

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖNDEN MOTORLU ARAÇLARDA AKTİF GRILL KAPATMA SİSTEMLERİ
GELİŞTİRİLMESİ**

KORAY ERDOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD.DOÇ.DR.ALP TEKİN ERGENÇ**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖNDEN MOTORLU ARAÇLARDA AKTİF GRILL KAPATMA SİSTEMLERİ
GELİŞTİRİLMESİ**

Koray ERDOĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 31.10.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

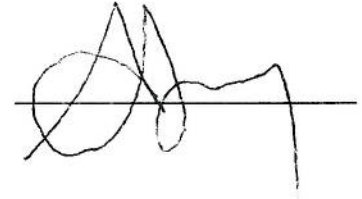
Prof. Dr. Cem SORUŞBAY
İstanbul Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi



Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 01353.STZ2012-1 numaralı SANTEZ projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Çalışmada, önden motorlu bir ticari aracın yakıt ekonomisini iyileştirme amaçlı olarak sürüklenme katsayısının düşürülmesine olanak tanıyan aktif ızgara kapatma sisteminin bilgisayar destekli mühendislik araçlarıyla analiz edilmesi, devamında prototip üretilmesi ve yol testleriyle kontrol edilmesi amaçlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamda benden yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç.Dr. ALP TEKİN ERGENÇ'e ve Heksagon Studio - Araç Mühendisliği/TASE Ekibine teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında proje ortağı firmada koordinasyonu sağlayan Uçak Yük. Müh. Şener YILMAZ'a minnettarım. Son olarak projenin yürütülmesi için gerekli şartları sağlayan T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm yaşantım boyunca, mutluluğum için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, yüksek lisans eğitimi konusunda beni cesaretlendiren ve çalışmalarım sırasında maddi ve manevi büyük desteğini gördüğüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos, 2014

KORAY ERDOĞAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
SONLU ELEMEN YÖNTEMİ VE CFD ÇALIŞMALARI	6
2.1 CFD Model Kapsam Belirleme.....	7
2.2 Metodoloji	8
2.3 Mesh Oluşturma	10
2.4 Başlangıç ve Sınır Şartları	11
2.5 Analizin Kurulması ve Koşuturulması	13
2.6 Çıktıların Yorumlanması ve Raporlama	14
2.6.1 Eleman Sayısının Sürüklenme Katsayısına Etkisi	15
BÖLÜM 3	
AKTİF IZGARA KAPATICININ KONTROL ÇALIŞMALARI	17

3.1	Elektrik Motoru Seçimi	17
3.2	Mekanizma Tasarımı	20
BÖLÜM 4		
SONUÇLAR.....		21
4.1	CFD Analiz Sonuçları	21
4.1.1	Motor Kompartımanı Basınç Dağılımı	22
4.1.2	Merkez Eksende Basınç Dağılımı	23
4.1.3	Merkez Eksende Hız Dağılımı.....	25
4.1.4	Merkez Eksende Sıcaklık Dağılımı.....	27
4.1.5	Akım Çizgileri	29
4.2	C Araç Yol Testleri	31
4.2.1	Isıl Yönetim Testleri	32
4.2.2	Yakıt tüketimi Testleri.....	34
4.2.3	Boşta Yavaşlama (Coast Down) Testleri	35
4.3	Araca Uygulanan Laboratuar Testleri	38
4.3.1	Test Kurgulaması	38
4.3.2	Tofaş Test Sonuçları.....	38
4.3.2.1	Yakıt Tüketimi Testi Sonuçları	39
4.3.2.2	Emisyon Testi Sonuçları	40
BÖLÜM 5		
TARTIŞMA, YORUM VE ÖNERİLER		42
KAYNAKLAR.....		45
ÖZGEÇMİŞ.....		47

SİMGE LİSTESİ

C_D	Drag Coefficient-Sürüklenme Katsayısı
cm	Santimetre
f	Force-Kuvvet
F0	Şasi Dinamometre Katsayısı-Yuvarlanma Direnci Bileşeni
F1	Şasi Dinamometre Katsayısı-Yol Direnci Bileşeni
F2	Şasi Dinamometre Katsayısı-Sürüklenme Direnci Bileşeni
Kg	kilogram
T	Torque-Moment
WB	Wheel Base-Araç Aks Mesafesi

KISALTMA LİSTESİ

AC	Air Conditioner
AFC	Active Flow Control
AGS	Active Grille Shutter
CAC	Charge Air Cooler
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CFD	Computational Fluid Dynamics
CO	Carbon Monoxide
CO ₂	Carbon Dioxide
EPA	Environmental Protection Agency
ECU	Engine Control Unit
GPS	Global Positioning System
HC	Hydrocarbons
M2	Yolcu Taşımacılığı (9'dan fazla) Yapan Ticari Araç Sınıfı (Maksimum 5 ton)
MRF	Multi Reference Frame
NO _x	Nitrogen Oxides
PM	Particulate Matter
SORT	Standardized On Road Test
UHTM	Under Hood Thermal Management
VBOX	Velocity Box-Test Systems
VTM	Vehicle Thermal Management

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Araç Sürüklenme Katsayısı CD'nin Tarihsel Değişimi [1].....	2
Şekil 2.1 Metodoloji Akış Şeması.....	8
Şekil 2.2 CFD Modelde kullanılan Motor CAD Geometrisi ve Basitleşmiş Topolojisi.	10
Şekil 2.3 CFD Model Domain Ölçüleri.....	11
Şekil 2.4 Motor Kompartımanı Elemanları	12
Şekil 2.5 Mesh Adaption 1. Durum.....	15
Şekil 2.6 Mesh Adaption 2. Durum.....	16
Şekil 3.1 Ön Izgara Kapatıcı Yüzey Görünümü.....	18
Şekil 3.2 Elektrik Motoru Tork Hesabı	19
Şekil 3.3 Izgara Kapatıcının A,B yüzey Basınç değişimi (CFD)	19
Şekil 4.1 Motor Kompartımanı Basınç Dağılımı.....	23
Şekil 4.2 Merkez Eksende Basınç Dağılımı.....	24
Şekil 4.3 Merkez Eksende Basınç Dağılımı - Genel Görünüm.....	25
Şekil 4.4 Merkez Eksende Hız Dağılımı	26
Şekil 4.5 Merkez Eksende Hız Dağılımı - Genel Görünüm	26
Şekil 4.6 Merkez Eksende Sıcaklık Dağılımı	27
Şekil 4.7 Merkez Eksende Sıcaklık Dağılımı - Motor Bölgesi Bileşenleriyle.....	28
Şekil 4.8 Merkez Eksende Sıcaklık Dağılımı - Genel Görünüm	29
Şekil 4.9 Merkez Eksende Akım Çizgileri	30
Şekil 4.10 Merkez Eksende Akım Çizgileri - Genel Görünüm	31
Şekil 4.11 Araç Enstrumantasyon	32
Şekil 4.12 Sıcaklık Testleri için Aracın Ağırlık Yükleme.....	33
Şekil 4.13 Araç Enstrumantasyon	33
Şekil 4.14 Yol ve Tofaş Testleri için Prototip Montaj.....	34
Şekil 4.15 Ön Izgara Kapalı Koşulda Çizdirilmiş Coast Down Grafiği [16]	37
Şekil 4.16 Ön Izgara Açık Koşulda Çizdirilmiş Coast Down Grafiği [16]	37
Şekil 4.17 Yakıt Tüketimi Testi Sonuçları	40
Şekil 4.18 Emisyon Testi Sonuçları	41

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Motor Kompartımanı Bileşenleri Yüzey Sıcaklık Şartları 13
Çizelge 2.2	Eleman Sayısının Sürüklenme Katsayısına Etkisi 15
Çizelge 4.1	Ön ızgaranın açık ve kapalı koşulları için Coast Down Test Sonuçları..... 36

ÖNDEN MOTORLU ARAÇLARDA AKTİF GRILL KAPATMA SİSTEMLERİ GELİŞTİRİLMESİ

Koray ERDOĞAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Bu çalışmada, M2 sınıfındaki bir aracın motor bölgesi soğutma performansı ve aracın sürüklenme direnç analizi metodolojisini uygulamak amaçlanmaktadır. Araştırma iki aşamadan oluşmaktadır; ilk aşama, CFD araçları yardımıyla kaput altı hava ve ısı akışını içermektedir. İkinci aşamada Aktif Gril (Izgara) Kapatıcı prototipi ve bu mekanizmanın, sürüş koşullarına göre kontrol edilmesini içermektedir. İkinci aşamada, ızgara kapatıcısının kullanımını görmek amacıyla bir dizi laboratuvar ve yol testleri yapıldı. Çalışmaya Aktif gril kapatıcı sistemleri ve araç ısı yönetimiyle (VTM) ilgili literatür ve patentlerin araştırılmasıyla başlandı. Akış analizi için, aracın tüm yüzey ve motor kompartımanı bilgileri içeren CAD dataları ile aerodinamik ve kaput altı bilgileri içeren bir CFD model oluşturuldu. Motor kompartımanında bulunan temel elemanlar, soğutma modülü (radyatör, intercooler, fan, shroud) ve egzoz manifoldu ile DPF gibi alt bileşenler de 3 boyutlu modele dahil edilmiştir. Grid oluşturmada "wrap mesh" tekniği kullanılmıştır. Motor, kaporta ve ızgara yüzeyleri için farklı eleman boyutları kullanılmıştır. Simülasyon için önceden belirlenen araç hızları ızgaranın açık ve kapalı durumları için uygulanmıştır. Sonuçlar, motor kompartımanında basınç, hız ve sıcaklık dağılımını detaylı olarak göstermektedir, ayrıca akım çizgileri sayesinde akış karakteristikleri daha anlaşılır olmaktadır. Motor bölgesi için ön ızgaradan DPF kısmına kadar olan bölgenin basınç dağılımı çıkarılmıştır. Farklı araç hızlarında; basınç

değişimleri Aktif Izgara Kapatıcısı için analiz edilebilir. Ayrıca, farklı soğutma koşullarının irdelenmesi için motor bölgesinin sıcaklık haritası da çıkarılmaktadır.

Çalışmanın bir diğer önemli kısmı olan Aktif Izgara Kapatma sisteminin aerodinamik soğutma sürüklenme katsayısına etkisini anlamaktır, bu sayede yakıt ekonomisi sağlanacaktır. EPA aktif akış kontrol sistemlerinin Sürüklenme katsayısında (C_D) %3 oranında azalma potansiyeli olduğunu raporlamıştır. Aktif ızgara kapatma sistemleri şu anda yolcu araçlarında kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aktif Izgara Kapatma, Kaput altı akış, Araç soğutma yönetimi, Wrap mesh, CFD

**ACTIVE GRILLE SHUTTER SYSTEMS DEVELOPMENT OF FRONT ENGINE
VEHICLES**

Koray ERDOĞAN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

In this study, it is aimed to implement a methodology of analyzing the engine compartment thermal performance and the vehicle drag of an M2-class vehicle. The work comprises two phases; the preliminary phase is to obtain air and thermal flow under-the-hood using CFD tools. The second phase is to develop an AGS (Active Grille Shutter) prototype and the control of the active system with respect to driving conditions. In the second phase, extensive indoor and road testing done for gathering temperature effects caused by AGS prototype usage. We have started from reviewing the literature and patents which are related to underhood vehicle thermal management and AGS concepts. For flow analysis, aerodynamic underhood CFD model has been generated. All vehicle surfaces and subsystems obtained as CAD data. Engine compartment has been transferred from CAD PLM system and main powertrain components modeled. The engine cooling module (including radiator, CAC, shroud, fan), AIS, exhaust manifold and DPF subsystems have also been added to 3D model. Wrapping mesh technique was used for grid generation. Different mesh densities have been applied for engine, body and front grille surfaces. For simulation setup, predefined vehicle speeds have been selected for both AGS- ON and OFF conditions. As results, one can obtain detailed visualizations in pressure, velocity and temperature distributions inside the engine compartment and also streamlines can be visualized for better understanding of the flow characteristics. Ram air pressure contribution has been extracted for underhood components beginning from front grille to exit plane of DPF.

For various vehicle speeds the pressure differential can be analyzed for AGS cases. Also the simulation temperature map in engine compartment has been extracted for better understanding of cooling variations.

One of the key point of this study is understanding the aerodynamic cooling drag forces by controlling the grill shutter, so this results in fuel saving. EPA's report mentioned 3% or more decreasing in aerodynamic drag (C_D) potential of using such active flow systems. AGS systems are already in the market, generally on passenger cars.

Keywords: Active grille shutter, Underhood flow, Vehicle thermal management (VTM), Wrap mesh, CFD.

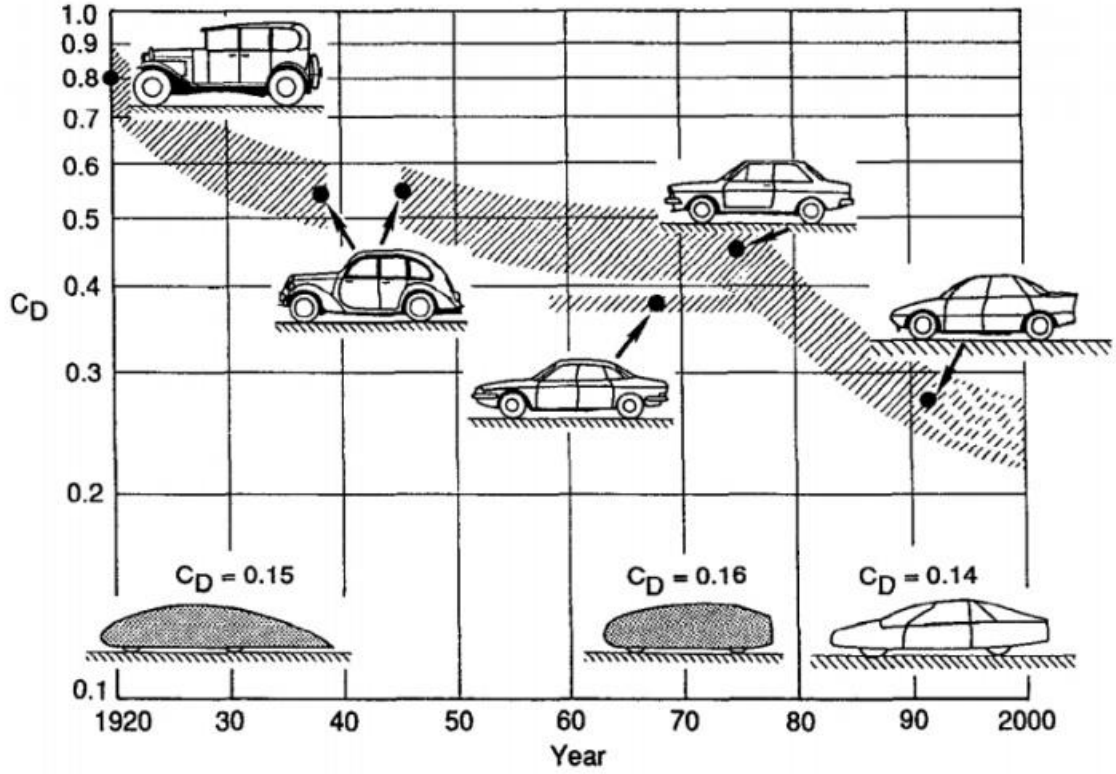
BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Tez çalışması kapsamında incelenen dökümanlar ağırlıklı olarak son yıllara tarihlenen makalelerden oluşmaktadır. Ancak konuyla ilgili temel teşkil edebilecek kaynak referanslarda birinci sırada yer almaktadır.

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 kavramı ortaya çıkmıştır [1]. Şekil 1.1'den görüleceği gibi bu araçta C_D değeri 0,64'ten 0,30 gibi değerlere düşürülmüştür. Günümüze kadar her 20 yıllık dönemler halinde farklı tasarım kavramları 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.



Şekil 1. 1 Araç Sürüklenme Katsayısı C_D 'nin Tarihsel Değişimi [1]

Williams [2] 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, 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.

Jama vd. [3] 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.

Mulemane ve Soman [4] alışmalarında CFD kullanarak, bir dizel motorunun soğutma sistemini incelemiştir. Motor etrafındaki su ceketlerini modelleyerek; bu bölgede oluşan yerel yüksek sıcaklığın etkisiyle oluşan ani buharlaşma, kavitasyon ve akışı ayrıntılı biçimde içeren bir çalışmadır. Soğutma evrimi, 1B - 3B ilişkisini de kapsayacak şekilde simule edilmiştir. Ayrıca deneysel bir çalışma yapılmış ve simulasyon ile deneylerin eşlendiği bildirilmiştir. Su ceketlerinin temel amacı içten yanmalı motorların optimum bir sıcaklıkta, rejim halinde çalışmasını sağlamaktır. Su ceketlerinin yapısını tüm yönleriyle incelemek; olayın geometrisi ve akış kanallarının karmaşıklığı nedeniyle zor bir alandır. nceki alışmalar saydam akrilik bir eleman kullanılarak yapılmış ve bu durumda bazı kısıtlamalar olduğu için yaterli 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 da 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 [5].

