


Korcan Küçüköztaş\* 

Furkan Taşçı 

Hüseyin Varlı 

Eren Gök 

Bilgin Kaftanoğlu 

ATILIM Üniversitesi  
İmalat Mühendisliği Bölümü  
Ankara

Şakir Baytaroğlu 

İ.D. BİLKENT Üniversitesi  
Makine Mühendisliği Bölümü  
Ankara

# Havada Görevlendirilebilen Tekerleksiz Araç Tasarımı – Kişisel Hava Aracı

*Bu çalışmada, asgari 100kg yük taşıma kapasitesi olan, hafif ve fonksiyonel bir araç tasarımı yapılmıştır. Bu araç, sahip olduğu sekiz pervane sayesinde havada görev görebilirken aynı zamanda yere ve suya dikey iniş de gerçekleştirebilme özelliğine sahiptir. Bu tasarım, kurtarma ekiplerinin ulaşımı, kargo taşımacılığı ve kısa mesafeler içinde, insanların özel ulaşım ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri amacı ile tasarlanmıştır. Her pervane motoru tek başına 94kg taşıyabilmekle beraber, aracın toplam taşıyabileceği yük kendi ağırlığı ile birlikte 752kg olmuştur. Proje sürecinde, ön tasarım ve detaylı tasarım süreçleri yürütülmüştür. Tasarımlar, sonlu elemanlar analizleri ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonlarının sonuçları göz önünde tutularak yapılmıştır. Pervanelerin testi için iki deneysel düzenek tasarlanmıştır. İlki mekanik bir düzenek olmakla beraber iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda bir yük hücresi kullanılarak pervanenin itiş gücünün ölçülmesi hedeflenmiştir. İkinci kısımda ise pervanenin dakikada kaç tur attığını ölçmek adına bir fotodedektör veya Hall etkisi sensörü kullanılmıştır. İkinci düzende bir elektronik hız kontrolcüsü, motoru kontrol etmek için kullanılmıştır. Son olarak, kullanılan yük hücresinin ölçülmesi için deneysel düzenekler tasarlanmıştır.*

*Anahtar Kelimeler: Araç tasarımı, uçan araba, kişisel hava aracı, elektrikli araç, e-VTOL.*

## Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 16-08-2021

Kabul: 11-03-2022

\*Sorumlu Yazar: Korcan Küçüköztaş  
Email: korcan.kucukoztas@gmail.com

*Atıf şekli/How to cite: Küçüköztaş, K., Taşçı, F., Varlı, H., Gök, E., Kaftanoğlu, B., Baytaroğlu, Ş., Havada Görevlendirilebilen Tekerleksiz Araç Tasarımı – Kişisel Hava Aracı, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 20 (2022) 2, 36-47.*

## 1. GİRİŞ

Ulaşım, zaman geçtikçe insanlığın yüzleşmek zorunda kalacağı en zorlu sorunlardan biri olacaktır. Dünya üzerindeki insan nüfusu ve lojistiğe dayalı talep arttıkça, farklı alternatiflere ve daha kolay çözümlere olan talep de artmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın hedefi, insanlara hem toplam masraf açısından hem de farklı kullanım yolları açısından verimliliği en fazla olacak şekilde, yeterince esnek bir ulaşım çözümü sunmaktır. Bu aracın tasarımında sekiz tane pervane ikişerli dört set halinde kullanılmıştır. Tekerleksiz bir kişisel hava aracı tasarımı ortaya çıkarılabilmesi adına bu güne kadar kişisel hava aracı alanında yapılmış olan çalışmalar ve ortaya çıkan farklı araç tasarımları detaylı bir biçimde araştırılmıştır. Bütün bu araç tasarımlarının artıları ve eksileri göz önünde bulundurulmuş ve ortaya belirli kısıtlamalar doğrultusunda en uygun araç tasarımının çıkartılması hedeflenmiştir.

Kişisel hava araçlarının kullanım alanları günümüzde giderek yaygınlaşsa da toplumlar, kargo ve yolcu taşımaları için kullanılan insansız hava

araçlarında özellikle teknolojinin güvenilirliğine karşı ciddi bir risk algısı taşıdıklarını ve kendileri ve mallarını insan bir pilot ile daha güvende hissettiklerini ifade etti [1]. Kişisel hava aracı sınıfında yapılan pek çok girişim, doğumlarından bu yana ciddi ilerlemeler gördü ise bile özellikle tasarımların güvenlik, altyapı ve toplumlar tarafından almaları gereken kabulünün sağlanması ve artırılması için geliştiricilerden ve ilgili bütün taraflardan yoğun bir çaba sergilenmesi gerekmektedir [2]. Bu makalenin yazım amaçlarından bir diğeri ise insanlı veya insansız kişisel hava aracı sınıfındaki tasarımlara yönelik bir farkındalık yaratılması ve bu araç sınıfının geliştirilmesine katkı sağlanmasıdır.

Kişisel hava araçlarının ciddi bir şekilde tartışılmaya başlandığı ilk yıllarda bir takım araştırmacı tarafından, hali hazırda var olan sivil helikopterler, modelleri, kontrol sistemleri ve doğrulama işlemleri değiştirilerek kişisel hava aracı sınıfına ait araçların elde edilmesine dair çalışmalar yapılmıştır [3]. Bu çalışmalar, temel olarak helikopter

tasarımının özelliklerini arttırarak, kişisel hava aracı sınıfında tanımlanabilen tepki süreleri ve kullanım niteliklerine uygun bir tasarım elde edilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda ortaya çıkmış olan bu yeni modelin, helikopterlerin aksine tecrübesiz pilotlar tarafından da uçurulabilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada daha önce uçuş tecrübesi olmayan katılımcılar, geliştirilen pilotlu kapalı-döngü kontrol görevlerine tabi tutulmuştur ve deney sonuçları kişisel hava aracı referans modeli ile karşılaştırılmış olup sonuçlar birbirleri ile kıyaslanabilir bir şekilde elde edilmiştir. Bu da hali hazırda var olan ve sivil görevler için kullanılan helikopterlerin de kişisel hava aracı sınıfındaki bir araca dönüştürülebileceğini kanıtlamıştır.

Helikopter tasarımındaki tek motor ve kuyruk yapısına kıyasla bu çalışmada tasarlanan kişisel hava aracının sahip olduğu sekiz elektrikli motor, aracın dört yanından uzanan kollarda ikili setler halinde barındırılacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca herhangi bir kuyruk yapısına sahip değildir. Helikopterlere göre daha az menzile sahipken aynı zamanda kargo ve yolcu taşıma kapasitesi de daha düşüktür. Fakat helikopter tasarımlarına göre şehir hareketliliği için daha uygun olmakla birlikte kişisel amaçlar için kullanımın insanlar için daha cazip hale getirilmesi amaçlanmıştır.

Bir diğer çalışma ise koaksiyel motorlara sahip olan ve ağır-yük taşımacılığı ile görevlendirilmek üzere yapılan bir tasarımı ele almaktadır. Koaksiyel motorlar genellikle Rusya üretilen helikopter tasarımlarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu motor dizilimine ağır yük taşıyan helikopterlerde yer verilmekle beraber ortaya çıkardığı itiş gücü, yunuslama veya yuvarlanma hareketlerini koaksiyel bir biçimde gerçekleştirirken tek bir ana motora sahip olan modellere göre daha fazladır. Fakat bu koaksiyel motor dizinimi aynı zamanda araca daha az aerodinamik verimlilik sağlamaktadır. Bu nedenle çalışmada ortaya çıkarılmış tasarım anlayışı da bu dezavantajı karşılayacak şekilde olmuştur. Elde edilen tasarım aynı anda dört pakete kadar teslimat yapabilme kapasitesine sahiptir [4].

Koaksiyel motor dizilimi bu çalışmada da tasarlanan aracın yük taşıma kapasitesini arttırmak için kullanılmıştır. Araca e-VTOL sınıfının gereksinimlerini karşılaması ve dikey bir şekilde kalkış ve iniş gerçekleştirme kabiliyeti verilmesi için bu motor türüne başvurulmuştur.

