

Bir Taşıt Modeli için Hava Direnç Katsayısına Etki Eden Boyutların ve Akış Kontrol Uygulamalarının Nümerik Yöntemle İncelenmesi

*¹Volkan AKGÜL ve ²Muammer ÖZKAN

*¹Bartın Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı, Bartın, Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Özet:

Bu çalışmada üç boyutta tasarlanmış olan 1/1 ölçekte bir SUV modeli için tavan açısı, ön cam açısı, akış durma noktası ve yer aralığı gibi kritik boyutların yanısıra taşıt arkasındaki hava akışını kontrol etmek için tavan bitimine eklenen arka spoiler ve vorteks generatörlerinin hava direnç katsayısı (Cd) ve kaldırma katsayısı (Cl) üzerine etkisi nümerik yöntemle incelenmiştir. Geliştirilen modeller gerçek bir rüzgar tüneli boyutuna eşdeğer hesaplama bölgesinde Fluent ve CFX kodu kullanarak 2 denklemlili RNG k-Epsilon türbülans modeli ile çözülmüştür. Grid oluşturma işlemi Ansys Mesher, çözüm adımı Fluent ve CFX programları ile, sonuç görüntüleme işlemleri ise CFD Post programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava direnç katsayısı, kaldırma katsayısı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği

Abstract:

In this study the effect of critical dimensions (roof angle, windshield angle, stagnation point and ground clearance) and flow control applications (rear spoiler and vortex generator) on air resistance coefficient and lift coefficient of a 1/1 scaled SUV model were investigated numerically. Developed models were solved by Fluent and CFX code with two-equation RNG k-Epsilon turbulence model for computational domain which is equal in size with a real wind tunnel. Ansys Mesher, Fluent-CFX and CFD Post were used as a grid generator, flow solver and post processor respectively.

Key words: Air resistance coefficient, lift coefficient, CFD

1. Giriş

Aerodinamik stil araç dizaynı açısından en önemli unsurlardan biridir. Araç stabilitesi, kullanım konforu ve yakıt sarfiyatı üzerine direk etkilidir. 100 km/h hızla seyreden ortalama bir araçta harekete karşı oluşan dirençlerin yaklaşık %75 ini aerodinamik dirençler oluşturmaktadır. Dolayısıyla sürüklenme katsayısının düşürülmesi yakıt sarfiyatı açısından son derece önemlidir[1]. Aerodinamik sürüklenme katsayısı (direnç katsayısı) aşağıdaki formülasyonla ifade edilir:

$$C_d = F_d / (0.5 \rho U_\infty^2 A_v)$$

Burada F_d model üzerine etki eden toplam sürüklenme kuvvetini, ρ hava yoğunluğunu, U serbest

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering Bartın University, 74100, Bartın TURKEY. E-mail address: volkanakgul@bartin.edu.tr, Phone: +903782949178 Fax: +903782949364

hava akım hızını, A_v ise modelin hava akımına dik kesitini ifade etmektedir. [1]. Sürüklemeye kuvveti taşıt yüzeyine hava akımı doğrultusunda etki etmektedir. C_D sabiti birimsizdir ve değeri hava akımına maruz kalan cismin şekline bağlıdır [2]. Kaldırma kuvveti ise hava akımı doğrultusuna dik yönde taşıta etki eden kuvvettir. Kaldırma katsayısı aşağıdaki formülasyonla ifade edilir:

$$C_l = F_l / (0.5 \rho U_\infty^2 A_v)$$

Burada F_l model üzerine etki eden toplam sürüklemeye kuvvetini, ρ hava yoğunluğunu, U serbest hava akım hızını, A_v ise modelin hava akımına dik kesitini ifade etmektedir. Literatürde kara taşıtlarında aerodinamik sürüklemeye katsayısını belirleme ve azaltmaya yönelik deneysel ve farklı türbülans modelleri ve kodlar kullanılarak yapılmış çalışmalar mevcuttur.

Han ve ark. (1996), üç farklı tipteki (kare arka yüzeyli, uzun eğimli arka yüzeyli, kısa eğimli arka yüzeyli) taşıt için Standart k- ϵ ve RNG k- ϵ modelleri ile direnç katsayısı belirlemişler ve RNG modelin kullanıldığı çözümlerin deneysel sonuçlara daha yakın olduğunu tespit etmişlerdir [3].

