



# Uçak Parçalarının ve Bileşenlerinin Mekanik Tasarımı

Berces Kurt<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri, Uçak Teknolojisi, Erzincan, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1285-0542), [berces.kurt@erzincan.edu.tr](mailto:berces.kurt@erzincan.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 18 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 11 Şubat 2024)

(DOI: 10.5281/zenodo.14179873)

**ATIF/REFERENCE:** Kurt, B. (2024). Uçak Parçalarının ve Bileşenlerinin Mekanik Tasarımı. *European Journal of Science and Technology*, (21), 84-91.

## Öz

Havacılık sektöründe bir hava aracının uçuşa elverişlilik direktifleri dahilindeki gereklilikleri sürdürebilmesi, hava aracı güvenliği açısından hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda bir hava aracının sürekli uçuşa elverişliliğe uygun olması bakımından, ilgili hava aracının yapısını oluşturan bileşen veya parçaların mukavemetleri, mekanik özellikleri, dayanıklılıkları ve ömür limitleri gibi özellikleri oldukça titiz ve sistematik bir şekilde belirlenmelidir. Bir hava aracı üretilirken en önemli aşamalardan biri hava aracının ve parçalarının tasarım sürecidir. Havacılık sektöründe bir parçanın tasarım sürecinde yapılacak en ufak hata veya yanlışlık o parçanın faal çalışma sürecinde ciddi kazalara, yaralanmalara veya can kayıplarına sebep olabilmektedir. Uçaklar sürekli belirli kuvvetlere ve yüklere maruz kaldığından dolayı uçaklarda kullanılması için tasarlanan parçaların veya bileşenlerin darbe, çekme, gerilim, yorulma vb. kuvvetlere karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu derleme makalesinde tasarım sürecinin hayati nitelikteki önemine, hava araçlarında kullanılan parça veya bileşenlerdeki tasarım süreçlerine değinilmiştir. Bu çalışmada, literatürde bulunan hava araçları ve parçaları üzerindeki farklı tasarım modelleri ve bu tasarım modellerinin analizlerinin derlemesi ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir ve böylece ileride bu alanlarda yapılacak olan çalışmalar için kaynak oluşturulması amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Uçak Parçaları Tasarımı, Uçuşa Elverişlilik, Uçuş Güvenilirliği.

## Mechanical Design of Aircraft Parts and Components

### Abstract

In the aviation industry, it is vital for aircraft safety that an aircraft meets the requirements under the airworthiness directives. In this context, in order for an aircraft to be suitable for continued airworthiness, the characteristics of the components or parts that make up the structure of the aircraft, such as strength, mechanical properties, durability and life limits, should be determined very meticulously and systematically. One of the most important stages when manufacturing an aircraft is the design process of the aircraft and its parts. The slightest defect or mistake to be made in the design process of a part in the aviation industry can cause serious accidents, injuries or loss of life during the active working process of that part. Since airplanes are constantly exposed to certain forces and loads, the parts or components designed for use in airplanes must be resistant to forces such as impact, pulling, tension and fatigue. In this review article, the vital importance of the design process and the design processes in parts or components used in aircraft are mentioned. In this study, the different design models on aircraft and parts in the literature and the analysis of these design models were compiled and evaluated, and thus it was aimed to create a resource for future studies in these areas.

**Keywords:** Aircraft Parts Design, Airworthiness, Flight Reliability.

## 1. Giriş

Tasarım sürecinin sonucunda elde edilen ürünün temel gereksinimleri taşıması, uygun maliyette olması ve amaca uygun olması için doğru malzemenin seçilmesi gerekir. Bu yüzden, bir tasarımcının tasarım yaparken dikkat etmesi gereken en önemli etkenlerden biri kullanılan malzemeleri çok iyi tanımaktır (Çiltepe vd., 2012). Bir tasarımcı malzeme bilimciden farklı olarak, malzemenin hangi koşullarda kullanılacağını ve seçilen malzeme ile ilgili sınırlayıcı etkenlerin neler olduğunu çok iyi bilmelidir (Bacak ve Kayacan, 2011). Malzemelerin seçilmesi sürecinde ısıya dayanıklılık, süneklik, sertlik, korozyon direnci, basınca duyarlılık, titreşimli bölgelerde çalışmaya uygunluk gibi özellikler göz önünde bulundurulmalıdır (Cakir, 2018; Kromm vd., 2007). Eğer uygun malzeme seçimi yapılmazsa, malzemenin kullanıldığı sistemde kırılma, parçalanma gibi problemlerden kaynaklanabilecek iş kazaları meydana gelebilir. Aynı zamanda bu durum, iş sağlığı ve güvenliği ilkelerinin ihlal edilmesi olarak da ifade edilebilir (Bıyık, 2009; Ünver, 2020). Malzemelerin seçimiyle ilgili problemlerin önüne geçebilmek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerde kullanılan aşamaların genel hali; malzemenin temel özelliklerini analiz etme, kullanılması düşünülen malzemelerin belirlenmesi, belirlenen malzemelerin tek tek değerlendirilmesi ve en uygun malzemenin belirlenmesi şeklindedir (Ünver, 2020). Holloway (1998) çalışmasında, malzeme seçerken malzeme ağırlığı, maliyet, işe uygunluk gibi faktörlerin önemli olduğunu ancak mekanik özelliklerin çok daha önemli olduğunu belirtmiştir. Bir tasarımda malzeme seçerken göz önünde bulundurulması gereken yoğunluk, dayanım, elastiklik, süneklik, sertlik, tokluk ve rijitlik mekanik özellikler vardır (Albaraz, 2010; Khabbaz vd., 2009). Khabbaz vd. (2009) çalışmalarında, çok sayıda malzeme ve birçok üretim süreç tekniklerinin olmasından dolayı tasarımcıların malzeme seçerken çok zorlandığını belirtmişlerdir. Her malzemenin belirli avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Malzeme maliyeti, malzemenin bulunabilirliği, pazar eğilimleri, kültüre uygunluk, estetik, geri dönüşüme uygunluk gibi çeşitli parametreler malzeme seçimi yapılırken mutlaka değerlendirilmelidir. Ancak bir tasarımcı için malzeme seçimi yaparken en önemli etken malzemenin mekanik özellikleridir.

