



T.C

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ



BİTİRME PROJESİ I-II

MOTOGP'NİN MODELLENMESİ VE CFD ANALİZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Uğurcan YANAR

1308190062

Danışman:

Dr. Öğr. Üyesi Murad KUCUR

Haziran,2024

İstanbul

ÖNSÖZ

Lisans öğrenimim sırasında vermiş olduğu derslerle birlikte ilgili olduğum akış, aerodinamik alanları daha da anlamamı sağlayan, bitirme ve makine projeleri için bana referans olan ve bu süreçte gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Murad KUCUR'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Kendisinin önderliğindeki bu süreçte, ilgi alanım olan projelerle bana destek vermesi akademik yolculuğumun biçimlenmesinde önemli bir etken olmuştur.

Haziran,2024

Uğurcan YANAR

İÇİNDEKİLER

1.GİRİŞ	7
2. GENEL KISIMLAR	7
2.1.Aerodinamik Nedir?	7
2.2.Aerodinamik Tarihçesi.....	7
2.2.1. Aristoteles	7
2.2.2.Arşimet (Akışkan Statiğinin Kurucusu):	8
2.2.3. Leonardo Da Vinci:.....	9
2.2.4. George Cayley	12
2.2.5. Galileo.....	14
2.2.6. Edme Mariotte / Christiaan Huygens.....	15
2.2.7. Isaac Newton.....	15
2.2.8. Hidrodinamiğin Gündögumu: Daniel Bernoulli (1700-1782) ve Basınç-Hız Kavramı	17
2.2.9.D'Alembert	19
2.2.10. Leonhard Euler	19
2.2.11. Laplace ve Lagrange	20
3.MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1.Geçmişten Bugüne MotoGP ve Aerodinamik.....	21
3.2.Aerodinamik Kuvvetler:	25
3.2.1Sürükleme Kuvveti	25
3.2.2.Kaldırma Kuvveti:	26
3.3.İtme Kuvveti	27

3.3.4.Basma Kuvveti.....	27
3.3.MotoGP Parçaları ve Aerodinamik Etkisi.....	28
4.BULGULAR.....	31
4.1.Ducati V4R Yarış Motosiklet Tasarımı	31
4.2.Ducati V4R Yarış Motosikleti Arka Kanat Tasarımları.....	33
4.2.1.Birinci Arka Kanat Tasarımı	35
4.2.2.İkinci Arka Kanat Tasarımı	36
4.2.3.Üçüncü Arka Kanat Tasarımı	37
4.2.4.Dördüncü Arka Kanat Tasarımı	38
4.3.Arka Kanatların Analiz Sonuçları.....	39
4.3.1. Birinci Arka Kanat Analizi.....	39
4.3.2.İkinci Arka Kanat Analizi	44
4.3.3.Üçüncü Arka Kanat Analizi	48
4.3.4.Dördüncü Arka Kanat Analizi.....	53
4.4.Ducati V4R Aracının Arka Kanatlar Monte Edilmiş Şekilde Aerodinamik Analizi	57
4.4.1. Arka Kanatsız Aerodinamik Analiz.....	57
4.4.2. Birinci Arka Kanat Monte Edilmiş Şekilde Aerodinamik Analiz	58
4.4.3. İkinci Arka Kanat Monte Edilmiş Şekilde Aerodinamik Analiz.....	59
4.4.4. Üçüncü Arka Kanat Monte Edilmiş Şekilde Aerodinamik Analiz.....	60
4.4.5. Dördüncü Arka Kanat Monte Edilmiş Şekilde Aerodinamik Analiz	61
5.TARTIŞMA VE SONUÇ	62
KAYNAKLAR	63

ÖZET

BİTİRME PROJESİ I

MOTOGP'NİN MODELLENMESİ VE CFD ANALİZİ

Uğurcan YANAR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Mühendislik Fakültesi

Makine Mühendisliği Bölümü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murad KUCUR

Bu çalışmada aerodinamik tarihçesi ile birlikte geniş bir şekilde açıklanmıştır. Daha sonrasında MotoGP yarışlarında aerodinamiğin geçmişten günümüze nasıl değiştiği açıklanmış olup MotoGP yarışlarında kullanılan yarış motorlarında aerodinamik etkenler bununla birlikte açıklanmıştır.

Bu çalışmanın devamında bir yarış motorunun tasarımları yapılmış ve CFD analizi yapılmıştır. Arka kanat tasarımları sürekli revize edilip en uygun durumlar seçilmiştir.

Haziran 2024,

Anahtar Kelimeler: MotoGP, Aerodinamik, Sürüklendirme Kuvveti, Arka Kanat

SUMMARY

GRADUATION PROJECT 1

MODELING AND CFD ANALYSIS OF MOTOGP

Uğurcan YANAR

Istanbul University-Cerrahpasa
Engineering Faculty
Mechanical Engineering Department

Supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Murad KUCUR

In this study, aerodynamics is explained in detail along with its history. Afterwards, it is explained how aerodynamics in MotoGP races have changed from past to present, and the aerodynamic factors in the racing engines used in MotoGP races are also explained.

In the continuation of this work, a racing engine was designed and CFD analysis was conducted. The rear wing design was continuously revised, and the most optimal configurations were selected.

June 2024

Key Words: MotoGP, Aerodynamic , Drag Force , Rear Wing

1.GİRİŞ

Aerodinamik kavramı ilk kısımda açıklanmış olup, aerodinamik ve bununla bağlantılı olarak akışkanlar mekaniği bilimlerinin tarihçesi ikinci kısımda anlatılmıştır. Daha sonrasında MotoGP ve aerodinamik tarihçesi açıklanmıştır. MotoGP' nin resmi sitesinden video izlenip MotoGP'de aerodinamiğin önemi anlatılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1.Aerodinamik Nedir?

Aerodinamik, havanın nesnelerin etrafında hareket etme şeklidir. Aerodinamik hareket eden katı kütlelerin havayla etkileşimiğini inceleyen bilim dalıdır.

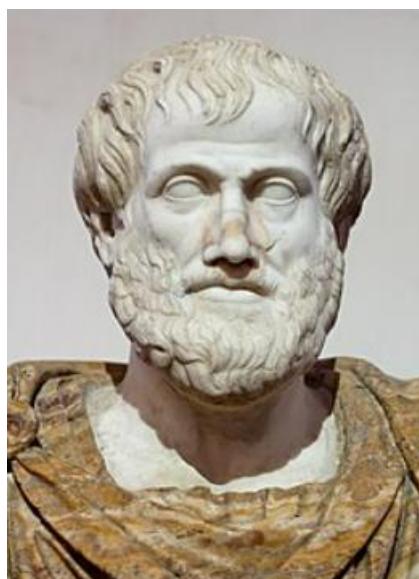
Uçakların, roketlerin ve füzelerin havadaki hareketlerini belirleyen ilkeleri açıklamaktadır. Ayrıca otomobillerin, hızlı trenlerin, gemilerin, motosikletlerin tasarımlıyla, köprülerin ve çok yüksek yapıların şiddetli rüzgara dayanabilecek biçimde inşa edilmesiyle ilgilenir. [1]

Bir beyzbol topundaki oval boşluklar bile aerodinamik ile ilgilidir.

2.2.Aerodinamik Tarihçesi

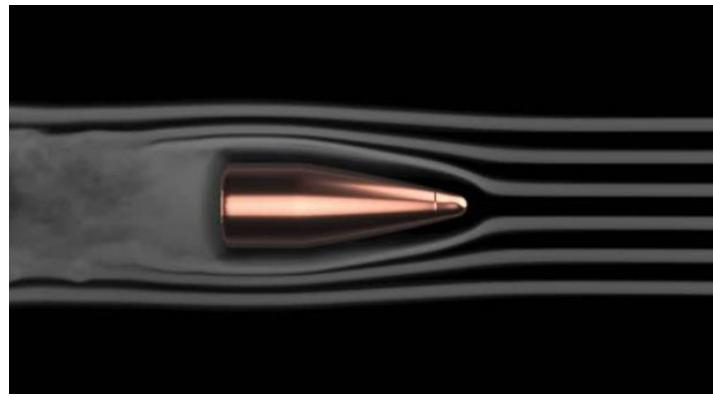
Aerodinamiğin tarihçesi aslında çok geniş kapsamlı bir konudur. Genelde yapılan araştırmalar daha çok uçak ve türevleri üzerinden yapılmıştır.

2.2.1. Aristoteles



Aerodinamik kavramıyla ilk başta Aristoteles (M.Ö.350) ile karşılaşıldığı söylenebilir. Aristoteles havada hareket eden bir cismin hareketini sürdürmek için sürekli bir kuvvete maruz kalması gerektiğini düşündü. Havada hareket eden bir mermi için Aristoteles, havanın merminin önünden ayrılarak ve daha sonrasında arkasındaki bölgeyi hızla doldurarak ve böylece merminin arkasına sürekli bir kuvvet uygulandığını düşündü. [3]

Şekil 1.Aristoteles [2]



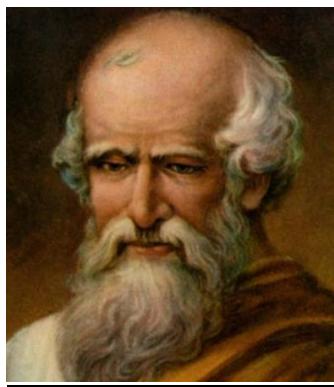
Şekil 2: Havanın Hareket Halindeki Bir Mermiye Olan Etkisi [4]

Bu akıl yürütme “Orta Hareket Teorisi” (Medium Theory of Motion) olarak bilinmeye başladı ve uzun bir süre geniş çapta kabul edildi.

Bu düşünce Aerodinamiğin gelişimine ilişkin iki kavram türetmiştir. Birincisi “Süreklik” kavramıdır. Süreklik ve sürekli akışlar aerodinamik açıdan çok önemlidir. Öyle ki sürekli akışlar tüm aerodinamik uygulamaların yaklaşık %99'unu oluşturmaktadır.

Aristoteles'in aerodinamiğe ikinci katkısı “Direnç” kavramıdır. Aristoteles bu durumu havadan veya başka sıvıdan geçen hareket eden bir cismin bir tür dirençle karşılaşması olarak anlatmaktadır. Şöyle yazmıştır: "Boşlukta hareket ettirilen bir cismin neden durmaya başladığını söylemek imkansızdır. Gerçekten neden başka bir yerde değil de bir yerde dursun? Sonuç olarak, ya zorunlu olarak hareketsiz kalır veya hareket halindeyse, kendisine bir engel çarpmadığı sürece süresiz olarak hareket eder." Aristoteles bu yaklaşımıyla günümüzde aerodinamik açıdan en önemli kavumlardan olan “Aerodynamic Drag (Aerodinamik Sürüklenebilirlik)” kavramına ışık tutmuştur. [3]

2.2.2. Arşimet (Akışkan Statiğinin Kurucusu):



Şekil 3. Arşimet [5]

Arşimet tarafından geliştirilen genel mekanik prensiplerin aerodinamikle bazı ilgisi olan üç yönü vardır.

2.1. Bir akışkanın sürekli bir madde olduğunu ve matematiksel olarak bir süreklilik olarak alabileceğini açıkça belirtmiştir. Bu anlamda ilk kez Aristoteles'in yüz yıl önce belirttiği süreklilik kavramını pekiştirmiştir ve fiilen kullanmıştır.

2.2. Arşimet'in basınç kavramı vardır. Buna göre bir akışkanda "her parçanın her zaman dik olarak üstündeki sütunun tüm ağırlığı tarafından bastırıldığını "belirtti. Bu modern terimler kullanılırsa, sabit bir sıvıdaki bir noktadaki basıncın, üzerindeki sıvinin ağırlığından kaynaklandığı ve dolayısıyla sıvinin derinliğiyle doğrusal orantılı olduğu ilkesinin ilk ifadesiydi. Bu basınç kavramı on sekizinci yüzyıla kadar geçerli oldu. Bernoulli Denklemlerinden bildiğimiz Daniel Bernoulli bile buna katılıyordu. En son 1752 yılında Leonhard Euler aşağıdaki denklemi belirtti.

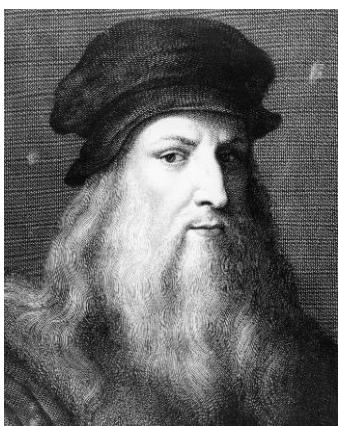
$$p = \lim_{dA \rightarrow 0} \left(\frac{dF}{dA} \right)$$

Denklem 1

Burada A, sıvinin belirli bir noktasında merkezlenen çok küçük bir alandır. F ise sıvıdan dolayı o alana etkiyen buna karşılık gelen küçük kuvvettir.

2.3. Bugün, durgun bir sıvıyı harekete geçirmek için sıvı üzerinde bir basınç farkının uygulanması gereği bilinmektedir. Birim uzunluk üzerindeki bu basınç farkına "Basınç Gradyanı" denilmektedir. Arşimed, "eğer akışkan parçalar sürekli ve düzgün bir şekilde dağılmışsa, o zaman en az sıkıştırılmış olan, daha fazla sıkıştırılmış olan tarafından sürüklendir" diye yazduğunda bu nokta hakkında belirsiz bir anlayışa sahipti. Liberal olarak yorumlandığında bu, durgun bir akışkana bir basınç gradyanı uygulandığında akışkanın azalan basınç yönünde hareket etmeye başlayacağı anlamına gelir. Arşimed'in bu açıklaması, Yunan biliminin temel aerodinamik bilime açık bir katkısıydı. [3]

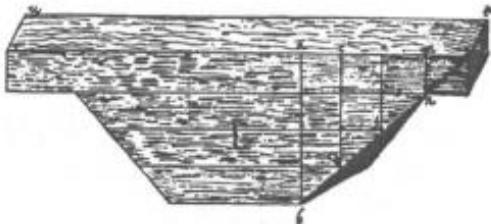
2.2.3. Leonardo Da Vinci:



Şekil 4. Leonardo da Vinci [6]

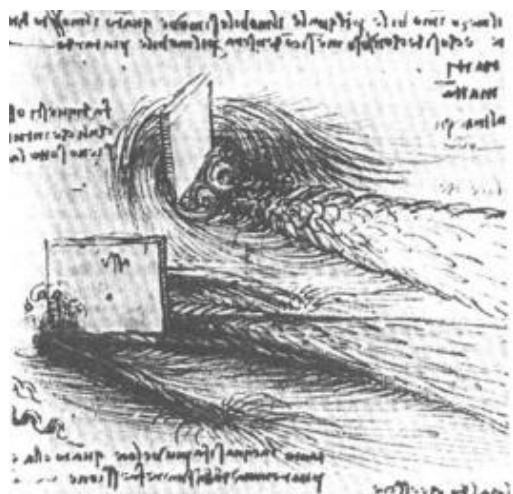
Havayı fethetmek Da Vinci'nin hayali ve takıntısıydı. Havadaki özgürlüklerini taklit etmek istediği kuşlar da öyleydi.

Leonardo'nun temel sıvı akışlarının özelliklerine ilgisi vardır. Leonardo, nehrin daraldığı yerlerde su hızının arttığını gözlemleyerek bu etkinin nehirdeki suyun akışıyla ilgili olduğunu kaydetti. Bu durumu Şekil 2'de bulunan resimle “Eşit yüzey genişliğindeki suyun her hareketi, derinlik ne kadar küçük olursa o kadar hızlı akacaktır” şeklinde açıklamıştır.



Şekil 5: Da Vinci'nin Nehirdeki Su Akışının Kesitini Gösteren Çizim [3]

Da Vinci çapılı akış alanlarının birçok taslağını yapmıştır. Şekil 3 buna bir örnektir. Bu şekilde düz bir plaka etrafındaki akışın girdap yapısı gözükmektedir. Üstteki plaka akışa dik, alttaki plaka ise akıntı yönünde konumlampmıştır. Altta plaka akışla aynı hızadadır ve plaka yüzeyi ile su yüzeyinin birleştiği yerde oluşan girdabin yanı sıra plaka yüzeyinden uzakta bir açıyla yayılan yay dalgasını da gözükmektedir.



Şekil 6. Da Vinci'nin, akış halindeki nesneler üzerindeki karmaşık akış alanlarını gösteren çizimleri aktarım. [3]

Da Vinci kuşların uçuşundan çok etkilenmiştir. Öyle ki matematiğe olan ilgisiyle birlikte Da Vinci “Kuş, matematik kanunlarına göre çalışan, insanın tüm hareketleri ile çoğalma kapasitesinde olan bir alettir.” Sözünü kullanmıştır. Bu söyle birlikte Leonardo'nun uçan makine tasarımasına yönelik yaklaşımının, bir kuşun fiziksel yapısını kopyalamadan çok ötesine geçtiği açıkça gözükmektedir.

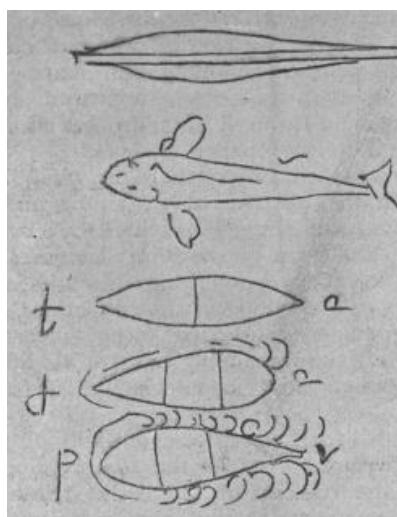
Da Vinci'nin aerodinamiklarındaki düşünceleri üç konu etrafından incelenebilir. Bunlar kaldırma, sürükleme ve genel akış özellikleridir. [3]

Da Vinci özellikle kuşların uçuşunun açıklanması gereken mekanik bir problem olduğunu fark eden ilk kişiydi. Kuşların kaldırılmasının hava ve kanatlar arasındaki bağıl hızın sonucu olduğunu anlamış ve kanat çırpma ile süzülme uçuşu arasındaki temel özdeşliği kuran aerodinamik karşılıklılık ilkesini ortaya atmıştır. Bu ilkeye göre bir cismin bir akışkan içinde hareket ettiğinde, akışkanın da aynı anda cisim üzerinde bir etki oluşturabileceği ilkesidir. Bu prensip onun insan uçuşu ve makinelerin rüzgarla hareket etme potansiyelini anlamasına katkıda bulundu.

O zamanki inanışta kuşların uçma özelliklerinden dolayı uçuklarına inanılmaktadır. Bu sebeple kuşların kaldırılması çözülecek bir sorun olarak gözükmemektedir. Ancak Da Vinci kuşların kaldırılmasının, havanın yerel olarak sıkıştırılmasına neden hava ve kanatlar arasındaki bağıl hızın sonucu olduğunu fark etmiştir. Bu sebeple Da Vinci kaldırma kuvvetinin oluşturulmasında havanın sıkıştırılabilirliğinin temel rol oynadığını vurgulamıştır.

Havada oluşan sürüklemenin ise temel olarak vuruş hızıyla artan hava sıkıştırmasından kaynakladığını fark etmiştir.

Leonardo Da Vinci bu belirtikleri dışında gemilerin hareketini incelemiştir. Eşit genişlik, uzunluk ve derinlikteki üç geminin eşit güçlerle çalıştırılması durumunda farklı hızlara sahip olabileceğini belirtmiştir. Bunun sebebinin ise sıvının akışına olan konumlarından kaynaklandığını belirtmiştir. Geniş kısmını öne çıkaran geminin daha hızlı olduğunu ve şekil olarak kuşlara ve kefallere benzediğini belirtmiştir. Bu bilgilerle birlikte yapmış olduğu çizim Şekil 7'te gösterilmektedir.



Şekil 7. Çeşitli Verimlilikte Gemi Formları (ab Daha verimli biçim / cd Daha az verimli biçim / ef Ortalama verimlilik formu.) (Harfler Leonardo'nun alışlagelmiş tarzına göre ters çevrilmiştir.)

Bu çizime “ab (Şekil 4’ün en altındaki görsel)” en verimli biçimken üstünde bulunan “cd” görseli en az verimli biçimdir. [7]

2.2.4. George Cayley



Şekil 8. George Cayley [8]

“Uçağın Gerçek Mucidi” olarak anılan George Cayley havacılık tarihindeki en güçlü zekalardan biridir. Uçaklara uygulanan aerodinamik biliminin yaratıcısı olduğu konusunda evrensel bir anlayış vardır.

Öyle ki Şekil 5, Sir George Cayley tarafından tasarlanan yaklaşıklı uzunluğunda, elle fırlatılan bir planörün taslağını göstermektedir. [9]

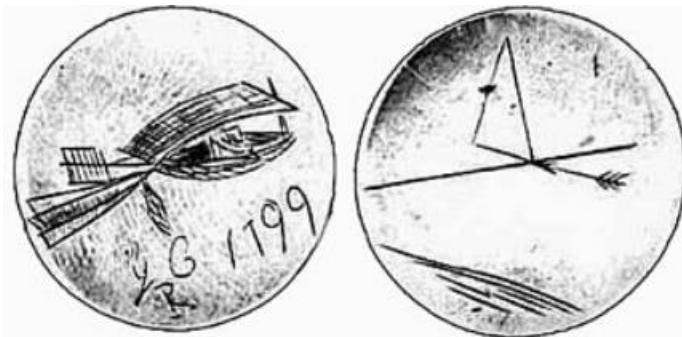


Şekil 9. George Cayley'in Planörünün Taslağı (1804) [9]

Bu ilk modern konfigürasyonlu uçak olarak tarihteki yerini almıştır. Da Vinci uçan bir makine sabit kanatlarla tasarlanabilir düşüncesi kamuoyuna sunulmamıştı.

Bu sebeple bu tasarım ile birlikte yaklaşık iki yüzyıl sonra modern konfigürasyonlu uçak konseptinden sorumludur. George Cayley, sabit bir kanat dışında uçan cismin havadaki karşılaşacağı dirence karşı bu direncin üstesinden gelmek için cismin arkasına yatay ve dikey kuyruk yüzeyleri önermiştir.

1799 yılında gümüş bir diskin üzerinde sabit kanatlı bir uçağın taslağını kazımıştır. Bu aslında modern konfigürasyonlu uçağın tarihteki ilk tasarımıdır.[3]



Şekil 10. George Cayley' in Gümüş Bir Disk Üzerine Kazıldığı Uçak Taslağı [10]

İtme sisteminin kaldırma sisteminden ayrılmış ve sabit bir kanat bulunmaktadır. Bu da yüzyıllardır bilinen omitopter geleneğinden önemli bir kopuştu.

Şekil 7'de bulunan görselde daha net gözüktüğü gibi sabit bir ana kanat ve hac biçimli kuyruk ünitesi bulunmaktadır. Kanatların arkasında ise kürek şeklinde pervaneler ve pilot için bir motor bölmesi bulunmaktadır. Kanadın eğriliği ise hava basıncından kaynaklanıyordu. George Cayley sert bombeli kanadın üstün kaldırma özelliklerinin farkındaydı, ancak genel olarak eğriliğin sert bir kanattan ziyade yelken kanadıyla aerodinamik olarak etkili olduğuna güveniyordu.[9]

Gümüş diskin diğer tarafında bulunan ok sağdan sola akışı göstermektedir. Kalın çapraz çizgi, akışa oldukça geniş bir hücum açısına sahip bir kanat kesitini temsil etmektedir. George Cayley, bu çizimle kanadın üstündeki sağ üçgende hipotenüsün sonuçta ortaya çıkan aerodinamik kuvveti temsil ettiğini, yatay ve dikey kenarların ise sırasıyla sürükleme ve kaldırma kuvvetini temsil ettiğini göstermektedir.

George Cayley' in yüzyıllar önce tasarladığı uçak tasarımındaki hücum açısı kavramı günümüzde bilinen hücum açısı kavramıyla örtüşmektedir.

Aerodinamik bilimi için oldukça önemli olan bu gümüş disk Britanya Bilim Müzesi'nde sergilenmektedir.

Elle fırlatılan bu uçak başarılı bir şekilde uçtu ve Cayley'e uçak ve aerodinamik özellikleri kapsamında daha fazla deney yapması istendi.[3]

2.2.5. Galileo



Şekil 11.Galileo Galilei [11]

Galileo düşen bir cismin aerodinamiği ile ilgilendi. Bu bağlamda havanın uyguladığı direncin cismin yolunu etkilediğini belirtti. Dolayısıyla Galileo, kendisinden önceki Aristoteles ve da Vinci ile birlikte, havada hareket eden bir cismin, hareketini geciktiren bir aerodinamik kuvvete ("direnç veya sürüklendirme") maruz kaldığını teorileştirdi. Ancak bu direnci ölçemedi.

Galileo düşen cisimlerin ve sarkaçların hareketlerinin gözlemlerini yaptığı deneyle birlikte aerodinamik sürüklendirmenin ortamın yoğunluğuna bağlı olduğu sonucunu çıkardı.

Galileo'nun öğrencisi olan Benedetto Castelli (1577-1644) sıkıştırılamaz bir akış için sürekli lilik yasasını ($AV=Sabit$) yayınladı. Burada "A" akışın kesit alanı iken "V" ise akışın hızıdır. Da Vinci bu yasayı anlamıştı fakat yayınlayan yıllar sonrasında Benedetto Castelli oldu. Bu yasa İtalya'da "Castelli Yasası" olarak bilinmektedir.

