

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİNİ KANALLARDA ISI TRANSFERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Zülal KARAGÖZ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mustafa
ÖZDEMİR

Eylül 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİNİ KANALLARDA ISI TRANSFERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Zülal KARAGÖZ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 12/ 9 /2007 tarihinde aşağı daki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Fethi HALICI
Jüri Başkanı

Yrd.Doç.Dr.Mustafa ÖZDEMİR
Üye

Yrd.Doç.Dr.Ahmet KOLIP
Üye

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında bana desteğini esirgemeyip, engin bilgilerini aktararak bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR' e, Forschungszentrum Karlsruhe' de simülasyonların gerçekleştirilmesi sırasında bana destek veren Dr. Martin WÖRNER' a, Serguei GORDEEV' e ve deney düzeneği ile ilgili konulardaki desteği için Günter MESSEMER' a, çalışmalarım boyunca benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Aileme, her zaman yanımda ve destekçim olan eşim Zafer BAŞOĞLU'na, kuzenim Mehmet Suat ÖZGÜR'e ve çok değerli Arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Problemin Tanıtılması.....	3
1.3. Helyumun Seçilme Nedenleri.....	5
BÖLÜM 2.	
ISI TRANSFERİNİN TEMELLERİ.....	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. Isı Transferi Tipleri.....	6
2.2.1. Fourier (ısı iletim) yasası.....	8
2.2.2. Newton'un soğuma yasası.....	10
2.2.3. Stefan-Boltzman'ın ışınım yasası.....	13
2.3. Kütleinin Korununu Yasası.....	16
2.4. Newton' un İkinci Hareket Yasası.....	17
2.5. Termodinamiğin Birinci Yasası.....	18
2.6. Termodinamiğin İkinci Yasası.....	19

BÖLÜM 3.	
FÜZYON	21
3.1. Füzyon	21
3.2. Füzyonun Oluşumu.....	21
3.3. Füzyon Denklemleri.....	22
BÖLÜM 4.	
ISI TRANSFERİNİN MODELLENMESİ	23
4.1. Deney Düzenegi ve Veri Toplama Tekniği.....	23
4.1.1. Deneydeki akış parametrelerinin hesabı.....	27
4.2. STARCD Modeli.....	28
4.2.1. Modelin tanımlanması.....	30
4.2.2. Türbülans modellerinde kullanılan akışkana ait taşınım denklemleri.....	31
4.2.2.1. k- ϵ türbülans modeli.....	32
4.2.2.2. SST modeli.....	33
4.3. Basit Geometrik Sıcaklık Alanı Modeli.....	35
BÖLÜM 5.	
TEK BOYUTLU BASİT GEOMETRİK SICAKLIK ALANI MODELİ.....	38
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Alan (m^2)
β, β^*	:SST Modeli için dağılım sabiti
c	: Işık hızı (m/s)
d_h	: Kanalın hidrolik yarıçapı (m)
DEMO	: Deney reaktörü
E	: Toplam enerji
F	: Işınım şekil faktörü
F_1, F_2	: SST modeli için karıştırma faktörü
HEBLO	: Helium Blanket Test Loop
HEMJ	: Jet ile helyum soğutmalı modüler divertör konsepti
h	: Isı transfer katsayısı ($W/m^2 K$)
ITER	: International Termonuclear Experimental Reactor
k	: Türbülans kinetik enerjisi
k	: Maddenin ısı iletkenliği (W/mK)
$m_{c,v}$: Kontrol hacmindeki anlık kütle (g)
\dot{m}_{in}	: Kontrol hacmine giren anlık kütle (g/s)
\dot{m}_{out}	: Kontrol hacminden çıkan anlık kütle (g/s)
Nu	: Nusselt sayısı
\vec{n}	: Kontrol yüzeyine normal doğrultudaki dışarı yönlü birim vektörü
P	: Basınç (Pa)
Q	: Isı akımı (W)
\dot{q}	: Isı akısı (W/m^2)
R	: İdeal gaz sabiti ($J/kg*K$)
Re	: Reynolds sayısı
T_w	: Yüzey sıcaklığı (K)

T_f	: Akışkan sıcaklığı (K)
V	: Hız vektörü
WL	: Tungsten-Lantanyumoksit alaşımı
w	: Akış hızı (m/s)
λ	: Dalga boyu (μm)
ν	: Frekans, c/λ
κ_f	: Akışkanın ısı taşımasını
$\bar{\rho}$: Yansıtıcılık
$\bar{\alpha}$: Soğurganlık
$\bar{\tau}$: Geçirgenlik
σ	: Stefan-Boltzman sabiti (W/m^2K)
$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$: Prandtl sabitleri
ϵ	: Yüzeyin yayılım gücü
μ	: Dinamik viskozite
μ_t	: Türbülans viskozitesi
ϵ	: Türbülans dağılım oranı
ω	: Özgül dağılım oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Helyum divertörün çevrim şeması.....	2
Şekil 1.2.a.	Divertör kaset gövdesi.....	4
Şekil 1.2.b.	Hedef levhası.....	4
Şekil 1.2.c.	Altıgen yapıdaki divertör kafası.....	4
Şekil 2.1.	Bir levhadaki ısı akımı.....	9
Şekil 2.2.	Dikey bir levha üzerinde doğal taşınım.....	11
Şekil 2.3.	Isıl sınır tabakası.....	12
Şekil 4.1.	Basitleştirilmiş HEBLO şeması.....	25
Şekil 4.2.	Test birimi.....	26
Şekil 4.3.	Isıtıcı düzeni.....	30
Şekil 4.4.	Termik çiftlerin Yerleşimi.....	36
Şekil 4.5.	Sıcaklık Alanlarının Ayrımı.....	37
Şekil 4.6.	Termik çiftlerin yandan görünümü.....	37
Şekil 5.1.	100 ⁰ C Helyum ile yapılan 40g/s' lik soğutma deneyi.....	39
Şekil 5.2.	100 ⁰ C Helyum ile yapılan 60g/s' lik soğutma deneyi.....	39
Şekil 5.3.	100 ⁰ C Helyum ile yapılan 80g/s' lik soğutma deneyi.....	40
Şekil 5.4.	100 ⁰ C Helyum ile yapılan 100g/s' lik soğutma deneyi.....	40
Şekil 5.5.	100 ⁰ C Helyum ile yapılan 120g/s' lik soğutma deneyi.....	41
Şekil 5.6.	250 ⁰ C Helyum ile yapılan 40g/s' lik soğutma deneyi.....	41
Şekil 5.7.	250 ⁰ C Helyum ile yapılan 60g/s' lik soğutma deneyi.....	42
Şekil 5.8.	250 ⁰ C Helyum ile yapılan 80g/s' lik soğutma deneyi.....	42
Şekil 5.9.	250 ⁰ C Helyum ile yapılan 100g/s' lik soğutma deneyi.....	43
Şekil 5.10.	250 ⁰ C Helyum ile yapılan 120g/s' lik soğutma deneyi.....	43
Şekil 5.11.	400 ⁰ C Helyum ile yapılan 40g/s' lik soğutma deneyi.....	44
Şekil 5.12.	400 ⁰ C Helyum ile yapılan 60g/s' lik soğutma deneyi.....	44
Şekil 5.13.	400 ⁰ C Helyum ile yapılan 80g/s' lik soğutma deneyi.....	45

Şekil 5.14.	400 ⁰ C Helyum ile yapılan 100g/s' lik soğutma deneyi.....	45
Şekil 5.15.a.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 100 ⁰ C' de 40g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması ..	46
Şekil 5.15.b.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 100 ⁰ C' de 60g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	46
Şekil 5.15.c.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 100 ⁰ C' de 80g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması ..	47
Şekil 5.15.d.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 100 ⁰ C' de 100g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması..	47
Şekil 5.15.e.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 100 ⁰ C' de 120g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	48
Şekil 5.16.a.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 250 ⁰ C' de 40g/s s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	48
Şekil 5.16.b.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 250 ⁰ C' de 60g/s s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	49
Şekil 5.16.c.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 250 ⁰ C' de 80g/s s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	49
Şekil 5.16.d.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 250 ⁰ C' de 100g/s s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	50
Şekil 5.16.e.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 250 ⁰ C' de 120g/s s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	50
Şekil 5.17.a.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 400 ⁰ C' de 40g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	51
Şekil 5.17.b.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 400 ⁰ C' de 60g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	51
Şekil 5.17.c.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 400 ⁰ C' de 80g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	52
Şekil 5.17.d.	k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 400 ⁰ C' de 100g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması...	52
Şekil 5.18.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 100 ⁰ C' de 40g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	54
Şekil 5.19.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 100 ⁰ C' de 60g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	55

Şekil 5.20.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 100 ⁰ C' de 80g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	55
Şekil 5.21.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 100 ⁰ C' de 100g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	56
Şekil 5.22.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 100 ⁰ C' de 120g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	56
Şekil 5.23.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 250 ⁰ C' de 40g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	58
Şekil 5.24.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 250 ⁰ C' de 60g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	59
Şekil 5.25.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 250 ⁰ C' de 80g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	59
Şekil 5.26.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 250 ⁰ C' de 100g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	60
Şekil 5.27.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 250 ⁰ C' de 120g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	60
Şekil 5.28.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 400 ⁰ C' de 40g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	62
Şekil 5.29.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 400 ⁰ C' de 60g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	63
Şekil 5.30.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 400 ⁰ C' de 80g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	63
Şekil 5.31.	Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 400 ⁰ C' de 100g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi.....	64
Şekil 6.1.	100 ⁰ C' de 40 g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması.....	66
Şekil 6.2.	100 ⁰ C' de 80 g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması.....	67
Şekil 6.3.	100 ⁰ C' de 120 g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması.....	67
Şekil 6.4.	250 ⁰ C' de 40 g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması.....	68

Şekil 6.5.	250 ⁰ C' de 80 g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması.....	68
Şekil 6.6.	250 ⁰ C' de 120 g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması.....	69
Şekil 6.7.	400 ⁰ C' de 40 g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması.....	69
Şekil 6.8.	400 ⁰ C' de 60 g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması.....	70
Şekil 6.9.	100 ⁰ C' de 40, 60, 80, 100 ve 120 g/s Helyum debileri için hesaplanan ısı akıları.....	71
Şekil 6.10.	250 ⁰ C' de 40, 60, 80, 100 ve 120 g/s Helyum debileri için hesaplanan ısı akıları.....	71
Şekil 6.11.	400 ⁰ C' de 40, 60, 80 ve 100 g/s Helyum debileri için hesaplanan ısı akıları.....	72

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Isı transferine ait özel yasalar.....	15
Tablo 4.1.	Malzeme özellikleri.....	31
Tablo 4.2.	Ampirik katsayılar.....	33
Tablo 5.1.	100 ⁰ C' deki helyum ile III, IV, V ve VI dairelerinde elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri.....	53
Tablo 5.2.	100 ⁰ C' deki helyum ile tungstenin ısı iletim katsayıları	54
Tablo 5.3.	250 ⁰ C' deki helyum ile III, IV, V ve VI dairelerinde elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri.....	57
Tablo 5.4.	250 ⁰ C' deki helyum ile tungstenin ısı iletim katsayıları.....	58
Tablo 5.5.	400 ⁰ C' deki helyum ile III, IV, V ve VI dairelerinde elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri.....	61
Tablo 5.6.	400 ⁰ C' deki helyum ile tungstenin ısı iletim katsayıları.....	62

MİNİ KANALLARDA ISI TRANSFERİNİN İNCELENMESİ

Zülal KARAGÖZ

ÖZET

Anahtar kelimeler: Isı transferi, mini kanallar

Bu çalışma, mini kanallardaki ısı transferi olayının incelenmesi esasına dayanmaktadır. Mini kanallarda Helyum gazı ile yapılan bir soğutma prosesi konu alınmıştır. Forschungszentrum Karlsruhe'de yürütülmekte olan HEBLO (Helium Blanket Test Loop) projesi kapsamında yürütülen bu çalışma, bir füzyon reaktörünün 15MW/m^2 ' lik büyük ısı yükünü uzaklaştırmak için tasarlanan bir soğutucu parmağın (divertör) optimizasyonu ve termohidrolik simülasyonlarını içermektedir.

Farklı sıcaklıklarda gönderilen Helyumun, her bir farklı sıcaklık için beş farklı kütle debisiyle ölçümler yapıldı (400°C için dört farklı kütle debisi). Deney düzeneği içerisine yerleştirilen termokupulların verileri kaydedildi. Elde edilen sonuçlar, STARCD programında farklı türbülans modelleri kullanılarak yapılan simülasyonlar ile karşılaştırılarak bu modellerin gerçeğe uygunluğu deney ve simülasyon verilerinin karşılaştırmalı olarak grafiklere dökülmesiyle incelendi. Ayrıca yapılan bir basit geometrik sıcaklık alanı modeli ile de kontrol edildi.

ANALYSES OF HEAT TRANSFER IN MINICHANNELS

Zulal KARAGOZ

SUMMARY

Key Words: Heat transfer, minichannels

This study is based on the evaluation of heat transfer in minichannels. A cooling process with Helium in minichannels was considered due to this evaluation. This concept consists of the optimisation and thermohydraulic simulations of a cooling finger (divertor) which was designed to move a great heat load of 15MW/m^2 from fusion reactor. These experiments were done at the Forschungszentrum Karlsruhe (Germany). For different Helium temperatures, five different Helium mass flow rates were measured (for 400°C only four was possible). The datas of the thermocouples which were positioned in the test section, were recorded and compared with the simulation results obtained by using different turbulence models of STARCD to make obvious if these models are reliable. Furthermore, a simple geometric temperature region model was also executed as a simple alternative of these turbulence models to check the reliability.

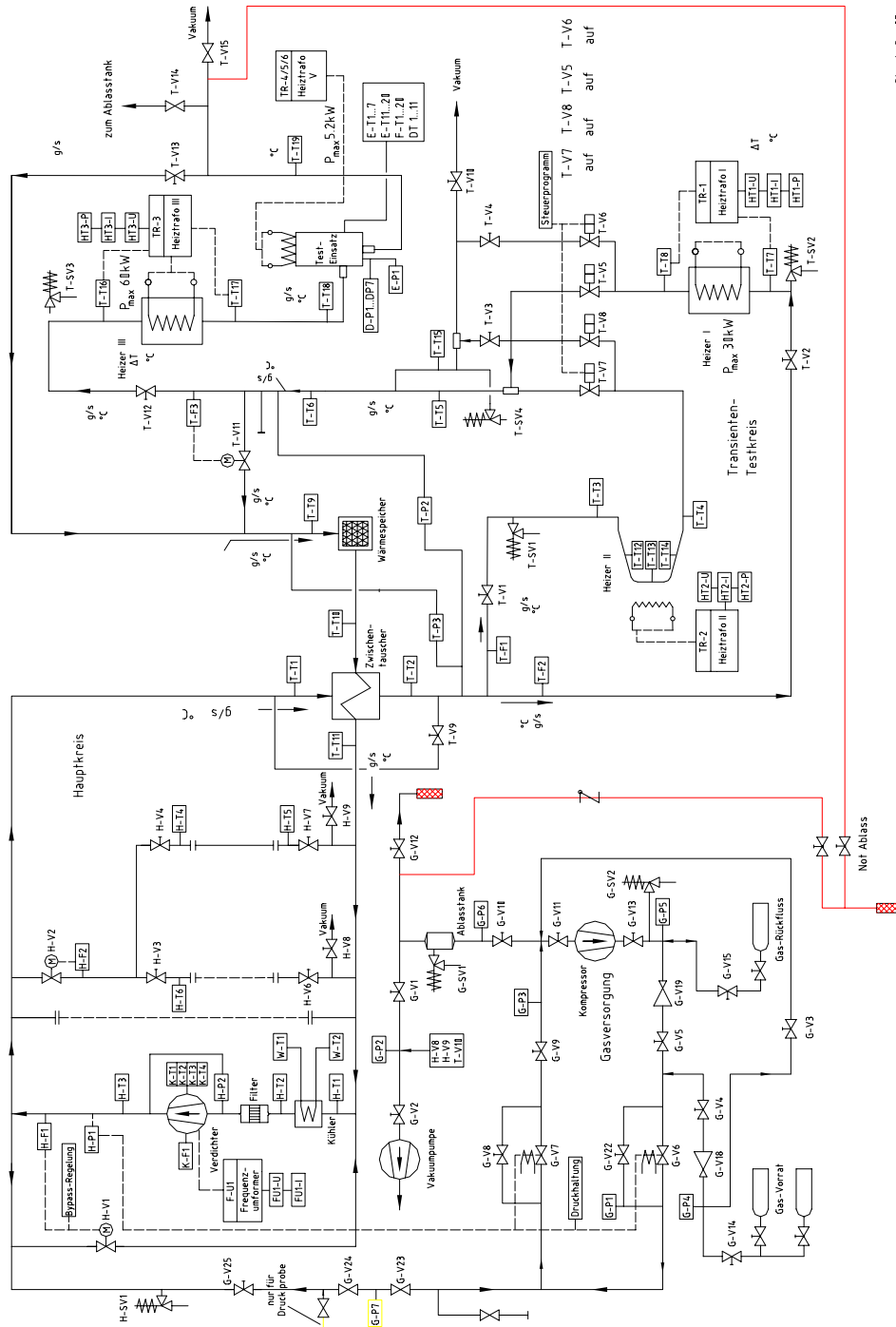
BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Mini kanallarda ısı transferinin incelenmesi amacını taşıyan bu çalışmanın deneysel araştırmaları ve bir CFD programı ile modellenmesi, halen Forschungszentrum Karlsruhe' de (Almanya) yürütülmekte olan HEBLO (Helium Blanket Test Loop) projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. HEBLO, füzyonda blanket elemanlarının üretim blanket konseptini test etmek amacıyla 1990 – 92 yılları arasında kuruldu ve 2001' e kadar işletimde kaldı. 2003 – 2005 arasında divertör gelişiminin ihtiyaçlarına uyarlandı. HEBLO' nun şematik dış hatları Şekil 1.1' de gösterilmiştir. HEBLO esas kısım olarak kompresörlü bir esas çevrim ve makete ev sahipliği yapan bir test çevriminden ibarettir. İki çevrim arasındaki bağlantı ise ısı dengeleyici birimi ve ısı değiştiricisidir. Helyum gazı basınçlı tüplerden sağlanır. Gaz kayıplarını en aza indirmek için bir helyum tedarik ve tahliye sistemi de HEBLO' nun bir parçasıdır.

Farklı deneylerin kontrolü ve veri kaydı için SIEMENS' in TELEPERM işletim birimi mevcut bulunmaktadır. Bu birim vanaların ve ısıtıcıların kontrolüne ve izlenmesine olanak verir ve helyumun kütle akışını ayarlar. Veri kayıt sistemi ile her deney tipi için en önemli sensör sinyalleri değişken olarak tasnif edilebilir.

Test çevrimi 450°C ' ye kadar helyum sıcaklığı, 80 bar basınç ve en fazla 120 g/s' lik bir kütle debisi ile işletilebilir. Ana çevrim 80 bar' da, 50°C ' de ve kompresörde 330 g/s' lik bir kütle debisi ile işletilebilir.



Stand: Sep 05
Weggen RS/ES

Helium Divertor Test Loop

Şekil 1. Helyum Divertörün Çevrim Şeması

1.2. Problemin Tanıtılması

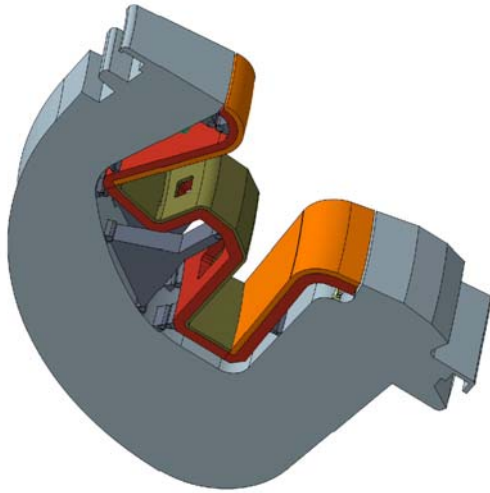
Divertör, bir füzyon reaktörünün üzerine en şiddetli enerji yükü binen yapı birimlerinden biridir. Esas fonksiyonu, helyum gibi alfa parçacık gücünün büyük kısmını ve kirlilikleri plazmadan uzaklaştırmaktır. Normal işletimde plazma ve malzeme yüzeyleri arasında esas arabirim bileşeni olarak, vakum kanalı ve divertörün çok yakınındaki magnet bobini için nötron koruyucu kılıf görevini üstlenirken aynı zamanda yüksek ısı yüklerini de tolare etmelidir. Bakım ve kullanımı kolaylaştırmak için ITER' den sonraki jenerasyon reaktörlerin divertör tasarımında, divertörün 48 kasete bölünmesi düşünülmüştür (Şekil 1.2.a.). Her kaset, her biri bir yapıya (gövdeye) sabitlenmiş kafa, dıştan ve içten levhaları içerir. Plazma ile yüzleşen kısımdaki hedef levhaları, ısıl gerilimi azaltmak için küçük levhalara bölünmüştür. Her levhanın altına yüksük benzeri bir başlık lehimlenmiştir. İç kısımda, delikli bir kartuş yerleştirilmiştir. Helyum bu kartuştan içeriye doğru akar, delikleri geçerek küçük jetler şeklinde yüksüğün iç yüzeyine çarpar. Jetlerin yüksek hızına ve yüksük ile kartuş arasında kalan küçük boşluktaki yüksek türbülanslı akıma bağlı olarak yüksek ısı transfer katsayıları ($\sim 30000\text{W/mK}$) gerçekleşebilir [1].

İyi bir ısı ve püskürtme direnci gösterdiği için levha malzemesi olarak tungsten seçilmiştir. Zamanla malzemesi aşınan levha en az 5mm kalınlığında olmalıdır. Levha altıgen veya dörtgen şeklinde ve 18mm genişliğindedir (Şekil 1.2.c).

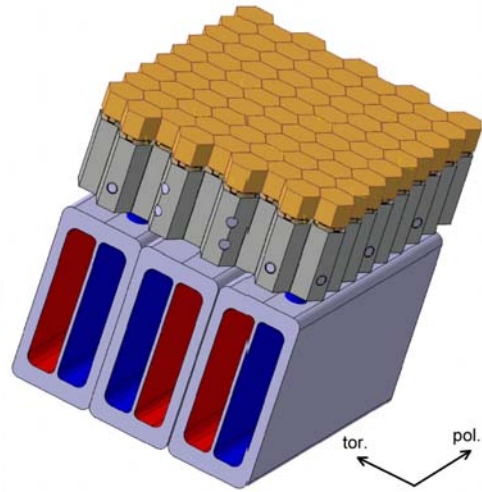
Yüksük, saf tungstene göre daha az kırılğan olan WL(W-1%La₂O₃) tungsten alaşımından yapılmıştır. Işınlanmış şartlarda işletim sıcaklığının 600 – 1300 °C arasında olması düşünülmüştür. Bu aralığın dışındaki sıcaklıklarda malzeme dayanıklılığını yitirir. Bu nedenle 1300 °C 'lik yüksek yüksük sıcaklığı, tasarım optimizasyonu için esas kriter olacaktır. Yüksüğün dış çapı 15mm ve duvar kalınlığı yaklaşık 1mm' dir.

Kartuş ise çok daha düşük sıcaklıklarda çalıştığı için çelikten (Eurofer) yapılmıştır. Delikli duvar, 1mm kalınlığındadır.

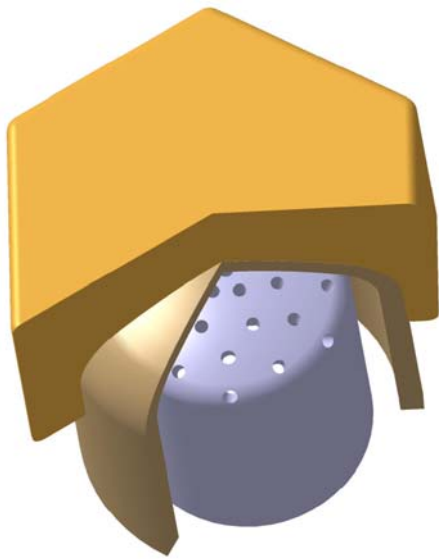
Soğutucu parmaklar, gövdenin çelik yapısına konik bir iç kilit ve dökme bakır bir tabakayla bağlanmıştır (Şekil 1.2.b).



Şekil 1.2.a. Divertör Kaset Gövdesi



Şekil 1.2.b. Hedef Levhası



Şekil 1.2.c. Altıgen Yapıdaki Divertör Kafası

1.3. Helyumun Seçilme Nedenleri

ITER için daha önceden su soğutmalı bir divertör geliştirilmişti. Ancak bu konsept, daha az nötron akışı ve daha düşük su sıcaklıkları için değerlendirilmişti ve bu yüzden DEMO (deney reaktörü) için uygun değildi. Ayrıca Forschungszentrum Karlsruhe' de güvenlik sebeplerinden dolayı suyun soğutucu madde olarak kullanılmasından mümkün olduğunca kaçınılmaktadır.

Helyum inert bir gaz olduğu, nükleer ve kimyasal reaksiyonlarda tepkimeye uğramadığı ve –diğer gazlarla karşılaştırıldığında- yüksek bir soğutma kapasitesi olduğu için seçilmiştir [2].

Bunun haricinde helyum, su ile karşılaştırıldığında daha yüksek sıcaklıklara ulaşarak, reaktörün termik verimliliğini ve buna bağlı olarak da ekonomik verimliliğini artırır. Ayrıca füzyon işlemi sonucunda ortaya çıkan helyum soğutma işleminde kullanılabilmesi için başka bir soğutucu maddenin tedarikine gerek kalmaz. Ancak hepsinden önce soğutucu madde olarak su, hidrojen oluşumu sırasında uygun şartların meydana gelmesiyle berilyum ile reaksiyona girecektir. Daha önce de belirtildiği gibi bu tip güvenlik nedenlerinden dolayı vakum kanalında suyla soğutulan bileşenler berilyumdan sakınılmalıdır.

Divertörde soğutucu madde olarak esasen sıvı metal de düşünülebilir. Ancak sıvı metal kimyasal olarak agresiftir ve manyetohidrokinamik etkisi nedeniyle daha fazla pompalama gücüne gereksinim duyar. Akım indüklenir ve sıvı metalin hareketini yavaşlatan kuvvetlere yol açar [3].

BÖLÜM 2. ISI TRANSFERİNİN TEMELLERİ

2.1. Giriş

Isı, bir termodinamik sistem ile çevresi arasında var olan sıcaklık farklarından dolayı sistemin sınırlarından geçiş yapan enerjidir.

Isı akısı, negatif sıcaklık gradyeni yönünde yani yüksek sıcaklıklardan düşük sıcaklıklara doğru olduğu için bir vektördür.

Aşağıdaki dört genel kanun, ısı transferi ile ilgili bütün çözümlerinin doğrudan ya da dolaylı olarak bağlı olduğu kanunlardır:

1. Kütle korunumu kanunu
2. Termodinamiğin birinci kanunu
3. Termodinamiğin ikinci kanunu
4. Newton' un ikinci hareket kanunu

Bunlara ek olarak bazı özel yasaların çözümlenmesinde de fayda vardır. Örneğin Fourier (ısı iletim) Kanunu, Newton' un soğuma kanunu, Stefan- Boltzman' ın ışınım yasası, vb.

2.2. Isı Transferi Tipleri

Isının transfer edildiği bir ısı değişim ya da bir enerji dönüşüm sisteminin mekanizması oldukça karmaşıktır. Bununla birlikte ısı transferinin iki temel ve belirgin tipi vardır – difüzyon ve ışınım. Difüzyon prosesi bir gradyenin (sıcaklık, yoğunluk, basınç, konsantrasyon, elektriksel gerilim, vb.) varlığına bağlı olarak

meydana gelir ve maddesel bir ortama ihtiyaç duyar. İletim ve taşınım, difüzyon prosesleridir. Diğer taraftan ışıınım prosesi maddesel bir ortama ihtiyaç duymaz.

İletim, bir cisimdeki (akışkan veya gaz) yüksek sıcaklık bölgesinden düşük sıcaklık bölgesine doğru olan bazı durumlarda, serbest elektronların akışının da ilave olduğu, moleküler hareket ile gerçekleşen ısı transfer işlemidir. İletimle ısı transferi aynı zamanda birbiriyle temas eden farklı sıcaklıklardaki iki cismin ara yüzeyinde de gerçekleşir.

