



Application of Biomimetic Approach on Car Rim Design

 Muhammet Tahir DEMİR^{1,*}  Veysel ÖZDEMİR² 
¹ Turkish Standards Institution, Vehicle Project Group Presidency, Yenimahalle/Ankara

² Gazi University Faculty of Technology, Department of Industrial Design Engineering, Yenimahalle/Ankara

Graphical/Tabular Abstract

In this study, rim design has been biomimetically evaluated in order to contribute to aerodynamic studies carried out with the sensitivity of increasing economic savings in the period since the invention of the automobile.

Article Info:

Research article
 Received: 22/08/2020
 Revision: 09/10/2020
 Accepted: 15/10/2020

Highlights

- Car Rim Aerodynamics
- Flow Analysis
- From Biology to Design
- Peregrine Falcon Bird

Keywords

Aerodinamics
 Car Rim Design
 Biyomimetic

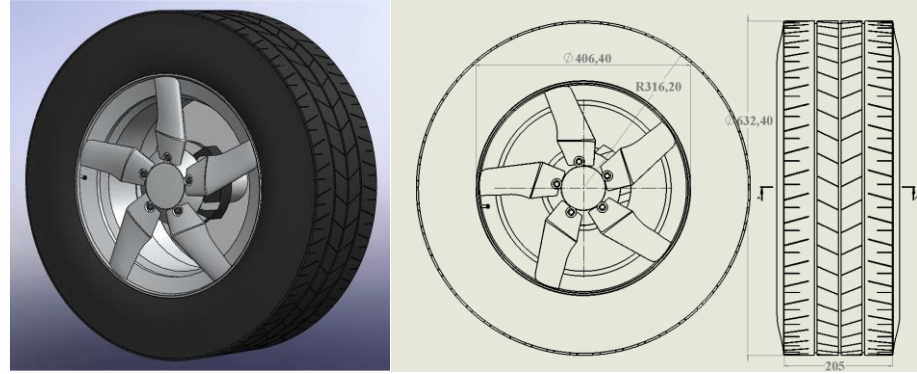


Figure A. Image of the rim designed with biomimetic approach

Purpose: In this study, deficiencies were determined by examining the previous wheel design studies. In this direction, the effect of the rim designed with biomimetic approach on wheel and vehicle aerodynamics has been revealed.

Theory and Methods: The rim design, inspired by the Peregrine Falcon bird, was modeled in computer environment with the Solidworks 2016 program, adopting the biomimetic science study methodology from biology to design. Honda Civic 1.6 i-VTEC Elegance car, which has a standard appearance, was compared with the rim used in 2007-2011 and improvements were revealed.

Results: Designed rim and standard rim were compared in terms of total pressure, total temperature, drag coefficient and friction force. Analyzes show that the design, inspired by the wing movements made by the Peregrine Falcon bird flying in the air, reduces the air resistance and positively affects the rim in terms of aerodynamics.

Conclusion: Decreasing this resistance force created by the air on the rim will increase the fuel economy of the vehicle. At the same time, it was concluded that the biomimetic approach is an important means for future designs in this field.



Biyomimetik Yaklaşımın Jant Tasarımı Üzerinde Uygulanması

Muhammet Tahir DEMİR^{1,*} Veysel ÖZDEMİR²

¹ Türk Standartları Enstitüsü, Araç Proje Grup Başkanlığı, Yenimahalle/Ankara

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Yenimahalle/Ankara

Öz

Kısıtlı, pahalı, geri dönüşümü olmayan ve çevreye duyarlı olmayan 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 çalışmada biyomimetik bilimi çalışma metodolojilerinden biri olan 'biyolojiden tasarıma' yaklaşımı uygulandı. Bu yaklaşımın 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.

Application of Biomimetic Approach on Car Rim Design

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 factors for polluting the environment. Recently, there have been 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 an important branch of energy saving R&D studies and gained importance especially in the last two decades. 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.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 22/08/2020
Düzeltilme: 09/10/2020
Kabul: 15/10/2020

Anahtar Kelimeler

Aerodinamik
Jant Tasarımı
Biyomimetik

Keywords

Aerodynamics
Car Rim Design
Biomimetic

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji günümüzde insanlığın en önemli kaynağı durumuna gelmiştir. Artan teknolojiyle birlikte enerjiye olan bağımlılık artmakla birlikte enerjinin sürekliliğinin sağlanması ve kaynaklarının çoğaltılması elzem duruma gelmektedir. Artık enerjinin kullanımının yanısıra doğru ve tasarruflu kullanımı da önem arz etmektedir. Bu amaçlarla enerjinin sürekliliği için yenilebilir enerji kullanım teknolojilerinin geliştirilmesi, fosil yakıtlara bağlı olarak kullanılan teknoloji ve aygıtların enerji tasarrufunun artırılması gibi çalışmalar en önemli araştırma ve geliştirme konuları olmuş ve olacaktır. Bu çalışma 2020 yılında yayımlanan çalışmamızın [1] devamı niteliğindedir.

Yayımlanmış çalışmada genel kapsamıyla tasarım çalışması kendi içinde değerlendirilmiş olup bu çalışmada tasarım çalışması piyasada bulunan bir model ile karşılaştırmalı olarak aerodinamik etkileri incelenerek sonuçlar ortaya çıkarılmıştır.

Bu çalışmada jant kanat yapısının jant aerodinamiğine olan etkisi incelenmiş ve biyomimetik yaklaşımla yapılacak tasarımın kazandırdığı değerler ortaya konulmuştur.

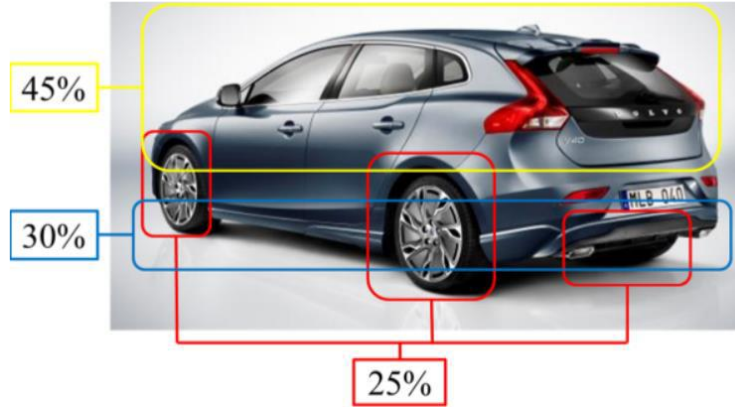
2. JANT AERODİNAMİĞİ (RIM AERODYNAMICS)

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 [2].

