

JET MOTORLARINDA KULLANILAN TİPİK

KOMPAKT ISI DEĞİŞTİRİCİLER İÇİN

SAYISAL ISIL-HİDROLİK ANALİZ

YILMAZ ALTUNTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

2006

**NUMERICAL THERMOHYDRAULIC ANALYSIS OF
TYPICAL COMPACT HEAT EXCHANGERS
USED ON JET ENGINES**

YILMAZ ALTUNTAŞ

**THESIS OF MASTER OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT**

2006

**JET MOTORLARINDA KULLANILAN TİPİK
KOMPAKT ISI DEĞİŞTİRİCİLER İÇİN
SAYISAL ISIL-HİDROLİK ANALİZ**

YILMAZ ALTUNTAŞ

Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı

ENERJİ Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: **Prof.Dr. L.Berrin ERBAY**

HAZİRAN 2006

Yılmaz ALTUNTAŞ'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “**Jet Motorlarında Kullanılan Tipik Kompakt Isı Değişiriciler İçin Sayısal Isıl-Hidrolik Analiz**” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.../.../...

Üye: Danışman:Prof. Dr. L. Berrin ERBAY

Üye: Yrd.Doç.Dr.Necati Mahir

Üye: Yrd.Doç.Dr.Mesut Tekkalmaz

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

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU
Enstitü Müdürü

TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans Programı çalışmalarımda danışmanlığımı kabul edip, her türlü katkı ve desteğini sağlayan Sayın Prof. Dr. L. Berrin ERBAY'a teşekkür ederim.

Yılmaz ALTUNTAŞ

ÖZET

Bu çalışmada jet motorlarında kullanılan kompakt ısı değiştiricilerinin tanımı ile F-16 uçaklarına ait yağ soğutucusunun kanallarında meydana gelen tıkanıklığın ısı değiştirici performansına etkisi sayısal olarak araştırılacaktır.

Günümüzde kullanım yerine bağlı olarak değişkenlik gösteren ısı değiştiricilerin; düşük maliyet, hafiflik, bakım kolaylığı, yüksek enerji transferi, az hacim kaplaması, arzu edilen nitelikler olup, kompakt ısı değiştiricileri bu özellikleri taşımaktadır. Sanayide kullanılan ısı değiştirici ile uçakta kullanılan ısı değiştirici arasındaki farklılıklardan ilk akla geleni, hacim ve ağırlıktır.

Yeni nesil uçaklarda kompakt ısı değiştiricileri yoğunlukla kullanılmaktadır. Bu ısı değiştiriciler hava-yakıt-yağ akışkanlarının muhtelif kombinezonlarından oluşur. Temel amaç; ısınan elektronik devreleri soğutmak, yağlama sistemindeki artan sıcaklığı azaltmak, kabindeki iklimlendirmeyi sağlamaktır.

Isı değiştiricisinin en uygun şekilde tasarımı, öncelikle çalışma şartlarının tespit edilmesiyle mümkündür. Dizayn aşamasında, giriş/çıkış sıcaklıkları, ısı değiştirici ölçülerinin her biri değişken olabileceğinden bir çok hesaplamanın yapılması gerekli olmaktadır.

Computational Fluid Dynamics, CFD Sayısal Modelleme Tekniği ile laboratuvar sonuçlarına çok yakın değerlerde ısı değiştiricisi tasarımı mümkün olmakta ve değişen her bir parametrenin sonuçları kolaylıkla alınmaktadır.

F16 uçaklarında bulunan ve motor yağlama sistemindeki yağın sıcaklığını azaltmak için kullanılan ısı değiştiricisi, 217 adet boru elemanı, bir gövde, bir aksenel perde ile 12 adet radyal perdeye sahiptir. Yağın sıcaklığı motor çalışma şartlarına bağlı değişkenlik göstermekte olup, ortalama 403 K çalışma sıcaklığına sahiptir. Yağ sıcaklığının 422 K limitini geçmesi kritik seviye olup ikiden fazla borunun tıkanması bu değerin aşılmasına neden olduğundan ısı değiştiricisi kullanılamamaktadır.

Tüm ısı değiştiricisinin modellenmesi yerine belirli bir kesit alınarak model ve hesaplamalar yapılarak tüme gidilir. Ancak kesitin tüm ısı değiştiricisinin özelliklerini yansıtması gerekmektedir. Periyodik akış ve simetrik model durumunda daha kısa sürede sonuçlar alınabilmektedir.

Isı değiştiricisi tasarım verileri ile CFD Sayısal Modelleme verileri karşılaştırılarak, toplam 3 adet borunun tıkanması sonucu ısı transferinin motordaki yağ sıcaklığını kritik değer olarak bilinen 422 K değerinin altında tutacak seviyede gerçekleşmediği ve sistemin görev yapamaz hale geldiği görülebilmektedir.

SUMMARY

In this study, definition of compact heat exchangers used on jet engines and change of performance of F-16 Fuel Oil cooler caused by blockage in tubes is investigated.

The properties of heat exchangers change depending on usage. It is expected for a heat exchanger to have low cost, lightweight, maintainability, high heat transfer rate, low space requirements. Compact heat exchangers have most of these properties. Difference between heat exchangers used in industry and on aircraft are low space and weightness.

Compact heat exchangers are commonly used on new generation aircrafts. Working fluids used in these exchangers are combination of air, oil and fuel. The purpose of using heat exchanger is to cool electronic equipment, to reduce hot oil temperature and to air condition cabin or cockpit.

The most convenient design of a heat exchanger is possible determining of real operation parameters. At the design stage, inlet/outlet temperatures may be variable. For that reason a lot of calculation is needed.

Using Computational Fluid Dynamics, CFD Numeric Modelling program it is possible to obtain values close to laboratory results.

The heat exchanger used on F16 aircraft engine is a counterflow shell and tube heat exchanger. It is used for reducing oil temperature. On the heat exchanger, 217 tubes, one shell, one axial and twelve radial baffles are available. Oil temperature changes according to engine operation conditions. But it has average temperature of 403 K. It is

critical value for oil temperature to exceed 422 K. The blockage of more than two tubes cause to exceed this temperature. As a result, heat exchanger cannot be used.

Instead of modelling whole exchanger, only the portion of exchanger is modelled. Therefore, results can be obtained very quickly.

It is seen that in case of blockage of more than two tubes cause to increase oil temperature and system problems.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. KOMPAKT ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ.....	2
2.1. Kompakt Isı Değişticilerinin Özellikleri	2
2.2. Gövde Borulu Isı Değişticilerinin Özellikleri.....	6
2.2.1. Gövde veya Kovan Tipleri	6
3. JET MOTORLARINDA KULLANILAN ISI DEĞİŞTİRİCİ TİPLERİ	9
3.1. F110 Motorları Isı Değişticileri	9
3.1.1. Isı Değiştirici Sisteminin İrdelenmesi.....	9
3.1.2. Isı Değiştiricisi Verileri.....	10
3.2. T56 Motorları Isı Değişticileri	13
3.3. J85 Motorları Isı Değişticileri	17
3.4. J79 Motorları Isı Değişticileri	21
3.5. CT7 Motorları Isı Değişticileri	22
4. F110 MOTOR ISI DEĞİŞTİRİCİSİ MATEMATİK MODELLEME.....	24
4.1.Çıkış Sıcaklıklarının Bulunması.....	24
4.1.1.Yağ Çıkış Sıcaklığı	24
4.1.2.Yakıt Çıkış Sıcaklığı	25
4.1.3.Ortalama Sıcaklıklar	25
4.1.4.Logaritmik Sıcaklık Farkı	25
4.1.5. Boyutlar.....	27
4.1.6 Gövde İçi Akış Alanı Hesabı.....	29
4.1.7. Gövde Tarafı Eşdeğer Çap Hesabı.....	29
4.1.8. Göde Kütle Akışı	29
4.1.9. Gövde Reynolds Sayısı	29
4.1.10.Boru Reynolds Sayısı	30

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5. F16 ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN SAYISAL MODELLEMESİ	31
5.1. CFD Sayısal Programında Kullanılan Türbülans Modelleri	33
5.2. Türbülans Yoğunluğu Değerinin Hesaplanması	35
5.3. Isı Değiştiricisi Modelleme (0.1 m).....	37
5.4. Isı Değiştiricisi Modelleme (237 mm).....	42
5.5. Isı Değiştiricisi Modelleme (1 Boru).....	49
5.5.1. Farklı Türbülans Modeliyle Elde Edilen sonuçlar	54
5.6. Isı Değiştiricisi Modelleme (6 Boru).....	56
5.6.1. Farklı Türbülans Modeliyle Elde Edilen sonuçlar	59
5.7. Isı Değiştiricisi Modelleme (9 Boru).....	60
5.7.1. Farklı Türbülans Modeliyle Elde Edilen sonuçlar	66
5.8. Yedi Borulu Isı Değiştiricisi Modelleme Ve Isıl Kayıplar	67
5.8.1. Isı Değiştiricisi Verim Kayıp Hesabı.....	69
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	74
7. KAYNAKLAR DİZİNİ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	Kompakt ısı değiştiricilerinin iç yapısı 3
2.2	Isı değiştirici yüzeylerinin ısı transfer yoğunluğu spektrumu 4
2.3	Gövde borulu ısı değiştiricisi bölümleri..... 6
2.4	TEMA gövde tipleri 7
2.5	TEMA gövde tipleri (eksenel perdeli) 7
2.6	TEMA F serisi gövde 8
3.1	F16 Uçaklarında kullanılan ısı değiştiricisi sistem şeması 10
3.2	Isı değiştiricisi i akış şeması 11
3.3	Isı değiştiricisi i akış şeması 12
3.4	T56 Motoru yakıt ısıtıcısı 14
3.5	T56 Motoru yağ ısı değiştiricisi..... 14
3.6	Yağ soğutma valfi..... 15
3.7	Yağ soğutucusu şeması 15
3.8	J85 Motoru yağlama sistemi..... 18
3.9	J85 Motoru ısı değiştiricisi 19
3.10	J85 Motoru ısı değiştiricisi (tahliye valfi kapalı)..... 20
3.11	J85 Motoru ısı değiştiricisi (tahliye valfi açık)..... 20
3.12	J79 Motoru A/B ısı değiştiricisi..... 21
3.13	CT7-9C Motoru ısı değiştiricisi..... 23
4.1	Isı değiştiricisi boyutları..... 27
4.2	üçgen diziliş 28
5.1	Kontrol hacmi 32
5.2	Gambit modelleme (0.1 m boru/gövde/perde) 37
5.3	Gambit sonlu elemanlar oluşturma 38
5.4	Sonlu eleman yoğunluğu 38
5.5	Sınır tiplerinin girilmesi 39
5.6	Gövde boyunca hız vektörünün değişimi..... 41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.7	Gövde boyunca hız vektörünün değişimi-perde detay..... 41
5.8	Gambit modelleme ve boru-perde-gövde detayı (237 mm)..... 42
5.9	Gambit düğüm noktalarının oluşturulması..... 43
5.10	Sınır tiplerinin girilmesi 43
5.11	Akışkan modeli..... 44
5.12	Kütle akış sınır değeri 45
5.13	Boru ve gövdede hız vektörünün değişimi..... 46
5.14	Boru ve gövdede hız vektörünün değişimi perde detay 47
5.15	Boru boyunca sıcaklık değişimi 48
5.16	Gambit modelleme (boru) 49
5.17	Gambit modelleme (perde)..... 49
5.18	Gambit modelleme (gövde)..... 50
5.19	Gambit düğüm noktalarının oluşturulması (gövde/boru)..... 51
5.20	Sınır koşulları 52
5.21	Toplam ısı transferi..... 52
5.22	İterasyon..... 53
5.23	Hız vektörünün değişimi 54
5.24	Tüm boru boyunca sıcaklık değişimi..... 55
5.25	Gambit modelleme (borular) 56
5.26	Gambit modelleme (gövde)..... 56
5.27	Sınır koşulları (6 boru)..... 57
5.28	Akışkan modeli (6 boru) 57
5.29	Kütle akış koşulları (6 boru)..... 58
5.30	Toplam ısı transferi (6 boru) 59
5.31	Gambit modelleme (borular)..... 60
5.32	Gambit modelleme 9 boru (boru, perde, gövde) 61
5.33	Mesh oluşturma (boru, perde, gövde)..... 62

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
5.34	Sınır tiplerinin girilmesi	63
5.35	Sınır koşulları	64
5.36	Perde özellikleri.....	64
5.37	İterasyon.....	65
5.38	Toplam ısı transferi (9 boru)	66
5.39	İterasyon (7 borulu)	68
5.40	Toplam ısı transferi (7 boru)	69
5.41	Isı değiştiricide yağ sıcaklığının zamana bağlı değişimi	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Isı değiştiricisi verileri	10
3.2 J79 Motoru A/B yağ soğutucu değerleri	22
3.3 CT7 Motoru ısı değiştiricisi değerleri.....	22
4.1 Yağın 316 K’de ve yakıtın 393,4 K’deki özellikleri	24
4.2 Isı değiştiricisi boyutları.....	26
4.3 Üçgen diziliş boyutsal değerler (mm).....	28
5.1 Sınır değerler (0,1 m boru).....	40
5.2 Sınır değerleri (237 mm boru).....	45
5.3 Sınır değerleri (1 boru).....	53
5.4 Farklı türbülans modeli sonuçları (1 boru).....	54
5.5 Sınır değerleri (6 boru).....	58
5.6 Farklı türbülans modeli sonuçları (6 boru).....	59
5.7 Sınır değerleri (9 boru).....	65
5.8 Farklı türbülans modeli sonuçları (9 boru).....	66
5.9 Sınır değerleri (7 boru).....	67
5.10 Yedi boruda oluşan ısı transferi.....	68
5.11 Isı değiştirici verim kaybı hesabı.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
β	Isı transferi yüzey alanı yoğunluğu (m^2 / m^3)
ϵ	Isı değiştiricisi etkenliği
μ	Hidrodinamik viskozite (kg/s.m)
ν	Kinematik viskozite (m^2 / s)
ρ	Kütle yoğunluğu (kg/m^3)
c	Klerans
\dot{m}	Kütle debisi (kg/s)
u, v, w	Akışkanın ortalama hız bileşenleri
A	Alan (m^2)
C	Özgül ısı kapasite [kJ/(kg.K)]
C_p	Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi [kJ/(kg.K)]
D	Çap (m)
D_h	Hidrolik çap (m)
F	Isı değiştiricisi düzeltme faktörü
h	Taşım katsayısı ($W / m^2.K$)
k	Isı iletim katsayısı (W/m.K)
$LMTD$	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı
m	Kütle (kg)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
N	Boru demetindeki boru sayısı
Nu	Nusselt sayısı
NTU	Isı transferi birim sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
Q	Isı transferi (kJ)
\dot{Q}	Isı akımı (W)
T	Sıcaklık (K)
U	Toplam ısı geçiş katsayısı (W / m ² .K)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
kg	kilogram
m	metre
mm	milimetre
s	saniye
TEMA	Tubular Exchanger Manufacturers Association, inc.
A/B	Afterburner

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Uçak motorları hızla değişen bir ortam içinde çalışmak zorundadır. Uçağın kalkışı esnasında motorlar birkaç dakika süreyle maksimum güçte çalıştırılır. Sonra seyir süratine düşülür ve bu sürat maksimum gücün ortalama % 70'i civarındadır. Uçağın bu çalışma şartlarını karşılamak üzere yüksek ve düşük sıcaklıklara dayanıklı, viskozitesi az değişen sentetik bir yağ kullanılmalıdır. Sentetik yağların buharlaşma noktası yüksektir ve kömürleşmeye neden olacak artık üretmezler. [1] Jet motorlarında genellikle MIL-L-7808 yağlama yağı kullanılır. Bu yağ ile motor ana yatakları, pompa şaftları ve dişli kutusu yağlanır. Motor çalışması esnasında yağ sıcaklığı hızla yükselir. Sıcaklığın aşırı yükselmesi yağın özelliklerini kaybetmesine ve karbonlaşmasına neden olacağından ısı değiştiricileri kullanılır ve sıcaklık normal seviyeye getirilir. Yağın sıcaklığı ve kirlilik durumu son derece önemli bir emniyet göstergesi olduğundan pilot tarafından sürekli izlenir.

Jet motorlarında çok farklı tipte ısı değiştiricileri kullanılmaktadır. Bir kısmı motoru kuşatan bir çember biçiminde olup girişteki ram havasını soğutucu olarak kullanır. Bir diğer kısmı ise yakıt ile soğutulur ve özellikle yeni nesil jet motorlarında kompakt olarak dizayn edilir.

Kompakt ısı değiştiricilerinin yüksek ısı transferi sağlaması, küçük hacim gereksinimi, hafif olması, kolay bakım yapılması gibi özelliklere sahip olması önemli ölçüde tercih nedenidir. Tüplerin imalinin kolay olması, yüksek basınçlarda kullanılabilmesi ve ısı transfer yüzeyinin fazla olması nedeniyle gövde borulu ısı değiştiricilerinin kullanımı katlanarak artmıştır.

F16 uçaklarına ait ısı değiştiricisi motor yağının belli limitler dahilinde tutulmasını sağlamak üzere dizayn edilmiş ve toplam 217 borudan ikiden fazlasının devre dışı kalması sonucu kullanılamaz hale gelmekte olup bu çalışmada ısı değiştirici modellenmesi ve 3 borunun yol açtığı ısı artışı irdelenmiştir.

2. KOMPAKT ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ

2.1 Kompakt Isı Değiştiricilerinin Özellikleri

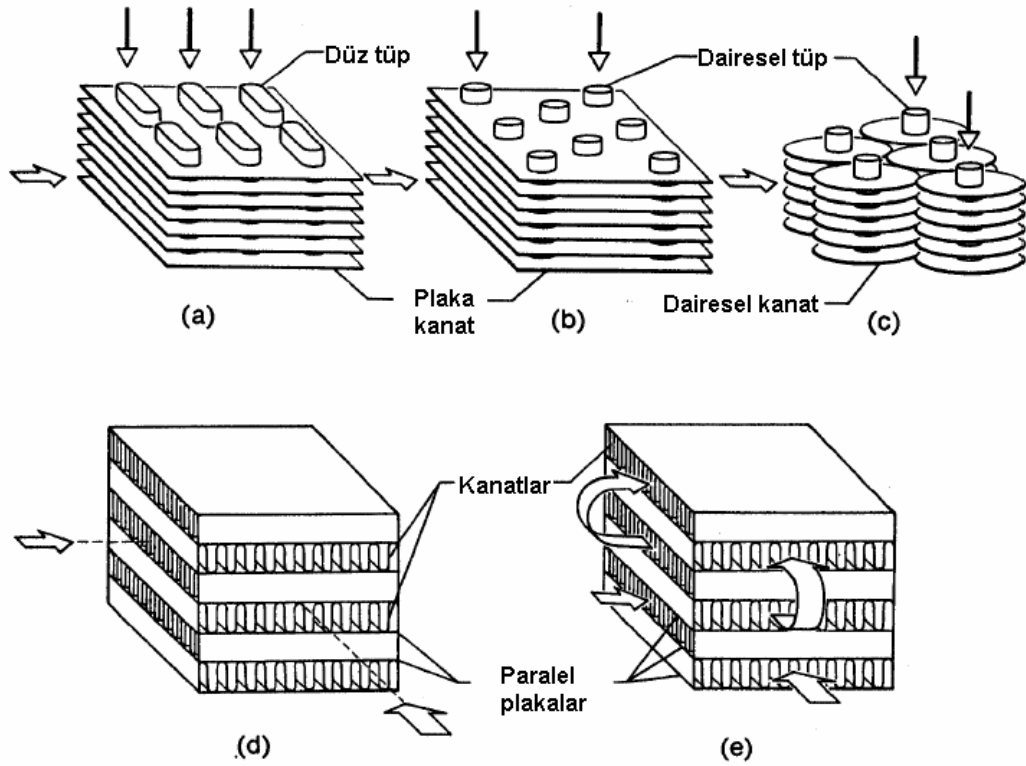
Kompakt ısı değiştiricilerinin özelliği, birim hacimde fazla ısı transfer yüzeyine sahip olmalarıdır. Böylece boyutları, ağırlıkları, enerji ihtiyaçları ve maliyetleri düşük olmaktadır. Kısaca ifade edecek olursak;

- Isı değiştiricilerinin özel bir türüdür.
- Isı transfer alanı $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'den büyüktür. Sıvı-sıvı uygulamaları için $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'den büyüktür.
- Plakaların veya kanatçıkların Şekil 2.1'de görüldüğü gibi yoğun bir düzenlenmesi vardır.
- Akış pasajları genellikle küçüktür. ($D_h \leq 5\text{mm}$)
- Akış genellikle laminerdir.
- Genellikle akışkanlardan birinin gaz olduğu durumlarda kullanılır. (Küçük h)

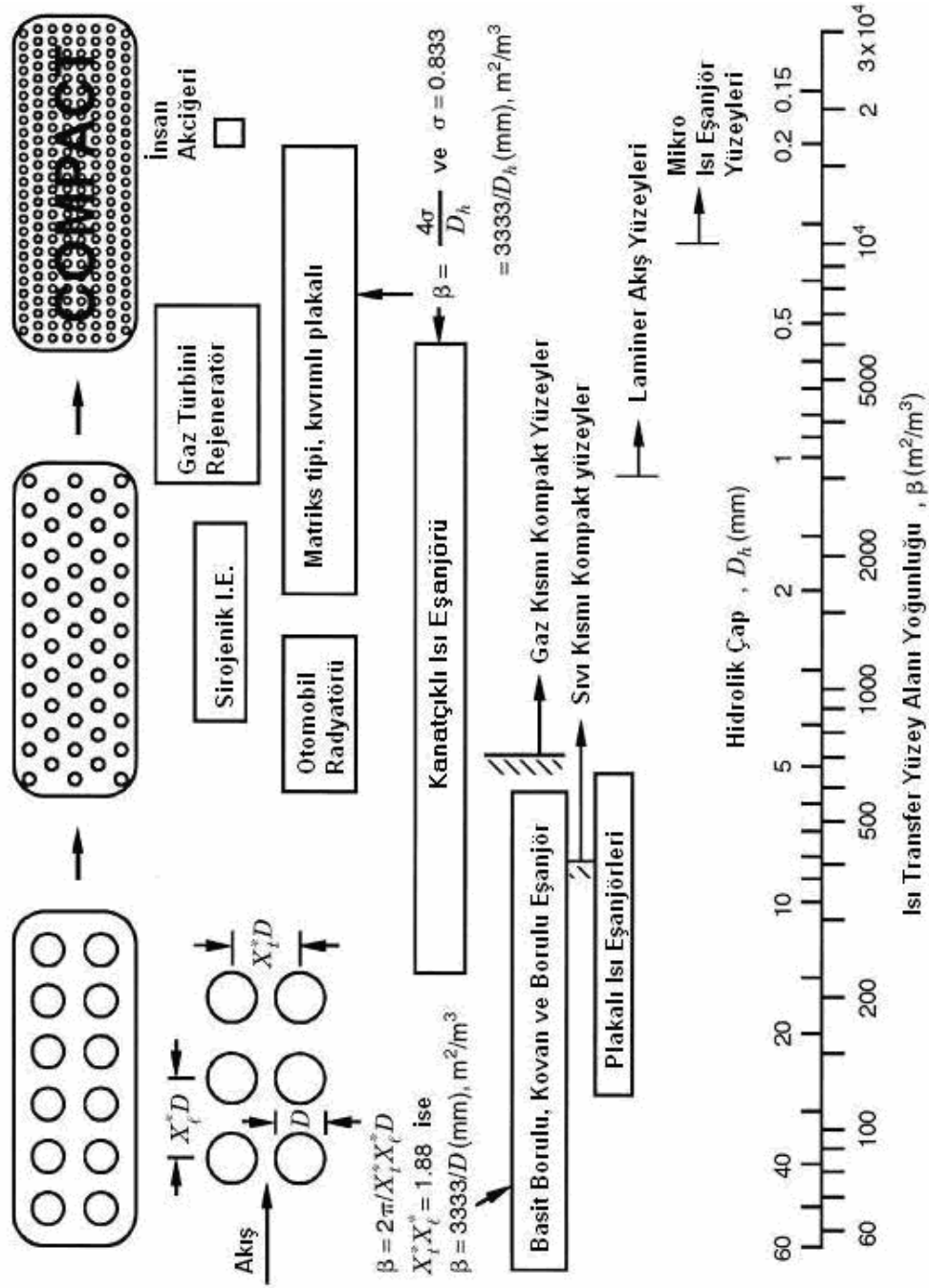
Yüzey alanı 3000'den büyük olanlar laminer akışlı ısı değiştiricisi olarak adlandırılır. $15000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'den fazla olanlar ise mikro ısı değiştiricileri olarak belirtilmektedir.