Kişisel hava aracı sınıfının en yeni örneklerinden biri olan Vertical Aerospace isimli İngiltere temelli firmanın geliştirmekte olduğu VA-X4 isimli araç, ileri havacılık hareketliliği alanında tanıklık edeceğimiz devrimin bir parçası olmayı hedeflemektedir [5]. Aynı zamanda insanların

erişimine açık yolcu ve kargo taşıma kapasitesi olan araçların kullanımının da 2025 yılından itibaren başlaması beklenmektedir. Firmanın tasarlayacakları araçların elektrikli motorları, bataryalarla veya çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları ile çalıştırılacaktır. Araçlar dikey kalkış ve iniş kabiliyetlerine sahip olurken kısa mesafeli uçuş pistlerinden de kalkış ve iniş gerçekleştirebileceklerdir. Firma, ilk nesil araçları için insan pilotları kullanacak olup sonraki modellerde yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesine zaman tanıyıp araçlar otonom sürüş kabiliyetine erişebileceklerdir. Firma bu yeni araç sınıfı ile İngiltere'nin farklı şehirleri arasında testler gerçekleştirmiştir. Belfast ve Glasgow şehirleri arasında geniş su alanları üzerinde testler gerçekleştirirken, Aberdeen ve Edinburgh arasında hali hazırda var olan altyapı ile hız ve maliyet açısından bu yeni tasarımın karşılaştırılması yapılmıştır ve tren ve taksi yolculuklarına kıyasla neredeyse üçte iki oranında zamandan tasarruf edildiği görülmüştür. Yolcu başında düşen ücret taksi yolculuğunda 173£, tren yolculuğunda 40£ ve VA-X4 yolculuğunda ise 94£ olarak not edilmiştir. Firma, 2025 yılına kadar VA-X4 aracının kişi başına düşen karbon salınımının İngiltere'nin çeşitli bölgelerinde elektrikli arabalar dâhil pek çok aracın altına inmesini ön görmektedir. Son olarak yazı, aracın toplumlar tarafından kabul görebilmesi için ses düzeylerine dikkat çekmektedir. Araç seyir halinde, yerden 305 metre yükseklikte iken çıkardığı gürültü 43dBA olarak kayıt edilirken, araç yerden 100 metre yükseklikte asılı kalırken çıkardığı ses 70 dBA olarak kayıt edilmiştir. Ses oranları pervaneli uçaklar ile kıyaslandığında, yerden 305 metre yükseklikte araç, pervaneli bir uçağa göre 47 dBA daha sessiz bir uçuş sergilemiştir.

VA-X4 aracına kıyasla tasarlanan araç sadece aracın tabanına yerleştirilecek bir batarya düzeneği ile motorlara güç aktaracaktır ve başka yenilenebilir enerji çözümlerine başvurulması planlanmamaktadır.

2018 yılında yapılmış bir çalışmada [6] çoklu motor yapısı daha detaylı çalışılmış ve araca sağladığı avantajlar ele alınmıştır. Makalede yer alan çalışmada 18 motora sahip olan aracın motorları iki eşmerkezli daire içerisinde hizalanmıştır. Aracın boyutları x ve y eksenlerinde 9,15m olmakla beraber alışlagelmiş diğer şehir hava hareketliliği araçlarına kıyasla daha büyük bir alan kaplamaktadır. Fakat bu geniş alan araca daha iyi havada asılı kalma verimliliği sağlarken motorların da daha yavaş çalışmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak tasarım, motor sesinin de azaltılmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada tekil bir biçimde yerleştirilmiş on sekiz tane motor yerine koaksiyel bir biçimde

yerleştirilmiş 8 elektrikli motor vardır. Ayrıca tasarlanan aracın boyutları x ve y eksenlerinde sırası ile 2,7m ve 2,5m olmuştur. Sonuç olarak tasarlanan araç daha küçük bir alan kaplamaktadır.

Ele alınan araçların hepsi, operasyonlarının sorunsuz sürdürülebilmesi ve uzaktan izlenme mekanizmalarının doğru çalışabilmesi için yeni altyapı sistemlerinin şehirlere ve şehirlerarası rotalara ilave edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle araştırmacılar aynı zamanda hâlihazırda çeşitli kara araçlarının kullanabildiği yollarda da kullanılabilen yola elverişli kişisel hava aracı tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Bu tasarım süreci, ortaya çıkarılan modelin otoyol, otopark ve havalimanlarında kullanılabilmesini amaçlamıştır [7]. Kara yollarında kullanılabilen kişisel hava araçları aynı zamanda dikey kalkış ve iniş özelliğine sahip olan kişisel hava araçlarında göre daha uzun mesafelerde kullanılabilirdikleri gibi aynı zamanda sürüş kontrol mekanizmaları alışıl gelmiş arabalarda kullanılanlar ile benzerdir. Bu nedenler ile yazarlar kara yollarında da kullanılabilen kişisel hava araçlarının şu anda üzerinde daha çok çalışılan e-VTOL sınıfı araçlara göre daha avantajlı olabileceğini öne sürmüştür. Son olarak çalışmada sürüş hızı, sürüş mesafesi, , uçuş mesafesi, en yüksek hız, seyir hızı, seyir yüksekliği gibi tasarım değişkenleri belirlenerek bir deney tasarımı çizelgesi oluşturulmuş ve 4 motor tipi için testler yapılmıştır. Bu motor tipleri; benzinli, dizel, hibrit benzinli ve hibrit dizel olmuştur. Sonuçlara göre hibrit motorlara sahip olan kişisel hava araçları, içten yanma motorlara sahip olan kişisel hava araçlarında göre daha yüksek azami kalkış ağırlığına sahiptir. Hibrit motorlara sahip olan kişisel hava araçları aynı zamanda daha büyük kanat alanlarına sahip olmakla beraber daha fazla kanat açıklıklarına da sahip olmuşlardır ve bu da motor güçlerinin de daha fazla olmasına yol açmıştır. Bu nedenler ile de araçlar yakıt bütçeleri açısından dezavantajlı olmuştur. Sonuç olarak hibrit motorların kara araçlarında yakıt bütçesine sağladıkları avantajlar kişisel hava araçlarında görülememiştir ve gelecekteki araçlarda bataryalar veya yakıt hücreleri kullanılması gerektiğine dikkat çekilmiştir. Batarya ve yakıt hücreleri kullanan araçlar aynı zamanda da daha çevreci olacaklardır.

Araştırılan araç bu makalede tasarlanan özgün araca kıyasla kanatlı bir tasarıma sahiptir ve kara yollarında da kullanılabilmesi için tekerleklerle sahip olmakla birlikte alışıl gelmiş bir araba tasarımını andırmaktadır. Ayrıca yapılan araştırmalarda elektrikli motorlar ve bataryaların yerine benzinli ve dizel seçenekleri kullanılması not edilmiştir.

Çinli bir firma olan EHang tarafından tasarlanan ve üretilen kişisel hava araçları [8], günümüz ulaşım

sorunlarına büyük oranda çözüm bulabilecek gibi gözüküyor. Araç, dikey kalkış ve iniş özelliklerine sahiptir. Bu özellik araca daha rahat ve güvenli bir şekilde, iniş ve kalkış kabiliyeti kazandırmaktadır. Kanatlı hava araçlarına kıyasla, bireylerin bu tip araçları tercih edebilmesinde, ‘Şehir Hava Hareketliliği’ kavramını benimseyen özelliklere sahip araçlar önemli bir rol üstleniyor.

Aynı kategoride rekabet eden ve kişisel hava aracı endüstrisine önemli katkılar getiren bir diğer oluşum ise Volocopter’dır. Şehir Hava Hareketliliği kavramının önemli özelliklerini barındıran bu araç, elektrikli motorlara sahip olmakla birlikte dikey bir şekilde kalkış ve iniş kabiliyetine de sahiptir. Volocopter şirketi tarafından yayımlanan resmi raporda [9] 2050 yılında kadar dünya nüfusunun %68’inin kentlerde yaşayacak olduğu belirtiliyor ve aynı zamanda şehirlerdeki bu nüfus artışının ulaşım olan etkilerinin ancak yeni girişimler ile çözülebileceği belirtiliyor. Bu araçlar, insanlara ulaşım açısından kolaylık sağladıkları gibi aynı zamanda da karbon salımını en aza indirir ve aynı zamanda ses kirliliği açısından da pek çok avantajları vardır. Araç yerden 120m yüksekte iken zemin seviyesinden duyulan sesin şiddeti 65dB iken araç iniş sırasında, yerden sadece 30m yükseklikte iken 75dB şiddetinde bir ses üretir. Bu ses seviyelerini diğer araçlar ile kıyaslandığı takdirde ortaya çıkan avantaj daha iyi bir şekilde gözlemlenir. Volocopter’in yayımlanmış olduğu aynı raporda 50km-s hızında giden bir ağır yük taşıyan kamyonun açığa çıkarmış olduğu ses 85dB olarak belirtilirken zemin seviyesinden 120m yüksekte olan bir helikopter 84dB şiddetinde bir ses üretmektedir. Sonuç olarak, Şehir hava hareketliliği kavramlarını tasarımında kullanan araçlar açığa çıkardıkları ses şiddeti bakımından 4 ila 5 kat daha elverişlidir.