Sıvılar ve gazlardaki ısı iletim mekanizması, moleküler hareketin kinetik enerjisinin transferi olarak kabul edilir. Bir akışkana ısı enerjisi geçişi, o akışkanın titreşen moleküllerinin kinetik enerjisini artırarak iç enerjisini yükseltir. Böylelikle de ısı iletimi, yüksek sıcaklık bölgesindeki daha yüksek enerjili moleküllerin ardı ardına çarpışmalar vasıtasıyla kinetik enerjilerini düşük sıcaklık bölgesindeki moleküllere transferidir.

Kuvars gibi kristalli yapıdaki katılarda ısı iletimi moleküler ve kafes titreşimi ve serbest elektron akımı ile enerji transferine bağlıdır. Genel olarak, moleküler ve kafes titreşimi ile enerji transferi, serbest elektronlar ile gerçekleşen enerji transferi kadar büyük değildir. Bu nedenledir ki iyi elektriksel iletkenler her zaman için iyi ısı iletkenleridir ve elektriksel yalıtkanlar, genellikle iyi ısı yalıtkanlarıdır [4].

Isıl ışıınım ya da kısaca ışıınım, elektromanyetik dalgalar formundaki ısı transferidir. Mutlak sıfır sıcaklığının üzerindeki bütün cisimler ısı olarak uyarılmış kabul edilir ve bu cisimler ışık hızıyla (boşlukta $c = 3.10^8$ m/s) hareket eden dalgalar yayarlar. Bu ışıınım farklı dalga boylarında gerçekleşir.

$\lambda = 0.1 - 100 \mu\text{m}$ dalga boyları arasında meydana gelen ışıımaya ısı ışıınım denir. Işımanın dalgaları, λ dalga boyunun $\nu = c/\lambda$ olarak belirtilen bir ν frekansı ile ilişkilendirilmesini gerektirmektedir. Cisimler farklı dalga boylarında ışıınım yayarlar ve ışıınımın yoğunluğu dalga boyu ile değişir. Bu, ışıınımın spektral dağılımı olarak

adlandırılır. Elektromanyetik dalgalar boşlukta da dolaşabileceği için ışınım, iletim ve taşınımın aksine maddesel bir ortama ihtiyaç duyulmaz.

İletim, saydam olmayan (opak) katılarda ısının akabileceği tek mekanizmadır. Cam ve kuvars gibi bazı saydam ve yarı saydam katılarda enerji akımı iletimle olabileceği gibi ışınım ile de olabilir. Gazlar ve sıvılarda, eğer gözlemlenebilir bir akışkan hareketi yoksa, ısı transfer mekanizması iletim (ve ışınım) olacaktır. Ancak eğer makroskopik bir akışkan hareketi varsa, enerji, akışkanın kendi hareketiyle sahip olduğu iç enerjisi formunda da taşınabilir. Isı iletimi (ve ışınımı) ve akışkanın hareketinin birlikte etkisiyle gerçekleşen enerji nakli işlemi taşınım ya da taşınımsal ısı transferi olarak adlandırılır.

2.2.1. Fourier (ısı iletim) yasası

Sıcaklık, ısı akısı ve maddenin ısı iletkenliği ısı iletim çalışmalarında önemli niceliklerdendir. Belirlenen yüzeyi birim zamanda geçen toplam enerji miktarı ısı akımı olarak bilinir, Q . Yüzeyin birim alanından birim zamanda geçen enerji ısı akısı olarak adlandırılır, \dot{q} . ısı akısı (ısı akımından farklı olarak), vektörel bir niceliktir ve ölçülen yüzeye normal doğrultuda uzanır.

Moleküler düzeyde ısı iletim mekanizması moleküller arası kinetik enerji değişimi olarak düşünülmesine rağmen mühendislik problemlerinde öncelikli ilgili, maddenin moleküler davranışına değil, maddenin sürekli bir ortam olarak nasıl davrandığına yöneliktir. Isı iletimi (ve dolayısıyla ısı taşınımı) çalışmalarında moleküler yapı ihmal edilir ve konu sürekli bir ortam (süreklilik) olarak dikkate alınır. Bu yaklaşım neyse ki sadece makroskopik bilginin önemli olduğu pratikteki pek çok problemde geçerlidir.

Isı akısı ve sıcaklık gradyeni arasındaki temel ilişki, tayin edilen yöndeki iletme bağlı ısı akımının aynı yöndeki sıcaklık gradyeni ve ısı akımı doğrultusunun normal yönündeki alana orantılı olduğunu ifade eden Fourier Yasası' dır (Şekil 2.1).

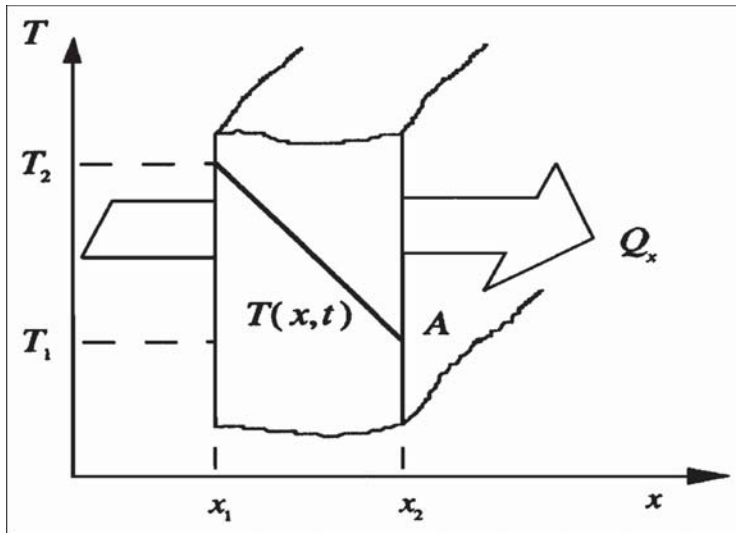
Matematiksel olarak,

$$Q_x(x,t) = -kA \frac{dT(x,t)}{dx} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $Q_x(x,t)$, A alanına doğru pozitif x yönündeki ısı akımı, $dT(x,t)/dx$, t anında x noktasındaki sıcaklık gradyeni ve k da maddenin ısı iletkenliğidir. Eşitliğin sağ tarafındaki eksi işareti, termodinamiğin ikinci kanunu ile uyumludur ve iletme bağlı ısı akımının daha yüksek sıcaklıklı bir noktadan daha düşük sıcaklıklı bir noktaya doğru gerçekleşmesi gerektiğini ifade eder. (1) eşitliği

$$\dot{q}(r,t) = -k\nabla T(r,t) \quad (2)$$

eşitliğini katılar için elde edebilmek için amacıyla genellenebilir. Burada $q(r,t)$, ısı akısı vektörü (yani birim alandaki ısı akımı, Q_x/A ve $T(r,t)$ de t sıcaklığında r vektör pozisyonundaki cismin sıcaklığıdır. SI birim sisteminde ısı akısı W/m^2 'dir.



Şekil 2.1. Bir levhadaki ısı akımı

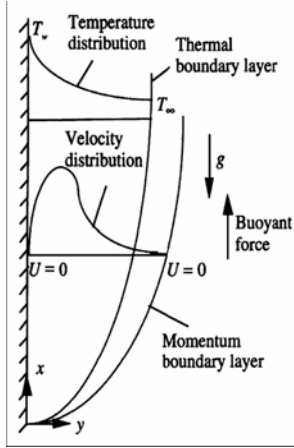
2.2.2. Newton'un soğuma yasası

İletim, daha önce de tanımlandığı gibi ısı iletimi (ve ışınımı) ve akışkan hareketinin birlikte etkisiyle akışkandaki ısı taşınması işlemidir. Isı transferi mekanizması olarak sadece akışkanın tabakaları arasında değil, temas halinde olmaları durumunda, akışkan ve katı yüzeyi arasındadır. Isı transferi, iletimden farklı olarak fiili materyal taşınımına bağlı olarak gerçekleşir. Pek çok mühendislik uygulamasında taşınımına bağlı ısı transferi, Newton' un soğuma kanunu kullanılarak hesaplanabilir. Newton'un soğuma kanunu, eğer ısı transfer katsayısı h ise, T_w sıcaklığındaki bir yüzeyden T_f sıcaklığındaki bir akışkana taşınımına bağlı olarak gerçekleşen ısı akısı q 'nun

$$\dot{q} = h(T_w - T_f) \quad (3)$$

olarak belirleneceğini ifade eder.

Üç çeşit taşınım vardır: Zorlanmış, doğal ve karma. Zorlanmış taşınımında prosese konu olan akışkan hareketi pompa veya fan gibi dışardan gelen bir basınç gradyeni ile eylem kazanır. Bazen, dış etkilerin yokluğunda bile akışkan içerisinde yerel ısıtmaya neden olan yoğunluk farklarına bağlı olarak basınç gradyenleri oluşur. Bu da doğal taşınım olarak bilinir. Karma taşınım ise adından da belli olacağı gibi her iki taşınım türünün bir arada bulunduğu taşınım türüdür. T_∞ sıcaklığındaki bir akışkana batırılmış T_w sıcaklığında dikey düz bir levha düşünülürse, eğer $T_w > T_\infty$ ise, burada levhadan akışkana ısı geçişi vardır. Bu durumdaki doğal taşınımın hız ve sıcaklık profilleri Şekil 2.2 'teki gibi gösterilir.



Şekil 2.2. Dikey bir levha üzerinde doğal taşınım

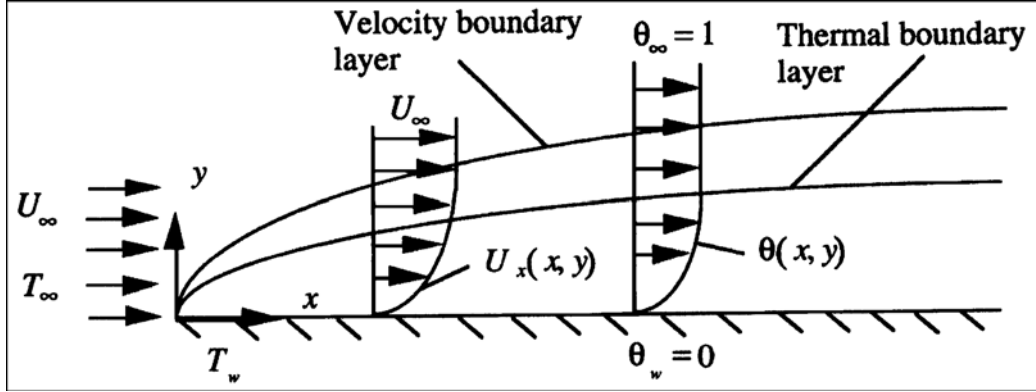
Eşitlik 3' teki daki h ısı transfer katsayısı taşınımına bağlı ısı transferini belirlemede çok faydalıdır. Şekil 2.3 dikkate alındığında, duvarın çok yakınında akışkan zerreleri durağandır (kaygan olmayan sınır şartına bağlı olarak) ve ısı transferi akışkandaki taşınımına bağlıdır. Bu durumda duvardaki taşınımına bağlı ısı akısı;

$$\dot{q}|_{du\ var} = -k_f \left. \frac{\partial T(\chi, y)}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (4)$$

Burada k_f akışkanın ısı taşınımıdır. Mühendislik uygulamalarında akışkan ile duvar arasındaki ısı transferi ısı transfer katsayısıyla Newton'un soğuma kanunu kullanılarak;

$$h_\chi = -k_f \frac{[\partial T(\chi, y)/\partial y]_{y=0}}{(T_\infty - T_w)} \quad (5)$$

eşitliği ile ilişkilendirilir.



Şekil 2.3. Isıl Sınır Tabaka ve Hidrolik Sınır Tabaka

Eşitlik 5' deki ısı transfer katsayısı h_x şekil 2.3' de gösterilen yüzey uzunluğu boyunca değişebilir, yani x ' in bir fonksiyonu olabilir. Bu nedenle ısı transfer katsayısının sonlu L değeri üzerinden bir ortalama ya da yığın değerinin tanımlanmasında fayda vardır.

$$h_m = \frac{1}{L} \int_0^L h_x d\chi \quad (6)$$

SI birim sisteminde h_x , $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ olarak ölçülür. Isı transfer katsayısı sıklıkla Nusselt sayısı olarak bilinen önemli bir boyutsuz nicelik aracılığı ile ifade edilir. Nusselt sayısı

$$Nu_x = \frac{h_x \chi}{\kappa_f} \quad (7)$$

olarak tanımlanır ve mevcut taşınım ısı akısının, x kalınlığındaki bir akışkan tabakası boyunca oluşabilecek iletim ısı akısına oranını gösterir. Biot sayısı $Bi = h.L/k$ olarak ifade edilirse, Biot sayısı ve Nusselt sayısı arasındaki benzerliğe dikkat edilmelidir. Nusselt akışkan tarafından taşınan ve iletilen ısı akısının oranını, Biot ise akışkan tarafından taşınan ve cisim tarafından iletilen ısı akılarının oranını gösterir. h ' da olduğu gibi aşağıda belirtildiği şekilde bir ortalama ya da yığın Nusselt sayısı tanımlamak faydalıdır.

$$Nu_m = \frac{h_m L}{\kappa_f} \int_0^L \frac{1}{\chi} Nu_x d\chi \quad (8)$$

2.2.3. Stefan-Boltzman'ın ışıma yasası

Daha öncede belirtildiği gibi mutlak sıfır sıcaklığının üzerindeki bütün maddeler, sahip oldukları sıcaklık sonucu elektromanyetik dalgalar şeklinde enerji yayarlar ve aynı şekilde de enerji absorbe etme yetenekleri vardır. Isıl ışıma bir cisim üzerine düştüğünde, bir kısmı yüzey tarafından yansıtılır. Kalan kısım cisim tarafından absorbe edilebilir. Eğer cismin malzemesi güçlü bir ısı ışıma yutucusu ise, cisme nüfuz eden enerji yutulur ve yüzeye çok yakın ince bir tabakada iç enerjiye dönüştürülür. Böyle cisimlere opak adı verilir. Eğer ışıma yutması istenen malzeme kalınlığı cismin karakteristik kalınlığıyla karşılaştırıldığında çok geniş ise, ışıma tamamen geçirilebilir. Böyle cisimlere de saydam denir. Örneğin cam, görülebilir spektrumda elektromanyetik dalgaların çok zayıf bir soğurmanıdır ve saydamdır. Eğer cismin yüzeyi parlak ve pürüzsüz ise (metalik yüzeylerde olduğu gibi) ışımanın büyük bir kısmı yansıtılabilir. Işıma bir yüzeye çarptığında yansıyan kısım yansıtıcılık $\bar{\rho}$, yutulan kısım soğurmanlık $\bar{\alpha}$ ve geçirilen kısım ise geçirgenlik $\bar{\tau}$ olarak tanımlanır. Böylece

$$\bar{\rho} + \bar{\alpha} + \bar{\tau} = 1 \quad (9)$$

dir. Opak maddeler için $\bar{\tau} = 0$ olduğundan

$$\bar{\rho} + \bar{\alpha} = 1 \quad (10)$$

dir. Çarpan ışıma enerjisinin tamamını yansıtmadan ve geçirmeden yutan ideal bir cisme siyah cisim denir. Bu nedenle de (9) eşitliği $\bar{\alpha} = 1$ 'e dönüşür. Sadece karbon siyahı ve platin siyahı gibi birkaç materyal, ışıma enerjisini yutma yeteneğine sahiptir. Bir siyah cisimden birim zamanda birim yüzey alanda ki toplam ışıma emisyonu, Stefan-Boltzman'ın ışıma kanununa göre mutlak sıcaklığın dördüncü derecesi ile bağlantılıdır. Şöyle ki,

$$\dot{q}_{r,b} = \sigma T^4 \quad (11)$$

burada σ , SI sisteminde $5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ değerli Stefan-Boltzman sabitidir.

Gerçek cisimler bir siyah cismin özelliklerine karşılık gelemezler, ancak ışınımı aynı boyut ve şekildeki ve aynı sıcaklıktaki bir kara cisimden daha düşük bir oranda yayarlar. Eğer q'' , T mutlak sıcaklığında bir gerçek yüzeydeki ışınımsal akı (yani birim zamanda birim yüzey alanından yayılan ışınım) ise, o zaman bu yüzeyin yayılım gücü aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\epsilon = \frac{q''r}{\sigma T^4} \quad (12)$$

Bu durumda bir siyah cisim için $\epsilon=1$ olur. Aynı sıcaklıkta yalnızca diğer cisimlerle ışınım değişimi yapan (yani ısı denge) bir gerçek cisim $\bar{\alpha} = \epsilon$ olduğu Kirchoff Kanunu (ısı denge durumunda bir cismin ya da yüzeyin yayma gücü soğurganlığına eşittir) ile gösterilebilir. Yayma gücünün büyüklüğü; materyale, durumuna ve yüzey şartlarına bağlıdır.

Eğer ϵ_1 ve ϵ_2 yayılım gücüne ve T_1 ve T_2 mutlak sıcaklıklarına sahip izotermal A_1 ve A_2 yüzeyleri sadece ışımayla ısı değiştiriyorsa, bu iki yüzey arasındaki net ısı değişim oranı;

$$\dot{q}_r = \sigma A_1 \xi_{12} (T_1^4 - T_2^4) \quad (13)$$

olarak belirlenir. Burada Kirchoff kanununun geçerli olduğu kabul edilmiştir. Eğer A_1 ve A_2 kenarlarında ihmal edilebilir kayıpları olan iki büyük paralel yüzey ise (13) eşitliğindeki ξ_{12} faktörü;

$$\frac{1}{\xi_{12}} = \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \quad (14)$$

olarak belirlenir. Eğer A_1, A_2 yüzeyi ile tamamen çevrilmiş ise

$$\frac{1}{\xi_{12}} = \frac{1}{F_{12}} + \frac{1}{\epsilon_1} - 1 + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right) \quad (15)$$

olur. Burada F_{12} , A_1 ve A_2 yüzeyleri arasındaki ışınlım şekil faktörü yada konfigürasyon faktörü olarak adlandırılan bir geometrik faktördür ve A_1 yüzeyinden ayrırlıp direk olarak A_2 yüzeyine ulaşan ışınlım kesrine eşittir.

Bazı uygulamalarda bir h_r ışınlım ısı transfer katsayısı tanımlamak uygun olabilir. Yani;

$$\dot{q}_r = h_r A_1 (T_1 - T_2) \quad (16)$$

Bu kavram (13) eşitliğine uygulandığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$h_r = \sigma \xi_{12} (T_1 + T_2) (T_1^2 + T_2^2) \quad (17)$$

Isı transferine ait özel yasalar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir [8].

Tablo 2.1. Isı transferine ait özel yasalar

Isı transferi tipi	Yöntem	Özel yasası
İletim	Isıl enerjinin difüzyonu	$Q_x(\chi, t) = -\kappa A \frac{dT(\chi, t)}{d\chi}$
Taşınım	Isıl enerjinin difüzyonu ve taşınması	$\dot{q} = h(T_w - T_f)$
İşinım	Elektromanyetik dalgalarla ısı transfer	$\dot{q}_r = h_r A_1 (T_1 - T_2)$

2.3. Kütlenin Korunumu Yasası

Sistem, soyut veya somut olabilen kapalı bir yüzey ile sınırlandırılmış, sabit özdeşlikler konusunun rasgele bir araya toplanmasıdır. Sistemle etkileşim içinde olduğu göz önüne alınan diğer bütün sistemler onun çevresi olarak kabul edilir. Kütlenin korunumu yasası, basitçe, kütle – enerji dönüşümünün olmadığı durumlarda sistem kütlelerinin sabit kalacağını ifade eder. M , sistem kütlelerini ifade edecek şekilde;

$$\frac{dm}{dt} = 0 \quad \text{ya da} \quad m = \text{sabit} \quad (18a) (18b)$$

olarak ifade edilir.

Kontrol hacmi, uzayın problemin çözümüne uygun seçilmiş bir bölgesidir ve sınırlarından kütle akışı, enerji ve momentum akışlarının olabileceği ve bunların depolanabileceği ayrıca dış güçlerin etkilenebileceği açık bir sistemdir. Pozisyonu ve/veya boyutları zamanla değişebilir. Kontrol hacmi için kütlenin korunumu kanunu şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\partial m_{c.v.}}{\partial t} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} \quad (19)$$

Burada $m_{c.v.}$, kontrol hacmindeki o anlık kütle, \dot{m}_{in} kontrol hacmine giren anlık kütle debisi ve \dot{m}_{out} da kontrol hacminden çıkan anlık kütle debisidir. (19) eşitliği şu şekilde de yazılabilir:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{c.v.} \rho dV = - \int_{c.s.} \rho V \cdot \mathbf{n} dA \quad (20)$$

Burada dV , kontrol hacminin bir elemanı, ρ , bu elemanın yerel yoğunluğu ve $c.v.$ ise uzayda sabitlenmiş ve kontrol yüzeyi ($c.s.$) ile sınırlandırılmış kontrol hacmini

belirtmektedir. V , hız vektörü ve \hat{n} , kontrol yüzeyine normal doğrultudaki dışarı yönlü birim vektördür.

Kütlenin korunumu kanununun kontrol hacmi şeklinde ifadesi, bir kontrol hacmine giren kütle debisinin net oranının, kontrol hacmi içerisindeki kütlenin zamanla değişim oranına eşit olduğunu ortaya koyar.

2.4. Newton' un İkinci Hareket Yasası

Newton' un İkinci Hareket Yasası, eylemsiz bir koordinat sisteminde bir sisteme etkiyen net kuvvet F ' nin, toplam lineer momentum M ' nin zamanla değişimi oranına eşit olduğunu ifade eder. Yani,

$$F = \frac{dM}{dt} \quad (21)$$

Bu denklem, kontrol hacmi için şöyle yazılabilir:

$$F = \frac{\partial}{\partial t} \int_{c.v.} V \rho dV + \int_{c.s.} V \rho V \hat{n} dA \quad (22)$$

Bu sonuç genellikle momentum teoremi ya da lineer momentumun korunumu kanunu olarak adlandırılır ve kontrol hacmi üzerine etkiyen anlık net kuvvetin kontrol hacmi içerisindeki lineer momentumun zamanla değişim oranına ve kontrol hacmi dışındaki net lineer momentumun debisine eşit olduğunu ifade eder.

(22) eşitliği vektörel bir bağıntıdır. x , y ve z dikdörtgenel koordinatlarını işaret eden x yönündeki bileşen şu şekilde ifade edilebilir:

$$F_x = \frac{\partial}{\partial t} \int_{c.v.} u \rho dV + \int_{c.s.} u \rho V \hat{n} dA \quad (23)$$

Burada u ve F_x , sırasıyla, hız vektörü V ve kuvvet vektörü F ' in x bileşenleridir.

2.5. Termodinamiğin Birinci Yasası

Bir sistemin termodinamik durumu, o sistemin kendi şartları yani bütün kendi özellik değerleridir. Sistemin bir özeliği, ya doğrudan ya da dolaylı olarak gözlemlenebilir sistem karakteristiğidir ve prensipte nicel olarak ölçülebilir. Hacim, kütle, basınç, sıcaklık, vb. Eğer bir sistemin özellikleri değişmeden kalıyorsa, o zaman bu sistemin denge durumunda olduğu söylenir. İlk ve son durumları aynı olan sisteme çevrim denir.

Termodinamiğin birinci kanunu ya da diğer adıyla enerjinin korunumu kanunu, var olan bir enerjinin ortadan kaybolamayacağını, olmayan bir enerjinin ise yoktan var edilemeyeceğini ancak enerjinin farklı enerjilere dönüşebileceğini ifade eder. 'Kapalı bir sistemin belirli iki hali arasında gerçekleşebilecek tüm adyabatik hal değişimleri sırasında yapılan net iş, sisteme veya hal değişimlerine bağlı olmaksızın aynıdır' [5].

Bu ilke termodinamiğin birinci yasası olarak kabul edilir. Bu kanun bir kontrol kütlelerinin belirli iki faz arasındaki tüm adyabatik faz değişimleri için net işin aynı olmasını, net işin sadece ilk ve son durumlara bağlı olduğunu ve sistemin bir özeliğindeki değişimle ilişkili olmaması gerektiğini ortaya koyan bir toplam enerji özeliğinin varlığını açıklar.

Yukarıda da belirtildiği gibi bir çevrimde ilk ve son durumlar aynıdır. Bu nedenle $\Delta E = E_2 - E_1 = 0$ ' dır. Bu durumda çevrim için termodinamiğin birinci kanunu şöyle yazılabilir:

$$\oint \delta Q = \oint \delta W \quad (24)$$

Burada $\oint \delta Q$, sisteme olan net ısı transferini, $\oint \delta W$ ise proses esnasında sistem tarafından yapılan net işi temsil eder.

Birinci kanun, bir dt zaman aralığında sonsuz hal değişimini içeren bir proses için şöyle yazılabilir:

$$dE = \delta Q - \delta W \quad (25)$$

Sistemin toplam enerjisi E , üç kısımdan oluşur: kinetik enerji KE , potansiyel enerji PE , ve iç enerji U . Yani,

$$E = KE + PE + U \quad (26)$$

İç enerji U , bir sistemdeki moleküler ve atomik yapı ve davranışla ilgili olan enerjiyi temsil etmektedir. (25) eşitliğini şöyle de yazabiliriz:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\delta Q}{dt} - \frac{\delta W}{dt} \quad (27a)$$

ya da

$$\frac{dE}{dt} = q - P \quad (27b)$$

Burada $q = \delta Q/dt$ sisteme olan ısı transferini, $P = \delta W/dt$ ise sistem tarafından yapılan iş oranını temsil eder.

2.6. Termodinamiğin İkinci Yasası

Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumu ilkesi üzerinde durur ve sistemle çevresi arasındaki etkileşimlere bağlı olarak gerçekleşen hal değişimlerinin nicel hesaplamalarını inceler. Ancak bu hal değişimlerinin hangi yönde gelişebileceklerini belirlemez. Kendiliğinden oluşan hal değişimlerinin tek yönlülüğüyle ilgili olan enerji-transfer prosesine bir yön anlamı katan gözlemler, termodinamiğin ikinci yasasına öncülük etmiştir.

Termodinamiğin ikinci yasası, entropi denilen bir özeliği tanımlar. Bir dt zaman aralığında, bir sistemde gerçekleşen herhangi bir tersinir proses için sistemin entropisindeki değişim

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{tr} \quad (28)$$

şeklinde belirtilir. Ancak tersinmez bir hal değişimi için

$$dS \left\langle \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{tersinmez} \right\rangle \quad (29)$$

dir. Burada δQ , dt zaman aralığında sisteme ilave olan küçük ısı miktarı ve T , ısı transferinin gerçekleştiği andaki sistem sıcaklığıdır. (28) ve (29) denklemlerini ikinci kanunun matematiksel ifadesi olarak

$$\frac{dS}{dt} \geq \frac{1}{T} \frac{\delta Q}{dt} \quad (30)$$

şeklinde yazılabilir.

BÖLÜM 3. FÜZYON

3.1. Füzyon

Çekirdek tepkimesi olarak da bilinen füzyon, farklı iki element çekirdeğinin birleşerek daha ağır bir elementin atom çekirdeğini oluşturmasıdır ve sonuçta yüksek miktarda enerji açığa çıkar. Nükleer füzyon, 1 litre deniz suyundan 1 litre petrole eşdeğer enerji üretebilir. Başka bir deyişle; 1 kilogram'lık füzyon yakıtından, 10 milyon kg'lık fosil yakıtın üreteceği kadar enerji elde edilebiliyor. Bu hedef doğrultusunda araştırmalarına halen devam edilmekte olan Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü (ITER), Fransa'nın Cadarache bölgesinde inşa edilecek. 2040 yılında ilk enerji üretimine başlayacak olan nükleer füzyon reaktörü, 10 milyar Euro olan maliyeti ile Uluslararası Uzay İstasyonu'ndan sonra tarihte yapılan en yüksek maliyetli proje olacak.

3.2. Füzyonun Oluşumu

Füzyon, güneşe ve yıldızlara gücünü veren prosestir. İki farklı atom çekirdeğinin daha ağır bir atom çekirdeği oluşturmak için birleşmesi reaksiyonudur. Çekirdek tepkimesi olarak da bilinen bu tepkimenin sonucunda çok büyük miktarda enerji açığa çıkar. Nükleer füzyon (kaynaşma), ağır atomların küçük parçalara ayrıldığı nükleer fizyonun (nükleer parçalanma) tam tersidir.

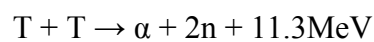
Atom çekirdekleri pozitif yükle yüklenmiş olmalarına bağlı olarak birbirlerini şiddetli bir şekilde iterler. Bu itici güçleri yenmek ve bir araya gelmek için çekirdeklerin çok yüksek hızda çarpışmaları gerekir, ki bu da füzyonun olağanüstü yüksek sıcaklıklarda meydana geleceği anlamına gelmektedir. Bahsedilen bu

sıcaklıklara dayanıp, füzyon tepkimesine girecek maddeyi taşıyacak bir katı malzeme yoktur.