Tablo 1. Sürüklenme direnç katsayısının tahmini dağılımı [2]

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

Gövde altı ve jant yuvaları birlikte aerodinamik sürtünme kuvvetinin büyük bir kısmından sorumlu olduğu için bu alanların büyük bir gelişme potansiyeli olduğu düşünülmektedir [3]. 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.



Şekil 1. Sürüklenme direnç katsayısının etki dağılımı [3]

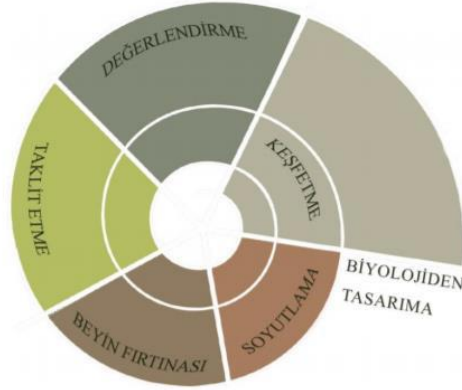
2.1. Biyomimetik Tasarım- Doğanın Tekniğini Değerlendirme (Biomimetic Design- Evaluating Nature's Technique)

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 [4].

Biyomimetik tasarım konusunda araştırmacılar farklı yöntemler ortaya koymuştur. Bu yöntemler tasarım, mühendislik gibi alanlar için geliştirilmiş olup, biyomimikri yaklaşımının metodolojisi 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 (Şekil 2).

Bunlardan ilki biyolojiden tasarıma; doğada keşfedilen, tasarıma uyarlanabilecek örneklerin değerlendirilmesiyle yürüyen süreçtir. İkincisi biyolojiye sorma; tasarım için aranan çözüme yönelik doğadaki örneklerin araştırılmasını sağlar. Yöntemler arasındaki en belirgin farkın, beriki yöntemde tasarımcının daha çok söz sahibi olduğu ve tasarımcının belirlediği problemin çözümüne yönelik araştırma yapılırken öncekinde belirlenen örneğin tasarıma uyarlanması olduğu göze çarpmaktadır.

Bu çalışmada biyolojiden tasarımı yöntemi tercih edilmiştir.



Şekil 2. Biyolojiden tasarıma metodolojisi

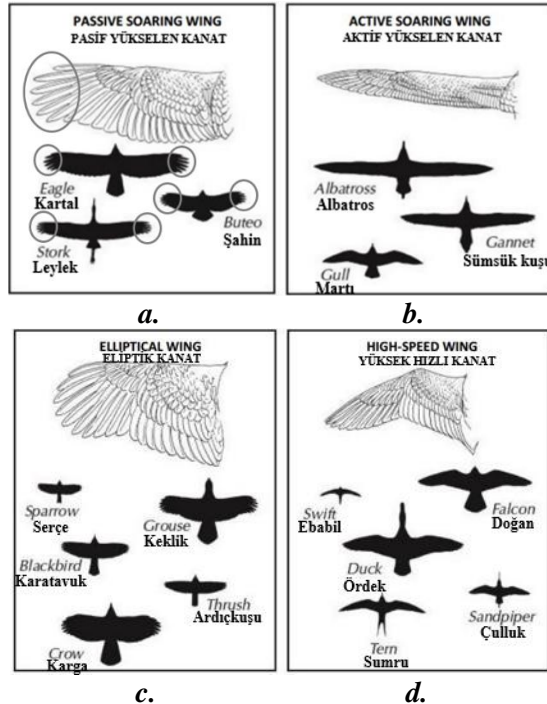
Genel hatlarıyla bu çalışmada benimsenen biyolojiden tasarıma metodolojisi uygulama süreci şu şekildedir;

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 kapsam olarak belirlenmiştir.

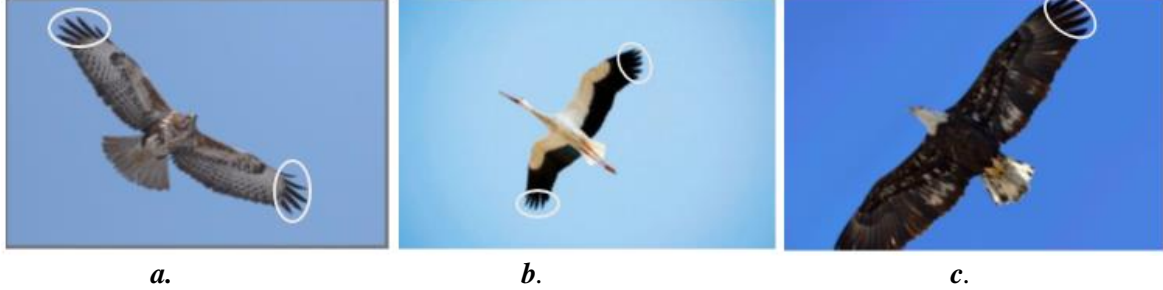
Adımlar;

1. Doğadaki modelleri keşfetme:



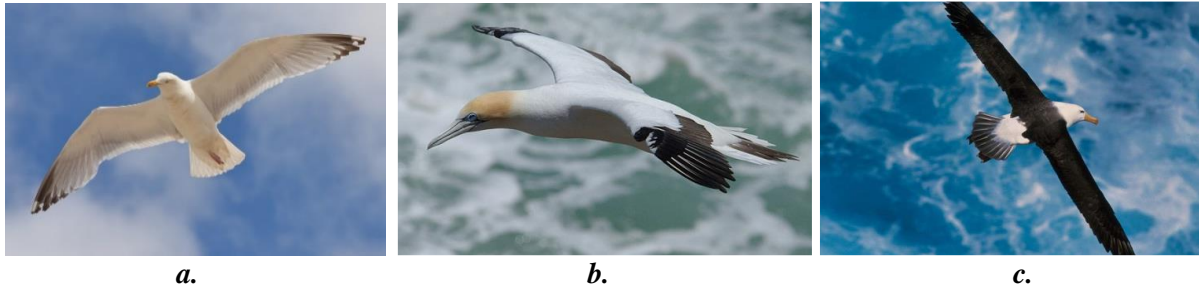
Şekil 3. Farklı türdeki kuşların kanat tipleri

Şekil 3.a’da verilen pasif yükselen kanat örneklerinde uzun birincil yayılan tüyleri (Şekil 3.a. ve Şekil 4.a-c’de işaretlenmiş bölgeler), 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 Şekil 4.a-c’de gösterilmektedir.



