

ARAÇ MOTOR BÖLÜMÜNDE ÇEŞİTLİ YERLERDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ  
KATSAYISININ LABORATUVAR ORTAMINDA VE SAYISAL ANALİZ  
YOLUYLA BELİRLENMESİ

Nuriye Çevik

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2006

CONVECTION HEAT TRANSFER COEFFICIENT ESTIMATION USING  
EXPERIMENTAL METHODS AND COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS IN  
VEHICLE ENGINE COMPARTMENT

Nuriye Çevik

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

Aralık 2006

ARAÇ MOTOR BÖLÜMÜNDE ÇEŞİTLİ YERLERDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ  
KATSAYISININ LABORATUVAR ORTAMINDA VE SAYISAL ANALİZ  
YOLUYLA BELİRLENMESİ

Nuriye Çevik

Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Enerji Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Kemal Taner

Aralık 2006

Nuriye evik' in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Araç motor bölümünde çeşitli yerlerdeki taşınım ısı geçiş katsayısının laboratuvar ortamında ve sayısal analiz yoluyla belirlenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof.Dr.Kemal Taner

Üye : Prof.Dr.L.Berrin Erbay

Üye : Prof.Dr.M.Ercengiz Yıldırım

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun.....tarih ve.....  
sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr.Abdurrahman Karamancıođlu  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Araç motor bölgesindeki hava akışı problemlerinin analitik çözümü kolay değildir. Bu sebeple havanın akış özelliklerine, akış hızına ve cismin geometrisine bağlı olarak konveksiyon ısı geçiş katsayısının bulunması gibi problemlerin çözümünde laboratuvar ortamında yapılan deneysel incelemeler çok büyük önem taşır.

Akışkanlar dinamiğinde deney ve kuramı birleştiren ve 3. boyut olarak tanımlanan sayısal akışkan dinamiği, son yıllarda yüksek hızdaki bilgisayarların geliştirilmesiyle sayısal analizlerin yapılmasını kolaylaştırmıştır.

Bu çalışmada taşınım ısı geçiş katsayısı, H-Metre cihazı vasıtasıyla laboratuvar ortamında aracın rüzgar tüneli şasi dinamometresinde test edilmesiyle bulunacaktır. Aynı zamanda taşınım ısı geçiş katsayısı, sayısal akışkan dinamiği esas alınarak hazırlanmış bilgisayar destekli bir mühendislik programında bulunacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır.

## SUMMARY

It is very complicated to analyze airflow in underhood area since the geometry is not simple. Due to this, it is very important to figure out the convection heat transfer coefficient which depends on flow characteristics, geometry and air flow velocity using experimental methods.

Developed powerful computers started to give opportunity to make numerical analysis for the Computational Fluid Dynamics which combines experimental results and the theory as third dimension of fluid dynamics.

Following study shows the experimental results of chassis dynamometer wind tunnel testing to find out convection heat transfer coefficient using H-Metre. Computational Aided Engineering program which based on Computational Fluid Dynamics code will be run to find convection heat transfer coefficient as well. Both findings proximity will be analyzed.

## TEŞEKKÜR

Hocam Prof. Dr. Kemal Taner'e bu tez çalışmasındaki katkı ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarımın her aşamasında beni destekleyen aileme ve çalışma arkadaşım Trevor Lockhart'a ayrıca teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISININ LABORATUVAR ORTAMINDA H-METRE İLE BELİRLENMESİ.....	2
2.1 H-Metre Dizaynı.....	2
2.2 H-Metre Malzemesi Özellikleri.....	4
2.3 H-Metre Çalışma Prensibi.....	5
2.4 H-Metre Kalibrasyonu .....	6
2.5 Taşınım Isı Geçiş Katsayısının H-Metre Yardımıyla Belirlenmesi Ve F Ölçü Faktörünün Bulunması.....	8
2.6 Şasi Dinamometresi.....	13
3. RADTHERM ANALİZİ SONUÇLARI.....	15
3.1 Isıl Düğüm Tayini, Işıma Değişimi.....	15
3.2 Sıcaklıkların Hesaplanması.....	22
3.2.1 Belirtik Çözüm.....	22
3.2.2 Örtük Çözüm.....	23
3.3 Uygulanan Radtherm Analizi.....	24



## İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4. RÜZGAR TÜNELİ SONUÇLARI.....	27
4.1 Şasi Dinamometresi Yardımıyla h Katsayısının Bulunması İçin Gereken Veriler.....	27
4.2.1 Test A – Yakıt Filtresi Ön Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	29
4.2.2 Test A – Yakıt Filtresi Ve Egzos Arasındaki Bölgede Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	30
4.2.3 Test A – Yakıt Borularının Önündeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	31
4.2.4 Test A – Hava Filtresi Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	32
4.2.5 Test A – Vites Kutusu Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	33
4.2.6 Test A – Booster Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	34
4.2.7 Test A – Elektrik Kablosu Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	35
4.2.8 Test A – Sigorta Kutusu Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	36
4.3.1. Test B – Yakıt Filtresi Ön Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	37
4.3.2 Test B – Yakıt Filtresi Ve Egzos Arasındaki Bölgede Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	38
4.3.3 Test B – Yakıt Borularının Önündeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	38
4.3.4 Test B – Hava Filtresi Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	39

## İÇİNDEKİLER(DEVAM)

Sayfa

4.3.5 Test B – Vites Kutusu Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	39
4.3.6 Test B – Booster Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	40
4.3.7 Test B – Elektrik Kablosu Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	40
4.3.8 Test B – Sigorta Kutusu Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	41
4.4.1 Test C – Yakıt Filtresi Ön Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	42
4.4.2 Test C – Yakıt Filtresi Ve Egzos Arasındaki Bölgede Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	43
4.4.3 Test C – Yakıt Borularının Önündeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	43
4.4.4 Test C – Hava Filtresi Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	44
4.4.5 Test C – Vites Kutusu Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	44
4.4.6 Test C – Booster Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	45
4.4.7 Test C – Elektrik Kablosu Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	45
4.4.8 Test C – Sigorta Kutusu Bölgesindeki Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	46

## İÇİNDEKİLER (DEVAM)

5. CFD ANALİZİ.....	48
5.1.1 Yakıt Filtresi Alt Parça Çevresindeki Ortalama Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	54
5.1.2 Yakıt Filtresi Üst Parça Çevresindeki Ortalama Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	55
5.1.3 Yakıt Filtresine +X Yönünde Gelen Hava Akış Hızı Şiddeti.....	56
5.1.4 Yakıt Filtresi Üzerindeki Hava Akış Şiddetinin Vektörel ve Skalar Büyüklük Olarak Gösterilmesi.....	57
5.2.1 Egzos Manifoldu Ve Türbin Etrafındaki Ortalama Taşınım Isı Geçiş Katsayısı Ve Hava Akışı.....	58
5.2.2 Türbin Çevresindeki Ortalama Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	59
5.2.3 Egzos Türbin Çıkışı Çevresindeki Ortalama Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	60
5.2.4 Egzos Borusu Çevresindeki Ortalama Taşınım Isı Geçiş Katsayısı.....	60
5.3 Egzos Manifoldu ve Türbin Çevresinde Grid Sıklığı Artırılmış Model Kullanılarak Ortalama Taşınım Isı Geçiş Katsayısının Hesaplanması.....	61
6. SONUÇ.....	62
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	64

## 1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında taşınım ısı geçiş katsayısının tahmin edilmesi için deneysel ve analitik çözüm yöntemleri ele alınacak ve sonuçlar değerlendirilecektir.

Motor bölümünde ve hava akışının yetersiz olduğu düşünülen bölgelerde taşınım ısı geçiş katsayısının tahmini aracın tasarımı sırasında önem taşımaktadır. Böylelikle dizayn sırasında sıcaklıkların yüksek olduğu ve hava akışının düşük olduğu bölgelerdeki parçaların tasarımı, malzeme seçimi ve konumu üzerinde değişiklikler yapılarak optimum dizayn sağlanabilir.

İkinci bölüm: Taşınım ısı geçiş katsayısının deneysel yolla H-Metre yardımıyla bulunması tartışılacaktır. H-Metre'nin dizaynı, malzeme özellikleri ve çalışma prensibi ele alınacaktır. H-Metre kalibrasyonunun nasıl yapıldığı ve F Faktörünün nasıl hesaplandığı açıklanacaktır.

Üçüncü bölüm: H-Metre üzerindeki net ışıma ısı geçişinin ihmal edilebilir olduğunun gösterilmesi için 3 boyutlu iletim, taşınım ve ışıma ısı iletim modeli kurularak Radtherm analizi yapılacak ve Radtherm analizinin nasıl yapıldığı konusunda bilgi verilecektir. Bu model, motor kompartmanında en sıcak bölge olan ve ışıma ısı iletiminin en fazla olduğu egzoz bölgesinde kurulacaktır.

Dördüncü bölüm: Deneysel yolla rüzgar tüneline şasi dinamometresinde test edilen aracın H-Metre yardımıyla değişik konumlarındaki taşınım ısı geçiş katsayısı bulunacaktır. Farklı sürüş koşullarında yapılan testler sonucunda aracın çeşitli bölgelerine yerleştirilen H-Metre ısıtıcı, yüzey ve hava sıcaklık-zaman grafikleri gösterilecek ve taşınım ısı geçiş katsayısının deneysel yolla bulunması sağlanacaktır.

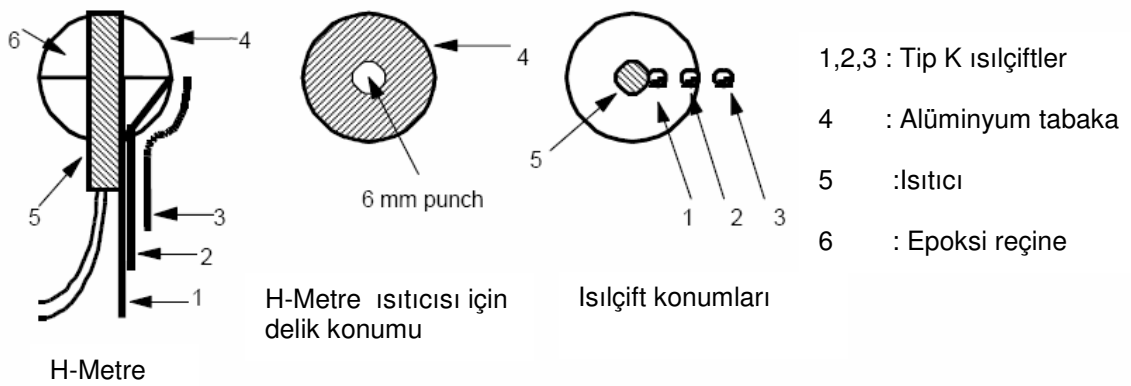
Beşinci bölüm: Taşınım ısı geçiş katsayısı sayısal yolla hesaplanacaktır. Sayısal akışkanlar dinamiği çözümü genellikle milyonlarca sayının tekrar tekrar manipülasyonunu gerektirir ki bu da kişinin bilgisayar yardımı olmadan yapmasını mümkün kılmaz. Bu sebeple analiz için bilgisayar destekli sayısal akışkanlar dinamiği (akışa ait kısmi türevli denklemlerin sayılarla ifade edilmesi) programı kullanılacaktır. Analizin teorisi hakkında kısaca bilgi verilecektir.

Altıncı bölüm: Deneysel ve sayısal yolla bulunan taşınım ısı geçiş katsayısının ne kadar yakınlık gösterdiği tartışılacaktır.

## 2. TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISININ LABORATUVAR ORTAMINDA H-METRE İLE BELİRLENMESİ

### 2.1 H-METRE DİZAYNI

Taşınım ısı geçiş katsayısının laboratuvar ortamında bulunmasında kullanılacak H-Metre dizaynı aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 2.1.a H-Metre dizaynı (Dudley and Barry, 1999)

Motor bölümünde ya da hava akışının yetersiz olduğu düşünülen yerlerde H-Metre kullanılarak taşınım ısı geçiş katsayısı hesaplanabilir ve hava akış şiddeti bulunabilir.

Temel fikir; küresel bir parçaya bataryayla çalışan bir ısıtıcının eklenmesi ve bu küresel parçaya, ısıtıcı , yüzey ve hava sıcaklığı olmak üzere 3 adet ısılcift yerleştirilmesidir. Enstrümantasyonun hava akış yönüne hassaslığını azaltmak için küresel bir yüzey seçilmiştir.

H-Metre enstrümantasyonu için Kromel-Alumel ısılcift kullanılmıştır.

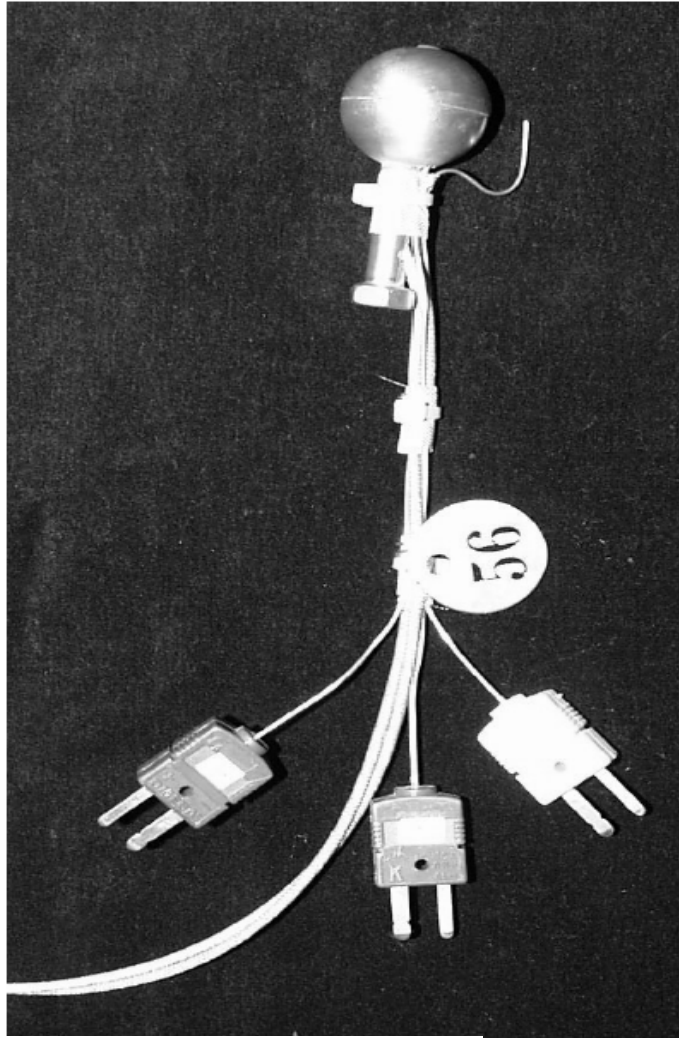
Isıtıcı - H-Metre yüzeyi ve H-Metre yüzeyi – çevre sıcaklığı arasındaki yeterli sıcaklık farkının oluşması için ısıtıcı yeterli güç üretebilmelidir. Ayrıca H-Metre dizaynı, 180°C 'ye varan ortam sıcaklıklarında epoksi'nin erimemesi koşulunu yerine getirmelidir.

Yukarıdaki tüm detaylar göz önüne alınarak aşağıdaki H-Metre dizaynı yapılmıştır.

ısıtıcı = 180 ohm direnç

Aşağıdaki şekilde görülebileceği gibi alüminyum tabaka 2 parçadan yapılmıştır. İki parçadan yapılmasının sebebi; H-Metre yüzey ısıçiftlerini bu birleşme noktasına monte etmek ve epoksinin kuruması sırasında kürenin boyutsal değişimini engellemektir. (Barry and Dudley, 1999)

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, ısıtıcı eklenmesi için bu iki yarım küreye 6 mm `lik delikler açılmıştır.



Şekil 2.1.b H-Metre montaj resmi

## 2.2 H-METRE MALZEMESİ ÖZELLİKLERİ

Isıtıcı ve küre yüzeyi arasında yeterli sıcaklık farkının oluşması için ,küresel parçanın ısı iletiminin düşük olması gerekir. Diğer taraftan sistemin kısa sürede dengeye girmesi için ısı yayınlılık değerinin ( $k/\rho C_p$ ) yeteri kadar yüksek olması gerekmektedir. Malzemeler içinde hiçbir metal tek başına bu gerekleri karşılamadığından, H-Metre malzemesi olarak metalle karıştırılmış epoksi reçine kullanılmıştır. (Barry and Dudley, 1999)

Epoksi; mekanik,elektriksel,yapışkan özellikleri çok yüksek olan termoset polimerdir.

Thermoset, reçine ve sertleştirici malzemelerin birleşimiyle ya oda sıcaklığında ya da ısıtma yöntemiyle elde edilir. Elde edilen bu polimer bazen network polimerleri olarak adlandırılır. (Ashby and Jones) Isı geçişine direnci yüksektir. Yapışkan özelliğinden dolayı yüzey kaplamalarında kullanılır. Diğer metallerle karıştırılabilir. Epoksinin metalle karıştırılması malzemeye sertlik, vuruş direnç ve yüksek ısıl iletkenlik sağlar. Aynı zamanda ısıl genleşme ve büzüşmenin önüne geçilmiş olur.

Epoksi Malzemesinin Teknik Özellikleri; (Ashby and Johnson)

El. büyüklüğü, GPa = 2.35-3.08

Uzama, % = 2-10

Vickers sertliği,  $H_v$  = 11-22

Yld.dayanım, MPa = 36-71,68

Servis sıcaklığı , degC = -20-175

Özgül ısı yoğunluğu, J/kgK = 1494-2000

Isıl iletkenlik,  $W/m^2K$  = 0.18-0.5

Isıl genleşme,  $10^{-6}/K$  =58-117

Epoksi özellikleri diğer metallerle karşılaştırılacak olursa aşağıda belirtilen avantajlar görülür:

- + Yüksek sıcaklık dayanımı
- + Yorulma direnci
- + Alev almama
- + Güçlü

### 2.3 H-METRE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bu bölümde taşınım ısı geçiş katsayısının deney yoluyla belirlenmesi incelenecektir.

İçine elektrikli ısıtıcı yerleştirilen 26,5 mm çapındaki küre,yüzey sıcaklığı çevre sıcaklığından yüksek olma şartı yerine getirilmesi için test boyunca sürekli çalıştırılır. ( $T_2 > T_3$ ) Elektrik gücü ( $E \cdot I$ ) toplam ısı geçişine eşit olur ve küre çevresindeki ortalama taşınım ısı geçiş katsayısı Newton soğuma kanunu ile bulunur.

$$Q_{conv} = hA_s(T_2 - T_3) \quad (2.1)$$

$T_2$  = Küre yüzey sıcaklığı, K

$T_3$  = Çevre sıcaklığı, K

$h$  = Taşınım ısı geçiş katsayısı ,  $W/m^2 K$

Taşınım ısı geçiş katsayısı sadece bir akışkan özelliği olarak tanımlanamaz.

Taşınım ısı geçiş katsayısı akışkanın özelliklerine ( $k, C_p, \mu$  ve  $\rho$ ), akışkan hızına, geometriye ve geometri yüzeyine bağlıdır.

Türbülanslı akışta, akışkan parçacıklarının maksimum düzeyde karışmaları ve parçacıklar arası etkileşim, yüzeydeki sürtünme kuvvetlerini ve taşınım ısı geçişini artırır. Ayrıca sınır tabakasının da kalınlaşmasına sebep olur. Akış tümüyle türbülanslı hale geldiğinde sürtünme ve ısı geçiş katsayısı maksimuma ulaşır. Bu sebeple türbülanslı akışta ısı geçiş katsayısının belirlenmesi büyük önem taşır.

Türbülanslı akışta farklı sıcaklıklardaki akış parçacıklarının teması ısı geçişini sağlar.

Hız sınır tabakasının yüzey üzerinde farklılaşması, ısı taşınım geçiş katsayısının yüzey boyunca değişimine sebep olacaktır. Yapılan analizler genelde bütün yüzeydeki ısı geçişleriyle ilgili olduğundan, ortalama ısı geçiş katsayısının kullanılmasıyla bu başarılabılır.

Küre üzerine gelen hava akımı küreye çarptıktan sonra bu cisim etrafında bir hava akımı meydana gelir. Bu hava akımının analitik olarak çözülmesi zordur. Bu sebeple bu türdeki bir akış deneysel ya da nümerik yolla incelenecektir.