Perzon ve ark. (1999), 0,3 ölçekli bir çekici ve römork modelinden elde ettikleri deneysel sonuçlarla Standart k- ϵ , RNG k- ϵ , Non-linear Eddy Viscosity ve Reynolds Stress Transport (RSM) türbülans modellerinden elde ettikleri sayısal verileri karşılaştırmışlar ve RNG k- ϵ ve Non-linear Eddy Viscosity modelleri ile durma noktalarındaki basıncın daha doğru tespit edilebildiğini belirlemişlerdir [4].

Jindal ve ark. (2005), iki araç geometrisi etrafındaki akış alanının sayısal sonuçlarını nesneler etrafındaki akışın grid çizgilerinin gövde yüzeylerine hizalanmasına gerek duyulmadan hesaplanmasına olanak veren Immersed Boundary (IB) tekniğini steady RANS CFD çözücüsü ile birlikte kullanarak incelemişlerdir. Sonuçlar PIV hız ve basınç ölçümleri ile elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılmış ve CFD simülasyonları iki araç modeli için direnç katsayısını %6 doğruluk derecesinde hesaplamıştır [5].

Helgason ve Hafsteinsson (2009), bir aracın aerodinamik özelliklerini geliştirmek amacıyla otomatik şekil optimizasyonunu kullanmıştır. Çözüm ağı ve CFD hesaplamaları için AVL FIRE kodu, çözüm ağı deformasyonu için Sculptor ve optimizasyon için ise modeFrontier yazılımları kullanılmıştır. Karşılaştırma, iki farklı optimum geometri sonucunu veren kararlı k- ϵ ve LES türbülans modelleri arasında yapılmış, k- ϵ modelinde direnç katsayısı %1.3 azalmış, kaldırma katsayısı ise %38 artmıştır. LES modelinde ise direnç katsayısının %13, kaldırma katsayısının ise %26 azaldığı görülmüştür [6].

Koike ve ark. (2004), Mitsubishi Lancer Evolution aracının tavanında sürüklemeye direncine sebep olan akış ayrılma noktasını geciktirmek için tavan bitimine yerleştirilen bombe şekilli girdap üreticileri (Vortex Generators)'ni 50 m/s hızla kapalı, tam ölçekli bir rüzgar tüneline ve CFD analizleri ile test etmişler ve sürüklemeye ve kaldırma katsayılarında 0,006 düşüş meydana geldiğini gözlemlemişlerdir [7].

2. Yöntem

1/1 ölçekli bir SUV modeli üzerindeki hava akışı üç boyutlu, sıkıştırılmaz viskoz akış olarak modellenmiş ve çözümler sürekli akış (steady-state) kabulü ile yapılmıştır. Üç boyutlu akış alanında Navier Stokes Denklemleri RNG k-ε türbülans modeli kullanılarak çözülmüştür.

Süreklilik denklemi :

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0$$

Momentum denklemi :

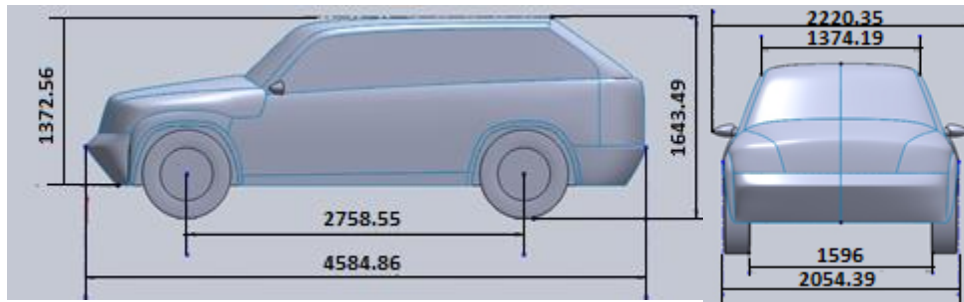
$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_e \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + \rho g_i + S_i$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada ρ yoğunluk (kg/m^3), u_j , x_j doğrultusundaki hava hız bileşenini (m/s), p basıncı (Pa),

$\mu_e = \mu + \mu_t$ eşdeğer dinamik viskozite katsayısını (Pa s), g_i , x_i doğrultusundaki yerçekimi ivme bileşenini (m/s^2) ve S_i momentum kaynağını belirtmektedir [8]

