



Sert kabuklu araç üstü kamp çadırının aerodinamik tasarımı ve analizi

Aerodynamic design and analysis of a hard-shell rooftop camping tent

Özkan Özmen^{1,*}, Mümin Özden²

¹ Erciyes Üniversitesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, 38030, Kayseri, Türkiye

² Sateksan Makine Sanayi A.Ş., Melikgazi Organize Sanayi Bölgesi, 38070, Kayseri, Türkiye

Öz

Kampçılar, araçlarını ve çadırlarını tek bir yerde bulabildikleri için araç üstü çadırlar, ikili bir amaca hizmet eden önemli bir ürün haline gelmiştir. Sert kabuklu araç üstü çadırların tasarımında en önemli parametrelerden birisi aerodinamik bir geometriye sahip olmasıdır. Araçlar için kullanılacak bu tür dış ekipmanlar, yoldaki sürtünmeyi azaltarak, daha sessiz, pürüzsüz, verimli ve genel olarak güvenli bir sürüş sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Böylece yakıt verimliliğinin sağlanmasının yanında aracın konfor ve performansına da olumlu yönde katkı sağlayacağı açıktır. Bu gereksinimler dikkate alınarak bu çalışmada NACA 0021 geometrisi temelinde sert kabuklu araç üstü çadırın, tasarım geometrisi (Model M) oluşturulmuştur. Model M'nin aerodinamik performansı, Ansys Fluent hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı ile analiz edilmiştir. Ayrıca, ticari bir araç üstü çadır modeli ile aynı analizler gerçekleştirilmiş ve aerodinamik performansları karşılaştırılmıştır. Model M'nin ticari modele göre ortalama %86.31 daha az sürüklenme kuvveti ve %13.20 daha az basma kuvveti oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sert kabuklu araç üstü çadır, Aerodinamik tasarım, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

1 Giriş

Gelişen bir turizm sektörü olarak kamp özellikle koronavirüs krizinden sonra popüler bir faaliyet olarak geceyi güzel bir ortamda, doğaya yakın bir yerde geçirilen açık hava ağırlama endüstrisinin bir parçası olarak tanımlanır. Özellikle Orta Asya'da binlerce yıldır insanlar barınma ihtiyacını giderebilmesi için çadırlarda yaşamalarına rağmen günümüzde açık havada geçici olarak ikamet edilen bir eğlence etkinliği olarak devam etmektedir. Son yıllarda ise kampçılık endüstrisinde gözle görülür değişimlerin gerçekleşmesiyle birçok farklı özellikte kamp konaklama türleri ortaya çıkmıştır [1, 2]. Bunlar, genel olarak Tablo 1'deki gibi sınıflandırılabilir [3].

Farklı kamp türleri için üretilen ekipmanlar ise sürekli büyüyen bir pazardır. Fortune Business Insights'ın, kamp ekipmanları hakkında yayınladığı rapora göre, global kamp ekipmanları büyüklüğü 2023 yılında 83 milyar \$ olarak değerlendirilirken 2024 yılında 89.81 milyar \$'dan 2032 yılına kadar 172.21 milyar \$'a yükselmesi öngörülmüştür [4].

Abstract

Since campers can find their vehicles and tents in one place, rooftop tents have become an important product that serves a dual purpose. One of the most critical parameters in the design of hard-shell rooftop tents is their aerodynamic geometry. Such external vehicle equipment should be designed to reduce road friction, providing a quieter, smoother, and safer ride, while also improving efficiency. Thus, it is clear that in addition to providing fuel efficiency, it will also contribute positively to the comfort and performance of the vehicle. In this study, considering these requirements, the design geometry (called Model M) of the hard-shell rooftop tent was based on the NACA 0021 geometry. Model M's aerodynamic performance was then analyzed using Ansys Fluent computational fluid dynamics programs. In addition, the same analyses were performed on a commercial hard-shell rooftop tent model (Commercial Model), and their aerodynamic performances were compared. It was found that Model M produced an average of 86.31% less drag force and 13.20% less downforce than the commercial model.

Keywords: Hard-shell rooftop tent, Aerodynamic design, Computational fluid dynamics

Tablo 1. Kamp konaklama türleri [3]

Çadırlar		
Bez Çadırlar	Çekme Çadırlar	
Araç Üstü Çadırlar	Diğerleri	
Çekme Karavan		
Karavanlar	Katlanır Karavanlar	
Moto-Karavan		
Motorlu Karavanlar	Araba Kampları	
Taşınabilir Sabit Konaklama		
Küçük Evler	Sabit Karavanlar	Yüzen Evler
Taşınamaz Sabit Konaklama		
Yazlıklar	Barakalar	
Kulübeler	Varil Kampları	

Kamp ekipmanları pazarını yönlendiren ilk üç etken ise: Online perakende satış formatlarının sosyal platformlarda bulunması

Araç üstü çadırlar hakkında farkındalığın artması

Kamp programlarındaki çeşitliliğin artması olarak belirtilmiştir [5].

Araç üstü çadır (AÜÇ)'ler, kampçılarının karşılaştığı lojistik zorlukları azaltarak, çadırların kurulması için güvenli

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: ozmen@erciyes.edu.tr (Ö. Özmen)

Geliş / Received: 02.08.2024 Kabul / Accepted: 27.08.2024 Yayımlanma / Published: 15.10.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1527130

bir yer bulma konusundaki kısıtlamayı çözmektedir. Bu kamp türü temizlik, konfor ve basit bir kurulum süreci gibi birçok lüks sunmaktadır. Yumuşak kabuklu çadırlar ve sert kabuklu çadırlar olmak üzere AÜÇ'lerin Şekil 1'de gösterildiği gibi iki ana tipi vardır [6].

Yumuşak kabuklu araç üstü çadır (YKAÜÇ), genellikle kalınlığı modelden modele değişen yırtılmaz kumaştan yapılmış, zemin çadırına benzeyen tipleridir. Bunun yanında havalı şişme yatak tarzı, bir kompresör yardımıyla şişirilen modeller de mevcuttur.

Sert kabuklu araç üstü çadır (SKAÜÇ), ise cam elyafından (fiberglas), akrilonitril bütadiyen stiren (ABS) veya alüminyumdan yapılmış sert bir dış kabuğa sahip olan modellerdir.



(a)



(b)

Şekil 1. Araç üstü çadırlar (a) Yumuşak kabuklu (b) Sert kabuklu [6]

AÜÇ'lerin, yer çadırlarına göre çok daha hızlı kurulumlarının yapılabilir olmasının yanında geleneksel bir çadırdan daha iyi rüzgâr, kar, yağmur koruması ve toprağın, zeminin veya çimin neminden koruma özellikleri vardır. Ayrıca kampçılar, toprak üzerindeki tehlikeli hayvanlardan veya yılanlar ve örümcekler gibi istenmeyen böceklerden uzak tutarlar. Bu esneklik, bireylerin engebeli arazilerden kentsel ortamlara kadar çeşitli ortamlarda kamp yapmasına olanak tanıyarak farklı tercihlere ve ihtiyaçlara göre tasarlanmış benzersiz bir kamp deneyimi sunar [7].