## 2.4 H-METRE KALİBRASYONU

Aşağıda H-Metre kalibrasyonun nasıl yapıldığı anlatılmaktadır.  
(Barry, 1999) 'e göre:

- 1- H-Metre ısıtıcısının direnci dijital voltmetre ile kontrol edilir (170 ohm civarında olması gerekmektedir).

Çizelge 2.4a H-Metre akım ve direnç değerleri

H-Metre Kalibrasyonu			
H-Metre No	Akım mA	Direnç, ohm	Gerilim, V
H Metre-1	63,1	173,7	11,5
H Metre-2	62,4	177,3	11,5
H Metre-3	63,5	175,0	11,5
H Metre-4	66,1	166,7	11,5
H Metre-6	63,0	175,5	11,5
H Metre-7	62,0	178,5	11,5
H Metre-8	63,6	175,1	11,5
H Metre-9	65,3	169,6	11,5

- 2- H-Metre 300 mm kare kesitli rüzgar tüneli merkezine üzerindeki montaj kenetleri kullanılarak yerleştirilir.
- 3- Hava akış hızının ölçülmesi için anemometre tünel merkezine yerleştirilir. Anemometre'nin hava akış yönüne dik yerleştirilmesi önemlidir.
- 4- H-Metre ısıtıcı kablolarının güç kaynağına bağlantısı yapılır.
- 5- H-Metre'nin, ısıtıcı, yüzey ve çevre sıcaklığını ölçmek için gerekli ısılıçift bağlantıları yapılır.
- 6- Veri kaydedicisi çalıştırılır ve ölçüm yapılıp yapılmadığı kontrol edilir.
- 7- H-Metre üzerindeki hava sıcaklığını ölçen ısılıçift'in H-Metre yüzeyinden en az 6,5 mm uzaklıkta olduğu kontrol edilir.

- 8- Gerekli hava hızı ve debisini sağlamak için fan çalıştırılır.
- 9- DC Güç kaynağı 12,9 gerilime ayarlanır.
- 10- Hava hızı, anemometre vasıtasıyla ölçülür ve kaydedilir. Anemometre hava hızını yaklaşık 10 m/s okur.
- 11- H-Metre dengeye ulaştığında 6 ısılıçift ölçüm noktası kaydedilir.

Bu 6 ısılıçift ölçüm noktası;

H-Metre ısıtıcı merkezinde 1 adet

H-Metre yüzeyinde 2 adet

H-Metre çevre sıcaklığını ölçmek için küre etrafında 3 noktada hava sıcaklığı ölçümü alınır.

- 12- H-Metre gerilimi kaydedilir.
- 13- Hava hızı 7 m/s'e düşürülür ve anemometre ile ölçülür. Sistemin dengeye gelmesi için 20 dk. beklenir ve ısılıçift yerleştirilen 6 ölçüm noktası kaydedilir.
- 14- Hava hızı 4 m/s'e düşürülür ve anemometre ile ölçülür. Sistemin dengeye gelmesi için 20 dk. beklenir ve ısılıçift yerleştirilen 6 ölçüm noktası kaydedilir.
- 15- Hava hızı 1 m/s'e düşürülür ve anemometre ile ölçülür. Sistemin dengeye gelmesi için 20 dk. beklenir ve ısılıçift yerleştirilen 6 ölçüm noktası kaydedilir.
- 16- Fan kapatılır ve hava hızının "0" düşmesi sağlanır. Sistemin dengeye gelmesi daha uzun süreceğinden 40 dk. beklenir ve ısılıçift yerleştirilen 6 ölçüm noktası kaydedilir.
- 17- Veri kayıt işlemi durdurulur.

Veriler alındığında her bir hava hızında ölçülen H-Metre ısıtıcısı, yüzey ve hava sıcaklığı için en son ölçülen 3 değer ortalaması alınır. (Sistem kararlı hale ulaştığında ölçüm değerleri alınmalıdır. Bu sebeple son ölçülen 3 değer alınmıştır.)

Ölçülen H-Metre gerilim, direnç ve hava hızı değerleri de yazılır.

## 2.5 TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISININ H-METRE YARDIMIYLA BELİRLENMESİ ve F ÖLÇÜ FAKTÖRÜNÜN BULUNMASI

### KABULLER

1- H-Metre içerisindeki sıcaklık değişimi test başlangıcından bir süre sonra dengeye ulaştığından sistem dengede olarak kabul edilecektir.

2- H-Metre üzerindeki ışıma ısı geçişi ihmal edilmiştir.

İşıma ısı geçişi etkisi, iletim ve taşınım ısı geçişi etkisinden daha düşüktür. Yüzey düşük yayıcılık değerine sahipse, zorlanmış taşınım ile karşılaştırıldığında ışıma etkisi ihmal edilebilir .

Analiz :

Sistem dengeye ulaştığında kürenin içinde meydana gelen ısı enerjisi üretimi, H-Metre içindeki ısı iletim enerjisi aktarımına eşittir.

$$Q = E_{\text{generated}} = V \cdot I \quad (2.2)$$

$$Q = -kA \frac{dT}{dr} \quad (2.3)$$

Burada,

$r_1$  = H-Metre merkezinden ısıtıcı ısılcıftına olan mesafe = 3,685 mm

$r_2$  = H-Metre merkezinden yüzey ısılcıftına olan mesafe = 11,98 mm

$T_1$  = Isıtıcı sıcaklığı , K

$T_2$  = Yüzey sıcaklığı , K

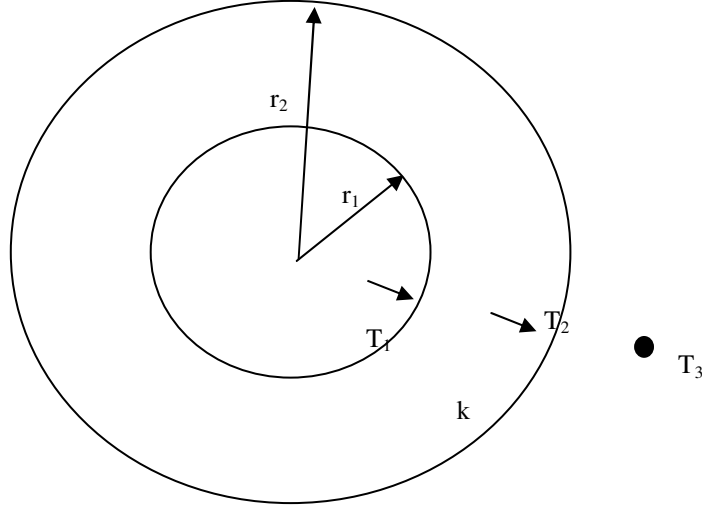
$T_3$  = Çevre sıcaklığı , K

$k$  = H-Metre ısı iletim katsayısı , W/mK

$h$  = Taşınım ısı iletimi katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)

şeklindedir.

Yukarıda belirtilen değerler, H-Metre geometrisiyle aşağıda gösterilecek olursa,



Şekil 2.5.1 H-Metre

$$Q_{i,küre} = -kA \frac{dT}{dr} \quad \longrightarrow \quad \int_{r=r_1}^{r=r_2} \frac{Q_{i,küre}}{A} dr = - \int_{T=T_1}^{T=T_2} k dT \quad (2.4)$$

$$A = 4\pi r^2$$

A, denklem 2.6'da yerine konup, integral alınırsa;

$$Q_{i,küre} = \frac{4\pi k (T_1 - T_2)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \quad (2.5)$$

$$Q_{i,küre} = Q_t \quad \longrightarrow \quad \frac{4\pi k (T_1 - T_2)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} = h4\pi r_2^2 (T_2 - T_3) \quad (2.6)$$

elde edilir.

$$Q_i = Q_{iletim}$$

$$Q_t = Q_{taşınım}$$

şeklindedir.

$$h = \frac{k * (T_1 - T_2)}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) * r_2^2 * (T_2 - T_3)} \Rightarrow h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \quad (2.7)$$

Yukarıdaki denklemde h, taşınım ısı geçiş katsayısının nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir.

Buradan F ölçü faktörü,

$$F = \frac{k}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) * r_2^2} \quad (2.8)$$

Burada,

Q = Güç, W

V = Gerilim, V

R = Direnç, ohm

k = H-Metre ısı iletkenlik katsayısı, W/mK

T<sub>1</sub> = H-Metre ısıtıcı sıcaklığı, K

T<sub>2</sub> = H-Metre yüzey sıcaklığı, K

T<sub>3</sub> = Çevre Sıcaklığı, K

r<sub>1</sub> = H-Metre merkezinden ısıtıcı ısı çiftlerine olan mesafe

r<sub>2</sub> = H-Metre merkezinden yüzey ısı çiftlerine olan mesafe

h = Taşınım ısı geçiş katsayısı W/m<sup>2</sup> K

F = F Faktör

şeklindedir.

Denklem (2.8)'in çözülmesiyle "F" faktörü, denklem (2.7)'nin çözülmesiyle de h, taşınım ısı geçiş katsayısı elde edilir.

F, H-Metre ölçü faktörünün bulunması için , H-Metre rüzgar tüneli içine konumlandırılır. 1m/s'den 9 m/s'ye kadar değişik hava hızları H-Metre üzerine yönlendirilir. Burada dikkat edilmesi gereken H-Metre çevre sıcaklığını ölçen ısılıçift'in hava akışı yönünde olması gerektiğidir.

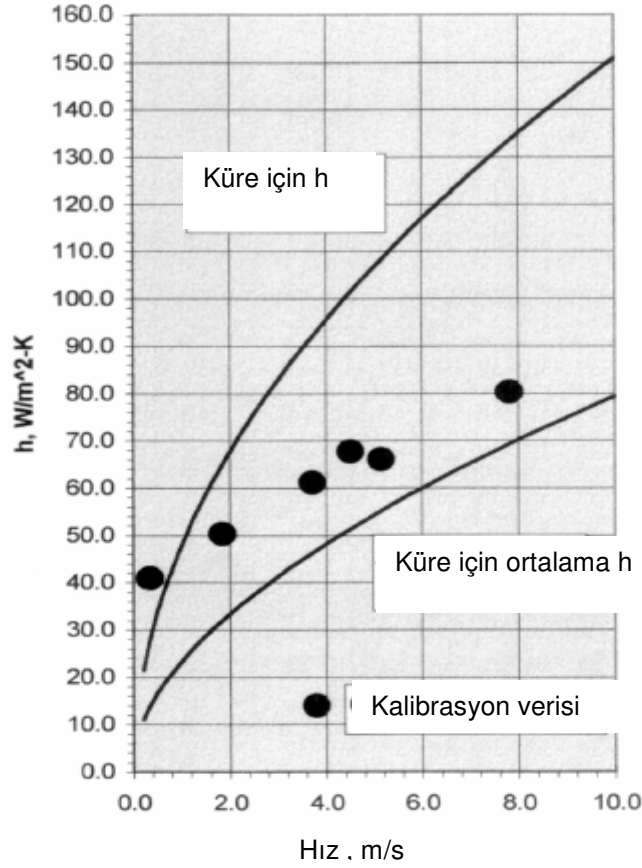
Her hava hızında 3 kere F, faktörü hesaplanır. Bu ölçümler üç farklı hava hızında tekrarlanır. Böylelikle 9 F, faktör değeri elde etmiş oluruz. Bu değerlerin ortalaması alınarak H-Metre ölçü faktörü bulunmuş olur. Bulunan F değerlerinin aynı olması kalibrasyonun iyi olduğu anlamına gelir. Bu değerler tüm hava hızlarında aynı kalmalıdır. (Barry, 1999)

Yukarıda ayrıntıları belirtilen kalibrasyon ile her bir H-Metre F faktörü tesbit edilmiştir. Aşağıdaki tabloda kullanılan H-Metre numaraları ve F faktörleri belirtilmiştir.

Tablo 2.5.a H-Metre F faktörleri (R E Barry Consultants)

H- METRE KONUMLARI	F Faktör
H-Metre 1-Yakıt filtresi üst parça	99,2
H-Metre 2-Yakıt filtresi ve egzoz arasında	78,9
H Metre 3-Yakıt borularının önü	87,4
H-Metre4-Hava filtresi sol tarafı	91
H Metre 6- Vites kutusu sağ	59,1
H Metre 7-Booster üst tarafı	56,6
H-Metre 8 - Elektrik kablosu ön tarafı	86,9
H Metre 9-Sigorta kutusu sağ tarafı	60,5

## H Metre Isı Geçişi



Şekil 2.5.2 Küre için taşınım ısı geçiş katsayısının H-Metre kalibrasyonu ile karşılaştırılması (Dudley and Barry, 1999)

Motor bölümünde, H-Metre yardımıyla yerel hava hızları ve taşınım ısı geçiş katsayısı tahmini yapılabilir ve bu veriler CAE analizi çalışmalarında kullanılabilir.

Tipik kalibrasyon verisi, genellikle teorik olarak hesaplanan durgunluk noktasındaki yerel taşınım ısı geçiş katsayısıyla ortalama ısı geçiş katsayısının arasında kalır.

Her koşulda ölçülen  $h$  değerleri yerel hava hızına dönüştürülebilir.

## 2.6 ŞASI DİNAMOMETRESİ

Şasi dinamometresi, laboratuvar ortamında gerekli evre Őartlarında araç sũrũŐnũ yansıtır. Şasi dinamometresinde laboratuvar ortamında yapılan araç testi, gerçek yol Őartlarında yapılan araç test koŐullarıyla benzerdir.

Şasi dinamometresi dŕner elemanı ũzerindeki yũk, gũ absorbe eden bir sistemle kontrol edilir.

Aracın hesaplanan çekiş gũcũ, Şasi dinamometresine uygulanır.

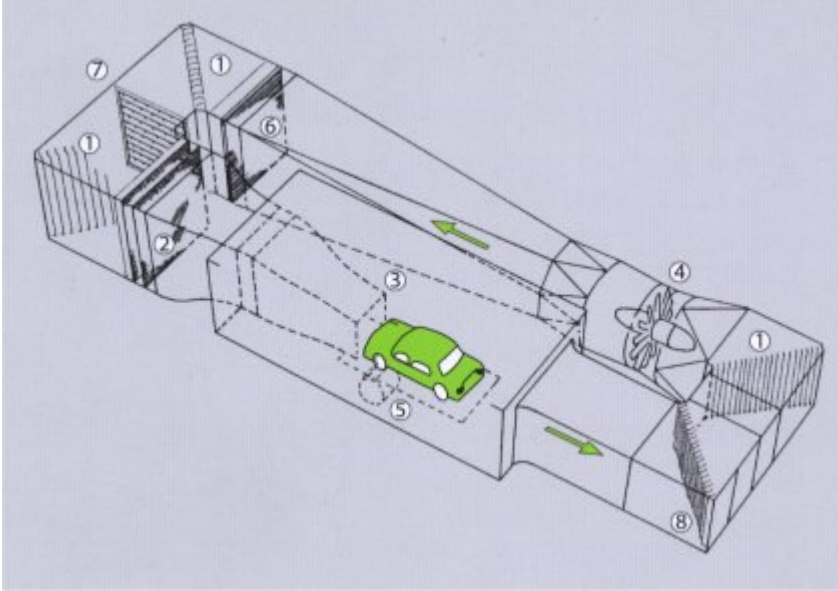
AŞağıda Şasi dinamometresi resmi gŕsterilmiŐtir.



Şekil 2.6.a Şasi dinamometresi- gũ emici - Dual Eddy  
(<http://www.superflow.com/>)



Şasi dinamometresi grup resmi ve şasi dinamometresini oluşturan parçalar  
Şekil 2.6.b’de gösterilmiştir.



Şekil 2.6.b Şasi dinamometresi grup resmi  
(<http://www.valeowindtunnel.com/Solutions2.htm>)

- 1-Sabit ayarlanır kanatlar
- 2-Hava ayar ekranları
- 3-Hava akış nozulları
- 4-Fan
- 5-Şasi dinamometresi
- 6-Ana ısı değiştirgeci
- 7-Nemlendirme
- 8-Kapatma kanatları

### 3. RADTHERM ANALİZİ SONUÇLARI

#### 3.1 ISIL DÜĞÜM TAYİNİ, IŞIMA DEĞİŞİMİ

H-Metre yüzeyinden olan net ısı geçişinde ışıma etkisinin ihmal edilebilir olduğunu göstermek için Radtherm analizi yapılmıştır.

Radtherm yazılımının kullanılmasıyla, özellikle karışık geometriler içeren modellerin ışıma ısı geçişi analizi kolaylıkla yapılır.

H-Metre motor bölümünde çeşitli bölgelere yerleştirilir. Bazı bölgelerde H-Metre ısı kaynağından uzak yerleştirilir. Bazı bölgelerde ise turbo, egzoz gibi sıcak bölgelerin çevresinde bulunur. Işıma emisyonu büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. İki bölge arasındaki taşınım ve iletim ısı transferi, sıcaklık farkının birinci kuvvetiyle doğru orantılıdır. Işıma ısı geçişi söz konusu olduğunda cisimlerin sıcaklıklarının dördüncü kuvvet değerlerinin farkı alınarak hesaplama yapılır. Bu da gösteriyor ki cisimlerin sıcaklıkları ışıma ısı geçişini artıran önemli bir etkidir. Egzoz yüzey sıcaklıklarının motor gücüne göre 650°C'ye varan sıcaklıklara ulaşması, bu bölgeye yakın parçaların ışıma ısı geçiş analizlerinin yapılmasını gerektirir.

Her cisim ışıma yayar. Bir cisimden diğer bir cisme ne kadar ışıma ısı enerjisi geçiş edildiği büyük ölçüde yüzey özelliklerine ve sıcaklığa bağlıdır.

Cismin özelliklerine bağlı olarak yüzeye ulaşan ışıma yansıtılabilir, emilebilir ve de cisim üzerinden geçebilir.

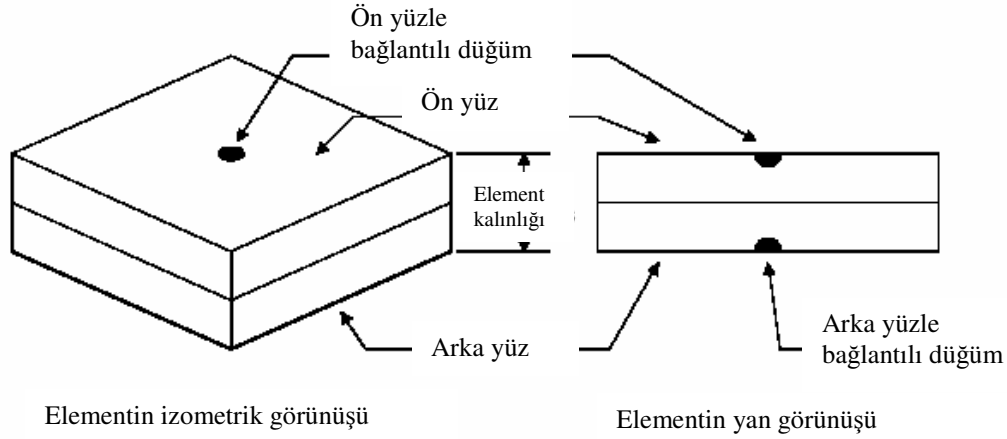
Sadece çok ince yüzeyler ışıma ısı enerjisini geçirir. Motor bölümünde bulunan parçalar belirli bir kalınlığa sahip olduğundan cisim üzerinden geçen ışıma ısı enerjisi ihmal edilecektir.

H-Metre üzerindeki net ışıma ısı geçişi ihmal edilecektir. Bu kabul yapılmadan önce net ışıma etkisinin ihmal edilebilir olduğunu göstermek için egzoz bölgesine en yakın olan bölgedeki H-Metre için Radtherm analizi yapılmıştır. Bu bölgede H-Metre üzerine gelen ışıma ısı geçişi etkisinin ihmal edilebilir olduğunu gösterebilirsek, H-Metre yerleştirilen diğer bölgeler için de aynı kabul yapılacaktır.

Analize başlamadan önce Radtherm ısı geçiş analizi hakkında kısaca bilgi verilecektir.

Radtherm, 3 boyutlu iletim, taşınım ve ışıma ısı geçişinin modellenmesinde kullanılır. Karışık geometriler üzerindeki kararlı hal ve geçici ısı iletiminin incelenmesinde çok önemli bir araçtır.