Güneşin merkezinde her saniye milyarlarca ton hidrojen birleşerek helyum oluşturur ve devasa boyutta bir enerji açığa çıkarır. Güneşin merkezindeki sıcaklık 15 milyon derecedir. Yüksek sıcaklıklarda gaz atomları elektronlarını kaybeder ve birlikte plazma adı verilen yüklü parçacıkların bir fazını oluşturur. Güneş, yıldırım ve flüoresans lambası da birer plazma örneğidir.

3.3. Füzyon Denklemleri

Sıcaklık, hapsedme ve Lawson Kriterleri (Plazmanın dağılmadan hapsedilmesi için gerekli zamanın ve plazma yoğunluğunun ilişkisini tanımlar), füzyonun oluşması için gereken şartlardır. Füzyonu yeryüzünde enerji olarak kullanabilmek için özel bir gaz karışımı çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılır. Gaz yeterince ısınınca füzyon gerçekleşir. Bu gaz karışımı iki tip hidrojenden elde edilir: Döteryum ve Trityum. Döteryum, bir proton ve bir nötrondan oluşan hidrojen çekirdeğinin bir izotopudur ve deniz suyunda bulunur. Trityum ise proton ve iki nötrondan oluşan, hidrojen çekirdeğinin diğer bir izotopudur. Doğal olarak bulunmaz ancak bolca bulunan bir metal olan lityumdan elde edilebilir. Lityum aynı zamanda dizüstü bilgisayar ve cep telefonu pillerinde de kullanılır. 1 litre su 33mg döteryum içerir. 50 mg trityum ile birleştiğinde 360 litre petrol ile aynı miktarda enerji elde edilir.



BÖLÜM 4. ISI TRANSFERİNİN MODELLENMESİ

4.1. Deney Düzenegi ve Veri Toplama Tekniği

Test maketinin montajından sonra sistemdeki havanın uzaklaştırılması için tesisatın ilk olarak havası alınır. Daha sonra çevrim, işletme basıncı olan 80bar'a kadar helyum ile doldurulur. Helyum sızıntılarını belirleyen bir koku alma metodu ile sızıntıların yerleri belirlenir ve contalanır.

Kompresör, en düşük dönüş sayısı olan 8000 d/dak ile çalıştırılır. İlk olarak esas çevrimdeki H-V1 ve test çevrimindeki T-V11 bypass vanaları başlangıçta tamamen açılarak en düşük debi olan yaklaşık 30 g/s' ye ayarlanır ve sonra tekrar yavaşça istenilen debi değerine ulaşılanaya kadar kısılır. Esas çevrimdeki H-V1 bypass vanası kaba ayar için, test çevrimindeki T-V11 bypass vanası ince ayar için kullanılabilir. Debi değerleri esas çevrimdeki H-F1 debi ölçeri ve test çevrimindeki T-F1, T-F2 ve T-F3 debi ölçerleri ile ölçülür ve operatör denetim masasında gösterilir.

Sıcak helyumla yapılan deneyler için istenilen helyum sıcaklığına bağlı olarak elektrikli ısıtıcı 1, 2 ve 3' ün ya tamamı ya da bir kısmı devreye alınır. Isıtıcı 1 ve 3, 65 kW' lık en yüksek güce, ısıtıcı 2 de 20 kW' lık güce sahiptir. Başlangıçta ısıtıcılar düşük güçle devreye alınır ve sonra yavaş yavaş istenilen helyum sıcaklığına ulaşılanaya kadar yükseltilir. Helyumun ısıtılması sırasında debi değeri değiştir. Bu nedenle H-V1 ve T-V11 bypass vanalarıyla sürekli düzeltilmeleri gereklidir.

Isıtıcı 2 ve 3' ün farklı güçleri nedeniyle test çevrimindeki T-V1 vanasının debinin %30' unun T-F1 ve %70' inin T-F2' ye gönderilmesi ayarlandığında değişmeden kalabileceği kanıtlandı. Bu orantı aşığı yukarı ısıtıcı 2 ve ısıtıcı 1' in güçlerinin orantısına da karşılık gelmektedir.

Sabit bir helyum sıcaklığına ulaşıldıktan sonra test düzeneğinin ısıtması (ısıtıcı 5) ilk olarak en düşük güçle çalıştırılır ve yavaş yavaş daha önceden belirtilen ısıtıcı sıcaklığına (ya 650°C ya da 800°C ' ye) ulaşılan kadar yükseltilir. Bu şekilde erişilen güç daha sonra bir deney dizisinin bütün debi değerleri için korunur. Debinin değiştirilmesi durumunda helyum sıcaklığı da değişir ve sürekli yeniden ayarlanması gerekir.

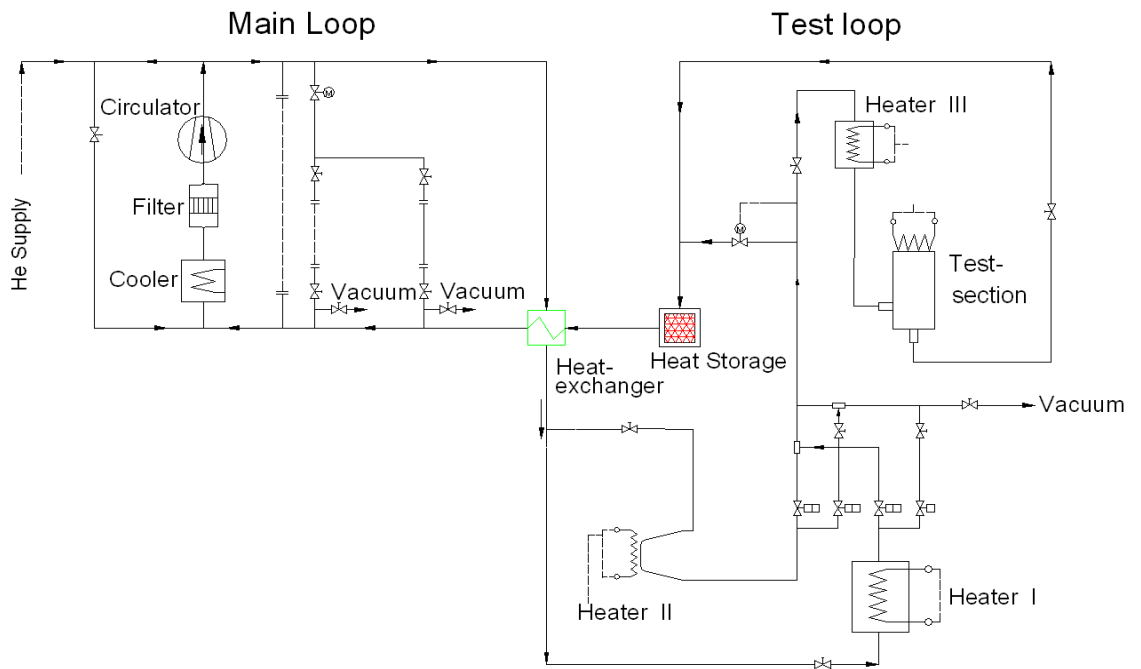
Debi ve sıcaklığın sabit bir duruma ulaşıldıktan sonra bir sonraki debi değerine geçilmeden önce ölçüm değerlerinin kaydedilmesi için en az 10 dakika beklenir. Deneyle sırasında sabit bir duruma her zaman ulaşılamadı. Helyum sıcaklığını sabit tutmak için genellikle belirtilen sabit durumda $1-2^{\circ}\text{C}$ 'lik küçük ısıtıcı düzeltmeleri yapılmak zorunda kalındı.

Belirtilen taslağa bağlı olarak 40, 60, 80, 100, 120 g/s' lik debi değerleri için ölçüm yapıldı. Divertör başlığındaki sıcaklık, başlık ısıtıcısının sabit gücüyle düşerken artan debiyle helyum ısıtıcısının gücü yavaşça artırılmalıdır.

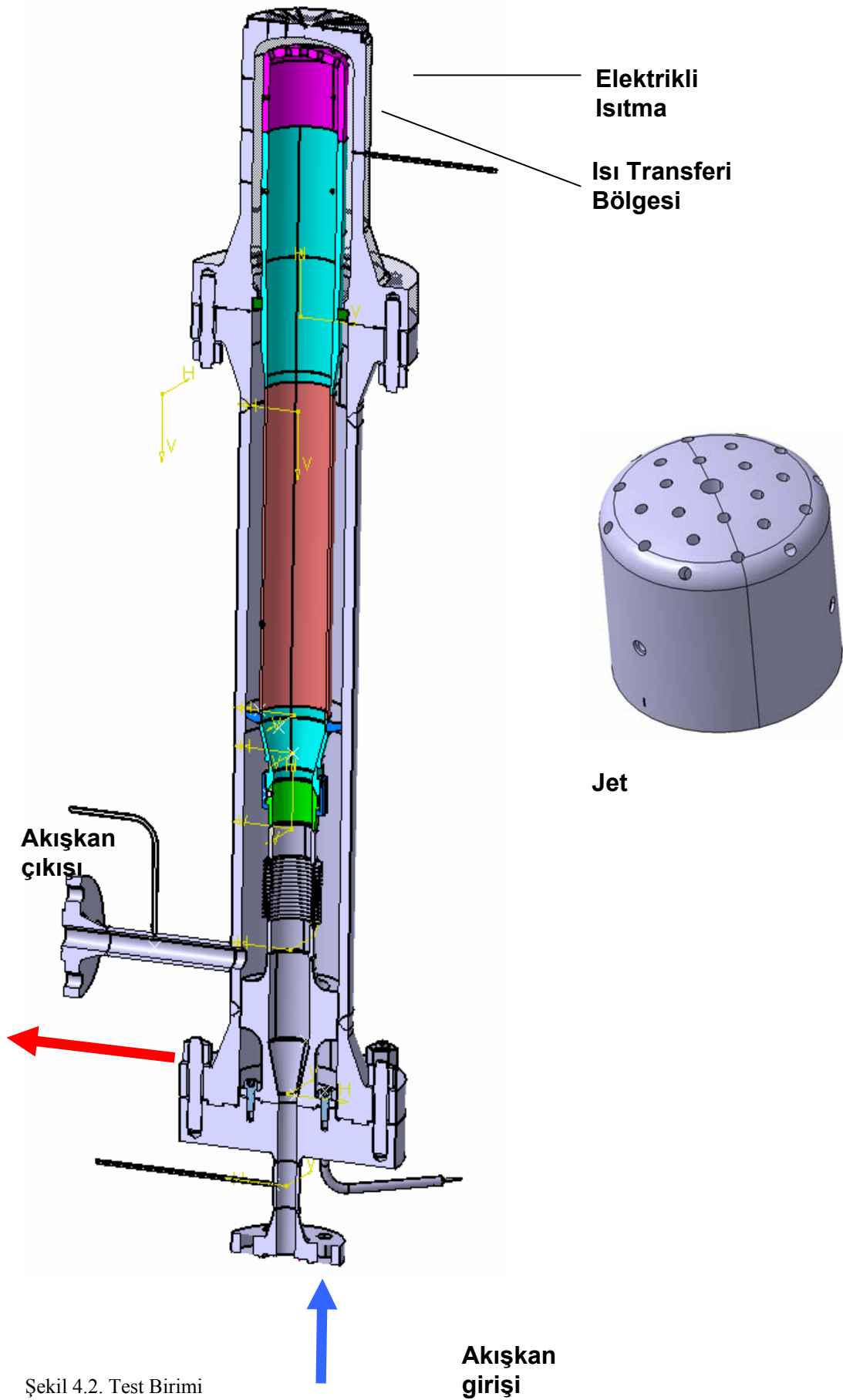
Çabalanan debilere ulaşmak için artan helyum sıcaklığı ile birlikte kompresör dönüş sayısı da artırılmalıdır. En yüksek kompresör dönüş sayısı 16000d/dak' dır.

En yüksek helyum sıcaklığı olan 400°C ile yapılan deneylerde maksimum kompresör dönüş sayısı ile sadece 100 g/s' lik en yüksek debi değerine ulaşılabildi. 400°C ' de 120 g/s' lik debiye ulaşılması mümkün değildi.

Helyumun ısıtılması sırasında test çevrimindeki basınç yükselir. Basınç düzenleyici bir vana 81 bar'a ulaşıldığında açılır ve fazlalık helyumu bir tahliye tankına gönderir. 80 bar' a ulaşıldığında tekrar kapanır. Böylelikle işletme basıncı her zaman 80- 81 bar arasında gidip gelir. Eğer tahliye tankında 40 bar' a ulaşırsa, o zaman helyum ayrı bir kompresör üzerinden tedarik tüplerine geri pompalanır. Bunun tersi durum olan çevrimin soğutulmasında, işletme basıncının 80 bar'da kalması için helyum her zaman geri beslenmelidir.



Şekil 4.1. Basitleştirilmiş HEBLO Şeması



4.1.1. Deneydeki akış parametrelerinin hesabı

Deneydeki akış parametreleri benzerlik teorisi esasına göre hesaplanmıştır. Bu durumda deneysel model ve prototipin Reynolds Sayısı aynı olmalı ve gerçek bir akışkanın Prandtl Sayısı deneyde kullanılan akışkanın Prandtl Sayısına eşit olmalıdır.

Reynolds sayısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$Re = \frac{\rho \cdot w \cdot d_h}{\mu} \quad (31)$$

Burada ρ , akışkanın yoğunluğu, kg/m^3 , w , akış hızı, m/s , d_h kanalın hidrolik yarıçapı ve μ , akışkanın dinamik viskozitesidir, $\text{Pa}\cdot\text{s}$. eğer alt indis 1 ile prototipi, alt indis 2 ile deneysel modelin akış parametrelerini ifade edersek;

$$\frac{\rho_1 \cdot w_1 \cdot d_{h1}}{\mu_1} = \frac{\rho_2 \cdot w_2 \cdot d_{h2}}{\mu_2} \text{ ve } w_2 = w_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \frac{d_{h1}}{d_{h2}} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad (32) \text{ ve } (33)$$

eşitliklerini elde ederiz. Gaz yoğunluğu, ideal gaz denklemi kullanılarak hesaplandı:

$$\frac{P}{\rho} = R \cdot T \quad (34)$$

Burada P , basınç, Pa , ρ , yoğunluk, kg/m^3 , R gaz sabiti, $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ ve T , mutlak sıcaklık, K 'dir. Akış hızını hesaplamak için :

$$\dot{m} = v \cdot \rho \cdot A \quad (35)$$

denklemden yararlanıldı. Burada \dot{m} , kütle debisi, g/s , v akış hızı, m/s , ρ , gaz yoğunluğu, kg/m^3 , A , akımın kesit alanıdır, m^2 . Isı akısını hesaplamak için:

$$\dot{q} = \frac{Q}{V} \quad (36)$$

denklemini kullanıldı. Burada \dot{q} , ısı akısı, W/m^3 , Q , ısı yükü, W ve V hacimdir, m^3 .

4.2. STAR-CD Modeli

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), akışkan akımı, ısı transferi ve kimyasal reaksiyonlar gibi ilgili olayları bilgisayar tabanlı benzetimler yoluyla çözümlenen yazılımlardır.

CFD kodları, akışkan akımı problemlerine hakim olabilecek sayısal algoritmalar etrafında yapılandırılmıştır. Bütün ticari CFD programları, problem çözümlenmesini kolaylaştırmak amacıyla problem parametrelerinin giriş ve sonuçların değerlendirilmesi için arabirimler içermektedir. Bu nedenle bütün kodlar üç esas unsur içerir: ön işlemci, çözücü ve işlemci [6].

Çözümlemede sonlu farklar, sonlu elemanlar ve spektral metodlar olarak üç ayrı sayısal çözümleme tekniği kullanılır. Bu çalışmada sonlu farklar yönteminin özel bir uygulaması olarak geliştirilen sonlu hacim metoduna yönelik çözümleme sağlayan STAR-CD kullanılmıştır. PHOENICS, FLUENT VE FLOW3D bu amaca yönelik diğer ticari CFD kodlarıdır [7].

STAR-CD' nin temel modelleme prosesi:

Birinci Adım – Modelleme stratejisinin belirlenmesi

- Ağın sayısal olarak planlanması (örneğin hücre sayısı, büyüklüğü ve hücre boyutlarının dağılımı, vb.)
- Gerekli fiziksel parametreler için sayısal değerlerin bulunması (örneğin yoğunluk, viskozite, özgül ısı, vb.)
- STAR-CD modelleme seçenekleri arasından uygun modellemenin seçilmesi (örneğin türbülans modeli, yanma seçeneği, vb.)

Simülasyonun pürüzsüz ve verimli ilerlemesi için ilk adım özellikle çok önemlidir.

İkinci Adım – pro-STAR kullanılarak akış modelinin kurulması

- Akımın çözüm alanını temsil etmesi için bir ağ oluşturulması (yani geometrisi)
- Modelin simülasyonunda bulunan akışkan ve/veya katıların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi
- Çözüm parametrelerinin (örneğin gevşeme katsayılarının, vb) ve çıkış veri formatlarının ayarlanması
- Konumun belirlenmesi ve sınırların tanımlanması ayrıca karasız akış simülasyon problemleri için geçiş sınır şartlarının ve zaman adımlarının tanımlanması
- Uygun veri dosyalarının girdi olarak yazılması

Bu çalışmadaki model geometrisi STARCD' nin kendi bünyesinde oluşturulmuştur ancak AnSYS gibi farklı programlarda oluşturulan geometrilerin STARCD' ye aktarılması da mümkündür.

Üçüncü Adım – STAR kullanarak akım analizlerinin yapılması

- pro- STAR tarafından oluşturulan giriş verilerinin okunması ve eğer daha önceden yapılmış bir çalışma devam ediyorsa bu çalışmanın sonuçlarının okunması
- Gösterimi yapılan çeşitli verilerin ve STAR tarafından sağlanan çözüm istatistiklerinin yardımıyla işleyişin değerlendirilmesinin yapılması

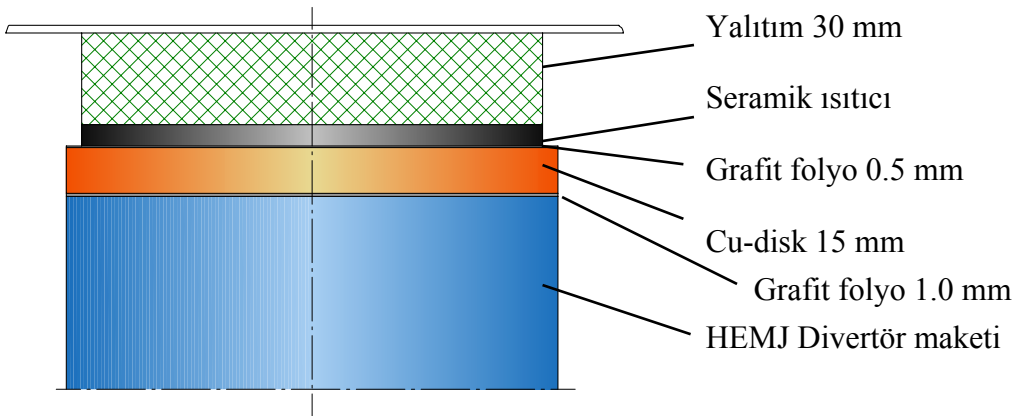
Dördüncü Adım – pro- STAR kullanarak sonuçların son işlemi

Uygun pro-STAR seçeneklerini kullanarak STAR tarafından oluşturulmuş çıkış verilerinin gözler önüne serilmesi ve işlenmesi. Bahsedilen bu seçenekler:

- Alan geometrisi ve ağ gösterimi
- Vektör gösterimi
- Çizgi ve gölgeli kontür gösterimi
- 2D ve 3D yüzey gösterimi
- Parçacık izleme
- Görünüme müdahaleler (pozisyonunu değiştirme, döndürme ve ölçeklendirme, vb.)

4.2.1. Modelin tanımlanması

Bu çalışmada STAR-CD 3.26 versiyonu kullanılmıştır. Modelin üst kısmı şekilde gösterilmektedir. Model, High Reynolds (HR) türbülans modeli ve Low Reynolds (LR) türbülans modeli olarak iki farklı şekilde incelenmiştir. HR modeli toplamda 260990, LR modeli ise 832190 hücre içermektedir. Maketin homojen ısınmasını sağlamak amacıyla 7mm kalınlığında bakır levhanın üstü 0.5 mm ve altı da 1 mm kalınlığında grafit folyo ile kaplanmıştır. Bu sayede ısı dağılımının homojen olması sağlanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan verilerin karşılaştırılabilmesi amacıyla termik çiftlerin gerçek pozisyonlarıyla birebir örtüşen noktalarda özel sensörler oluşturulmuştur.



Şekil 4.3. Isıtıcı Düzeni

Hesaplamalarda aşağıda verilen STAR-CD türbülanslı model türleri kullanılmıştır:

HR k- ϵ Speziale türbülans modeli, HR RNG türbülans modeli, LR RNG türbülans modeli, LR k- ω shear Stress Transport (SST) esaslı türbülans modeli ve HR k- ω standart türbülans modeli.

Simülasyonlarda aşağıdaki malzeme özellikleri kullanılmıştır:

Tablo 4.1. Malzeme özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl İletkenlik (W/m K)	Özgül Isı (J/kg K)	Dinamik Viskozite (Pa s)
Helyum*	İdeal gaz kanunu f(T, P)	$\lambda = 0.144 \cdot \left(\frac{T}{273.15}\right)^{0.7}$	$5196 - \frac{1043}{T^{1.33}} - \frac{2830}{T^3}$	$\eta = 1.85 \cdot \left(\frac{T}{273.15}\right)^{-0.68}$
Çelik 15MO3*	7850	$\lambda = 28322 - 0.15834T - 3.3 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 1.877 \cdot 10^{-7} \cdot T^3$	500	-
Bakır*	8960	$\lambda = 417 - 0.0625 \cdot T$	420	-
Grafit □ kabul **		$\lambda_{xy} = 3720 \cdot T^{-0.56}$ $\lambda_z = 22 \cdot T^{-0.272}$	400	-
Isıtıcı* (99% Al ₂ O ₃)	3200	5	1000	-

2) - VDI-Wärmeatlas

** - WIBO Kunststofftechnik GmbH

4.2.2. Türbülans modellerinde kullanılan akışkana ait taşınım denklemleri

Cidara paralel türbülanslı akışlarda, özellikle jet vuruşlu soğutma sistemlerinde, ısı transferine etki eden etkenlerin tanımlanması ve doğru olarak hesaplanması çok önemlidir. Bu nedenle türbülans modelinin seçimi doğru yapılmalıdır.

Bu tezde ele alınan problemin çözümüne yönelik kullanılan türbülans modellerinden biri Düşük Reynolds Sayılı (LR) lineer k-ε türbülans modelidir. Taşınım eşitlikleri, $Re_t = k^2/\nu\epsilon$ ya da $Re_y = y\sqrt{k}/\nu$ gibi Reynolds sayılarına bağlı olan fonksiyon ve katsayıları içerir. En önemlisi de eddy-viskozite modelindeki C_μ faktörünü düzelteren ve türbülanslı kayma gerilmesindeki moleküler viskozitenin doğrudan etkisini benzetmek için kullanılan f_μ fonksiyonudur.

Yüksek Reynolds Sayılı (HR) ve Two Layer (TL) RNG k- ϵ türbülans modelinde çözümlenme, cidar yakınındaki ilk hücre tabakasında uygulanır. TL modeli cidar yakınındaki bölgeyi 42 bağıntısından elde edilen taşınım eşitliğini kullanarak tek eşitlik modeliyle çözer.

HR ve LR Kayma Gerilmesi Taşınım (SST) türbülans modelleri, k- ϵ ve k- ω türbülans modellerini F_1 karıştırma faktörü yardımıyla birleştiren modellerdir. F_1 sayesinde k- ω modeli cidar yakını bölgesinde, k- ϵ modeli ise akışın geri kalan kısmında etkinleşir [9].

4.2.2.1 k- ϵ RNG türbülans modeli

Türbülans viskozitesi μ_t ,

$$\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\tilde{\epsilon}}; \quad C_\mu = 0,09 \quad (37)$$

olarak belirlenmiştir. HR türbülans modelinde $f_\mu = 1$ ' dir. Two Layer formülünde ise

$$f_\mu = 1 - \exp\left(-\frac{1}{50.5} \text{Re}_y\right) \quad (38)$$

Türbülans enerjisi k

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j k}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} + \\ &+ \rho P_k - \rho \epsilon + P_{NL} \end{aligned} \quad (39)$$

$f_\mu = 1$ için türbülans dağılım oranı:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \varepsilon)}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + \\ &+ C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R \end{aligned} \quad (40)$$

$$R = \frac{C_\mu \eta^3 \left(1 - \frac{\eta}{\eta_0} \right) \varepsilon^2}{1 + 0.0012 \eta^3} \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, \quad \eta_0 = 4.38 \quad (41)$$

$f_\mu < 1$ için türbülans dağılım oranı:

$$\varepsilon = \frac{k^{3/2}}{l} \left(1 + \frac{5.3}{\text{Re}_y} \right) \quad (42)$$

$$l = \kappa C_\mu^{-0.75} y \quad (43)$$

Tablo 4.2. Ampirik katsayılar

C_μ	σ_k	σ_ε	$C_{\varepsilon 1}$
0.085	0.719	0.719	1.42
$C_{\varepsilon 2}$	$C_{\varepsilon 3}$	$C_{\varepsilon 4}$	κ
1.68	1.42	-0.387	0.4

4.2.2.2. SST modeli

Türbülans enerjisi k ;

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} + \rho \tilde{P}_k - \rho \beta^* k \omega \quad (44)$$

Özgül dağılım oranı ω

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \omega)}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} + \\ &+ \rho \gamma \frac{\omega}{k} P_k - \rho \beta \omega^2 + \rho S_\omega \end{aligned} \quad (45)$$

$$\tilde{P}_k = \min(P_k; c_l \varepsilon), c_l=10,$$

$$S_\omega = 2(1-F_1) \frac{1}{\omega_{\omega_2}^\omega} \frac{1}{\omega_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \frac{\partial k}{\partial x_j} \quad (46)$$

Bütün katsayılar aşağıdaki genel formda ifade edilmiştir:

$$\Phi = F_1 \Phi_1 + (1-F_1) \Phi_2 \quad (47)$$

Burada Φ_1 ve Φ_2 , sırasıyla k - ω ve k - ε modellerinin katsayıları için bulunmaktadır.

$$\begin{aligned} \sigma_{k1}^\omega &= 1.176, \quad \sigma_{\omega 1}^\omega = 2, \quad \beta_1 = 0.075, \\ \beta_1^* &= 0.09, \quad \gamma_1 = 0.5532, \quad \kappa = 0.41 \\ \sigma_{k2}^\omega &= 1, \quad \sigma_{\omega 2}^\omega = 1.176, \quad \beta_2 = 0.0828 \\ \beta_2^* &= 0.09, \quad \gamma_2 = 0.0828, \quad \kappa = 0.41 \end{aligned}$$

F_1 karıştırma fonksiyonu ile:

$$\begin{aligned} F_1 &= \tanh(\arg_l^4), \quad \arg_l = \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right); \frac{4\rho \sigma_{\omega 2}^\omega k}{CD_{k\omega} y^2} \right] \\ CD_{k\omega} &= \max \left(2\rho \sigma_{\omega 2}^\omega \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}; 1.0e^{-10} \right) \end{aligned} \quad (48)$$

olarak tanımlanır.