2.1. Geometri ve Çözüm Bölgesi Modelleme

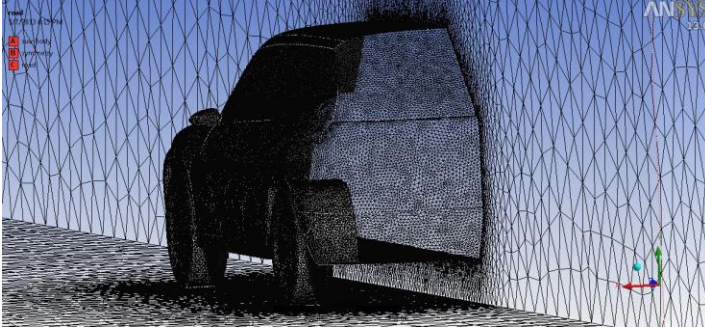
Üzerinde hava direnç katsayısını azaltmaya yönelik çalışmalar yapılacak ana taşıt modelinin, ön ve yan görünüş boyutları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



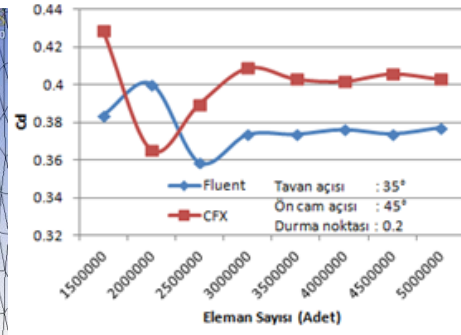
Şekil 2. 1 Taşıt modeli ön ve yan görünüş boyutları

Modellenen taşıt geometrisi ANSYS Workbench yazılımının geometri modülüne çağırıldıktan sonra boyutları 9.5m x 9.5m x 49.9 m boyutundaki bir rüzgar tüneline eşdeğer çözüm alanı elde edilmiştir.

Akış hacmini temsil eden geometri tamamlandıktan sonra ağ yapısının oluşturulması için geometri Ansys Mesher modülüne aktarılmıştır. Çözüm ağı yaklaşık 5 milyon tetrahedral eleman ile oluşturulmuştur.



Şekil 2. 2 Taşıt yüzeyinde oluşturulan ağ yapısı



Şekil 2. 3 Ağdaki eleman sayısı & Cd değişimi

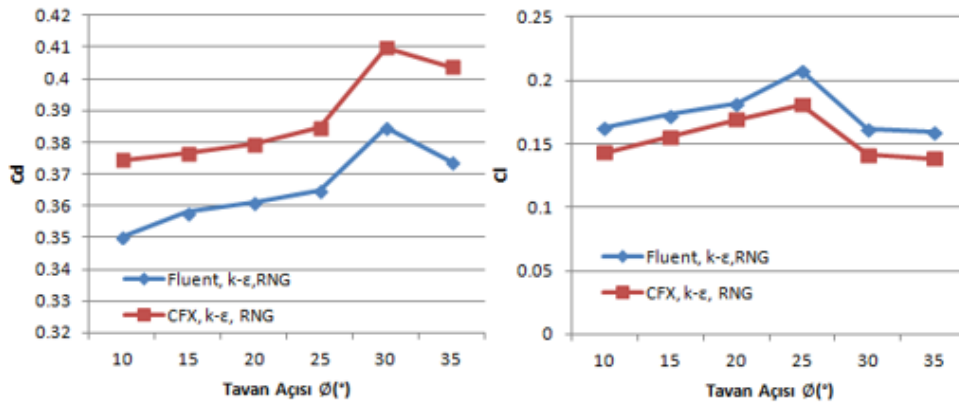
Tünel girişi için “velocity-inlet”, çıkışı için “pressure-outlet”, taban için “wall” diğer yüzeyler için ise “symmetry” sınır şartları tanımlanmıştır.

2.2. Çözüm

40 m/s hava hızı için akış bölgesinin sayısal çözümü FLUENT ve CFX kodu ile yapılmıştır. Türbülans modeli olarak ise aerodinamik analizlerde etkin olarak kullanılan RNG k- ϵ Türbülans modeli kullanılmıştır. Fluent ve CFX süreklilik, momentum, enerji ile türbülans ve kimyasal parçacıklar gibi diğer skalerler için genel integral denklemlerini çözmektedir. Bütün korunum denklemleri çözüm alanındaki her noktada dengeye geldiği zaman yapılan analizde yakınsama gerçekleşmektedir. Her akışkan değişkeni için artıklar çözümdeki hatanın şiddetini belirtmektedir. Artıklar normalize edilmekte ve her korunum denklemi için hesaplanmaktadır [9].

