Şehir İçi Otobüslerde Farklı Tavan Profillerinin Sürüklenme Katsayısına Etkisinin İncelenmesi

Sıla Göksu AYDIN[1], Muhammet Raşit YILDIRIM[1] ve Duygu İPCİ[1]

[1] *Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 06500, Türkiye*

Özet

Hibrit veya elektrikli şehir içi otobüslerde temiz güç kaynağı olarak bataryalar kullanılmakta olup genellikle otobüslerin tavan bölümde konumlandırılmaktadır. Otobüs tavanında bataryaların muhafazası için fazladan bir hacim gerekmektedir. Bu hacmin tavan üzerinde oluşturulması otobüsün rüzgâr direncinde bir artışa sebep olmaktadır. Dünya kullanılan elektrikli şehir içi otobüslerde farklı geometrik yapılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada hâlihazırda kullanılan tavan profillerinin 4 farklı tipi seçilmiş olup bu profillerin rüzgâr direnci katsayılarına etkisi hesaplama akışkanlar dinamiği (HAD) ile incelenmiştir. Otobüsler tam ölçekli olarak SolidWorks programı ile modellenmiştir. Analizler ANSYS Fluent programı ile gerçekleştirilmiştir. Çözümler mesh sayısından bağımsızlığı ve mesh kalite ölçütleri sağlanarak elde edilmiştir. Türbülans modeli olarak k-w SST modeli kullanılmıştır. En düşük rüzgar direnci katsayısına sahip olana tavan profili belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: k-w SST türbülans modeli; Rüzgar direnç katsayısı; Şehir içi otobüs; Otobüs tavan profili

Investigation of the Effect of Different Roof Profiles on the Drag Coefficient in City Buses

Abstract

Batteries are used as clean power source in hybrid or electric city buses and are usually located on the bus roof. An extra volume is required to house the batteries in the bus roof. Adding this volume to the roof causes an increase in the drag force of the bus. Different geometric structures are used in electric city buses used in the world. In this study, 4 different types of roof profiles currently used in the city buses were selected and the effects of these profiles on drag coefficients were investigated with computational fluid dynamics (CFD). Buses were modeled in full-scale by using the SolidWorks program. Analyzes were performed with the ANSYS Fluent program. Solutions were obtained by ensuring mesh number independence and mesh quality criteria. The k-w SST model was used as the turbulence model. The roof profile with the lowest drag coefficient was determined.

Keywords: k-w türbülance model; Drag coefficient; City bus; Roof profile of the bus

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde artan nüfus yoğunluğuna bağlı olarak araç sayısı da artmaktadır. Artan araç sayısı beraberinde kara yollarında trafik yoğunluğuna, gürültü kirliliğine, hava kirliliğine, yakıt tüketiminin artışına ve bununla beraber dışa bağımlılığın artmasını neden olmaktadır. Taşıt sayısının artışını ve trafik yoğunluğunu azaltmak için ülkeler birçok alternatif kara yolları taşıtı kullanmaktadır. En fazla tercih edilen şehir içi otobüslerdir. Günümüzde hem yakıt ekonomisini sağlamak hem de hava kirliliğini azaltmak için fosil yakıtlı şehir içi otobüsleri artık yerini elektrikli şehir içi otobüslerine bırakmaya başlamıştır. Elektrikli şehir içi otobüslerinde bataryaların muhafazası için genellikle otobüslerin arka bölümü veya tavanları kullanılmaktadır. Bataryaların çeşidine bağlı olarak otobüste kaplaması gereken hacim miktarı da değişmektedir. Otobüsün arka kısmında yeterince yer olmadığı durumlarda otobüs tavanın batarya muhafazası için kullanımı uygun olmaktadır. Muhafaza için tavanda oluşturulan bu hacim otobüs rüzgar direncini arttırmakta olup olumsuz bir duruma sebep olmaktadır. Literatürde karayolları araçları üzerindeki rüzgar direncinin azaltılması amacıyla birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Buna rağmen otobüs tavan profillerinin rüzgar direncine etkisi hakkında literatürde çalışma eksikliği bulunmaktadır.