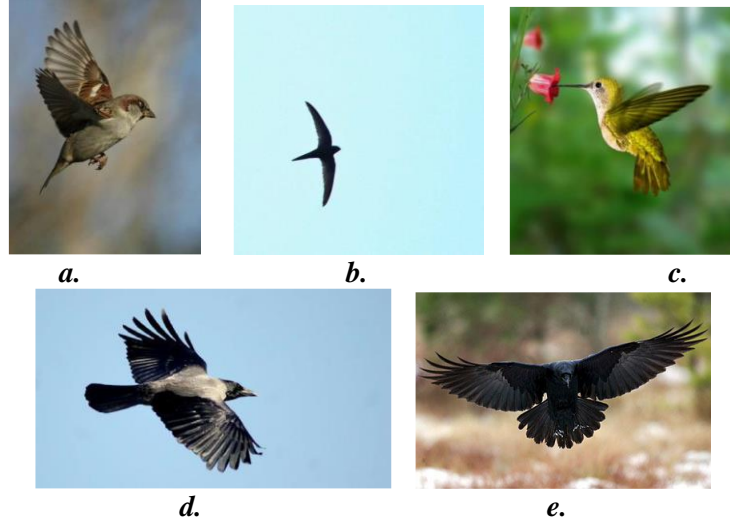
Şekil 4. Şahin, leylek ve kartal kuşları

Şekil 3.b’de şematik gösterilen aktif yükselen kanatlar uzun ve dardır. Bu takımdaki kuşların kanatları uzun süre uçmalarına veya kanat çırpmaksızın uçmalarına izin vermektedir. Ancak, bu kuşlar rüzgar akımlarına pasif yükselen kuşlardan çok daha bağımlıdır. Kuş örnekleri bu kanat tipi için albatroslar, martılar ve sümsük kuşlarıdır (Şekil 5.a-c). 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.



Şekil 5. Martı, sümsük ve albatros kuşları

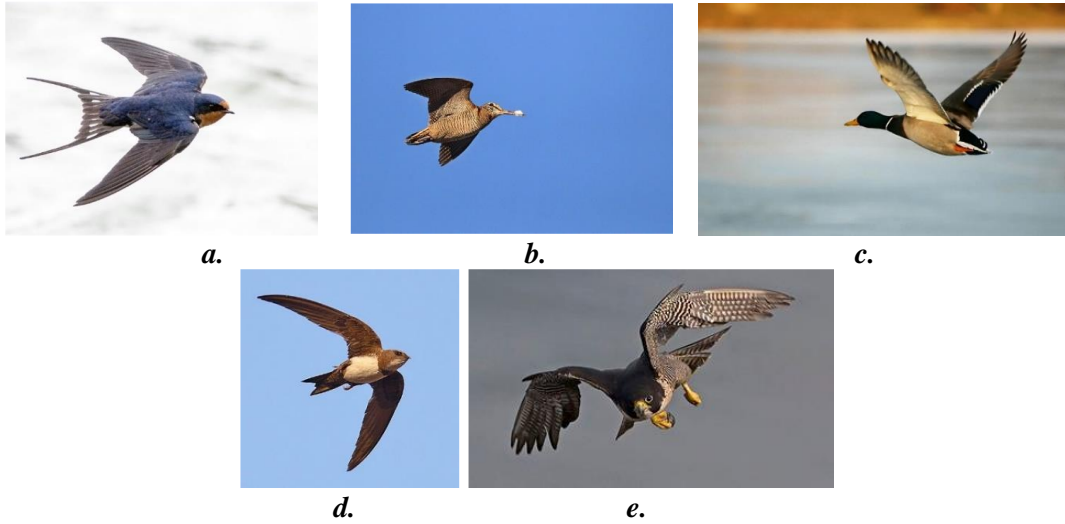
Eliptik kanatlar, yüksek hızlı kısa manevra kabiliyeti için iyidir. Kanatlar hızlı kalkışlara ve sıkı manevralara izin verir. Bu kanat tipleri yüksek hıza ulaşmayı sağlamakta ancak yapıları gereği hız uzun süreli korunamaz. Kuş örnekleri bu kanat türü için kargalar, kuzgunlar, karatavuklar, sinek kuşu ve serçelerdir (Şekil 6.a-e). Vurgulanan bu eliptik kanatlar aslında küçüktür ve kanat çırpma frekansı yüksektir. Yüksek hızlı frekansta kanat çırpma için kanat şekline göre, kuşun sinirleri ve kasları inanılmaz hızlı hareket edecek şekilde özel olarak yaratılmıştır. Örneğin Şekil 6.c’de gösterilen sinek kuşu hızlı ve güçlü kanatları sayesinde çiçekten çiçeğe gezerken ve nektarı yudumlarken yüzüyor gibi görüldüğü söylenebilir.



Şekil 6. Serçe, karatavuk, sinek kuşu, karga ve kuzgun

Şekil 3.d’de şematik olarak gösterilen yüksek hızlı kanatlar uzun ve incedir, ancak aktif yükselen kanatlı kuşlar ile karşılaştırıldığında daha kısa oldukları söylenebilir (Şekil 6,7.). Adından da anlaşılacağı gibi, bu kanatlı kuş tipleri 390 km/s hıza çıkabilecek kadar inanılmaz hızlıdır. Ancak eliptik kanatlı olanlardan farklı olarak, bu kuşlar daha geniş yapılı kanatlara sahip olmasından kaynaklı daha uzun bir süre hızlarını koruyabilirler.

Bu kanat tipindeki kuşlara örnek olarak; eabilgiller, ördekler, doğangiller, kırlangıçlar ve çullukgiller sayılabilir (Şekil 7.a-e) [5].



Şekil 7. Kırlangıç, çulluk, ördek, eabil ve gökdoğan (bayağı doğan)

2. Biyolojik prensipleri soyut hale getirme:

Yüksek hızlı kanat tipine sahip 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 [6].

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 [7].