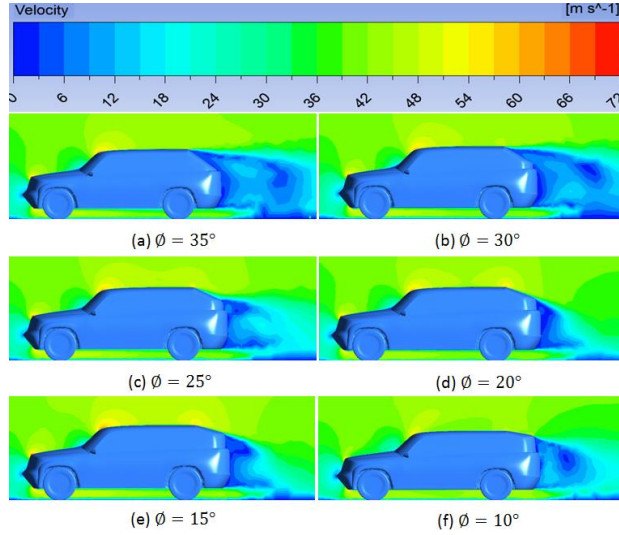
3. Analiz Sonuçları

3.1. Tavan açısı(ϕ) & Cd-Cl Değişimi

Şekil 3. 1 Tavan açısı(ϕ) & Cd-Cl değişimi

Taşıt tavan açısının 35° den 10° ye düşürülmesi sonucunda direnç katsayısında Fluent verilerine göre %6.31, CFX verilerine göre %7.26 düşüş, kaldırma katsayısında Fluent verilerine göre %2.2, CFX verilerine göre %3.26 artış meydana geldiği ve 30°-25° aralığında akış ayrılmasının

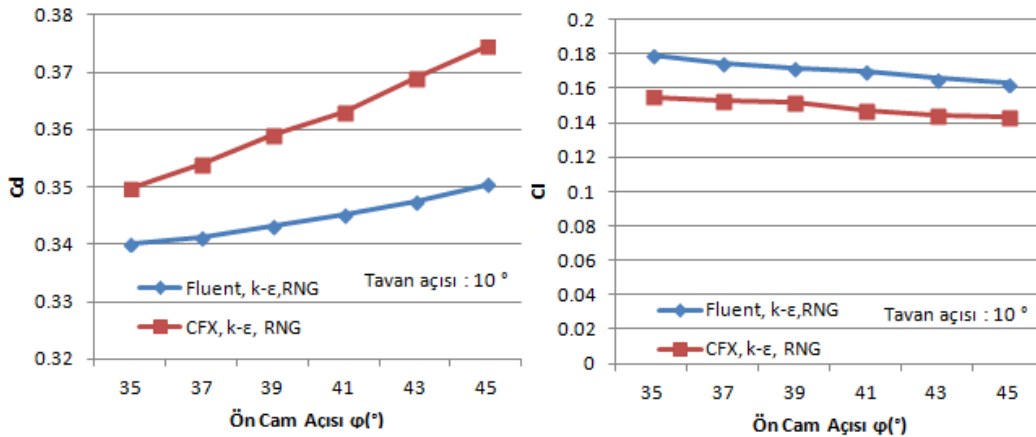
ortadan kaybolmaya başlaması nedeniyle direnç katsayısındaki düşüş oranının daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 3. 2 35°-30°-25°-20°-15°-10° tavan açıları için simetri düzlemindeki hız konturları