Mezarcıöz (2006) [1], tarafından yapılan bir çalışmada bir otobüs modelinin aerodinamik yapısının analizini incelemiştir. Bu çalışmada yapmış olduğu inceleme sonucun otobüs ve benzeri bir taşıtın etrafındaki hava akışını ANSYS Fluent çözücü

** Sorumlu yazar e-posta: Sıla Göksu AYDIN*

ile incelenebileceğini, K-ε türbülanslı modelin geçerli sonuçlar verebileceğini fakat aracın arka kısmı için LES (Large Eddy Simulation) tekniğinin ise kullanılabileceğini yorumlamıştır. Aracın keskin köşelerinin vortisite dalgalanmalarını ve buna bağlı olarak titreşimi ve aero-akustik gürültüyü artıracağı için keskin köşelerden kaçınılması gerektiğini savunmuştur.

Bayındırlı, Çelik ve Demiralp (2018) [2] tarafından yapılan bir çalışmada bir otobüsün etrafındaki hava akışının yapısını iyileştirmek ve aerodinamik dirençleri minimum seviyeye düşürmek için üçgen kesitli akış kontrol elemanı geliştirerek otobüsün aerodinamik katsayısında %5.37 iyileşme oranı sağlamışlardır.

Roy, T. Kumar ,R. Kumar, Jeeva ve V. Kumar (2018) [3] tarafından gerçekleştirilen çalışmada bir otobüsün ön kısmını aerodinamik olarak şekillendirme, köşe kısımlarını kavislendirme ve arka ucunu konikleştirme suretiyle yapılan iyileştirmeler CFD simülasyonları ile test edilmiştir. Bunun sonucunda daha iyi yakıt ekonomisi ve motor performansı elde etmişlerdir.

Gebel ve diğerleri (2018) [4] yaptıkları bir çalışmada 1/64 ölçekli elektrikli bir araç prototipini farklı akış hızlarında test ederek Cd katsayısındaki değişimi gözlemlemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda değişimin %1'den düşük olduğunu yani Reynolds sayısından bağımsız olduğunu gözlemlemişlerdir.

Bayındırlı ve Çelik (2019) [5], yaptıkları bir çalışmada Solid Works® ile çizdikleri 1/15 ölçekli model bir minibüsün bagaj üstüne yerleştirecekleri bir spoyler geliştirmişlerdir. Fluent programını kullanarak yaptıkları çalışmada minibüs bagajı üstüne 10 mm (L/H=0.065) ve 15 mm (L/H=0.1) mesafelerinde konumlandırılan spoyler, aerodinamik direnç katsayısını yaklaşık %5 oranında azaltılmıştır.

İpci (2020) [6] yapmış olduğu bir çalışmada bir otobüs modeli için yan aynalı ve yan ayna yerine kamera kullanımının aerodinamik direnç katsayısına etkisi incelenerek kıyaslama yapmıştır. Yapılan çalışmalarda sonuç olarak kamera kullanımı yan aynalı modele göre % 2.7 daha az rüzgar direnci oluşturduğunu gözlemlemiştir.

Altınışık (2013) [7] tarafından yapılan bir çalışmada Fiat Linea aracının 1:5 ve 1:10 ölçekle modellerinin blokaj farklılığının görülmesi amacıyla Uludağ Üniversitesi rüzgar tüneli (UURT) ve Ankara Üniversitesi rüzgar tünelinde (ART) test edilmiştir. 1:5 ölçekli model UURT' de %20 blokaj oluştururken ART de %1 oluşturmuş ve ihmal edilmiştir. 1:10 ölçekli model için de aynı analiz yapılmıştır. Aynı şekilde Cd katsayılarında da belirgin farklar görülmüştür. 30 m/s hızda UURT'de Cd katsayısı 0.421, ART'de Cd katsayısı 0,264 olarak ölçülmüştür. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere blokaj oranının Cd katsayısı ölçümünü ciddi oranda etkilediği görülmüştür. Aynı analizler CFD üzerinde yapılınca sonuçların gerçek değerlere yaklaştığı görülmüş, blokaj oranını düzeltmek için ise blokaj düzeltme faktörleri kullanılabileceği saptanmıştır.