Galileo'nun yakın arkadaşı olan Evangelista Torricelli (1608-47) dolu kapların tabanlarındaki deliklerden akan sıvıların hızları üzerine çok sayıda deney yapmış ve hızın kap içindeki sıvinin yüksekliğinin kareköküyle doğru orantılı olduğunu gösteren ilk kişi olmuştur. Toricelli Yasası yani;

$$V = \sqrt{2gh}$$

Denklem 1.1

Denklemi tüm Fizik kitaplarında karşımıza çıkabilir. Bu denklemde "V" akışkanın hızı, "g" yerçekimi kuvveti ve "h" ise sıvinin yüksekliğidir. Toricelli bu buluşu dışında 1644 yılında barometreyi icat etmiştir.

Bu dönemde Toricelli dışında Fransa'da Blaise Pascal (1623-1662) akışkan statigi disiplinini geliştirdi. Pascal atmosferin hareketinin, bir sıvinin yüzeyine uygulanan ağırlığın etkisi olduğunu anladı. Özellikle getirdiği en önemli durumlardan biri olan "Bir akışkanın herhangi bir noktasındaki basıncın o noktadan geçen tüm yönlerde aynı olduğu ve bunun sadece akışkanın o noktadaki derinliğine bağlıdır" teorisini geliştiren ilk kişi oydu.

1754 yılında ise Leonhard Euler, hareketli bir akışkandaki basıncın kesinlikle noktasal bir özellik olduğunu fark eden ilk kişidir. [3]

2.2.6. Edme Mariotte / Christiaan Huygens



Şekil 12.Edme Mariotte [12]

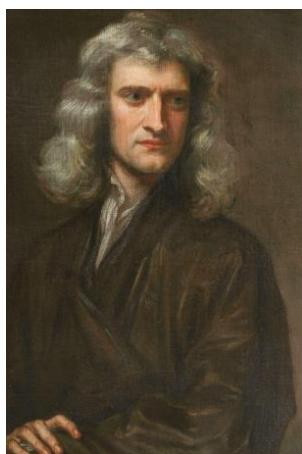


Şekil 13.Christiaan Huygens [13]

17.yüzyılın sonlarına doğru aerodinamiğin ilerlemesinde büyük bir gelişme yaşandı. 17.yüzyılın ortalarına kadar hakim teori, kuvvetin akış hızıyla doğru orantılı olduğu yönündeki yanlış düşünceydi. Ancak yüzyılın sonundaki 17 yıllık sürede bu durum çarpıcı biçimde değişti. 673 ile 1690 yılları arasında, Fransa'da Edme Mariotte (1620-84) ve Hollanda'da Christiaan Huygens (1629-95) tarafından yürütülen iki bağımsız deney seti ve İngiltere'de Isaac Newton (1642-1727) tarafından yayınlanan teorik temeller, Bir nesneye etki eden kuvvetin akış hızının karesi kadar değiştiği açıkça ortaya konmuştu. Bu aerodinamiğin evrimindeki ilk büyük bilimsel atılımı temsil ediyordu.

Christiaan Huygens (1629-95) ise yapmış olduğu deneyle aerodinamik kuvvetin hızın karesi olarak değiştiğine dair doğrudan deneysel kanıt elde etmiştir.[3]

2.2.7. Isaac Newton



Şekil 14.Isaac Newton [14]

On yedinci yüzyılın ikinci yılında, akışkanlar dinamiğine olan pratik ilgi, özellikle gemi mimarisinde ilgili sorunlardan kaynaklanmaktadır. Bu dönemde, özellikle geminin gövdesindeki sürüklendirmeyi anlama ve öngörme ihtiyacı, büyük bir kısmı denizasırı topraklara hükmeden bir ülke için hayatı bir endişe kaynağıydı. Newton'un ise akışkanlar mekaniği alanındaki çalışmalarının temel amacı, sürekli bir ortamda hareket eden bir cisim (gök cisimleri dahil) üzerinde sonlu bir sürüklendirmenin olduğunu kanıtlamaktı. Newton, bir sıvı içinde hareket eden cisimler üzerindeki sonlu dirençleri hesapladı ve bu tür dirençlerin "hızlarının kare oranı, çaplarının kare oranı ve basit orandan oluşan bir oranda" olduğunu gösterdi. Yani, Newton hızın karesi yasasını türetmiş, aynı zamanda direncin cismin kesit alanına ("çaplarının kare oranı") ve yoğunluğun birinci kuvvetine ("basit kuvvet") göre değiştiğini göstermektedir. Bunu yaparak Newton, sürükleme denkleminin özünün ilk teorik türetilmesini sundu.

$$D \propto \rho S V^2$$

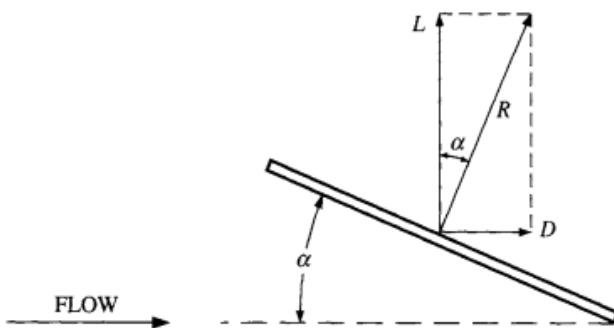
Denklem 1.2

Newton ayrıca ikinci bir temel bulguya katkıda bulundu. Bu bir akışkanın herhangi bir noktasındaki kayma gerilimi için, aynı noktada mevcut olan hız gradyanı cinsinden bir ilişkinin açıklamasıdır.

$$\tau = \mu(dV / dn)$$

Denklem 1.3

" μ " viskozite katsayısıdır. dV / dn ise hız gradyanıdır. Bu denkleme "Newton Kayma Gerilimi Yasası" adı verilir ve yasa uyan tüm akışkanlar ve gazlar "Newton Akışkanları" olarak adlandırılır. Newton'un aerodinamik bilime katkısı bununla sınırlı değildir.



Şekil 15. Akışın Düz Bir Levha Üzerinde Bıraktığı Kuvvetler [3]

Akışkanın kavisli bir yüzey parçası üzerine uyguladığı darbe kuvvetinin $\sin^2 \alpha$ ile orantılı olduğunu söyleriz. Bu sonuç hucum açısının α olduğu serbest akışa yönlendirilmiş düz bir yüzeye uygulandığında, yüzey üzerindeki sonuç aerodinamik kuvveti verir.

$$R = \rho V^2 S \sin^2 \alpha$$

Denklem 1.4

Bu denkleme “Newton’un Sinüs-Kare Yasası” denilmektedir. Şekil 8’de bulunan L,R ve D kavramları şöyle açıklanabilir.

$$L = R \cos \alpha = \rho V^2 S \sin^2 \alpha \cos \alpha$$

Denklem 1.4.1

$$D = R \sin \alpha = \rho V^2 S \sin^3 \alpha$$

Denklem 1.4.2

$$L/D = \cos \alpha / \sin \alpha = \cot \alpha$$

Denklem 1.4.3

α radyan cinsindedir. Yukarıda kaldırma kuvveti denklemi incelendiğinde belirli bir hızda ve belirli bir kanat alanında uçan bir makine için sinüs-kare değişiminin, küçük hucum açılarında çok küçük bir kaldırma kuvveti öngördüğünü gözükmemektedir. Ancak istikrarlı ve düz bir uçuş için kaldırma kuvvetinin ağırlığa eşit olması gereklidir. Bu gibi nedenlerden dolayı Newton'un sinüs kare yasasını kullanan hesaplamalar, uçan makinelerin aerodinamik özelliklerine ilişkin çok kötümser tahminlere yol açmıştır. [3]

2.2.8. Hidrodinamiğin Gündögumu: Daniel Bernoulli (1700-1782) ve Basınç-Hız Kavramı



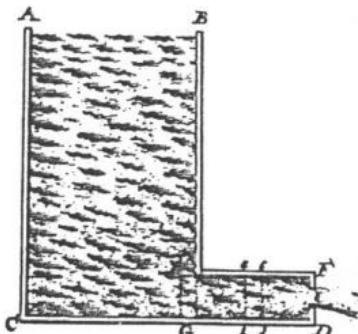
Şekil 16. Daniel Bernoulli [15]

Bernoulli bir sıvı akışkandaki basınç değişimi ile hız arasındaki ilişkiyi bulmaya çalıştı. Bernoulli tıpkı yaklaşık 20 yüzyıl önce Arşimet'in yaptığı gibi basıncı sıvı borunun yüksekliği olarak ele aldı. "Akan bir akışkanda hız arttıkça basınç azalır." Bernoulli'nin açıklamış olduğu bu cümle şimdiler de bir uçak kanadında kaldırma kuvvetinin nasıl olduğunu açıklamakta çok sık başvurulan bir çözüm yoludur.

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

Denklem 1.5

1 ve 2 akışkanlardaki farklı noktalar olmak üzere yukarıda bulunan denklemi türetmiştir. Bu denklem şimdiler de "Akışkanlar Mekanığı" dersinde sık sık gördüğümüz ve belki de bu bilimin en ünlü denklemidir. Bernoulli akışkanlar mekanığı bilimine çok büyük katkısı olsa da kaçırılmış olduğu bazı noktalar vardı. Bu noktalar şekil 9 ile birlikte daha net gözükmeğtedir. [3]



Şekil 17. Bernoulli'nin bir tanktan akan suyu gösteren çizimi [3]

Burada, yatay bir boru olan EFDG'nin takıldığı, suyla dolu büyük bir tank olan ABGC'yi gözükmeğtedir. Borunun ucu kısmen kapalı; suyun kaçtığı küçük bir delik içerir. Bernoulli borudaki akışkanın potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamının sabit olduğunu belirtti. Fakat bu yanlış bir ifadedir, çünkü akan bir akışkanda kinetik ve potansiyel enerjilerin yanı sıra basıncın yaptığı iş de vardır. "İş" Bernoulli tarafından anlaşılamadığı için), küçük bir dx mesafesi boyunca hızındaki değişim (dV) için aşağıdaki diferansiyel denklemi elde etti.

$$\frac{dv}{dx} = \frac{a - v^2}{2c}$$

Denklem 1.6

Bernoulli'nin kaçırılmış olduğu bu nokta onun 18. yüzyılın yeni bilimsel ilkelerini kullanarak bir akışta basınç ve hız arasındaki ilişkiyi inceleyen ilk kişinin o olmasını ve getirdiği şimdiki adıyla "Bernoulli Denklemi" akışkanlar mekanığı biliminde önemli bir yer kapladığı gerçekini değiştirmemektedir. Öyle ki bulguları Euler, d'Alembert ve Lagrange gibi diğer araştırmacıların çalışmalarını teşvik etti. [3]

2.2.9.D'Alembert



Şekil 18. D'Alembert [16]

1744'te yayımlanan "Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides" adlı eserinde, d'Alembert sürükleşmeyen ve sıkıştırılamayan bir akış içinde hareket eden bir cisim üzerindeki aerodinamik sürükleme kuvvetinin sıfır olduğunu göstermiştir. Bu durum, akışkanın sürtünmesiz ve düşük hızlı olduğu bir ideal durumu temsil etmektedir. Ancak, gerçek hayatı sürtünme etkileri olduğundan, d'Alembert'in bu sürüklemeye hesaplayamaması bir paradoks ortaya çıkarmıştır. [3]

2.2.10. Leonhard Euler



Şekil 19. Leonhard Euler [17]

Akışkanın yatay ve dikey hareketlerini açıklamak için Euler Denklemi geliştirilmiştir. Bu denklemler akışkanın basınç, hız ve yoğunluğundaki değişimleri tanımlamaktadır. [3]

$$\alpha x = \frac{du}{dt} + u \frac{\partial U}{\partial x} + v \frac{\partial U}{\partial y} + y \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial U}{\partial t}$$

$$\alpha y = \frac{dv}{dt} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + y \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial t}$$

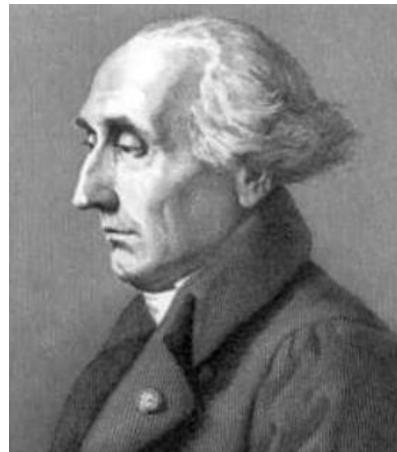
$$\alpha z = \frac{dw}{dt} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + y \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial t}$$

Denklem 1.7

2.2.11. Laplace ve Lagrange



Şekil 20. Laplace [18]



Şekil 21. Lagrange [19]

Lagrange, hareket eden bir akışkan element üzerinde yoğunlaştı ve yönetici denklemleri, bu elementin uzayda hareket ederken basıncını ve hızını zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplayacak şekilde yazmıştır. Çözümleri, incelenen akışkan elemanı için bu zamansal değişiklikler şeklinde ortaya çıkardı. U yaklaşımı akışkanlar dinamığında Lagrangian yöntemi denir. Modern aerodinamikte neredeyse her zaman Euler yöntemi kullanılır; ancak Lagrangian yöntemi, nükleer patlamalardan kaynaklanan dalga yayılımının özelliklerini hesaplamak için fizikçiler arasında biraz daha popülerdir. Laplace ise fizikteki en önemli denklemlerden biriyle sorumludur.

$$\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial z^2} = 0$$

Denklem 1.8.

Laplace, Satürn'ün halkaları hakkındaki çalışmalarını, bunları yerçekimsel kuvvetler altında dengede bulunan sonsuz ince sıvı katmanları olarak modelleyerek rapor etti; burada G, daha sonra olarak kabul edilen çekim potansiyelini ifade ediyordu.

Lagrange ise bu denklemi Sıkıştırılamaz akışkanın akışı için tanımlamıştır.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0$$

Denklem 1.8.1

Dahası, akış irrotasyonelse (yani, hareket eden akışkanın akışkan elemanları yalnızca uzayda hareket ediyorsa ve aynı anda dönmüyorsa), yine Lagrange tarafından tanımlanan hız potansiyeli Ψ Laplace denklemini karşılıyordu.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

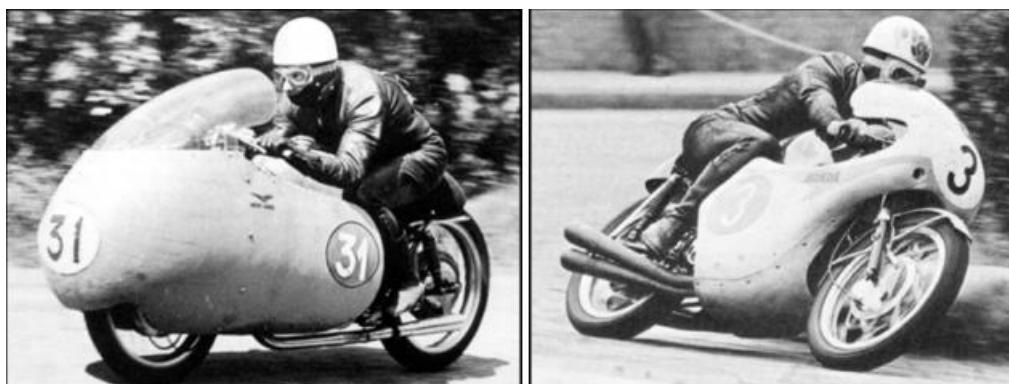
Denklem 1.8.2

Bu süreçle devam ederek günümüzün aerodinamik ve bununla bağlı olaraak akışkanlar mekaniği bilimlerinin temelleri atılmıştır. [3]

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Geçmişten Bugüne MotoGP ve Aerodinamik

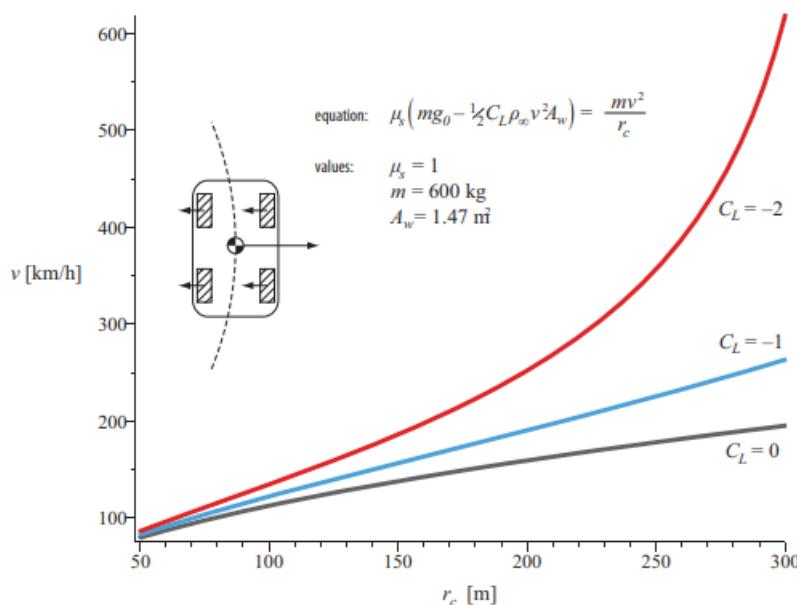
İlk yıllarda motosikletler için aerodinamik ile ilgili odakların çoğu sadece düzene koymaya odaklanmıştı. Aerodinamik açıdan en verimli tasarımın gözü gibi damla şeklinde olmasıydı. Ayrıca ön alanı azaltmak için motosikleti mümkün olduğunda alçak ve dar yapmaya çalışırlar.



Şekil 22. Geçmiş Yıllardan Yarış Motosikletinin Görünümü [20]

Bu devasa motosikletlerin yan rüzgarlarda tehlikeli ve viraj alırken hantal olduğu ortaya çıktı.

Viraj almanın nasıl geliştirileceğine dair bir yol bulunursa diğer yarış motosikletlerine göre önemli bir avantaj getireceği açıklarıdır. Viraj almanın daha kolay ve daha etkili gerçekleşmesi açısından Basma kuvveti oluşturan bir kanadın yerleştirilmesi normal kuvveti artırarak statik sürtünme kuvvetinin daha yüksek değerlere ulaşması sağlandı. Basma kuvvetinin artmasıyla virajlardaki verimlilik bağlantıları aşağıda bulunan grafikte gösterilmektedir.



Grafik 1.Basma Kuvvetinin Artmasıyla Virajlardaki Verimlilik [20]

Bu grafik basma kuvvetinin arttırılması durumunda ($CL = -2$) aracın düşük kavisli virajlarda iki kattan daha hızlı gidebileceğini göstermiştir.

1977 yılında Rodger Feeth biraz alma hızını artırmak için dönüş ortasında lastikler üzerinde ekstra basma kuvveti yaratacağını düşünerek öne ve arkaya iki yatay kanat eklemiştir. Arka kanat 45 mm'lik kiriş ile 700 mm'lik bir açıklığa sahipti. Ön kanat ise 660 mm açıklığa ve 130 mm kiriş sahipti.

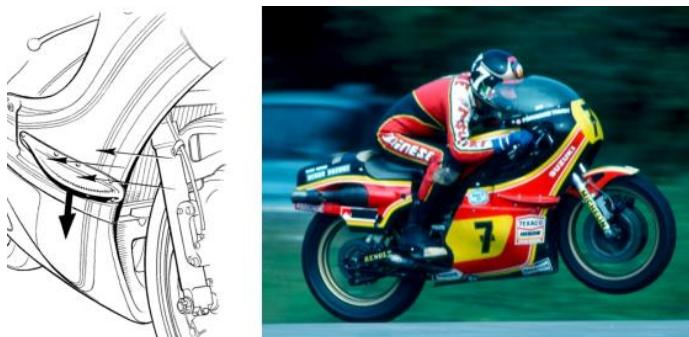


Şekil 23.Rodger Feeth'in Tasarladığı Yarış Motosikleti [20]

Bu kanatların boyutları elbette şu an kullanılamayacak kadar büyüktür. Çünkü günümüzde MotoGP yarışlarında virajlardaki eğim açıları 50^0 'nin üzerine çıkabilmektedir. Bu durumda yanal kuvvet bileşeni istenen düşey kuvvet bileşeninden daha büyük olur. Özellikle yakın gerçekleşen yarışlarda riskli olabileceği düşünüldüğü için yasaklanmıştır.

Yıllar boyunca pek çok kişinin işaret ettiği gibi çok daha iyi bir konsept, kanatların jiroskopik bir devirme cihazına monte edilmesi olacaktır. Böylece hangi açı olursa olsun kanatların daima yere paralel olması sağlanır. Bu şekilde yanal kuvvet bileşeni ortadan kaldırılacaktır. Fakat bu kanatların hareketli olması gerekiği tasarıma ilave bir karmaşıklık katmakta ve düzenlemeler nedeniyle onları MotoGP gibi rekabetçi yarışlarda kullanılamaz hale getirmektedir.

Bu gelişmeler dışında motosikletin ön tarafında küçük kanatların kullanıslı olabileceği düşünülmüştür. Özellikle yüksek hızlarda hücum açısının azaltılmasına ihtiyaç duyulduğu zamanlarda bu fikir ortaya atılmıştır.



Bu tür bir yapı, BMW R100RS (1977) gibi motosikletlerde ve 1979'dan itibaren Suzuki RG500 olarak Grand Prix yol yarışı makinelerinde görülmekteydi. Fakat Suzuki bunları sonraki sezonlarda GP motosikletlerinde uygulamadı. Bunun altında yatan sebep olarak araçların viraj alma yeteneğinin düşük olmasıydı. [20] .2017 yılındaki düzenlemelerle aerodinamik elemanlarının, motosikletin kaportasına entegre edilmiş kapalı bir düzenek olması gereklidir.



Şekil 24. Markaların Ön Kanat Tasarımları [21]

2019 yılında Ducati aracına akış yönlendirici taktı. Salınım kolumnun alt bölgesinde yer alan bu parça, akışı motosikletin altından arka tekere yönlendirmekteydi. Elbette bu yeni parça da diğer markalar içinde tartışmalara yol açtı. Ducati, savunmasında ise hava akışını kaportaının alt kısmını ile arka tekerler arasındaki boşluktan yukarıya doğru yönlendirmek ve böylece arka lastiğin sıcaklığının azaltılmasına yardımcı olduğunu dile getirdi. Diğer markalar, bu parçanın haksız rekabet yaratarak araca ek basma kuvveti oluşturduğunu ve bu sebeple hızlanma sırasında daha iyi bir çekiş elde edeceği konusunda ısrar etmiştir. Bununla birlikte FIM, MotoGP aerodinamik yönetmeliklerindeki 2020 yılı için değiştirmiştir

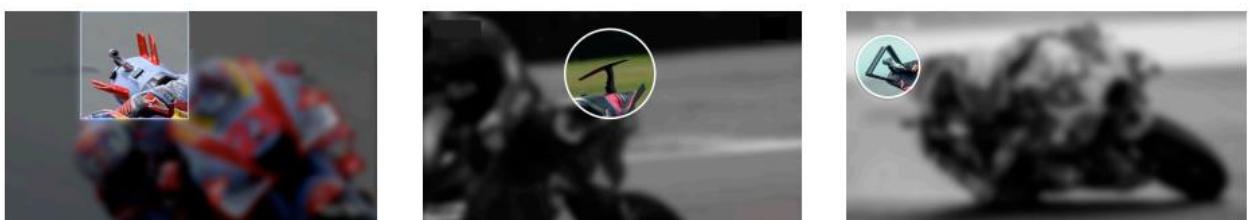


Şekil 25.Salınım Kolu Aparatı (Kaşık) Yapısı [21]

2021 yılında Ducati ikinci tip bir akış yönlendiricisi olarak ilk kez kaporta yan tarafında yeni bir eklenti oluşturdu.

2022 yılında ise motosikletlerin kuyruk kısmına yerleştirilen, F1 yarışlarında arka kanat olarak bildiğimiz küçük kanatlar yerleştirildi. Ducati bunu biraz daha farklı yaptı. Ducati bu yeniliğinin amacında motosikletin bir köşeye yaslandığında arkasında bastırma kuvveti oluşturmak olduğu iddia edildi.

Aprilia'nın arka kanat tasarımları test motosikletlerinde görüldü ancak yarışlarda kullanılmadı. 2023 yılında ise KTM üç kanattan oluşan bir arka kanat tasarımı oldu. Bu tasarım da sezon öncesi testlerde olurken yarışlarda görülmeli. 2022 yılında arka kanat tasarımları dışında Aprilia yeni daha geniş ve daha alçak kaporta konseptini tanıttı. Daha sonrasında bu tasarım diğer markalar tarafından da takip edildi. Bu tasarımdaki amacın ise motosiklet yana yattığında yer etkisi yaratmasıdır. [21]



Şekil 26.Markaların Arka Kanat Tasarımları [21]

3.2.Aerodinamik Kuvvetler:

3.2.1Sürükleme Kuvveti

Aerodinamik kuvvet, yüksek performanslı bir motosikletin dinamiklerini değerlendirmede hayatı önemine sahiptir: burada hızlanma ve frenlemeyi doğrudan etkilediği için sürükleme en çok etkileyen durumdur. Bu kuvvet(N) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. [22]

$$F_D = C_D \rho A \frac{v^2}{2}$$

Denklem 2

- C_D : Sürüklenme Katsayısı
- ρ : Havanın Yoğunluğu ($\frac{kg}{m^3}$)
- v : Hız(m/sn)
- A: Taşıt Kesit Alanı (m^2)

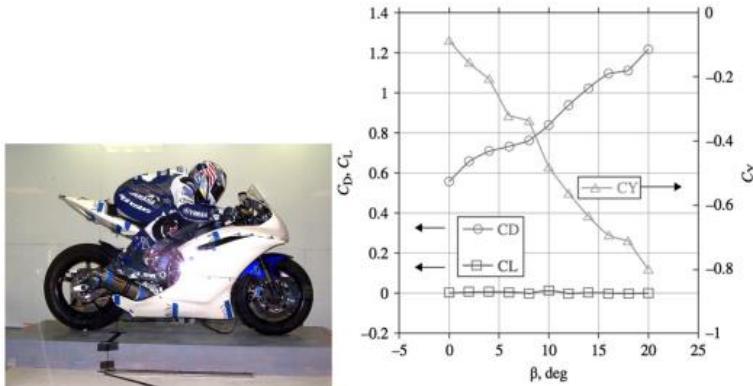
Sürüklenme katsayısı ise denklem 2'de yalnız bırakılarak bulunmaktadır.

Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

Şekil 27. Şekillere Göre Sürüklenme Katsayısı [23]

Denklemden de anlaşılacağı üzere A ne kadar fazla olursa yapının karşılaşacağı direnç o kadar fazla olmaktadır. Bu sebeple sürücüler frenleme sırasında sürükleme kuvveti artırmak için gövdelerini kaldırırken, hızlanmak istediği durumlarda sürücü eğilir ve motosiklet ile birlikte gözyasına benzer bir şekil alarak hızlanmayı artırmaktadır. [22]

Genel olarak iki tekerlekli araçların sürükleme kuvveti yüksektir. Bu nedenle düzene sokma ve sürükleme kuvvetini azaltma ana aerodinamik konuları arasında yer almaktadır. Yere basma kuvvetini artırmak yarışta yol tutuşu için elbette faydalı olabilir fakat bunu motosikletin eğilme özelliklerini etkilemeden yapılması gerekmektedir. Örnek olarak aşağıdaki şekilde üzerinde gerçek bir sürücünün olduğu bir rüzgar tüneli test bölümünde monte edilmiş tipik bir motosiklet bulunmaktadır.



Şekil 28. Teste Gire Motosikletin Görünümü [24]

Grafik 2. Kaldırma, Sürükleme ve Yan Kuvvet Katsayılarının Açıyla Birlikte Değişimi [24]

Bu durumda aerodinamik katsayılarla birlikte sürücünün oturma pozisyonunun etkisi de değerlendirilmiştir. Ön alan $0.55m^2$ değerindedir. Bu durumda;

$C_d = 0.56$ ve $C_l = 0.36$ değerindedir. Motosikletin yan görüş alanı ön alandan çok daha büyük olduğundan motosikletler yan rüzgarlara karşı hassastır. Üstte bulunan grafikte Yan kuvvet katsayısının (C_y) yan kayma açısına göre arttığını da göstermektedir. Yana kayma açısı arttıkça sürükleme artarken, toplam kaldırma kuvveti fazla etkilenmez. [24]

3.2.2. Kaldırma Kuvveti:

Kaldırma kuvveti yapının gövdesini akış yönüne dik doğrultuda hareket ettirme eğilimindedir. Bu kuvvet uçak kanadına etkiyerek uçakların havalandmasını sağlamaktadır. Kara araçlarında istenmeyen bir durumdur. Bu sebeple araçların tekerleklerindeki çekiş gücünün azaltılması istenir. Kara araçlarında düşük kaldırma kuvveti aracın yol tutusunu artırmakta ve böylece virajları daha güvenli almasını sağlamaktadır. [25]

$$F_L = C_L \rho A \frac{v^2}{2}$$

Denklem 2.1

- C_L : Kaldırma Katsayısı
- ρ : Havanın Yoğunluğu ($\frac{kg}{m^3}$)
- v : Hız(m/sn)
- A: Taşit Kesit Alanı (m^2)

3.3.3. İtme Kuvveti

İtme kuvveti aracı ileri doğru iten bir kuvvettir. Bir cismin itme kuvveti ne kadar büyük olursa hızı da o kadar fazla olur. Özellikle havacılıkta jet motorları veya pervanaler gibi yapılar tarafından üretilmektedir.

3.3.4. Basma Kuvveti

Kara araçları özellikle maksimum basma kuvveti olacak şekilde tasarlanmaktadır. Basma kuvveti sürücüye yüksek hızlarda da iyi bir yol tutuşu sağlamaktadır. Yüksek miktarda basma kuvvetinin dezavantajı ise yüksek sürüklendirme kuvvetine neden olmasıdır. Aerodinamik ile uğraşan mühendislerin zamanının bir kısmını sürüklendirme kuvveti olmadan basma kuvveti elde etmek için harcamaktadır.

Bunlara ek olarak aracın maruz kalacağı yanal kuvvetler de bu başlığı eklenebilir.

Hava akışı taşıtin düşey simetri düzlemine herhangi bir açıda ise, akış hattı simetrik ve yanal bir kuvvet oluşur. Yanal kuvvet

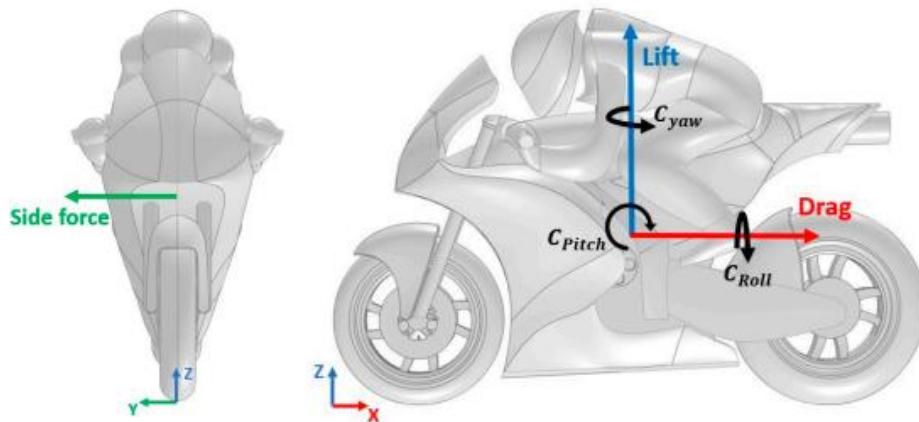
1. Aracın dönüş yapması(doğrultusunu değiştirmesi)
2. Araca herhangi bir açıyla esen rüzgar

Sebebiyle oluşmaktadır. [25]

$$F_Y = C_Y \rho A \frac{v^2}{2}$$

Denklem 2.2

- C_Y : Yan Kuvvet Katsayısı
- ρ : Havanın Yoğunluğu ($\frac{kg}{m^3}$)
- v : Hız(m/sn)
- A: Taşit Kesit Alanı (m^2)



Şekil 29.Motosiklet üzerinde Kaldırma, Sürüklenme ve Yanal Kuvvetlerin Görünümü [21]

3.3.MotoGP Parçaları ve Aerodinamik Etkisi



Şekil 30.Akışın Motor ile Sürücü Gözyası Damlası Durumundayken Görünümü [26]

Aerodinamik sürücüyü tamamen kaplayacak şekilde hava akışını deform etmesi gerekmektedir.

Hava akışı sürücünün konumuna bağlı olarak farklı davranışmaktadır.

Yarış motorlarında basma kuvvetini artıracak en önemli yapılardan biri kanatlardır. Kanatların görevleri basitçe aracın ön tekerleğinin yerle temas halinde kalmasını sağlayan bastırma kuvveti oluşturmaktır. Daha az tekerlek hareketi, ön tekerleğin yerle temas halinde olması ve dolayısıyla motosikletin yönünü koruması nedeniyle sürücünün motosiklet üzerinde daha fazla kontrole sahip olmasını sağlar. Bu anlamda kanatlar çok önemlidir çünkü motosikletin genel güvenliğini artırlar.



Şekil 31. Akışın Yan kanatlardan Geçerken Görünümü [26]

Şekilde görüldüğü gibi kanadın işlevi hava akışını yatay bir yönden yukarıya doğru yönlendirmektir. Bu durum kaporta yüzeyinde ön tekerleğin zeminle temas etmesine neden olan bir kuvvet yaratmaktadır. Kanatlar dezavantaj olarak ise sürüklenemayı artırmaktadır. Bu sebeple aerodinamik avantajlar kaybedilmeden motosiklete ne kadar yük verileceği değerlendirilmelidir.

Aracın kaplaması ve aerodinamikler şüphesiz sadece yağ suyunun ve motorun değil, frenlerin ve lastiklerin de soğutulması açısından çok önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 32. Akışın Soğutmadaki Etkisi [26]

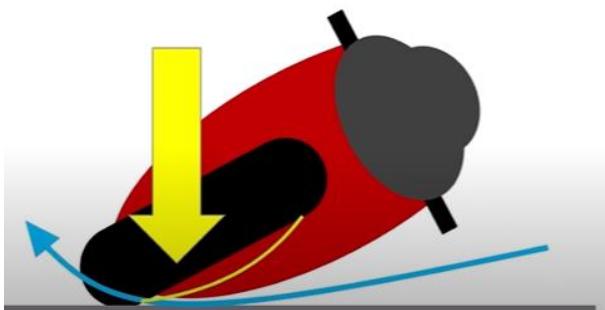
Motoru soğutmak için kullanılan havanın çoğunu kaporta ve çamurluktan geçtiği görülmektedir. Çamurluğun şekli nedeniyle hava girer ve aşağı doğru döner, ancak radyatör tarafından geçiş engellendiğinden aşağıya doğru yönlendirilmekte ve alt kısmındaki kapordanın şekli nedeniyle yanal olarak çıkışma ve artma eğilimi göstermektedir.

Motor soğutma söz konusu olduğunda, su radyatörü ve yağ radyatörünün hemen ardından gelen yan açıklıklar olan panjur olarak adlandırılan kısımlar, radyatöre giren havanın hızlı bir şekilde dışarı atılmasına hizmet ettiğinden belirleyici bir rol oynamaktadır.



Şekil 33. Akışın Salınım Kolu Aparatından (Kaşık) Geçerken Görünümü [26]

Herkesin sıklıkla söylediği şekliyle kaşık, arka tekerleği soğutmak için tasarlanmış aerodinamik bir bileşendir. Kaşık, hava akışını arka tekerleğe yönlendirerek salınım kolu ile tekerlek arasındaki boşluğa temiz hava vererek çalışır ve bu nedenle arka tekerleğin önemli ölçüde soğutulmasına olanak tanımaktadır. Bu durumda olumlu etki olarak yol tutuşunu artırmakta fakat bununla beraber lastik aşınmasını da artırmaktadır. [26]



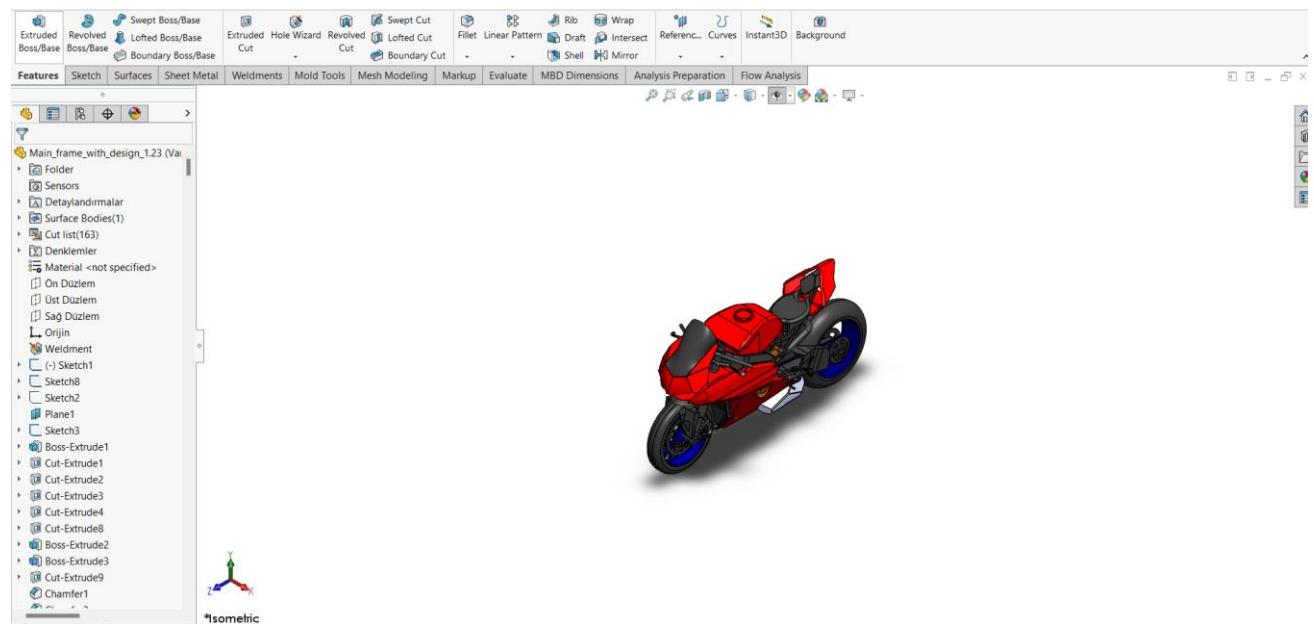
Şekil 34. Virajı Dönme Anında Rüzgarın Etkisi ve Yere Basma Kuvvetinin Görünümü [27]

Teker jantları özellikle araca düzlükte fazla zarar vermeyecek ve kavisli bir yüzey olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu da sürücüye yüksek hızlarda daha düşük basınç ve ekstra yere basma kuvveti oluşması anlamına gelmektedir. Buradaki avantaj bu basma kuvvetinin doğrudan tekerlekle ve jantla üretilmesidir. Böylece viraj anlarında basma kuvvetinin süspansiyondan geçmesine gerek kalmamaktadır. [27]

4.BULGULAR

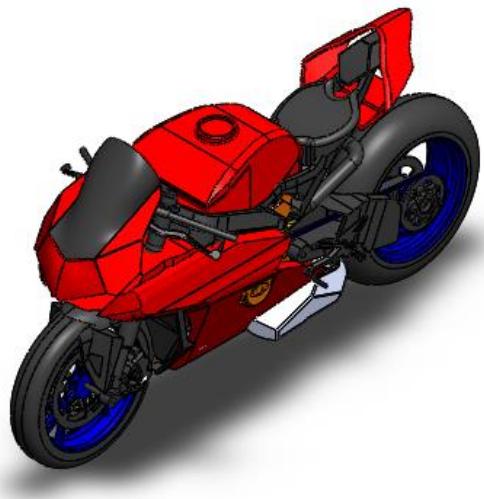
4.1.Ducati V4R Yarış Motosiklet Tasarımı

Bu çalışmada yarış motosikleti olarak Ducati V4R modeli ele alınmıştır. Ducati V4R aracının tasarımını SolidWorks programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda tasarımin program üzerinden görünümü aşağıda verilmiştir.

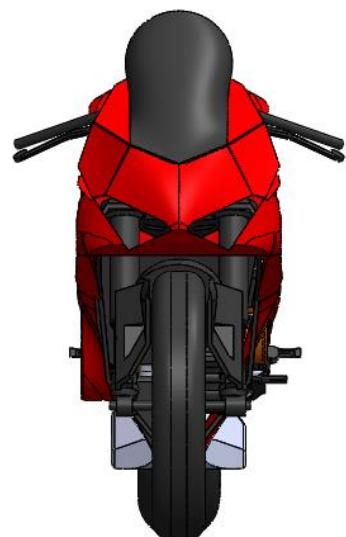


Bu aracın çeşitli görünüşleri aşağıda gösterilmiştir.

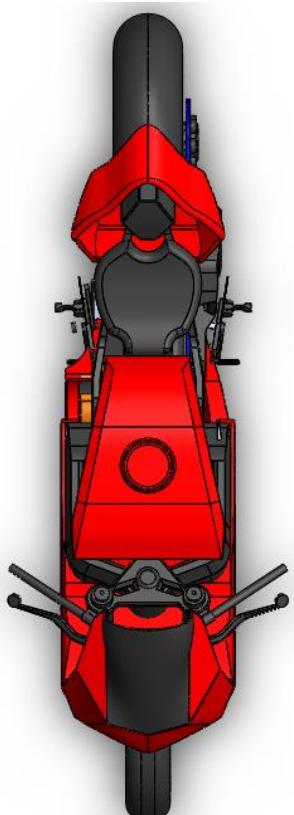
Aracın İzometrik Görünümü;



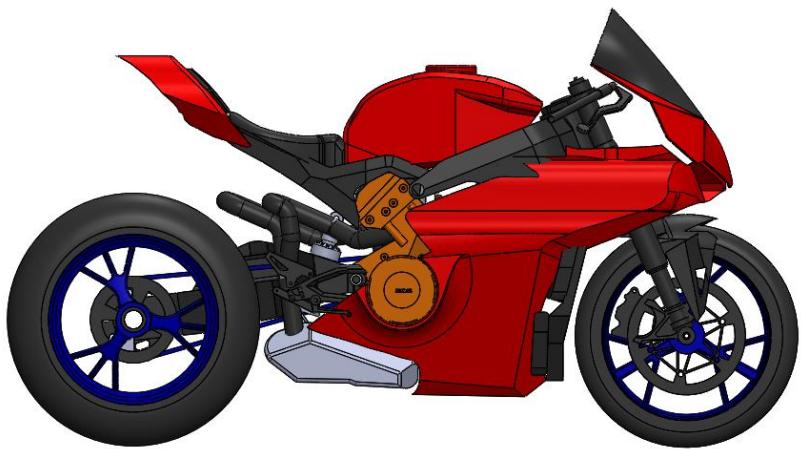
Aracın Önden Görünümü;



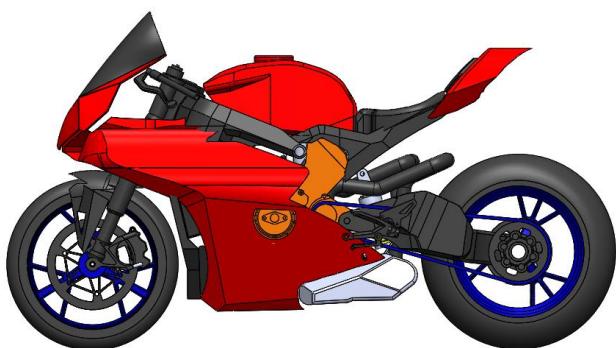
Aracın Üstten Görünümü;



Aracın Sağdan Görünümü;



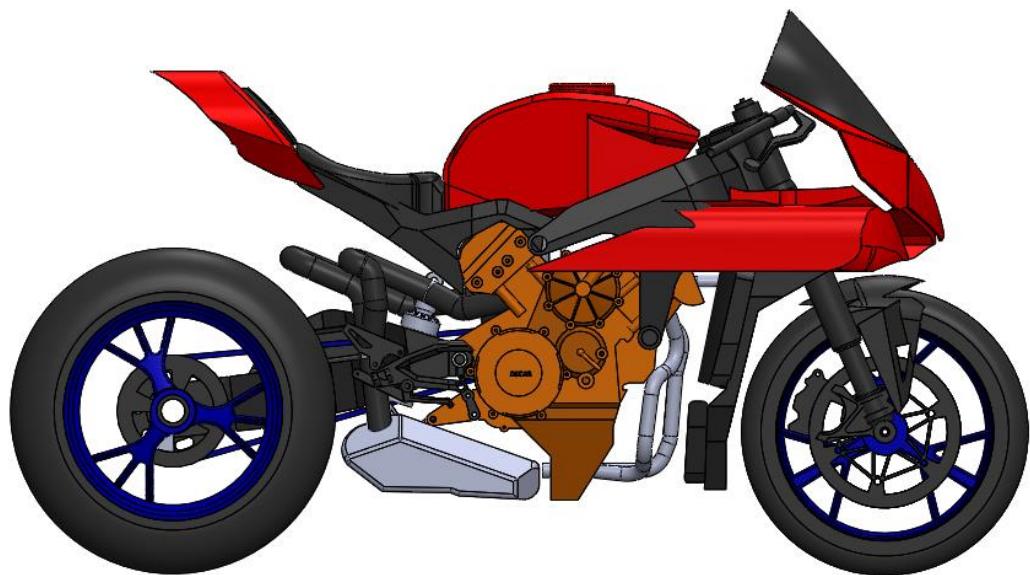
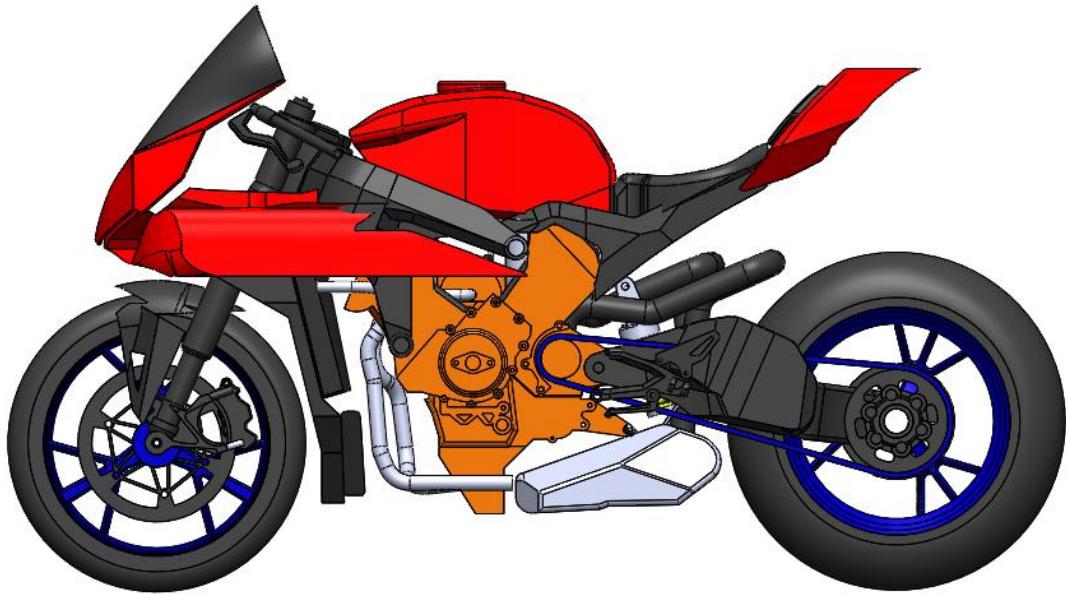
Aracın Soldan Görünümü;



Aracın Arkadan Görünümü;



Aracın Motor Görünümü;



4.2.Ducati V4R Yarış Motosikleti Arka Kanat Tasarımları

Bu çalışmada Ducati V4R yarış motosikletine en uygun arka kanat tasarıminının bulunması amaçlanmıştır. Özellikle MotoGP yarışlarında Formula 1 yarışlarında gördüğümüz arka kanat tasarımları geçen sezonlarda sikliğini arttırmış ve üretici firmalar aerodinamik açıdan en uygun arka kanat tasarımları için bir yarışa girmişlerdir.

Bu arka kanadın tasarıımı sadece aerodinamik açıdan değil statik ve titreşim açısından da oldukça önemlidir. Çünkü tasarlanan arka kanadın motorun frekans aralığına denk gelmemesi gerekmektedir.

