

ÖNDEN MOTORLU BİR ARAÇTA AKTİF GRİL KAPATMA SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Şener Yılmaz*, Koray Erdoğan*, Umut Cırık*
Alp Tekin Ergenç**

*Heksagon Studio Mühendislik A.Ş., Kocaeli

**Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Müh. Böl., İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada literatürde Aktif Grill Kapatıcı olarak anılan sistemin, ticari sınıftaki bir araca uygulanması CFD araçları kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada izlenecek yöntem, aracın dış geometrisi ve kaputaltı bileşenlerini de içeren dış akış ve kaput altı akışın bir arada incelenmesi ve burada elde edilen sonuçlar ışığında prototip imalatı ve devamında yol testleri ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması şeklinde özetlenebilir.

İlk aşamada aktif akış kontrolü ve bunun bir alt bileşeni olan aktif kapatıcıların literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra CFD araçları yardımıyla kaputaltı hava ve ısı akışı incelenmiştir. İkinci aşamada prototip imalatı, kapatıcının kontrol algoritmasının belirlenmesi ve yol testlerinin uygulanması gerçekleştirilecektir.

Sayısal modele dahil olan elemanlardan bahsetmek gerekirse; kaput altında motor, motor soğutma modülü, egzoz sistemi ve bağlantı boruları 3 boyutlu olarak yer almaktadır. Bu kısım grift bir bölge olduğu için “wrap mesh” tekniği kullanılmıştır. Model oluşturulurken kaporta, kaput altı elemanları ve ızgara kısımlarında farklı eleman boyutları kullanılmıştır.

Analizlerde temelde iki farklı koşul olarak ızgaranın açık ve kapalı olma durumu incelenmiştir. Sonuçlar, aracın baz hali ile AGS modelin kapalı olduğu şartlardaki C_D değerleri ile motor ve dış akış bölgelerindeki basınç, hız, sıcaklık dağılımını detaylı olarak göstermektedir.

Son olarak çalışmanın önemli bir kısmı olan; soğutma grubunun aerodinamik sürüklenmeye (cooling drag) etkisini anlamak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Aktif Izgara Kapatma, Kaput Altı Akış, Araç Soğutma Yönetimi, Motor Soğutma Modülü, Hesaplamalı Akışkan Mekaniği

ACTIVE GRILLE SHUTTER SYSTEM DEVELOPMENT FOR FORWARD WHEEL DRIVE VEHICLE

ABSTRACT

In this study, we aimed implementation of Active Grille Shutter system to a commercial vehicle by using CFD tools. The methodology that we used during the study, it is discussed both external and under hood thermal management analysis. The results we gained from the analysis are validated by road tests and post processes.

First stage of the study consists of the literature review of AGS which is a subsystem of Active Flow Control subject. The next step is to study the under-hood solution accounting for air flow and thermal issues by using CFD tools. The second stage; it is aimed to produce a prototype, a control algorithm for AGS and road test cycles.

The components which are used in numerical models are engine, engine cooling module, exhaust system and joint hoses in terms of CAD data. Wrap mesh is used because; this region is very complex for a typical CFD analysis. Different mesh densities have been implemented for body, engine compartment and front grille section.

During the CFD simulation, it is analyzed basically two cases which are AGS (ON) and AGS (OFF) conditions. The results are presented as a comparison for the respect of C_D for both external and under-hood thermal flows as pressure, velocity and temperature variables.

Finally, other important point of this study is understanding the aerodynamic cooling drag effects by AGS.

Keywords: Active Grille Shutter, Underhood Flow, Vehicle Thermal Management (VTM), Engine Cooling Module, CFD.