Türbülans viskozitesi;

$$\mu_t = \rho \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega \Omega^* F_2)} \quad (49)$$

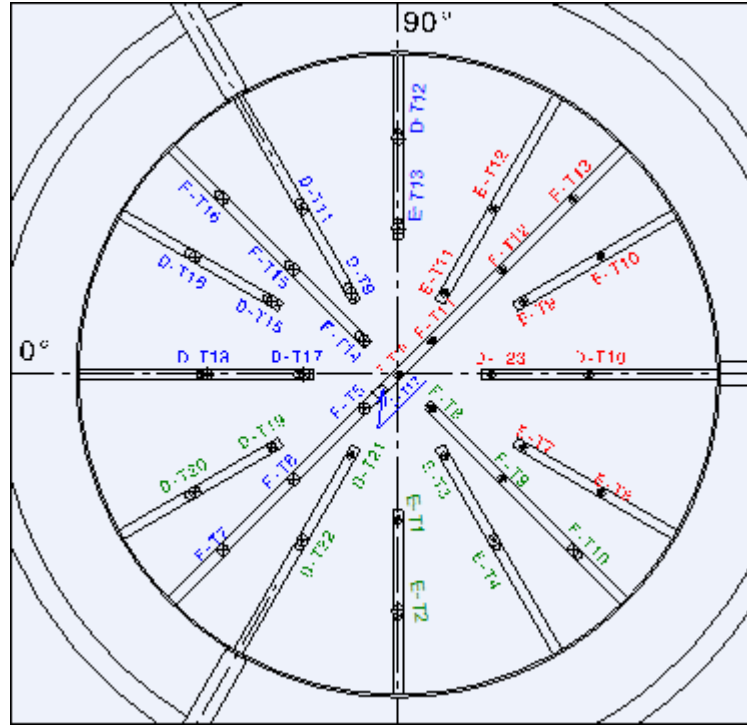
$$a_1 = 0.31 \quad \Omega^* = \sqrt{\frac{1}{2} \Omega_{ij} \Omega_{ij}}, \quad F_2 = \tanh(\arg_2^3) \quad (50)$$

$$\arg_2 = \max\left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}; \frac{500v}{y^2 \omega}\right)$$

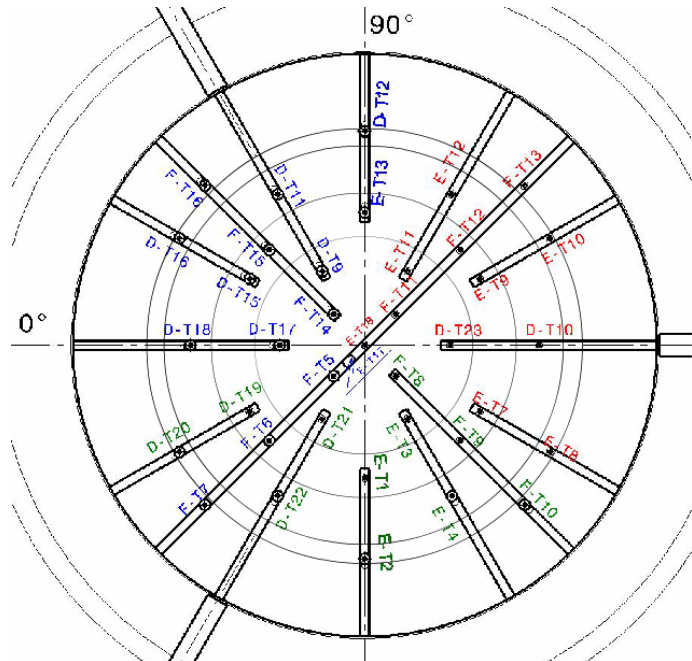
olarak tanımlanır [10].

4.3. Basit Geometrik Sıcaklık Alanı Modeli

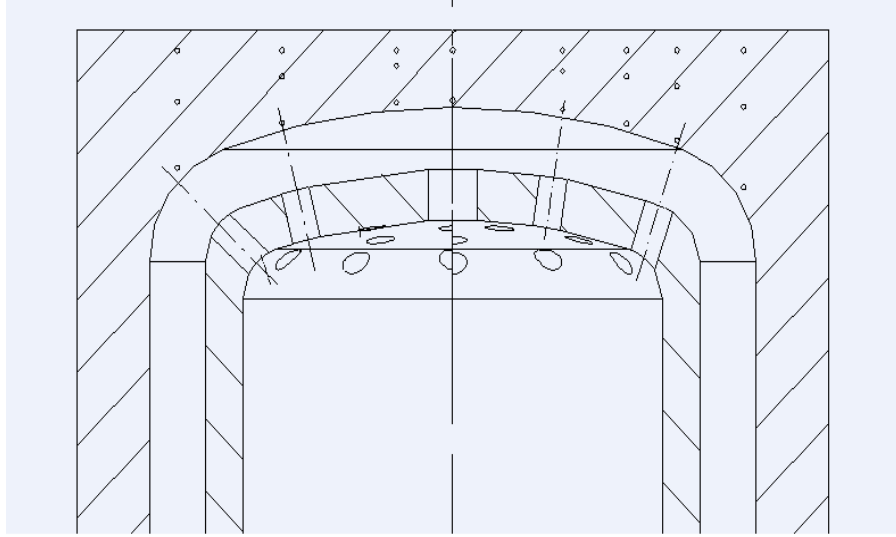
Basit geometrik sıcaklık alanı modelinde, yapılan deneylerde rejime gidildikten sonra durağan şartların sağlanması için 10 dakikalık bir süreçten sonra bir diğer debi değerine geçmek suretiyle beş farklı debi değeri için her bir termik çiftin ölçülen sıcaklıklarının ortalama değerleri alınıp, her sıcaklığın ölçülen nokta için sıcaklık değeri olarak kabul edildi. Üç farklı düzeyde konumlanmış olan termik çiftler, homojen sıcaklığa sahip eş merkezli daire halkalarına ayrıldı. Bu daire halkalarına denk gelen üç farklı düzlemdeki termik çiftlerin yine ortalama sıcaklıkları alınarak, daire halkasının üst, orta ve alt düzeylerindeki sıcaklıklar belirlendi. Daha sonra bu üç düzlem arası y yönündeki ısı geçişlerini hesaplamak için her bir daire halkasında Tungsten' in ısı iletim katsayıları bulundu ve ısı akıları hesaplandı. Sonuçlar grafiklerle gösterildi.



Şekil 4.4. Termik çiftlerin yerleşimi



Şekil 4.5. Sıcaklık Alanlarının Ayrımı



Şekil 4.6. Termik çiftlerin yandan görünümü

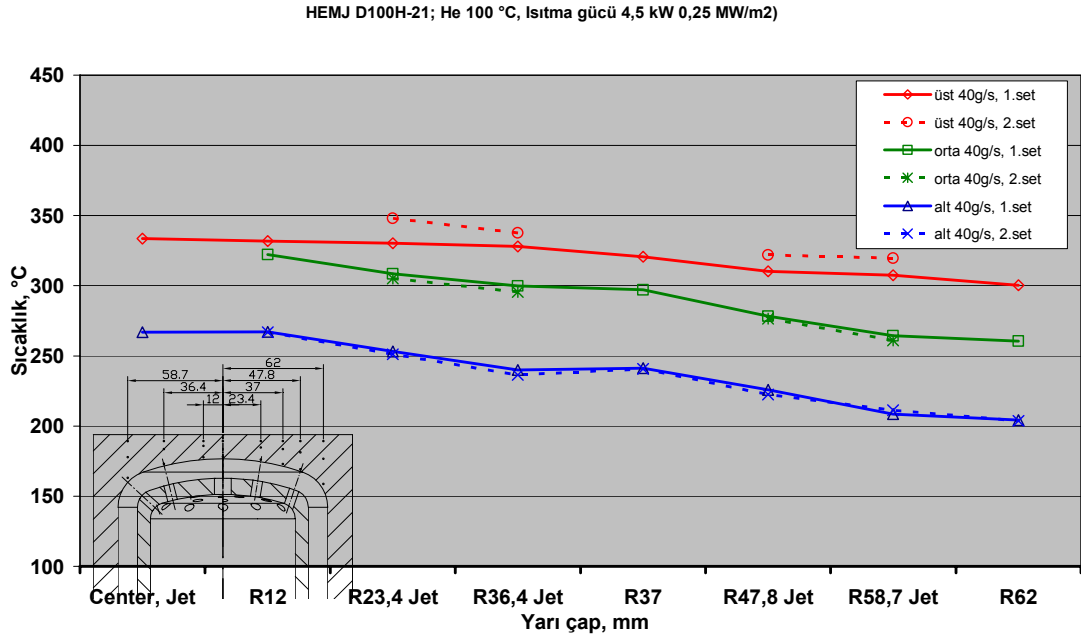
BÖLÜM 5. TEK BOYUTLU BASİT GEOMETRİK SICAKLIK ALANI MODELİ

Tek boyutlu basit geometrik sıcaklık alanı modeli, STARCD simülasyon programı ile üç boyutlu olarak ele alınan bu problemin esasen tek boyutlu olarak da incelenebileceğini ve gerçeğe uyumlu sonuçlar elde edilebileceğini ortaya koymak amacıyla geliştirilmiştir.

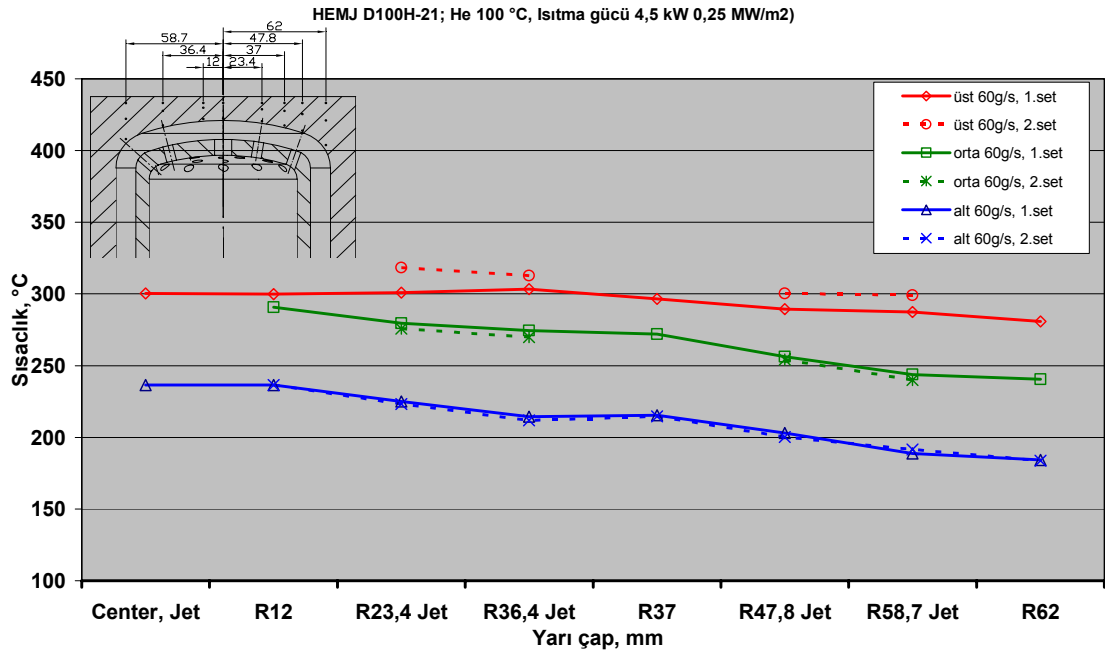
Problemdede, Tungsten bir kafa içerisinde üç farklı düzlemde bir merkez etrafına yerleştirilmiş toplam 38 adet termik çiftten farklı ısıtıcı güçleri ve farklı debiler kullanılması durumunda okunan değerler esas alınmıştır. Deney düzeneğindeki jetlerin de konumları dikkate alınarak oluşturulan eş merkezli daire halkalarına denk gelen termik çiftlerin ortalama sıcaklıkları hesaplanmış ve bu ortalama değerler yardımıyla düzlemler arası ısı iletim katsayıları hesaplanarak ısı akıları hesaplanmıştır.

100⁰C' deki Helyumla yapılan deneylerde r42 yarıçapında noktaların üst üste gelmesi radyal eksen yönünde toplam ısı geçişinin sıfır olduğunu göstermektedir. Bu da gösterir ki ısı geçişi sadece dikey yönde gerçekleşmiştir, yatay doğrultuda iç içe geçmiş halkalar arasında ısı geçişi olmamıştır. Bu gerçekten hareket ederek r30, r55 ve r60 değerlerindeki sapmaların nedeni ölçüm hatası kuşkusunu doğurmaktadır. Tamamen sıcaklık ölçümlerine dayanan ısı akısı hesapları, muhtemel hatalar dikkate alındığında ve düzeltildiğinde; acaba tek boyutlu ısı geçişini esas alan bir model kullanarak söz konusu ısı transferi problemi çözülebilir mi sorusuna yanıt aranmaktadır. Eğer bu doğrulanabilirse, mühendislik açısından çok daha kolay çözümler üretmek mümkün olacaktır. Isı transferi probleminin bu şekilde basitleştirilebilmesi akış problemi için de seçilecek modelin, daha basit bir modelle ifade edilebileceği beklentisini beraberinde getirecektir. Akış probleminin çözümü ve modellenmesi bu tez kapsamında olmadığı için söz konusu basit modelin ısı transferi problemiyle sınırlı kalması öngörülmüştür. Bu bölümde silindirik koordinatlarda

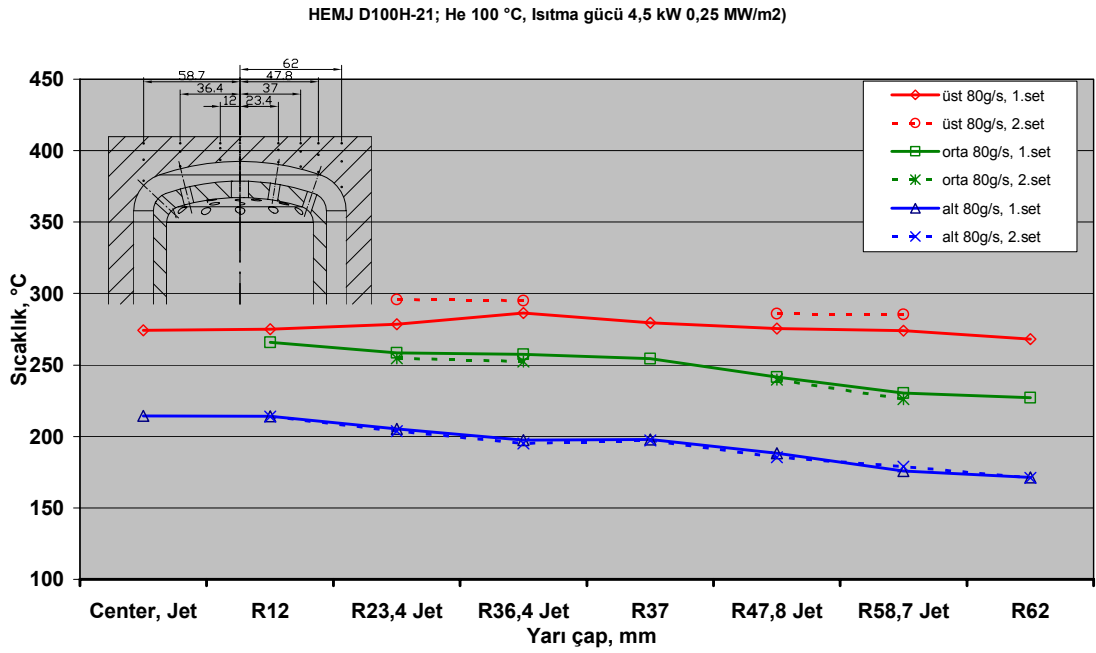
eksenel yönde tek boyutlu ısı geçişi varsayımı ile iç içe geçmiş eş merkezli daire ve daire halkaları bağımsız ve homojen sıcaklıkta olmak kaydıyla bir geometrik model oluşturulmuş olup, “STARCD” programında elde edilen sonuçlarla söz konusu basit modelden elde edilen sonuçlar bu bölümde kıyaslamalı olarak ele alınmıştır.



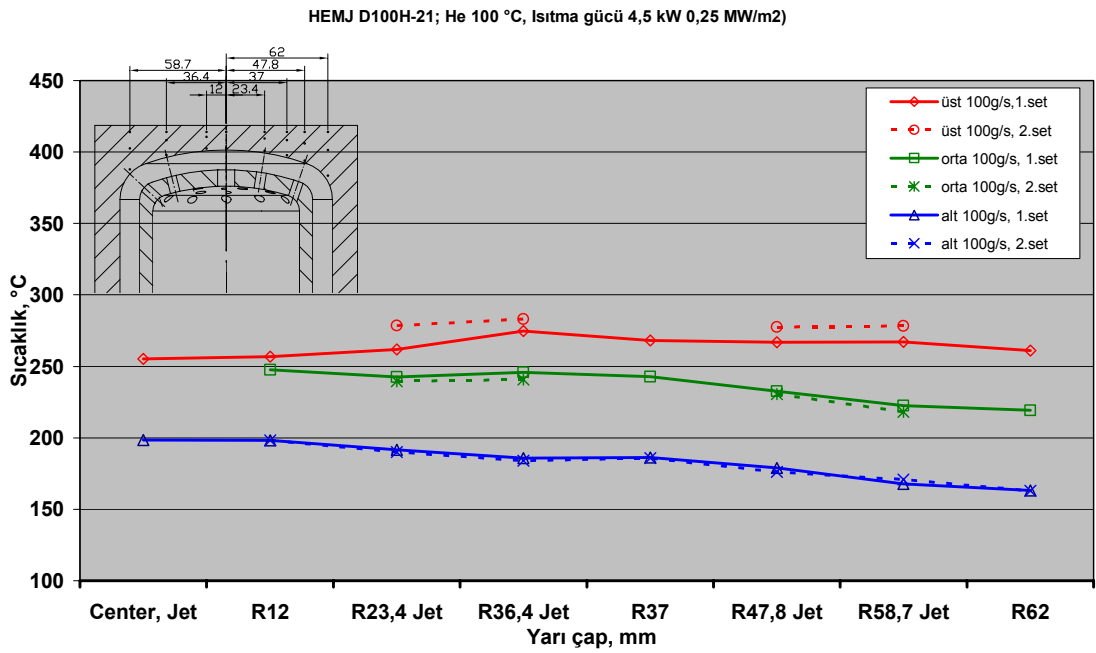
Şekil 5.1. 100⁰C helyum ile yapılan 40g/s' lik soğutma deneyi



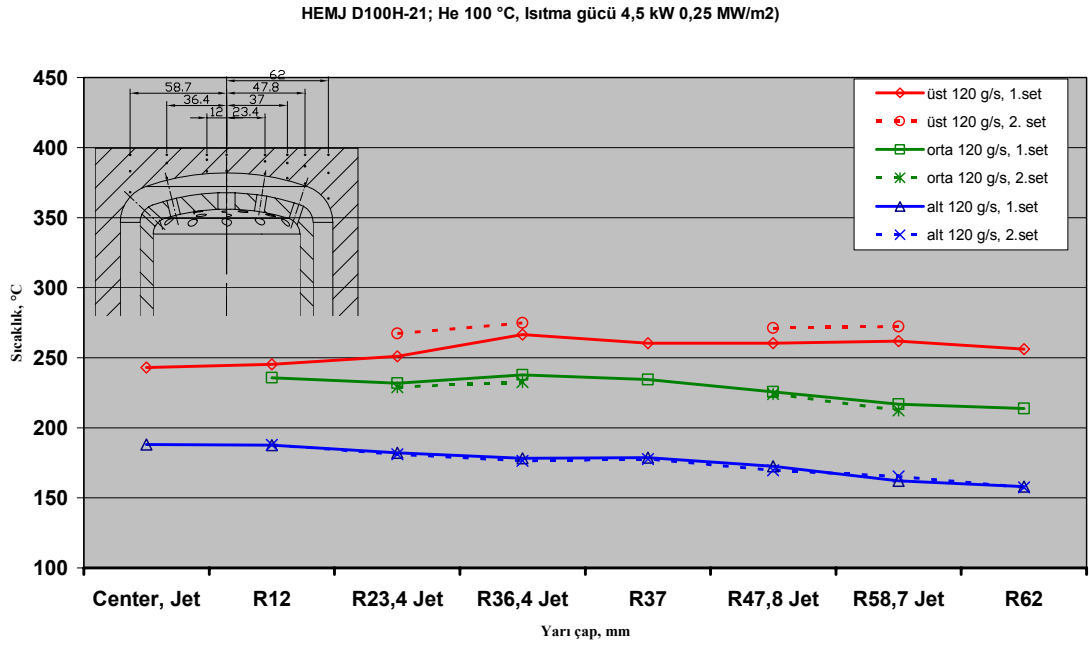
Şekil 5.2. 100⁰C helyum ile yapılan 60g/s' lik soğutma deneyi



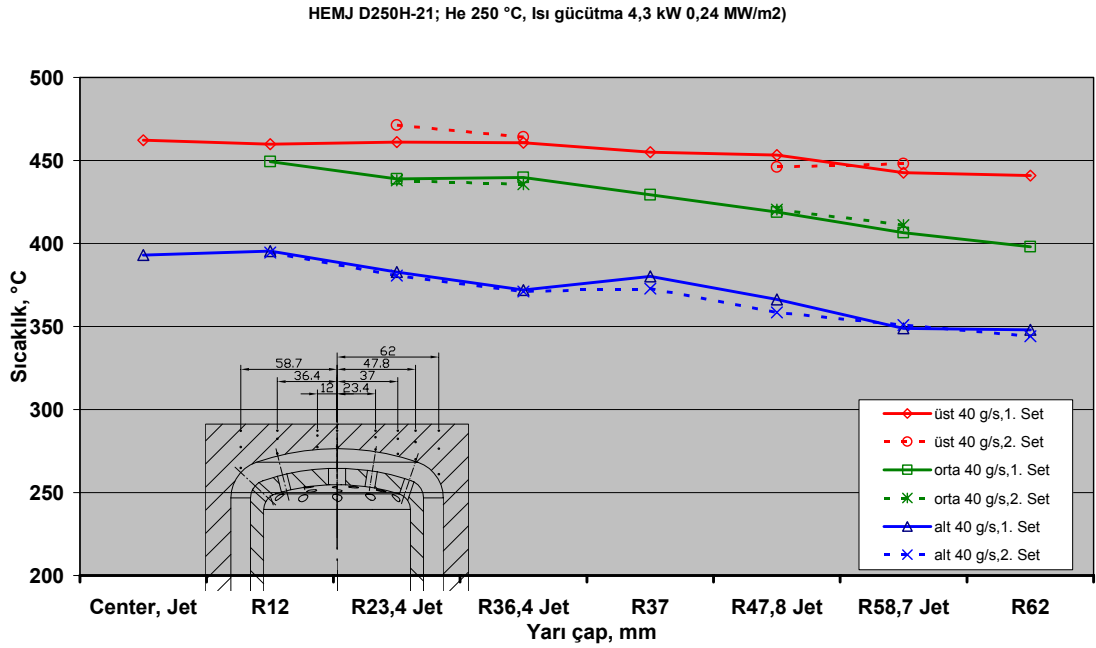
Şekil 5.3. 100⁰C helyum ile yapılan 80g/s' lik soğutma deneyi



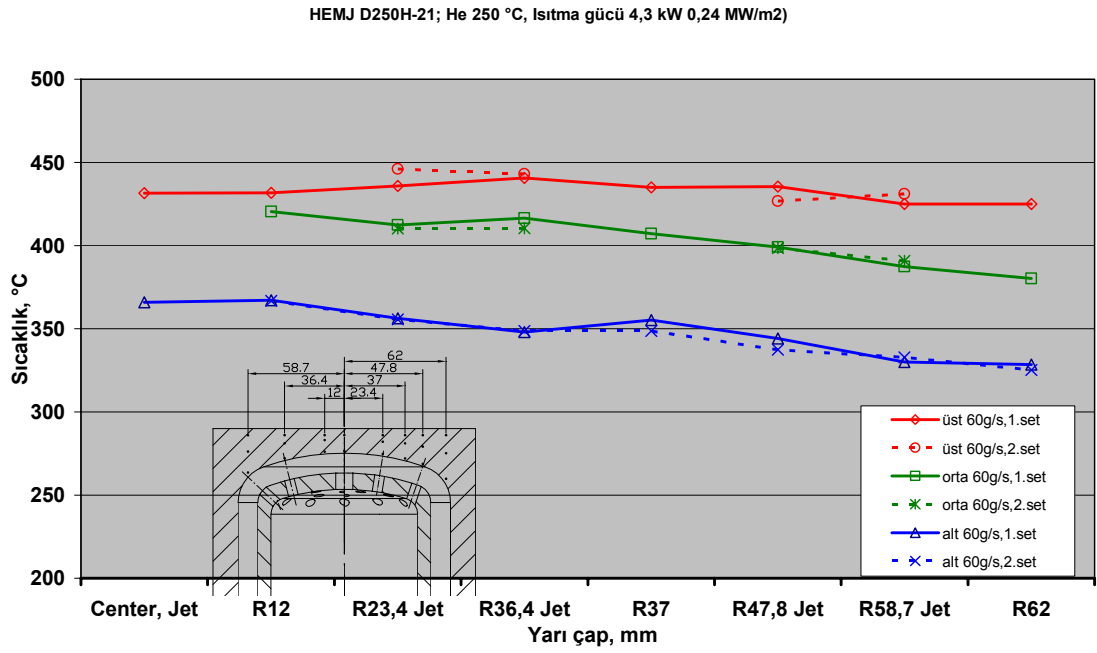
Şekil 5.4. 100⁰C helyum ile yapılan 100g/s' lik soğutma deneyi



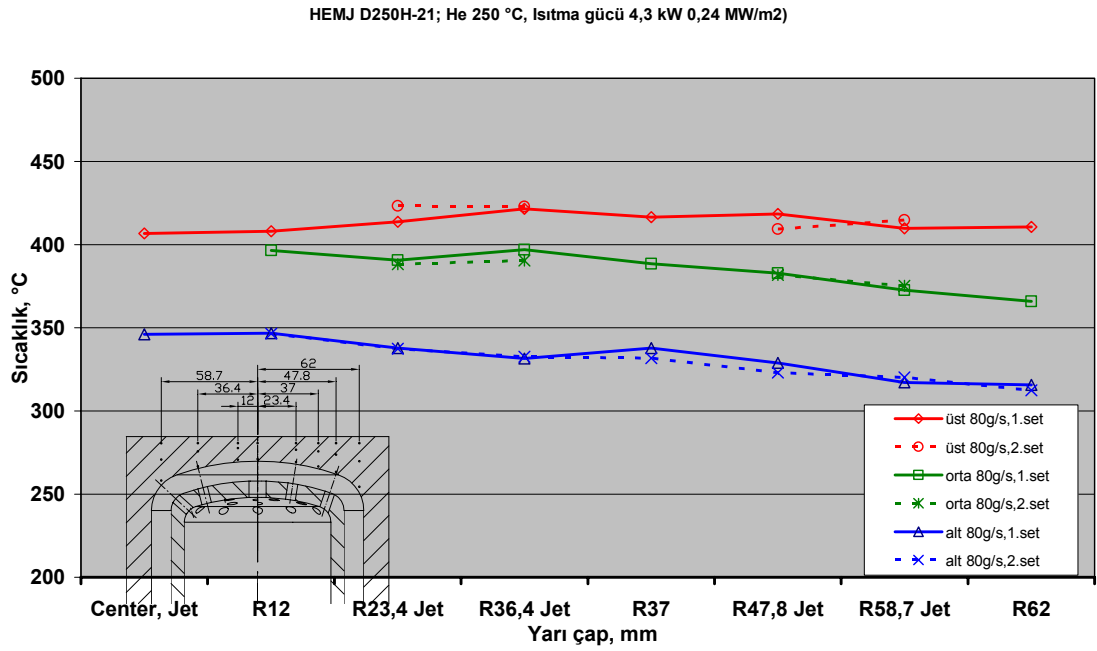
Şekil 5.5. 100⁰C helyum ile yapılan 120g/s' lik soğutma deneyi



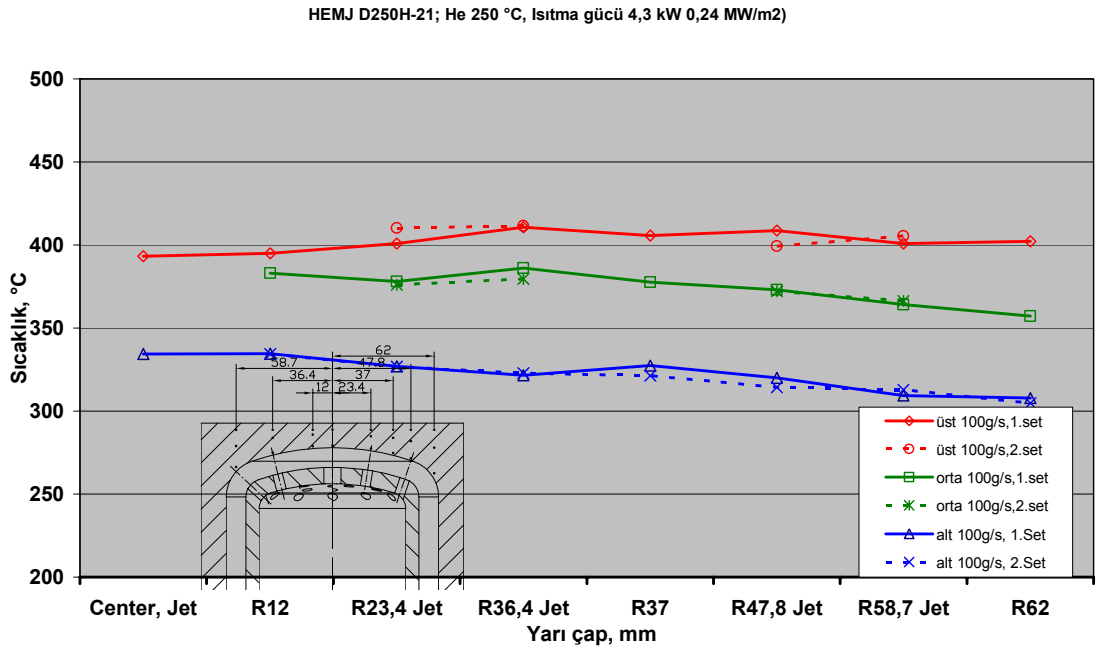
Şekil 5.6. 250⁰C helyum ile yapılan 40g/s' lik soğutma deneyi



