

ARKADAN MOTORLU ARAÇLAR İÇİN SOĞUTMA SİSTEMİ TASARIMI

Egemen Bilge* , Alper Altıner*

*Hexagon Studio, Araç Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada arkadan motorlu ve arkadan itişli olarak tasarlanmakta olan bir aracın soğutma sistemi geliştirme çalışmalarından bahsedilecektir. İlk olarak araç özellikleri ve soğutma gereksinimleri belirlenecektir. Isıl yönetim testleri öncesinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile soğutma sistemi performansı incelenecektir. Analizler sonrasında, önden motorlu önden çekişli bir aracın arkadan motorlu arkadan itişli bir araç haline dönüştürüldükten sonraki motor soğutma sistemi karşılaştırmalı testlerinden bahsedilecektir. Yapılan test ve analiz sonuçları ışığında yapılan güncellemelere değinilecek ve üretilen yeni seviye prototip test sonuçları sunulacaktır. Son olarak, arkadan motor uygulamasında soğutma sistemi performansını arttırmak için uygulanabilecek geliştirme önerilerine değinilecektir.

Anahtar kelimeler: Motor soğutma sistemi, arkadan motor, hesaplamalı akışkanlar dinamiği,

THE DESIGN OF COOLING SYSTEM FOR THE REAR ENGINED VEHICLES

ABSTRACT

In this paper, powertrain cooling studies on a new design rear engine rear wheel drive vehicle are explained. First of all, vehicle properties and cooling requirements of the powertrain are determined. Before performing thermal management tests of the vehicle, detailed CFD analysis have been done in order to predict cooling performance. After completing the analysis, engine cooling tests have been performed on a modified vehicle that was a front engine front wheel drive previously. In this study, both front engine/front wheel drive (before modification) and rear engine/rear wheel drive vehicles have been subjected to heat management tests for comparison. After the modified vehicle tests, first representative vehicle powertrain cooling tests will be presented. Finally, possible modifications in order to improve cooling performance of rear engine implementation are mentioned.

Keywords: Engine cooling system, rear engine, computational fluid dynamics

1. GİRİŞ

Günümüzde arkadan veya ortadan motor uygulamaları genelde spor arabalarda kullanılmaktadır. Sadece birkaç binek araç arkadan motorlu olarak üretilmektedir. Yalnız geçmiş uygulamalar incelendiğinde birçok ikonik arkadan motorlu aracın tasarlandığı ve üretildiği görülmektedir. Örneğin Tatra 77 [1], Tucker'48, VW Beetle, Chevrolet Corvair, Porsche [2] gibi araçlar arkadan motorlu olarak üretilmiş araçlardır ve bazılarında yaratıcı soğutma sistemleri çözümleri bulunmaktadır. Bu araçların soğutma sistemlerinde, soğutma havası genel olarak aracın yan bölümlerinden veya üst bölümünden alınmaktadır.

Arkadan motorlu araçlar için literatürde iki ana soğutma sistemi yerleşimi kabul görmektedir. Birinci yerleşim şeklinde, önden motorlu araçlarda olduğu gibi, radyatör aracın önüne konumlanmaktadır (Örn. Smart FourTwo). İkinci yerleşim şeklinde motorun sağına ve soluna iki adet küçük radyatör yerleştirilmektedir. Bu yerleşim şeklinde soğutma havası aracın yanlarına açılan küçük açıklıklardan sağlanmaktadır [3].

Bu uygulamaların hiçbiri, yer ve üretilebilirlik sınırlamaları nedeniyle, geliştirilmekte olan aracın soğutma sistemi yerleşimi için uygun bulunmamaktadır. İlk olarak, bagaj hacmi gereklilikleri, su pompası performansı ve rotalama zorlukları nedeniyle radyatör aracın önüne yerleştirilememektedir. İkinci alternatif olan yan hava girişleri ve buralara yerleştirilen radyatör

çözümü, motorun enine yerleşimi sonucunda radyatöre yeteri kadar yer bulunamadığı için uygulanamamaktadır. Ayrıca ileride uygulanması muhtemel CNG, hibrid ve elektrikli motor alternatifleri nedeniyle halihazırda tasarlanmış ve seri olarak üretilmekte olan bir radyatör kullanılması planlanmaktadır. Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı radyatör aracın önüne ve yanına yerleştirilememektedir. Sonuç olarak radyatörün motorun ve aracın arka bölümüne yerleştirilmesine karar verilmiştir.

