



**BIYOMİMETİK YAKLAŞIM İLE AERODİNAMİK JANT TASARIMI
VE BİR UYGULAMA**

Muhammet Tahir DEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2020

Muhammet Tahir DEMİR tarafından hazırlanan “BİYOMİMETİK YAKLAŞIM İLE AERODİNAMİK JANT TASARIMI VE BİR UYGULAMA” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Veysel ÖZDEMİR

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Hüdayim BAŞAK

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 10/04/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....

Muhammet Tahir DEMİR

10/04/2020

BİYOMİMETİK YAKLAŞIM İLE AERODİNAMİK JANT TASARIMI VE BİR UYGULAMA

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammet Tahir DEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2020

ÖZET

Kısıtlı, pahalı, geri dönüşümü olmayan ve çevreye duyarsız olan yakıtlar çeşitli nedenlerle insanlığa zarar vermektedir. Özellikle ulaşım sektöründe kullanılan yakıtlar çevreyi kirletmede öncü nedenlerdendir. Son zamanlardaki araçların emisyon değerlerini düşürmeye yönelik çalışmaların yanı sıra yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada özellikle 21. yy' da önemi artan enerji tasarrufu ar-ge çalışmalarının bir kolu olan aerodinamik araç tasarımında jant tasarımı ele alındı. Bu araştırmada biyomimetik bilimi çalışma metodolojilerinden biyolojiden tasarıma metodolojisi uygulandı. Bu metodolojinin çözüm önerisine göre tasarlanan jantın piyasada en çok tercih edilen standart bir jant modeline göre aerodinamik yapısının hava sürtünme direncini azalttığı tespit edilmiştir. Böylelikle enerji tasarrufu sağlanmış ve jantın yüzey kalitesi artırılmıştır.

Bilim Kodu : 91406

Anahtar Kelimeler : Aerodinamik, Jant Tasarımı, Biyomimetik

Sayfa Adedi : 77

Danışman : Prof. Dr. Veysel ÖZDEMİR

AERODYNAMIC RIM DESIGN WITH BIOMIMETIC APPROACH AND A
PRACTICE
(M. Sc. Thesis)

Muhammet Tahir DEMİR

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
April 2020

ABSTRACT

Limited, expensive, non-recyclable and non-environmentally friendly fuels harm humanity for various reasons. Especially the fuels used in the transportation sector are among the leading reasons for polluting the environment. Recently, there are various studies to save fuel as well as works to reduce emission values of vehicles. In this study, rim design was discussed in aerodynamic vehicle design, which is a branch of energy saving R&D studies, which gained importance especially in the 21st century. In this study, the methodology from biology to design, which is one of the biomimetic science study methodologies, was applied. It has been determined that the aerodynamic structure of the rim, which is designed according to the solution proposal of this methodology, reduces the air friction resistance compared to a standard rim model most preferred in the market. Thus, energy was saved and the surface quality of the rim was improved.

Science Code : 91406

Key Words : Aerodynamics, Rim Design, Biomimetic

Page Number : 77

Supervisor : Prof. Dr. Veysel ÖZDEMİR

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında öğrenim hayatım boyunca bana kendi bilgi tecrübelerinden bir şeyler aktarmaya çalışan tüm öğretmenlerime,

Lisansüstü öğrenimim boyunca bana birçok konuda danışmanlık eden ve beni en doğru şekilde yönlendiren Sayın Prof. Dr. Veysel ÖZDEMİR' e,

Bugünlere gelmemde maddi ve manevi her türlü desteklerini esirgemeyen çok kıymetli, saygıdeğer aileme ve arkadaşlarıma en derin duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Biyomimetik Yaklaşımla Tasarım Çalışmaları	5
2.1.1. Biyomimetik araştırmaları	5
2.1.2. Günümüzde biyomimetik çalışmalar	6
2.2. Jant Aerodinamiği İle İlgili Çalışmalar	8
3. JANT AERODİNAMİĞİ	17
3.1. Aerodinamiğin Tanımı	17
3.1.2. Sürüklenme kuvveti ve sürüklenme direnç katsayısı	18
3.2. Otomobillerdeki Kayıplar	19
3.2.1. Jantın etkisi	20
3.3. Aerodinamik Direncin Etkileri.....	21
3.3.1. Yakıt tüketimine etkisi	21
3.3.2. Hızlanmaya etkisi.....	22
4. ÜRÜN TASARIMI	23

Sayfa

4.1. Tekerleğin (İlişkili Olarak Jantın) Tarihi	23
4.2. Doğadan Esinlenme Yöntemleri-Tasarım Metodolojileri.....	25
4.2.1. Fibonacci serisi ve altın oran.....	25
4.2.2. Fraktal geometri	25
4.2.3. Soyutlama yöntemi ile doğadan esinlenme.....	26
4.2.4. Doğaya öykünme	26
4.2.5. Doğaya benzetme	26
4.2.6. Biyomimetik tasarlama- doğanın tekniğini değerlendirme.....	26
4.3. Biyomimetik Tasarım Çalışma Süreci	28
4.4. Jant Tasarımı	37
5. TASARIMIN AKIŞ ANALİZİ	45
5.1. Akış Analizi Öncesi Şartların Tayini	45
5.2. Jant Akış Analizi	50
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
6.1. Analiz Grafikleri	61
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Benzin motorlu 1200 kg'lık bir otomobilde 90 km/h hızda yakıt enerjisinin % (yüzde) olarak kullanım dağılımı	17
Çizelge 3.2. Sürüklemeye direnç katsayısının tahmini dağılımı	19
Çizelge 6.1. Tasarlanan jantın bulunduğu modelde oluşan toplam basınç kuvveti dağılımı	61
Çizelge 6.2. Standart jantın bulunduğu modelde oluşan toplam basınç kuvveti dağılımı	62
Çizelge 6.3. Tasarlanan jantın bulunduğu modeldeki sıcaklık değişim grafiği	63
Çizelge 6.4. Standart jantın bulunduğu modeldeki sıcaklık değişimi grafiği	64
Çizelge 6.5. Tasarlanan jantın bulunduğu modelin analizdeki sürüklemeye katsayısı ve grafiği	65
Çizelge 6.6. Standart jantın bulunduğu modelin analizdeki sürüklemeye katsayısı ve grafiği	66
Çizelge 6.7. Tasarlanan jantın bulunduğu modelin analizdeki sürtünme kuvveti grafiği	67
Çizelge 6.8. Standart jantın bulunduğu modelin analizdeki sürtünme kuvveti grafiği	67
Çizelge 6.9. Analiz sonuçları	68

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Küresel fosil karbon salınımları grafiği	2
Şekil 1.2. Küresel enerji tüketimi	2
Şekil 2.1. Biyomimetik biliminin kullanım alanları	7
Şekil 2.2. Daimler Chrysler'in prototip biyonik konsept otomobili.....	7
Şekil 3.1. Aerodinamik sürtünme direnci ile yuvarlanma direncinin hıza göre değişimi	22
Şekil 4.1. Biyolojiden tasarıma metodolojisi.....	28
Şekil 4.2. Farklı türdeki kuşların kanat tipleri	29
Şekil 4.3. Uyanık girdapların uzamsal düzenlemesinin üç boyutlu görselleştirilmesi	34
Şekil 4.4. Üst resimlerde baraj duvarının önündeki bir gökdoğanın dalış uçuşları sırasındaki resimleri gösterilmekte ve alt görüntüde uçuşun açık kanat şekli konfigürasyonu model olarak dönüştürülmüş hali gösterilmekte	35
Şekil 4.5. Gökdoğanın dalış esnasında girdiği yağmur damlası formu	35
Şekil 4.6. Farklı geometrilerin aerodinamik davranışları	36
Şekil 4.7. NACA 4415 Yağmur damlası profili	36

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. 115 bin yıllık kemik alet ile günümüzde kullanılan çekiç arasındaki benzerlik.....	6
Resim 2.2. Testere ve ortanca yaprağı arasındaki ilişki	6
Resim 2.3. Farklı iki durumdaki lastiğin genel cd sürtünme katsayısı gelişimi	9
Resim 2.4. Hız vektörü dağılımı.....	9
Resim 2.5. Ön ve arka kaplanmış jant tasarımı ile normal janttaki basınç dağılımı	11
Resim 2.6. Temel jant ile tamamen kaplanmış jantın hız dağılım vektörleri.....	15
Resim 3.1. Sürüklenme direnç katsayısının etki dağılımı	19
Resim 4.1. Tekerleğin gelişimi.....	24
Resim 4.2. Gübre Böceği ve evi	24
Resim 4.3. Şahin, leylek ve kartal kuşları	29
Resim 4.4. Martı, sümsük ve albatros kuşları	30
Resim 4.5. Serçe, karataş, sinek kuşu, karga ve kuzgun.....	31
Resim 4.6. Kırlandık, şahin, çulluk, ördek, ebal ve gökdoğan (bayağı doğan).....	31
Resim 4.7. Gökdoğan kuşunun jant tasarımına dahil edilmesi	33
Resim 4.8. Tasarlanan kanadın kesit yapısı.....	38
Resim 4.9. Tasarlanan kanat yapısının dönüş yönüne göre ön kesit görünüşü (Mavi çizgi ters V şeklinde olduğunu gösterir)	39
Resim 4.10. Göçmen kuşlar.....	40
Resim 4.11. Biyomimetik yaklaşımıyla elde edilen tasarımın çeşitli açılardan görünüşleri	41
Resim 4.12. Tasarlanan jantın teknik ölçüleri	42
Resim 4.13. Biyomimetik yaklaşımıyla elde edilen tasarımın lastiksiz yandan ve önden görünümü.....	43

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Analiz sonuçları için belirlenen jant modeli ile tasarlanan jant modeli	46
Resim 5.2. Seçilen jant modelinin teknik ölçüleri ve 3 boyutlu görünümü	47
Resim 5.3. Analizin gerçekçi sonuç elde etmesi için tasarlanan çamurluk.....	47
Resim 5.4. Analiz kafesi.....	48
Resim 5.5. Jant hareketinin gerçekleşeceği analiz silindiri.....	48
Resim 5.6. Analiz parametreleri	49
Resim 5.7. Akışkan cinsi olarak havanın seçilmesi	49
Resim 5.8. Janta verilen 110 rad/s' lik açısal hız	50
Resim 5.9. Mesh ayarı oluşturma	50
Resim 5.10. Tasarlanan janta uygulanan analize ait akış şekil görselleri	51
Resim 5.11. Standart janta uygulanan analize ait akış şekil görselleri.....	52
Resim 5.12. Tasarlanan jant ile standart jantın üzerindeki hava sıcaklık görünümü	53
Resim 5.11. Tasarlanan janta ve standart janta etkiyen akışın jant arkasından sıcaklık dağılımı.....	54
Resim 5.12. Tasarlanan janta ve standart janta etkiyen akışın jant merkez kesitinden sıcaklık dağılımı	55
Resim 5.13. Tasarlanan janta etkiyen alttan ve yandan akış hızı görselleri ve modelin hız dağılımı.....	56
Resim 5.14. Diğer janta etkiyen alttan ve yandan akış hızı görselleri ve modelin hız dağılımı.....	57
Resim 5.15. Tasarlanan janta ve akışa etkiyen basınç değişimi	58
Resim 5.16. Standart janta ve akışa etkiyen basınç değişimi	58
Resim 5.17. Tasarlanan jant ile standart janta giren vorticity gösterimi	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Cd	Sürükleme katsayısı
CO₂	Karbondiyoksit gazı
h	Saat (Zaman birimi)
K	Kelvin (Sıcaklık birimi)
kg	Kilogram (Ağırlık birimi)
km	Kilometre (Mesafe birimi)
kw	Kilowatt (Enerji birimi)
l	Litre (Hacim birimi)
m	Metre (Uzunluk birimi)
NO_x	Azot monoksit
Pa	Pascal (Basınç birimi)
s	Saniye (Zaman birimi)
SO₂	Sülfür dioksit
°C	Santigrat (Sıcaklık birimi)
%	Yüzdelik oran

Kısaltmalar

Açıklamalar

CFD	Computational Fluid Dynamics
M.Ö.	Milattan Önce
NACA	National Advisory Committee For Aeronautics
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OSL	Optik Uyarmalı Lüminesans

1. GİRİŞ

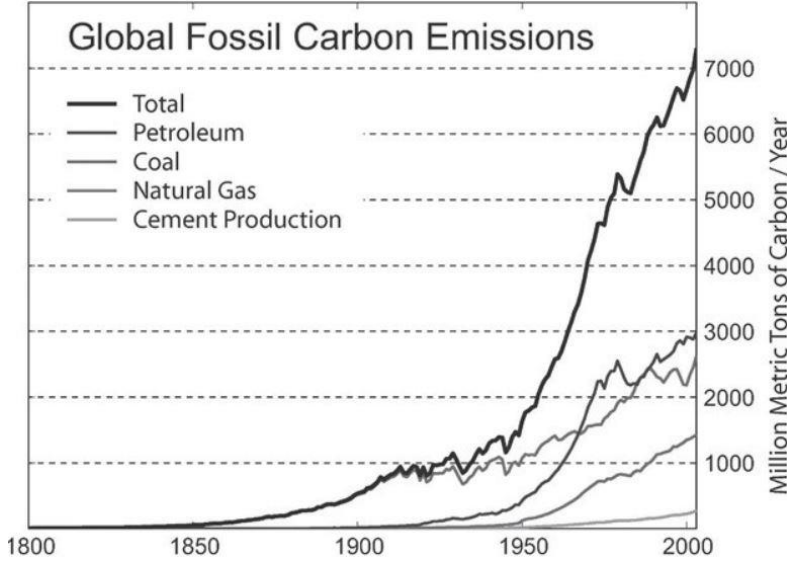
Sanayi Devrimi, buhar gibi yeni güç kaynaklarının kullanımı ve makineleşme yardımıyla imal yapısında ve iktisatta oluşan büyük ve esaslı değişimdir. Sanayi İnkılabı deyişiyile de ifade edilir. 18. yüzyılın ikinci yarısında İngiltere’de başlamıştır [1].

Sanayi inkılabının ilk dönemlerinde buhar gücüyle işleyen makina ve araçlar (tren, gemi, vs.) icat edildi. Daha ileriki dönemlerde elektrikli, içten yanmalı makina ve araçlar tercih edilmeye başlandı. Fosil yakıtlardan yanma sonucu enerji elde edildiğinde yanma ürünleri (CO_2 , NO_x ve SO_2 gibi gazlar), baca gazı olarak atmosfere atılırlar. Baca gazları aynı zamanda uçucu kül ve hidrokarbonları içerirler. Arsenik, nikel, kadmiyum, kurşun gibi zehirli metaller de fosil yakıtların yanması sonucu atmosfer içine yayılan diğer maddelerdir. CO_2 , sera etkisi oluşumunda başlıca rol almaktadır. Çoğalan CO_2 miktarı, yerküre sıcaklığının yükselmesine sebep olmakta, bu da iklim dengesinin bozulmasına neden olmaktadır. Atmosferdeki su buharı ile etkileşime geçen SO_2 ve NO_x ise ilk olarak asit yağmurlarına sebep olmakta ve bu da yerkürenin ekolojik dengesinin bozulmasına yol açmaktadır. Bütün fosil yakıt artıkları kış mevsiminde pek çok kentimizi etkileyen hava kirliliğine yol açmaktadır. Ormanların, tarımsal arazilerin ve benzer doğal kaynakların yok oluşuna neden olmaktadır [2].

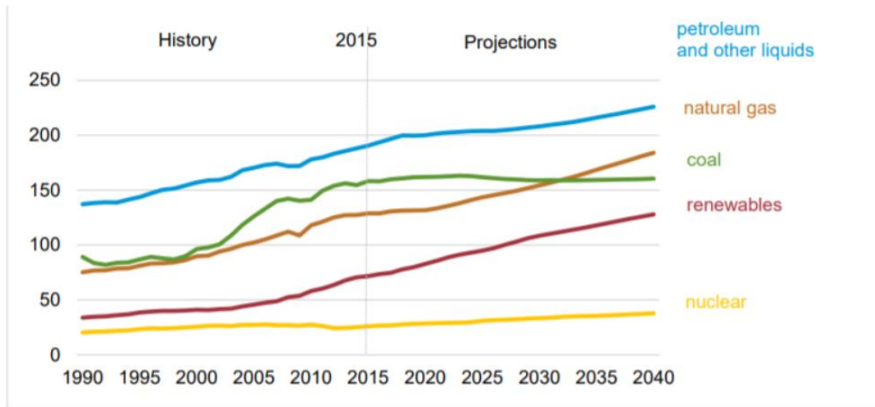
Sanayi devriminden bu yana enerji kullanımı artarak yaşamımızın vazgeçilmezi durumuna gelmiştir. Artan dünya nüfusu enerji gereksinimini artırmakla birlikte ulaşım araçlarında büyük oranda yeraltı kaynaklarından elde edilerek kullanılan petrol türevi yakıtlara olan ihtiyacımızda artmıştır. Günümüzde bu yakıtlara alternatif yakıtlar bulma çabasının yanı sıra bu yakıtları en ekonomik şekilde kullanma yolları araştırılmaktadır.

Şekil 1.1.’ de görüldüğü gibi fosil yakıtlar sanayi devriminden bu yana kullanımı artarak devam etmiştir. Bu fosil yakıtların içinde en çok artış petrol ve türevlerinde görülmüştür. Son zamanlardaki çalışmalarla artış oranında düşüş olsa dahi hala dünyada en çok kullanılan enerji kaynağıdır.

Şekil 1.2.' de 1990 yılından 2040 yılına kadar tüketeceğimiz enerji kaynaklarının kullanımını öngörülmüştür. Bu çalışmaya göre fosil yakıtlar hala zirvede görünüyor. Bu fosil yakıt kullanımındaki tasarruf çalışmalarının daha da artması gerektiğinin kanıtıdır.



Şekil 1.1. Küresel fosil karbon salınımları grafiği [3]



Şekil 1.2. Küresel enerji tüketimi [4]

Literatür araştırmalarında da görüleceği gibi ülkemizde jantın kanat yapısıyla ilgili çok fazla araştırma ve çalışma yapılmamaktadır. Yaptığımız araştırmalara göre jant tasarımı konusunda biyomimetik bir çalışmaya rastlanılamamıştır.

Bu çalışmada jant kanat yapısının araç ve jant aerodinamiğine olan etkisi incelenecek ve biyomimetik yaklaşımla yapılacak tasarımın kazandıracağı değerler ortaya konulacaktır.

Çalışmanın ana hatları da;

- Literatür araştırması ile araç aerodinamiği, jant aerodinamiği ve Solidworks programı analiz çalışmaları incelenerek tasarım yöntemi oluşturulması,
- Tasarım için gerekli jant aerodinamiğinin incelenmesi ve bu olguların literatür taramasında elde edilen olgularla kıyaslanması,
- Biyomimetik tasarım metodolojisinin adımlarının uygulanması ve probleme yönelik çalışmaların yürütülmesi,
- Belirlenen çözüm yöntemine göre jant aerodinamiği konusunda biyomimetik yaklaşımla aerodinamik jant tasarımının yapılması,
- Solidworks 2016 programı fluent analysis komutundaki sanal gerçeklik analizi ile tasarımın akış analizi yapılarak sonuçların ortaya çıkarılması,
- Analiz sonuçlarının irdelenerek, tasarıma dönük faydaların ve eksikliklerin neler olduğu, bundan sonraki çalışmalarda da nelerin yapılabileceğinin tartışılması şeklindeki kısımlardan oluşturulacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Biyomimetik Yaklaşımla Tasarım Çalışmaları

2.1.1. Biyomimetik araştırmaları

Biyomimetik terimi ilk olarak 1962’de bilimsel literatürde ortaya çıktı ve özellikle 1980’li yıllarda malzeme bilimciler arasında kullanımı arttı. Bazı bilim adamları ise Biyomimikri terimini kullanmayı tercih etti [5]. Tabiattaki canlı ya da cansız her türden doğal kavram ve varlığın model alınması temeline dayanmaktadır. İnsanların yaşamsal döngüsü içinde sorunlarına çözüm bulmak için doğada bulunan sistemleri taklit ederek elde ettikleri tasarımlar, madde ve bileşikler, alet ve malzemeler, araç ve gereçler, mekanizma ve sistemler ve ustaca yapılan eserlerin tümü bu kapsamdadır [6].

İnsanlık tarihinde birçok çağda insanlar ihtiyaçlarını karşılamak için kullanacakları araç gereçlerin yapımında doğadan ilham almışlardır. Çünkü doğada her türlü zorluğun nasıl aşılabileceğinin örnekleri mevcuttur. Bu örnekler insanların pratik zekasıyla kullanışlı teknolojik hallere dönüşmüş ve halen dönüştürülmeye devam etmektedir.

Günümüzdeki tasarımların birçoğu doğanın ve canlıların incelenmesiyle cisimlere uyarlanarak yapılmıştır. Bu inceleme dalına Biyomimetik denilmektedir. Biyomimetik yeni kullanılmaya başlanan bir alan değildir. İnsanlık tarihinde insanlar doğayla iç içe yaşamış, hayatın bir parçası olmuşlardır. Günümüz toplumları gibi doğaya zarar verdiği gibi zarar vermeyip, kendilerini dünyanın efendisi olarak görmeyip; doğaya, canlılara faydalı olup iç içe birlikte hayatı yaşamışlardır. Bu yüzden insanlar tarafından kullanılan alet edevatları incelediğimizde biyomimetğin ya da doğadan taklit etmenin örneklerini görebiliriz.

Çin’in merkezindeki Henan eyaleti Lingjing bölgesinde kazı çalışmaları sonucunda ortaya çıkartılan 7 kemik parçası, araştırmacılar tarafından analiz edildi. Bulunan eserler yüzeyden yaklaşık 10 metre derinlikten çıkarıldı. Kemik parçalarına optik olarak uyarlanmış lüminesens (OSL) (jeologlar tarafından sediment tabakalarının tarihlemesinde kullandıkları yöntem) yöntemi kullanılarak tarihleme yapılmıştır. Araştırmacılar, taş aletlerde değişiklik

yapmak için kemik aletlerle yapılan 3 farklı çekiç rötuşu (Resim 2.1.) tespit ettiklerini dile getirdi. Bu kemik aletlerin ne kadar da çekice benzediği aşikardır [7].



Resim 2.1. 115 bin yıllık kemik alet ile günümüzde kullanılan çekiç arasındaki benzerlik

Testerinin icadı marangozların atası olarak bilinen Lu Ban (M.Ö. 507-444) adlı bir Çinli tarafından yapıldı. Bir gün, Lu parmağını bir yaprakla kesti. Yaprğa yakından baktı, cildin nasıl bu kadar kolayca kesilebileceğini merak etti. Yaprğın tırtıklı bir kenarı olduğunu gördü. Dişli bir kenarın kesmeyi daha kolay ve daha etkili hale getirebileceğini fark etti. İlerleyen günlerde Lu, tarihte ilk testereyi icat etti [8].

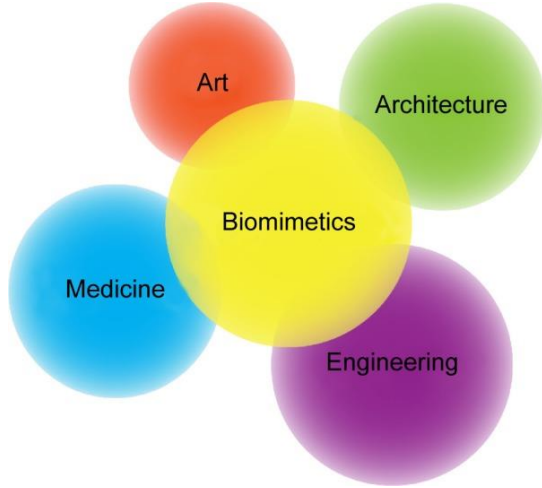


Resim 2.2. Testere ve ortanca yaprağı arasındaki ilişki

2.1.2. Günümüzde biyomimetik çalışmalar

İnsanlar sanayileşme ile doğayı ağır bir şekilde etkilemiştir. Bununla birlikte, biyomimetik araştırmacıları bu kalıbı önlemeye yardımcı olabilir. Biyomimetik araştırmacıları, yeni ürünlerin gelişimine temel olarak doğal özellikleri kullanmanın ötesine geçmektedir. Bu

ürünler genel endüstride rol oynayacak ve aynı zamanda kimya, biyoloji, mimarlık, mühendislik, tıp ve biyomedikal mühendisliği alanlarında insanlara kolaylık sağlayacak şekilde tasarlanabilir. Böyle bir tamamlayıcı ilişki, insanların doğayla bir arada bulunmasında önemli bir rol oynar ve uygulamasının kapsamı sınırsız olabilir.



Şekil 2.1. Biyomimetik biliminin kullanım alanları [9]

Biyomimetik biliminin ortaya çıkardığı canlıların tasarruf ve enerji açısından verimli yönleri, 2005 yılında Daimler Chrysler'in prototip biyonik konsept otomobili tarafından gösterildiği gibi arabalarda benimsenmiştir. Bu arabanın dışını aerodinamik hale getiren kutu balığı (Şekil 2.2.) şekli temel alınmıştır. 0,19 'luk Cd katsayısına sahiptir. Bu otomobilin temel yapısı büyük bir dış görünüş ve küçük tekerleklerden oluşuyor ve tasarım minimum bir gerilme elde etmek için bilgisayar simülasyonu ile değerlendirilmiştir. 2 litrelik dizel motora sahip bu otomobilin ortalama yakıt verimliliği 23 km/l ve maksimum 190 km/s hıza sahiptir ve bu da mevcut araçlardan daha fazla yakıt tasarrufu sağlar [9].



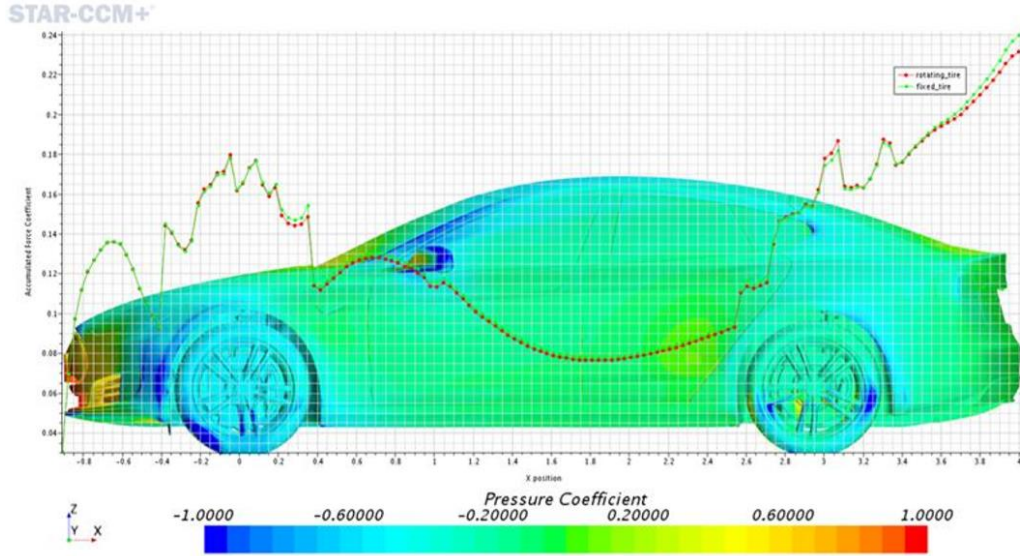
Şekil 2.2. Daimler Chrysler'in prototip biyonik konsept otomobili

Günümüzde kuşlardan, balıklardan esinlenerek uçaklar, uçak kanatları, rüzgar türbini kanatları, arabalar ve farklı türde kullanılan tasarımlar yapılmaktadır. Çalışmamızda jant kanadını bu gözlemlerle tasarlamaya çalışacağız.