Özen (2015) [8], yaptığı bir çalışmada 1:24 ölçekli bir taşıt modelinin, rüzgar tüneli testleri ve sayısal metotlar sonucunda sürükleme ve kaldırma katsayılarını belirlemeye çalışmış ve sonucunda bunları karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Taşıtın gerçek sürükleme katsayısına göre yapılan deneyler sonucunda hesaplanan sürükleme katsayısı arasında %11 hata tespit edilmiş olup bunun sebebi olarak ise geometrinin basitleştirilmiş olması gözlemlenmiştir

Abdulwahap (2015) [9], yaptığı bir çalışmada Formula aracının kanat yapısının aerodinamik katsayıya etkisini gözlemlemiştir. Bu çalışmanın ilk analizinde prototip ölçekli bir araç modelinin kapalı dönüş rüzgar tünelinde ön ve arka kanatların aerodinamik direnç değerleri elde edilmiştir. İkinci analizde farklı hücum açıları ve rüzgar hızlarında ön ve arka kanat modellerinin aerodinamik katsayıları incelenmiştir. Üçüncü analizde arka kanat hücum açısının bastırma kuvveti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analizler sonucunda hem bastırma hem de sürükleme katsayısının arttığı fakat bir noktadan sonra sistemin performansının düştüğü gözlenmiştir. Her iki kanat için de en iyi performansın 5 derece atak açısı için elde edildiği görülmüştür.

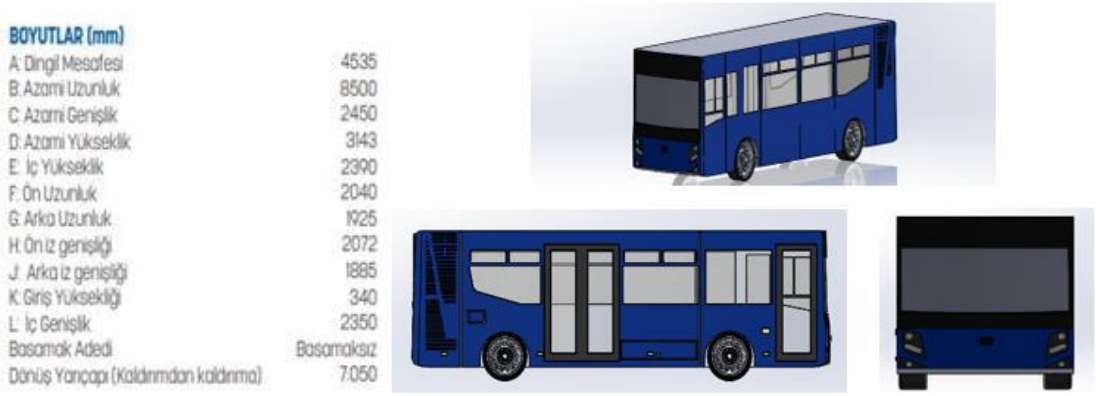
Banga, Zunaid, Ansari, Sharma ve Dungriya (2015) [10] yaptıkları bir çalışmada kara taşıtlarının aerodinamiği ile ilgili ana parametrelerden kaynaklanan verimsizlik ve kayıpları azaltmak için bir çözüm bulmak istemişlerdir.. Basitleştirilmiş araç geometrisi Ahmed Model referans olarak kullanılmıştır ve arka eğim açısının değişkenliğini, sürtünme ve kaldırma katsayıları üzerindeki etkisini araştırmış ve sayısal simülasyonda CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) tekniklerini kullanarak en az sürtünme için optimum açıyı belirlemeye çalışmışlardır. Deney CFD simülasyonu (ANSYS 14) üzerinden k-ε modeli kullanarak yapılmıştır. Deney sonunda Ahmed modeli için asgari Cd katsayısı arka eğim açısının 7,5 derece olması ile 0,2346 olarak belirlenmiş ve eğim açısı küçüldükçe sürüklenmenin arttığı gözlemlenmiştir.

Temel, Ağır, Gürlek, Güleren ve Pınarbaşı (2011) [11] yaptıkları bir çalışmada Ahmed modeli etrafındaki akış yapısını Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Yöntemi (PIV) kullanarak deneysel olarak incelemiştir. Çalışmanın sonucunda modelin 25^o eğimli arka yüzeyinde akış ayrılması gözlenmemiş olup model arka yüzeyinde yanal düzlemlerin oluşturduğu güçlü iki adet girdap gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada 4 farklı tavan profili için şehir içi otobüslerin aerodinamik sürüklenme katsayıları hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile hesaplanmıştır. Analizler k-w SST modeli ile gerçekleştirilmiştir.