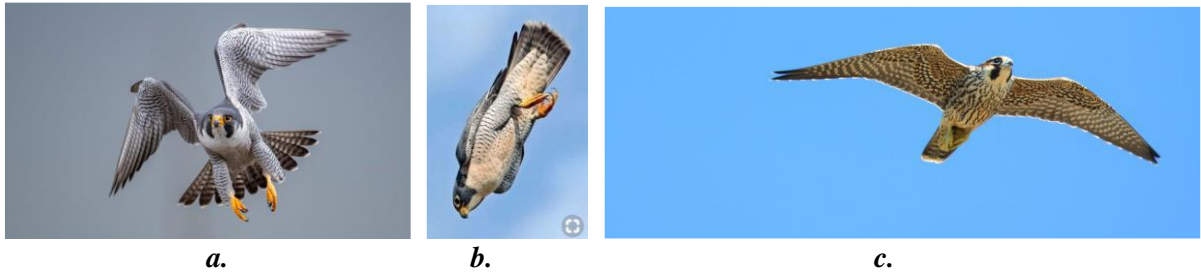
3. Olası uygulamaları düşünme:

Otomobil tekerleklerinde istenen önemli özellikler hız ve enerji tasarrufu olarak sınıflandırılabilir. Enerji tasarrufu bütün kuşların ortak özelliği olduğu için en hızlı kanat tipine ve özelliğine sahip olan gökdoğanların kanat yapılarının çalışılan jant tasarımı uygulamasında kullanılmasına karar verilmiştir.

4. Doğanın stratejisini taklit etme:

Gökdoğanların uçuş özellikleri yukarıdaki genel inceleme sonrasında daha detaylı olarak incelenmiştir. İncelemelere göre bu inanılmaz işler yapan kuş türü hızlanma esnasında kanatlarını gövdesine yaklaştırarak şeklen tek kanadıyla ters V gövdesi itibarıyla M harfi yaparak (Şekil 8.a) hızını artırmaktadır. En hızlı uçtuğu esnarlarda bir nevi kanat gövde yapısını su damlasına benzetmektedir (Şekil 8.b). Hızını koruma esnasında da alttan bakıldığında yine önden görüldüğü gibi tek kanadıyla ters V gövdesiyle M harfi şeklini almaktadır (Şekil 8.c).

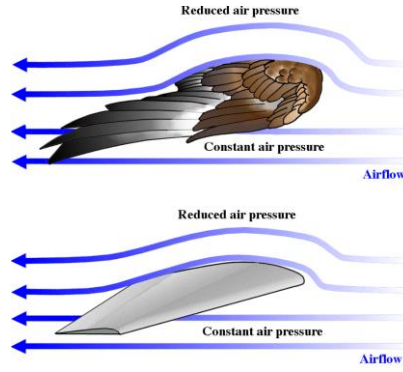
Kuşun yaptığı dikey hareket nedeniyle süpürülen bir hava hacmi vardır. Hava hacmi jant içindeki kanatların dönerek yaptığı hareket esnasında da süpürülmektedir. Bu nedenle Gökdoğan kuşunun yaptığı dikey hareketin jantın yaptığı dairesel hareketle süpürülen hava hacmi ve hava direnci açısından benzerdir.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



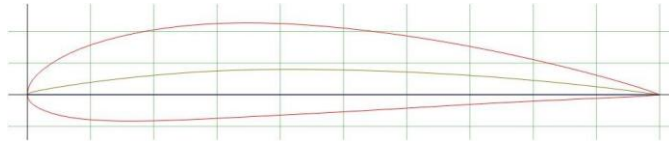
Şekil 8. Gökdoğan kuşunun jant tasarımına dahil edilmesi

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. ICFM 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 [8].

Bir başka araştırma da gökdoğanın gerçek zamanlı yüksekten 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 çıkmış ve kuşun dalış esnasında yağmur damlasına benzer bir profilde seyrettiği gözlemlenmiştir (Şekil 9) [9].



Şekil 9. Gökdoğanın dalış esnasında girdiği yağmur damlası formu



Şekil 10. NACA 4415 Yağmur damlası profili [10]

Bu çalışmada yukarıda bahsedildiği üzere kanat yapısı olarak gökdoğan kuşu kanadından esinlenilirken, kanat kesit yapısı olarak da en mükemmel yapıya sahip yağmur damlasından esinlenilmiştir.

Yağmur damlası kanat tasarımı

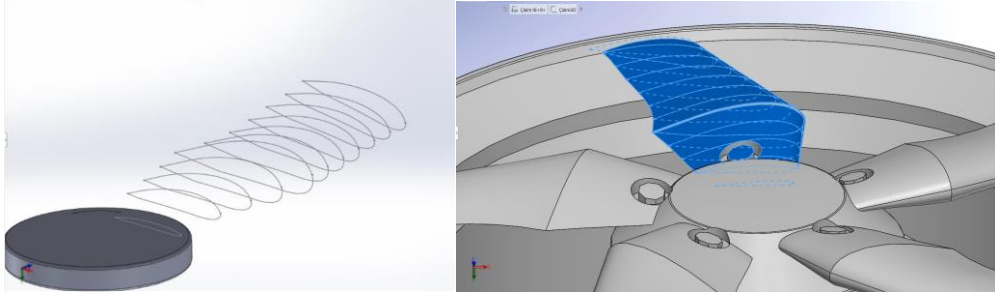
Minimum Sürtünme, Maximum Hızlanma, Maximum Enerji Tasarrufu, Minimum Enerji Sarfıyatı, Maximum Güç Eldesi gibi nedenlerden dolayı aerodinamik tasarımlarda kullanılan en önemli profildir (Şekil 9,10). Bu etkenleri önemseyen bir tasarımcı yağmur damlası profilini kullanmak zorundadır.

5. Yaşamın ilkelerini değerlendirme:

Her ne kadar bu aşamaya kadar yapılan incelemeler neticesinde doğadan esinlenilecek yapının tasarıma yenilikçi çözüm sunduğu sonucuna varılmış olsa da bu çözümün mühendislik hesaplamaları ile analizi yapılmadan kesin sonuç ifadeleri söylenemez. Çözüm olarak sunulan tasarım şeklinin araç aerodinamiğine etkisinin olacağı ve jant yapısında görsel olarak da değişimde bulunacağı yadsınamaz. Bu bağlamda biyomimetik yaklaşımla yapılan otomobil jant tasarımı ve analizlerine ilişkin yapılan detay çalışmalar sonraki bölümlerde verilmektedir.