3.2. Ön cam açısı(φ) & Cd-Cl Değişimi

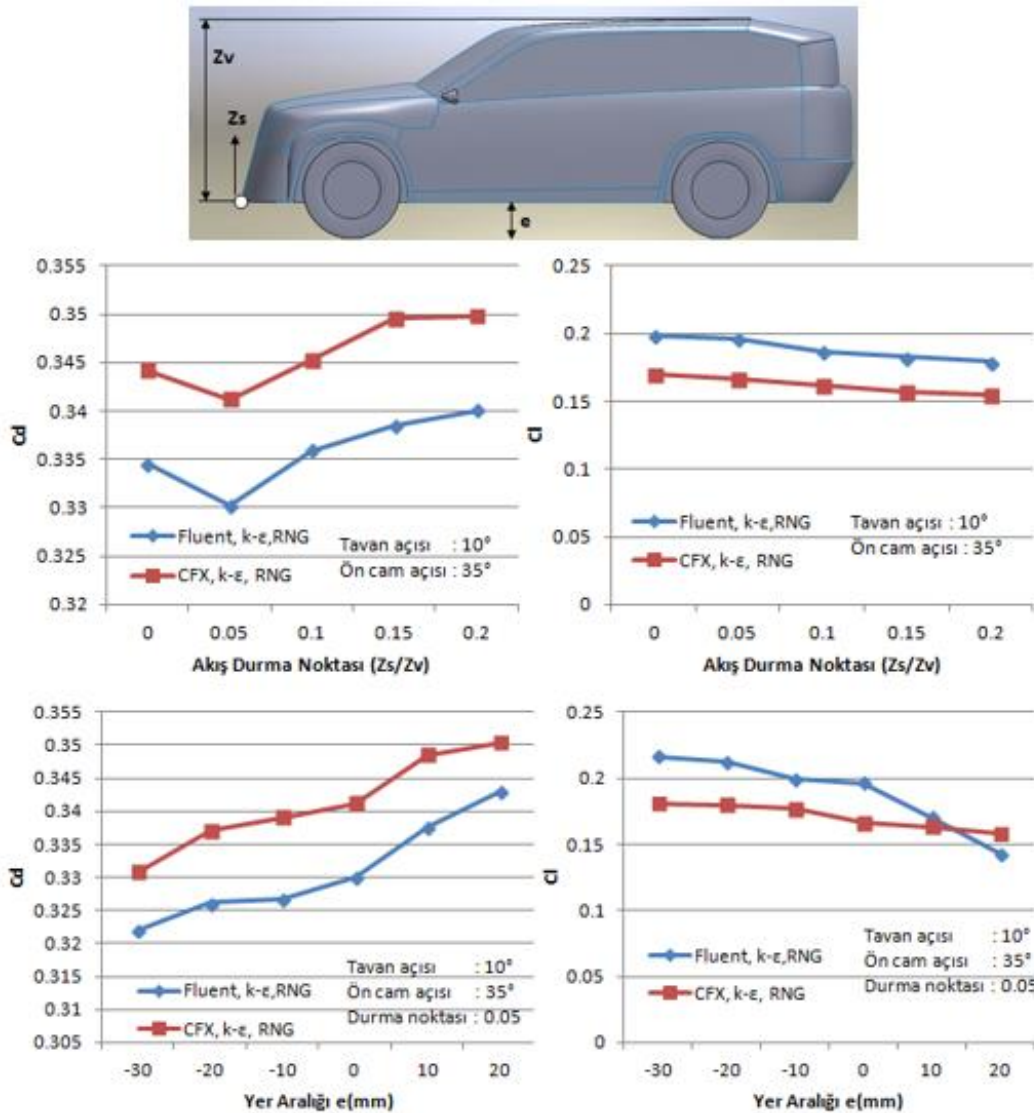
Taşıt ön cam açısının 45° den 35° ye düşürülmesi sonucunda ön cama uygulanan basıncın ve dolayısıyla akış doğrultusunda araca uygulanan kuvvetin azalması sebebiyle direnç katsayında Fluent verilerine göre %2.94, CFX verilerine göre %6.59 düşüş, akış düzlemine dik doğrultuda ön cama uygulanan basınç azaldığından dolayı kaldırma katsayısında Fluent verilerine göre %9.88, CFX verilerine göre %8.54 artış meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 3. 3 Ön cam açısı(φ) & Cd-Cl Değişimi

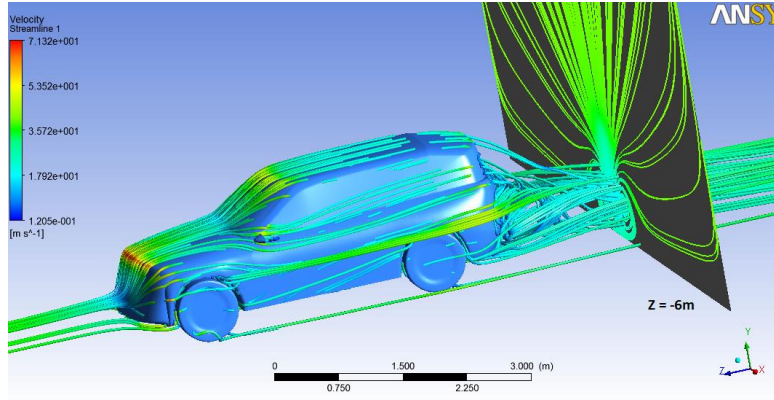
3.3. Durma noktası (Z_s/Z_v) ve Yer Aralığı (e) & C_d - C_l Değişimi