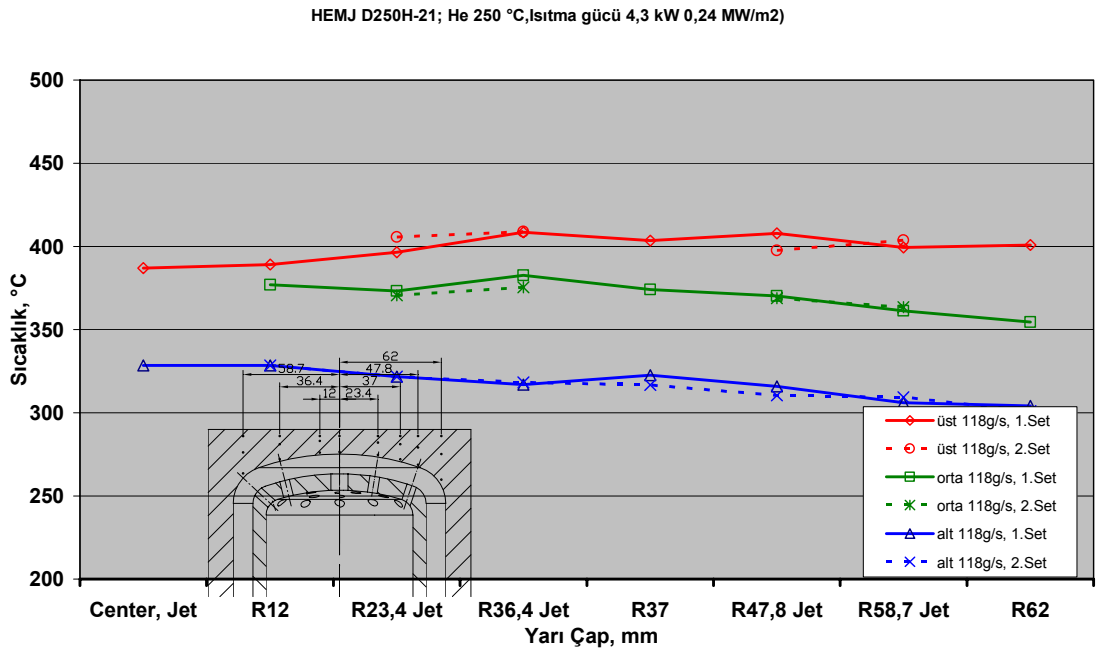
Şekil 5.7. 250⁰C helyum ile yapılan 60g/s' lik soğutma deneyi



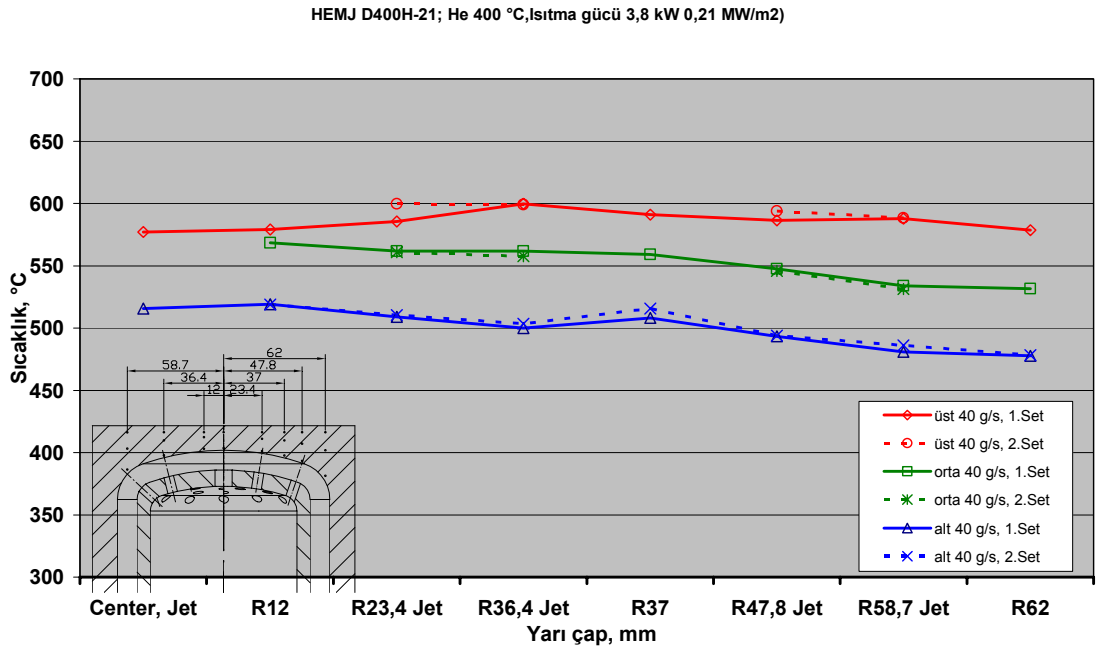
Şekil 5.8. 250⁰C helyum ile yapılan 80g/s' lik soğutma deneyi



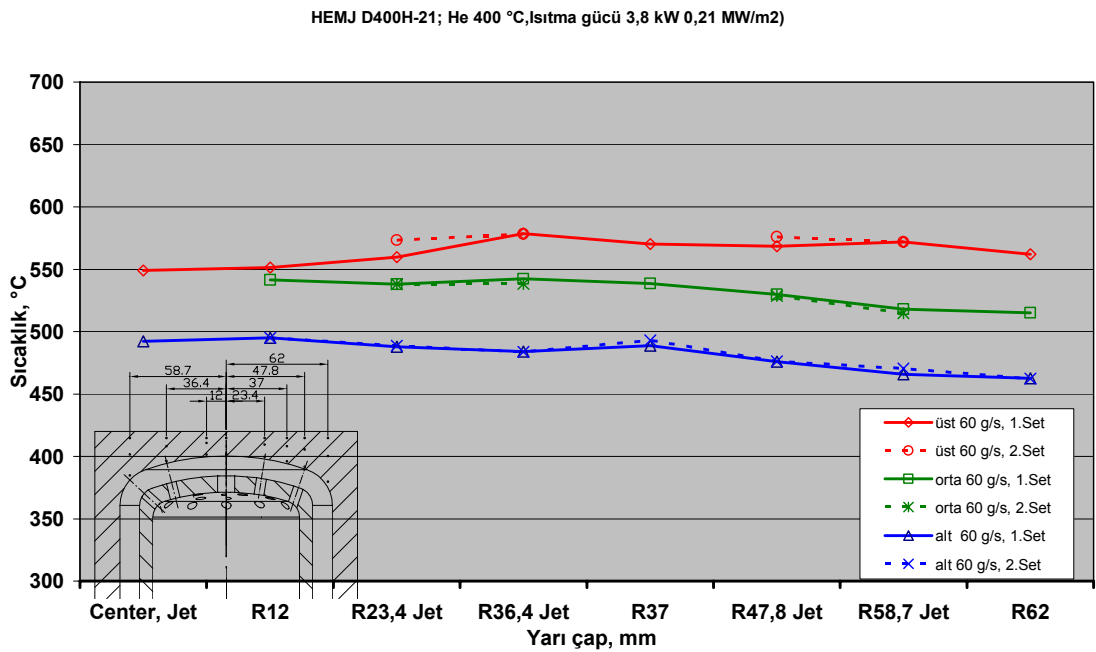
Şekil 5.9. 250⁰C helyum ile yapılan 100g/s' lik soğutma deneyi



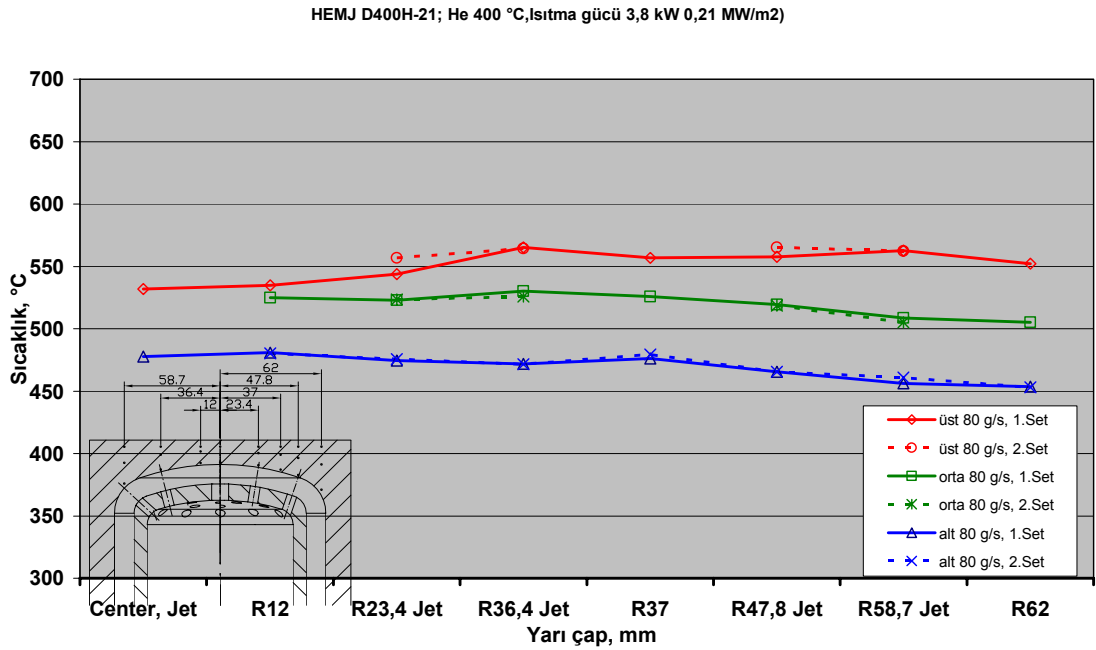
Şekil 5.10. 250⁰C helyum ile yapılan 120g/s' lik soğutma deneyi



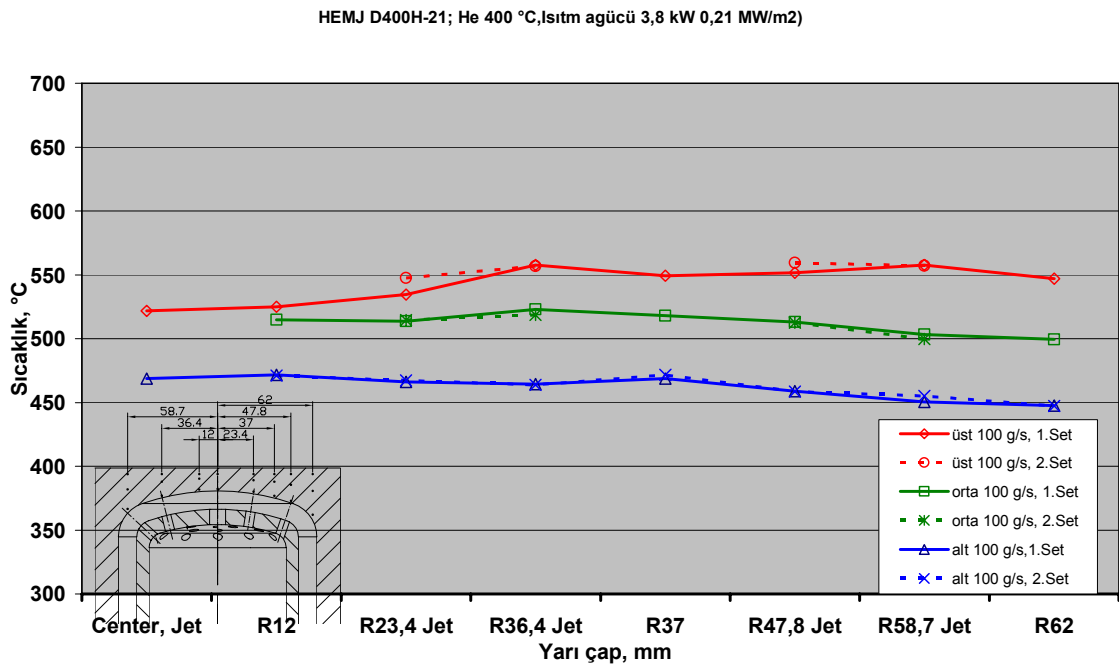
Şekil 5.11. 400⁰C helyum ile yapılan 40g/s' lik soğutma deneyi



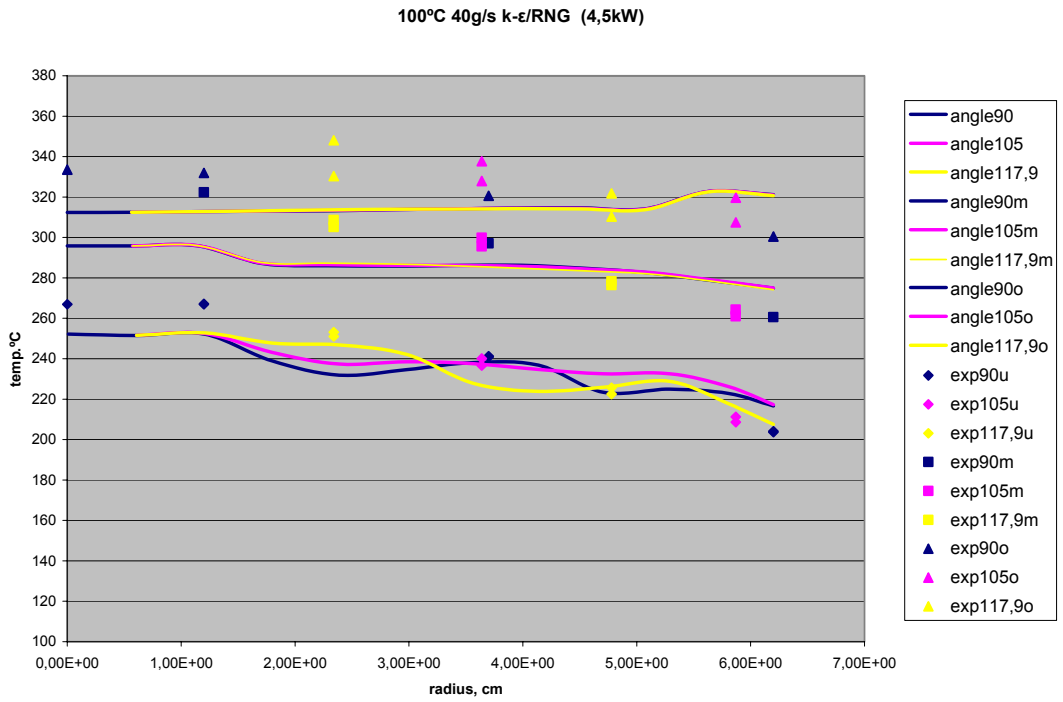
Şekil 5.12. 400⁰C helyum ile yapılan 60g/s' lik soğutma deneyi



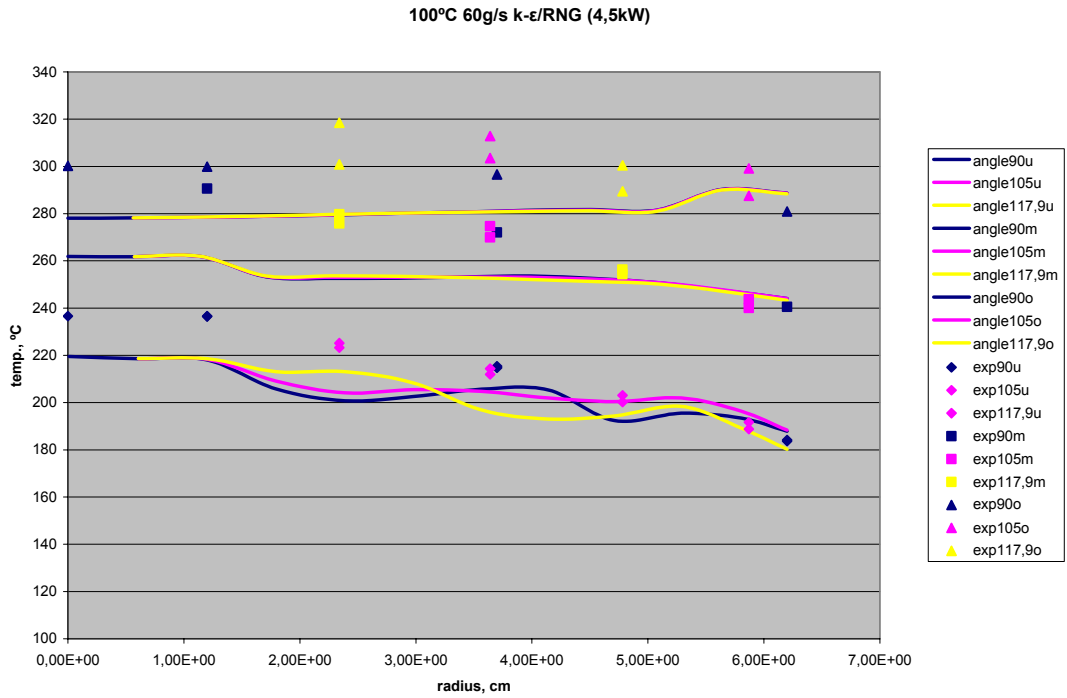
Şekil 5.13. 400⁰C helyum ile yapılan 80g/s' lik soğutma deneyi



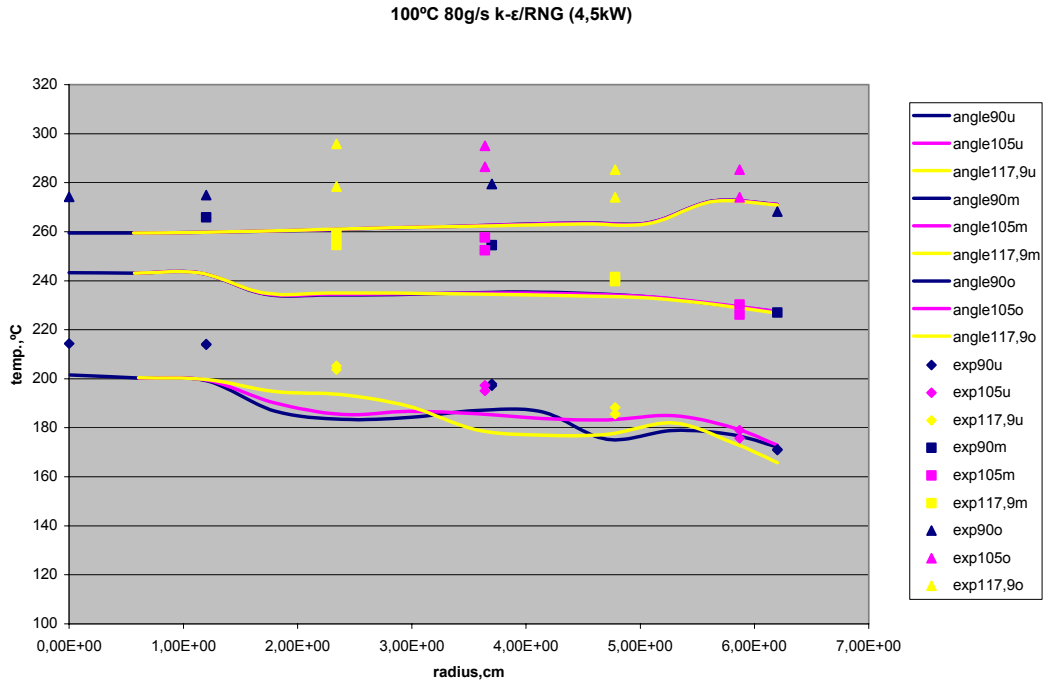
Şekil 5.14. 400⁰C helyum ile yapılan 100g/s' lik soğutma deneyi



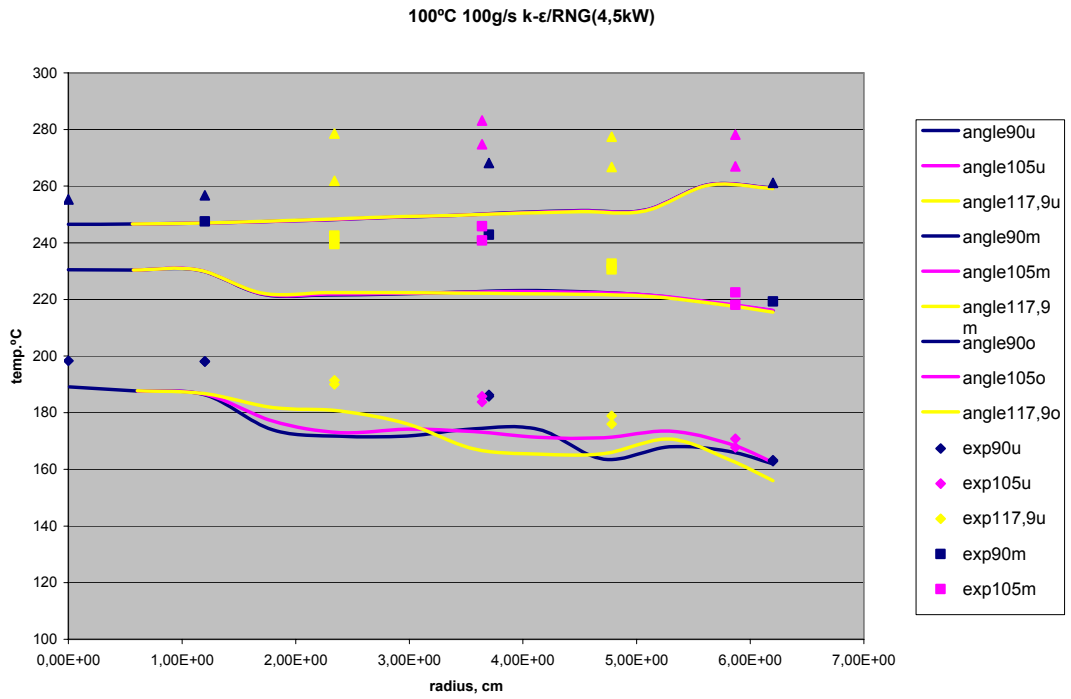
Şekil 5.15.a. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 100⁰C' de 40g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



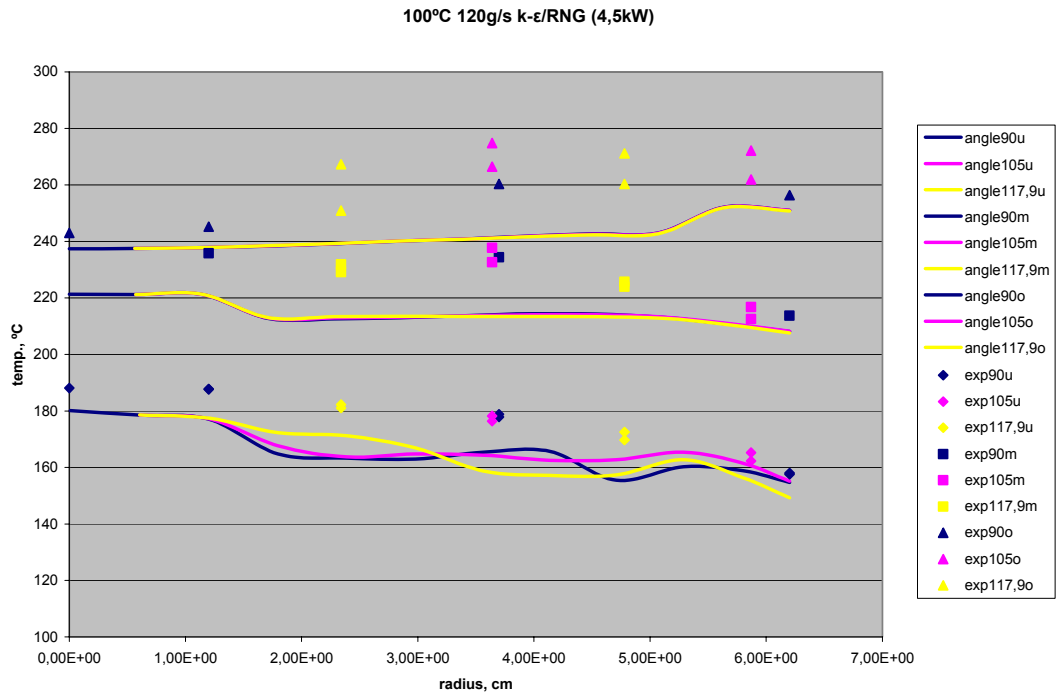
Şekil 5.15.b. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 100⁰C' de 60g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



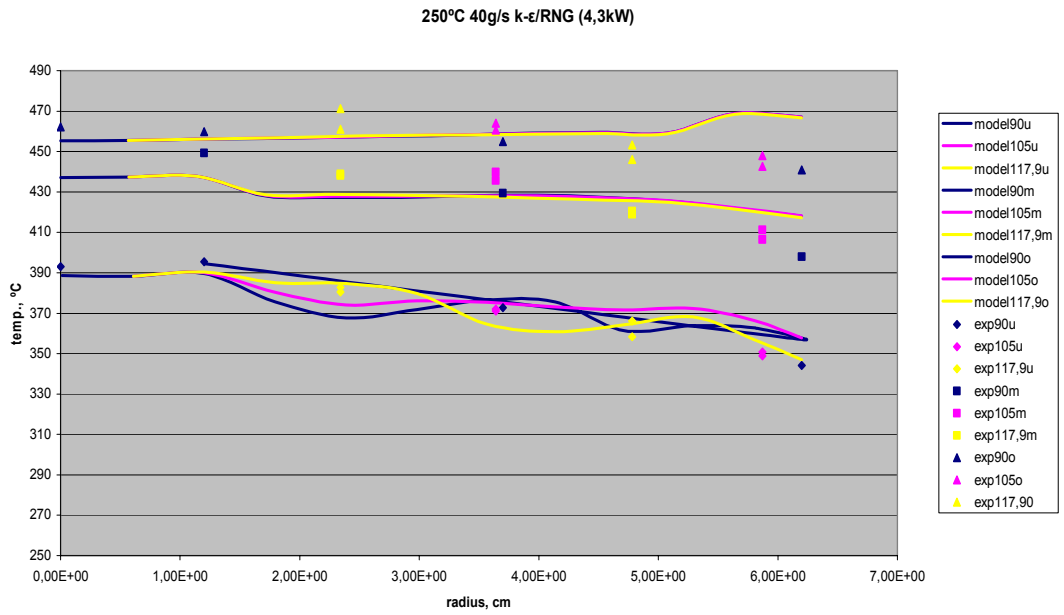
Şekil 5.15.c. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 100⁰C' de 80g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



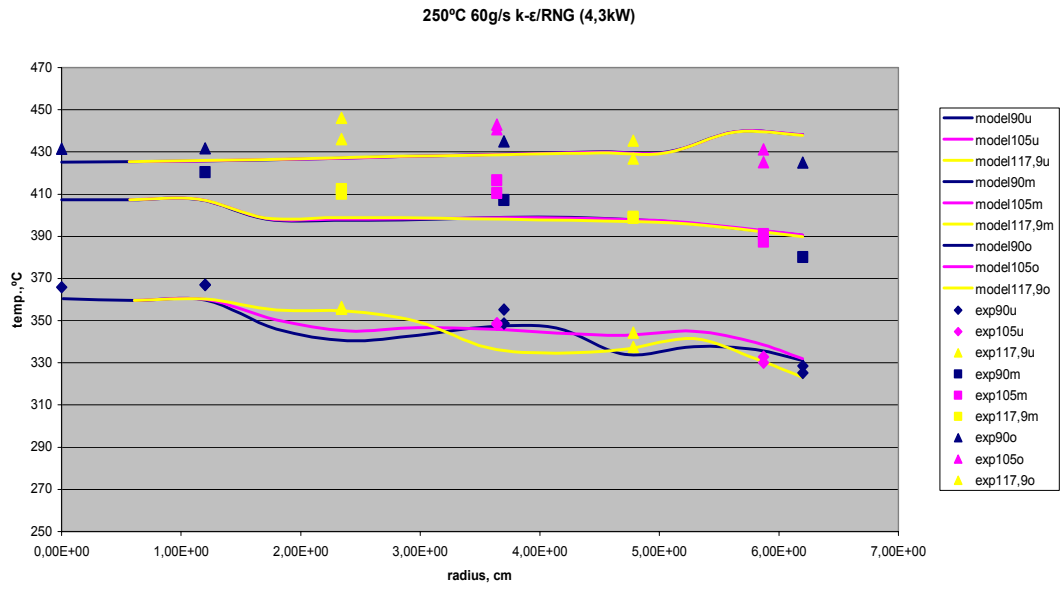
Şekil 5.15.d. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 100⁰C' de 100g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