Ağ içerisindeki her bir element ön ve arka yüzüyle birlikte kalınlık verilerek modellenir. Her yüzeyin bir ısı düğüm vardır. (Radtherm Technical Documentation, Ver 7.1)



Şekil 3.1 Elementin izometrik ve yan görünüşü

(Moshammer, 2005) 'e göre,

Her bir düğüm üzerine aşağıda belirtilen ısı geçiş denklemleri uygulanır.

$$mC_p \frac{\partial T}{\partial t} = Q_t + Q_i + Q_r + Q_v \quad (3.1)$$

$Q_t$  :  $Q_{\text{taşınım}}$

$Q_i$  :  $Q_{\text{iletim}}$

$Q_r$  :  $Q_{\text{ışınım}}$

$Q_v$  :  $Q_{\text{verilen}}$

Yukarıdaki denklemde,  $m$  düğüm kütlelerini,  $T$  düğüm sıcaklığını ve  $C_p$  malzemenin ısı yoğunluğunu gösterir.

$Q_t$  ve  $Q_i$  terimleri  $k$ .düğümde içerecek şekilde ifade edilecek olursa;

$$m_k C_{pk} \frac{\partial T_k}{\partial t} = h_k A_k (T_f - T_k) + \sum_{j=1}^{N_i} \left( -k_{kj} A_{kj} \frac{T_k - T_j}{L_{kj}} \right) + Q_{t_k} + Q_{v_k} \quad (3.2)$$

denklem (3.2) elde edilir.

Denklem (3.2)'de;

$h_k$  = Taşınım ısı geçiş katsayısı

$A_k$  = Düğüm yüzey alanı

$T_f$  = Düğüm'e taşınım ısı enerjisi ileten akışkanın sıcaklığı

$k_{kj}$  =Malzemenin ısıl iletkenliği

$A_{kj}$  =k ve j nodu arasındaki temas yüzey alanı

$L_{kj}$  = k ve j nodu arasındaki mesafe

şeklindedir.

N sayıdaki diffuse-gri yüzey arasındaki net ışıma:

$$\sum_{j=1}^N \left( \frac{\delta_{kj}}{\epsilon_j} - F_{k-j} \frac{1-\epsilon_j}{\epsilon_j} \right) \frac{Q_j}{A_j} = \sum_{j=1}^N \sigma F_{k-j} (T_k^4 - T_j^4) \quad (3.3)$$

$\epsilon_j$  = j yüzeyinin yayıcılığı

$F_{kj}$  = k yüzeyinden j yüzeyine görüş faktörü

$\sigma$  = Stefan-Boltzmann Sabiti

$A_j$  = Yüzey alanı

$\delta_{kj}$  = Kronecker delta

(Radtherm Technical Documentation, Ver 7.1)' e göre,

Denklem (3.3),  $Q_k$  için yazılacak olursa,

$$Q_k = \frac{\epsilon_k A_k}{1 - F_{k-k}(1 - \epsilon_k)} \left[ \sum_{j=1}^N \sigma F_{k-j} (T_k^4 - T_j^4) + \sum_{j=1}^N \left( (1 - \delta_{kj}) F_{k-j} \frac{1 - \epsilon_j}{\epsilon_j} \right) \frac{Q_j}{A_j} \right] \quad (3.4)$$

$Q_k$ , k. yüzeyden net ışıma kaybıdır ve denklem (3.2)' deki  $-Q_i$ ' ya eşittir.

Denklem (3.2)'deki  $Q_1$  yerine  $-Q_k$  konursa,

$$Q_k = -m_k C_{pk} \frac{\partial T_k}{\partial t} + h_k A_k (T_f - T_k) + \sum_{j=1}^{Ni} \left( -k_{kj} A_{kj} \frac{T_k - T_j}{L_{kj}} \right) + Q_{v_k} \quad (3.5)$$

denklem (3.5) elde edilir.

Denklem (3.4) ve (3.5) eş zamanlı olarak tüm bölgede zaman ortalamalı Crank-Nicholson örtük sonlu farklar yöntemiyle çözülür.

(Radtherm Technical Documentation, Ver 7.1)' e göre,

Crank-Nicholson yöntemi Denklem (3.4)' e uygulanırsa,

$$Q_k = \frac{\varepsilon_k A_k}{1 - F_{k-k}(1 - \varepsilon_k)} \left[ \sum_{j=1}^N \sigma F_{k-j} (T_k^2 + T_j^2) (T_k + T_j) \left( \frac{T_k' + T_k}{2} - \frac{T_j' + T_j}{2} \right) + \sum_{j=1}^N \left( (1 - \delta_{kj}) F_{k-j} \frac{1 - \varepsilon_j}{\varepsilon_j} \right) \frac{Q_j}{A_j} \right] \quad (3.6)$$

denklem (3.6) elde edilir.

Crank-Nicholson örtük sonlu farklar yöntemi Denklem (3.5)'e uygulanırsa,

$$Q_k = -m_k C_{pk} \frac{(T_k' - T_k)}{\Delta t} + h_k A_k \left( \frac{T_f' + T_f}{2} - \frac{T_k' + T_k}{2} \right) + \sum_{j=1}^{Ni} \frac{k_{kj} A_{kj}}{L_{kj}} \left( \frac{T_j' + T_j}{2} - \frac{T_k' + T_k}{2} \right) + \frac{Q'_{v_k} + Q_{v_k}}{2} \quad (3.7)$$

denklem (3.7) elde edilir.

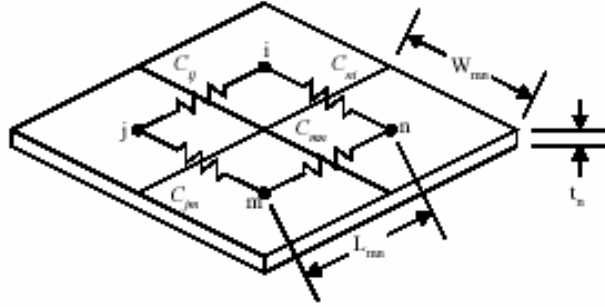
$T'$  şimdiki zaman aralığı değerlerini ifade ederken,  $T$  bir önceki zaman aralığı değerlerini belirtir.

Denklem (3.6) ve (3.7) eşitliği birlikte çözümlerse, nümerik analizde çözülen aşağıdaki denklem bulunur.

$$T_k' = \frac{\frac{2m_k C_{pk}}{\Delta t} T_k + \sum_{j=1}^{Ni} C_{kj} (T_j' + T_j - T_k) + Q'_{v_k} + Q_{v_k} - \frac{2\varepsilon_k A_k}{1 - F_{k-k}(1 - \varepsilon_k)} \sum_{j=1}^N \left( (1 - \delta_{kj}) F_{k-j} \frac{1 - \varepsilon_j}{\varepsilon_j} \right) \frac{Q_j}{A_j}}{\frac{2m_k C_{pk}}{\Delta t} + \sum_{j=1}^{Ni} C_{kj}} \quad (3.8)$$

$C_{kj}$ , iletkenlik olarak tanımlanır. Işınım, taşınım ve iletim için aşağıdaki eşitlik yazılır.

İletim iletkenliği formülü:



Şekil 3.2 Düzgünlerin iletim bağlarının şematik görünümü

$$C_{kj} = \frac{k_{kj} A_{kj}}{L_{kj}} \quad (3.9)$$

$C_{kj}$  = Düzgün k'dan j'ye iletkenlik  
 $k_{kj}$  = Isıl iletkenlik katsayısı, W/mK  
 $A_{kj}$  = Temas alanı, m<sup>2</sup>  
 $L_{kj}$  = Uzunluk, m

Denklem (3.9) ile iletim iletkenliği bütün düğüm'ler arasında hesaplanır.

Şekil 3.2 ile i,j,m ve n düğümünün birbirlerine iletkenliği gösterilmiştir.

Taşınım iletkenliği formülü:

$$C_{kj} = h_k A_k \quad (3.10)$$

$h_k$  = k düğümü için taşınım katsayısı  
 $A_k$  = Düzgün yüzey alanı

Işınım iletkenliği formülü:

$$C_{kj} = \frac{\epsilon_k A_k}{1 - F_{k-k}(1 - \epsilon_k)} \sigma F_{k-j} (T_k^2 + T_j^2)(T_k + T_j) \quad (3.11)$$

$\epsilon_k$  = Düzgün yayıcılığı  
 $A_k$  = Düzgün yüzey alanı, m<sup>2</sup>  
 $\sigma$  = Stephan-Boltzman sabiti, W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>  
 $F_{k-k}$  = k düğümünün kendi görüş faktörü  
 $F_{k-j}$  = k düğümünden j düğümüne görüş faktörü  
 $T_k$  = k düğümünün sıcaklığı, K  
 $T_j$  = j düğümünün bir önceki zaman aralığındaki sıcaklığı, K

Radtherm yazılımında kullanıcının girmesi gereken en önemli veri aynı malzeme ve yüzey özelliklerine sahip model gruplarının tayinidir.

İzotermal düğümler otomatik olarak grup içindeki elementlere atanır. Küçük modeller için her bir elemente bir ısı düğümü atanır. Daha büyük modeller için belli sayıdaki yakın elementlerin ortalama sıcaklığı alınır.

Çok fazla sayıdaki elementlerin daha az sayıdaki ısı düğümlere dönüştürülmesi model çözme hızını artırır ve çoklu sıçrama ışıma faktörlerinin hesaplanması için gerekli bellek büyüklüğüne gereksinimi azaltır.

Görüş faktörleri, hemi-küp metodunun kullanılmasıyla bulunur.

İşmanın bir yüzeyden ayrılıp , çevresindeki tüm yüzeylere yansıtılmasıyla ve görüş faktörü, yüzey yayıcılık değerlerinin kullanılmasıyla çoklu sıçrama ışıma faktörü hesaplanır.

Düğümler arasındaki ışıma değişiminden ve her bir ısı düğümün özelliklerinden sonlu farklar denkemi türetilir.

Radtherm analizinde ışıma etkisini araştırdığımızdan taşınım ve iletim etkisi ihmal edilmiştir.

Geçici nodal sıcaklıkları hesaplamak için örtük çözüm yöntemi kullanılmıştır.

Modellenen geometrinin etrafı çevrelenmiştir. Obje ve objeyi çevreleyen geometri kapalı bir sistem olarak ele alınır. Bu kapalı sistem düzgün olarak ışın yayan , yaygın,ışıması dalga boyundan bağımsız yüzeylerden oluşmaktadır.

Yüzeyler arasındaki net ışıma ısı geçişi;

$$Q_{ij} = B_{ij} A_i \epsilon_i \sigma (T_i^4 - T_j^4) \quad (3.12)$$

$B_{ij}$  = i yüzeyinden yayılan ve j yüzeyinden absorbe edilen enerji (direk ve yansıyan)

A = Alan

$\epsilon$  =Emisivite

$\sigma$  =StefanBoltzmannSabiti

T=Sıcaklık

(Curran ve diğerleri, 1995)' e göre:

Çoklu sıçrama ışınma faktörü  $B_{ij}$  ilk önce görüş faktörünün hesaplanması ve daha sonra yansıtılan ışınmanın yüzey tarafından absorbe edilmesiyle bulunur.

Işınma Değişirme Faktörleri

Aşağıda belirtilen teori O'Neill, R.F., J.L. Zich, Computer Program Script-F II alınmıştır.

Gri cisimler için  $F_{ij}$ , i yüzeyinden yayılan ve j diğer yüzeylere ulaşan enerji anlamına gelmektedir.

Çoklu sıçrama görüş faktörü için ilk tahmin, i yüzeyinden yayılan bir kısım enerjinin j yüzeyi tarafından direkt absorbe edilmesidir.

$${}^0 B_{ij} = F_{ij} \epsilon_j \quad (3.13)$$

Yukarıda belirtilen "0", i yüzeyinden ayrılan enerjinin kaç defa yansıtıldığıdır.

İ yüzeyinden ayrılan enerjinin tümü, j tarafından absorbe edildiğinden yansıma 0'dır.

İ yüzeyinden ayrılan ve diğer tüm k yüzeylerinden yansıtılan enerji:

$${}^1 R_{ik} = F_{ik} (1 - \epsilon_k) \quad (3.14)$$

İ yüzeyinden ayrılan bir kısım enerji, diğer k yüzeyleri tarafından yansıtılır ve j yüzeyi tarafından absorbe edilir. Çoklu sıçrama görüş faktörünün hesaplanmasında ikinci tahmin ise, i yüzeyinden ayrılan bir kısım enerjinin direkt olarak j yüzeyinden absorbe edilmesidir:

$${}^1 B_{ij} = {}^0 B_{ij} + {}^1 R_{ik} F_{kj} \epsilon_j \quad (3.15)$$

İ yüzeyinden yayılan, diğer bütün j yüzeylerinden yansıtılan ve diğer tüm k yüzeylerinden de yansıtılan enerji:

$${}^2 R_{ik} = {}^1 R_{ij} F_{jk} (1 - \epsilon_k) \quad (3.16)$$

N sayıdaki yansımadan sonra tahmini çoklu sıçrama ışınma faktörü:

$${}^N B_{ij} = {}^{N-1} B_{ij} + {}^N R_{ik} F_{kj} \epsilon_j \quad (3.17)$$



(Curran ve diğeri, 1995)' e göre:

Yukarıda belirtilen denklemler Radtherm tarafından görüş faktörlerinin çoklu sıçrama görüş faktörlerine dönüştürülmesinde kullanılır.

${}^N B_{ij}$  ,  ${}^{N-1} B_{ij}$  'ye yakın bir değer olduğunda tahmin süreci sonlanır.

### 3.2 SICAKLIKLARIN HESAPLANMASI

Radtherm yazılımı, geçici düğüm sıcaklıklarını ölçmek için örtük teknik kullanır. Fakat ilk önce belirtik çözüm tekniği üzerinde durulacaktır.

Belirtik ve örtük çözüm, kısmi türevli denklemlerin çözümünde kullanılan nümerik algoritmalarıdır.

Belirtik metod, “merkezi fark” nümerik metodu olarak geçer.

Örtük metod ise, “ileri fark” nümerik metodu anlamına gelmektedir.

Sonlu elemanlar literatüründe bu algoritmalarından herhangi biri, kısmi türevli denklemlerin çözümünde kullanılır.

#### 3.2.1 BELİRTİK ÇÖZÜM

Isıl düğüm üzerindeki enerji oranı ,depolanan ısı enerjisine eşittir.

Bunu aşağıdaki denklemle ifade edecelim:

$$\sum Q = MC_p \left( \frac{dT}{dt} \right) \quad (3.18)$$

Q : Isı enerjisi, W

M : Kütle, kg

$C_p$  : Özgül ısı, J/kgK

T : Sıcaklık, K

t : Zaman, s

Bu denklem belirtik metod ile çözüldüğünden , ışıma ısı enerjisini hesaplamak için kullanılan sıcaklıklar bir önceki zaman aralığından alınır ve yeni sıcaklık  $T_i'$  cebirsel çözümle elde edilir.

$$T_i' = T_i + \frac{\nabla t}{M_i C_p} \sum Q_i \quad (3.19)$$

Belirtik çözüm kararsız olduğundan örtük metod tercih edilir.

(Curran, et al. 1995)' e göre,

### 3.2.2 ÖRTÜK ÇÖZÜM

Örtük çözüm yönteminde yeni sıcaklıklar  $T_i'$  , kendi zaman aralığındaki sıcaklıkların kullanılmasıyla bulunur. Sıcaklığın bulunması için her yeni adımda matrix veya iteratif çözüm yolu kullanılır.

Örtük fark ifadesi:

$$\frac{CAP_i}{\nabla t} (T_i' T_i) = \sum_{j \neq i}^N \left[ C_{ij} \left( \frac{T_j' + T_j}{2} - \frac{T_i' + T_i}{2} \right) \right] + Q_i \quad (3.20)$$

$$T_i' = \frac{\left[ \sum_{j \neq i}^N C_{ij} T_j + \sum_{j \neq i}^N C_{ij} T_j' + 2Q_i - T_i \sum_{j \neq i}^N C_{ij} \left( 1 - \frac{2}{STAB_i} \right) \right]}{\sum_{j \neq i}^N C_{ij} \left( 1 + \frac{2}{STAB_i} \right)} \quad (3.21)$$

Bilinmeyen  $T_i'$  sıcaklığı, diğer bilinmeyen  $T_j'$  sıcaklığına bağlı olduğundan ya matris ya da iteratif çözüm tekniği kullanılmalıdır.

Çok sayıdaki ısı düğümler ve lineer olmayan ısıma iletkenliği  $C_{ij}$ , iteratif metodun kullanıldığını işaret eder.

Yakınsaklık, mevcut iterasyon ile bir önceki iterasyon arasındaki sıcaklık farkı  $0.01 - 0.001$  °C arasında olduğunda sağlanır.

### 3.3 UYGULANAN RADTHERM ANALİZİ

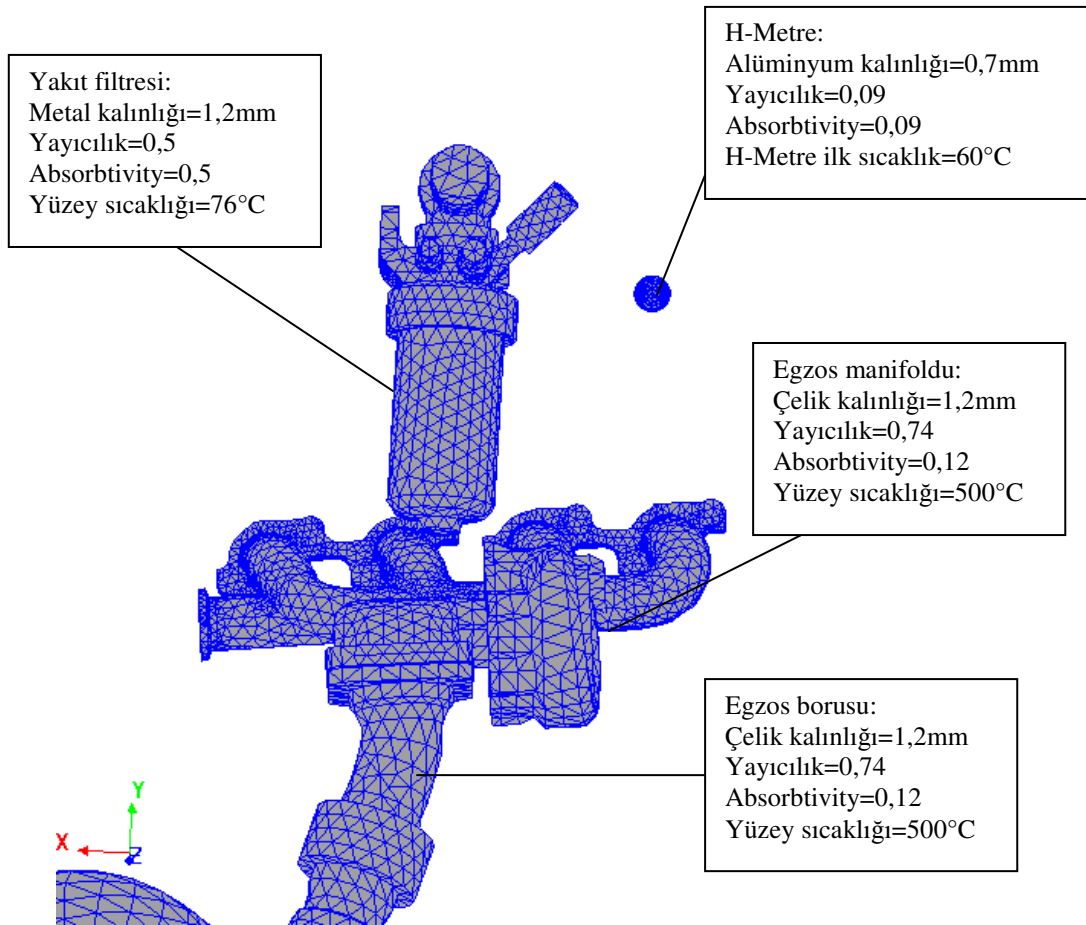
Radtherm analizine, iklimik rüzgar tüneline elde edilen bazı ölçümler sınır şartı olarak girmiştir. Aşağıdaki bölümde, bu sınır şartlarından bahsedilecektir.

H-Metre üzerindeki ısıma ısı geçişi araştırıldığından, taşınım ısı geçişi dikkate alınmamıştır.