Havada görevlendirilmek üzere tasarlanmış olan bir başka araç [10] ise Almanya temelli bir şirket olan ‘Lilium’ tarafından gerçekleştirilmiştir. Ana hedefi yolcu taşımak olan bu araç yedi koltuk kapasitesine sahiptir. Aracın tasarımı üç ana prensibe dayanmaktadır ve ön kanatlara, bir ana kanata ve vektörel itme sağlayan dağıtılmış bir tahrik sistemine sahiptir. İtüş kaynağı olarak jet motorları araçta kullanılmaktadır.

Drone tasarımı göz önünde bulundurulurken Amazon adlı şirketin PrimeAir programı araştırılmıştır [11]. İlk defa 2013 yılında duyurulmuş olan bu program dâhilinde şirket, anında kullanıcılarına taşıma droneleri ile en az on beş mil mesafede ve en fazla beş pound ağırlığında olmak üzere kargo taşımacılığını sunmayı amaçlamıştır. Bu araç sınıfında aynı zamanda Güney Kore temelli araştırmacıların çalışması incelendi [12]. Bu çalışma 2016 yılında yayımlanmış olup otonom kullanım

için bir GPS'e sahip olan ve insan tarafından kontrol edilebilmesi için aynı zamanda bir kameraya da sahiptir. Araca aynı zamanda objeleri taşıyabilmesi için bir tutacak da yerleştirilmiştir.

Son olarak, ortaya çıkarılmış bu yeni tasarımda ise, kişisel hava aracı ilkelerine dayanılarak tasarlanmış olan araca, kurtarma ekiplerini, trafiğe maruz kalmadan, rahat ve hızlı bir şekilde bulunmaları gereken yerlere ulaştırabilme ve benzer bir şekilde, şehirlerden uzak ve kırsal kesimlere ilaç

vb. olmazsa olmaz malları taşıma kabiliyetleri verilmiştir. Aynı zamanda karaya veya suya dikey bir şekilde iniş yapabileme ve ardından kalkış gerçekleştirebilme kabiliyeti de verilmiştir. Araç 100kg'a kadar yük taşıyabilecek olup tek kişilik yolculuklara ve hafif kargo görevlerine elverişlidir.

## 2. TASARIM GEREKSİNİMLERİ

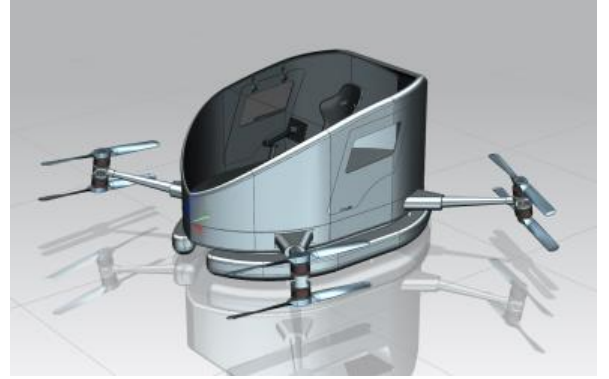
Bu aracın havada görevlendirilebilmesi için karbon fiber malzeme kullanılarak tasarlanan sekiz adet pervane ve her ilgili pervaneye, aracın kendi ağırlığı hariç en az 100kg taşıyabilmesini sağlayabilecek güçlü elektrik motorlar yerleştirildi. Karbon fiber malzeme, pervanelerin ve dolayısıyla aracın ağırlığını en aza indirirken mukavemetini de belirli bir seviyede korumuştur. Amaçlarımızdan biri olan, karbon emilimini en aza düşürmemizde elektrikli motorlar büyük bir rol oynamaktadır. Bu motorlar gücünü aracın iç tabanına yerleştirilmiş olan pillerden almaktadır. Günümüz pil teknolojisinin amaçlanan araç tipi için istenilen seviyede olmaması nedeni ile tasarımı kısıtlayan en büyük faktörlerden biri budur. Gelecekte pil teknolojisini daha da geliştirilmesi ile birlikte bu tür araçlarla çok daha sık karşılaşmış olacağız. Ağırlığı olabildiğince az tutabilmek için aracın operasyon süresi de sınırlı tutulmak zorunda kalmıştır. Aracın şasi tasarımı için ise pervane tasarımı için seçilen önceden empenye edilmiş epoksi karbon UD 395GPa fiber malzeme olmuştur.

## 3. MODELLEME, ANALİZ, ALT SİSTEMLERİN TASARIMI VE SÜRÜCÜ BİRİMLER

Aracın kullanım alanlarında havada görev görebilmesi olduğu için mümkün olduğunca hafif malzemelerin kullanılması amaçlanmıştır. Pervanelerin tasarımında karbon fiber malzemesi kullanılırken gövde ve şasi tasarımlarında da karbon fiber kullanılması uygun görülmüştür. Aracın ön tasarım hali ve son hallerinin genel tasarımları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 1. Ön tasarım halindeki aracın genel görünümü

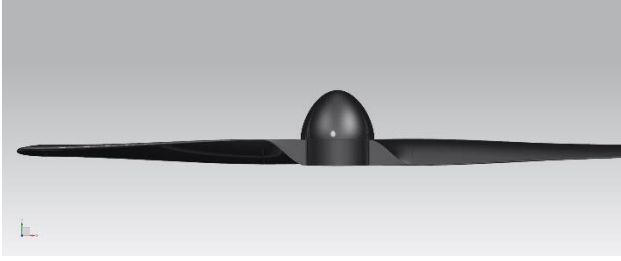


Şekil 2. Aracın son halinin genel görünümü

### Pervane ve Motorlar

Aracın dört köşesinde konumlandırılan 1.290,9mm çapına ve 153,5mm yüksekliğe sahip, çift kanatla tasarlanmış sekiz tane pervane, ikişerli setler halinde mevcuttur. Malzeme olarak, toplam ağırlığın minimize edilmesi amaçlanarak, karbon fiber kullanıldı. Bu pervaneleri çalıştıran ana motorlar ise T-MOTOR adlı firmanın U15XL KV38 isimli ürünüdür. Tasarımda bu motorlardan sekiz tane bulunmakla beraber, bir tanesinin taşıyabileceği yük kapasitesi, maksimum güç kullanırken 94kg'dır. Bu da, bir pervanenin ürettiği itiş gücünü 922,14N yapar. Aynı zamanda maksimum güç kullanırken motorların her biri 23kW-h oranında enerji tüketmektedirler. Her biri 151,5mm çapına ve 96mm yüksekliğe sahiptir. Her biri, kabloları da dâhil olmak üzere, 4,408kg ağırlığına sahiptirler. Ayrıca aracın taşıma kapasitesini artırma amacı ile ana motorların alt kısımlarına aynı motorlardan ikişerli bir set haline gelecek şekilde eklenmiştir. Sonuçta aracın toplam itiş kuvveti 7.377,12N olarak karşımıza çıkarken, aracın toplam ağırlığını ve taşıması gereken en az 100kg yükü göz önünde alarak 4.379,77N değerinde bir ağırlığı taşıması gerekmektedir.

Yapılan tasarım, iki pervane ve motorun birlikte kullanılmasını sağlamaktadır, böylelikle yerden kazanç sağlanırken itiş gücünün de eşit dağıtımı sağlanmıştır.



Şekil 3. Çift kanatlı pervane tasarımı



Şekil 4. Pervane ve motor seti

## Batarya

Araçta kullanılan batarya her parçası 5,3kW-h ve 232Ah kapasitesinde olan beş tane parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar her biri 25kg ağırlığa sahip olmakla birlikte batarya toplam 125kg ağırlığa sahiptir.