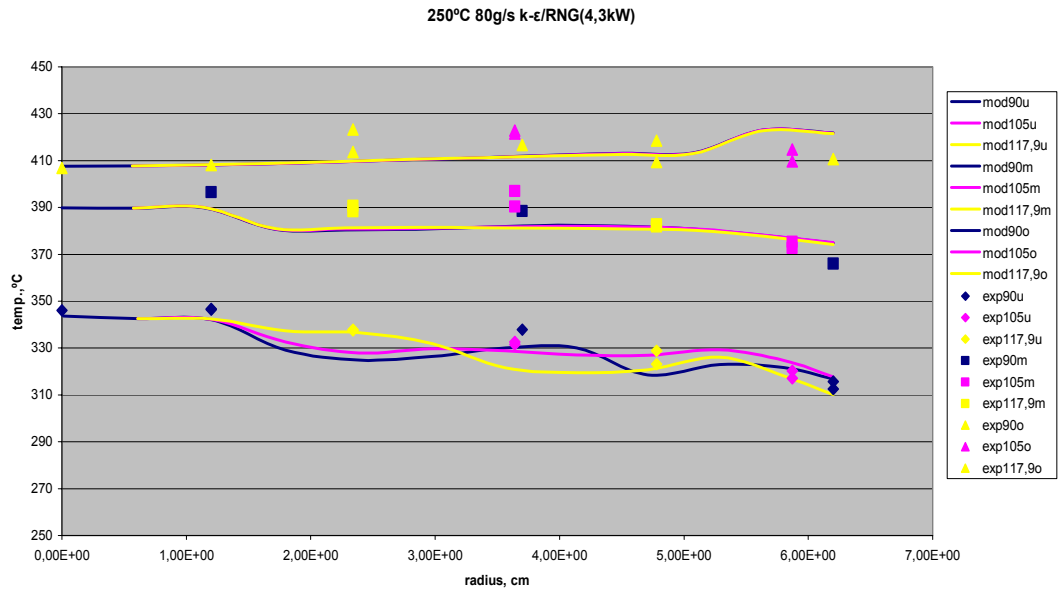
Şekil 5.15.e. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 100⁰C' de 120g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



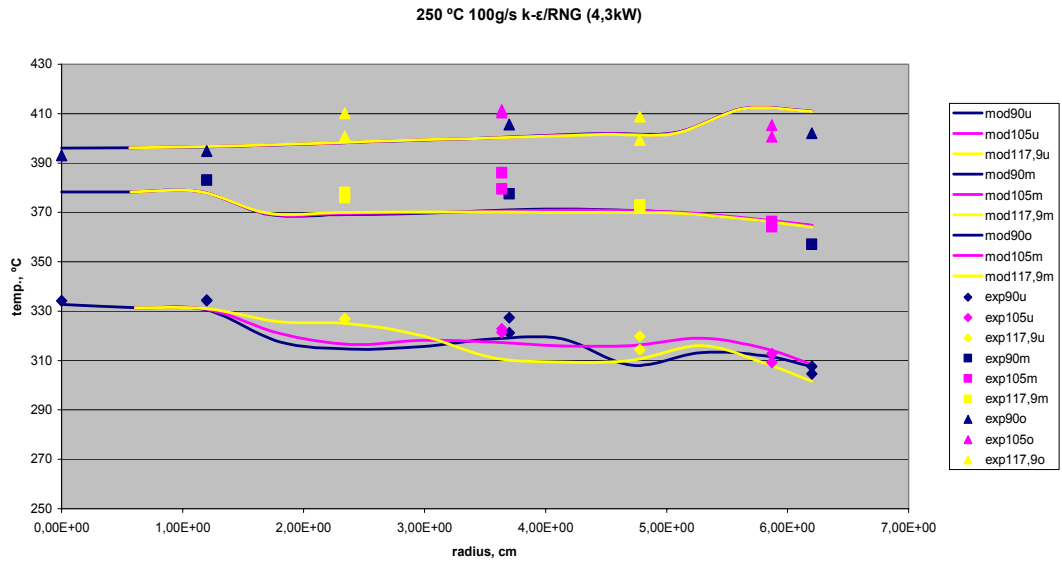
Şekil 5.16.a. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 250⁰C' de 40g/s s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



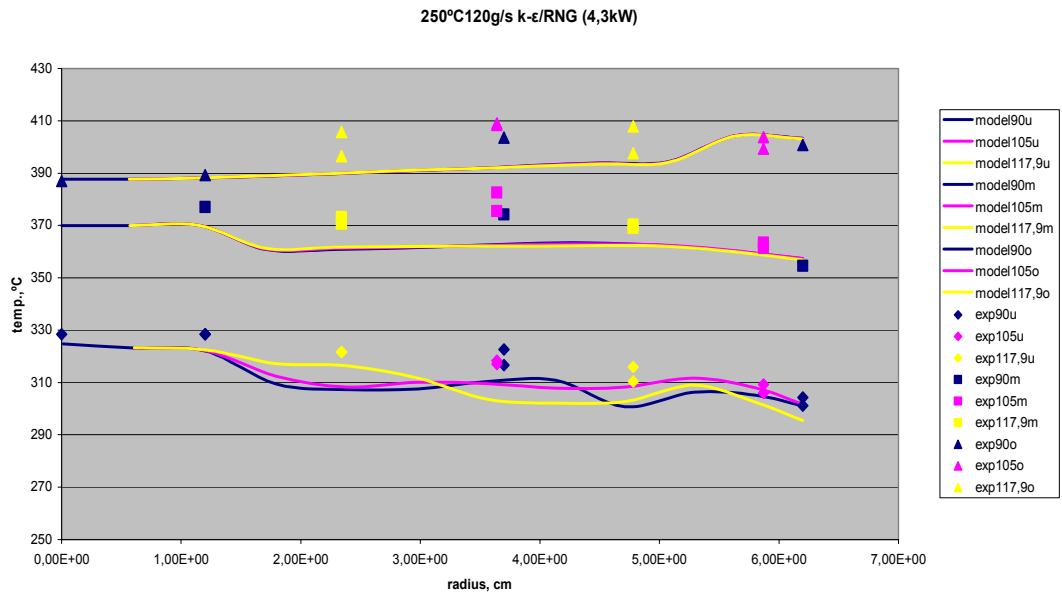
Şekil 5.16.b. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 250⁰C' de 60g/s s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



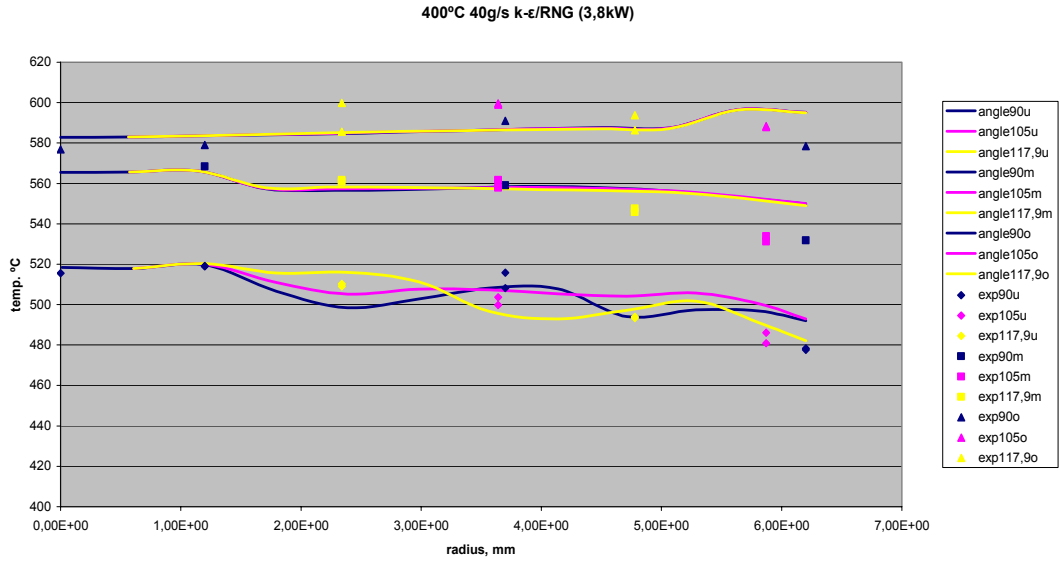
Şekil 5.16.c. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 250⁰C' de 80g/s s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



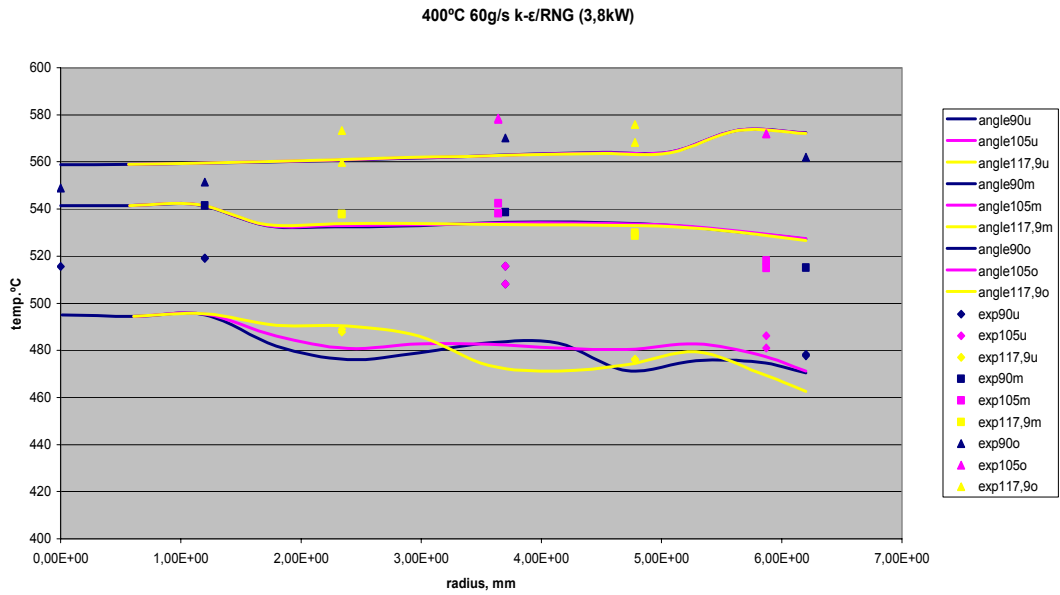
Şekil 5.16.d. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 250⁰C’ de 100g/s s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



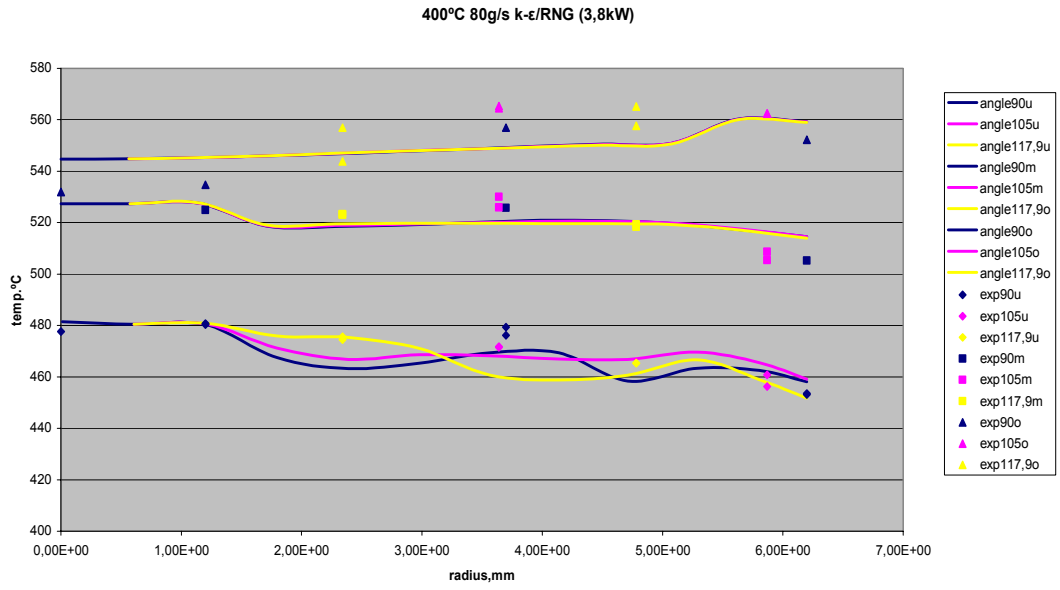
Şekil 5.16.e. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 250⁰C’ de 120g/s s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



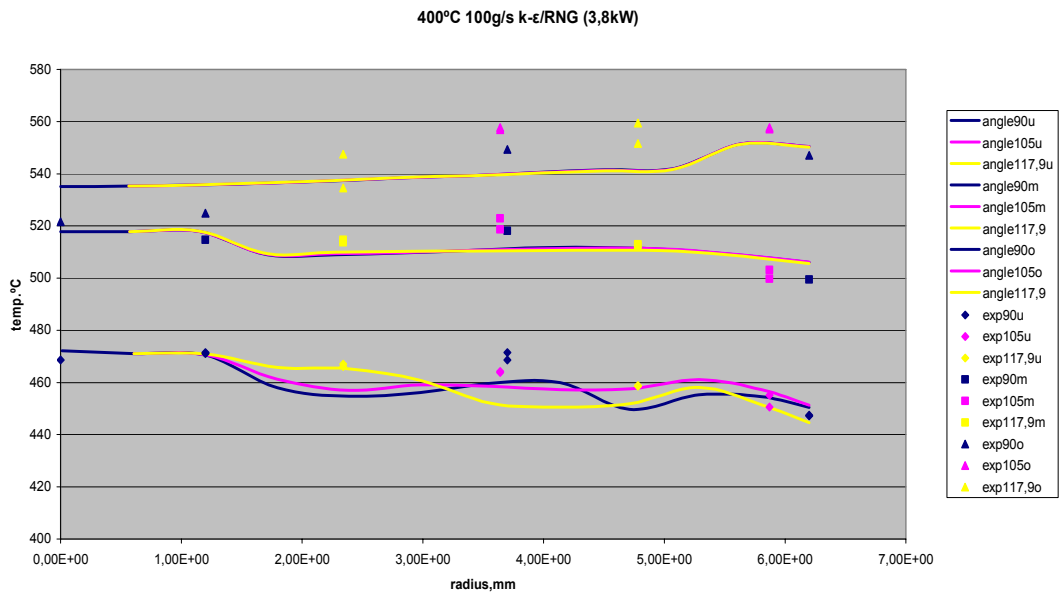
Şekil 5.17.a. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 400°C' de 40g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 5.17.b. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 400°C' de 60g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 5.17.c. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 400⁰C' de 80g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 5.17.d. k-ε RNG modeli ile yapılan modellemenin 400⁰C' de 100g/s debi değerleriyle yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması

Tablo 5.1. 100⁰C’ deki helyum ile III, IV, V ve VI daire halkalarında elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri

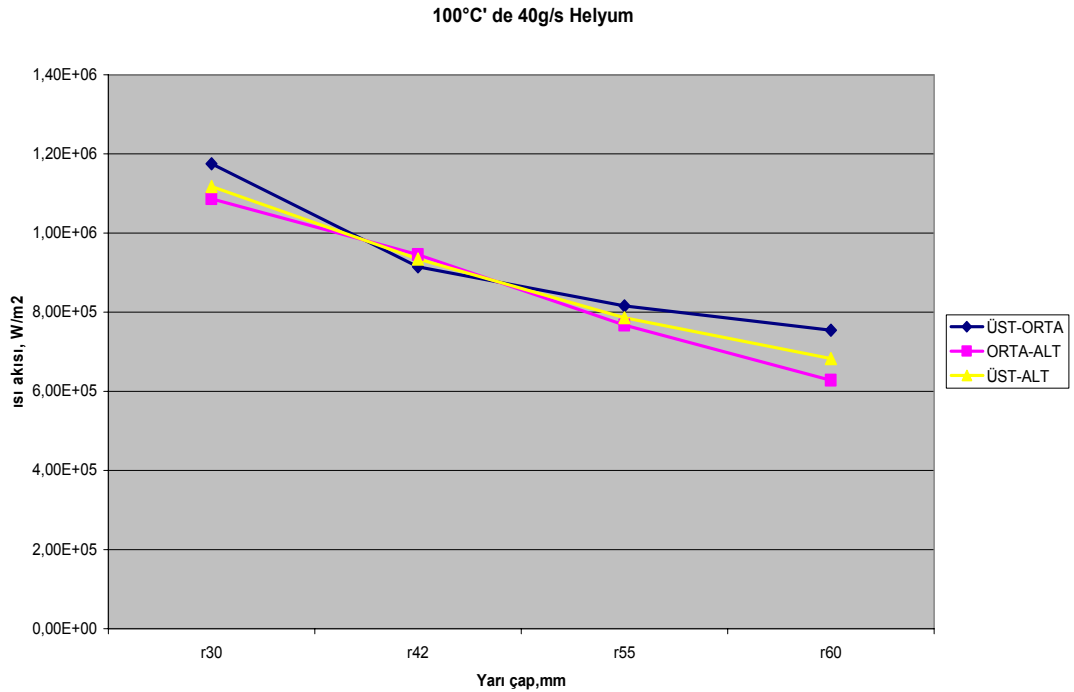
	r30		r42			r55		r60		
Kütle Debisi g/sn	ÜST									
	E-T11	D-T23	E-T9	E-T7	F-T12		E-T12	D-T10	E-T10	E-T8
	4	4	4	4	4		4	4	4	4
40	330,31	348,05	327,97	337,69	320,64		310,34	321,81	307,47	319,63
60	300,88	318,45	303,52	312,89	296,63		289,45	300,44	287,55	299,11
80	278,45	295,89	286,52	295,11	279,48		275,39	285,94	274,06	285,34
100	261,91	278,61	274,80	283,20	268,20		266,80	277,44	267,03	278,17
120	250,92	267,33	266,45	274,80	260,30		260,34	271,14	261,91	272,16
Kütle Debisi g/sn	ORTA									
	E-T3	D-T21	E-T1	D-T19	F-T9		E-T4	D-T22	E-T2	D-T20
	8	8	9	9	9		11	11	14	14
40	308,59	305,13	299,80	295,59	297,06		278,31	276,41	264,25	261,03
60	279,69	275,83	274,61	269,97	272,02		256,34	254,30	243,75	240,09
80	258,59	254,59	257,61	252,39	254,44		241,55	239,79	230,27	226,17
100	242,58	239,50	245,90	240,82	242,87		232,62	230,56	222,51	218,11
120	231,84	229,10	237,70	232,62	234,38		225,73	223,97	216,80	212,55
Kütle Debisi g/sn	ALT									
	D-T17	D-T9	D-T15	E-T13	F-T6	F-T15	D-T18	D-T11	D-T16	D-T12
	15,5	15,5	18,1	18,1	18,2	18,2	21,5	21,5	26,8	26,8
40	253,13	251,07	240,11	236,57	241,26	240,82	225,73	222,46	208,59	211,30
60	225,14	223,24	214,35	211,96	215,33	214,74	203,02	200,20	188,81	191,65
80	205,22	203,76	197,27	195,12	197,90	197,16	188,23	185,55	175,78	178,95
100	191,45	189,98	185,79	183,84	186,33	185,74	178,85	175,98	167,72	170,77
120	182,23	181,06	178,22	176,37	178,85	177,83	172,56	169,73	162,31	165,28

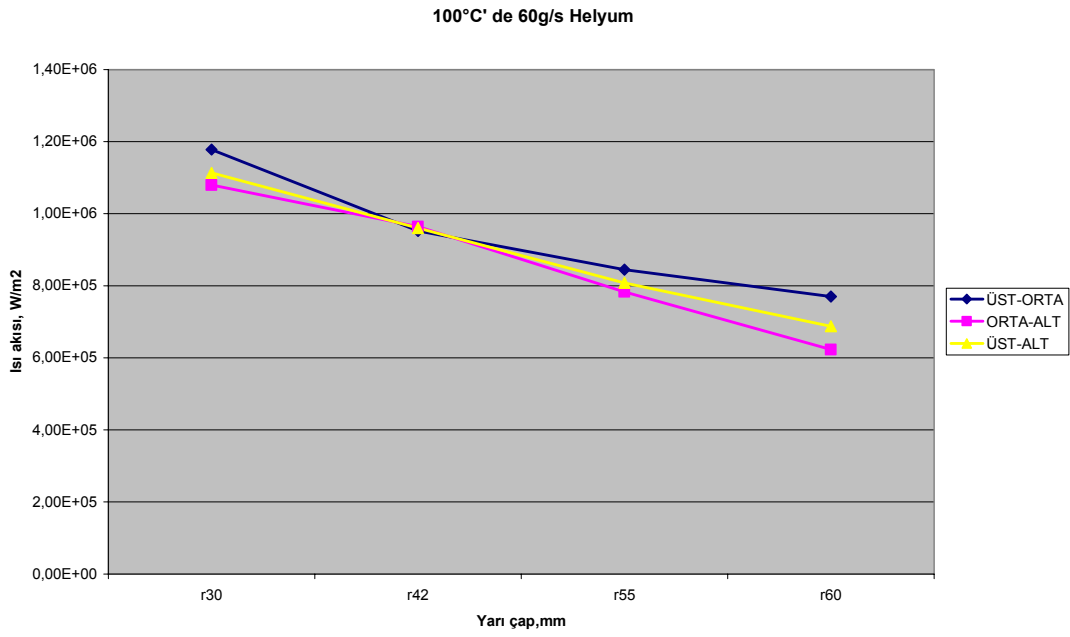
Tablo 5.2. 100⁰C' de helyum ile tungstenin ısı iletim katsayıları

g/s	ÜST-ORTA			
40	145,42	146,19	147,47	148,16
60	147,71	148,14	149,20	149,81
80	149,46	149,54	150,38	150,93
100	150,79	150,49	151,11	151,55
120	151,69	151,17	151,65	152,02

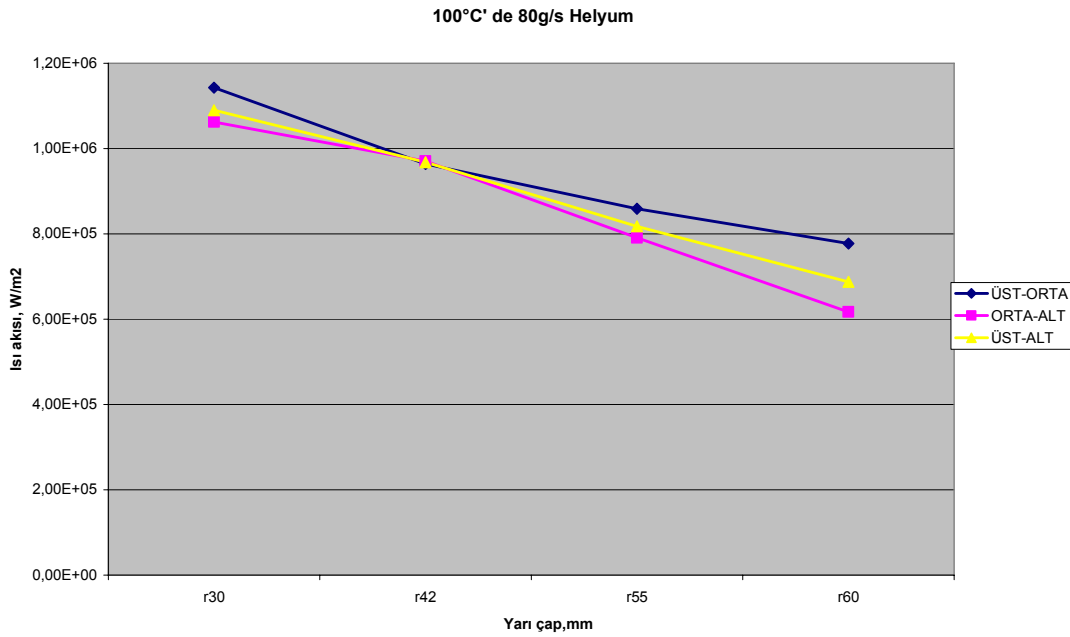
g/s	ORTA-ALT			
40	148,85	149,73	151,20	152,41
60	151,18	151,83	153,07	154,13
80	152,89	153,29	154,33	155,28
100	154,15	154,28	155,13	155,99
120	155,00	154,97	155,70	156,48

g/s	ÜST-ALT			
40	147,56	148,47	149,61	150,29
60	149,86	150,50	151,40	151,95
80	151,61	151,93	152,62	153,06
100	152,90	152,90	153,39	153,71
120	153,76	153,58	153,93	154,19

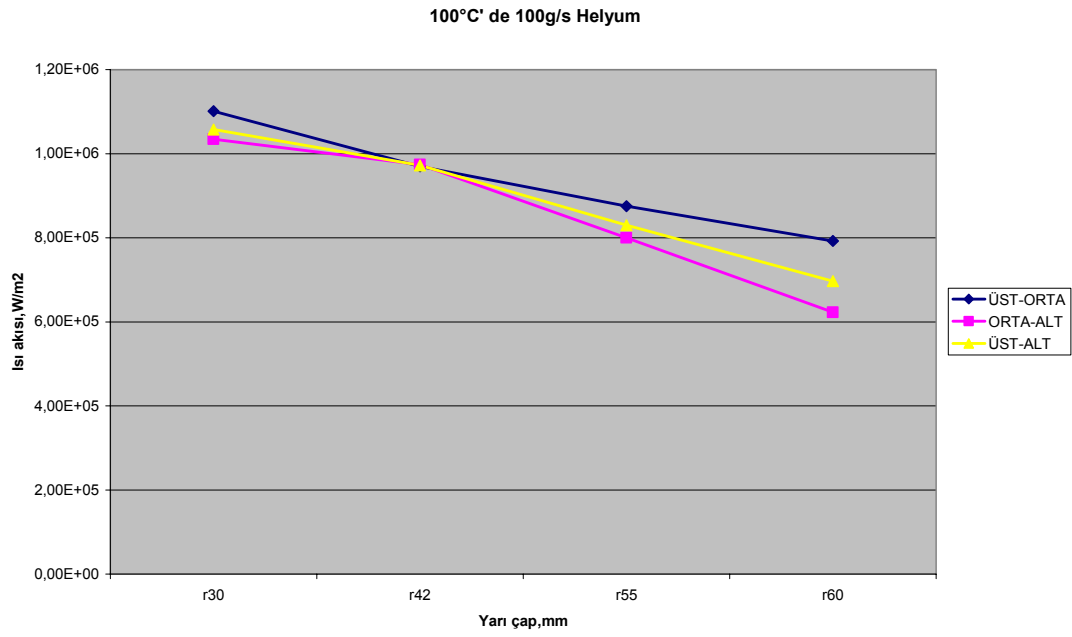
Şekil 5.18. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 100⁰C' de 40g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



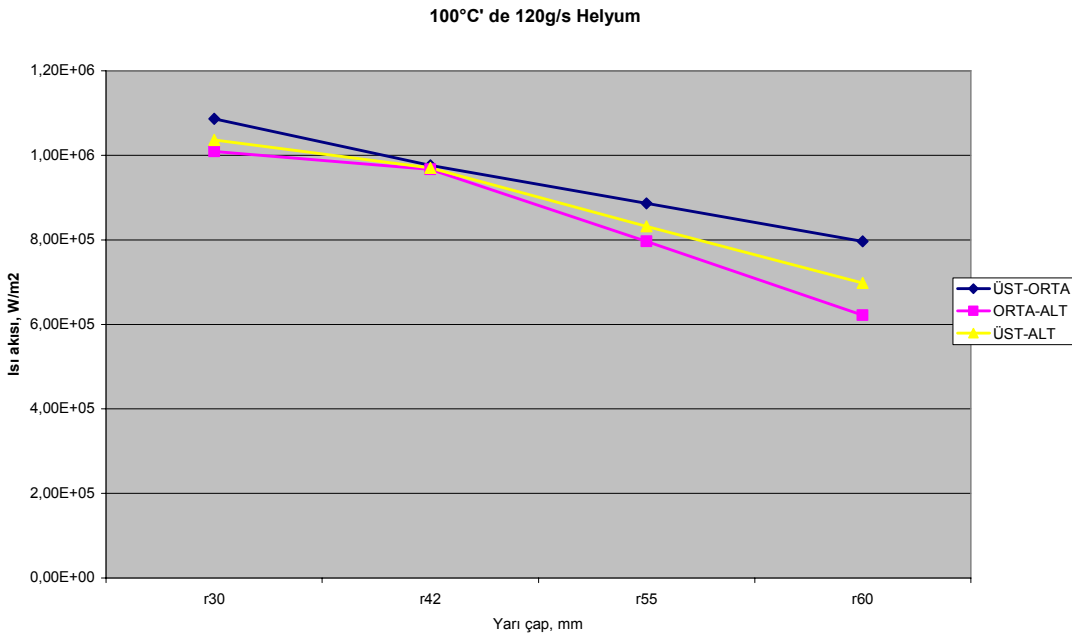
Şekil 5.19. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 100⁰C' de 60g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