Kompakt ısı değiştiricileri genellikle endüstride gaz-gaz veya sıvı gaz ısı değiştiricileri olarak kullanılır. Klimaların kondenser ve evaporatörlerinde, otomobillerin radyatörlerinde, buzdolaplarında, uçaklarda yağı soğutmak amacıyla, hava ısıtıcılarında, kompresörlerin ara soğutucusunda, havacılık ve uzay uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompakt ısı değiştiricileri ayrıca elektronikte, enerji geri dönüşüm proseslerinde de kullanılmaktadır.

Bir kompakt ısı değiştiricisinin üretilmesindeki asıl amaç, ısı değiştiricisinin fiziksel boyutlarını küçülterek maliyeti düşürmek, dolayısıyla daha verimli bir ısı değiştiricisi imal etmektir. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 Kompakt ısı değiştiricilerinin iç yapıları (a) Kanatçık-tüp (düz tüpler ve sürekli plaka kanatlar) (b) Kanatçık-tüp (dairesele tüpler ve sürekli plaka kanatlar) (c) kanatçık-tüp (dairesele tüpler ve dairesele kanatlar) (d) Plaka-kanatçık (tekil geçiş) (e) Plaka-kanatçık (çoklu geçiş) [2]



Şekil 2.2 Isı değiştirici yüzeylerinin ısı transfer yoğunluğu spektrumu (Shah, 1981) [2]

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi gaz-sıvı değiştiricisinin yüzey alanı $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ’den fazla veya $D_h \leq 5 \text{ mm}$ olması, sıvı akışkan veya faz değişimi durumunda ise $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ’den fazla alana sahip olması kompakt ısı değiştiricisi olarak adlandırılmasını gerektirir. Endüstride kullanılan tipik bir gövde borulu değiştiricisinin tek bir akışkan kısmındaki alanı $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ’den azdır. Kanatçık eklenmesi durumunda ise bu oran üç katına çıkabilir.

Isı değiştiricisi yüzey yoğunluğunun bir spektrumu Şekil 2.2’de verilmiştir. Şeklin alt kısmında iki adet skala mevcuttur. Bunlar; ısı transfer yüzey alanı yoğunluğu β (m^2 / m^3) ve hidrolik çap D_h (mm)’dir. İnce cidarlı bir tüpte D , iç veya dış çap olarak alınabilir. Farklı tipte ısı değiştiricileri dikdörtgen şeklinde gösterilmiştir. Dikdörtgenin kısa kenarının skala üzerine tekabül ettiği nokta yüzey yoğunluğunu vermektedir. β_1 ve β_2 aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\beta_1 = \frac{A_h}{V_h} \text{ veya } \frac{A_c}{V_c}$$

Kanatçıklı veya borulu değiştiriciler için,

$$\beta_2 = \frac{A_h}{V_{\text{toplam}}} \text{ veya } \frac{A_c}{V_{\text{toplam}}}$$

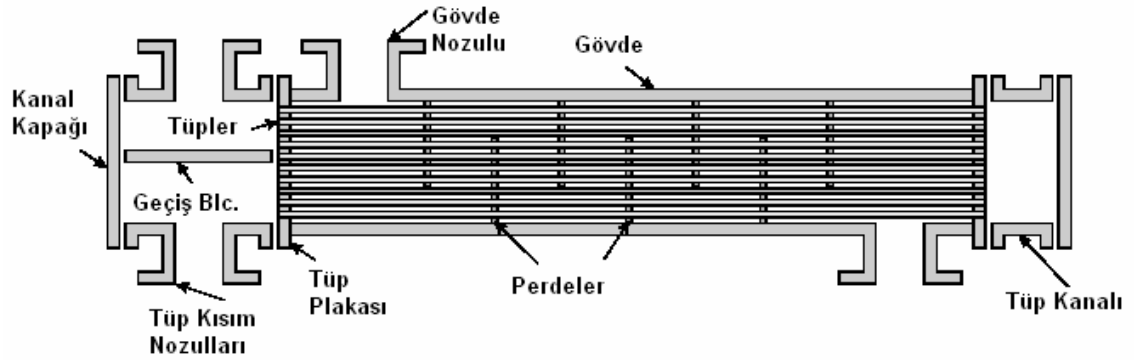
ifadesi geçerlidir.

Burada A , ısı transfer yüzey alanıdır. V , değiştiricisi hacmidir. A ve V ’ye ait alt indisler h , c sırasıyla sıcak ve soğuk akışkanı temsil etmektedir. V_h ve V_c sıcak ve soğuk akışkanların bulunduğu hacmi gösterir.

2.2 Gövde Borulu Isı Değiştiricilerinin Özellikleri

Akışkan gövde ve boru vasıtasıyla yönlendirilir. Isı transferini artırmak amacıyla boru içine perdeler yerleştirilmiştir

Yıllar boyunca farklı proseslere uygun ısı değiştiricileri geliştirilmiştir. Bir ısı değiştiricisi yapısal olarak üç temel elemandan meydana gelir. (Şekil 2.3) Bunlar; gövde (kovan), boru (tüp) ve perdedir.

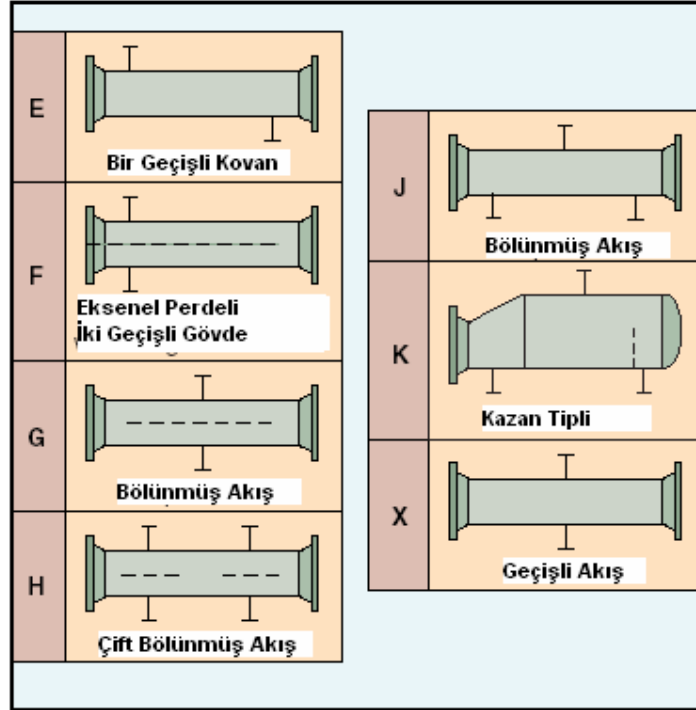


Şekil 2.3 Gövde borulu ısı değiştiricisi bölümleri [2]

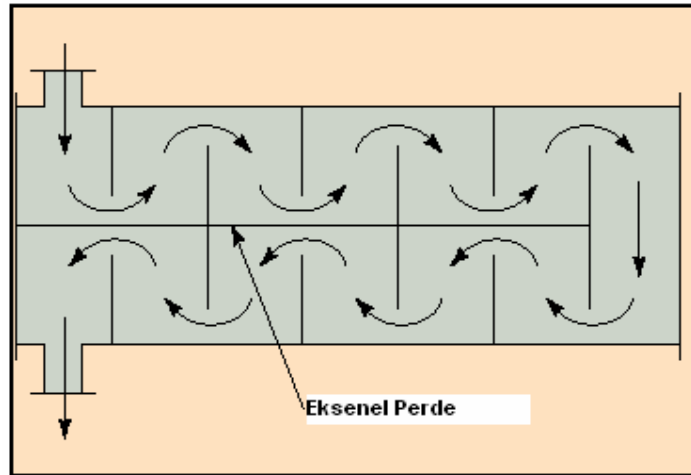
2.2.1 Gövde Veya Kovan Tipleri

Şekil 2.3’de verilen şemada görüldüğü gibi gövde borulara yataklık yapar, akışı bölümlendirir. Isı değiştiricilerinin hesaplamasında kovan çapı önemli bir değişkendir.

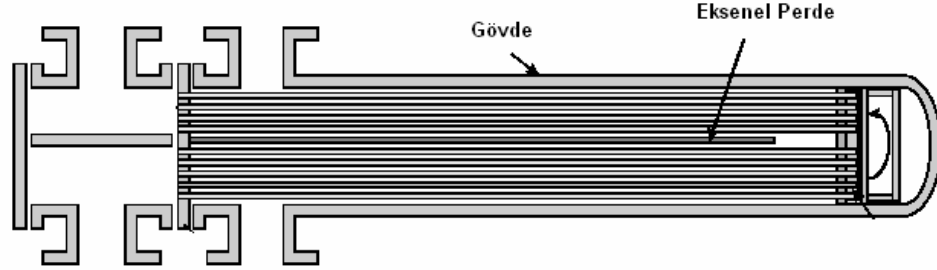
Gövde borulu ısı değiştiricilerinde, kovan boyunca akışın çok farklı şekilleri mevcuttur. Bu akış şekillerinin her biri özel uygulama alanına sahiptir. TEMA tarafından tespit edilen bu tipler Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Her bir kovan konfigürasyonu E, F, G, H, J, K, X gibi harflerle gösterilmiştir.



Şekil 2.4 TEMA gövde tipleri [2]



Şekil 2.5 TEMA gövde tipleri (eksenel perdeli) [2]



Şekil 2.6 TEMA F serisi gövde [2]

Bir gövde borulu ısı değıştircisinin optimum dizaynı için bir çok pratik yöntem mevcuttur. Temel amaç ısı transferini düşük maliyette gerçekleştirmek ve servis gerekliliğini minimuma düşürmektir. Akışkanın boru veya gövdeden geçirilmesi dizayn esnasında önemlidir ve aşağıdaki parametreler göz önüne alınır:

1. Yüksek basınca sahip akışkan tüp boyunca akar. İstenen basınca göre farklı malzemedен boru imali ucuz ve kolaydır.
2. Korozyona sebep olabilecek akışkan boru kısmından akar. Tüpleri korozyona dayanıklı epoksi ile kaplamak kolaydır.
3. Kirliliği yüksek akışkan boru kısmına konur, çünkü temizlenmesi kolaydır.
4. Herhangi bir hasar durumunda borular değıştirilebilir ve bu işlem düşük maliyette gerçekleştirilir.
5. Düşük ısı transfer katsayısına sahip akışkan gövde kısmına konur. Kanatçıklarla ısı transfer alanının artırılması mümkündür.

3. JET MOTORLARINDA KULLANILAN ISI DEĞİŞTİRİCİ TİPLERİ

3.1 F110 Motorları Isı Değıştircileri

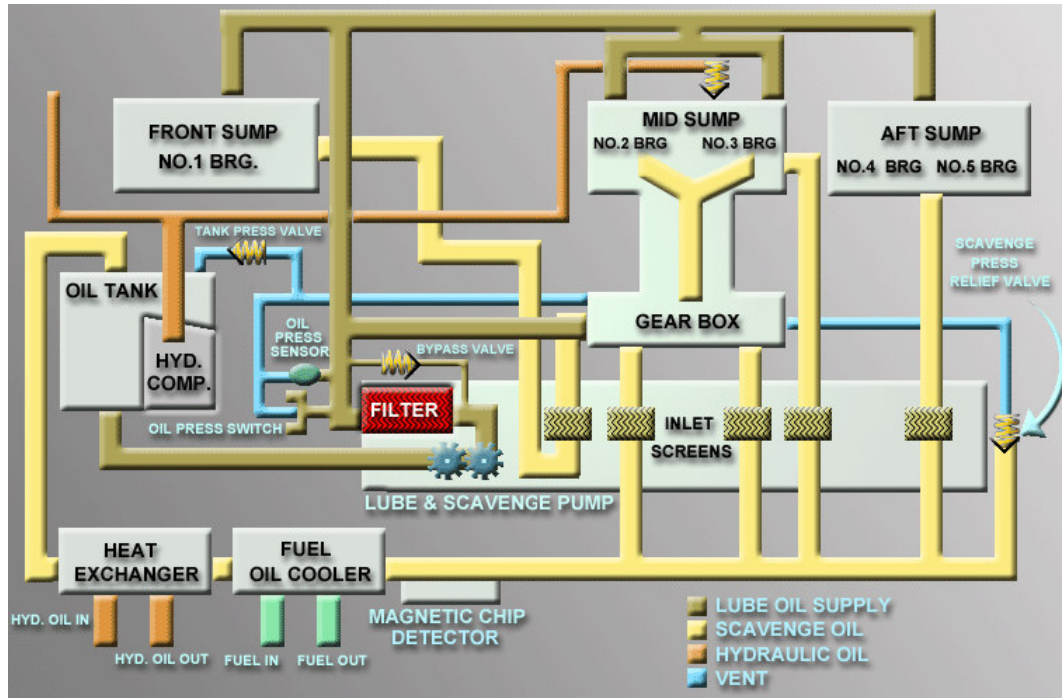
F16 uçaklarına ait F110 motorlarında, motor yağlama sisteminde kullanılan yağın sıcaklığının belirli limitler dahilinde kalmasını sağlamak için yakıt soğutmalı ısı değıştircisi kullanılır. Yağ sıcaklığının 422 K'ni aşması kritik değerdir. Aynı zamanda yağ sıcaklığının aşırı düşmesi de viskoziteyi yükseltir ve bu durum fark basıncın aşırı yükselmesine neden olur. Bir bypass valfi kullanılarak ısı değıştirci devresi kapatılır.

3.1.1 Isı Değıştirci Sisteminin İrdelenmesi

Isı değıştircisinin içinde bulunduğu devre Şekil 3.1'de verilmiştir. Motorun farklı bölümlerinde bulunan yatakların ve dişli kutusunun belirli basınç ve sıcaklıkta yağlanması gerekir.

Motor üzerinde bulunan yağ tankında 10.6 litre yağ bulunur. Bu yağ bir yağlama pompası vasıtasıyla yataklara gönderilir. Pompa üzerinde bulunan 10 mikronluk filtre yağın filtrasyonunu sağlar. Yataklardaki ısınan yağ aynı pompa üzerinde bulunan tahliye elemanları tarafından çekilir ve filtre edilerek yağ soğutucusuna gönderilir. Yağ hattı üzerinde bulunan bir manyetik chip (metal parçaları) dedektörü tarafından sistemdeki aşınmalar belirlenir.

Jet yakıtı düşük sıcaklıktadır ve bu yakıt ısınan yağın soğutulması için kullanılır. Soğutulan yağ, ikinci bir ısı değıştircisine gönderilir. Bu ısı değıştircisi yağ-yağ akışkandır. Burada soğutulan yağ tanka gönderilir.



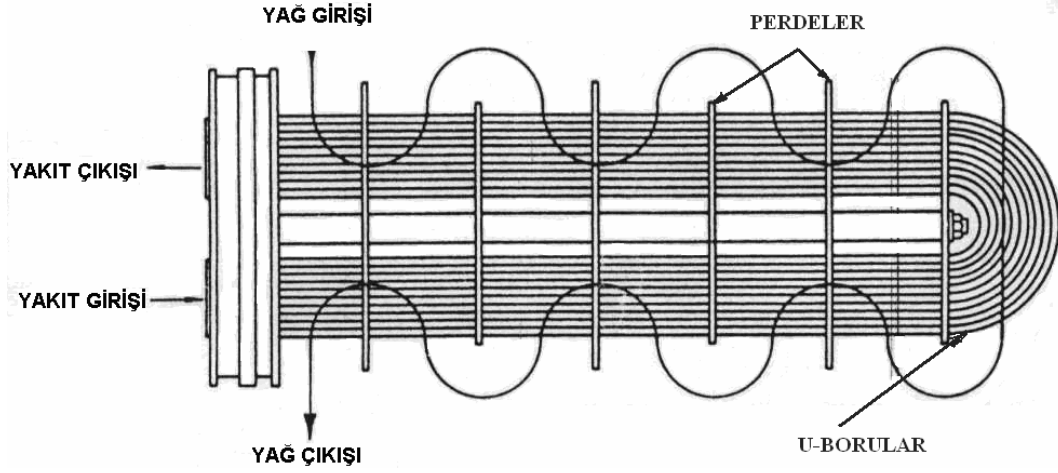
Şekil 3.1. F16 Uçaklarında kullanılan ısı değiştiricisi sistem şeması [3]

3.1.2 Isı Değiştiricisi Verileri

Motor “Military”de (87,5 ° gaz kolu açısı) çalışmakta olup, ısı değiştiricisi verileri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Isı değiştiricisi verileri

Gövde akışı	Boru akışı	Akış tipi	Isı transferi
MIL-L-7808	Kerosene	Karşıt akış	47,084 Kw



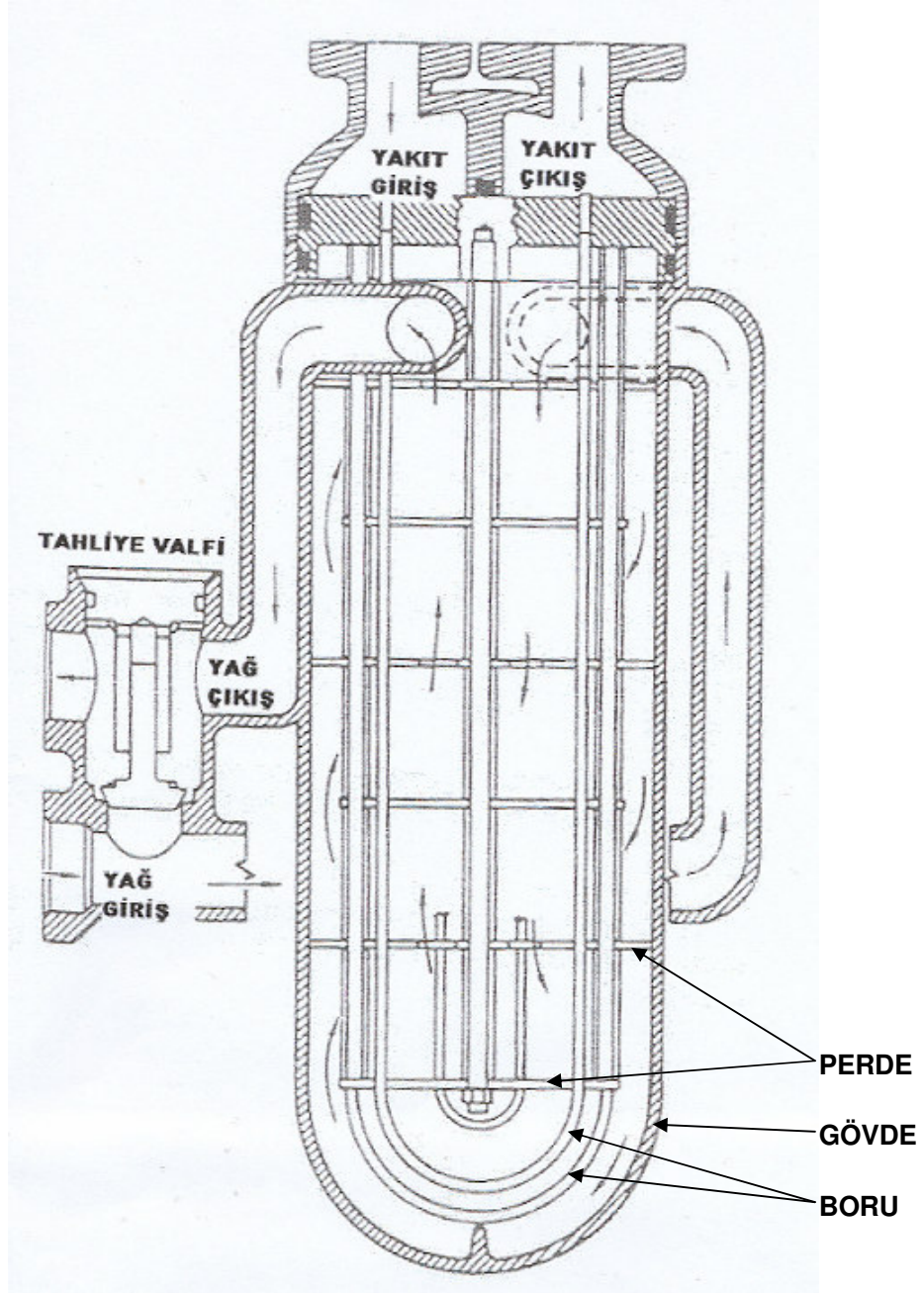
Şekil 3.2 Isı değiştiricisi i akış Şeması [4]

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi ısı değiştiricisi karşıt akışlı olup yakıt akışı boru boyunca, yağ akışı ise gövde içinden ve borular üzerindedir. 12 adet radyal, bir adet aksenal perde mevcuttur. Bu perdeler sayesinde ısı transferi artırılır. 217 adet boru üzerinde çok sayıda çentik oluşturulmuştur. Turbulence promoter olarak adlandırılan çentikler ısı transfer yüzey alanının ve türbülansın artışına neden olmaktadır.

Hidrolik çapın düşük olması nedeniyle F16 ısı değiştiricisi kompakt sınıftandır.

Şekil 3.3'de yağ ve yakıtın ısı değiştiricisi boyunca akışı verilmiştir. Yağ giriş bölümünde, ısı değiştiricide kirlenme veya yüksek yağ viskozitesi nedeniyle oluşabilecek aşır fark basıncı durumunda yağı bypass edecek tahliye valfi bulunmaktadır. Yağın bir bölümü ısı değiştiricisine girmeden sisteme akar. Yüksek yağ viskozitesi nedeniyle yeterli yağlama olmayacağından jet motorlarında bulunan dişli kutusuna bu yağ gönderilir ve dişli mekanizması sayesinde sıcaklığı artırılır ve viskozitesi azaltılır.

Boru gövde arası uzaklığın belirlenen kritik değerin altına düşmemesi gerekir. Bu nedenle Şekil 3.3'de verilen gövde-perde arası uzaklık X-Ray ışınları ile llr.



Şekil 3.3 Isı değiştiricisi i akış şeması [4]

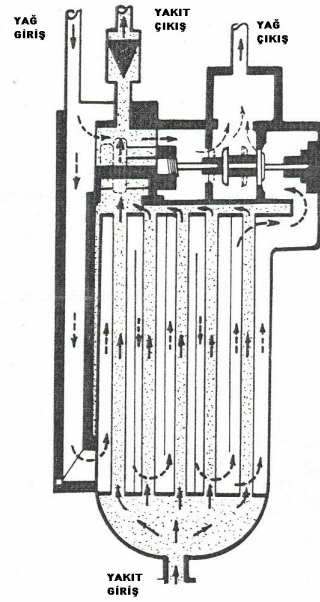
3.2 T56 Motorları Isı Değiştiricileri

C-130 uçaklarına ait T56 motorlarında kullanılan bu ısıtıcının görevi soğuk çalışma koşullarında filtre ve diğer yakıt sistemi elemanlarının buzlanmasını önlemektir. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi motor ve dişli kutusundan gelen yağ, yakıt ısıtıcısına girer. Yakıt ısıtıcısı üzerinde yağ gövdeden, yakıt ise boru boyunca hareket eder. Isıtıcı üzerinden yağ akışını kontrol etmek amacıyla termostatik bir bypass valf kullanılır. Valf, yakıt çıkış sıcaklığını hisseder ve sıcaklığa bağlı olarak açıp kapanır. Yakıt sıcaklığı donma noktası civarında ise valf tam kapalı pozisyonundadır. Sıcaklık arttıkça valf açılır ve yağın bir kısmı bypass edilir. Yaklaşık 297 K yakıt sıcaklığında bypass valf tamamen açıktır ve yağın tamamı bypass edilir. Bir basınç relief valfi bypass valfin içine monte edilmiş olup yakıt ısısında oluşabilecek iç hasarı önler. Yağ çıkış basıncının 68,870-79,200 kPa üzerinde bir basınç mevcutsa valf açılır.