Radyatörün nihai pozisyonuna karar vermeden önce, motorun olası ısı yayım özellikleri ve motor kompartmanı paketleme toleransları çalışılmıştır. Motor ısı yayım özelliklerine göre radyatör için gerekli olan hava debisi hesaplanmıştır. Hava giriş bölümlerine karar verebilmek için de aerodinamik dış akış analizleri yapılmıştır.

Bunların haricinde, bir adet önden motorlu önden çekişli bir donör araç seçilmiş ve arkadan motorlu arkadan itişli bir araca çevrilmiştir. Bu donör aracın her iki durumunda da (önden motorlu önden çekişli / arkadan motorlu arkadan çekişli) soğutma sistemi testleri gerçekleştirilmiştir.

Son olarak, ilk tasarım seviyesi prototip araç üretilmiş ve yol koşullarında soğutma sistemi testleri gerçekleştirilmiştir.

2. ARAÇ ÖZELLİKLERİ

Yeni tasarlanmakta olan araç özellikleri Tablo 1'de verilmiştir:

Tablo 1 Motor ve araç özellikleri

Yakıt Türü:	Benzin
Silindir Hacmi:	2360 cc
Motor Gücü:	129 kW (@6000rpm)
Motor Torku:	225 Nm (@4400rpm)
Araç Ağırlığı:	2700 kg
Yerden Yükseklik:	200 mm
Ön Görünüş Alanı:	3,085 m ²
Aks Açıklığı:	3260 mm
İz Genişliği:	1580 mm
Araç Uzunluğu:	4830 mm
Araç Yüksekliği:	1920 mm
Araç Genişliği:	1922 mm
Tasarım Amacı:	Şehir içi, taksit
Ortalama Hız:	25 km/h
(Yolcu arama durumundaki ortalama hız ~11km/h)	
Azami Hız:	110 km/h
Bekleme oranı:	40%

Tablo 2 Motor soğutma gereksinimleri

Isı transferi	
Motor	40 kW
Radyatör	100 kW

3. ANALİZLER

3.1 Aerodinamik Analizler

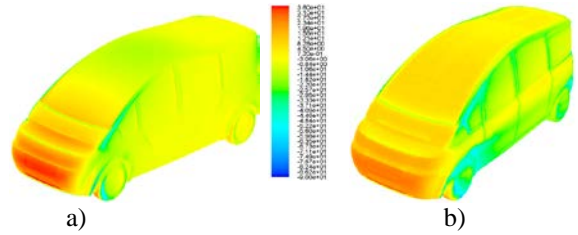
Gerçekleştirilmiş olan aerodinamik analizlerin temel amacı aracın aerodinamik sürtünme katsayısının, araç üzerindeki düşük ve yüksek basınç bölgelerinin ve olası motor soğutma havası giriş ve çıkış alanlarının belirlenmesidir.

Dış akış modeli Catia V5 R20 [4] programı kullanılarak modellenmiştir. Akış analizleri için Ansys Fluent V13 [5] programı kullanılmıştır.

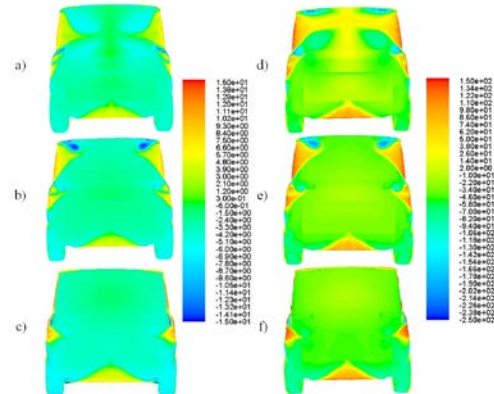
Analiz özellikleri:

Model	: Pressure based, steady
Turbulans modeli	: k-ε, realizable, enhanced wall treatment
Mesh adedi	: 4.000.000 cells
Ortam sıcaklığı	: 25 °C

Bütün aerodinamik analizler 2 ayrı araç hızında gerçekleştirilmiştir: 25 km/h (ortalama araç hızı) and 90 km/h. Şekil 1'de 25km/h ve 90km/h araç hızlarında Karsan V1 aracı üzerinde oluşan basınç konturları görülmektedir.