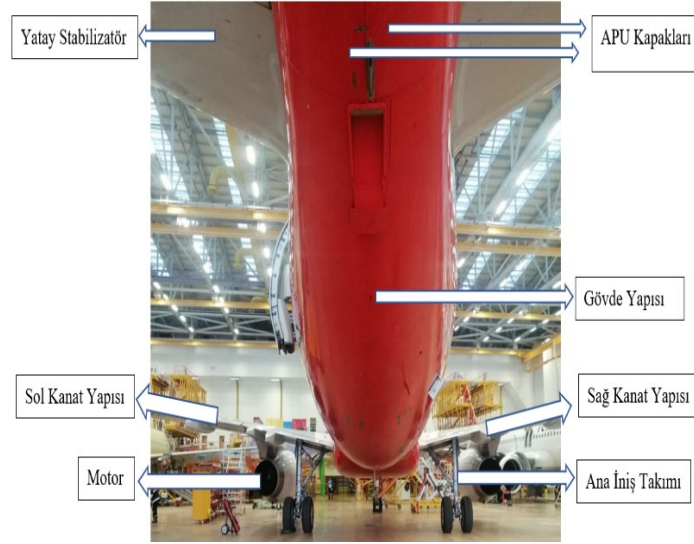
Malzemelerin fiziki ya da kimyasal bakımdan niteliklerini değiştirmek/geliştirmek amacıyla uygulanan termal işlemlerin bütünü 'Isıl İşlem' olarak adlandırılır (Albaraz, 2010). Havacılık gibi malzeme seçiminin çok önemli olduğu alanlarda, kullanılacak olan alaşımın belirlenebilmesi için çok yönlü ve detaylı araştırmalar, deneyler gerçekleştirilmektedir (Yurdakul vd., 2013). Isıl işlemlerin malzeme seçimindeki önemi oldukça fazladır. Örneğin alüminyum alaşımının hafif olması, korozyona karşı yüksek dirençli olması gibi özelliklerinden dolayı havacılık alanında kullanılması büyük önem arz etmektedir. Ancak alüminyum alaşımının havacılık alanında kullanılabilmesi için mukavemetinin artırılması gerekmektedir. Bunun için de alüminyum alaşımının ısıl işlem proseslerine tabii tutulması gerekmektedir (Demir vd., 2020). Isıl işlemlerin uygulanma amaçları; malzemelere istenilen fiziki özellikleri kazandırmak, işleme sürecinin kolaylaştırabilmek, malzemede gerilmeleri gidermek, tane boyutunu ayarlayabilmek, sertliği, mukavemeti vb. özellikleri geliştirmek şeklinde özetlenebilir (Aydın ve Bayram, 2010; Yangaz, 2019). Malzemeleri yumuşatmak, mukavemetlerini arttırmak, sertlik kazandırmak vb. amaçlarla uygulanan ısıl işlemler genel olarak kontrollü ısıtma, bekleme ve soğutma süreçlerinden oluşur (Yangaz, 2019). Yaygın olarak kullanılan ısıl işlemler; tavlama (normalleştirme, yumuşatma, gerilme giderme, yeniden kristalleştirme), sertleştirme, menevişleme ve yüzey sertleştirme yöntemleridir (Isadare vd., 2013; Sarma vd., 2020). Malzemelerin fiziki ya da mekaniksel niteliklerini geliştirmek veya değiştirmek için kullanılan ısıl işlemler, malzemelere ısı uygulanması ve ardından gerçekleştirilen soğutma proseslerinden oluşmaktadır (Güven vd., 2019). Isıl işlemler, malzemelerin özelliklerini geliştirmek ve malzemelerin mikro yapılarını değiştirmek gibi işlemlerde kullanılabilirdiği için birçok araştırmacının dikkatini çekmektedir (Alizadeh vd., 2023; Lyu vd., 2022; P. Zhang vd., 2023).