Geleneksel bir yer çadırı kadar kir veya kum toplamamaları, kampçılara daha temiz bir ortam sağlamanın yanında kurmak için düz bir zemine ihtiyaç duymamaları da ayrı bir avantajdır. Bir karavan ile karşılaştırıldığında ise karavana göre ucuz fiyatıyla ön plana çıkmakta olan AÜÇ'lerin popülaritesi her geçen gün artmaktadır [8].

Tablo 2'de SKAÜÇ ile YKAÜÇ'lerin genel bir kıyaslaması yapılmıştır. SKAÜÇ'ler malzemelerinden dolayı suya karşı daha dayanıklı ve YKAÜÇ'lara göre daha uzun ömürlü olma eğilimindedir. Bunun yanında daha iyi bir aerodinamik bir şekle sahip olduklarından yakıt tasarrufu sağlayarak araç üzerinde daha az sürüklenme kuvveti oluştururlar. Fakat YKAÜÇ'lara göre daha ağırlıdır. SKAÜÇ'ler 30 sn gibi çok kısa bir açılma/kapanma süresine sahipken çoğu YKAÜÇ'ler ise bir yer çadırı gibi araç üzerinde profesyonel kurulum gerektirmektedir. SKAÜÇ'lerin bakımı çok daha basittir. Kirilenmesi durumunda kabuk su ile rahatlıkla temizlenirken YKAÜÇ'lerin temizlenmesi için kumaşın sökülüp yıkanması gerekir.

Tablo 2. Araç üstü çadır türlerinin karşılaştırılması [6]

Araç Üstü Çadırlar	Sert Kabuklu	Yumuşak Kabuklu
Fiyat	★★★	★★★★
Ağırlık	★★★	★★★★
Açılıp-Kapanma	★★★★★	★★
Konfor	★★★★	★★★★★
Dayanıklılık	★★★★★	★★★★
Mevsimsellik	★★★★	★★★★

Yukarıda bahsedilen AÜÇ'lerin her iki türü de hatchback, sedan, station wagon, suv gibi araç tiplerinin herhangi birinde rahatlıkla kullanılabilir. Burada sınırlayıcı, araçların taşıyabilecekleri tavan ağırlık limitleridir ki bu ekstra ağırlık da (50-100 kg) araçların toplam ağırlığını artırır. Araçlarda her 100 kg'lık bir ağırlığın 100 km'lik bir mesafede yakıtı sırasıyla ortalama olarak benzinli araçlar için 0.2 - 0.4 L ve dizel araçlar için 0.15 - 0.3 L arasında artırdığı bilinmektedir [9]. Bunun yanında AÜÇ'lerin bazı modellerinin aerodinamik tasarımdan yoksun olmaları fazladan yakıt tüketimine sebebiyet vererek, yanlış geometrik tasarımın, araç tavanı ve süspansiyonlar da dâhil olmak üzere birçok mekanik parçayı olumsuz yönde etkileme potansiyeline sahiptir [6].

Yakıt tüketimini, dolayısıyla sera gazı kirliliğini azaltmak için ise daha verimli araçlara olan talepler otomobil üreticilerini, enerji tüketimini azaltma yarışına içerisine yönlendirmiştir. Otomobillerde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik tedbirlerin başında [9];

Yakıt ve yanma verimliliğinin artırılması (içten yanmalı motorlu araçlar için),

Araç ağırlığının azaltılması,

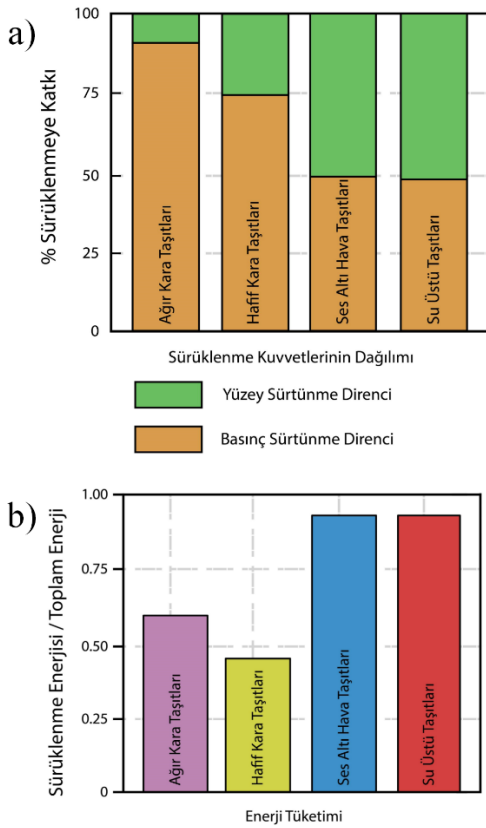
Yuvarlanma ve aerodinamik direncin azaltılması,

Hareketli elemanlarda sürtünmenin azaltılması gelmektedir.

Araç motorlarından elde edilen gücün çoğunluğu, aerodinamik sürüklenmenin (%53) ve yuvarlanma direncinin (%32) üstesinden gelmek için kullanılır; bu gücün yardımcı ekipmanlar için yalnızca %9'u ve aktarma organları tarafından ise %6'sı kullanılır. 88.5 km/s hızla

hareket eden bir araç için aerodinamik sürtünmedeki %15 oranında bir azalma, yakıt tasarrufunda yaklaşık %5-7 arasında bir tasarruf sağlamaktadır [10].

Araçlar için yeni bir dış ekipman tasarlanması istendiğinde, verimlilik açısından gerek düşük ağırlık ihtiyaçları gerekse aerodinamik çalışma özelliklerinin iyi bilinmesi ve dikkate alınması gerekir. Otomotiv endüstrisinde araçların enerji tüketiminin azaltılması ve çevresel etkileri nedeniyle, araştırmacılar, motorların optimizasyonu ve hafif malzemelerin kullanılmasından sonra odaklandığı en önemli konulardan birisi aerodinamik tasarım olmuştur. Otomobil aerodinamiği araştırmasının ana amacı ise aerodinamik sürüklenmeyi azaltmak için dış akışları analiz ve kontrol ederek yakıt verimliliğini artırmaktır. Aerodinamik sürüklenme, yüzey viskoz sürtünme direnci ve basınç direnci olarak iki şekilde gerçekleşir. Akış ayrımı sebebiyle araçlar üzerindeki basınç direnci, toplam aerodinamik sürüklenmenin %80'inden fazlasını oluştururken, geri kalan %20'lik kısmı ise viskoz sürtünme direncinden oluşur (Şekil 2). Sonuç olarak aerodinamik sürüklenmenin ana nedeni basınç direncinden kaynaklanır. Akış ayrımı, tekerlek çevresinde, tabanda, ön ve arka camların her iki yanında ve tabanda olmak üzere bir aracın çevresinde tüm bölgelerde gerçekleşir. Özellikle arka camda ve tabandaki basınç direnci, tüm bölgelerdeki basınç direncinin %90'ına karşılık gelir ve bu direncin %80'i de arka kısımda oluşur. Bundan dolayı akış ayrımını engelleyerek veya etkilerini azaltarak aerodinamik performansın önemli ölçüde artırılabilirdiği gözlemlenmiştir [11, 12].