2.2. Jant Tasarımı (Rim Design)

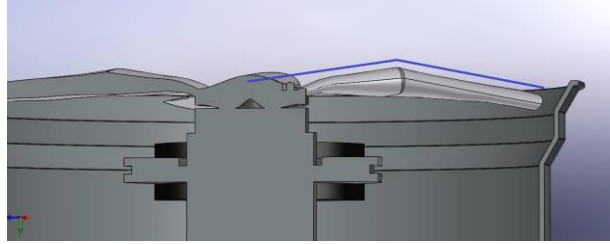
Farklı yapılarda jantlar mevcut olmakla birlikte bu jantlar farklı amaçlarla kullanılmak istenebilir. Rüzgar direncine karşı yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla araçlarda aerodinamiği uygun hale getirmek istenmektedir. Jant, gövde ve kanatlardan oluşmaktadır. Jant gövdesi akslara jant kanatları da lastiğe 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. Çalışmada jant kanat sayısı olarak piyasada en çok tercih edilen model olan 5 kanatlı model seçildi. Bu çalışmada sadece janttan kaynaklanan aerodinamik yapıya etkiyen direnç kuvvetleri indirgemek hedeflenmiştir.



Şekil 11. Tasarlanan kanadın kesit yapısı

Araştırmaların hiçbiri doğadan esinlenerek yapılmamış genellikle deneme yanılma veya yapıları geliştirme yoluyla yapılmışlardır. Yapılan literatür taramasına göre biyomimetik bilimi jant aerodinamiği konusunda kullanılmamıştır. Bu nedenlerden dolayı tasarım, mükemmel özelliklerde yaratılan canlılarda aranmış ve çalışmaya uyarlanmıştır.

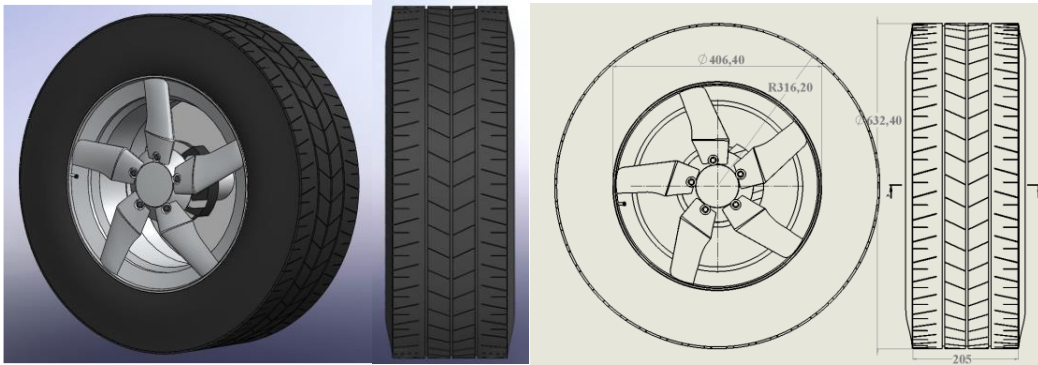
Fotoğraflarda da görüldüğü gibi kuşlar hızlı uçmak istediklerinde süzülürken kanatlarını ters V şeklinde hafif bükerek. Bu akan havanın kanatlarına temas yüzeyini azaltıp en ekonomik uçuşu sağlamakla birlikte gövdelerinden kanat uçlarına doğru hava akış hızını artırmaktadır.



Şekil 12. Tasarlanan 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 Şekil 12.'de gösterilmiştir. Aynı kuşlar gibi ters V kanat şekli verilmiştir.

Gökdoğan kuşundan ilham alınan kanat tasarımı yağmur damlası kanat kesit şekliyle 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'dir.



Şekil 13. Biyomimetik yaklaşımla elde edilen tasarımın görünüşleri

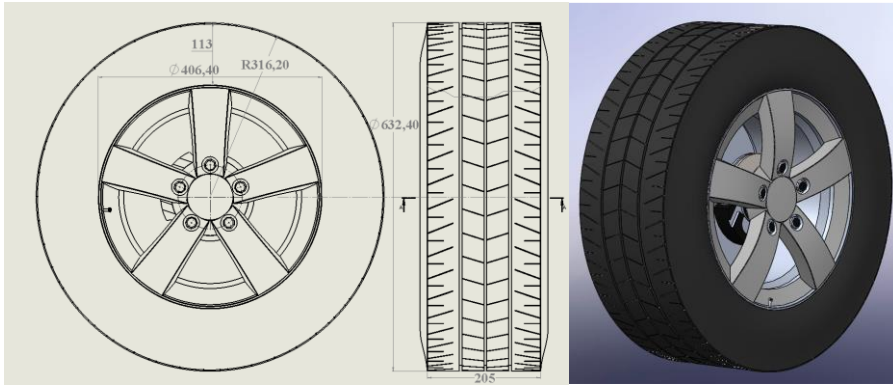
Görsellerde görüldüğü gibi jant tasarımı ön görünüşten gözükmemekte ve lastik kaplamasının iç tarafında yer almaktadır.

2.3. Tasarımın Akış Analizi (Flow Analysis of Design)

Bu bölümde Solidworks programının Akış analizi modülü kullanılmış ve analiz için bir rüzgar tüneli modellenmiştir. 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.

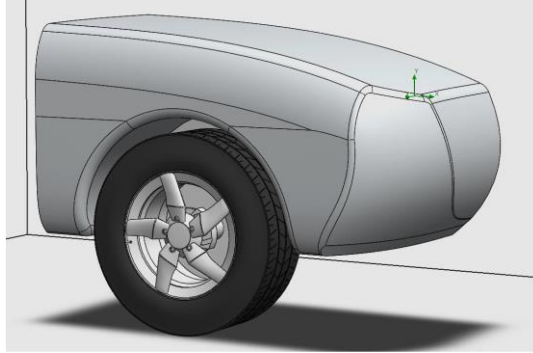
Analiz için tasarlanan jantla birlikte yine aynı ebatlara sahip standart bir jant modeli tasarlandı. Bu iki jant modelinin analizlerini kıyaslayarak tasarımın olumlu taraflarını gözlemleme imkanı bulunmuş oldu.

Seçilen 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.



Şekil 14. Seçilen jant modelinin teknik ölçüleri ve 3 boyutlu görünümü

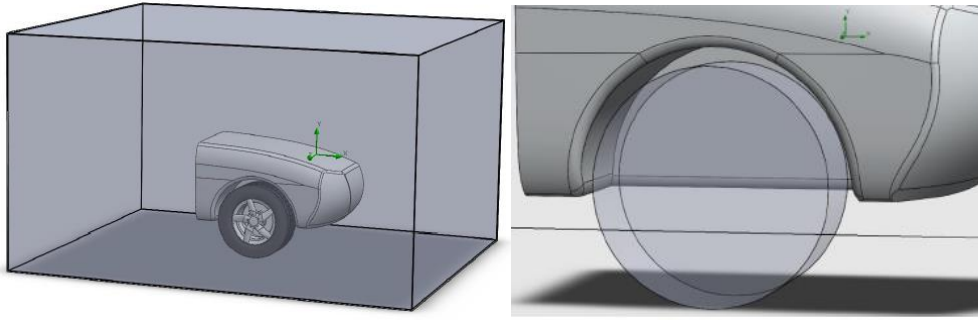
Şekil 14’de seçilen jantın Solidworks 2016 programında modellenen katı görüntüleri gösterilmektedir. Bu jantın kanatları ve bijon delikleri haricinde bütün tasarımı biyomimetik bilimi ile tasarlanan jant ile aynıdır.



