

## ALÜMİNYUM VE PVC KÖPÜKTEN ÜRETİLEN İNSANSIZ HAVA ARACININ ANALİZİ

Selim KÖÇ<sup>1</sup> ve Arif Emre Telli<sup>2</sup>  
Samsun Üniversitesi, Samsun

Halil İbrahim Kurt<sup>3</sup>  
Samsun Üniversitesi, Samsun

### ÖZET

*Bu çalışmada alüminyum alaşımı ve PVC köpük malzemelerinden yapılmış geleneksel kuyruk tipine sahip kanatlı insansız hava aracının analizi yapılmıştır. Kanat ve kuyruk yapısı için Naca6412 airfoil kullanılmıştır. Akış analizinde drag ve lift değerleri ile basınç kontur analizinin insansız hava aracında hava aracının basınç yüzeyindeki değişimleri incelenmiştir. Yapısal analizde ise insansız hava aracının bir bütün olarak total deformasyon, kesme gerilimi, gerinim enerjisi, elastik gerinim ve normal gerinim analizleri yapılmıştır. Bu analiz yapılırken sırasıyla 10, 20, 50 ve 100 newtonluk kuvvet değerleri uygulanmış ve daha sonra elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda insansız hava aracında hızın en az olduğu yerler olan burun ucu ve kanat ile kuyruğun akışı gören kısımlarında basıncın en fazla olduğu görülmüştür. Yapısal analizler sonucunda ise her iki malzeme için de kuvvet değeri arttıkça tüm deformasyon türleri için değerlerin arttığı görülmektedir. Analizi yapılan bu iki malzeme birbiri ile kıyaslandığında ise PVC Köpükten yapılmış insansız hava aracında deformasyon değerlerinin alüminyum alaşımdan daha fazla çıktığı görülmektedir.*

### GİRİŞ

İnsansız hava araçları (İHA); içinde pilotu ve yolcusu olmayan, sadece amaca yönelik ekipman (kamera, sensörler vb.) taşıyan, uzaktan kumandayla ve/veya otomatik kontrole sahip olan ve görevini yerine getiren bir hava aracıdır [Sertkaya, 2020]. İnsanlı uçakların operasyon ve manevra kabiliyetleri G-kuvveti veya yorgunluk gibi insani faktörlerle sınırlanmaktadır. Bu sınırlamalar İHA teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde azaltılmaya ve hatta ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır [Serttaş et al., 2023]. Günümüzde İHA'lar, yerde bulunan bir pilot tarafından gönderilerek uzaktan kumanda ile görev icra ettirilen veya önceden yapılan uçuş programı yüklenerek otomatik olarak uçurulan hava araçlarıdır. Bunlar için çok genel olarak; teknik özelliklerine göre (ağırlıklarına göre, yakıt/enerji kaynağına göre, kanat yapısına göre, otomatik veya uzaktan kumandalı olmasına göre, vb.) ve kullanım amaçlarına göre (askeri amaçlı (keşif, silah, saldırı vb.) ve sivil (hobi, bilimsel ve ticari) iki ana sınıflandırma yapmak olanaklıdır. ICAO genelgesinde ise İHA'lar; otomatik ve uzaktan kumandalı olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır, (ICAO, 2011) [Kahveci & Can, 2017].

İHA'nın kanat performansı havanın kanat üzerinde oluşturduğu sürükleme ve kaldırma kuvveti ile doğrudan ilintilidir [Güleren & Demir, 2010]. Uçak kaburgalarının yapısal dayanımı havacılık endüstrisi için önemli bir konudur [Akdoğan & Sülü, 2023]. Gelişmiş analiz programları, yapılan optimizasyon çalışmaları neticesinde parçanın davranışları ile ilgili ilk verileri sunarken, prototip parça üretimleri ve test maliyetlerinin düşürülmesine de fayda sağlamaktadır. Prototip parça adetlerinin ve test sayılarının azaltılması, planlama ve süreçlere direkt katkı sağlamaktadır. Bu da öngörülerin daha kuvvetli olması, iş gücü kazanımı ve sürelerin azaltılması açısından pozitif geri dönüş vermektedir [Çelik & Yıldız, 2022]. Bu çalışmada İHA'nın tasarımı ve yapısal analizi üzerinde durulmuştur. İHA'nın tasarımı Solidworks uygulamasında tasarlanmıştır ve analizleri de Ansys Fluent programında yapılmış elde edilen sonuçlar literatür taraması yapılarak yorumlanmış ve en uygun sonuçlar elde edildiği ortaya konulmuştur.

Total deformasyon analizi, yapının genel stabilitesi ve mukavemeti hakkında bilgi verir, bu nedenle uçuş sırasında meydana gelebilecek olası yapısal arızaların belirlenmesinde yardımcı olur. Kesme gerilimi analizi, kanat ve gövde gibi önemli bileşenlerin uçuş esnasında karşılaşacağı kayma kuvvetlerinin analizini sağlar, bu da malzeme seçiminde dikkate alınacak parametreleri belirler. Elastik gerinim analizi, yapıyı çeşitli yükler altında karşılabileceği gerilim dağılımı ile tanımlar ve deformasyon tamamlandıktan sonra orijinal şekline dönüp dönmeyeceğini gösterir, bu da yapı için

uzun ömürlü bir tasarım sağlamak için önemlidir. Normal gerinim analizi, aksenal yükler altında yapının. Ayrıca, bu veriler, performans iyileştirmeleri ve mühendislik ayarları için mühendislik kararlarında kullanılır. Bu nedenle, bu analizler, İHA'nın güvenliği, performansı ve dayanıklılığı açısından kritiktir.

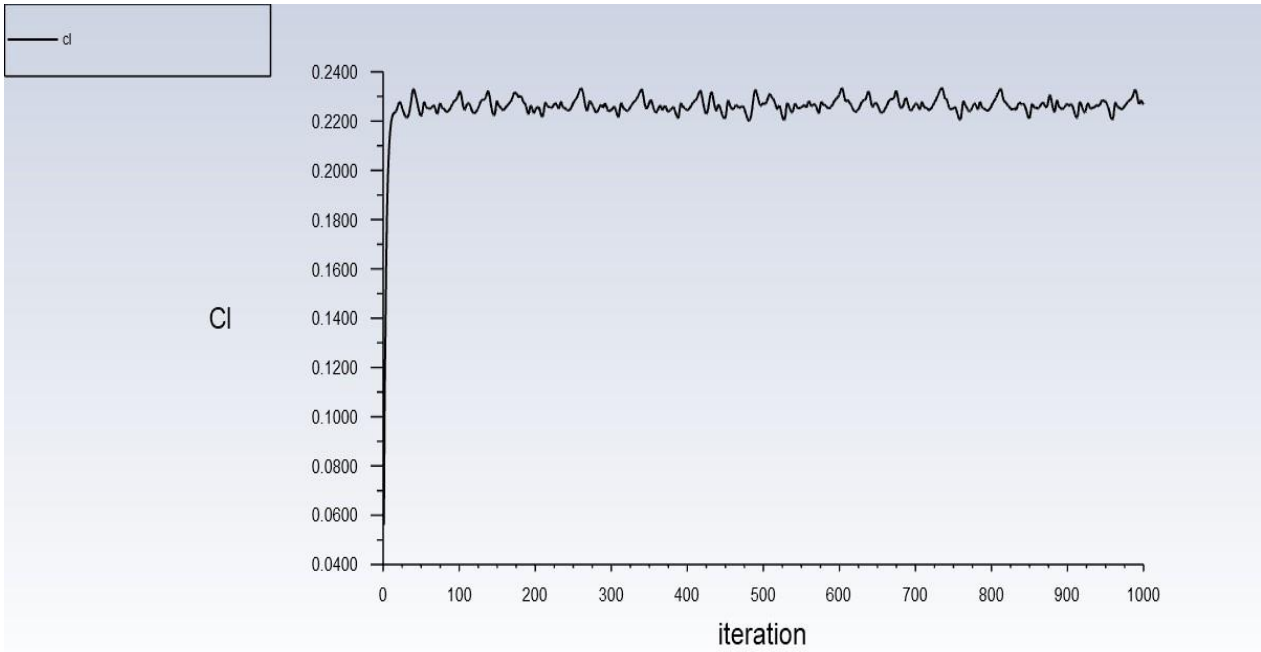
## YÖNTEM

Bu çalışmada, elle fırlatılabilen insansız hava aracımızın tasarımı için tüm bileşenlerinin tasarımı ve montajı Solidworks programı kullanılarak gerçekleştirildi. İlk başta Naca6412 airfoil tipinde kanat ve kuyruk tasarımları oluşturuldu. Gövdenin tasarımı da yapıldıktan sonra her kuyruk tipi için ayrı tasarım yapıldıktan sonra kuyruk ve kanadın gövdeye montajı yapıldı.