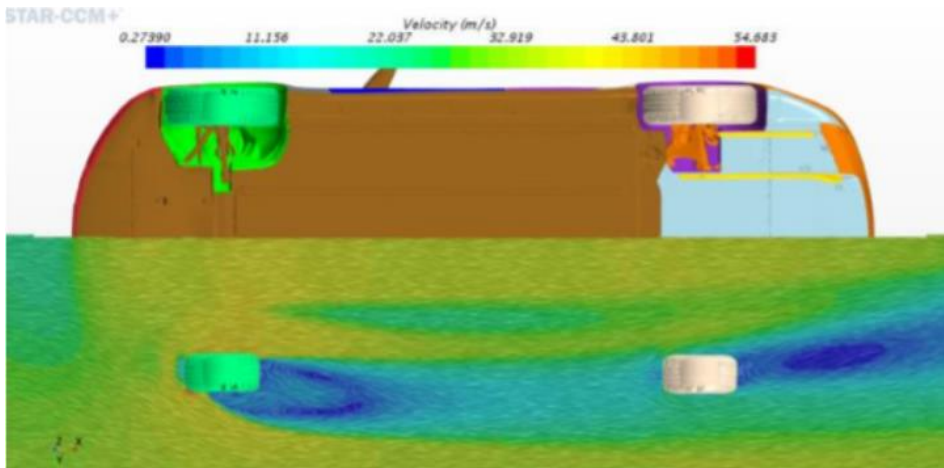
2.2. Jant Aerodinamiği İle İlgili Çalışmalar

D'hooge, Palin, Johnson, Duncan ve Gargoloff (2012), araçlarda gövde şekliyle alakalı genellikle birincil aerodinamik performans ölçüsü olarak kullanılan Cd katsayısına ek olarak jant ve lastik sisteminin de önemli bir katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Gövde ve tekerlekler tarafından oluşturulan uzunlamasına sürtünmeye ek olarak, dönme sürtünmesi de araca önemli miktarda aerodinamik direnç eklediğini belirtmişlerdir. PowerFLOW CFD simülasyon yazılımını kullanan araştırmacılar Tesla Model S aracında aerodinamik güç tüketimini büyük ölçüde azaltan yeni bir jant geliştirdiler [10].

Wang, Wu, Zhu, Liu, Zhang (2017), Tesla Model S aracını 3d lazer tarayıcı ile sanal ortama aktarmışlar. Siemens'in STAR-CCM + yazılımında zemin için farklı koşullarda aerodinamik performansı analiz etmişler. Lastiğin dönme durumunda ve sabit durumda aracın sürtünme katsayısının gelişimini incelemişlerdir. İlk iki olayın sürüklenme katsayısının gelişme eğilimi aynı olduğu ortaya çıkmış. Ardından otomobilin arkasında, lastik dönüşü nedeniyle otomobilin altındaki hava akışının geriye doğru hızlandığını, sonrasında uyandırma etkisi araç arkasındaki negatif basıncı azalttığını ve 9 değerinde sürtünme katsayısında düşüşe neden olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda hava akışının hızlanmasının, lastik dönüşü nedeniyle, aracın kaldırma katsayısını düşürerek, otomobilin altında bir basınç düşüşüne yol açtığını göstermişlerdir [11].



Resim 2.3. Farklı iki durumdaki lastiğin genel cd sürtünme katsayısı gelişimi



Resim 2.4. Hız vektörü dağılımı

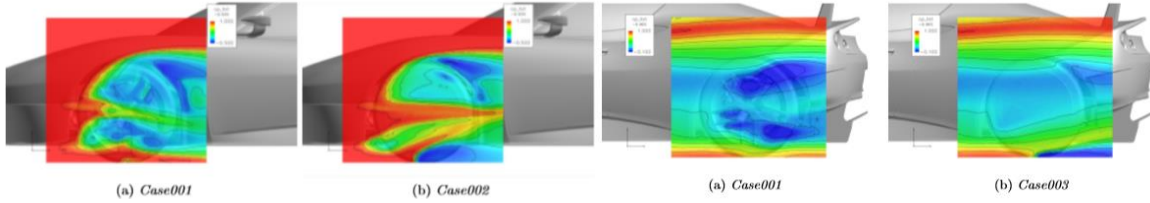
Wäschle (2007), araç üzerindeki döner durumdaki tekerleklerin durgun hallerine göre olan aerodinamik etkinin kıyasını yapmış, CFD analiziyle döner durumdaki tekerleklerin aerodinamik mekanizmaları karakterize etmiştir. Tekerleklerin akış topolojisini çıkarmıştır. İzole edilmiş tekerlerdeki dönme durumu kaldırmayı ve sürtünmeyi azalttığı görülmüş. Ve hava akışının farklı etkilere bağlı olduğu gösterilmiştir. Tekerlek dönmesiyle araç gövdesinin aerodinamiğinde artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar imalat sırasında arabaların aerodinamik şekil optimizasyonu için tekerlek dönüşünün gerekli olduğunu vurgulamaktadır [12].

Elofsson, Bannister (2002), tekerlek dönüşü ve hareketli zemin şartlarında araç aerodinamiğini incelemişler. Sırasıyla yer hareketi / zemin düzlemi koşullarının etkisi, ön tekerlek dönüşünün etkisi, arka tekerlek dönüşünün etkisini araştırmışlar. Yapılan testlerde tekerlek dönüşü ve hareketli zemin şartlarına bağlı sürtünmenin azaltılmasının ana nedeninin arka tekerlek dönüşünün olduğu sonucuna varmışlardır. Sedan tipi araçlar station wagon tipi araçlarına göre daha büyük sürtünme azalması yaşamış. Bunun nedeni olarak belirtilen koşullarda Sedan tipi aracın taban bölgesi çevresindeki gelişmiş akış dengesidir. Sonuçlar sabit zemin ve tekerlek şartlarında aerodinamik etkinin sağlıklı şekilde ölçülemeyeceğini göstermiştir [13].

Okudan (2014), Solidworks 2012 Premium'da tasarlanan Ferrari F1, BMW i8 Concept, Mercedes Actros gibi araba ve taşıtlara "Solidworks FFE (Flow Finite Elements) Flow Simulation" kullanılarak üç-boyutlu SAD (Sayısal Akışkanlar Dinamiği) hava akış simülasyonu uygulamıştır. BMW i8 Concept modeli aracında yaptığı analize göre; Rotasyonsuz araçta aracın kenarlarından hava akım çizgilerinin kesintiye uğramadan aracı terk ettiğini görmüştür. Rotasyonlu araçta ise, hava akımının büyük bölümünü karşılayan ön tekerler, havayı dağıtmış ve yukarıya doğru kaldırdığını ve bu davranış hem yanal kuvvetleri, hem kaldırma kuvvetini, hem sürüklenme kuvvetini hem de arkada bırakılan hava akımını etkilediğini belirtmiştir. Bu doğrultuda, simülasyonlarda, dönel cisimlerin simülasyondan dışlanamayacağı kabul görmüştür. Aynı zamanda Mercedes Actros' da 30m/s hızı ile giderken basit bir analiz ile yol etkisini değerlendirmiştir. Yol etkisi yokken, eteklerden ve tekerlerden gelen havanın yükselerek aracı terk ettiğini, ve sadece kapak kısmında, kısmi bir türbülans oluştuğunu görmüş. Yol etkisi ile birlikte analiz ettiğinde ise, eteklerden gelen hava akımının yolu süpürerek tekrar araç kapaklarına çarpıp bir türbülans oluşturduğunu göstermiştir [14].

Cederlund, Vykström (2010), jant tasarımında küresel ve yerel aerodinamik özelliklerin etkisini incelemişlerdir. Ayrıca jant tasarımı ve kullanıcı arasındaki etkileşim araştırılmıştır. Simülasyonlar, uygun jant tasarımı ile sürtünmede önemli bir azalmanın sağlanabileceğini açıkça göstermiştir. Çapraz akışın jantlar boyunca engellenmesi, ön jant yuvasında statik basıncın artmasına ve böylece kaldırma etkisinde bir artışa neden olurken ön jantın kaplanması genellikle sürtünmeyi azalttığını ve arkadaki çapraz akışın engellenmesi, kullanıcı tarafından artan bir akış hızı nedeniyle artan bastırma kuvveti ile sonuçlandığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, arka jantın çevresindeki ortaya çıkan akışkanın, ön

tarafındaki jant tasarımına büyük ölçüde bağlı olduğu gösterilmiştir. Arka jantın kapatılması sürtünmeyi önemli ölçüde etkilemezken, bastırma kuvvetini genellikle arttırdığı gösterilmiştir [15].



Resim 2.5. Ön ve arka kaplanmış jant tasarımı ile normal janttaki basınç dağılımı

Hobeika (2012), çalışmasında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonlarını kullanarak farklı lastik geometrilerinin zemine karşı verdiği sürtünme tepkisini incelemiştir. İki farklı lastik tipini incelerken lastik tiplerinden yan oluğu bulunan tipin yan oluğu bulunmayan tipe göre sürtünmesinde artış olduğunu gözlemlemiştir. Yan oluğun, özellikle ön tekerleklerde, akış ayrımını tetiklediği ve sürtünme artışıyla sonuçlandığı gösterilmiştir. Pürüzsüz bir kenar deseninin de sürtünmede azalma gösterdiğini belirtmiştir. En büyük etkinin arka tekerlekler üzerindeki kenar deseninden kaynaklandığına inanmaktadır. Ayrıca sedan tarzı araçlarda sürtünme station wagon tarzı araçlara göre daha düşük olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte, konuyla ilgili daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu ve bu tür küçük özellikler üzerinde ağ yapısının daha kapsamlı bir değerlendirmesinin yapılması gerektiğini belirtmiştir [16].

Krajnovic ve Davidson (2005), LES (Large eddy simulation) sayısal yöntemi ile bir aracı hareketli bir arazide incelemişlerdir. Bu yöntem sayesinde, yer etkisinin sürüklenme direncini %8, kaldırma kuvvetini ise %16 oranında değiştirdiğini görmüşlerdir. Böylece yer etkisinin, simülasyondan dışlanamayacak önemli bir etken olduğu kabul edilmiştir [17].

Mercker ve arkadaşları (1991), binek araçlarda hareketli tekerleklerin aerodinamik yapıya etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla tam ölçekli Opel Calibra Coupe modelini hareketli bir bant üzerinde rüzgar tüneli testine sokmuşlar ve elde ettikleri verileri tekerlekler hareketsiz iken yaptıkları test sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Hareketli tekerlekler ile yaptıkları ölçümde sürüklenme kuvvetini sabit tekerlekli teste göre benzer çalışmaların aksine daha

düşük bulmuşlardır. Kaldırma kuvveti ise hareketli tekerleklerle beraber artış göstermiştir [18].

Lindgren (2016), spor otomobillerinin zorlu sürüş şartlarında iyi performans göstermelerinin verimli fren soğutmasına ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir. Catia programında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği modülüyle balataların soğumasını analiz etmiştir. Simülasyonda önerdiği tasarımla daha önceden kullanılan soğutma şekline göre %14 daha iyi ısı transferi gerçekleştirdiği sonucuna ulaşmıştır [19].

Ozawa ve arkadaşları (1998) dünyanın en büyük güneş arabaları yarışmasına (World Solar Challenge) katılan 96 Honda güneş arabasını aerodinamik açıdan incelemişlerdir. Üst gövde kaporta tasarımının analizi için yüzeydeki basınç dağılımlarını dikkate alarak, sayısal akışkanlar dinamiğine dayanan MAC (Markerand-Cell) metodunu kullanmışlardır. Aracın birçok yönde karmaşık aerodinamik kuvvet ve moment etkisinde kaldığını, sadece bir yöndeki hava akışının incelenmesinin gövde yüzeyi tasarımında en iyi sonucu vermeyeceği sonucunu çıkarmışlardır [20].

Dimitrou ve Klusmann (2006), jant aerodinamiği hakkında geniş bir araştırma yaptılar. Açık jantların pozitif bir kaldırma yaptığını, kapalı jantların ise önemli miktarda bastırma kuvveti ve sürtünmede azalma sağladığını gösterdiler. Oluşturulan sürtünmenin çoğu, jantlar arasındaki çapraz akışın bir etkisidir ve bu nedenle jant tasarımını optimize ederek aracın sürtünmesini azaltma konusunda büyük bir potansiyel oluşur [21].

Zhiling, Landstrom, Lofdahl, ve Josefsson (2010), tarafından tekerlek aerodinamiği üzerine bir çalışma gerçekleştirildi ve deneyler yoluyla jant tasarımı ve sabit jant kalkanlarının etkileri incelendi. Modül tabanlı bir prototip jantı tasarlayarak çok sayıda farklı kurulum sadece modüller değiştirilerek test edilebilir. Ayrıca çalışma jant tasarımının gerçekten büyük bir sürtünme kaynağı olduğunu ve küresel akış alanını etkilediğini göstermiştir. Çalışmada jantları kaplarken esas olarak sürtünmede azalma gibi olumlu etkiler olduğu gösterilmiştir [22].

Hobeika, Sebben ve Landstrom (2013), lastik geometrisinin (lastik profili ve lastik sırtı) karayolu taşıt aerodinamiği üzerindeki etkilerini incelemek için CFD kullanmışlar. Mümkün olduğunca, sayısal hesaplamaların sonuçları deneylerle karşılaştırmışlardır. Doğrudan lastik

üreticisinden iki lastik geometrisi elde edilirken, veri tabanlarından belirli bir lastik boyutunun farklı profillerini kapsayan jenerik bir lastiği temsil eden üçüncü bir geometri elde etmişler. Tüm geometriler, tanımlanan bir yük ve 100 km/s hızla dönen koşullar altında ölçülen rüzgar tüneli verilerine dayanarak karşılaştırıldı. Sonuçlar, ana olukların sürekli olarak hem çekme hem de kaldırma işlemlerinde bir azalmaya yol açtığını göstermiştir. Bununla birlikte, kenar deseni, incelenen farklı konfigürasyonlara göre sürüklenme ve kaldırma için net bir eğilim göstermemiş, ancak etkisi her zaman station wagon araçta sedan araca göre daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Jenerik lastiğin daha büyük profili, üreticiden elde edilen lastiklere göre daha yüksek sürtünme ve kaldırma değerleri ile sonuçlanmıştır. Belirli bir jant için, aynı profile sahip ancak farklı lastik sırtına sahip iki lastik geometrisi arasında bir sürtünme farkı gözlenmiştir. Bu bulgular, lastik profilinin yanı sıra lastik modelinin de dikkate alınması gerektiği sonucuna varmaktadır. Bu sonuçlar rüzgar tüneli testleri ile doğrulanmıştır. Sonuç olarak, jantların aerodinamik optimizasyon çalışmaları lastiğin kendisinden ayrılamadığı vurgulanmıştır [23].

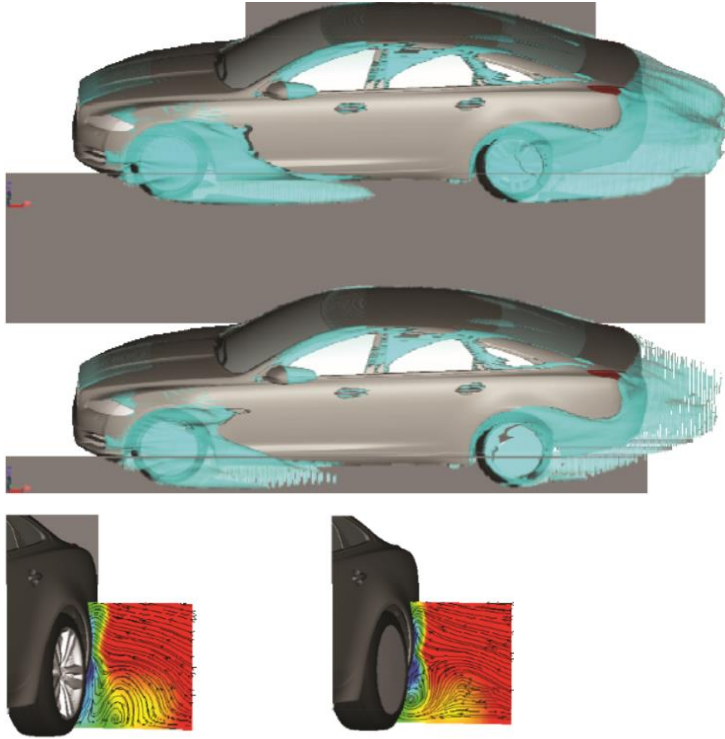
Landström, Walker, Christoffersen ve Löfdahl (2011), yaptıkları çalışma, aerodinamik sürtünmenin azaltılmasına odaklanan farklı jant tasarımı parametrelerinin potansiyelini araştırmıştır. Tam boyutlu bir araç üzerinde deneysel ölçümlerle bir korelasyon sunmuşlar ve birkaç ek konfigürasyon standart bir otomotiv CFD yaklaşımı kullanılarak sayısal olarak analiz etmişlerdir. Ayrıca, ön ve arka jantları ayrı ayrı optimize etme potansiyeli de bir dereceye kadar araştırmışlar. Sonuç olarak, arka jantların çoğunun kapatılmasının arka uç alt gövdesi, arka jantlar ve araç tabanı boyunca yerel sürtünme azalması ile sonuçlandığını göstermektedir. Ön jantlarını kaplanmasının etkileri hem yukarı hem de aşağı akış bölgelerini etkilendiğinden daha karmaşıktır ve bu çalışmada incelenen araç için, jantın sınırlı miktarda dış radyal kaplamasının en büyük sürtünme azaltımını sağladığı gösterilmiştir. Farklı ön ve arka jant tasarımlarının kullanılmasının araştırılmasında, bu çalışmalarında en büyük sürtünme düşüşü oluşturduğu için genel sürtünmeyi azaltma potansiyeline sahip olduğunu gösterilmiştir [24].

Vdovin (2013), çalışmasında binek araç aerodinamiği ve daha özel olarak jant yuvası üzerinde durmuştur. Bu alanın aerodinamik performansı hakkında, tekerlekler ve jant yuvası akışlarının bir binek otomobilindeki aerodinamik sürtünmenin önemli bir bölümünü oluşturduğunu ve bunun %25'i ile ilişkili olabileceğini gösteren bir dizi çalışma yapılmıştır. Çalışmalar ayrıca daha iyi aerodinamik özelliklere sahip olmak için lastik ve jant tasarımının

göreceli önemini göstermektedir. Havalandırma direncinin toplam aerodinamik performans üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve bir araç tasarlanırken dikkate alınması gerektiği ve ihmal edilmemesi gerektiği gösterilmiştir. Havalandırma direncinin jantların tasarımına bağlı olduğu doğrulanmıştır. Aerodinamik sürüklenme kuvveti açısından nispeten iyi bir performansa sahip olduğu bilinen kalın bir dış yarıçapa sahip jantlar, havalandırma direnci açısından en iyi sonuçları göstermiştir. Ayrıca, toplam aerodinamik dirençler karşılaştırıldığında, bu konfigürasyonun tamamen kaplanmış bir janttan biraz daha verimli olduğu bulunmuştur [25].

Berg ve Brandt (2018), yaptıkları çalışmada farklı jant yapılarında olan jantların aerodinamik etkisini araştırmışlar. 14 adet jantı incelemişler. Bu incelemeleri sayısal ve deneysel olarak yapmışlardır. Deneysel çalışmaları Volvo aerodinamik rüzgar tüneline gerçekleştirmişlerdir. Çıkan sonuçlarda tekerleğin açık ara en önemli tasarım parametresi olduğu bulunmuştur. Jant kapağı ve merkez derinliği de önemli parametreler olarak bulundu. Ön janttaki yakın alan girdabını en aza indirmenin aerodinamik sürüklemeyi önemli ölçüde azaltabileceği bulundu. Simülasyonun gerçekliğini doğruladılar. Sürtünmeyi azaltmak ve aracı daha verimli hale getirmek için kapak yüzeyi lastik çeperine (boncuk şekilli) bitişik örtülü bir jant tercih edilmiştir. Bu çalışma modüler jantı konseptini kullanarak jant geometrilerini aerodinamik sürtünme açısından değerlendirmenin mümkün olduğunu göstermiştir [26].

Koitrant, Gaylard ve Fiet (2015), çalışmalarında bir hesaplama aracı (CFD) ve deneysel sonuçlara dayanan bir sedan otomobilindeki jant aerodinamik etkilerinin, akış topolojisini açıklamak için hesaplama verilerini kullanarak bir araştırmasını sunmuşlardır. Çalışmadan elde edilen veriler, iki araç arasında doğrudan bir karşılaştırma yapılmasını sağlamak için hem deneysel hem de hesaplamalı olarak temel konfigürasyondan farklılıklar sunmuştur. Jaguar XJL aracı için tekerleğin çevresine doğru kapama seviyesi, arka tekerleğin girdabının tekerleğe yakınlığı ve sürüklenme arasında güçlü bir eğilim görülmüştür. Sürüklemadaki en önemli azalma tamamen kapatılmış jantta görülmüştür. CFD genel olarak hem çekme hem de kaldırma eğilimlerini iyi tahmin ettiği tespit edilmiştir [27].



Resim 2.6. Temel jant ile tamamen kaplanmış jantın hız dağılım vektörleri

Suhariyono ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada küçük hava taşıtlarının aerodinamik karakteristiklerini (sürüklenme, kaldırma kuvvetleri ile yuvarlanma, yunuslama momentleri) test etmek için hassas bir ölçüm sistemini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak tasarlamışlar ve sistemin kalibrasyon değerleri ile analiz sonuçlarını karşılaştırdıklarında % 3.57 hata ile kabul edilebilir olduğunu görmüşlerdir. Bir kanat modelini rüzgâr tüneline ölçüm sistemi ile test edip 4 kanadın referans verileri ile deney sonuçları karşılaştırıldığında ölçüm sisteminin doğru sonuç verdiği ortaya çıkmıştır [28].

Altınışık, Kütükçeken, Yemenici, Umur (2014) 1:5 ölçekli FIAT Linea modeli Ankara Rüzgar Tüneli'nde (ART) 30 m/sn rüzgar hızında aerodinamik testlere tabii tutmuşlardır. Sürüklenme katsayısı (C_d) ve simetri eksenindeki statik basınç değerleri (C_p) ölçümlenmiştir. ART testlerinde model ön hava alıkları kapalı ve taban altı ise düzdür. Sayısal çalışmalarda RANS denklemleri StarCCM+ ticari kodu ile SIMPLE algoritması kullanılarak ve realizable k- ϵ two-layer türbülans modeli ile çözülmüştür. 1:5 ölçekli model üzerinde ART testlerinde ölçülen basınç dağılımları ile 1:5 ölçekli model sayısal çözümüyle paralel olarak bulunmuştur. Realizable k- ϵ türbülans modeli deneysel sonuçlara paralel çözüm vermiştir. Sürüklenme katsayıları sayısal ve deneysel olarak %6 yakınlıkta bulunmuştur. Model ön hava girişlerinin tamamıyla kapalı olmasının sürüklenme katsayısına

etkisi -0.035 : -0.040 seviyesinde bulunurken, taban altının düz modellenmesi durumunda sürüklenme katsayısının -0.050 : -0.055 seviyelerinde iyileştiği görülmüştür. Sayısal ve deneysel çözümler tüm testlerde birbirine paralel sonuçlar vermiştir [29].

3. JANT AERODİNAMİĞİ

3.1. Aerodinamiğin Tanımı

Aerodinamik; hareket eden katı cisimlerin havayla etkileşimini inceleyen bilim dalıdır. Gazların hareketlerini ve gazlar içerisinde hareket eden cisimlerin etkilerini, hareket eden cisimlerin şekillerini inceler. Akışkan içinde hareket eden cisimlere, akışkanın gösterdiği direnç kuvvetlerine ulaşmak için iki yöntem vardır: birinci yöntem; model cisimler akışkan içerisinde hareket ettirilir. İkinci yöntem; durmakta olan model cisimler üzerine akışkan hareket ettirilir. Daha çok kolaylığı olması bakımından çalışmalarda ve teknikte daha çok ikinci yöntem tercih edilir.

Çizelge 3.1. Benzin motorlu 1200 kg'lık bir otomobilde 90 km/h hızda yakıt enerjisinin % (yüzde) olarak kullanım dağılımı [30]

Kayıplar	Kısmi yük (Sabit hız)		Tam yük (İvme veya yokuş)	
Termodinamik kayıplar	%78		%72	
Yardımcı sistemler	%5	Krank milindeki faydalı enerji %22	%5	Krank milindeki faydalı enerji %28
Tekerlek yuvarlama kaybı	%4.6		%2	
İvme veya yokuş kaybı	%0		%14.3	
Aerodinamik kayıplar	%10.6		%5.9	
Transmisyon kaybı	%1.8		%0.8	
Taşıta verilen toplam enerji	%100		%100	

Taşıtın önden bakıldığında görünen yüzeyinin basınçları toplamının, arkadan bakıldığında görünen yüzeylerinin basınçları toplamından fazladır. Bu genellikle taşıtın arka taraflarına doğru artan basınç gradyanı sebebiyle akışın kopmasıyla meydana gelir. Akış kopunca o alanda bir düşük basınç alanı, yani vakum alanı oluşur. Taşıtın ön tarafına göre arka tarafında oluşan bu vakum alanı, taşıtı arkaya doğru çekerek sürüklemeye oluşturmuş olur. İyi bir şekilde tasarlanmış bir taşıtta basınç sürüklemesinin toplam sürüklemeye oranı küçüktür [30]. Tasarımda genel amaç akış ayrılımlarını önlemektir.