Çalışmalarda motorun çalışma frekans aralığı ile alakalı kesin bir bilgiye ulaşılamamıştır. Fakat motorun gücü ile ilgili bilgiler mevcuttur. Motor 15500 rpm – 16500 rpm arasında çalışmaktadır.

$$1 \text{ rpm} = 0.01666666666667 \text{ Hz}$$

$$15500 \text{ rpm} = 258.333333 \text{ Hz}$$

$$16500 \text{ rpm} = 275 \text{ Hz}$$

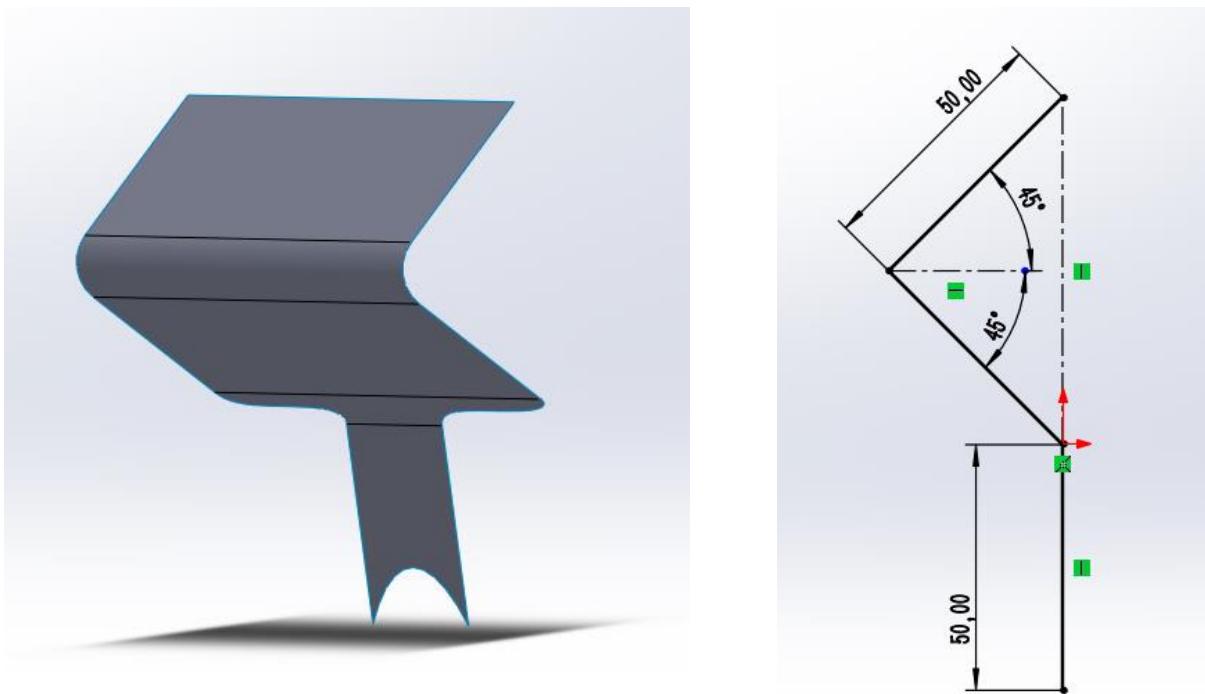
Motor gücü için verilen rpm değerlerini Hz birimine çevirince motorun 258.3333 Hz - 275 Hz aralığında çalıştığı anlaşılmıştır. Tasarlanan arka kanadın doğal frekans değeri rezonans durumundan kaçması için motorun frekans aralığına girmemesi gerekmektedir. Fakat bu çalışmada bu aralıktan ziyade bu aralığı da içinde barındıran 250 Hz-300 Hz aralığı dikkate alınmıştır. [28]

Arka kanadın doğal frekansı sadece bu aralık dikkate alınarak yapılamaz. Çünkü motor çalışma frekans aralığı dışında dikkat edilmesi gereken başka bir durum vardır. Bu da yarıç motosikletinin yüksek hızlarda ürettiği titreşimdir. Yarıç motosikletleri yüksek hızlarda giderken motosikletin arka tekerliği bu yüksek hızlardan dolayı titreşim üretmektedir. Bu titreşimin değeri ise 15 Hz – 20 Hz aralığındadır. [29]

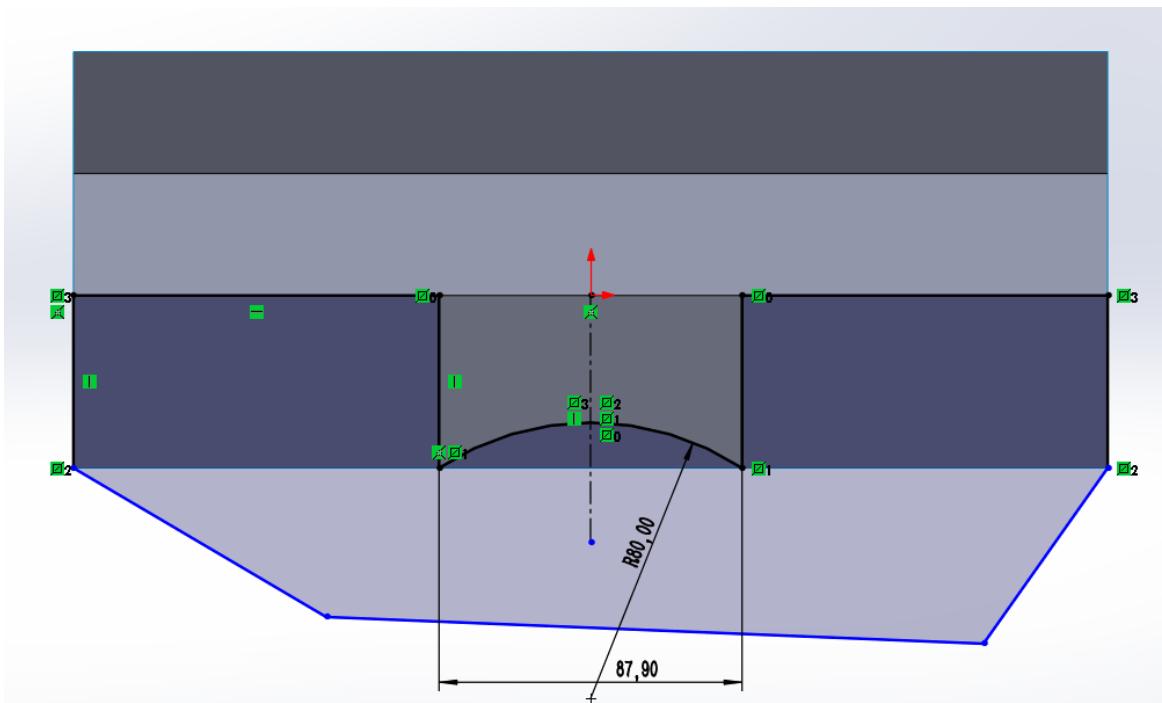
Sonuç olarak modal analiz sırasında arka kanadın doğal frekansı 15Hz-20Hz ve 250Hz-300Hz aralıklarında olmamalıdır. Doğal frekansı değerini kısıtlayan 2 aralığın olmasından dolayı frekans aralığı sadece 15 Hz – 300 Hz olarak belirlenebilir. Bunun sebebi ise iki aralığın arasındaki doğal frekans değerleri arka kanat için tehlikeli olmasıdır. Fakat belirlenen bu 2 frekans aralığının farkları fazla olduğu için arka kanat için tehlike yaratmayacaktır.

Arka kanadın malzemesi gerçek hayatı da kullanıldığı üzere kompozit malzemeden tasarlanmıştır. Bu bağlamda tasarlanan arka kanatlar bir sonraki sayfada gösterilmiştir.

4.2.1.Birinci Arka Kanat Tasarımı

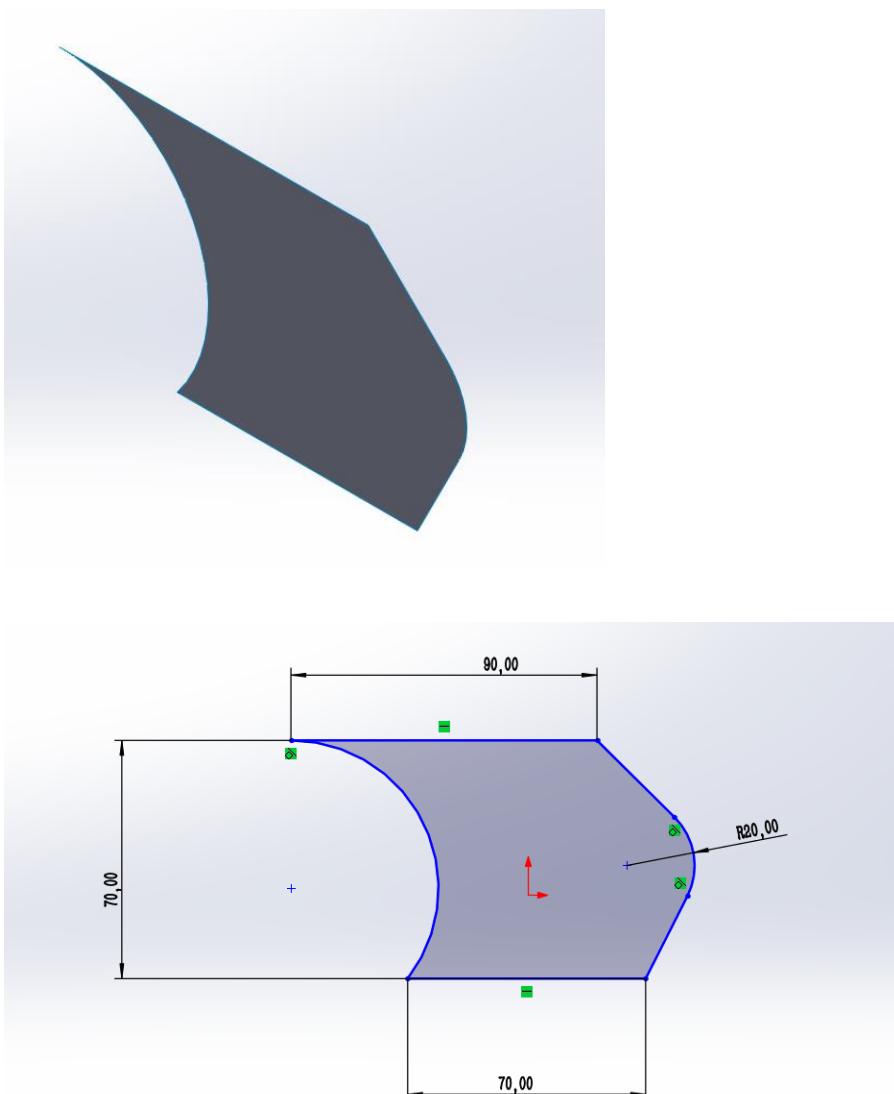


Kanadın yandan görünümdeki ölçülerini yukarıdaki gibidir. Genişliği ise 300 mm'dır.

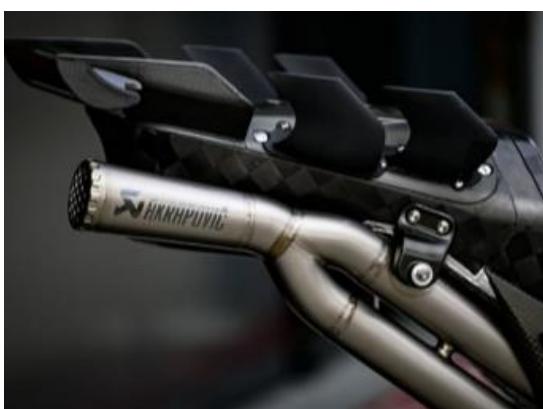


Arka kanadın motosiklete monte edileceği kısımda şekildeki gibi kesilmiştir.

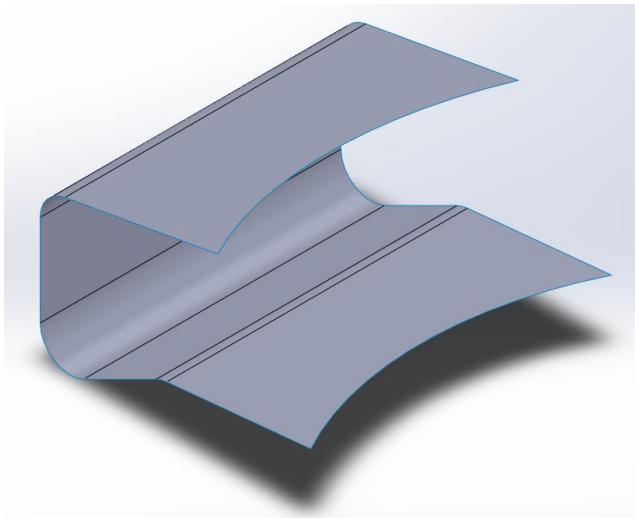
4.2.2.İkinci Arka Kanat Tasarımı



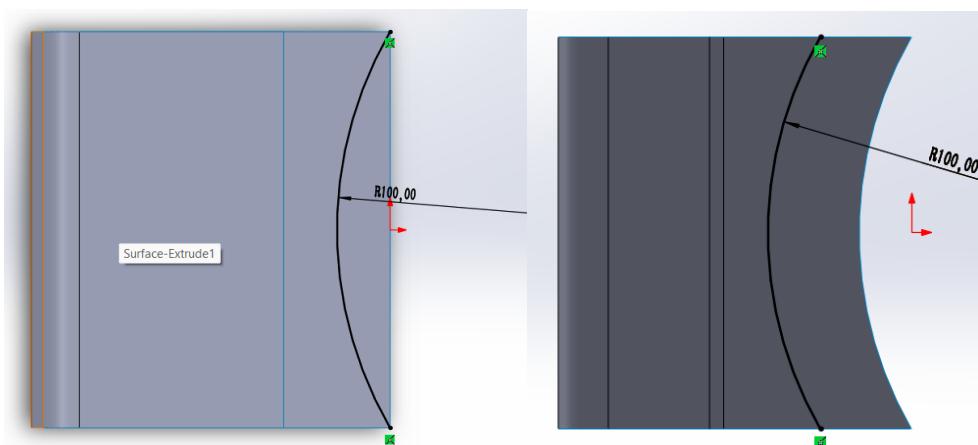
Bu arka kanat tasarımı 1.arka kanat tasarımlına göre görüldüğü gibi daha küçüktür. Fakat bu yapıda motosikletin arkasında 4 tane olacağı düşünülmektedir. Daha kolay anlaşılması için gerçek hayatı uygulaması aşağıda yer almaktadır.



4.2.3. Üçüncü Arka Kanat Tasarımı



Kanadın yandan görünümün ölçülerini yukarıdaki gibidir. Genişliği ise 100 mm'dir.

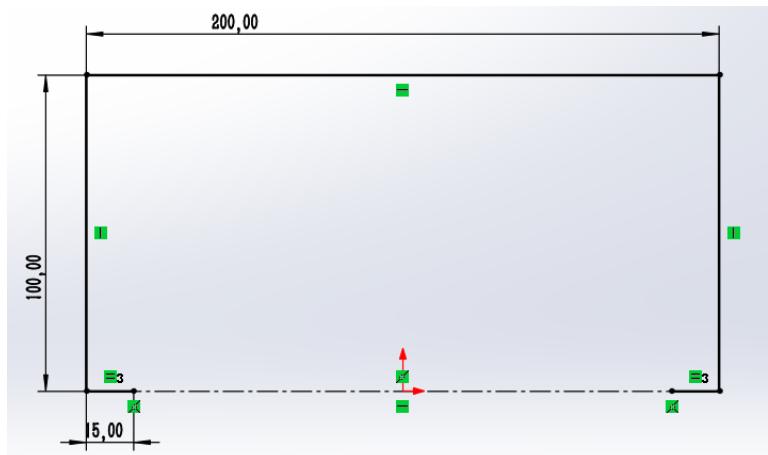
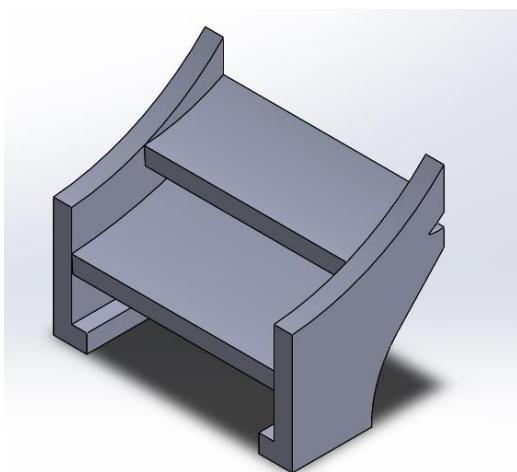


Alt ve üst yüzeyler yukarıdaki görsellerde de görüldüğü gibi 100 mm kesilmiştir.

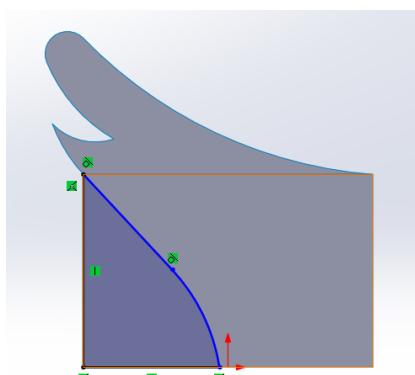
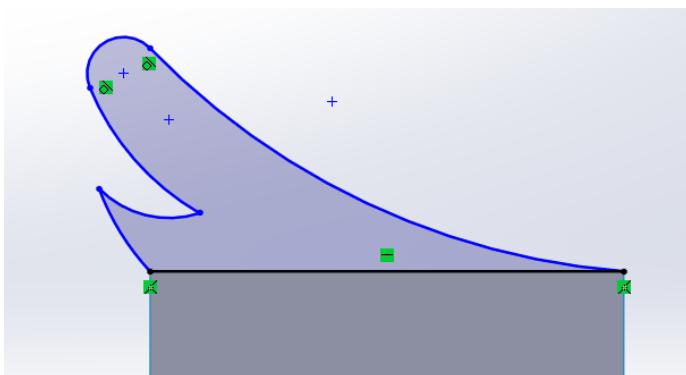
Bu arka kanat motosikletin arka kısmının sağ ve soluna yerleştirilmek üzere 2 adet kullanılacaktır. Daha iyi anlaşılması için gerçek hayatı kullanımı aşağıda verilmiştir.



4.2.4.Dördüncü Arka Kanat Tasarımı



4.kanat tasarımı yukarıdaki gibidir. Bu kadar tasarımlı parça parça çizilmiştir.



Arka kanat yukarıda solda görülen ekleme ve sağdaki görülen kesme işleminden sonra oluşturulmuştur.

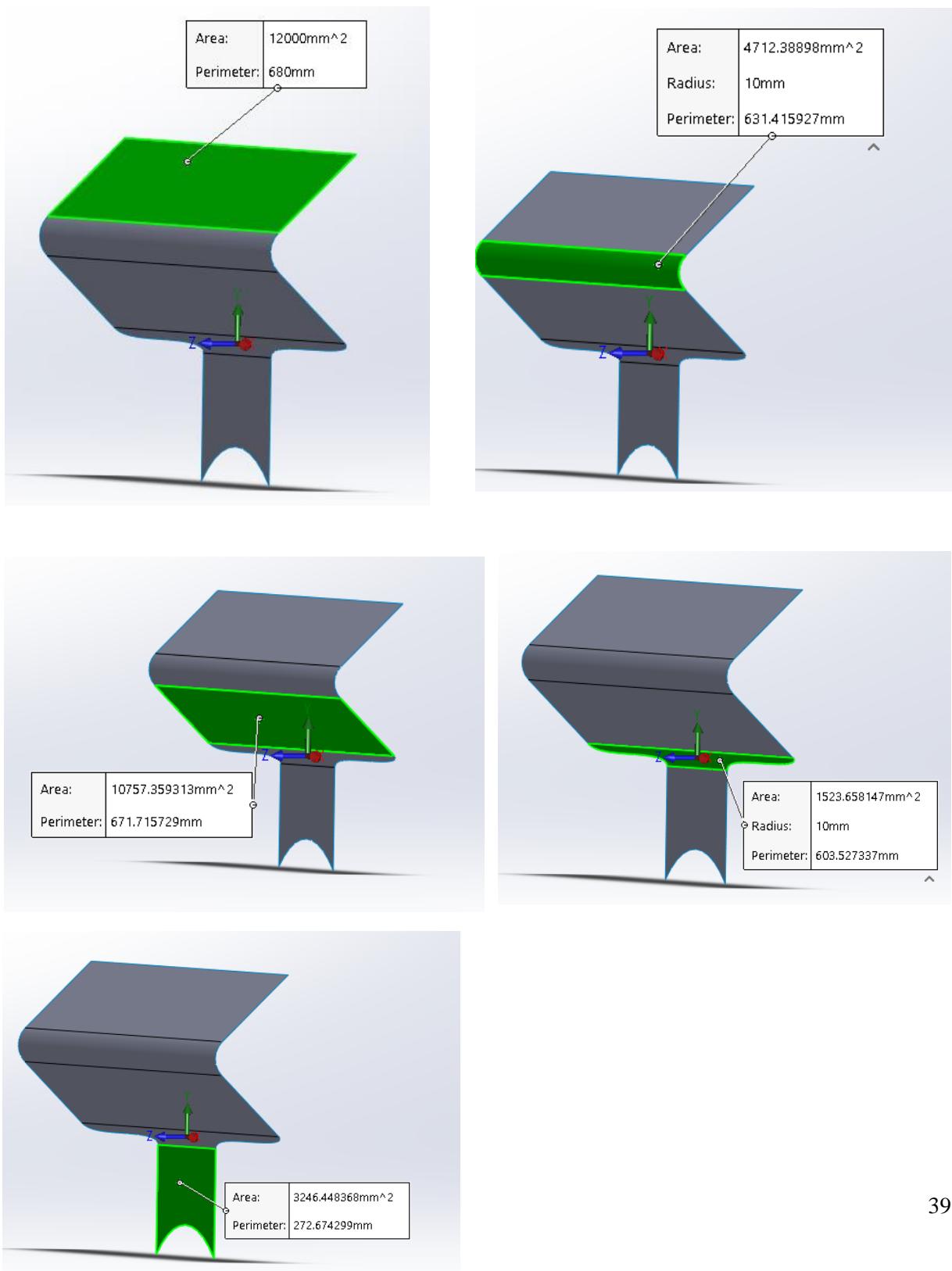
Bu arka kanadın gerçek hayatı kullanımı ise aşağıdaki gibiidir.



4.3.Arka Kanatların Analiz Sonuçları

4.3.1. Birinci Arka Kanat Analizi

Ducati V4R yarış motosikleti için 4 farklı arka kanat tasarlanmıştır ve bu 4 farklı arka kanadın statik ve modal analizleri yapılmıştır. Fakat analizlerden önce arka kanada etki eden aerodinamik kuvvetin değerini bilmek analizlerde kolaylık sağlayacaktır. Bu bağlamda 1. arka kanat profili için yüzey alanının bilinmesi gerekmektedir.



Aerodinamik kuvvet denklemi 24.sayfada bulunan Denklem.2'de gösterilmiştir. Tasarımı yaptığımız SolidWorks programı sayesinde akışın etki ettiği yüzey alanı daha kolay bir şekilde bulundu.

$$\text{Yüzey Alanı (A)} = 12000 \text{ mm}^2 + 4712.39 \text{ mm}^2 + 10757.36 \text{ mm}^2 + 1523.66 \text{ mm}^2 + 3246.45 \text{ mm}^2 = 32239.86 \text{ mm}^2 \cong 32240 \text{ mm}^2$$

$$32240 \text{ mm}^2 = 32240 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Aracın hızı için MotoGP yarışlarında şimdije kadar yapılan en yüksek hız baz alınmıştır. Bu değerde İtalyan sürücü Andrea Dovizioso, MotoGP'de 2019'da Mugello'da gerçekleştirilen üçüncü antrenman seansında ulaştığı 356,7 kilometre hızdır. [30]

$$V = 356.7 \text{ km/h} = 99.08 \text{ m/sn}$$

Yoğunluk değeri için havanın yoğunluğu ele alınmıştır.

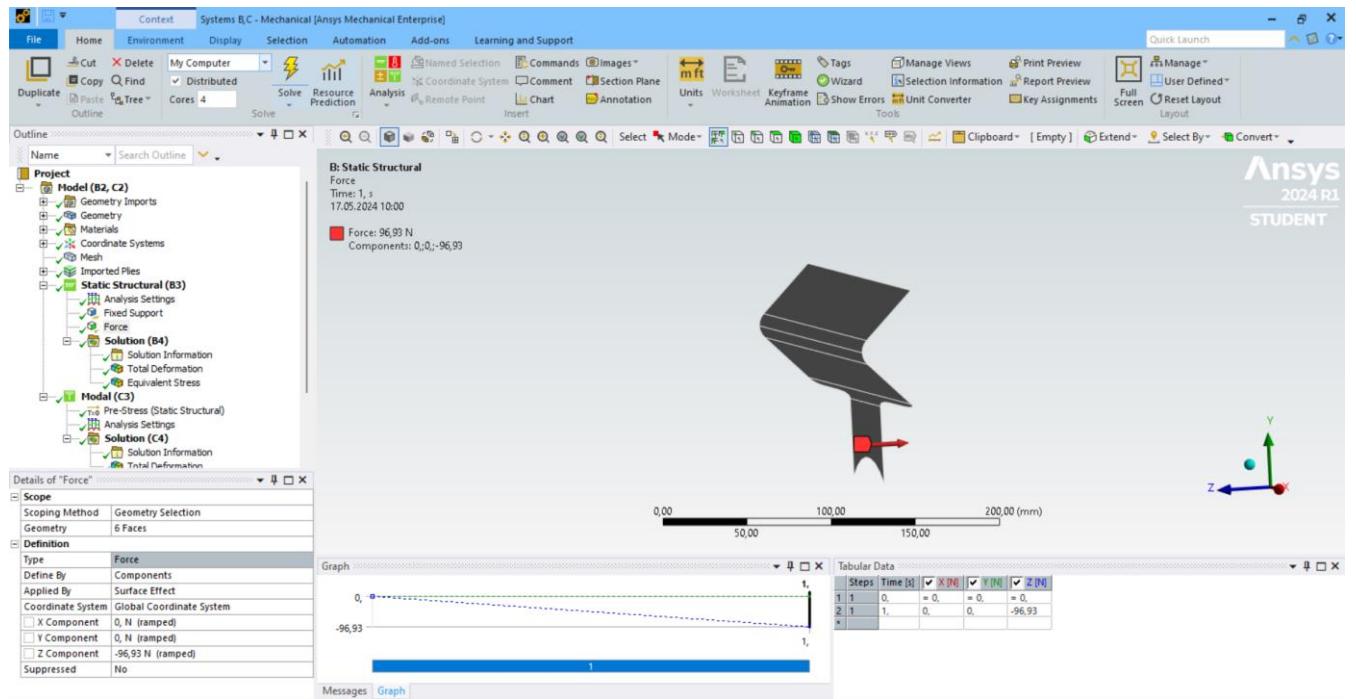
$$\rho = 1.225 \text{ Kg / m}^3$$

Denklemdeki en önemli verilerden biri de sürükleme kuvveti (C_d) değeridir. Bu değer 24.sayfada bulunan Şekil.27'de kanat tipine en yakın olan C_d değeri yani 0.50 alınmıştır. Bu bağlamda aerodinamik kuvvet aşağıda bulunmuştur.