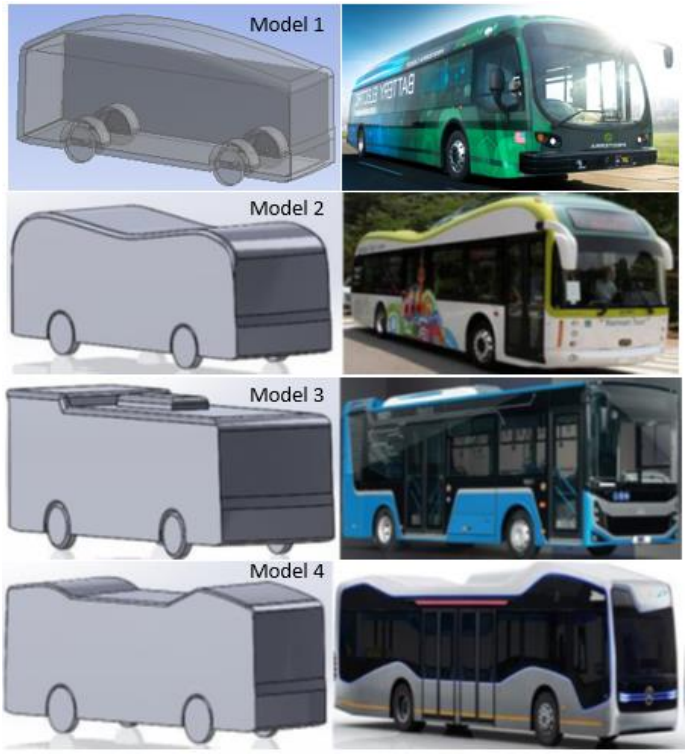
2. Materyal Metod (Material Method)

Elektrikli şehir içi otobüsün boyutları BMC Neo City Elektrikli şehir içi otobüsünün ölçüleri baz alınarak seçilmiştir. Otobüsün tam ölçekli 3 boyutlu katı modeli SolidWorks programı ile oluşturtulurmuştur. Şekil 1 de otobüsün temel hali görülmekte olup tavanında değişiklik yapılarak 4 farklı tavan modeli geliştirilmiştir.



Şekil 1. Otobüs modelinin boyutları, izometrik, ön ve yan görünüşleri

Şekil 2'de aerodinamik analiz için modellenen farklı tavan geometrilerine sahip 4 otobüs modeli görülmektedir. Bu modeller hâlihazırda dünyada kullanımı olan elektrikli şehir içi otobüs modelleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Otobüs modellerinde yan aynaların olmadığı sade bir tasarım yoluna gidilmiştir.



Şekil 2. Farklı tavan modellerine sahip şehir içi otobüsleri ve katı modelleri

2.1. Türbülans Model (Turbulence Model)

Bir karayolu aracının etrafındaki akışı incelemek için hem duvar tarafındaki hem de aracın arkasında kalan art izi akışını iyi modelleyen bir türbülans modeli kullanmak gerekmektedir. Türbülanslı akışı analiz etmek için genellikle işlem yükünün az olması sebebiyle Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (RANS) yaklaşımlı türbülans modelleri kullanılmaktadır. RANS yaklaşımının kullanıldığı iki denklemli temel türbülans modelleri $k-\varepsilon$ ve $k-\omega$ modelleridir. Akışın gerçekleştiği ortama göre bu iki modelin, birbirine üstünlüğü vardır. Serbest akış bölgesindeki türbülans $k-\varepsilon$ modeli ile doğru bir şekilde çözülebilirken duvar yakınındaki türbülans $k-\omega$ modeli en iyi şekilde çözülebilmektedir. Her iki durumun meydana geldiği düşük Reynolds'lu türbülanslı akışları modellemek için $k-\omega\,SST$ modeli geliştirilmiştir. $k-\omega\,SST$ modeli, $k-\omega$ ve $k-\varepsilon$ türbülans modellerinin bir kombinasyonudur. Bu model türbülansın gerçekleştiği ortama uyum sağlayarak iki model arasındaki geçişi sağlamaktadır. Kara taşıtlarının aerodinamik analizleri genellikle $k-\omega\,SST$ türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada 4 farklı tavan profili için bir şehir içi otobüsün sürüklenme katsayıları $k-\omega\,SST$ türbülans modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