3.1.2. Sürüklenme kuvveti ve sürüklenme direnç katsayısı

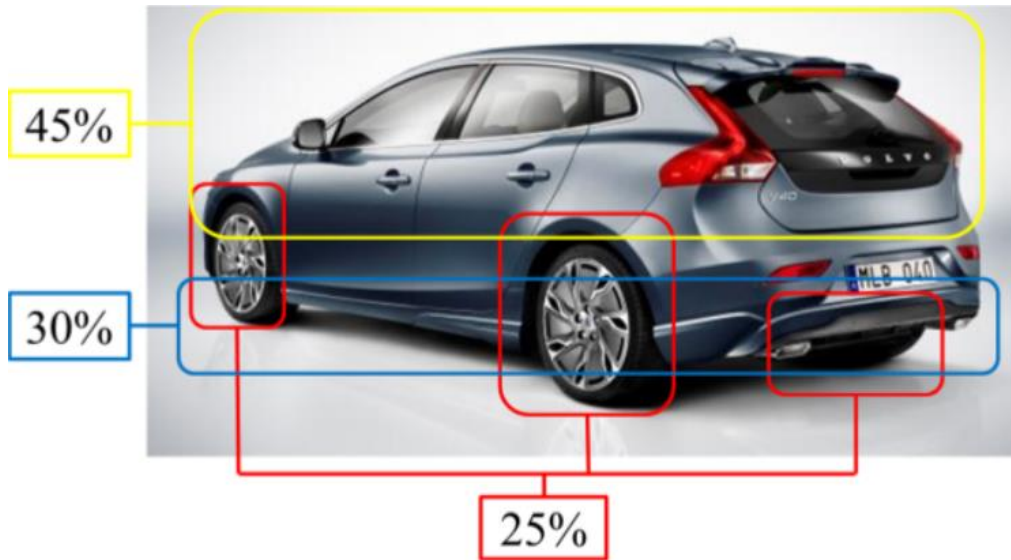
Bir karayolu aracının tasarım parametrelerinde en önemli aerodinamik etken sürüklenme kuvvetidir. Araç hareketine aksi yönde oluşan toplam direnç kuvveti kısmen tekerlekler ile zemin arasındaki yuvarlanma direncinden, kısmen de aerodinamik sürüklenme kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Aerodinamik sürüklenme kuvveti 65–80 km / h 'in üzerindeki hızlarda etkilidir. Bundan dolayı sürüklenme kuvvetinin düşürülmesi yakıt ekonomisi ve araç performansı açısından önemlidir [31].

$$F_d = C_d \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \quad (3.1)$$

Çeşitli geometrik şekilleri etkileyen sürüklenme kuvveti, geometrik şeklin ön karakteristik alanına (A), cismin hızına (V), içinde bulunduğu akışkanın yoğunluğuna (ρ) ve sürüklenme direnç katsayısına (C_d) bağlıdır. Sadece taşıta etkiyen sürüklenme kuvvetinin bilinmesi araca ait aerodinamik karakteristiği tam olarak ifade edemeyebilir. Çünkü farklı hız ve ebatlardaki araçların hepsine farklı büyüklüklerde sürüklenme kuvveti etki oluşturacaktır. Bu nedenle iki araca etkiyen sürüklenme kuvvetlerini karşılaştırmak uygun olmayabilir. Sürüklenme direnç katsayısı araçların hız ve boyut gibi özelliklerine bakılmaksızın değişik araçlar arasında aerodinamik açıdan bir karşılaştırma yapma imkanı sunar. Bu nedenle araçların aerodinamik karakteristikleri incelenirken sürüklenme direnci katsayıları esas alınır. Araca etkiyen sürüklenme kuvvetinin meydana gelmesinde çeşitli etmenler etkilidir. Sürüklemenin birden fazla etmene bağlı olması C_d 'nin azaltılması konusunda önemli bilgiler verebilir. Araca etkiyen sürüklenme kuvveti yüzey sürtünmesinden, basıncın, tekerleklerin (jant ve lastik yapısı), motor soğutma sisteminin ve aracın arka kısmında oluşan kuyruk girdapları etkisinden kaynaklanmaktadır [31].

Çizelge 3.2. Sürüklenme direnç katsayısının tahmini dağılımı [31]

Sürüklemeye Etki Eden Faktörler	Cd
Yüzey Sürtünmesi	0,08
Basınç Etkisi	0,10
Tekerlerin Etkisi	0.08
Motor Soğutma Sisteminin Etkisi	0.03
Kenar Girdapları	0.01
Toplam	0.30



Resim 3.1. Sürüklenme direnç katsayısının etki dağılımı [25]

3.2. Otomobillerdeki Kayıplar

Gerek araç gerekse akışkan mutlak olarak sabit olmayıp arada bir bağıl hız olacağından aerodinamik kuvvetler oluşur. Bu kuvvetlerin nedeni araç gövdesi üzerindeki dış akış ile motor, radyatör sistemi, araç içindeki ısıtma-soğutma, havalandırma nedeniyle oluşan iç akıştır. Oluşan direncin %90'dan fazlası dış akıştandır. Genel olarak sürüklenme katsayısı (C_d), kaldırma katsayısı (C_L), moment katsayısı (C_m) otomobiller için aerodinamik karakteristikleri ifade eder. Bu katsayılar küçüldükçe aracın manevra, hızlanma, yol tutuş kabiliyeti gibi özelliklerinde de iyileşme gözlemlenir. Aracın hava sürtünmesini yenmek için harcayacağı enerji miktarı da küçüleceğinden yakıt sarfiyatında önemli bir azalma gözlenir. C_d değeri bir cismin dış şekli sebebiyle düzgün doğrusal akım içinde oluşturduğu süreksizlik

ve türbülans gibi akış bozuntularının sonucu ortaya çıkar. Dış şekil itibariyle kütle ne derece az bozuntuya sebep olursa sürüklenme katsayısı ve buna bağlı olarak sürüklenme kuvveti de o derece düşük olur. Hızı ve geometrik boyutları belli olan bir aracın hava direnç kaybını azaltmanın tek yolu aracın dış şekline bağlı olan sürüklenme katsayısı C_d 'yi azaltmaktır. C_d değerinin azaltılması; binek taşıtlar için ekonomik yönden, belli seviyede hıza çıkması istenen taşıta daha küçük motor takılabilmesi anlamına gelir. Yarış arabalarında ise yüksek performans hedeflendiğinden motor gücü sabit bir taşıtın daha yüksek hıza ulaşabilmesi C_d değerinin önemini ortaya koyar. Araçlarda motorca üretilen güç, hava direnci ve sistem içindeki kayıpları dengeler. Düşük hızlarda hava direnci diğer kayıplara göre oldukça düşük seviyelerdedir. Ancak hız 30-40 km/h değerine varınca hava direnci önem kazanır. Bunun nedeni hava direncinin hızın karesiyle doğru orantılı olarak artmasıdır.

Sürüklenme katsayısı C_d 'nin düşürebilmesi için taşıt şekilleri gün geçtikçe aerodinamikteki adıyla damla formuna benzetilmeye çalışılmaktadır. En ideal şekil ise su damlası şekli olarak bilinen yatay eksene göre simetrik şekle aittir. Damla formunun en önemli özelliği doğrusal akışta bilinen en az bozuntuya sebep olan yapı olmasıdır.

3.2.1. Jantın etkisi

Binek araçların tekerlekleri genellikle pnömatik lastik ve janttan oluşur ve bunlar tekerlek aerodinamiği üzerinde etkilidir. Bu parçaların her ikisi de aerodinamik sürtünme ve kaldırma üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Jant tasarımlarını ve bunların aracın sürüklenmesini ve kaldırılmasını nasıl etkilediğini karşılaştıran birçok araştırma vardır. Bir jant tasarımının sadece yerel bir jant yuvası akışı üzerinde değil, aynı zamanda gövde içi, soğutma akışı ve aracın tabanı üzerinde de büyük bir etkisi olduğu gösterilmiştir. Daha geniş kapalı alana sahip jantların aerodinamik sürtünme açısından daha elverişli olduğu; ayrıca arka jant tasarımının optimize edilmesi, aracın aerodinamik direncini azaltma konusunda daha büyük bir potansiyele sahip olduğu araştırmalarda mevcuttur.

Resim 3.1., farklı alanlardan kaynaklanan aerodinamik sürtünmenin yaklaşık yüzde dağılımını göstermektedir. Üst vücut şeklinin sürüklenme kuvvetinin yaklaşık %45-50'sinden sorumlu olduğu gösterilmiştir. Alt gövde yaklaşık %30 oranında hesaplanabilir. Üst gövde

şekli büyük ölçüde aracın tasarımı ile sınırlı olsada, aerodinamik tasarımcılar, örneğin özel paneller veya tekerlek deflektörleri kullanarak, alt gövdeyi iyileştirmede çok daha fazla özgürlüğe sahiptir. Son olarak, tekerleklerin ve jant yuvası akışlarının aerodinamik sürüklenme kuvvetinin dörtte birine kadar çıktığı bulunmuştur. Bu sürüklemenin büyük bir kısmı doğrudan dönen jantlardan gelir, ancak aynı zamanda gövde altı akışı ile ve en önemlisi aracın arkasındaki hava akışında da önemli etkileşimleri vardır [32].

Gövde altı ve jant yuvaları birlikte aerodinamik sürtünme kuvvetinin büyük bir kısmından sorumlu olduğu için bu alanların büyük bir gelişme potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Aerodinamik mühendisleri, söz konusu alanlarla ve genel olarak araçlarla ilişkili etkileri anlamak, gerçek yol koşullarını doğru bir şekilde temsil etmek için birçok otomotiv rüzgar tüneline farklı zemin simülasyonu teknikleriyle güncellemiştir. Artan bilgisayar gücü, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) mühendislerinin simüle edilmiş bir ortamda test etmek için çok daha karmaşık ve ayrıntılı modeller oluşturmalarına izin vermiştir [25].

3.3. Aerodinamik Direncin Etkileri

3.3.1. Yakıt tüketimine etkisi

Fosil yakıt sınırlılığı ve çevresel etkenler sebebiyle motorlu araçlarda yakıt ekonomisi oldukça önem arz eder. Bu amaçla düşük sürüklenme direnç katsayısına ulaşma çalışmaları hızla devam etmektedir. Bilindiği gibi aerodinamik sürüklenme taşıt hızı ile artmakta ve 100 km / h 'in üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Bundan dolayı sürüklenme direnç katsayısındaki en ufak bir düşüş bile yakıt sarfiyatını önemli oranda azaltabilir [33].

Araçtaki yakıt tüketimi araç hızının yükselmesine bağlı olarak artar. Bunun temelinde yatan nedenlerinden biri de taşıt hızına bağlı olarak aerodinamik sürüklenme direncinin artmasıdır. Şehir içi yollarda hız sınırının düşük olması sebebi ile aerodinamik direnç etkisinin çok fazla olmadığı düşünülebilir. Ancak 100 km/h hızın üzerine çıkıldığı karayollarında ve otoyollarda aerodinamik direncin önemi artmaktadır [31].

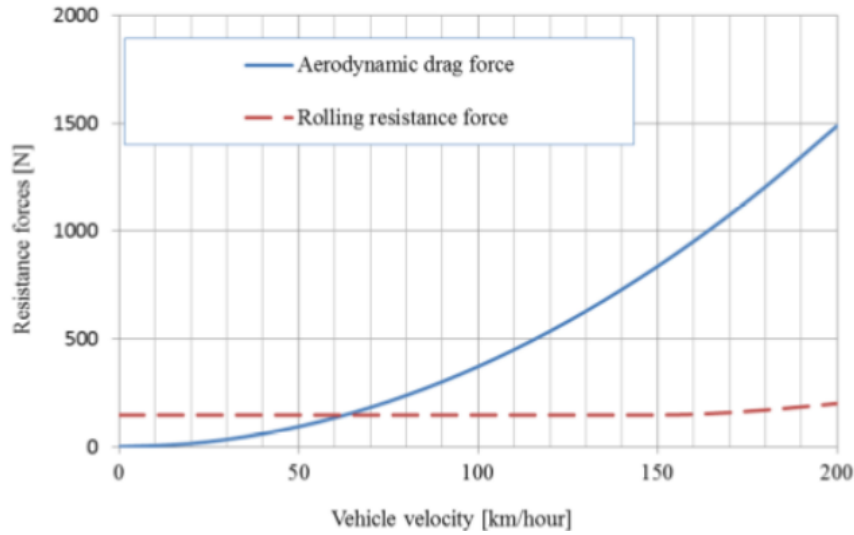
3.3.2. Hızlanmaya etkisi

Sürüş esnasında tekerleklerle iletilen güç, motor çıkışından elde edilen güçten oldukça düşüktür. Bunun sebebi güç aktarma sırasındaki sürtünmelere harcanan güç ve aracın ivmelenmesi sırasında harcanan güçtür.

Araçta tekerleklerle iletilebilecek güç, motor gücü ve güç aktarma kayıplarına bağlıdır. Aracın istenilen hıza ulaşabilmesi taşıta etkiyen direnç kuvvetlerini indirgeyecek bir kuvvetin tahrik tekerleklerinde oluşması ile gerçekleşebilir. Tekerleklerde elde edilen belirli bir güç için araca etkiyen direnç kuvvetlerinin artması taşıtın en yüksek hızının azalmasına neden olur.

$$P_t = R_t \cdot V_t \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2’de P_t tekerleklerdeki tahrik gücünü, R_t taşıta etkiyen toplam direnç kuvvetini ve V_t ise taşıt hızını ifade etmektedir.



Şekil 3.1. Aerodinamik sürtünme direnci ile yuvarlanma direncinin hıza göre değişimi [25]

4. ÜRÜN TASARIMI

4.1. Tekerleğin (İlişkili Olarak Jantın) Tarihi

Paleolitik çağdaki insanlar (15.000 ila 750.000 yıl önce) ağır, yuvarlakımsı nesnelerin hacimli, düzensiz olanlardan daha kolay yuvarlanarak hareket ettirilebileceğini keşfetti. Sonradan ağaç kütüklerinin üstüne ağır nesnelerin yerleştirilerek taşımanın gerçekleştirilebileceği anlaşılmıştır. Bir arkeolojik kazıda bilinen en eski tarihi M.Ö. 3500 yıllarına dayanan tekerlek Mezopotamya'da bulundu. Bu zamana kadar, insanlar bitki yetiştiriyorlardı, evcil hayvanları topladılar ve bir tür sosyal hiyerarşiye sahip oldular [34].

Tekerlek sadece kenarı dönen bir silindir değildi. Sabit bir platforma bağlı bir silindirdi. Aksın uçlarının yanı sıra tekerleklerin ortasındaki deliklerin neredeyse tamamen pürüzsüz ve yuvarlak olması gerekiyordu. Bunu başaramamak, bu bileşenler arasında çok fazla sürtünme olmasına neden olur ve tekerlek dönmez. Tekerlek dingili kombinasyonunun karmaşıklığı göz önüne alındığında, tekerleğin başlangıçta çömlekçiler tarafından kullanıldığı ve Mezopotamya'da 5.500 yıllık çömlek döner tablası bulunduğu belirtilir. Bir çömlek yapımı için döner tabla kullanımı Neolitik çağlara da dayanabilir [35].

Bugüne kadar keşfedilen en eski ahşap tekerlek Slovenya, Ljubljana'da bulundu ve M.Ö. 3200 yılına kadar dayandığı düşünülüyor. Mısırlılar, M.Ö. 2000 yıllarında spoked tekerleğini icad ederken, Celtic bir binyıl savaşını takiben daha fazla güç için demir tekerlekler kullandı. Bununla birlikte, tekerlek, Robert William Thompson'ın otomobil ve bisiklet lastiklerinin önünü açan basınçlı hava kullanan bir lastik tekerlek olan Pnömatik lastiği icat ettiği 19. Yüzyıla kadar büyük ölçüde gelişmemiş kaldı [36].



Resim 4.1. Tekerleğin gelişimi

Tekerleğin fikri birçok icatta olduğu gibi doğadan da etkilenmiş olabilir. Doğada bir tekerleğe en yakın kanıt gübre böceğinin evidir. Gübre böcekleri yumurtalarını gübre içersine bırakır ve bir top haline getirerek naklederler. Doğada bulunan bir başka tekerlek de eskitmedir [37].



Resim 4.2. Gübre Böceği ve evi

1926 ve 1927'de ilk olarak elik kaynaklı jantlar icat edildi. Tekerlek, ilk katı tekerleklerle benzeyen disk tekerleklerin icadından sonra bile gelişmeye devam etti. elik jantların

maliyeti çok daha düşük olduğundan, düşük maliyetli jantlara olan talep keşfe yol açtı. Jantlar alaşım ve çelik olmak üzere iki tiptir. Bu iki tip tekerlek, tıknaz ve ağır olan ilk otomobil tekerleklerinden çok daha hafiftir [38]. Alaşım jantlar çelik jantlara göre daha hafiftir ve bu da çoğu koşulda daha yüksek performansta çalışmalarını sağlar. Ama çelik jantlar alaşım jantlara göre daha dayanıklı ve uzun ömürlüdürler. Alaşım jantlar çelik jantlardan daha pahalı olmalarına rağmen, piyasadaki jantların çoğu alaşım jantlardır. Günümüzde jantlar, şık ilaveler kullanılarak farklı özel tasarımlarda bulunur. Bu tür özel jantlar genellikle bir arabanın stil bölümünü yükseltmek için kullanılır [39].

4.2. Doğadan Esinlenme Yöntemleri-Tasarım Metodolojileri

4.2.1. Fibonacci serisi ve altın oran

Doğadaki spiral şekli sıklıkla görülmektedir. Spiral şekiller doğada merkez bir nokta etrafına eklenecek olan yeni strüktürlerin kaplayacağı alanı en aza indirgeme gibi fiziksel süreçlerin bir sonucudur. Bitkilerin bu spiral yapıları Fibonacci sayıları ile ilgilidir. Bu sistem parçaların bir nokta etrafında en verimli şekilde sarmalanmasını sağlar. Fibonacci numaraları 0'den başlayarak sonsuza kadar gider. Dizilimdeki her rakam bir önceki iki rakamın toplamı kadardır. Rakamlar 0,1,1,2,3,5,8,13,... gibi sıralanır [40].

4.2.2. Fraktal geometri

Doğadaki birçok örnek, büyümek için fraktal özellik gösterir. Fraktal Latince “parçalanmış, kırılmış” anlamına gelen “fractus” sözcüğünden gelmektedir. 1975 tarihinde Polonya’lı matematikçi Beneoit B. Mandelbrot tarafından ortaya konulan fraktal kavramı birçok alanla önemli etkiler yaratan yeni bir geometri sisteminin ortaya çıkmasını sağlamıştır [41].

4.2.3. Soyutlama yöntemi ile doğadan esinlenme

Soyutlama doğadaki prensiplerin biyolojik terimlerden sıyrılarak özündeki amaca yönelik kavramsallaştırılmasını ifade eder ve bu sayede farklı alanlara ilham kaynağı durumuna gelebilir. Soyutlama ürün tasarımında olduğu gibi, mimarlık ve sanat alanlarında çok kullanılan bir yöntemdir.

Resim sanatında nesne ile alakalı izlerin ortadan kalktığında soyut kavramından söz edilebildiği, soyutlamanın nesnenin özüne yönelik bir arayış olduğu belirtilmiştir. Ayrıca soyutlama, Malevich gibi Süprematist yaklaşımı benimseyen sanatçılar için saflığa ulaşmak anlamını taşımaktadır [42].

4.2.4. Doğaya öykünme

Doğaya öykünme, doğadan tasarıma aktarılabilecek konuya kapsamlı bir bakış açısıyla gerçekleşir. Burada birebir benzetimden uzak, doğadaki örneğin taklit edilmesi, form, işlev ya da sürecin değerlendirilmesi değil de, çağrışım yapılarak fikir aktarılması söz konusudur [40].

4.2.5. Doğaya benzetme

Tasarımda doğaya benzetme kavramı, doğadaki örneklerin biçim, işlev veya sistemlerinin değerlendirilerek tasarıma aktarımıyla ilgilidir. Bu benzetme biçimsel olduğu gibi işlevsel de olabilir [40].

4.2.6. Biyomimetik tasarlama- doğanın tekniğini değerlendirme

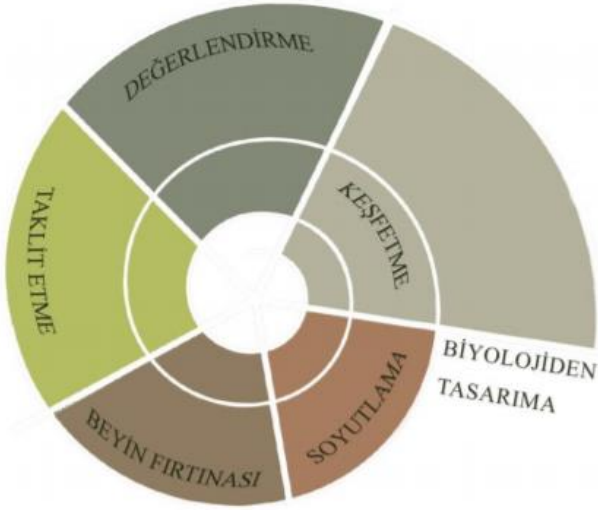
Ürün tasarımında doğanın tekniğini değerlendirme söz konusu olduğunda tasarımcı detaylı biyolojik bilgiye ihtiyaç duyar ve projenin derinliğine göre farklı disiplinlerden kimselerle ortak çalışma gerekliliği oluşur. Tasarımcının bakış açısı, teknik bilgi donanımı ve bu konudaki eğitimi bu yöntemi gerçekleştirebilmede önemli unsurlardır. Bu yöntemin tasarım için büyük bir potansiyeli vardır ve disiplinler arası güçlü iş birliği gerektiren bir yaklaşımdır [43].

Biyomimetik tasarlama konusunda araştırmacılar farklı yöntemler ortaya koymuştur. Bu yöntemler tasarım, mühendislik gibi alanlar için geliştirilmiş olup, biyomimikri yaklaşımının metodolojisi yaklaşımın farklı disiplinlerle iş birliği ve elde edilen ürünün sürdürülebilir olması gerekliliğinden, temelde diğer yöntemlerle benzer olsa da farklılık göstermektedir. Biyomimikri metodolojisinde izlenecek adımlar “tasarım spirali” olarak isimlendirilen şemada iki farklı yöntemle açıklanmıştır.

Bunlardan ilki biyolojiden tasarıma; doğada keşfedilen, tasarıma uyarlanabilecek örneklerin değerlendirilmesiyle yürüyen süreçtir. İkincisi biyolojiye sorma; tasarım için aranan çözüm için doğadaki örneklerin araştırılmasını sağlar. Bu yöntemde tasarımcının daha çok söz sahibi olduğu ve tasarımcının belirlediği problemin çözümüne yönelik araştırma yapılır.

Biyolojiden tasarıma;

1. Doğadaki modelleri keşfetme: Doğadaki canlıları ve ekosistemleri yakından gözlem yaparak, literatür taraması ile, biyologlarla fikir alışverişi yaparak, “asknature.org” gibi veri tabanlarına ulaşarak keşfetmeyi gerektiren aşamadır.
2. Biyolojik prensipleri soyut hale getirme: Doğada tespit edilen form, süreç veya sisteme karar verilir ve bu aşamada belirlenen strateji tasarımcılara anlatılmak üzere soyut hale getirilir.
3. Olası uygulamaları düşünme: Tanımlanan çözümün hangi alanda yenilik getireceği, mevcut problemlere çözüm niteliğinde olabileceği düşünülen aşamadır.
4. Doğanın stratejisini taklit etme: Belirlenen mevcut çözümler bir süzgeçten geçirilerek detaylandırılır. Sürdürülebilirlik çerçevesindeki ilkeler tasarıma dahil edilir.
5. Yaşamın ilkelerini değerlendirme: Çözüm belirli ilkeler kapsamında değerlendirilir ve gözden geçirilir. Çözümün sonraki aşamaları geliştirilmek üzere tanımlanır ve yeni sorular belirlenir. Çözümün çevreye uyumluluğu, malzeme veya enerji tasarrufu gibi sürdürülebilirlik ile ilgili konular göz önünde bulundurularak süreç tamamlanır [43].



Şekil 4.1. Biyolojiden tasarıma metodolojisi

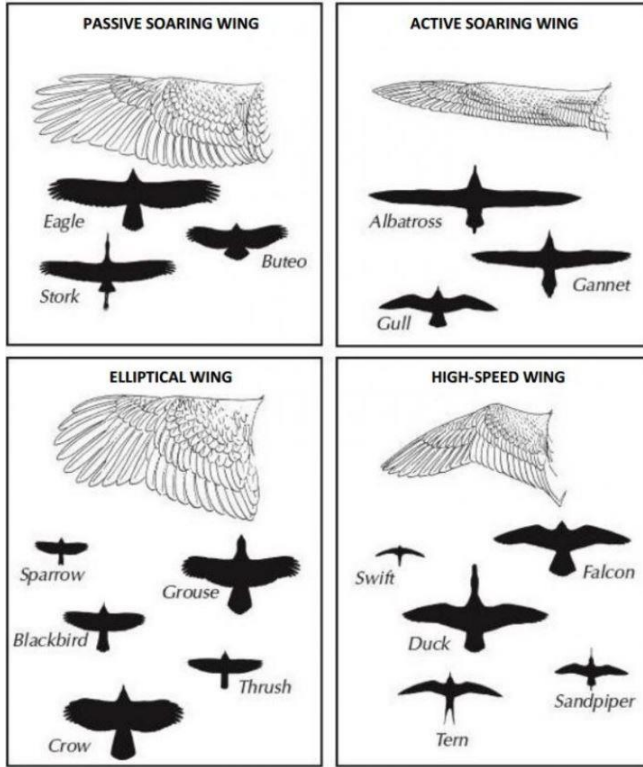
4.3. Biyomimetik Tasarım Çalışma Süreci

İşlevi Belirleme: Kuşlardaki aerodinamik kanat yapısını araç üzerindeki toplam sürtünme kuvvetini en aza indirmek için tekerlekteki direnç kuvvetini azaltan enerji tasarrufu ve yüksek performans sağlayan tasarıma dahil edilmesi.

Kapsamı tanımlama: Binek otomobillerde toplam sürtünme kuvvetini en aza indirmek için tekerlekteki direnç kuvvetini azaltan enerji tasarrufu ve yüksek performans sağlayan jant modeli tasarım modeli olarak belirlenmiştir.

Adımlar;

1. Doğadaki modelleri keşfetme:



Şekil 4.2. Farklı türdeki kuşların kanat tipleri

Pasif yükselen kanatların uzun birincil yayılan tüyleri, kuşun "termal" olarak adlandırılan sıcak dikey hava sütunları yakalamasına izin verir ve havaya yükselir. Bu kanat tipine sahip kuş örnekleri arasında kartallar, şahinler ve leylekler vardır.



Resim 4.3. Şahin, leylek ve kartal kuşları

Aktif yükselen kanatlar uzun ve dardır. Kuşların kanatları uzun süre uçuşmasına veya çırpmadan uçuşmasına izin vermektedir. Ancak, bu kuşlar rüzgar akımlarına pasif yükselen kuşlardan çok daha bağımlıdır. Kuş örnekleri bu kanat tipi için albatroslar, martılar ve sümsük kuşlarıdır.

Laysan Albatrosu çok uzun ve dar kanatlara sahip olup yukarı-aşağı uçuş tarzıyla suya yakın uzun mesafelere gitmek için rüzgar hızındaki farklılıkları kullanarak çok fazla enerji harcamadan okyanusun üzerinde uçar.



Resim 4.4. Martı, sümsük ve albatros kuşları

Eliptik kanatlar, yüksek hızlı kısa patlamalar için iyidir. Kanatlar hızlı kalkışlara ve sıkı manevralara izin verir. Onlar yüksek hız izni verirken, hız uzun süreli korunamaz. Kuş örnekleri bu kanat türü için kargalar, kuzgunlar, karatavuklar, sinek kuşu ve serçelerdir.

Vurgulanan kanatlar küçük ve hızlıdır. Vurgulama kanatları için, ek olarak kanat şekline göre, kuşun sinirleri ve kasları inanılmaz hızlı hareket için özel olarak yaratılmıştır. Sinek kuşu hızlı ve güçlü kanatları sayesinde çiçekten çiçeğe gezerken ve nektarı yudumlarırken yüzüyor gibi görünebilir.