El-Sharkawy ve ark [6] Bu çalışmada aktif ızgara kapatma sisteminin; araçta bulunan klima, motor bölgesi ve araç altında bulunan kısımlardaki sıcaklıklara etkisini görmek için bir dizi test yapılmıştır. Testler, özellikle bu etkileri (AGS'nin AC kompresörünün gücü ve radyatör fanının g tüketime etkisi) görebilmek için uyarlanmıştır. Bu testler geniş bir sıcaklık, nem, hız ve klima kontrol şartını kapsayacak şekilde seçilmiştir. Çalışmadaki sonuçlar deneysel çalışmaların ürünüdür. AGS alışma noktaları için yapılan öneriler; test sonuçlarına, araç sisteminin gereksinimlerine ve donanımına, son olarak da yakıt ekonomisi faydasına göre yapılmıştır. Testler, evre sıcaklığı, nem, araç hızı ve iklim parametrelerini de kapsayan geniş bir aralıkta uygulanmıştır. Bu çalışmada, deneysel test sonuçları analiz edilmiştir [6].

Gulberg vd. [7] ağır taşıtın motor kompartımanını içeren CFD modelinde MRF tekniğini kullanılmış; ancak, düşük hızlarda bu tekniğin akış olayını çözmede zayıf kaldığını raporlamıştır. Charnesky vd. [8] aktif ızgara kapatma sistemini 2011 Cruze modeli üzerinde CFD uygulayarak çalışmıştır. Bu modelde ızgara kapatıcı alt ve st kısım olmak üzere iki ayrı parçadan oluşmaktadır. alışmaları sonucunda ızgara kapatıcının araç

soğutma performansına yeterli debide hava sağladığını ve yakıt ekonomisi sağladığını belirtmiştir. Ürettikleri prototip 1,3 kg kütleli bir ızgara kapaticısıdır. Santana vd. [9] ilk olarak ticari bir taşıtın soğutma performansını CFD yöntemiyle araştırmıştır. Bu çalışmada soğutma grubunun neden olduğu sürüklenme etkisi göz ardı edilmiştir. Mustafa vd. [10] motor kompartımanını izole ederek motorun ısıtma fazında harcanan süre ve enerjisini azaltmayı hedeflemiştir. Klimatik rüzgar tüneline yapılan deneysel çalışmalarda ön ızgaranın belli oranlarda kapatılarak başarıyla sonuçlandığını bildirmiştir.

Kulkarni vd. [11] dış aerodinamik analiz ile kaput altı ısı yönetimi analizlerini modelledikleri CFD çalışmalarında, baz araç ile tasarım değişikliği yaptıkları aracı kıyaslamıştır. Yapılan tasarım önerileriyle ticari CFD kodlarını kullanarak radyatörden atılan ısıyı % 18,5, intercooler üzerinden atılan ısıyı da % 16,9 oranında arttırmıştır. Agarwal [12] ağır taşıtlardan kamyonlara uyguladığı aktif akış kontrol yöntemlerinden sentetik jet aktüatörleri olarak bilinen bir yapıyı çalışmıştır. Aktif akış kontrolünü kullanarak sürüklenme katsayısında %15-20 oranında bir potansiyel olduğunu raporlamıştır. Aktif akış kontrolü ile taşıtın arka kısmında bulunan kuyruk kısmını düzenlemeyi hedeflemiştir. 1000 \$'lık bir ekipman kullanarak sürüklenme katsayısını %15 oranında düşürmüştür.

Xu vd. [13] yolcu araçlarında yaptığı çalışmada, araç önündeki ızgara açıklığının soğutma fanının tükettiği güce olan etkini ve yakıt tüketimine etkisini araştırmıştır. Üç ayrı ızgara açıklığı üzerinde çalışmış. Sürüklenme katsayısı ile ızgara açıklığının ters orantılı olduğu sonucuna varmıştır. Saab vd. [14] yaptıkları çalışmada araç hızı ve soğutma sürüklenmesinin lineer bir ilişkisi olduğu sonucuna varmışlardır. Bir diğer önemli çıktı ise C sınıfı Mercedes araçta yaptıkları testlerde; araç önündeki ızgara açıklığının %25 oranına kadar azaltılmasıyla sürüklenme katsayısının da azaldığını ve bu ilişkinin parabolik olduğudur.

EPA [15] 2017 yılı öngörülerini derlediği raporunda aktif ızgara kapaticıların kara taşıtlarındaki sürüklenme katsayısını %3 oranında azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

1.2 Tezin Amacı

Literatürde sıklıkla bahsedilen Aktif akış kontrol sistemlerinden biri olan aktif ızgara kapatıcısının, bilgisayar destekli mühendislik araçlarından faydalanarak bir prototipini üreterek bunun M2 sınıfındaki ticari bir araçta test edilmesi sonuçlarının kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu sayede ürün tasarımı ve geliştirme aşamalarında, ileride ortaya çıkabilecek bazı teknik konuların öngörülmesi ve çözümü sağlanacaktır. Çalışma sonunda bahsi geçen araçta yakıt tüketiminde ve ekzoz emisyonlarında azalma öngörülmektedir. Bu faydalara ek olarak, özellikle orta ticari taşıt kullanıcılarının kış döneminde sıklıkla yaşadıkları bir problem olan aracın geç ısınması sorununa da fayda sağlayacağı öngörülmektedir.

1.3 Hipotez

Konu, farklı pasif bir kullanım fonksiyonu ile 1920 yılında gündeme gelmiş olmasına rağmen aktif kontrol kavramı son 10 yılda tartışılmaktadır. Yurt dışında ticari olarak satışta bulunan sözkonusu sistem henüz yurt içinde mevcut değildir.

Çalışmamda uluslar arası akademik ve ticari kurumlar tarafından sıklıkla kullanılan ve deneysel ya da gerçek şart tesleriyle doğruluğu büyük ölçüde ispatlanmış bilgisayar destekli mühendislik araçlarından faydalandım. Ortaya çıkan sonuçlar araçların ön ızgara açıklıklarını azaltmanın aerodinamik sürüklenme katsayısını azalttığı ve bu sayede yakıt ekonomisi sağladığı görüşü ile örtüşmektedir. Bu açıdan literatürde bulunan çalışmalarla paralellik göstermesi, geçici çözümün nihai bir çözüm olduğu görüşünü sağlamlaştırmaktadır.

Son yıllarda konu üzerine çalışanların sayısının artması ve ortaya çıkan sonuçların güvenilir kurumlar tarafından incelenip onaylanması, önerinin dayanağını da güçlendirmektedir.

BÖLÜM 2

SONLU ELEMAN YÖNTEMİ VE CFD ÇALIŞMALARI

Son yıllarda kullanımı artarak devam eden sonlu elemanlar metodu (Finite Element Method-FEM) analize konu olan fiziğin sonsuz sayıdaki noktanın sanal ortamda bulunan CAD datasının sonlu sayıda nokta ve elemanla ifade edilmesi demektir. İncelenen fizik; katı mekaniği ya da akışkanlar mekaniği olabileceği gibi bunların bir arada incelendiği analizler de olabilir. Analizlerde kullanılan bilgisayarların gelişmesiyle daha karmaşık ve kinematik, kimyasal ve fiziksel tepkimeler gibi birden çok etkinin de dahil edilebildiği birleşik modeller kurulabilmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminin ilk basamağı sanal ortamda bulunan CAD datadır. Bir sonraki aşamada bu data; incelenen konunun kapsamına göre basitleştirilir ve mesh adı verilen eleman örme işlemine yapılır. Elemanlar nokta, çizgi, iki veya üç boyutlu geometrik şekillerdir.

Sonlu elemanlar yöntemi, test ve deneyimlerle desteklendiğinde son derece faydalı olmakla birlikte, maliyetleri azaltmasıyla birçok firma tarafından sıklıkla başvurulmuş bir metoddur. Bu yöntem sayesinde, sanal ortama aktarılan kısmi ya da tam ölçekli simülasyonlarla, birçok koşulu yansıtacak analiz ve testler yaparak, buna ek olarak da istenilen her lokasyondan hız, basınç, sıcaklık ve enerji gibi çok sayıda data elde etmek mümkündür.

Firmaların Bilgisayar destekli mühendisliğe ağırlık vermeleri ve çalışmalarını bu yöntemle gerçekleştirmeleri, tasarım optimizasyonu ve prototip üretimi aşamalarında da önemli faydalar sağlamaktadır. Ürün geliştirme süreçlerini kısaltan yazılımlar

sayesinde fiziksel ürün aşamasına geçilmeden önce çeşitli analizler yardımıyla muhtemel hatalar öngörülerek çeşitli iyileştirmelere fırsat tanınmış olur. Günümüz iş dünyası bir kurumun her biriminde tüm kaynakların en etkin bir biçimde kullanılmasını amaçlamaktadır ve sanal mühendislik yazılımları bu süreçte iyi bir yardımcı olarak dikkat çekmektedir. Bu konuda dikkat edilmesi gereken konu, yazılımı kullanan yetkililerin başlangıç ve sınır şartlarında yaptığı kabullerin incelenen fiziğe uygun bir şekilde yapılması gerektiğidir. Analizler ise gerek laboratuvar gerekse gerçek şartlarda test edilerek doğrulanmalıdır.

2.1 CFD Model Kapsam Belirleme

Bu bölüm, tez çalışmamın büyük bir kısmını kapsayan CFD analizlerinin kapsamını içermektedir.

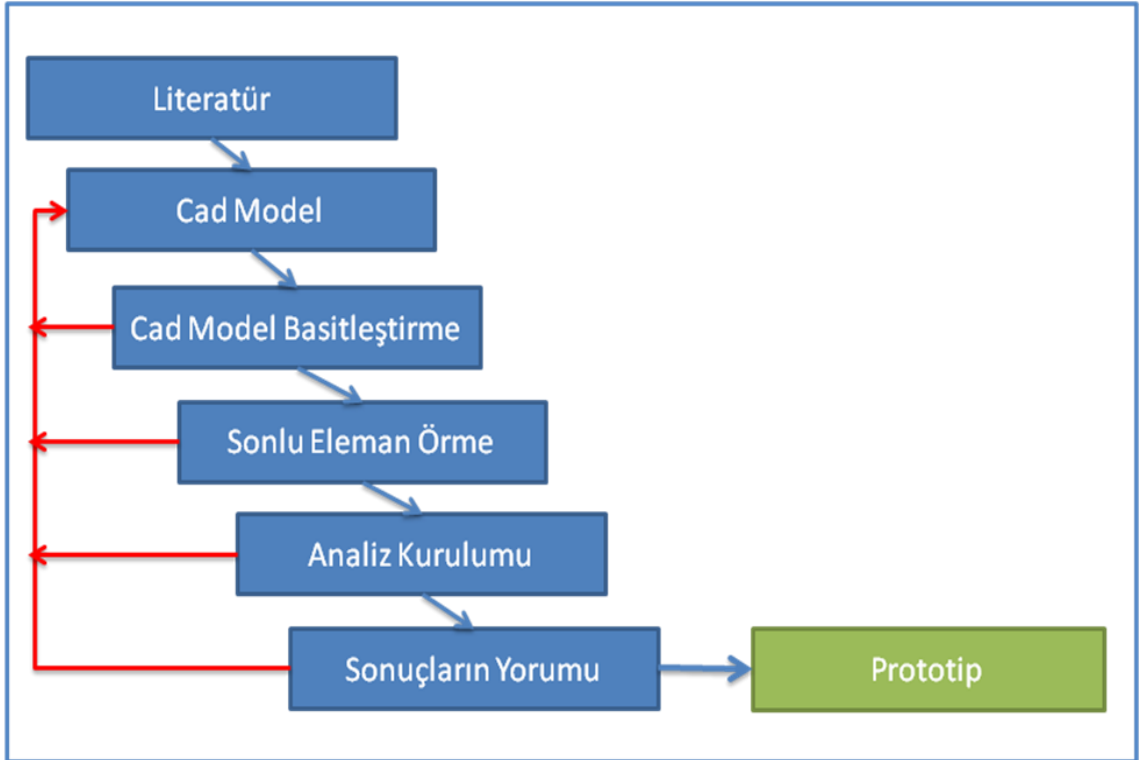
Aracın CAD geometrisi 3 temel kısımdan oluşmaktadır. Dış geometri, motor bileşenleri ve soğutma sistemi. Her bir bileşen mümkün olabilecek basitleştirmeler yapıldıktan sonra, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, her bir eleman için farklı eleman boyutunda örülmüştür. Çalışmalar sırasında ticari birer yazılım olan Hyperworks® 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. Bu hacim oldukça grift ve dar bir bölge olduğu için mesh işleminde literatürde "wrap mesh" olarak bilinen işlem uygulanmıştır. Soğutma sistemi için ise; araç üzerinde bulunan bileşen ölçülerinde olacak şekilde basitleştirilmiş bir geometri oluşturuldu. Bu sayede toplam mesh kalitesi, bu tip analizler için uygun seviyelerde kalmıştır.

Analiz programına girilen başlangıç ve sınır şartlarından bahsetmek gerekirse; Türbülans modeli olarak $k-\epsilon$ realizable yöntemi kullanılmıştır. Bu model, W.P.Jones ve B.E.Launder tarafından yüksek Re sayılarında gerçekleşen akışların modellenmesinde kabul edilebilir seviyede bir doğruluk sağlaması bakımından yaygın bir şekilde kullanılan yarı ampirik bir modeldir [1]. Denkleminde yer alan k türbülans kinetik enerjisini ifade eder. ϵ ise dissipasyon oranı şeklinde ifade edilir. Araç dış aerodinamik analizlerinde akış ayrılımlarının olduğu bölgelerin doğru bir şekilde tespit edilmesine

olarak tanıyan bir modeldir [1]. Sınır tabaka davranışı standart duvar fonksiyonu, Soğutma sisteminde bulunan radyatör ve intercooler ısı değıştirgeci, fan modelinde ise pressure jump- momentum source olarak uygulandı. Motor bölgesinde bulunan motor, turbo, egzoz elemanlarının her biri için sıcaklık değeri yüzeysel sınır şartı olarak verildi.

2.2 Metodoloji

Çalışmanın başlangıç aşamasında yapılan literatür taraması proje boyunca devam etmiştir. Ağırlıklı olarak SAE Makalelerinden faydalanılmıştır. Ek olarak, projeye konu olan patent ve fikri haklar da incelenerek ileride oluşturulması planlanan faydalı modelin özgün bir ürün olması ve ticarileştirilmesi bakımından temel teşkil etmiştir.



Şekil 2. 1 Metodoloji Akış Şeması

Araca ait cad data, Catia V520 yazılımı ile basitleştirilmiş ardından CFD çalışmaları için uygun bir format olan stl data'ya dönüştürülmüştür. Aracın kabuk, motor kompartımanı ve soğutma modülü olmak üzere üç temel yapısı alt sistemler olarak çalışılmış ve nihai sonuçlar asıl modelde birleştirilerek analiz için uygun boyutlara sahip bir uzaya (domain) dahil edilmiştir. Bu aşamanın bir sonraki basamağı olan mesh

kalitesi, analizlerin doğru sonuçlanması, değişkenlerin yakınsaması ve hesaplama süreleri açısından çok önemli bir unsurdur. Bu çalışmada, mesh kalitesini artırmak amacıyla soğutma modülü daha basit yüzeylerle (kübik) çizilerek modele aktarılmıştır.

