

Bir Taşıta Etki Eden Aerodinamik Direnç Kuvvetinin Bagaj Üstü Spoiler İle İyileştirilmesi

Cihan BAYINDIRLI^{1*}, Mehmet ÇELİK²

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde Teknik Bilimler MYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Niğde.

² Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Otomasyon Bölümü, Niğde.

*Sorumlu Yazar: cbayindirli@ohu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-9199-9670

mehmetcelik@ohu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-3390-1716

Geliş Tarihi: 08.04.2019;

Kabul Tarihi: 24.07.2019

Öz

Bu çalışmada, 1/15 ölçekli bir minibüs modeline etki eden sürüklenme kuvveti spoiler uygulaması ile iyileştirilmiştir. Model minibüse ait çizim datası Solid Works® Programında oluşturulmuş ve bir bagaj üstü spoileri geliştirilmiştir. Spoiler minibüs bagajı üstüne 10 mm (L/H=0.065) ve 15 mm (L/H=0.1) mesafelerinde konumlandırılmıştır. Bu spoiler kullanımı ile minibüsün arka bölümünde oluşan negatif basınç alanının azaltılması amaçlanmıştır. Geliştirilen spoiler ile kara taşıtlarının toplam aerodinamik direnç katsayılarının büyük bir kısmını oluşturan negatif basınç kaynaklı sürüklenme kuvveti azaltılmıştır. Minibüs modeline etki eden sürüklenme kuvvetleri Fluent© programında 5 değişik serbest akış hızı ve Reynolds sayısında belirlenmiştir. Aerodinamik direnç katsayısı sırası ile ortalama (C_D) % 4.96 ve %5.27 azaltılmıştır. Model minibüs etrafındaki akış yapısı ve taşıt gövdesi üzerindeki basınç dağılımına ait akış görüntülemeleri yapılmıştır.

Anahtar kelimeler

Pasif akış kontrolü;
Minibüs modeli; CFD;
Bagaj üstü spoiler;
Aerodinamik

The Improving of Affecting Aerodynamic Drag Force To A Vehicle With Rear Deck Spoiler

Abstract

In this study, the drag force which affecting on a 1/15 scaled minibus model was improved by rear deck spoiler. The drawing data of the model minibus was created in the Solid Works® Program and a rear deck spoiler was designed. The spoiler was mounted on rear deck in 10 mm (L/H=0.065) and 15 mm (L/H=0.1) distances. It was aimed to decrease of negative pressure area where the back of the minibus by using of this spoiler. The negative pressure-based drag force which forms a large part of the total aerodynamic drag coefficients of land vehicles was decreased with this method. The drag forces which effect on the minibus model was determined in 5 different free flow velocities and Reynolds numbers in Fluent© program. Aerodynamic drag coefficient (C_D) was decreased average 4.96% and 5.27% respectively. The flow visualizations of flow structure around model minibus and pressure distribution on vehicle body were carried out.

Keywords

Passive flow control;
Minibus Model; CFD;
Rear Deck Spoiler;
Aerodynamic

1. Giriş

Bir taşıta etki eden kuvvet ve momentlerin deneysel ve numerik yöntemle tespit edilmesi ve uygun tasarımların belirlenmesi aerodinamiğin temel konusudur. Her iki yöntemde taşıtın prototipini gerçek boyutlarında üretmeden hızlı, kolay ve düşük maliyetle aracın aerodinamik karakteristiğini belirlemek oldukça avantajlıdır. Bu yüzden aerodinamik testler rüzgâr tüneline veya

sayısal akışkanlar dinamiğine dayanan bilgisayar yazılımı kullanarak gerçekleştirilir. Bu durum üretim sürecinin en önemli aşamalarından olup zamandan ve maliyetten önemli oranda avantaj sağlamaktadır. Taşıtlara etkiyen en büyük kuvvet bileşeni aerodinamik kuvvettir. Motor tarafından üretilen torkun büyük bir kısmı aerodinamik kuvvetleri yenmeye harcanır. Bu yüzden aerodinamik direnci azaltmak yakıt tüketiminde

oldukça etkilidir. Yüksek taşıt hızlarında aerodinamik direnç katsayısı %2 azaltıldığında yakıt tüketimi %1 azalabilmektedir.