Resim 4.5. Serçe, karatavuk, sinek kuşu, karga ve kuzgun

Yüksek hızlı kanatlar uzun ve incedir, ancak neredeyse aktif yükselen kanatlı kuşlar kadar uzun değildir. Adından da anlaşılacağı gibi, bu kanatlı kuş tipleri inanılmaz hızlıdır. Ancak eliptik kanatlı olanlardan farklı olarak, bu kuşlar daha uzun bir süre hızlarını koruyabilirler. Bu kanat tipindeki kuşlara örnek olarak; ebabilgiller, ördekler, şahinler, doğangiller, kırlangıçlar ve çullukgiller [44].



Resim 4.6. Kırlangıç, şahin, çulluk, ördek, ebabil ve gökdoğan (bayağı doğan)

2. Biyolojik prensipleri soyut hale getirme:

Bilimsel adı *Falco peregrinus* olan gökdoğanlar, hassas manevralar yapmalarını ve çevik avı yakalamalarını sağlayan yüksek aerodinamik kuvvetler üreten kanatlara sahiptir. Avlanırken büyük yüksekliklerden ve aşırı hızlarda dalarlar. Fizik tabanlı bir bilgisayar simülasyonu kullanarak Hollanda ve İngiltere'deki araştırmacılar, onlara aşırı fiziksel ve bilişsel talepler getiren bir saldırı stratejisi geliştirdiklerini açıkladılar. Araştırma ayrıca otonom çırpma kanadı uçağı geliştirilmesine de yardımcı olabileceği belirtildi [45].

Gökdoğan, dünyanın en hızlı dalış kuşu ve gezegendeki en hızlı hayvandır. Guinness Dünya Rekorlarına göre 2005 yılında ABD, Washington, Friday Harbor kasabasında Ken Franklin'e ait adı “Korkunç” olan bir gökdoğan, yaklaşık 4,8 km yükseklikten avın peşinden alçalarak dalış yaptığı sırada 389,46 km / saat hızla hareket kaydedildi [46].

3. Olası uygulamaları düşünme:

Tekerlek olarak istenen özellik hız ve enerji tasarrufudur. Enerji tasarrufu bütün kuşların ortak özelliği olduğu için en hızlı kanat tipine ve özelliğine sahip olan gökdoğanların kanat yapıları tasarımda kullanılmasına karar verilmiştir.

4. Doğanın stratejisini taklit etme:

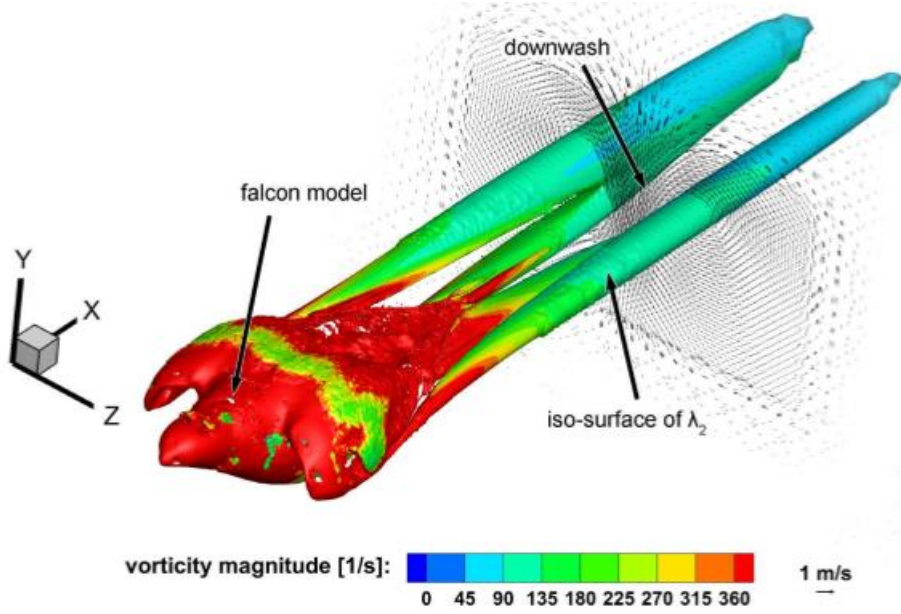
Gökdoğanların uçuş özellikleri incelenmiştir. İncelemelere göre bu inanılmaz işler yapan kuş türü hızlanma esnasında kanatlarını gövdesine yaklaştırarak şeklen M harfi yaparak hızını artırmaktadır. En hızlı uçtuğu esnarlarda bir nevi kanat gövde yapısını su damlasına benzetmektedir.

Kuşun yaptığı dikey hareket nedeniyle süpürülen bir hava hacmi vardır. Hava hacmi jant içindeki kanatların dönerek yaptığı hareket esnasında da süpürülmektedir. Bu nedenle Gökdoğan kuşunun yaptığı dikey hareketin jantın yaptığı dairesel hareketle süpürülen hava hacmi ve hava direnci açısından benzerdir. Bu gözlem jantta sabit kanat yapılı tasarım olarak düşünüldü. Kanat kesit yapısı olarak yağmur damlası baz alınması uygun görülmüştür.



Resim 4.7. Gökdoğan kuşunun jant tasarımına dahil edilmesi

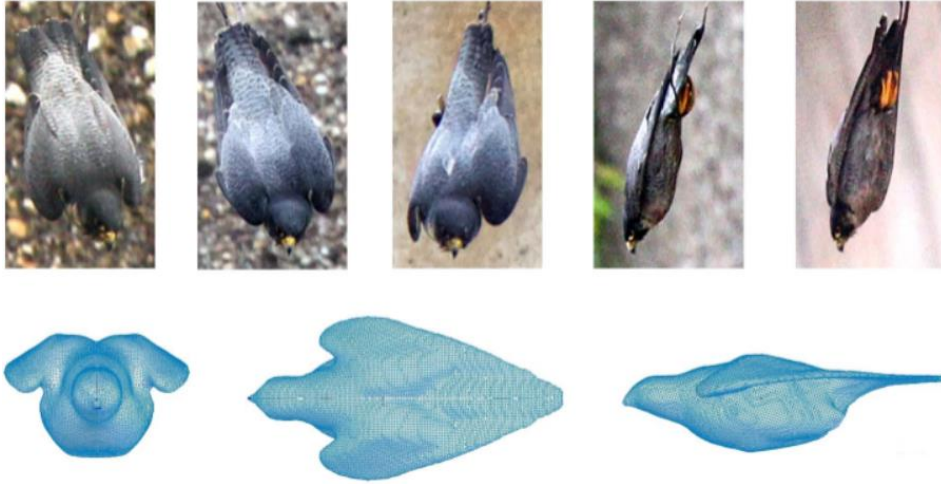
Ponitz B., Triep M., Brücker C. (2014), yaptıkları gökdoğan kuşunun aerodinamik analiz çalışmasında bir gökdoğan kuş modelini 3d olarak simüle etmişlerdir. Model üzerinde akış analizi yapan araştırmacılar sonuçları ortaya çıkarmışlardır. ICEM CFD ve OpenFOAM yoluyla yapılan sayısal simülasyonların sonuçları, vücut yüzeyi çevresinde ve bir çift vücut girdabı ve uç girdabı gibi gökdoğan modeli için baskın akış yapılarını gösterir. Gömülü kanat profili için sürtünme, açılan kanatların konfigürasyonu ile kaldırma etkisinin artması ilişkisine göre azalır [47].



Şekil 4.3. Uyanık girdapların uzamsal düzenlemesinin üç boyutlu görselleştirilmesi

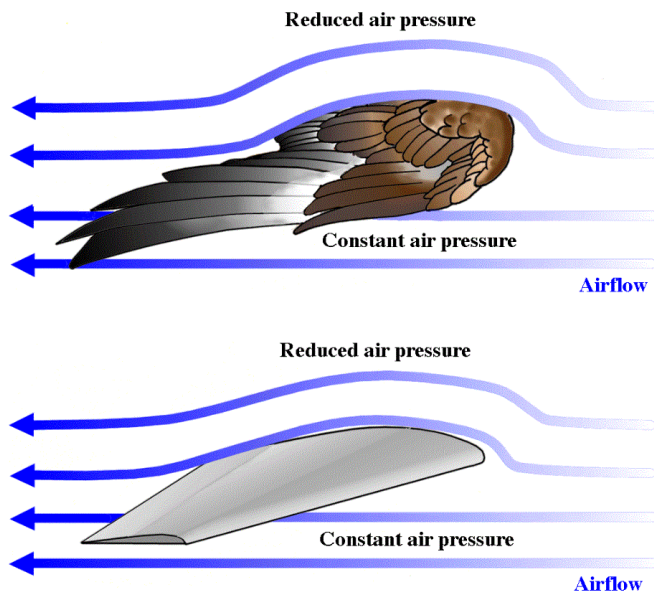
Şekil 4.3.'te kuşun dalış uçuş koşullarında kanat şeklini değiştirerek vücut kuvvetlerini ne kadar ince ayarlayabileceğini gösterir. Burada çıkarılan sonuçlar modelin pürüzsüz bir yüzeyine dayanmaktadır. Doğada vücut da uçuşta rol oynayan tüylerle kaplıdır. Tüylerin küçük ölçekleri ve elastik özellikleri dikkate alınmamıştır [47].

Bir başka araştırma da gökdoğanın gerçek zamanlı yüksekte dalış aerodinamiği araştırılmıştır. Araştırma deneyi için gökdoğan kuşu 60 metre yüksekliğe sahip barajdan dalış yapmak için eğitilmiştir. Deney sırasında uçuş yörüngesi kameralarla kayıt altına alınmıştır. Bu kayıttaki görüntülerle gökdoğan modeli oluşturularak rüzgar tüneline akış analizi yapılmıştır. Sonuçlar 3d simülasyon sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Kayıt görüntülerine göre dalış esnasında tüylerin açıldığı gözlemlenmiş modeldeki eşdeğer bölgelerde akış ayrılmasını olduğu ortaya çıkmıştır [48].

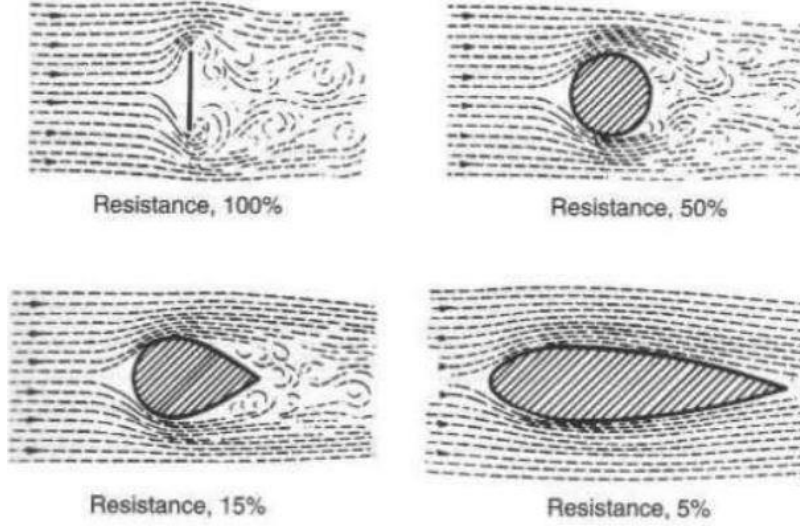


Şekil 4.4. Üst resimlerde baraj duvarının önündeki bir gökdoğanın dalış uçuşları sırasındaki resimleri gösterilmekte ve alt görüntüde uçuşun açık kanat şekli konfigürasyonu model olarak dönüştürülmüş hali gösterilmekte

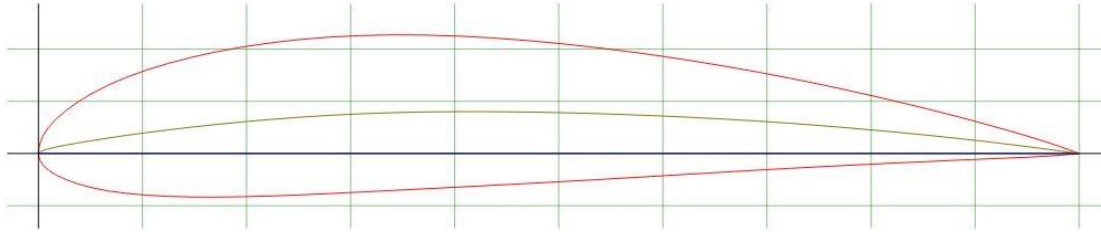
22,5 m/s lik dalış hızı ve 5 derecelik hücum açısı için kaldırma katsayısı 0,0,870 sürtünme katsayısı 0,0941 olarak hesaplanmıştır. Bu, sıfır hücum açısında elde edilen değerlere kıyasla kaldırma için %96 ve sürtünme için %10'luk bir artışa eşitti. Sonuç olarak açılan tüylerin mevcudiyetinin, model kanatlarla kaplı gövde üzerindeki deneylerde ve simülasyonlarda olduğu gibi, gökdoğanın dalış uçuşu sırasında bu lokal akış ayrımını önlediği ortaya çıkmaktadır [48].



Şekil 4.5. Gökdoğanın dalış esnasında girdiği yağmur damlası formu



Şekil 4.6. Farklı geometrilerin aerodinamik davranışları



Şekil 4.7. NACA 4415 Yağmur damlası profili [49]

Kanat yapısı olarak gökdoğan kuşu kanadından, kanat kesit yapısı olarak da en mükemmel yapıya sahip yağmur damlasından esinlenildi.

Kanat Tasarımında Yağmur Damlası

- Minimum Sürtünme
- Maximum Hızlanma
- Maximum Enerji Tasarrufu
- Minimum Enerji Sarfıyatı
- Maximum Güç Eldesi

Gibi nedenlerden dolayı yağmur damlası profili aerodinamik tasarımlarda kullanılan en önemli profildir. Bu etkenleri önemseyen bir tasarımcı yağmur damlası profilini kullanmak zorundadır.

Jant kanat tasarımı yapmak bu etkenlerin hepsine sadık kalmayı kılar. Bu yüzden kanat kesitimiz yağmur damlası profilinde olmak zorundadır.

1933 yılında NACA tarafından yapılan kanat profili çalışmalarıyla ilgili bir yayın yaptı. Bu yayında NACA 4 basamaklı kanat profili tanımlamasını yaptı. Bu tanımlamaya göre verilen bu dört basamak, kanat profilinin genel şeklini tanımlar.

NASA, hava araçları için yaptığı deneyler sonucu ortaya çıkardığı yağmur damlası profilleri vardır. Bu profillere isimlerini şimdiki ismi NASA olan bir önceki ismi NACA olan kuruluş vermiştir. Kanat profilinde de minimum C_d (hava sürtünme katsayısı)' ye sahip olan NACA 4415 kullanılmaktadır.

Kanat kesitini de en uygun aerodinamik yapıya sahip olan yağmur damlası şeklini baz alarak tasarlamayı uygun gördük. Tasarım çalışması jant tasarımı bölümünde detaylandırılacaktır.

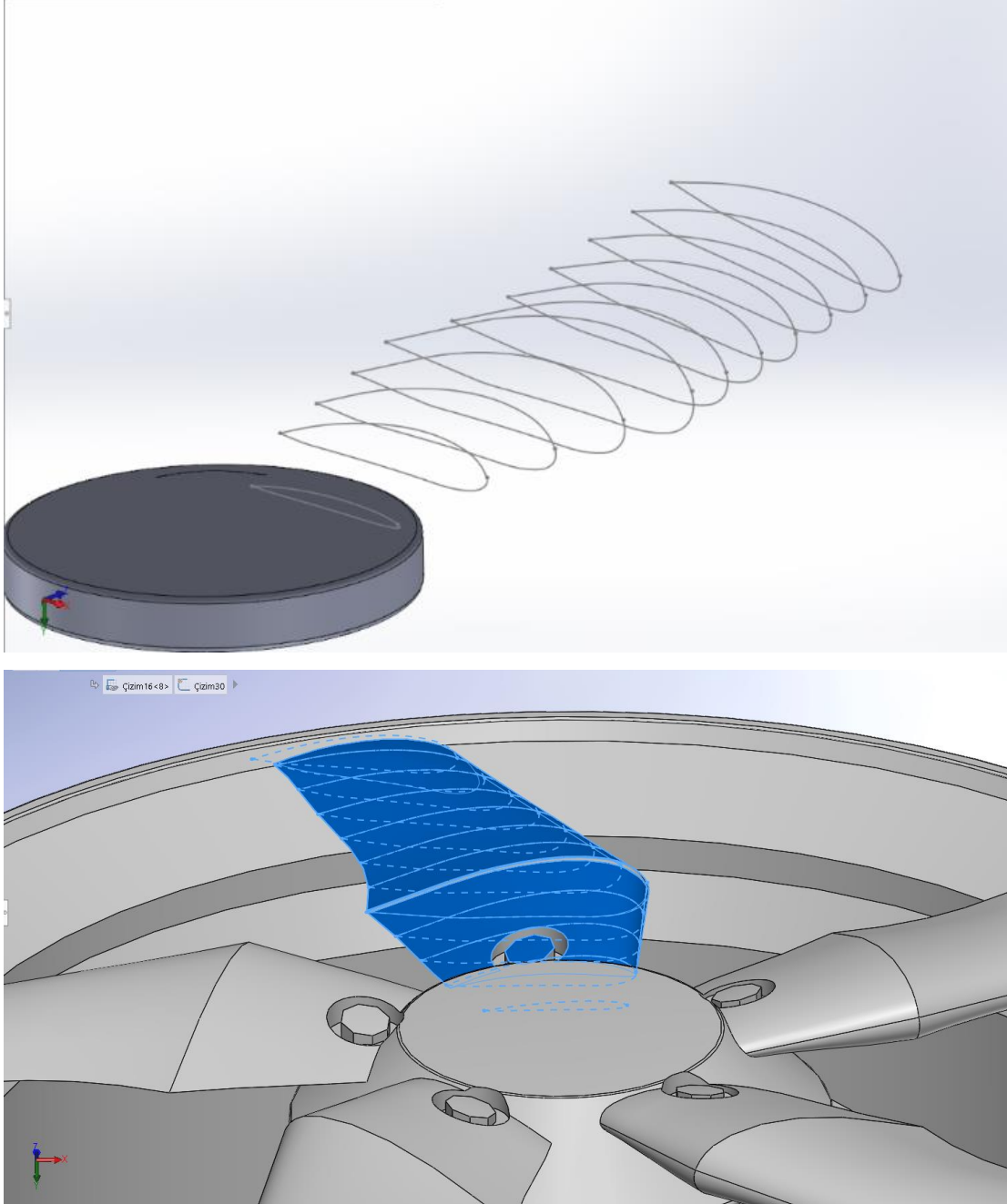
5. Yaşamın ilkelerini değerlendirme:

Çözümün analizi yapılmadan kesin sonuç ifadeleri söylenemez. Çözüm olarak sunulan tasarım şeklinin araç aerodinamiğine etkisinin olacağı ve jant yapısında görsel olarak da değişimde bulunacağı yadsınamaz. Sonuçlandırma aşaması 5. ve 6. bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

4.4. Jant Tasarımı

Farklı yapılarda jantlar mevcut olmakla birlikte bu jantlar farklı amaçlarla kullanılmak istenebilir. Rüzgar direncine karşı yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla araçlarda aerodinamiği uygun hale getirmek istenmektedir. Jant, gövde ve kanatlardan oluşmaktadır. Jant gövdesi akslara jant kanatları da lastiğe bağlıdır. Tekerlek, gövde eksenli döndüğü için jant gövdesinin süpürdüğü bir hava hacmi yoktur. Ancak jant kanatları aralarındaki boşluk sebebiyle içerisine hava giriş çıkışı olmakta ve hareket halinde bu hava kanatlara direnç oluşturmaktadır. Bu direnç uygun kanat tasarımıyla en aza indirgenebilir. Aynı zamanda uygun açıyla içeriye aktarılan havayla balata ve fren diskinin oluşturmuş olduğu ısı düşürülebilir. Böylece fren performansı artabilir. Bu kanatlar tek tip tasarım olmakla birlikte hareketli şekilde de olabilir. Frenleme esnasında kanatlar havayı içeriye süpürecek şekilde

otomatik açılındırılıp ayarlanıp frenleme performansı arttırılabilir. Böyle çalışmalar artırılıp optimize bir sonuç çıkarılabilir. Çalışmada jant kanat sayısı olarak en çok kullanılan 5 kanatlı model seçildi. Bu çalışmada sadece janttan kaynaklanan aerodinamik yapıya etkiyen direnç kuvvetleri indirmek hedeflenmiştir.



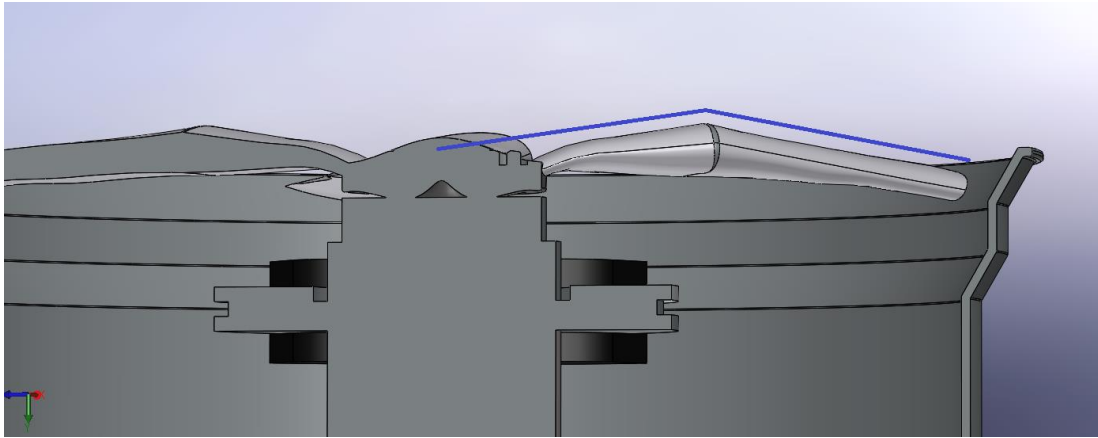
Resim 4.8. Tasarlanan kanadın kesit yapısı

Çoğu jant aerodinamik tasarımcıları yaptıkları araştırmalarda kapalı yapıda jantların kanat yapıları jantlara göre aerodinamik açıdan daha avantajlı olduğu tespit edilmiş, çalışmalarda

gösterilmiştir. Ama Vdovın, Aerodinamik sürüklenme kuvveti açısından nispeten iyi bir performansa sahip olduğu bilinen kalın bir dış yarıçapa sahip jantlar, havalandırma direnci açısından en iyi sonuçları gösterdiği ve toplam aerodinamik dirençler karşılaştırıldığında, bu konfigürasyonun tamamen kaplanmış bir janttan biraz daha verimli olduğu bulunmuştur [25]. Kullanıcılar tarafından bu tür kapalı jantlar döküm jant kapakları gibi estetik yönünden güzel görünmeyen bir yapıda olduklarından tercih edilmemektedirler. Hatta bilindiği gibi halk tarafından çelik jant olarak adlandırılan kanatlı jantlar araçların değerlerini artırmaktadır. Ayrıca kapalı yapıdaki jantların fren performansına olan etkileri bu araştırmalarda incelenmemiş veya açık jantlara göre etkileri gözlemlenmemiştir.

Bu araştırmaların hiçbirisi doğadan esinlenerek yapılmamış genellikle deneme yanılma veya yapılanı geliştirme yoluyla yapılmışlardır. Yaptığımız literatür taramasına göre biyomimetik bilimi jant aerodinamiği konusunda kullanılmamıştır. Bu nedenlerden dolayı tasarım, mükemmel özelliklerde yaratılan canlılarda aranmış ve çalışmamıza uyarlanmıştır.

Fotoğraflarda da görüldüğü gibi kuşlar hızlı uçmak istediklerinde süzülürken kanatlarını ters V şeklinde hafif bükerek. Bu akan havanın kanatlarına temas yüzeyini azaltıp en ekonomik uçuşu sağlamakla birlikte gövdelerinden kanat uçlarına doğru hava akış hızını artırmaktadır.



Resim 4.9. Tasalanan kanat yapısının dönüş yönüne göre ön kesit görünüşü (Mavi çizgi ters V şeklinde olduğunu gösterir)

Tasarlanan kanat yapısal olarak gökdoğan kuşundan esinlenilmiştir. Buna göre kanadın dönme yönüne göre ön kesit görünüşü Resim 4.9.'da gösterilmiştir. Aynı kuşlar gibi ters V kanat şekli verilmiştir.

Hatta göçmen kuşlar V şeklinde topluca uçarak en uygun aerodinamik hareketi kazanmaktadırlar. Araştırmacılar, kuşların uçuş sırasında kanat hareketlerini sürüdeki en yakın kuşun hareketine göre ayarlayarak hava akımını en verimli şekilde kullandığını gösterdi. ‘V’ şeklindeki uçuş sırasında kuşların kanat hareketlerinin birbiriyle uyumlu olduğu, böylece yukarı yönlü hava akımından en yüksek düzeyde yararlandıkları, bir kuşun diğerinin hemen arkasında uçtuğu zamanlar ise kanat hareketleri arasında uyumun ortadan kalktığı ve aşağı yönlü hava akımının etkisi en aza indiği anlaşıldı [50].



Resim 4.10. Göçmen kuşlar

Bu gözlemimizle gökdoğan kuşundan kanat tasarımı ilhamı aldık. Yağmur damlası kanat kesit şekliyle tasarım oluşturuldu. Tasarımda 205/55 R16’ lık birebir jant ölçüleri kullanılmıştır. Tasarım çalışmaları Solidworks programında gerçekleştirilmiştir.