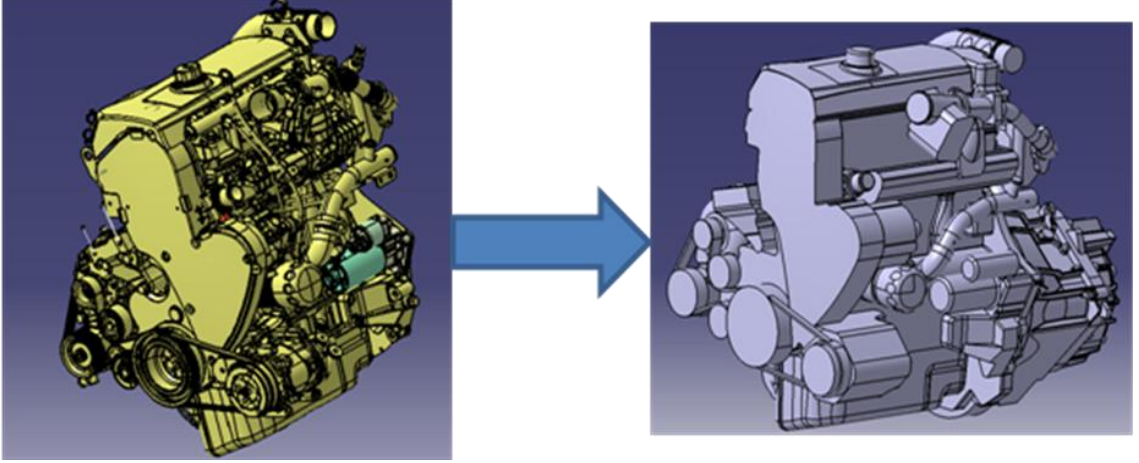
Çalışmada dış akış ve kaput altı akış bir arada modele dahil edilmiştir. Elaman örme işlemi sırasında, motor kompartımanı başta motor, vites kutusu, hava filtresi ve bunların bağlantı kablo ve boruları olmak üzere birçok bileşenden oluşmaktadır. Bu kısım oldukça girift bir yapıya sahip olduğu için CFD çalışmalarında wrap mesh adı verilen tekniği kullanarak eleman örme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem, karmaşık yapıların üstünü örten bir battaniye gibi yüzeyleri kaplar ve analizler açısından büyük önem taşımayan ayrıntıları kapatarak daha kaliteli elemanlar elde edilmesini sağlar.

Bir sonraki aşama, başlangıç ve sınır şartlarının belirlendiği analiz kurulumudur. Analizin hangi şartlarda yapılacağı CFD çalışmalarının bir diğer önemli aşamasıdır. Eğer incelediğiniz konuyu ilk kez çalışıyorsanız, ilgili fizik hakkında geniş bir literatür taraması yapmak gerekir. Bilgisayar destekli mühendislik çalışmalarının her aşamasında belli sınırlarda kalmak kaydıyla, kabuller yapılır. Bu kabuller; akış modeli, değişkenlerin derecesi, fan yada basınç modelleri, yüzey sıcaklıkları şeklinde olabilir. Başlangıç ve sınır şartları belirlendikten sonra, hesaplamanın yapıldığı çözücü aşaması başlar. CFD analizlerinin her bir basamağı kendinden önceki aşamaların üst üste konulmasıyla ilerler. Bu bakımdan, bir önceki aşamada yapılan bir hata yada ihmal, bir sonraki aşamaya yansır ve küçük hata payları bir araya geldiği zaman öngörülemez durumlar ortaya çıkar. Tüm bu hataların farkedilmeden çözüm safhasına kadar ilerlediğini düşünürsek, bu aşamada hesaplama maliyeti denilen kavram karşımıza çıkacaktır. Bu maliyet; ihtiyaç duyulan çalışma istasyonunun daha yetenekli olmasını gerektirebileceği gibi, hesaplama süresinin gereğinden fazla olmasına sebep olmaktadır. Günümüz rekabetçi iş ortamında, Firmalar bu tip maliyetleri çok önemsiyor ve bu durumun önüne geçebilmek için süreç iyileştirme metodunu kullanarak her aşamanın belli kalite sınırları içerisinde kalmasını hedefliyorlar.

Son olarak bir diğer önemli aşamadan bahsetmek gerekirse; simulasyon şartlarını içeren testlerle doğrulanan analizler güvenilirliğini ispatlamış olur. Teze konu olan bu çalışmadan örnek vermek gerekirse, CFD çalışmalarından elde edilen sonuçlar ışığında

iki ayrı prototip üretildi ve araç üzerine uygulandıktan sonra yapılan yol ve laboratuvar testleri, analizler ve literatürde bulunan diğer çalışmalarla karşılaştırıldı.

2.3 Mesh Oluşturma



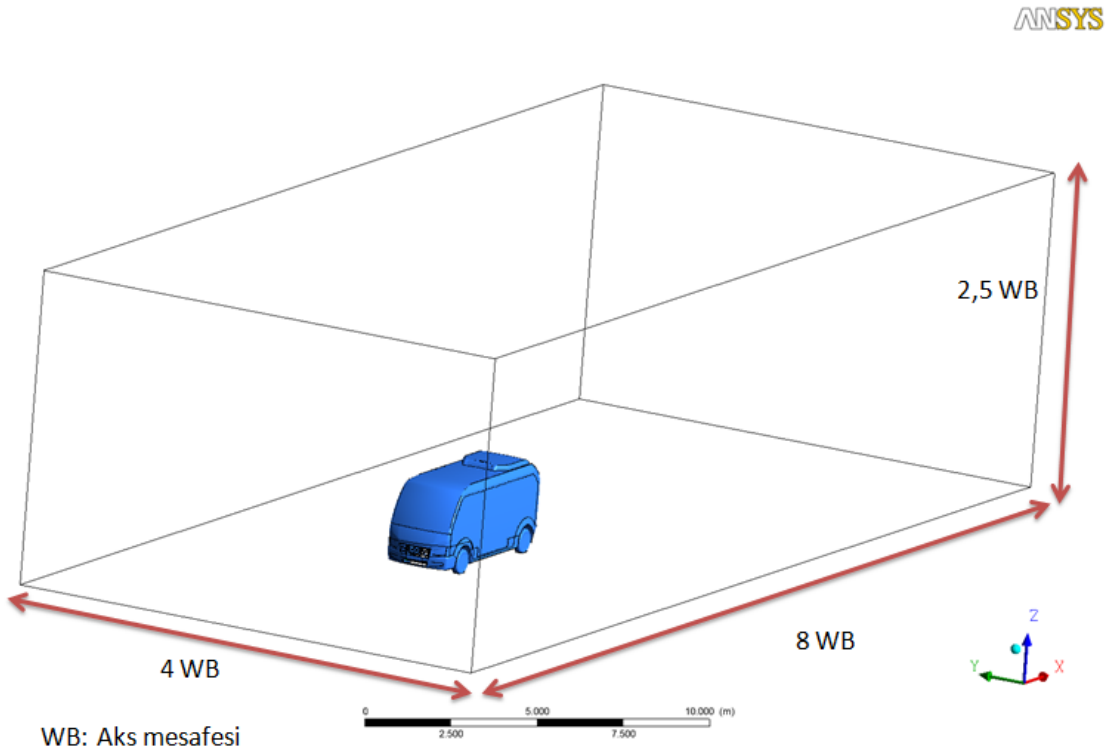
Şekil 2. 2 CFD Model’de kullanılan Motor CAD Geometrisi & Basitleştirilmiş Topolojisi

CAD data Şekil 2. 2’de gösterildiği gibi belli şartlar gözönünde bulundurularak sadeleştirilir. Sadeleştirme işlemi genellikle bazı detayların silinmesi, süreksizlik ve açıklıkların kapatılması şeklinde olur. Sonraki aşamada yüzey elemanlarının oluşturulması işlemi yapılır. Bu aşamada, uygun bir eleman boyutu ile yüzeylerin örülmesi (mesh), sonraki aşamaların sorunsuz bir şekilde ilerlemesini de yakından ilgilendirir. Dolayısıyla sayısal model oluşturma süreci; bir binanın temelini yaptıktan sonra üzerine inşa edilen daireler gibi titizlikle ilerlenmesi gereken bir aşamadır.

Yapısal çalışmalardan farklı olarak CFD çalışmalarında, çoğu kez üçgen formunda elemanlar kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli mühendislik yazılımı kullananlar dörtgen elemanların üçgen elemanlara göre daha doğru mesh yapısı olduğunu ve bunun nedeni olarak eleman sayısının az olması ve hesaplama süresinin kısa olmasını savunurlar. Ancak bu durum CFD çalışmalarının ilk yıllarına ait algılardı. Günümüz şartlarında yüksek kabiliyetli çözücüler ve grid algoritmaları sayesinde üçgen elemanların kullanıldığı analizler oldukça güvenilir sonuçlar vermektedir.

2.4 Başlangıç Sınır Şartları

CFD modelde; Araca özğü olan rüzgar tüneline aracın aks mesafesi baz alınarak x ekseninde 8 WB, y ekseninde 4 WB ve z ekseninde 2,5 WB ölçülerinden oluşan bir uzay (domain) hazırlanmıştır. Aracın aks mesafesi 3750 mm'dir, Şekil 2. 3'de verilen değerlerden yola çıkarak domainin fiziksel ölçüleri hesaplanabilir. Bu uzayda; giriş kısmı hız ve çıkış kısmı atmosferik basınç olarak, Yan duvarlar simetrik ve zemin ise hareket eden duvar şeklinde şartlandırılmıştır. Aracın soğutma modülünde bulunan ısı değıştirgeçleri ve fanlar haricinde diğerk tüm yüzeyler duvar olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. 3 CFD Model Domain Ölçüleri

Soğutma grubunda bulunan intercooler ve radyatör ısı değıştirgeci olarak, fan ise basınç sıçraması olarak tedarikçi firmadan sağlanan özelliklerden elde edilen fonksiyonların MS Office Excel programında çizdirilerek katsayılarının CFD yazılımına kullanıcı tanımlı fonkiyon (URF) olarak girilmesiyle şartlandırılmıştır.

Çizelge 2. 1 Motor Kompartımanı Bileşenleri Yüzey Sıcaklık Şartları

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

2.5 Analizin Kurulması ve Koşturulması

Bu aşama, CFD modele aktarılan Nümerik ve fizik şartların kullanılan ticari kodlarda bulunan akış modelleriyle hesaplandığı kısımdır. Çalışmalarda Ansys firmasının akışkan hesaplamalarında kullanılan ticari kodu olan Fluent kullanılmıştır.

Bu kısımda hesaplama maliyeti denilen bir konu karşımıza çıkar. Hesaplama maliyeti kurulan analizin koşturulması sırasında harcanan süredir. Hesaplama sürelerinden bahsetmek gerekirse; Bu süreyi yakından ilgilendiren faktörler kullanılan ağ yapısı ve sayısı, incelenen olayın geometrisi - bu geometri basit ya da grift olabileceği gibi küçük yada devasa boyutlarda olabilir - ve kullanılan fiziğin çeşidi şeklinde özetlenebilir. Günümüzde, firmalar hesaplama maliyetini düşürme üzerine çokça zaman harcayıp bazı pratik çıktılar elde ediyor. Örneğin, benzer konular üzerinde yapılan CFD çalışmalardan elde edilen tecrübe ile sayısal bir modelde olması gereken optimum eleman sayısı ve geometrik detayları çalışma standartlarında dokuman haline getirerek bu süreci en verimle şekilde geçirmeyi hedeflemektedir.

2.6 Çıktıların Yorumlanması ve Raporlama

Bilgisayar destekli mühendisliğin en önemli aşamalarından biri de çıktıların elde edilip görseller haline getirildikten sonra yorumlanması ve burada elde edilen sonuçların birer öneri haline getirilmesi işlemidir. Uluslararası literatürde post process olarak bilinen bu aşamada; Tasarım mühendisleri sahip oldukları tecrübe ile olayın fiziğine uygun sonuçlar elde ettiğinden emin olmalıdır. Bu sebeple, CFD model oluşturulurken ticari kodlarda bulunan hata kontrol mekanizmaları sıklıkla kullanılır. Hata denetlemeleri CAD yüzeylerden başlayarak, ağ örme, başlangıç ve sınır şartlarının girilmesi ve hesaplama aşamalarının her birinde kullanıcılara uyarı ve öneriler vermektedir. Böylece, muhtemel basit hatalar önlenebilir. Diğer yandan incelenen fiziğin karmaşıklığı ve ayrıntısı kullanıcılara ayrı bir sorumluluk getirmektedir.

Akış analizinde; Elde edilen sonuçlardan en önemlileri basınç, hız ve sıcaklık değişimlerinin görsellendiği çizimler gelmektedir. Yine sınır şartlarında girilen bazı özelliklerin doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığının tespiti için vektörlerin incelenmesi gerekir. Buna ek olarak akım çizgileri, incelenen fiziğin akış karakteri hakkında bilgi vermesi bakımından oldukça önemlidir. Bu sayede, hangi kısımlarda akışın bozulduğu, çalkantıların ve akış ayrılmalarının olduğu tespit edilir. Tüm bu görseller, tasarım önerilerinde uygun bulunan resim ve videolarla ifade edilerek raporlanır ve ilgili bölümlere sunulur.

Görseller sayesinde konu hakkında bilgi ve tecrübesi olmayan kişilere de rahatlıkla incelenen fiziğin ısı ve akışkan karakteristiği anlatılmış olur. Analiz çıktılarının yorumlanması aynı zamanda sanal mühendisliğin somut tasarım önerilerine dönüştüğü aşamadır.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer konu; tüm aşamaları başarılı bir şekilde oluşturulan CFD modelin post process sürecinde uygun olmayan bir şekilde ifade edilip, rapor haline getirilerek olumsuz bir şekilde sonuçlanması olacaktır. Bu türden çalışmalar uzun zaman ve emek harcanarak yapılmaktadır. Her aşamasının titizlikle yürütülmesi ile en fazla faydayı sağlayacağı unutulmamalıdır. Bilgisayar destekli mühendislik kabiliyeti asıl faydayı üretilen parçaların en az hatayla üretilmesi ve yapılan test sayılarının düşürülmesi gibi maliyet düşürme potansiyelini yerine getirebilmelidir.

2.6.1 Eleman Sayısının Sürüklenme Katsayısına Etkisi

Sonlu elemanlar yönteminde sonuçların ağ eleman (mesh) sayısından bağımsız olduğunu analiz etmek gerekir. Bu amaçla aynı başlangıç ve sınır şartları altında eleman sayısı değiştirilerek analizler koşturulur ve sonuçların hata farkları hesaplanır. CFD modelde oluşturulan eleman sayısı 9.497.071 adet iken Fluent yazılımının sağladığı bir algoritma olan 'mesh adaption' komutundan faydalanılarak Çizelge 2. 2'de gösterilen 1 ve 2 durumu oluşturulmuştur.

Çizelge 2. 2 Eleman Sayısının Sürüklenme Katsayısına Etkisi

	Ağ Eleman Sayısı	Eleman Sayısındaki Değişim	C _D Katsayısı	Fark
Baz Durum	9.497.071	0	0,501	0,000
1.Durum	10.292.376	795.305	0,505	0,792
2.Durum	11.014.972	722.596	0,486	-3,909

Mesh adaption komutu baz halde max eleman hacmini 0.04 m³ olarak hesapladı ve sonrasında bu hacmin max 0.02 m³ olacak şekilde Şekil 2. 5'de gösterildiği gibi yeniden düzenlenmesi sağlanmıştır.

```
>> Dividing domain into 16 partitions using Metis.
Time = 1.872 seconds.
Done.

>> 16 Stored Partitions:
-----
Collective Partition Statistics:      Minimum    Maximum    Total
-----
Cell count                          618173     670698     10292376
Mean cell count deviation           -3.9%      4.3%
Partition boundary cell count      4567       14602      165932
Partition boundary cell count ratio 0.7%       2.3%       1.6%

Face count                          1268008    1416304    21158572
Mean face count deviation           -4.5%      6.7%
Partition boundary face count      5195       15714      89009
Partition boundary face count ratio 0.4%       1.2%       0.4%

Cell weights                        9e+05      4e+06      6e+07
Mean cell weight deviation          -75.9%     13.0%

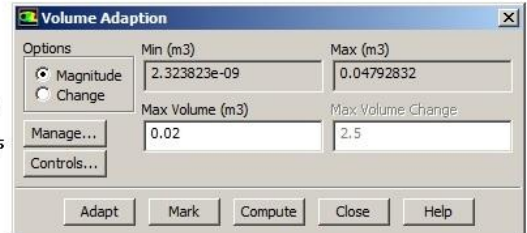
Partition neighbor count            4          10

-----
Partition Method                    Metis
Stored Partition Count              16
Done.

Smoother partition boundaries...
Dump usage: 9497071 cells, 19378269 faces, 1773907 nodes

Dump usage: 10292376 cells, 21158572 faces, 1988456 nodes

Grid size ( original /  adapted /  change)
cells ( 9497071 / 10292376 / 795305)
faces ( 19378269 / 21158572 / 1780303)
nodes ( 1773907 / 1988456 / 214549)
```



Şekil 2. 5 Mesh Adaption 1. Durum

Sonuçlar üzerinde eleman sayısının etkisini incelemek üzere bir diğer kontrol durumu olan 2 durumu oluşturuldu. 1 durumunda max eleman hacmi 0.02 m^3 iken 2 durumunda max eleman hacmi Şekil 2. 6'da gösterildiği gibi 0.01 m^3 olarak belirlendi ve yeni eleman sayısı Çizelge 2. 2'de gösterildi.