$k-\omega\ SST$ türbülans modeli 2 denklemli eddy-viskozite yaklaşımı ile geliştirilmiş bir yarı analitik modeldir. $k-\omega\ SST$ türbülans modeli türbülans kinetik enerji (k) ve özgül enerji yitim (ω) denklemleri ve bu denklemlerde kullanılan deneysel sabitlerden oluşmaktadır. Kinetik enerji denklemi ve özgül enerji yitim denklemleri sırasıyla aşağıda verilmiştir[12,13].

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j}=P-\beta^*\rho\omega k+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\sigma_k\mu_t)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u_j \omega)}{\partial x_j}=\frac{\gamma}{\nu_t}P-\beta\rho\omega^2+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\sigma_\omega\mu_t)\frac{\partial\omega}{\partial x_j}\right]+2(1-F_1)\frac{\rho\sigma_{\omega 2}}{\omega}\frac{\partial k}{\partial x_j}\frac{\partial\omega}{\partial x_j} \tag{2}$$

Eşitlik 1 ve 2 verilen $\nu_t=\mu_t/\rho$ türbülans kinematik viskozitesi, μ moleküle dinamik viskozite, ρ yoğunluğu temsil etmektedir. β^*, σ_k, σ_ω deneysel sabitlerdir. Burada F_1 sembolü skalar bir değeri göstermekte olup türbülanslı akışın duvara yakın ya da uzak konumundaki bölgeye göre çözümünün sağlaması için $k-\varepsilon$ ve $k-\omega$ yaklaşımları arasındaki geçişi sağlamaktadır. F_1 değeri

$$F_1=\tanh\left\{\min\left[\max\left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^*\omega d},\frac{500\nu}{d^2\omega}\right),\frac{4\rho\sigma_{\omega 2}k}{CD_{k\omega}d^2}\right]\right\}^4 \tag{3}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Eşitlik (2) de verilen μ_t eddy viskozitesini göstermekte olup SST modelde

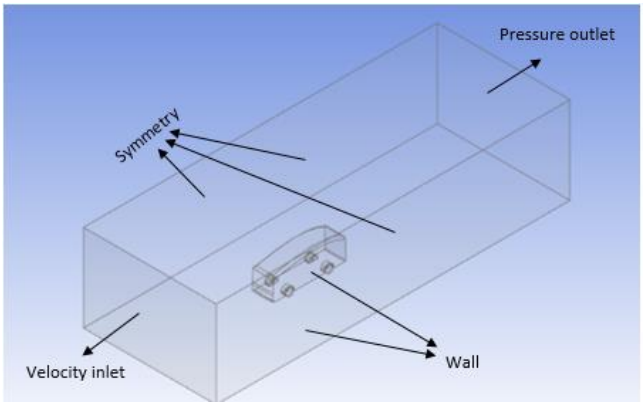
$$\mu_t=\frac{\rho a_1 k}{\max(a_1\omega,\ \Omega F_2)} \tag{4}$$

olarak tanımlamaktadır. Burada a_1 ve Ω deneysel olarak elde edilen sabitler olup F_2 çözüm esnasında türbülanstan kaynaklı oluşan viskoziteyi dengelemek için kullanılan sınırlayıcı skaler bir değerdir. F_2 değeri

$$F_2=\tanh\left[\max\left(2\frac{\sqrt{k}}{\beta^*\omega d},\frac{500\nu}{d^2\omega}\right)\right]^2 \tag{5}$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik 3 ve 5 verilen d sembolü çözümün gerçekleştiği mesh elemanın duvardan olan uzaklığını temsil etmektedir. F_1 ve F_2 sınırlayıcıları sayesinde türbülansı yöneten denklemler viskozite değişimlerini de dikkate alarak türbülanslı akışın duvardan uzak veya yakın olması durumlarına göre yönetici denklemleri modifiye etmektedir.