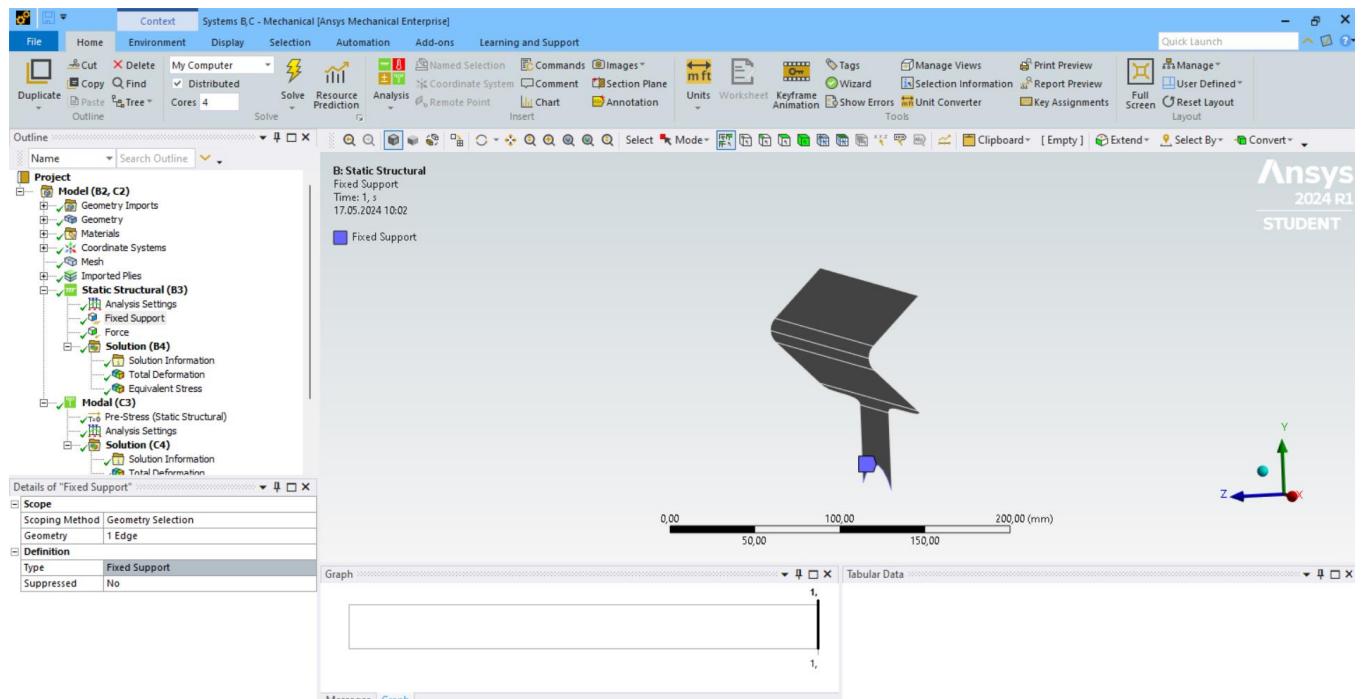
$$F_d = \frac{1}{2} (0.50) (32240 \times 10^{-6} \text{ m}^2) (1.225 \text{ Kg / m}^3) (99.08 \text{ m/sn})^2 = 96.9266 \text{ N} \cong 96.93 \text{ N}$$

Arka kanat kompozit malzemeden yapıldığı için ilk başta analizde elyaf tanımlaması ve elyaf atması gerçekleştirılmıştır. Elyaf kalınlığı 1.5 mm olmak üzere 12 adet elyaf atılmıştır. Böylelikle oluşan arka kanat yapısının kalınlığı 18 mm yani 1.8 cm olmuştur.

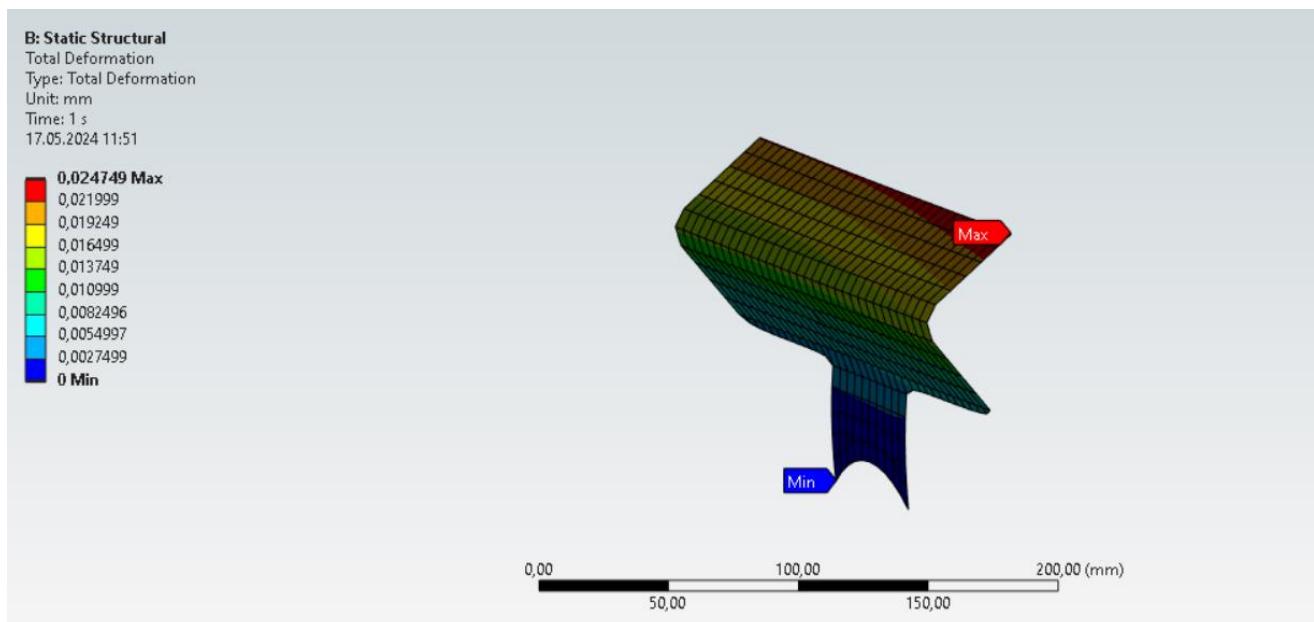
Aerodinamik kuvvet yüzeye dik gelecek şekilde ayarlanmıştır.



Arka kanat yapısının sabit bölgesi ise aşağıda gösterilmiştir.

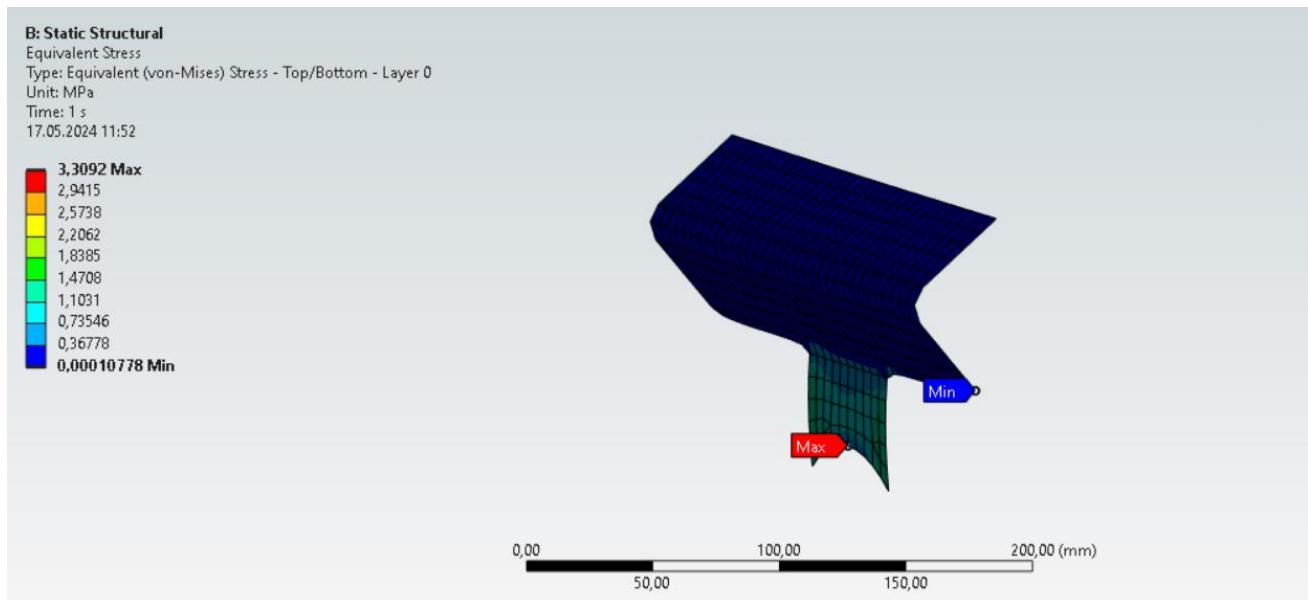


Oluşan analiz sonrasında arka kanat yapısındaki toplam deformasyon aşağıdaki görselde gösterilmiştir.



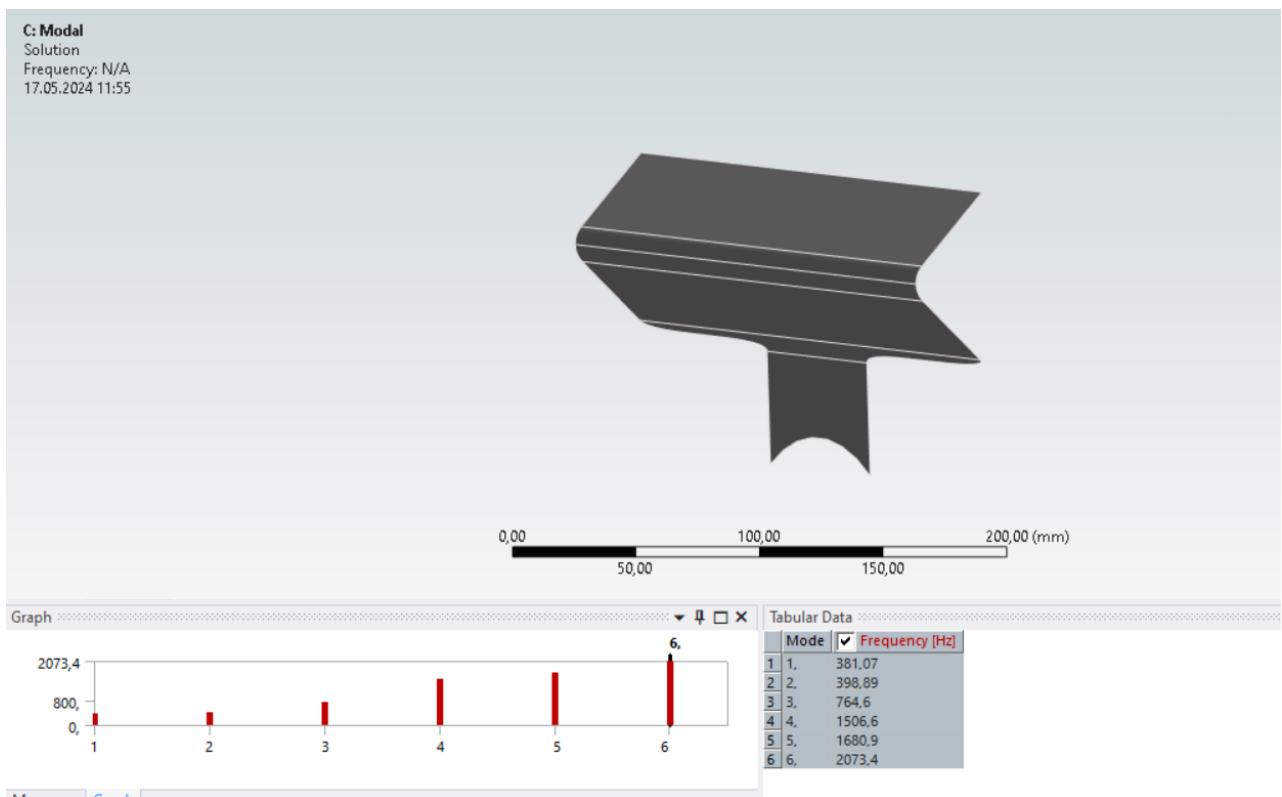
Bu deformasyon değeri ile oluşan aerodinamik kuvvetin arka kanat yapısında bir sorun yaratmayacağı anlaşılmıştır.

Oluşan analiz sonrasında toplam gerilme değerleri aşağıdaki görselde gösterilmiştir.



Oluşan maksimum gerilmenin arka kanadın yarıı motosiklette sabitlendiği noktada olduğu gözlemlenmiştir. Bu gerilme değeri oldukça küçük bir değerdir.

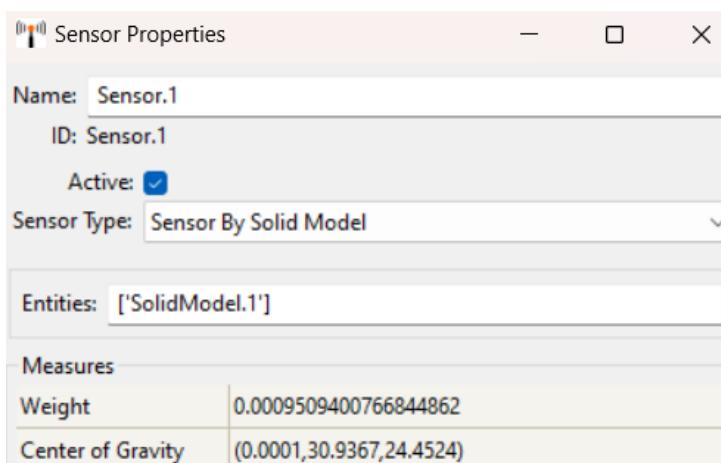
Oluşan analiz sonucunda arka kanat yapısının doğal frekansı aşağıdaki resimde gösterilmiştir.



Arka kanat yapısı alt kısmında motosiklete sabit olduğu için dönme ve hareket eylemlerinin yapamamaktadır. Bu sebeple 1.mod değeri olan 381.07 Hz değerinin baz alınması yeterlidir.

Arka kanat yapısının doğal frekansı 381.07 Hz çıkmıştır. Bu doğal frekans değeri rezonans aralıklarının dışında yer almaktadır. Böylelikle bu arka kanat yapısı motosiklet için uygundur.

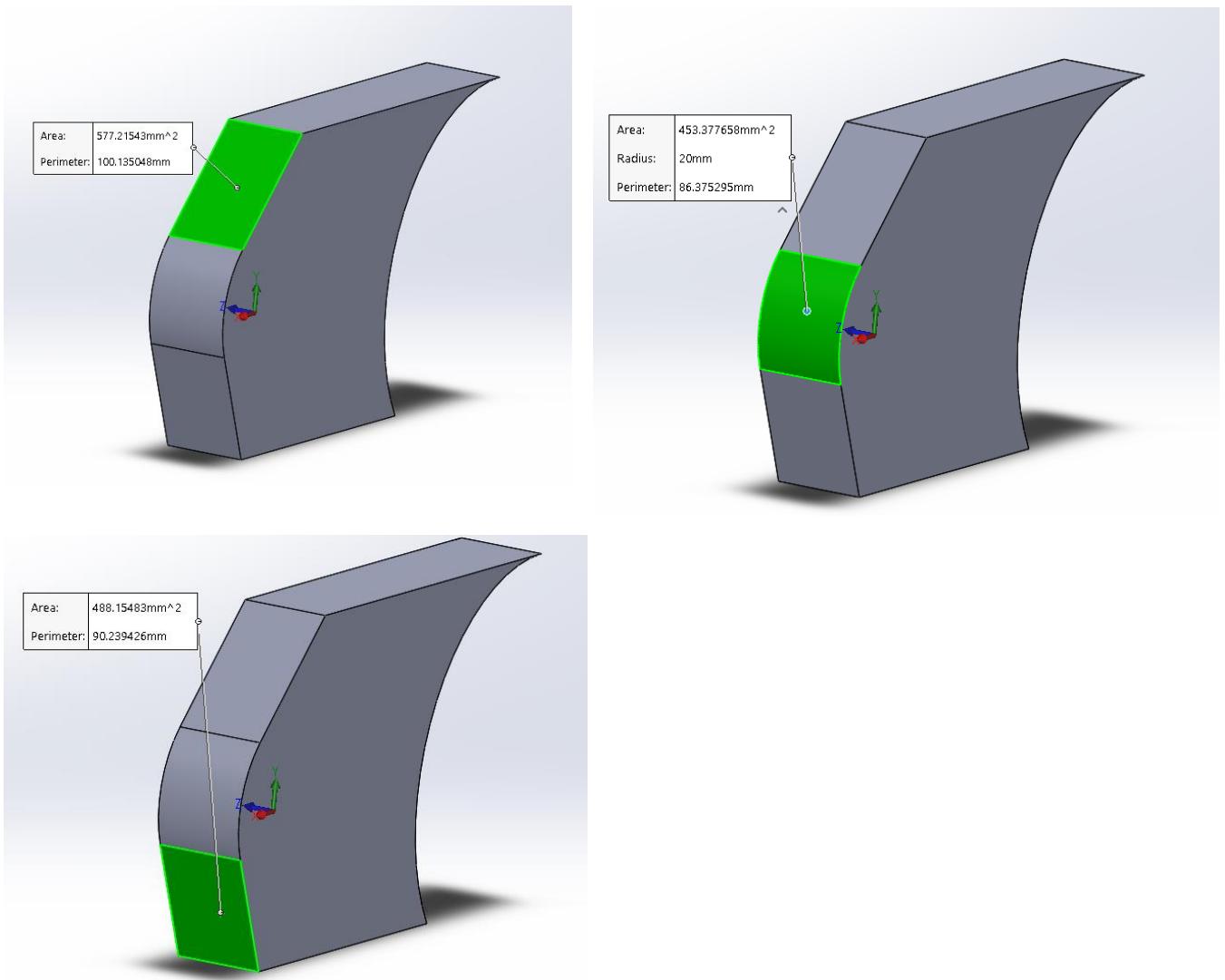
Arka kanat yapısının ağırlığının motosiklete ne kadar etki edeceğini bakılacak olursa;



Resimde de görüleceği üzere bu arka kanat yapısının ağırlığı oldukça düşüktür. Bunun başlıca sebebi özellikle bu arka kanat yapısının kompozit malzemeden yapılmış olmasıdır.

4.3.2.İkinci Arka Kanat Analizi

1.arka kanat tasarımının analizi yapıldıktan sonra 2.arka kanadın analizi yapılmıştır. Fakat öncesinde bu arka kanat yapısına etkileyen aerodinamik kuvvet ilk arka kanattan farklıdır. Bunun asıl sebebi ise hava akışının etki ettiği yüzey alanıdır. Buna göre;



Bu arka kanat yapısının yüzey alanı için ilk arka kanat yapısında da olduğu gibi SolidWorks programından yardım alınmıştır.

Buna göre;

$$\text{Yüzey Alanı (A)} = 577.21543 \text{ mm}^2 + 453.377658 \text{ mm}^2 + 488.15483 \text{ mm}^2 = 1518.747918 \text{ mm}^2$$

$$1518.747918 \text{ mm}^2 \cong 1518.75 \text{ mm}^2$$

$$1518.75 \text{ mm}^2 = 1518.75 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$V = 356.7 \text{ km/h} = 99.08 \text{ m/sn}$$

Yoğunluk değeri için havanın yoğunluğu ele alınmıştır.

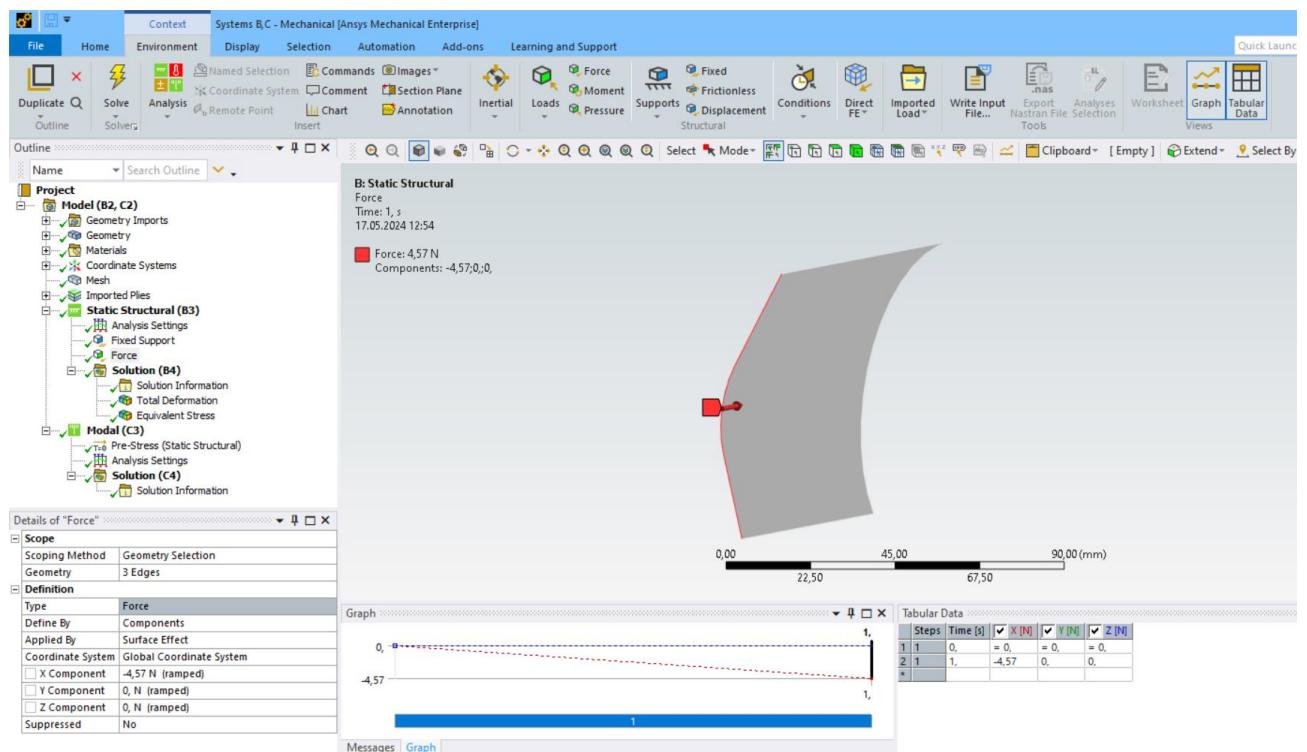
$$\rho = 1.225 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Denklemdeki en önemli verilerden biri de sürükleme kuvveti (C_d) değeridir. Bu değer 24.sayfada bulunan Şekil.27'de kanat tipine en yakın olan C_d değeri yani 0.50 alınmıştır. Bu bağlamda aerodinamik kuvvet aşağıda bulunmuştur.

$$F_d = \frac{1}{2} (0.50)(1518.75 \times 10^{-6} \text{ m}^2)(1.225 \text{ Kg} / \text{m}^3)(99.08 \text{ m/sn})^2 = 4.565984 \text{ N} \cong 4.57 \text{ N}$$

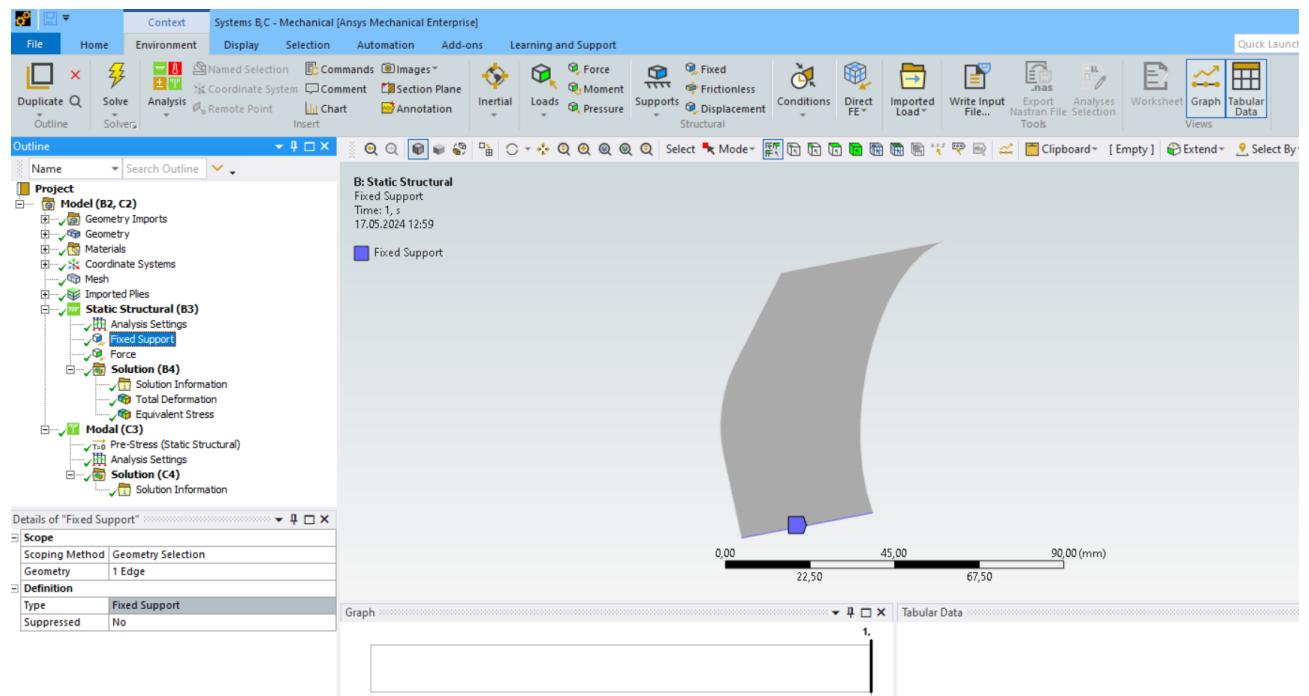
Bu arka kanat yapısına etki eden aerodinamik kuvvet ilk arka kanat yapasındaki aerodinamik kuvvetten oldukça azdır. Bunun sebebi hava akışının etkili olduğu yüzey alanının büyük oranda azalmasıdır.

Bu arka kanata etki eden kuvvet ve etki ettiği yüzey aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.