Şekil 1. Basınç Konturları (Pa) a) 25km/h, b) 90km/h



Şekil 2. Basınç konturları (Pa)
25km/h a) orjinal, b) spoiler, c) d-pillar spoiler
90km/h d) orjinal, e) spoiler, f) d-pillar spoiler

Basınç konturlarına göre, arka tekerleklerin üst bölümü ve aracın alt bölümü soğutma sistemi hava girişi için açıklığı için uygun bulunmuştur. Aracın arka bölümü düşük basınç bölgesini oluşturmaktadır. Eğer soğutma havası aracın arka bölümüne yönlendirilebilirse soğutma havasının dışarı atılması kolaylaşacaktır. Bu nedenle radyatörün aracın ve motorun arkasına monte edilmesine karar verilmiştir.

Proje başlangıcında yapılan kaba aerodinamik analizler sonrasında aerodinamik sürütme katsayısını iyileştirmek ve soğutma havası çıkış özelliklerini incelemek üzere bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda spoiler ve d-pillar spoiler etkisi incelenmiştir. Arka spoiler, d-pillar spoiler ve soğutma havasının aracın arkasına verildiği durumda aracın sürütme katsayısındaki değişimler Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Sürütme katsayısı

Koşul	Cd
Orjinal	0.412
Spoiler	0.404
D-pillar spoiler	0.397
Soğutma havası çıkışı	0.390

Aerodinamik analizlerde bütün parametreler ayrı ayrı incelenmiştir. Araç üzerindeki akış spoiler yardımıyla yüzeyden kolayca koparılabilmekte ve aerodinamik sürütme katsayısında %2'lik bir azalma görülmektedir. Araç yanında oluşan akışın aracın arkasına dönüşü d-pillar spoiler ile engellenmekte, yüzeyden kopuşu kolaylaştırılmakta ve sürütme katsayısında %4'lük düşüş görülmektedir. Soğutma havasının aracın arkasına atılması, arka bölümdeki basıncı yükseltmekte, bu da aracın ön yüzüyle arkası arasındaki basınç farkını azaltmakta ve aerodinamik sürütme katsayısını düşürmektedir. Soğutma havasının aracın arkasına atılması da sürütme katsayısında yaklaşık %5 azalma sağlamaktadır.

3.1 Motor Kompartmanı Isıl Analizleri

İlk olarak motor kompartmanı radyatör ve motor bölümü olarak ikiye bölünmüş ve bu şekilde iki ayrı akış analizi yapılmıştır. Motor ve radyatör bölümü akış analizlerinde giriş hava hızları dış akış analizlerinden ve radyatör hava hızı gerekliliklerinden alınmıştır. Akış analizleri iki bölüm için de 25km/h araç hızında gerçekleştirilmiştir. Motor ısı transferi 40 kW ve radyatör ısı transferi 100 kW kabul edilmiştir.

Motor ve radyatör bölümleri için analiz özellikleri:

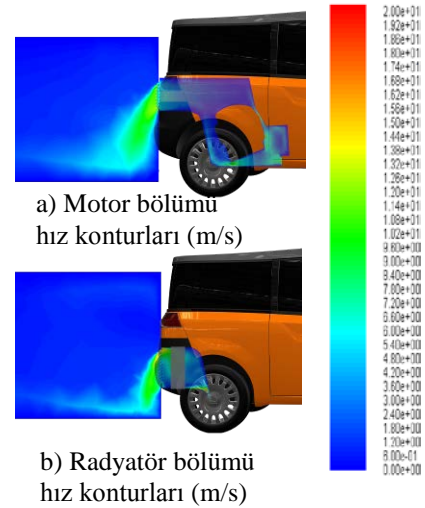
Model : 3D, pressure based, steady

Turbulans modeli : k-ε
Mesh adedi : 2.5 million cells
Ortam sıcaklığı : 25°C

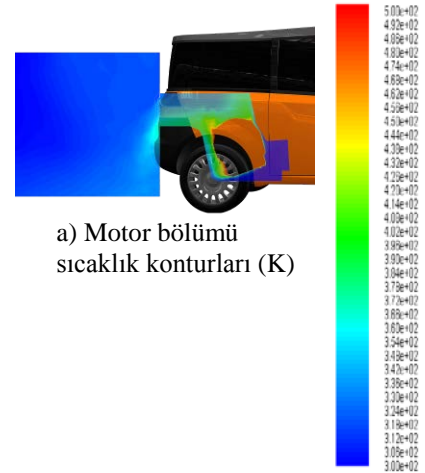
Aşağıda motor soğutma sistemi konsept tasarımı görülmektedir. Motor bölümü için yapılan analizlerde soğutma havası aracın altından alınmaktadır ve yönlendirme plakaları ile aracın arka tarafına yönlendirilmektedir. Radyatör kompartmanı için de soğutma havası aracın altından alınmaktadır. Aracın altından alınan hava fanlar yardımıyla radyatöre yönlendirilmektedir. Ayrıca egzoz susturucusu ısısal problemlere yol açmaması için ısı kalkanı ile motor kompartmanından ayrılmıştır.

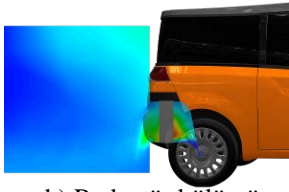


Şekil 3. Motor soğutma sistemi konsept tasarımı



Şekil 3. Motor (a) ve radyatör (b) bölümleri hız konturları





b) Radyatör bölümü sıcaklık konturları (K)

Şekil 4. Motor (a) ve radyatör (b) bölümleri sıcaklık konturları

Motor kompartmanının iki ayrı bölüm olarak analiz edilmesi sonrasında analizler bütün motor kompartmanı (motor + radyatör bölümü) için tekrar edilmiştir. Şekil 5'te yapılan analiz sonucunda elde edilmiş olan sıcaklık konturları görülmektedir.

Analiz özellikleri:

Model : 3D, pressure based, steady
Turbulans modeli : k-ε
Mesh adedi : 5.5 million cells



Şekil 5. Motor kompartmanı sıcaklık konturları (K) (Motor + radyatör bölümü - ayırma plakası olmadığı koşul)

Tablo 4 Motor soğutma havası çıkış sıcaklıkları ve hızları (@ 25°C ortam sıcaklığında)

Özellik	Ayrılmış		Motor kompartmanı (radyatör + motor)
	Motor bölümü	Radyatör bölümü	
Hava Hızı	10 m/s	11 m/s	7 m/s
Hava Sıcaklığı	75 °C	50 °C	95 °C

Aracın yerden yüksekliğiyle ilgili karşılaşılan limitlerden ötürü hava yönlendirme plakası güncellenmiş ve aracın tabanı ile hava yönlendirme plakası aynı düzleme pozisyonlanmıştır. Sonrasında motor kompartmanı için yeterli hava girişinin sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmek için dış akış analizleri tekrarlanmıştır. Yalnız gerçekleştirilen modifikasyonlar devam eden testler nedeniyle ilk seviye prototipe uygulanamamıştır.

Şekil 5'te Karsan V1 aracı üzerindeki hız konturları görülmektedir. Bu analizin asıl amacı yapılan hava yönlendirme plakası modifikasyonu sonucunda motor kompartmanına giren havanın soğutma için yeterli olup

olmadığının belirlenmesidir. Bu analiz sonuçlarına göre yeterli miktarda hava motor kompartmanına girmekte yalnız radyatörden geçen ve aracın arkasına atılan hava debisi yeterli gelmemektedir.