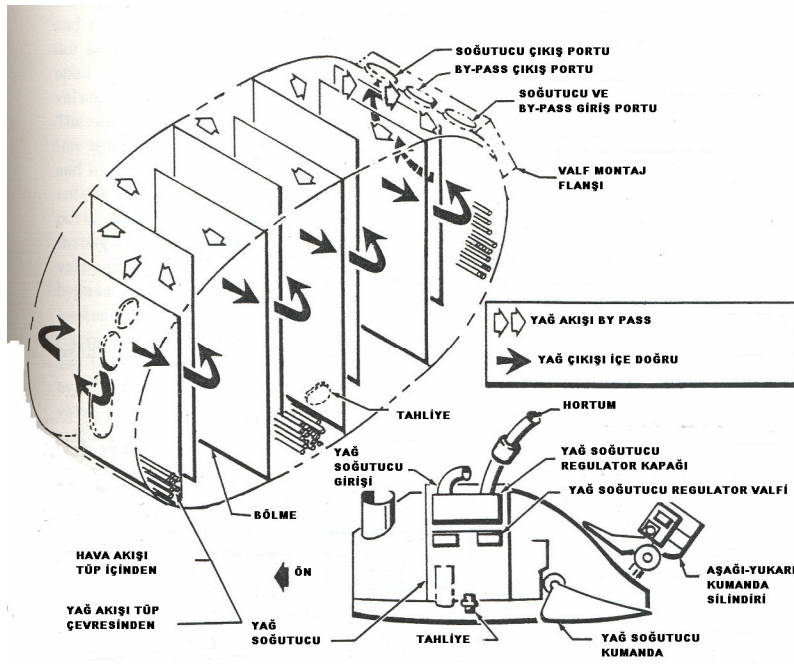
Motordaki yağı soğutmak amacıyla Şekil 3.5'de verilen yağ ısı değiştiricisi kullanılır. Otomobil radyatörü gibi çalışır. Ram havası (uçanın hareketi sonucu oluşan dinamik hava hareketi) boruların içinden, yağ ise gövde boyunca borular üzerinden akar. Yağ sıcaklığı havaya transfer edilir.

Isı değiştiricisinin soğutma kapasitesi akan hava miktarına bağlıdır. Hava akışı ise bir flap mekanizması ile kontrol edilir. Yağ soğutucusu regülatör valfi soğutucuya tutturulmuş olup aşağıdaki üniteleri ihtiva eder. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7

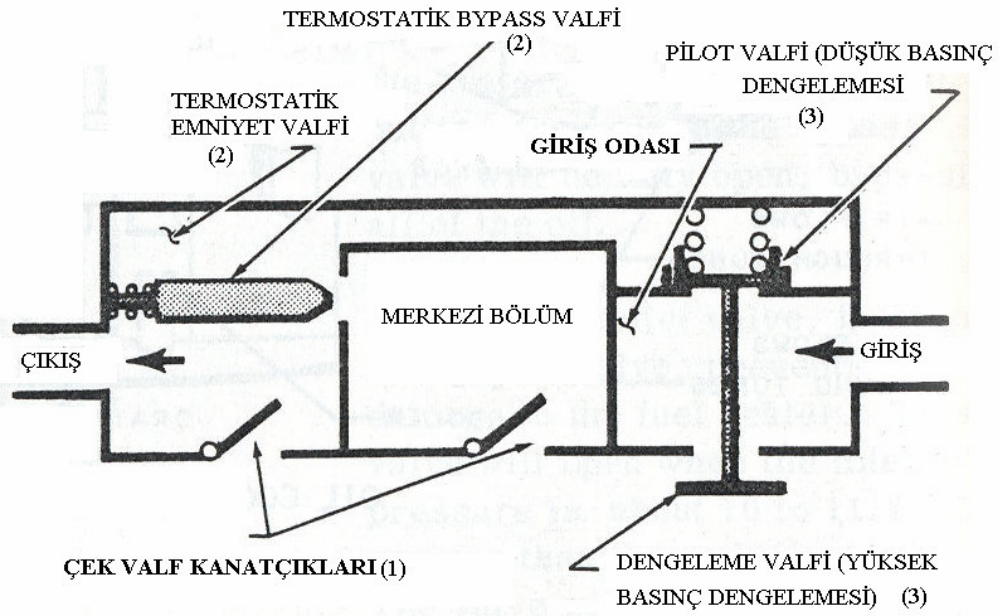
1. İki flapper kontrol valfi
2. Termostatik bypass ve relief valfi
3. Kılavuz valfi



Şekil 3.4 T56 Motoru yakıt ısıtıcısı [5]

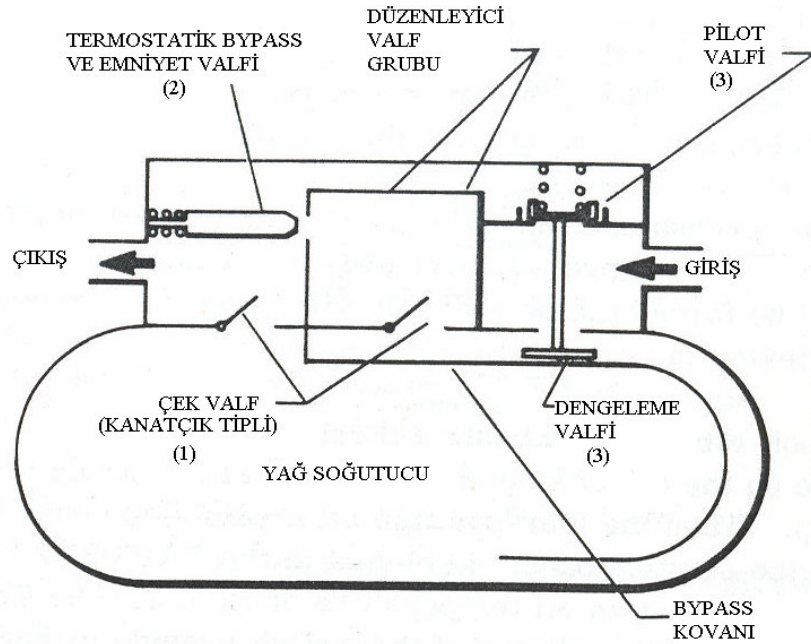


Şekil 3.5 T56 Motoru yağ ısı değiştiricisi [5]



YAĞ SOĞUTMA VALFİ

Şekil 3.6 Yağ Soğutma Valfi



YAĞ SOĞUTUCUSU ŞEMASI

Şekil 3.7 Yağ Soğutucusu Şeması

Gövde ise aşağıdaki elemanları içerir:

1. Yağın sisteme hareket ettiği hacim,
2. Yağın sistemden döndüğü hacim,
3. Giriş yağının bypass edildiği hacim (merkezi kompartıman).

Merkezi ve çıkış kompartımanları flapper tipi kontrol valfine sahiptir. Bu valfler yağın yağ soğutucusuna veya bypass ceketleri boyunca girişe gelmesini önler.

Termostatik bypass ve relief valfi merkez ve çıkış kompartımanları arasında bulunmaktadır. Termostatik element, yağ çıkış sıcaklığını hissetmek üzere konumlandırılır.

Kılavuz ve akım valfi girişteki yağ sıcaklığını hissetmek üzere konumlandırılmıştır. Kılavuz valfi giriş ve çıkış kompartımanları arasındaki kanalı kontrol eder. Akım valfi ise giriş kompartımanı ile yağ soğutusu ve bypass ceket girişi arasındaki kanalı kontrol eder.

Soğuk bir motor çalıştırması yapıldığında, termostatik bypass ve relief valfi ile akım valfi açıktır, kılavuz valfi ise kapalıdır. Bu nedenle yüksek basınç ve düşük sıcaklıktaki yağ giriş kanalına gelir. Akım valfi kanalı, bypass ceketini, merkezi kompartıman flapper valf kanalı, termostatik bypass ve relief kanalından geçerek çıkış kanalına gelir.

Bypass ceketini geçen bir miktar yağ soğutucusunun iç kısmı boyunca akışı içeride viskozitesi yüksek yağ bulunduğu için engellenir. Girişteki yağ basıncı 413,220 kPa değerine ulaştığında kılavuz valfi açılır ve yağın bir kısmı çıkış kompartımanına gönderilir.

Eğer soğutucudaki yağ basıncı 585,395 kPa değerine ulaştığında kılavuz valfi hareket ederek akım valfini kapatır. Böylece yağın çıkış kompartımanına akışı sağlanır. Bu durum ayrıca yağ soğutucusunu ani basınç dalgalanmalarından korur. Yağ çıkış kompartımanına geldiğinde termostatik eleman ısınır ve termostatik bypass elemanı kapanmaya başlar. Bu durum yağın bir kısmını soğutucu iç kısmı boyunca akmaya zorlar. Eğer çıkıştaki yağ sıcaklığı valfi kapatacak seviyeye ulaşırsa tüm yağ soğutucu iç kısmından akar.

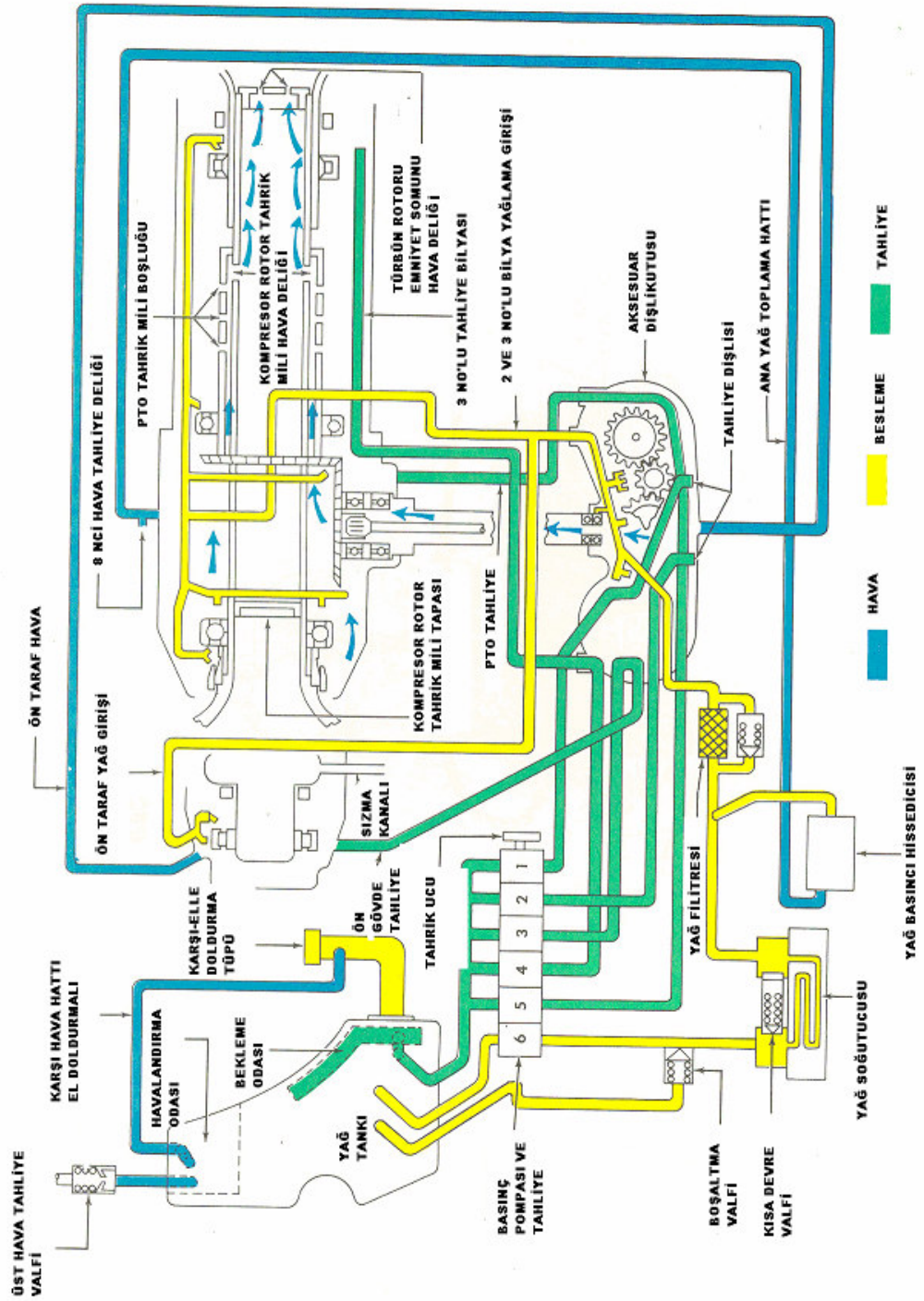
Termostatik bypass ve emniyet valfi kapalı konumda iken fark basıncı 344,350 kPa değerine ulaşırsa valf açılmaya başlar. Yağ bypass kanalına verilerek fark basınç azaltılır.

3.3 J85 Motorları Isı Değiştiricileri

F-5 uçaklarına ait J85 motorlarının yağlama sistemi Şekil 3.8’de verilmiştir. Sarı renkle gösterilen yağ, besleme yağı olup dişli kutusu ile motorun sıcak ve soğuk bölgelerinde bulunan yataklara akar. Yağlama ve soğutma işlevi sonrası ısınan yağ, yeşil renkle gösterilen tahliye hattını izler ve yağ soğutucusuna gelir.

Yağ soğutucusu bir sıvı-sıvı ısı değiştiricisidir. Çok sayıda aksel boru mevcuttur. Soğutucu akışkan yakıttır. Yakıt boru içinden, yağ ise gövde boyunca hareket eder. Yağ, yakıtın bulunduğu borular üzerinden 6 kez geçerek ısı transferini gerçekleştirir. Soğutucu üzerinde bulunan relief (tahliye) valfi, giriş ve çıkış arasındaki fark basıncının; tıkanma, yüksek viskozitedeki veya düşük sıcaklıktaki yağ gibi etmenler nedeniyle 179,062-234,158 kPa değerini aşması durumunda açılarak yağ tahliye eder.

Şekil 3.8’de mavi renkle belirtilen hatlar hava hattı olup motorun değişik bölgelerinde sızdırmazlık sağlar ve bu esnada yağa karışır.



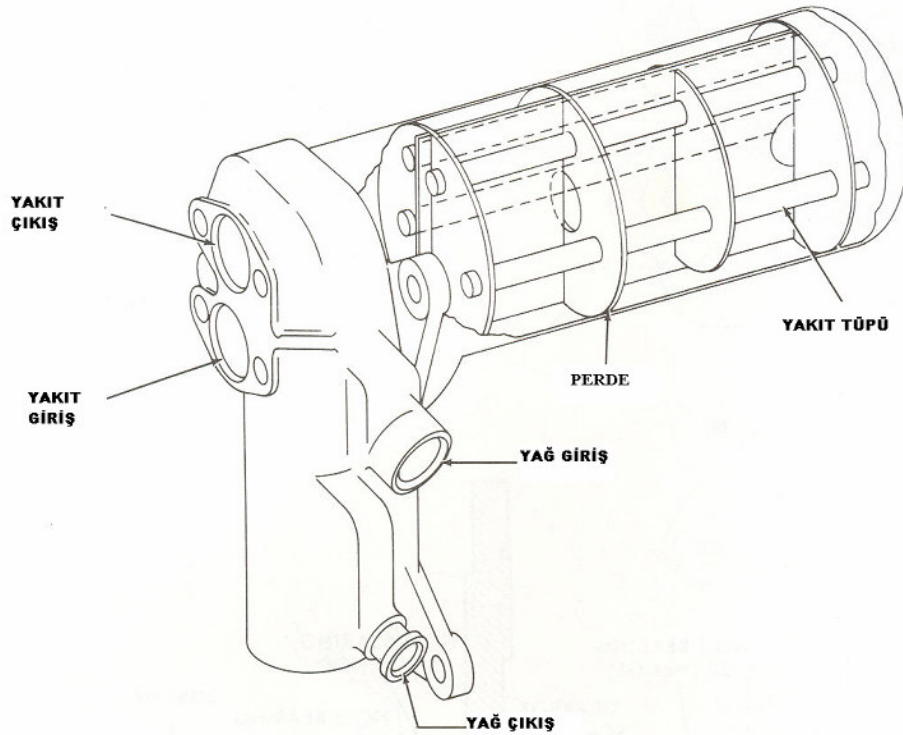
Şekil 3.8 J85 Motoru yağlama sistemi [6]

Yağa karışan hava, yağ tankı üzerinde bulunan sistemle atmosfere atılır.

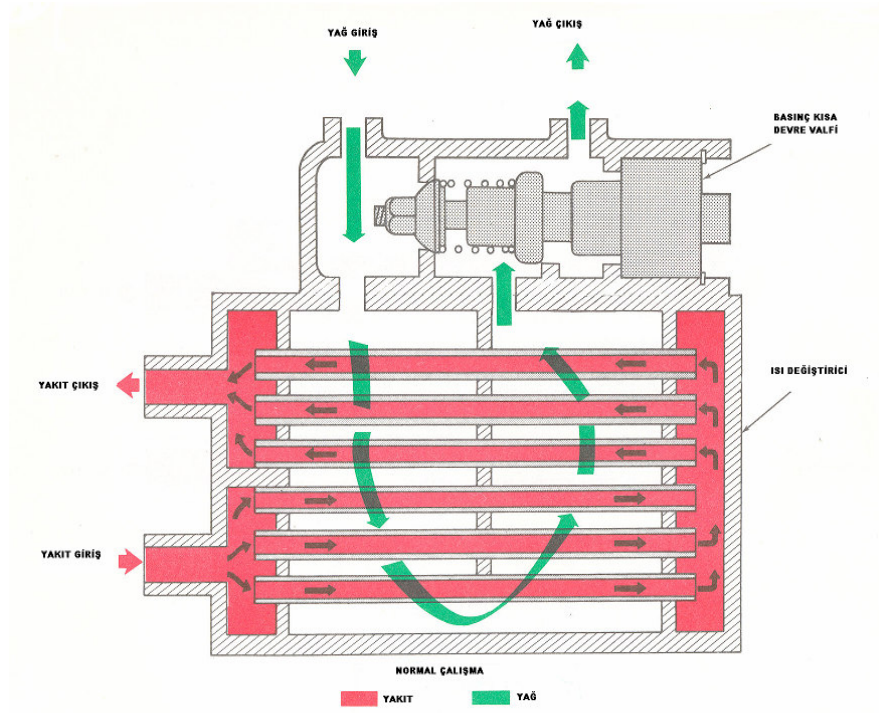
Şekil 3.9’da ısı değiştirici gövdesi, perde ve boruları verilmiştir. Eksenel borular ve radyal perdeler gövde içine monte edilmiştir.

Şekil 3.10’da yeşil renk ile gösterilen yağ, yakıt boruları arasından altı kez geçerek ısı değiştiricisinden ayrılır. Kırmızı renkle belirtilen ve borular içinden akan soğuk yakıt ile sıcak motor yağı ile arasında ısı geçişi olur.

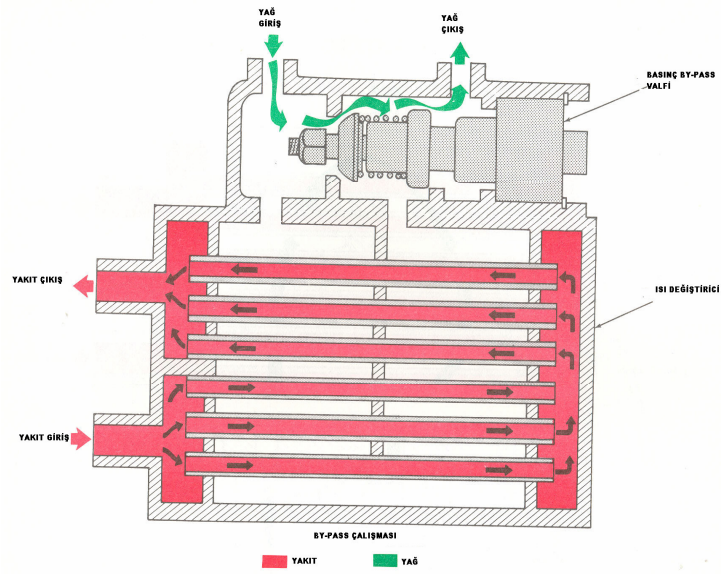
Isı değiştirici giriş-çıkışı arasındaki fark basıncının kirlenme, düşük yağ sıcaklığı veya yüksek yağ viskozitesi nedeniyle 179 kPa. değerini aşması durumunda tahliye valfi Şekil 3.11’de verildiği gibi yağ, yakıt boruları arasından geçerek ısı değiştiricisinden ayrılır. Bu esnada sıcak motor yağı ile soğuk yakıt arasında ısı geçişi olur.



Şekil 3.9 J85 Motoru ısı değiştiricisi [6]



Şekil 3.10 J85 Motoru ısı değıştiricisi (tahliye valfi kapalı) [6]

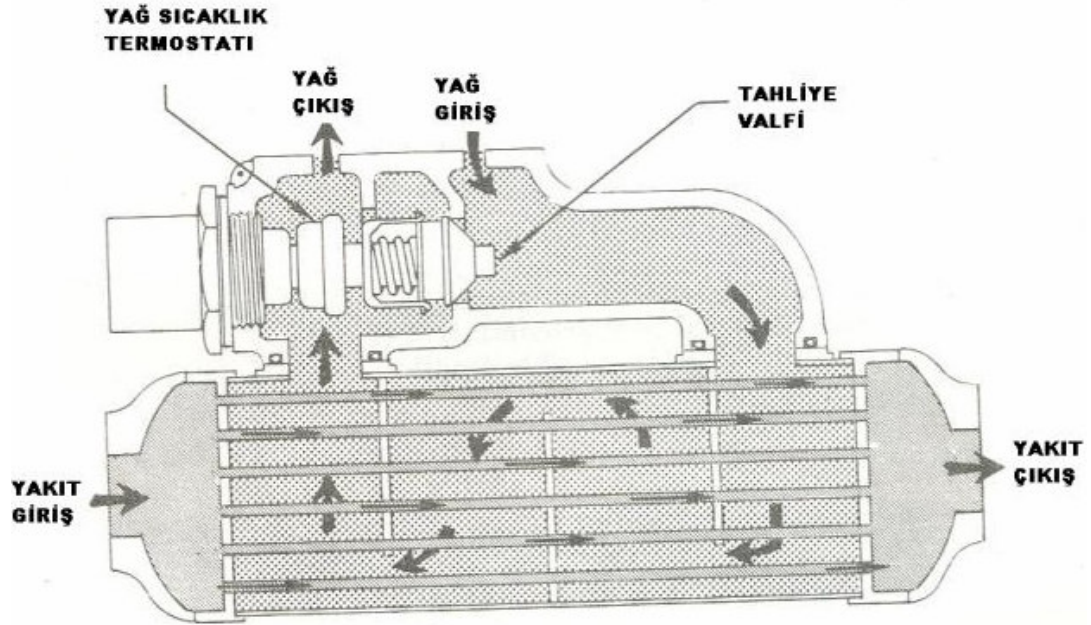


Şekil 3.11 J85 Motoru ısı değıştiricisi (tahliye valfi açık) [6]

3.4 J79 Motorları Isı Değiştiricileri

F4 uçaklarında kullanılan J79 motorlarına ait A/B yağ ısı değiştiricisi Şekil 3.12'de verilmiştir. Yakıt boru içinden, yağ ise gövde boyunca perdeler üzerinden geçerek ısı transferi sağlar. Yakıt basıncının yüksek olması boru kısmından yakıt akışının bir etkenidir.