1. GİRİŞ

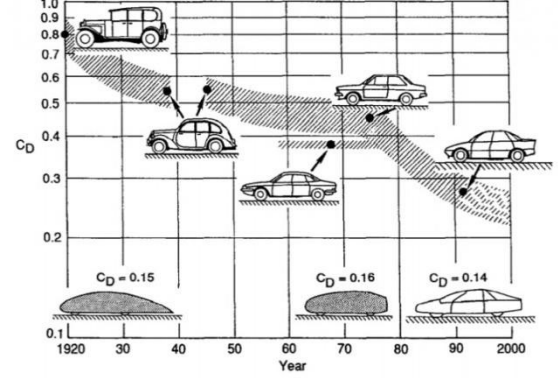
Bilindiği üzere, ısı yönetimi motorun verimli çalışması için şartların rejim halinde kalmasını hedefler. Bu çerçevede motor performansı olumsuz yönde etkilenmeyecek şekilde bir sistem olmalıdır. Diğer önemli konu ise, aktif grilin kapatılmasıyla aracın sürüklenme katsayısı azaltılacak, bu sayede yakıt ekonomisi sağlanacaktır.

Çalışmada ticari araç modelini baz alarak aktif akış kontrol sistemlerinden biri olan, Aktif Grill Kapatma sistemi konusu araştırılmıştır. Çalışmanın önemli bir kısmı, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) olarak bilinen bilgisayar destekli mühendislik metodunu uygulamayı içermektedir. Analizlerden elde edilen sonuçlar yardımıyla; Aktif kapatma sisteminin söz konusu araca sağladığı sürüklenme direnci avantajı ve beraberinde sağlayacağı yakıt ekonomisi de göz önünde bulundurularak bir prototip üretilmesi planlanmıştır. Ayrıca ilgili kısma gelen kuvvet-moment hesaplanmış ve motor kompartımanındaki basınç, hız, sıcaklık dağılımları görülmüştür.

Grill Kapatıcının mekanizmasını kontrol etmek amacıyla iki temel parametre olan motor bölgesi sıcaklığı ve radyatör suyu sıcaklığı kullanılarak bir algoritma oluşturulmuştur. Konuyla ilgili patentler incelenerek faydalı bir model çıkarılmıştır. Bu prototip üretilerek gerçek bir taşıt üzerinde testler yapılacaktır.

1.1 LİTERATÜR

Yol taşıtlarının aerodinamik özellikleri ve sürüklenme katsayısının düşürülmesine yönelik ilk çalışmalar 1920'li yıllara tarihlenmektedir. İlk yıllarda farklı disiplinlerden alınan tasarımlar dikkat çekmektedir, sonrasında Jaray Araba konsepti ortaya çıkmıştır [1]. Bu araçta C_D değeri 0,64'ten 0,30 seviyelerine düşürülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Araç sürüklenme katsayısı C_D 'nin tarihsel değişimi.

Günümüze kadar her 20 yıllık dönemler halinde farklı tasarım konseptleri ortaya çıkmıştır. Örneğin 1955-1974 yılları arasında detaylı optimizasyon olarak adlandırabileceğimiz tasarımlar, ardından şekil optimizasyonu [1] ve günümüzde ise yakıt tasarrufu odaklı özgün tasarımlar ön plana çıkmaktadır.

Williams (2003) çalışmasında araç soğutmasının toplam sürüklenme direnci ile olan etkileşimini anlamaya yönelik olarak; aerodinamik sürüklenme ile soğutmanın sürüklenmeye etkisini analitik olarak incelemiş ve çeşitli ölçümler yapmıştır. Özellikle dış akışın, aracın hemen ön kısmından motor bölgesine girerken ve motor kompartımanını terk ettiği bölgedeki etkileşimini göstermiştir. Genel olarak araç önünün kapalı olması durumu ile referans model kıyaslandığında soğutma sürüklenme direncinin azaldığı sonucu çıkmıştır. Elde ettiği sonuçlar ışığında, bir kamyonun soğutma sürüklenmesinin, normal bir binek araçtan daha az olmasına rağmen toplam sürüklenmesinin fazla olduğunu ve bu tip verilerin konuyla ilgili çalışan aerodinamik mühendislerini yanıltmaması gerektiğini raporlamıştır [2].

Jama ve ark. (2006) motor soğutma sisteminin araçlarda yüksek hız-düşük tork ve yüksek tork-düşük hız şartları için tasarlandığını ve bunun dışındaki hallerde kapasitesinin altında çalışarak daha fazla sürüklenme direncine neden olduklarını belirtmiştir. Çalışmaları sırasında, binek aracı birden fazla şekilde ön ızgarayı kapatarak rüzgar tüneline test etmişlerdir. Çalışmada; sürüklenme katsayısının % 7 oranında düşürüldüğü sonucuna varılmıştır [3].