Xiao ve ark. (Xiao vd., 2023) çalışmalarında, elektromanyetik şekillendirme ve ısıl işlem uygulamalarının kombinasyonu ile 2024 alüminyum alaşımının korozyon, mekaniksel vb. özellikleri incelemişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda ise elektromanyetik şekillendirmenin, alüminyum alaşımlarının şekillendirilebilir özelliğini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Li ve Liu, (2023) çalışmalarında, lazer toz yatağı füzyonuyla AlMgScZr alaşımını üretmiş ve birçok ısıl işleme tabi tutmuşlardır. Bu çalışmanın sonucunda, alaşımın gelişim süreci, tane boyutu, mekaniksel performansları ile ilgili veriler elde etmişlerdir ve alaşımın orta büyüklükte eş eksenli taneler, ultra ince eş eksenli taneler gibi çok modlu bir mikro yapı sergilediğini tespit etmişlerdir. Deore vd. (2022) çalışmalarında, sürtünme karıştırma ile ürettikleri Ti-6Al-4V tabanlı yüzey nanokompoziti ısıl işleme tabi tutmuşlardır. Isıl işlem sonucunda Ti-6Al-4V tabanlı yüzey nanokompozitin mekaniksel özelliklerinin değiştiğini ve geliştiğini belirtmişlerdir. Omar ve Plucknett (2022) çalışmalarında, yönlendirilmiş enerji biriktirme proses parametrelerinin ve ısıl işlem döngüsünün AISI D2 takım çeliğinin mikro yapısı ve sertliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Temperleme işlemi neticesinde, dentritik morfolojinin yeniden kristalleşme tekniğiyle daha eş eksenli bir mikro yapıya dönüştüğünü tespit etmişlerdir. Dewangan ve Kumar (2022) çalışmalarında, ısıl işlemde meydana gelen metalürjik değişimlerin, yüksek entropili alaşımların özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, ısıl işlemlerin beklendiği gibi mevcut fazları kabalaştırdığını belirlemişlerdir. Negahdari vd. (2022) çalışmalarında ısıl işlem görmüş numunelerin, taramalı elektron mikroskobu, diferansiyel taramalı kalorimetri, ve X-ışını kırınımı ile incelemelerini gerçekleştirmişlerdir. Bu incelemeler sonucunda, sadece kaynayan ve buzlu su ortamlarında martensitik bir mikro yapının elde edildiği belirlenmiştir. Yamagishi vd. (2023) çalışmalarında ısıl işlem koşullarının, döngüsel ısıl işlem tekniğiyle faz dönüşümünün sebep olduğu anormal tane büyümesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, ısıtma hızındaki azalmanın büyük tane boyutunun gerçekleştirilmesi üzerinde etkisiz olduğu belirlenmiştir. Hou vd. (2023) çalışmalarında, poliviniliden florür yapısının iyileştirilebilmesi ve kararlılığının artırılabilmesi için bir ısıyla gerdirme işlemi sunmuşlardır. Bu inceleme sonucunda, ısıyla gerdirme işleminin, poliviniliden florür yapısını daha kompakt hale getirdiğini ve büzülme engelleyici olduğunu tespit etmişlerdir. Xiang vd. (2023) ve ark. çalışmalarında, ark eritme tekniği ile TiZrNbTa yüksek entropi alaşımını üretmişlerdir ve bu alaşımı ısıl işleme tabii tutmuşlardır. Isıl işlem sonucunda alaşımın akma dayanımının arttığını tespit etmişlerdir. He vd. (2022) çalışmalarında, reaktif plazma püskürtme ile TiCN kaplamaları üretmişlerdir ve Ti/grafit tozlarının ısıl işleminin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda ısıl işlem sürecinde sıcaklığın artırılmasıyla, Ti/grafit yığınlarının görünür

yoğunluğunda ve akışkanlığında iyileşmelerin olduğunu belirlemişlerdir. Shen vd. (2022) çalışmalarında, ısı işleminin toz plazma ark katkılı imalat ile üretilen  $Al_{1,2}CoCrFeNi_{2,1}$  yüksek entropi alaşımının mikro yapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda alaşımın uniform bir yapı sergilediği ve alaşımın sünekliğinde önemli ölçüde iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir.

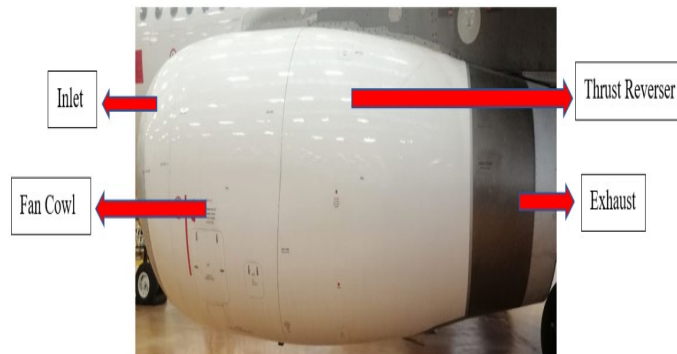
## 2. Hava Araçlarında Malzeme Tasarım Süreci

Hava araçlarında kullanılan bütün malzemelerin tasarım ve üretim süreçleri titiz bir şekilde yürütülmektedir. Hava araçlarının parçaları tasarlanırken en ufak hata veya eksiklik olması durumunda hava aracının faal olarak çalışması esnasında birçok can kaybına yol açabileceğinden dolayı bu tür tasarımlarda yüksek hassasiyet gösterilmelidir. Çünkü uçak kazalarındaki incelemelerde, tasarım hatalarının da kazalara sebebiyet verdiği bilinmektedir (Findlay ve Harrison, 2002). Hava araçları çok zorlu koşullarda faaliyet gösterdiği için bu araçlarda kullanılacak olan malzemelerin tasarım süreçlerinde gerilim, darbe, çekme, itme gibi kuvvetlere karşı dayanıklılık faktörü ve özellikle malzemelerin kullanım sürecindeki yorulma faktörü mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır (Bhaumik vd., 2008). Tavares ve Castro (2017) çalışmalarında, uçak parçalarının tasarımı sırasında yorulma ve hasar toleransının belirlenmesinin, parçaların kullanım ömrü açısından çok önemli olduğunu vurgulamışlardır. Zhang vd. (2022) çalışmalarında uçaklardaki bütünlük gereksinimlerinin Prognostik ve Sağlık Yönetimi teknolojisi ile takip edilebileceğini belirtmişlerdir. Dababneh ve Kipouros (2018) çalışmalarında, uçak geliştirilmesi sürecinde, ilgili uçağın yapısal ağırlığının ön tasarım süreçlerinde uçağın genel performansı ve maliyeti üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Uçak tasarım süreçlerinde belirlenen uçağın yapısal özellikleri ve uçağın şekli, ilgili uçağın uçuş performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir (Sleesongsom vd., 2013). Şekil 1'de uçağın genel yapısının alttan görünüşü görülmektedir.



Şekil 1. Uçağın genel yapısının alttan görünüşü.