Şekil 3.12'de verilen tahliye valfi 423-433 K arası yağ sıcaklığında tamamen açıktır. Bu durum, yağ çıkışında bulunan sıcaklık termostatının tahliye valfini hareket ettirmesiyle sağlanır.



Şekil 3.12 J79 Motoru A/B ısı değiştiricisi [7]

J79 motoru ısı değiştiricisinin ısı geçişi özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir. İki farklı ısı değeri motorun iki çalışma bölgesine aittir.

Tablo 3.2 J79 motoru A/B yağ soğutucu değerleri

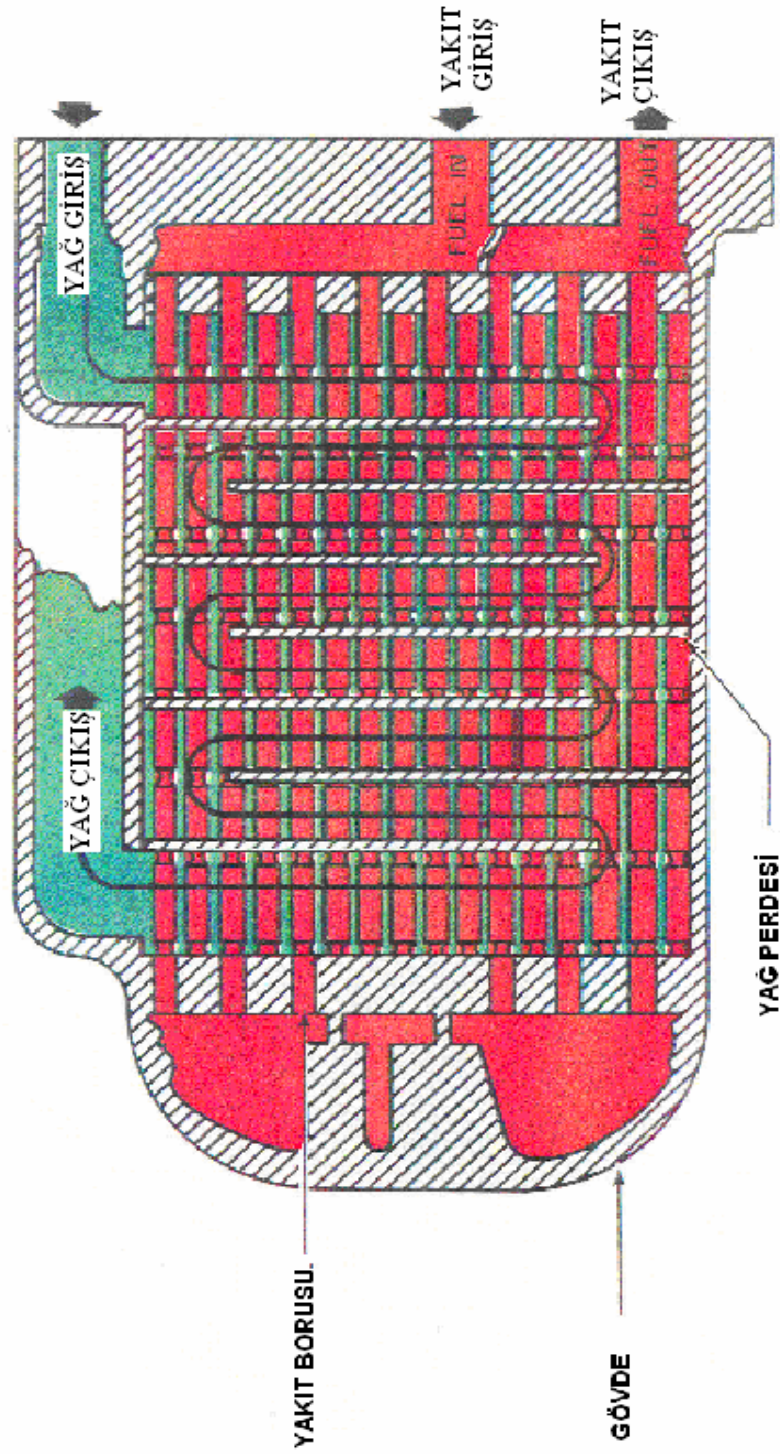
Isı	Yakıt akışı	Yakıt sıcaklığı	Yağ akışı	Yağ sıcaklığı
5,8 kW	0,09 kg/s	390 K	0,93 kg/s	425 K
8,02 kW	0,11 kg/s	385 K	0,93 kg/s	423 K

3.5 CT7 Motorları Isı Değiştiricileri

Casa uçaklarına ait CT7 motorlarında kullanılan ısı değiştiricisi Şekil 3.13’de verilmiştir. Soğutucu akışkan JP8 yakıtı olup boru boyunca hareket eder. Gövde boyunca hareket eden akışkan MIL-L-7808 yağlama yağıdır. Hidrolik çapın 5 mm. değerinin altında olması nedeniyle kompakt sınıfındandır.

Tablo 3.3 CT7 motoru ısı değiştiricisi değerleri

Isı	Yakıt akışı	Yakıt sıcaklığı	Yağ akışı	Yağ sıcaklığı
9,88 kW	0,09 kg/s	312 K	0,21 kg/s	394 K



Şekil 3.13 CT7-9C Motoru ısı değiştiricisi [8]

4. F110 MOTORU ISI DEĞİŞTİRİCİSİ MATEMATİK MODELİ

4.1 Çıkış sıcaklıklarının bulunması

Isı değıştiricisinin toplam ısı transferi 47,084 Kw değerindedir. Yağ ve yakıtın giriş sıcaklıkları bilindiğinden yağ ve yakıtta ait ortalama sıcaklıklarda Tablo 4.1'de verilen katsayılar belirlenerek çıkış sıcaklıkları hesaplanır.

Tablo 4.1 Yağın 384,5 K'de ve yakıtın 316 K'deki özellikleri

Katsayı	Yağ	Yakıt
k(W/mK)	0,14	0,17
ρ (kg/m ³)	899	866
μ (Pa s)	0,002184	0,001657
c_p [J/(kg K)]	2270	2078
\dot{m} (kg/s)	0,57	1,259

4.1.1 Yağ çıkış sıcaklığı:

$$Q = \dot{m}_I c_{pI} \Delta T_I$$

$$47,084 = 0,57 \times 2,270 (403 - T_{I\check{C}})$$

$$T_{I\check{C}} = 366,5 \text{ K}$$

4.1.2 Yakıt çıkış sıcaklığı:

$$Q = m_{II} c_{pII} \Delta T_{II}$$

$$47,084 = 1,259 \times 2,078 \times (T_{2Ç} - 307)$$

$$T_{2Ç} = 325 \text{ K}$$

4.1.3 Ortalama sıcaklıklar

$$\frac{T_{Ig} + T_{Iç}}{2} = \frac{403 + 366,5}{2} = 384,5 \text{ K (yağ)}$$

$$\frac{T_{IIg} + T_{IIç}}{2} = \frac{307 + 325}{2} = 316 \text{ K (yakıt)}$$

4.1.4 Logaritmik sıcaklık farkı

$$\Delta T_m = \frac{(T_{Ig} - T_{IIç}) - (T_{Iç} - T_{IIg})}{\ln \frac{T_{Ig} - T_{IIç}}{T_{Iç} - T_{IIg}}}$$

$$\Delta T_m = \frac{(403 - 325) - (366,5 - 307)}{\ln \frac{403 - 325}{366,5 - 307}} = 68,34^\circ\text{C} = 341,34 \text{ K}$$

Şekil 4.1'de ısı değiştiricisi boyutları verilmiştir. Önemli boyutlar:

1 referans no : Isı değiştiricisi gövde kapak kısmı boru demeti montaj mesafesi

2 referans no : Boru demeti montaj mesafesi (gövde ile aradaki klerans için önemlidir.)

4 referans no : Boru demeti kapak çapı.

6 referans no : Gövde iç çapı.

8 referans no : Pim dış boyu.

9 referans no : Perdeler arası mesafe.

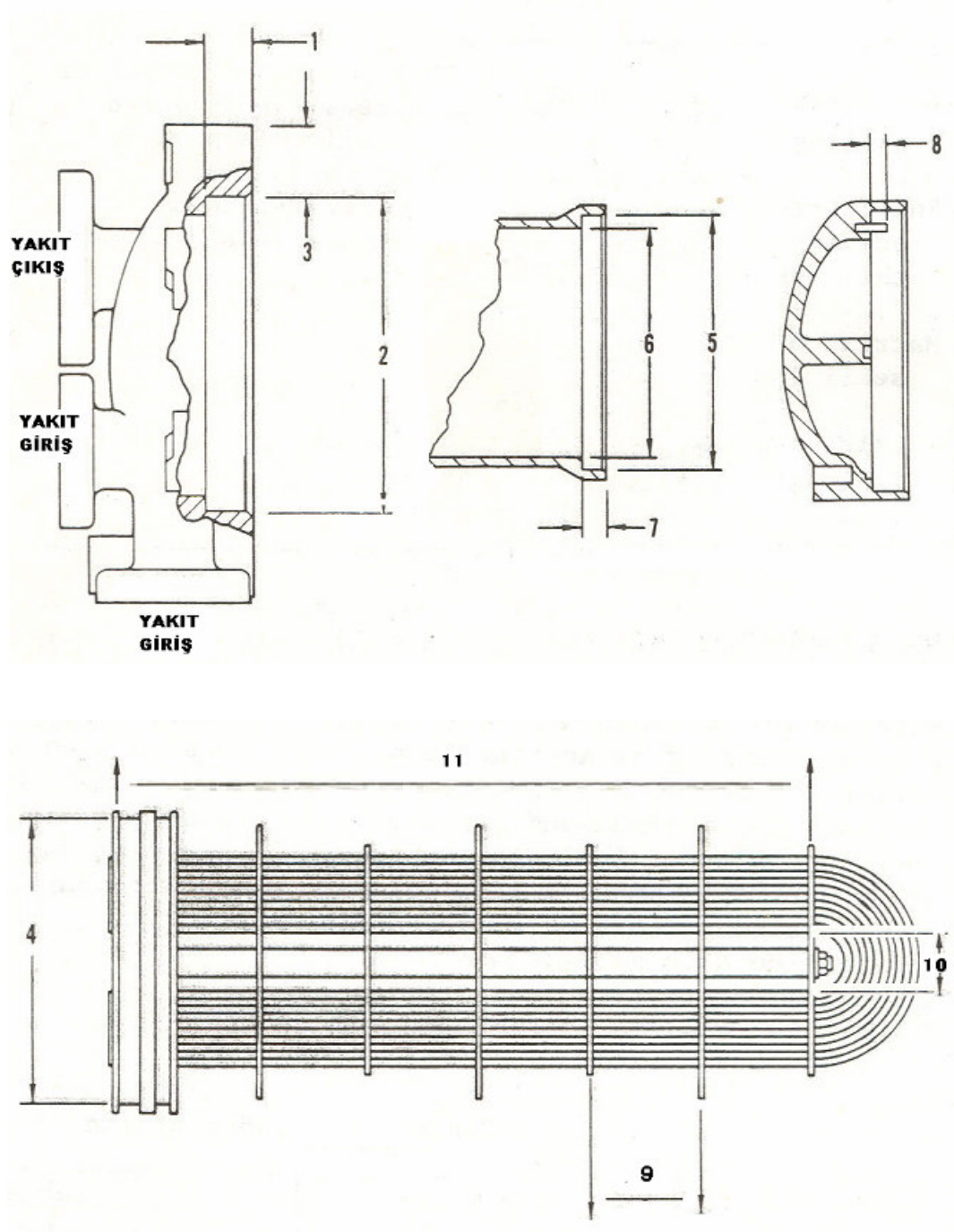
10 referans no : U boru eksen arası mesafe.

11 referans no : Boru boyu.

Tablo 4.2 Isı değiştiricisi boyutları

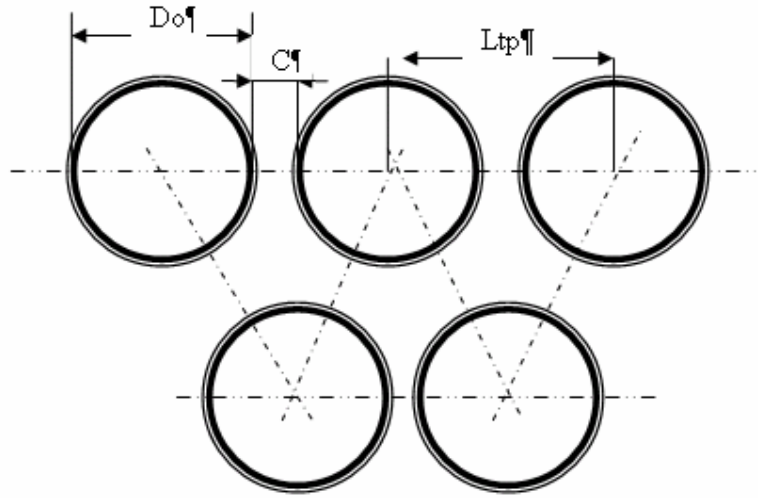
Referans no	Maksimum Limit (mm)	Minimum Limit (mm)
1	13,08	13,18
2	101,65	101,6
3	5,76	5,74
4	-	95,65
5	101,65	101,6
6	91,84	91,79
7	9,98	9,88
8	-	3,55
9	35,6	35,6
10	27,37	27,37
11	237	237

4.1.5 Boyutlar



Şekil 4.1 Isı değıştircisi boyutları [4]

Toplam 217 adet borunun bulunduğu ısı değiştiricisi Şekil 4.2’de görülen gen dizilişe sahiptir. Tablo 4.3’te boyutsal değerler verilmektedir.



Şekil 4.2 gen diziliş

Tablo 4.3 gen diziliş boyutsal değerler (mm)

D_o	D_i	s	D_s	L_{tp}	C
2,32	1,62	0,35	91,8	2,82	0,5

D_o : Dış ap

s : Et kalınlığı

D_i : İ ap

D_s : Gövde apı

L_{tp} : Boru eksenleri arası uzaklık

C: Boru dış çapları arası uzaklık

4.1.6 Gövde içi akış alanı hesabı

Gövde, orta kısmından tam perdeli olduğundan 85 mm uzunlukta kiriş uzunluğu üzerinden alınan ve eksen üzerinde 26 adet boru geçişinin bulunduğu kesitte;

$$L_{bc} = 35,60 \text{ mm olmak üzere}$$

$$a_s = 85 \times 35,60 - 26 \times 2,32 \times 35,60 = 878,6 \text{ mm}^2 = 8,786 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ bulunmuştur.}$$

4.1.7 Gövde tarafı eşdeğer çap hesabı

Üçgen diziliş için:

$$De = \frac{4 \times \left[\frac{1}{2} L_{tp} \times 0,86 \times L_{tp} - \frac{1}{2} \pi \frac{Dt^2}{4} \right]}{\frac{1}{2} \pi Dt} = 1,43 \text{ mm}$$

4.1.8 Gövde kütle akışı

$$G_s = \frac{m_I}{a_s} = \frac{0,57}{8,786 \times 10^{-4}} = 648,75 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

4.1.9 Gövde Reynolds sayısı

$$Re_s = \frac{G_s \times De}{\mu_I} = \frac{648,75 \times 1,43 \times 10^{-3}}{2,9 \times 10^{-3}} = 320$$

4.1.10 Boru Reynolds sayısı

Toplam yakıt akışı 1,259 kg/s olup boru başına düşen akış $1,259/217 = 0,0058$ kg/s'dir.

$$Re_b = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} = \frac{4 \times 0,0058}{3,14 \times 1,62 \times 10^{-3} \times 1,618 \times 10^{-3}} = 2818,8$$

2818,8 > 2300 olduğundan akış türbülanslıdır.

Gövde kısmı Reynolds sayısı 320 olmasına rağmen perde sayısı 8'in üzerinde olduğundan akış türbülanslıdır

5. F16 ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN SAYISAL MODELLEMESİ

F16 ısı değiştiricisinin sayısal modeli bir yazılım aracılığıyla yapılmıştır. Bu yazılımda aşağıdaki aşamalar izlenmiştir;

1. Gambit programı ile model oluşturulur.
2. Dügüm noktaları oluşturulur.
3. Sınır değerler belirlenir.
4. Fluent programı ile sınır değerler girilerek çözümler yapılır.

F16 ısı değiştiricisi; 217 adet U-tipi boru ve 12 adet radyal, 1 adet eksenel perdeye sahiptir. Isı değiştiricisinin tümünün modelinin oluşturulması yerine 100, 237 mm.lik bölümü ve 1, 6, 9 ve 7 boruluk kısmı ele alınmıştır.

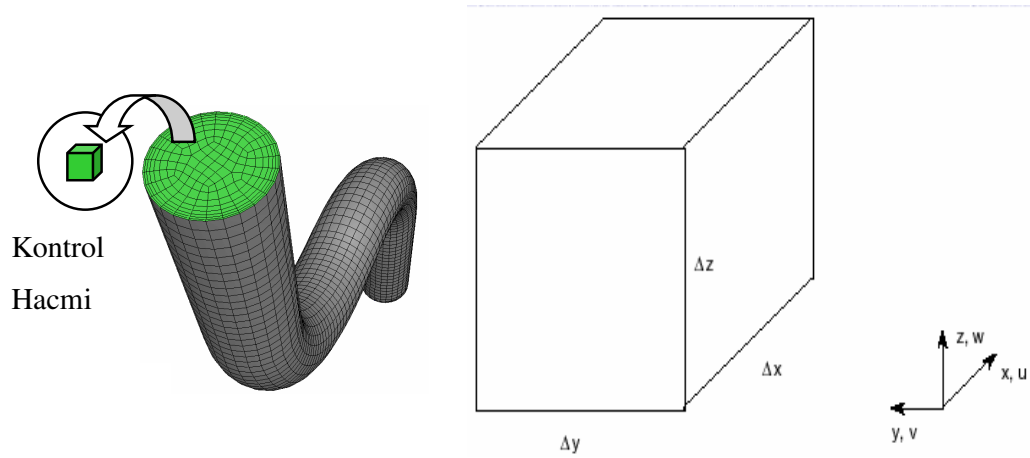
Modelleme esnasında yağ akış hacmi cidarı kare kesit olarak alınmıştır. Yağ akış hacmi, toplam yağ akış hacminin her bir boruya karşılık gelen akışı cinsinden hesaplanmıştır.

Fluent programında yağ sıcaklığı, sabit cidar sıcaklığı olarak kabul edilerek çözümler yapılmıştır. 3 adet borunun kirlenme sonucu tıkanması durumunda yağ sıcaklığının zamana bağlı artışı hesaplanmıştır.

Süreklilik Denklemi

CFD sayısal modelleme programı akışkan hızı, kütle akışı, basınç, sıcaklık ve türbülans parametreleri ile akışkan özelliklerine ait korunum denklemlerini çözmek için sonlu hacimler metodunu kullanır. Her bir kontrol hacmi olarak nitelendirilen bölüm

için kısmi diferansiyel denklemler uygulanır. Bu da çok sayıda eşitlik demektir ve iterasyon yapılarak sonucun değişmediği ana kadar bu denklemler çözülür.



Şekil 5.1. Kontrol hacmi

Süreklilik Denklemi

Kontrol hacmindeki kütle akısı değişimi:

$$\text{Giren kütle akısı} = \rho u \Delta y \Delta z \quad (5.1)$$

$$\text{Çıkan kütle akısı} = -(\rho + \Delta\rho)(u + \Delta u) \Delta y \Delta z \left(\frac{\Delta\rho}{\Delta t} \right) \Delta x \Delta y \Delta z \quad (5.2)$$

Kontrol hacmindeki kütle dengesi aşağıdaki gibidir.

Kontrol hacmi kütle akısı = Giren kütle akısı – Çıkan kütle akısı

$$\left(\frac{\Delta\rho}{\Delta t} \right) \Delta x \Delta y \Delta z = \rho u \Delta y \Delta z + \rho v \Delta x \Delta z + \rho w \Delta x \Delta y \quad (5.3)$$

$$-(\rho + \Delta\rho)(u + \Delta u) \Delta y \Delta z - (\rho + \Delta\rho)(v + \Delta v) \Delta x \Delta z - (\rho + \Delta\rho)(w + \Delta w) \Delta x \Delta y \quad (5.4)$$

yukarıdaki denklemin açılımının yapılmasıyla;

$$\left(\frac{\Delta\rho}{\Delta t}\right)\Delta x\Delta y\Delta z = -(u\Delta\rho + \rho\Delta u)\Delta y\Delta z - (\rho\Delta v + v\Delta\rho)\Delta x\Delta z - (\rho\Delta w + w\Delta\rho)\Delta x\Delta y \quad (5.5)$$

elde edilir. Δt sıfıra giderse;

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad \text{dönüşür.} \quad (5.6)$$

Kısmi türevin alınmasıyla;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{sıkıştırılamaz akışkan}) \quad (5.7)$$

süreklilik denklemi elde edilir.

5.1 CFD Sayısal Programında Kullanılan Türbülans Modelleri

Tüm problemler için genel kabul görmüş tek bir türbülans modeli mevcut değildir. Türbülans modelinin seçimi, akış fiziği, elde edilmek istenen doğruluk değeri, simülasyon için mevcut zaman göz önüne alınarak belirlenir. En uygun modelin seçimi, farklı seçenekler için sınırlamaların bilinmesiyle mümkündür.

a) Standart $k-\epsilon$ model

Türbülans modellerinin en basiti olup türbülans kinetik enerjisi (k) ve yayılım oranı (ϵ) için transfer eşitliği modeli üzerinde oluşturulmuştur. [9]

$k-\epsilon$ model modelinin elde edilmesi esnasında, akışın tamamen türbülanslı ve moleküler viskozitenin ihmal edilebilir değerde olduğu kabul edilir.

Türbülans kinetik enerjisi (k) ve yayılım oranı (ϵ) aşağıdaki eşitliklerden elde edilir:

$$\rho \frac{D_k}{D_t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \quad (5.8)$$

ve

$$\rho \frac{D\epsilon}{D_t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5.9)$$

Bu eşitliklerde G_k ortalama hız gradyenlerinden dolayı oluşan türbülans kinetik enerji üretimini, G_b atalet kuvvetlerinden dolayı oluşan türbülans kinetik enerji üretimini, Y_M ise sıkıştırılabilir türbülans içindeki değişken genleşmenin toplam yayılım oranına katkısı olup sıkıştırılmaz akışkan için ihmal edilebilir. $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$ ve $C_{3\epsilon}$ sabit değerlerdir. σ_k ve σ_ϵ , sırasıyla k ve ϵ için türbülans Prandtl sayılarıdır.

“eddy” veya türbülans viskozitesi, μ_t , k ve ϵ bileşiminden C_μ sabit olmak üzere;

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (5.10)$$

$C_{1\epsilon}=1.44$, $C_{2\epsilon}=1.92$, $C_\mu=0.09$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\epsilon=1.3$ değerleri deneysel verilerden çıkarılmış sabit değerlerdir. [9]

b) RNG k- ϵ model

Standart k- ϵ modeline benzer ancak aşağıdaki farklılıkları içerir:

1. RNG modeli ϵ eşitliği içinde ilave terime sahiptir ve bu da hızla gelişen akışkan için doğruluğu artırır.
2. Bu model girdabın türbülans üzerine etkisini içermektedir.
3. Standart $k-\epsilon$ modeli yüksek Reynolds sayıları için kullanılmasına karşın RNG modeli düşük Reynolds sayılarında kullanılabilir.

$$\rho \frac{D_k}{D_t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i}) \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \quad (5.11)$$

$$\rho \frac{D\epsilon}{D_t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}) \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R \quad (5.12)$$

Bu eşitlikte R terimi:

$$R = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \eta / \eta_0) \epsilon^2}{1 + \beta \eta^3} \frac{1}{k} \text{ olarak tanımlanır. [9]} \quad (5.13)$$

c) **k-w model**

k-omega modeli, düşük Reynolds sayıları için uygun modeldir. Reynolds sayısının 2000-10000 arasında olması geçiş bölgesi olarak kabul edildiğinden, Viscous model tablosunda “Transitional Flows” seçimi yapılır.