Sarı (2007) bir ticari araç modeline etki eden aerodinamik direnci numerik olarak tespit etmiş ve bunun yakıt tüketimine etkisini araştırmıştır. Araç ön cam eğim açısı arttıkça aerodinamik direnç kuvvetinin azaldığını tespit etmiştir. Shan *et al.* (2018) NACA0012 airfoil üzerinde pasif akış kontrol yöntemi kullanarak akış ayrılmasını azaltmışlardır. Vorteks jeneratör kullanarak akış ayrılmasının meydana geldiği alanı %80 azaltmışlardır. Raina *et al.* (2018) tarafından yapılan çalışmada Ahmed Body modeli etrafındaki akış yapısını numerik olarak incelemiş, yönlendirici plaka kullanarak sürüklenme katsayısını %13.34 azaltmışlardır. Mohamed *et al.* (2015) CFD yöntemi ile bir otobüsün aerodinamik direnç katsayısını 0.698 olarak tespit etmişlerdir. Pasif akış kontrol yöntemleri uygulayarak model otobüse göre %38.7'e varan iyileşme sağlamışlardır. Bu aerodinamik iyileşmenin yakıt tüketimini %8.4 azaltacağını ifade etmişlerdir. Apisakkul and Kittichaikarn (2005) arka spoiler uygulamasının bir taşıtta sürüklenme katsayısı ve lift katsayısına etkilerini Fluent© programında tespit etmiştir. Spoilerin taşıta olan mesafesi arttıkça C_D katsayısında iyileşme tespit etmişlerdir. Hassan *et al.* (2014) CFD metodu ile k-epsilon türbülans modelinden faydalanarak yaptıklarını numerik analiz sonucunda model aracın C_D katsayısını 0.323 olarak tespit etmişlerdir. Geliştirdikleri 5 değişik tampon düfizörleri ile C_D katsayısını %22.13'e kadar azaltmışlardır. Minimum C_D katsayısını ise 0.25 olarak tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin araç arkasında negatif basınç bölgesinin azaltmaktan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Perzon, *et al.* (1999) sayısal akış analizlerinde, RNG k- ϵ ve Non-Linear Eddy Viscosity türbülans modelleri ile taşıt üzerindeki basınç dağılımının doğru tayin edilebildiğini belirlemişlerdir. Lokhande, *et al.* 2003 pikap modeli etrafındaki akış yapısını Fluent© paket programında LES ve RNG k- ϵ türbülans modellerini kullanarak incelemişlerdir.

Durma basıncını ön tamponun üzeri olduğunu tespit etmişlerdir. Cheli *et al.* (2011) tarafından yapılan çalışmada araç uzunluğu arttıkça yanal momentinde arttığını tespit etmişlerdir. Hu Xu-xia and Wong (2011) özgün olarak tasarladıkları arka spoilerin bir otomobilin C_D ve C_L katsayılarına etkilerini Fluent© paket programında k- ϵ türbülans modeli kullanarak belirlemişlerdir. Spoilerin ile C_D katsayısını %1.7, C_L katsayısını %4 iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Gürlek *vd.* (2012) bir otobüs modeli etrafındaki akış yapısını deneysel olarak incelemişlerdir. Ortalama ve ani hızlanma vektör haritasını, girdap eğrilerini, akış çizgisi topolojisini ve diğer türbülans özelliklerini PIV (particle image velocimetry) yöntemi ile incelemişlerdir. Girdap oluşumunun asimetric olduğunu, otobüsün üst tarafındaki negatif girdap hareketinin yatay, pozitif girdap hareketinin modelin kenarına doğru hareket ettiğini ifade etmişlerdir. Muthuvel *et al.* (2013) çalışmalarında dört değişik otobüs modelinin aerodinamik yapılarını numerik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Otobüs modelinin ön yüzey alanını ve ön tampon yapısını konikleştirerek akış yapısını aerodinamik bakımdan iyileştirmiş ve C_D katsayısında %20.11-35 arasında iyileşme olabileceğini ifade etmişlerdir.

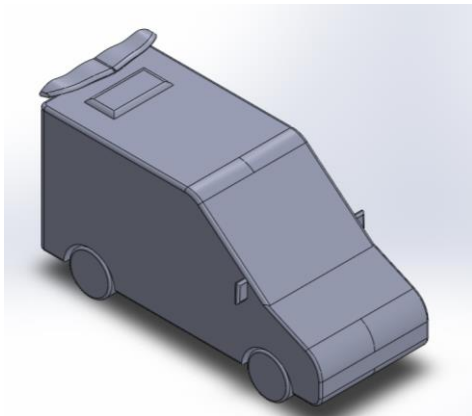
Bu çalışmanın amacı bir minibüs modeline etki eden aerodinamik direnç kuvvetini pasif akış kontrol yöntemi ile iyileştirmektir. Bu çalışmada pasif akış kontrol yöntemi olarak spoiler uygulaması kullanılmıştır. Spoiler uygulamaları otomobillerde ve formula araçlarında öncelikle lift kuvvetini azaltmak amacı ile kullanılır. Böylece yüksek taşıt hızlarında taşıtların yol tutuş özellikleri iyileşir ve güvenli bir sürüş gerçekleşir. Minibüsler şehirlerarası yolcu taşımacılığında kullanılan genellikle seyirlerini yüksek hızlarda gerçekleştiren kara taşıtlarıdır. Taşıtların ağırlıkları fazla olduğundan spoiler uygulamasında öncelikli amaç aerodinamik direnç katsayısını azaltmaktır. Bu çalışmada spoiler uygulaması ile taşıtların ileri doğru hareketi sırasında boşalttığı alanda oluşan negatif basınç bölgesinin azaltılması amaçlanmıştır. Çalışmanın özgün kısmı

spoilerin uygulanabilir ve üretime dönük bir çalışma olmasıdır.