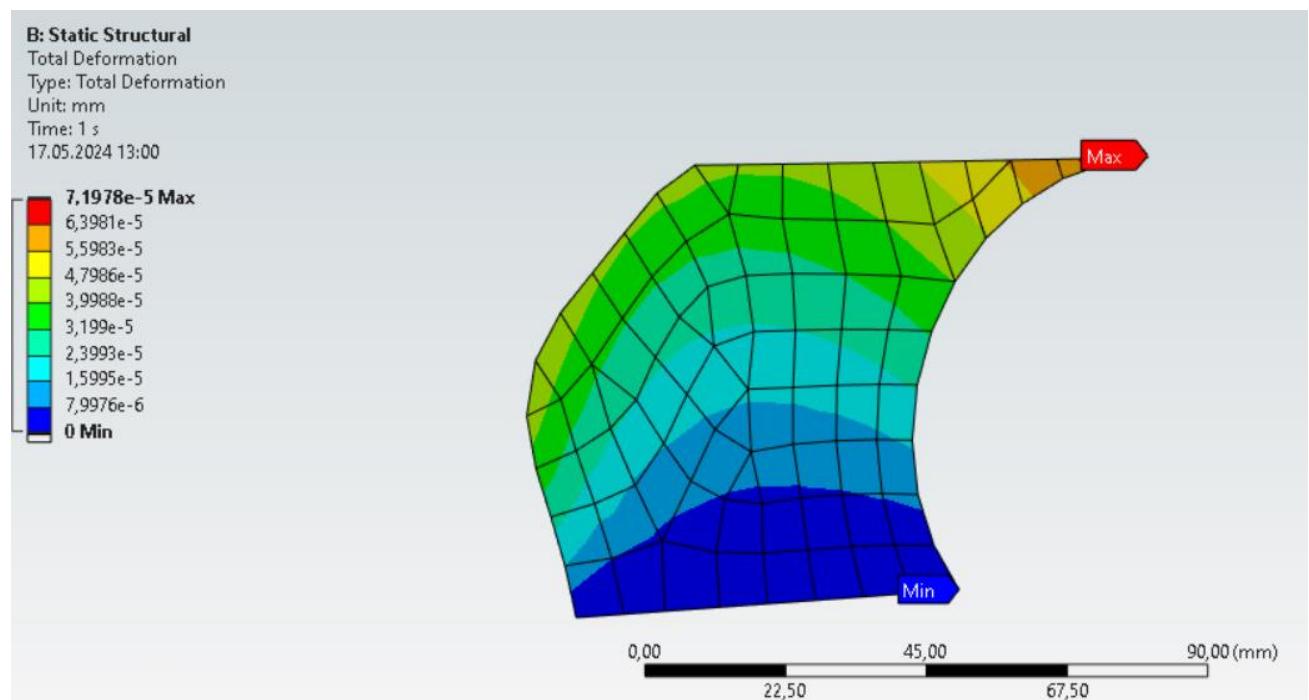
Buna göre 4.57 N olan aerodinamik görseldeki bölgeye dik gelecek şekilde uygulanmıştır.

Bu arka kanat yapısının motosiklete sabitlendiği bölge ise aşağıdaki resimde gösterilmiştir.



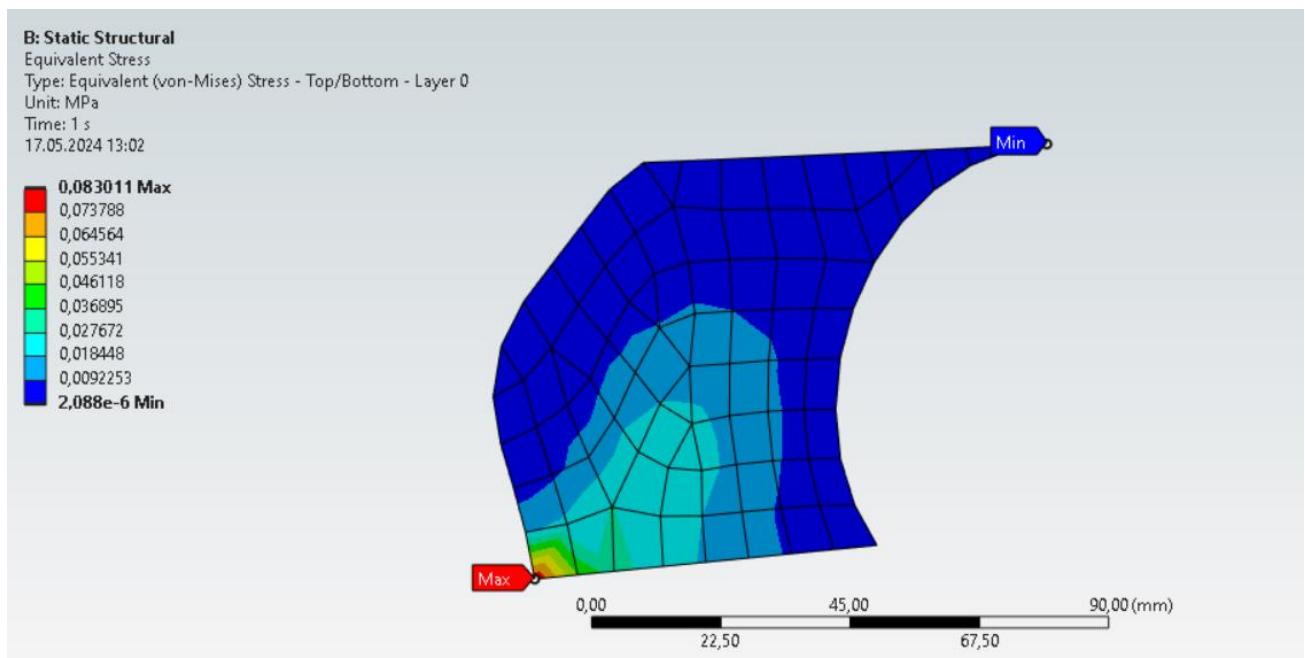
Bu görsele göre mavi renk ile gösterilen bölgeden arka kanat motosiklete sabitlenmiştir.

Oluşan bu tanımlamalardan sonra arka kanatta oluşan toplam deformasyon aşağıdaki görselde gösterilmiştir.



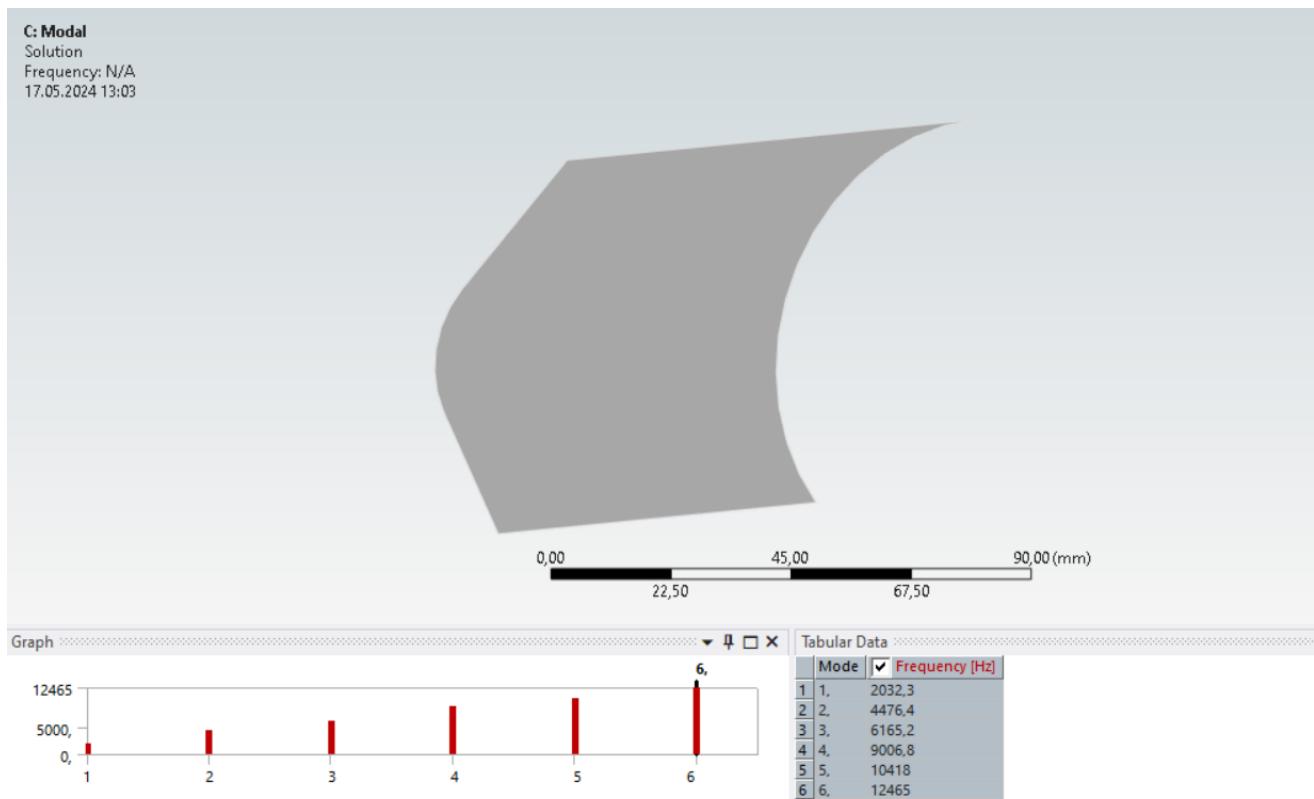
Bu görsele göre oldukça düşük, arka kanadın yapısını bozmayan bir sonuç çıkmıştır.

Oluşan tanımlamalardan sonra gerilme değeri aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.



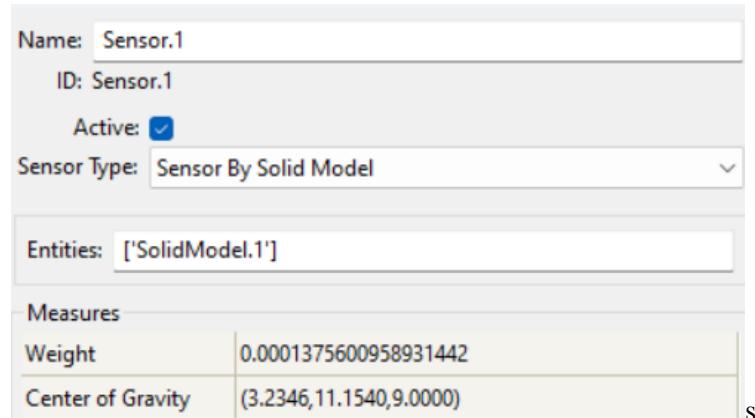
Gerilme sonucunda toplam deformasyon sonucundan farklı olarak maksimum gerilmenin arka kanadın motosiklete sabitlendiği bölgede olduğu sonucuna varılmıştır.

Oluşan tanımlamalardan sonra bu arka kanat yapısının doğal frekansı aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.



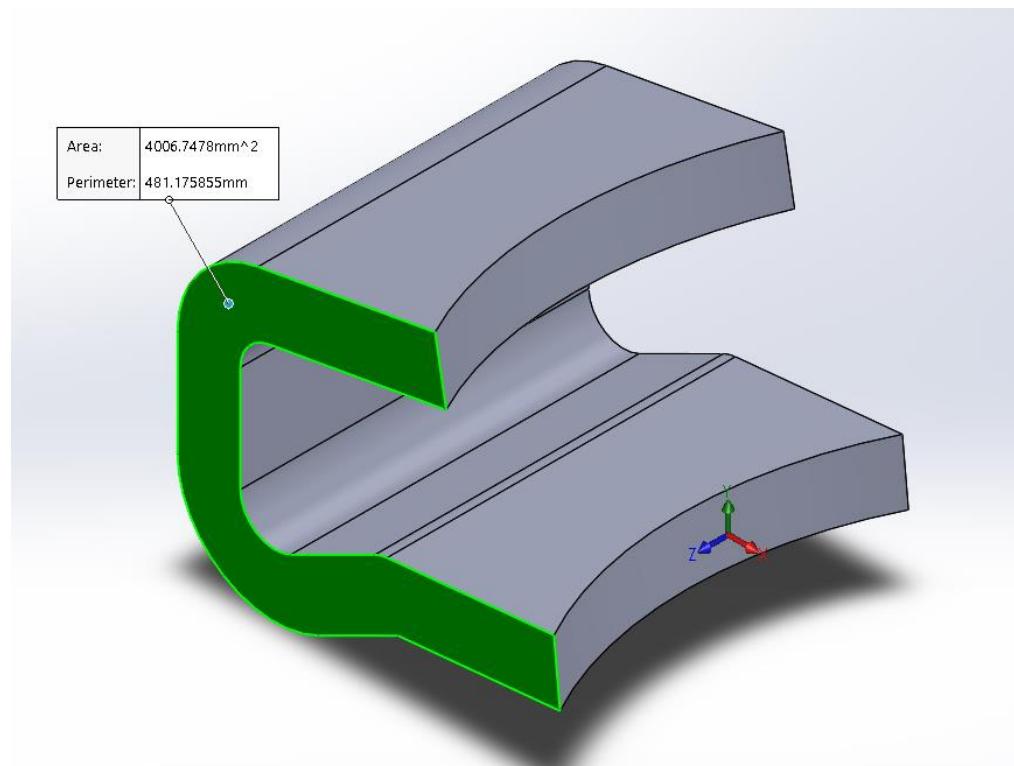
Buna göre bu arka kanat yapısının doğal frekansı 2023.3 Hz çıkmıştır. Bu değer de rezonans değerleri için sınırlanan bölgeden oldukça uzaktır. Bu vesileyle bu arka kanat modelinin motosiklet için uygun olduğu sonucuna varılabilir.

Bu arka kanat yapısı da kompozit malzemeden oluştuğundan dolayı ağırlığı oldukça azdır. Bu arka kanadın ağırlık verisi ise aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.



Bu arka kanat yapısının ağırlığı ise oldukça azdır. Fakat bu arka kanattan 2 adet kullanılacağı için bu ağırlık değeri 2 ile çarpılacaktır. Fakat bu değerde oldukça az olduğu için motosiklet için herhangi bir sorun teşkil etmeyecektir

4.3.3. Üçüncü Arka Kanat Analizi



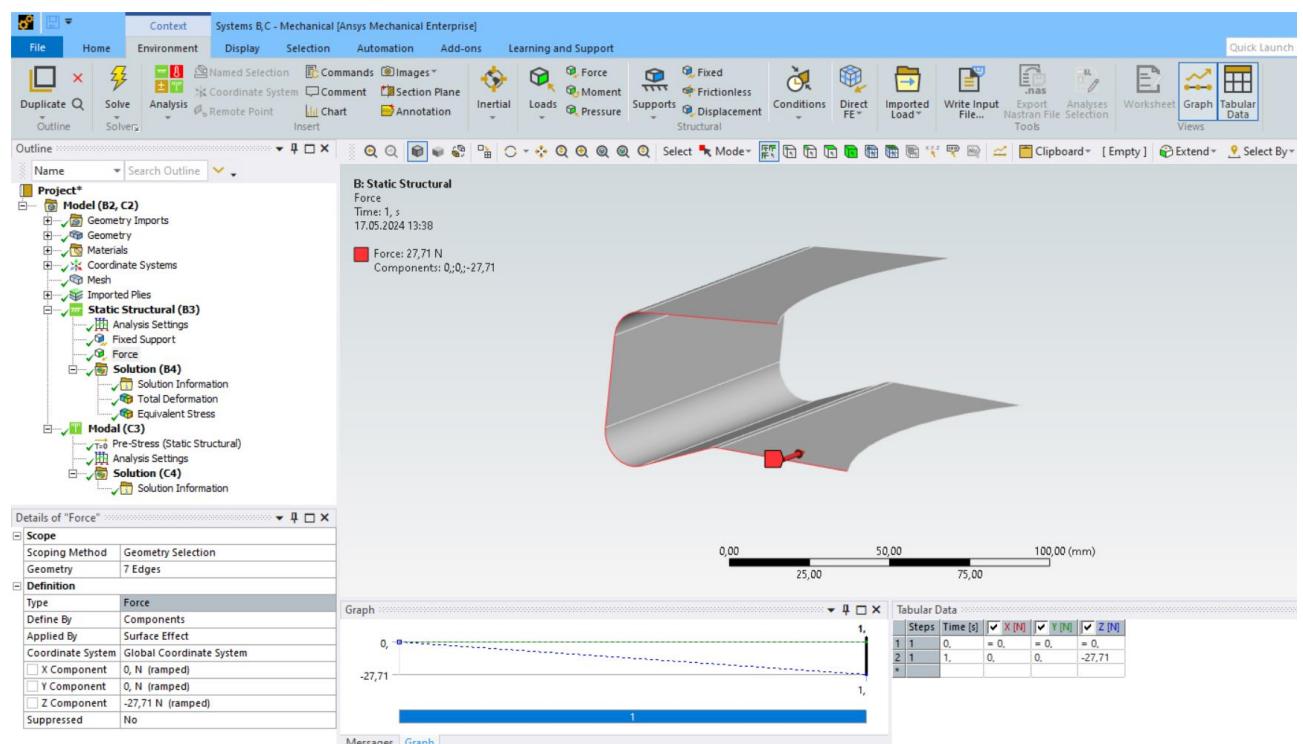
Bu arka kanat için akışın uygulandığı yüzey yukarıda belirtilen yüzeydir. Bu yüzeyin ise alanı programın da gösterdiği gibi 4006.7478 mm^2 'dir.

Sürüklenme kuvveti için şekildeki bu yapıya en benzer olan kısa silindirin ölçüsü alınmıştır. Bu değer 24.sayfada bulunan Şekil.27'de kanat tipine en yakın olan Cd değeri yani 1.15 alınmıştır.

Buna göre aerodinamik kuvveti bu kanat tasarımlı için bulunursa;

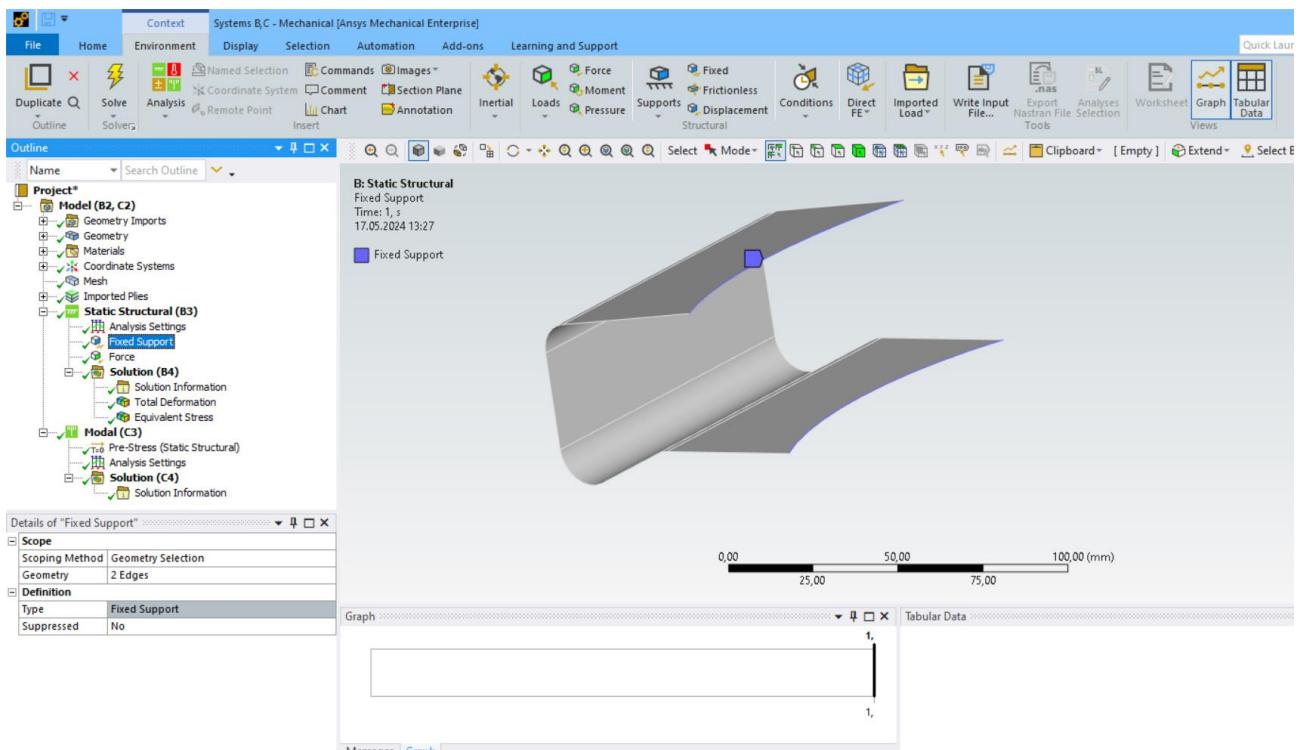
$$F_d = \frac{1}{2} (1.15)(4006.75 \times 10^{-6} \text{ m}^2)(1.225 \text{ Kg / m}^3)(99.08 \text{ m/sn})^2 = 27.705639 \text{ N} \cong 27.71 \text{ N}$$

Bu bulunan aerodinamik kuvvetin analizdeki aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.



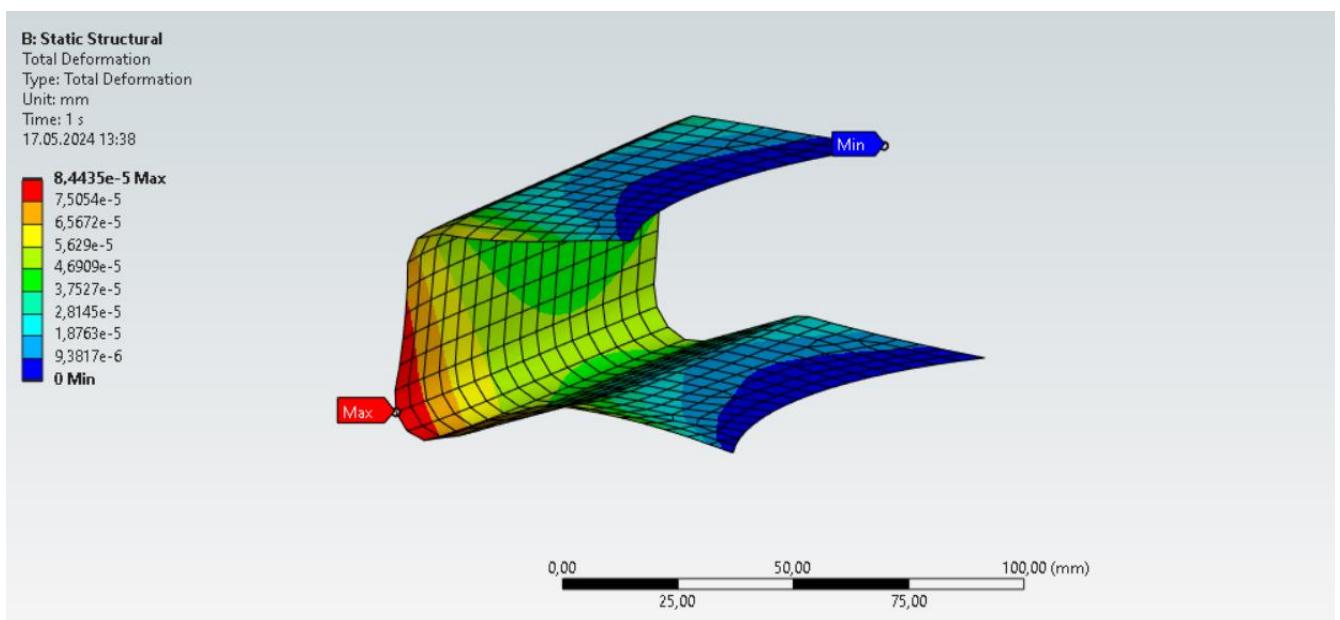
27.71 N'luk aerodinamik kuvvet şekilde belirtilen bölgeye dik bir şekilde uygulanmıştır.

Bu arka kanadın sabit bölgesi ise aşağıdaki görselde gösterilmiştir.



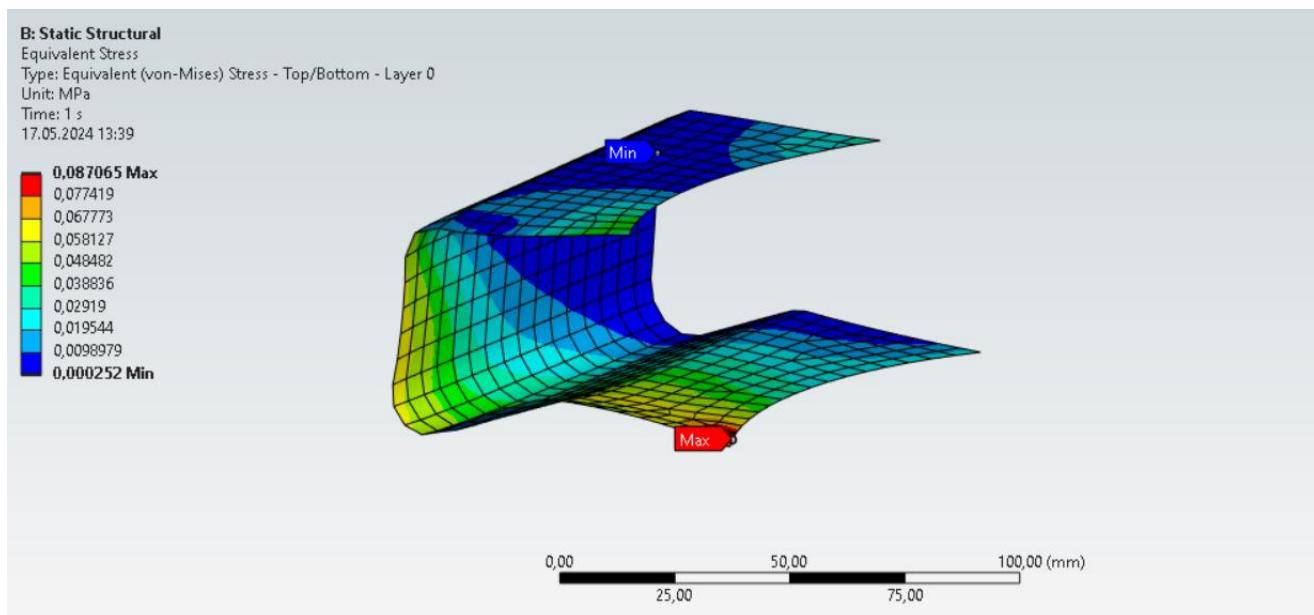
Bu arka kanadın yarıs摩托ikletine sabitleneceği bölge görselde mavi renk ile gösterilmiştir.