5.2 Türbülans Yoğunluğu Değerinin Hesaplanması

Türbülans yoğunluğu değeri, I, hız dalgalanmalarının ortalama karekökünün, u' , ortalama hıza, u_{ort} , oranıdır. [10]

$$I \equiv \frac{u'}{u_{ort}} \cong 0.16 (Re_{D_H})^{-1/8} \quad (5.14)$$

Turbulence Intensity (T.I.) değerinin hesaplanması (yakıt) [10] :

$$T.I. = 0,16 \times Re^{-1/8}, \quad (5.15)$$

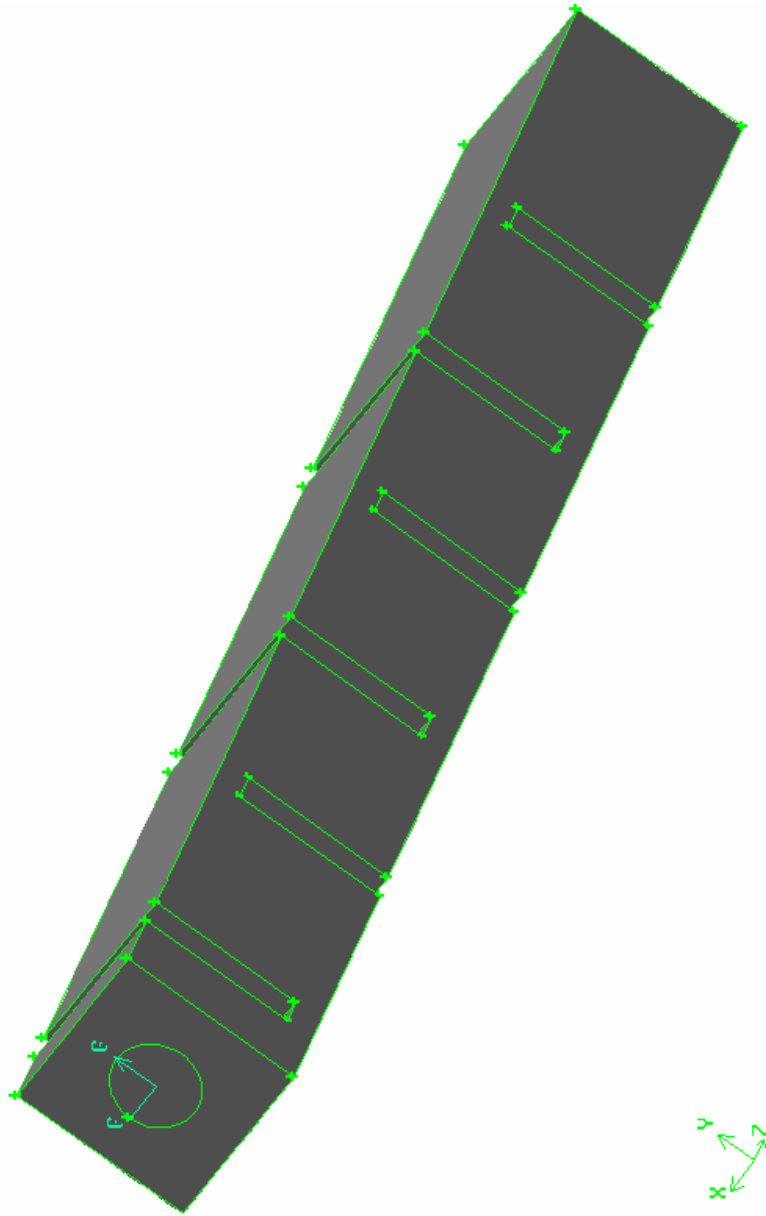
$$T.I. = 0,16 \times 2818^{-1/8} = 0,059 \text{ (\% 5,9)} \quad (5.16)$$

Türbölans yoğunluğunun % 1'e eşit ve altında olması düşük, % 10'dan fazla olması ise yüksek kabul edilir.

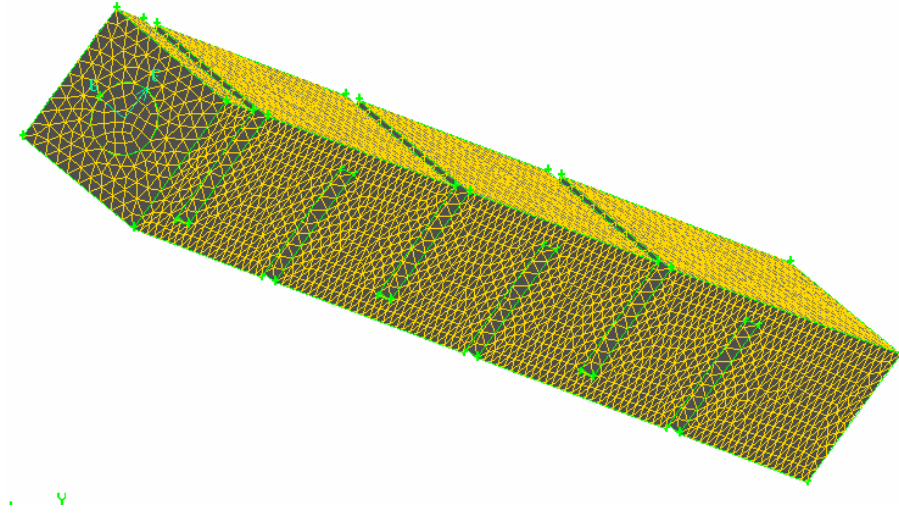
İç akışlarda türbölans yoğunluğu tamamen akışın giriş şekline bağlıdır. Tam gelişmemiş akışta düşük türbölans yoğunluğu kullanılabilir.

5.3 Isı Değiştiricisi Modelleme (0.1 m)

Isı değiştiricisi modellemesine giriş yapmak için seçilen 0.1 m.'lik bölüm Şekil 5.2'de görüldüğü gibi üzerinde bir yağ akış hacmi ve 6 adet perde mevcuttur.

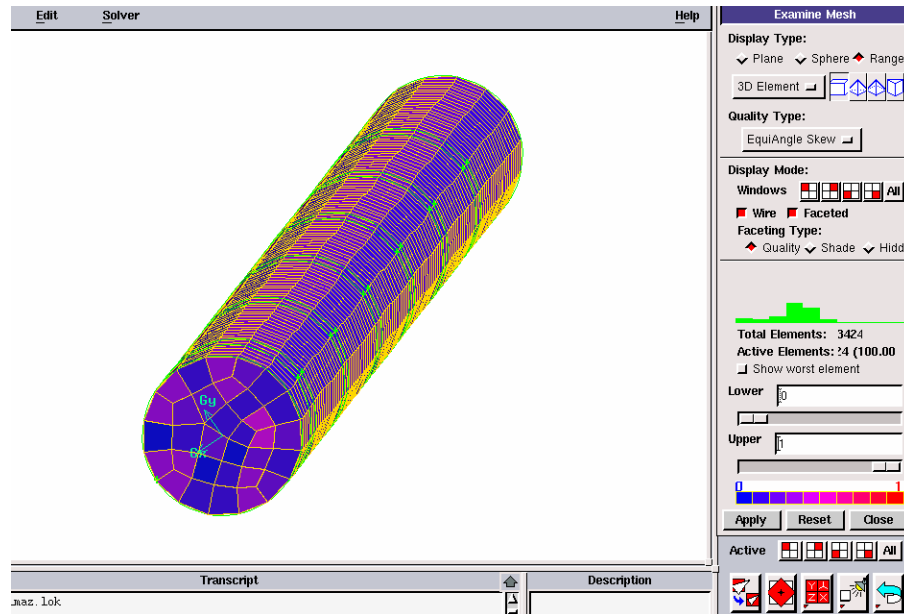


Şekil 5.2 Gambit modelleme (0.1 m boru/gövde/perde)



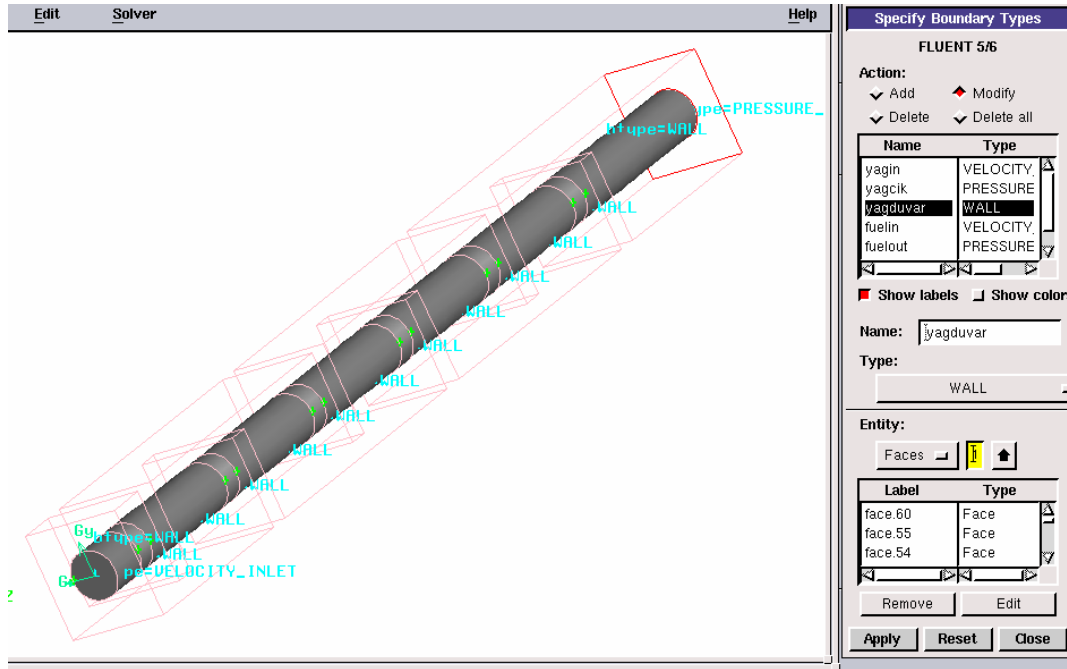
Şekil 5.3 Gambit sonlu elemanlar oluşturma

Gövde kısmı Tet/Hybrid elementi ile TGrid tipi, boru kısmında ise Hex/Wedge, Cooper tipi seçilmiştir. Şekil 5.3’de görüldüğü gibi sonlu elemanlar oluşturulmuştur. Şekil 5.4’te sonlu elemanlar yoğunluğu verilmektedir.



Şekil 5.4. Sonlu eleman yoğunluğu

Şekil 5.5'te sınır tipleri belirlenmiştir. Yağ duvarı kırmızı renkte gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Sınır tiplerinin girilmesi

Sınır tiplerinde:

Yağ/Yakıt giriş : Velocity inlet

Yağ/Yakıt çıkış : Pressure outlet

Yağ/Yakıt duvar : Wall

Yağ/Yakıt hacmi : Fluid olarak seçilmiştir.

CFD Sayısal programında girilen sınır değerler Tablo 5.1'de verilmektedir.

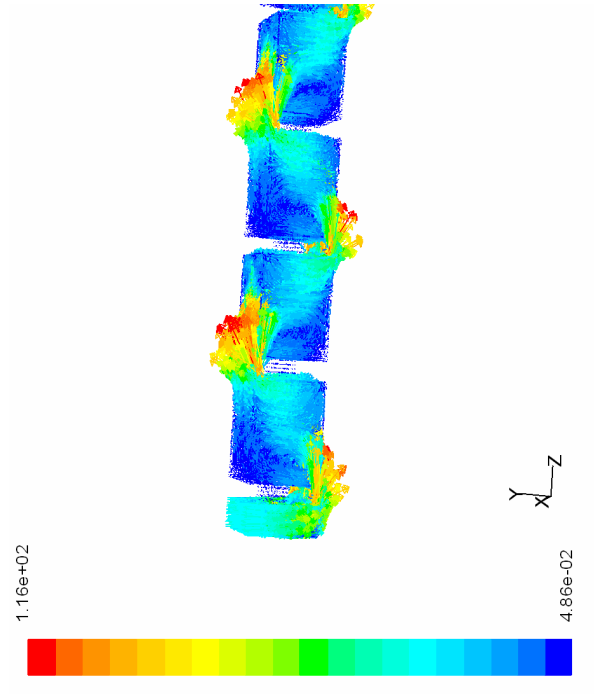
Tablo 5.1 Sınır değerler (0,1 m boru)

Tanım	Sınır Değer
Yağ Giriş Sıcaklığı (K)	403
Yakıt Giriş Sıcaklığı (K)	307
Yağ Kütle Akışı (kg/s)	0,00262
Yakıt Kütle Akışı (kg/s)	0,0058

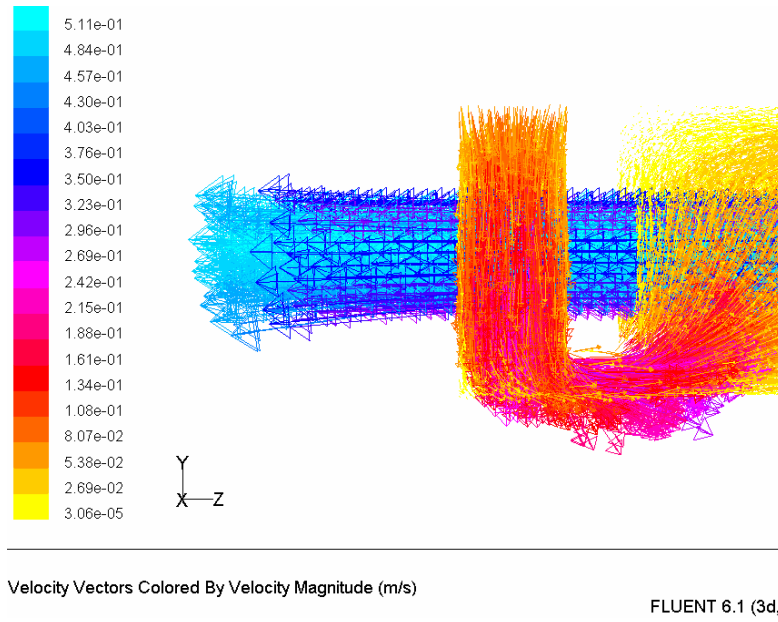
Tablo 5.1'deki sınır değerleri girildikten sonra iterasyon yapılarak yağ hızının değişimi, Şekil 5.6'daki gibi, elde edilir. Boru boyunca akışkan hızı fazla değişmemesine karşın gövde akışında, perde ile cidar arası kısımda kırmızı rekle belirtilen hız vektörünün büyüklüğü görülmektedir.

Şekil 5.7'de perde geçiş detayı verilmiştir. Kırmızı renkle gösterilen yağ perdeler arası akmakta olup, mavi renkle gösterilen kısım ise yakıt akışıdır. Isı değiştiricisi karşıt akış olduğundan hız vektörlerinin yönleri farklıdır.

Bu model, bir ön simülasyon olup gerçekte 100 mm.'lik bölümde 6 perde mevcut değildir. Bu nedenle ısı hesaplamalar yapılmamıştır.



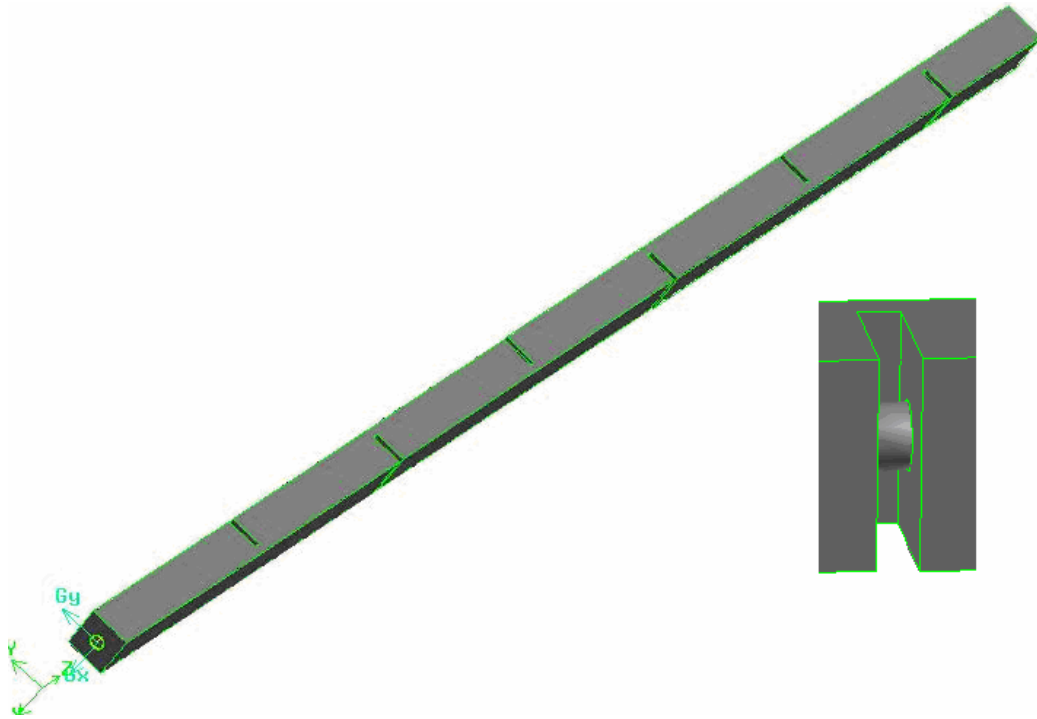
Şekil 5.6 Gövde boyunca hız vektörünün değişimi



Şekil 5.7 Gövde boyunca hız vektörünün değişimi-perde detay

5.4 Isı Değiştiricisi Modelleme (237 mm)

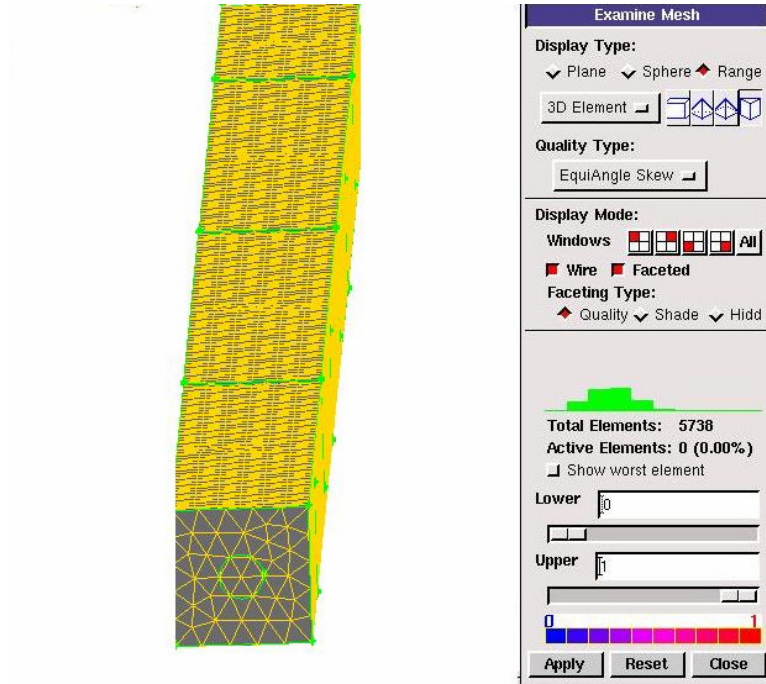
F16 Isı değiştiricisi modellemesine giriş olması açısından borunun 237 mm'lik kısmı modellenmiştir. Şekil 5.8'de görüldüğü gibi 237 mm.'lik boru, üzerinde bir yağ akış hacmi ve 6 adet perde mevcuttur. Perde detay resmi aynı Şekilde görülmektedir. Hesaplamalarda bu perdeler duvar olarak girilmiştir.



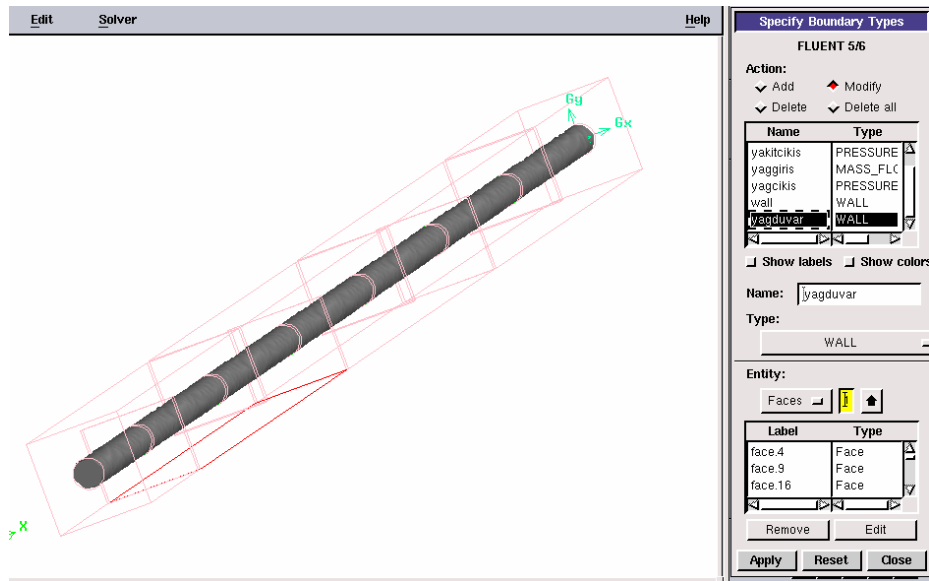
Şekil 5.8 Gambit modelleme ve boru-perde-gövde detayı (237 mm)

Sonlu elemanlar oluşturmada; gövde kısmı Tet/Hybrid elementi ile TGrid tipi, boru kısmında ise Hex/Wedge, Cooper tipi seçilmiştir. Gövde spacing 0.1, boru spacing 0.01 olarak seçilmiştir. Şekil 5.9'daki gibi düğüm noktaları oluşturulmuştur.

Şekil 5.10'da sınır tipleri oluşturulmuştur.



Şekil 5.9 Gambit düğüm noktalarının oluşturulması



Şekil 5.10 Sınır tiplerinin girilmesi

Sınır tiplerinde:

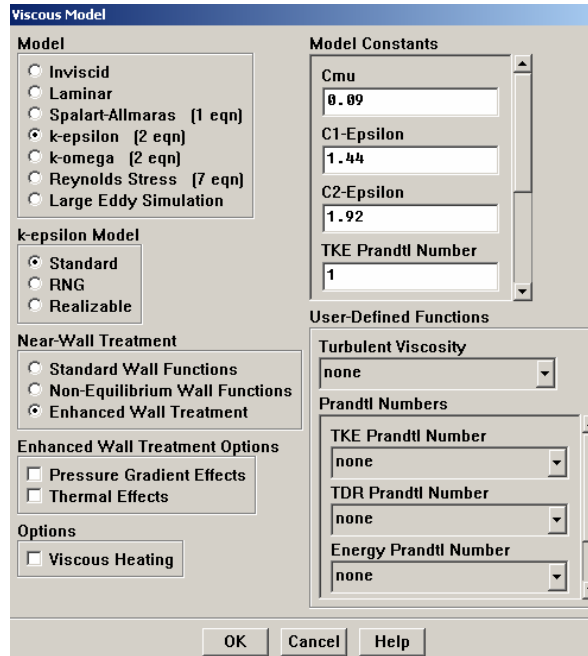
Yağ/Yakıt giriş : Mass flow inlet

Yağ/Yakıt çıkış : Pressure outlet

Yağ/Yakıt duvar : Wall

Yağ/Yakıt hacmi : Fluid olarak seçilmiştir.

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de akışkan modelinin ve kütle akış sınır değerinin kullanılan CFD sayısal programına girilmesi görülmektedir.