Akış analizleri için farklı kuyruk ve airfoil tiplerinin etkisi Ansys Fluent programı kullanılarak incelendi. Yapısal analizler ise farklı malzemelerin ve kuvvetlerin etkilerini değerlendirmek amacıyla Ansys Structure programıyla gerçekleştirildi. Bu çalışmada analiz malzemeleri olarak epoxy s glass ud ve paslanmaz çelik tercih edilmiştir.

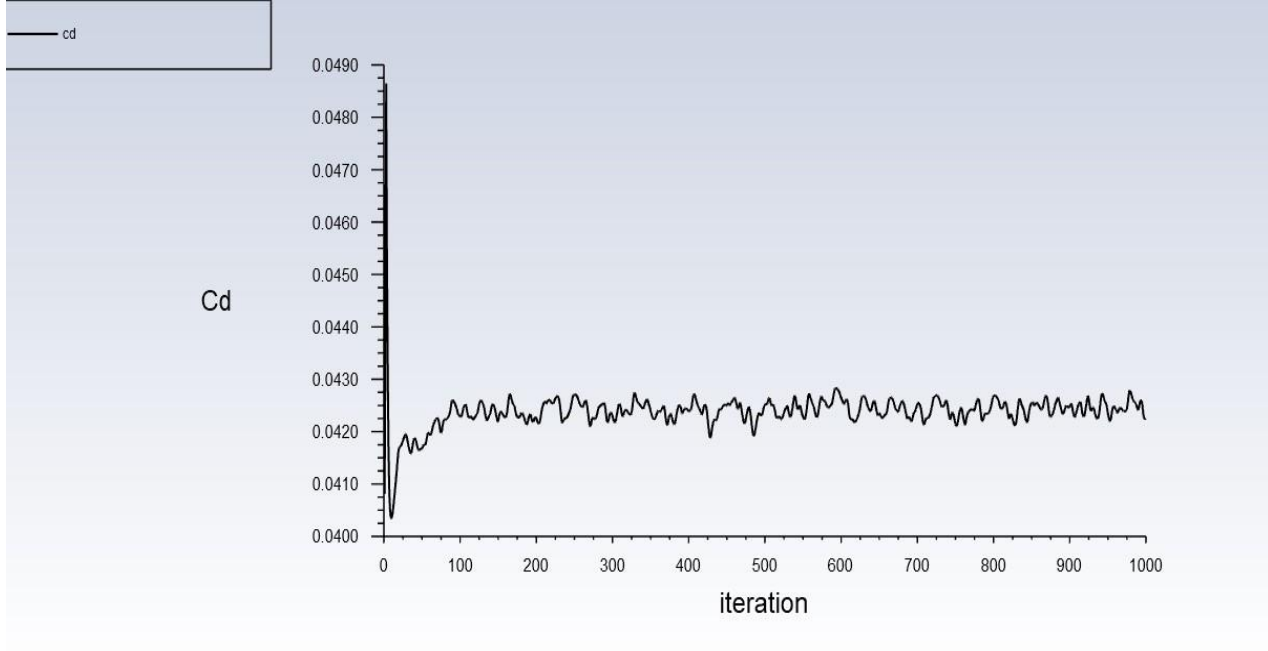
### 1.Akış Analizi

**1.1. CL Analizi:** Yaptığımız CL analizinde, kanat ve kuyruğu olan geleneksel kuyruk konfigürasyonuna sahip İHA'nın kaldırma katsayısı (CL) 0.22 ile 0.23 arasında çıktı. Bu sonuç, İHA'nın düşük hücum açılarında bile tatmin edici kaldırma kuvveti oluşturabildiğini gösterir. Bulduğumuz. Özellikle, geleneksel kuyruk tasarımının, kanat profilinin sağladığı kaldırma potansiyelini etkin bir şekilde desteklediği gözlemlenmektedir. Ayrıca, bu CL değerleri, tasarımın belirli bir uçuş koşulunda ne kadar etkili olacağını analiz etmemize yardımcı olmaktadır.



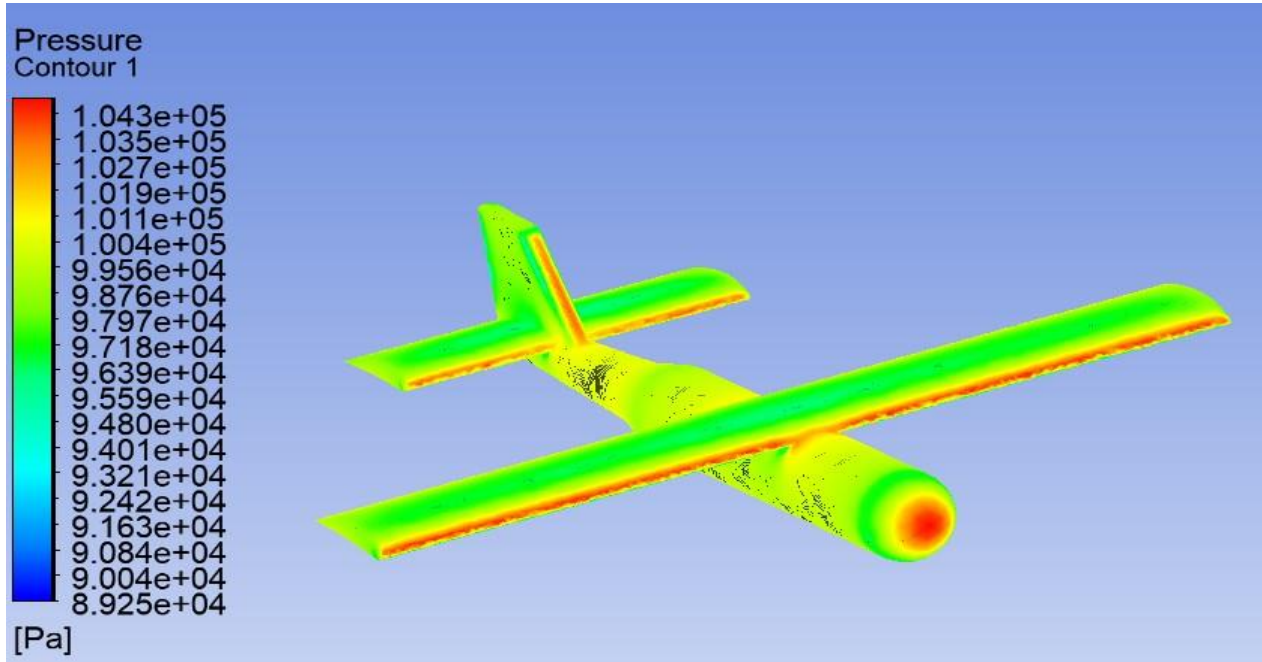
Şekil 1: Naca 6412 Airfoil Tipinde Kanat ve Kuyruğa Sahip Geleneksel Kuyruk Tasarımına Sahip İha CL Analizi

**1.2.  $C_D$  Analizi :** 0 derece hücum açısında NACA 6412 airfoil tipine sahip kanat ve kuyrukla donatılmış olan İHA'nın sürükleme katsayısının ( $C_D$ ) 0.042 ile 0.043 arasında olduğunu belirledik. Bu, İHA'nın düşük sürükleme kuvveti ile etkili bir şekilde uçabileceğini göstermektedir. Bu tür sonuçlar, aerodinamik verimliliğin yüksek olduğunu. Bu  $C_D$  değerleri, İHA'nın yakıt tüketimi ve operasyonel maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olur. Analiz sonuçları, hava profili kombinasyonunun sürükleme performansını iyileştirdiğini ve uçuş özelliklerini etkilediğini göstermektedir



Şekil 2: Naca 6412 Airfoil Tipinde Kanat ve Kuyruğa Sahip Geleneksel Kuyruk Tasarımına Sahip İha  $C_D$  Analizi