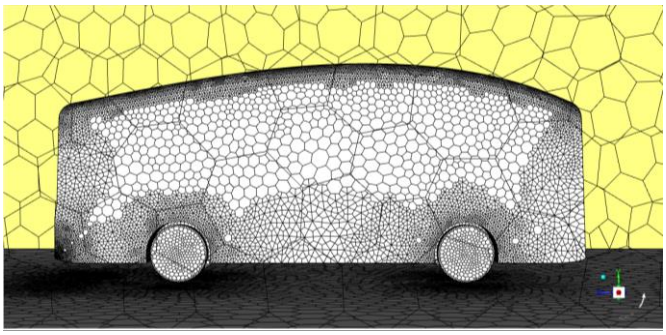
Şekil 3'te çözüm bölgesi ve sınır şartları görülmektedir. Girişte hız sınır şartı, çıkışta basınç çıkış şartı, araç pratikte yol üzerinde olduğundan alt yüzeyde duvar sınır şartı kullanılmıştır. Çözüm bölgesinin sağ, sol ve üst taraflarında akış ortamı açık olduğundan kayma gerilmelerinin göz ardı edilmesi için simetri şartı kullanılmıştır. Otobüsün tüm yüzeyi üzerinde duvar şartı tanımlanmıştır.



Şekil 3. Sınır şartları

2.2. Çözüm ağı ve Mesh sayısı Bağımsızlığı (Mesh and Mesh Independency)

Çözüm bölgesinde tetrahedral mesh kullanılmıştır. Tetrahedral mesh için istenen mesh kalite değerleri dikkate alınarak çözüm hacmi gridlendirilmiştir. Nümerik hesaplamaların daha kararlı olmasını ve daha az iterasyon sayısı gerektirmesi açısından mesh yapısı polyhedral mesh yapısına dönüştürmüştür.



Şekil 4. Çözüm ağı

Model 1 için simülasyonun mesh sayısından bağımsızlığı araştırılmıştır. Tablo 1 de eleman sayısı değişimine göre otobüsün sürüklenme katsayıları verilmiştir. Eleman sayısı 1 milyon için mesh bağımsızlığının sağlandığı tespit edilmiştir.

Tablo 1. Mesh sayısı bağımsızlığı

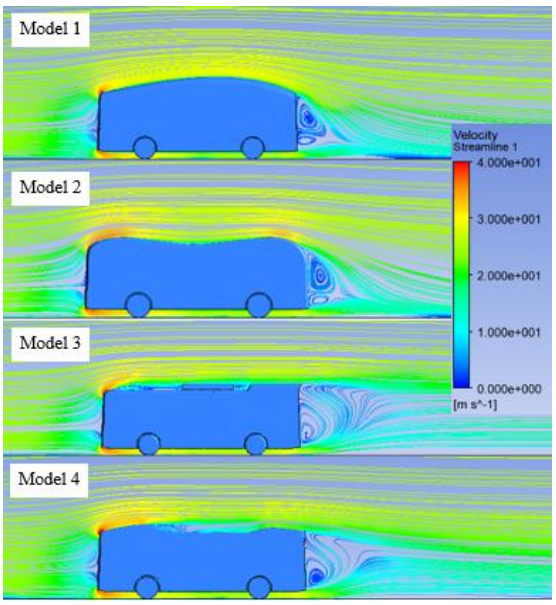
Eleman sayısı	Sürüklenme katsayısı (C_D)
983021	0,562
1035516	0,570
1140429	0,572

3. Bulgular ve Tartışma (Results and Discussions)

Tablo 2'de 4 model için hesaplanan sürüklenme katsayıları CD verilmiştir. Her model için 10 m/s, 15 m/s, 20 m/s ve 25 m/s için sürüklenme katsayıları hesaplanarak ortalama değerleri belirlenmiştir. En düşük sürüklenme katsayısı model 1 de en yüksek sürüklenme katsayısı model 3 te görülmüştür. Model 2 ve model 4'ün sürüklenme katsayılarının birbirlerine yakın oldukları belirlenmiştir. Rüzgar direnci açısından en faydalı otobüs tavan profili model 1 olduğu tespit edilmiştir. Model 1'in model 2, model 3 ve model 4'e kıyasla sürüklenme katsayının sırası ile %8, %24 ve % 11 daha az olduğu belirlenmiştir.