Mulemane ve Soman (2007) çalışmalarında CFD kullanarak, bir dizel motorunun soğutma sistemini incelemiştir. Motor etrafındaki su ceketlerini modelleyip; bu bölgede oluşan yerel

yüksek sıcaklığın etkisiyle oluşan ani buharlaşma, kavitasyon ve sıvı akışını ayrıntılı biçimde içeren bir çalışmadır. Soğutma çevrimi, 1B - 3B ilişkisini de kapsayacak şekilde simüle edilmiştir. Ayrıca deneysel bir çalışma da yapılmış ve Simulasyon ile deneylerin örtüştüğü bildirilmiştir. Temelde su ceketleri içten yanmalı motorların optimum bir sıcaklıkta, rejim halinde çalışmasını sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Su ceketlerinin yapısını tüm yönleriyle incelemek; olayın geometrisi ve akış kanallarının karmaşıklığı nedeniyle zor bir alandır. Önceki çalışmalar saydam akrilik bir eleman kullanılarak yapılmış ve bu durumda bazı kısıtlamalar olduğu için yeterli sonuç alınamamıştır. Bu noktada bilgisayar destekli mühendislik araçlarından biri olan CFD'nin vermiş olduğu imkanlar dahilinde olayın geometrisi, kavitasyon ve noktasal kaynama gibi fiziksel olayların matematik modellerinin de dahil edilmesi mümkün hale gelmektedir. Ayrıca kısa sürede mühendislik problemlerinin ele alınıp incelenmesi ve gerekirse prototip üretim sürecindeki avantajları, günümüz rekabetçi çalışma şartlarında üstünlük sağlamaktadır. Çalışmada ticari CFD kodları ve simulasyon programları kullanılmıştır [4].

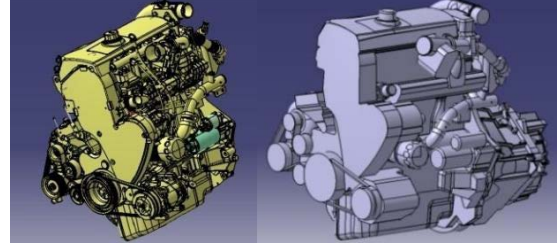
El-Sharkawy ve ark (2011) bu çalışmada aktif ızgara kapatma sisteminin; araçta bulunan klima, motor bölgesi ve araç altında bulunan kısımlardaki sıcaklıklara etkisini görmek için bir dizi test yapmıştır. Testler, özellikle bu etkileri (AGS'nin AC kompresörünün gücü ve radyatör fanının güç tüketimine etkisi) görebilmek için uyarlanmıştır. Çalışmadaki sonuçlar deneysel çalışmaların ürünüdür. AGS çalışma noktaları için yapılan öneriler; test sonuçlarına, araç sisteminin gereksinimlerine ve donanımına, son olarak da yakıt ekonomisi faydasına göre yapılmıştır. Testler, çevre sıcaklığı, nem, araç hızı ve iklim parametrelerini de kapsayan geniş bir aralıkta uygulanmıştır. Bu çalışmada, deneysel test sonuçları analiz edilmiştir[5].

EPA raporu, aktif akış kontrol sistemlerinin aerodinamik sürüklenme katsayısında %3 oranında azalma potansiyelinden bahsetmektedir [6]. Bu doğrultuda elde edilecek iyileşme yakıt ekonomisine de pozitif olarak yansıtacaktır.

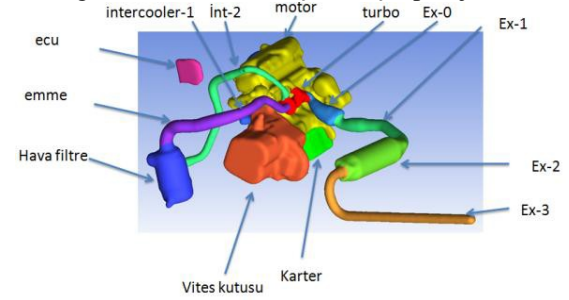
2. CFD MODEL

Araçın CAD geometrisi 3 temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; dış geometri, motor bileşenleri ve soğutma sistemidir. Her bir bileşen şekil-2 de görüldüğü gibi mümkün olduğu kadar basit ele alınıp, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, farklı eleman boyutunda örülmüştür. Çalışmalar sırasında ticari birer yazılım olan Hypermesh™ ve FLUENT™ kullanılmıştır. Motor bölgesi elemanları kaput altını yeterli bir şekilde temsil etmesi bakımından; motor, intercooler ve bağlantı boruları, hava filtesi ve bağlantı boruları,