Şekil 6. Hız konturları (km/h) (Araç tabanı ile yönlendirme plakası aynı düzlemde) (Araç hızı: 25km/h)

4. TESTLER

Donör araç seçiminde tasarlanmakta olan aracın iz genişliği, aks mesafesi ve yükleme kapasitesi dikkate alınmıştır. AP0 olarak isimlendirilen ilk prototipte gerçek araçta kullanılması planlanan motor kullanılmamıştır (2.0 litrelik 88kW gücünde turbo dizel bir motor kullanılmıştır). AP0 prototipinin asıl amacı önden motorlu ve arkadan motorlu araçların ısı performanslarını karşılaştırmalı olarak test etmektir.

Donör araç özellikleri:

Radyatör boyurları : 700mm x 400mm
Radyatör fanı özellikleri(iki adet fan kullanılmaktadır):
1. fan: ø 360mm, 9 palli, hava hızı ~7 m/s
2. fan: ø 325mm, 6 plali, hava hızı ~7 m/s

Bütün soğutma sistemi ve motor kompartmanı sıcaklık ölçümü testleri aynı yol ve mesafede yapılmıştır.

Test rotası : 8km (gidiş-geliş toplam 16 km)
Test adedi :2 Motor yağ ve su sıcaklıkları kontrolü için arka arkaya iki test gerçekleştirilmiştir.

Test koşulları: 1. vites 25km/h (~2750rpm)
2. vites 40km/h (~2500rpm)

Sıcaklık ölçüm noktaları:

- Motor yağı
- Soğutma suyu motor çıkış
- Soğutma suyu motor giriş
- Radyatör önü hava sıcaklığı (4 ısılıçift)
- Radyatör arkası hava sıcaklığı (4 ısılıçift)
- Intercooler önü hava sıcaklığı (2 ısılıçift)
- Intercooler arkası hava sıcaklığı (2 ısılıçift)
- ECU üzeri hava sıcaklığı
- Kaputaltı hava sıcaklığı (motor üzeri)
- Katalitik konverter üzeri hava sıcaklığı (ısı kalkanı üzeri)

4.1 Önden Motorlu Donör Araç Testleri

Isıl performans testleri öncesinde motor yağ ve su sıcaklıklarının ideal çalışma sıcaklıklarına kadar yükselmesi beklenmiştir.

Ortam sıcaklığı : 12 °C
 Test ağırlığı : 2700kg
 Test süresi : 142 dakika (Test iki kere tekrar edilmiştir = 71dak.x2)
 Birinci test bölümü : 22.0 dak.(1. vites 25 km/h)
 İkinci test bölümü : 13.3 dak.(2. vites 40 km/h)
 Üçüncü test bölümü : 13.5 dak.(2. vites 40 km/h)
 Dördüncü test bölümü : 22.2 dak.(1. vites 25 km/h)

Tablo 5. Önden motorlu donör araç test sonuçları

Koşul	Isılçift Pozisyonu	Sıcaklık (°C)
1. Vites 25km/h	Motor yağ sıcaklığı	113,7
	Soğutma suyu giriş	91,0
	Soğutma suyu çıkış	111,0
	Radyatör giriş 1	13,8
	Radyatör giriş 2	15,5
	Radyatör giriş 3	14,0
	Radyatör giriş 4	14,5
	Intercooler giriş 1	16,0
	Intercooler giriş 2	16,1
	Radyatör çıkış 1	42,8
	Radyatör çıkış 2	87,9
	Radyatör çıkış 3	89,1
	Radyatör çıkış 4	86,2
	Intercooler çıkış 1	45,8
	Intercooler çıkış 2	51,1
	ECU	32,2
	Kaputaltı	55,2
	Katalitik konvertör	78,8

Tablo 5. Önden motorlu donör araç test sonuçları (devam)