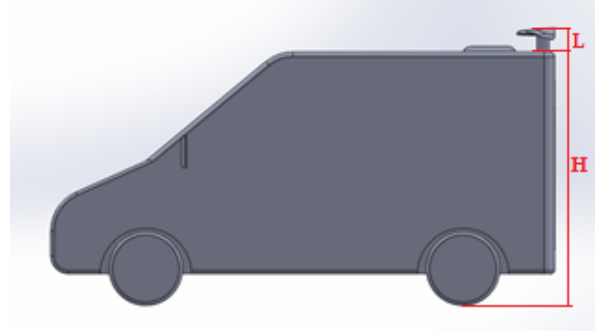
2. Materyal ve Metot

Bu çalışma Bayındırlı ve Çelik (2018)'in çalışmalarında aerodinamik özelliklerini belirledikleri model minibüsün aerodinamik bakımdan iyileştirilmesini içermektedir. Akış analizleri Fluent© programında aynı deney şartlarında gerçekleştirilmiştir. Model minibüsün üzerine $L/H=0.065$ ve $L/H=0.1$ yüksekliklerinde kartal kanadı profiline sahip bir spoiler montajı yapılmıştır. Çalışmada yakınsama kriterleri süreklilik, x-hızı, y-hızı ve z-hızı için 1×10^{-3} olarak alınmıştır. Türbülans şiddeti ise %1 olarak belirlenmiş, model 1 minibüsün ön yüzey alanı 0.01936 m^2 olarak hesaplanmıştır. Çözümlenmeler, k- ϵ RNG türbülans modeli ve standart duvar fonksiyonları kullanılarak standart initialization da gerçekleştirilmiştir. Çözümlenmelerde iş istasyonu (Work Station) bilgisayar kullanılmıştır.

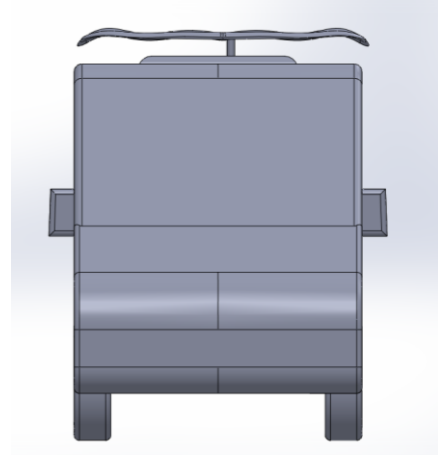
Aerodinamik testler Şekil 1a-c'de görülmekte olan 1/15 ölçekli test modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Minibüs modeli ve spoiler SolidWorks© programında çizilmiştir. Model minibüsün yüksekliği 15.18 cm, genişliği 11.83 cm ve boyu 29.50 cm ölçülerindedir.



Şekil 1a. 1/15 Ölçekli Model 1 minibüsün SolidWorks© çizimi (İzometrik Görünüş)



Şekil 1b. 1/15 Ölçekli Model 1 minibüsün SolidWorks© Çizimi (Yan Görünüş)



Şekil 1c. 1/15 Ölçekli Model 1 Minibüsün SolidWorks© Çizimi (ön görünüş)

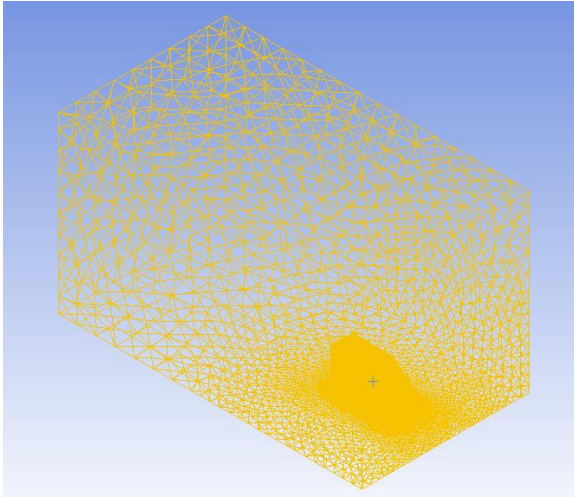
2.1 Benzerlik

Bu çalışmada, aerodinamik çalışmaların temel şartlarından olan tüm benzerlik şartları sağlanmıştır. Geometrik benzerlik şartını sağlamak için lisanlı model minibüs kullanılmış olup minibüse ait ölçüler hassas bir şekilde ölçülerek çizim datası oluşturulmuştur. Aerodinamik bakımdan incelenen model aracın ön yüzey alanı 0.01936 m^2 , test bölgesi ön yüzey alanı 0.3364 m^2 olup blokaj oranı ise %5.34'dür. Literatürde blokaj oranının %7.5 den daha düşük olması kinematik benzerlik şartının sağlanmasında yeterli görülmektedir (Çengel and Cimbala, 2008). Dinamik benzerlik şartının sağlanmasında ise Reynolds sayısı bağımsızlığı kullanılmıştır.

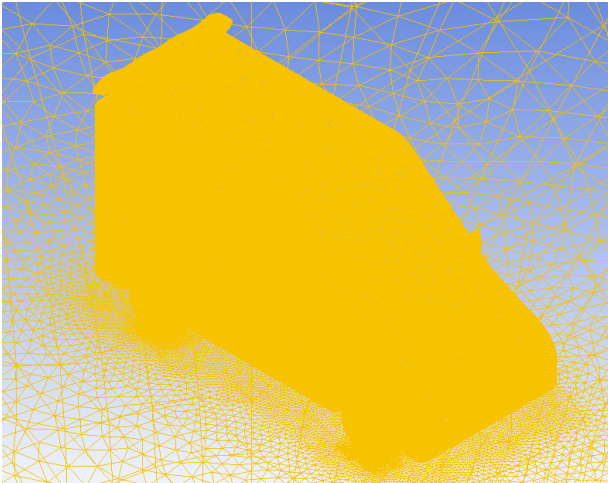
2.2 Bilgisayarlı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yöntemi