Çizelge 2. 2 incelendiğinde yapılan her 2 durumun da sürüklenme katsayısına etkisinin % 4'den daha az bir etkisi olduğu görülmektedir. Sonuçlar bu tip bir CFD analizinde 10 milyon civarında eleman kullanmanın yeterli doğrulukta bir sonuç verdiğini göstermektedir. Bu aşamada optimum eleman sayısından daha fazla eleman oluşturmak sonuçların doğruluğunu etkilemeyeceği gibi daha donanımlı bilgisayarlar ve ek süre gerektirecektir. Hesaplama süresi ve bilgisayar yatırım maliyetleri düşünüldüğünde en uygun eleman sayısının belirlenmesi, sahip olunan kaynakların etkin bir biçimde kullanılmasına olanak verecektir.

```
>> Dividing domain into 16 partitions using Metis.
Time = 1.498 seconds.
Done.

>> 16 Stored Partitions:
-----
Collective Partition Statistics:      Minimum      Maximum      Total
-----
Cell count                          659912       718908       11014972
Mean cell count deviation           -4.1%        4.4%
Partition boundary cell count       7553         15535        181363
Partition boundary cell count ratio 1.1%         2.2%         1.6%

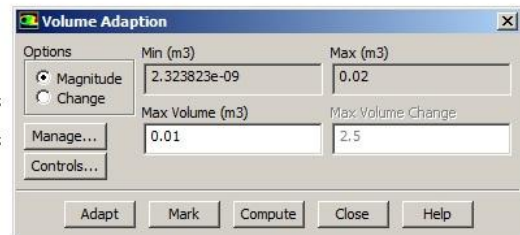
Face count                          1356811      1474624      22454742
Mean face count deviation           -3.7%        4.6%
Partition boundary face count       8072         15849        96309
Partition boundary face count ratio 0.6%         1.1%         0.4%

Cell weights                        2e+06        4e+06        6e+07
Mean cell weight deviation          -36.5%       11.8%

Partition neighbor count            5            9
-----
Partition Method                    Metis
Stored Partition Count              16
Done.

Dump usage: 10292376 cells, 21158572 faces, 1988456 nodes
Dump usage: 11014972 cells, 22454742 faces, 2044984 nodes

Grid size ( original /   adapted /   change)
cells ( 10292376 / 11014972 / 722596)
faces ( 21158572 / 22454742 / 1296170)
nodes ( 1988456 / 2044984 / 56528)
```



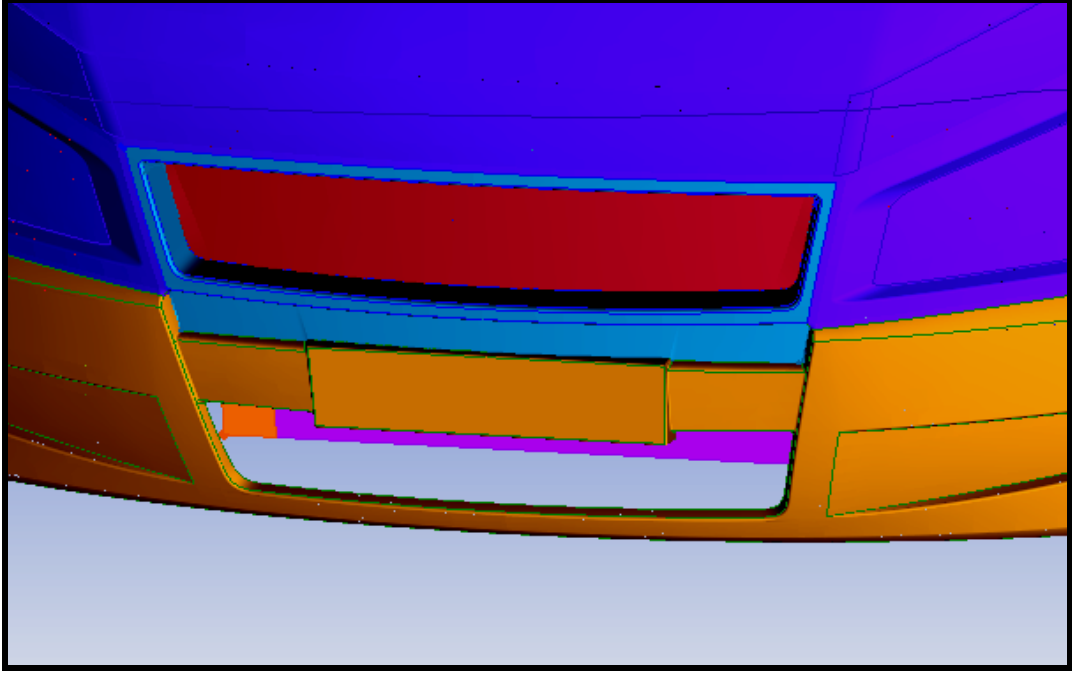
Şekil 2. 6 Mesh Adaption 2. Durum

AKTİF IZGARA KAPATICININ KONTROL ÇALIŞMALARI

Yapılan literaür çalışmaları, ızgara kapaticinin kontrolünde kullanılan parametrelerin sadece soğutma suyu olmadığını göstermektedir. Mustafa ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada ızgara kapaticinin kontrol algoritmasında motor soğutma suyu sıcaklığına ek olarak; yolcu kabini ısıtmasının açık/kapalı olması, termostatin açıklık yüzdesinin belli bir değerden fazla olması, motor yağı ve vites kutusu karter sıcaklığının kritik değerden yüksek olması, klima sisteminin yüksek basınç hattının kritik değerden fazla olması gibi değişkenleri de kapsayan bir kontrol kurgulamıştır.

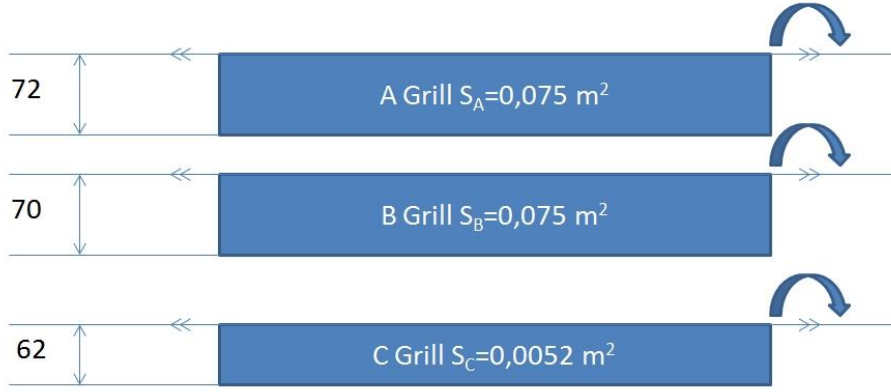
3.1 Elektrik Motoru Seçimi

CFD analizlerinden elde edilen ilk sonuçlar kapatıcı üzerine gelen basınç kuvveti hakkında genel bir bilgi vermektedir. Şekil 3. 1’de görülen kırmızı kısım A ve B alanı hemen altında bulunan açık mavi kısım ise C alanı olarak ifade edilerek Şekil 3. 2’de verilen yüzey alanlarına sahiptir. Analiz sonuçlarından hesaplatılan basınç kuvvetleri F_A - F_B - F_C ilgili moment koluna göre hesaplanarak T_A - T_B - T_C moment değerlerine dönüştürülmüştür.



Şekil 3. 1 Ön Izgara Kapatıcı Yüzey Görünümü

Bu kapsamda, elde edilen basınç ilgili yüzeye yayılı olarak çizdirilmiş (Şekil 3. 1) ve alana etkiyen basınç kuvveti 70,5 N olarak hesaplanmıştır. Öngörülen tahrik mekanizmasına etkiyen moment aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında 1,5 kat emniyet katsayısı uygulayarak 45kg.f.cm'lik tork uygulayabilen servo motor kullanılmıştır.



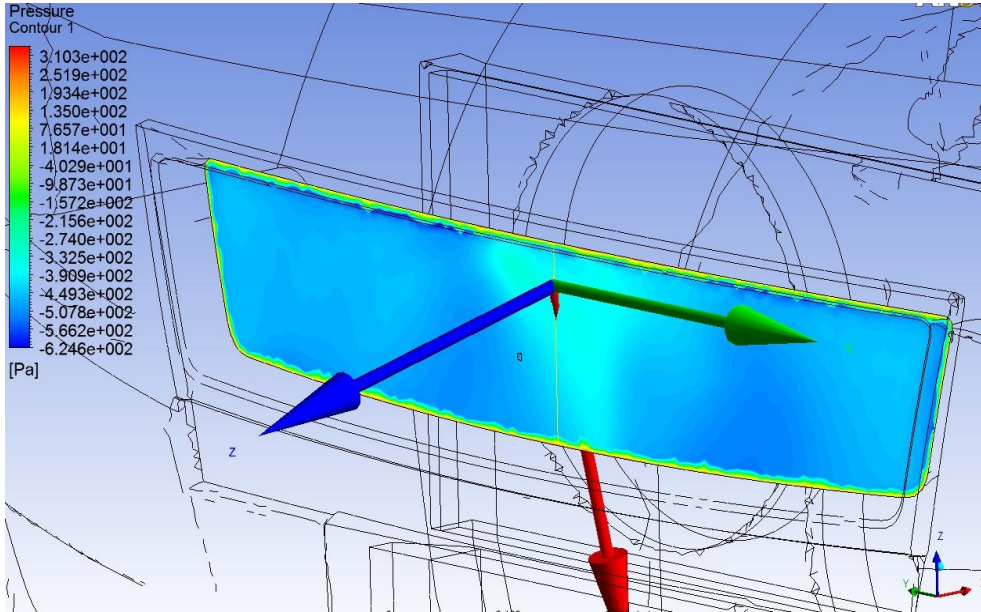
V = 39 m/s için

$$F_A=37,5 \text{ N} - T_A= 37,5 \times 7,2 \text{ (N.cm)} = 3,82 \times 7,2 = 27,5 \text{ kg.f.cm}$$

$$F_B=37,5 \text{ N} - T_B= 37,5 \times 7,0 \text{ (N.cm)} = 3,82 \times 7,0 = 27 \text{ kg.f.cm}$$

$$F_C=46 \text{ N} - T_C= 46,0 \times 6,2 \text{ (N.cm)} = 4,69 \times 6,2 = 29 \text{ kg.f.cm}$$

Şekil 3. 2 Elektrik Motoru Tork Hesabı



Şekil 3. 3 Izgara Kapaticının A,B yüzey Basınç değişimi (CFD)

3.2 Mekanizma Tasarımı

İlk prototip görsel amaçlı üretilen hızlı prototipleme yöntemi ile 3 boyutlu yazıcı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu prototip; üzerinde mekanizma çalışması yapılabilecek bir rijitlikte değildi. Bir sonraki prototip ise dört çubuk mekanizmasının çalışıldığı model olmuştur. Prototip aşamasında uygulanan her bir bileşenin boşluklara sahip olması ve sistemin neticede açılı kontrollü olması beklenen sonucu sağlayamamıştır. Bu mekanizma; üretim kalitesi ve tolerans değerleriyle yakından ilişkili ve birçok bileşen içermesi bakımından uygun bulunmamıştır.

Bir sonraki prototipte; elektrik motoru milinden bir kol yardımıyla alınan dönme hareketi ızgara kapatıcının kanatarını tahrik etmektedir. Bu aşamada; otomotiv endüstrisinde hazır ürün olarak kullanılan bir elektrik motoru denemesi yapılmıştır. Bu sayede sistemde daha az yer kaplayan ve temin edilmesi daha kolay olan bir bileşen kullanılmış oldu. Dişli çark ve moment kolu mekanizması sayesinde daha doğru bir kontrol sağlanmış oldu. Ayrıca bu aşamada açılı kontrolü yapılarak konum bilgisinin okunmasıyla sistemin 4 ayrı konumda kontrol edilmesine karar verildi.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR

Bu kısım CFD analiz sonuçları ile araca uygulanan yol ve laboratuvar test sonuçlarından oluşmaktadır.

Çalışmanın ilk kısmı literatür ve fikri mülkiyetlerin araştırılmasıyla başlamıştır. Elde edilen bilgiler ışığında CFD metodolojisi oluşturularak analiz tamamlanmıştır. Aracın karakteristik uzunluğu olan aks mesafesinin katları şeklinde oluşturulan domain'in yaklaşık ölçüleri $WB=3750$ mm ile genişletilerek bulunabilir. CFD analizlerinde birçok parametreyi etkileyen bir unsur olan Domain ölçüleri; öncelikle sonlu eleman sayısını etkiler. Eleman sayısının gereğinden fazla olması hesaplama maliyetini etkileyecektir. Diğer yandan domain ölçüleri optimum değerden az olduğunda, daha büyük eleman boyutları kullanıldığı için araştırılan fiziksel değerler hakkında doğru sonuçlar elde edilemeyecektir. Bu konuya dair bir diğer önemli nokta, değişkenlerin yakınsaması geç olacak veya mümkün olmayacaktır.

Projenin ilerleyen aşamalarında bilgisayar destekli mühendislik çalışmalarından sağlanan çıktılar sonucunda üretilen prototipler, araç üzerine monte edilip ardından fonksiyonellik, ısı yönetimi, yakıt tüketimi, ve emisyon ölçümü testleri uygulanmıştır.

4.1 CFD Analiz Sonuçları

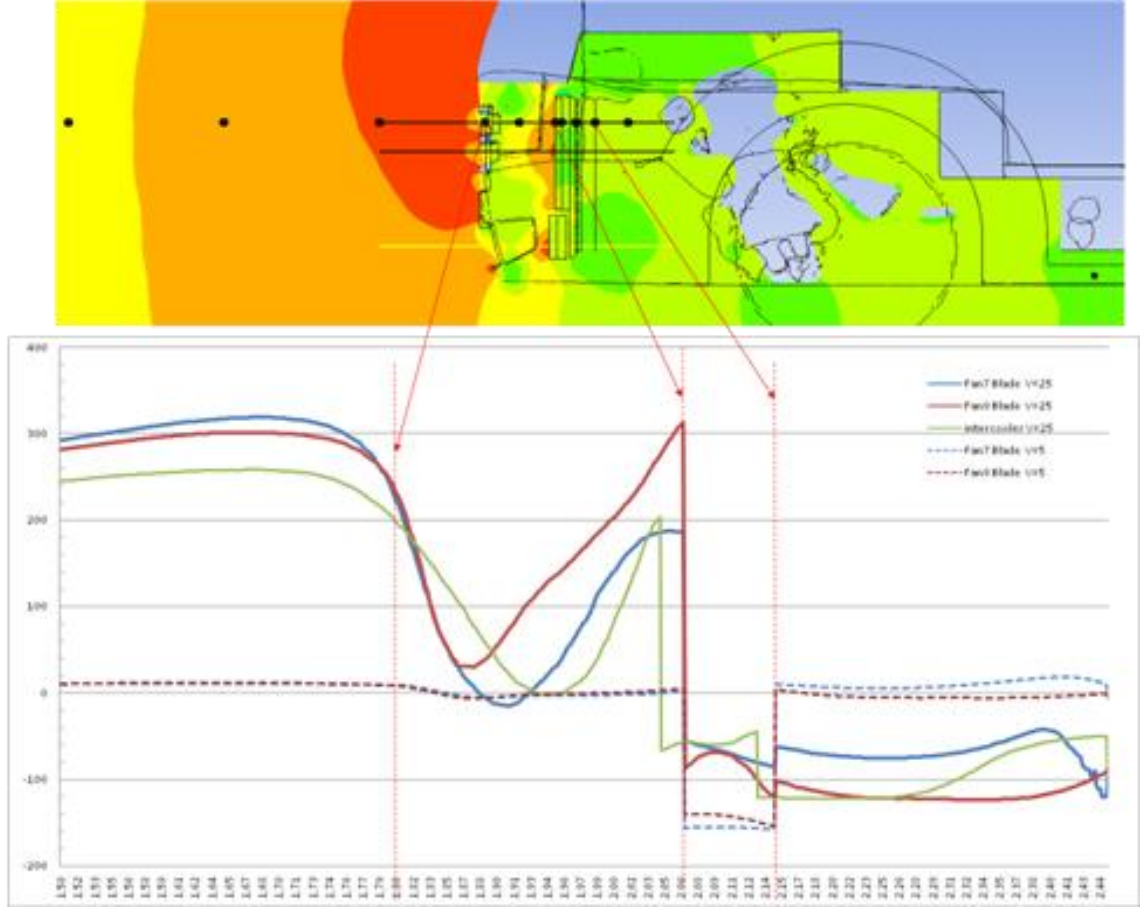
CFD model aracın baz hali ile ızgaranın tam kapalı olması durumları için Basınç, hız enerji ve momentum değişkenlerinin çözümü ilk olarak birinci dereceden (first order) ve sonrasında ikinci dereceden olmak üzere 5000. iterasyon sonuçlarını içermektedir.