Akış durma noktasının 0.2'den 0.05'e indirilmesinin direnç katsayısında Fluent verilerine göre %2.91, CFX verilerine göre %2.44 düşüş, kaldırma katsayısında Fluent verilerine göre %9.75, CFX verilerine göre %7.26 artış, yer aralığının 30 mm azaltılmasının direnç katsayısında Fluent verilerine göre %2.45, CFX verilerine göre %3.07 düşüş, kaldırma katsayısında ise Fluent verilerine göre %10.08, CFX verilerine göre %8.59 artış meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

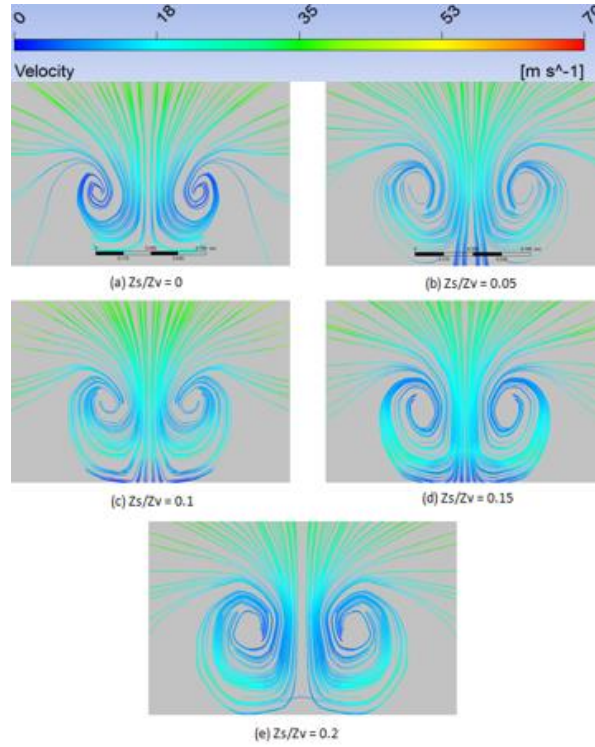


Şekil 3. 4 Akış durma noktası (Z_s/Z_v) ve Yer aralığı (e) & C_d - C_l değişimi

Akış durma noktası ve yer aralığının yükselmesinin taşıt altına yönlendirilen hava miktarının artmasına neden olduğu ve bu nedenle taşıt arkasında meydana gelen girdap büyüklüklerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 3. 5 $\phi = 10^\circ$, $\varphi = 35^\circ$ ve $Z_s/Z_v = 0.05$ için akış çizgileri

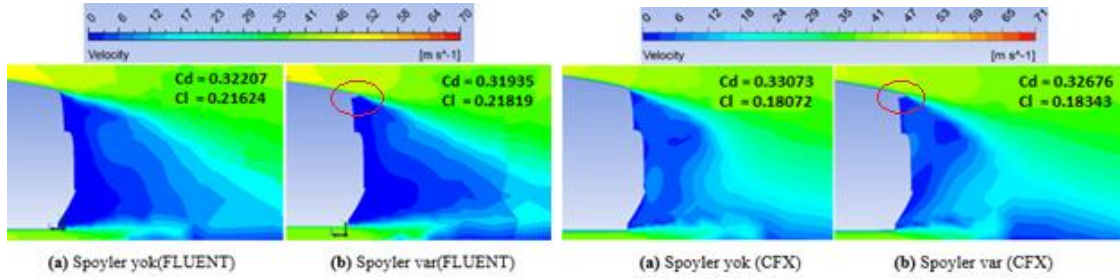


Şekil 3. 6 $\phi = 10^\circ$, $\varphi = 35^\circ$ ve yer aralığı $e = 0$ için $Z = -6m$ düzleminde durma noktası (Z_s/Z_v) değişimine bağlı yüzey akış çizgileri (Girdap Boyutları)

3.4. Arka Spoyler Uygulaması

Spoyler araç etrafında oluşan uygunsuz hava akımını minimize etmek için kullanılır. Arka spoyler taşıtlarda genellikle bagaj kapağı üzerine yerleştirilir ve taşıt üzerindeki hava akışını difüze ederek taşıt arkasında oluşan türbülansı azaltır [10]. Taşıt üzerine yerleştirilen arka spoylerin taşıt ard akış izi bölgesini azaltma eğiliminde olduğu bu nedenle direnç katsayısında

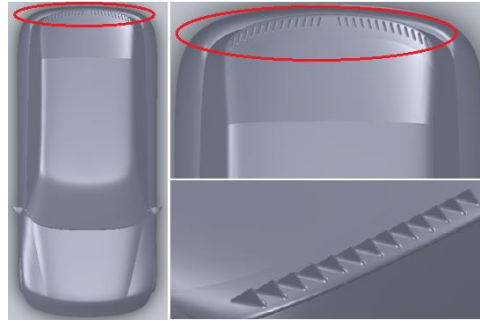
Fluent verilerine göre %0.85, CFX verilerine göre %1.2 düşüş, kaldırma katsayısında Fluent verilerine göre %0.9, CFX verilerine göre ise %1.49 artış olduğu görülmüştür.