ECU, vites kutusu, egzoz manifoldu, DPF ve bağlantı boruları bileşenlerini içermektedir (Şekil 3). Bu hacim oldukça grift ve dar bir bölge olduğu için mesh işleminde literatürde "wrap mesh" olarak bilinen işlem uygulanmıştır (Şekil 4). Soğutma sistemi için ise; aracın orijinal ekipmanları ölçülerinde olacak şekilde basitleştirilmiş bir geometri oluşturulmuştur. Bu sayede toplam mesh kalitesi bu tip analizler için uygun seviyelerde kalmıştır.



Şekil 2. CFD mesh yapısı için alınan Motor CAD geometrisi ve Basitleştirilmiş topolojisi.

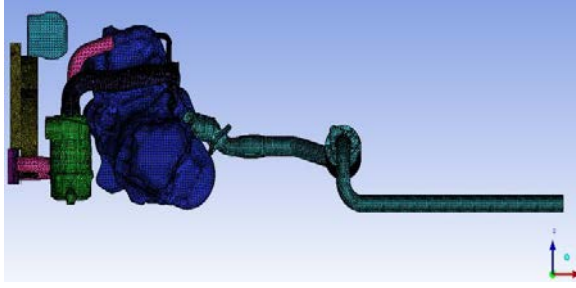


Şekil 3. CFD meshle elde edilen Kaput altı bileşenleri.

Analiz programına girilen başlangıç ve sınır şartlarından bahsetmek gerekirse; Türbülans modeli olarak k-ε realizable, standart wall function, Soğutma sisteminde bulunan radyatör ve intercooler ısı değiştirgeci, fan modelinde ise basınç sıçraması – momentum kaynağı (pressure jump - momentum source) olarak uygulanmıştır. Motor bölgesinde bulunan motor, turbo, egzoz elemanlarının (Şekil 3) her biri için sıcaklık değerleri yüzeysel sınır şartı olarak verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Yüzeysel sıcaklıkları sınır şartları

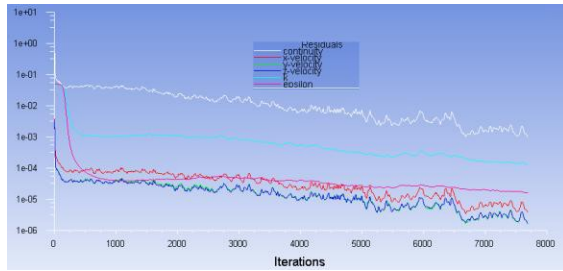
Motor Bölgesi Elemanları	Sabit Yüzeysel Sıcaklıkları(°C)
Motor	100
Turbo	240
Ex-0	235
Ex-1	217
Ex-2	100
Ex-3	70
Karter	95
Vites Kutusu	100



Şekil 4. Kaput altı bileşenleri mesh

3. SONUÇLAR

Yapılan analizlerde değişkenler şekil-5’de görüldüğü gibi 1000 iterasyondan sonra stabil olmuştur ve sonuçlar 5000 iterasyon baz alınarak verilmiştir. İşlem sürelerinden bahsetmek gerekirse; 8 çekirdek paralel koşturulduğunda 5000 iterasyon için gereken zaman 54:09:21’dir. Bu analizde sonlu eleman sayısı 9.497.071’dir. Analizde; momentum, türbülanslı kinetik enerji ve türbülans yayılım oranı birinci mertebe (1st order) olarak ele alınmıştır.



Şekil 5. Değişkenlerin hata oranları (residuals).