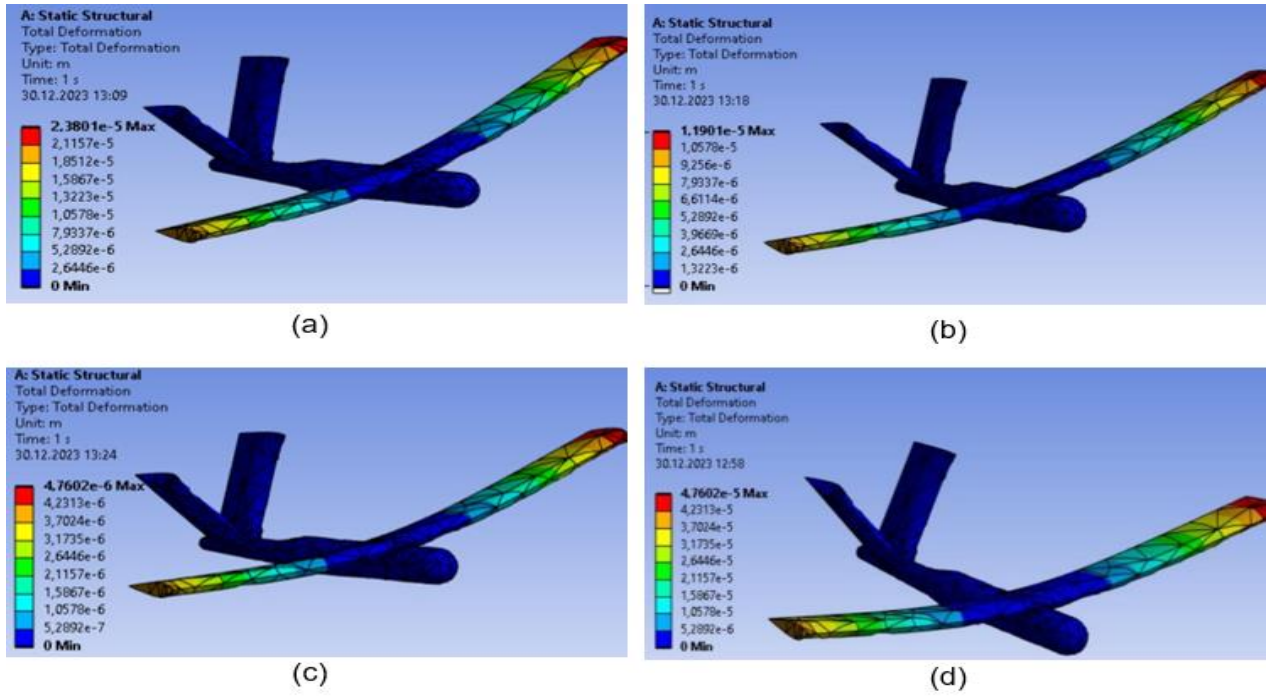
**1.3. Basınç Kontur Analizi:** İnsansız Hava Aracı (İHA) üzerindeki basınç analizi incelendiğinde, akışın ilk temas ettiği bölgelerde basınç değerlerinin en yüksek seviyelere ulaştığı görülmüştür. Bu durum, Bernoulli denklemi ile de uyumlu olarak, akış hızının düşük olduğu bölgelerde basıncın en yüksek değerine ulaştığını göstermektedir [Ertürk & Erzincanlı, 2019]. Özellikle, kanadın hücum kenarı akışın ilk temas ettiği nokta olup, bu bölgede akış hızı sıfıra çok yakındır. Bu nedenle, basınç burada en yüksek değerine ulaşmıştır. Kanadın alt yüzeyinde ise daha yüksek basınç bölgeleri tespit edilmiştir. Bu basınç farkı, kaldırma kuvvetinin oluşmasına neden olmaktadır. Kuyruk yüzeylerinde yapılan analiz, yatay stabilizatörün üst yüzeyinde kanat profiline benzer şekilde düşük basınç bölgelerinin olduğunu göstermiştir. Dikey stabilizatör üzerinde ise simetrik basınç dağılımı ve buna bağlı olarak yan stabilite sağlanmaktadır. Kuyruk yüzeylerinin basınç dağılımı, İHA'nın uzunlamasına ve yatay denge performansını olumlu yönde etkiler.



Şekil 3: Naca 6412 Airfoil Tipinde Kanat ve Kuyruğa Sahip Geleneksel Kuyruk Tasarımına Sahip İha Basınç Konturu

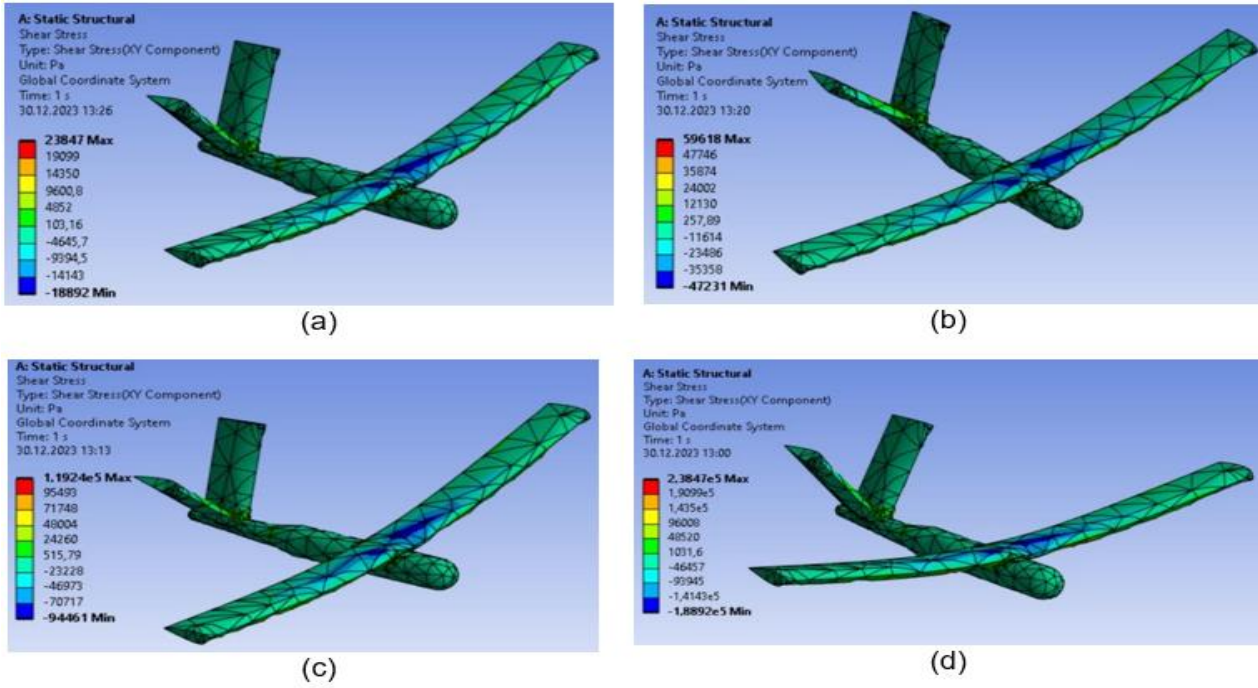
## 2. YAPISAL ANALİZ

**2.1. Alüminyum Alaşım (Total Deformasyon):** İnsansız Hava Aracı (İHA) kanadında alüminyum alaşım kullanıldığında oluşan total deformasyon değerleri analiz edilmiştir. Bu analizde, total deformasyonun yukarı yönlü kuvvetlerin artmasıyla birlikte arttığı tespit edilmiştir. Kanat uçlarındaki çekme ve basma kuvvetleri en yüksek değerlerine ulaştığından, analiz sonuçları bu bölgelerde kırmızı renkte gösterilmektedir. İHA gövdesine doğru ilerledikçe kuvvetlerin azalması nedeniyle total deformasyon değerinin de azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalma, yapısal tasarımın ve yük taşıma kapasitesinin daha merkezi bölgelere doğru dağılımıyla ilişkilidir. Kanadın uç kısımlarında, özellikle çekme ve basma kuvvetlerinin etkisiyle yüksek deformasyon değerleri oluşmuştur. Bu durum, materyalin mekanik özellikleri ve yük dağılımı ile uyumludur. Alüminyum alaşımın elastik modülü ve akma dayanımı, yüksek yük altında bu tür deformasyonların meydana gelmesine neden olmaktadır.