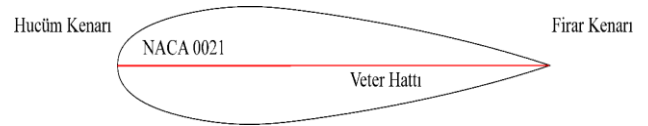


Şekil 2. Aerodinamik (a) sürüklenme kuvvetlerinin dağılımı (b) enerji tüketimi [12]

Araçların tavanına montajı yapılan AÜÇ'ler, araçta oluşturduğu ekstra ağırlığın ve etkisiz bir aerodinamik geometriye sahip olmanın, yakıt oranlarının artmasına yol açan aşırı sürtünmeyle sonuçlanacağı açıkça görülmektedir. Bu nedenle, iyi bir tasarım ile aerodinamik sürüklenmenin azaltılması, yakıt verimliliğinin sağlanması ve pazarda güçlü bir rekabet avantajı için kaçınılmazdır.

2 Materyal ve metot

Kanat profilleri, hava araçlarında kullanılan ve akışkanın üzerinden sorunsuz bir şekilde akmasına yardımcı olan eşsiz geometrilerdir [13]. Bu yapılar kuşların kanatlarından esinlenilmiş ve yapılan deneysel/nümerik analizler sonucunda geliştirilmişlerdir [14, 15]. Bu profillerin temelinde iki çeşidi vardır. Bunlar; kambur ve simetrik kanatlardır. Simetrik kanatlar, alt ve üst yüzeylerinde 0° hücum açısında neredeyse eşit taşıma kuvveti oluştururlar. Reynolds sayısına ve hücum açısına bağlı olarak taşıma kuvveti değerleri değişir. Hücum açısının 0° dışındaki durumlarda kayda değer taşıma kuvveti oluşturabilirler. Bu yapılar gösteri uçuşu yapan uçaklar gibi, özel durumlarda kullanılırlar. Ayrıca günümüzde popülerliği artan elektrikli araçların tasarımlarında da simetrik kanat profilleri kullanılmaktadır. Bu profiller, yer yer aracın komple geometrisine [16] hâkim olur iken bazı durumlarda da araç ön havalandırma mazgalları, yan aynalar [17], antenler gibi komponentlerin tasarımlarını da etkilemişlerdir [17]. Kambur kanat profilleri ise her hücum açısında taşıma kuvveti üretebilen ve havacılık ile birlikte birçok alanda kullanılan yapılardır. Bu yapıların şekline, araçların spoilerinde ve birçok aerodinamik komponentinde rastlayabiliriz [18]. Bu çalışmada, Şekil 3'te gösterilen NACA 0021 serisi kullanılmıştır.



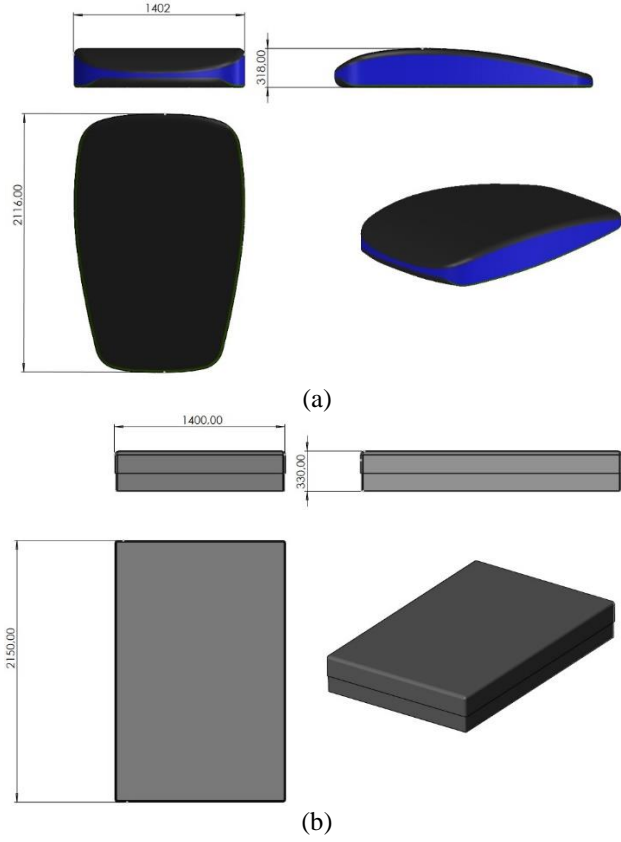
Şekil 3. NACA 0021 simetrik kanat profili

Kanat profillerinin numaraları, kanat profilinin özelliği hakkında bilgi vermektedir. Simetrik kanatların ilk iki rakamı sıfır olur ve son iki rakamda maksimum kalınlığı, veter yüzdesi olarak vermektedir. Bu kanat profili diğerlerine göre oldukça büyük kamburluğa sahiptir. Bu şekilde seçilmesinin sebebi, AÜÇ tasarımında yeterli alanın oluşturulmasıdır. Kanat profili, veter hattından kesilmiştir ve çadıra üst görünüşten bakılırsa tasarımının kenar kısımları, profilin alt ve üst çizgilerinden oluşturulmuştur. Bu sayede aracın dengesi korunacaktır [19]. Aynı şekilde, profilin bir kenarı kullanılarak çadırın yan görünüşüne bakıldığında, çadırın üst kısmın çizgisi belirlenmiştir. Tasarım sayesinde aracın tam dengede hareketi planlanmıştır.

2.1 Bilgisayar destekli tasarım modeli

NACA 0021 kanat profili temel alınarak yapılan tasarım Şekil 4a'da geometrik ölçütleri ile verilmiştir. Ayrıca, ticari olarak piyasada mevcut olan Bundutec [20] modelinin tasarım geometrisi de karşılaştırma amacıyla analizde

kullanılmıştır. Ticari modelin üç boyutlu bilgisayar destekli tasarım (3D CAD) verisi, blueprint tekniğiyle elde edilmiştir (Şekil 4b).



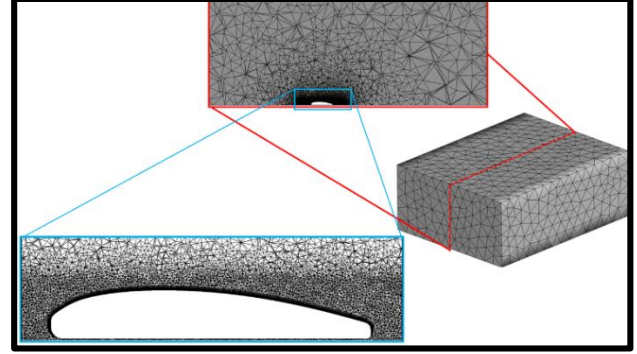
Şekil 4. Sert kabuklu araç üstü çadırın teknik resim ve ölçüleri (a) Model M (b) Ticari Model

2.2 Sayısal yöntem

ANSYS Fluent, yıllar boyunca sürekli olarak geliştirilen ve çok çeşitli uygulamalar için güçlü çözümler sunan köklü bir CFD yazılımıdır [21]. Analizler için iki farklı geometri oluşturulmuş ve bu geometriler CFD yazılımının gerekliliklerine göre hazırlanmıştır. Burada gereklilik, dış akış ismi verilen akış alanının oluşturulması ve sınır şartlarının belirlenmesidir [22]. Havacılık, enerji ve otomotiv sektöründe dış akış alanı oluşturularak çözümler yapılmaktadır [23].