Oluşan bu tanımlamalar sonrasında toplam deformasyon değeri aşağıda gösterilmiştir.



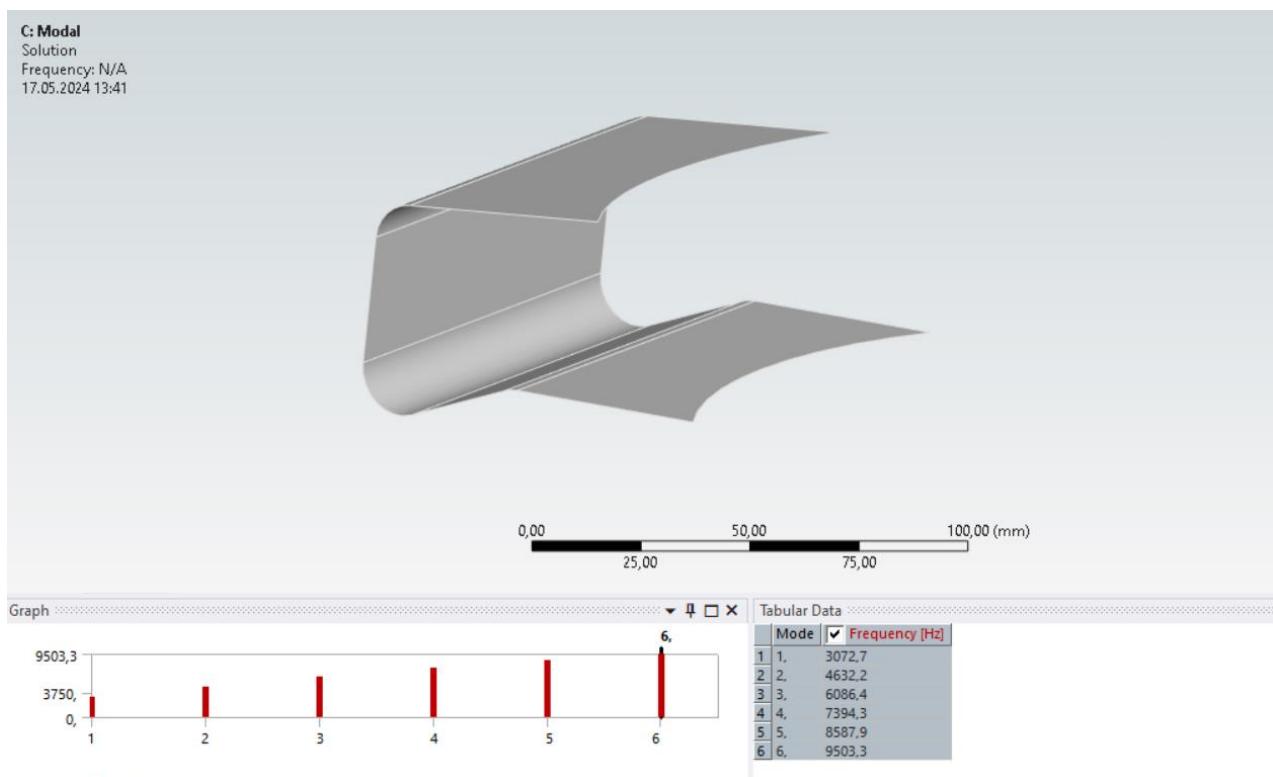
Toplam deformasyon değerinin maksimum ve minimum bölgeleri yukarıdaki görselde gösterilmiştir. Maksimum toplam deformasyon değeri bu arka kanat yapısı için bir sorun teşkil etmemektedir.

Oluşan gerilme ise aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.



Bu görsele göre maksimum gerilme değeri diğer arka kanat yapılarında da olduğu gibi arka kanadın motosiklete sabitlendiği bölgede oluşmuştur.

Bu arka kanadın doğal frekansı ise aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.



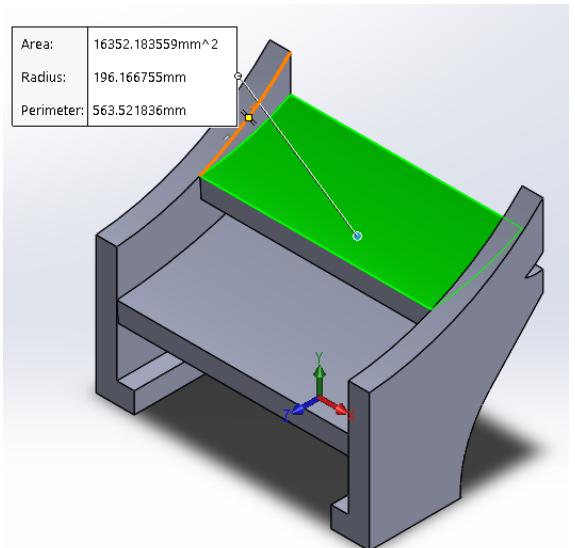
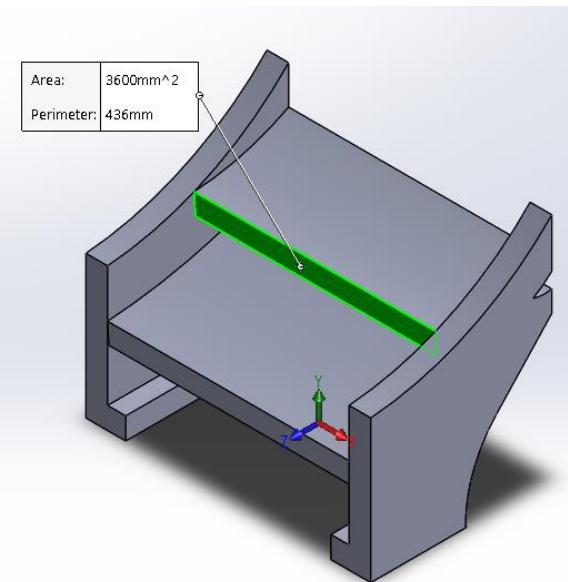
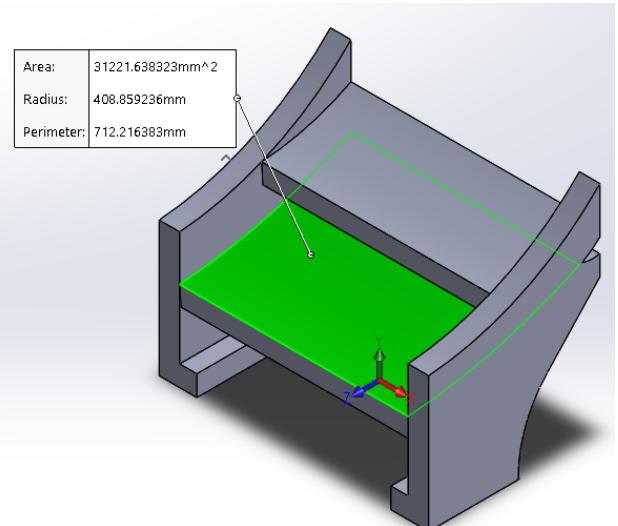
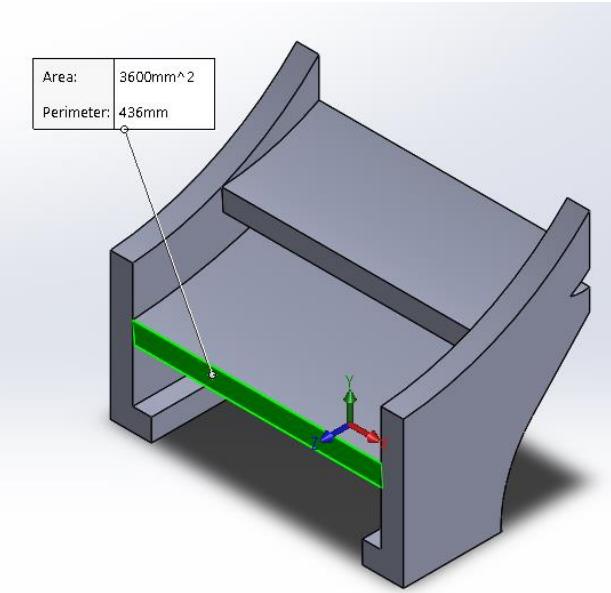
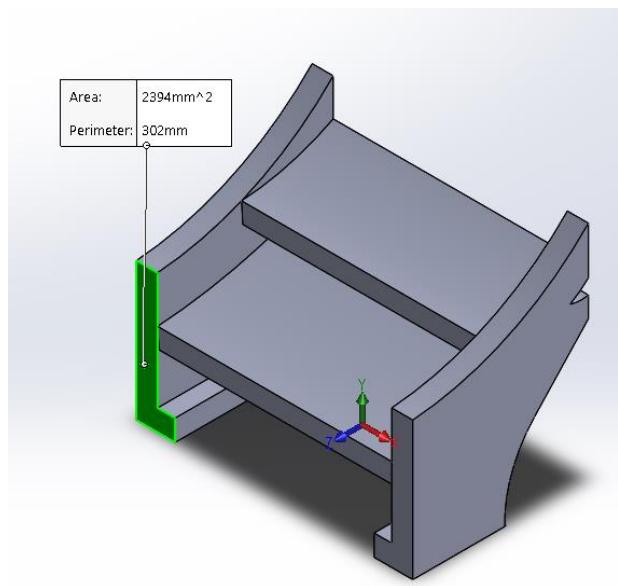
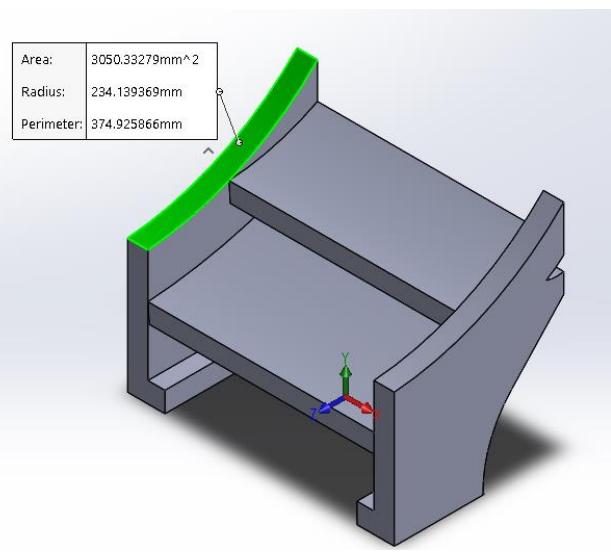
Bu görsele göre bu arka kanat yapısının doğal frekansı 3072.7 Hz'dir. Bu değer de rezonans durumu için kaçınılan aralıkların oldukça dışında bir değerdir. Bu vesileyle bu arka kanat yapısı yarış motosikleti için uygundur.

Bu arka kanat yapısının ağırlığı ise aşağıdaki görselde gösterilmiştir.

Name:	Sensor.1
ID:	Sensor.1
Active:	<input checked="" type="checkbox"/>
Sensor Type:	Sensor By Solid Model
Entities:	['SolidModel.1']
Measures	
Weight	0.0005489638355597818
Center of Gravity	(-69.8586, 5.2823, -0.0002)

Bu arka kanadın da kompozit malzemeden yapıldığı için ağırlığının oldukça az olduğu görülmüştür. Bu arka kanat yapısından motosiklet üzerinde 2 adet kullanılacağından görselde belirtilen ağırlık 2 ile çarpılacaktır. Fakat oluşan bu sonuç da motosiklet için oldukça önemsiz bir değerdir.

4.3.4.Dördüncü Arka Kanat Analizi

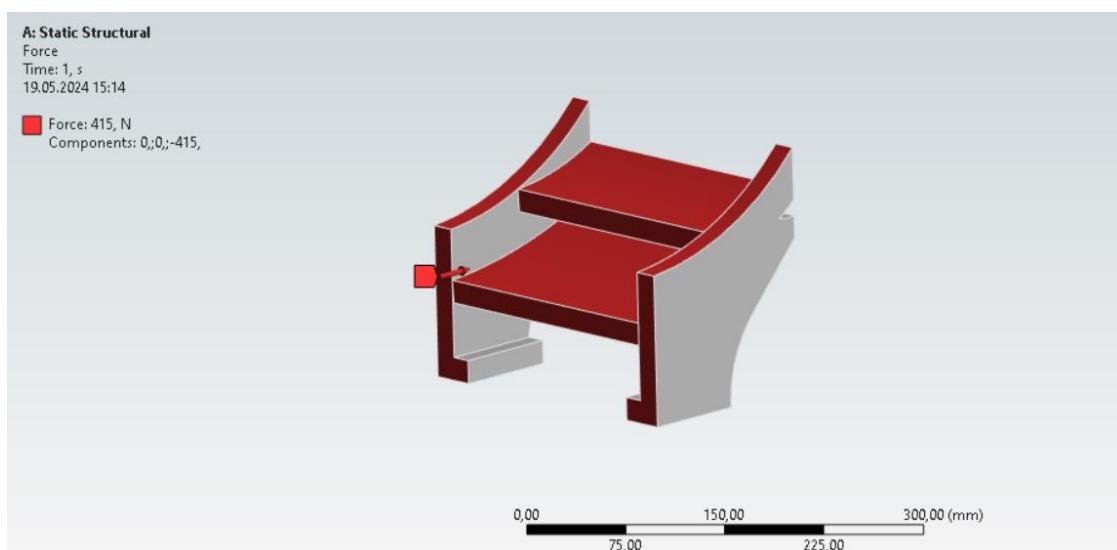


Bu arka kanat için akışın uygulandığı yüzey yukarıda belirtilen yüzeydir. Bu yüzeyin ise alanı programın da gösterdiği gibi 65661 mm^2 'dir.

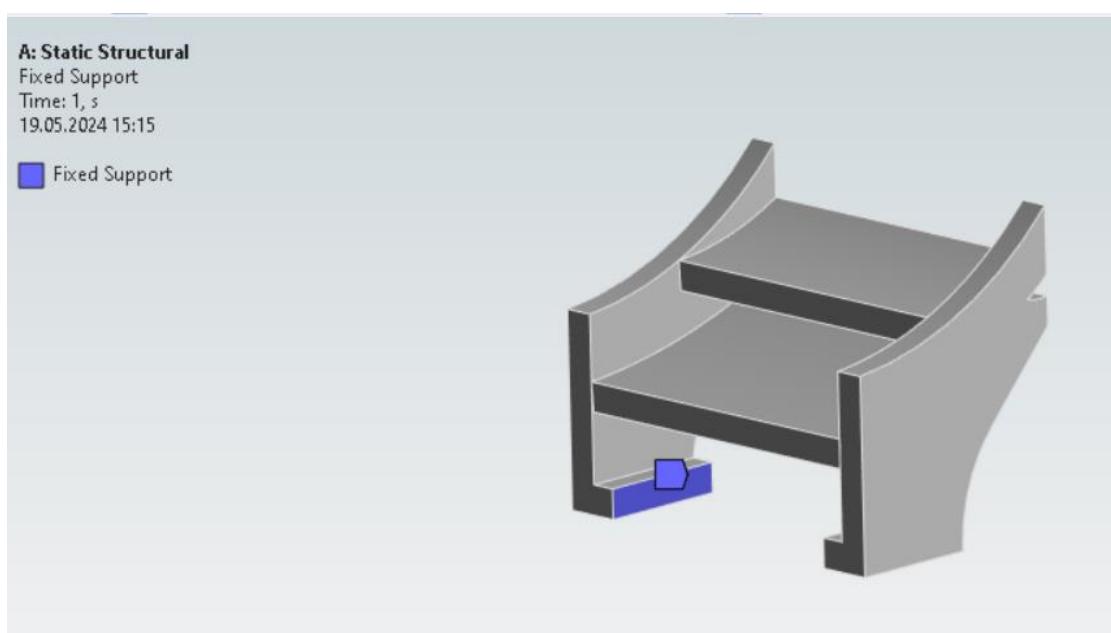
Sürüklenme kuvveti için şekildeki bu yapıya en benzer olan kısa silindirin ölçüsü alınmıştır. Bu değer 24.sayfada bulunan Şekil.27'de kanat tipine en yakın olan Cd değeri yani 1.05 alınmıştır Buna göre aerodinamik kuvveti bu kanat tasarımlı için bulunursa;

$$F_d = \frac{1}{2} (1.05)(65661 \times 10^{-6} \text{ m}^2)(1.225 \text{ Kg / m}^3)(99.08 \text{ m/sn})^2 = 414.55 \text{ N} \cong 415 \text{ N}$$

Bu bulunan aerodinamik kuvvetin analizdeki görünümü bir sonraki sayfada gösterilmiştir.

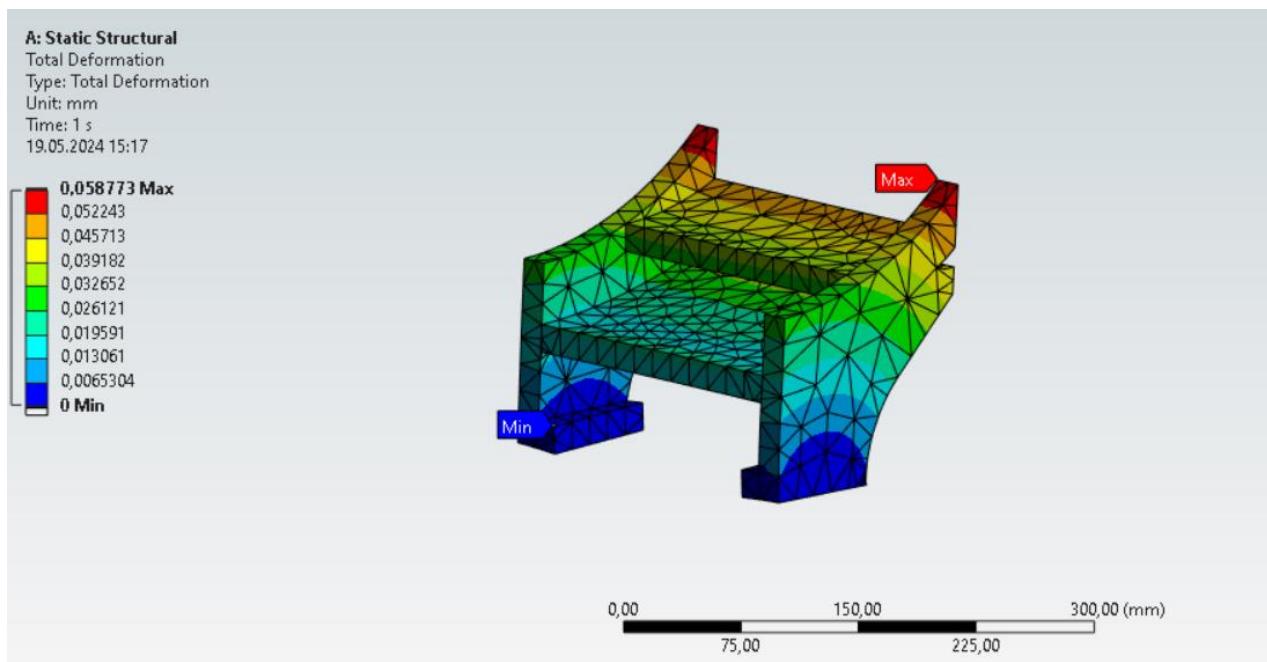


415 N değerindeki kuvvet akışın etkili olduğu yüzey alanlarına uygulanmıştır.



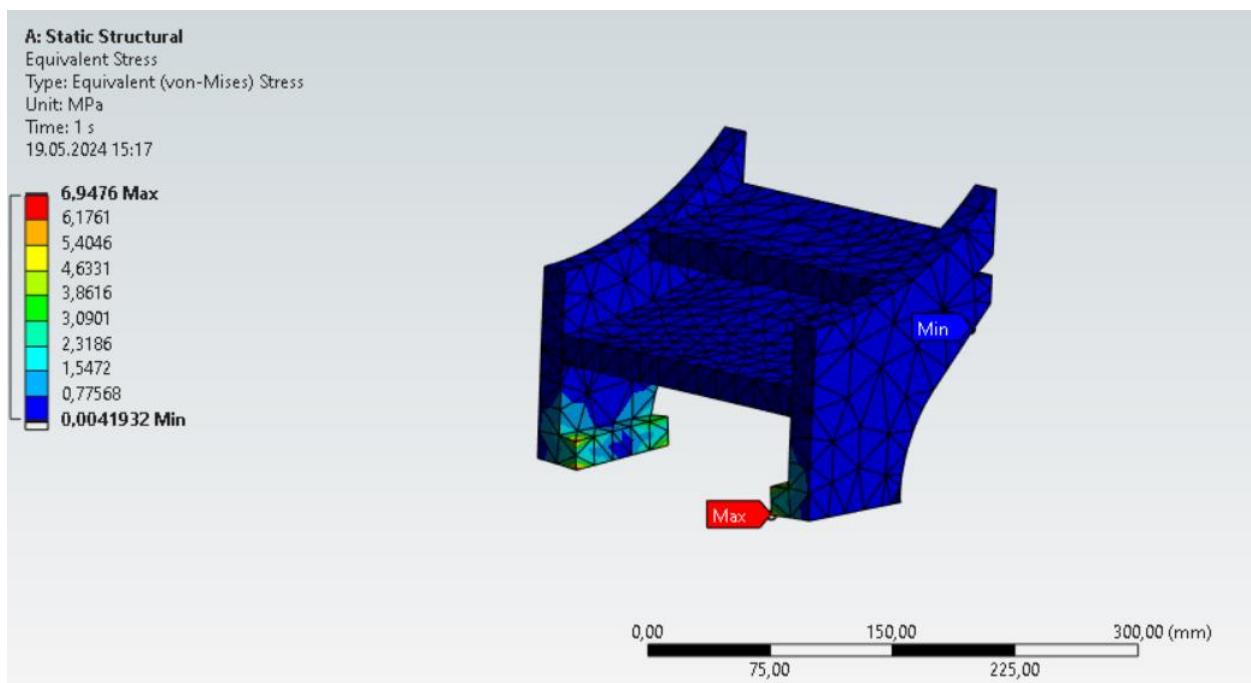
Arka kandın sabit yüzeyleri şekilde görüldüğü gibidir.

Oluşan bu tanımlamalar sonrasında toplam deformasyon değeri aşağıda gösterilmiştir.



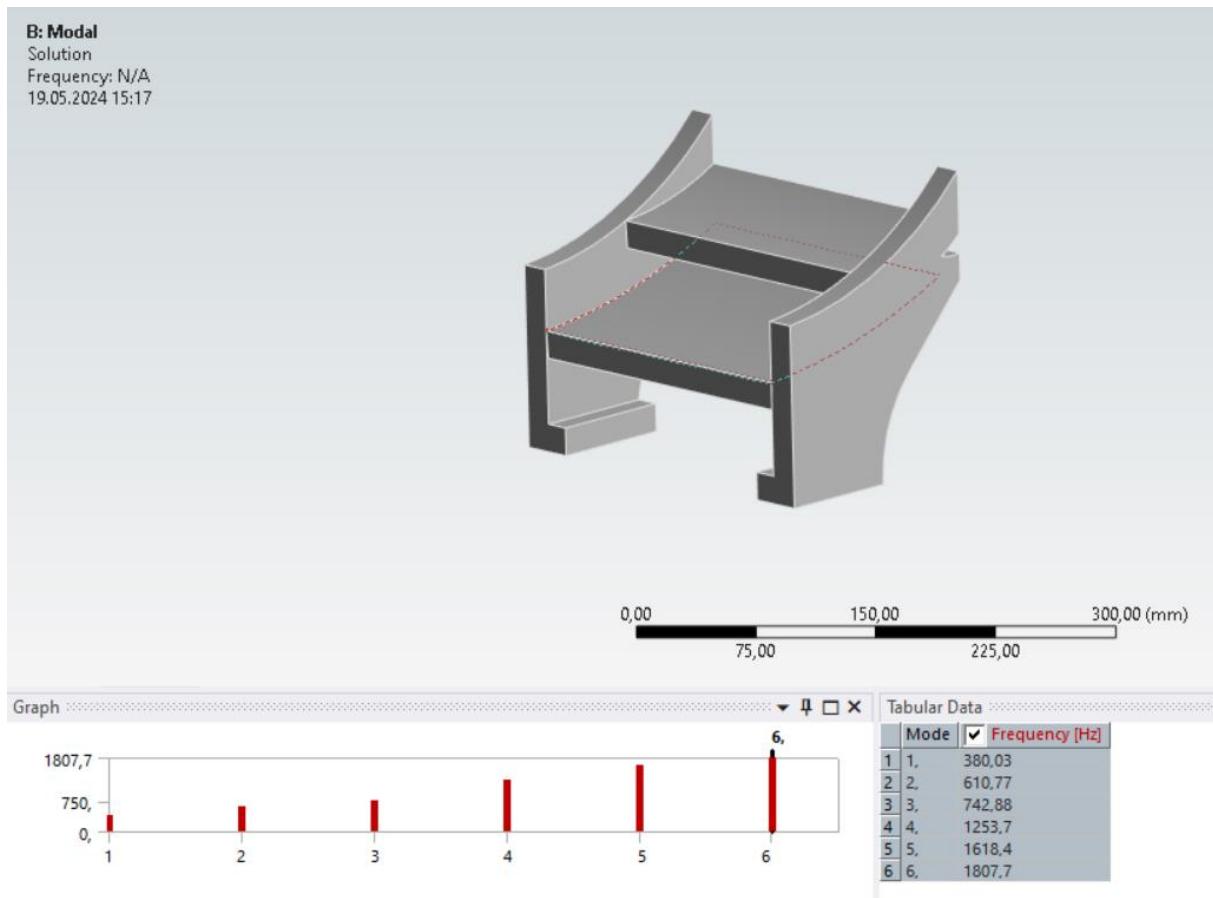
Toplam deformasyon değerinin maksimum ve minimum bölgeleri yukarıdaki görselde gösterilmiştir. Maksimum toplam deformasyon değeri bu arka kanat yapısı için bir sorun teşkil etmemektedir.