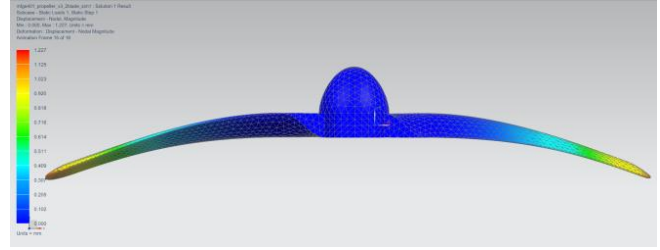
## Alüminyum Pervanelerin Stres ve Deplasman Analizi

Malzeme ön tasarım aşamasında alüminyum 6061 olarak seçilmiştir. Aracın toplam sekiz tane pervaneye sahip olduğu göz önünde bulundurularak, toplam ağırlık olan  $446,46\text{kg} * 9,8\text{m/s}^2 = 4.379,77\text{N}$  sekiz motor arasında eşit bir şekilde dağıtılmıştır. Bu da her bir pervanenin maruz kaldığı yük miktarının 547,47N olduğu anlamına gelir. Siemens NX CAD yazılımı aracılığı ile çizilen pervane modellerine sonlu elemanlar analizi bu değerler çerçevesinde yapılarak maruz kalınan en büyük deplasman 1,211mm olarak gözlemlenirken, maruz kalınan en büyük stres ise 10,94MPa olarak gözlemlenmiştir. Aşağıdaki şekiller bu süreci anlatmaktadır;

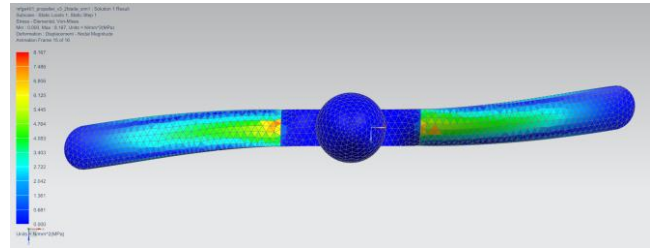
## Alüminyum Şasi Tasarımının Stres ve Deplasman Analizleri

Aracın toplam ağırlığının taşınması gereken asgari 100kg değerindeki yük de göz önünde bulundurularak şasinin her bir köşesine toplam

1.250N değerinde bir yük şasinin uçlarından uygulanarak deplasman ve stres analizleri, Siemens NX yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekiller bu süreci göstermektedir;

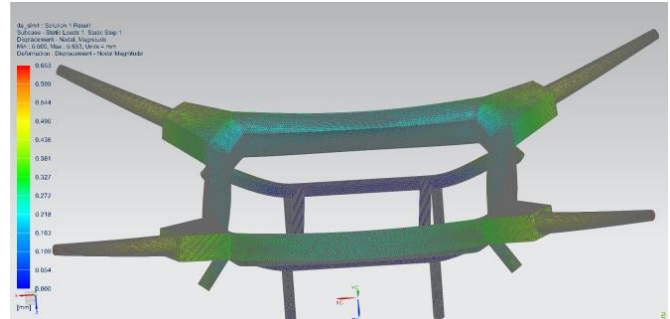


Şekil 5. Alüminyum pervane deplasman analizi

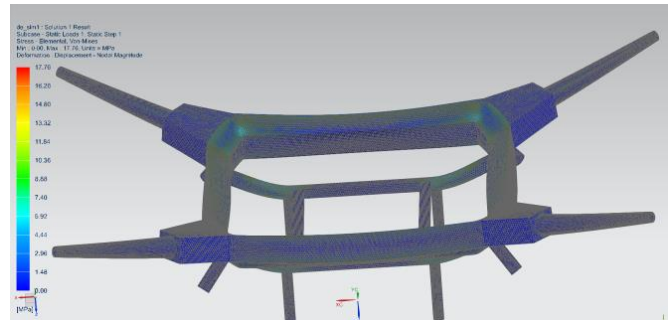


Şekil 6. Alüminyum pervane stres analizi

Analizlerin sonucunda maksimum deplasmanın 0,653mm olduğu hesaplanırken maruz kalınan maksimum stres ise 17,76MPa değerinde olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Ön şasi deplasman analizi



Şekil 8. Ön şasi stres analizi

## Karbon Fiber Malzeme Seçimi

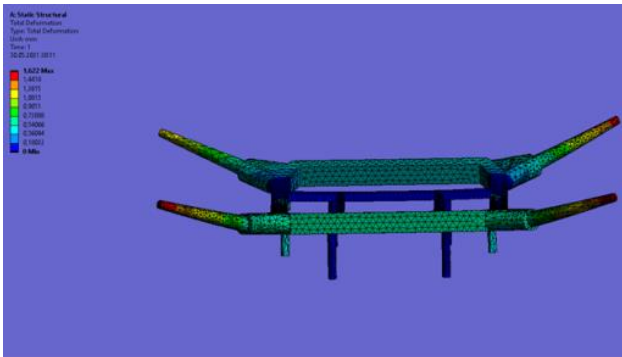
Ön tasarım sürecinde kullanılmış olan alüminyum 6061 malzemenin araca yeterince hafiflik katamayacağı sonlu elemanlar analizleri ve bilgisayar destekli tasarım araçları kullanılarak teyit edildikten sonra malzeme değişikliği yapılması uygun görülmüştür. Günümüzde tasarlanan ve üretilen araçlarda kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri detaylı bir biçimde araştırılmış, sonuç olarak karbon fiber malzeme kullanımı uygun görülmüştür.

Karbon fiber malzeme seçiminde yararlanılan makalede [13], insansız hava araçları için kullanılan epoksi karbon malzemeler, deplasman ve gerilme enerjileri bakımından karşılaştırılmışlardır. Yapılan karşılaştırmada 230GPa ve 396GPa karbon fiber kompozit malzemeler ıslak ve önceden empenye edilmiş olarak ikiye ayrılmıştır. Bir test numunesi üzerinde sanal ortamda gerçekleştirilen deplasman karşılaştırması sonucunda en az deplasmana maruz kalan malzeme UD-395-önceden empenye edilmiş karbon fiber kompozit malzeme olmuştur. Gerilme enerjisi karşılaştırmasında ise aynı malzeme en az gerilme enerjisine maruz kalan seçenek olmuştur. Bu neden ile araç tasarımında seçilen malzeme önceden empenye edilmiş epoksi karbon UD 395GPa olmuştur.

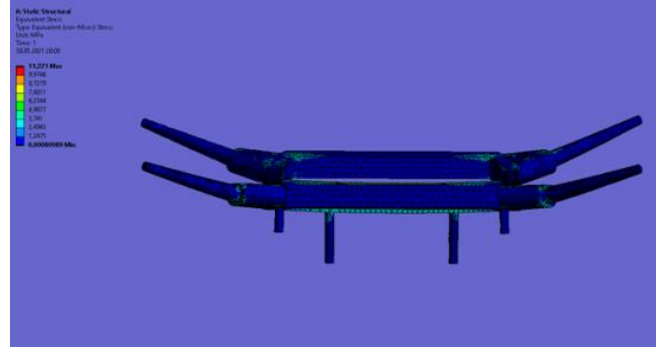
## Karbon Fiber ve Alüminyum Şasi Tasarımların Karşılaştırması

Detaylı tasarım kısmında malzeme karbon fiber olarak revize edilmiş olup analizler tekrar yapılmıştır. Ayrıca alüminyum ve karbon fiber ağırlık farkları da karşılaştırılmıştır.

Karbon fiber malzeme ile tasarlanmış olan şasi tasarımının en büyük deplasman ve en büyük stres değerleri, sonlu elemanlar analizleri sonucu sırası ile; 1,6mm ve 11,2MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değerler sonucu karbon fiber malzemenin alüminyum malzeme ile modellenen pervaneler ile benzer bir dayanıklılık gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 9. Karbon fiber şasi deplasman analizi



Şekil 10. Karbon fiber şasi stres analizi

Karbon fiber malzemeye sahip olan şasi, alüminyum şasiye göre karşılaştırılabilir bir mukavemet gösterirken yaklaşık 20kg değerinde bir hafiflik sağlamaktadır. Alüminyum şasi 59,06kg ağırlığındayken karbon fiber şasi 39,18kg ağırlığına indirilmiştir.