CFD sonuçları 25 m/s giriş hava hızı ve atmosferik çıkış basıncı sınır şartları olarak verilmiştir. Tüm sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

4.1.1 Motor Kompartımanı Basınç Dağılımı

Çalışmanın literatür araştırması aşamasında karşılaşılan çalışmalarla benzerlik göstermesi ve belli bir metodolojiye uygun olması açısından motor kompartımanı boyunca basınç değişiminin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda CFD analizlerinden elde edilen basınç gradyenleri soğutma modülünün fanları hizasında çizdirilmiştir. Şekil 4. 1’de gösterilen basınç grafiği; serbest akış bölgesinden başlayıp motor kompartımanı geçen havanın, arka alt kısımdan bölgeyi terk edene kadar olan kısmı içermektedir. Grafikte yüksek hız (25m/s) ve düşük hız (5 m/s) şartlarında olmak üzere iki koşul gösterilmektedir. Elde edilen çalışmalar; benzer bir araştırma olan yüksek ve düşük hızlarda motor kompartımanında oluşan basınç dağılımının incelendiği Gulberg (2011) ile paralellik göstermektedir. Grafik aynı zamanda CFD modelde kullanılan fan eğrilerinin hıza bağlı olarak oluşturduğu basınç farkını doğrulamaktadır_Hexagon Studio Teknik Dokumanlar (2014).

Yeşil çizgi yüksek hız şartında intercooler’a ait olan basınç değişimini göstermektedir. Intercooler ve radyatör CFD modelde ısı değiştirgeci ve poroz ortam (porous media) olarak tanımlanmıştır. Bu özellikler tedarikçi firmanın sağladığı ve 16 nolu Referansta genel haliyle belirtilen teknik dokumanlardan elde edilmiştir.



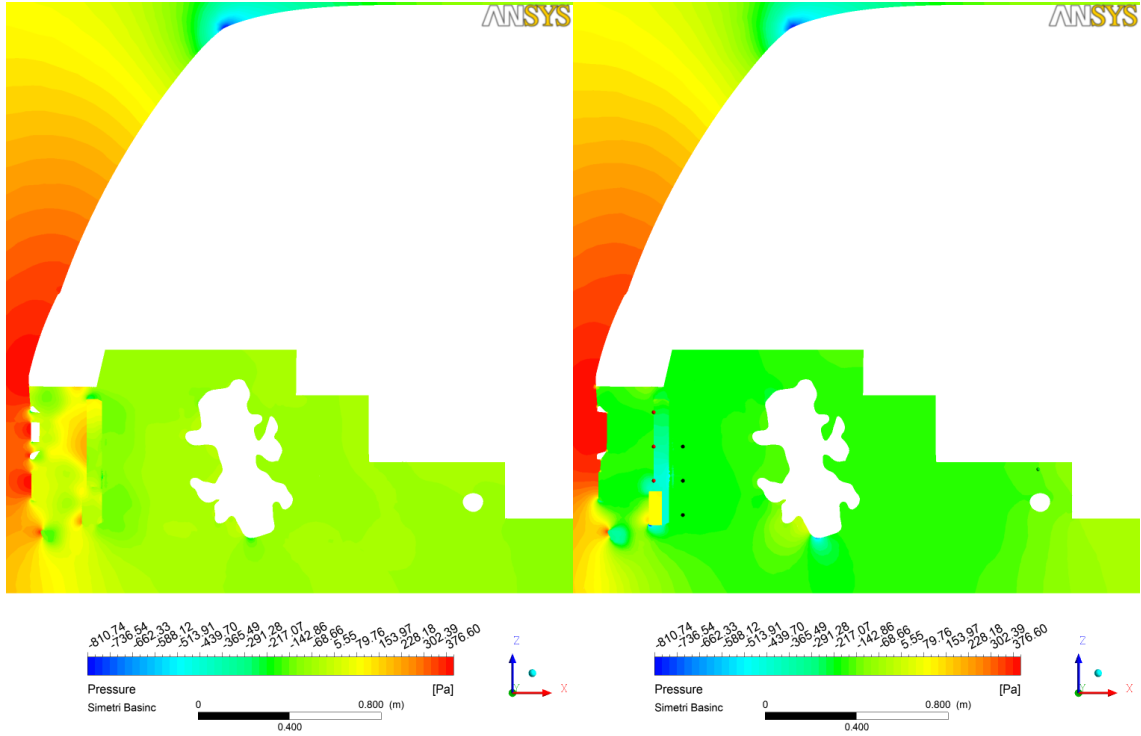
Şekil 4. 1 Motor Kompartmanı Basınç Dağılımı

4.1.2 Merkez Eksende Basınç Dağılımı

CFD çalışmalardan elde edilen basınç dağılımı yerel olarak çizdirilmiştir. Motor bölgesine ait olan kısım Şekil 4. 2’de gösterilmiştir. Motor kompartmanında aracın baz hali ile ızgaranın tam kapalı durumu karşılaştırıldığında; kapalı koşulda aracın önünde bulunan durma bölgesinin daha aşağıda konumlandığı ve motor bölgesinde basınç değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Durma bölgesi, ön yüzeyi daha geniş olan ticari araçlarda daha fazla yer kaplamaktadır ve sürüklenme direnci ile olan enerji kaybını arttırmaktadır. Bu kısım Şekil 4. 1’de aracın önünde oluşan kırmızı bölge ifade edilir.

Aktif ızgara kapaticıların sağladığı faydaların başında ise sürüş halinde araçların ön kısmında oluşan pozitif basınç bölgesini iyileştirerek sürüklenme direncini düşürmeleridir. Diğer yandan, soğutma modülü bölgesinde fark basınçlar artmıştır. Bu

durum, fanların daha erken devreye girmesine ve gerekli soğutma debisini sağlayabilmek için daha fazla devrede kalmasına neden olacaktır. Bu durumda, ızgara kapatıcının iyi tasarlanmış bir kontrol algoritması ile sürülmesi en fazla faydayı sağlayacak ve ortaya faydalı bir ürün çıkacaktır.



Şekil 4. 2 Merkez Eksende Basınç Dağılımı



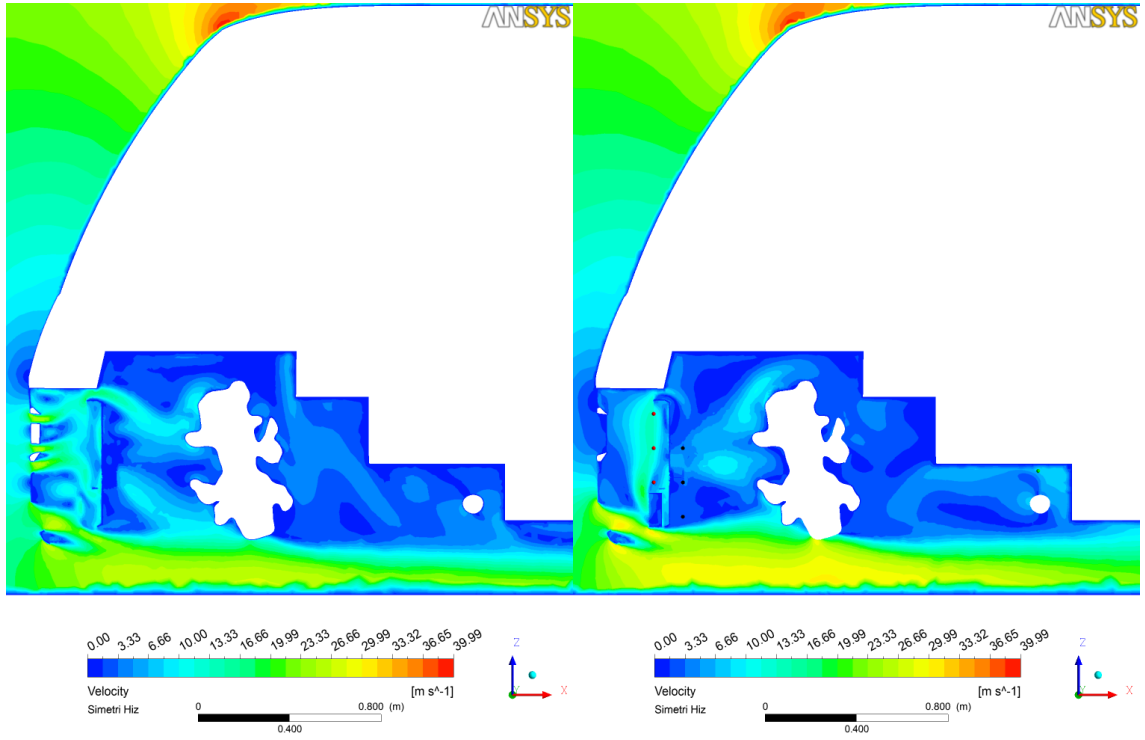
Şekil 4. 3 Merkez Eksende Basınç Dağılımı - Genel Görünüm

4.1.3 Merkez Eksende Hız Dağılımı

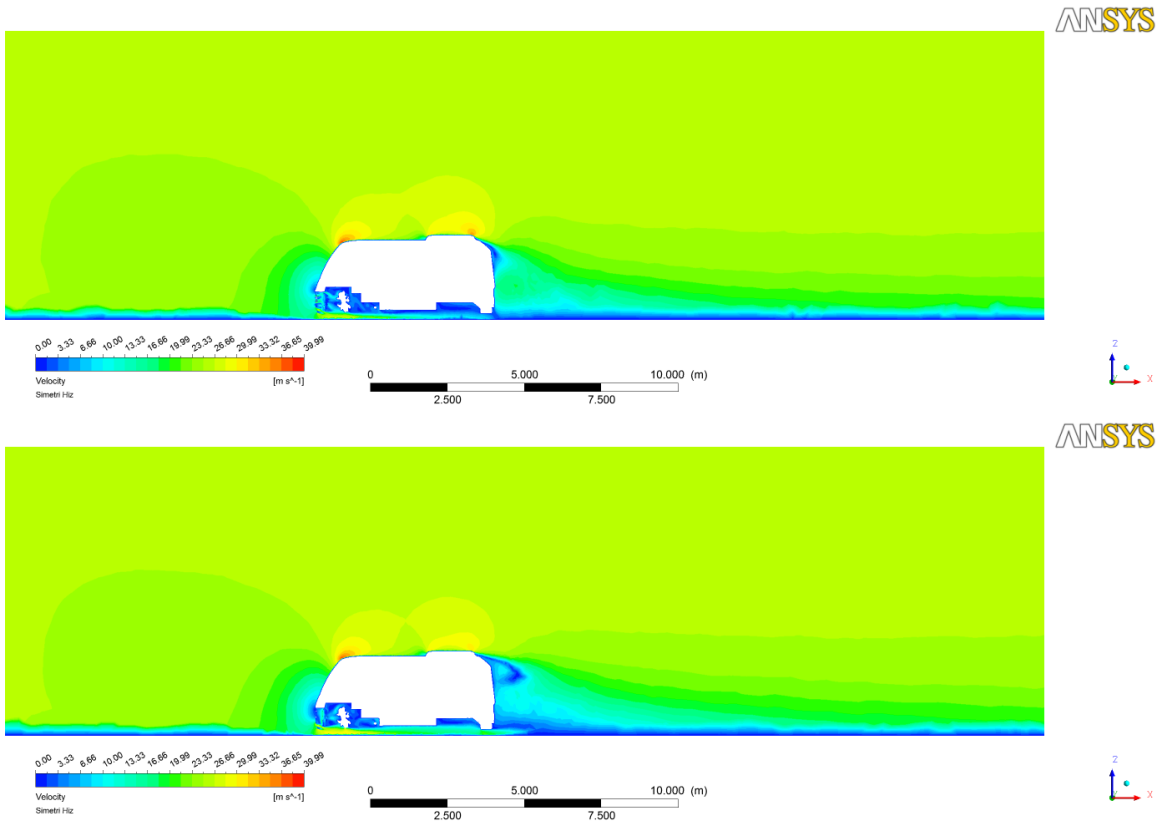
CFD çalışmalarında elde edilen bir diğer önemli sonuç ise Şekil 4. 2’de görülen motor bölgesi hız dağılımıdır. Aracın baz hali ile ızgara kapalı koşul arasındaki fark çok bariz olarak görülmektedir. Izgara kapalı iken motor arkasında yer alan bölgede hava hızlarının düştüğü açıkça görülmektedir. Aracın alt kısmında oluşan yüksek hızlı hava, dikkat çeken bir diğer bölge olmaktadır. Araç altında akan yüksek hızlı hava, taşıtın sürüş dinamiğini kötü yönde etkileyecektir, Hucho (1998). Ancak bu durum yüksek performanslı yarış araçlarında ön plana çıkan bir konudur. Basınç dağılımına benzer olarak, soğutma modülü bölgesinde oluşan hızlar motor bölgesinde fan etkinliğini ortaya koymaktadır. Izgaranın kapatılması ile aracın alt kısmında bulunan açıklığa yönelen hava; göreceli olarak negatif basınç bölgesi olan motor kompartımanına yönlendirilmektedir. Bu durumda, motor soğutmasına pozitif bir etki sağlamaktadır.

Hız dağılımı Şekil 4. 3’de genel görünüm olarak incelenirse; ızgaranın kapalı olduğu (alt kısımdaki görsel) koşulda; araç arkasında bulunan kısmın daha geniş yer kapladığı

görülmektedir. Bu kısım test koşullarına dahil edilmemiştir ve dolayısıyla doğrulanmamıştır.