Uçakların temel bileşenlerinden olan motor ve yardımcı güç ünitesi (APU), uçağın ihtiyaç duyduğu mekanik gücü sağlar. Uçak motorlarının görevi kısaca kompresördeki basınçlı havayı kullanarak yanma odasındaki yakıtı karıştırarak yüksek sıcaklıkta yanma ürünleri elde etmek olarak tanımlanabilir (Ekici, 2020). Buradan anlaşılacağı üzere uçak motorları oldukça zorlu koşullar altında çalışmaktadır. Bundan dolayı uçak motorlarının tasarım süreçlerinde, ısıya dayanıklılık, basınca dayanıklılık vb. parametrelere dikkat edilmelidir. Şekil 2'de uçak motorunun genel yapısı görülmektedir.

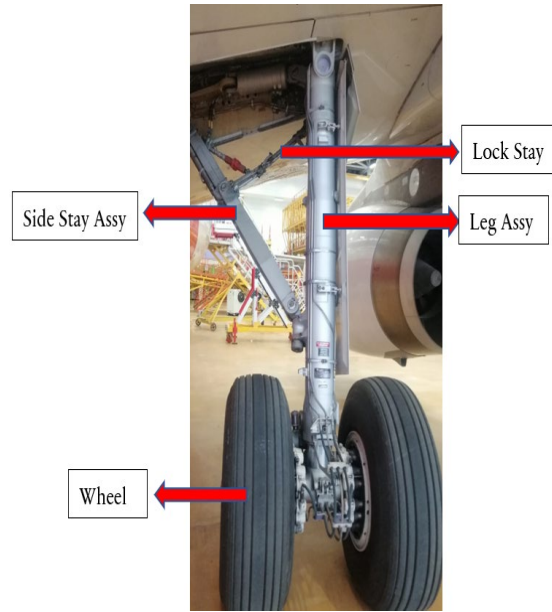


Şekil 2. Uçak motorunun genel yapısı.

Bacak (2010) çalışmasında, uçak motorlarının güçlü, hafif, düşük maliyetli, güvenilir ve minimum düzeyde gürültülü olması gerektiğini belirtmiştir. Tong ve Naylor (2009) çalışmalarında, yeni uçak motorlarının geliştirilebilmesi için uçak motoru tasarımında motor ağırlığının çok kritik bir role sahip olduğunu belirtmişlerdir. Hall ve Crichton (2006) çalışmalarında, motor ağırlığının

azaltılabilmesi için şanzımanlı bir sistem ve uçak gövdesine takıldığında mevcut turbofanlara göre daha az gürültülü şekilde çalışabilecek bir motor mekanik tasarımı öne sürmüşlerdir. Reitenbach vd. (2020) çalışmalarında, uçak motoru tasarım sürecinde dijital sistemlerden faydalanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Vieweg vd. (2020) da çalışmalarında uçak motorlarının tasarım süreçlerinde dijitalleşmenin öneminden bahsetmişlerdir. Voet vd. (2022) çalışmalarında, uçak motorlarındaki gürültüyü ölçmeye olanak verebilecek Python Gürültü Değerlendirme modelini öne sürmüşlerdir ve bu modelin uçak motor tasarım süreçlerinde kullanılabilirliğinden bahsetmişlerdir. Mark ve Selwyn (2016) çalışmalarında, bir eğitim uçağının düşük bypasslı bir turbofan motorunun dairesel bir yanma odasının tasarımı ve analizini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları analiz sonucunda tasarımın başarılı olduğunu tespit etmişlerdir. Haglind (2008) çalışmasında, uçak motorları için itme verimliliğini geçici olarak azaltıp, kontraail oluşumunu azaltabilecek teknik çözümlere değinmiştir. Yaptığı analizler sonucunda, motor fanı için 'Variable Guide Vane'lerin kullanılmasının, troposferde kontraillerin eşik oluşum sıcaklığını düşürebileceğini tespit etmiştir. İşbilen ve Konar (2020) çalışmalarında, uçakların harici güç ünitesi için ve stall uyarı sistemi için bir 'SCADA' tasarım modellemesi gerçekleştirmişlerdir. Uçakların güvenilirliğini etkileyebilecek olan bu iki sistem tasarımının modellemesini yaparak, olası uçak kazalarının önlenebileceğini belirtmişlerdir.

Uçakların temel bileşenlerinden olan iniş takımları, uçağın kalkışı, uçağın inişi ve uçak yerdeyken uçağın taksi işlemlerini yerine getirebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca iniş takımları içinde bulunan disk ve hidrolik sistemler kullanılarak uçağın güvenli bir şekilde fren yapmasına olanak sağlar (Erol, 2019). Hava araçlarında kullanılan iniş takımlarının böylesine zorlu ve oldukça önemli görevleri olmasından dolayı, iniş takımları tasarlanırken birçok parametre göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 3'te uçak iniş takımlarının genel yapısı görülmektedir.



Şekil 3. Uçak iniş takımlarının genel yapısı.