Akış alanı, 3D analizler için genel olarak dikdörtgen prizması şeklinde bir hacmin içerisinde, analizi yapılacak geometrinin çıkarılmasıyla oluşturulur [24]. Oluşturulan hacim içerisinde analiz yapılacak geometrinin çıkarılması, aslında geometrinin olduğu kısımda bir boşluk oluşturulması demektir. Bu sayede yazılım, analiz yapılacak geometrinin yüzeylerini akışkanın önüne çıkan engeller olarak tanımlar. Bu sayede akışkana şekil ve yön verir. Bu işlemin yapılabilmesi için ağ yapısı adı verilen özel bir geometrik düzen oluşturulur. ANSYS, ağ yapısı oluşturmak için oldukça fazla seçenek sunmaktadır. Ağ yapıları, tetrahedral, hexahedral ve prizmatik gibi şekillerden oluşur ve her birinin kendi avantajları vardır [25]. Bu çalışma için, geometrimiz üzerindeki eğimli yüzeyleri en iyi şekilde kapsayacak tetrahedral ağ yapısı seçilmiştir. Şekil 5'te XY düzleminde

ANSYS içerisinde oluşturulan ağ yapısı detayları görselleştirilmiştir. Analiz yapılan geometrinin boyunun, her yöne 5 katı olacak mesafe ve arka kısımda girdap dökümlerini incelemek için 10 kat olacak şekilde tasarlanmış bir akış alanı kullanılmıştır.



Şekil 5. Analiz için ağ yapısı görseli

Bu çalışmada, Transition SST türbülans modeli kullanılmıştır. Bu türbülans modeli ANSYS tarafından SST türbülans modeline ekstra denklem ve parametreler eklenerek oluşturulmuştur. Adında yer alan transition kısmı ise, çözülmesi en zor olan geçiş (transition) bölgesine atfen yapılmıştır. Bu model oldukça başarılı sonuçlar veren bir RANS modelidir. Bu türbülans modeli için y^+ değeri 1'den aşağı olmalıdır [26]. CFD simülasyonlarında elde edilen sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için ağ bağımsızlığı çalışmaları esastır. Bu çalışmalar, hesaplama kaynaklarını en aza indirirken tutarlı sonuçlar sağlayan uygun ağ boyutunu belirlemek için ağ yapısının değiştirilmesini içerir. Oluşturulan her bir milyon ağ yapısı için 1GB RAM kapasitesi ihtiyacı oluşmaktadır [27]. Tablo 3'te her iki model için de yapılan ağdan bağımsızlık çalışması sürüklenme kuvveti (drag force) ve basma kuvveti (down force) için sunulmuştur. Görüldüğü üzere 8×10^6 ve üzerindeki ağ yapılarında değişimin binde bir seviyesine düştüğü görülmüştür. Bu oran oldukça iyidir ve 8×10^6 üzerinde ağ yapısı oluşturmak çözüm sürelerini gereksiz uzatacaktır. Bu sebeple analizlere bu sayı ile devam edilmiştir.

Tablo 3. CFD analizi için ağ bağımsızlığı

Mesh Sayısı	Model M		Ticari Model	
	Sürüklenme Kuvveti	Basma Kuvveti	Sürüklenme Kuvveti	Basma Kuvveti
1×10^6	4.56	20.52	35.41	22.38
8×10^6	4.88	19.80	39.97	19.25
10×10^6	4.88	19.80	39.97	19.25
15×10^6	4.88	19.80	39.97	19.25

3 Bulgular

ANSYS Fluent yazılımından hem kontur görselleri hem de aerodinamik kuvvet sonuçları elde edilmiştir. Hem ticari model hem de aerodinamik olarak geliştirilmiş Model M sonuçları ayrı ayrı sunulmuştur. Tablo 4'te görüleceği gibi farklı hız değerleri için sürüklenme kuvveti ve basma kuvveti değerleri verilmektedir. Sonuçlar göstermiştir ki aerodinamik olarak geliştirmeler yapılan Model M'nin,

yapısı itibarıyla ticari modele göre oldukça düşük sürüklenme kuvveti değerleri verdiği görülmektedir. Bunun sebebi, ticari modelin köşeli bir yapıya sahip olması ve aracın üzerinde akışkan hareketinin durmasına neden olmasıdır. Model M ise aerodinamik bir yapıya sahip olması nedeniyle akışın yapı üzerinden kolayca akıp uzaklaşmasına izin vermektedir. Bu sayede akışkan, çadır üzerinde daha az sürüklenme kuvveti oluşturmaktadır.

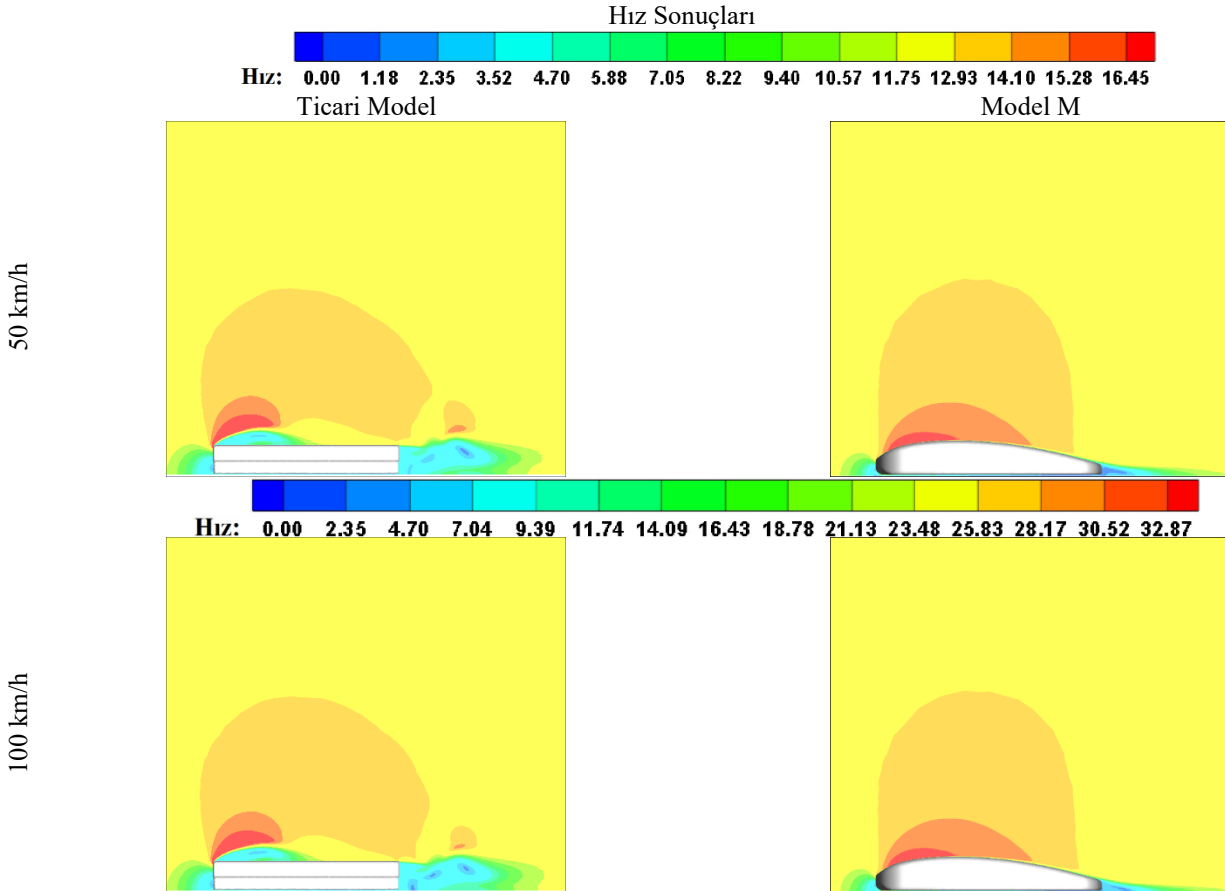
Tablo 4. Model M ve Ticari Modelin sürüklenme kuvveti ve basma kuvvetleri değerleri