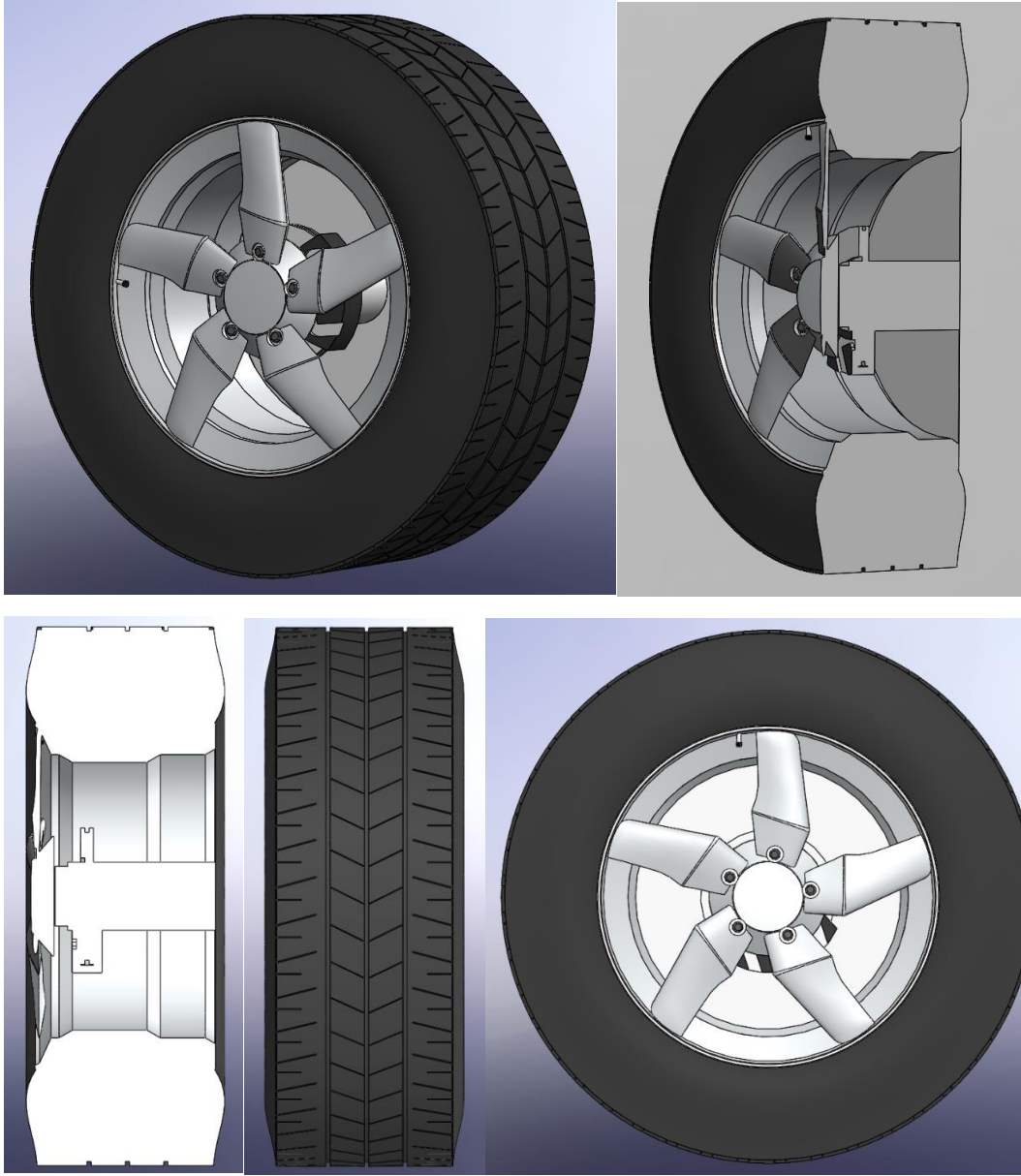
Bu jant seçiminin metrik birimdeki ölçüleri şunlardır;

-Taban genişliği: 205 mm

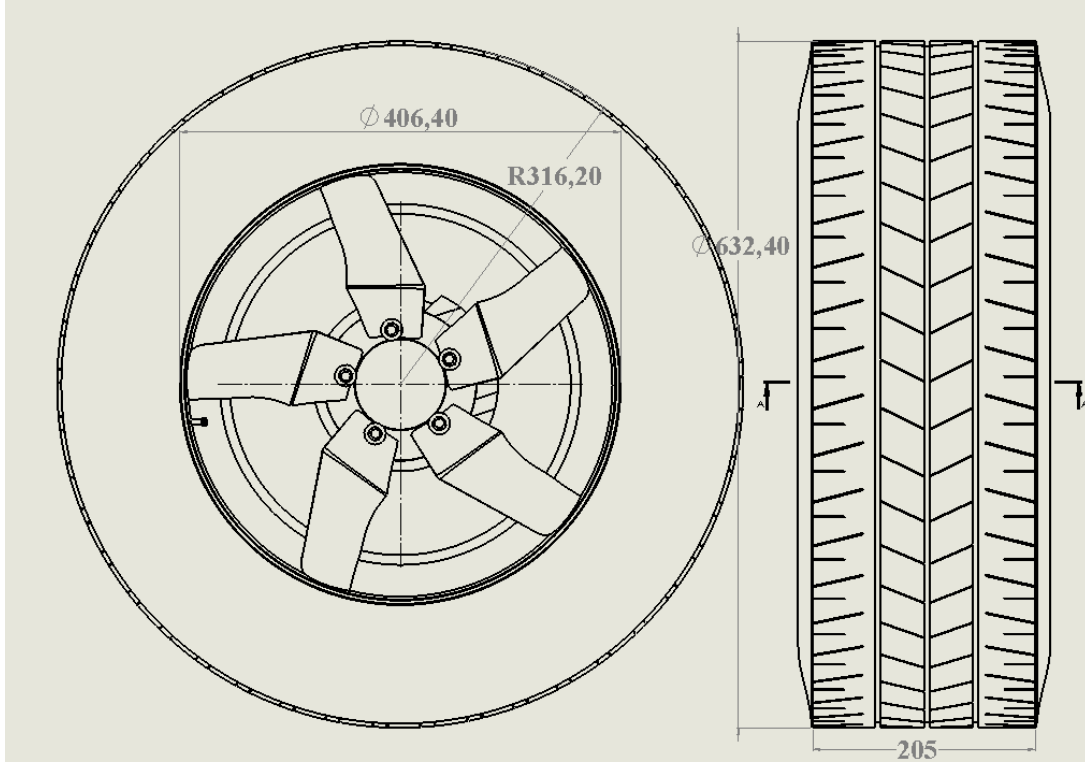
-Yanak yüksekliği (lastik yanak yüksekliğinin taban genişliğine oranı): %55/113 mm

-Jant çapı: 406 mm

-Tekerlek çapı: 632 mm

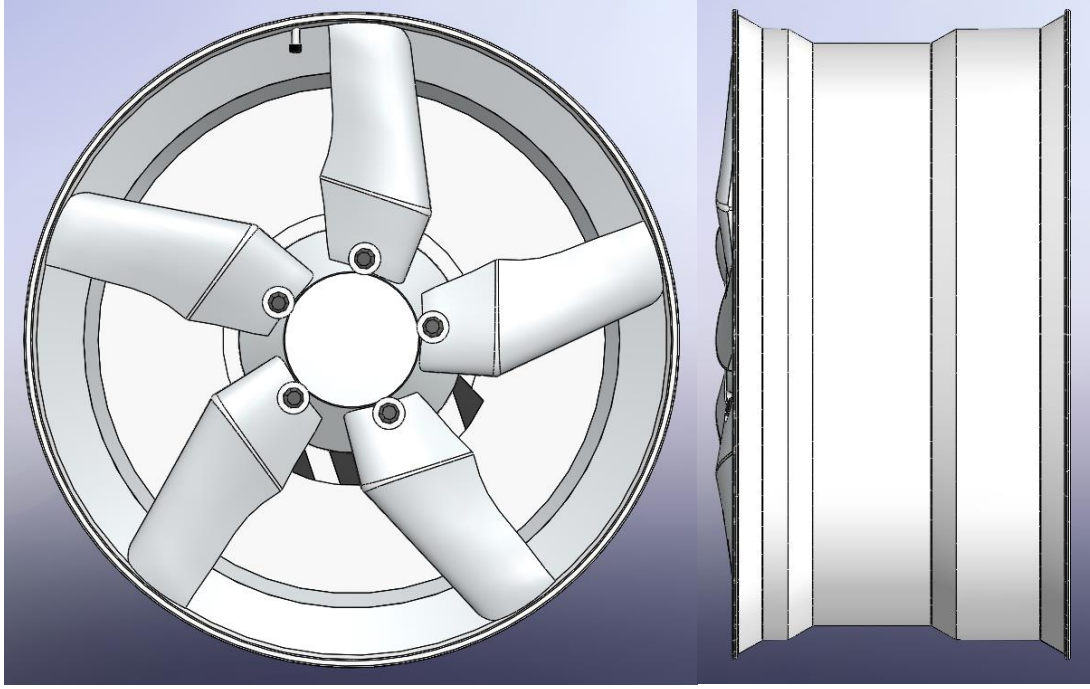


Resim 4.11. Biyomimetik yaklaşımla elde edilen tasarımın çeşitli açılardan görünümleri



Resim 4.12. Tasarlanan jantın teknik ölçüleri

Tasarım katı model komutuyla programda oluşturulmuştur. Ölçü olarak 632 mm tekerlek çapı, 406,4 mm jant çapı, 113 mm yanak yüksekliği, 205 mm taban genişliği kullanılmıştır. Devam eden görsellerde lastikli ve lastiksiz olarak gösterilmiştir. Devam eden görsellerde de görüldüğü gibi jant tasarımı ön görünüşten gözükmemekte ve lastik kaplamasının iç tarafında yer almaktadır.



Resim 4.13. Biyomimetik yaklaşımla elde edilen tasarımın lastiksiz yandan ve önden görünümü

5. TASARIMIN AKIŞ ANALİZİ

5.1. Akış Analizi Öncesi Şartların Tayini

1999 yılında araştırmacılar Hiperroad adını verdikleri yazılım sistemini geliştirmişler. Ferrari F550 aracını test ederek tutarlı sonuçlar elde etmişlerdir. Yapılan güncellemelerle CFD yazılım analiz verileri %1,8 hataya kadar düşürülmüştür [14].

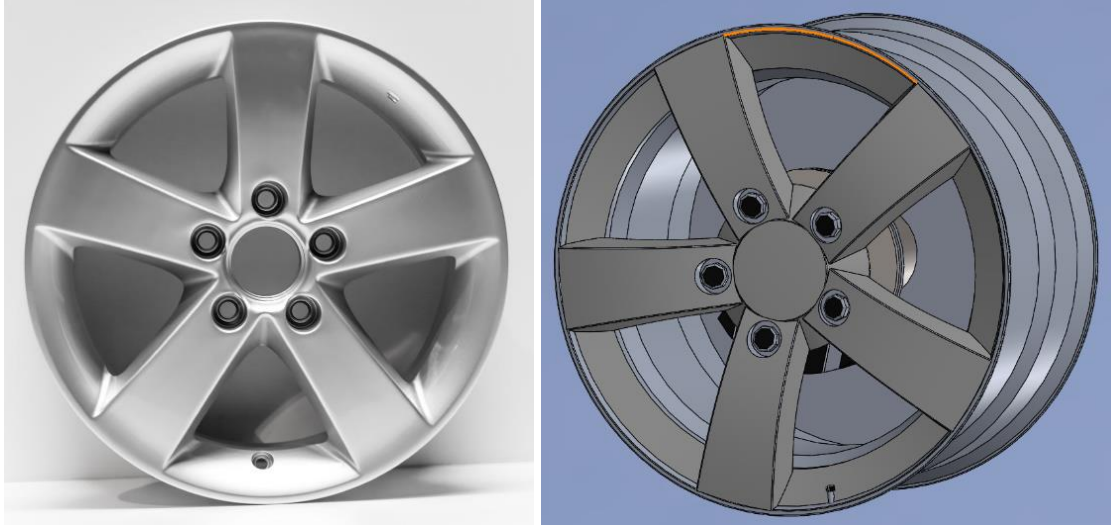
Bu metodoloji bir otomobilin yakıt ekonomisini iyileştirmeye ve emisyonlarını azaltmaya, uçağın çevresel sesini azaltmaya ve rüzgar türbinlerinin enerji üretimi için verimliliğini artırmaya yardımcı olacaktır [51].

Bu bölümde Solidworks programının Fluent modülü kullanılarak ve analiz için bir rüzgar tüneli modellendi. Jant dönüşü için tekerlek ebatından biraz büyük dönüş hacmi oluşturuldu. Daha sonra model sonlu elemanlara ayrılarak ağ yapısı oluşturuldu (MESH). Bilgisayarda analiz yapılacak hacimler belirlenmiştir. Sonrasında çözümleme için gerekli sınır şartları tayin edilmiş ve otomatik belirlenen iterasyon sayısında çözüm yapılmıştır.

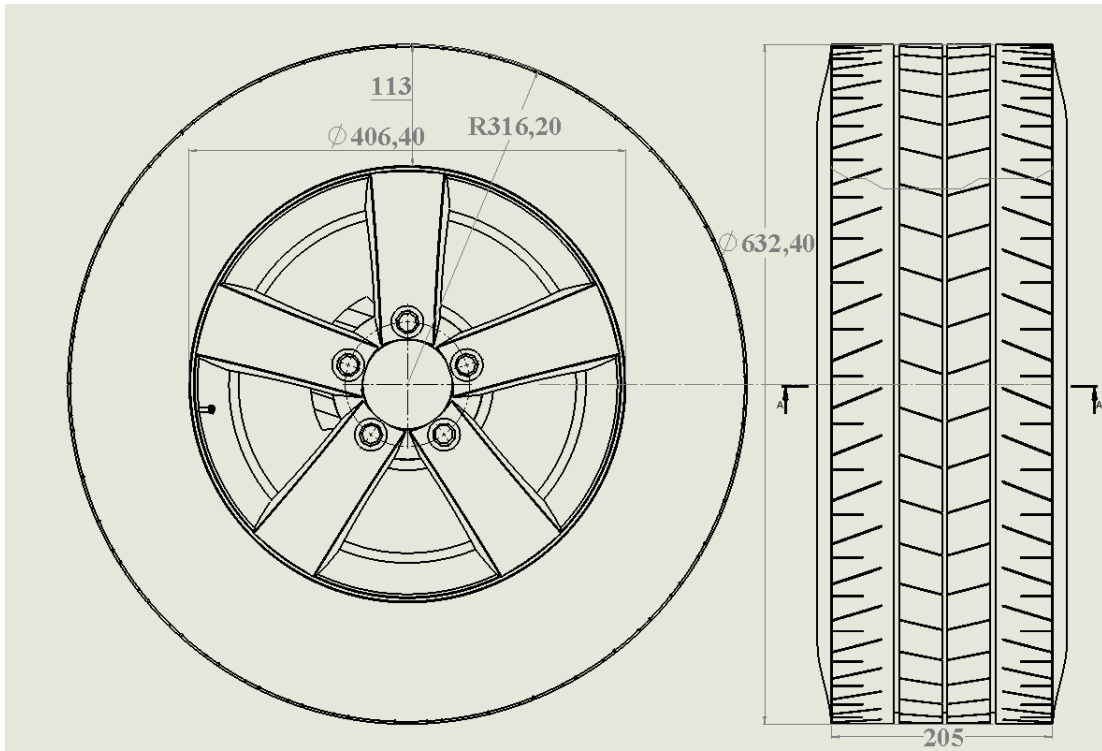
Analiz çalışması Solidworks programının Fluent Simulation komutunda gerçekleştirildi.

Analiz için tasarlanan jantla birlikte yine aynı ebatlara sahip standart bir jant modeli tasarlandı. Bu iki jant modelinin analizlerini kıyaslayarak tasarımın olumlu taraflarını gözlemleme imkanı bulmuş olundu.

Seçtiğimiz jant modeli Honda Civic 1.6 i-VTEC Elegance aracının 2007-2011 yıllarındaki kasasına ait orijinal jantıdır. Bu jant modeli standart bir tasarım yapısına sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir.



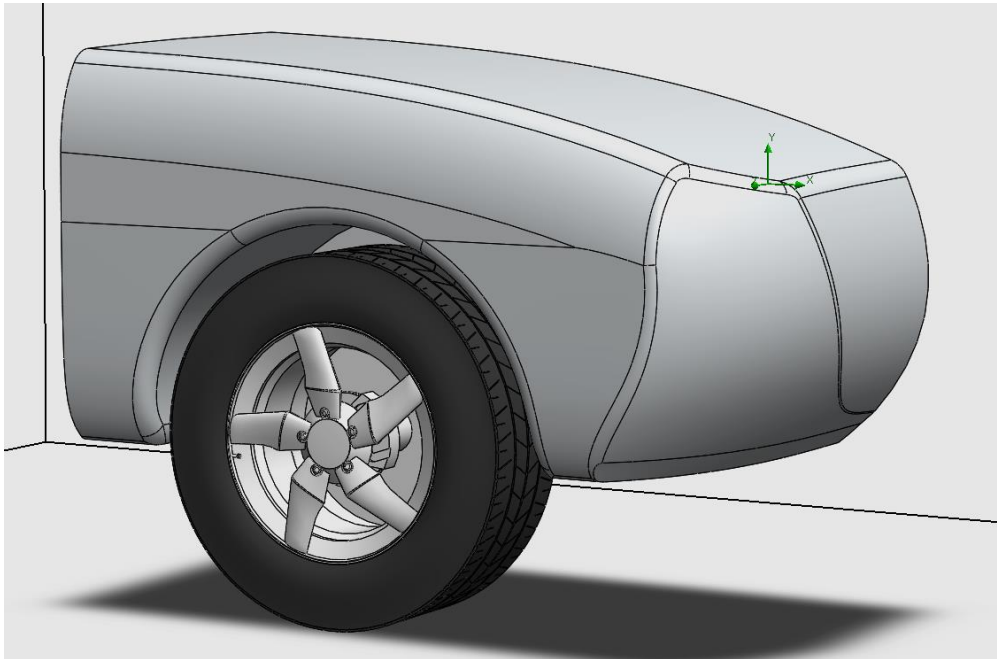
Resim 5.1. Analiz sonuçları için belirlenen jant modeli ile tasarlanan jant modeli





Resim 5.2. Seçilen jant modelinin teknik ölçüleri ve 3 boyutlu görünümü

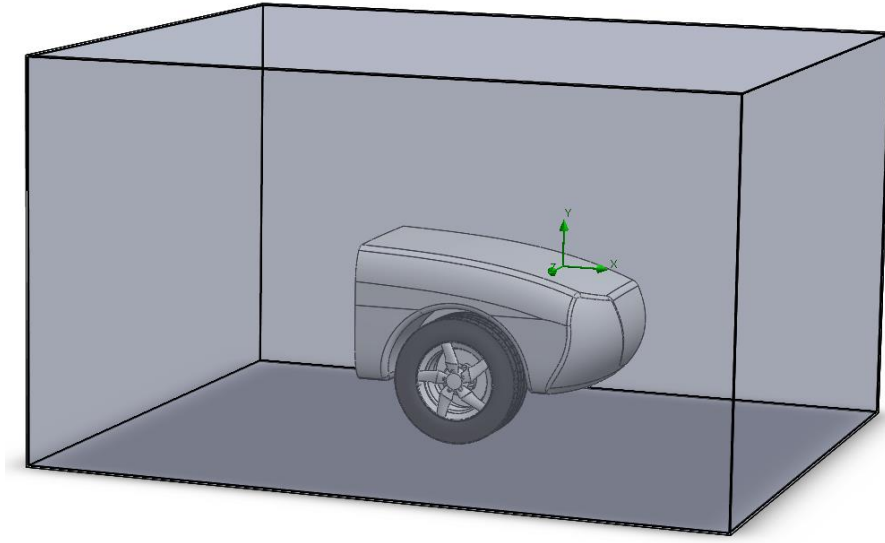
Resim 5.1. ve 5.2.'de seçilen jantın Solidworks 2016 programında modellenen katı görüntüleri gösterilmektedir. Bu jantın kanatları ve bijon delikleri haricinde bütün tasarımı biyomimetik bilimi ile tasarlanan jant ile aynıdır.



Resim 5.3. Analizin gerçekçi sonuç elde etmesi için tasarlanan çamurluk

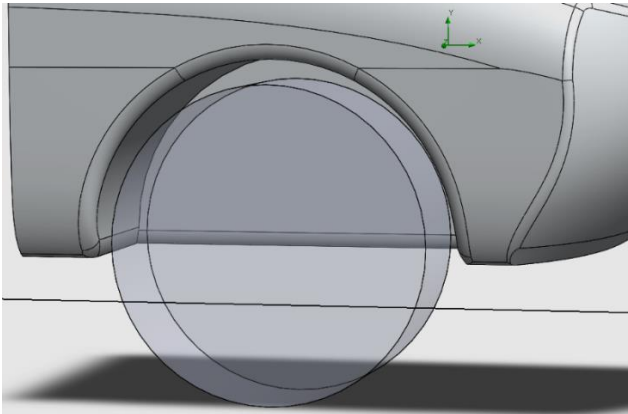
Araç tekerleği üzerindeki çamurluk tekerleğe çarpan havanın bir kısmını dağıtır. Bu yüzden yalnız tekerleğin değil çamurluklu modelle analizin yapılp sonuçların değerlendirilmesi lazımdır.

Çamurluk gerçek araç boyutları göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Tekerleğin binek araçlarda kullanılması yönünde inceleme yapıldığı için çamurluk etkisi de analize dahil edilmiştir.



Resim 5.4. Analiz kafesi

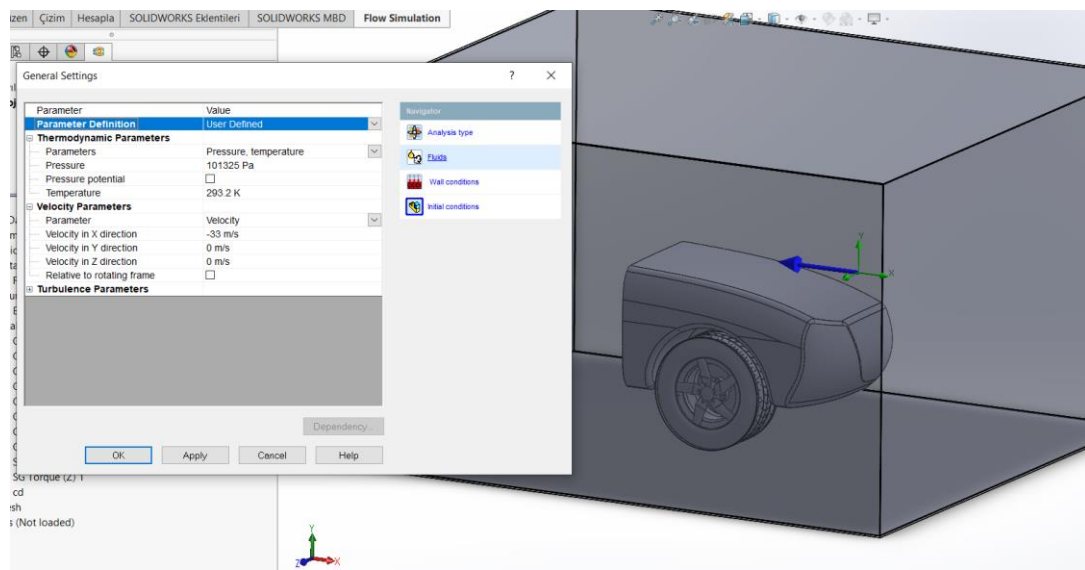
Analiz kafes yapısı oluşturulup analiz bu kafes içinde gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem analizin daha kısa sürede sonuçlanması sağlamaktadır. Kafes 2000 mm yüksekliğinde 3000 mm genişliğinde 7000 mm derinliğinde modellenmiştir.



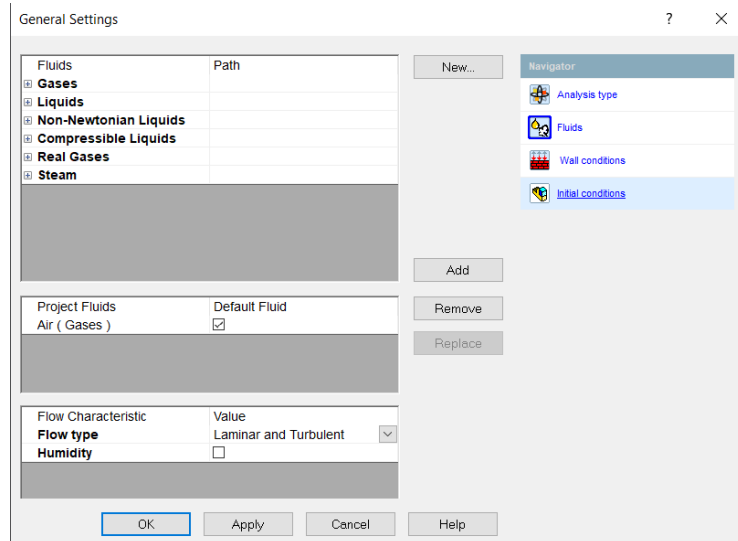
Resim 5.5. Jant hareketinin gerçekleşeceği analiz silindiri

Programda kullanılacak kendi eksenindeki jant hareketinin analizinin yapılacağı silindir 633 mm çapında ve 250 mm genişliğinde modellenmiştir.

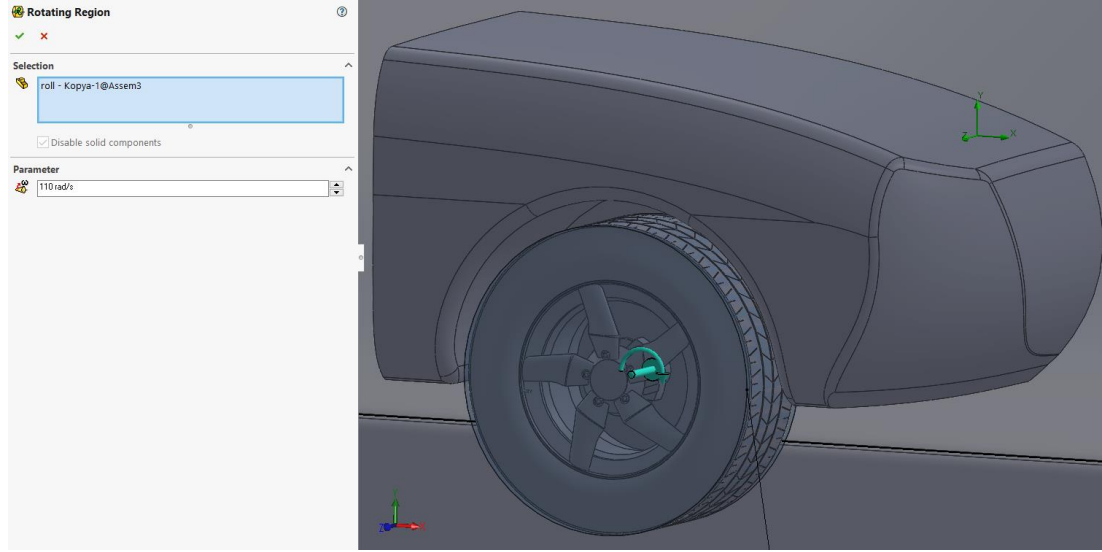
Analiz parametreleri olarak akışkan cinsi hava seçilmiştir. 1 atm çevresel basınçta 20 °C sıcaklıkta, rüzgar hızı olarak araç 120 km/h hızla giderken maruz kaldığı rüzgar hızı olan 120 km/h' a denk gelen 33 m/s' lik hız kullanılmıştır. Tekerlek hızı aracın saatte 120 km yol almasına denk gelen 110 rad/s' lik dönüş hızı kullanılmıştır. Ayrıca tekerlek zemin üzerine yerleştirilerek yol etkisi de analize dahil edilmiştir.