Condition	Thermocouple Location	Maximum Temperature (°C)
2. Vites 40km/h	Motor yağ sıcaklığı	111,1
	Soğutma suyu giriş	84,0
	Soğutma suyu çıkış	102,4
	Radyatör giriş 1	10,7
	Radyatör giriş 2	9,9
	Radyatör giriş 3	10,1
	Radyatör giriş 4	10,6
	Intercooler giriş 1	10,4
	Intercooler giriş 2	10,0
	Radyatör çıkış 1	44,6
	Radyatör çıkış 2	78,9
	Radyatör çıkış 3	83,2
	Radyatör çıkış 4	78,1
	Intercooler çıkış 1	40,1
	Intercooler çıkış 2	44,0
	ECU	32,4
	Kaputaltı	44,4
Katalitik konvertör	65,9	

4.2 Arkadan Motorlu Prototip (AP0) Testleri

Önden motorlu aracın arkadan motorlu araç haline getirilmesi çalışmaları esnasında egzoz paketlenme problemlerinden ötürü (tasarıma temel oluşturan motor kullanılmadığı için) motor ve radyatör kompartmanı ayırma plakası kullanılmamıştır. Bu nedenle birleşik motor kompartmanı uygulaması ile testler gerçekleştirilmiştir.

Isıl performans testleri öncesi, önden motorlu araç testlerinde olduğu gibi motor yağının ve soğutma suyunun ideal çalışma sıcaklıklarına sıcaklığına gelmesi beklenmiştir.

Test süresi : 142 dakika (Test iki kere tekrar edilmiştir = 71dak.x2)
 Ortam sıcaklığı : 8°C
 Test ağırlığı : 2700kg
 Birinci test bölümü : 22.6 dak. (1. vites 25 km/h)
 İkinci test bölümü : 13.5 min. (2. vites 40 km/h)
 Üçüncü test bölümü : 14.0 min. (2. vites 40 km/h)
 Dördüncü test bölümü : 21.1 dak. (1. vites 25 km/h)

Tablo 6. AP0 soğutma sistemi test sonuçları

Koşul	Isılçift Pozisyonu	Sıcaklık (°C)
1. Vites 25km/h	Motor yağ sıcaklığı	107,9
	Soğutma suyu giriş	96,7
	Soğutma suyu çıkış	97,8
	Radyatör giriş 1	54,6
	Radyatör giriş 2	50,7
	Radyatör giriş 3	50,7
	Radyatör giriş 4	36,5
	Intercooler giriş 1	40,9
	Intercooler giriş 2	34,3
	Radyatör çıkış 1	74,3
	Radyatör çıkış 2	72,4
	Radyatör çıkış 3	76,1
	Radyatör çıkış 4	46,6
	Intercooler çıkış 1	48,0
	Intercooler çıkış 2	45,1
	ECU	35,5
	Kaputaltı	56,6
Katalitik konvertör	65,2	

Koşul	Isılçift Pozisyonu	Sıcaklık (°C)
2. Vites 40km/h	Motor yağ sıcaklığı	108,2
	Soğutma suyu giriş	96,8
	Soğutma suyu çıkış	98,7
	Radyatör giriş 1	57,4
	Radyatör giriş 2	52,4
	Radyatör giriş 3	39,2
	Radyatör giriş 4	35,0
	Intercooler giriş 1	43,1
	Intercooler giriş 2	38,1
	Radyatör çıkış 1	70,5
	Radyatör çıkış 2	72,7
	Radyatör çıkış 3	74,1
	Radyatör çıkış 4	75,3
	Intercooler çıkış 1	46,2
	Intercooler çıkış 2	45,2
	ECU	29,4
	Kaputaltı	51,8
Katalitik konvertör	44,1	

4.2 Tasarım Seviyesi Motor ile Gerçekleştirilen İlk Prototip (ADV1) Testleri

Test ve analiz sonuçlarına göre yapılan inceleme ve değerlendirmeler ışığında motor soğutma sistemi hava giriş tasarımı üzerinde güncellemeler yapılmıştır. Öncelikle ilk analizlerde bahsedilmiş olan ayrılmış motor kompartmanı uygulamasına geçilmiştir. Motor kompartmanı motor bölümü ve radyatör bölümü olmak