Karabacak (2018) çalışmasında, uçaklarda yeni tasarımların oluşturulmasında kullanılan modellemelerin çok iyi yapılması gerektiğini belirtmiştir. Köroğlu (2020) çalışmasında, uçak iniş takımlarının tasarım aşamalarının konsept ve ön tasarım ile başladığını ve ardından detaylı tasarım sürecinden oluştuğunu belirtmiştir. Ayrıca tasarım sürecinde, iniş takımlarına yorulma, gerilme, güvenilirlik vb. testlerinin de uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Kadarno vd. (2021) çalışmalarında, iniş takımı bileşenlerinin tasarım ömürleri süresince güvenilir ve efektif bir şekilde çalışabilmesi için iniş takımlarının mantıklı ve düzgün bir şekilde tasarlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Tang vd. (2022) çalışmalarında, uçakların uygun olmayan araziye güvenli bir şekilde iniş ve kalkış yapabilmesi için iniş takımlarının araziye uygun özelliklerde olması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda, çalışmalarında üç ayaklı iniş takımlarının mekanizmaları için bir Sanal Eşdeğer Paralel Mekanizma modellemesi gerçekleştirmişlerdir ve yaptıkları analizler sonucunda modellemenin efektif olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Tang vd. (2022) çalışmalarında, Sanal Eşdeğer Paralel Mekanizmasına dayalı dört ayaklı iniş takımlarında bir performans optimizasyon yöntemi önermişlerdir. Yaptıkları testler sonucunda kullanılan yöntemin, mekanik tasarıma ve araziye uygun iniş takımlarının optimum kontrolüne doğrudan uygulanabilir olduğunu tespit etmişlerdir. Fei vd. (2021) çalışmalarında, iniş takımlarının ağırlığını azaltabilmek için bir Küresel/Yerel Bağlantılı Güdümlü Optimizasyon Stratejisi geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, geliştirdikleri tasarım yönteminin geleneksel tasarım yöntemine göre optimizasyon verimliliğinde ve ağırlık azaltılmasında daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Gupta vd. (2023) çalışmalarında, uçakların ağırlığını azaltabilmek için bir ana iniş takımını topoloji optimizasyonu ve üretken tasarım algoritmalarının birleşimi ile tasarlamışlardır. Bu çalışmaları sonucunda, yaptıkları ana iniş takımı tasarımının geleneksel tasarımlara göre daha hafif olduğunu belirlemişlerdir. Sonowal vd. (2021) çalışmalarında, bir iniş takımı amortisör modelinin yapısal analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu incelemelerde, yüksek mukavemetli paslanmaz çelikli ve titanyum alaşımli modellerini karşılaştırmalı olarak ele almışlardır ve bu analizler sonucunda yüksek mukavemetli paslanmaz çelik modelinin daha az gerilime ve deformasyona sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Uçakların en temel bileşenlerinden biri de uçağın kaldırma kuvvetini arttıran ve uçağın aşağı yöndeki ağırlık kuvvetini yenip havada kalmasına olanak veren kanatlardır. Bu yüzden uçağın temel unsurlarından olan kanadın tasarımını hafiflik, ebat, hava aracına

uyumluluk gibi etkenleri göz önünde bulundurarak gerçekleştirmek gerekmektedir (Günay ve Özbay, 2019). Bir uçağın kanat tasarımı yapılırken yapı ve aerodinamik gibi birçok faktör değerlendirilmektedir (Yu ve Du, 2006). Şekil 4'te bir uçak kanat yapısının genel yapısı görülmektedir.



Şekil 4. Uçak kanat yapısının genel yapısı.

Wang vd. (2020) çalışmalarında, üç eksen etrafında kontrol yapılabilen kanatlı tip uçaklardaki güç kontrolü zorluğundan ve bu zorluklardan dolayı oluşan sapma eğilimlerinden bahsetmişlerdir. Bu tür zorlukları aşabilmek için üç ekseninin birleştirilmesi ile oluşan yeni bir uçuş kontrol tasarımı sunmuşlardır ve bu bağlamda üç eksenli birleşik uçuş kontrol tasarımı yöntemini bir uçak üzerinde test etmişlerdir. Bu incelemeler sonucunda bu yeni tasarımın her üç ekseninde de Seviye 1 uçuş performansı yeterliliğine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Chinni ve Siddappa (2022) çalışmalarında hava aracı kanatlarının aerodinamik basınçtan dolayı çeşitli yüklere maruz kaldıklarını ve bundan dolayı da kanat yapıları üzerinde eğilme, sıkışma ve gerilim kuvvetlerinin oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu kuvvetlerin kanat yapısı üzerindeki etkisini azaltmak için küçük taşıma uçaklarının kanatlarında kullanılmak üzere bir tasarım öne sürmüşlerdir ve analizlerinde kanadın ucuna kadar uzanan spar tasarımının olumlu sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Wansasueb vd. (2022) çalışmalarında mekanik ve uçak kanadı tasarımı için yeni bir metasezgisel yöntem önermişlerdir ve önerilen bu yöntemin, klasik diferansiyel evrim ve denge optimizasyonu metasezgisel yöntemlerinin birleşiminden meydana geldiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları analizler sonucunda önerilen yeni yöntemin çok iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Benaouali ve Kachel (2019) çalışmalarında uçak kanatlarının esaslarına uygun olarak ve multidisipliner tasarım optimizasyonuna bağlı olarak tam otomatik bir yaklaşım gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları incelemeler sonucunda, geliştirdikleri yaklaşım modelinin, Çok Disiplinli Tasarım Optimizasyonu ile ilgili birçok sorunun önüne geçebilecek düzeyde olduğunu tespit etmişlerdir.