Şekil 5.11 Akışkan modeli

Mass-Flow Inlet

Zone Name
yakitgiris

Mass Flow Specification Method: Mass Flow Rate

Mass Flow-Rate (kg/s): 0.0058

Total Temperature (K): 307 constant

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal): 0 constant

Direction Specification Method: Direction Vector

Reference Frame: Absolute

Coordinate System: Cartesian (X, Y, Z)

X-Component of Flow Direction: 0 constant

Y-Component of Flow Direction: 0 constant

Z-Component of Flow Direction: -1 constant

Turbulence Specification Method: Intensity and Hydraulic Diameter

Turbulence Intensity (%): 6

Hydraulic Diameter (m): 0.00162

OK Cancel Help

Şekil 5.12 Kütle akış sınır değeri

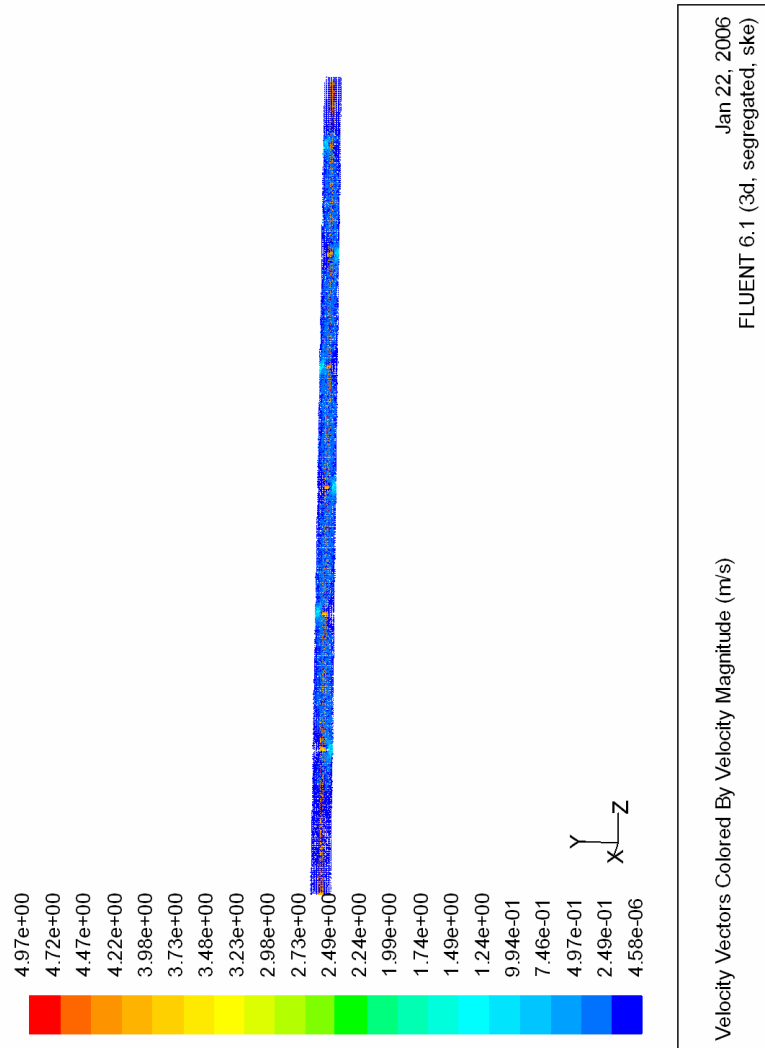
Tablo 5.2’de verilen sınır değerler girilerek iterasyon yapılır.

Tablo 5.2 Sınır değerleri (237 mm boru)

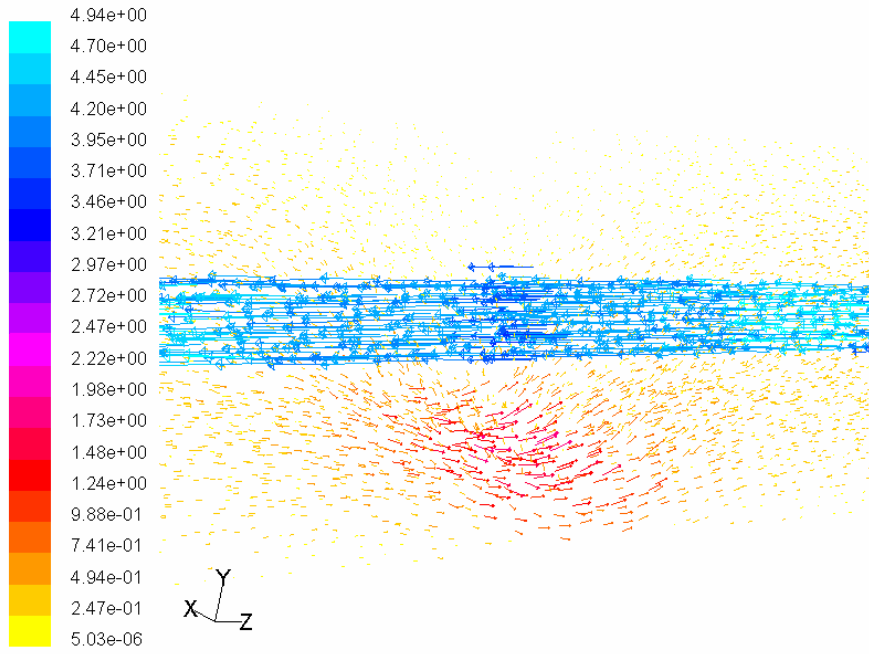
Tanım	Sınır Değer
Yağ Giriş Sıcaklığı (K)	403
Yakıt Giriş Sıcaklığı (K)	307
Yağ Kütle Akışı (kg/s)	0,00262
Yakıt Kütle Akışı (kg/s)	0,0058

Şekil 5.13'de yağ ve yakıt hız vektörlerinin hacim boyunca değişimi görülmektedir.

Şekil 5.14'de bir perde boyunca hız vektörü detayı verilmiştir. Boru kesiti değişmediğinden yakıt hızı ortalama değere yakındır. Buna karşın kesit daralması nedeniyle perde kısmında yağ hızı artmaktadır. Karşıt akış Şekil 5.14'de görülmektedir.



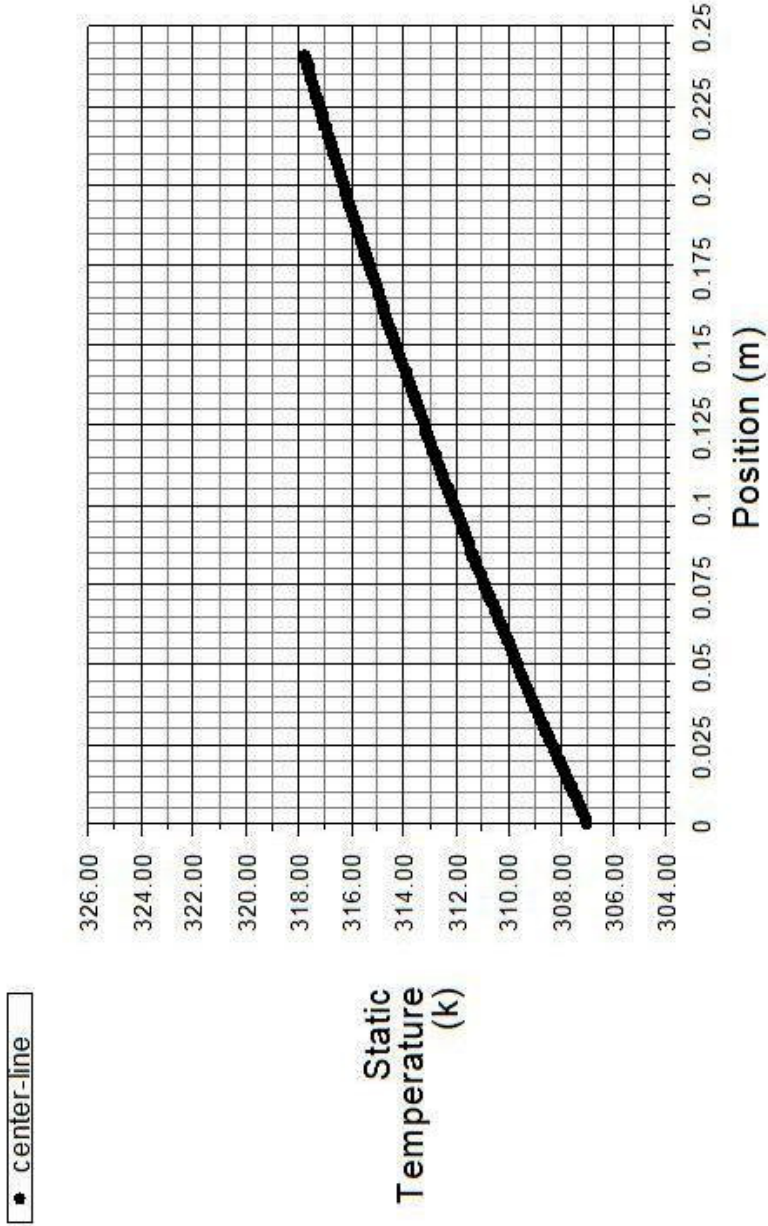
Şekil 5.13 Boru ve gövdede hız vektörünün değişimi



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

FLUENT 6.1 (

Şekil 5.14 Boru ve gövdede hız vektörünün değişimi perde detay



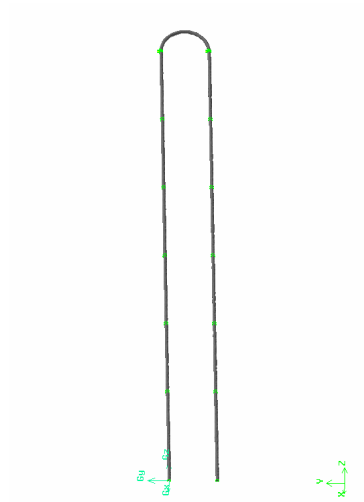
Static Temperature

Jan 22, 2006
 FLUENT 6.1 (3d, segregated, ske)

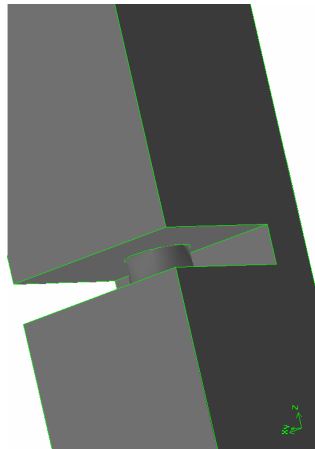
Şekil 5.15 Boru boyunca sıcaklık değişimi

5.5 Isı Değiştiricisi Modelleme (1 Boru)

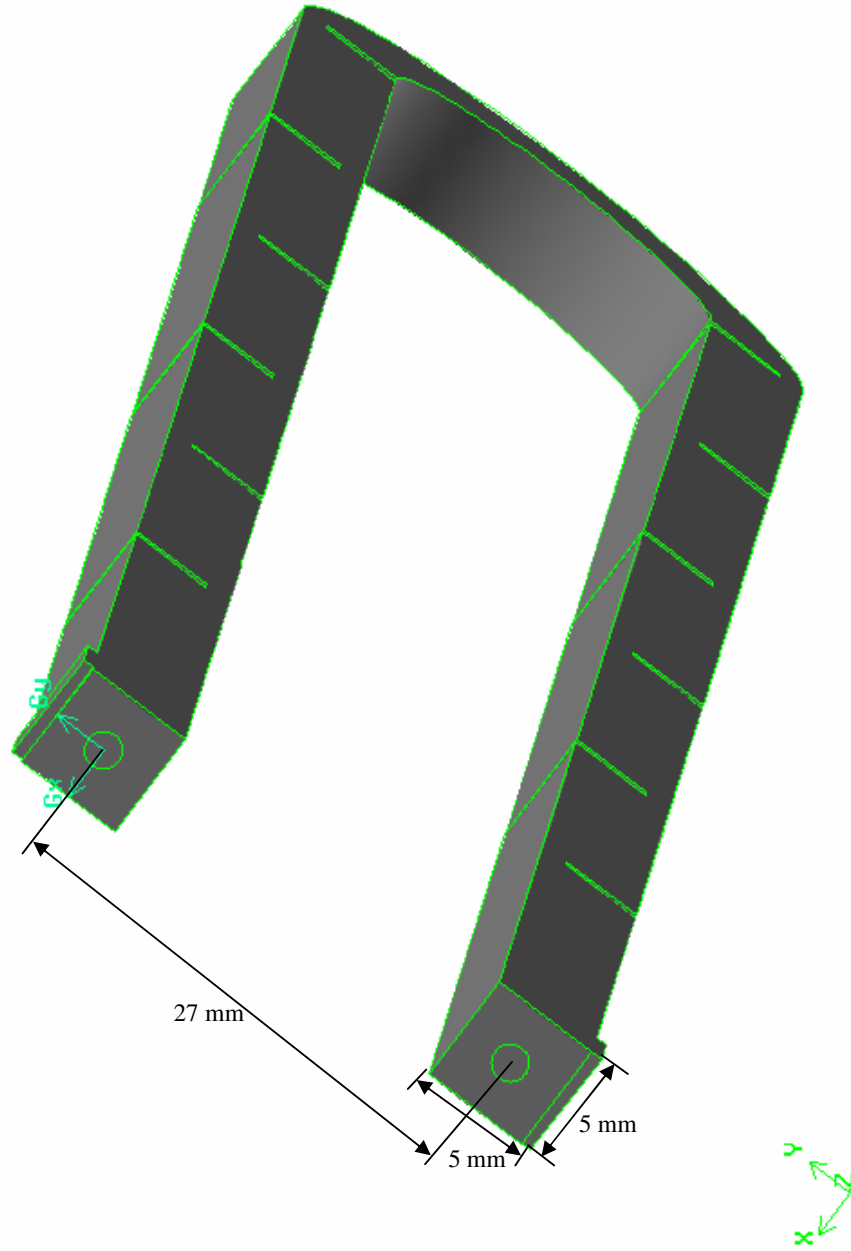
Isı değiştiricisini matematiksel olarak modellemek için tek boru ve gövde modellemesi yapılır. Şekil 5.16'daki modelde gövde ve perdeler de orantısal olarak bir boruya karşılık gelen hacme dşrlmştr. Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de gövde ve perde modellemeleri görülmektedir.



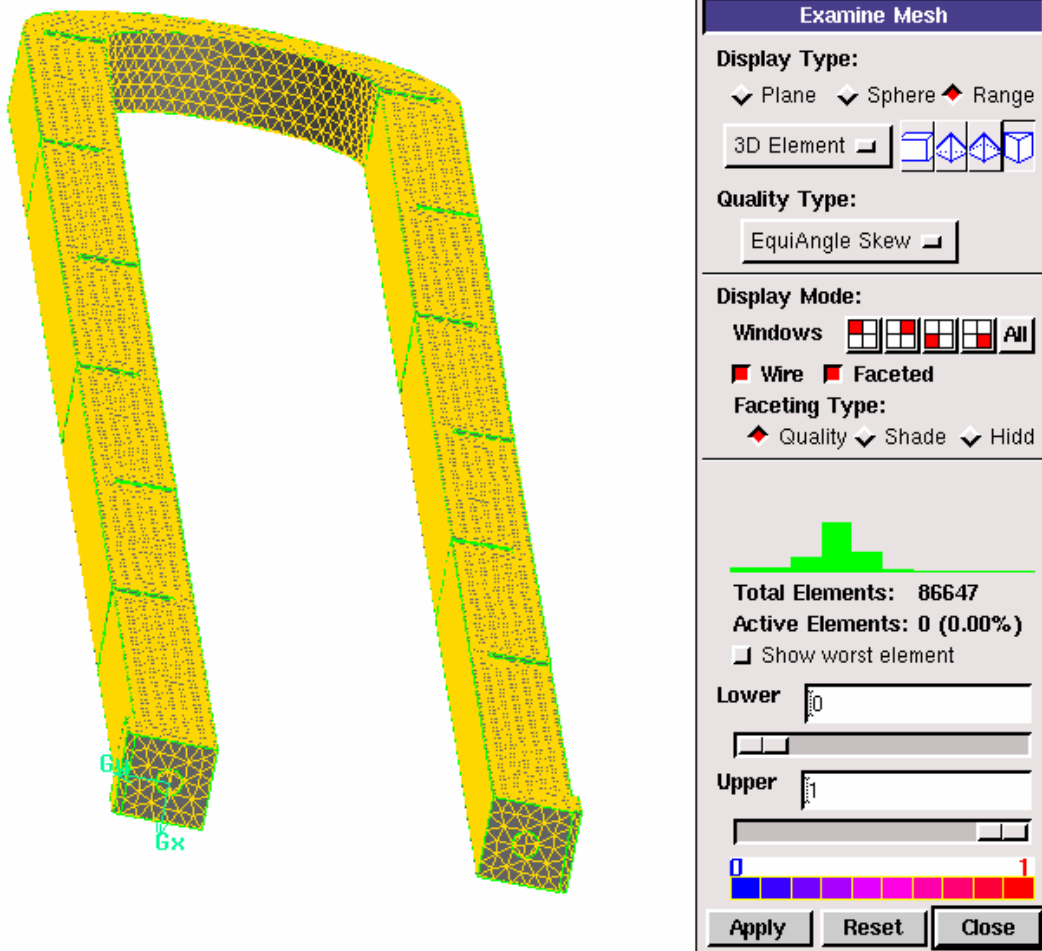
Şekil 5.16 Gambit modelleme (boru)



Şekil 5.17 Gambit modelleme (perde)

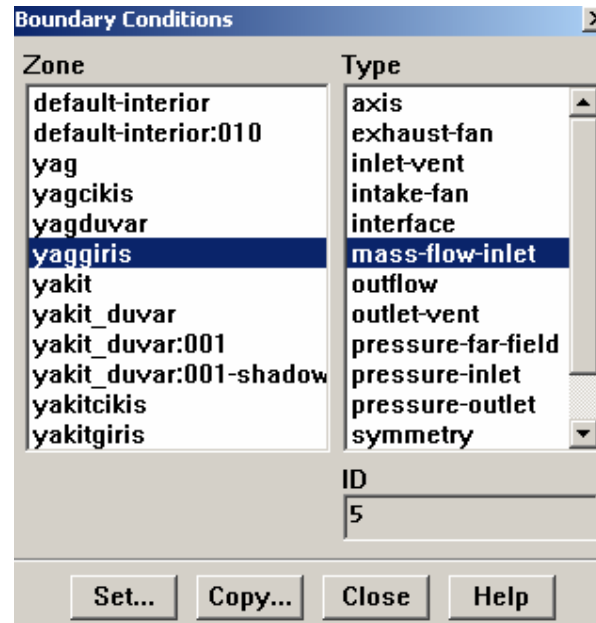


Şekil 5.18 Gambit modelleme (gövde)

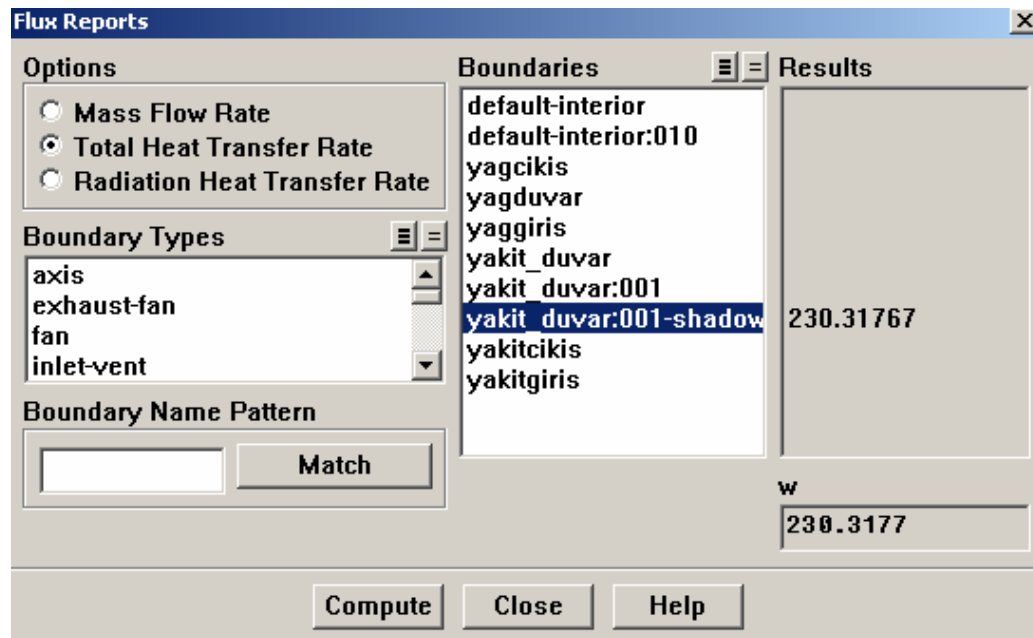


Şekil 5.19 Gambit düğüm noktalarının oluşturulması (gövde/boru)

Sonlu elemanlar oluşturmada; gövde kısmı Tet/Hybrid elementi ile TGrid tipi, s boru kısmında ise Hex/Wedge, Cooper tipi seçilmiştir. Gövde spacing 1, boru spacing 1 olarak seçilmiştir. Şekil 5.19'daki gibi düğüm noktaları oluşturulur.



Şekil 5.20 Sınır koşulları

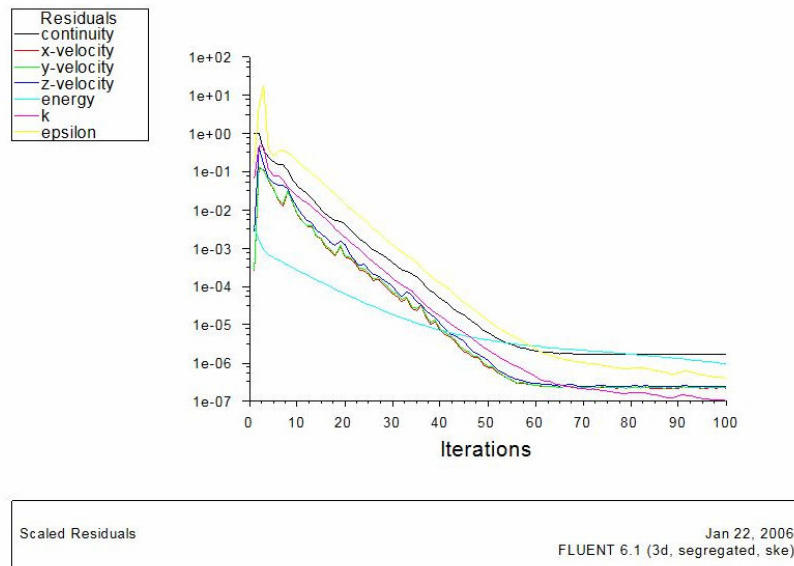


Şekil 5.21 Toplam Isı Transferi

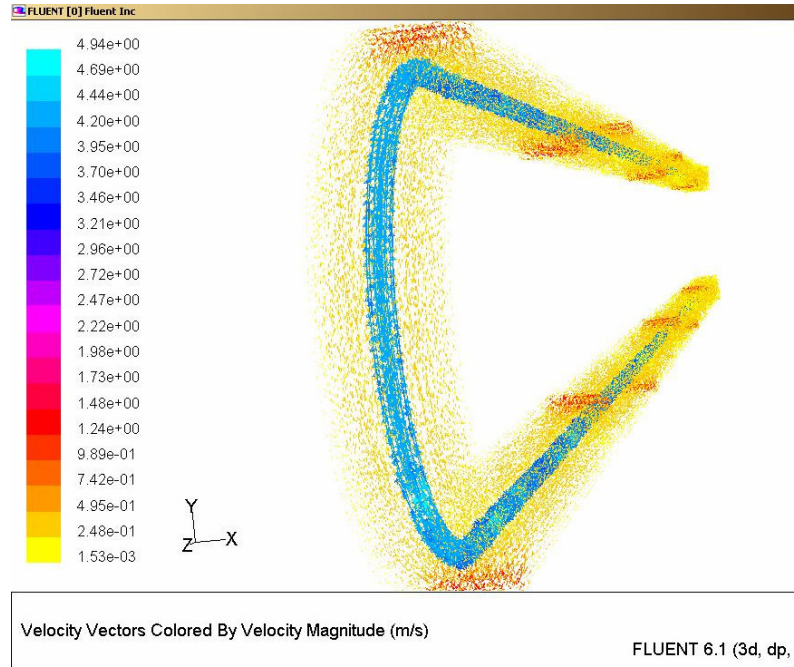
Tablo 5.3 Sınır değerleri (1 boru)

Tanım	Sınır Değer
Yağ Giriş Sıcaklığı (K)	403
Yakıt Giriş Sıcaklığı (K)	307
Yağ Kütle Akışı (kg/s)	0,00262
Yakıt Kütle Akışı (kg/s)	0,0058

Şekil 5.20'deki sınır koşullarına göre Tablo 5.3'deki sınır değerleri girildikten sonra iterasyon yapılır. Şekil 5.22'de iterasyon sonuçları görülmektedir. Şekil 5.23'de yağ ve yakıt hız vektörlerinin hacim boyunca değişimi görülmektedir. Toplam ısı transferi Şekil 5.21'de görülmektedir.