Bu çalışmada kullanılan Fluent© programı sonlu hacimler metodunu esas alarak süreklilik, momentum, enerji, türbülans için genel integral denklemlerini çözmektedir. Analiz sırasında, süreklilik, türbülans miktarı ve aerodinamik direnç katsayısı değişim grafikleri izlenmiştir. Çözümün yakınsaması ise hata eğrileri yakınsama grafiğinden takip edilmiştir. Fluent© programında tanımlanan araç üzerine etki eden basınç ve sürtünme kaynaklı sürüklenme kuvvetleri ayrı ayrı hesaplanabilmektedir. Toplam aerodinamik direnç katsayısı (C_D) bu iki kuvvetin toplamından elde edilmiştir.

Şekil 2a-c’de model minibüs üzerinde oluşturulan mesh (ağ) yapısı görülmektedir. Model minibüs üzerinde başlangıçta 5767169 üçgensel ağ oluşturulmuş olup ortalama ağ kalitesi 0.67’dir.



Şekil 2a. Model 1 Minibüs Üzerindeki Ağ Dağılımı



Şekil 2b. Model 1 Minibüs Üzerindeki Ağ Dağılımı



Şekil 2c. Model 1 Minibüs Üzerindeki Ağ Dağılımı

2.3 Uyarlanabilir Ağ Oluşturma (Adaptive Mesh)

Taşıt aerodinamiği ile ilgili numerik çalışmalarda kaliteli bir mesh yapısı oluşturmak sonuçların güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Bu yüzden çalışmalarda mesh kalitesinin sağlanması gerekmektedir. Ancak çizim geometrisinin detayları arttıkça istenilen ağ kalitesini elde etmek zorlaşmaktadır. Bu amaçla ağ kalitesini iyileştirmenin yollarından birisi uyarlanabilir ağ oluşturma tekniğidir (adaptive mesh). Bu yöntemle belirlenen bir iterasyon sayısından sonra kaba ağ yapısına sahip hücreler (parent cells) daha küçük hücrelere (child cells) bölünerek daha kaliteli ağ yapısı elde edilmektedir. Böylece istenen yakınsama gerçekleştirilerek analiz sonuçlarının doğruluğu sağlanmaktadır. Bu işlem programa tanımlanması durumunda belirlenen bir iterasyondan sayısından sonra işlem sürekli gerçekleştirilerek (dynamic refinement) yakınsamanın gerçekleşmesi sağlanabilmektedir. Çizelge 1’de görüldüğü üzere başlangıçtaki ağ sayısı 5767109 olan analizde kaba hücreler bölünerek 879186 ağ uyarlama gerçekleşmiş ve sonraki iterasyonlar 6646295 ve daha fazla ağ sayılarında gerçekleşmiştir. Bu çalışmada her 100 iterasyondan sonra ağ uyarlaması yapılmış ve 4. uyarlamadan sonra istenilen yakınsama gerçekleşmiş ve analiz sonlandırılmıştır. Analiz şartları ve havanın özellikleri ise Çizelge 2 ve Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 1. Birinci ağ uyarlama (Adaptive mesh) değerleri

	Başlangıç	Değişiklik	Uyarlanmış
Ağ sayısı	5767109	879186	6646295
Yüzey	12537962	2186014	14723976

Çözüm alanındaki sınırlar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- ✓ Giriş(Inlet): Akışkanın girdiği yüzey olup sabit hız sınır şartı olarak tanımlanmıştır.
- ✓ Çıkış (Outlet): Akışkanın çıktığı yüzey olup sabit basınç sınır şartı olarak tanımlanmıştır.
- ✓ Duvar ve yol (Wall): Duvar deney alanını oluşturan dikdörtgen hacmin kenar yüzeyleri olup duvar sınır şartı kullanılmıştır.
- ✓ Model aracın çizim datasına ait kalıp boşluğu (Wall): Aerodinamik özellikleri belirlenen araçtır. Duvar sınır şartı olarak tanımlanmıştır.
- ✓

Çizelge 2. Analizlerde çözümlenmesinde kullanılan özellikler

Tanım	Değer
Zaman	Sabit
Hız	Mutlak
Değişim seçeneği	Düğüm-esaslı
Akışkan	Sıkıştırılmaz hava
Basınç – Hız bağlantısı	Basit

Çizelge 3. Analizlerde kullanılan havanın özellikleri

Tanım	Değer
ρ	Yoğunluk 1 kg/m ³
μ	Dinamik viskozite 1.560×10 ⁻⁵ kg/m.s

Aerodinamik direnç katsayısı C_D aerodinamik kuvvet F_D , akışkan yoğunluğu ρ , hız V ve taşıt ön projeksiyon alanı $A_{ön}$ parametrelerinin fonksiyonudur (Denklem 1).