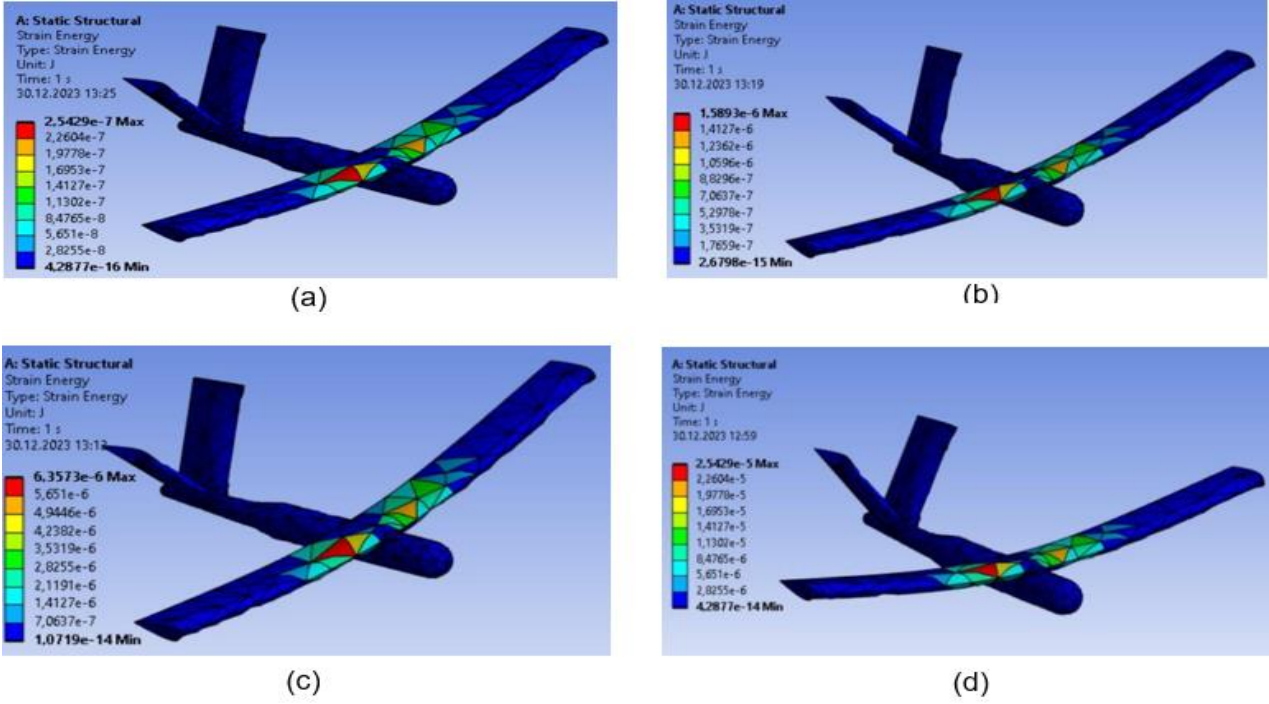
Şekil 4: Total Deformasyon a) 10 N b) 25 N c) 50 N d) 100 N

**2.2. Alüminyum Alaşım (Kesme Gerilimi):** Kesme gerilimi, İnsansız Hava Aracı'nın (İHA) yük taşıma kapasitesini belirlemek açısından kritik bir parametredir. İHA'nın kesme gerilimi ne kadar yükseğe, o kadar fazla kesme kuvvetine dayanabilir ve dolayısıyla yapısal dayanıklılığı artar. Kayma gerilmesi, cismin yüzeyine uygulanan kuvvetlerden veya kuvvet vektörlerinden kaynaklanabileceği gibi, burulma (tork) etkisi sonucunda da meydana gelen bir gerilme türüdür [Demirpolat & Daş, 2019]. Bu çalışmada, İHA'ya 10, 25, 50 ve 100 Newtonluk yukarı yönlü kuvvetler uygulanmış ve bu kuvvetler tork etkisi yaratarak kesme gerilimine sebep olmuştur. Analiz sonuçlarında, İHA üzerindeki kesme geriliminin dağılımı renk skalası ile görselleştirilmiştir. Mavi ve yeşil renkler, daha düşük kesme gerilimi bölgelerini temsil etmektedir ve bu renklerin yoğunluğu, İHA'nın uygulanan kuvvetlere karşı yeterli dayanıklılığa sahip olduğunu göstermektedir. Kesme gerilimi analizi, İHA'nın yapısal dayanıklılığını ve yük taşıma kapasitesini anlamak için önemli bir değerlendirme aracıdır. Bu tür analizler, tasarım sürecinde malzeme seçiminde ve yapısal güçlendirme stratejilerinde rehberlik eder.



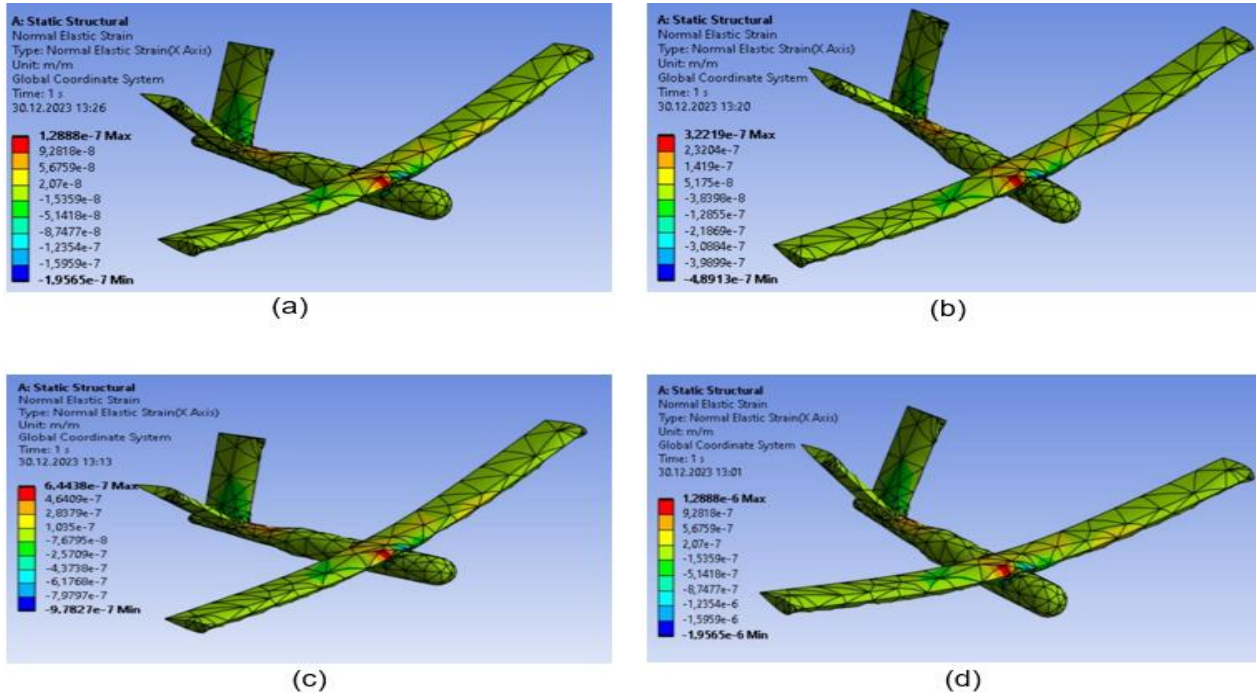
Şekil 5: Kesme Gerilimi a) 10 N b) 25 N c) 50 N d) 100 N

**2.3. Alüminyum Alaşım (Gerinim Enerjisi):** Gerinim enerjisi, bir malzemenin şekil değiştirmesi sonucu depoladığı potansiyel enerji miktarını ifade eder. İnsansız Hava Aracı'na (İHA) uygulanan yukarı yönlü kuvvet, kanadı şekil değiştirmeye zorlayarak, malzemenin elastik sınırlarını zorlamakta ve bu süreçte gerilim ve gerinim enerjisi oluşmaktadır. Yapılan detaylı analizler sonucunda, kanadın gövdeyle birleştiği noktada maksimum gerinim enerjisinin biriktiği gözlemlenmiştir. Bu durum, yapısal bütünlük açısından kritik bir alan olan bu birleşim bölgesindeki yüksek gerinim seviyelerine işaret etmektedir. Renk dağılımı analizi ise, bu yüksek gerinim bölgelerini sıcak renklerle (örneğin kırmızı ve turuncu tonları) vurgulamaktadır. Kanadın gövdeye en yakın bölgelerinde yoğunlaşan bu yüksek enerji birikimleri, malzemenin bu bölgelerde daha fazla gerilime maruz kaldığını göstermektedir. Bu durum, İHA'nın yapısal tasarımında, özellikle uzun süreli yüklemelere karşı dayanıklılığın artırılması ve olası hasar risklerinin azaltılması açısından dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu nedenle, gerinim enerjisi analizleri, İHA'nın güvenilirliği ve operasyonel performansı açısından önemli bir değerlendirme aracı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 6: Gerinim Enerjisi a) 10 N b) 25 N c) 50 N d) 100 N