Şekil 4. 4 Merkez Eksende Hız Dağılımı

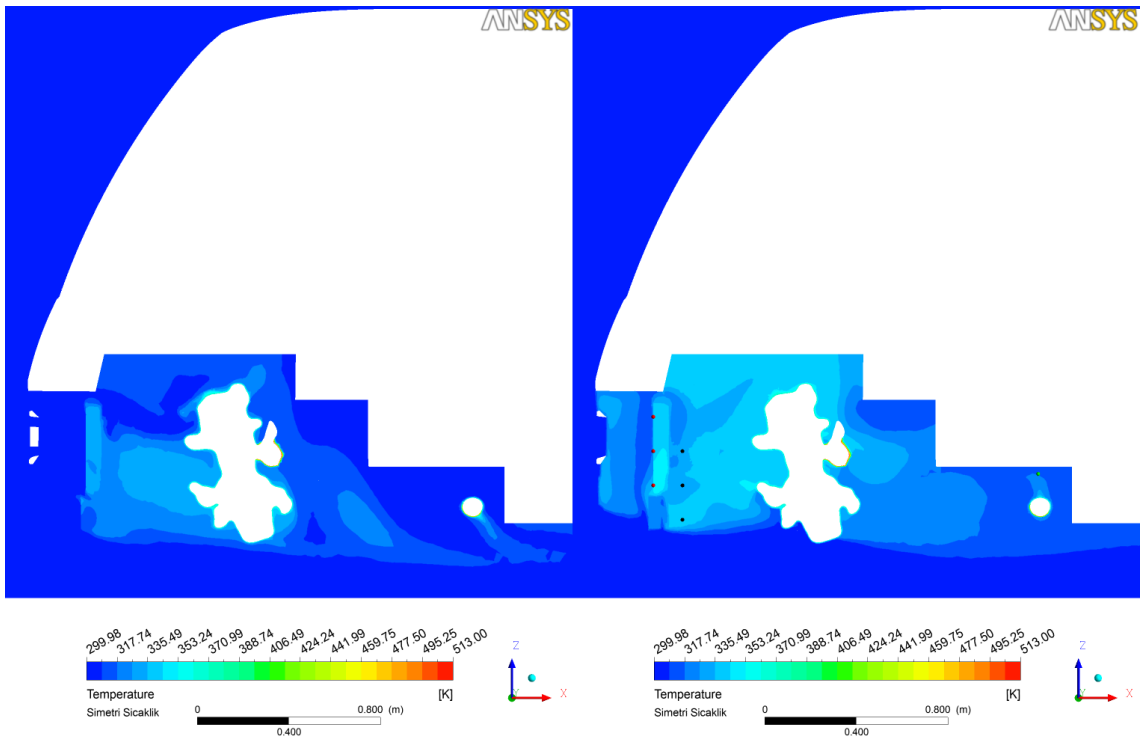


Şekil 4. 5 Merkez Eksende Hız Dağılımı - Genel Görünüm

4.1.4 Merkez Eksende Sıcaklık Dağılımı

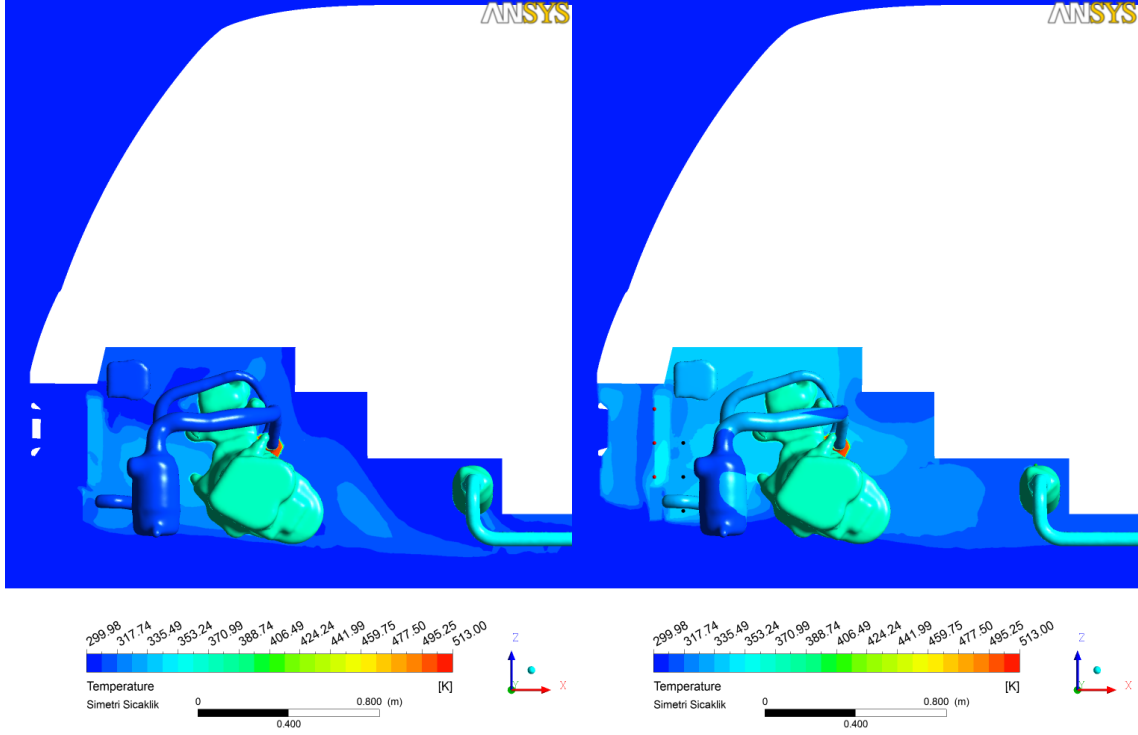
Motor bölgesinde sıcaklık dağılımı Şekil 4. 4’de gösterilmiştir. Başlangıç sınır şartları yüzey sıcaklığı olarak verilen modelde, aracın baz hali ile ızgaranın kapalı olduğu koşul karşılaştırılmıştır. Kapalı koşulda motor bölgesi göreceli olarak 15 °C ile 30 °C artmıştır. Araç üzerinde gerçek yol şartlarında yapılan sıcaklık ölçüm testlerinde görülen maksimum sıcaklık farkı ise 35,9 °C olarak maksimum güç şartında gözlemlenmiştir.

Izgaranın kapatıldığı koşulda soğutma modülünün ön kısmında artan hava sıcaklığı da dikkat çeken bir diğer bölge olmaktadır. Bu kısımda artan hava sıcaklığının nedeni, hava hızlarının düşmesiyle ve ısı değişirgeçlerinin ortama attığı ısı enerjisinin taşınım yoluyla ilgili bölgedeki havayı ısıtmasıdır. Radyatör yüzey sıcaklıkları ortalama 20 °C ile 25 °C artarken, intercooler yüzey sıcaklıkları ise maksimum 12,5 °C artmaktadır. Bu farklılık ise geometrik konumdan kaynaklanmaktadır.

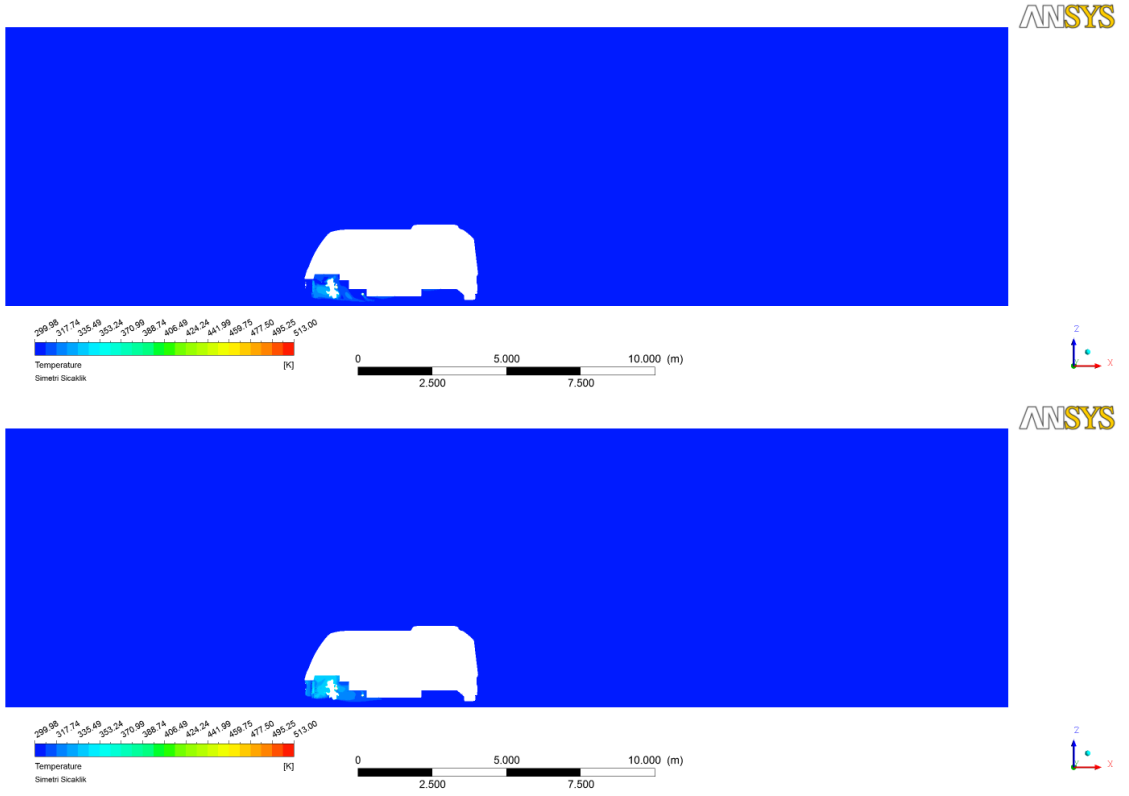


Şekil 4. 6 Merkez Eksende Sıcaklık Dağılımı

Hava emiş filtresinin yüzey sıcaklıklarında gözlemlenen değişim Şekil 4. 5’de motor bölgesi bileşenlerinin yüzey sıcaklıklarını içeren görselden anlaşılmaktadır. Test sonuçlarına göre 12,9 °C görülürken Analiz sonuçları yaklaşık 17 °C’lik fark göstermektedir.



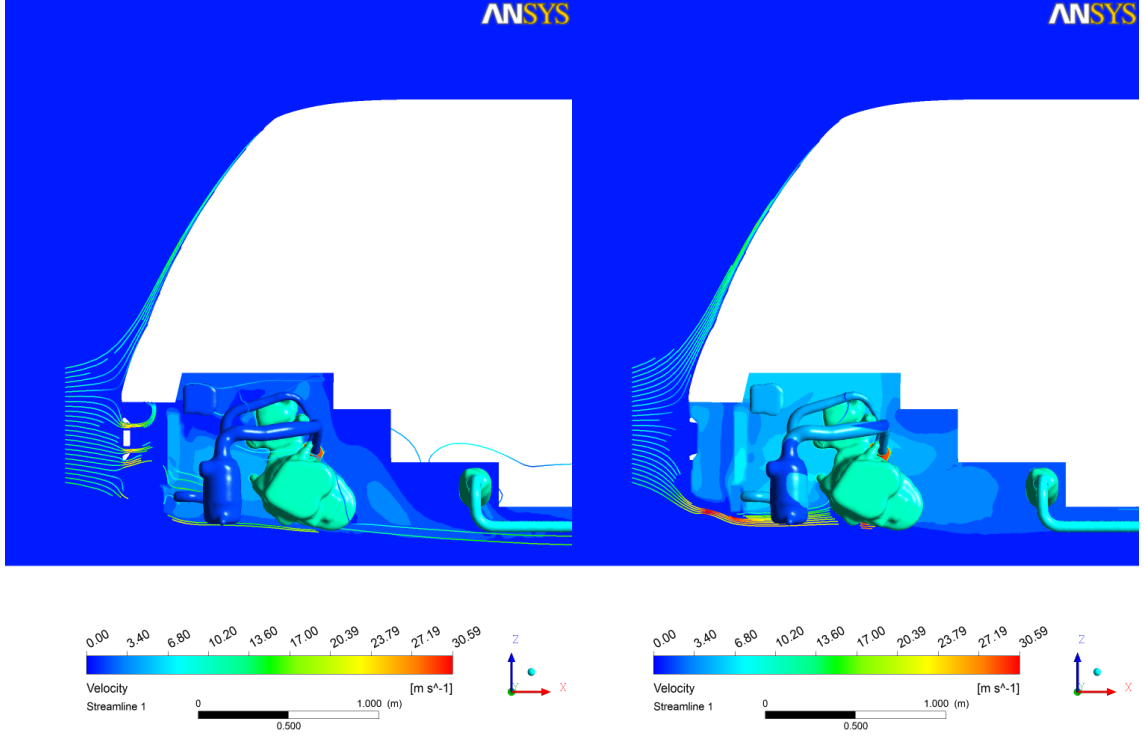
Şekil 4. 7 Merkez Eksende Sıcaklık Dağılımı - Motor Bölgesi Bileşenleriyle



Şekil 4. 8 Merkez Eksende Sıcaklık Dağılımı - Genel Görünüm

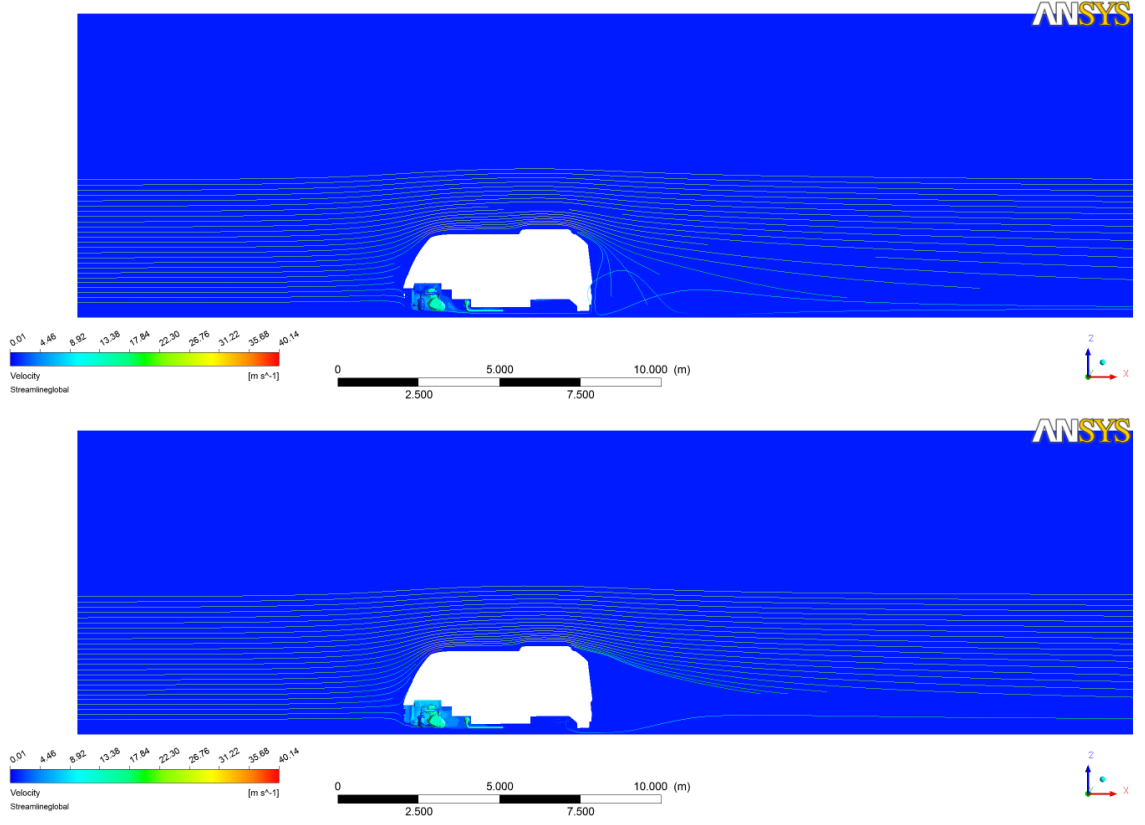
4.1.5 Akım Çizgileri

Akım çizgileri aerodinamik incelemeler sırasında akış düzensizliklerinin incelenmesi konusunda oldukça fayda sağlamaktadır. Bu çalışmada ise, havanın motor kompartımanında izlediği yolun incelenmesi amaçlanmıştır. Serbest akış bölgesinden araç üzerine doğru ilerleyen hava, araç önünde karşılaştığı sınır tabakalarda durmaktadır. Aracın ön kısmında bulunan ızgara benzeri açıklıklarda ise daralan kesitlerden hızı artmış bir şekilde motor bölgesine doğru ilerlemektedir. Şekil 4. 7’de sıcaklık dağılımı ile beraber gösterilen akım çizgileri hız değişkenine göre çizdirilmiştir. Izgaranın kapalı olduğu koşulda aracın alt kısmında artan hava hızları daha fark edilir biçimde görülmektedir.



Şekil 4. 9 Merkez Eksende Akım Çizgileri

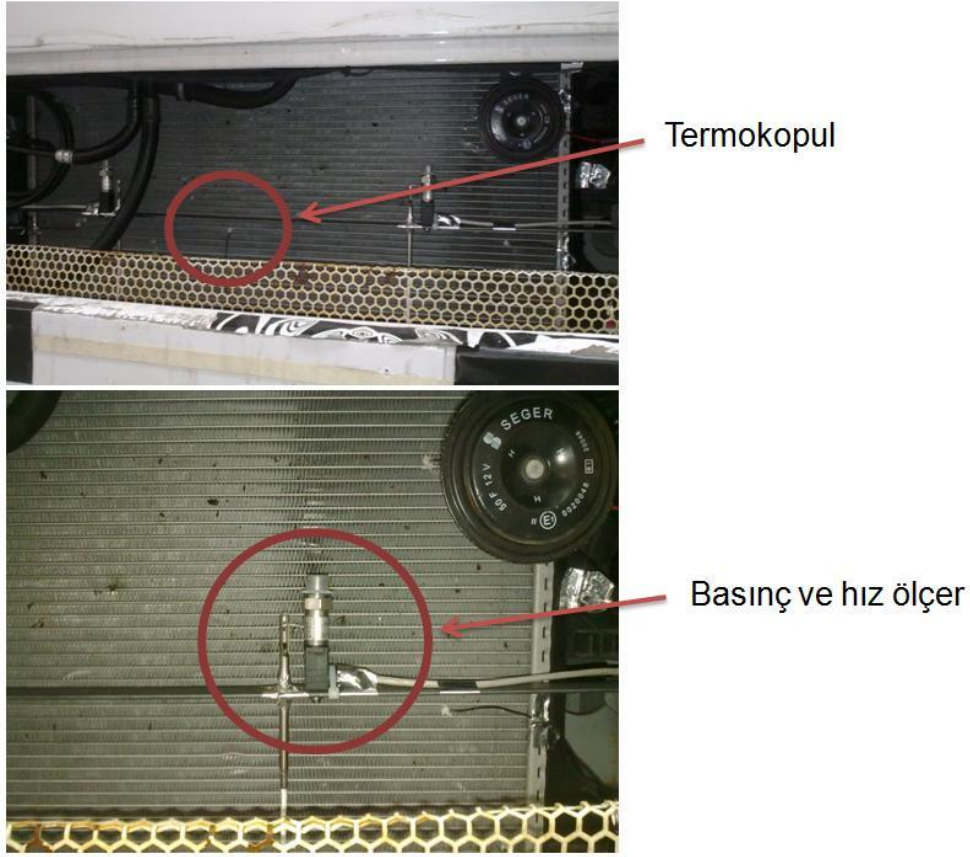
Merkez eksende genel görünüm olarak verilen akım çizgileri Şekil 4. 8’de gösterilmiştir. Araç arkasında oluşan akış incelendiğinde, ızgara kapalı durumun aerodinamik açıdan daha uygun olduğu görülüyor ancak aynı bölgedeki hız verilerinin olmaması bu durumun doğrulanmasını güçleştirmektedir.