#### 4. Sonuç

Mühendislik alanında bir malzeme tasarlanırken, tasarımcı ilgili parçanın veya malzemenin fiziksel özellikleri, dayanım limitleri ve sınırlayıcı etkenleri hakkında ileri seviyede bilgi sahibi olmalıdır. Bir tasarımcı, malzeme seçimi aşamasında malzemenin süneklik, sertlik, korozyona karşı direnç vb. özelliklerini mutlaka dikkate almalıdır. Malzeme seçiminin doğru yapılmadığı parça tasarımı durumlarında ilgili parçanın ilk kullanım aşamasında veya ilerleyen aşamalarda ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu tür sorunların engellenebilmesi için malzemenin temel özelliklerini analiz etme, malzeme seçimi, seçilen malzemelerin tek tek değerlendirilmesi ve en uygun malzemenin belirlenmesi gibi metotlar geliştirilmiştir (Ünver, 2020). Tasarımcılar, malzeme türünün çeşitliliğinden dolayı ve birçok üretim süreci tekniğinin olmasından dolayı malzeme seçimi yaparken çok zorlanmaktadırlar (Khabbaz vd., 2009). Havacılık alanında malzeme seçimi oldukça önemlidir. Bu yüzden uçaklarda kullanılacak olan malzemelerin belirlenebilmesi için çok yönlü ve detaylı araştırmalar ve deneyler gerçekleştirilmelidir. Uçak bileşen veya parçaları tasarlanırken en ufak ihmal veya yanlışlık uçağın servis sürecinde ciddi kazalara veya birçok can kaybına yol açabileceğinden dolayı bu alandaki tasarımlarda daha dikkatli davranılmalıdır. Uçak parçalarının tasarımı sırasında yorulma ve hasar toleransının belirlenmesi, parçaların kullanım ömrü bakımından oldukça kritiktir (Tavares ve Castro, 2017). Hava aracının geliştirilmesi sürecinde, ilgili uçağın yapısal ağırlığının ön tasarım süreçlerinde uçağın genel performansı ve maliyeti göz önünde bulundurulmalıdır (Dababneh ve Kipouros, 2018). Uçaklarda kullanılan motorlar, oldukça zorlu koşullar altında çalışmaktadır. Bundan dolayı uçak motorlarının tasarım süreçlerinde, ısıya dayanıklılık, basınca dayanıklılık vb. parametrelere dikkat edilmelidir. Uçak motorlarının güçlü, hafif, düşük maliyetli, güvenilir ve minimum düzeyde gürültülü olması istenir (Bacak, 2010). Hava araçları için tasarlanacak yeni uçak motorlarının geliştirilebilmesi için uçak motoru tasarımında motor ağırlığı çok kritik bir role sahiptir (Tong ve Naylor, 2009). Hava araçlarında kullanılacak motorların tasarım sürecinde dijital sistemlerden faydalanılabilir (Reitenbach vd., 2020). Uçaklarda kullanılan iniş takımlarının çok zorlu koşullarda ve oldukça önemli görevleri bulunmasından dolayı, iniş takımları tasarlanırken birçok faktör değerlendirilmelidir. Hava araçlarının iniş takımlarının tasarım aşamaları konsept ve ön tasarım ile başlamaktadır ve sonrasında detaylı tasarım sürecinden başlamaktadır (Köroğlu, 2020). Uçak iniş takımı bileşenlerinin tasarım ömürleri boyunca güvenilir ve efektif bir şekilde çalışabilmesi için iniş takımlarının mantıklı ve uygun bir şekilde tasarlanması gerekmektedir (Kadarno vd., 2021). Uçağın temel yapılarından olan kanadın tasarımı yapılırken hafiflik, ebat, hava aracına uyumluluk gibi etkenleri göz önünde bulundurarak gerçekleştirmek gerekmektedir ve uçağın kanat tasarımı yapılırken yapı ve aerodinamik gibi birçok faktör değerlendirilmektedir (Günay ve Özbay, 2019; Yu ve Du, 2006).