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A_{ön}} \quad (1)$$

2.4. Genel Denklemler

Sayısal akış analizlerinde kullanılan Fluent© programı sonlu hacimler metodunu kullanarak süreklilik, momentum, enerji, türbülans için genel integral denklemlerini çözmektedir. Süreklilik denklemi Denklem 2' deki gibi, bir akış içerisinde yer alan kontrol hacmindeki kütle dengesi olarak ifade

edilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

Bir akışkan parçasının momentumunun değişim hızı bu akışkan parçasına etki eden kuvvetlerin toplamına eşittir. Bir akışkan parçasının birim hacminin x, y ve z yönlerindeki momentum artış hızı sırasıyla $\rho \frac{Du}{Dt}$, $\rho \frac{Dv}{Dt}$ ve $\rho \frac{Dw}{Dt}$ terimleri ile ifade edilmektedir (İnce, 2010). Navier–Stokes denklemlerinin sonlu hacimler metodunda en kullanışlı hali ise Denklem 3-5'te verilmiştir;

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{M_x} \quad (3)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{M_y} \quad (4)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad } w) + S_{M_z} \quad (5)$$

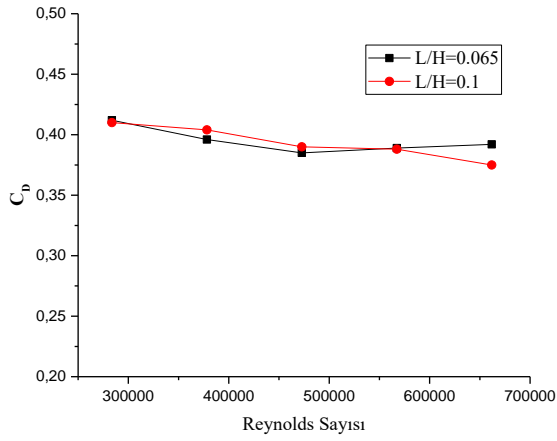
3. Bulgular

3.1 Model 1 Minibüsün Aerodinamik Direnç (C_D) Katsayısının Belirlenmesi

Çizelge 4 ve Şekil 3' de görüldüğü üzere analiz sonuçlarında model 1 minibüsün C_D katsayısı $L/H=0.065$ yükseklikte 0.395, $L/H=0.1$ yükseklikte ise 0.393 olarak tespit edilmiştir. Çizelge 5 ve Şekil 4' de görüldüğü üzere kullanılan spoiler ile sağlanan aerodinamik iyileşme oranı sırası ile ortalama %4.96 ve %5.27' dir.

Çizelge 4. Model 1 minibüsün C_D katsayısı değerleri

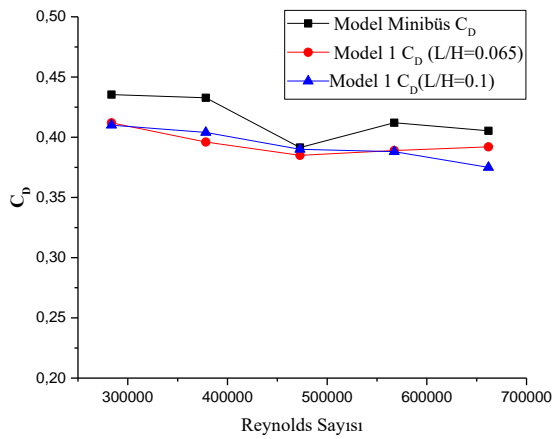
Hız(m/s)	Reynolds Sayısı	L/H=0.065 C_D	L/H=0.1 C_D
15	283653	0.412	0.41
20	378205	0.396	0.404
25	472756	0.385	0.390
30	567307	0.389	0.388
35	661859	0.392	0.375
	Ortalama	0.395	0.393



Şekil 3. Model 1 C_D kaysayısı grafiği

Çizelge 5. Model Minibüs- Model 1 minibüsün C_D katsayısı karşılaştırma çizelgesi

Hız(m/s)	Reynolds Sayısı	Minibüs (Base) C _D	Model 1 C _D (L/H=0.065)	İyileşme oranı (%)	Model 1 C _D (L/H=0.1)	İyileşme oranı (%)
15	283653	0.435	0.412	5.37	0.41	5.74
20	378205	0.433	0.396	8.49	0.396	6.64
25	472756	0.391	0.385	1.63	0.385	0.36
30	567307	0.412	0.389	5.59	0.389	5.83
35	661859	0.405	0.392	3.30	0.375	7.49
	Ortalama	0.415	0.395	4.96	0.393	5.27



Şekil 4. Aerodinamik iyileşme karşılaştırma grafiği

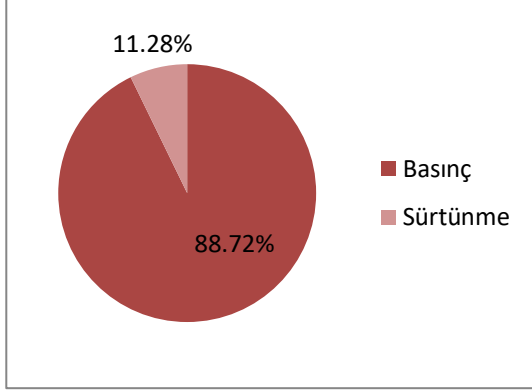
Taşıtlarda basınç kaynaklı aerodinamik direnç toplam C_D katsayısının büyük bir kısmını oluşturur. Bayındırlı, (2019) bir otobüs modelinde taşıt ön yüzeyinde basınç kaynaklı sürüklenme kuvvetini azaltmak için üç gensel kesitli akış kontrol çubuğu kullanmıştır. Deneysel ve numerik olarak gerçekleştirdiği testler sonucunda %14.5 - %5.74 arasında aerodinamik iyileşme elde etmiştir. Model 1 minibüsünde kullanılan pasif akış kontrol