3.1 C_D DEĞERLERİ

Analiz sonuçlarından, özellikle araç sürüklemesinin en önemli göstergesi olan C_D incelendiğinde; ızgara kapatıcısının aracın baz haline göre %7,58 oranında iyileştirme sağladığını göstermektedir. Bu değer 1/3 oranında yakıt tasarrufuna denk olarak % 2,5 civarında yakıt tasarrufuna denk olacaktır [7]. Ayrıca proje ortağı firmada yapılan boşa yavaşlama (coast-down) testi çalışmalarında elde edilen değerler de; C_D değişiminin yakıt ekonomisine etkisinin incelenmesinde Tablo 2’de verilen değerler esas alındığında yukarıda bahsi geçen ampirik değere yakın sonuçlar verdiği görülmektedir ($\Delta F_{eco} \cong \%2$) [8].

Tablo 2. Analiz sonucu C_D değerleri

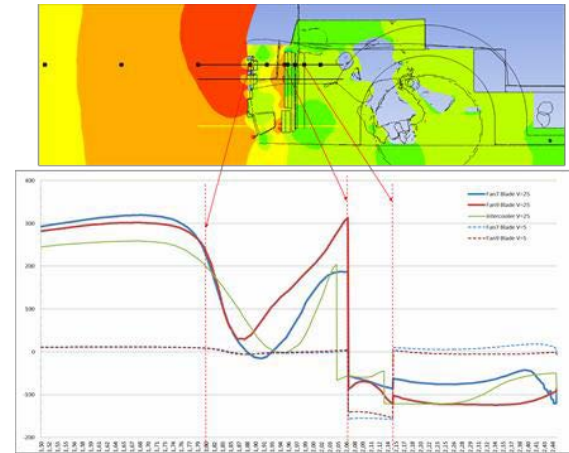
	Baseline	AGS
C _D	0,518	0,479

3.2 Basınç Dağılımı Hesabı

Aracın motor bölgesi basınç ve sıcaklık dağılımı çıkarılmıştır. Ayrıca Baseline ve AGS tam kapalı koşulları kıyaslanarak, sonuçlar grafiğin ilgili bölge

bilgisini sağlayarak şekil-6’da gösterilmiştir.

Grafik aracın soğutma ünitesinde bulunan fanların merkez doğrultusu boyunca alınan statik basınç değerleridir. Yüksek hız (25 m/s) ve düşük hız (5 m/s) koşullarında alınan CFD sonuçlarına dayanmaktadır. Şekilde radyatör, intercooler ve fan bölgelerinde görülen basınç farklarının basamak şeklinde olması dikkat çekicidir. Bu durumun sebebi ise; ilgili bölgelerde basınç kaybı ve fanın basma etkisi matematik model olarak analizlere yansıtılmıştır. Burada önemli olan nokta, soğutma modülü ile sistem değerleri uygun sonuçlar vermiştir. Özetle; literatürdeki diğer çalışmalara paralel sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6. Araç grill önünden DPF çıkış noktasına kadar motor kompartmanındaki basınç dağılımı.

3.3 Tork Hesabı

Aktif ızgara kapatıcısının tahrik sistemi için kullanılacak motor türü ve özelliklerinin belirlenmesi de çalışmanın bir diğer bölümünü oluşturmaktadır. Bu kapsamda CFD çalışmaları sonucunda, ilgili AGS yüzeylerine gelen toplam basınç ve kuvvet değerleri elde edilmiştir. Bu değerler, kontrol avantajı, kolay uygulanabilir olması ve uygun moment sağlaması açısından mekanizmada servo motorların kullanılması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak 15 kgf.cm’lik tork sağlayabilen servo motor tercih edilmiştir. Bu aşamada; piyasada bulunan homologe olmuş bir araç üzerinde çalıştığımız için paketleme, stil ve uygulama açısından çeşitli kısıtlamalarımız olduğundan oldukça basit bir mekanizma tasarlanmıştır.

Önemli olan bir diğer konu, aracın motor güvenliği hiçbir şekilde etkilenmemesi için; aktif ızgara kapatıcısının kontrol kısmında olabilecek bir arıza durumunda araç fabrika ayarlarına geri dönecek şekilde tasarlanmasıdır.