## Kaynakça

- Albaraz, Z. (2010). *Isıl işlem parametrelerinin ve kimyasal kompozisyonun sıcak iş takım çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisi* [PhD Thesis]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alizadeh, M., Vahdatinejad, F., & Pashangeh, S. (2023). Feasibility study of producing Al-5Zn-1 Mg alloy by accumulative roll bonding process and subsequent heat treatment. *Engineering Failure Analysis*, 143, 106927.
- Aydın, H., & Bayram, A. (2010). *Farklı ısıtma koşullarındaki 2024 alüminyum alaşımlarının korozyon sonrası mekanik özelliklerindeki kaybın belirlenmesi*.
- Bacak, S. (2010). *Uçak Motoru Taşıma Arabası Tasarımı* [Master's]. <https://www.proquest.com/docview/2689287934/abstract/D90D69B6E19743DAPQ/1>
- Bacak, S., & Kayacan, R. (2011). Düşük Kapasiteli Bir Masaüstü Mekanik Deney Cihazının Tasarımı Ve İmalatı. *Teknik Bilimler Dergisi*, 1(1), Article 1.
- Benaouali, A., & Kachel, S. (2019). Multidisciplinary design optimization of aircraft wing using commercial software integration. *Aerospace Science and Technology*, 92, 766-776. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.06.040>
- Bharath Chinni, B. N., & Siddappa, P. N. (2022). Design and analysis of front spar wing-tip segment for a small transport aircraft. *Materials Today: Proceedings*, 52, 1846-1851. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.494>
- Bhaumik, S. K., Sujata, M., & Venkataswamy, M. A. (2008). Fatigue failure of aircraft components. *Engineering Failure Analysis*, 15(6), 675-694. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2007.10.001>
- Bıyık, S. (2009). *Makine tasarımında güvenlik parametresinin incelenmesi*. <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/10388>
- Cakir, A. K. (2018). Makine Bazlı Risk Değerlendirmesi. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(1), Article 1.
- Çiltepe, E., Gürbüz, H., & Şeker, U. (2012). TASARIM VE İMALAT İÇİN MALZEME SEÇİMİNE YÖNELİK İNTERNET TABANLI BİR YAZILIM GELİŞTİRİLMESİ. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2), Article 2.
- Dababneh, O., & Kipouros, T. (2018). A review of aircraft wing mass estimation methods. *Aerospace Science and Technology*, 72, 256-266. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2017.11.006>
- Demir, M., Tekin, O., & Demir, A. (2020). T6 Yaşlandırma Isıl işlemi Uygulanan Ekstrude AA 7075 Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Davranışları. *Academic Perspective Procedia*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.01.130>
- Deore, H. A., Nichul, U., Rao, A. G., & Hiwarkar, V. D. (2022). Influence of SiC particles and post-heat treatment on the properties of Ti-6Al-4V-based surface nanocomposite fabricated by friction stir processing. *Surface and Coatings Technology*, 449, 128985. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128985>
- Dewangan, S. K., & Kumar, V. (2022). Heat treatment and processing route consequences on the microstructure and hardness behavior of tungsten-containing high-entropy alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 923, 166167. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.166167>
- Ekici, S. (2020). Investigating routes performance of flight profile generated based on the off-design point: Elaboration of commercial aircraft-engine pairing. *Energy*, 193, 116804. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116804>
- Erol, B. (2019). *Uçak komponentlerinin bilgisayar destekli malzeme seçimi ve topoloji optimizasyonu ile tasarımı* [masterThesis, Fen Bilimleri Enstitüsü]. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/365675>
- Fei, C., Liu, H., Zhu, Z., An, L., Li, S., & Lu, C. (2021). Whole-process design and experimental validation of landing gear lower drag stay with global/local linked driven optimization strategy. *Chinese Journal of Aeronautics*, 34(2), 318-328. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.07.035>
- Findlay, S. J., & Harrison, N. D. (2002). Why aircraft fail. *Materials Today*, 5(11), 18-25. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(02\)01138-0](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(02)01138-0)
- Gupta, A., Soni, V., Shah, D., & Lakdawala, A. (2023). Generative design of main landing gear for a remote-controlled aircraft. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.380>
- Günay, Ö., & Özbay, D. M. (2019). *Uçak Kanatlarının Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapısal Analizi*.
- Güven, O., Alpdoruk, D., & Irmak, Ş. (2019). *AlSi7Mg DÖKÜM ALAŞIMINDA T6 ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN*.
- Haglund, F. (2008). Potential of lowering the contrail formation of aircraft exhausts by engine re-design. *Aerospace Science and Technology*, 12(6), 490-497. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2007.12.001>
- Hall, C. A., & Crichton, D. (2006). Engine Design Studies for a Silent Aircraft. *Journal of Turbomachinery*, 129(3), 479-487. <https://doi.org/10.1115/1.2472398>
- He, Z., Qin, Y., Zhao, H., Song, J., & He, J. (2022). Effect of heat-treatment of Ti/graphite powders on the microstructure and mechanical properties of reactive plasma sprayed TiCN coatings. *Diamond and Related Materials*, 129, 109301. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109301>
- Holloway, L. (1998). Materials selection for optimal environmental impact in mechanical design. *Materials & Design*, 19(4), 133-143. [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(98\)00031-4](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(98)00031-4)
- Hou, C., Pang, Z., Xie, S., Hing Wong, N., Sunarso, J., & Peng, Y. (2023). Enhanced permeability and stability of PVDF hollow fiber membrane in DCMD via heat-stretching treatment. *Separation and Purification Technology*, 304, 122325. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122325>
- Isadare, A. D., Aremo, B., Adeoye, M. O., Olawale, O. J., & Shittu, M. D. (2013). Effect of heat treatment on some mechanical properties of 7075 aluminium alloy. *Materials Research*, 16, 190-194.
- İşbilen, F., & Konar, M. (2020). Uçak Sistemlerinin SCADA İle Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, Article 18. <https://doi.org/10.31590/ejosat.686048>