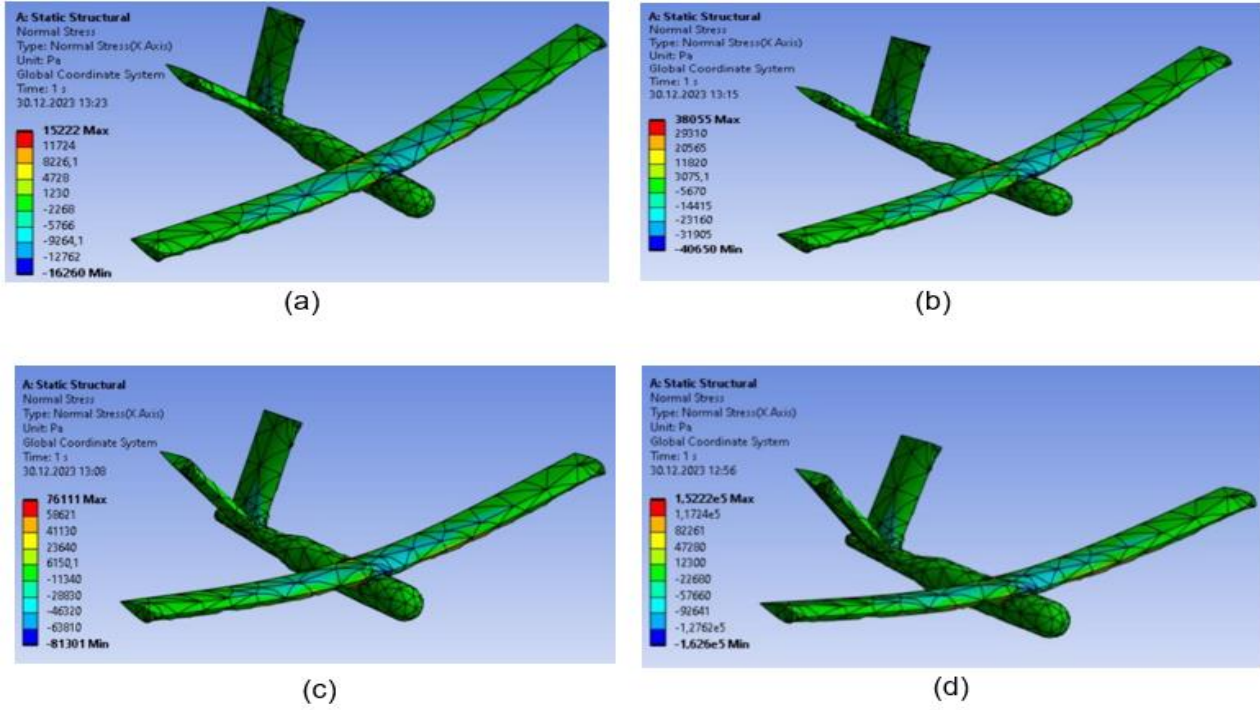
**2.4. Alüminyum Alaşım (Elastik Gerinim):** Elastik gerinim, bir malzemenin uygulanan bir kuvvet altında geçici olarak şeklini değiştirebilme ve kuvvet kaldırıldığında başlangıç şekline geri dönebilme yeteneğidir. Kanat ve gövdedeki gerinim analizlerinde, renk parametreleri incelendiğinde tüm kuvvetler için renklerin birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, İHA'nın uygulanan kuvvetlere karşı yüksek elastikiyet gösterdiğini ve kuvvetlerin kaldırılmasıyla birlikte başlangıçtaki şekline geri dönebildiğini göstermektedir. Elastik gerinim özellikleri, malzemenin dayanıklılığı ve uzun vadeli performansı açısından kritik bir öneme sahiptir. İHA'nın kanat ve gövdesinde kullanılan malzemelerin yüksek elastikiyet kapasitesi, yapısal bütünlüğün korunmasına ve uçuş güvenliğinin artırılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, bu elastik özellikler, İHA'nın ani yük değişimlerine ve türbülans gibi dış etkilere karşı dirençli olmasını mümkün kılmaktadır. Yapılan analizler, İHA'nın tasarımında kullanılan malzemelerin elastik özelliklerinin, performans ve güvenilirlik açısından uygun olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, İHA'nın operasyonel koşullar altında güvenilir bir şekilde çalışabileceğini ve uzun ömürlü bir performans sergileyebileceğini göstermektedir. Bu bulgular, İHA tasarımında malzeme seçiminde elastikiyet özelliklerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.



Şekil 7: Elastik Gerinim a) 10 N b) 25 N c) 50 N d) 100 N

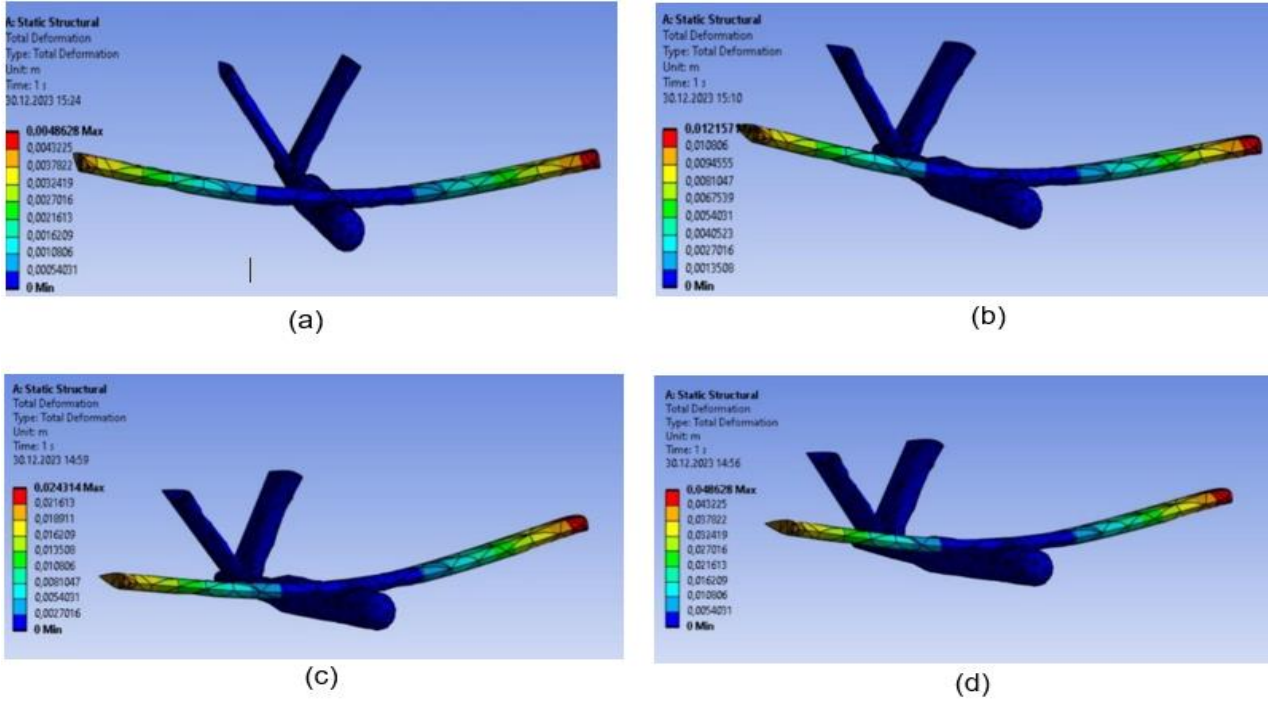
**2.5. Alüminyum Alaşım (Normal Gerinim):** Normal gerilim, bir malzemenin birim alan başına maruz kaldığı gerilme kuvvetini ifade eder ve bu gerilme, malzeme boyunca uygulanan kuvvetin kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır. İnsansız Hava Aracı'nda (İHA) yapılan yapısal analizlerde, gövde ve kanat bölgelerinde normal gerilmenin genellikle yeşil renk ile gösterildiği tespit edilmiştir. Bu gözlem, birim alan başına düşen kuvvetlerin dengeli bir şekilde dağıldığını ve normal seviyelerde olduğunu göstermektedir. Yeşil renk, genellikle düşük ve orta seviyelerdeki gerilme bölgelerini temsil etmektedir; bu da İHA'nın yapısal elemanlarının uygulanan kuvvetler altında güvenli gerilim seviyelerinde çalıştığını göstermektedir. Normal gerilmenin bu şekilde dengeli dağılımı, İHA'nın tasarımında kullanılan malzemelerin yeterli mukavemet ve dayanıklılığa sahip olduğunu doğrulamaktadır. Ayrıca, bu gerilme dağılımı, İHA'nın operasyonel güvenilirliği ve uzun ömürlü performansı açısından kritik bir faktör olarak değerlendirilmelidir. Yapılan analizler, normal gerilme seviyelerinin optimize edilmesiyle İHA'nın yapısal bütünlüğünün ve yük taşıma kapasitesinin artırılabilirliğini ortaya koymaktadır.