HIZ		Model M		Ticari Model	
Hız (km/h)	Hız (m/s)	Basma Kuvveti	Sürüklenme Kuvveti	Basma Kuvveti	Sürüklenme Kuvveti
50	13.88	53.67	5.49	62.63	41.16
60	16.66	73.86	7.82	88.97	59.07
70	19.44	103.84	11.03	116.77	79.89
80	22.22	134.44	14.52	148.33	103.79
90	25.00	164.93	18.25	176.43	130.88
100	27.77	195.60	22.56	213.23	160.63
110	30.55	227.82	26.84	256.43	199.02
120	33.33	259.38	31.55	300.24	228.80
130	36.11	296.53	36.82	347.98	267.94
140	38.88	323.07	42.14	391.13	309.68
150	41.66	352.60	47.98	450.40	352.77

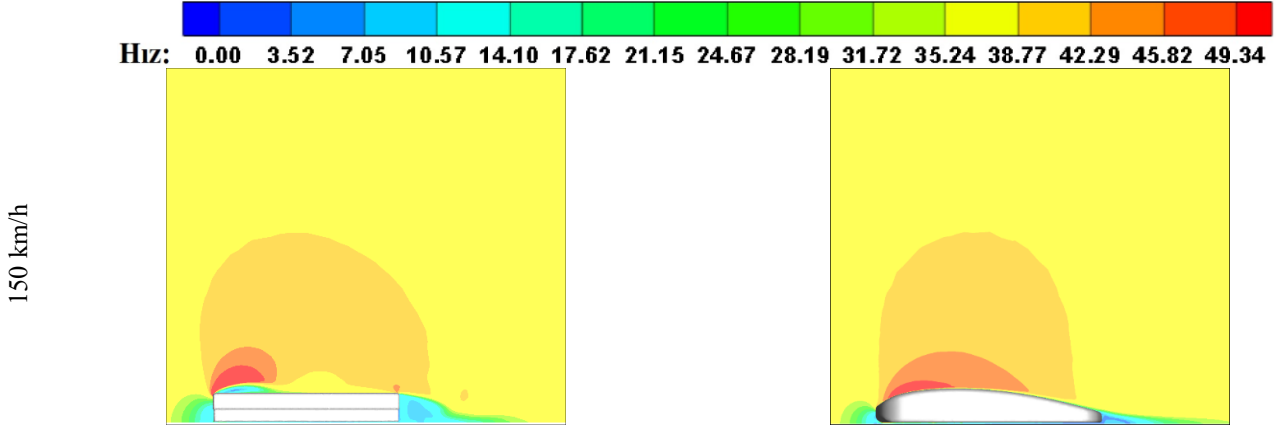
Diğer bir parametre ise aracın yere basması için oluşan basma kuvvetidir. Bu kuvvet sayesinde araç yolda daha iyi tutunmakta ve manevra durumlarında kontrolü kaybetmesine engel olmaktadır. Model M, simetrik kanat

profili yapısından faydalanılarak tasarlanmıştır. Bu yapı sayesinde çadırın üstten görünümü incelendiğinde her iki taraf için de benzer aerodinamik kıvrımlar olduğu görülmektedir. Simetrik kanat profillerinin özellikleri, 0° hücum açısında taşıma kuvveti oluşturmazlar. Bunun anlamı, SKAÜÇ'in araç üzerinde sağ ve sol kısımlarında aerodinamik denge oluşmasıdır. Çadırın yandan görünümü incelendiğinde ise yine simetrik profilin kesilerek bir tasarım oluşturulduğu görülmektedir. Bu profil sayesinde SKAÜÇ, araç üzerinde ekstra kuvvet oluşturarak yere daha iyi tutunmasını sağlamıştır.

Şekil 6'da SKAÜÇ'ların orta kısmından alınan kesitte hız görselleştirilmiştir. Akışkan soldan sağa doğru hareket etmektedir ve SKAÜÇ'in ön kısmı sol taraftadır. İlk olarak hız görsellerini incelediğimizde Model M üzerinde üst kısımda yüksek hız değerinin daha büyük bir alana sahip olduğu görülmektedir. Burada hız görselinde odaklanmamız gereken kısım ticari modelin ön kısmında oluşan düşük hız bölgesidir. Görsellerde ticari çadırın ön üst kısmında düşük hız bölgesi görülmektedir. Bu değer bizlere, o bölgede akış ayrılması olduğunu göstermektedir. Akış ayrılmaları yapılar üzerinde stabilizasyonu bozmakta ve yapıya fiziksel olarak zarar vermektedir. Akış ayrılmaları akım çizgileri görselleri üzerinde detaylı tartışılacaktır. Model M üzerindeki hız dağılımı incelendiğinde ise herhangi bir düşük hız bölgesi görülmemekle birlikte dağılım oldukça dengelidir. Bu denge kanat profili yapısı sayesinde sağlanmaktadır.



