood, N. (2017). Strut Braced Wings A challenge or an opportunity?. *PADRI Workshop*,1-19, Barcelona.

Xiaopeng, Z., Haixin, C. (2015). Conceptual Design of Self-Expanding/Folding Extremely Large Aspect Ration Wing Airplane. *7th European Conference For Aeronautics and Space Sciences*, 1-11.