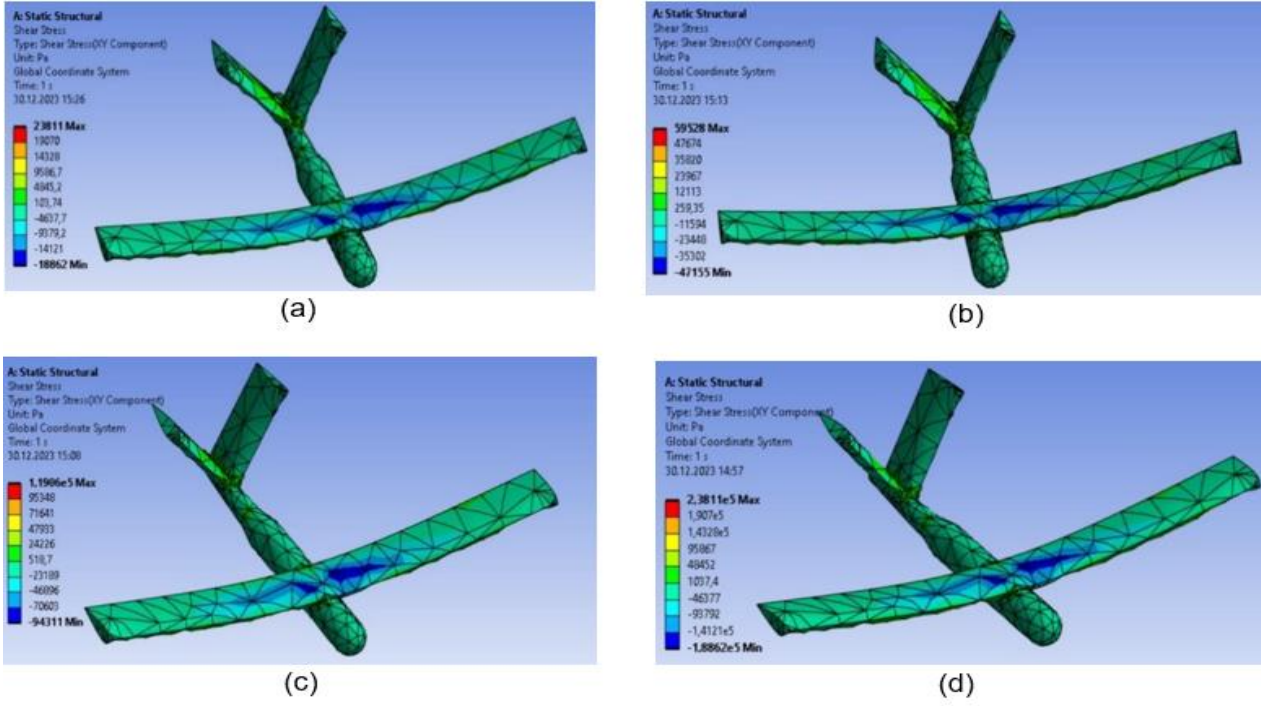
Şekil 8: Normal Gerilim a) 10 N b) 25 N c) 50 N d) 100 N

**2.6. PVC Köpük (Total Deformasyon):** İHA'nın kanadında PVC köpük kullanıldığında oluşan total deformasyon değeri aşağıdaki gibidir. Yapılan analizde, yukarı yönlü kuvvetlerin artmasıyla birlikte total deformasyon değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, bu deformasyon değerlerinin, alüminyum alaşıma göre çok daha düşük olduğu belirlenmiştir, bu da PVC köpüğün esneklik ve hafiflik özelliklerinin etkili olduğunu göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre, kanat uçlarında çekme ve basma kuvvetlerinin en yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir, bu da bu bölgelerin kırmızı renkte görünmesine neden olmuştur. İHA'nın gövdesine doğru ilerledikçe, uygulanan kuvvetlerin azaldığı ve dolayısıyla toplam deformasyon değerlerinin de azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, renk skalasında daha soğuk renklerle (örneğin mavi ve yeşil) ifade edilmiştir, bu da daha düşük deformasyon bölgelerini işaret etmektedir. PVC köpük düşük ve orta kuvvetlere karşı yeterli direnç gösterirken, alüminyum alaşım çok daha az deformasyon gösterir. Yüksek kuvvetler altında PVC köpük alüminyum alaşıma göre daha yüksek deformasyonlar gösterip yapısal bütünlüğünü koruyamazken, alüminyum alaşım yüksek mukavemeti sayesinde daha iyi performans sergiler. Bu nedenle, alüminyum alaşımın yüksek kuvvetler altında bile yapısal bütünlüğünü koruma kapasitesi, onu yüksek mukavemet gerektiren uygulamalar için daha uygun hale getirir.



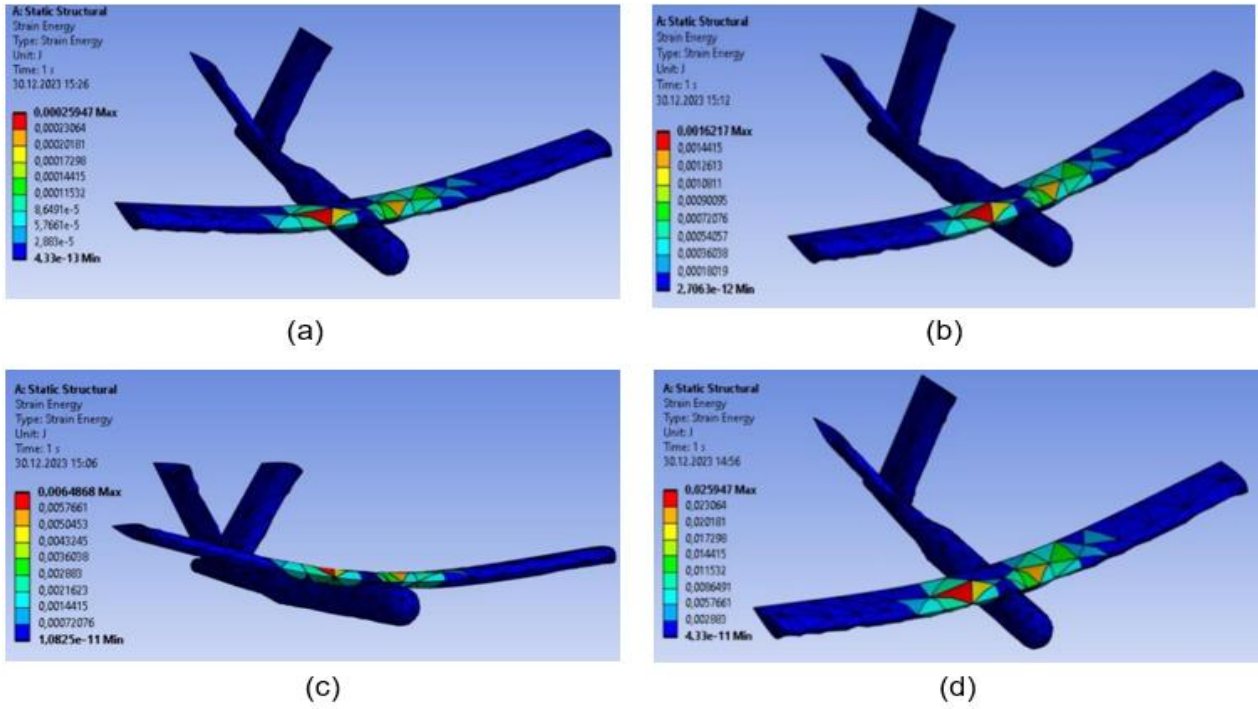
Şekil 9: Toplam Deformasyon a) 10 N b) 25 N c) 50 N d) 100 N

**2.7. PVC Köpük (Kesme Gerilimi):** İHA'nın kesme gerilimi ne kadar yüksekse, o kadar fazla kesme kuvvetine dayanabilir ve dolayısıyla dayanıklılığı artar. Kayma gerilmesi, cismin yüzeyine uygulanan kuvvetlerden veya kuvvet vektörlerinden kaynaklanabileceği gibi, ayrıca burulma (tork) etkisinden de meydana gelen bir gerilme türüdür [Sevici et al., 2023]. Bu çalışmada, İHA'ya 10, 25, 50 ve 100 Newtonluk yukarı yönlü kuvvetler uygulanmış olup, bu değerlerin alüminyum alaşıma göre düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebi, alüminyum alaşımın daha dayanıklı bir malzeme olmasıdır; bu nedenle, alüminyum alaşım, daha yüksek kesme gerilimine dayanabilmektedir. Uygulanan yukarı yönlü kuvvetler, tork etkisi yaratarak kesme gerilimine sebep olmuştur. Analiz sonuçlarında, İHA'nın yüzeyindeki kesme geriliminin renk dağılımı incelendiğinde, mavi ve yeşil renklerin hâkim olduğu görülmüştür. Özellikle yeşil rengin yaygın olması, İHA'nın tüm yüzeyinde homojen bir dayanıklılık sağladığını göstermektedir. Bu renkler, düşük ve orta seviyedeki kesme gerilimi bölgelerini temsil etmekte olup, İHA'nın yapısal elemanlarının uygulanan kuvvetler altında güvenli gerilim seviyelerinde çalıştığını işaret etmektedir.