yönteminde negatif basınç bölgesinin hava ile doldurulması neticesinde basınç kaynaklı aerodinamik direnç azaltılmıştır. Bu azalmanın aerodinamik direnç katsayısına olumlu etkisi %4.96 ve %5.27 olmuştur. Sonuçlar bu yöntemin olumlu etkisini göstermiştir. Model 1 minibüsünün toplam sürüklenme kuvvetinin basınç ve sürtünme kaynaklı dağılımı Çizelge 6 ve Şekil 5’de verilmiştir. Buna göre toplam sürüklenme kuvvetinin %88.72’si basınç kaynaklı, %11.28’inin ise sürtünme kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Fluent© programında gerçekleştirilen akış analizleri sonucunda model 1 minibüsü (L/H=0.065) etrafındaki akış yapısına ait görseller ve akış görüntüleri Şekil 6-9 arasında verilmiştir.

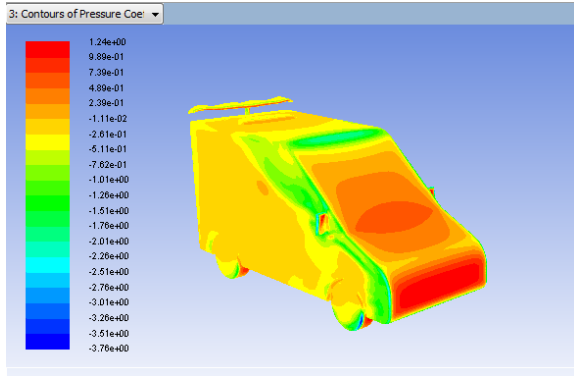
Çizelge 6. Model 1 Minibüsün (L/H=0.065) C_D katsayısının basınç-sürtünme kaynaklı dağılımı

Hız (m/s)		Toplam C _D	Yüzde (%)
15	Basınç	0.3550	86.10
	Sürtünme	0.0573	13.90
20	Basınç	0.3490	88.18

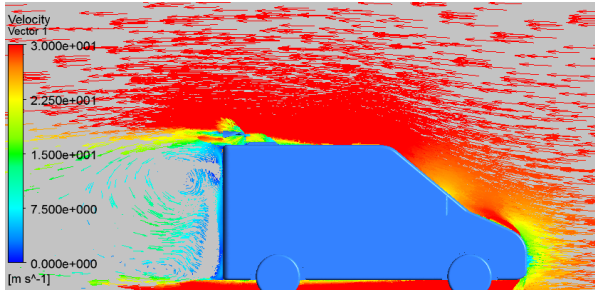
	Sürtünme	0.0468		11.82
25	Basınç	0.3467	0.385	90.05
	Sürtünme	0.0383		9.95
30	Basınç	0.3490	0.389	89.72
	Sürtünme	0.0400		10.28
35	Basınç	0.3510	0.392	89.54
	Sürtünme	0.0410		10.46



Şekil 5. Model 1 minibusün C_D katsayısının basınç-sürtünme kaynaklı dağılımı grafiği



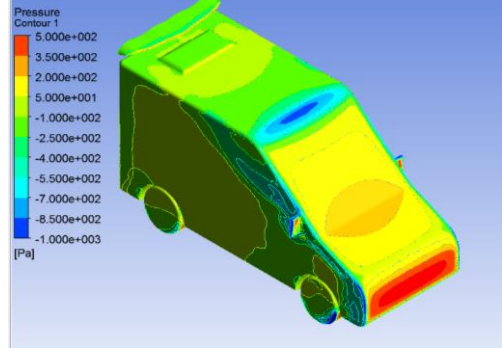
Şekil 6. Model araç gövdesi üzerindeki basınç katsayısı dağılımı



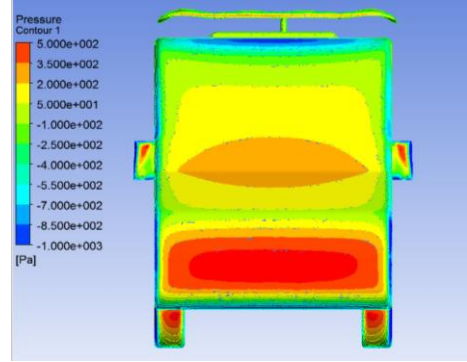
Şekil 7. 30 m/s serbest akış hızında rüzgâr hızının vektörel olarak görünüşü



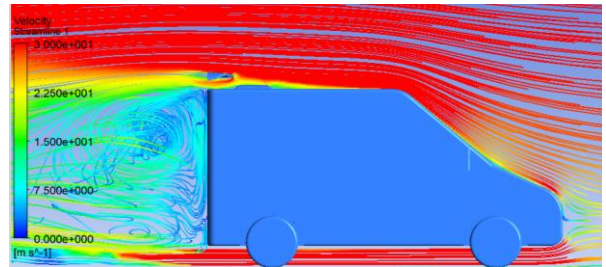
Şekil 8a. 30 m/s serbest akış hızında taşıt üzerinde basınç dağılımı