Graphics Properties	
Definition	
Material	
Assignment	Aluminum alloy, wrought, 6061, T6
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	2,8612 m
Length Y	2,4509 m
Length Z	0,41255 m
Properties	
Volume	2,177e-002 m <sup>3</sup>
Mass	59,061 kg
Centroid X	-2,0398e-005 m
Centroid Y	1,25 m
Centroid Z	7,9549e-002 m
Moment of Inertia ...	24,937 kg·m <sup>2</sup>
Moment of Inertia ...	25,923 kg·m <sup>2</sup>
Moment of Inertia ...	50,5 kg·m <sup>2</sup>
Statistics	

Şekil 11. Alüminyum şasi ağırlık bilgisi

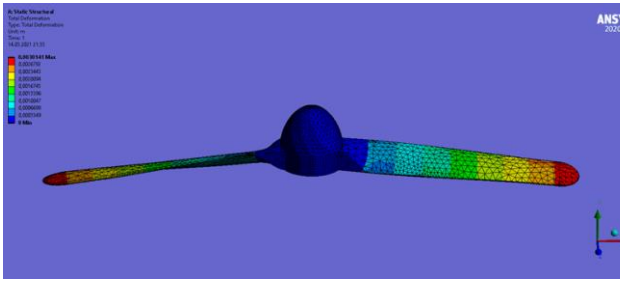
## Karbon Fiber ve Alüminyum Pervane Tasarımların Karşılaştırması

Benzer bir şekilde, karbon fiber malzeme ile tasarlanmış pervaneler bize 2,8kg değerinde hafiflik sağlamaktadır. Alüminyum pervaneler 6,4kg ağırlığındayken karbon fiber olarak tekrar tasarlanan pervaneler 3,6kg ağırlığına indirilmiştir. Maksimum deplasman ve maksimum stres değerleri ise sonlu elemanlar analizleri sonucunda sırası ile 3,01mm ve 63,67MPa olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki görseller bu karşılaştırma sürecini detaylı olarak belirtmektedir.

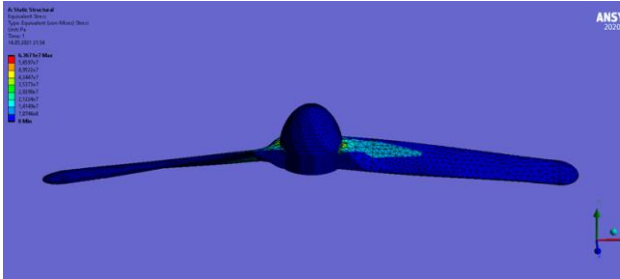
Bu analizler ve karşılaştırmalar sonucunda, aracın son tasarımında karbon fiber malzeme kullanımı uygun ve yararlı görülmüştür.

Reference Temperature	By Environment
Treatment	None
<b>Material</b>	
Assignment	Carbon Fiber (395 GPa)
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	2,8612 m
Length Y	2,4509 m
Length Z	0,41255 m
<b>Properties</b>	
Volume	2,177e-002 m <sup>3</sup>
Mass	39,185 kg
Centroid X	-2,0398e-005 m
Centroid Y	1,25 m
Centroid Z	7,9549e-002 m
Moment of Inertia Ip1	16,545 kg·m <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	17,199 kg·m <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	33,506 kg·m <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	

Şekil 12. Karbon fiber şasi ağırlık bilgisi



Şekil 13. Karbon fiber pervane deplasman analizi



Şekil 14. Karbon fiber pervane stres analizi

### Karbon Fiber Pervane Üretim Aşamaları

İçlerinde epoksi reçine barındıran karbon ve kevlar malzemeleri bir maça üzerine serilir ve bir kalıba yerleştirilmektedir. Bu kalıp saatlerce ısı ve basınca maruz bırakılır. Maruz bırakılan ısı sayesinde epoksi reçine malzemenin içinde akışkanlığını kazanmaktadır. Süreç bittiğinde reçine katılaşır kalıbın şeklini almaktadır. Katılaşma süresi sonrasında pervanelere zımparalama işlemi uygulanmaktadır. Bu işlemin nedeni boyama aşaması için temiz bir yüzey elde etmektir. Pervaneler boyandıktan sonra kanatlarına dengeleme işlemleri yapılır. Bu işlem için pervane

bir dengeleme düzeneğine yerleştirildikten sonra mutlak denge elde edilinceye kadar pervanenin ihtiyaç duyulan tarafına malzeme eklemesi yapılmaktadır.

<b>Details of "mfge402_propeller_v4_2blade"</b>	
+ <b>Graphics Properties</b>	
- <b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Treatment	None
- <b>Material</b>	
Assignment	Epoxy Carbon UD (395 GPa) Prepreg
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
- <b>Bounding Box</b>	
Length X	1309,7 mm
Length Y	59,633 mm
Length Z	109,41 mm
- <b>Properties</b>	
Volume	2,3529e+006 mm <sup>3</sup>
Mass	3,6235 kg
Centroid X	-44,692 mm
Centroid Y	1,6197 mm
Centroid Z	-1,4825e-005 mm
Moment of Inertia Ip1	2628,7 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	3,0227e+005 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	3,0073e+005 kg·mm <sup>2</sup>
+ <b>Statistics</b>	

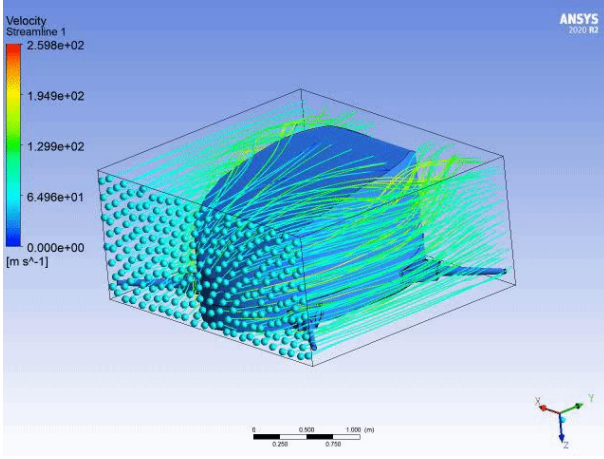
Şekil 15. Karbon fiber pervane ağırlık değeri

<b>Detailed Mass Properties</b>	
Analysis calculated using accuracy of	0.990000000
Information Units	kg - mm
Density	= 0.000002711
Volume	= 2354040.475336513
Area	= 293176.567412949
Mass	= 6.381803729

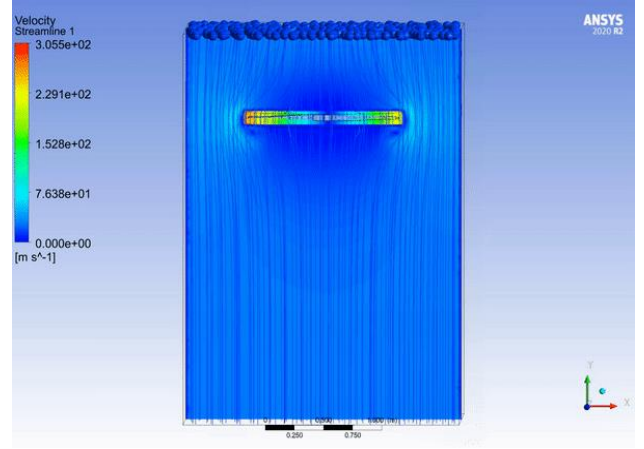
Şekil 16. Alüminyum pervane ağırlık değeri

Hesaplama Akışkanlar Dinamiği Simülasyonları Pervane tasarımına ve aracın kendisine ayrı ayrı hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları yapılmıştır. Pervanelerin simülasyonları yapılırken önceden belirlenmiş olan olası uçuş senaryoları göz önünde bulundurulmuştur. Pervaneler 2.000 d/d hızda çalışırken rüzgârın hızı ise 15m/s olarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

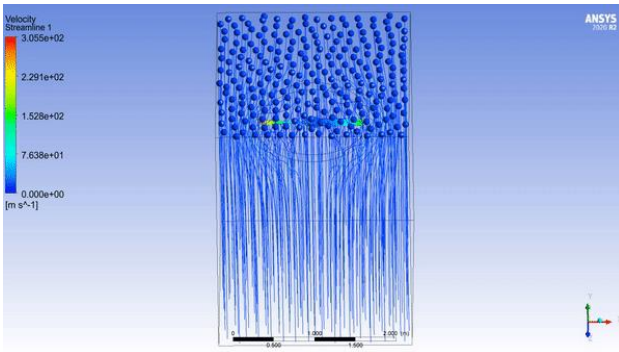
Aşağıdaki görsellerde bu simülasyon süreci detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 17. Araç hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu



Şekil 19. Pervane hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu



Şekil 18. Pervane hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu

### Pervane Motorlarının İtiş Gücü / Ağırlık Oranı ve Pil Ömrü Hesaplamaları

İtiş gücü ve ağırlık oranını hesaplarken aracın kaldırması gereken yükün kendi ağırlığı dışında en az 100kg olarak belirlendi ve toplam ağırlık Newton cinsinden 4.379,77N olarak hesaplandı. Aracın sahip olduğu sekiz pervanenin gücü göz önünde bulundurularak maksimum yaratabileceği itme gücü  $752\text{kg} * 9,81\text{ m/s}^2 = 7.377,12\text{N}$  olarak hesaplandı. Bu iki veri itme gücü ve ağırlık oranını 1,68 olarak ortaya çıkardı. Bu oranın 1 in üzerinde olması halinde aracın bu yükü rahatlıkla kaldırabileceği anlaşılmıştır. Bu oran daha da artırılarak araca hız ve çeviklik sağlanabilir.

$$\frac{7.377,12\text{N}}{4.379,77\text{N}} = 1,68 = \text{İtiş Karşı Ağırlık Oranı}$$

Ayrıca bu değerler göz önünde bulunarak her bir pervanenin 100kg yük kaldırabilmek için çalışması gereken güç oranı ise %59,37 olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{4.379,77 * 100}{7.377,12} = 59,37$$

Pil ömrü hesaplamaları için kullanılan formül aşağıdaki gibidir;

$$\text{Pil Ömrü} = \text{Pil Kapasitesi} / \text{Pil Tüketimi} * (1 - \text{pilin boşaltım güvenlik oranı})$$

$$\text{Pil Ömrü} = 1.160\text{Ah} / 521\text{A} * (1 - \%20) = 1,78 \text{ saat}$$

Güvenlik açısından pilin ömrünün %20'nin altına inmemesi hedeflenerek aracın pil ömrü hesaplamaları yapılırken bu güvenlik faktörü göz önünde bulundurulmuştur. Aracın, bataryası %20 seviyesine ulaşmadan geçirebileceği süre teorik olarak 1 saat 46 dakika olarak hesaplanmıştır. Bu süre gerçek şartlarda değişiklik gösterebilir.

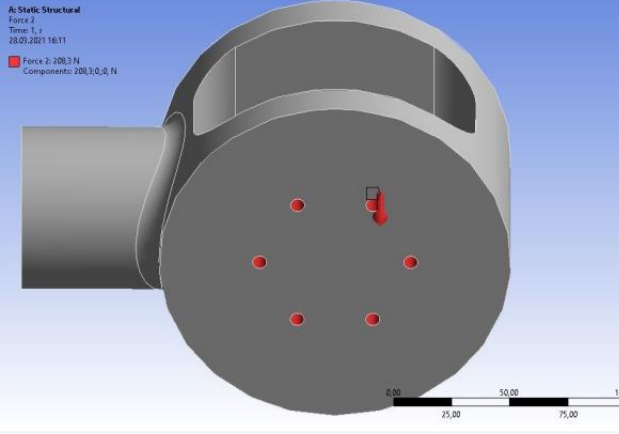
### Pervane ve Motor Bağlantı Birimi

Pervanelerin bir set biçiminde birbirine bağlanabilmeleri için bir bağlantı birimi tasarlanıp üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerin sonucunda maksimum deplasmanın  $1,3\mu\text{m}$  olduğunu görünürken maksimum stres  $0,95\text{MPa}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerler bize bağlantı birimimizin tasarımımız ve gereksinimlerimiz için yeterli olduğunu göstermektedir. Bu analizlerde kullanılan yük miktarı her bir bağlantı birimi için pervanelerin ortaya çıkardığı yük göz önünde tutularak 208N olarak belirlenmiştir.

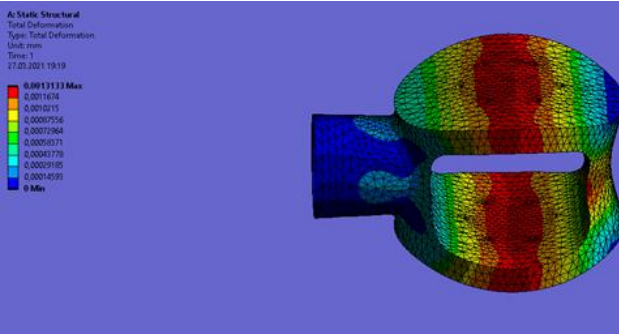
### Kapı Tasarımı ve Bağlantı Birimleri

Kapı tasarımı ve bireysel bağlantı birimleri için ayrı ayrı olası yük senaryoları göz önünde tutularak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler yapılırken kapının ağırlığı ve aracın havada uçuş yaparken maruz kaldığı yükler göz önünde tutulmuş ve yük değerleri uygun bir şekilde seçilmiştir.





Şekil 20. Pervane bağlantı birimi yük yönü



Şekil 21. Pervane bağlantı birimi sonlu elemanlar analizi

440N değerinde bir yük kapıya dik bir şekilde uygulandığı takdirde kapının maruz kaldığı deplasman değeri, sonlu elemanlar analizlerine göre en fazla 2,4mm olmuştur. Hesaplanan en yüksek stres değeri ise 18,06MPa olarak hesaplanmıştır.

Kapı tasarımının, aracın gövdesine bağlanabilmesi için kullanılan alt birimlerin ise sonlu elemanlar analizleri aynı şekilde olası yük senaryoları göz önünde tutularak gerçekleştirilmiştir.

Ark bağlantı parçası üzerinde yapılan analizler sonucu en yüksek deplasman 4µm olarak hesaplanırken, parçanın maruz kaldığı en yüksek stres değeri 5,6MPa olarak hesaplanmıştır. Kullanılan yük miktarı 35N olmuştur.

Son olarak ara bağlantı tutacağı üzerinde sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan en büyük deplasman değeri 2µm olurken, parçanın maruz kaldığı en büyük stres değeri kapı bağlantısının olduğu en uç noktalarda 18,9MPa olarak hesaplanmıştır. Yük miktarı burada da 35N olarak seçilmiştir.

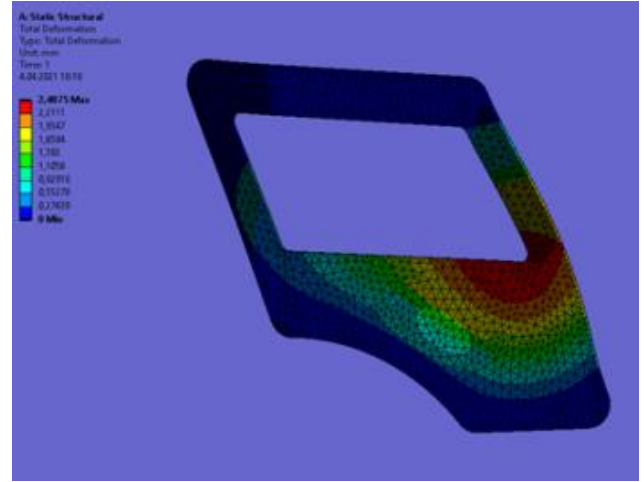
Bağlantının son montaj modellemesi aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.

## Gövde Tasarımı Sonlu Elemanlar Analizi

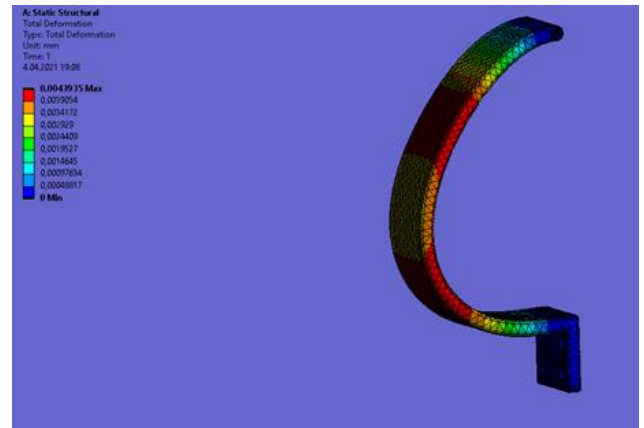
Gövde tasarımı için iki farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Birinci analiz kalkış anında gövdenin maruz kaldığı kuvvetleri göz önünde alır ve z-ekseninde yapılmıştır. 960Pa altında 2,6mm deplasman hesaplanmış, maksimum stres ise 10,8MPa olarak hesaplanmıştır.