4. YORUM VE ÖNERİLER

Konuyla ilgili benzer çalışmalarda olduğu gibi

bilgisayar destekli mühendislik araçları ile analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında aktif ızgara kapatıcı prototipi üretilmesi ve yol testlerinin yapılarak sonuçların doğruluğunu görmek planlanmıştır. Projenin ileriki aşamasında saha deneyleri yapılarak bu karşılaştırmalar yapılacaktır. Mevcut CFD sonuçları literatür ile uyumludur.

CFD çalışmalarında CAD geometriden başlayarak sonuçların alınması ve incelenip raporlanmasına kadar olan süreçte; elaman sayısının belli bir düzeyde olmasının hesaplama zamanı göz önüne alındığında önemli bir konu olduğu görülmüştür. Birden fazla koşul için yapılacak incelemelerde bu sürelerin daha da uzayacağı unutulmamalıdır. Diğer taraftan, daha büyük eleman boyutu kullanmak eleman sayısını azaltacaktır, ancak bu durum da sonuçların doğruluk ve hassasiyetini etkileyecektir. Tüm bu tecrübe, konuyla ilgili çalışanların metodoloji bilgisinde saklıdır.

C_D değerlerinde %7,58'lik iyileşme gözlemlenmiştir ve bu değer teorik olarak %2,5'lik yakıt tasarrufu sağlayacağı öngörülmektedir.

Çalışmanın daha ileriye götürülmesi ve testlerin tamamlanmasıyla yapılabilecek çalışmalar ise; aracın çeşitli sürüş koşullarını modelleyebilen bir simülasyon ile CFD analizleri ve elde edilen test verileri ışığında daha kapsamlı bir çalışma yapılması planlanmaktadır.

Aracın C_D değerleri CFD analizlerinden elde edilen sonuçlarla elde edilmiştir, bilindiği üzere bu türden çalışmaların rüzgar tüneli ve iklimatik şartlarda da test edilip sonuçların doğrulanması ve hata oranlarının raporlanması gerekmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 01353.STZ2012-1 kodlu projenin bir parçasıdır. Proje kapsamında çalışma ortamı ile maddi desteği sağlayan Heksagon Studio Mühendislik A.Ş.'ne, Akademik desteği sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi'ne ve SanTez Projesini destekleyerek Üniversite-Sanayi işbirliğinin oluşmasını sağlayan T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına teşekkürlerimizi sunarız.

KISALTMA LİSTESİ

1B - 3B	Bir Boyut - Üç Boyut
AC	Air Conditioner
AGS	Aktif Grill Shutter
C_D	Drag Coefficient
ΔF_{eco}	Yakıt Ekonomisi Değişimi
CFD	Computational Fluid Dynamics
CAD	Computer Aided Design
DPF	Diesel Particulate Filter
ECU	Electronic Control Unit
EPA	Environmental Protection Agency
VTM	Vehicle Thermal Management

KAYNAKLAR

1. Hucho, W-H., 1998, "Aerodynamics of Road Vehicles", Fourth Edition, SAE International, pp. 13-43, Warrendale, Pa.
2. Williams, J., 2003, "Aerodynamic drag of Engine-Cooling airflow with external Interference", SAE World congress, SAE Technical Papers.
3. Jama, H., Watkins, S., Dixon, C., 2006, "Reduced drag And Adequate cooling for Passenger vehicles Using Variable Area Front Air Intakes", SAE World Congress, SAE Technical Paper.
4. Mulemane, A., Soman R., 2007, "CFD Based Complete Engine Cooling Jacket Development and Analysis", SAE Powertrain and Fluid Systems Conference & Exhibition, SAE Technical Paper.
5. El-Sharkawy, A.E., Kamrad, J.C., Lounsberry, T.H., Baker, G.L., Rahman, S.S., 2011, "Evaluation of impact of Active grille shutter on vehicle Thermal Management", SAE International Journal of Material Manufacturing, Vol. 4, pp.1244-1254.
6. EPA Report, 2011, "2017 Draft Regulatory Impact Analysis", USEPA Report, EPA-420-D-11-004,Chapter 2, pp. 13-15.
7. Söderblom, D., 2009, "Investigation of wheel housing flow on heavy trucks", Technical Report
8. Nicolian, A., 2013, "Impact of the Fuel Consumption to respect of the Drag Coefficient", Technical Report, Hexagon Studio A.Ş.