üzere ikiye ayrılmıştır. Motor kompartmanı hava girişi ilk tasarımlarda olduğu gibi araç altından olmaktadır. Hava çıkışı ise ek bir fan yardımıyla yine aracın arkasına doğru açılmıştır. Radyatör bölümü motor bölümünden kompozit bir plaka ile ayrılmış ve hava girişleri sağ ve sol teker üzerine pozisyonlanmıştır. Bu bölümlerden hava kanalları yardımıyla radyatöre yönlendirilen hava yine aracın arka bölümüne atılmaktadır. Şekil 7'de yan hava girişleri görülmektedir.

Yukarıda tarif edilmiş soğutma sistemi ilk tasarım seviyesi araç prototipi (ADV1) üzerine monte edilmiş ve yol koşullarında gerçekleştirilmiş olan soğutma sistemi testlerine tabi tutulmuştur. Sonuçları Tablo 7'de görülmektedir.

Test süresi	: 15 dakika
Ortam sıcaklığı	: 27°C
Test ağırlığı	: 2700kg
Sürüş koşulu	: 1. vites 35 km/h

Tablo 7. ADV1 soğutma sistemi test sonuçları

Koşul	Isılçift Pozisyonu	Sıcaklık (°C)
1. Vites 35km/h	Motor yağ sıcaklığı	112,8
	Soğutma suyu giriş	95,8
	Soğutma suyu çıkış	98,9
	Şanzıman yağı	91,9
	Motor bölümü 1	50,6
	Motor bölümü 2	46,9
	Motor bölümü 3	51,0
	Radyatör bölümü 1 (çıkış)	56,7
	Radyatör bölümü 2 (çıkış)	82,2
	Radyatör bölümü 3 (çıkış)	83,9
	ECU	46,9
	Kaputaltı	73,1
	Katalitik konvertör	69,4

5. KARŞILAŞTIRMALAR

Donör araç ve APO prototipi testlerini karşılaştırdığımızda soğutma suyu motor çıkış ve motor yağ sıcaklıkları yaklaşık 4°C civarında oluşmuştur (ortam sıcaklığı farkı 4°C) Fakat motor soğutma suyu giriş sıcaklıkları farkı 1. ve 2. vitesler için sırasıyla 6°C ve 11°C olmuştur. Radyatör giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı arkadan motor uygulamasında önden motor uygulamasına göre daha düşüktür. Ayrıca arkadan motor uygulamasında radyatörden geçen havanın sıcaklığının yükselmesi önden motorlu araca göre daha düşük olmaktadır. Bu iki sonuç radyatörden transfer edilen ısının düşük olduğunu, yani radyatörün yeterli performansta kullanılmadığını göstermektedir. Arkadan motor uygulamasında radyatör hava giriş sıcaklığı yüksek ve motor yağ sıcaklıkları düşük bulunmuştur. Bunun nedeni olarak da aracın altından alınan havanın öncelikle

motor ve özellikle karter bölümünden geçip radyatöre ulaşması olarak gösterilebilir. APO testlerinde Kaputaltı ve ECU bölgesi sıcaklıkları 1. vites için uygun, 2. vites için yüksek bulunmuştur. Akış analizleri ve test sonuçları birlikte değerlendirildiğinde araç hızı yükseldikçe motor kompartmanı üst bölümlerinde hava akışının yeterli olmadığı ve sıcaklıkların yükseldiği görülmektedir.

ADV1 aracında kullanılan motor ve ekipmanlar APO ve donör araç testlerinde kullanılmış olan parçalardan farklı olduğu için aralarında bir karşılaştırma yapmak doğru olmayacaktır. Bu nedenle ADV1 aracının ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan testlerde araç tam güç ve torkta çalıştırılmadığı için elde edilmiş olan sonuçlar sadece bir öngörü oluşturmaktadır. Test sonuçları değerlendirildiğinde motor soğutma suyu, yağı ve şanzıman yağı (otomatik şanzıman kullanılmıştır) sıcaklıkları kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunmuştur. Motor kompartmanı sıcaklıkları ortalama 50°C ölçülmüştür. Yalnız kaputaltı sıcaklığı ortalama motor kompartmanı sıcaklığının yaklaşık 20°C üzerinde bulunmuştur. APO testlerinde ve akış analizlerinde karşılaşılmış olan motor üst bölümü yetersiz hava akışı durumu elde edilen sıcaklık farkını açıklamaktadır.