Şekil 5.20. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 100⁰C' de 80g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



Şekil 5.21. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 100⁰C' de 100g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



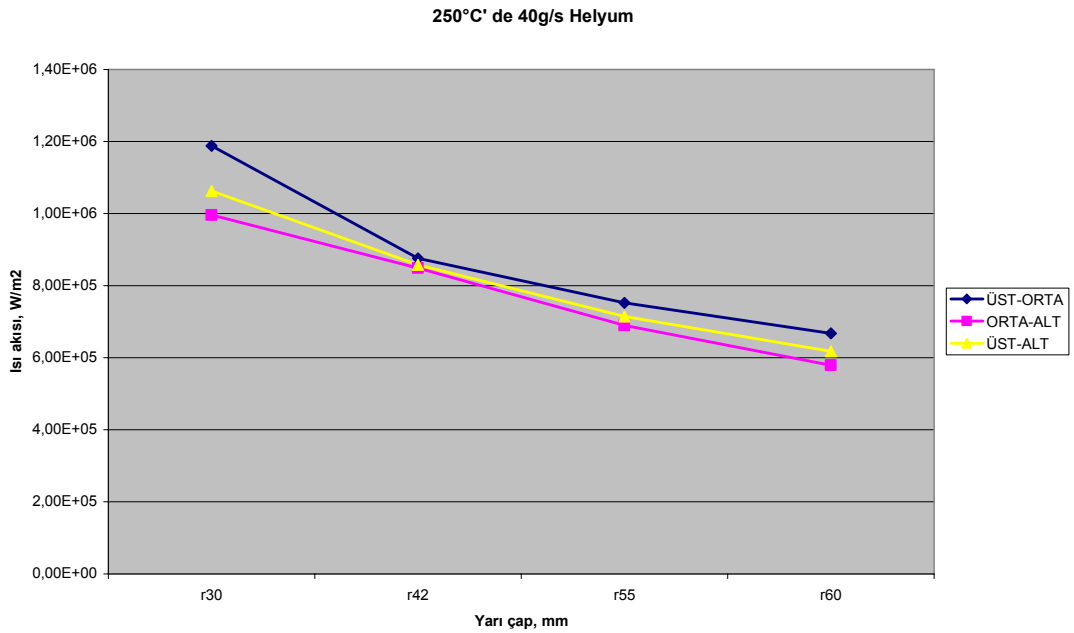
Şekil 5.22. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 100⁰C' de 120g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi

Tablo 5.3. 250⁰C' deki helyum ile III, IV, V ve VI daire halkalarında elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri

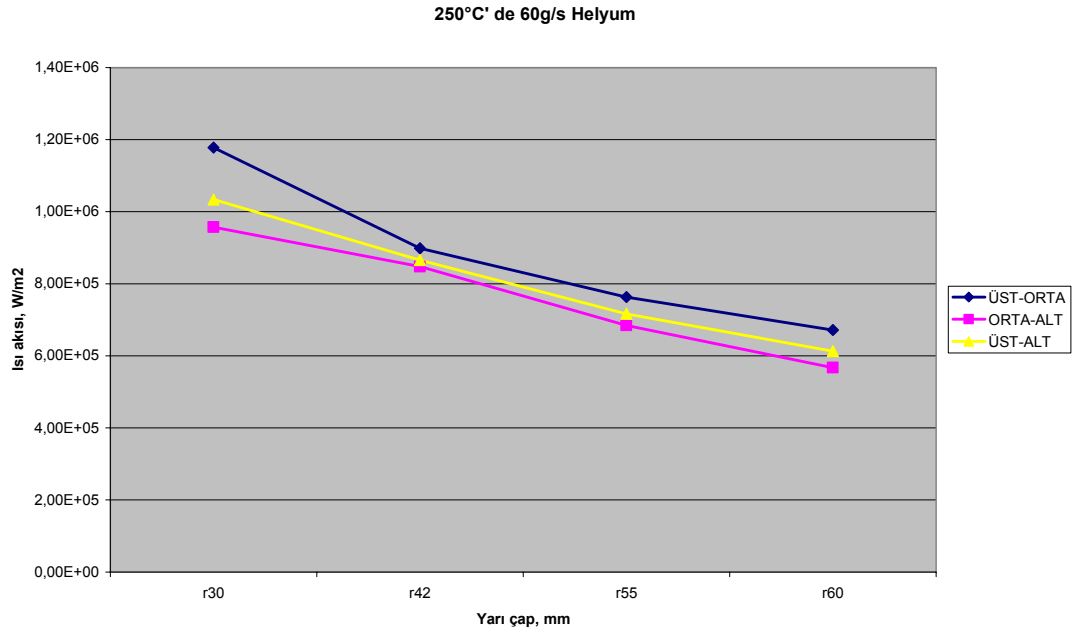
	r30		r42			r55		r60		
Kütle debisi g/s	ÜST									
	E-T11	D-T23	E-T9	E-T7	F-T12	E-T12	D-T10	E-T10	E-T8	
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
40	463,03	476,80	462,89	464,25	454,53	446,67	451,31	445,89	449,84	
60	432,70	446,48	437,69	438,67	429,34	423,63	428,75	424,80	428,75	
80	420,25	434,61	429,63	430,27	420,98	416,59	422,16	419,08	423,33	
100	407,52	421,28	419,23	419,72	410,88	407,61	413,81	411,17	415,28	
120	397,70	411,17	410,73	411,52	402,83	400,58	406,92	404,88	409,27	
Kütle debisi g/s	ORTA									
	E-T3	D-T21	E-T1	D-T19	F-T9	E-T4	D-T22	E-T2	D-T20	
	8	8	9	9	9	11	11	14	14	
40	434,56	435,48	430,86	430,36	424,36	409,13	412,34	398,28	400,78	
60	405,08	405,91	405,08	404,58	398,72	386,27	389,34	377,48	379,83	
80	392,58	393,59	396,28	394,92	389,20	378,22	381,14	370,75	372,36	
100	381,05	381,73	385,94	384,66	379,23	369,72	372,66	363,13	364,59	
120	372,06	372,50	378,31	376,89	371,48	363,28	366,34	357,70	358,73	
Kütle debisi g/s	ALT									
	D-T17	D-T9	D-T15	E-T13	F-T6	F-T15	D-T18	D-T11	D-T16	D-T12
	15,5	15,5	18,1	18,1	18,2	18,2	21,5	21,5	26,8	26,8
40	381,14	381,58	371,58	370,59	376,02	373,67	359,91	358,78	345,41	348,98
60	354,34	354,92	346,92	346,14	350,53	348,33	337,78	336,91	326,22	329,58
80	341,59	342,33	335,94	335,16	338,95	336,77	328,13	326,95	317,86	321,16
100	331,05	331,48	326,41	325,63	329,30	326,80	319,92	318,75	310,83	314,08
120	323,44	324,02	319,69	318,59	322,41	319,77	314,06	312,89	305,86	309,08

Tablo 5.4. 250°C' de helyum ile tungstenin ısı iletim katsayıları

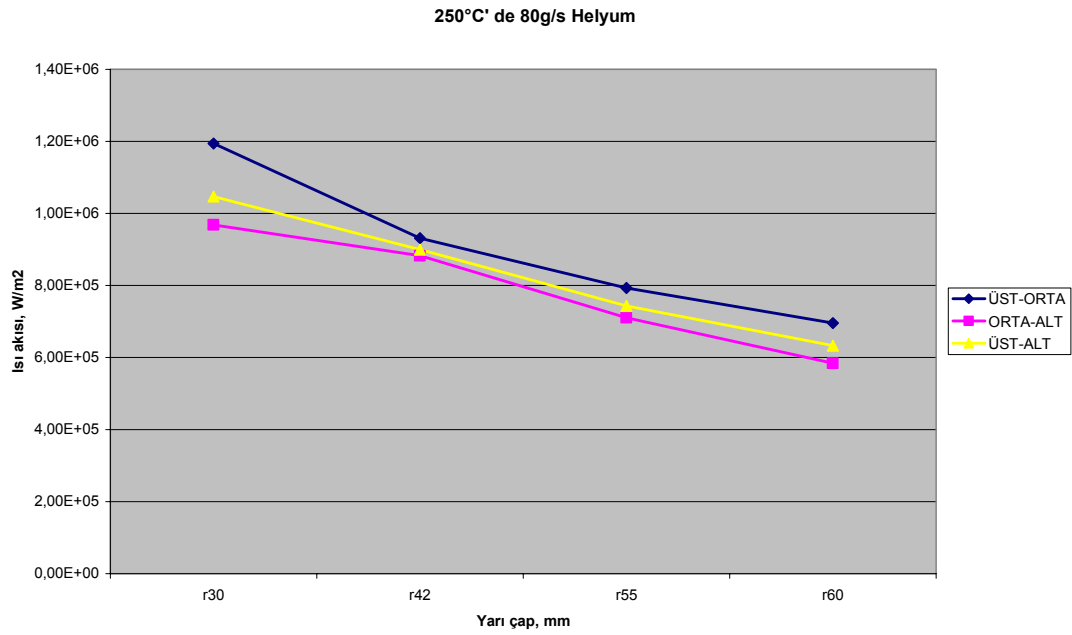
	r30	r42	r55	r60
ÜST-ORTA				
g/s				
40	136,17	136,70	137,69	138,11
60	138,19	138,43	139,27	139,57
80	139,04	139,04	139,79	140,01
100	139,91	139,76	140,40	140,57
120	140,58	140,33	140,87	140,99
ORTA-ALT				
g/s				
40	139,18	139,70	140,82	141,66
60	141,18	141,51	142,45	143,14
80	142,09	142,26	143,11	143,71
100	142,91	143,00	143,73	144,27
120	143,53	143,54	144,19	144,67
ÜST-ALT				
g/s				
40	137,98	138,59	139,46	139,93
60	139,96	140,35	141,05	141,37
80	140,84	141,05	141,65	141,88
100	141,70	141,77	142,27	142,43
120	142,34	142,33	142,74	142,84



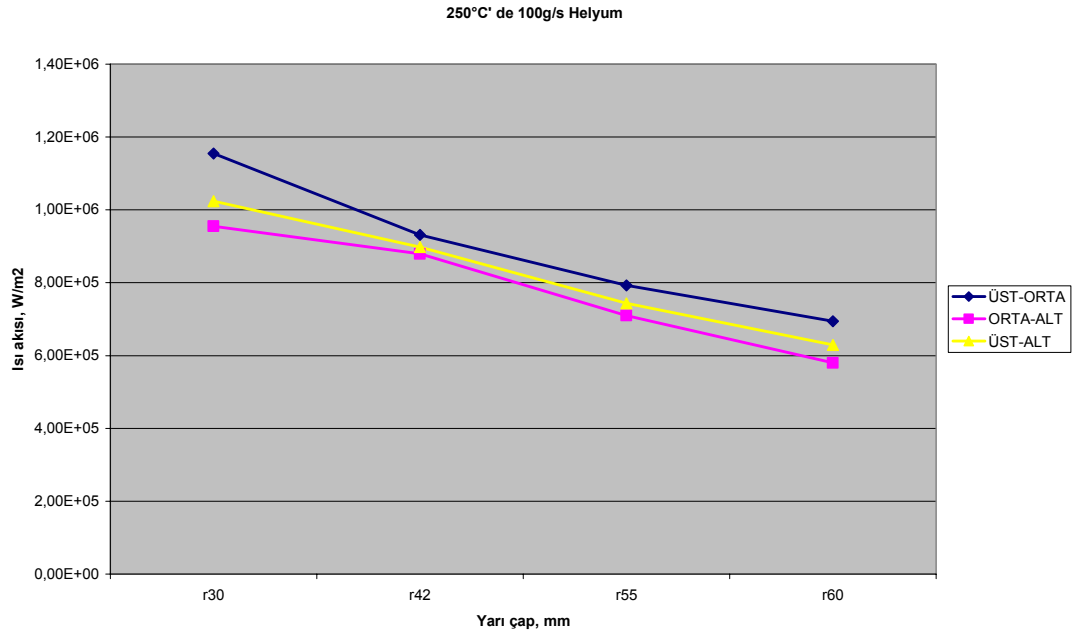
Şekil 5.23. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 250°C' de 40g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



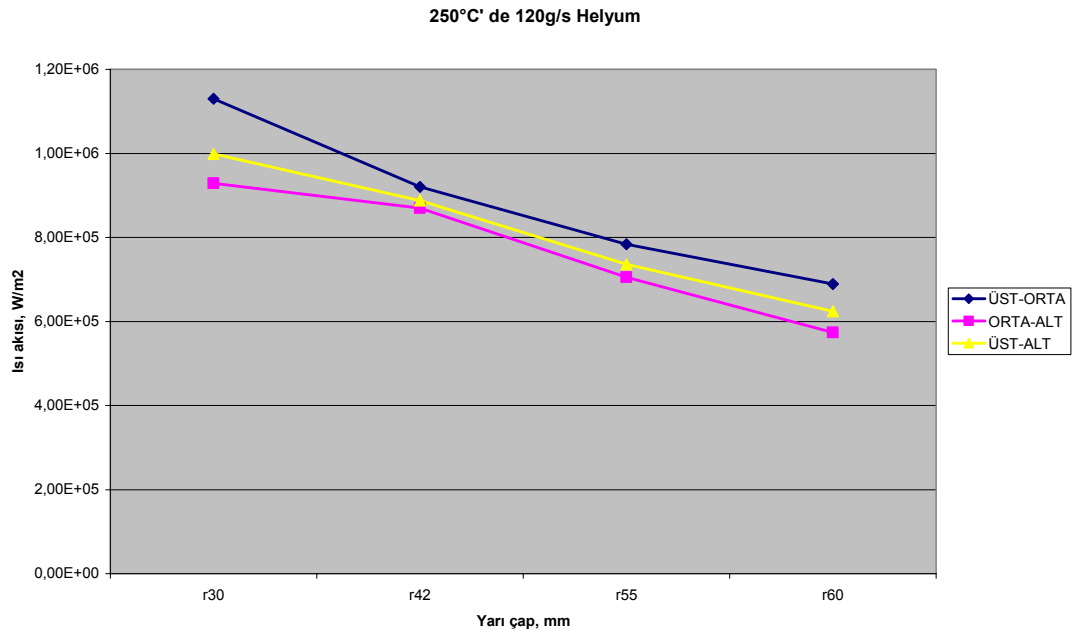
Şekil 5.24. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 250⁰C' de 60g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



Şekil 5.25. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 250⁰C' de 80g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



Şekil 5.26. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 250⁰C' de 100g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



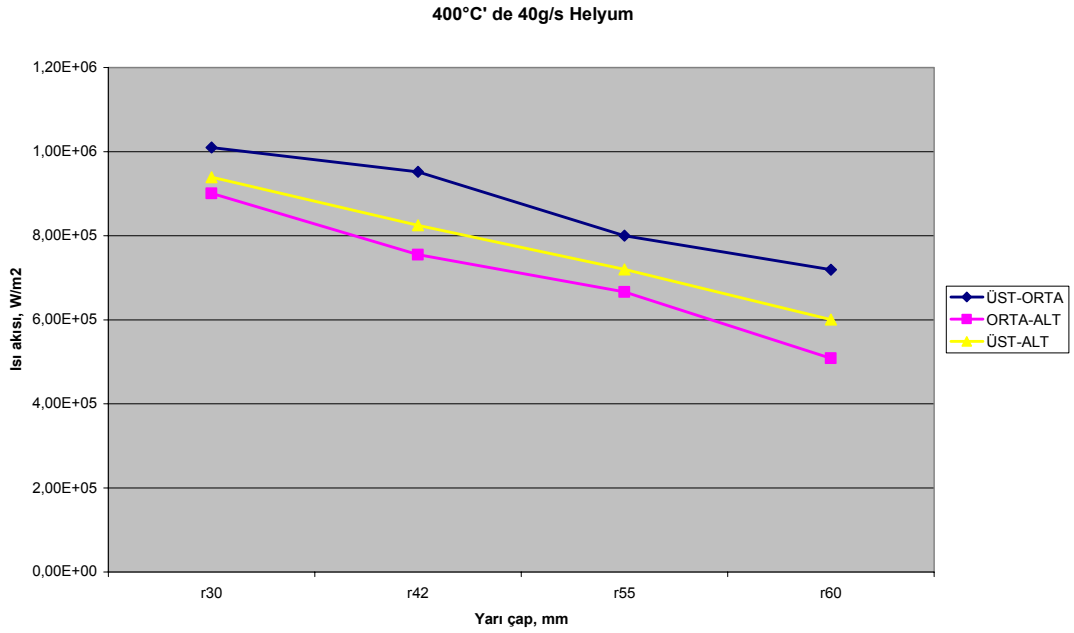
Şekil 5.27. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 250⁰C' de 120g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi

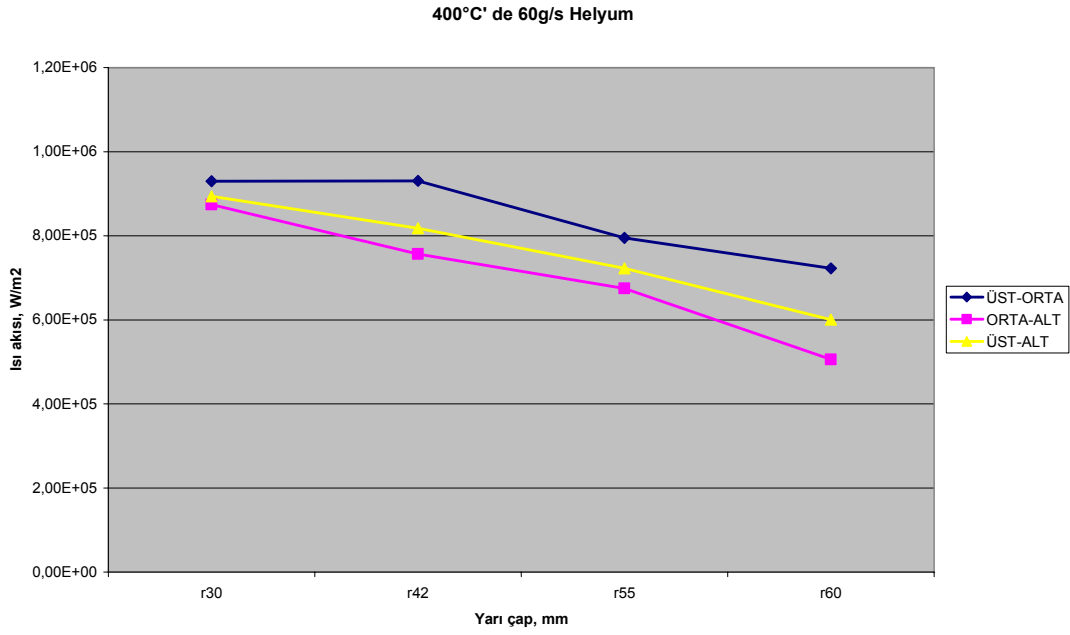
Tablo 5.5. 400⁰C’ deki helyum ile III, IV, V ve VI daire halkalarında elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri

	r30		r42			r55		r60		
Kütlevi debisi g/s	ÜST									
	E-T11	D-T23	E-T9	E-T7	F-T12	E-T12	D-T10	E-T10	E-T8	
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
40	585,63	599,84	599,69	599,00	591,06	586,31	593,84	587,81	588,41	
60	559,69	573,31	578,59	578,13	570,09	568,34	575,81	571,88	571,88	
80	543,88	556,91	565,28	564,44	556,91	557,59	565,13	562,50	562,34	
100	534,50	547,41	557,66	556,81	549,31	551,56	559,41	557,66	557,06	
Kütlevi debisi g/s	ORTA									
	E-T3	D-T21	E-T1	D-T19	F-T9	E-T4	D-T22	E-T2	D-T20	
	8	8	9	9	9	11	11	14	14	
40	561,72	560,88	561,72	557,81	559,13	547,53	545,78	533,91	531,28	
60	537,88	537,88	542,38	538,16	538,59	529,97	528,66	518,09	514,88	
80	523,03	523,38	530,06	525,88	525,72	519,28	518,41	508,59	505,36	
100	513,66	514,59	522,84	518,69	518,09	512,97	512,38	503,17	499,80	
Kütlevi debisi g/s	ALT									
	D-T17	D-T9	D-T15	E-T13	F-T6	F-T15	D-T18	D-T11	D-T16	D-T12
	15,5	15,5	18,1	18,1	18,2	18,2	21,5	21,5	26,8	26,8
40	509,03	510,34	499,88	503,61	508,14	515,75	493,36	493,94	480,91	486,20
60	487,78	488,81	484,00	483,69	488,67	493,06	475,92	476,17	465,67	470,33
80	474,45	475,63	471,80	471,53	476,22	479,30	465,38	465,42	456,30	460,81
100	466,11	467,13	464,22	463,77	468,59	471,53	458,78	458,59	450,58	455,19

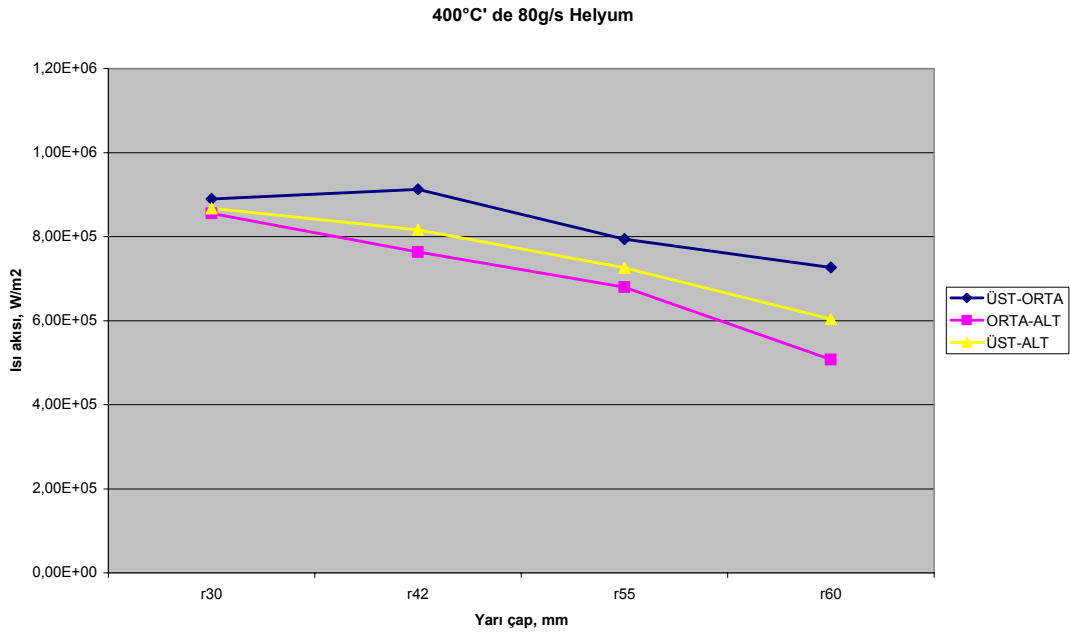
Tablo 5.6. 400⁰C' de helyum ile tungstenin ısı iletim katsayıları

	R30	r42	r55	r60
g/s	ÜST-ORTA			
40	128,52	128,46	129,02	129,48
60	129,96	129,64	130,04	130,43
80	130,87	130,40	130,67	130,99
100	131,42	130,84	131,03	131,31
g/s	ORTA-ALT			
40	130,94	131,08	131,87	132,61
60	132,30	132,28	132,95	133,60
80	133,17	133,05	133,61	134,20
100	133,72	133,53	134,02	134,56
g/s	ÜST-ALT			
40	130,01	129,98	130,56	130,92
60	131,43	131,18	131,63	131,88
80	132,33	131,97	132,29	132,46
100	132,88	132,44	132,67	132,80

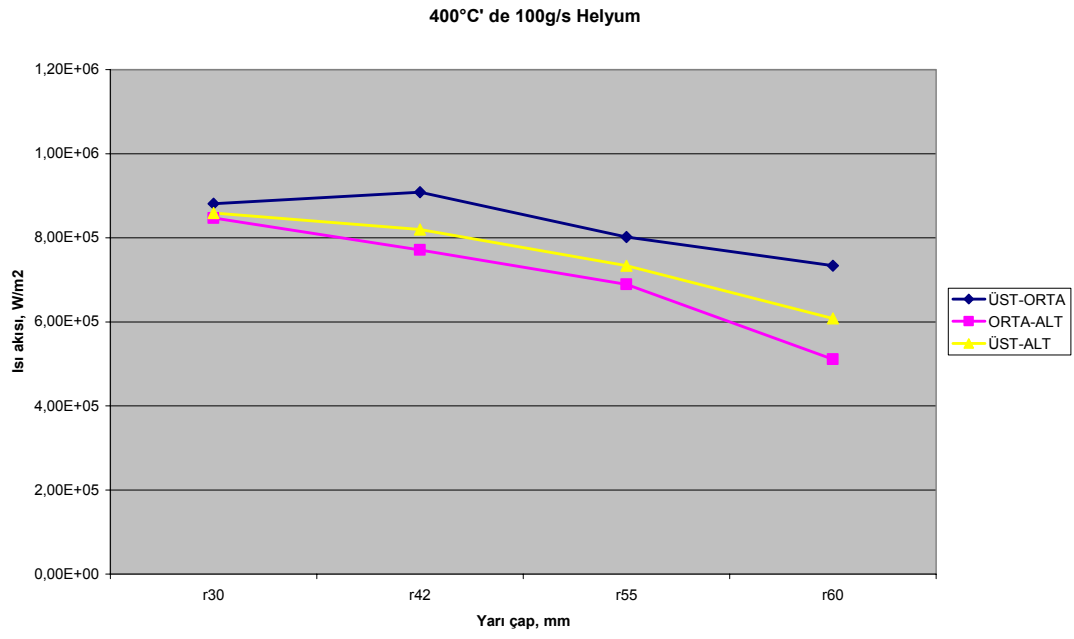
Şekil 5.28. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 400⁰C' de 40g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



Şekil 5.29. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 400⁰C' de 60g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



Şekil 5.30. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 400⁰C' de 80g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi



Şekil 5.31. Basit geometrik sıcaklık alan modelinde 400°C' de 100g/s helyum ile yarıçapa bağlı ısı akısı değişimi

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı sıcaklıklarda ısıtılmış helyum gazının deney düzeneğine beş farklı kütle debisi ile gönderilmesi yoluyla yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar, bu deneyleri hesaplamalı akışkanlar mekaniği programlarından biri olan STARCD' nin farklı türbülans modelleri ile simülasyonlar yapılarak karşılaştırılmıştır. Bu simülasyonlar sonucu gerçeğe en yakın sonuçları k-ε RNG türbülans modeli vermiştir. Bazı modellerden, kanaldaki çapraz akım, kanal akımı hesaplama hassasiyetine sahip olmadıkları için sonuç alınamamıştır.

Basit geometrik sıcaklık alanı modeli ile yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen grafiklerden, kenarlardan çevreye ısı kaybının olduğu kanaatine varıldı. Ayrıca ısıtıcı plakanın altındaki bakır ve grafitten oluşan bölümde, sıcaklık dağılımının homojen olmadığı tahmini yapılmaktadır. Bu tahminin gerçekliği olduğunu söz konusu grafiklerde ortalama değer olarak görülebilecek sarı renkli eğriler göstermektedir.