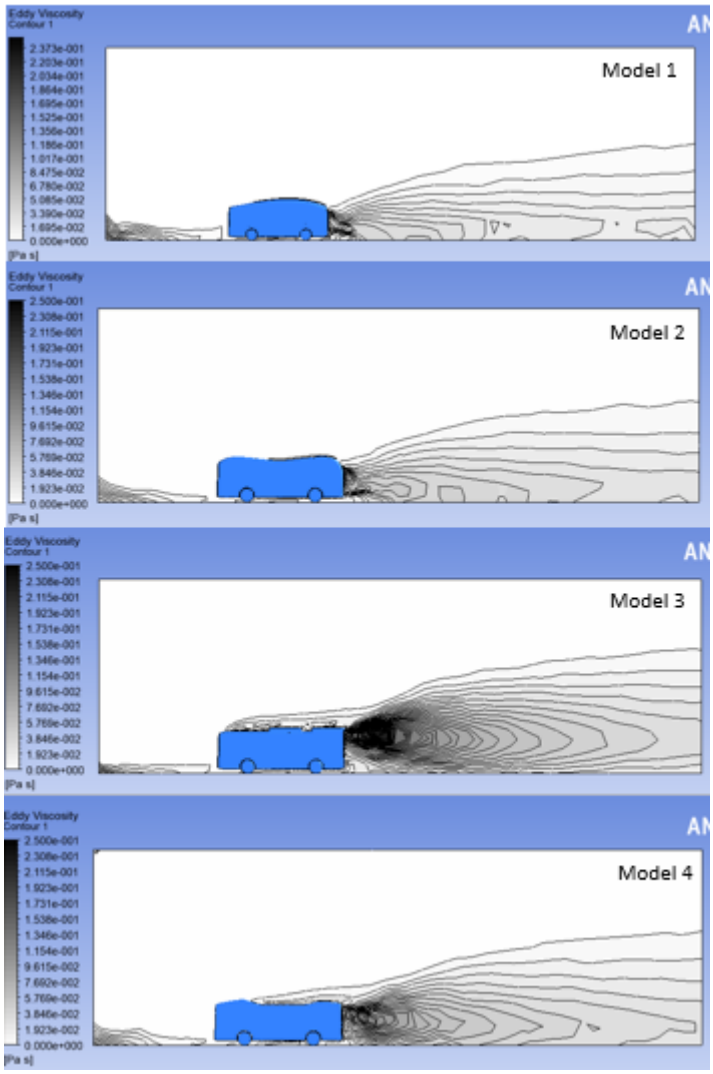
Tablo 2. Sürüklenme katsayıları, C_D

Hız (m/s)	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Ortalama C_D	0,574	0,622	0,712	0,636



Şekil 5. Akış çizgileri

Katı bir yüzey etrafındaki akış çizgilerinin sürekliliğinin sağlanması aerodinamik açıdan olumlu bir durumdur. Şekil 5'te 4 farklı tavan profil modeli için tavan profilleri üzerindeki ve aracın arkasındaki akış çizgileri gösterilmiştir. Model 1 üzerindeki akış çizgilerinin diğer modeller kıyasla sürekliğini sağlamıştır. Model 1'in otobüsün arkasında daha az girdap oluşturmakta ve sürüklenme katsayısı düşük olmaktadır. En fazla girdap oluşumu model 3 üzerinde gözlenmiştir. Otobüsün arkasında oldukça büyük bir girdap oluşumuna sebep olmuş rüzgar direnci arttırmıştır. Model 2 ve model 4'ün tavan profilleri birbirine benzemektedir. Model 2'nin daha kavisli bir yapıya sahip olması nedeniyle aracın arkasındaki girdap oluşumunu aracın yola yakın bölgesinde oluşmasını sağlamıştır. Bu sebeple model 2 model 4'ten daha az sürükleme direnci oluşturmuştur. Model 1'in en iyi aerodinamik performansa sahip olduğu görülmüştür. Model 3'ün sürükleme direncinin diğer modellere göre oldukça yüksek olduğu görülmekte olup kullanılmasının yakıt tüketimini arttıracağı öngörülmektedir.