Motor bölümündeki hava sıcaklığı  $90^{\circ}\text{C}$  olarak alınmıştır. Sınır şartı olarak giren yakıt filtresi, egzoz manifoldu ve egzoz borusu sıcaklıkları, rüzgar tüneline saatte 30 km hız yapan, 5710 N çekiş gücüne sahip olan ve eğimli bir yolda  $27^{\circ}\text{C}$  çevre sıcaklığında kullanılan aracın simülasyonu ile bulunmuştur.

Rüzgar tüneline, aracın bu simülasyonu gerçekleştirilerek yüzeyler üzerindeki sıcaklıklar ısılıft vasıtasıyla ölçülmüş ve bulunan sıcaklıklar Radtherm analizine sınır şartı olarak girmiştir.

Bahsi geçen bu sınır şartları Şekil 3.3.a'da gösterilmiştir.



ŞEKİL 3.3.a Radtherm analizi için giren sınır şartları

Denklem (2.2) `den H-Metre'ye verilen ısı enerjisi,

$$Q = E_{\text{verilen}} = V * I \quad (2.2)$$

$V = \text{H-Metre'ye uygulanan gerilim} = 11,5 \text{ V}$

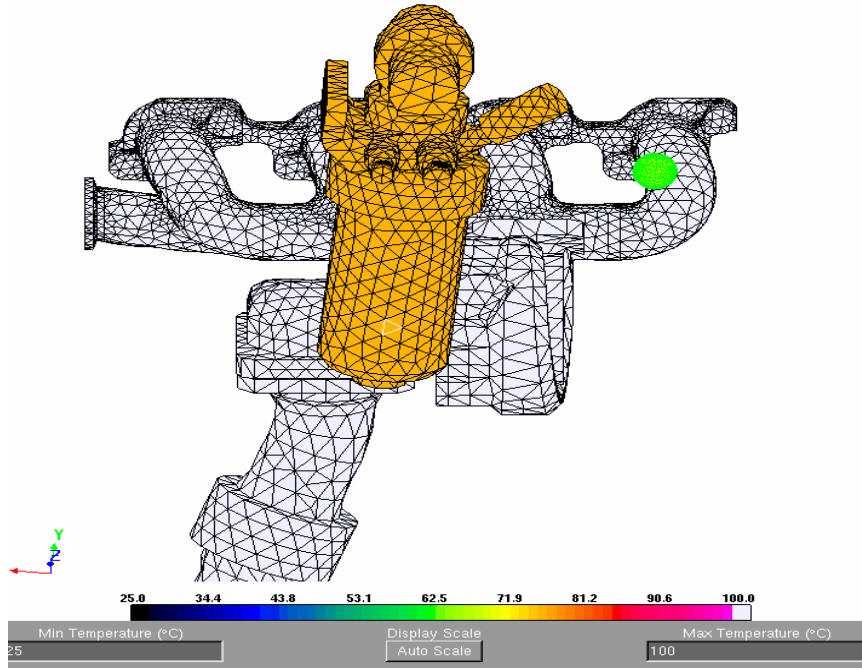
$I = \text{H-Metre'den geçen akım} = 0,063 \text{ Amp}$

$$Q = 0,7245 \text{ W}$$

$T_{\text{çevre sıcaklığı}} = 27^{\circ}\text{C}$

Yukarıda belirtilen sınır şartları uygulanarak, H-Metre yüzeyindeki net ışınma ısı geçişi hesaplanır.

Analiz sonuçları:



ŞEKİL 3.3.b Radtherm analizinde kullanılan geometri ve H-Metre

### H Metre Yüzeyindeki Net Işıma Isı Geçişi

Heat Rates		Boundary Conditions	
<input type="checkbox"/> Display as Flux			
Heat Rate (W)			
	Incident	Outgoing	Net
Q Conduction			-0.512979
Q Convection	0	0	0
Q Radiation	2.29685 *	2.23832 *	0.0585308
Q Imposed			0.724501

ŞEKİL 3.3.c Radtherm analizi sonucu H Metre üzerindeki net ışıma ısı geçişi

Gelen ışıma = H-Metre`ye gelen ışıma ısı enerjisi

Giden Işıma = H-Metre`den ışıma yoluyla ayrılan ısı enerjisi

Net Işıma = Net ışıma ısı enerjisi (gelen-giden)

$$Q_{\text{gelen}} = 2,29685 \text{ W}$$

$$Q_{\text{giden}} = 2,23832 \text{ W}$$

$$Q_{\text{net}} = 0,0585 \text{ W}$$

$Q_{\text{net}}$  , 0'a çok yakın bir değer olduğundan H-Metre üzerindeki ışıma ısı geçişi ihmal edilecek ve hesaplamalarda kullanılmayacaktır.

## 4. RÜZGAR TÜNELİ SONUÇLARI

### 4.1 ŞASI DİNAMOMETRESİ YARDIMIYLA h KATSAYISININ BULUNMASI İÇİN GEREKEN VERİLER

Üçüncü bölümde H-Metre yüzeyine olan net ışıma ısı geçişinin ihmal edilebilir olduğu gösterilmiştir. Bu bilgiyi kullanarak H-Metre içinde ısıtıcı yardımıyla üretilen enerjinin taşınım yoluyla küre yüzeyinden ayrılan enerjiye eşit olacağı kabulü yapılabilir.

(2.7) denklemini tekrar yazalım:

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \quad (2.7)$$

Yukarıdaki denklem açıkça gösteriyor ki taşınım ısı geçiş katsayısının elde edilmesi için  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  ve F değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

$T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  sıcaklıkları sırasıyla H-Metre ısıtıcı, yüzey ve çevre sıcaklıklarıdır.

H Metre ölçü faktörü F, testler sırasında kullanılan aracın değişik bölgelerindeki her bir H-Metre için Tablo 2.5.a`da belirtilmiştir.

Tablo 2.5.a H-Metre F faktörleri (R E Barry Consultants)

H- Metre konumları	F faktörü
H-Metre 1	99,2
H-Metre 2	78,9
H Metre 3	87,4
H-Metre4	91
H Metre 6	59,1
H Metre 7	56,6
H-Metre 8	86,9
H Metre 9	60,5

Yukarıda belirtilen sıcaklık ve F faktörlerinin bilinmesiyle h, taşınım ısı geçiş katsayısı hesaplanabilir.

Taşınım ısı geçiş katsayısını etkileyen en önemli parametrelerden biri hava akış hızı olduğundan, araç farklı hava hızlarına tabi tutulmuştur. Bunun için üç ayrı test gerçekleştirilmiştir. Bunlar sırasıyla 30 km/h, 70 km/h ve maksimum araç hızlarıdır.

Motor ısı kaybı etkisiyle motor bölgesinde oluşan sıcaklıklar taşınım ısı geçiş katsayısını etkileyecek diğer bir parametre olduğundan, araç hızı yanında aracın çekiş gücüyle de oynanarak farklı değerlerde motor ısı kaybı sağlanır. Bu durumun, şasi dinamometresinde farklı yol eğimlerinde sürüş , farklı ağırlıktaki yük miktarları ve çevre sıcaklıklarıyla oynanarak simülasyonu sağlanır. Bunların dışında çekiş gücünü etkileyen birçok parametre olmasına rağmen en önemli olanlara değinildi.

Yukarıda belirtilen ve uygulanan testleri aşağıda üç grup halinde özetleyelim:

Tablo 4.a Rüzgar tüneline uygulanan test koşulları:

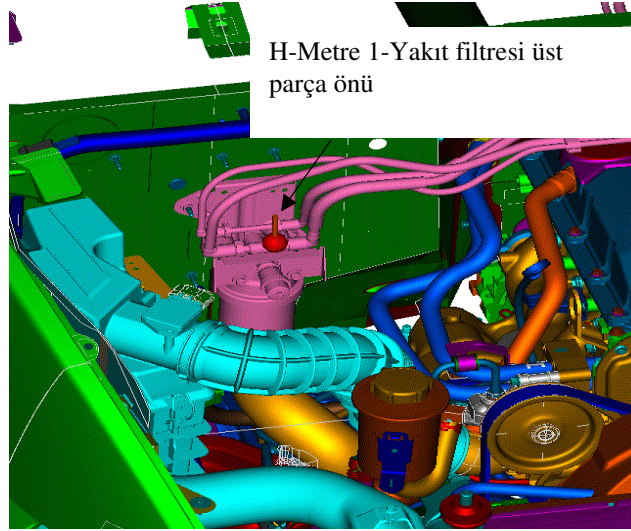
Test No:A	Test No:B	Test No:C
Araç hızı=30 km/h	Araç hızı=70 km/h	Araç hızı=150 km/h
Çekme kuvveti=5710 N	Çekme kuvveti=3800 N	Çekme kuvveti=1700 N
Çevre sıcaklığı=27°C	Çevre sıcaklığı=38°C	Çevre sıcaklığı=35°C

Bu bölümde araç üzerinde, şasi dinamometresi vasıtasıyla yukarıda belirtilen test koşulları uygulanacak ve motor bölümündeki değişik bölgelere yerleştirilen H-Metre üzerindeki sıcaklıklar ısılıçift vasıtasıyla okunacaktır.

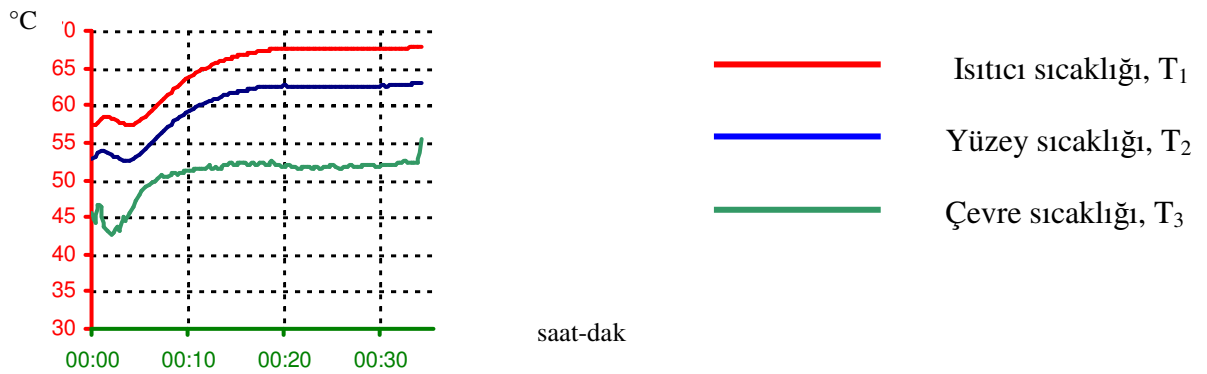
Elde edile sıcaklıklar ve önceden bilinen F faktörü değeriyle beraber denklem 2.7 kullanılarak taşınım ısı geçiş katsayısı araçta sekiz farklı bölge için hesaplanacaktır.

İzleyen 4.2 bölümünde belirtilen testler, şasi dinamometresine 30 km/h araç hızı, 5710 N araç çekiş kuvveti ve 27°C çevre sıcaklığı şartları uygulanılarak yapılmıştır. Bu testler başlıklarda “TEST A” olarak belirtilecektir.

#### 4.2.1 TEST A – YAKIT FİLTRESİ ÖN BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



Şekil 4.2.1.a H-Metre 1-Yakıt filtresi üst parça önü



Şekil 4.2.1.b H-Metre 1 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

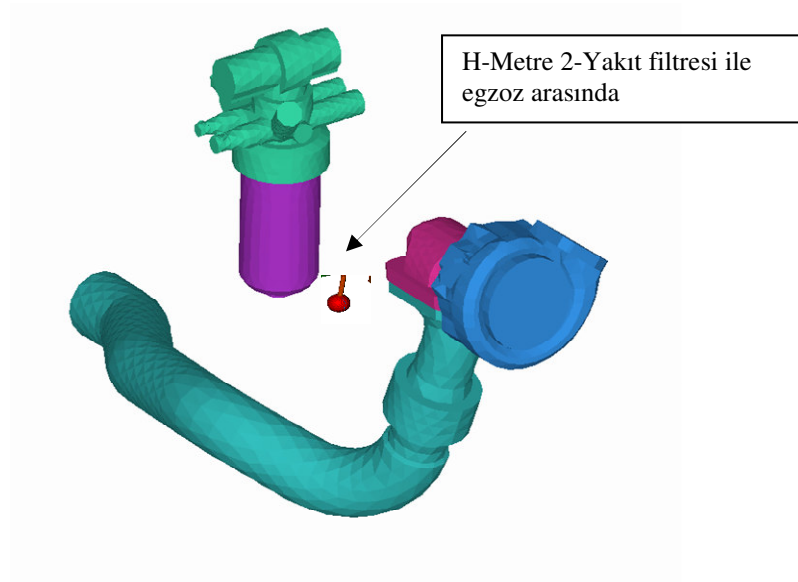
$$\begin{aligned} T_1 &= 68^\circ\text{C} \\ T_2 &= 63^\circ\text{C} \\ T_3 &= 52^\circ\text{C} \\ F &= 99,2 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 99,2 \frac{68 - 63}{63 - 52}$$

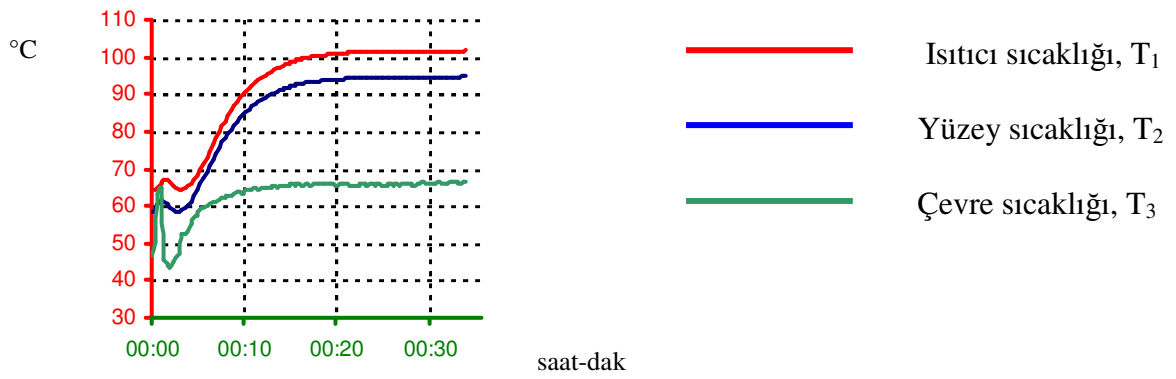
$$h = 45,09 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$



#### 4.2.2 TEST A – YAKIT FİLTRESİ VE EGZOS ARASINDAKİ BÖLGEDE TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



ŞEKİL 4.2.2.a H-Metre 2-Yakıt filtresi ile egzoz arasında

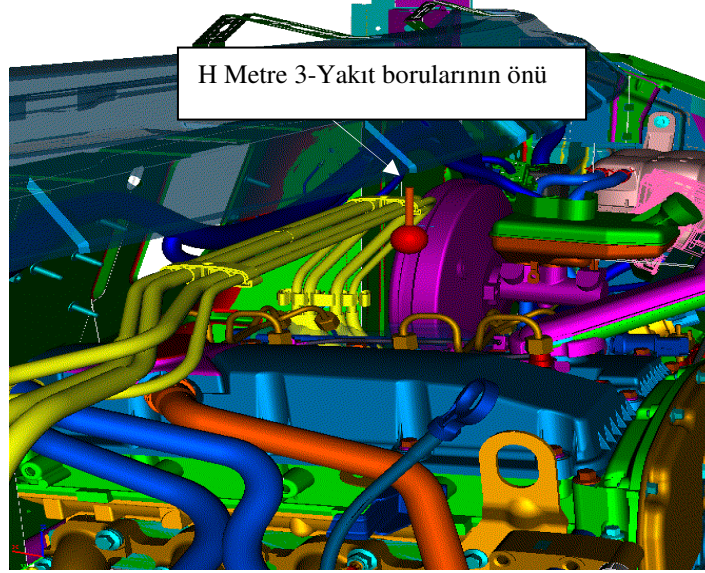


Şekil 4.2.2.b H-Metre 2 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

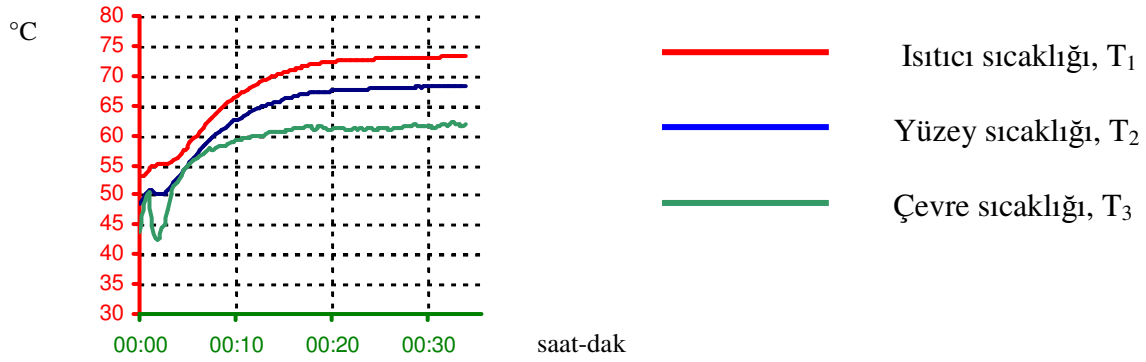
$$\begin{aligned}
 T_1 &= 102^\circ\text{C} \\
 T_2 &= 95^\circ\text{C} \\
 T_3 &= 66^\circ\text{C} \\
 F &= 78,9
 \end{aligned}
 \quad
 h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3}
 \quad
 \longrightarrow
 \quad
 h = 78,9 \frac{102 - 95}{95 - 66}$$

$h = 19,04 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

#### 4.2.3 TEST A – YAKIT BORULARININ ÖNÜNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



ŞEKİL 4.2.3.a H Metre 3-Yakıt borularının önü



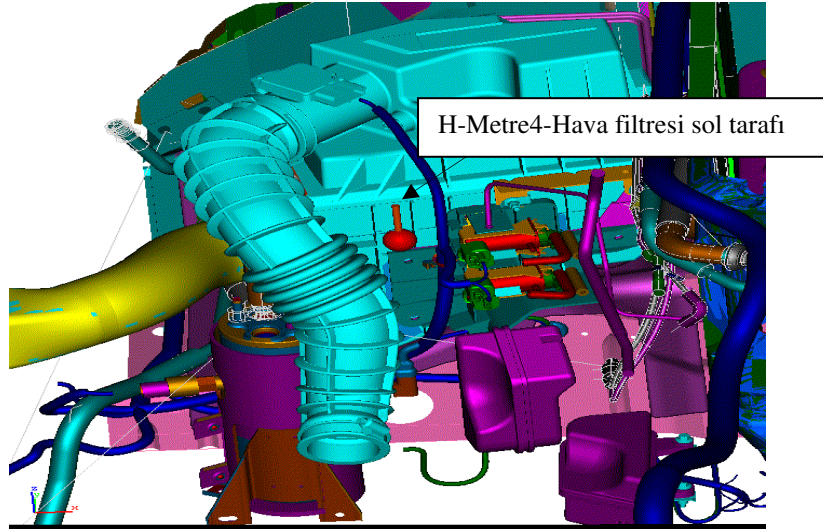
Şekil 4.2.3.b H-Metre 3 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 73^\circ\text{C} \\ T_2 &= 68^\circ\text{C} \\ T_3 &= 62^\circ\text{C} \\ F &= 87,4 \end{aligned}$$