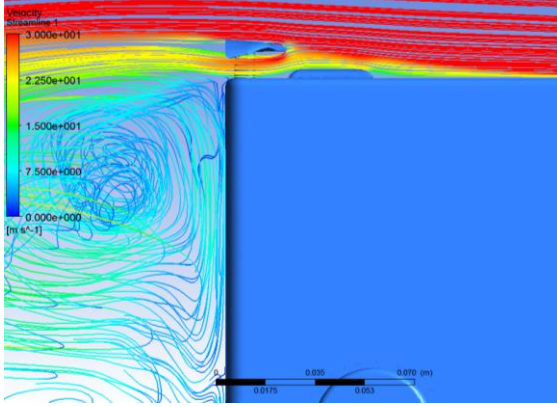
Şekil 8b. 30 m/s serbest akış hızında taşıt üzerinde basınç dağılımı



Şekil 8c. 30 m/s serbest akış hızında taşıt üzerinde basınç dağılımı



Şekil 9a. 30 m/s serbest akış hızında taşıt etrafındaki akış yapısının streamline olarak görüntüsü



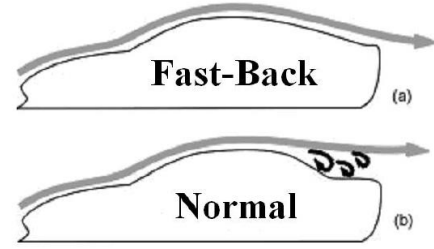
Şekil 9b. 30 m/s serbest akış hızında taşıt etrafındaki akış yapısının stramline olarak görüntüsü

Kara taşıtlarında motor tarafından üretilen motor torku hava direnci ve sistem içindeki diğer kayıpları karşılar ve taşıtın ileri doğru hareketini sağlar. Taşıtın ileri doğru hareketini engelleyen dirençler aerodinamik, transmisyon, yuvarlanma, ivmelenme ve yokuş dirençleridir. Aerodinamik direnç kuvveti taşıt hızının karesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu yüzden taşıt hızı 30 km/h hızın üzerine çıktığında hava direnci büyük önem kazanır. C_D katsayısının azaltılmasında araç geometri ve tasarımları su damlası modeline benzetilmeye çalışılmaktadır. En ideal tasarım şekli ise yatay eksene göre simetrik yapıya sahip su damlası modeli olarak bilinen airfoil yapısıdır. Bu yapının en önemli özelliği doğrusal akış yapısında çok az bozuntuya sebep olmasıdır.

Rüzgâr tüneli ve CFD çalışma sonuçlarının yol koşulları ile tam olarak uyuşmadığı da bilinmektedir. Çünkü araca etkiyen değişken yanal kuvvetlerin aerodinamik direnç katsayısına ayrıca tesir ettiği bilinmektedir. Bunun gerek rüzgâr tüneline gerekse numerik olarak modellemesini yapmak zordur.

Taşıtların arka geometrisinin serbest akışa göre negatif eğimli olması aerodinamik açıdan olumlu etki yaratır. Hava akışı sırasında türbülans oranı veya yüzeyin pürüzlülüğü gibi etkenler eğim açısının değerine etki eder. Ancak taşıtın arka geometri yüzeyinin hücum açısı (eğimi) belli bir değeri geçmemelidir. Aksi halde akış ayrılması erkene alınır ve bu durum negatif basınç alanını büyütür. Bu

durum Şekil 10'da görülen ve fast-back olarak bilinen otomobil tasarımlarının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Ancak otobüs, kamyon, minibüs gibi taşıtlarda taşıma kapasitesi ve hacmi oldukça önemli olduğundan fast-back yapısı otobüs, çekici römork ve minibüs gibi taşıtlarda genellikle akış kontrol yöntemleri ile sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu uygulamalardan en önemlisi ise bu çalışmada da etkileri araştırılan arka spoiler uygulamasıdır.



Şekil 10. a- Fast-back otomobil b- Binek otomobil

Bu çalışmada bir minibüs modelinin hareketi sırasında boşalttığı ve basınç kaynaklı aerodinamik dirence neden olan negatif basınç bölgesinin hava ile doldurulmasının olumlu etkisi ortaya konulmuştur. Bu durumu sağlamak üzere model taşıt üzerine bir bagaj spoileri geliştirilmiş ve belli yüksekliklerde montajı yapılmıştır. Akış görüntülemelerinde görüldüğü üzere spoiler ile taşıt arkasında negatif basınç bölgesine hava akışı yönlendirilerek bu alan azaltılmıştır. Böylece basınç kaynaklı aerodinamik direnç azaltılmıştır.