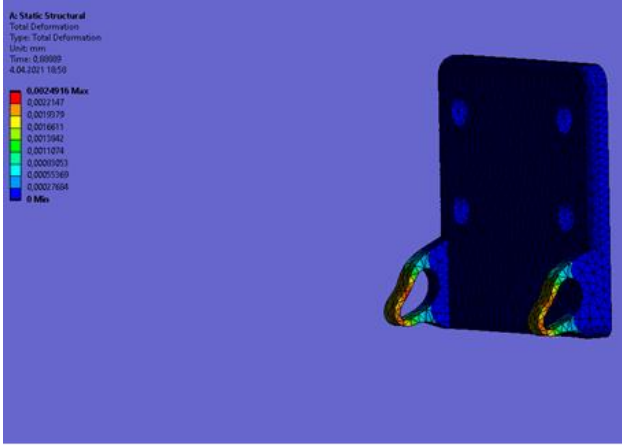
Şekil 22. Kapı tasarımı sonlu elemanlar analizi yük dağılımı



Şekil 23. Kapı tasarımı sonlu elemanlar analizi



Şekil 24. Ark bağlantı parçası sonlu elemanlar analizi

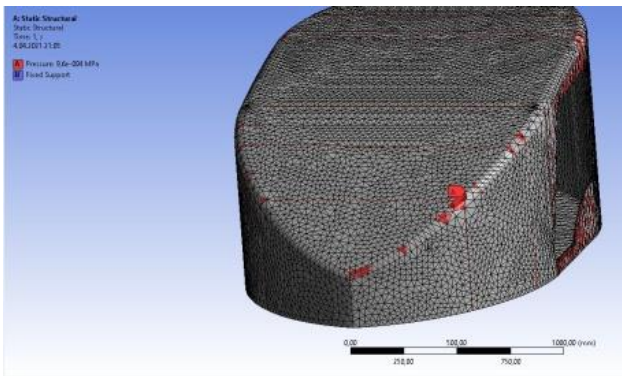


Şekil 25. Bağlantı tutacağı sonlu elemanlar analizi

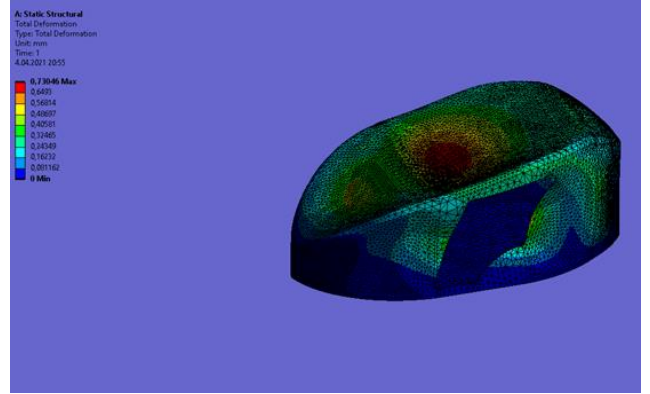
Y-ekseninde yapılmış olan analizde ise 0,7mm değerinde bir maksimum deplasman değeri gözlemlenirken, maruz kalınan maksimum stres 5,9MPa olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 26. Kapı bağlantı birimi montaj modeli



Şekil 27. Gövdenin sonlu elemanlar analizi yük dağılımı



Şekil 28. Gövdenin sonlu elemanlar analizi

#### Yön Bulma Sistemi ve Komuta ve Kontrol Merkezi Görevleri

Görevlendirilen araçların her biri bir komuta ve kontrol merkezine bağlı olup 7/24 gözetim ve denetim altında olacaklardır. Uçuş sırasında acil durumlarda komuta merkezi aracın kontrolünü geçici olarak alabilir veya araca gerekli olan rota bilgilerini aktarabilir. Komuta merkezleri pek çok sayıda aracı aynı anda koordine bir şekilde kontrol edebilir ve kurtarma faaliyetleri gerçekleştirebilir.

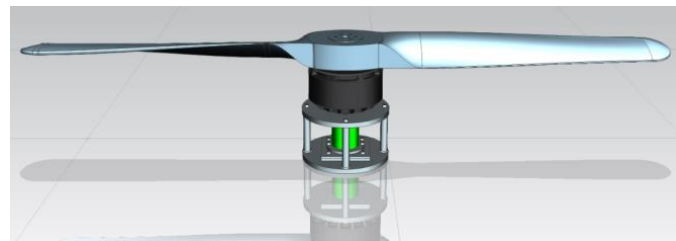
Gelecekte bu tip araçlar için bir ekosistem kurulurken komuta ve kontrol kuleleri veya merkezleri büyük bir önem arz edecektir.

#### 4. PERVANE MOTORLARININ TESTLERİ VE YÜK HÜCRESİ ÖLÇÜMLEMESİ İÇİN DENEYSEL DÜZENEKLERİN TASARIMI

Pervane motorlarının test edilmesi için deneysel bir düzenek Siemens NX programı yardımı ile sanal ortamda tasarlanmıştır. Bu test düzeneği bir mekanik sistemden, bir tane de elektronik sistemden oluşmaktadır.

#### Pervane Motorlarının Testi İçin Deneysel Mekanik Test Düzeneği Tasarımı

Mekanik sistemde iki taraf bulunmaktadır. Birinci tarafta, yük hücresi kullanılarak pervanenin dik bir düzlemde ortaya çıkardığı itiş gücünün ölçülmesi açığa çıkan dönme kuvveti kaldırılarak hedeflenmiştir.



Şekil 29. Yük hücresi tarafı

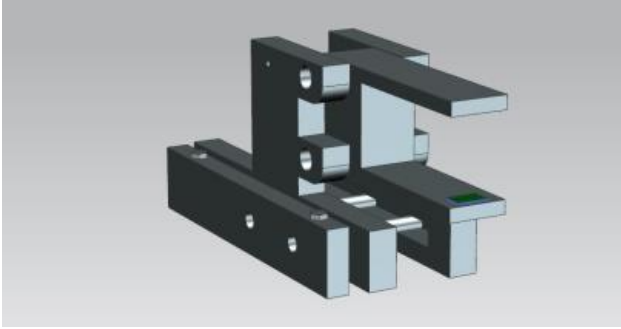
Mekanik sistemin ikinci tarafında ise pervanelerin dönüş hızı ölçümü için iki alternatif göz önünde bulundurulmuştur. İlk alternatif daha pahalı fakat güvenilir bir seçenek olan fotodedektördür. Pervanenin her dönüşünde tasarlanmış olan kapının ucunda yer alan fotodedektör her milisaniyede bir ölçüm kaydeder. Teorik en büyük d/d oranı için kullanılan formül aşağıda verilmiştir;

$$d/d_{maks} = \frac{2\pi}{n} * \frac{1}{10^{-3}} * \frac{60}{2\pi} = \frac{60000}{n}$$

İki kanatlı bir pervane kullanıldığı göz önünde bulundurulurken teorik olarak en büyük d/d değeri aşağıdaki gibidir;

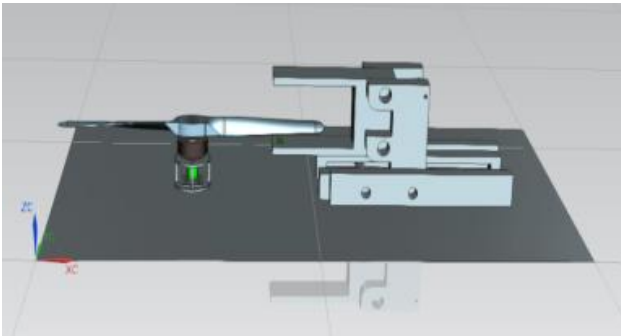
$$d/d_{maks} = 30000, n = \text{kanat sayısı} = 2$$

İkinci seçenek ise bir Arduino sistemi ile Hall etkisi sensörüdür. Bu seçenek bir fotodedektöre göre oldukça ucuz olmakla birlikte işlevsellik açısından benzerlerdir.



Şekil 30. Fotodedektör / Hall etkisi sensörü tarafı

İki taraf da aynı anda çalışarak iş yükünü azaltmak hedeflenmiştir. Mekanik test sisteminin son hali aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 31. Elektrikli motor testi için deneysel mekanik düzenek tasarımı

## Pervane Motorlarının Testi İçin Deneysel Elektronik Test Düzenegi

Elektronik sistemde ise motorun kontrol edilebilmesi için bir elektronik hız kontrolcüsüne yer verilmiştir. Bu hız kontrolcüsü 200A sürekli akıma ve 240A üst akıma kadar çalışmaktadır. Hız kontrolcüsü ön tarafından üç kablo ile motora bağlanırken, arka tarafından ise kullanılan güç kaynağı olan lityum polimer pile ve alıcıya bağlanmaktadır. Yüksek voltajları düşük voltajlara dönüştürülebilmesi için bir UBEC kullanılmıştır. Düşük voltajlarda çalışmak, tasarımda tek bir pil kullanabilme imkânı vermektedir.