Şekil 15. 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 gerekmektedir. Çamurluk gerçek araç boyutları göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Tekerleğin binek araçlarda kullanılması yönünde inceleme yapıldığı için çamurluk etkisi de analize dahil edilmiştir.

Analiz kafes yapısı oluşturulup analiz bu kafes içinde gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem analizin daha kısa sürede sonuçlanmasını sağlamaktadır. Kafes 2000 mm yüksekliğinde 3000 mm genişliğinde 7000 mm derinliğinde modellenmiştir (Şekil 16.a).



a. Analiz kafesi

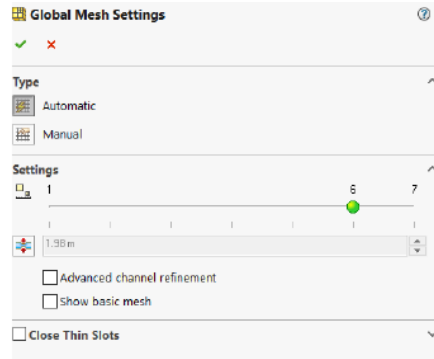
b. Jant hareketinin gerçekleştiği analiz silindiri

Şekil 16. Akış analizi için oluşturulan sınır şartları

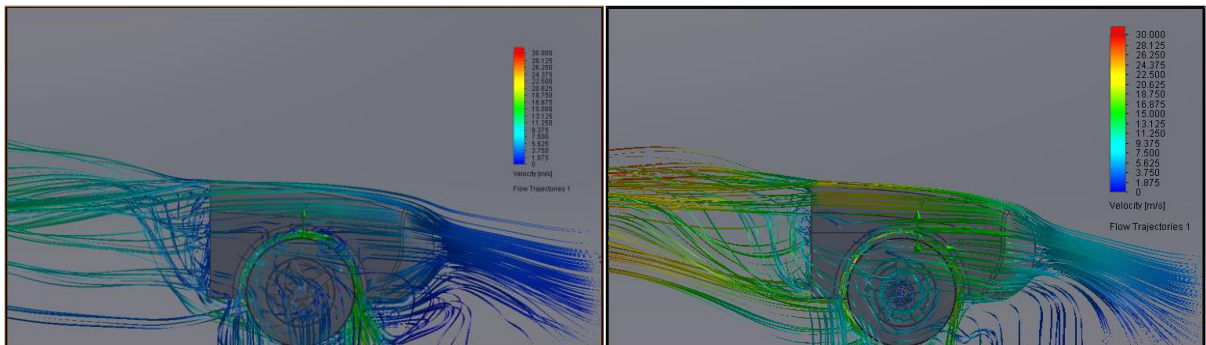
Programda kullanılacak kendi eksenindeki jant hareketinin analizinin yapılacağı silindir 633 mm çapında ve 250 mm genişliğinde modellenmiştir (Şekil 16.b).

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.

Mesh (ağ örgüsü) ayarı 7 seviye üzerinden 6. seviyede ayarlanarak sonuçlar elde edilmiştir Ağ yapısı otomatik program tarafından oluşturulmuştur (Şekil 17).

**Şekil 17.** Akış analizi için mesh (ağ örgüsü) ayarı

2.4. Jantın Akış Analizi (Rim Flow Analysis)



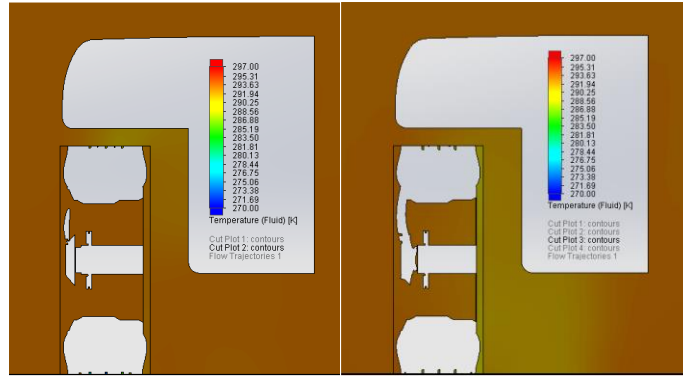
a. Tasarlanan jant

b. Standart jant

Şekil 18. Tasarlanan janta ve standart janta etkileyen hava akış vektörel dağılımı

Girilen parametre ve tasarım girdilerine göre montaj formatında akış analizi yapılmıştır (Şekil 18.a-b). Tasarlanan jantta 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.

Standart janta uygulanan hava akışının tasarımdaki akış şekline benzer bir davranış göstermektedir. Akış zemine paralel bir açıyla modelden ayrılmakta ve laminer 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.

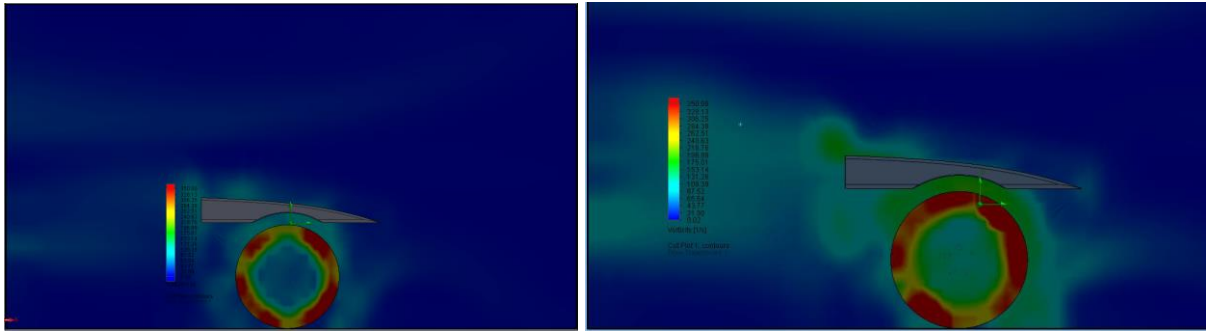


a. Tasarlanan jant

b. Standart jant

Şekil 19. *Tasarlanan janta ve standart janta etkiyen akışın jant merkez kesitinden sıcaklık dağılımı*