Oluşan gerilme ise aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.



Bu görsele göre maksimum gerilme değeri diğer arka kanat yapılarında da olduğu gibi arka kanadın motosiklete sabitlendiği bölgede oluşmuştur.

Bu arka kanadın doğal frekansı ise aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.



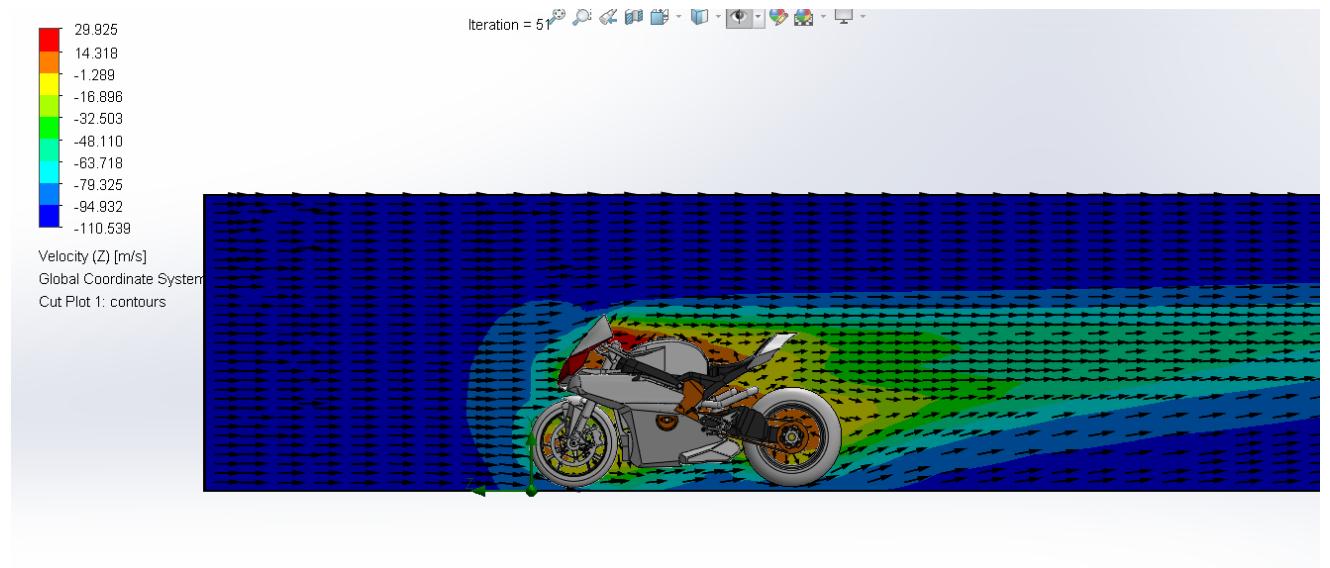
Bu görsele göre bu arka kanat yapısının doğal frekansı 380,03 Hz'dir. Bu değer de rezonans durumu için kaçınılan aralıkların oldukça dışında bir değerdir. Bu vesileyle bu arka kanat yapısı yarış motosikleti için uygundur.

4.4.Ducati V4R Aracının Arka Kanatlar Monte Edilmiş Şekilde Aerodinamik Analizi

4.4.1. Arka Kanatsız Aerodinamik Analiz

Yapılacak aerodinamik analizde sürükleme kuvvetinin bulunması amaçlanmıştır.

Arka kanat olmadan yapılan aerodinamik analizde hızın gösterimi şekildeki gibidir.



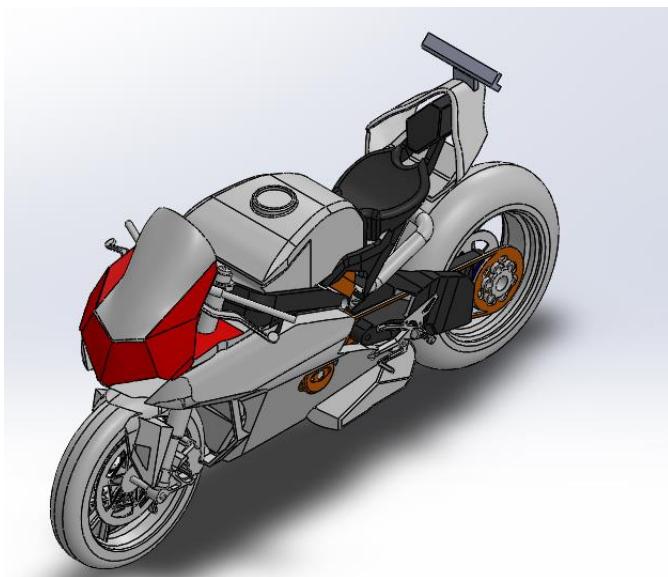
Arka kanat olmadan yapılan analizde sürükleme kuvveti, değeri aşağıdaki gibidir. Sürükleme kuvveti için Ducati V4R aracına ön düzlemden bakılıp görülen yüzey alanları seçilerek toplam yüzey alanı bulunmuştur. Bu yüzey alanı akışın etki ettiği yüzey alanıdır. Buna göre;

$$\text{Yüzey Alanı (A)} = 0.6 \text{ } m^2$$

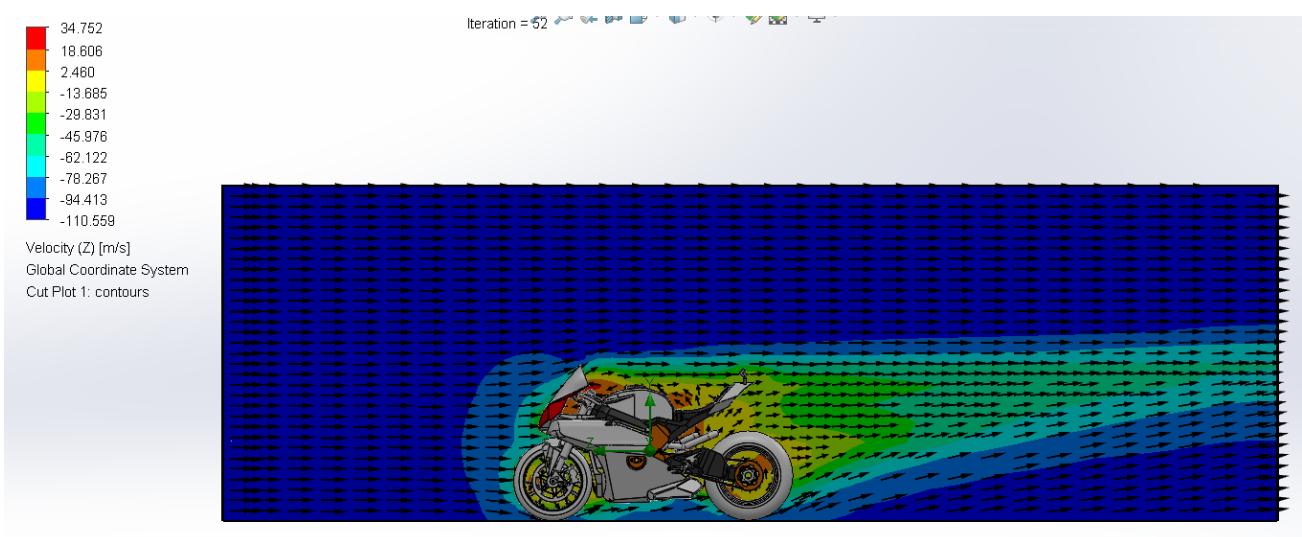
Summary									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
Drag Force	[N]	-1194.056	-1215.120	-1332.927	-1184.524	100	Yes	148.403	222.813
Equation Goal 1	[]	-0.3249133	-0.3306449	-0.3627013	-0.3223195	100	Yes	0.0403818	0.0606294

Bu değerleri negatif çıkışının sebebi ise hızın programdaki konumuna göre negatif uygulanmasıdır. Aslında gerçek sürükleme katsayısı değeri 0.3246133'tür.

4.4.2. Birinci Arka Kanat Monte Edilmiş Şekilde Aerodinamik Analiz



İlk kanat yapısının kullanıldığı aerodinamik analizde akış aşağıda bulunan görseldeki gibidir.

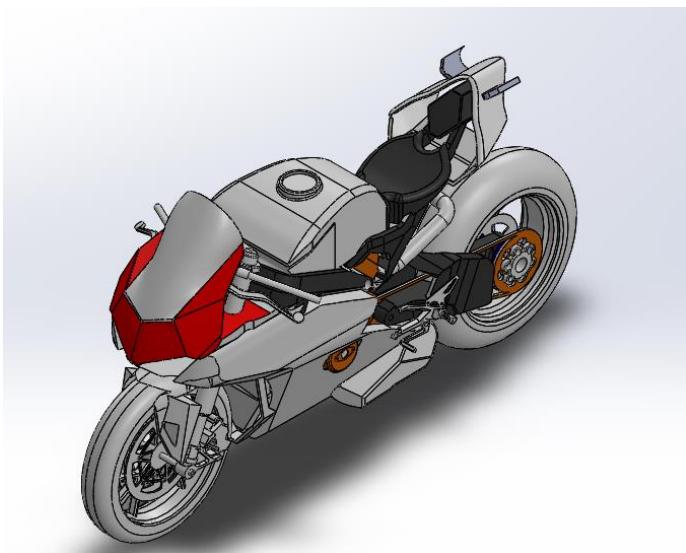


Bu arka kanat yapısının kullanıldığı motosiklette sürükleme kuvveti değeri aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.

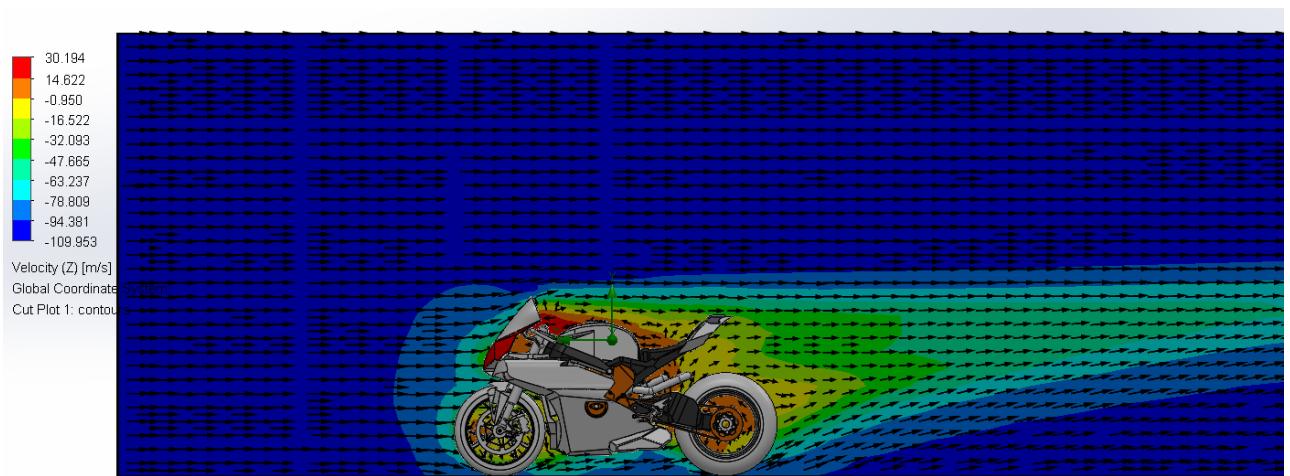
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Normal Force (Z) 1	[N]	-1179.616	-1185.950	-1260.408	-1170.177	100	Yes	90.231	224.251
Drag Coefficient	[]	-0.3009226	-0.3025382	-0.3215326	-0.2985145	100	Yes	0.0230181	0.0572069

Buna göre sürükleme katsayısı başındaki negatif işaretten bağımsız olarak 0.3009226 değerindedir. Bu analizin sonucuna göre ise kullanılan bu arka kanat tasarımını aerodinamik açıdan yarış motosikleti için faydalı olduğu sonucuna varılabilir.

4.4.3. İkinci Arka Kanat Monte Edilmiş Şekilde Aerodinamik Analiz



2.kanat yapısının kullanıldığı aerodinamik analizde akış aşağıda bulunan görseldeki gibidir.

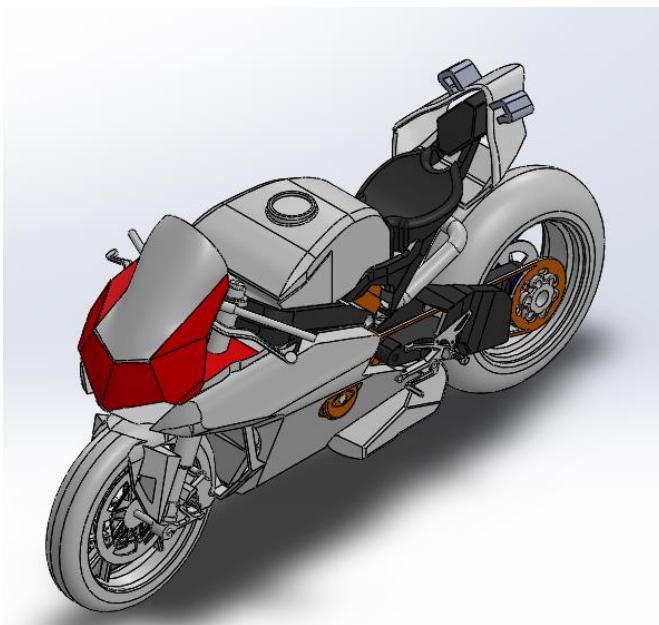


Bu arka kanat yapısının kullanıldığı motosiklette sürükleme kuvveti değeri aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.

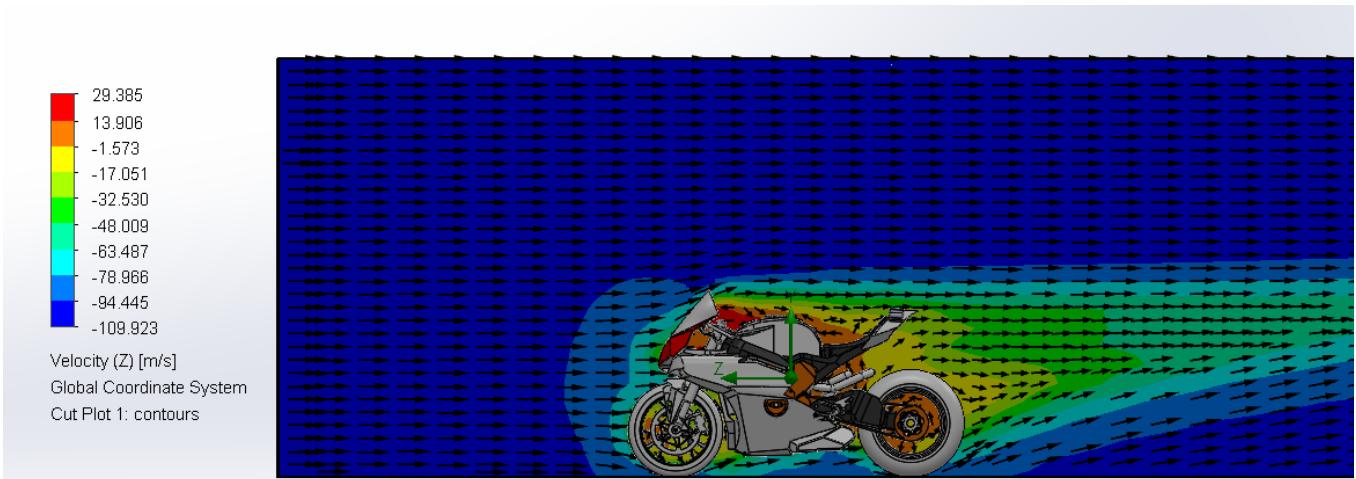
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Normal Force (Z) 1	[N]	-1205.683	-1205.263	-1264.944	-1191.055	100	Yes	73.889	224.330
Drag Coefficient	[]	-0.3124542	-0.3123455	-0.3278119	-0.3086634	100	Yes	0.0191485	0.0581353

Analiz sonucunda da anlaşılacağı üzere bu arka kanat tasarımını kullanmak araca aerodinamik açıdan faydalıdır. Başındaki negatif işaretten bağımsız olarak bu arka kanat ile birlikte oluşan sürükleme katsayıısı 0.3124542'dir.

4.4.4. Üçüncü Arka Kanat Monte Edilmiş Şekilde Aerodinamik Analiz



3.kanat yapısının kullanıldığı aerodinamik analizde akış aşağıda bulunan görseldeki gibidir.

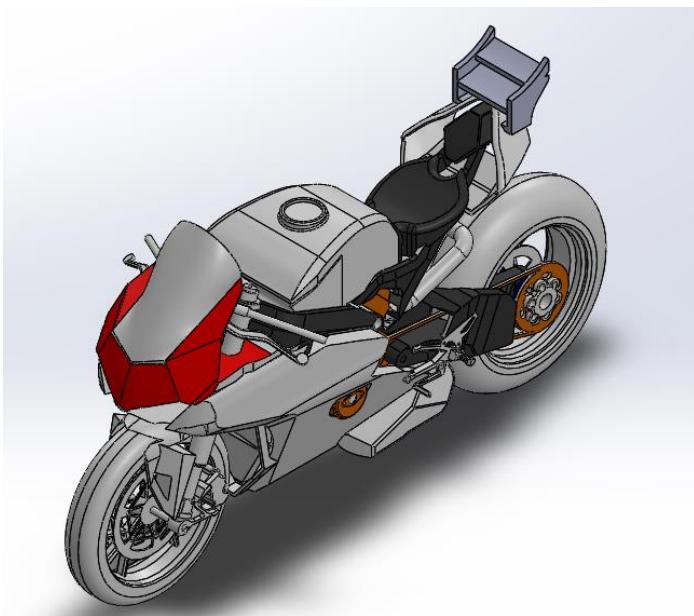


Bu arka kanat yapısının kullanıldığı motosiklette sürüklendirme kuvveti değeri aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.

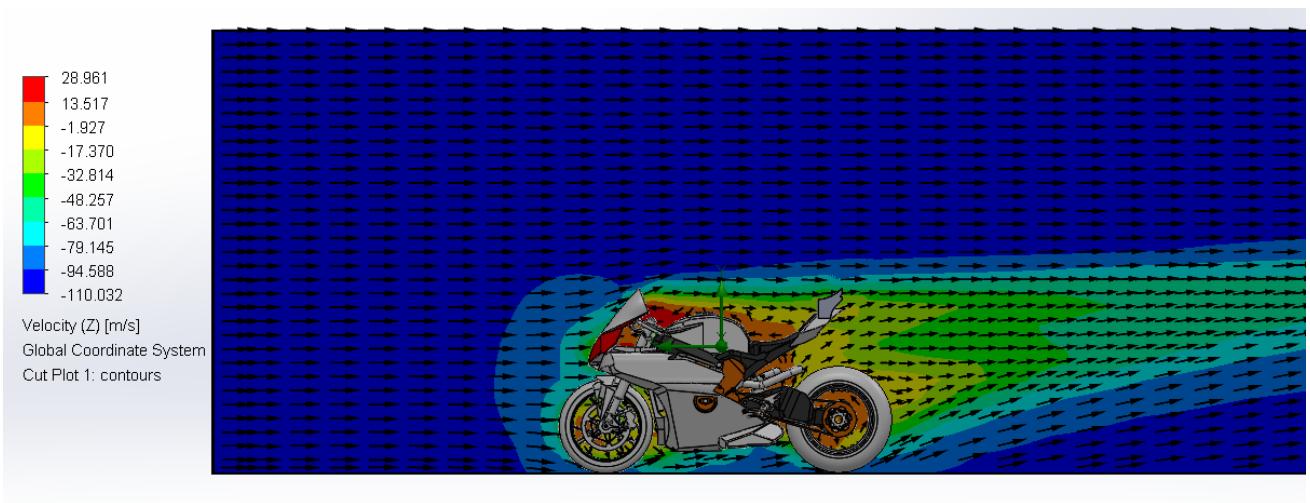
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
Drag Force	[N]	-1209.284	-1208.939	-1271.807	-1193.697	100	Yes	78.109	225.562
Drag Coefficient	[]	-0.3133875	-0.3132981	-0.3295903	-0.3093482	100	Yes	0.0202421	0.0584548

Analiz sonucunda da anlaşılabileceği üzere bu arka kanat tasarımını kullanmak araca aerodinamik açıdan faydalıdır. Başındaki negatif işaretten bağımsız olarak bu arka kanat ile birlikte oluşan sürüklendirme katsayıısı 0.3133875'tir.

4.4.5. Dördüncü Arka Kanat Monte Edilmiş Şekilde Aerodinamik Analiz



4.kanat yapısının kullanıldığı aerodinamik analizde akış aşağıda bulunan görseldeki gibidir.



Bu arka kanat yapısının kullanıldığı motosiklette sürükleme kuvveti değeri aşağıda bulunan görselde gösterilmiştir.

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
Drag Force	[N]	-1236.872	-1240.185	-1310.333	-1222.717	100	Yes	87.617	228.285
Draf Coefficient	[N]	-0.321	-0.321	-0.340	-0.317	100	Yes	0.023	0.059

Analiz sonucunda da anlaşılacağı üzere bu arka kanat tasarımını kullanmak araca aerodinamik açıdan faydalıdır. Fakat bu faydanın değeri oldukça küçüktür. Başındaki negatif işaretten bağımsız olarak bu arka kanat ile birlikte oluşan sürükleme katsayısı 0.321'dir

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada aerodinamiğin yüksek hızlı yarış motorlarında ne kadar önemli bir etken olduğu anlaşılmıştır. Aerodinamiğin özellikle geçmişteki MotoGP yarışlarında bu kadar dikkat edilmediği fakat şimdiler de çok daha göz önünde olduğu anlaşılmıştır.

Çalışmada özellikle aracın aerodinamik yapısını belirleyen arka kanatların araç içinde ne tür etkisi olduğuna deşinilmiştir. Arka kanat tasarımlarının modal ve statik analizleri yapılip daha sonrasında Ducati V4R aracına monte edilip aerodinamik analizleri yapılmıştır.

Bu aerodinamik analizlerin sonuçlarına göre bazı arka kanat tasarımları aracı aerodinamik açıdan geliştirirken bazı arka kanat tasarımları ise aracı aerodinamik açıdan geriye götürmüştür.

Özellikle benim gibi ileride tasarım mühendisi olmak isteyen bir makine öğrencisi için oldukça verimli olan bu çalışma tasarım mühendisliğinin bir dalı olan aerodinamik tasarım mühendisliğini daha iyi anlamamı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] [<https://tr.wikipedia.org/wiki/Aerodinamik>]
- [2] [Şekil 1] [<https://tr.wikipedia.org/wiki/Aristoteles>]
- [3] [John D. Anderson,Jr (1997). , A History of Aerodynamics Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK]
- [4] [Şekil 2] [<https://www.istockphoto.com/tr/video/r%C3%BCzgar-t%C3%BCnelinde-mermi-gm1311152583-400339477>]
- [5] [Şekil 3][<https://www.makaleler.com/arsimetin-hayati-ve-calismalari>]
- [6] [Şekil 4] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci]
- [7] [Şekil 7] [R. Giacomelli(1930), The Aerodynamics Of Leonardo Da Vinci]
- [8] [Şekil 8] [https://en.wikipedia.org/wiki/George_Cayley]
- [9] [Şekil 9] [Charles H.Gibbs-Smith, MA (1974), Sir George Cayley, Father of Aerial Navigation]
- [10] [Şekil 10] [<https://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/cayley.html>]
- [11] [Şekil 11] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei]
- [12] [Şekil 12] [https://en.wikipedia.org/wiki/Edme_Mariotte]
- [13] [Şekil 13] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens]
- [14] [Şekil 14] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton]
- [15] [Şekil 16] [https://en.wikipedia.org/wiki/Daniel_Bernoulli]
- [16] [Şekil 18] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Jean_le_Rond_d'Alembert]
- [17] [Şekil 19] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Leonhard_Euler]
- [18] [Şekil 20] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Pierre-Simon_Laplace]
- [19] [Şekil 21] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Joseph-Louis_Lagrange]

[20] [Şekil 22] [Şekil 23] [Grafik 1][Vojtech Sedlak(2012), Motorcycle Cornering Improvement: An Aerodynamical Approach based on Flow Interference, Royal Institute of Technology]

[21] [Şekil 24] [Şekil 25] [Şekil 26] [Şekil 29] [Borja González-Arcos and Pedro Javier Gamez-Montero (2023), Aerodynamic Study of MotoGP Motorcycle Flow Redirectors]

[22] [R Barbagallo, G Sequenzia, SM Oliveri and A Cammarata (2015), Dynamics of a high-performance motorcycle by an advanced multibody/ control co-simulation]

[23] [Şekil 27] [https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient]

[24] [Şekil 28] [Grafik 2] [Joseph Katz (2019), Aerodynamics in motorsports]

[25] [<https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/4140c1ad-96fe-4c89-ade9-1076aca33139/content>]

[26] [Şekil 30] [Şekil 31] [Şekil 32] [Şekil 33] [<https://www.youtube.com/watch?v=PBKnXgcYkrg>]

[27] [Şekil 34] [<https://www.youtube.com/watch?v=RKqvsBAldaE>]

[28] [<https://korlas.com.tr/markalar/ducati/panigale-v4-r/>]

[29] Vittore Cossalter, Roberto Lot, Matteo Massaro (2008) The chatter of racing motorcycles, University of Padova and University of Southampton]

[30][<https://tr.motorsport.com/f1/news/hangi-serideki-araclar-daha-hizli/4861950/#:~:text=Bu%20s%C4%B1n%C4%B1flar%20saatte%20yakla%C5%9F%C4%B1k%20295,100%20km%2Fs%20h%C4%B1za%20%C3%A7%C4%B1kabiliyor.>]