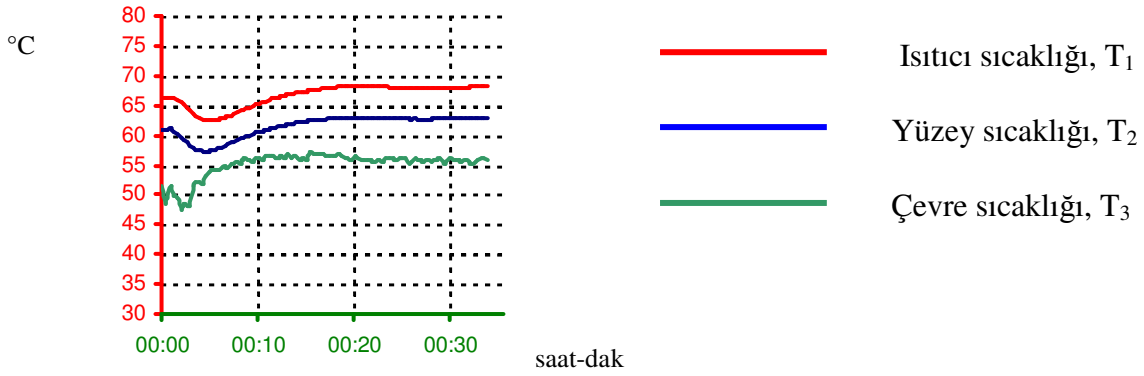
$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 87,4 \frac{73 - 68}{68 - 62}$$

$$\boxed{h = 72,83 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

#### 4.2.4 TEST A – HAVA FİLTRESİ BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



ŞEKİL 4.2.4.a H-Metre4-Hava filtresi fol tarafı



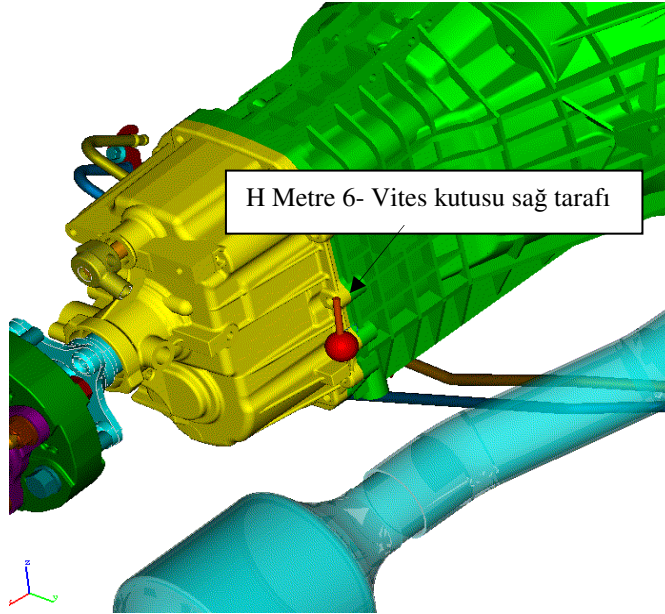
Şekil 4.2.4.b H-Metre 4 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 68^\circ\text{C} \\ T_2 &= 63^\circ\text{C} \\ T_3 &= 56^\circ\text{C} \\ F &= 91 \end{aligned}$$

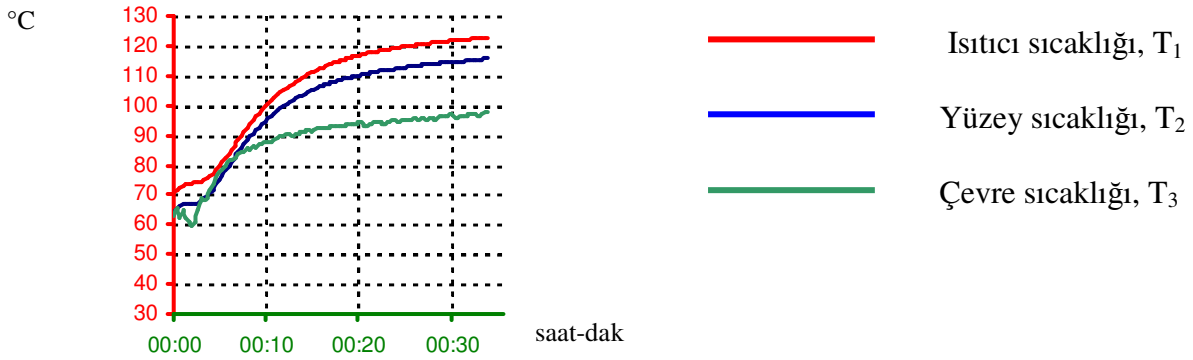
$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 91 \frac{68 - 63}{63 - 56}$$

$$\boxed{h = 65 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

#### 4.2.5 TEST A – VİTES KUTUSU BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



ŞEKİL 4.2.5.a H Metre 6- Vites kutusu sağ tarafı



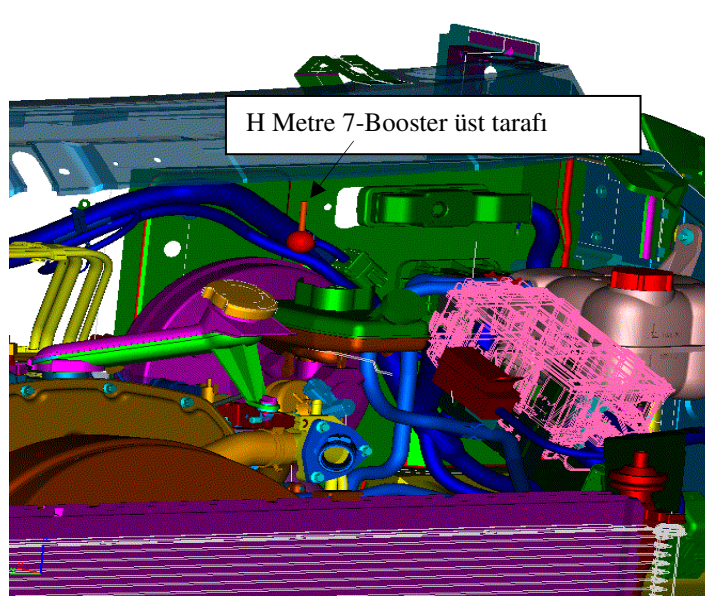
Şekil 4.2.5.b H-Metre 6 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 122^\circ\text{C} \\ T_2 &= 115^\circ\text{C} \\ T_3 &= 97^\circ\text{C} \\ F &= 59,1 \end{aligned}$$

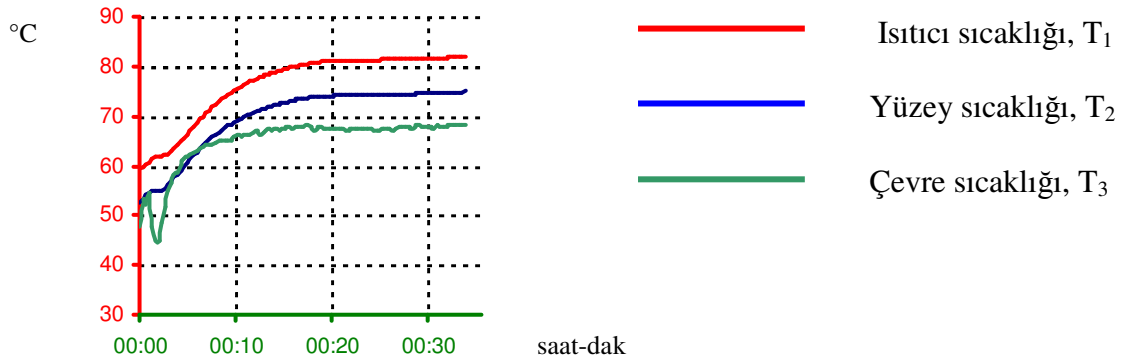
$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 59,1 \frac{122 - 115}{115 - 97}$$

$$h = 22,98 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 4.2.6 TEST A – BOOSTER BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



ŞEKİL 4.2.6.a H Metre 7-Booster üst tarafı



Şekil 4.2.6.b H-Metre 7 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 82^\circ\text{C} \\
 T_2 &= 75^\circ\text{C} \\
 T_3 &= 68^\circ\text{C} \\
 F &= 56,6
 \end{aligned}$$

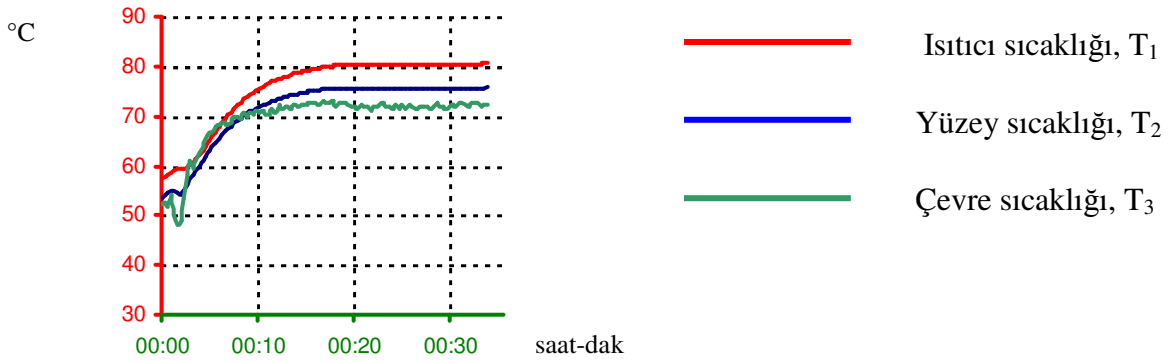
$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 56,6 \frac{82 - 75}{75 - 68}$$

$$\boxed{h = 56,6 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

#### 4.2.7 TEST A – ELEKTRİK KABLOSU BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



ŞEKİL 4.2.7.a H-Metre 8 - Elektrik kablosu ön tarafı



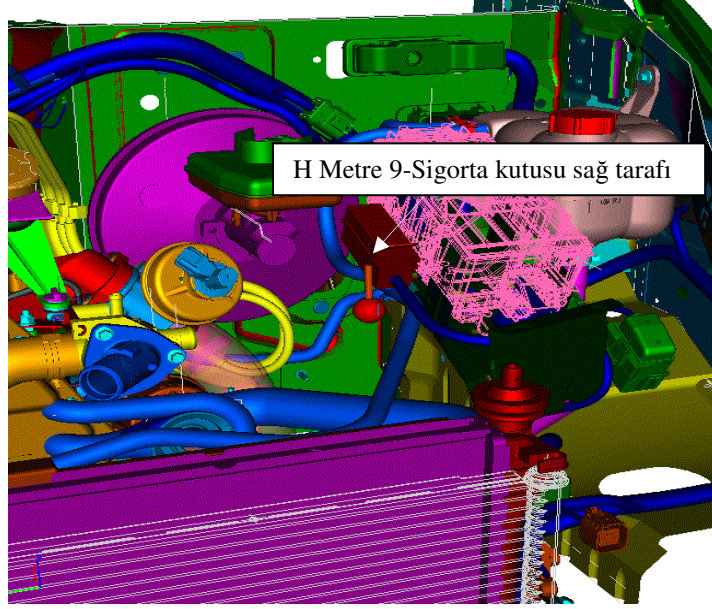
Şekil 4.2.7.b H-Metre 8 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 86,9 \frac{81 - 76}{76 - 72}$$

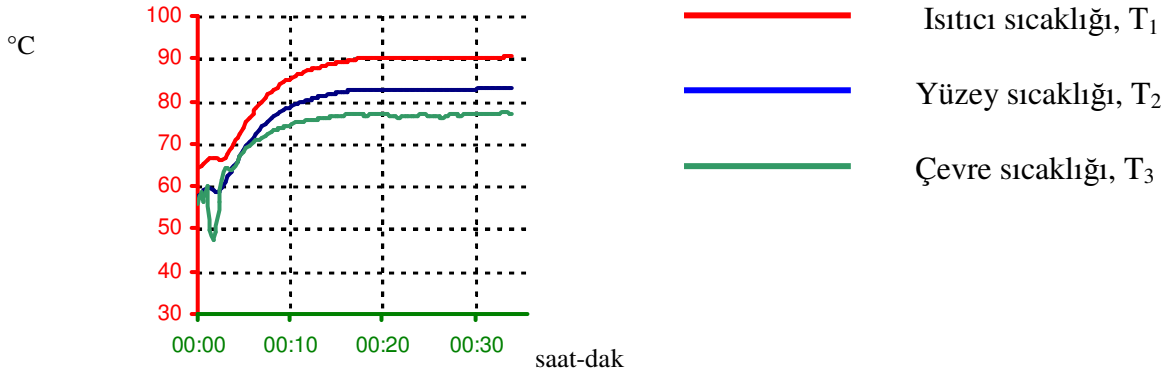
$T_1 = 81^\circ\text{C}$   
 $T_2 = 76^\circ\text{C}$   
 $T_3 = 72^\circ\text{C}$   
 $F = 86,9$

$h = 108,63 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

#### 4.2.8 TEST A – SİGORTA KUTUSU BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



ŞEKİL 4.2.8.a H Metre 9-Sigorta kutusu sağ tarafı



Şekil 4.2.8.b H-Metre 9 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$T_1 = 90^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 83^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 77^\circ\text{C}$$

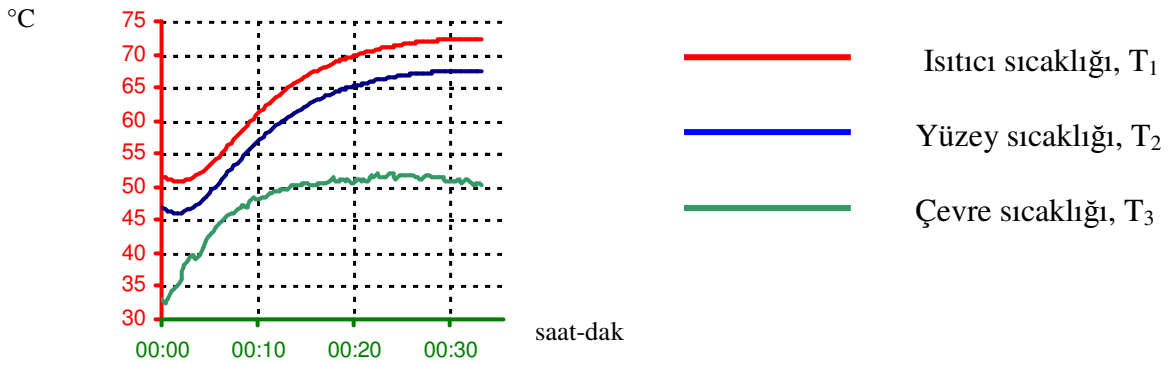
$$F = 60,5$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 60,5 \frac{90 - 83}{83 - 77}$$

$$h = 70,58 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

İzleyen 4.3 bölümünde belirtilen testler şasi dinamometresine 70 km/h araç hızı, 3800 N araç çekiş kuvveti ve 38°C çevre sıcaklığı şartları uygulanarak yapılmıştır. Bu şartlarla araç motorunun maksimum güç üretmesi sağlanmıştır. Bu sınır şartlarıyla yapılan testler 4.3 bölümünde “TEST B” olarak ifade edilecektir.

#### 4.3.1 TEST B – YAKIT FİLTRESİ ÖN BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



Şekil 4.3.1 H-Metre 1 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 72^\circ\text{C} \\ T_2 &= 67^\circ\text{C} \\ T_3 &= 50^\circ\text{C} \\ F &= 99,2 \end{aligned}$$

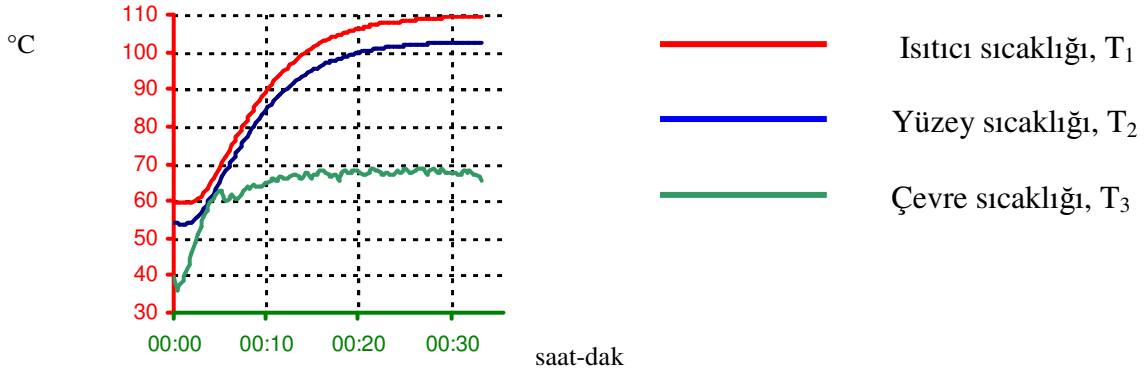
$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3}$$

$$h = 99,2 \frac{72 - 67}{67 - 50}$$

$$\boxed{h = 29,17 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$



#### 4.3.2 TEST B – YAKIT FİLTRESİ VE EGZOS ARASINDAKİ BÖLGEDE TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



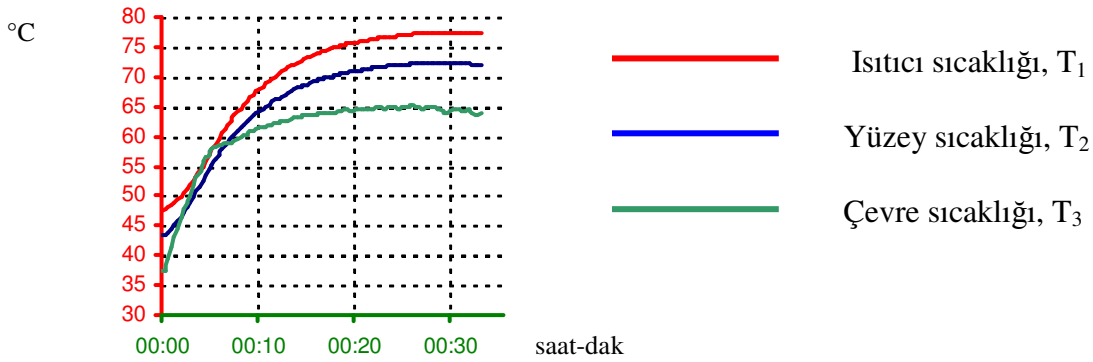
Şekil 4.3.2 H-Metre 2 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 109^\circ\text{C} \\ T_2 &= 103^\circ\text{C} \\ T_3 &= 67^\circ\text{C} \\ F &= 78,9 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 78,9 \frac{109 - 103}{103 - 67}$$

$$h = 13,15 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.3.3 TEST B – YAKIT BORULARININ ÖNÜNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



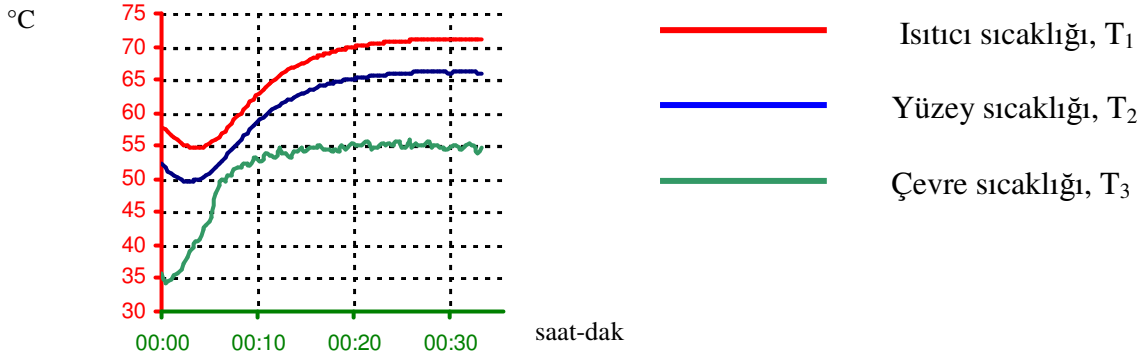
Şekil 4.3.3 H-Metre 3 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 77^\circ\text{C} \\ T_2 &= 72^\circ\text{C} \\ T_3 &= 64^\circ\text{C} \\ F &= 87,4 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 87,4 \frac{77 - 72}{72 - 64}$$

$$h = 54,63 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.3.4 TEST B – HAVA FİLTRESİ BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