Şekil 19'da 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 görülmektedir. Bu azalma jantın dış yüzeyindeki akış ısısının azalmasından kaynaklanmaktadır.



a. Tasarlanan jant

b. Standart jant

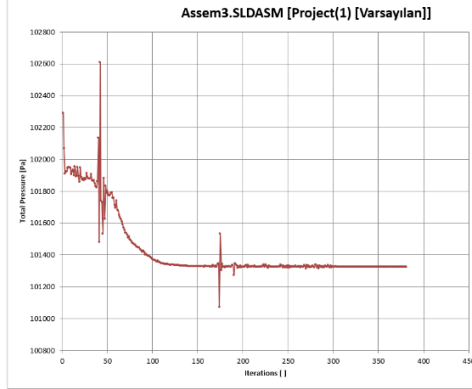
Şekil 20. *Tasarlanan jant ile standart janttaki vorticity dağılımı*

Şekil 20'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.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Tablo 2. Tasarlanan jantın ve standart jantın bulunduğu modellerde oluşan toplam basınç kuvveti dağılımları

a. Tasarlanan jant



b. Standart jant



Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
a. GG Bulk Av Total Pressure 1	[Pa]	101325,4437	101325,6113	101325,3857	101325,978	100	Yes	0,592293185	36,48135054

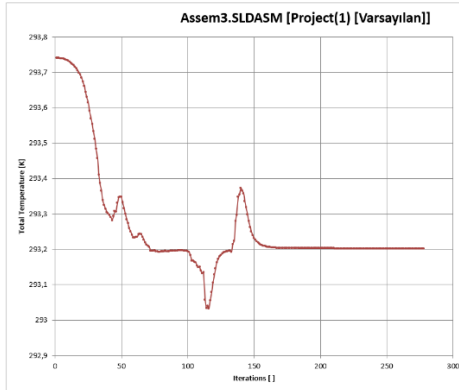
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
b. GG Bulk Av Total Pressure 1	[Pa]	101327,1071	101327,243	101323,444	101335,8242	100	Yes	0,888673435	16,665694

Tasarlanan jantın bulunduğu modelin basınç değişimi grafiği Tablo 2.b’de gösterilmiştir. Ortalama olarak 381 iterasyon değerinde 101325,6113 Pa değer elde edilmiştir.

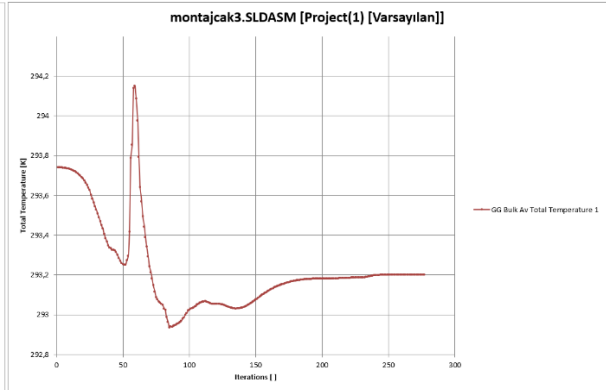
Standart jantın bulunduğu modelin basınç değişimi grafiği Tablo 2.b’de gösterilmiştir. Ortalama olarak 381 iterasyon değerinde 101327,243 Pa değer elde edilmiştir. Bu değerlere göre standart janta oranla tasarlanan jantın bulunduğu modelin toplam basıncı % 0,00161’lik bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu düşüş ihmal edilebilir bir değer olduğu için iki modelin toplam basıncının birbirine eşit olduğu kabul edilebilir.

Tablo 3. Tasarlanan jantın ve standart jantın bulunduğu modellerde oluşan toplam sıcaklık değişimi dağılımları

a. Tasarlanan jant



b. Standart jant



Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
a. GG Bulk Av Total Temperature 1	[K]	293,2019655	293,2015058	293,1995596	293,2021051	100	Yes	0,002545499	0,027279402

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
b. 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 Tablo 3.a’da gösterilmiştir. Ortalama olarak 278 iterasyon değerinde 293,2020039 Kelvin değer elde edilmiştir.

Standart jantın bulunduğu modelin sıcaklık değişimi grafiği Tablo 3.b’de gösterilmiştir. Ortalama olarak 278 iterasyon değerinde 293,2015058 Kelvin değer elde edilmiştir. Bu değerlere göre standart janta oranla

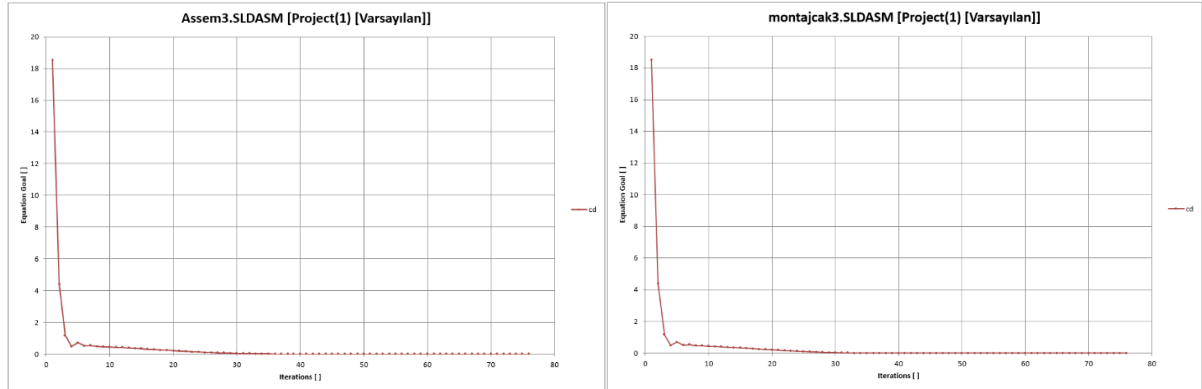
tasarlanan jantın bulunduğu modelin toplam sıcaklığında % 0,00016988316'lık bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış ihmal edilebilir bir değer olduğu için iki modelin toplam sıcaklığı birbirine eşit kabul edilebilir.

Janta dönme hareketi verilmeden belirtilen analiz parametrelerine göre yapılan analizde hesaplanan Cd (sürüklenme katsayısı) değeri Tablo 4.a-b' de gösterilmiştir.