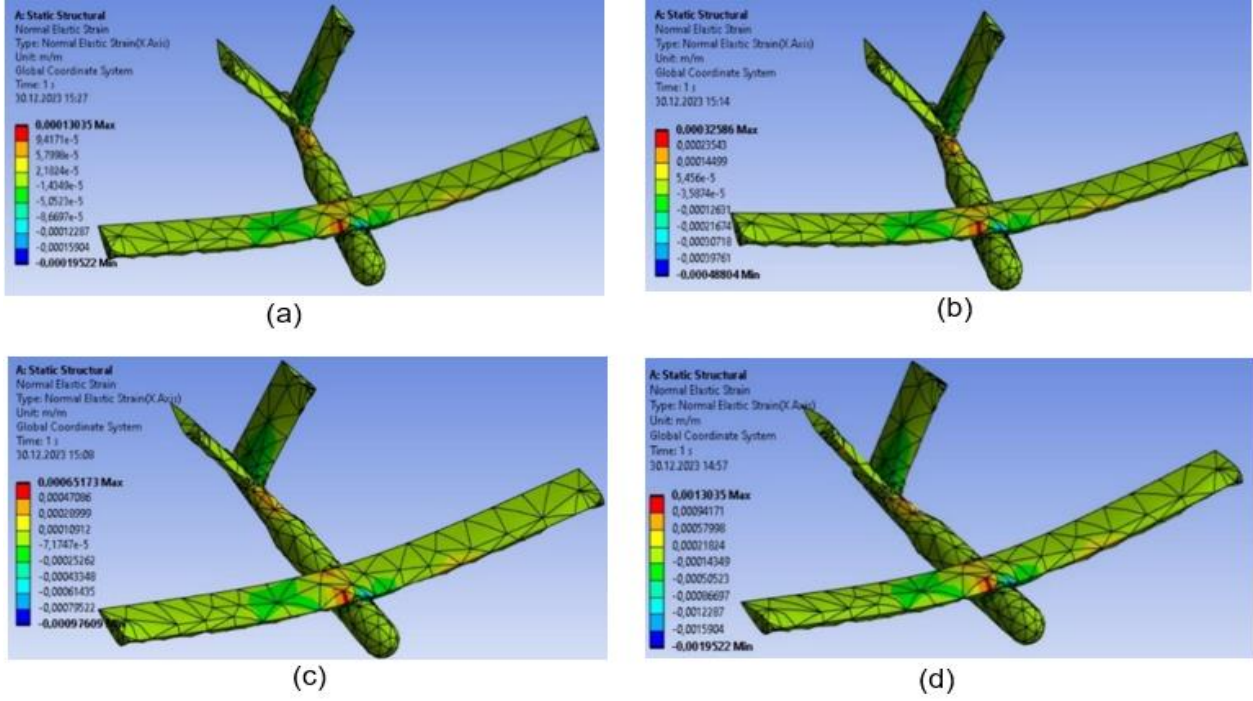
Şekil 10: Kesme Gerilimi a) 10 N b) 25 N c) 50 N d) 100 N

**2.8. PVC Köpük (Gerinim Enerjisi):** İnsansız Hava Aracı'na (İHA) uygulanan yukarı yönlü kuvvetler, kanadı şekil değiştirmeye zorlayarak gerinim enerjisinin ortaya çıkmasına neden olur. Yapılan analizler, grafiklerde de görüldüğü üzere, kanadın gövde ile birleştiği kısımda depolanan enerji miktarının en yüksek seviyede olduğunu göstermektedir. Bu durum, renk dağılımı ile de doğrulanmaktadır; kırmızı ve turuncu renkler yüksek enerji bölgelerini işaret ederken, bu bölgelerin kanadın gövdeye en yakın kısımlarında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Gövdeden kanat ucuna doğru ilerledikçe, uygulanan kuvvetlerin etkisinin azalmasıyla birlikte depolanan gerinim enerjisinin de azaldığı ve bu bölgelerde daha düşük enerji seviyelerinin olduğu, renk değişimlerinden anlaşılmaktadır. Soğuk renkler (örneğin mavi ve yeşil), daha düşük gerinim enerjisi bölgelerini temsil etmektedir.



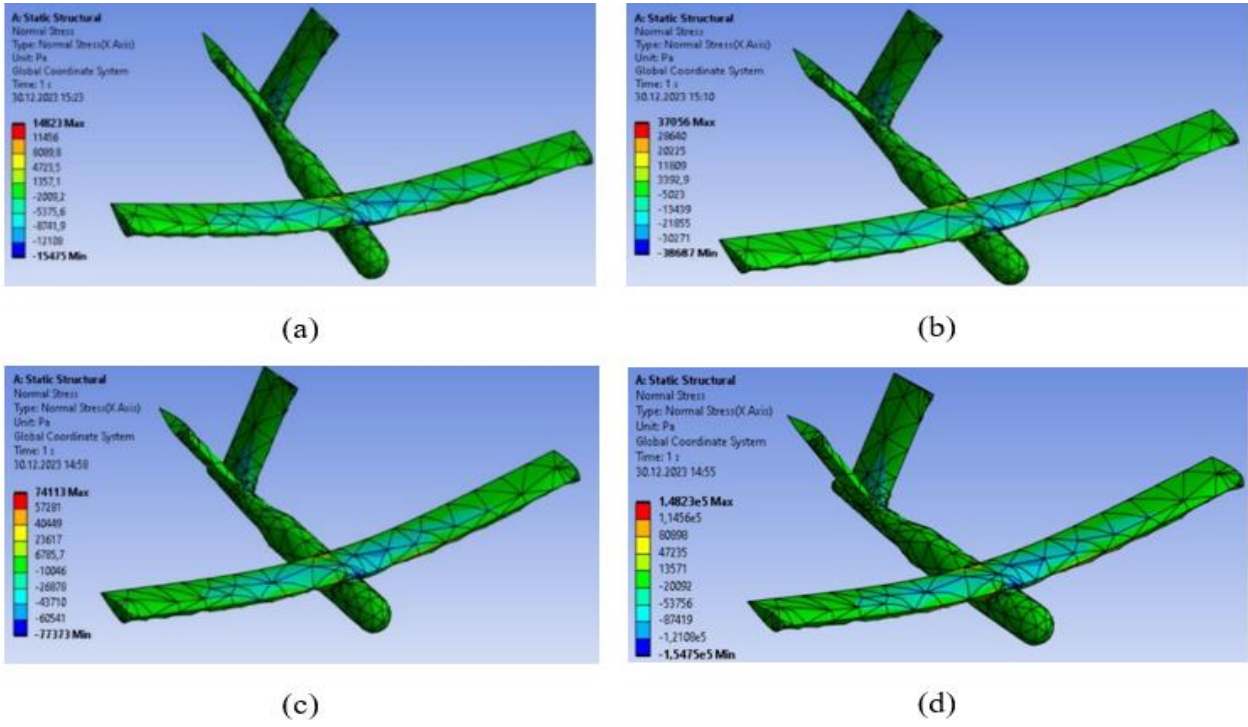
Şekil 11: Gerinim Enerjisi a) 10 N b) 25 N c) 50 N d) 100 N

**2.9. PVC Köpük (Elastik Gerinim):** Elastik gerinim, bir malzemenin uygulanan kuvvet altında geçici olarak şeklini değiştirebilme ve kuvvet kaldırıldığında orijinal şekline geri dönebilme yeteneğini ifade eder. İnsansız Hava Aracı (İHA) üzerinde yapılan analizlerde, genel olarak renk parametrelerinin benzer olduğu görülmekle birlikte, gövde ile kanadın birleşim noktasında belirgin bir renk değişimi gözlemlenmiştir. Bu değişimin temel nedeni, kanat ile gövde birleşim yerinin sabit bir bağlantı noktası olmasından kaynaklanmaktadır. Sabit bağlantı noktası, birleşim yerinin şekil değiştirmeye karşı daha büyük bir direnç göstermesine yol açmaktadır. Bu nedenle, elastik gerinim bu bölgede maksimum değerlere ulaşmaktadır. Birleşim yerinin şekil değiştirmeye direnç göstermesi, bu noktanın yapısal bütünlük açısından en kritik bölge olduğunu ve buradaki yüksek gerinim değerlerinin malzemenin dayanıklılığı açısından önemli bir gösterge olduğunu ortaya koymaktadır. PVC köpüğün düşük elastik modülü nedeniyle, uygulanan kuvvetler sonucu oluşan gerinim genellikle geniş bir alana yayılmakta ve daha büyük deformasyonlar gözlemlenmektedir. Bu durum, PVC köpüğün esnekliği ve enerji emme kapasitesi ile ilişkilidir. Alüminyumun yüksek elastik modülü ve mukavemeti, gerinimlerin daha az yayılmasına ve daha küçük deformasyonlar oluşmasına neden olur. Bu karşılaştırma, PVC köpüğün daha esnek ve hafif, alüminyum alaşımın ise daha dayanıklı ve rijit bir malzeme olduğunu göstermektedir. Ayrıca, alüminyum alaşımdan yapılmış İHA'lar yüksek mukavemet ve dayanıklılık gerektiren uygulamalarda tercih edilirken, PVC köpükten yapılanlar daha hafif ve esnek yapılar için uygundur.