Şekil 6 Eddy viskozitesi

Şekil 6'da otobüs modellerinin 25 m/s hız ile hareket halinde iken oluşturdukları türbülansın Eddy viskozite dağılımları görülmektedir. Eddy viskozitesi türbülans kaynaklı bir viskozite değeri olup akışkanın özelliğinden bağımsızdır. Şekil 6'da modellerin tümü için Eddy viskozitesi aralığı 0-0.25 Pa.s olarak seçilmiş ve Eddy viskozite dağılımları görselleştirilmiştir. Model 3'te otobüs tavanı ve arka bölgesinde en yüksek Eddy viskozitesinin oluştuğu belirlenmiştir. Bu durum aracın aerodinamik açıdan diğer modeller kıyasla kötü olduğunu göstermektedir. Model 1 üzerinde ise düşük Eddy viskozite dağılımı olduğu görülmektedir. Düşük Eddy viskozite değerleri Model 1'de düşük rüzgar direncine oluşumuna sebep olmuştur. Şekil 6 verilen Eddy viskozite dağılımları ile sürüklenme katsayısının birbiriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

4. Sonuç (Conclusions)

Şehir için otobüslerde tavan profillerinin sürüklenme direncine etkisini incelemek için 4 farklı tavan profili oluşturulmuş model 1, model 2, model 3 ve model 4 olarak isimlendirilmişlerdir. Otobüslerin sürükleme katsayıları, akış çizgileri ve Eddy viskozite dağılımları incelenerek karşılaştırılmıştır. Akış çizgilerinin durumu ve Eddy viskozitelerinin büyüklükleri hesaplanan sürüklenme direnci değerleri ile uyumluluk sağladığı gösterilmiştir. En iyi aerodinamik özelliğe sahip otobüs model 1

olduğu en kötü aerodinamik özelliğe sahip otobüs model 3 olduğu belirlenmiş ve % 24 kadar sürükleme katsayısı değişimi hesaplanmıştır. Diğer iki model olan 2 ve 4'ün model 1'e kıyasla % 8 ve % 11 civarında sürüklenme katsayısı farkına sahip olduğu saptanmıştır.

Kaynaklar (References**)**

[1] Mezarcıöz S. *Aerodynamics of A Model Bus*. MSc. Thesis, Çukurova Üniversitesi, Türkiye, Adana, 2006.
[2] Bayındırlı C, Çelik M, Demiralp M. Bir otobüs modeli etrafındaki akış yapısının CFD yöntemi ile incelenmesi ve sürükleme kuvvetinin pasif akış kontrol yöntemi ile iyileştirilmesi. *Politeknik Dergisi* 2018; 21(4), 785-795.
[3] Roy JV, Kumar TS, Kumar RA, Jeeva S, & Kumar VV. Aerodynamic design improvement for an intercity bus. *International Research Journal of Automotive Technology*. 2018; 1(4), 85-90.
[4] Gebel ME. Önaldı S, Korkmaz S, Osmanoğlu S, Özçelik B, Ermurat M, İmal M. Bir Elektrikli Aracın Aerodinamik Özelliklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, *9th International Automotive Technologies Congress*, Bursa, 2018.
[5] Bayindirli C, and Mehmet Ç. *Bir Taşıta Etki Eden Aerodinamik Direnç Kuvvetinin Bagaj Üstü Spoiler ile İyileştirilmesi.* Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019;19(2) 470-479.
[6] İpci D. A Comparative CFD Study of Side-view Mirror and Side-view Camera Usages on a City Bus. International *Journal of Automotive Science And Technology* 2020; 4.(3) 138-143.
[7] Altınışık A, *Binek Araç Modeli Üzerindeki Aerodinamik Analizlerin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2013.
[8] Özen İ. *Bir Binek Aracın Aerodinamik Etkinliğinin Modellenmesi*, Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 2015.
[9] Abdulwahab SF. *Aerodynamıc Evaluatıon of Racıng Wıngs of A Formula Car*, MSc. Project Report, University of Hertfordshire, London, UK, 2015.
[10] Banga S, Zunaid M, Ansari NA, Sharma S, & Dungriyal RS. CFD simulation of flow around external vehicle: Ahmed body. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2015;12(4), 87-94.
[11]Temel ÜN, Ağır A, Gürlek C, Güleren KM, Pınarbaşı A. *Bir Model Kara Taşıtı Etrafındaki Akış Yapısının Deneysel Olarak İncelenmesi*, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2011.
[12]Menter FR. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. *AIAA Journal*, Vol. 32, 1994; 32(8), 1598-1605.
[13]https://turbmodels.larc.nasa.gov/sst.html