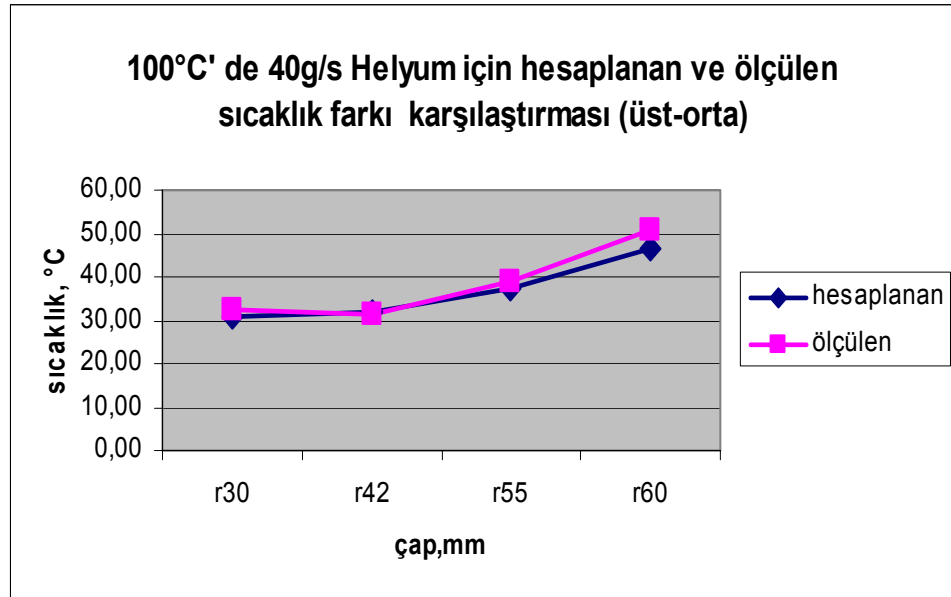
Belirlenen daireler arası ısı geçişi hesaplanarak, sıcaklıklarda düzeltmeler yapılması mümkün olabilir. Bunun için en dış halkanın dış yüzeyindeki sıcaklık ile çevre sıcaklığı arasındaki farktan kaynaklanan kayıp ısı miktarı belirlenerek, merkeze doğru daire halkaları arası enerji bilançoları çıkartılmak suretiyle ölçülen sıcaklık değerleri, ölçme hatası nispetinde düzeltilebilir. Kapsam olarak bu çalışmanın dışında bırakılan söz konusu düzeltmeler, bir başka çalışma için önerilmektedir.

1) Deney düzeneğinin ölçümler sırasındaki tekrarlanabilirlik hassasiyeti bilinmemektedir. (aynı şartlarda birbirinden farklı zamanlarda yapılmış ölçümlerdeki standart sapma bilinmemektedir.) Dolayısıyla da bu sapmanın stokastik bir hata çerçevesinde olup olmadığı bilinmemektedir. Ancak ölçme tekniği hassasiyeti

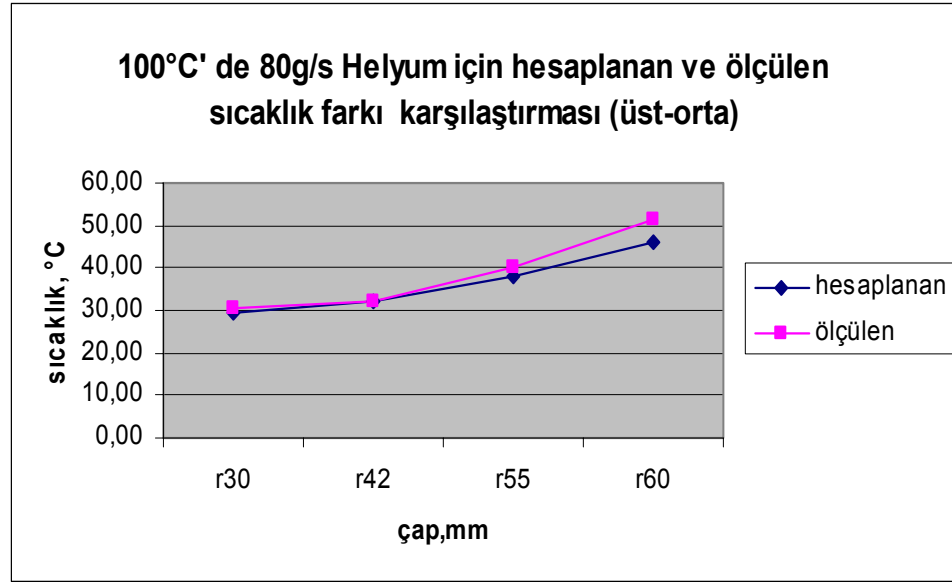
kullanılan ısı çiftleri için üretici firma tarafından verilen sapma: $\pm 0,5$ °C olarak tahmin edilmektedir.

2) Ölçümler sırasında termik çiftlerin sıcaklıkları değil de sıcaklık farklarının ölçüldüğü dikkate alındığında ve ortam sıcaklığının ölçümünün de bir hata kaynağı olarak dikkate alındığında (termik çiftlerin soğuk uç sıcaklığı değiştiğinden) öngörülmesi olan stokastik (rast gele) hata ± 1 °C bile olabilecektir.

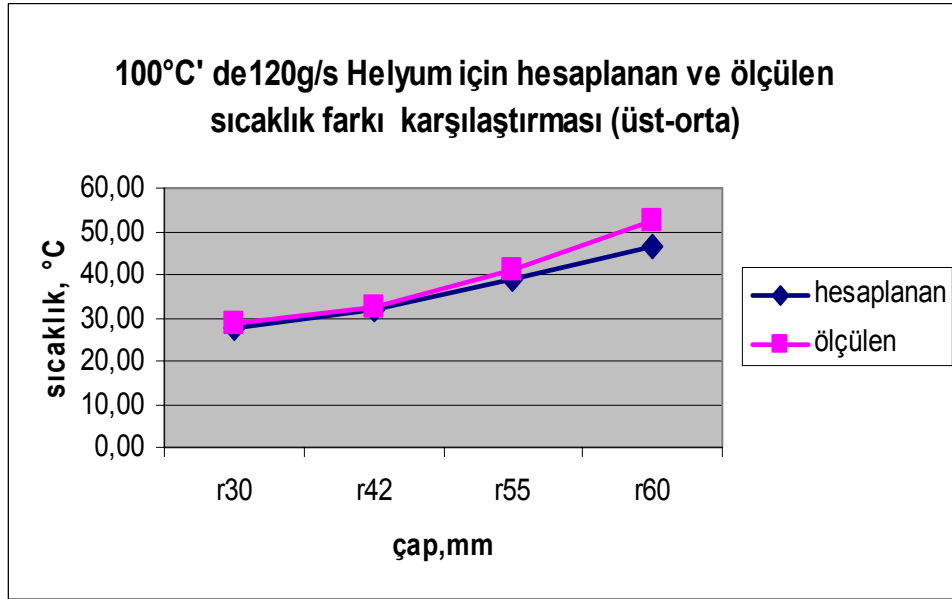
Bu varsayımdan hareket ederek belirsizliklerin olabilecek büyüklüğünü ortaya koymak üzere: her bir daire halkası için üç farklı düzlemde ölçülen sıcaklıklardan ikisi hatasız kabul edilerek üçüncüsünün, radyal yönde ısı alış verişi olmadığı kabulü ile bulunması ve ölçülen değeri ile karşılaştırılması yapılmıştır.



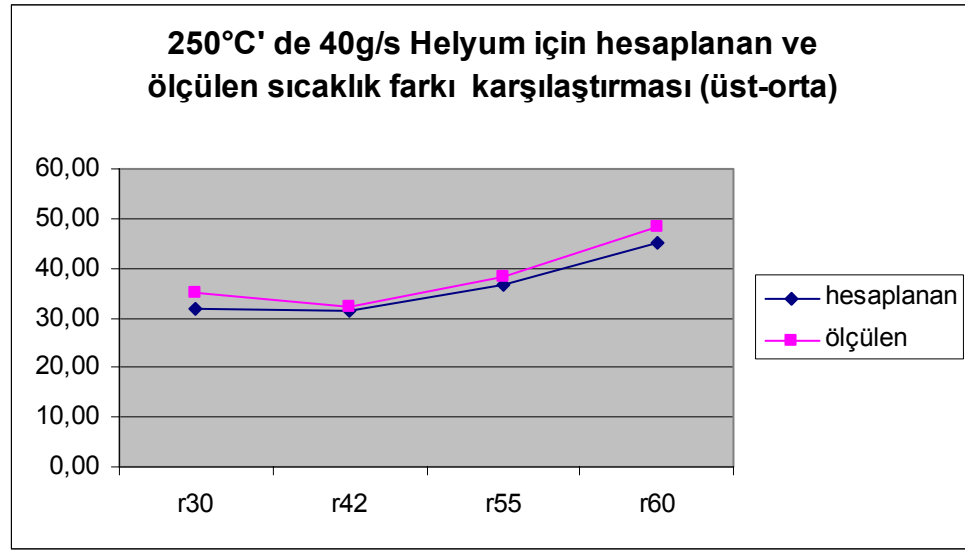
Şekil 6.1. 100°C' de 40g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması



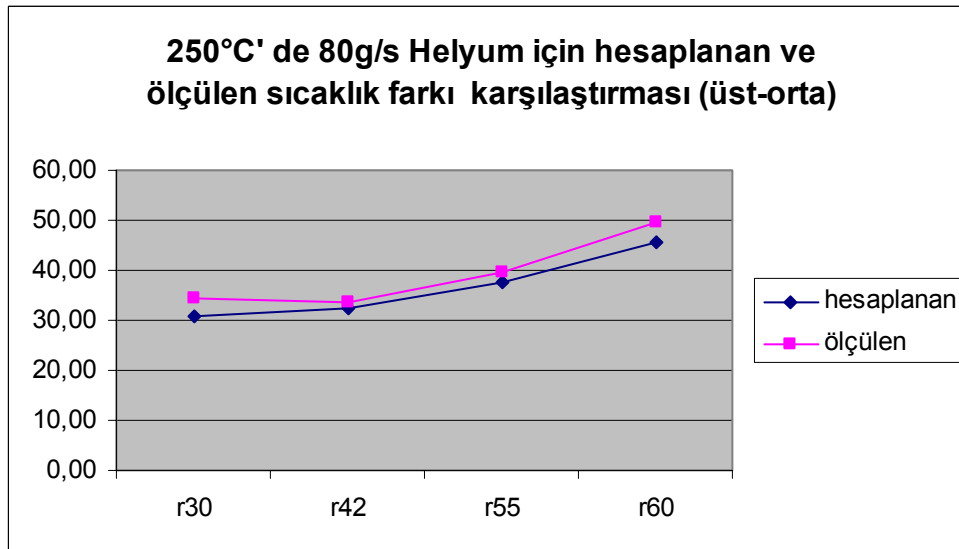
Şekil 6.2. 100°C' de 80g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması



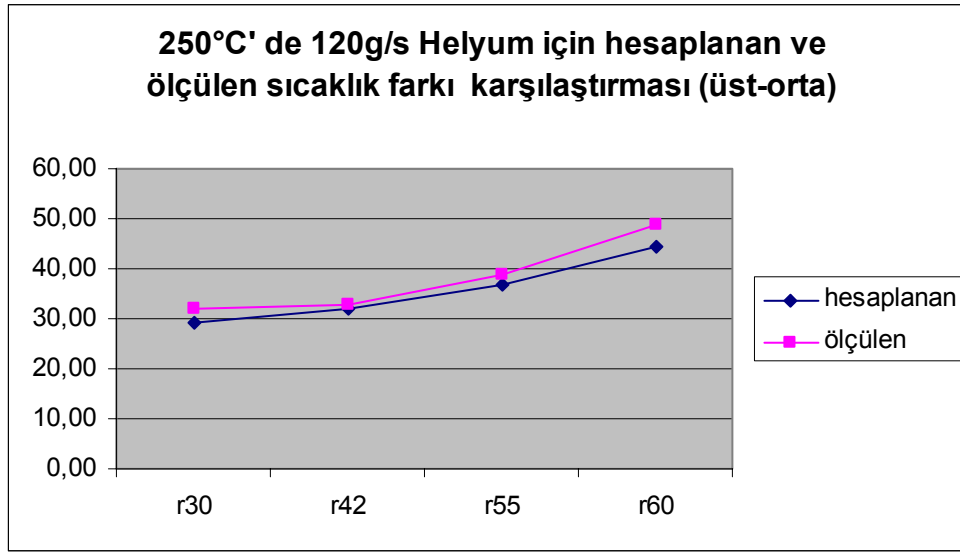
Şekil 6.3. 100°C' de 120g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması



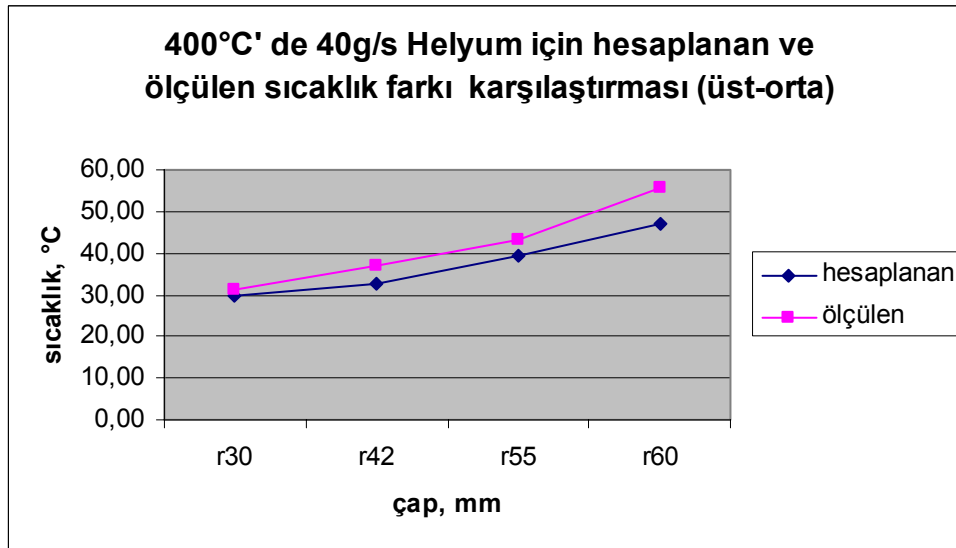
Şekil 6.4. 250°C' de 40g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması



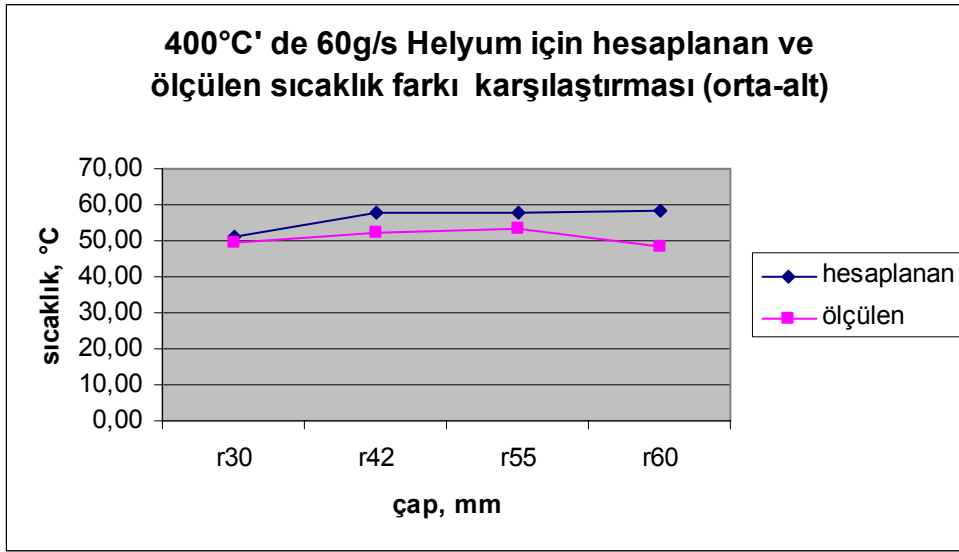
Şekil 6.5. 250°C' de 80g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması



Şekil 6.6. 250°C' de 120g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması



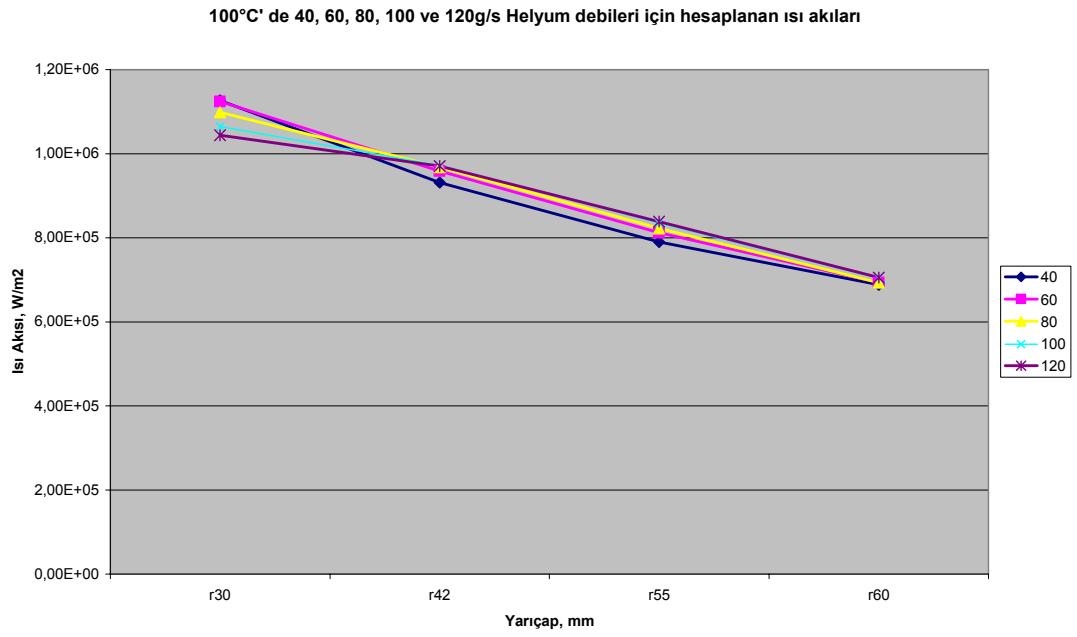
Şekil 6.7. 400°C' de 40g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması (üst-orta)



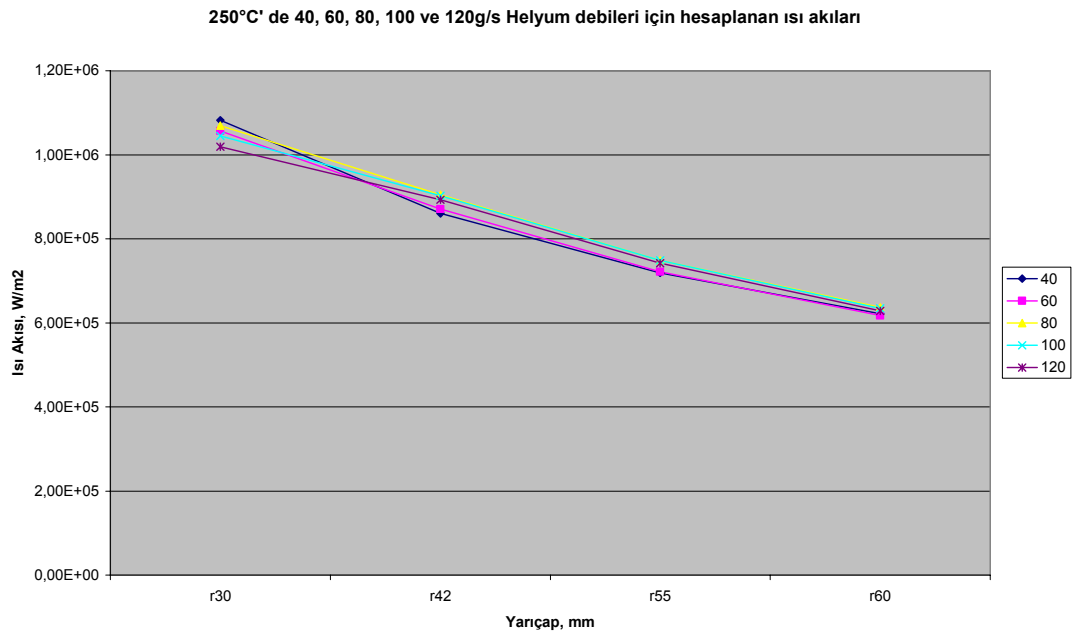
Şekil 6.8 400°C' de 60g/s Helyum için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farkı karşılaştırması

Bu grafikler ışığında bir önceki varsayım olan radyal yöndeki ısı geçişinin olmadığı varsayımı kısmen desteklenmektedir. Ayrıca termik çiftlerin konumlamalarında da hata olabileceği görülmektedir. Üst-orta konum sonuçları ile alt orta konum sonuçları karşılaştırıldığında, ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerin farkının tersine dönmesi böyle bir hata kaynağı olabileceğini göstermektedir.

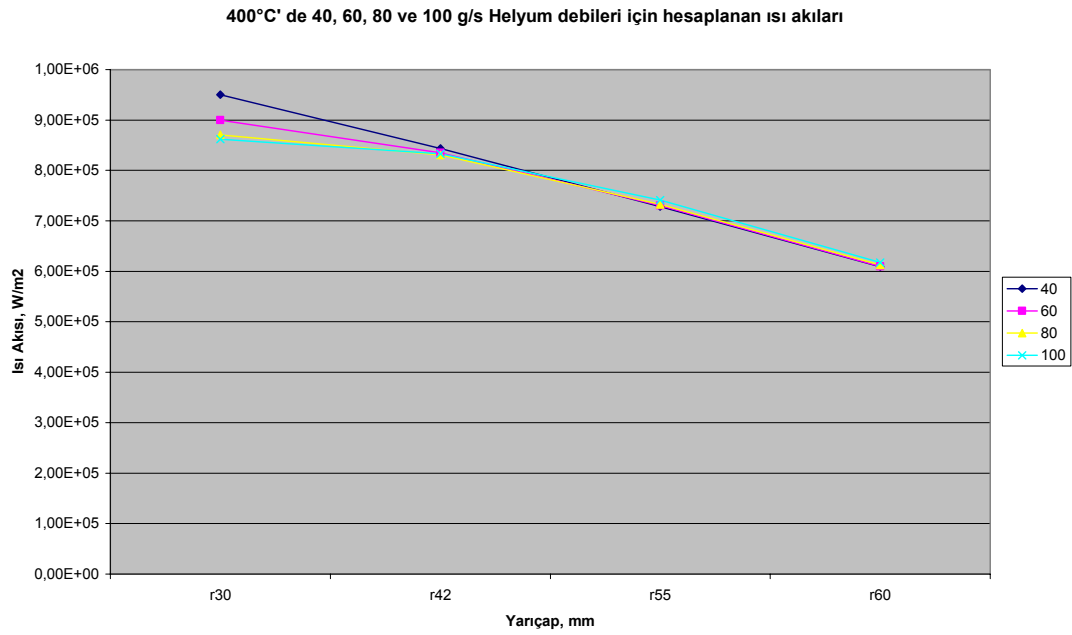
Hesaplanan ve ölçülen sıcaklık farklarındaki değişiklikler ölçüm doğru yapılmış olsa dahi termik çiftlerin konumlama hatasından kaynaklanabilir. Çünkü ısı yüksek sıcaklıktaki bölgeden düşük sıcaklıktaki bölgeye geçme eğilimindedir ve bunu gerçekleştirirken de kendine en kısa yolu seçecektir.



Şekil 6.9. 100°C' de 40, 60, 80, 100 ve 120g/s Helyum debileri için hesaplanan ısı akıları



Şekil 6.10. 250°C' de 40, 60, 80, 100 ve 120g/s Helyum debileri için hesaplanan ısı akıları



Şekil 6.11. 400°C' de 40, 60, 80 ve 100 g/s Helyum debileri için hesaplanan ısı akıları

Yapılan bu hata analizleri göstermiştir ki 1°C 'lik sıcaklık ölçüm hatası varsayımı ile (ki bunun olabileceği yukarıda açıklanarak kanıtlanmıştır) söz konusu ısı transferi problemi bir mühendislik yaklaşımı ile silindirik koordinatlarda aksel yönde tek boyutlu ısı geçişi şeklinde ele alınabilir. Bu radyal yönde ısı transferi olmadığı anlamına gelmemektedir. İçteki halkadan gelen ısı dıştaki halkaya iletilerek çevreye geçmektedir. Bu durumu Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11 kanıtlamaktadır. Merkezde bulunan daire için ölçüm ve hesap değerleri örtüşmemektedir. Bu merkezden dışarıya doğru bir ısı akısı olduğunu kanıtlamaktadır. Gerçek uygulamada yan yana yer alacak olan bu soğutma başlığında radyal yönde bir ısı geçişi olmayacaktır. Çünkü komşu başlığın da aynı sıcaklıkta olması söz konusudur. Radyal yönde ısı geçişini engellemek için bu soğutma başlığı, bir sıvı metale daldırılarak homojen sıcaklık dağılımı elde edilebilir.

Sonuç olarak söz konusu ısı transferi star CD programı ile modellenenmiş ve model parametreleri belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] NORAJITRA P., CHEHTOV T., GERVASH A., GİNİYATULİN R., IHLI T., KRUESSMANN R., KUZNETSOV V., MAKHANKOV A., MAZUL I., OVCHİNKOV I., WEGGEN J., ZEEP B., Status of He-cooled Divertor Development (PPCS Subtask TW4-TRP-001-D2), Februar 2005.
- [2] GORDEEV S., HEİNZEL V., SLOBODTCHOUK V., Features of heat transfer in heated helium channel flow. Int J. Heat Mass Transfer 45 (2002) 4333-4352.
- [3] Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Forschungszentrum Jülich GmbH, Kernfusion.
- [4] KAKAÇ, S., SHAH R.K., AUNG W., Handbook of Singlephase Convective Heat Transfer, Wiley, 1987
- [5] ÇENGEL Y. A., BOLES M. A., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Mc Graw Hill, 2. Basım
- [6] VERSTEEG H.K., MALALASEKERA W., An introduction to computational fluid dynamics The finite volume method, PEARSON Prentice Hall, Longman Group Ltd., 1995
- [7] STAR-CD, Version 3.20, User Guide, CD adapco Group, 2004
- [8] BAYAZITOĞLU YILDIZ, SATHUVALLİ B. UDAYA, Heat Transfer
- [9] STAR-CD, Version 3.20, Methodology, CD adapco Group, 2004
- [10] GORDEEV S., HEİNZEL V., SLOBODTCHOUK V., Simulation of single and multiple impinging jet cooling and comparison with experimental data. 8th Biennial ASME Conference on Engineering Systems Design and Analysis ESDA 2006-95037

EKLER

**Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft**

Institut für Reaktorsicherheit

Leiter: apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Heinzel (komm.)

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe

To whom it may concern

Date: 2007-01-24
 Official in charge: Prof. Dr. V. Heinzel
 Phone: +49 7247 82-2550/1
 Fax: +49 7247 82-3718
 E-mail: heinzel@irs.fzk.de
 Our reference: wn
 Your notice:

Misses Karagöz is executing a diploma thesis in my institute for Reactor Safety at the Research Centre Karlsruhe. The thesis is dealing with the thermo hydraulic analysis of the modular divertor concept with multiple jet helium cooling. This comprises the code STAR-CD validation on experimental results achieved with the Helium Blanket Loop (HEBLO) at the Forschungszentrum. All design data used are published or will be published in the near future.

Data used for the thesis and results elaborated during the execution of the thesis are publicly available.

Yours sincerely,



Prof. Dr.-Ing. Volker Heinzel
 Acting Head

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
 Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft
 Forschungszentrum e.V. (HGF)
 Helmholtz-Platz 1
 76344 Eggenstein-Leopoldsdorf
 Germany
 Phone: +49 7247 82-0
 Fax: +49 7247 82-5070
 http://www.fzk.de

Chairman of Supervisory Board:
 Ministerpräsident
 Dr. Herbert Dieltz
 Executive Board:
 Prof. Dr. Reinhard Messner
 Chairman (comm.)
 Dr.-Ing. Peter Fritz

Registered Office:
 Weberstr. 5, 76133 Karlsruhe,
 Germany
 Commercial Register:
 Amtsgericht Mannheim HRB 100362
 Bank Accounts:
 Baden-Württembergische Bank
 Kto. 749551236 (BLZ 630 501 01)
 BIC: SOLADE33
 IBAN: DE 18 9005 0101 7495 5012 96

Commerzbank AG, Karlsruhe
 Kto. 2 221 000 (BLZ 660 600 18)
 BIC: COBADE33
 IBAN: DE 36 6904 0018 0222 1000 00
 Dresdner Bank AG, Karlsruhe
 Kto. 563 436 800 (BLZ 660 600 52)
 BIC: DRESDE33
 IBAN: DE 33 6900 0052 0563 4330 00
 USt-IdNr.: DE 143584209



ÖZGEÇMİŞ

Zülal Karagöz, 20.02.1981 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 1999 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü 2003 yılında bitirdi. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2005-2006 Güz ve Bahar yarı yıllarında Almanya'da Karlsruhe Üniversitesinde değişim öğrencisi olarak eğitim gördü. Şu anda Yüksek Lisans eğitimine tez aşamasında devam etmektedir.