Tablo 4. Tasarlanan jantın ve standart jantın bulunduğu modellerin analizdeki sürüklenme katsayısı grafikleri

a. Tasarlanan jant

b. Standart jant



Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Normal Force 1	[N]	0,049416614	0,087252906	0,049416614	0,144890329	100	Yes	0,095473715	13,56963402
cd	[]	0,000126878	0,000224024	0,000126878	0,000372009	100	Yes	0,000245131	0,034840298

a.

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Normal Force 1	[N]	0,057313417	0,084041022	0,051803493	0,127969516	100	Yes	0,076166023	13,56973387
cd	[]	0,000147153	0,000215777	0,000133006	0,000328564	100	Yes	0,000195558	0,034840554

b.

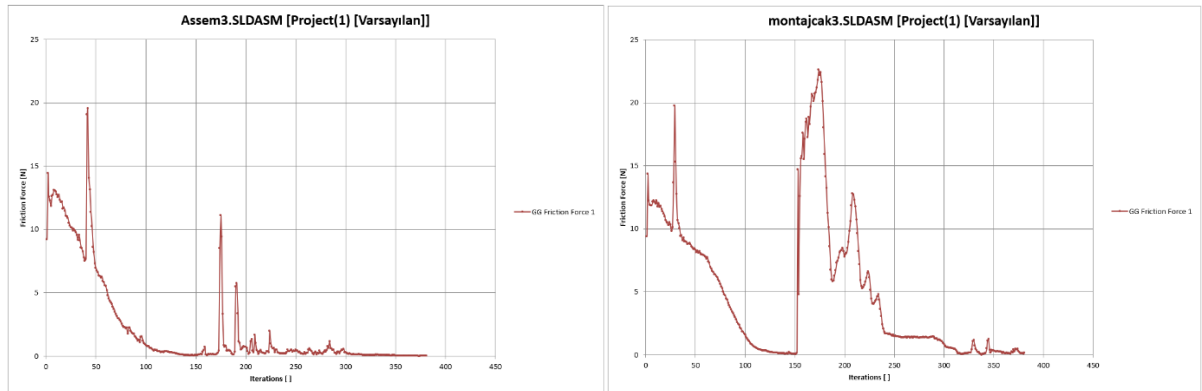
Biyomimetik olarak tasarlanan jantın bulunduğu modelin Cd katsayısı ortalama değer olarak 76 iterasyon değerinde 0,000224024 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.a).

Standart jantın bulunduğu modelin Cd katsayısı ortalama değer olarak 76 iterasyon değerinde 0,000215777 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.b). Bu sonuçlara göre tasarlanan jantın durgun şartlarda Cd katsayısı standart janta oranla % 3,822 oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Durgun halde standart jantın tasarlanan janta göre sürüklenme direnci ve aerodinamik yapısının daha düşük olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 5. Tasarlanan jantın ve standart jantın bulunduğu modellerin analizdeki sürtünme kuvveti grafikleri

a. Tasarlanan jant

b. Standart jant



Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Friction Force 1	[N]	0,021430248	0,046746459	0,014302744	0,102176387	100	Yes	0,087873643	0,553313622

a.

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Friction Force 1	[N]	0,163122671	0,259107818	0,01580639	1,247415348	100	Yes	0,367751359	0,530399005

b.

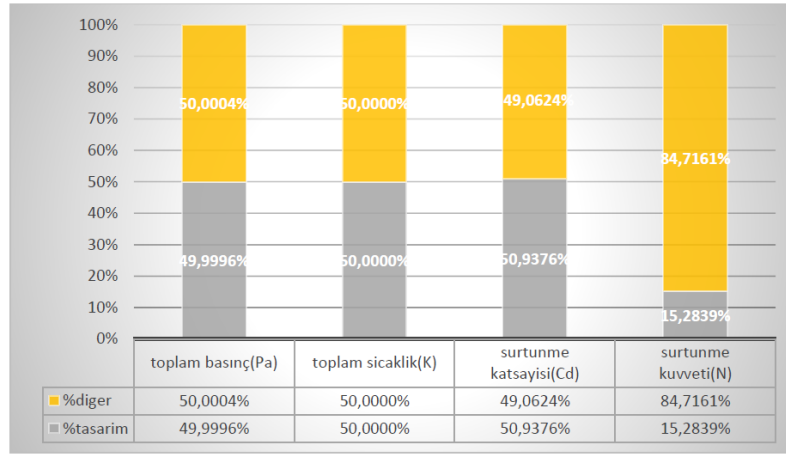
110 rad/sn'lik dönüş hızı verilerek yol şartları dikkate alınarak yapılan analizde sürtünme kuvvetleri değişimi Tablo 5.a-b' de gösterilmiştir.

Tablo 5.a'da tasarlanan jantın analiz sonucunda ortaya çıkan sürtünme kuvveti 381 iterasyon hesabında 0,046746459 N olarak hesaplanmıştır. Tablo 5.b'de standart jantın analiz sonucunda ortaya çıkan sürtünme kuvveti 381 iterasyon hesabında 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.

Çamurluklu yapılan analiz karşılaştırmasına göre biyomimetik yaklaşımla tasarlanan jant modeli diğer modele göre toplam basınç ve sıcaklıkta eşit, durgun haldeki sürtünme katsayısında fazla ve sürtünme kuvvetinde düşük olduğu ortaya çıkmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Yapılan akış analizinin tasarlanan jant ile diğer jant arasındaki toplam basınç, toplam sıcaklık, sürtünme katsayısı ve sürtünme kuvveti üzerinden yüzdeler dağılımı



Sonuç olarak 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 cd 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 Cd katsayısı daha fazla olmasına rağmen bilinenin aksine uğradığı sürtünme kuvveti daha düşük çıkmıştır. Bu sonuçlar gösteriyor ki Cd 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.

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.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Çalışma boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Veysel ÖZDEMİR, Prof. Dr. Hüdayim BAŞAK ve Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ'a teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [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] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı (2007). *MEGEP-Motorlu Araçlar Teknolojisi Gövde Mekaniği-1*. Ankara: MEB Yayınevi.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Thompson, M. (2019). *Ruby's Birds -Birds and their Wing Shapes*. New York: The Cornell Lab of Ornithology, 1-36.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Salleh, H., Sahrin, S. B., Azmi, M.H.B., and Khan, S.A. (2018, September). Fluidstructure interactions of variable span wings in low Reynold flows, *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.29), 381-385.