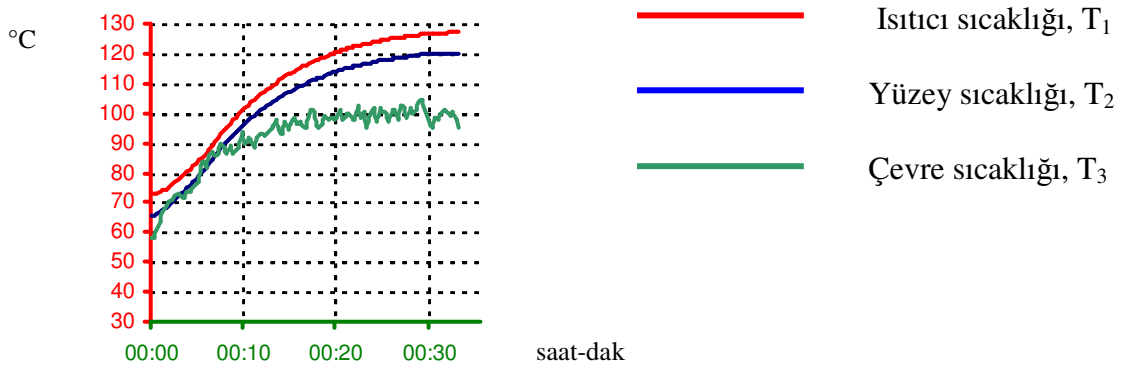
Şekil 4.3.4 H-Metre 4 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 71^\circ\text{C} \\ T_2 &= 66^\circ\text{C} \\ T_3 &= 55^\circ\text{C} \\ F &= 91 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 91 \frac{71 - 66}{66 - 55}$$

$$h = 41,36 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.3.5 TEST B – VİTES KUTUSU BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



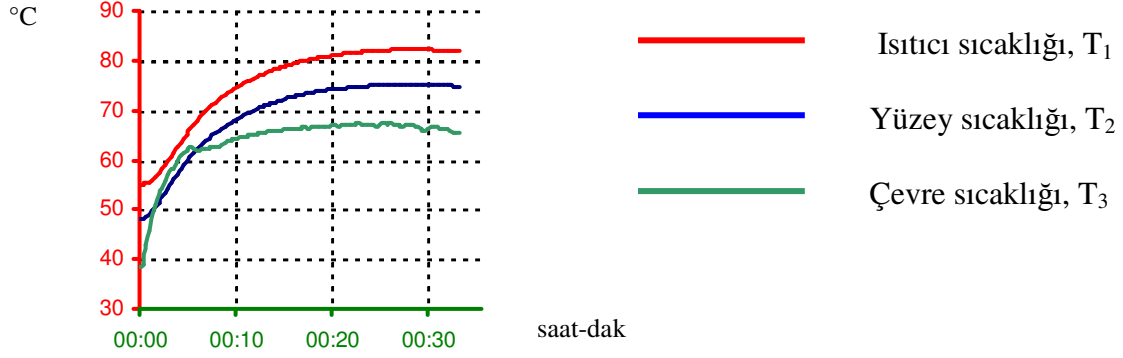
Şekil 4.3.5 H-Metre 6 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 127^\circ\text{C} \\ T_2 &= 120^\circ\text{C} \\ T_3 &= 98^\circ\text{C} \\ F &= 59,1 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 59,1 \frac{127 - 120}{120 - 98}$$

$$h = 18,8 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 4.3.6 TEST B – BOOSTER BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



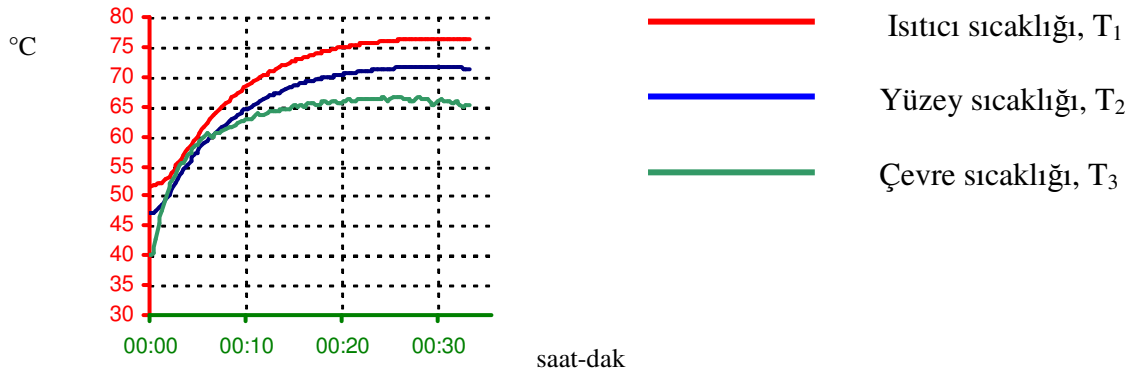
Şekil 4.3.6 H-Metre 7 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 82^\circ\text{C} \\ T_2 &= 75^\circ\text{C} \\ T_3 &= 66^\circ\text{C} \\ F &= 56,6 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 56,6 \frac{82 - 75}{75 - 66}$$

$$h = 44 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 4.3.7 TEST B – ELEKTRİK KABLOSU BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



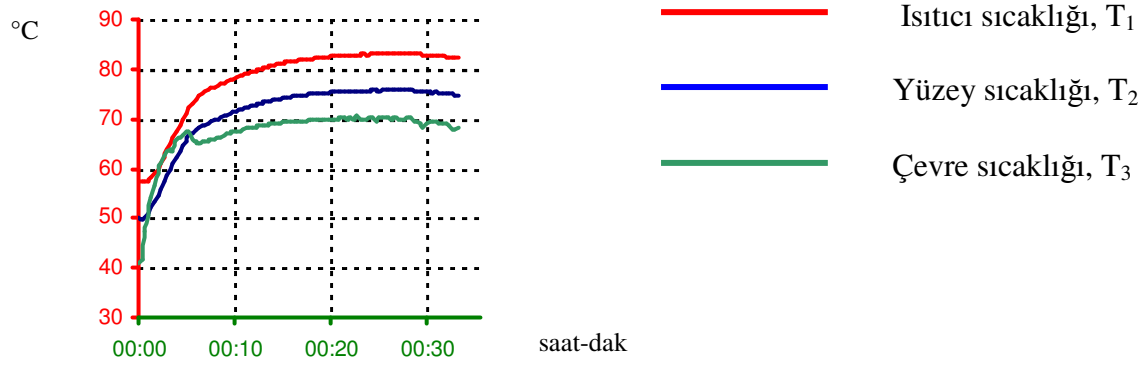
Şekil 4.3.7 H-Metre 8 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 76^\circ\text{C} \\ T_2 &= 72^\circ\text{C} \\ T_3 &= 66^\circ\text{C} \\ F &= 86,9 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 86,9 \frac{76 - 72}{72 - 66}$$

$$h = 57,93 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.3.8 TEST B – SİGORTA KUTUSU BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



Şekil 4.3.8 H-Metre 9 Isıtıcı, yüze ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 83^\circ\text{C} \\ T_2 &= 75^\circ\text{C} \\ T_3 &= 69^\circ\text{C} \\ F &= 60,5 \end{aligned}$$

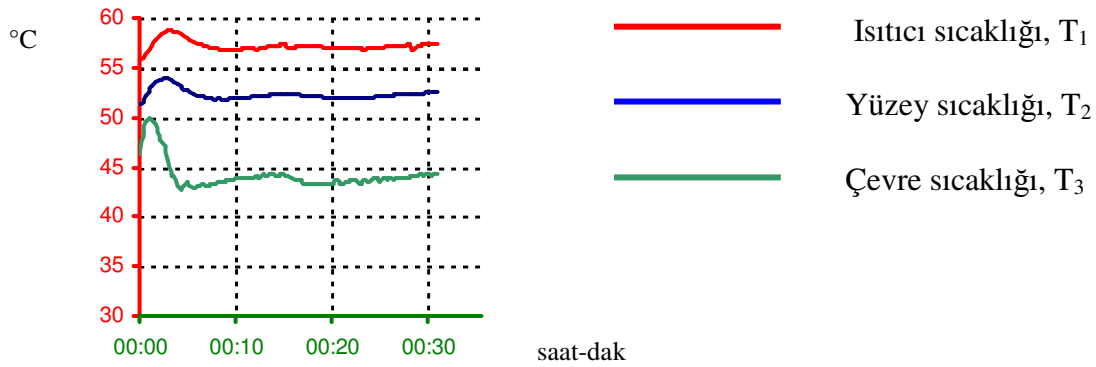
$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3}$$

$$h = 60,5 \frac{83 - 75}{75 - 69}$$

$$\boxed{h = 80,66 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

İzleyen 4.4 bölümünde belirtilen testlere, şasi dinamometresine maksimum araç hızı, 1700 N araç çekiş kuvveti ve 35°C çevre sıcaklığı şartları uygulanmıştır. Bu sınır şartlarıyla yapılan testler 4.4 bölümünde “TEST C” olarak ifade edilecektir.

#### 4.4.1. TEST C – YAKIT FİLTRESİ ÖN BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



Şekil 4.4.1 H-Metre 1 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

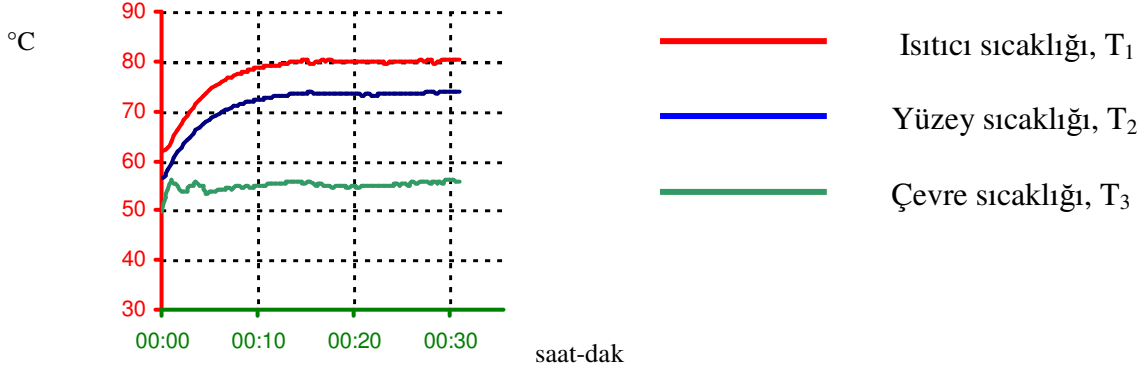
$$\begin{aligned}
 T_1 &= 57^\circ\text{C} \\
 T_2 &= 52^\circ\text{C} \\
 T_3 &= 44^\circ\text{C} \\
 F &= 99,2
 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3}$$

$$h = 99,2 \frac{57 - 52}{52 - 44}$$

$$\boxed{h = 62 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

#### 4.4.2 TEST C – YAKIT FİLTRESİ VE EGZOS ARASINDAKİ BÖLGEDE TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



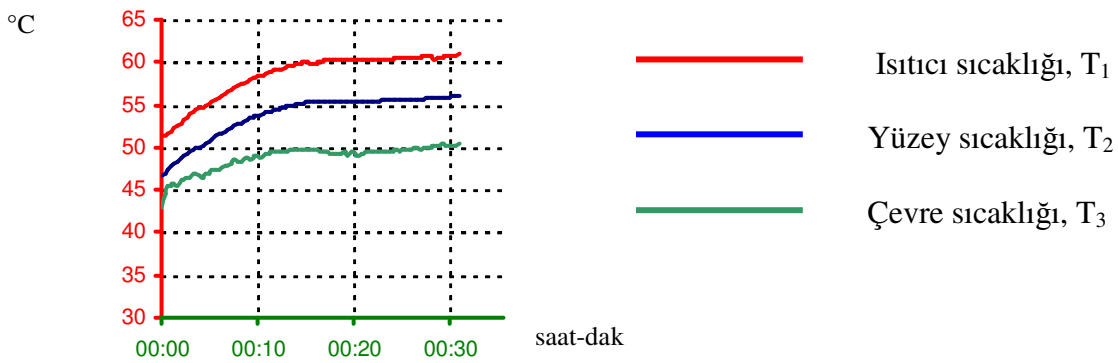
Şekil 4.4.2 H-Metre 2 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 80^\circ\text{C} \\ T_2 &= 74^\circ\text{C} \\ T_3 &= 56^\circ\text{C} \\ F &= 78,9 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 78,9 \frac{80 - 74}{74 - 56}$$

$$h = 26,3 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.4.3 TEST C – YAKIT BORULARININ ÖNÜNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



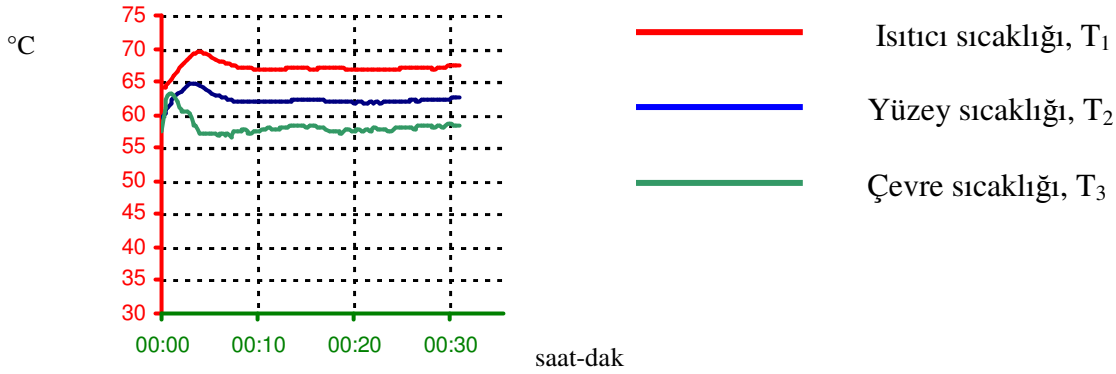
Şekil 4.4.3 H-Metre 3 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 61^\circ\text{C} \\ T_2 &= 56^\circ\text{C} \\ T_3 &= 50^\circ\text{C} \\ F &= 87,4 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \longrightarrow h = 87,4 \frac{61 - 56}{56 - 50}$$

$$h = 72,83 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.4.4 TEST C – HAVA FİLTRESİ BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI

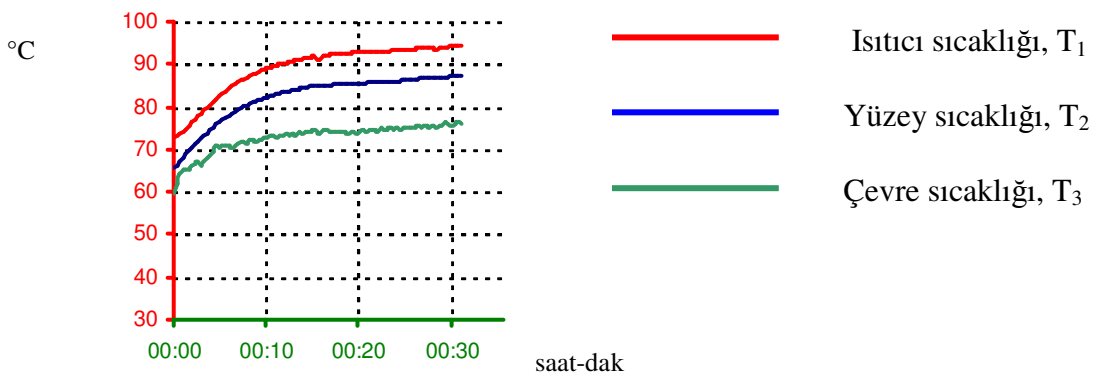


Şekil 4.4.4 H-Metre 4 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 67^\circ\text{C} \\
 T_2 &= 62^\circ\text{C} \\
 T_3 &= 58^\circ\text{C} \\
 F &= 91
 \end{aligned}
 \quad
 h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3}
 \quad
 \longrightarrow
 \quad
 h = 91 \frac{67 - 62}{62 - 58}$$

$$\boxed{h = 113,75 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

#### 4.4.5 TEST C – VİTES KUTUSU BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI

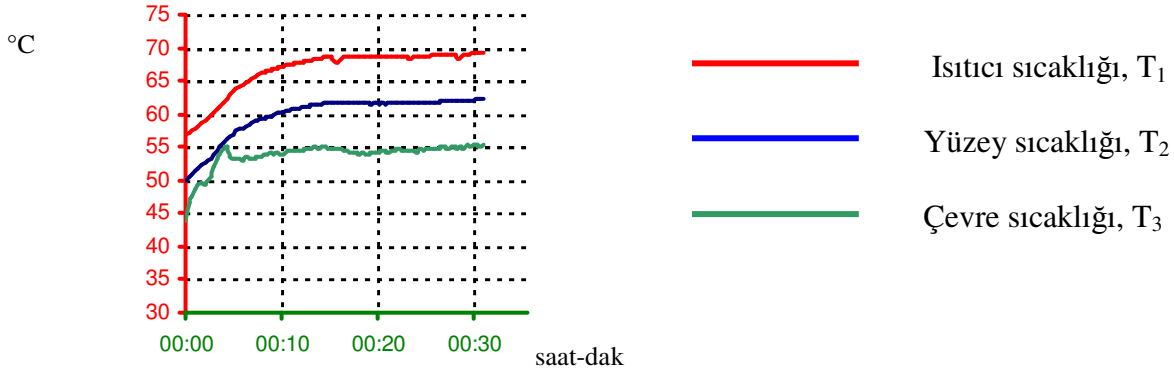


Şekil 4.4.5 H-Metre 6 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 94^\circ\text{C} \\
 T_2 &= 87^\circ\text{C} \\
 T_3 &= 76^\circ\text{C} \\
 F &= 59,1
 \end{aligned}
 \quad
 h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3}
 \quad
 \longrightarrow
 \quad
 h = 59,1 \frac{94 - 87}{87 - 76}$$

$$\boxed{h = 37,6 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

## 4.4.6 TEST C – BOOSTER BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI

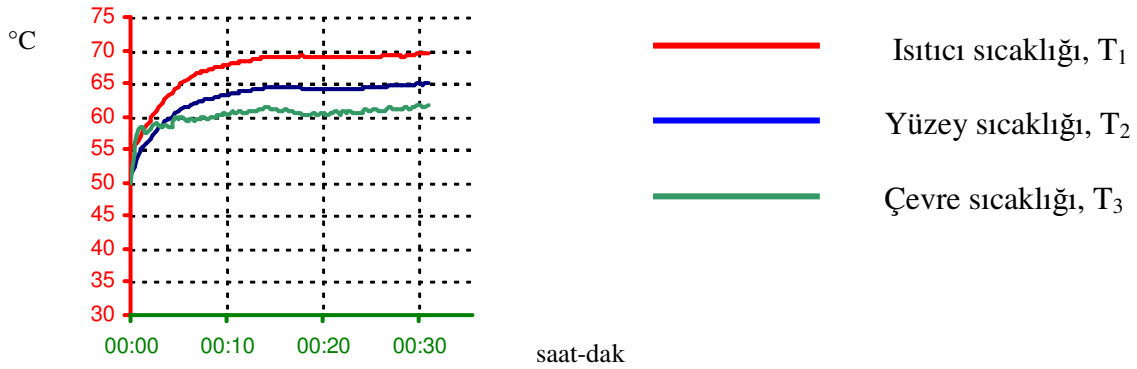


Şekil 4.4.6 H-Metre 7 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 69^\circ\text{C} \\
 T_2 &= 62^\circ\text{C} \\
 T_3 &= 55^\circ\text{C} \\
 F &= 56,6
 \end{aligned}
 \quad
 h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3}
 \quad
 \longrightarrow
 \quad
 h = 56,6 \frac{69 - 62}{62 - 55}$$

$$\boxed{h = 56,6 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

## 4.4.7 TEST C – ELEKTRİK KABLOSU BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



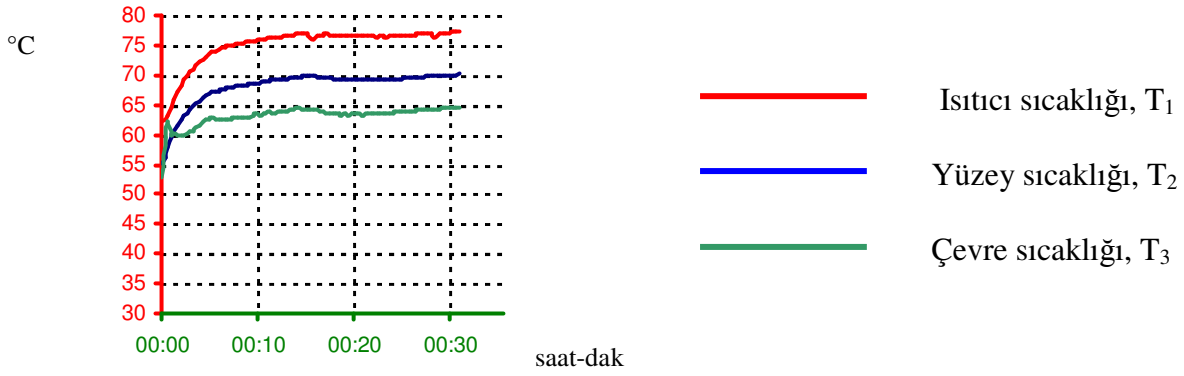
Şekil 4.4.7 H-Metre 8 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 69^\circ\text{C} \\
 T_2 &= 65^\circ\text{C} \\
 T_3 &= 61^\circ\text{C} \\
 F &= 86,9
 \end{aligned}
 \quad
 h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3}
 \quad
 \longrightarrow
 \quad
 h = 86,9 \frac{69 - 65}{65 - 61}$$

$$\boxed{h = 86,9 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$



#### 4.4.8 TEST C – SİGORTA KUTUSU BÖLGESİNDEKİ TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



Şekil 4.4.8 H-Metre 9 Isıtıcı, yüzey ,çevre sıcaklık – zaman grafiği

$$\begin{aligned} T_1 &= 77^\circ\text{C} \\ T_2 &= 70^\circ\text{C} \\ T_3 &= 64^\circ\text{C} \\ F &= 60,5 \end{aligned}$$

$$h = F \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3}$$

$$h = 60,5 \frac{77 - 70}{70 - 64}$$

$$\boxed{h = 70,58 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Rüzgar tüneline, H-Metre vasıtasıyla bulunan taşınım ısı geçiş katsayıları tablo 4.b'de özetlenmiştir.