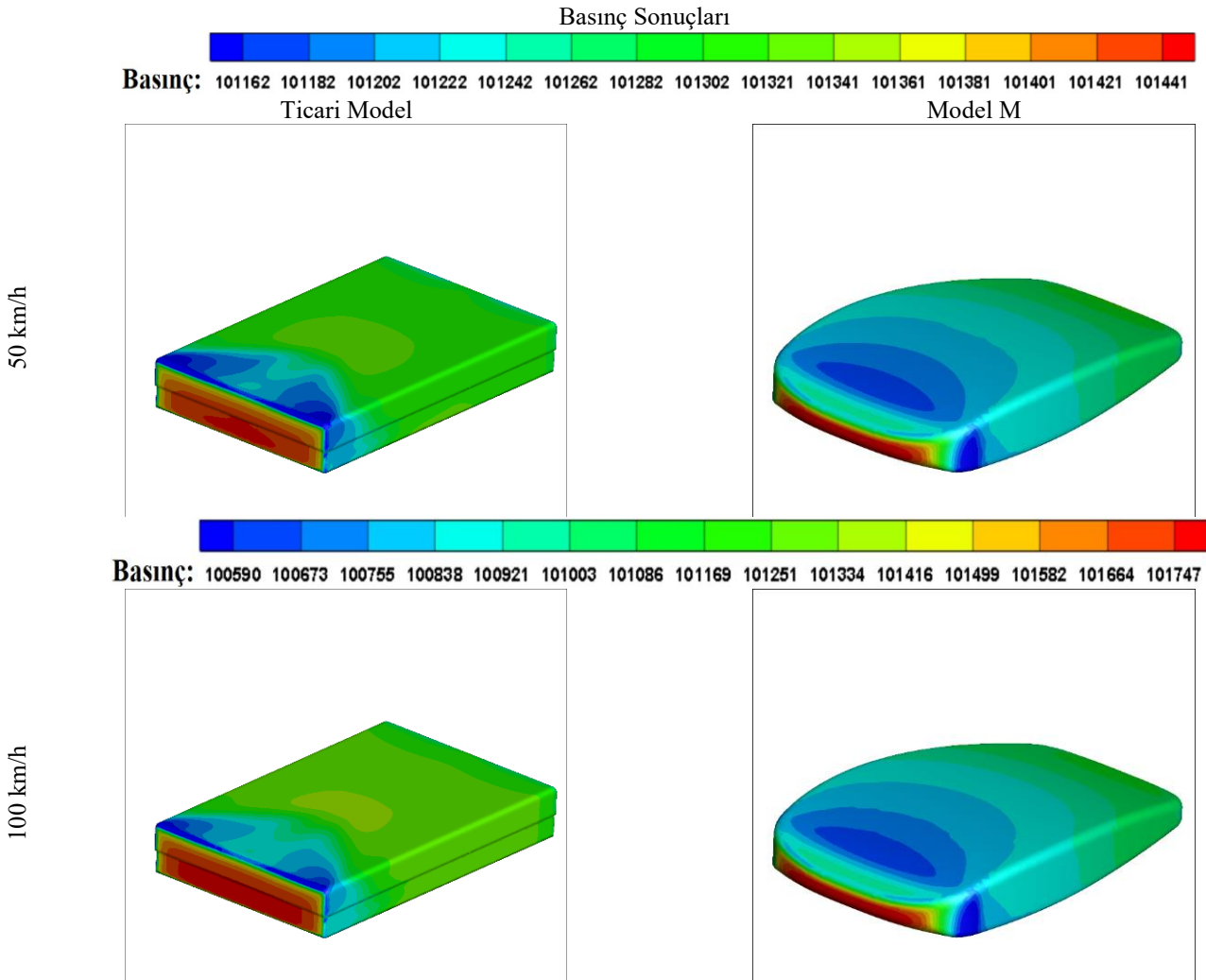
Şekil 6. Çadırların orta düzleminde elde edilen hız görselleri



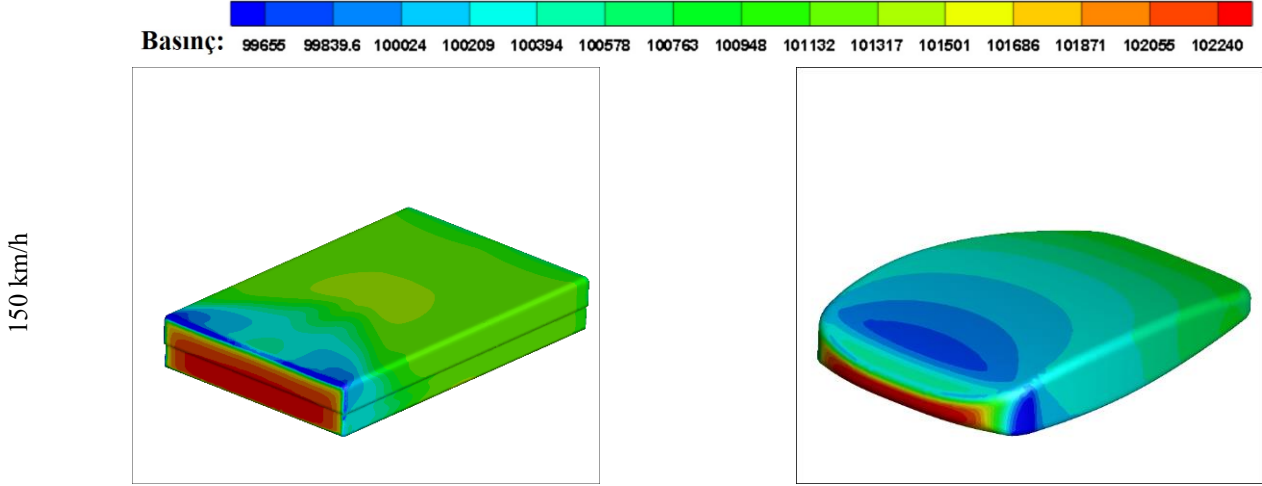
Şekil 6 (Devamı). Çadırların orta düzleminde elde edilen hız görselleri

Şekil 7’de ise çadır geometrisi üzerinde basınç görselleri sunulmuştur. Bu görsellerde, yüksek basınç bölgesinin bize durma noktalarını (stagnation point) gösterdiğini söyleyebiliriz. Bu tasarımlara benzer geometrilere durma noktalarının geniş bir alana yayılması, akışkanın hareket etmekteki zorluğunu bize göstermektedir. Ticari modelin ön

kısmı ve Model M ayrı ayrı incelendiğinde, Model M ön kısmında durma noktası alanının oldukça azaldığı görülmektedir. Bu azalma, bizlere pozitif yönde dönüş sağlamaktadır. Bu sonuçları ayrıca Tablo 4’deki aerodinamik kuvvet sonuçlarında da net olarak görebilmekteyiz.