Şekil 12: Elastik Gerinim a) 10 N b) 25 N c) 50 N d) 100 N

**2.9. PVC Köpük (Normal Gerinim):** Normal gerilim, bir malzemenin birim alan başına maruz kaldığı gerilme kuvvetini ifade eder; bu gerilme, malzeme boyunca uygulanan kuvvetin malzeme kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır. İnsansız Hava Aracı (İHA) üzerinde yapılan analizlerde genellikle gövde ve kanat bölgelerinde normal gerilmenin yeşil renk ile gösterildiği gözlenmektedir. Bu durum, birim alan başına düşen kuvvetlerin homojen bir şekilde dağıldığını işaret etmektedir. Yeşil renk, genellikle düşük ve orta seviyedeki gerilme bölgelerini temsil eder, bu da İHA'nın yapısal bütünlüğünün ve dayanıklılığının düzgün bir şekilde dağıtıldığını gösterir. Bu nedenle, tasarımın doğru yapıldığı ve analizlerin sonuçlarının homojen olduğu sonucuna varılabilir. İHA'nın homojen bir şekilde normal gerilime maruz kalması, yapısal uygunluğun ve güvenilirliğin sağlanmasında kritik bir faktördür. 10 ve 25 Newton kuvvetlerde, alüminyumun yüksek elastik modülü sayesinde gerinim dağılımı oldukça homojen ve düşük seviyede kalmıştır. 50 ve 100 Newton kuvvetlerde ise alüminyum, PVC köpüğe kıyasla daha az deformasyon göstermiş ve gerinim yoğunlaşmaları nispeten daha az olmuştur. Bu, alüminyumun daha yüksek mukavemet ve rijitliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 13: Normal Gerilim a) 10 N b) 25 N c) 50 N d) 100 N

### UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında, bulgularımızın NASA'nın NACA 0012 profili üzerine yaptığı çalışmalarda elde edilen verilerle tutarlı olduğu görülmüştür. Örneğin, NASA'nın Langley Araştırma Merkezi'nde yapılan düşük hızdaki aerodinamik karakteristiklerin incelendiği bir çalışmada, Mach ve Reynolds sayılarının bağımsız varyasyonlarının bu tür profillerin performansı üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir [Ladson, 1988]

Critzos ve arkadaşları tarafından yapılan 0 derece ile 180 derece arasındaki açılarda NACA 0012 profili üzerine yapılan çalışmalar, yüksek saldırı açılarında dahi aerodinamik performansın devam ettiğini ortaya koymuştur [Critzos et al., 1955]

Bu çalışmada, köpük yoğunluğunun mekanik davranış ve hasar gelişimi üzerindeki etkisinin deneysel araştırma sonuçlarını sunmaktadır. Deneysel araştırma, dört farklı yoğunluktaki köpükler için basma, eğilme, oyuk açma ve kayma testleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı köpük yoğunluklarının hasar mekanizmaları ve özellikleri monoton yükleme testlerinde değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, daha yüksek yoğunluktaki köpüklerin daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Köpük malzemenin dayanımı, yoğunluğunun artmasıyla birlikte arttığı görülmektedir. [Gimenez, Farooq & El Mahi, 2023]

Bu çalışmada, AA5754 alüminyum alaşımının otomotiv levhalarının süneklik ve bükülebilirliği demir içeriği ile ilişkisi incelenmiştir. Düşük demir içeriğine sahip alaşım (%0.08 wt.%), yüzey kararsızlığı olarak küçük dalgalanmalar gösterirken, yüksek demir içeriğine sahip alaşım (%0.30 wt.%) çatlaklar geliştirdiği görülmüştür. Bükülme sırasında, taramalı elektron mikroskobu içinde gerçekleştirilen in-situ bükülme testleriyle hasar gelişimi analiz edilmiştir. Yüksek demir içeriği, demir zengini partiküllerde meydana gelen hasarlar nedeniyle bükülebilirlikte önemli bir azalmaya sebep olduğu görülmüştür. [Sarkar & Kutty, 2022]

## SONUÇ

Yapılan akış ve yapısal analizler sonucunda, NACA 6412 profiline sahip alüminyum ve PVC köpükten yapılmış insansız hava araçlarının performanslarını değerlendirildi. Akış analizinde elde edilen  $C_l$  (kaldırma katsayısı) ve  $C_d$  (sürüklenme katsayısı) değerleri, bu tür hava araçlarının farklı uçuş koşullarında etkin olduğunu göstermiştir. Hız ve basınç konturları, yüzeydeki aerodinamik dağılımı anlamamıza yardımcı olmuştur. Naca 6412 airfoil tipinin ise kamburluğunun özellikle lift üretme açısından bize faydalı olacağı görülmüştür.

Yapısal analizler kapsamında, yukarı yönlü 10, 25, 50 ve 100 Newtonluk kuvvetler uygulanarak total deformasyon, gerinim enerjisi, normal gerinim ve elastik gerinim incelenmiştir. Kuvvet değeri arttıkça incelenen hasar değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. Malzeme seçiminde ise alüminyum alaşımın elle atılan insansız hava aracımızın iskeletinde kullanmanın daha faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır.

## Kaynaklar

- SERTKAYA Ali, 2020, Mini Siha Konsept ve Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Serttaş, vd., 2023, Kalkış Yapabilen İnsansız Hava Aracı Tasarımı ve Üretimi, Journal of Scientific Reports-C, Sayı 4, 1-13, Haziran 2023.
- KAHVECİ Muzaffer, CAN Nazlı, 2017, İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu, S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.5, s.4, ss. 511-535, 2017.
- GÜLEREN K. Melih, DEMİR Sinan, 2010, Rüzgâr Türbinleri İçin Düşük Hücüm Açılarında Farklı Kanat Profillerinin Performans Analizi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 31,2, 51-59, 2011.
- AKDOĞAN Tümay Battal, SÜLÜ İsmail Yasin, 2023, Eliptik Boşluklarla Tasarlanmış Kompozit Uçak Kanat Kaburgalarının Yapısal Analizi, Cilt 6, Sayı 2, Sayfa 191-207.
- ÇELİK Açıya, YILDIZ Ali Rıza, 2022, Otomobil Salıncak Kolunun Yapısal Analiz ve Optimizasyon Teknikleri ile Ağırlık Azaltılması, Cilt 27, Sayı 2, 2022.
- ERTÜRK Şenol, ERZİNCANLI Fehmi, 2019, Gözenekli Esnek Malzemelerin Bernoulli Prensibi Kullanılarak Temassız Taşınması Üzerine Literatür Taraması, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (2019) 594-605.
- DEMİRPOLAT Ahmet Beyzade, DAŞ Mehmet, 2019, Çeşitli Boru Tiplerinde Çeper Kayma Gerilmesi Değişiminin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(4), 2019.
- SEVİCİ Ömer Melih, BİLGİN Ahmet Aziz, SERTTAŞ Soydan, 2023, Kurye ve Kargo Amaçlı Dikey İniş ve Kalkış Yapabilen İnsansız Hava Aracı Tasarımı ve Üretimi.
- Ladson, Charles L., 1988, Effects of Independent Variation of Mach and Reynolds Numbers on the Low-Speed Aerodynamic Characteristics of the NACA 0012 Airfoil Section, NASA Technical Reports Server.
- Critzos, Chris C., Heyson, Harry H., Boswinkle, Robert W., Jr., 1955, Aerodynamic Characteristics of NACA 0012 Airfoil Section at Angles of Attack from 0 Degrees to 180 Degrees, NASA Technical Reports Server.
- Gimenez, I., Farooq, M.-K., and El Mahi, A., Experimental Analysis of Mechanical Behaviour and Damage Development Mechanisms of PVC Foams in Static Tests,
- Sarkar, J., and Kutty, T.R.G., Tensile and bending properties of AA5754 aluminum alloys,