4. Sonuç

Bayındırlı, (2019) bir otobüs modeli üzerinde pasif akış kanalı ile aerodinamik iyileşme elde etmiştir. Model otobüsün ön yüzeyindeki hava akışını sırası ile 1, 3 ve 5 adet pasif hava kanalı ile taşıt arka bölümüne taşımış ve %4-12 arasında aerodinamik iyileşme sağlamıştır. Bu çalışmada 1/15 ölçekli bir minibüs modeli bagaj spoileri kullanılarak aerodinamik bakımdan iyileştirilmiştir. Çalışmada aerodinamik çalışmaların doğruluğu için gerekli tüm benzerlik şartları sağlanmıştır. 5 farklı serbest akış hızında gerçekleştirilen akış analizleri sonucunda model 1 minibüsün aerodinamik direnç katsayısı sırası ile ortalama 0.395 ve 0.393 olarak tespit edilmiştir. Model minibüsün C_D katsayısı ise 0.415'tir

(Bayındırlı ve Çelik, 2018). Bu durumda $L/H=0.065$ yükseklikte montajı yapılan bagaj spoileri ile %4.96, $L/H=0.1$ yükseklikte ise %5.27 aerodinamik iyileşme sağlanmıştır. Bu çalışma sonucunda taşıt arka bölümündeki negatif basınç bölgesini azaltma yöntemi ile aerodinamik iyileşme potansiyeli numerik yöntemle ortaya konulmuştur. Bu yöntemde araç üzerinde herhangi bir enerji harcamasına gerek yoktur. Elde edilen sonuca göre yüksek taşıt hızlarında optimum ağırlıkta üretilecek bu bagaj spoileri ile yakıt tüketiminde yaklaşık %3 azaltma sağlanabilmektedir. Çalışmada tespit edilen C_D katsayıları değerleri minibüsler için verilen literatür değerleri ile uyumludur. Ayrıca çalışmada model 1 otobüsünün toplam aerodinamik direnç katsayısının %88.72'i basınç kaynaklı %11.28'inin ise sürtünme kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

5. Kaynaklar

Apisakkul, K.T., and Kittichaikarn, C., 2005. Numerical analysis of flow over car spoiler, *The Ninth Annual National Symposium on Computational Science and Engineering Papers ANSCSE-9*, Bangkok, Thailand.

Bayındırlı, C., and Çelik, M., 2018. Bir Minübüs Modeli Etrafındaki Akış Yapısının CFD Yöntemi İle İncelenmesi, IV International Academic Research Congress, 30 October- 3 November, Alanya, Turkey.

Bayındırlı, C., 2019. The experimental and numerical drag minimization of a bus model by passive flow control method. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, **72(3)**, 383-390.

Bayındırlı, C., 2019. Drag reduction of a bus model by passive flow canal, *International Journal of Energy Applications and Technologies* **6(1)**, 24-30.

Cheli, F., Ripamonti, E., Sabbioni, E., and Tomasini, G., 2011. Wind Tunnel Tests on Heavy Road Vehicles: Cross Wind Induced Loads. *Journal of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics*, **99**, 1011-1024.

Çengel, Y.A., and Cimbala, J.M., 2008. Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları (çev. Engin. T, Öz. H.R, Küçük. H, ve Çeşmecı. Ş.) Güven Bilimsel Yayınları, 562-599.

Gürlek, C., Sahin, B., and Ozkan, G.M., 2012. PIV studies around a bus model, *Experimental Thermal and Fluid Science* **38**, 115–126.

Hassan S.M.R., Islam, T., Ali, M., and Islam, Md. Q., 2014. Numerical Study on Aerodynamic Drag Reduction of Racing Cars, *Procedia Engineering* **90**, 308 – 313.

Hu, Xu-xia., and Wong, E.T.T., 2011. A Numerical Study On Rear-spoiler Of Passenger Vehicle. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **57**, 636-641.

İnce, İ.T., 2010. Aerodynamic Analysis of GTD Model Administrative Service Vehicle. PhD Thesis, Gazi University Institute of Science, Ankara, 30-66.

Lokhande, B., Sovani, S., and Khalighi, B., 2003. Transient simulation of the flow field around a generic pickup truck. *SAE Technical Paper Series*, **01-1313**, 1- 19.

Mohamed , E.A. Radhwi, M.N., and Abdel Gawad A.F., 2015. Computational investigation of aerodynamic characteristics and drag reduction of a bus model, *American Journal of Aerospace Engineering*; **2(1-1)**, 64-73.

Muthuvel, A., Murthi, M.K. Sachin, N.P, Vinay.M.K., Sakthi, S., and Selvakumar, E., 2013. Aerodynamic Exterior Body Design of Bus, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, **4- 7**, 2453-2457.

Perzon, S., Janson, J., and Höglin, L., 1999. On comparisons between CFD methods and wind tunnel tests on a bluff bod. *SAE Technical Paper Series*, **01-0805**, 1-11.

Raina, A., and Khajuria A., 2018. Flow Control Around a 3D-Bluff Body Using Passive Device, *International Journal of Science And Engineering* **4 (1)**, 8-13.

Sarı, M.F., 2007. Hafif Ticari Taşıtlarda Taşıt Ön Formuna Etkiyen Hava Direncinin Aerodinamik Analizi ve Yakıt Sarfiyatına Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 28-54.

Shan H., Jiang, L., Liu, C., Love, M., and Maines, B., 2008. Numerical study of passive and active flow separation control over a NACA0012 airfoil, *Computers & Fluids*, **37**, 975–992.

Semboller ve Kısaltmalar

A	Araç ön yüzeyi izdüşümü alanı, m^2
C_D	Sürüklenme kuvvet katsayısı
F_D	Sürüklenme kuvveti, N
©	Ticari marka
Re	Reynolds sayısı
ν	Kinematik viskozite, m^2/s
ρ	Yoğunluk, kg/m^3
HAD	Hesaplama akışkanlar dinamiği
CFD	Computational fluid dynamics
L	Spoiler-araç gövdesi mesafesi
H	Model araç yüksekliği