Şekil 7. Çadırların yüzeylerinden elde edilen basınç görselleri

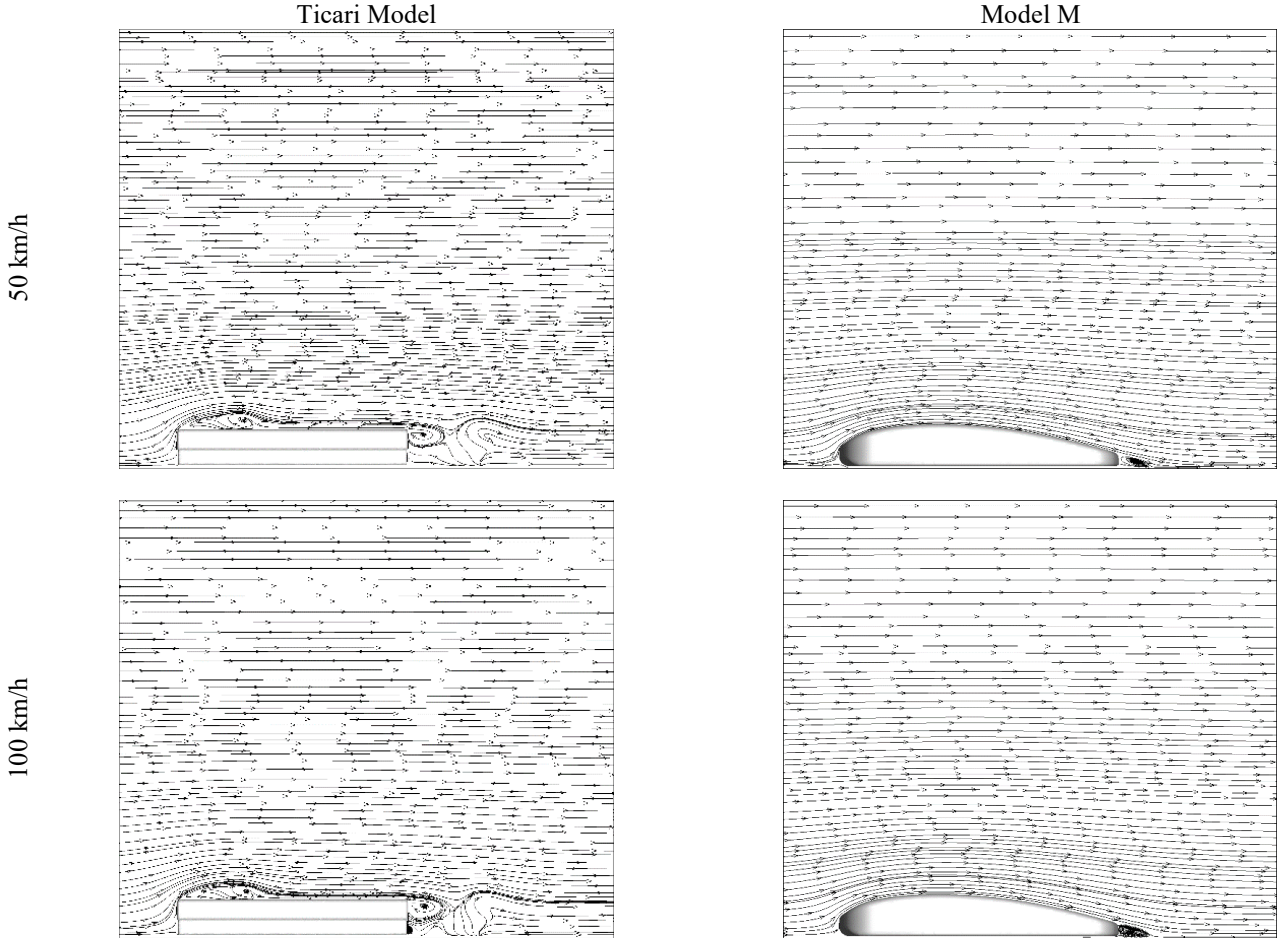


Şekil 7 (Devamı). Çadırların yüzeylerinden elde edilen basınç görselleri

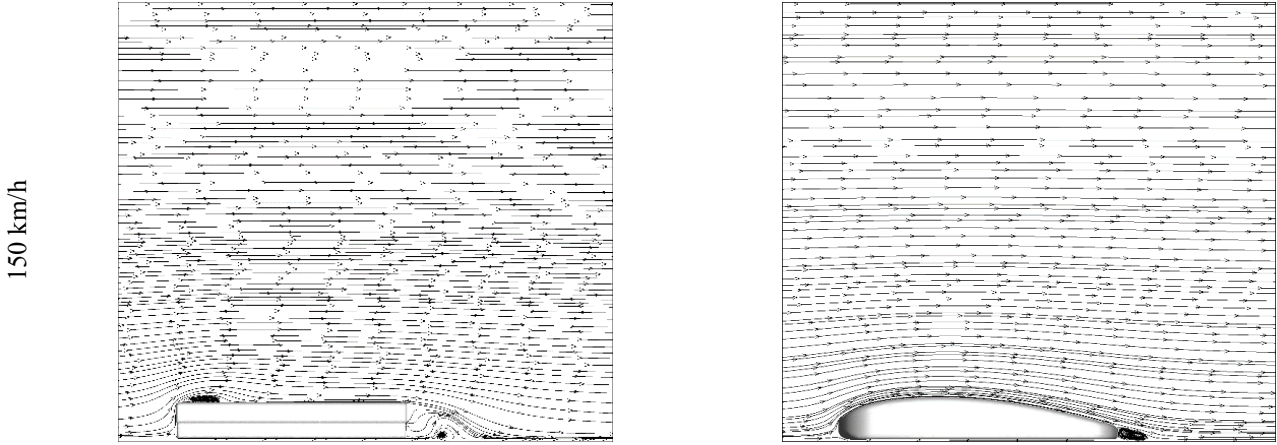
Şekil 8'de akım çizgilerinin (streamline) görselleri verilmiştir. Basınç sonuçlarında bahsedildiği gibi ticari modelin ön üst kısmında ayrılma noktaları oluşmuştur. Bu ayrılma noktaları stabilizasyonu bozmakta ve aerodinamik performansı düşürmektedir. Model M üzerinde bu şekilde bir oluşum olmadığı görülmekle birlikte, akışın çadır üzerinde uyumlu bir şekilde aktığı ve çadırı terk ettiği görülmektedir.

Ticari modelin arka kısmında akışın bozularak çadırı terk ettiği görülmektedir. Bu bozulmaların yüksek miktarda olması, çok fazla girdap (türbülans) oluşumu anlamına gelmektedir. Oluşan bu girdaplar hem çadıra hem de araca çarparak aracın dengesinde bozulmalar oluşturmaktadır. Model M'de ise akışın, SKAÜÇ'ı aerodinamik olarak daha düzgün terk ettiği görülmektedir.

Akım Çizgileri Görselleri



Şekil 8. Çadırların orta düzleminde elde edilen akım çizgilerinin görselleri



Şekil 8 (Devamı). Çadırların orta düzleminde elde edilen akım çizgilerinin görselleri

4 Tartışma ve sonuç

Kampçılık trendleri gelişmeye devam ettikçe, araç üstü çadır kampı, doğa deneyimlerinde konfor ve macera arasında bir denge arayan açık hava meraklıları için muhtemelen popüler bir seçim olmaya devam edecektir.

Sert kabuklu araç üstü çadır tasarlarken en önemli parametrelerden birisi aerodinamik geometridir. Tasarım geometrisinin oluşturulmasında, NACA 0021 temel alınması, çadıra, aerodinamik bir performans kazandırmıştır. Bu durum araçlar için yakıt verimliliğini ve stabilitesini olumlu yönde etkileyecektir. CFD sonuçları incelendiğinde aerodinamik tasarımın, ticari modele göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Model M'nin ticari modele göre ortalama %86.31 daha az sürüklenme kuvveti ve %13.20 daha az aşağı yönlü kuvvet oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ticari modelin akış analizlerinde, yüksek sürüklenme kuvvetleri küt yapısı ve aerodinamik açıdan optimize edilmemiş olmasıyla ilişkilidir.