Resim 5.6. Analiz parametreleri

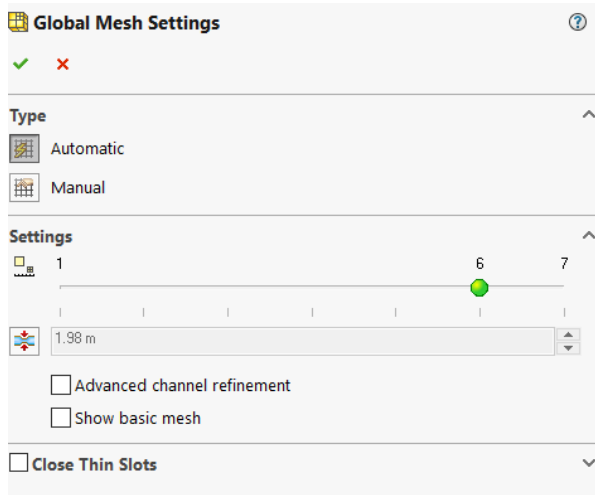


Resim 5.7. Akışkan cinsi olarak havanın seçilmesi



Resim 5.8. Janta verilen 110 rad/s' lik açısal hız

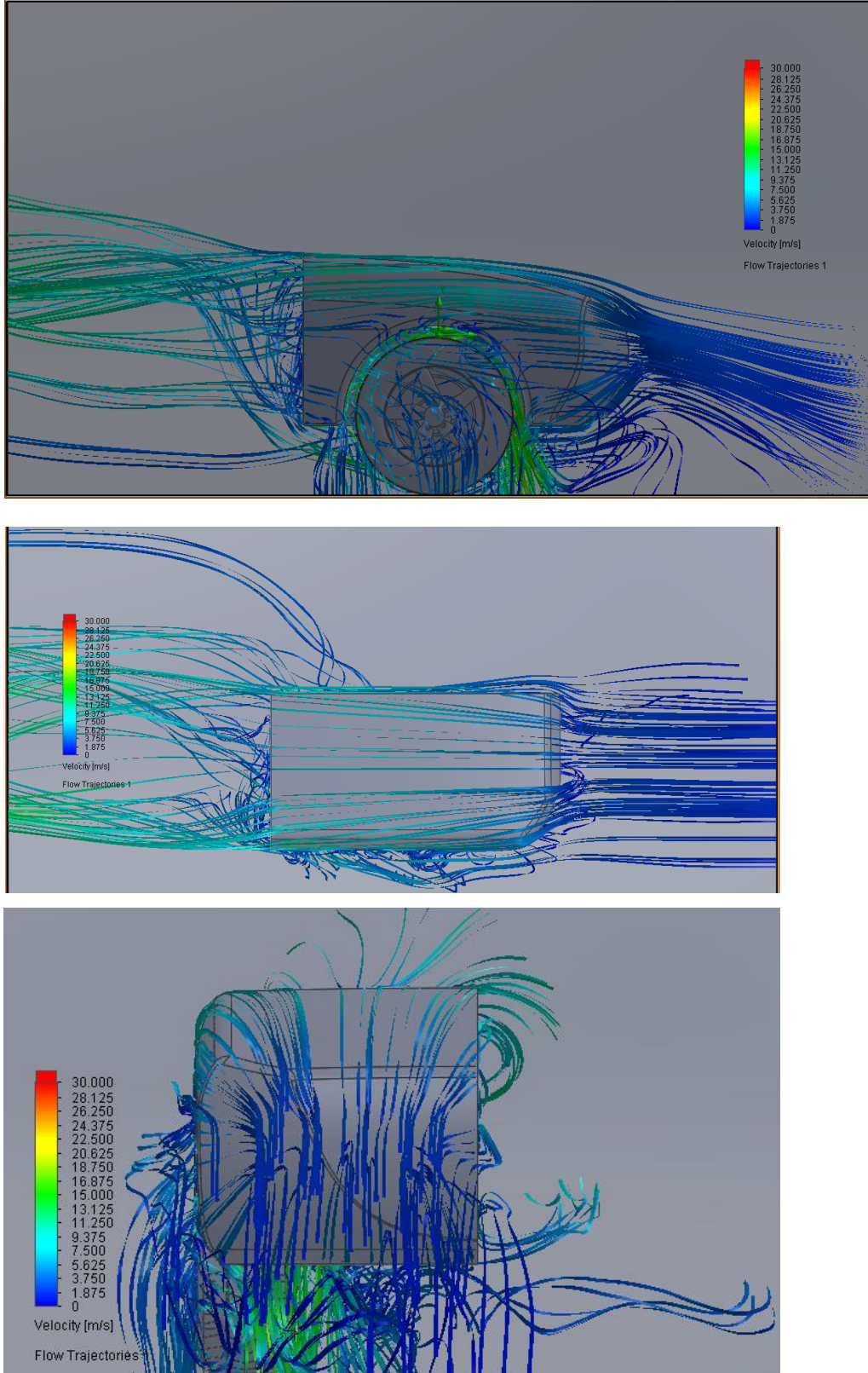
Mesh ayarlarından sonra analiz başlatılıp sonuçlar görsel olarak gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre iki tasarım arasındaki farklar gösterilmiştir. 6. seviyede mesh ayarlanmış sonuçlar 278 iterasyon sayısı ile oluşmuştur.



Resim 5.9. Mesh ayarı oluşturma

5.2. Jant Akış Analizi

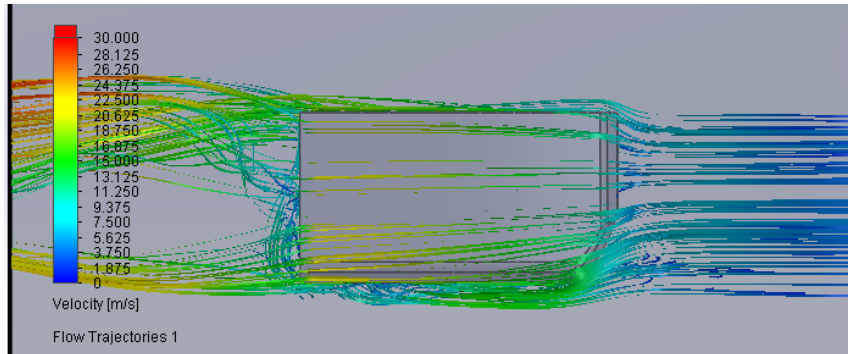
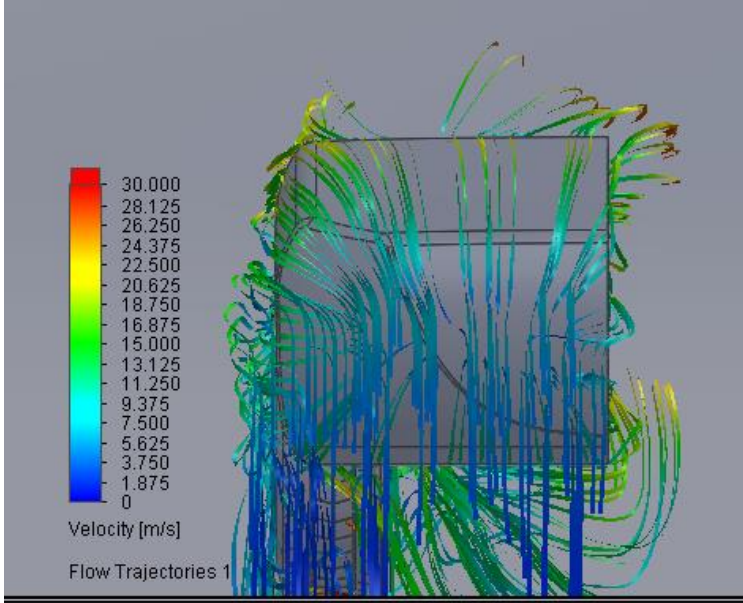
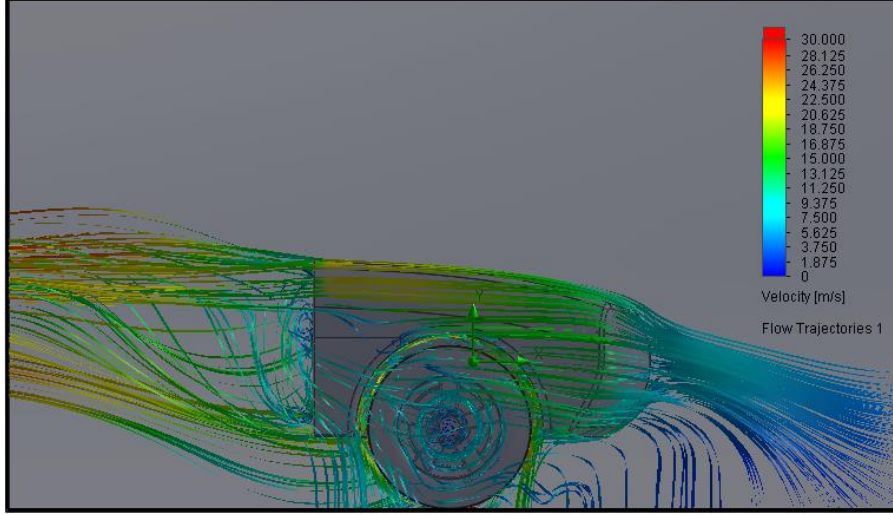
Bu girilen parametre ve tasarım girdilerine göre montaj formatında akış analizi yapılmıştır. Analize ait sonuçlar devam eden görsellerde mevcuttur.



Resim 5.10. Tasarlanan janta uygulanan analize ait akış şekil görselleri

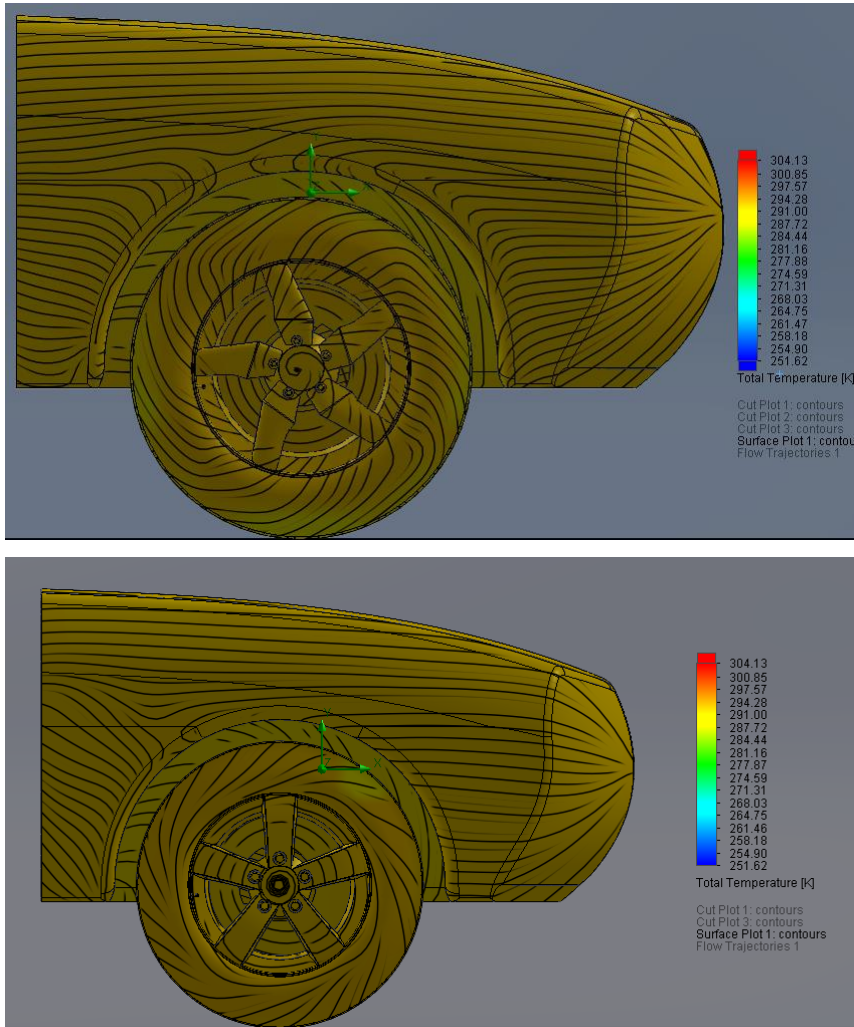
Resim 5.10.'da gösterilen analiz sonuçlarına göre; tasarıma uygulanan hava akışının kanatları süpürüp geçerek jantı en az şekilde sürtünmeye maruz bıraktığı görülmektedir.

Akış zemine paralel bir açıyla modelden ayrılmakta ve laminer akış şekline benzemektedir. Akış hızının modele çarpıp çıkmasından sonra hafif düzeyde arttığı görülmektedir. Özellikle jantın 110 rad/sn'lik hareketinden dolayı lastikten akslara ve çamurluk bağlantısına uzanan kısımda akışkanın daha da hızlandığı görülmektedir.



Resim 5.11. Standart janta uygulanan analize ait akış şekil görselleri

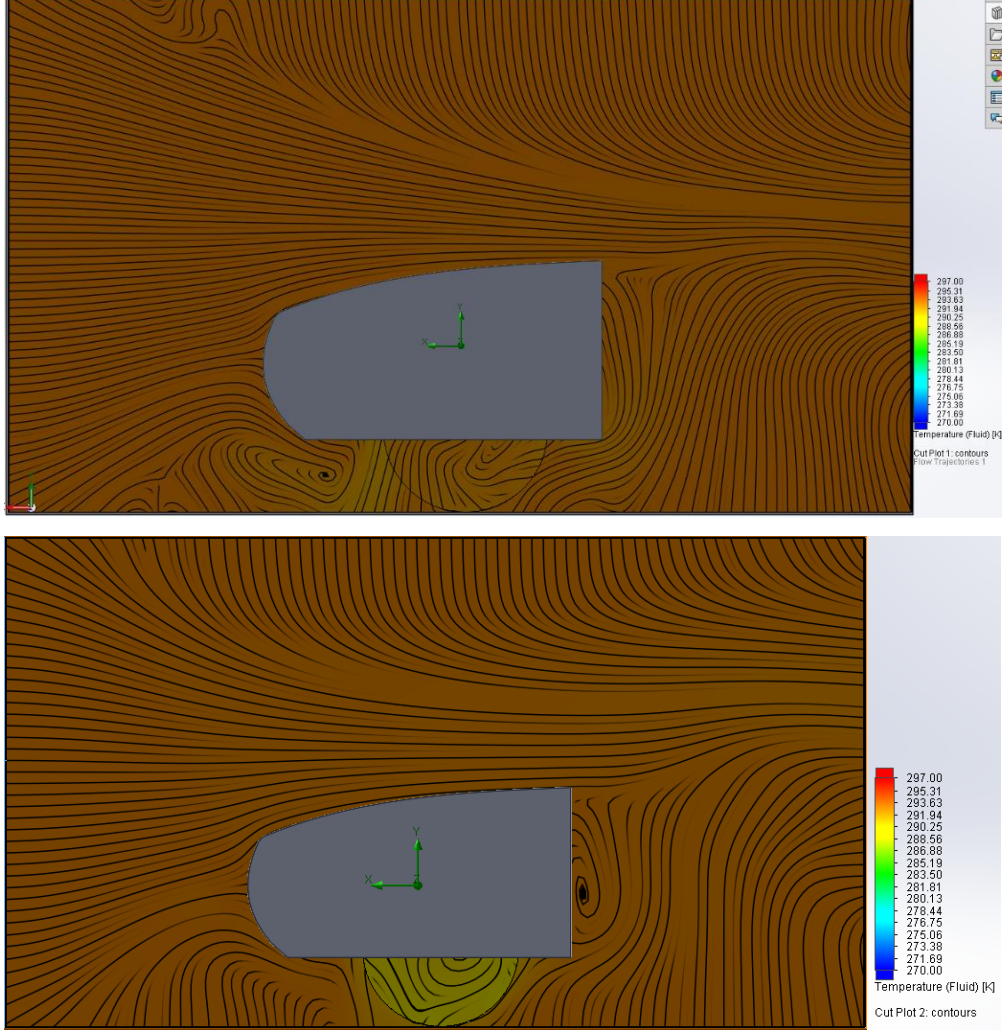
Resim 5.11.'de gösterilen analiz sonuçlarına göre; standart janta uygulanan hava akışının tasarımıdaki akış şekline benzer bir davranış göstermektedir. Akış zemine paralel bir açıyla modelden ayrılmakta ve laminar akış şekline benzemektedir. Akış hızının modele çarpıp çıkmasından sonra tasarlanan janta göre daha hızlı düzeyde arttığı görülmektedir. Özellikle jantın 110 rad/sn'lik hareketinden dolayı jant göbeğinden lastik çevresine ve çamurluk bağlantısına uzanan kısımda akışkanın daha da hızlandığı görülmektedir.



Resim 5.12. Tasarlanan jant ile standart jantın üzerindeki hava sıcaklık görünümü

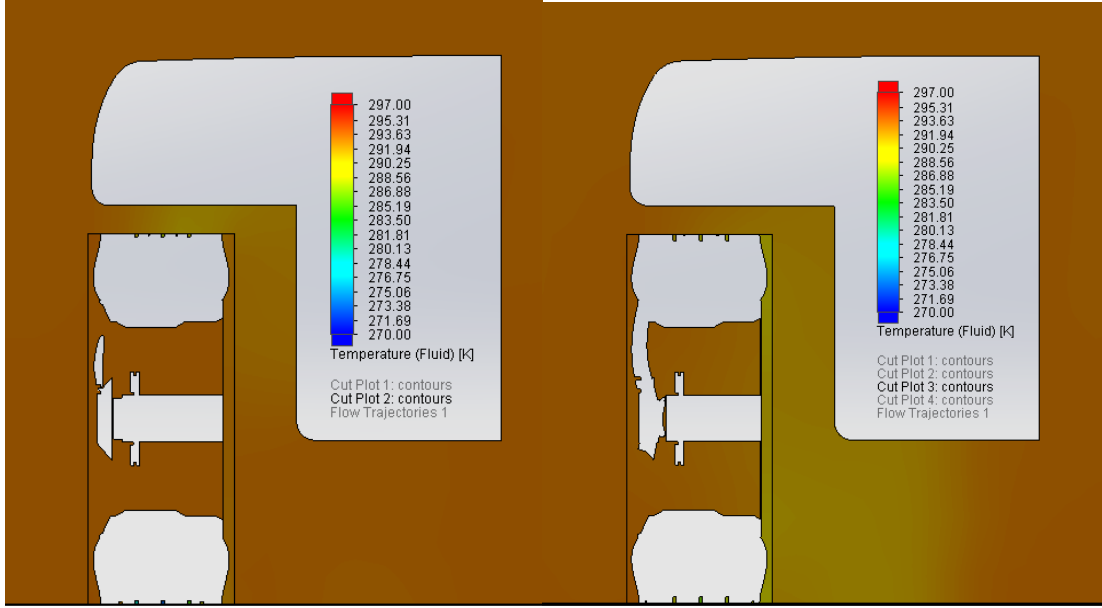
Resim 5.12.'de gösterilen sonuçlara göre tasarlanan jantın lastikleri çevresinde sıcaklık düşüşü olduğu yani havanın daha az sürtünmeyle ayrıldığı gösterilirken diğer jantta yalnız lastiğin sağ üst köşesinde sıcaklık düşüşü gösterilmektedir. Tasarlanan jantın genelinde toplam sıcaklık standart jantın geneline göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Aynı zamanda jant üzerindeki akış şekilleri her iki jant içinde jant kanadı şekillerini aldığı ve jant arkası çamurluk üzerindeki akış şekillerine göre tasarlanan janttan ayrılan akışın diğer janta göre bariz bir şekilde zemine paralel olduğu görülmektedir. Diğer jantta akış yukarı doğru bir seyir göstermektedir.



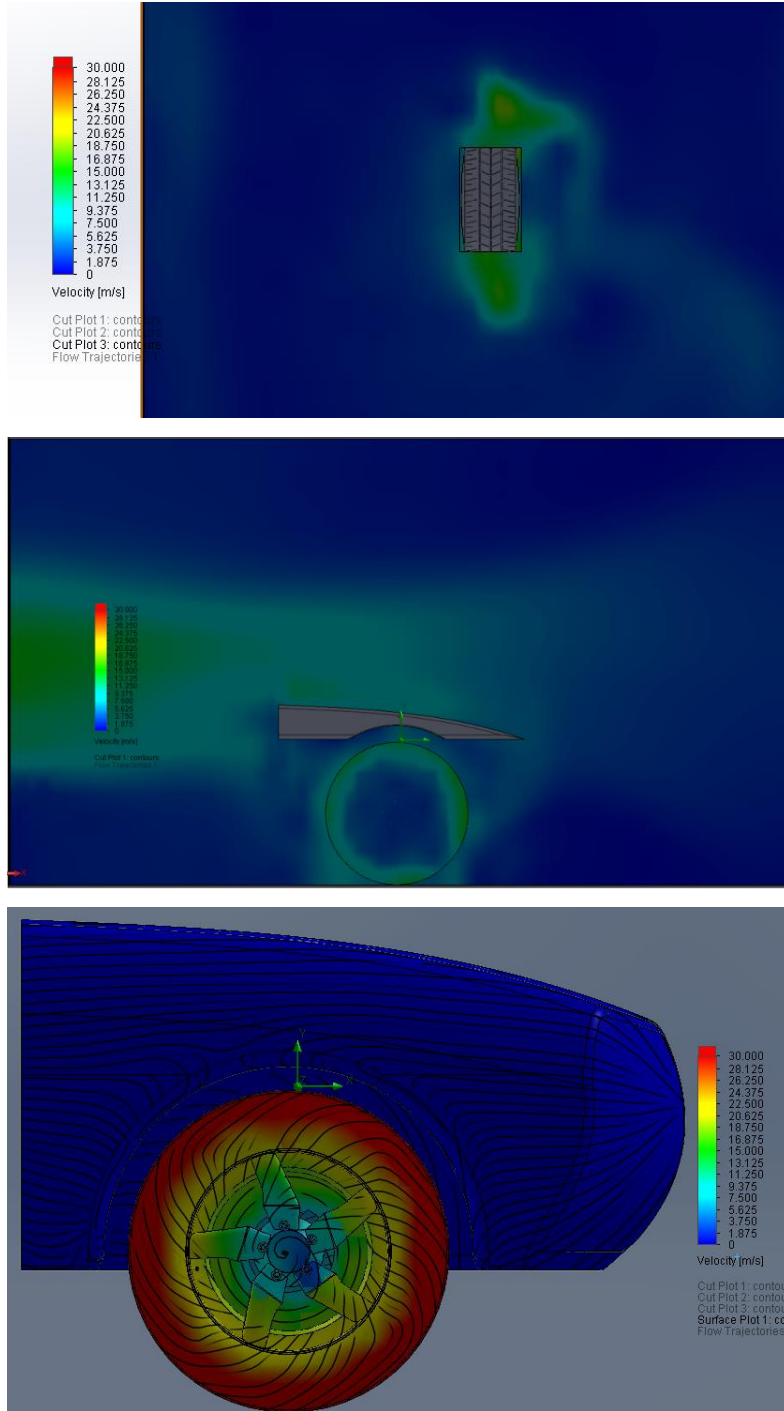
Resim 5.11. Tasarlanan janta ve standart janta etkiyen akışın jant arkasından sıcaklık dağılımı

Resim 5.11.'de Resim 5.10.'da olduğu gibi jant arkası çamurluk üzerindeki akış şekillerine göre tasarlanan janttan ayrılan akışın diğer janta göre bariz bir şekilde zemine paralel olduğu görülmektedir. Diğer jantta akış yukarı doğru bir seyir göstermektedir. Tasarlanan jantın ön tarafında hafif bir girdap oluşumu, diğer modelin arka tarafında bariz bir şekilde belli olan girdap oluşumu gözlemlenmiştir. Akış sıcaklığında ise diğer jantın arka kısmında net bir şekilde ısı kaybı söz konusudur. Tasarlanan jantta ise çok fazla bir değişiklik olmamıştır.



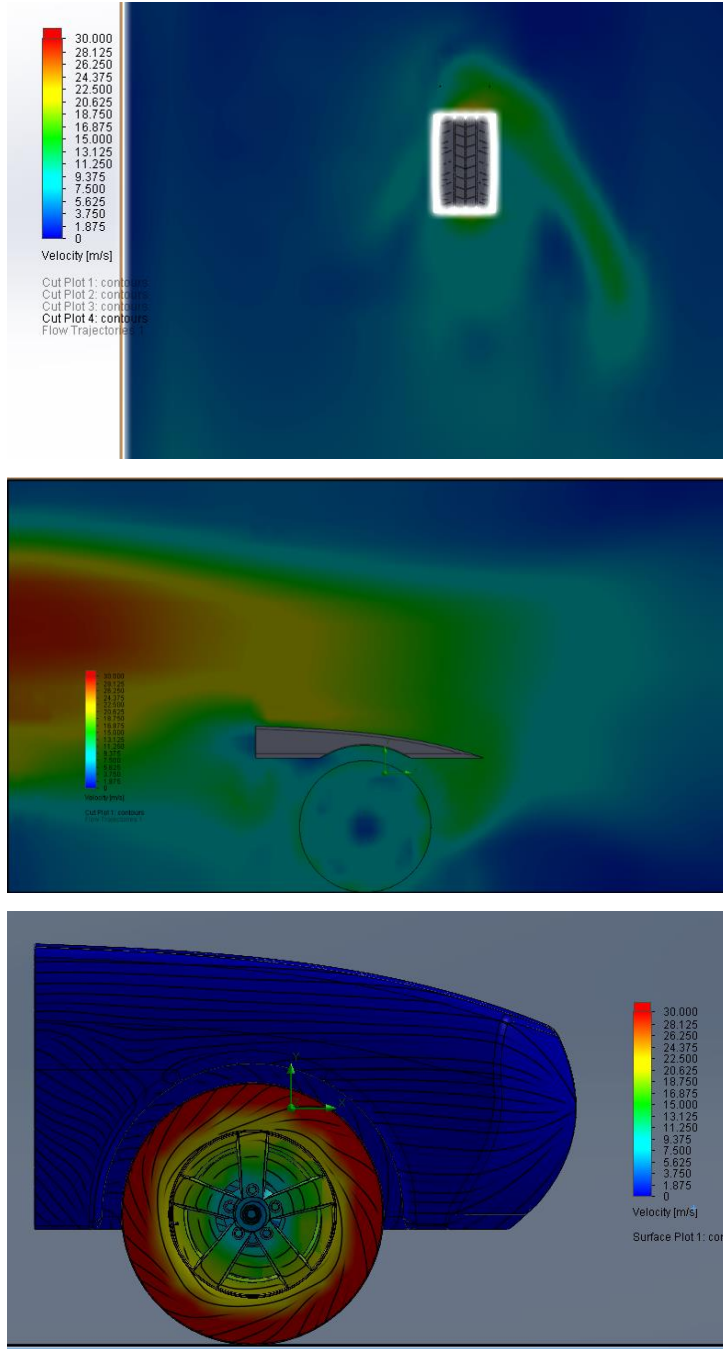
Resim 5.12. Tasarlanan janta ve standart janta etkiyen akışın jant merkez kesitinden sıcaklık dağılımı

Resim 5.12.'de tasarlanan jantın lastik bölümünün çamurlukla arada kalan kısmında akışta sıcaklık düşüşü olduğu, diğer jantta ise jantın arka kısmının ve çamurluk taban kısmında sıcaklık düşüşü olduğu görülmüştür. Aynı zamanda diğer jantın jant yuvasında akışta sıcaklık düşüşü olduğu gözükmemektedir. Bu azalma jantın dış yüzeyindeki akış ısıısının düşüklüğünden oluştuğu muhtemeldir.



Resim 5.13. Tasarlanan janta etkiyen alttan ve yandan akış hızı görselleri ve modelin hız dağılımı

Resim 5.13.'te tasarlanan jantın altından gösterilen 1. görselde hava akış hızı jantın alt lastik kısmının ön ve arkasında dönme hareketinden kaynaklı artış olduğu, jantın sağ yanından gösterilen 2. görselde yine dönme hareketinden kaynaklı akış hızı artışın olduğu ve ısısı artan akışın zemine paralel şekilde davranış oluştuğu, 3. görselde model üzerindeki hız dağılımına göre jant gövdesinden lastiğe doğru açısal hızın arttığı gösterilmiştir.