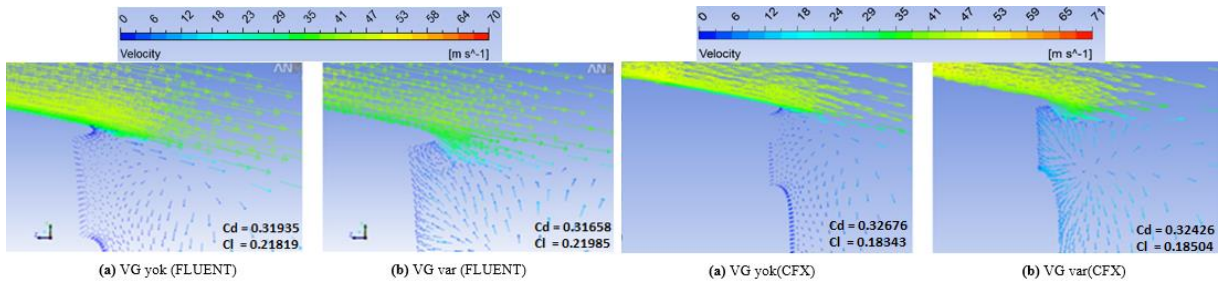
Şekil 3. 7 $\phi = 10^\circ$, $\varphi = 35^\circ$, $Z_s/Z_v = 0.05$ ve $e = -30$ mm için için taşıt modeli üzerine eklenen arka spoylerin C_d ve C_l üzerine etkisi, hız konturları

3.5. Vorteks Generatörü Uygulaması

Arka spoyler üzerine yerleştirilen 26 adet delta kanat tipi vorteks generatörünün tavan bitiminde hava akışını aşağı yönde hızlandırdığı ve ayrışma noktasını aşağı doğru kaydırma eğiliminde olduğu açıkça görülmüştür. Bu uygulamanın direnç katsayısında Fluent verilerine göre %0.87, CFX verilerine göre %0.76 düşüş, kaldırma katsayısında Fluent verilerine göre %0.75, CFX verilerine göre %0.88 artış meydana getirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 3. 8 Taşıt modelinde arka spoyler üzerine yerleştirilmiş vortex generatörleri



Şekil 3. 9 $\phi = 10^\circ$, $\varphi = 35^\circ$, $Z_s/Z_v = 0.05$ ve $e = -30$ mm için için spoyler üzerine eklenen vorteks generatörlerinin C_d ve C_l üzerine etkisi, hız konturları

4. Sonuçlar ve Öneriler

Özellikle yüksek hızlarda taşıta önemli derecede etki eden aerodinamik sürüklenme kuvvetlerini etkin bir şekilde azaltmaya yönelik çalışmalar yapılırken yeni taşıt geometrisi veya harici akış kontrol uygulamaları taşıt projeksiyon alanını önemli derecede artırmayacak şekilde olmalıdır. Yapılan analizlerde direnç katsayısının azalmasına karşın kaldırma katsayısında artışın meydana geldiği görülmektedir. Yüksek hızlarda taşıt yol tutuşunu etkilememesi bakımından kaldırma katsayısı tasarımlarda taşıt ağırlığı ve geometrisine bağlı olarak çok yüksek değerlerde tutulmamalıdır.