Gelecekte özellikle pasif akış kontrol sistemleri, üretim yöntemleri de dikkate alınarak SKAÜÇ geometrisi üzerine uygulanması daha iyi sonuçlar verebilir. Elde edilen geometriler küçük ölçekli üretilerek rüzgâr tünellerinde deneysel ortamlarda aerodinamik performansı analiz edilebilir. Bununla birlikte farklı iklim koşullarında, güçlü rüzgârların, yağmurun veya karın çadırın aerodinamik performansına ve sürüş dinamiklerine etkisinin incelenmesi, daha güvenli ve verimli tasarımların geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %7

Kaynaklar

- [1] K. Sommer, Holidays at home-Camping and glamping as a part of domestic tourism: An overview and analysis of camping (and in particular luxury camping) as an alternative form of domestic tourism in the time of the coronavirus, *Tourismus & Hospitality*, 1-20, 2020.
- [2] G. G. Silverman, *Camping with Kids: The Complete Guide to Car, Tent, and RV Camping*, Wilderness Press, ss. 264, 2008.
- [3] K. Sommer, Types of camping accommodation. <https://camping-tourismus.com/verschiedene-arten-von-camping-unterkueften/>, Accessed 26.04.2021.
- [4] Fortune Business Insights, Camping equipment market size, share & industry analysis, by product type (backpacks, sleeping bags, tents, cooking system, furniture, and others), distribution channel (offline stores and online stores), regional forecast, 2024-2032. <https://www.fortunebusinessinsights.com/camping-equipment-market-104508>, Accessed 28.06.2024.
- [5] Business Wire, Top 3 trends impacting the camping equipment market in the US through 2021: Technavio, <https://www.businesswire.com/news/home/20170707005423/en/>, Accessed 26.04.2021.
- [6] Off Road Tents, *The Roof Top Tent Guide: The Basics To Start Camping Off The Ground (Roof Top Tents)*, Independently Published, ss. 43, 2019.
- [7] N. Espiner, E. J. Stewart, H. Fitt, S. Page, and S. Espiner, From tents and maps to vans and apps: Exploring camping mobilities, *Tourism Geographies*, 25(2-3), 670-689, 2023, <https://doi.org/10.1080/14616688.2021.1964588>.
- [8] A. Neal, What You Need to Know About Rooftop Tent Camping, *Gears and Accessories, Tents*, <https://tongmetal.com.au/rooftop-tent-camping/>, Accessed 26.04.2021.
- [9] A. Jambor and M. Beyer, New cars—new materials, *Materials & Design*, 18(4-6), 203-209, 1997, [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(97\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(97)00049-6)
- [10] M. Bellman, R. Agarwal, J. Naber and L. Chusak, Reducing energy consumption of ground vehicles by active flow control, *Energy Sustainability*, 43949, 785-793, 2010, <https://doi.org/10.1115/ES2010-90363>
- [11] K. S. Song, S. O. Kang, S. O. Jun, H. I. Park, J. D. Kee, K. H. Kim, and D. H. Lee, Aerodynamic design optimization of rear body shapes of a sedan for drag reduction, *International Journal of Automotive Technology*, 13, 905-914, 2012, <https://doi.org/10.1007/s12239-012-0091-7>.
- [12] R. M. Wood, Impact of advanced aerodynamic technology on transportation energy consumption, *SAE transactions*, 113, 854-874, 2004, <https://www.jstor.org/stable/44724908>

- [13] W. Sheng, R. M. Galbraith, and F. N. Coton, A new stall-onset criterion for low speed dynamic-stall, *Journal of Solar Energy Engineering*, 128(4), 461-471, 2006, <https://doi.org/10.1115/1.2346703>
- [14] M. Özden, H. H. Açikel, M. S. Genç, and K. Koca, Recognizing flow evaluation on surface of naca0015 airfoil at various angles of attack, 275-280. *International Asian Congress On Contemporary Sciences – VII, Bakü-Azerbaycan, IKSAD*, ss. 711, December 09-11, 2022.
- [15] R. Şahin, M. Ayvazoğlu, S. Keskin, M. Özden, H. H. Açikel, and M. S. Genç, Effect of airfoil thickness on flow over the symmetric airfoils: part I-experimental analysis. In *2023 10th International Conference on Recent Advances in Air and Space Technologies (RAST)*, IEEE, pp. 01-06, 2023.
- [16] H. Mansour, R. Afify, and O. Kassem, Three-dimensional simulation of new car profile. *Fluids*, 6(1), 8, 2020, <https://doi.org/10.3390/fluids6010008>
- [17] V. Chiplunkar, R. Gujar, A. Adiverekar, R. Kulkarni, and A. Thonge, Computational fluid dynamics analysis for an active rear-wing design to improve cornering speed for a high-performance car. *Materials Today: Proceedings*, 77, 887-896, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.040>
- [18] J. Broniszewski, and J. R. Piechna, Fluid-structure interaction analysis of a competitive car during brake-in-turn manoeuvre. *Energies*, 15(8), 2917, 2022, <https://doi.org/10.3390/en15082917>
- [19] F. J. Granados-Ortiz, P. Morales-Higueras, J. Ortega-Casanova, 3D CFD simulation of the interaction between front wheels&brake ducts and optimised five-element F1 race car front wings under regulations. *Alexandria Engineering Journal*, 69, 677-698, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.02.011>
- [20] Bundutec rooftop tent., <https://bundutec.co.uk/> Accessed 08.03 2024.
- [21] J. E. Matsson, An introduction to ansys fluent 2023. Sdc Publications. ss. 932, 2023.
- [22] I. Ramlan, and N. Darlis, Comparison between solidworks and ansys flow simulation on aerodynamic studies. *Journal of Design for Sustainable and Environment*, 2(2), 1-10, 2020.
- [23] F.T. Johnson, E. N. Tinoco, and N. J. Yu, Thirty years of development and application of CFD at Boeing Commercial Airplanes, Seattle. *Computers & Fluids*, 34(10), 1115-1151, 2005, <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2004.06.005>
- [24] S. R. M. Naidu, V. M. Madhavan, S. Chinta, R. Manikandan, A. Premkumar, and R. Girimurugan, Analysis of aerodynamic characteristics of car diffuser for dissimilar diffuser angles on Sedan's using CFD. *Materials Today: Proceedings*, 92, 240-248, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.379>
- [25] K. Koca, and M. Özden, Flow properties of an Ahmed Body with different passive flow control methods, *Gazi University Journal of Science Part C: Design Technology*, 12(1), 1-16, 2024, <https://doi.org/10.29109/gujsc.1333049>
- [26] R. Lanzafame, S. Mauro, and M. Messina, 2D CFD modeling of H-Darrieus wind turbines using a transition turbulence model. *Energy Procedia*, 45, 131-140, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.015>
- [27] X. Xu, H. Li, and Y. Lin, Mesh-Order independence in CFD simulation. *IEEE Access*, 7, 119069-119081, 2019, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937450>