Şekil 5.22 İterasyon



Şekil 5.23 Hız vektörünün değişimi

5.5.1. Bir Boru Modeliyle Elde Edilen Sonuçlar

Tablo 5.4 Bir boru modeli sonuçları

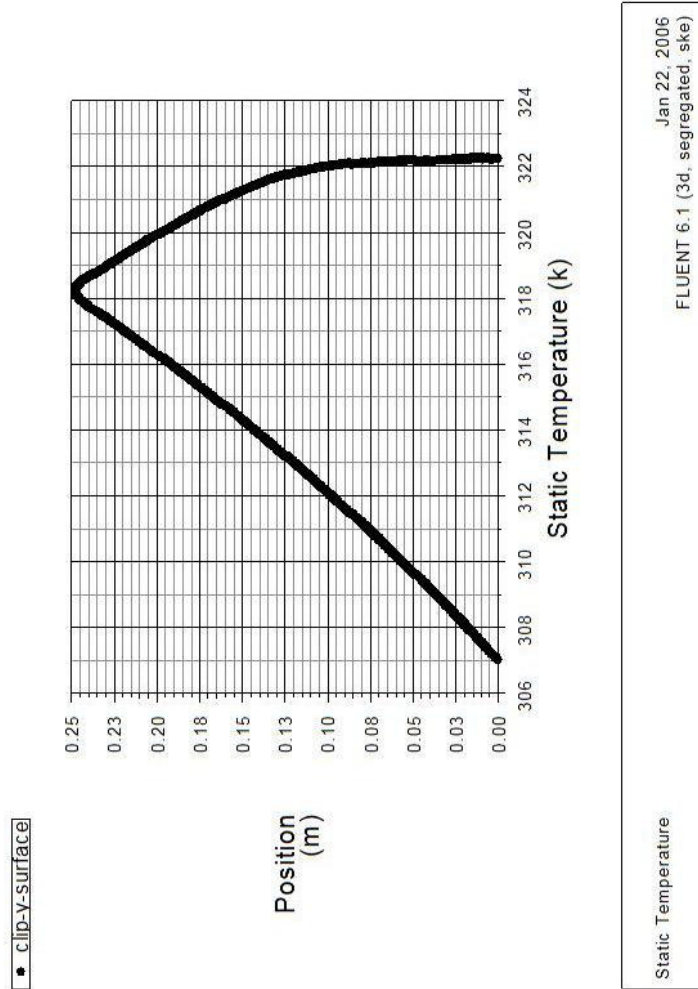
Türbülans modeli	model	near-wall	enhanced wall	ısı transferi (Watt)
k-epsilon (2 eqn)	rng	enhanced	thermal effect	230
k-omega model	standart			218,55

Tablo 5.4'de yer alan Near-Wall ve Enhanced Wall ifadeleri CFD sayısal programına ait yazılım parametreleri olup, cidara yakın bölümlerde oluşan türbülansın hassas hesaplanmasında kullanılır.

Tek boru ile elde edilen ısı transferi: 218,55 Watt'tır. (k-omega model)

Değiştirici toplam ısı transferi: $218,55 \times 217$ (boru sayısı) = 47425 Watt

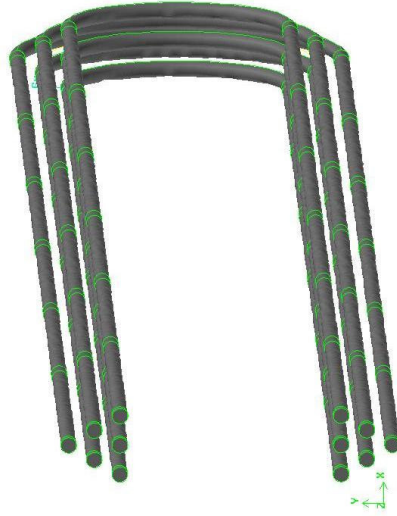
Sıcaklığın boru boyunca değişimi Şekil 5.24'de verilmiştir. Görüldüğü üzere yağ giriş kısmında yakıt sıcaklığı ani yükselmekte, U borunun yakıt giriş bölümünde değişim azalmaktadır.



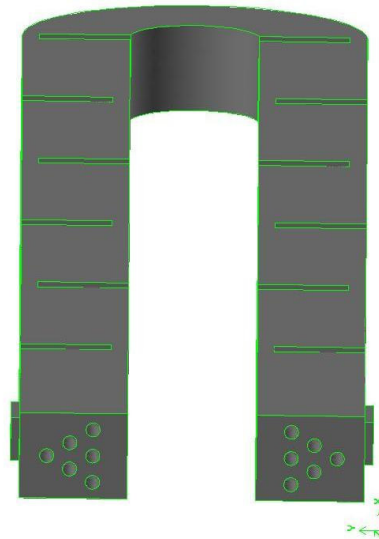
Şekil 5.24 Tüm boru boyunca sıcaklık değişimi

5.6 Isı Değiştirici Modelleme (6 Boru)

şekil 5.25 ve 5.26'da görüldüğü gibi 6 borulu sistem, üzerinde bir yağ akış hacmi ve 12 adet perde olarak modellenmiştir. Boruların üçgen dizilişi görülmektedir.

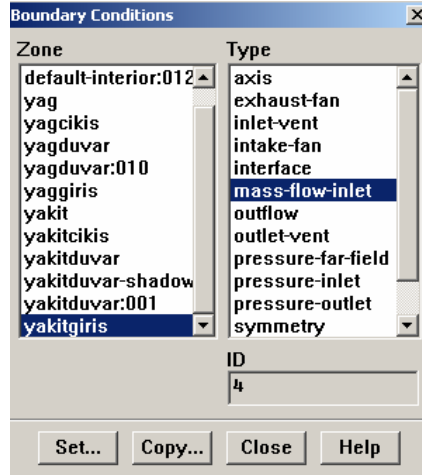


şekil 5.25 Gambit modelleme (borular)

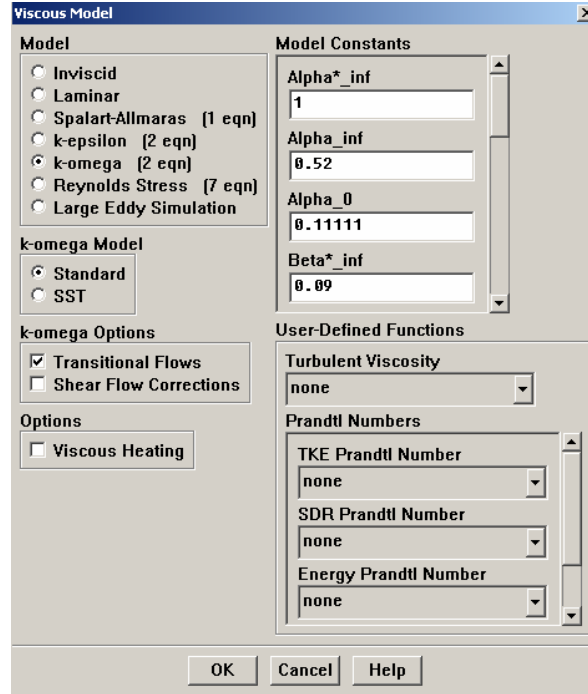


şekil 5.26 Gambit modelleme (gövde)

Şekil 5.27’de sınır değerlerin, Şekil 5.28’de akışkan modelinin, Şekil 5.29’da kütle akış sınır değerinin CFD sayısal programına girilmesi görülmektedir.



Şekil 5.27 Sınır koşulları (6 boru)



Şekil 5.28 Akışkan modeli (6 boru k-omega)

Şekil 5.29 Kütle akış koşulları (6 boru)

Tablo 5.5'te programa girilen sınır değerler verilmektedir. Yağ ve yakıt giriş sıcaklıkları aynıdır.

Tablo 5.5 Sınır Değerleri (6 boru)

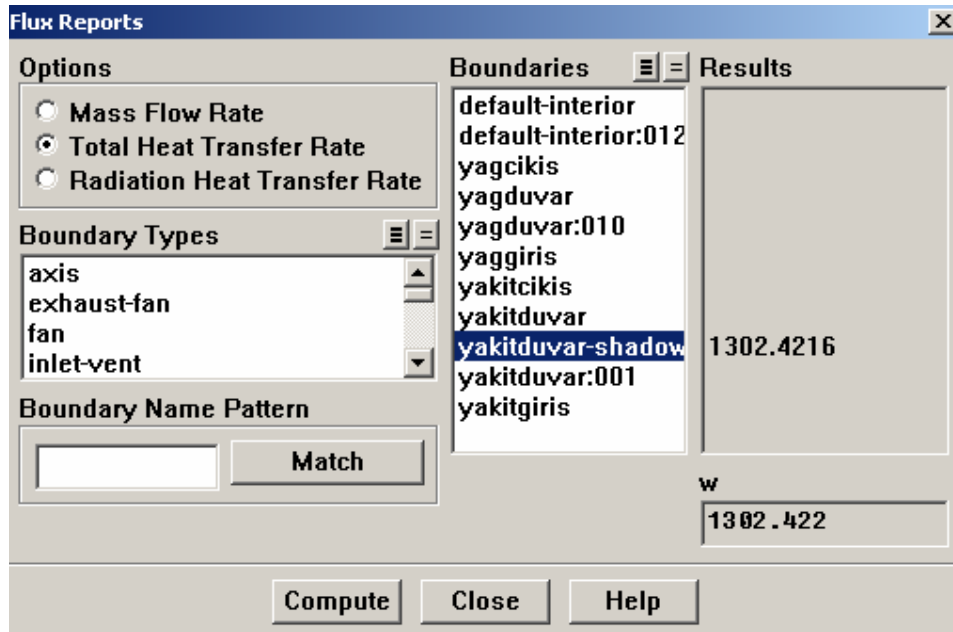
Tanım	Sınır Değer
Yağ Giriş Sıcaklığı (K)	403
Yakıt Giriş Sıcaklığı (K)	307
Yağ Kütle Akışı (kg/s)	0,01572
Yakıt Kütle Akışı (kg/s)	0,0348

5.6.1. Altı Boru Modeliyle Elde Edilen Sonuçlar

İki türbülans modeline göre sonuçlar alınmış ve Tablo 5.6'da verildiği gibi yaklaşık sonuçlar alınmıştır. Yakıt boru cidarında oluşan toplam ısı değişimi Şekil 5.30'da verilmiştir.

Tablo 5.6 Altı borulu model sonuçları

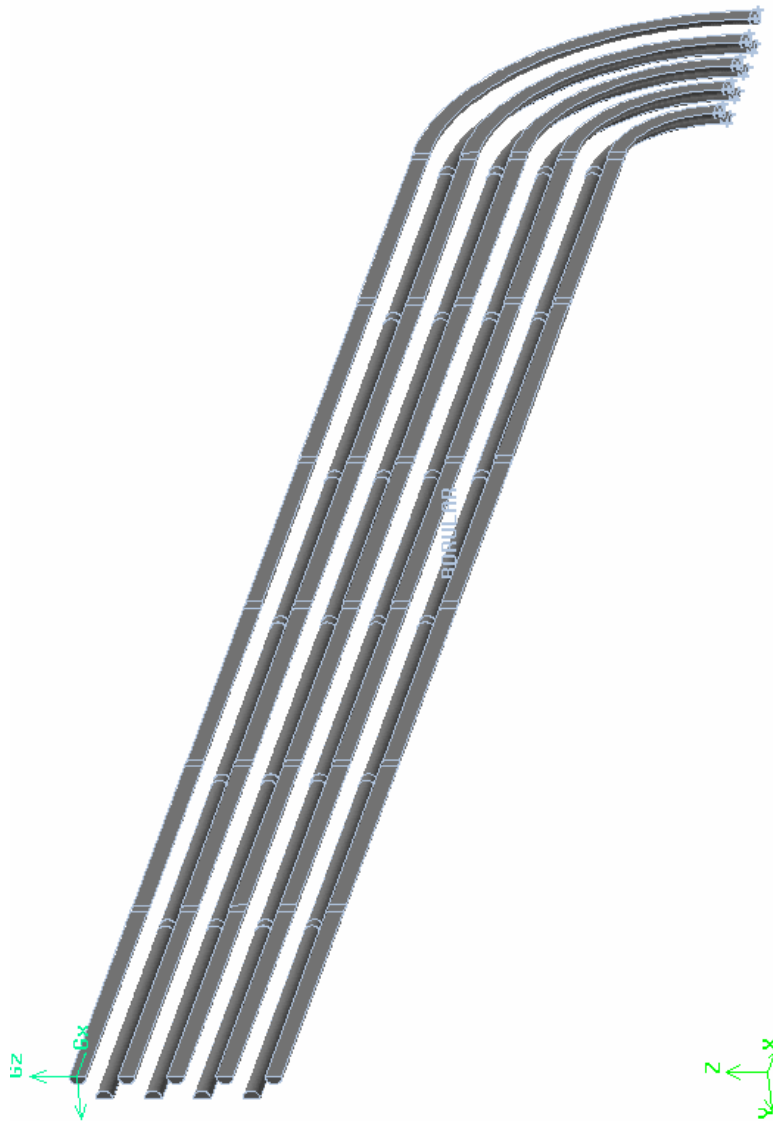
Türbülans modeli	model	near-wall	enhanced wall	ısı transferi (Watt)
k-epsilon (2 eqn)	RNG	enhanced	thermal effect	1302,42
k-omega	standart			1253,78



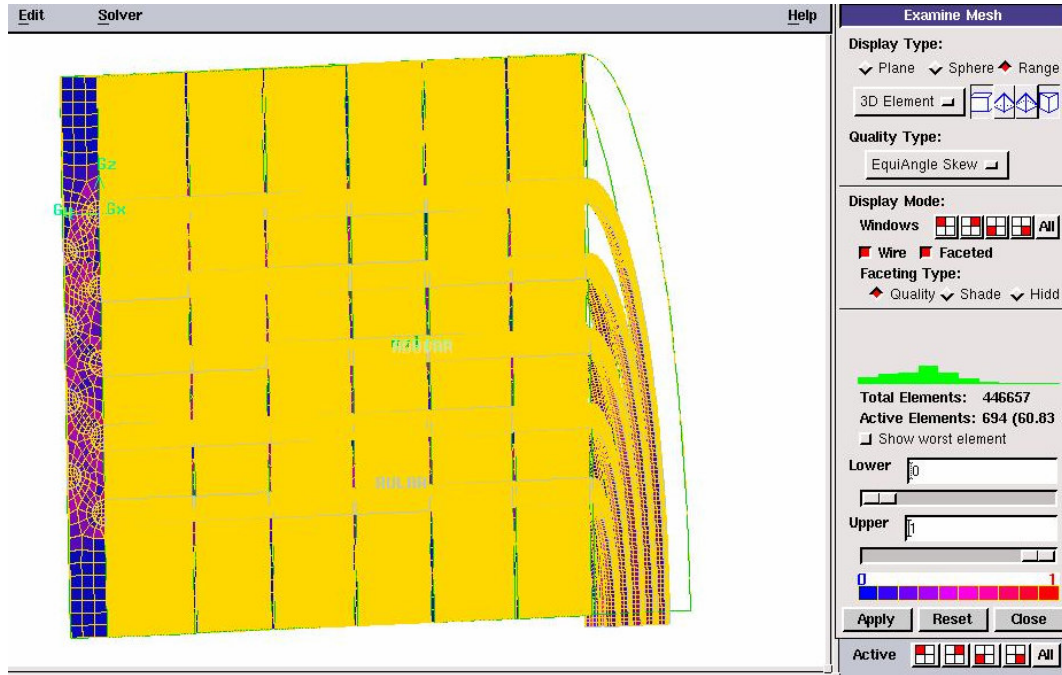
Şekil 5.30 Toplam ısı transferi (6 boru)

5.7 Isı Değiştirici Modelleme (9 Boru)

Tüm değiştiricinin modellemesi yüksek hafıza gerektirdiğinden son aşama olarak 9 adet boru bulunan kısım yarı olarak modellenmiştir. şekil 5.31'da görüldüğü gibi üçgen boru sıralaması yapılmıştır. şekil 5.32'de perde ve gövde ile birlikte 9 borunun modellenmesi görülmektedir.

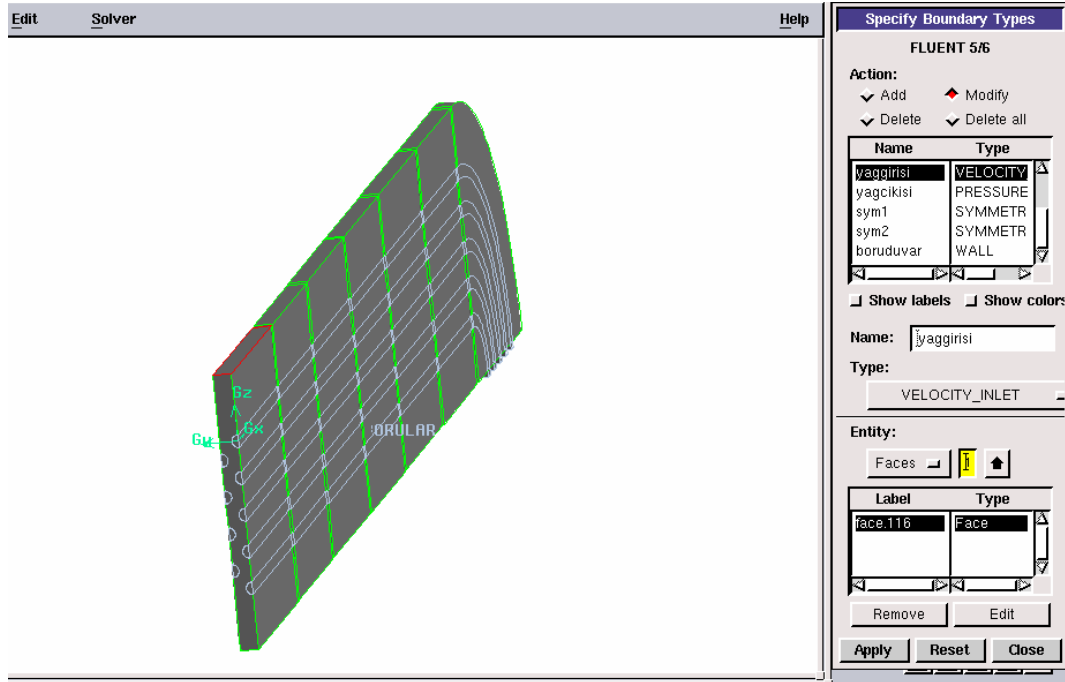


şekil 5.31 Gambit modelleme (borular)



Şekil 5.33 Sonlu elemanlar oluşturma (boru, perde, gövde)

Sonlu elemanlar oluşturmada; gövde kısmı Tet/Hybrid elementi ile TGrid tipi, Hex/Wedge, map tipi, boru kısmında ise Hex/Wedge, Cooper tipi seçilmiştir. Gövde spacing 1, boru spacing 0,4 olarak seçilmiştir. Şekil 5.33'deki gibi düğüm noktaları oluşturulur.



Şekil 5.34 Sınır tiplerinin girilmesi

Sınır tiplerinde:

Yağ/Yakıt giriş : Mass flow inlet

Yağ/Yakıt çıkış : Pressure outlet

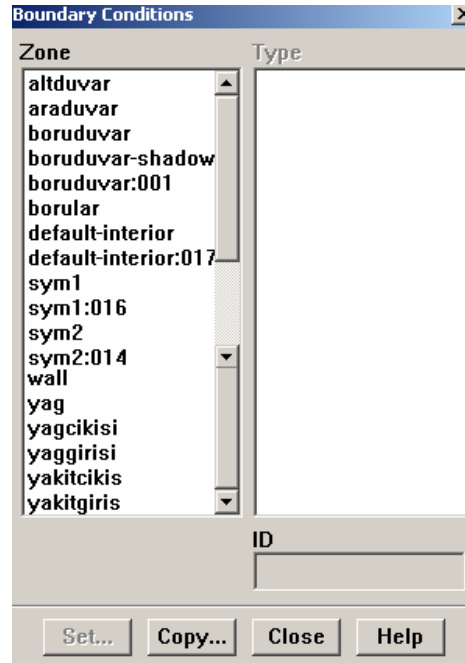
Boru/Ara/Alt duvar : Wall

Sym1/Sym2 : Symmetry

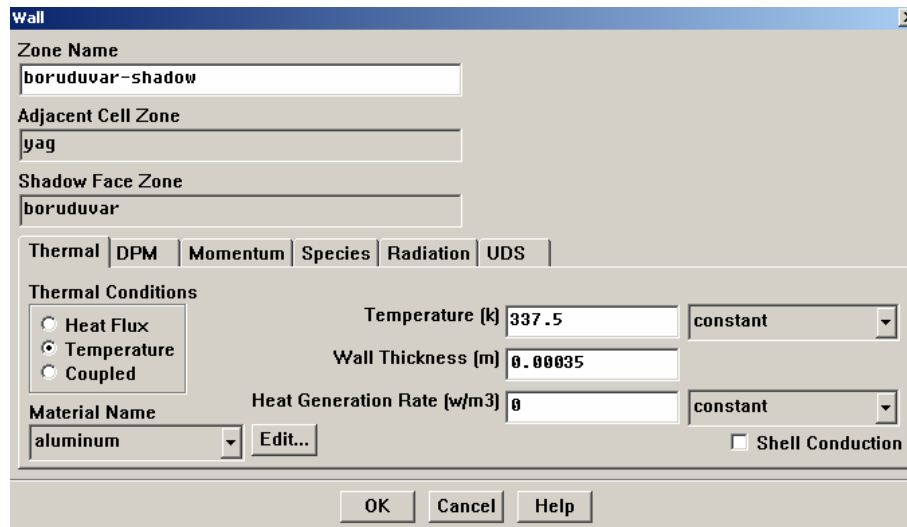
Yağ/Yakıt hacmi : Fluid olarak seçilmiştir.

Şekil 5.36'de perde modelinin kullanılan Fluent programına girilmesi görülmektedir. Şekil 5.35'da sınır koşullarının Fluent programına girilmesi görülmektedir. Bu sınır

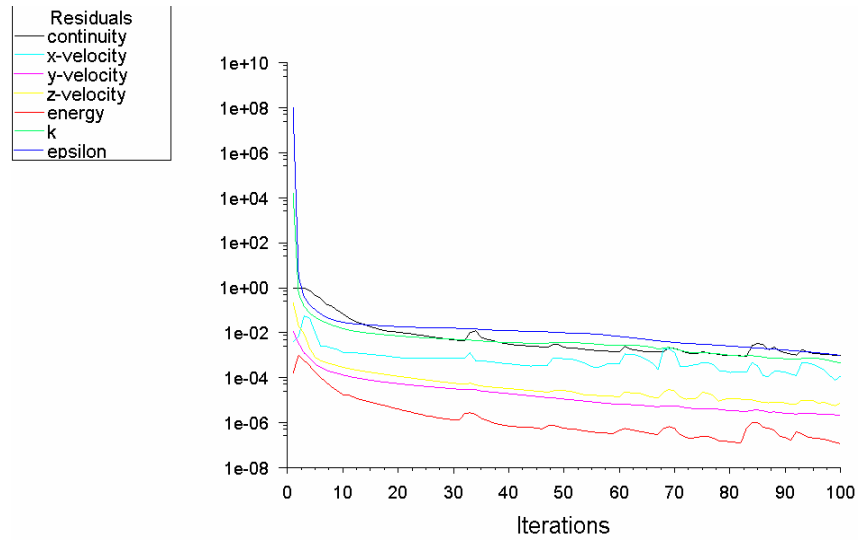
koşullarına göre Tablo 5.7'deki sınır değerleri girildikten sonra iterasyon yapılır. Şekil 5.37'de iterasyon sonuçları görülmektedir.