6. PLANLANAN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

ADV1 aracı soğutma sistemi testleri ile birlikte hava kanalı performans yükseltme ve en iyileştirme çalışmaları yürütülmektedir. Hava kanalı performansını yükseltmek için fan ihtiyacının (güç, basınç kaybı, debi) azaltılması hedeflenmektedir. Hava kanalı performans artışının yanında motor ve radyatör bölümü sızdırmazlığının iyileştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca motor üzeri hava akışı iyileştirmeleri için akış analizlerinin ve testlerin tekrar edilmesi planlanmaktadır.

Aracın arkasına atılan hava ile ilgili de çalışmalar yürütülmektedir. Özellikle hava çıkışını kolaylaştıracak (basın kaybını azaltacak) ızgara geometrileri üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar esnasında yaya ve motorsiklet sürücülerinin zarar görmemeleri de dikkat edilen konulardandır.

7. SONUÇ

Bu çalışmada, yeni tasarlanmakta olan arkadan motorlu bir aracın soğutma sistemi geliştirme çalışmaları anlatılmaktadır. İlk olarak, motor soğutma gereklilikleri ve araç özellikleri sunulmuştur. Sonrasında, aerodinamik dış akış analizleri, motor kompartmanı ısıl analizleri sonuçlarından bahsedilmiştir. Araç dış akış analizlerinde aerodinamik sürtünme katsayısı, araç üzeri basınç bölgeleri incelenmiştir. Ayrıca motor soğutma havasının aracın arkasına atılmasının aerodinamik sürtünme katsayısı üzerine etkilerinden de bahsedilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri sonuçlarına göre ilk seviye prototiplerde uygulanması gereken soğutma sistemi stratejileri belirlenmiştir. İlk prototipler

öncesinde bir adet önden motorlu önden çekişli donör araç seçilmiş ve bu araca soğutma sistemi testleri yapılmıştır. Sonrasında bu araç arkadan motorlu arkadan itişli bir araca çevrilerek aynı testler tekrarlanmıştır. İki aracın da düşük hızlarda benzer soğutma sistemi performansları gösterdiği görülmüştür. Yalnız araç hızının yükselmesi ile arkadan motorlu araçta motor kompartmanı hava döngüsü yeterli olmadığı için soğutma sistemi performansının aynı kaldığı, önden motorlu araçta aracın önünden gelen havanın doğrudan motor kompartmanına girmesiyle soğutma sistemi performansını arttırdığı görülmüştür. Yapılan son prototip testlerinde ikiye ayrılmış motor kompartmanı (motor ve radyatör bölümleri) ile elde edilmiş sonuçlar paylaşılmıştır. Yapılan ölçümlerde motor üzeri hava akışı değerleri dışında uygun bulunmuştur. Geliştirme çalışmalarına soğutma sistemi performans ölçümleri (tam güç ve torkta) ve motor kompartmanı akış analizleri tekrarı ile devam edilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Klavik, M., 1938, "Air supply device for air-cooled rear-engine automobiles", US2194396.
2. Prevost, C.P., 2003, "Radiator system for use on automobiles having rear engines", US6505696 B1
3. Brezek, R., 1948, "Rear fender accommodation of radiator for rear engine vehicles", US2581072.
4. CATIA V5 R20, <http://3ds.com>.
5. Ansys Fluent 12.1, <http://www.ansys.com>.
6. Ricardo, 2008, New York City taxi of tomorrow RFI Appendix 1 Vehicle technical specification.
7. Bilge, E., 2011, "Thermal Management Concept of a Taxi Vehicle with Rear Engine Application", Vehicle Thermal Management Conference, May 15-19.