Tablo 4.b Motor bölümünde çeşitli bölgelerdeki ortalama taşınım ısı geçiş katsayısı  
h ,W/m<sup>2</sup> °C

h , W/m <sup>2</sup> °C	Test No:A Araç Hızı=30 km/h Çekme Kuvveti=5710 N Çevre Sıcaklığı:27°C	Test No:B Araç Hızı=70 km/h Çekme Kuvveti=3800 N Çevre Sıcaklığı:38°C	Test No:C Araç Hızı=150 km/h Çekme Kuvveti=1700 N Çevre Sıcaklığı:35°C
H-Metre 1- yakıt filtresi üst parça	45,09	29,17	62
H-Metre 2- yakıt filtresi ve egzoz arasında	19,04	13,15	26,3
H-Metre 3- yakıt borularının önü	72,83	54,63	72,83
H-Metre 4- hava filtresi sol tarafı	65	41,36	113,75
H-Metre 6- vites kutusu sağ tarafı	22,98	18,8	37,6
H-Metre 7- booster üst tarafı	56,6	44	56,6
H-Metre 8 – elektrik kablosu ön tarafı	108,63	57,93	86,9
H-Metre 9- sigorta kutusu sağ tarafı	70,58	80,66	70,58

## 5. CFD ANALİZİ

Herhangi bir akışkanın analizinde aşağıda belirtilen 3 ana prensip söz konusudur.

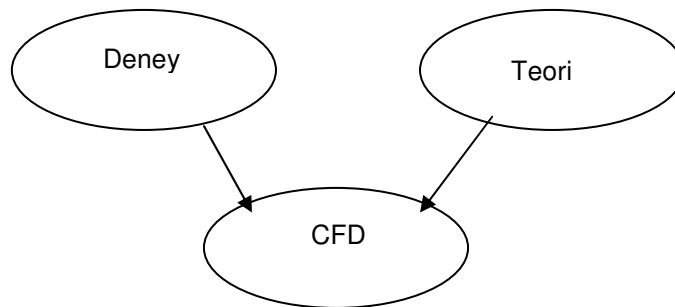
- 1- Kütle korunumu
- 2-  $F=ma$  (Newton ikinci yasası)
- 3- Enerjinin korunumu

Bu üç ana prensip matematiksel denklemlerle ifade edilebilir ve bu matematiksel denklemlerin genel formu kısmi türevli denklemlerdir. Sayısal akışkanlar dinamiği, genel olarak akışa ait kısmi türevli denklemlerin sayılarla ifade edilmesidir. Bu sayılar, ilgilenilen akış alanının nümerik olarak ifade edilmesinde kullanılır. Bu, sayısal akışkanlar dinamiğini tam olarak tarif etmeye yetmez. Bazı problemler, zaman ve uzay kavramlarını katmadan çözüm gerektirir, bazı uygulamalar ise kısmi türevli denklemlerden ziyade integral denklemlerle çözümü gerektirir. Yukarıda bahsedilen tüm uygulamalarda CFD, sayılarla çözümü içerir.

CFD analizlerinin her alanda pratik olarak kullanımı, dijital bilgisayarların yüksek hızla ulaşmasıyla artmaktadır.

CFD çözümü genellikle milyonlarca sayının tekrar tekrar manipülasyonunu gerektirir ki bu da bilgisayar yardımı olmadan problemin çözümünü mümkün kılmaz. Bu sebeple CFD uygulamalarının detaylı çözümü büyük ölçüde CFD analizinin yapılacağı bilgisayar donanımına, bilgi depolama alanına ve çalışma hızına bağlıdır.

CFD günümüzde mühendislik alanında önemli bir rol oynamaktadır. CFD ,akışkanlar dinamiğinde “üçüncü boyut” olarak düşünülebilir. Diğer iki boyut ise deney ve teoridir. (Anderson, 2006)



Aşağıda anlatılan program, motor bölümündeki hava akışı analizinin yapılmasında kullanılır.

Program, türbülanslı, düzgün ve sıkıştırılmaz akışı, standart k-e turbülans modelini kullanarak, Reynolds averaged Navier stokes denklemleriyle çözer. (Costa, 2003)

Kütle, momentum ve enerjinin korunum denklemleri, algebraic denklemlere dönüştürülmüştür.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5.1)$$

Momentum denklemi:

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left( \bar{p} + \frac{2}{3} \bar{k} \right) + \mu \nabla^2 \bar{u}_i - \frac{\partial R_{ij}}{\partial x_j} \quad (5.2)$$

Reynolds stres,  $R_{ij}$

$$R_{ij} = \overline{u'_i u'_j}$$

$\bar{u}$  = Zaman ortalamalı hız

$\bar{u}$  = Koordinat yönü

$\rho$  = Yoğunluk

$\bar{p}$  = Zaman ortalamalı basınç

$k$  = Türbülans kinetik enerjisi

Program, ideal gaz yaklaşımıyla yoğunluğun sıcaklıkla değişimini sağlar ve küçük basınç değişimlerini ihmal eder.

Sınırlarda Wall Function metodu uygulanmıştır.

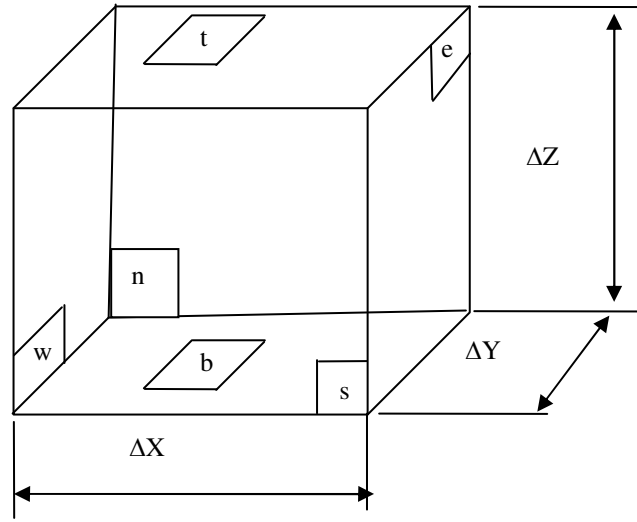
Geometri için üçgen yüzey ağ kullanılmıştır.

Isı değiştirgeçleri için momentum ve ısı geçiş denklemleri kullanılmıştır.

Fanlar, 3 boyutlu momentum kaynağı olarak ele alınmıştır.

Sonlu kontrol hacmi olarak yapısal kartezyan grid kullanılmıştır.  
(Introduction to Computational Fluid Dynamics, Mindware Knowledge Based Engineering)'e göre

Kütlenin korunumu,



ŞEKİL 5.a Kontrol hacmi

Yüzeyleri  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  ve  $\Delta Z$  olan kontrol hacmi ele alalım:

İlgilenilen akış kararlı ve sıkıştırılamaz olduğundan,

Hacim içerisindeki kütle değişimi + net kütle akısı = 0

$$\frac{d\rho V}{dt} + (\rho u A)_e - (\rho u A)_w + (\rho v A)_n - (\rho v A)_s + (\rho w A)_t - (\rho w A)_b = 0 \quad (5.3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (5.4)$$

$$\nabla(\bar{V}) = 0 \quad (5.5)$$

Momentumun korunumu:

İlgilenilen akış viskoz akış olduğundan momentum denklemleri için Navier-Stokes denklemleri kullanılacaktır

$$\frac{d}{dt}(\text{momentum}) + \text{netmomentum} = \text{kuvvet}$$

$$\frac{d}{dt}(\rho V u) + \sum_{\text{tüm yüzeyler}} m_y \dot{u} = F \quad (5.6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v u) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w u) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (5.7)$$

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (5.8)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + (v \nabla) v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v \quad (5.9)$$

Enerjinin korunumu:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_\zeta = 0 \quad (5.10)$$

$$\rho C_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \phi \quad (5.11)$$

Isı geçiş katsayısı  $h$ , motor bölümünde çeşitli bölgelerde H-Metre yardımı ile belirlenmiştir. Bu değer, rüzgar tüneline araç test edilerek bulunmuştur.

İzleyen çalışmada ısı geçiş katsayısı  $h$ , sayısal akışkanlar dinamiği (Computational Fluid Dynamics-CFD) esas alınarak hazırlanmış bilgisayar destekli mühendislik programında (CAE) bulunacaktır.

CFD programına, motor bölümündeki parçaların yüzey sıcaklıkları bilgisi girilmiştir. Bu yüzey sıcaklıkları, önceden rüzgar tüneline aracı test ederek elde edilmiştir. Bu deneyle elde edilen sonuçlar CFD programına aktarılmıştır.

Motor bölümündeki parçaların çevresindeki ısı geçiş katsayısının bulunması için kullanılacak CFD programına gereken bilgiler aşağıda belirtilmiştir.

1. Model geometrisi : Araç ve motor bölümündeki parçaların yüzeylerinin ağ şekline dönüştürülmesi.
2. Hesaplama bölgesi : Ağ modeli üzerinde 3 boyutlu dikdörtgen grid
3. Dış çalışma şartları
4. Motor bölümünde bulunan parçaların bilgisi

Bu CAE programı, gerekli denklemleri kullanıcının belirlediği iterasyon seviyesine ulaşıncaya kadar zaman ortalamalı 3 boyutlu Navier-Stokes denklemlerini kullanarak çözer.

Isı değiştirgeçleri ve fan performans değerleri programa girilir.

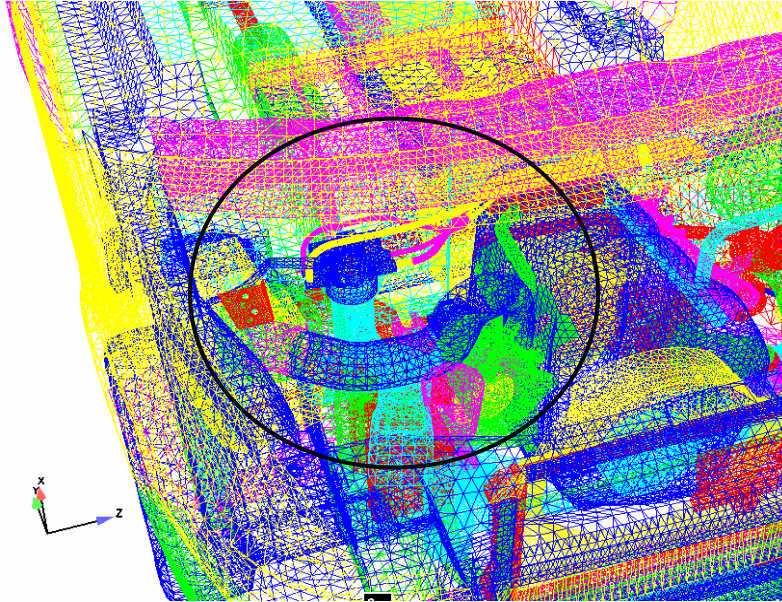
CFD programına aşağıda belirtilen sınır şartları girilmiştir:

Çevre sıcaklığı = 27°C  
Ortam basıncı = 1,01325 \* 10e+05  
Hava giriş hızı = 8,3 m/s  
Motor ısı kaybı = 61 kW  
Kondenser ısı kaybı = 8 kW  
Büyük fan hızı = 3800 RPM  
Küçük fan hızı = 2500 RPM

CFD analizinin yapılması, her zaman şasi dinamometresi vasıtasıyla rüzgar tüneline deneysel yollarla yapılan analizden ekonomiktir. Ayrıca istenilen dizayn değişikliği geometri üzerinde yapıp bu değişikliğin etkisi kısa zamanda görülebilir. Rüzgar tüneline ihtiyaç duyulacak olan prototip parça yapılma maliyetine, parçanın yapılması için gerekli zaman dilimine ve rüzgar tüneline çalıştırılmasına gerek kalmadan bilgisayarda gerekli CFD yazılımı kullanılarak analiz yapılabilir. Yukarıda belirtilen avantajlar CFD analizinin günümüzde deneysel yollarla yapılan analizleri azaltarak dizayn aşamasındaki kullanımını artırmaktadır. İzleyen bölümde taşınım ısı geçiş katsayısı 4. bölümde deneysel yolla elde edilen konumlarda sayısal akışkanlar dinamiği yöntemiyle bulunup, CFD ve deneysel yolla elde edilen sonuçların birbirine ne kadar yaklaştığı tartışılacaktır.

Şekil 5.b 'de sayısal akışkanlar dinamiği programında araç geometrisinin temsil edilmesinde kullanılan üçgen yüzey mesh modeli gösterilmektedir.

Yapılan analizin amacı akışkanın yani motor bölümündeki hava akışının değişimini tahmin etmek ve ısı geçiş analizini yaparak ortalama taşınım ısı geçiş katsayısını bulmaktır.



ŞEKİL 5.b Geometri – Mesh model

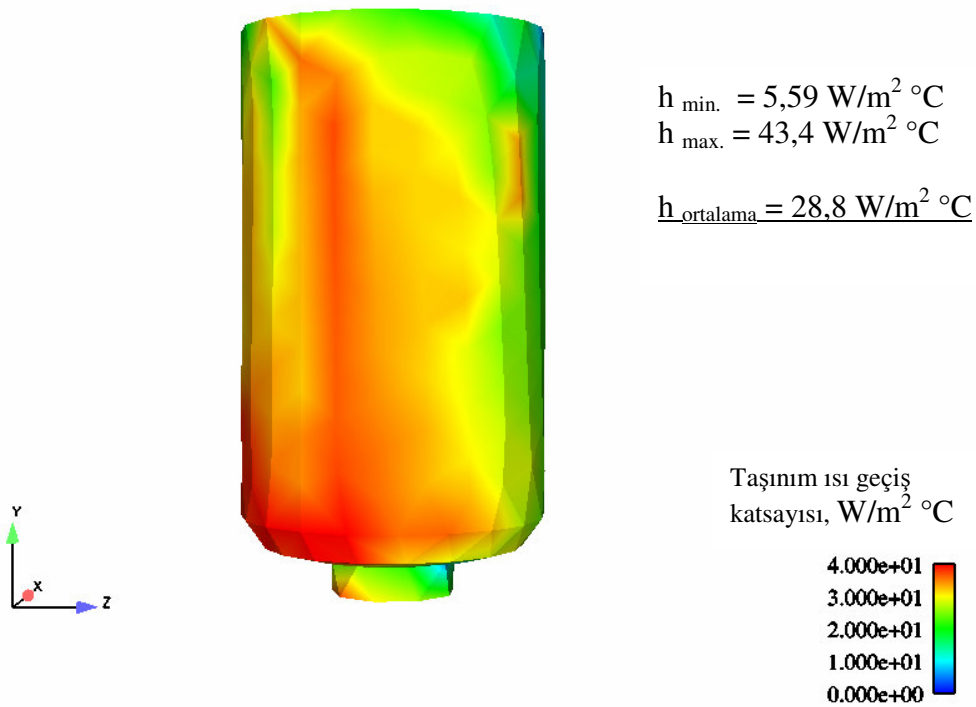


### 5.1.1 YAKIT FİLTRESİ ALT PARÇA ÇEVRESİNDEKİ ORTALAMA TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI

Aşağıdaki şekilde taşınım ısı geçiş katsayısının yüzey üzerinde nasıl değiştiği renk skalası kullanılarak belirtilmiştir. Taşınım ısı geçiş katsayısını etkileyen en önemli faktörlerden biri hava hızıdır. Şekil 5.b'de görüldüğü gibi araç geometrisi oldukça karışıktır ve hava akış hızını etkilemektedir. Filtrenin sol tarafında taşınım ısı geçiş katsayısı büyüklüğünün arttığı gözlenmektedir. Bu da hava akışının bu bölgede daha iyi olduğunu belirtir.

Gerçekleştirilen CFD analizinde, taşınım ısı geçiş katsayısı filtre çevresinde  $5,59 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den  $43,4 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar değişkenlik gösterir.

Ortalama taşınım ısı geçiş katsayısı  $28,8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.



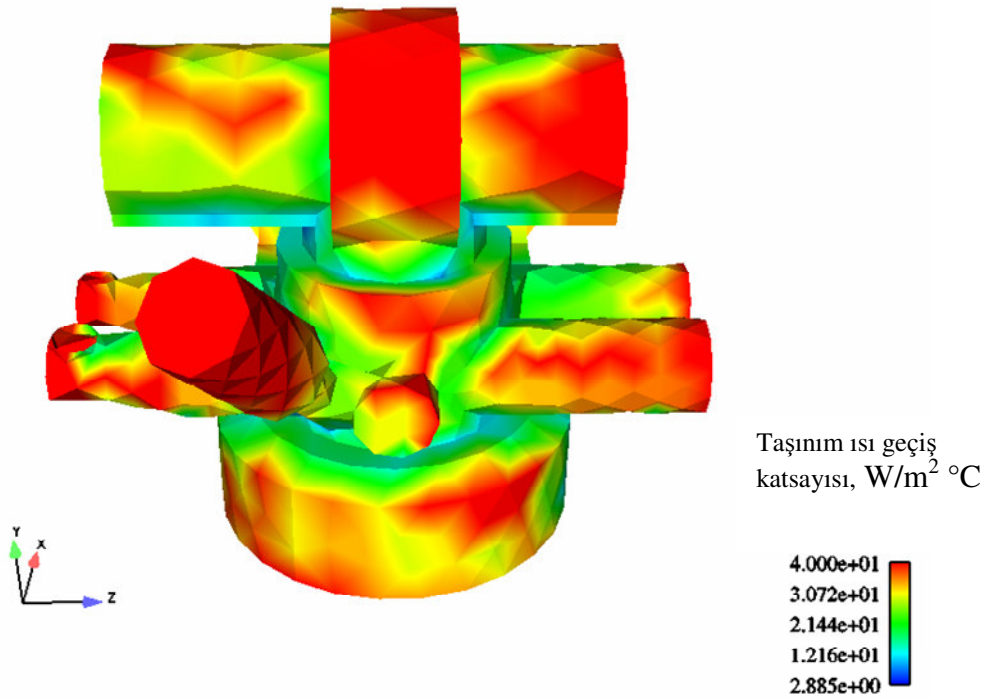
Şekil 5.1.1 Yakıt filtresi alt parçası etrafındaki taşınım ısı geçiş katsayısı

### 5.1.2 YAKIT FİLTRESİ ÜST PARÇA ÇEVRESİNDEKİ ORTALAMA TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI

Taşınım ısı geçiş katsayısı, filtre üst parça çevresinde  $4,15 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ' den  $74,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ' ye varan değişim göstermektedir. Ortalama değer  $30,3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  olarak bulunmuştur.

Bu değişim, filtre çevresindeki hava akış hızına, akışın cinsine, yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Taşınım ısı geçiş katsayısının yüksek olduğu yerler türbülanslı akışın varlığını ve hava hızının şiddetinin diğer bölgelere göre daha fazla olduğunu gösterir.