Şekil 4. 10 Merkez Eksende Akım Çizgileri - Genel Görünüm

4.2 Araç Yol Testleri

CFD sonuçlarının çıktısı olan prototiplerin araç üzerinde gerçek şartlarda nasıl sonuçlar verdiğini tespit etmek amacıyla bir dizi yol testi uygulanmıştır.

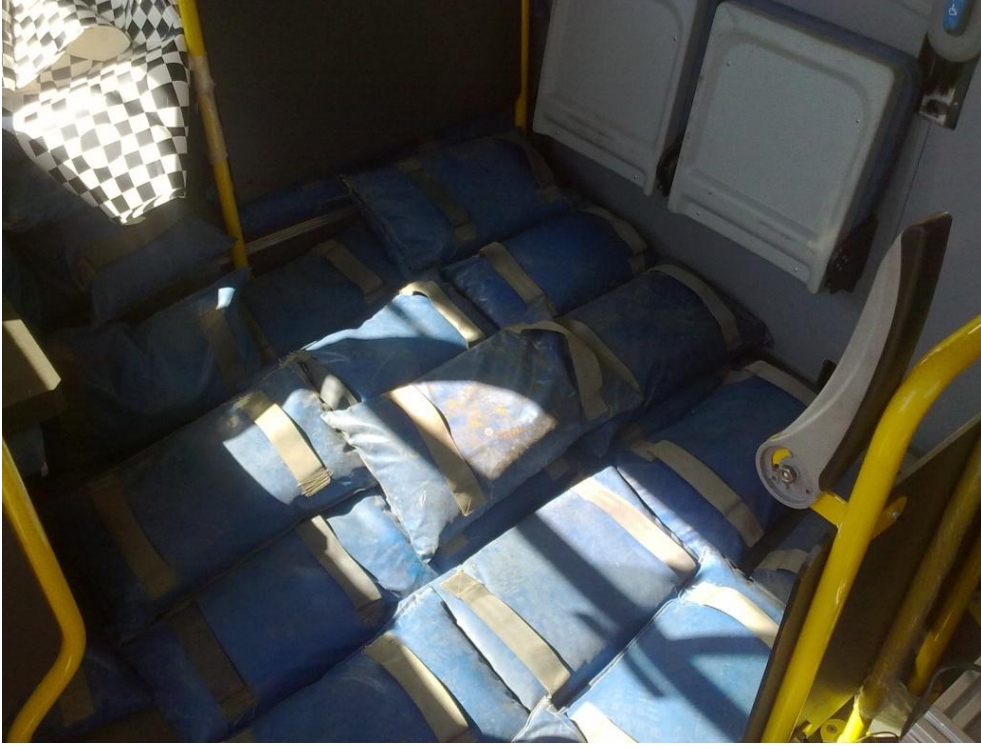


Şekil 4. 11 Araç Enstrumantasyon

4.2.1 Isıl Yönetim Testleri

Testin amacı, araç motorunun max tork şartında; yüklü olarak (4800 kg), tam gaz şartında sağlamak amacıyla rampa çıkışı şeklinde koşturulması durumunda motorun güvenli-güç kesmeden çalışma durumunu görmektir. Araca test prosedürü gereği incelenmesi gereken ve CFD çalışmaları sonucu kritik görülen bölgelere 36 adet termokopul, 6 adet basınç ve hız (sıcak tel anemometresi) ölçer yerleştirildi (Şekil 4. 9). Bu testler sonucunda aracın motor suyu sıcaklıkları kritik değerlere ulaşmadı ve motor güç kesmemiştir. Testler başarılı bir şekilde tamamlanmıştır [16].

Testlerin tamamı yol şartlarında koşturulmuştur. VTM testleri için aracın tam yüklü hali 4800 kg sağlamak amacı ile kum torbaları (Şekil 4. 10) kullanıldı. Yol testleri ve Tofaş'da uygulanan emisyon testleri için aracın ön ızgara bölgesine monte edilen prototip Şekil 4. 12'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 12 Sıcaklık Testleri için Aracın Ağırlık Yükleme



Şekil 4. 13 Araç Enstrumantasyon



Şekil 4. 14 Yol ve Tofaş Testleri için Prototip Montaj

4.2.2 Yakıt tüketimi Testleri

Yakıt tüketimi ölçümü için hafif ticari araçlara yol şartlarında uygulanan SORT (Standardized On Road Test) testleri uygulandı.

Araca uygulanan sort testleri; SORT1: Minibüs-Midibüs ve otobüslerin şehiriçi yoğun trafik şartlarındaki durumun simule edildiği, SORT2: Duraklar arası mesafenin daha uzun ve trafiğin nispeten daha az olduğu durumun simule edildiği ve son olarak SORT3: geç saatlerdeki boş yolda seyreden bir otobüsü simule ediyor. Genel olarak orta ve ağır ticari taşıtların yakıt ekonomisi testlerinde bu çevrimler kullanılmaktadır.

Sort testi sonuçlarında; ızgaranın kapatıldığı koşulda yüksek hızlarda beklenen yakıt tasarrufu, motor kompartımanına giren havanın kısıtlanmasıyla fanların daha fazla güç çekmesi nedeniyle yakıt ekonomisine pozitif etki etmedi. Ancak kapaticının aktif olarak çalıştırılması durumunda yakıt ekonomisi sağlanacağı açıktır.

4.2.3 Boşta Yavaşlama (Coast Down) Testleri

Aktif ızgara projesi kapsamında aracın ön ızgarasının rüzgar direncine etkisini gözlemlemek için prototip aracı üzerinde yapılmıştır. Prototip araç üzerine mini ve micro VBOX ekipmanları GPS Antenleri ile birlikte monte edilmiştir. Araç boş olup araç içinde test sırasında Test şöförü ve Mühendis (3150Kg) bulunmaktadır. Coast Down testi Ferizli güzergâhında bulunan 1,3km'lik düz yolda yapılmış olup yolun her iki tarafından alınan verilerin ortalaması hesaplanarak bulunmuştur. Test en az 5 tekrar ile yapılmış olup 120 km/sa - 60 km/sa ve de 60 km/sa - 20 km/sa hızları arasındaki veriler alınmıştır. Test süresince çevre şartları; hava: açık, sıcaklık: 23 °C, yol: kuru ve eğim 2 °den az olarak kayıt edilmiştir.

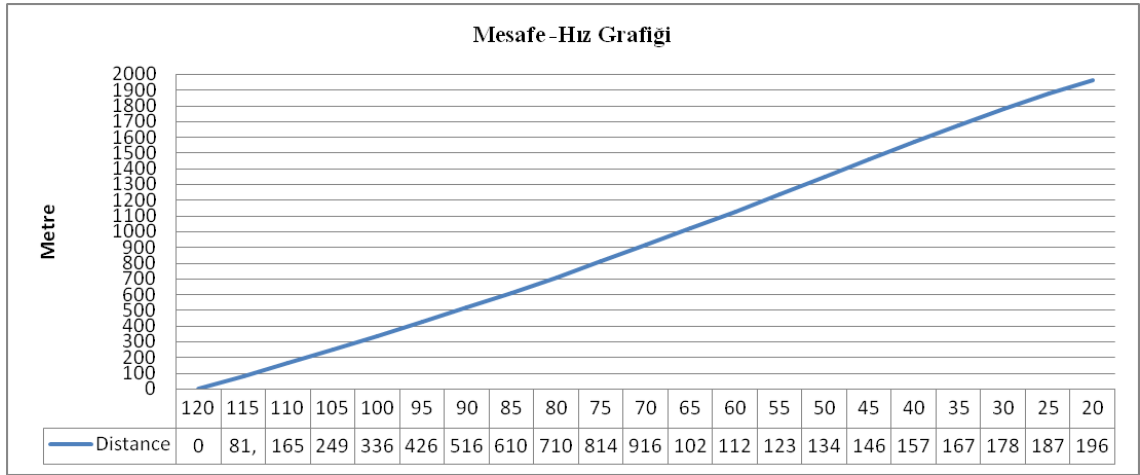
Boşta yavaşlama testleri; teste tabi tutulan aracın cinsine uygun olarak yazılan bir test prosedürüne uyularak, belli bir hıza erişirildikten sonra yine prosedürde belirtilen hıza düşünceye kadar alınan mesafelerin kaydedilerek aracın gerçek yol şartlarında maruz kaldığı dirençlerin formülize edilerek ampirik değerlere dönüştürüldüğü yöntemdir. Özetle; test edilen araç belli bir hıza ulaştıktan sonra kendisini yavaşlatan sürtünme direnci, rüzgar direnci ve yuvarlanma dirençleri neticesinde yavaşlar. Bu test prosedüründe yokuş direncini ortadan kaldırmak için eğimsiz bir yol kullanılır. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan bir test yöntemidir.

Bu testler aracın ön ızgarasının açık ve kapalı olduğu şartlar için ayrı ayrı uygulanmıştır. Elde edilen direnç değerleri, daha sonraki aşama olan emisyon ve yakıt tüketimi testlerinde aracın koştığı roller tipi dinamometrede kontrol sistemine girilmiştir. Bu sayede araca özgü direnç karakteristiklerini içeren emisyon ve yakıt tüketimi testi uygulanabilmiştir. Coast down test verileri ön ızgaranın açık ve kapalı olduğu durumlar için Çizelge 4. 1'de gösterilmiştir.

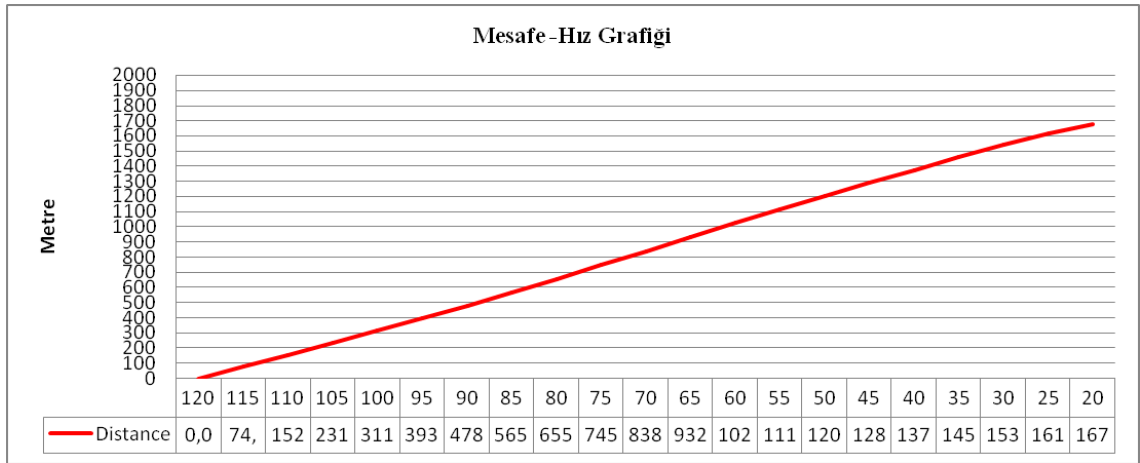
Çizelge 4. 1 Ön ızgaranın açık ve kapalı koşulları için Coast Down Test Sonuçları [16]

Hız Km/s	Açık Durum		Kapalı Durum	
	Zaman (sn.)	Mesafe (m)	Zaman (sn.)	Mesafe (m)
120	0,00	0,00	0	0
115	2,30	74,85	2,51	81,83
110	4,77	152,19	5,17	165,16
105	7,43	231,49	8,00	249,55
100	10,25	311,80	11,04	336,07
95	13,28	393,76	14,38	426,46
90	16,57	478,24	17,88	516,43
85	20,14	565,08	21,76	610,59
80	24,09	655,44	26,12	710,46
75	28,27	745,45	30,93	814,16
70	32,88	838,29	36,01	916,45
65	37,92	932,70	41,63	1021,67
60	43,27	1025,62	47,46	1123,02
55	48,75	1113,07	54,67	1238,03
50	54,79	1201,03	62,30	1349,19
45	61,42	1288,49	70,77	1460,96
40	68,62	1373,45	80,12	1571,12
35	76,69	1457,34	90,36	1677,60
30	85,61	1537,85	101,90	1781,66
25	95,53	1613,58	114,50	1877,83
20	105,82	1677,86	127,73	1960,55

Bu test kara taşıtlarının yol şartlarında belli bir hıza (120 km/sa) çıkarıldıktan sonra, daha önceden belirlenen (20 km/sa) hıza düşene kadar aldığı mesafe ve geçen sürenin ölçüldüğü bir testtir. Test aracı boş olarak koşturuldu (2965 kg). Test sonuçları kullanılarak elde edilen F1, F2 ve F0 değerleri aracın sürüş sırasında maruz kalığı sürüklenme (drag), yuvarlanma ve yol direncini içeren katsayıları vermektedir.



Şekil 4. 15 Ön Izgara Kapalı Koşulda Çizdirilmiş Coast Down Grafiği [16]



Şekil 4. 16 Ön Izgara Açık Koşulda Çizdirilmiş Coast Down Grafiği [16]

Çizelge 4. 1'deki sonuçlar aracın ön ızgarasının kapatılması durumunda fazladan 282,69 m yol aldığı ve baz hale göre yaklaşık olarak % 17 oranında menzil artışı sağladığını göstermektedir. Menzil artışı, Şekil 4. 15'de Ön ızgaranın kapalı olduğu grafik ile Şekil 4. 16'de aracın baz halini gösteren grafikler yardımıyla da kolayca görülmektedir. Yine test sonuçlarına göre, C_D değerleri: Izgara Açık: 0,4344 - Izgara Kapalı: 0,3945. Bu değerler kıyaslandığında Sürüklenme katsayısındaki iyileştirme oranı % 9'dur. Kullanılan yazılım coast down sonuçlarını kullanarak genel bir C_D katsayısı trendi oluşturuyor. Sürüklenme katsayısındaki bu iyileştirme ideal şartlarda yakıt ekonomisine % 2,5-3 mertebelerinde etki edeceği öngörülmektedir [13].

4.3 Araca Uygun Laboratuvar Testleri

Proje kapsamında Aktif ızgara sisteminin yakıt tüketimi ve emisyanlarını düşürdüğü öngörülmüş ve CFD çalışmalarından elde edilen sonuçların testlerle doğruluğunun karşılaştırılması için Emisyon ve yakıt tüketimi testleri yapılmıştır.

Laboratuvar testleri Tofaş firmasının Bursa'da bulunan Ar-Ge Merkezinde uygulanmıştır.

4.3.1 Test Kurgulaması

Araca uygulanan ön emisyon testi yapılarak 715/2007 regülasyonuna göre şartlandırılması sağlanmıştır. Takip eden günlerde emisyon ve yakıt tüketimi ölçümleri için ilgili norma göre testleri yapılmıştır. Araca uygulanan her emisyon testi arasında regülasyonda belirtildiği üzere en az 6 saat en fazla 36 saat şartlandırılmıştır. Araç M2 sınıfında 2,3 L hacminde 4 silindir ve 4 stroklu bir dizel motorudur.

Ön ızgara kapatıcının sağlayacağı fayda iki temel konu ile ifade edilebilir. İlki aerodinamik sürtünmenin azaltılması, bu sayede yakıt ekonomisi ve emisyonlarda iyileştirme sağlanacaktır. İkincisi ise motor soğutma sisteminin optimum değerde çalışmasıdır. Bu şartları gözlemleyebilmek için aracın açık ve kapalı ızgara testlerine ek olarak sadece rüzgar direncinin yarı açık olma durumu için birer test daha uygulanmıştır.

Araç dinamometre üzerinde sürülürken, soğutma modülünün ihtiyaç duyduğu hava akımını sağlamak üzere araç önünde bulunan fan grubu kullanılmıştır.

Normal şartlarda yol taşıtlarına regülasyonun önerdiği tabela değerleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise; Araca ait Coast down değerlerinin dinamometrede kullanılmasıyla, aracın laboratuvar şartlarında dahi gerçek dirençlere maruz kalması sağlanmıştır.