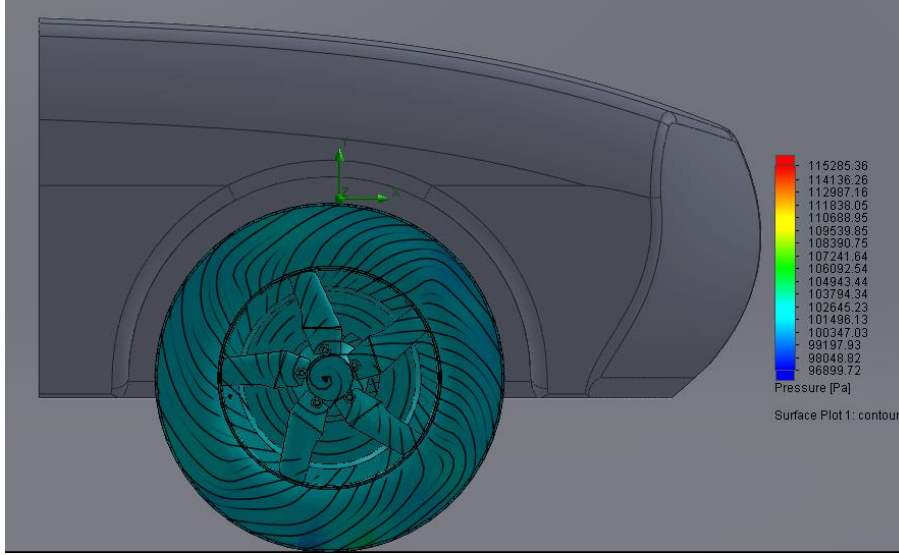


Resim 5.14. Diğ er janta etkiyen alttan ve yandan akış hız ı görselleri ve modelin hız dağılım ı

Resim 5.14.'te diğ er jantın altından gösterilen 1. görselde hava akış hız ı jantın alt lastik kısmının önünde dönme hareketinden kaynaklı artış olduğu bu artışın çamurluk tabanına doğru seyrettiğı, jantın sağı yanından gösterilen 2. görselde yine dönme hareketinden kaynaklı akış hız ı artış ın olduğu ve özellikle jant kanat yapısından kaynaklı gövdeden itibaren jantın ve çamurluğun üst arka kısmına doğru akış hareketi ve ısı artışı olduğu, 3.

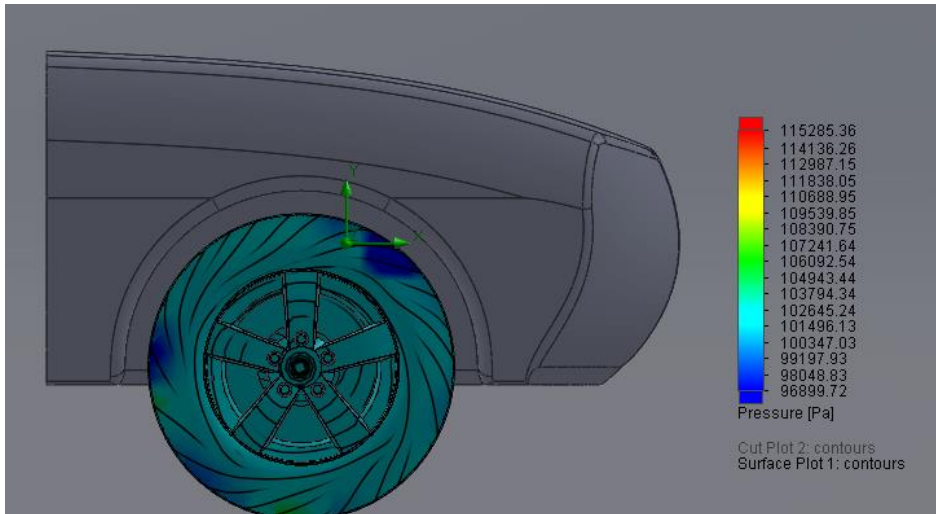
görselde model üzerindeki hız dağılımına göre jant gövdesinden lastiğe doğru açısal hızın arttığı gösterilmiştir.

Özellikle 2. görsellerin kıyasında tasarlanan jantın diğer janta oranla daha iyi bir aerodinamik etki gösterdiği aşıkardır.



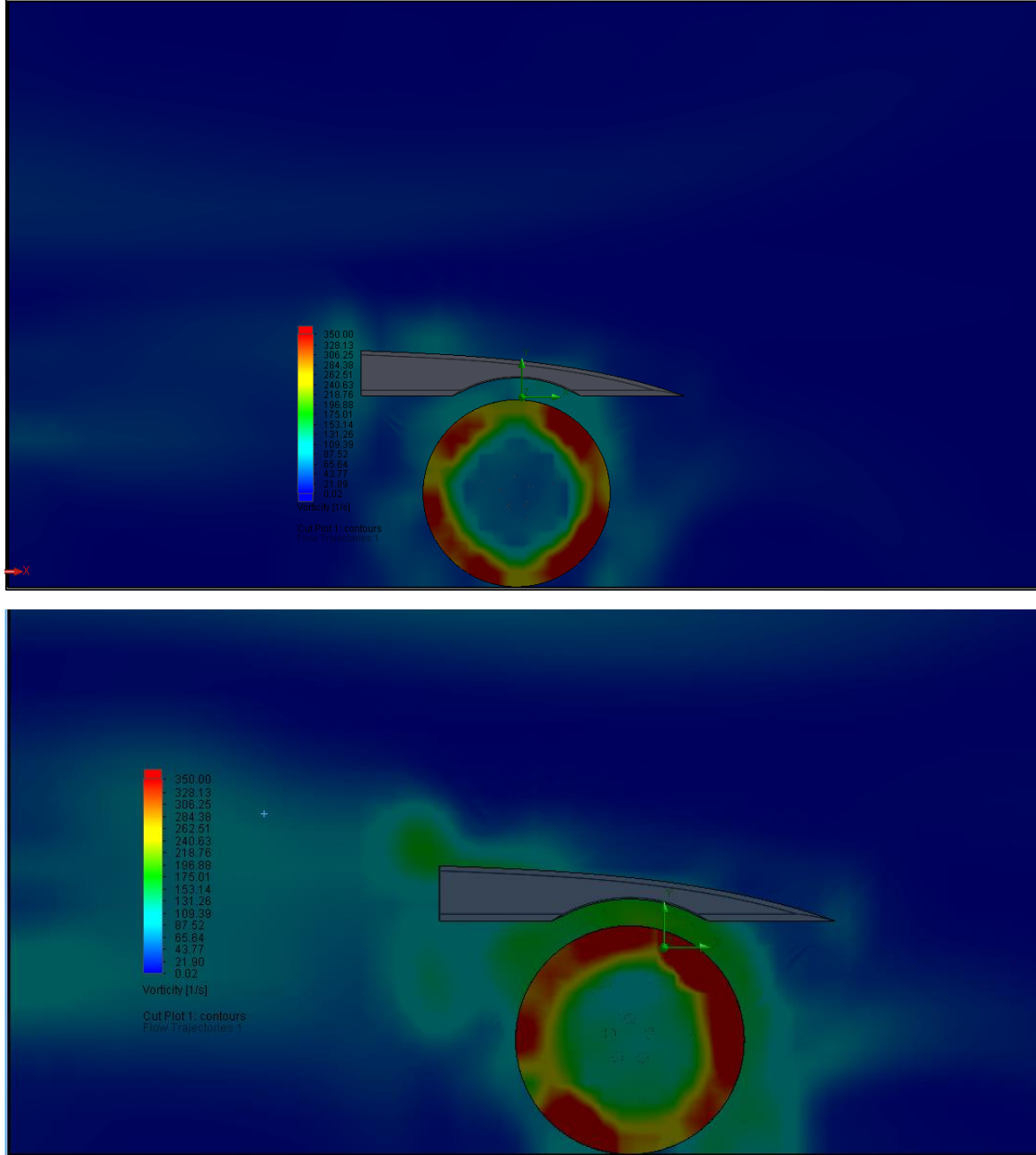
Resim 5.15. Tasarlanan jant ve akışa etkiyen basınç değişimi

Tasarlanan janta etkiyen basınç değişiminde sıcaklık değişimi gibi bir etkinin olduğu, jant göbeğinden lastiğe doğru basınçta düşüş olduğu görülmektedir (Resim 5.15.).



Resim 5.16. Standart janta ve akışa etkiyen basınç değişimi

Diğer janta etkiyen basınç değişiminde sıcaklık değişimi gibi bir etkinin olduğu yalnız lastiğin sağ üst köşesinde ve arka kısımlarda basınç düşüşü gösterilmektedir (Resim 5.16).



Resim 5.17. Tasarlanan jant ile standart janta giren vorticity gösterimi

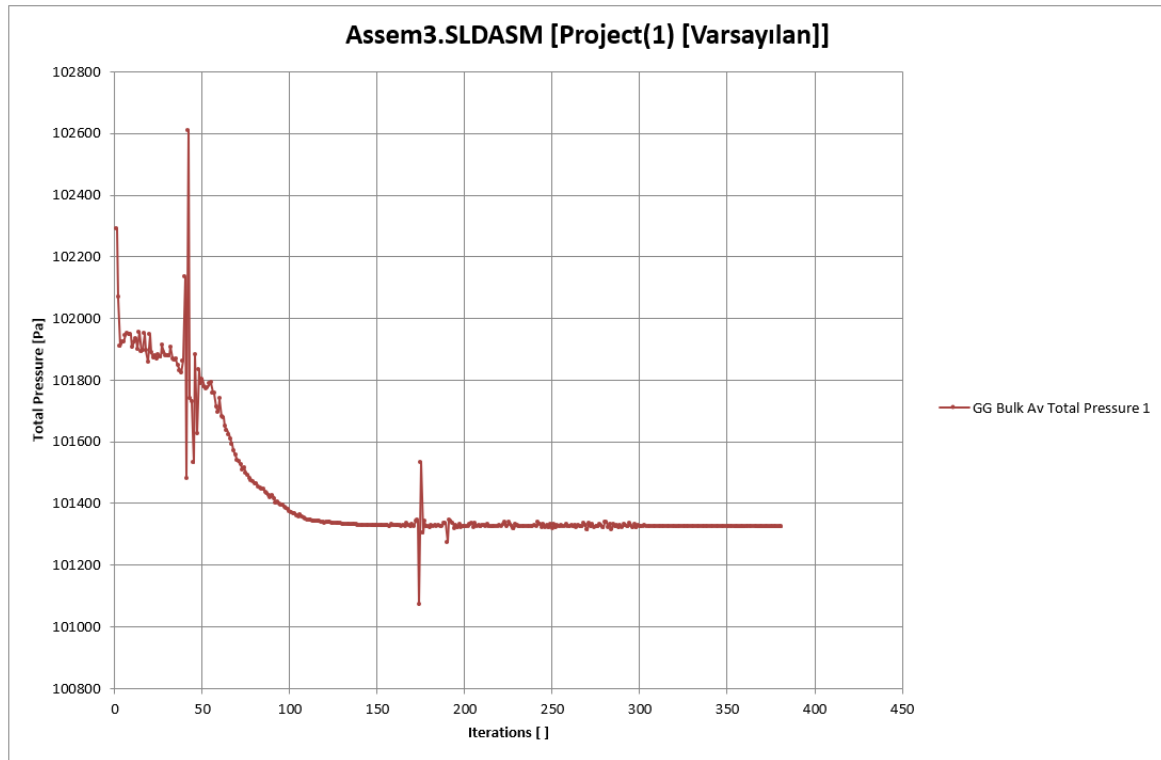
Resim 5.17.'de iki jantında girdap oluşumu gösterilmiştir. Bu görsellere göre tasarlanan jantta diğer janta oranla daha az girdap oluştuğu, lastik dış kısımlarında iki jantın birbirine yakın girdaplık gösterdiği ve diğer jant görselinde lastik çevresi ve arkaya doğru uzanan girdap davranışı görselleştirilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Analiz Grafikleri

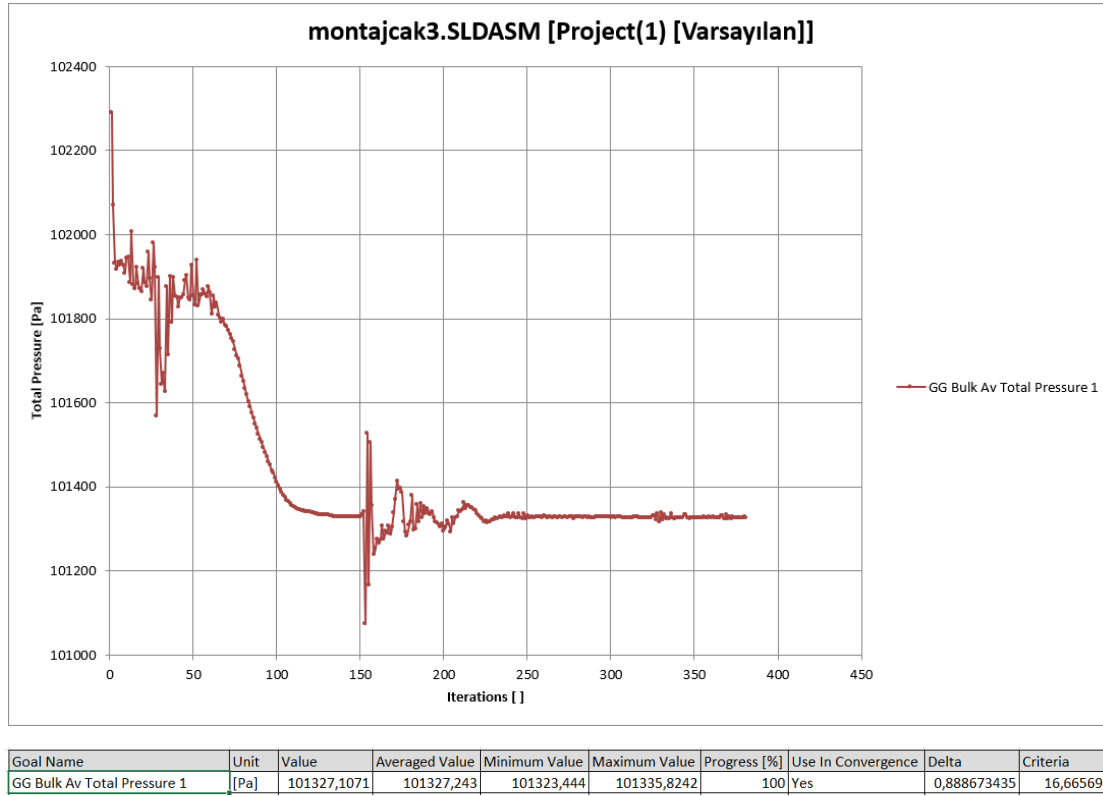
Analiz parametrelerine göre sonuç grafikleri devam eden görsellerde mevcuttur.

Çizelge 6.1. Tasarlanan jantın bulunduğu modelde oluşan toplam basınç kuvveti dağılımı



Tasarlanan jantın bulunduğu modelin basınç değişimi grafiği yukarıda gösterilmiştir. Ortalama olarak 381 iterasyon değerinde 101325,6113 Pa değer elde edilmiştir.

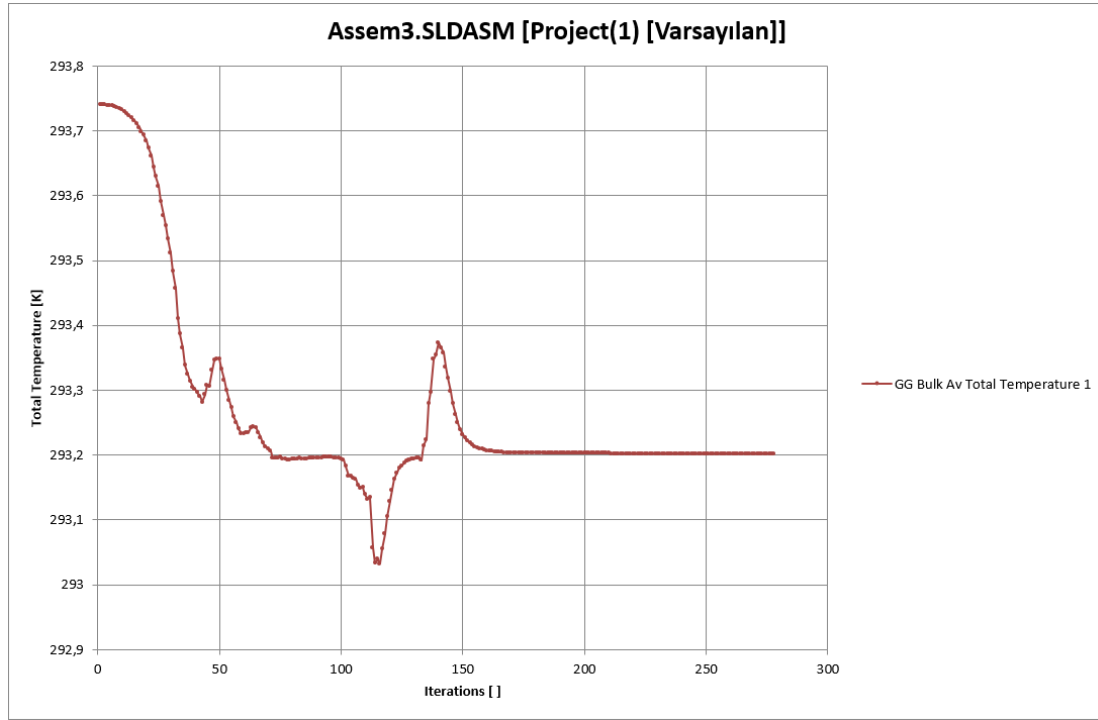
Çizelge 6.2. Standart jantın bulunduğu modelde oluşan toplam basınç kuvveti dağılımı



Tasarlanan jantın bulunduğu modelin basınç değişimi grafiği yukarıda gösterilmiştir. Ortalama olarak 381 iterasyon değerinde 101327,243 Pa değer elde edilmiştir.

Bu değerlere göre standart janta oranla tasarlanan jantın bulunduğu modelin toplam basıncı % 0,00161'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu düşüş ihmal edilebilir bir değer olduğu için iki modelin toplam basıncının birbirine eşit olduğu kabul edilebilir.

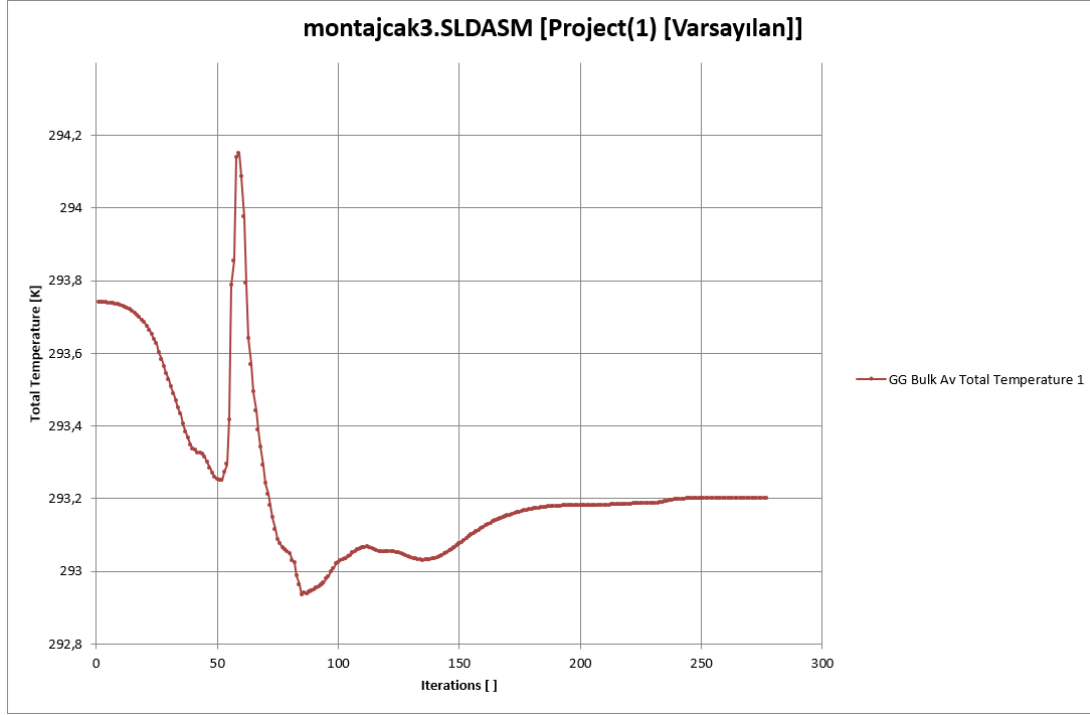
Çizelge 6.3. Tasarlanan jantın bulunduğu modeldeki sıcaklık değişim grafiği



Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Bulk Av Total Temperature 1	[K]	293,2020039	293,2022892	293,2020039	293,2024337	100	Yes	8,18798E-05	0,015911126

Tasarlanan jantın bulunduğu modelin sıcaklık değişimi grafiği yukarıda gösterilmiştir. Ortalama olarak 278 iterasyon değerinde 293,2020039 Kelvin değer elde edilmiştir.

Çizelge 6.4. Standart jantın bulunduğu modeldeki sıcaklık değişimi grafiği

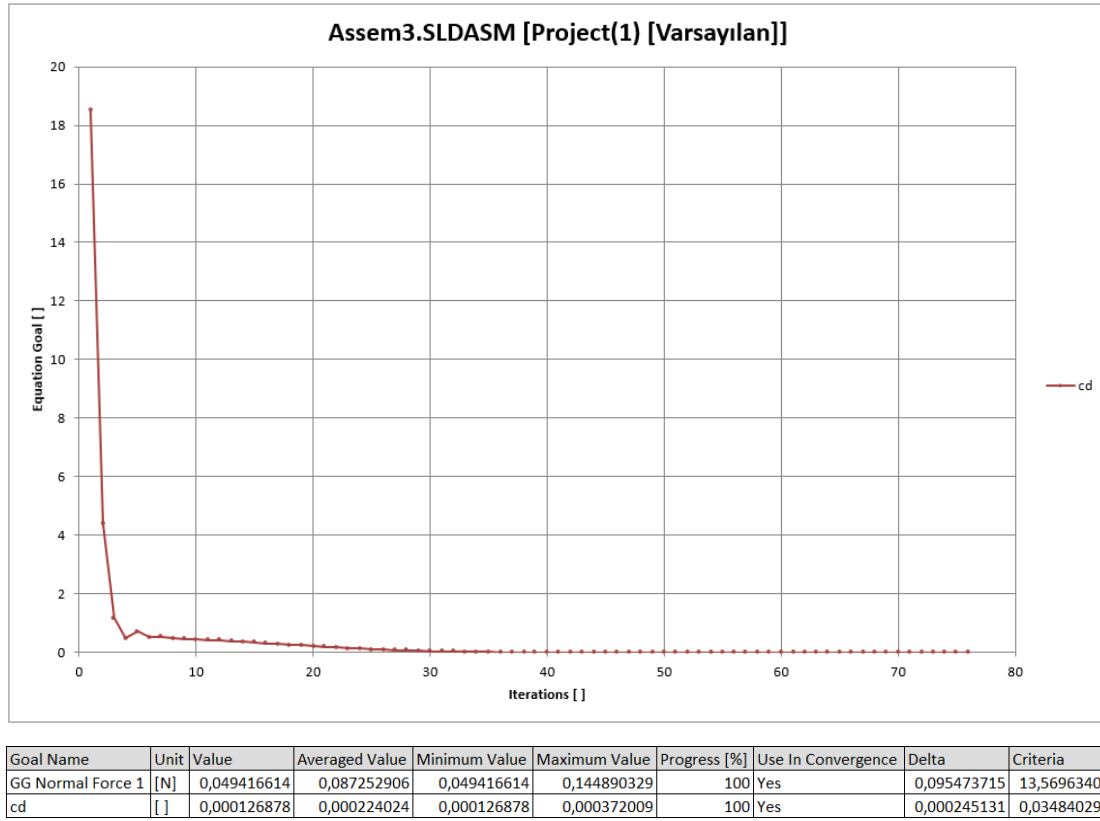


Standart jantın bulunduğu modelin sıcaklık değişimi grafiği yukarıda gösterilmiştir. Ortalama olarak 278 iterasyon değerinde 293,2015058 Kelvin değer elde edilmiştir.

Bu değerlere göre standart janta oranla tasarlanan jantın bulunduğu modelin toplam sıcaklığında % 0,00016988316 'lık bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış ihmal edilebilir bir değer olduğu için iki modelin toplam sıcaklığı birbirine eşit kabul edilebilir.

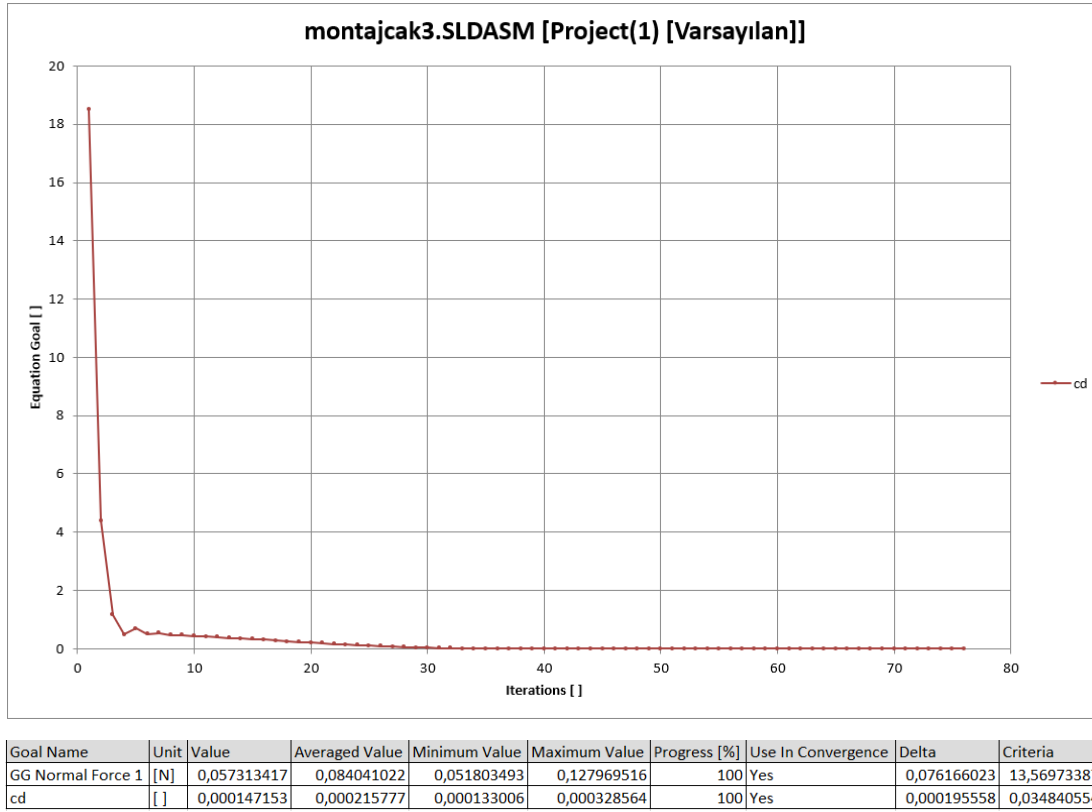
Janta dönme hareketi verilmeden belirtilen analiz parametrelerine göre yapılan analizde hesaplanan Cd (sürüklenme katsayısı) değeri Çizelge 6.5. ve Çizelge 6.6.' da gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Tasarlanan jantın bulunduğu modelin analizdeki sürüklenme katsayısı ve grafiği



Biyomimetik olarak tasarlanan jantın bulunduğu modelin Cd katsayısı ortalama değer olarak 76 iterasyon değerinde 0,000224024 olarak hesaplanmıştır.