Şekil 5.35 Sınır koşulları



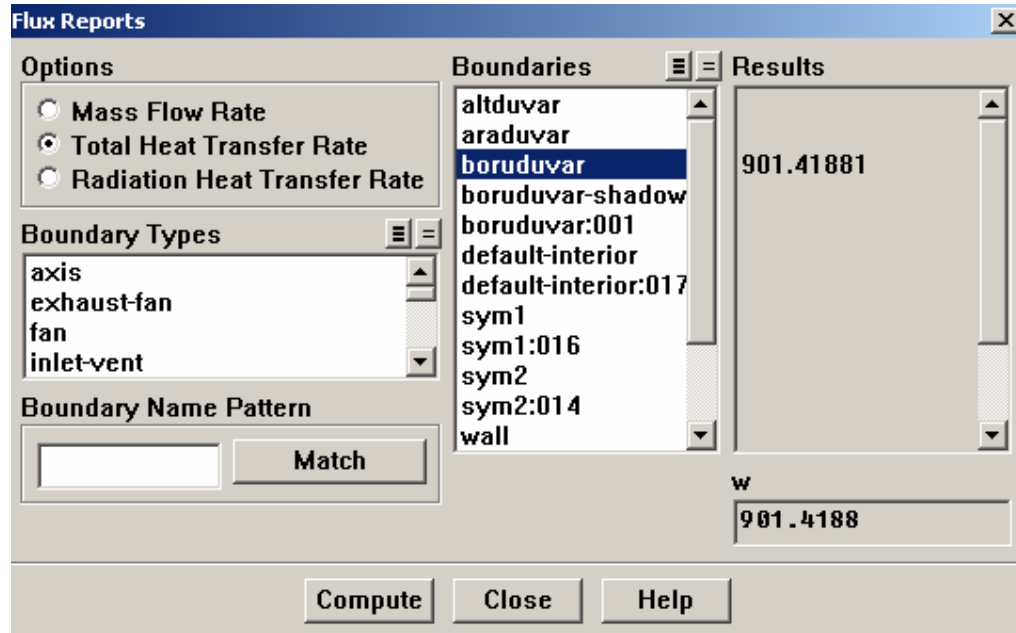
Şekil 5.36 Perde özellikleri



Şekil 5.37 İterasyon

Tablo 5.7 Sınır değerleri (9 boru)

Tanım	Sınır Değer
Yağ Giriş Sıcaklığı (K)	403
Yakıt Giriş Sıcaklığı (K)	307
Yağ Kütle Akışı (kg/s)	0,0236
Yakıt Kütle Akışı (kg/s)	0,0522



Şekil 5.38 Toplam ısı transferi (9 boru)

Toplam ısı transferi sonucu Şekil 5.38’de görülmektedir.

5.7.1. Dokuz Boru Modeliyle Elde Edilen Sonuçlar

Tablo 5.8 Dokuz boru modeli sonuçları

Türbülans modeli	model	near-wall	enhanced wall	ısı transferi (Watt)
k-epsilon (2 eqn)	rng	enhanced	thermal effect	901,42
k-omega	standart			872,71

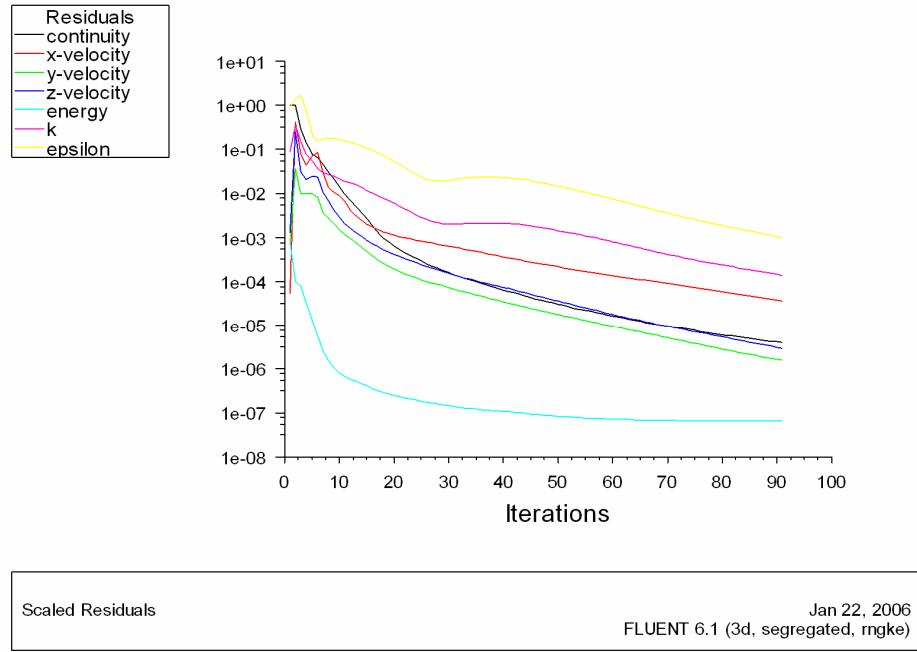
5.8 Yedi Borulu Isı Değiştirici Modelleme Ve Isıl Kayıplar

Isı değiştiricisinde 217 adet boru bulunmaktadır. İki borunun tıkanmasının ısı değiştiricisinin gerekli ısı değişimini yapamamasına neden olacağı değerlendirilerek, bu durumda ısı değiştiricisinin değiştirilmesi öngörülmektedir.

Aşağıdaki modelleme 9 borulu dizaynda iki borunun katı modele dönüştürülmesiyle sağlanmıştır. Modelleme, sınır tiplerinin girilmesi ve düğüm noktalarının oluşturulması 9 borulu sistemle aynı olduğundan verilmemiştir. Tablo 5.9'deki sınır değerlerin girilmesi ve iterasyon yapılması ile şekil 5.38'deki iterasyon elde edilir. Yedi boruda oluşan ısı transferi sonucu Tablo 5.10'da görülebilir.

Tablo 5.9 Sınır değerleri (7 boru)

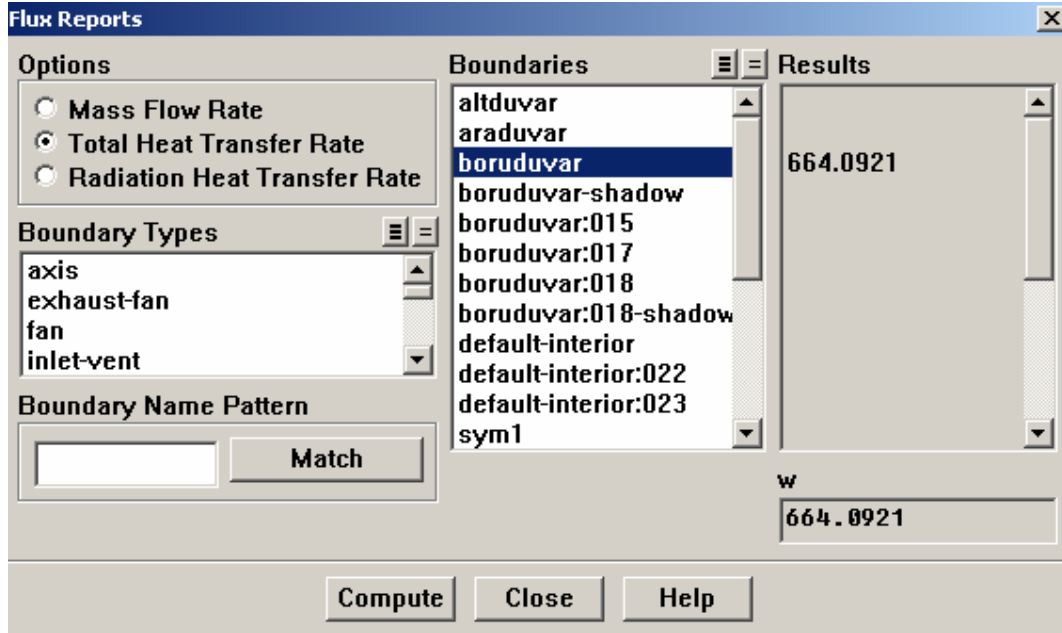
Tanım	Sınır Değer
Yağ Giriş Sıcaklığı (K)	403
Yakıt Giriş Sıcaklığı (K)	307
Yağ Kütle Akışı (kg/s)	0,01834
Yakıt Kütle Akışı (kg/s)	0,0406



Şekil 5.39 İterasyon (7 borulu)

Tablo 5.10 Yedi boruda oluşan ısı transferi

Türbülans modeli	Model	Near-Wall	Enhanced Wall	Isı Transferi (Watt)
k-omega	standart			664,09



Şekil 5.40 Toplam ısı transferi (7 boru)

Toplam ısı transferi sonucu Şekil 5.40'da görülmektedir.

5.8.1. Isı Değiştirici Verim Kaybı Hesabı

9 boruda elde edilen transfer ortalama 900 Watt olup,

Isı kaybı = $900 - 664,09 = 235,91$ Watt'tır.

Boruların tümünde oluşacak kayıp = $235,91 \times 2 = 471$ Watt değerine eşittir.

Isı değiştiricisi toplam ısı transferi : 47084 Watt.

Müsade edilen minimum transfer: $47084 - 471 = 46613$ Watt

3 borunun tıkanması durumunda : $47084 - 707 = 46377$ Watt'lık transfer olacaktır.

Depoda mevcut yağ miktarı : $10,6$ litre = $9,4$ kg = $0,0106$ m³

Isı değiştiricisinden çıkan yakıt yanma odasına gittiğinden yakıtta sıcaklık artışı olmadığını kabul edelim.

Isı değiştiricisinden çıkan yağ ise yağ deposuna giderek sistemde devir-daim yapacaktır.

Yağ debisi 0,57 kg/s olup 16,5 saniyede bir çevrim tamamlanmaktadır.

Yağa karışan hava ihmal edilmiştir. Yağ / yakıt arasındaki ısı transferi :

$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$ formülüyle, yağın motor üzerindeki her bir çevrimi için üç boru kaybı için hesaplandığında Tablo 5.11’de verilen değerler elde edilir.

Tablo 5.11’de görüldüğü gibi her bir çevrim 16.5 saniyelik süreye denk gelmekte ve motor için kritik sıcaklık olarak değerlendirilen 422 K değeri, 21. dakikadan sonra aşılmaktadır. Uçağın hareketine bağlı olarak yağ boru hatları ve ısı değiştiricide oluşan soğutma ihmal edildiğinden bu süre artabilir. şekil 5.41’de ısı değiştiricide yağ sıcaklığının zamana bağlı değişimi verilmektedir.

Tablo 5.11 Isı değiştirici verim kaybı hesabı

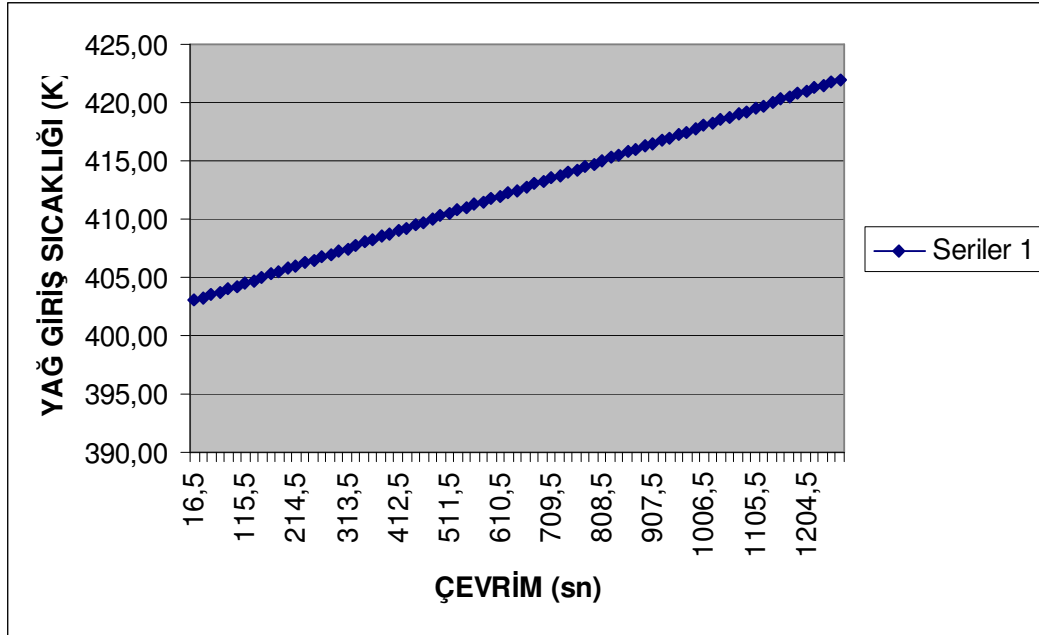
Isı transferi (Watt)	Debi (kg/s)	Özgöl ısı (j/kg °C)	Yağ ıkış Sıcaklığı (K)	Yağ Giriş Sıcaklığı (K)	Ortalama Sıcaklık (K)	evrim (sn)
47084	0,57	2270	366,60	403,00	384,80	16,5
46377	0,57	2271	366,85	403,25	385,05	33,0
46377	0,57	2272	367,10	403,50	385,30	49,5
46377	0,57	2274	367,35	403,75	385,55	66,0
46377	0,57	2275	367,60	404,00	385,80	82,5
46377	0,57	2276	367,85	404,25	386,05	99,0
46377	0,57	2277	368,10	404,50	386,30	115,5
46377	0,57	2278	368,35	404,75	386,55	132,0
46377	0,57	2280	368,60	405,00	386,80	148,5
46377	0,57	2281	368,85	405,25	387,05	165,0
46377	0,57	2282	369,10	405,50	387,30	181,5
46377	0,57	2283	369,35	405,75	387,55	198,0

Tablo 5.11 Isı değiştirici verim kaybı hesabı (Devamı)

Isı transferi (Watt)	Debi (kg/s)	Özgöl ısı (j/kg °C)	Yağ Çıkış Sıcaklığı (K)	Yağ Giriş Sıcaklığı (K)	Ortalama Sıcaklık (K)	Çevrim (sn)
46377	0,57	2284	369,60	406,00	387,80	214,5
46377	0,57	2286	369,85	406,25	388,05	231,0
46377	0,57	2286	369,85	406,25	388,05	231,0
46377	0,57	2287	370,10	406,50	388,30	247,5
46377	0,57	2288	370,35	406,75	388,55	264,0
46377	0,57	2289	370,60	407,00	388,80	280,5
46377	0,57	2290	370,85	407,25	389,05	297,0
46377	0,57	2292	371,10	407,50	389,30	313,5
46377	0,57	2293	371,35	407,75	389,55	330,0
46377	0,57	2294	371,60	408,00	389,80	346,5
46377	0,57	2295	371,85	408,25	390,05	363,0
46377	0,57	2296	372,10	408,50	390,30	379,5
46377	0,57	2298	372,35	408,75	390,55	396,0
46377	0,57	2299	372,60	409,00	390,80	412,5
46377	0,57	2300	372,85	409,25	391,05	429,0
46377	0,57	2301	373,10	409,50	391,30	445,5
46377	0,57	2302	373,35	409,75	391,55	462,0
46377	0,57	2304	373,60	410,00	391,80	478,5
46377	0,57	2305	373,85	410,25	392,05	495,0
46377	0,57	2306	374,10	410,50	392,30	511,5
46377	0,57	2307	374,35	410,75	392,55	528,0
46377	0,57	2308	374,60	411,00	392,80	544,5
46377	0,57	2310	374,85	411,25	393,05	561,0
46377	0,57	2311	375,10	411,50	393,30	577,5
46377	0,57	2312	375,35	411,75	393,55	594,0
46377	0,57	2313	375,60	412,00	393,80	610,5
46377	0,57	2314	375,85	412,25	394,05	627,0
46377	0,57	2316	376,10	412,50	394,30	643,5
46377	0,57	2317	376,35	412,75	394,55	660,0
46377	0,57	2318	376,60	413,00	394,80	676,5
46377	0,57	2319	376,85	413,25	395,05	693,0
46377	0,57	2320	377,10	413,50	395,30	709,5
46377	0,57	2322	377,35	413,75	395,55	726,0
46377	0,57	2323	377,60	414,00	395,80	742,5
46377	0,57	2324	377,85	414,25	396,05	759,0
46377	0,57	2325	378,10	414,50	396,30	775,5
46377	0,57	2326	378,35	414,75	396,55	792,0
46377	0,57	2328	378,60	415,00	396,80	808,5
46377	0,57	2329	378,85	415,25	397,05	825,0
46377	0,57	2330	379,10	415,50	397,30	841,5
46377	0,57	2331	379,35	415,75	397,55	858,0
46377	0,57	2332	379,60	416,00	397,80	874,5

Tablo 5.11 Isı değiştirici verim kaybı hesabı (Devamı)

Isı transferi (Watt)	Debi (kg/s)	Özgöl ısı (j/kg °C)	Yağ Çıkış Sıcaklığı (K)	Yağ Giriş Sıcaklığı (K)	Ortalama Sıcaklık (K)	Çevrim (sn)
46377	0,57	2334	379,85	416,25	398,05	891,0
46377	0,57	2335	380,10	416,50	398,30	907,5
46377	0,57	2336	380,35	416,75	398,55	924,0
46377	0,57	2337	380,60	417,00	398,80	940,5
46377	0,57	2338	380,85	417,25	399,05	957,0
46377	0,57	2340	381,10	417,50	399,30	973,5
46377	0,57	2341	381,35	417,75	399,55	990,0
46377	0,57	2342	381,60	418,00	399,80	1006,5
46377	0,57	2343	381,85	418,25	400,05	1023,0
46377	0,57	2344	382,10	418,50	400,30	1039,5
46377	0,57	2346	382,35	418,75	400,55	1056,0
46377	0,57	2347	382,60	419,00	400,80	1072,5
46377	0,57	2348	382,85	419,25	401,05	1089,0
46377	0,57	2349	383,10	419,50	401,30	1105,5
46377	0,57	2350	383,35	419,75	401,55	1122,0
46377	0,57	2352	383,60	420,00	401,80	1138,5
46377	0,57	2353	383,85	420,25	402,05	1155,0
46377	0,57	2354	384,10	420,50	402,30	1171,5
46377	0,57	2355	384,35	420,75	402,55	1188,0
46377	0,57	2356	384,60	421,00	402,80	1204,5
46377	0,57	2358	384,85	421,25	403,05	1221,0
46377	0,57	2359	385,10	421,50	403,30	1237,5
46377	0,57	2360	385,35	421,75	403,55	1254,0
46377	0,57	2361	385,60	422,00	403,80	1270,5
46377	0,57	2362	385,85	422,25	404,05	1287,0



Şekil 5.41 Isı değiştiricide yağ sıcaklığının zamana bağlı değişimi

Şekil 5.41’de görüldüğü gibi 1204 sn. sonunda yağ sıcaklığı kritik değer olan 422 K değerini aşmaktadır. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi motor yağlama sisteminde mevcut ilave yağ/yağ ısı değiştiricisi ile ilave bir soğutma sağlanmasına rağmen bu soğutma dengeleme amaçlı olup çevrimde bulunan yağdan gövde boyunca oluşan transfer hariç, bir ısı geçişi olmamaktadır.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Jet motorlarında sıcaklık 2000 K değerini aşmaktadır. Bu sıcaklık değerlerinde özellikle sıcak bölgede çalışan yatakların yağlanması kullanılan yağ sıcaklığı hızlı bir artış göstermektedir. Uygun bir soğutma sağlanmadığı takdirde artan sıcaklıkla birlikte viskozite düşmekte, yağlama özelliği azalmakta ve karbonlaşma başlamaktadır. Bu durum motorun durmasına ve uçağın düşmesine yol açabilir bir etmendir.

Isınan yağ gerek motor hava alığında bulunan hava-yağ ısı değiştiricileri veya gövde üzerinde yağ-yağ, yağ-yakıt ısı değiştiricileri kullanılarak normal sıcaklık değerlerine getirilir.

Isı değiştiricilerinde; az hacim kaplama, hafiflik, yüksek verim, az bakım gerektirme ve kompakt olma günümüz sanayisinde tercih edilen unsurlardır. Özellikle uçak, uzay ve denizaltı araçlarında kompakt ısı değiştiricileri yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Isı değiştiricilerinin hesaplamalarında CFD sayısal programı kullanılması, çok farklı değişkenlerin girilerek elde edilecek sonuçların laboratuvar sonuçlarına eşdeğer elde edilebilmesine olanak verir. Prototip imal yerine Gambit programında modelin doğru oluşturulması ve uygun düğüm noktalarının oluşturulması, doğru sonuçlar alma açısından önemlidir.

F16 uçaklarında kullanılan ısı değiştiricisi gövde borulu olup 217 adet 2,32 mm dış çaplı boruya sahiptir. Bu ısı değiştiricisinin kısmi modellemesi yapılmış ve elde edilen sonuçlar dizayn verileri ile karşılaştırılmış olup eşdeğer sonuçlar görülmüştür. Isı değiştiricide maksimum iki borunun tıkanmasına mücadele edilmekte olup fazlası durumunda görev yapamaz hale gelmektedir.

Bu çalışmada jet motorlarında kullanılan kompakt ısı değiştiricileri tanıtılmış, gövde borulu ısı değiştiricileri sınıfından sayılan F16 uçakları ısı değiştiricisinin

100/237 mm.'lik bölümü modellenmiş sonra sırasıyla 1, 6, 9, 7 boruluk kesitleri modellenerek çıkan sonuçlar irdelenmiştir.

7 boruluk modelleme, 9 borulu modelde iki borunun katı cidar olarak sınır değeri girilmesi sonucu elde edilmiş olup müsaade edilen maksimum iki boru tıkanmasının sistemde yol açtığı termal kayıp bulunmuştur.

F16 uçaklarının uçuş süresi bir çok parametreye (kalkış ağırlığı, hava hareketleri, hız vb.) bağlı olmakla birlikte ortalama bir saat havada kaldıkları göz önüne alındığında, 3 boruluk ısı kaybını Tablo 9.5'te görüldüğü gibi 78 çevrim sonunda kritik değeri aştığı görülmektedir. Her bir çevrim 16,5 saniyeye denk gelmekte olup 21 dakika sonunda kritik değeri aşılmaktadır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi sistemde bulunan yağ-yağ ısı değiştiricisi ile bu süre uzamaktadır. Ayrıca yağa karışan hava miktarı nedeniyle kritik değere ulaşma süresi artmaktadır.

CFD sayısal programı kullanılarak deneysel verilere ihtiyaç duyulmadan veya prototip imali yapılmaksızın gerçek değerlere yakın sonuçların alınabildiği görülmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Kroes and Wild, 1995. Aircraft Powerplants, Sayfa 62.
2. R. K. Shah, D. P. Sekulic, 2003, Fundamentals of Heat Exchanger Design, Wiley.
3. TAI, 1996, F16 Training Manuel, GE. Aircraft Engines General Dynamics.
4. Technical Order 2000, 7J1-91-3, Sundstrand Company.
5. C-130E Hercules Training Manuel Volume II Chapter 6 Power Plant T56-A7.
6. J85-13 Training Guide Published by General Electric Company, June 1976.
7. J79-17 Operation & Service Instructions Dated 1 February 1979, General Electric Technical Publications, Aircraft Engine Group, Evendale, Ohio.
8. CT7-9C Training Guide Published by GE Aircraft Engines Costumer Technical.
9. Fluent. Inc. Tutorial 4, Simulation of Flow Development in a Pipe.
10. B. E. Launder and D.B. Spalding. *Lectures in Mathematical Models of Turbulence*. Academic Press, London, England, 1972.