4.3.2 Tofaş Test Sonuçları

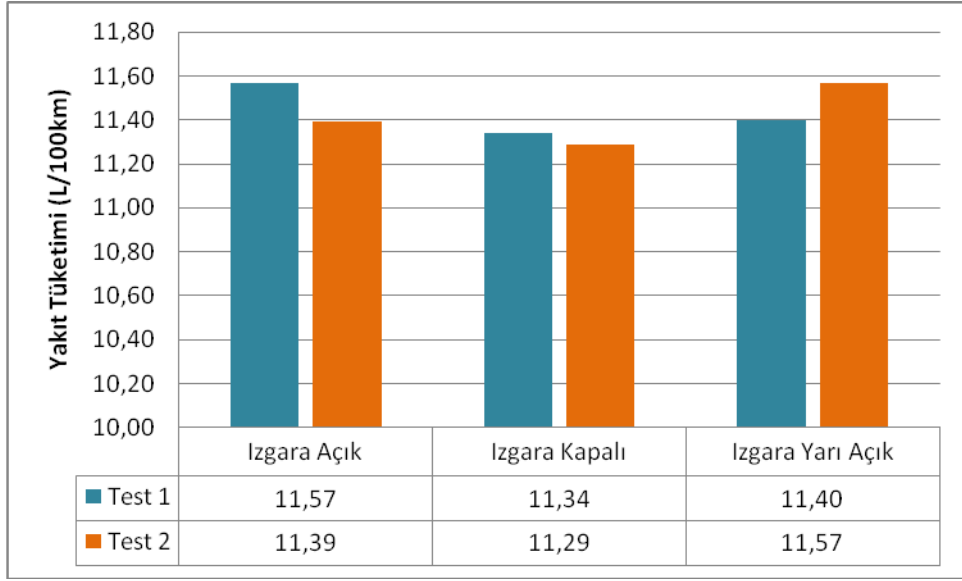
Tofaş test merkezinde yapılan test sırasında NEDC (New European Driving Cycle) çevrimi koşturuldu. Karbn denge metodu kullanıldı ve her test iki tekrar olarak uygulandı.

Coast Down (Boşta Yavaşlama) testlerinden elde edilen direnç katsayıları roller tipi dinamometreye girilerek aracın gerçek yol şartlarında maruz kaldığı sürtünme, yuvarlanma ve sürüklenme dirençleri laboratuvar şartlarına yansıtılmıştır.

4.3.2.1 Yakıt Tüketimi Testi Sonuçları

Yakıt Tüketimi ızgara açık koşulu için ilk test 11,57 L/100km iken, ikinci test sonucu 11,39 L/100km olarak ölçülmüştür. Izgara kapalı koşulu için yapılan ilk test 11,34 L/100km iken, ikinci test sonucu 11 L/100km olarak ölçülmüştür. Bu koşullardan farklı olarak ızgara açıklığının yakıt tüketimine etkisini araştırmak üzere, ızgaranın yarı açık (45°) olduğu konumda da test yapıldı. Izgaranın yarı açık koşulu için ilk test 11,40 L/100km iken, ikinci test sonucu 11,57 L/100km olarak ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 4.17'de grafik halinde gösterilmiştir.

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde ızgaranın kapatılması koşulunda yakıt ekonomisinde iyileştirme görülmektedir. Yapılan ilk testte ızgaranın yarı açık koşulu için yapılan test sonuçları incelendiğinde; sonuç ızgara açık değeri ile ızgara kapalı değeri arasında kalırken, yapılan ikinci testte; sonuç ızgara açık değeri ile ızgara kapalı değeri arasında çıkmamıştır. Bu durum genel eğilimin dışında kaldığı için ızgara yarı açık hali için ikinci testin güvenilir olmadığını göstermektedir. Izgara açık ve ızgara kapalı şartları için ortalama değerler karşılaştırıldığında ızgara kapatıcının aracın baz haline göre % 1,39 yakıt ekonomisi sağladığı görülmektedir.



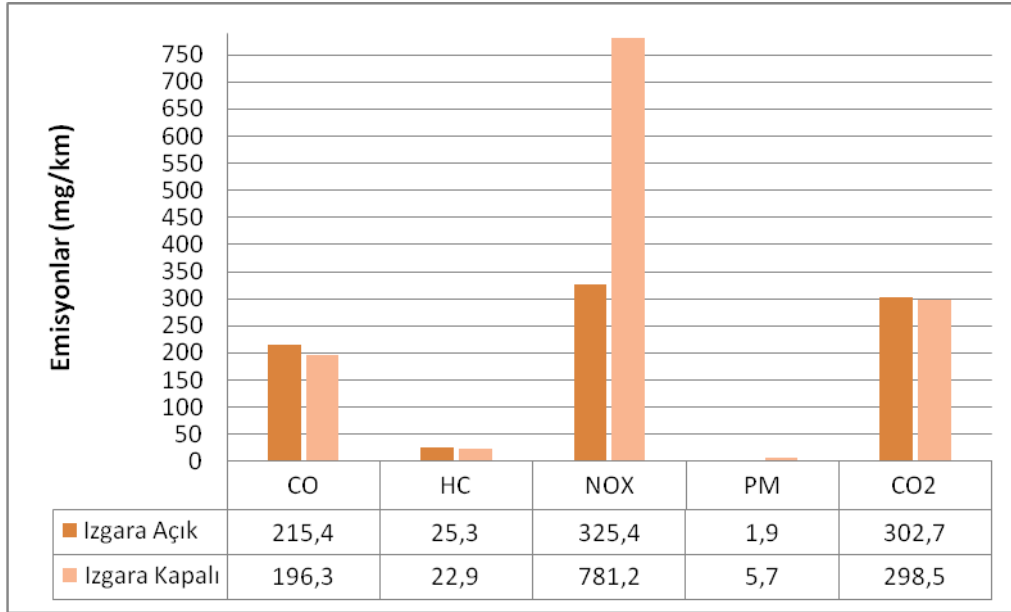
Şekil 4. 17 Yakıt Tüketimi Testi Sonuçları

4.3.2.2 Emisyon Testi Sonuçları

Yakıt tüketiminde elde edilen iyileştirme emisyon değerlerinde de kısmi olarak görülmektedir. CO emisyonları; ızgara açık olduğu durumda 215,4 mg/km ızgara kapalı durumda ise 196,3 mg/km olarak ölçülmüştür. Aracın baz haline göre % 8,87'lik bir iyileştirmeyle 19,1 mg/km daha az CO emisyonu salınmıştır. HC emisyonları; ızgara açık olduğu durumda 25,3 mg/km ızgara kapalı durumda ise 22,9 mg/km olarak ölçülmüştür. HC'lar aracın baz haline göre % 9,49'luk bir iyileştirmeyle 2,4 mg/km daha az HC emisyonu salınmıştır. NO_x emisyonları; ızgara açık olduğu durumda 325,4 mg/km ızgara kapalı durumda ise 781,2 mg/km olarak ölçülmüştür. NO_x emisyonları aracın baz haline göre % 140,07 bir oranla 455,8 mg/km radikal bir artış göstermiştir. PM emisyonları; ızgara açık olduğu durumda 1,9 mg/km ızgara kapalı durumda ise 5,7 mg/km olarak ölçülmüştür. PM emisyonları aracın baz haline göre 3 kat artmıştır. CO₂ emisyonları; ızgara açık olduğu durumda 302,7 mg/km ızgara kapalı durumda ise 298,5 mg/km olarak ölçülmüştür. Aracın baz haline göre % 1,38'lik bir iyileştirmeyle 4,2 mg/km daha az CO₂ emisyonu salınmıştır.

Sonuçlara ait grafik Şekil 4. 17'de gösterilmiştir. Çalışmanın başlangıcında CO₂ emisyonlarında elde edilmesi beklenen iyileştirme yakıt tüketimi testlerinde görülmüştür. Dikkat çekici bir diğer konu ise NO_x emisyonlarındaki dikkat çekici artıştır.

Bu sonuç aracın ön ızgaranın kapatılmasıyla motor kompartımanında meydana gelecek sıcaklık artışı sonucunda öngörölmüştür. Bir diğör etken ise laboratuvar şartlarında yapılan test aracın kısıtlı bir bölümüne etki edebilmektedir. Yeterli soğuk hava debisi sağlanamamaktadır; ek olarak bir de ızgaranın kapatılmasıyla motor kompartımanında meydana gelen sıcaklık artışı gerek CFD çalışmalarıdan gerekse de dışarıda yapılan testlerden daha yüksek olduğı öngörölmektedir.



Şekil 4. 18 Emisyon Testi Sonuçları

TARTIŞMA, YORUM VE ÖNERİLER

Literatür taramasıyla başlayan çalışma, konu hakkında yapılan CFD analizleri yol testleri ile karşılaştırılmıştır ancak elde edilen veriler iklimik rüzgar tüneline de doğrulanmalıdır. Aracın C_D değerleri CFD analizlerinden elde edilen sonuçlarla elde edilmiştir, bilindiği üzere bu türden çalışmaların rüzgar tüneline şartlarında da test edilip sonuçların doğrulanması ve hata oranlarının raporlanması daha doğru olacaktır.

Izgara kapatıcı için üretilen ilk prototip sayesinde ürün görseli elde edilmiş, bir sonraki prototipte kontrol ve yol verisi toplama işlemi gerçekleştirilmiş ve son prototipte ürün ticarileştirilmesine yönelik birkaç düzenleme yapılmıştır. Prototip çalışmalarına hata fonksiyonu da eklenmelidir. Izgara kapatıcı gerçek şartlarda kullanıldığında birçok bozucu etkene maruz kalacaktır ve bu durumlarda aracın ilk haline kolayca dönebilmesi amacıyla bir mekanizma tasarlanmalıdır.

Motor bölgesinin ızgaralarla kapatılması konusunda kontrol algoritmasında yer alan temel parametre motor suyu sıcaklığıdır. Ancak literatür araştırmaları sırasında birden fazla parametrenin ızgara kapatma fiziğini etkilediği fark edilmiştir. Kontrol algoritması bu parametreleri de kapsayacak şekilde geliştirilmelidir [10].

C_D değerlerinde %7,58'lik iyileşme gözlemlenmiştir ve bu değer teorik olarak %2,5'lik yakıt tasarrufu sağlayacaktır. Bu değer iyimser bir değer olduğu ve araca özgü olarak değişebileceği unutulmamalıdır. Örneğin binek bir araçta %10-20 arasında C_D iyileştirme sağlanmıştır [5].

Izgaranın kapatılmasıyla elde edilen yakıt ekonomisi aracın baz haline göre % 1,39'luk bir iyileşme göstermektedir. Buna benzer olarak CO₂ emisyonlarında da %1,38'lik bir iyileşme görülmüştür; ancak NO_x emisyonlarının aşırı artması Aktif Izgara Kapatıcısının kontrolünde azot oksit oluşumu ve salınımı konusunda dikkat edilmesi gereken bir başka parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

CFD çalışmalarında CAD geometriden başlayarak sonuçların alınması ve incelenip raporlanmasına kadar olan süreçte bir dizi alınan ders olmuştur. Bunlardan bahsetmek gerekirse; ilk olarak elaman sayısı belli bir düzeyde olmalıdır. Bu değer çalışmalar sırasında iş istasyonunun hesaplama zamanını gereksiz yere arttırabilir, diğer yandan birden fazla koşul için yapılacak incelemelerde çok daha uzun zaman alacaktır. Bu sırada daha büyük eleman boyutu eleman sayısını azaltırken; sonuçların doğruluk ve hassasiyetini etkileyecektir. Tüm bu tecrübe, konuyla ilgili çalışanların yöntem bilgisinde saklıdır.

Araç dış geometrisinde ayna detayı yoktur. Ancak CFD analizleri kıyaslama olarak çalışıldığı için sürüklenme katsayısındaki farklar da benzer olarak değişeceği öngörülmüştür.

Elde edilen sonuçlar çalışmaya konu olan araca özgü değerlerdir ve bu değerlerden yola çıkarak bir genelleme yapılmamalıdır.

Prototip aşamasında farklı ağırlıklarda ürünler temin edilmiştir ancak nihai ürünün hafif ve rijit bir yapıda olması projenin amacına ulaşması bakımından önemlidir.

Aktif ızgara kapatıcıların sağlayacağı sürüklenme katsayısı avantajının yüksek hız koşullarında gerçekleştiği görülmüştür. Ürünün sağlayacağı bir diğer avantaj soğuk iklim şartlarında motorun daha erken ısınmasını sağlamaktır.

Proje başlangıcında öngörülmeleyen ancak literatür araştırmaları sırasında farkedilen bir diğer konu ise, Izgara kapatıcının motor gürültüsünü de azaltması yönünde sağladığı faydadır.

Çalışmanın daha ileriye götürülmesi ve testlerin tamamlanmasıyla yapılabilecek çalışmalardan bahsetmek gerekirse; aracın tüm sürüş koşullarını modelleyebilen bir

simulasyon ile CFD analizleri ve elde edilen test verileri ışığında daha kapsamlı bir çalışma yapılabilir.

Aktif ızgara kapaticılar şu anda hazır ürün olarak piyasa bulunmaktadır ancak T.C. Sanayi Bakanlığı teşvik projeleri kapsamında desteklenen bu proje, Önden motorlu taşıtlarda aktif ızgara kapaticılar konusunda Kamu ve Özel sektörün; tasarım, üretim ve kontrol açısından tecrübe kazanmasını sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Hucho, W.H., (1998). Aerodynamics of Road Vehicles. 4th edition, Sae International, Warrendale.
- [2] Williams, J., (2003). "Aerodynamic Drag of Engine-Cooling Airflow With External Interference", Sae Technical Paper, 2003-01-0996, 10:4271-4272.
- [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, 3-6 April 2006, Detroit.
- [4] Mulemane, A. ve Soman, R., (2007). "CFD Based Complete Engine cooling Jacket Development and Analysis", Powertrain & Fluid Systems Conference & Exhibition, 29-31 Ekim 2007, Chicago.
- [5] Larsson, L. ve Martini, H., (2009). Aerodynamic Drag Reduction of a Heavy Truck with Variable Cooling Air Intake Area, Yüksek Lisans Tezi, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- [6] El-Sharkawy, A.E., Kamrad, J.C., Lounsberry, T.H., Baker, G.L. and Rahman, S.S., (2011). "Evaluation of Impact of Active Grille Shutter on Vehicle Thermal Management", SAE international Journal of Materials & Manufacturing, 4:1245-1246.
- [7] Gullberg, P., Lofdahl, L. Nilsson, P., (2011). "Cooling Airflow System Modeling in CFD Using Assumption of Stationary Flow", SAE, 2182: 1-2.
- [8] Charnesky, S., Fadler, G., Lockwood, T., (2011). "Variable and fixed Airflow for Vehicle Cooling", SAE, 4: 1286-1290.
- [9] Santana, F. A., Wildmann, U. R., Argentino, M. A., Spinelli, D. M., (2012). "Engine Tunnel Air Flow Analysis for Commercial Vehicles", SAE, 0534: 3-7.
- [10] Mustafa, R., Shulze, M., Eilts, P., Küçükay, F., Jaeckel, T., Lund, C., (2012). "Improved Energy Management Using Engine Compartment Encapsulation and Grille Shutter Control", SAE International, 5: 803-804.

- [11] Kulkarni, C., Deshpande, M.D., Umesh, S., Chetan, R., (2012). "Underhood Flow Management of Heavy Commercial Vehicle to Improve Thermal Performance", SasTech Journal, 11:10-16.
- [12] Agarwal, R. K., (2013). "Computational Study of Drag Reduction of Models of truck-shaped bodies in Ground Effect by Active Flow Control", SAE International, 1: 1-3.
- [13] Xu, B., Leffert, B., Belanger, B., (2013). "Fuel Economy Impact of Grille Opening and Engine Cooling Fan Power on a Mid-size Sedan", SAE International, 857: 1-4.
- [14] Saab, S., Hetet, J.F., Maiboom, A., Charbonnelle, F., (2013). "Impact of the Underhood Opening Area on the Drag Coefficient and the Thermal performance of a Vehicle", SAE International, 869: 2-4.
- [15] EPA 2017 Draft Regulatory Impact Analysis (2011).
- [16] Hexagon Studio Teknik Dokumanlar (2014).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Koray ERDOĞAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 13.09.1987 Beykoz
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : koray.erdogan@hexagonstudio.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Mehmet Akif Ersoy Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012	Hexagon Studio Mühendislik A.Ş.	TASE Mühendisi
2011	GA Teknoloji	Makine Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

- 1.Otekon 07 Önden Motorlu Bir Araçta Aktif Gril Kapatma Sistemi Geliştirilmesi
2. Aerovehicles01 The Underhood Thermal Management and Cooling Drag Effects of an Active Grille Shutter Prototype for Light Duty Vehicle under Simulated and Real Test Environments

Proje

1. SANTEZ Önden Motorlu Bir Araçta Aktif Gril Kapatma Sistemi
01353.STZ2012-1 Geliştirilmesi
YTÜ - Hexagon
Studio A.Ş.