Şekil 3.12’de görüldüğü gibi tavan açısının 35° ’den 30° ye azaltılmasıyla direnç katsayısının bir miktar arttığı, 30° ’den sonra akış ayrılmasının ortadan kalkmaya başlaması ile birlikte direnç katsayısının hızlı bir şekilde düştüğü görülmüştür. Direnç katsayısının aksine akış ayrılmasının ortadan kalkmasıyla kaldırma katsayısında artış görülmüştür. Taşıt ön cam açısının azaltılması direnç kuvvetini azaltmış kaldırma kuvvetini ise artırmıştır (Şekil 3.3). Şekil 3.4’ de akış durma noktasının (Z_s/Z_v) 2 den 0.05 değerine kadar direnç katsayısında azalma, bu değerden sonra ise artış olduğu görülmektedir. Yer aralığındaki azalma ise havanın viskoz etkilerinin azalmasından dolayı direnç kuvvetini azaltmıştır. Şekil 3.7’ de gösterilen, taşıt tavanının sonuna yerleştirilen arka spoyler, spoyler formuna bağlı olarak akış ayrılma noktasını aşağıya çektiği için taşıt arkasındaki türbülanslı bölgenin azalmasına katkıda bulunduğundan dolayı direnç katsayısını azaltmıştır. Şekil 3.8’de gösterilen, taşıt tavanında akış ayrılma noktasının hemen önüne yerleştirilen vorteks generatörleri tarafından oluşturulan girdaplar ile akışa momentum desteği sağlanarak Şekil 3.9’da görüldüğü akış ayrılma noktası aşağı doğru kaymıştır. Bu durum da direnç katsayısında azalmaya neden olmuştur.

Tablo 4. 1 Taşıt modelleri, özellikleri ve Cd&Cl verileri

Model	$\theta [^\circ]$	$\phi [^\circ]$	Z_s/Z_v	$e[mm]$	Spoyler	VG	FLUENT		CFX	
							Cd	Cl	Cd	Cl
Orijinal	35	45	0.2	-	-	-	0.37396	0.15936	0.40383	0.13841
A	10	45	0.2	-	-	-	0.35036	0.16288	0.37448	0.14293
B	10	35	0.2	-	-	-	0.34004	0.17898	0.34977	0.15515
C	10	35	0.05	-	-	-	0.33016	0.19644	0.34122	0.16642
D	10	35	0.05	-30	-	-	0.32207	0.21624	0.33073	0.18072
E	10	35	0.05	-30	var	-	0.31935	0.21819	0.32676	0.18343
F	10	35	0.05	-30	var	var	0.31658	0.21985	0.32426	0.18504

Direnç katsayısı bakımından orijinal modelden optimum modele olan değişimler Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Bu bakımdan optimum Cd değeri F modelinde 10° tavan açısı, 35° ön cam açısı, 0.05 durma noktası, -30 mm yer aralığına ilaveten spoyler ve vortex generatörü uygulaması ile elde edilmiştir. Tablo 4.1’deki değerlere göre elde edilen optimum formun (F modeli) direnç katsayısının orijinal forma göre Fluent verilerine bağlı olarak %15.34, CFX verilerine göre %19.7 düşük olduğu, kaldırma katsayısının ise Fluent verilerine göre %37.95, CFX verilerine göre ise %33.69 fazla olduğu görülmüştür.

Referanslar

- [1] Altınışık A, Kütükçeken E, Yemenici O, Umur H. Gerçek araç modeli üzerinde deneysel ve sayısal aerodinamik analizler. OTEKON'14 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi
- [2] Heisler H. Advanced Vehicle Technology, Second Edition, Great Britain, Butterworth–Heinemann; 2002.
- [3] Han T, Sumantran V, Haris C, Kuzmanov T, Huebler M, Zak T. Flowfield simulations of three simplified vehicle shapes and comparisons with experimental measurements. SAE Technical Paper Series 1996; 960678 : 820-835.
- [4] Perzon S, Janson J, Högl L. On comparisons between CFD methods and wind tunnel tests on a bluff body. SAE Technical Paper Series 1999; 01-0805:1-11.
- [5] Jindal S, Khalighi B, Laccarino K. Numerical investigation of road vehicle aerodynamics using immersed boundary RANS approach. SAE Technical Paper 2005;01-0546
- [6] Helgason E, Hafsteinsson EH. Automatic shape optimization of aerodynamic properties of cars. Göteborg.
- [7] Koike M, Nagayoshi T, Hamamoto N. Research on aerodynamic drag reduction by vortex generators. Mitsubishi Motors Technical Review 2004;16:11-16.
- [8] Wang X, Zhang Z, Zhou Z, Chen H. Numerical simulation of TBM construction ventilation in a long diversion tunnel. Tunnelling and Underground Space Technology 2011; 26:560-572
- [9] İnce İT. GTD model idari hizmet pikap aracının aerodinamik analizi, PhD Thesis, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [10] Hu X, W E. A Numerical study on rear-spoiler of passenger vehicle. World Academy of Science - Engineering and Technology 2011;57:636-641.