- Kadarno, P., Barrinaya, M. A., Manurung, A. O., Riyandwita, B. W., Hastuty, S., Rahmawan, Y., Pradanawati, S. A., Widiyati, K., Putra, I. S., & Purbolaksono, J. (2021). Mechanism analysis of a main landing gear of transporting aircraft: A design learning perspective. *Engineering Failure Analysis*, 119, 105015. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105015>
- Karabacak, E. (2018). *Uçakların iniş takımı süspansiyonlarının yarı aktif adaptif kontrolü* [masterThesis, Fen Bilimleri Enstitüsü]. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/382216>
- Köroğlu, S. M. (2020). *İniş takımlarında kullanılan amortisörlerin matematiksel modellemesi ve analizi* [masterThesis, Fen Bilimleri Enstitüsü]. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/632347>
- Kromm, F. X., Quenisset, J. M., Lorriot, T., Harry, R., & Wargnier, H. (2007). Definition of a multimaterials design method. *Materials & Design*, 28(10), 2641-2646. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.09.019>
- Li, X., & Liu, Y. (2023). Microstructure characterization and mechanical performance of laser powder bed fusion processed AlMgScZr alloy: Effect of heat treatment. *Materials Science and Engineering: A*, 862, 144501. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.144501>
- Lyu, Z., Sato, Y. S., Tokita, S., Zhao, Y., Jia, J., & Wu, A. (2022). Homogenization of microstructure and mechanical properties of wire arc additive manufactured martensitic stainless steel through optimization of post-process heat treatment. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 2682-2692.
- Mark, C. P., & Selwyn, A. (2016). Design and analysis of annular combustion chamber of a low bypass turbofan engine in a jet trainer aircraft. *Propulsion and Power Research*, 5(2), 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.jprr.2016.04.001>
- Negahdari, N., Alizadeh, M., Pashangeh, S., & Salahinejad, E. (2022). Structure and corrosion behavior of Cu-26Zn-5Al alloy processed by accumulative roll bonding and heat treatment. *Journal of Alloys and Compounds*, 924, 166574. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.166574>
- Omar, S. M. T., & Plucknett, K. P. (2022). The influence of DED process parameters and heat-treatment cycle on the microstructure and hardness of AISI D2 tool steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 81, 655-671. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.06.069>
- Reitenbach, S., Vieweg, M., Becker, R., Hollmann, C., Wolters, F., Schmeink, J., Otten, T., & Siggel, M. (2020). Collaborative Aircraft Engine Preliminary Design using a Virtual Engine Platform, Part A: Architecture and Methodology. İçinde *AIAA Scitech 2020 Forum*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2020-0867>
- Sarfaz Khabbaz, R., Dehghan Manshadi, B., Abedian, A., & Mahmudi, R. (2009). A simplified fuzzy logic approach for materials selection in mechanical engineering design. *Materials & Design*, 30(3), 687-697. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.05.026>
- Sarma, J., Kumar, R., Sahoo, A. K., & Panda, A. (2020). Enhancement of material properties of titanium alloys through heat treatment process: A brief review. *Materials Today: Proceedings*, 23, 561-564. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.409>
- Shen, Q., Xue, J., Zheng, Z., Yu, X., & Ou, N. (2022). Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of Al1.2CoCrFeNi2.1 high-entropy alloy fabricated by powder plasma arc additive manufacturing. *Materials Science and Engineering: A*, 857, 144129. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.144129>
- Sleesongsom, S., Bureerat, S., & Tai, K. (2013). Aircraft morphing wing design by using partial topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48(6), 1109-1128. <https://doi.org/10.1007/s00158-013-0944-3>
- Sonowal, P., Pandey, K. M., & Sharma, K. K. (2021). Design and static analysis of landing gear shock absorber of commercial aircraft. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6712-6717. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.1032>
- Tang, H., Zhang, D., & Tian, C. (2022a). A method for comprehensive performance optimization of four-leg landing gear based on the virtual equivalent parallel mechanism. *Mechanism and Machine Theory*, 174, 104924. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2022.104924>
- Tang, H., Zhang, D., & Tian, C. (2022b). An Approach for Modeling and Performance Analysis of Three-Leg Landing Gear Mechanisms Based on the Virtual Equivalent Parallel Mechanism. *Mechanism and Machine Theory*, 169, 104617. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2021.104617>
- Tavares, S. M. O., & de Castro, P. M. S. T. (2017). An overview of fatigue in aircraft structures. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 40(10), 1510-1529. <https://doi.org/10.1111/ffe.12631>
- Tong, M. T., & Naylor, B. A. (2009). *An Object-Oriented Computer Code for Aircraft Engine Weight Estimation*. 1-7. <https://doi.org/10.1115/GT2008-50062>
- Ünver, M. (2020). *Demir-çelik endüstrisinde metal malzeme seçimi için çok ölçütlü grup karar verme modeli önerisi* [doctoralThesis, Sakarya Üniversitesi]. <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/96817>
- Vieweg, M., Reitenbach, S., Hollmann, C., Schnös, M., Behrendt, T., Krumme, A., Otten, T., & Ummeln, R. M. zu. (2020). Collaborative Aircraft Engine Preliminary Design using a Virtual Engine Platform, Part B: Application. İçinde *AIAA Scitech 2020 Forum*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2020-0124>
- Voet, L. J. A., Prakash, P., Speth, R. L., Sabnis, J. S., Tan, C. S., & Barrett, S. R. H. (2022). Sensitivities of Aircraft Acoustic Metrics to Engine Design Variables for Multidisciplinary Optimization. *AIAA Journal*, 60(8), 4764-4774. <https://doi.org/10.2514/1.J061411>
- Wang, L., Zhang, N., Yue, T., Liu, H., Zhu, J., & Jia, X. (2020). Three-axis coupled flight control law design for flying wing aircraft using eigenstructure assignment method. *Chinese Journal of Aeronautics*, 33(10), 2510-2526. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.03.016>
- Wansasueb, K., Panmanee, S., Panagant, N., Pholdee, N., Bureerat, S., & Yildiz, A. R. (2022). Hybridised differential evolution and equilibrium optimiser with learning parameters for mechanical and aircraft wing design. *Knowledge-Based Systems*, 239, 107955. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2021.107955>
- Xiang, T., Zhao, M., Du, P., & Xie, G. (2023). Heat treatment effects on microstructure and mechanical properties of TiZrNbTa high-entropy alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 930, 167408. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.167408>

- Xiao, A., Lin, Y., Huang, C., Cui, X., Yan, Z., & Du, Z. (2023). Effect of electromagnetic forming–heat treatment process on mechanical and corrosion properties of 2024 aluminum alloy. *Journal of Materials Research and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.036>
- Yamagishi, K., Onyam, K., Ogawa, Y., Ando, D., & Sutou, Y. (2023). Abnormal grain growth through cyclic heat treatment in a Mg–Sc alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 938, 168415. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.168415>
- Yangaz, M. (2019). *Yüksek sıcaklık şartlarında çalışan vana çeliğinin kaynak sonrası MİKROYAPISALve mekanik özellikleriüzerine ısıt işlemin etkisi* [masterThesis, Sakarya Üniversitesi]. <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/79538>
- Yu, X., & Du, X. (2006). Reliability-based multidisciplinary optimization for aircraft wing design. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2(3-4), 277-289. <https://doi.org/10.1080/15732470600590333>
- Yurdakul, M., Özbay, O., & İç, Y. (2013). Havacılık Alanında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(2), Article 2.
- Zhang, P., Liu, J., Gao, Y., Liu, Z., & Mai, Q. (2023). Effect of heat treatment process on the micro machinability of 7075 aluminum alloy. *Vacuum*, 207, 111574.
- Zhang, Y., Wang, B., Ning, Y., Xue, H., & Lei, X. (2022). Study on Health Monitoring and Fatigue Life Prediction of Aircraft Structures. *Materials*, 15(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/ma15238606>