Şekil 5.1.2 Yakıt filtresi üst parçası etrafındaki taşınım ısı geçiş katsayısı

$$h_{\min.} = 4,15 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_{\max.} = 74,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

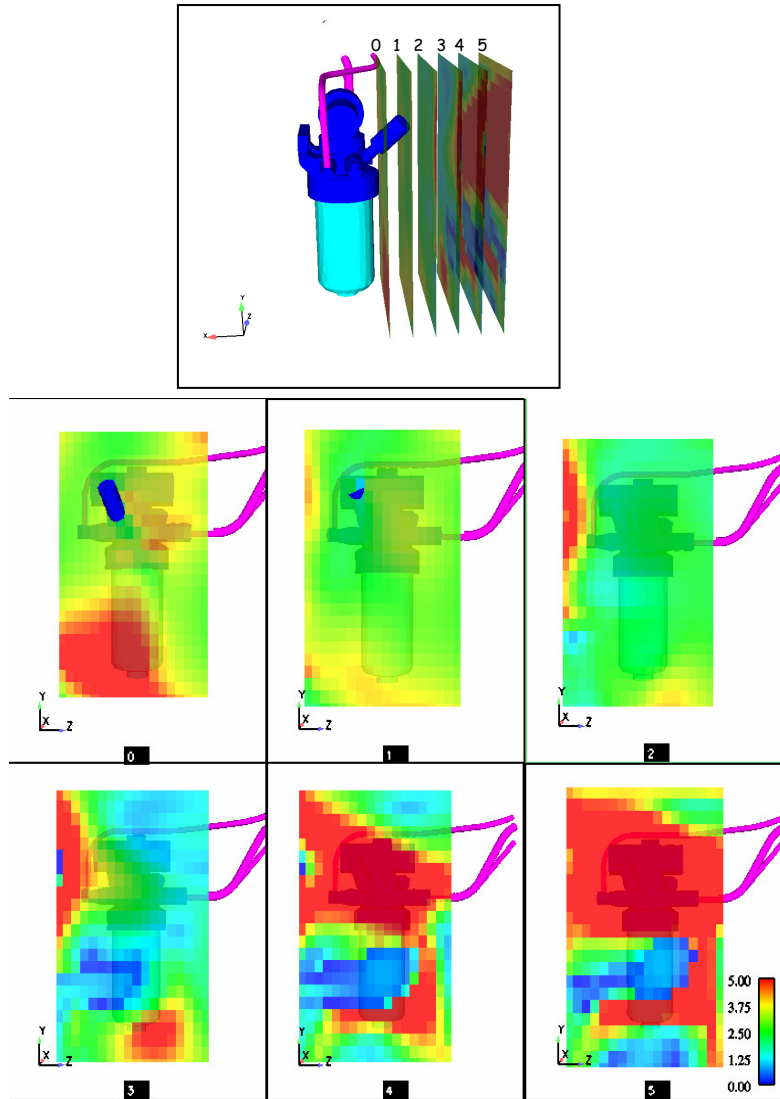
$$h_{\text{ortalama}} = 30,3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 5.1.3 YAKIT FİLTRESİNE +X YÖNÜNDE GELEN HAVA AKIŞ HIZI ŞİDDETİ

Taşınım ısı geçiş katsayısının büyüklüğü, hava akış hızına önemli ölçüde bağlı olduğundan aracın ön panel açıklığından akan, fanlarla emilen havanın kondenser ve radyatör ısı değiştirgecinden geçip basınç düşüşüne uğradıktan sonra filtre üzerine ulaşan hava hızı, hesaplama bölgesi üzerinde kesit alınarak altı bölgede gösterilmiştir.

Hesaplama bölgesi, sayısal akışkanlar analizinin çalıştırılmasıyla bulunan hava akışı bilgilerini içerir. Bu bilgiler bölge üzerindeki herhangi bir noktadaki hava hızı, kinetik enerji, sıcaklık gibi bilgilerdir.

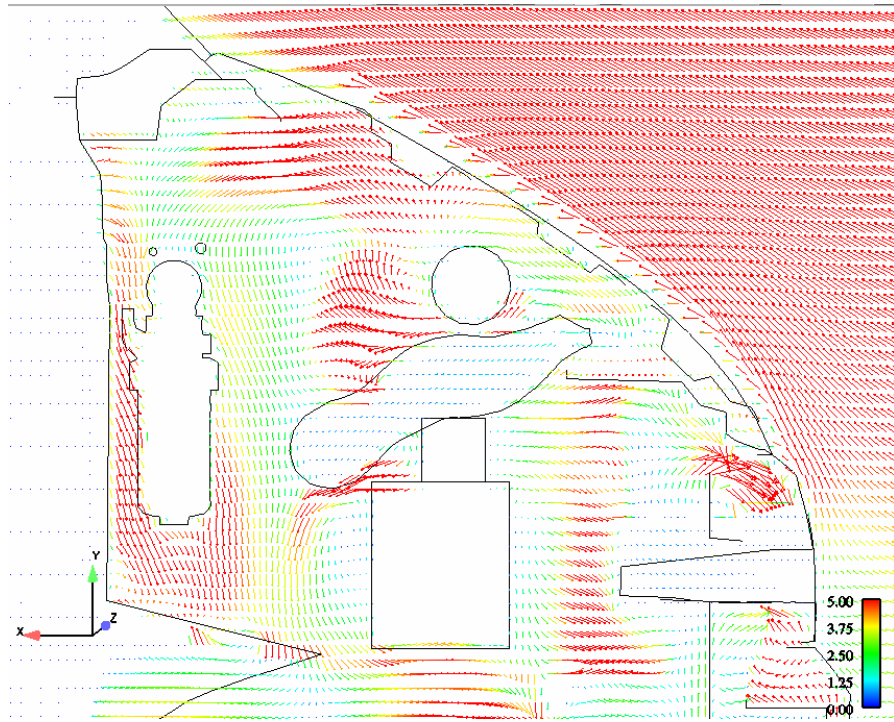
Aşağıdaki şekilde filtre önünde eşit aralıklarla hesaplama bölgesi kesiti alınmış ve hava hızının her bir kesitte nasıl değiştiği ayrı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1.3 X yönünde – Yakıt filtresi üzerinde hava akışı hız dağılımı

#### 5.1.4 YAKIT FİLTRESİ ÜZERİNDEKİ HAVA AKIŞ ŞİDDETİNİN VEKTÖREL VE SKALAR BÜYÜKLÜK OLARAK GÖSTERİLMESİ

Aşağıdaki şekilde filtre orta düzleminde olmak üzere aracın kesiti alınmıştır. Böylelikle motor bölümünde ön panel boşluklarından başlayarak hava hızı, yönü ve şiddetinin parçaların etkisiyle nasıl yön değiştirdiği, oluşan türbülans gösterilmek istenmiştir. Daha önce belirtildiği gibi hava akış hızı ve türbülans, taşıyım ısı geçişini etkileyen en önemli faktörlerden ikisidir.

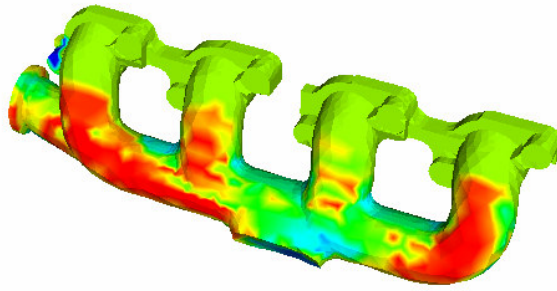


Şekil 5.1.4 Motor bölümünde filtre üzerindeki hava hızı şiddeti ve yönü

### 5.2.1 EGZOS MANİFOLDU VE TÜRBİN ETRAFINDAKİ ORTALAMA TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI VE HAVA AKIŞI

Egzos çevresinde ortalama ısı geçiş katsayısı  $19,6 \text{ W/m}^2\text{°C}$  olarak bulunmuştur. Sayısal akışkanlar analizinde araç hızı saatte 30 km olarak alınmıştır. Bu hızla aracın ön paneline giren hava akışı egzoz çevresinde taşınım yoluyla soğuma sağlayamamaktadır.

Egzos manifoldu parçası üzerindeki taşınım ısı geçiş katsayısının büyüklüğü ve yüzey üzerinde nasıl değişiklik gösterdiği şekil 5.2.1`de renkli sıklayla belirtilmiştir.



Egzos manifoldu çevresindeki ortalama taşınım ısı geçiş katsayısı:

$$\underline{h = 19,6 \text{ W/m}^2\text{°C}}$$

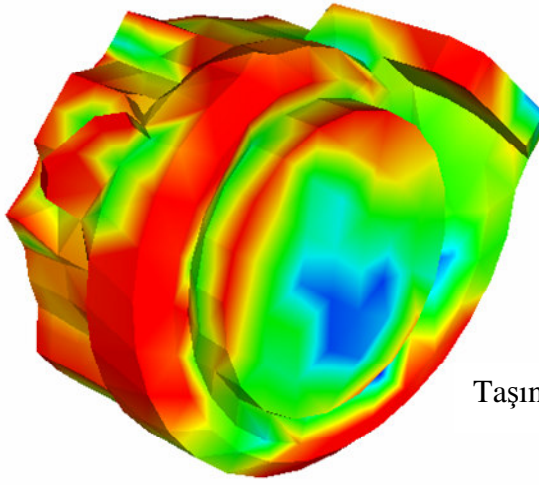
Taşınım ısı geçiş katsayısı,  $\text{W/m}^2\text{°C}$



Şekil 5.2.1 Egzos manifoldu yüzeyindeki taşınım ısı geçiş katsayısı büyüklüğü

Egzos manifoldu için yapılan bu çalışma türbin, egzoz türbin çıkışı ve egzoz manifoldu için yapılmıştır ve bulunan ortalama taşınım ısı geçiş katsayıları belirtilmiştir.

### 5.2.2 TÜRBİN ÇEVRESİNDEKİ ORTALAMA TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



Türbin çevresindeki ortalama taşınım ısı geçiş katsayısı:

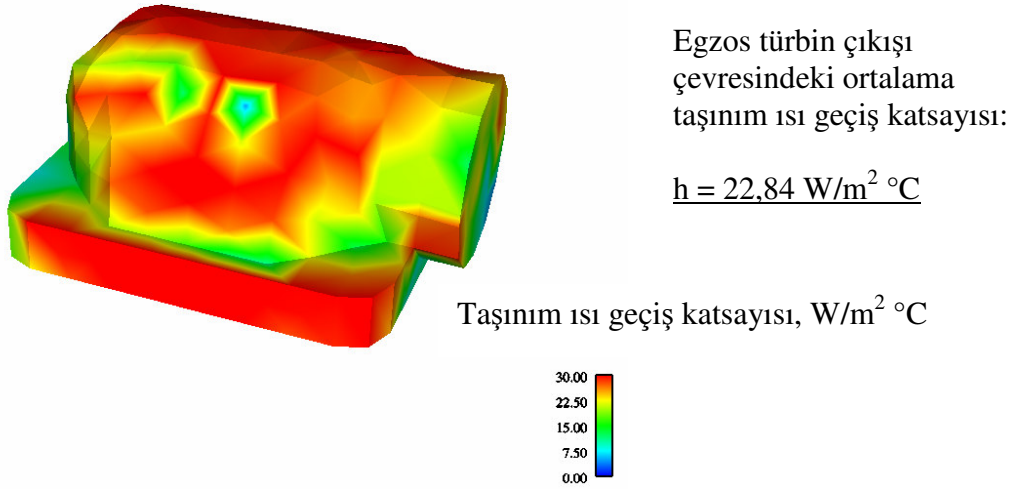
$$h = 19,9 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Taşınım ısı geçiş katsayısı,  $\text{W/m}^2\text{°C}$



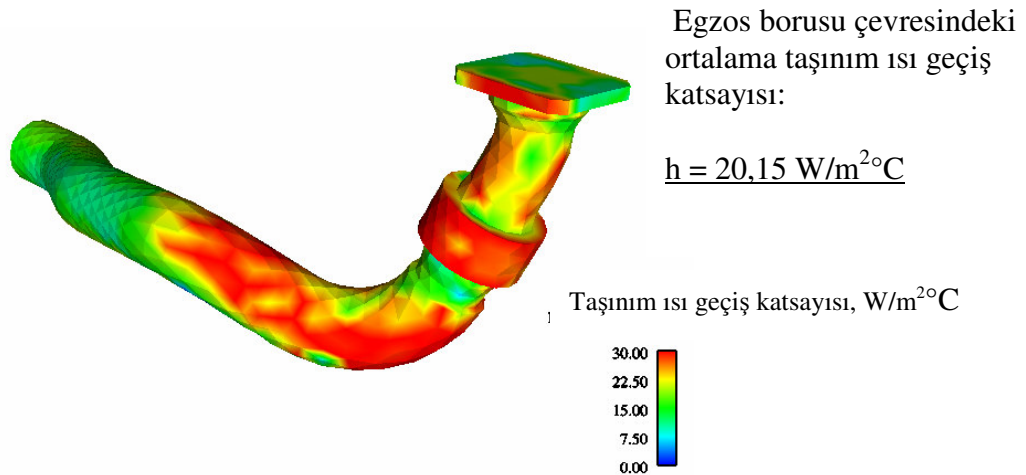
Şekil 5.2.2 Türbin çevresindeki ortalama taşınım ısı geçiş katsayısı

### 5.2.3 EGZOS TÜRBİN ÇIKIŞI ÇEVRESİNDEKİ ORTALAMA TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



Şekil 5.2.3 Egzos türbin çıkışı çevresindeki ortalama taşınım ısı geçiş katsayısı

### 5.2.4 EGZOS BORUSU ÇEVRESİNDEKİ ORTALAMA TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISI



Şekil 5.2.4 Egzos borusu çevresindeki ortalama taşınım ısı geçiş katsayısı

CFD analizi sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 5.2 Taşınım ısı geçiş katsayısı – CFD analizi sonuçları

CFD analizi sonuçları	$h, W/m^2 \cdot C$ Taşınım ısı geçiş katsayısı H-Metre-2
Yakıt filtresi alt parça	28,8
Yakıt filtresi üst parça	30,3
Egzoz manifoldu	19,6
Türbin	19,9
Egzoz türbin çıkışı	22,84
Egzoz borusu	20,15

### 5.3 EGZOZ MANİFOLDU VE TÜRBİN ÇEVRESİNDE GRİD SIKLIĞI ARTIRILMIŞ MODEL KULLANILARAK ORTALAMA TAŞINIM ISI GEÇİŞ KATSAYISININ HESAPLANMASI

Yakıt filtresi ile egzoz arasında taşınım ısı geçiş katsayısının belirlenmesinde kullanılan CFD analizi, grid sıklığı artırılarak tekrarlanmıştır. Grid sıklığı artıktıkça modelin çözüm hassasiyeti artacağından hücre sayısı x,y ve z yönünde artırılmıştır.

Tablo 5.3`de sayısal akışkanlar dinamiği analiziyle (CFD) bulunan taşınım ısı geçiş katsayısı, egzoz manifoldu, türbin çıkışı ve egzoz borusu için bulunmuştur.

Tablo 5.3 Taşınım ısı geçiş katsayısı – Grid sıklığı artırılmış CAE modeli sonuçları

CFD analizi sonuçları	$h, W/m^2 \cdot C$ Taşınım ısı geçiş katsayısı H-Metre-2
Egzoz manifoldu	22,07
Türbin	24,02
Egzoz türbin çıkışı	33,7
Egzoz borusu	21,08



## 6. SONUÇ

Araç dizaynı yapılırken sistemin ısı yönetiminin başarılı bir şekilde ele alınabilmesi için egzoz sistemi ve yakıt sistemi gibi bölgelerde taşınım ısı geçiş katsayısının tayini gereklidir.

Bu tezle, motor bölgesinde hava akışının yetersiz ve taşınım ısı transferinin etkin olduğu bölgeler tesbit edilmiş, bulunan sonuçlar doğrultusunda parçalar üzerinde ısı kalkını konması, parçaların yerinin değiştirilmesi gibi gerekli dizayn değişiklikleri yapılmıştır.

Isı transferi CFD analizlerinde sınır şartı olarak girilmesi gereken taşınım ısı geçiş katsayısının doğru tahmini, bu çalışma sonuçlarıyla sağlanmıştır.

Taşınım ısı transfer katsayısının tayini için yerel hava hızlarının bulunması gerekmektedir. CFD kodlarının kullanılması araç içindeki çeşitli bölgelerdeki yerel hava hızlarının bulunması için bir yöntemdir ve bu çalışmanın amaçlarından birisidir.

CFD yöntemi dışında yerel hava hızlarının bulunması için hot-film anemometre veya propeller enstrümantasyon kullanılması düşünülebilir; fakat maliyeti yüksek olan ve pratik olmayan bir yöntemdir. Bu yöntemlere alternatif olarak ısı yönetimi testlerinde pratik olarak kullanılabilen H-Metre, aracın çeşitli bölgelerine yerleştirilmiş ve rüzgar tüneline test edilerek taşınım ısı geçiş katsayısı bulunmuştur.

Hem CFD hem de deneysel yolla bulunan taşınım ısı geçiş katsayılarının birbirine ne kadar yakın olduğunun araştırılması, çalışmanın diğer bir amacıdır ve tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6. Deneysel yolla ve sayısal akışkanlar dinamiği (CFD) analizi yoluyla bulunan taşınım ısı geçiş katsayılarının karşılaştırılması

h, W/m <sup>2</sup> °C	Rüzgar tüneli	CFD
Yakıt filtresi üst parça	45,09	30,3
Yakıt filtresi alt parça	-	28,8
Türbin-yakıt filtresi arası	19,04	-
Egzoz manifoldu	-	19,6
Türbin	-	19,9
Egzoz türbin çıkışı	-	22,84
Egzoz borusu	-	20,15

Sonuçlar incelendiğinde; sayısal akışkanlar dinamiği yöntemiyle bulunan sonuçların H-Metre vasıtasıyla bulunan sonuçlardan farklılık gösterdiği gözlenir.

Kullanılan CFD analizi yöntemiyle akış sınır tabakasındaki taşınım ısı geçiş katsayısı hesaplanmıştır. Rüzgar tüneline bulunan araçtaki H-Metreler ise sınır tabakasının dışına yerleştirilmiştir.

Özellikle türbülanslı akışta, taşınım ısı geçişinde hız ve sıcaklık değişimi, akış sınır tabakası ve dışında farklılık gösterir. Hız ve sıcaklık değişimi, taşınım ısı geçişini büyük ölçüde etkileyen iki parametredir. Akış hızı yüzey sınır tabakasında  $V=0$  değerindeyken sınır tabakası dışına çıktığında büyük bir artış gösterir. Bu iki yöntemle bulunan taşınım ısı transfer katsayısının farklılık göstermesi, H-Metre cihazının sınır tabakası içinde ve dışında olmasıyla ilgilidir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anderson, J.D., 1995, Computational fluid dynamics, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Anderson, J.D., 2006, Introduction to computational fluid dynamics, Von Karman Institute for Fluid Dynamics, Belgium.
- Ashby, M., Johnson, K., The art and science of material selection in product design.
- Ashby, M.F., Jones, D., Second edition engineering materials 2.
- Barry, R.E., Dudley, S.P., 1999, The Measurement of underhood and underbody velocities with the H-Metre, SAE 1999-01-0234.
- Costa, E.A., 2003, CFD approach on underhood thermal management of passenger cars and trucks, SAE 2003-01-3577.
- Curran, A.R., Johnson, K.R., Marttila, E.A.,(1995), Radiation modeling for vehicle thermal management, SAE 950615.
- Çengel, Y.A., 1998, Heat transfer a practical approach, Mcgraw Hill, New York, Second Edition, 334-360 p.
- Dewitt, D.P.,Incropera, F.P., 2002, Fundamentals of heat and mass transfer, John Wiley & Sons, Inc.,U.S.A, 326-368, 386-388, 407-415 p.
- Mindware Knowledge Based Engineering, Introduction to computational fluid dynamics.
- Moshhammer, T., 2005, Simulation of radiation effects in the presence of the exhaust system, SAE 2005-01-2060.
- ThermoAnalytics, Inc.,2003, Radtherm thermal analysis software user manual.
- ThermoAnalytics, Inc.,Ver 7.1, RadTherm technical documentation,Chapter 2-3
- <http://www.superflow.com/>
- <http://www.valeowindtunnel.com/Solutions2.htm>