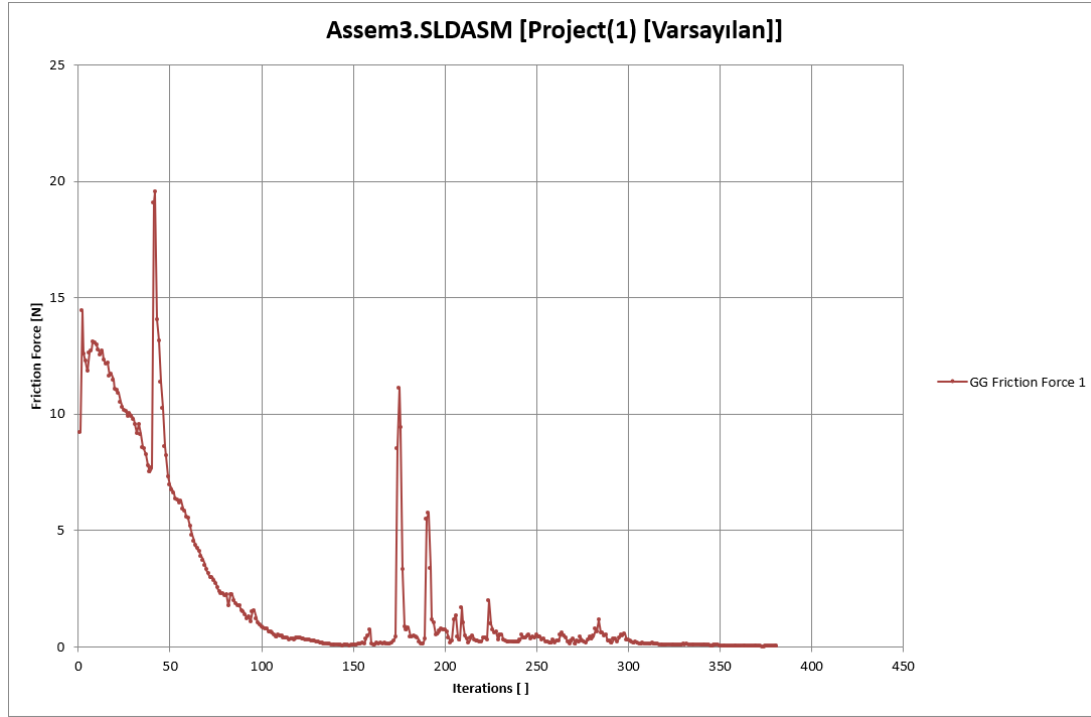
Çizelge 6.6. Standart jantın bulunduğu modelin analizdeki sürüklenme katsayısı ve grafiği



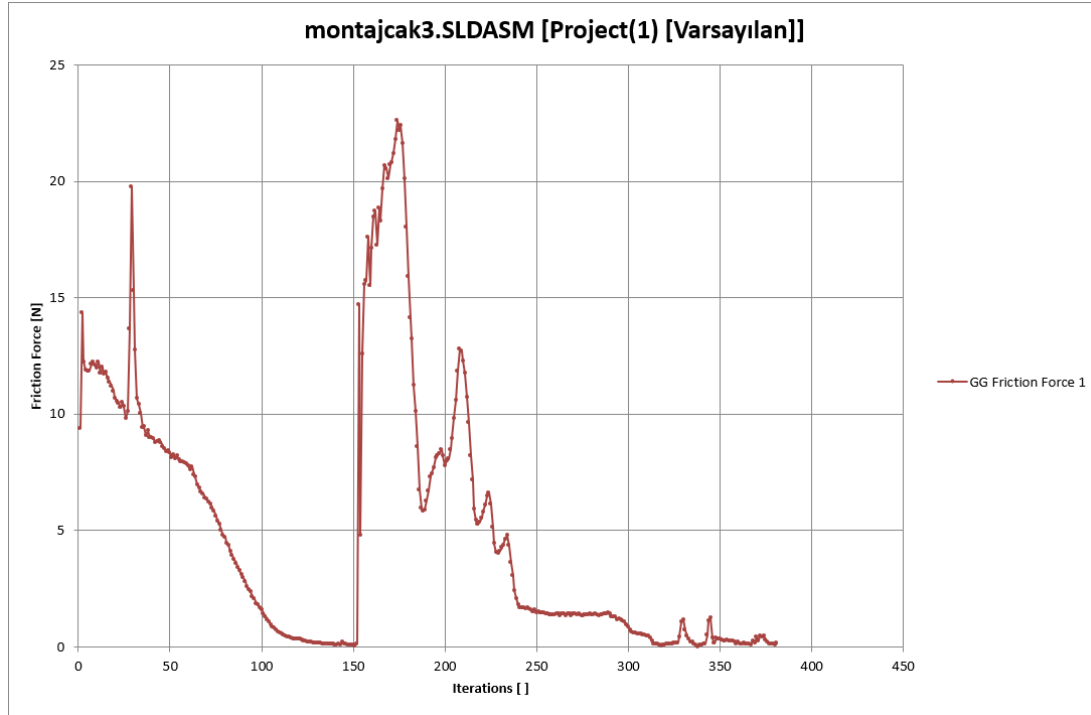
Standart jantın bulunduğu modelin Cd katsayısı ortalama değer olarak 76 iterasyon değerinde 0,000215777 olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlara göre tasarlanan jantın durgun şartlarda Cd katsayısı standart janta oranla % 3,822 oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Durgun halde standart jantın sürüklenme direnci ve aerodinamik yapısının daha düşük olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 6.7. Tasarlanan jantın bulunduğu modelin analizdeki sürtünme kuvveti grafiği



Çizelge 6.8. Standart jantın bulunduğu modelin analizdeki sürtünme kuvveti grafiği



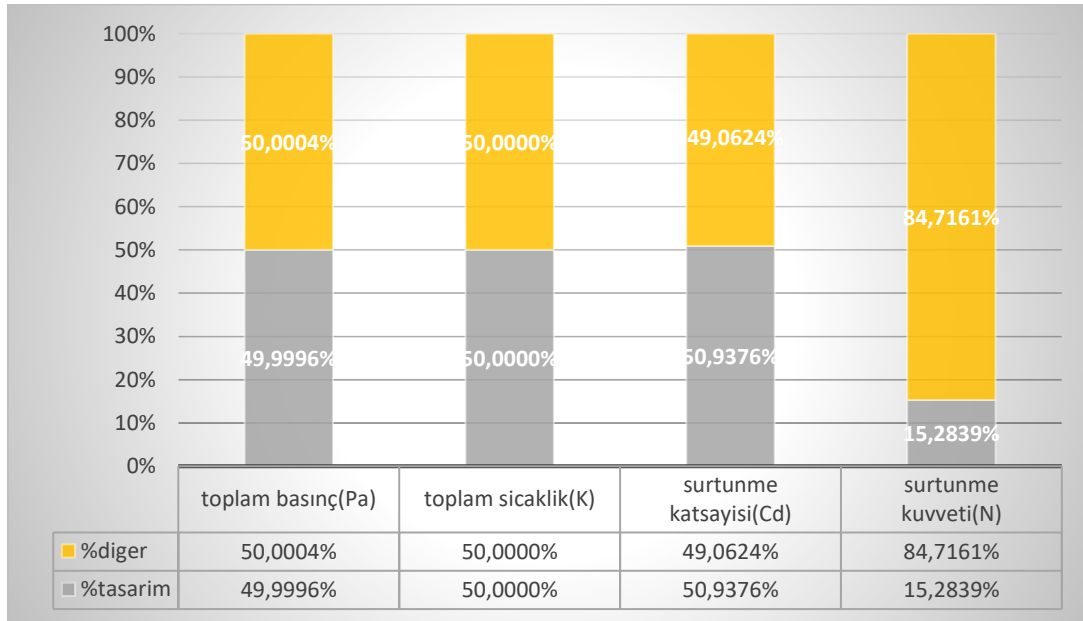
110 rad/sn'lik dönüş hızı verilerek yol şartları dikkate alınarak yapılan analizde sürtünme kuvvetleri değişimi Çizelge 6.7. ve Çizelge 6.8.' de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7.'te ise tasarlanan jantın analiz sonucunda ortaya çıkan ortalama sürtünme kuvveti 381 iterasyon değerinde 0,046746459 N olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.8.'de standart jantın analiz sonucunda ortaya çıkan ortalama sürtünme kuvveti 381 iterasyon değerinde 0,259107818 N olarak hesaplanmıştır.

Gökdoğan kuşundan kanat şekli, yağmur damlasından kesit yüzeyi alınarak tasarlanan jantın standart bir janta oranla analiz parametrelerine göre uğradığı sürtünme kuvvetinde % 81,9586 oranında kazanç olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 6.9. Analiz sonuçları



Çizelge 6.9.'da çamurlukla yapılan analiz karşılaştırmasına göre biyomimetik yaklaşımla tasarlanan jant modeli diğer modele göre toplam basınç ve sıcaklıkta eşit, sürtünme katsayısında fazla ve sürtünme kuvvetinde düşük olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelgelerden tespit edilen bilgiler şunlardır;

110 rad/sn 'lik dönme hareketinde ölçülen toplam sıcaklığın tasarlanan jantta diğer janta nazaran etkisi fazla olmamıştır.

110 rad/sn 'lik dönme hareketinde ölçülen toplam basıncın tasarlanan jantta diğer janta nazaran etkisi fazla olmamıştır.

Durgun haldeki analizi yapılan biyomimetik yaklaşımla tasarlanan jantın bulunduğu modelin diğer jantın bulunduğu modele oranla C_d katsayısı dağılımında artış gösterdiği ortaya çıkmıştır.

110 rad/sn 'lik dönme hareketinde ölçülen sürtünme kuvveti dağılımı olarak diğer jantın bulunduğu modele oranla tasarlanan jantın bulunduğu modelin sürtünme kuvveti dağılımının azaldığı gözlemlenmiştir.

Durgun hale tasarlanan jantın C_d katsayısı daha fazla olmasına rağmen bilinenin aksine uğradığı sürtünme kuvveti daha düşük çıkmıştır. Bu sonuçlar gösteriyor ki C_d katsayısı yalnızca durgun haldeki cisimlerin direnç özelliklerini göstermektedir. Yüzeyinde bulunan hareketli parçaları bulunan, ortamdan etkilenen veya temas halinde olan cisimlerin aerodinamik özellikleri belirlenirken bu parçaların da dikkate alınması elzem olduğu anlaşılmıştır.

Özellikle kara araçları için tekerleklerin hareketinin akışkana vermiş olduğu tepki, tekerleklerin kimyasal özellikleri, jant yapısının yola vermiş olduğu tepki ve yüzey aerodinamiği yakıt ekonomisi için önemlidir.

Bu analizler gökdoğan kuşunun havada süzülerek yaptığı kanat hareketlerinden esinlenerek yapılan tasarımın hava direncini azalttığını, janta aerodinamik açıdan olumlu yönde etki ettiğini göstermektedir. Havanın jant üzerinde oluşturduğu bu direnç kuvvetinin azaltılması aracın yakıt ekonomisini artıracaktır.

Çalışmanın önemi;

Artan Dünya nüfusuyla birlikte enerjinin olmazsa olmazımız haline dönüştüğü bu yüzyılda araçlar üzerinde ekonomik yönde olumlu etkileri olan tasarım çalışmaları mevcut olup bu çalışmalar her an geliştirilmektedir. Bu gelişmeler aracın motorundan başlayıp gövde yapısına hatta en ince detaylarına kadar inmekte ve yapılan küçük yeniliklerle sarfiyat yönünden tasarruf sağlanmaktadır. Canlılar aleminde en zor şartlara bile uyum sağlayan binlerce çeşit canlı bulunmaktadır. Bu mükemmel tasarıma sahip ve mükemmel davranış sergileyen canlıları örnek alıp hayatımıza uyarlamamızın gayreti içindeyiz. Doğayı tüketmekten ziyade iç içe yaşayarak bir bütünlük oluşturmamızdır. Bu tüm canlılık için zaruri bir amaç olmalıdır. Bu çalışmamızda jant tasarımını biyomimetik açıdan nasıl iyileştirebiliriz sorusuna cevap bulmaya çalıştık. Maalesef çalışmamıza örnek oluşturabilecek bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu açıdan çalışmamız küresel bir öneme sahip olup bu konuda yapılacak yeni çalışmalara ilham kaynağı olması açısından önemlidir.

Bu çalışma ile ortaya çıkan tasarımın otomotiv sektörü, havacılık sektörü, yenilebilir enerji kaynakları sektörü ve benzeri sektörlerle uyarlaması mümkündür. Bu tasarım daha da ilerletilip optimize edilebilir. Bu sayede en düşük hava sürtünmesine sahip tasarım ortaya çıkabilir.

Çalışmadaki sınırlılıklar;

Biyomimetik açıdan incelenen canlıların 3d taramasının yapılması sanal ortama aktarılması açısından eksiklerimiz bulunmaktadır. 3d tarayıcı ekipmanın temini maddi ve gökdoğan kuşu modelinin ulaşılabilirlik yönünden zor olduğu için gözlem yoluyla çalışmamızı gerçekleştirmiş olduk. İleride bu şekilde yapılacak çalışmalar daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesi yönünden önemlidir.

Çalışmamızda sadece sağ ön jant incelenmiştir. Tam araç modeli ile olan jant yapısının etkileşimi ve arka jantların etkisi de incelenmesi ayrıca gerekmektedir.

Diğer yönden ortaya çıkan ürünü sanal ortamdan gerçek ortama aktararak çalışmanın doğruluk oranı araştırılamamıştır. Olması gereken ise çalışmanın bir prototipinin oluşturulması ve rüzgar tüneline bu analizin hesaplamalı olarak yapılmasıdır.

Öneriler:

- Bu tez gibi çalışmalar başka canlı türlerine bakılarak geliştirilebilir ve daha iyi sonuçlar elde edilebilir.
- Uygun açıyla içeriye aktarılan havayla balata ve fren diskinin oluşturmuş olduğu ısı düşürülebilir. Böylece fren performansı artabilir. Bu kanatlar tek tip tasarım olmakla birlikte hareketli şekilde de olabilir. Frenleme esnasında kanatlar havayı içeriye süpürecek şekilde otomatik açılarak ayarlanarak frenleme performansı artırılabilir. Böyle çalışmalar artırılıp optimize bir sonuç çıkarılabilir.
- Tasarım yapılırken yanal direnç kuvvetleri hesaba katılmamış olduğundan ileriki çalışmalarda bu kuvvetlerde analize dahil edilebilir.
- Çalışmaların jant tasarımlarıyla birlikte fren sistemi performansı, gerçek hayatta var olan yer etkisi, küçük ayrıntılı kısımlar, önemsiz kabul edilen hareketli parçaların etkisi, yanal rüzgar dirençleri, eğim etkisi, yükselti ve coğrafi özelliklere bağlı basınç etkileri, hava durumuna bağlı etkiler (yağmur, kar v.b.) gibi etmenler göz önünde bulundurularak yapılması gerekmektedir.
- Aynı zamanda jant kanatlarının rüzgar hızına göre yine ayarlanabilir olmasıyla performans-enerji ikilisinde iyileştirmeler görülebilir.
- Çalışmanın prototipinin oluşturularak hesaplamalı analiz yapılması önemlidir.
- Tasarımın tam araç modelinde incelenmesi daha sağlıklı sonuçlar oluşması açısından önemlidir.
- Hatta çalışmalarda trafik durumları da göz önüne alınarak çalışmalara eklenmelidir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Sanayi Devrimi Nedir? Tarihi ve Sonuçları. (2019, Mart). Web: <https://www.stendustri.com.tr/haberortak/sanayi-devrimi-nedir-tarihi-ve-sonuclari-h99489.html> adresinden 8 Kasım 2019'da alınmıştır.
2. İnternet: Küçükkaya, E. (2017, Aralık). Fosil Yakıtlar Nelerdir? Web: <https://www.enerjiportali.com/fosil-yakitlar-nelerdir/> adresinden 15 Kasım 2019'da alınmıştır.
3. Wagner, M., Durney, C., Gibson, W., Karmali, A., Palmer, W., and Quick, P. (2005). *OPS3: Progressing Toward Environmental Results*, Washington: GEF Evaluation Office, 37.
4. International Energy Outlook. (2017). *U.S. Energy Information Administration*, 19-20.
5. Pawlyn, M. (2019). *Biomimicry in Architecture*. Abingdon: Routledge, 176.
6. İnternet: Şen, A. A. (2019, Ocak). Biyomimetik Bilimi Tanım ve Tarihçesi. Web: <https://www.linkedin.com/pulse/1-biyomimetik-bilimi-tanim-ve-tarih%C3%A7esi-ali-%C5%9Fen> adresinden 5 Aralık 2019'da alınmıştır.
7. Doyon, L., Li, Z., Li, H., D'errico, F. (2018, March). Discovery Of Circa 115,000-Year-Old Bone Retouchers At Lingjing, Henan, China, *Plos One*, 13(3), 1-16.
8. Ciyun, Z. (2011, March 27). Lu Ban (circa BC 507-444)- Legendary Master Carpenter, *Shanghai Daily*, B16.
9. Hwang, J., Jeong, Y., Park, J. M., Lee K.H., Hong, J. W., and Choi, J. (2015, September). Biomimetics: Forecasting The Future of Science, Engineering, and Medicine, *Dovepress*, 10, 5701-5713.
10. D'hooge, A., Palin, R. B., Johnson, S. Duncan, B. and Gargoloff, J. I. (2012, April). *The Aerodynamic Development of the Tesla Model S- Part 2: Wheel Design Optimization*, SAE 2012 World Congress & Exhibition, Detroit.
11. Wang, Q. L., Wu, Z., Zhu, X. L., Liu, L.L., Zhang, Y. C. (2017, September). *Analysis of Aerodynamic Performance of Tesla Model S by CFD*, 3rd Annual International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Information Science (EEEIS 2017), Guangzhou.
12. Wäschle, A. (2007, April). *The Influence of Rotating Wheels on Vehicle Aerodynamics-Numerical and Experimental Investigations*, SAE 2007 World Congress & Exhibition, Detroit.
13. Elofsson, P., and Bannister, M. (2002). Drag Reduction Mechanisms Due to Moving Ground and Wheel Rotation in Passenger Cars, *SAE Transactions-Journal of Passenger Car: Mechanical Systems Journal*, 111(6), 591-604.

14. Okudan, A. (2014). *Model araçların aerodinamik yapılarının gerçeğe yakın ortamlarda sonlu elemanlar yöntemi ile analizi*, Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 26-32.
15. Cederlund, J., Våström, J. (2010). *The Aerodynamic Influence of Rim Design on a Sports Car and its Interaction with the Wing and Diffuser Flow*, Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Automotive Engineering, Sweden, 41-59.
16. Hobeika, T. (2012). *Investigation of Tyre Geometry Influence on Road Vehicle Aerodynamics*, Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Automotive Engineering, Sweden, 11-17.
17. Krajnovic, S., and Davidson L. (2005, September). Influence of floor motions in wind tunnels on the aerodynamics of road vehicles. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93(9), 677-696.
18. Mercker, E., Breuer, N., Berneburg, H., and Emmelmann, H. J. (1991). On The Aerodynamic Interference Due to The Rolling Wheels of Passenger Cars, *SAE Technical Paper*, 1103-1124.
19. Lindgren, A. (2016). *Development of Brake Cooling*, Bachelor Thesis, Halmstad University, Mechanical Engineering, Halmstad, 21-26.
20. Ozawa, H., Nishikawa, S., and Higashida, D. (1998). Development of Aerodynamics For A Solar Race Car, *JSAE Review*, 19(4), 343-349.
21. Dimitrou, I., Klusmann, S. (2006, April). *Aerodynamic Forces of Exposed and Enclosed Rotating Wheels as an Example of the Synergy in the Development of Racing and Passenger Cars*, SAE 2006 World Congress & Exhibition, Detroit.
22. Zhiling, Q., Landstrom, C., Löfdahl, L., and Josefsson, L. (2010, June). *Wheel Aerodynamic Developments by Module-Based Prototype Rims and Stationary Rim Shields*, FISITA 2010 World Automotive Congress, Budapest.
23. Hobeika, T., Sebben, S., and Landstrom, C. (2013). Investigation of the Influence of Tyre Geometry on the Aerodynamics of Passenger Cars, *SAE International Journal of Passenger Cars Mechanical Systems*, 6(1), 316-325.
24. Landström, C., Walker, T., Christoffersen, L., and Löfdahl, L. (2011, April). *Influences of Different Front and Rear Wheel Designs on Aerodynamic Drag of a Sedan Type Passenger Car*, SAE 2011 World Congress & Exhibition, Detroit.
25. Vdovin, A. (2013). *Investigation of Aerodynamic Resistance of Rotating Wheels on Passenger Cars*, Thesis For The Degree of Licentiate, Department of Applied Mechanics Chalmers University of Technology, Sweden, 3-27.
26. Berg, H., Brandt, A. (2018). *Investigation of Aerodynamic Wheel Design*, Master's thesis, Chalmers University of Technology, Department of Applied Mechanics, Sweden, 1-73.

27. Koitrland, S., Gaylard, A., and Fiet, G. O. (2015, September). *An Investigation of Wheel Aerodynamic Effects for a Saloon Car*, Progress in Vehicle Aerodynamics and Thermal Management: Proceedings of the 10th FKFS-Conference, Stuttgart.
28. Suhariyono, A., Kim, J. H., Goo, N. S., Park H. C., and Yoon, K. J. (2006, March). Design of precision balance and aerodynamic characteristic measurement system for micro aerial vehicles, *Aerospace Science and Technology*, 10(2), 92-99.
29. Altınışik, A., Kütükçeken, E., Yemenici, O., ve Umur, H. (2014, Mayıs). *Gerçek Araç Modeli Üzerinde Deneysel ve Sayısal Aerodinamik Analizler*. 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresinde sunuldu, Bursa.
30. Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers International, 79-123.
31. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı (2007). *MEGEP-Motorlu Araçlar Teknolojisi Gövde Mekaniği-1*. Ankara: MEB Yayınevi.
32. Vdovin, A. (2015). *Numerical and Experimental Investigations on Aerodynamic and Thermal Aspects of Rotating Wheels*, Thesis For The Degree of Doctor, Department of Applied Mechanics Chalmers University of Technology, Sweden, 1-47.
33. Hucho, W. H. (1987). *Aerodynamics of Road Vehicles*. London: Butterworths, 106-150/298-410.
34. İnternet: Dhwty. (2014, June). The revolutionary invention of the wheel. *Magazine Ancient Origins*. Web: <https://www.ancient-origins.net/ancient-technology/revolutionary-invention-wheel-001713> adresinden 28 Mart 2020'de alınmıştır.
35. İnternet: Snowden, J. (2014, May). How was stained glass made? *All About History*. Web: <https://www.historyanswers.co.uk/inventions/how-was-stained-glass-made/> adresinden 24 Ocak 2020'de alınmıştır.
36. İnternet: Snowden, J. (2014, May). Evolution of the wheel. *All About History*. Web: <https://www.historyanswers.co.uk/inventions/evolution-of-the-wheel/> adresinden 15 Aralık 2019'da alınmıştır.
37. İnternet: Berman, T. (2017, February). The History and Evolution of the wheel. Web: <https://interestingengineering.com/history-and-evolution-wheel> adresinden 3 Mart 2020'de alınmıştır.
38. İnternet: Waters, D. (2017, May). The Untold History of The Wheel And Its Evolution. *Magazine Ancient Origins*. Web: <https://www.ancient-origins.net/artifacts-ancient-technology/untold-history-wheel-and-its-evolution-008144> adresinden 20 Şubat 2020'de alınmıştır.
39. İnternet: Alloy Wheels Vs. Steel Wheels Pros & Cons Guide. (2019). Web: <https://www.blackburnwheels.com/alloy-wheels-vs-steel-wheels-pros-cons-guide/> adresinden 03 Nisan 2020'de alınmıştır.

40. Kıvanç, F.E. (2005). Fibonacci Sayı Dizisi ve Altın Oran, *Pivolka dergisi*, 16, 14-16.
41. Kın, R.E. (2007). *Tasarımda Doku Kavramı ve İşlevselliği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı, İstanbul, 16-26.
42. Yavuz, E. (2007). *Yirminci Yüzyılda Sanatta ve Mimarlıkta Soyutlama İlişkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara, 1-125.
43. Yıldız, H. (2012). *Endüstri Ürünleri Tasarımı Kapsamında Biyomimetik Tasarımın Yeri ve Metodolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı, İstanbul, 41-59.
44. Thompson, M. (2019). *Ruby's Birds -Birds and their Wing Shapes*. New York: The Cornell Lab of Ornithology, 1-36.
45. İnternet: Allen, M. (2018, April). Falcon's high-speed dive generates forces needed to catch agile prey. *Physics World*. Web: <https://physicsworld.com/a/falcons-high-speed-dive-generates-forces-needed-to-catch-agile-prey/> adresinden 20 Mart 2020'de alınmıştır.
46. İnternet: Fastest bird (diving). (2005). *Guinness World Records*. Web: <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/70929-fastest-bird-diving> adresinden 21 Mart 2020'de alınmıştır.
47. Ponitz, B., Triep, T., Brücker, C. (2014, December). Aerodynamics of the Cupped Wings during Peregrine Falcon's Diving Flight, *Open Journal of Fluid Dynamics*, 4, 363-372.
48. Ponitz, B., Schmitz, A., Fischer, D., Bleckmann, H., and Brücker, C. (2014, February). Diving-Flight Aerodynamics of a Peregrine Falcon (*Falco peregrinus*), *Plos one*, 9(2), 1-13.
49. Salleh, H., Sahrin, S. B., Azmi, M.H.B., and Khan, S.A. (2018, September). Fluid-structure interactions of variable span wings in low Reynold flows, *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.29), 381-385.
50. Muijres, F.T., Dickinson, M.H. (2014, January). Bird Flight-Fly with a Little Flap from Your Friends, *Nature*, 505(7483), 295-296.
51. İnternet: James, L. (2016, December). Dassault Systèmes Strengthens its Simulation Offering, *The Record*, Web: <https://www.technologyrecord.com/Article/dassault-syst232mes-strengthens-its-simulation-offering-56976> adresinden 20 Aralık 2019'da alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİR, Muhammet Tahir
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.12.1992-Ünye/ORDU
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0543 3877491
 E-mail : mtd14@windowlive.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstriyel Tasarım Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Karabük Üniversitesi / Otomotiv Mühendisliği	2015
Lise	Ünye Atatürk Anadolu Lisesi	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	Türk Standartları Enstitüsü	Araç Kontrol Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce, Fransızca, Almanca

Yayınlar

1. Demir, M. T. (2020). Aerodynamic Wing Design With Biomimetic Approach and A Practice. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 7(1), 11-20.
2. Eldem, C., Şahin, İ., Demir, M. T., Top, N., ve Şahin, T. (2019). Araç Bakım Kanallarının Dijital İnsan Modelleri ile Ergonomik Analizi ve Yeniden Tasarımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 386-392.



GAZİ GELECEKTİR...