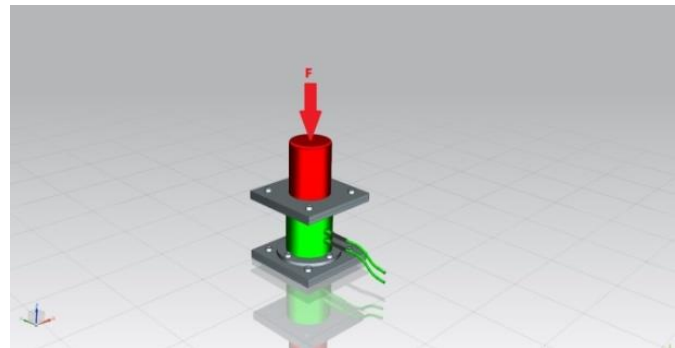
## Yük Hücresinin Ölçümlemesi İçin Deneysel Düzeneklerin Tasarımı

Yük hücresi ölçümlemesi için iki deneysel düzenek sanal ortamda Siemens NX yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. İlk düzenek itme kuvvetlerini ölçümlerken, ikinci düzenek yük hücresi üzerindeki çekme kuvvetlerini ölçümlemesi için tasarlanmıştır.

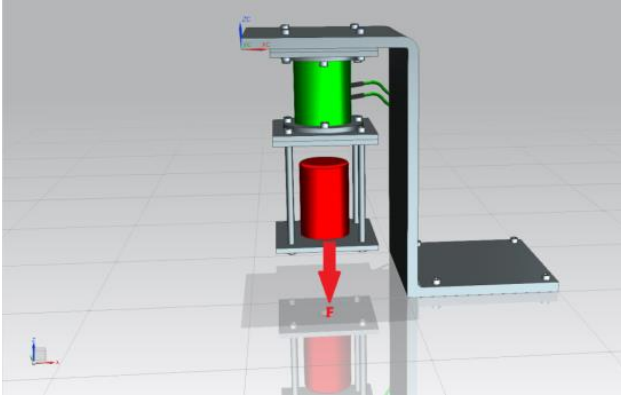
Yük hücresinden gelen sinyal, yüksüz konumdan sonra ağırlıktaki her 1kg artış yapıldığında kaydedilir ve yük hücresi ölçümlemesi gerçekleştirilir. Bu işlem hem itiş hem çekiş kuvvetleri için ayrı ayrı iki düzenekte gerçekleştirilir ve itiş gücü ölçüm işlemleri yük hücresi ölçümleme işlemi sonlandıktan sonra gerçekleştirilir.

Aşağıdaki şekillerde kırmızı ile gösterilen parça kullanılan yükü temsil ederken, yeşil ile gösterilen parça ise kullanılan yük hücresinin bilgisayar destekli tasarım modelidir.

İki deneysel düzeneğin de detaylı görünüşleri yüklerin yönleri ile birlikte aşağıdaki görsellerde verilmiştir.



Şekil 32. Deneysel yük hücresi ölçümleme düzenegi (itme)



Şekil 33. Deneysel yük hücresi ölçümlene düzeneği (çekme)

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, havada görevlendirilmek üzere bir araç tasarlanmıştır. Araç sekiz tane elektrikli motora sahip olmakla beraber, motorlar dört çift halinde aracın çevresine, itiş gücünü eşit dağıtacak bir şekilde yerleştirilmiştir. Aracın iniş takımları suya iniş kabiliyeti sağlarken, pervaneleri sayesinde karaya da dikey yönde rahatça iniş gerçekleştirebilmektedir. Aracın pervaneleri ve alt şasi tasarımının önceden hedeflenmiş koşullar altında deplasman verileri ve stres verileri sonlu elemanlar analizleri ve hesaplamalı akışkan dinamiği simülasyonu ile doğrulanmıştır. Ayrıca tasarlanmış olan pervaneleri test etmek için bir mekanik ve bir de elektronik deneysel düzenek de tasarlanmıştır. Mekanik düzenek iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım bir yük hücresi bulundurmakla birlikte pervanenin kaldırma gücünü test etmektedir. İkinci kısımda ise pervanenin dönüş hızını ölçmek için iki alternatif yer verilmiştir. Fotodedektör sayesinde bu işlem kolayca yapılabilmektedir fakat fiyatı düşürmek için bir Arduino sistemi ve Hall etkisi sensörü birlikte kullanılarak da pervane hızını ölçmek bu tasarımda yer verilen bir işlemdir. Son olarak bu deneysel test düzeneklerinde kullanılan yük hücresinin ölçümlene işlemleri için iki ayrı düzenek tasarlanmıştır. Bir düzenek itme kuvvetleri için ölçümlene gerçekleştirirken ikinci düzenek çekme kuvvetleri için ölçümlene yapmaktadır.

### THE DESIGN OF A VEHICLE WITHOUT WHEELS TO BE OPERATED ON AIR – PERSONAL AIR VEHICLE

In this article, the design of a lightweight and functional vehicle with a minimum payload carrying capacity of 100kg is discussed. While this vehicle can operate in the air thanks to its eight propellers, it also has the ability to land on the ground and on the water. This design is made for the transportation of rescue teams, cargo transportation and to meet the special transportation needs of people within short

distances. While each propeller can carry 94kg alone, the total load that the vehicle can carry is 752kg with its own weight. During the project process, preliminary design and detailed design processes were carried out. Design improvements have been made considering the results of finite element analysis and computational fluid dynamics simulations. Two experimental setups were designed to test the propellers. The first setup is a mechanical one, it consists of two sides. On the first side, it is aimed to measure the thrust force of the propeller by using a load cell. On the second side, a photodetector or Hall Effect sensor is used to measure how many revolutions per minute the propeller makes. In the second setup, an electronic speed controller is used to control the motor. Finally, experimental setups were designed for the calibration of the load cell that has been used, in both tension and compression loads.

**Keywords:** Vehicle design, flying car, personal air vehicle, electrical vehicle, e-VTOL.

### KAYNAKÇA

1. Tam, A. (2011). Public perception of unmanned aerial vehicles.
2. Liu, Y., Kreimeier, M., Stumpf, E., Zhou, Y., & Liu, H. (2017). Overview of recent endeavors on personal aerial vehicles: A focus on the US and Europe led research activities. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 53-66.
3. Geluardi, S., Venrooij, J., Olivari, M., Bülthoff, H. H., & Pollini, L. (2017). Transforming civil helicopters into personal aerial vehicles: Modeling, control, and validation. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 40(10), 2481-2495.
4. Ong, W., Srigrarom, S., & Hesse, H. (2019). Design methodology for heavy-lift unmanned aerial vehicles with coaxial rotors. In *AIAA Scitech 2019 Forum* (p. 2095).
5. Vertical Aerospace. (2021). *The Future of Advanced Aerial Mobility* [White paper].
6. Shamiyeh, M., Rothfeld, R., & Hornung, M. (2018). A performance benchmark of recent personal air vehicle concepts for urban air mobility. In *Proceedings of the 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences*, Belo Horizonte, Brazil (Vol. 14).
7. Cha, J., Yun, J., & Hwang, H. Y. (2021). Initial sizing of a roadable personal air vehicle using design of experiments for various engine types. *Aircraft Engineering*

- and Aerospace Technology.
8. EHang. (2020). The future of transportation: White paper on urban air mobility systems [White paper].
  9. Volocopter. (2021). The roadmap to scalable urban air mobility, 16 [White paper].
  10. P. Nathen (2021). Architectural performance assessment of an electric vertical take-off and landing (e-VTOL) aircraft based on a ducted vectored thrust concept.
  11. Arthur Holland Michel (2017). Amazon's drone patents, Center for the Study of the Drone at Bard College.
  12. Kim, S. H., Lee, D. K., Cheon, J. H., Kim, S. J., & Yu, K. H. (2016). Design and flight tests of a drone for delivery service. *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, 22(3), 204-209.
  13. Ramesh, M., Vijayanandh, R., Jagadeeshwaran, P., Deviparameswari, K., Meenakshi, S., Asher, P. K., ... & Antonitta, B. F. (2021). Impact behavioral studies on various composite materials using Fluid-Structure interaction (FSI). *Materials Today: Proceedings*, 5.