



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Erdem ALIÇ

**SİLİNDİRİK YÜZEY ÜZERİNDE HAVUZ
KAYNAMA ISI TRANSFERİNİN TEORİK VE
DENEYSEL İNCELENMESİ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANIYE – 2019

T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA PROGRAMI

SİLİNDİRİK YÜZEY ÜZERİNDE HAVUZ KAYNAMA ISI
TRANSFERİNİN TEORİK VE DENEYSEL
İNCELENMESİ

Erdem ALIÇ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

OSMANIYE
KASIM-2019

TEZ ONAYI

SİLİNDİRİK YÜZEY ÜZERİNDE HAVUZ KAYNAMA ISI TRANSFERİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Erdem ALIÇ tarafından Doç. Dr. Önder KAŞKA danışmanlığında, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma, aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Önder KAŞKA
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Prof. Dr. Ahmet KAYA
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, KSÜ

Üye: Doç. Dr. Şaban ÜNAL
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Emrah ÖZAHİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, GAÜN

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Nehir TOKGÖZ
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Coşkun ÖZALP
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler,şekil,çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.



Erdem ALIÇ

ÖZET

SİLİNDİRİK YÜZEY ÜZERİNDE HAVUZ KAYNAMA ISI TRANSFERİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Erdem ALIÇ
Doktora, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Önder KAŞKA

Kasım 2019, 140 sayfa

Bu tez çalışmasında silindirik yüzeyler üzerinde izole buhar kabarcığı bölgesinde gerçekleşen kaynama ısı transferinin deneysel, sayısal ve farklı hesapsal zeka metotları ile incelemesi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında deney düzeneği kurulumu gerçekleştirilmiş, sayısal çalışma kapsamında ANSYS FLUENT ile analizler yapılmış ve farklı hesapsal zeka metotları ile ısı akısı tahmini yapılmıştır. Bu çerçevede literatürde yeni bir yaklaşım olarak Yapay Arı Kolonisi algoritması (YAK) ile kaynama ısı transferi optimizasyonu yapılmıştır. Farklı hesapsal zeka metotları ile kaynama ısı akısı modelleri geliştirilmiştir. Buhar kabarcığı çapının bilgisayarlı görüntü işleme teknikleri kullanılarak MATLAB platformunda hesap edilebilmesi için bir kod yazılmıştır. Deneysel çalışmanın sonuçları ile sonuçları ile ANSYS FLUENT kullanılarak elde edilen sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Kaynama ısı transferi analizi 3 boyutlu gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlara dayanan görüntü işleme teknikleri ile elde edilen buhar kabarcığı hacim oranı sonuçları ANSYS FLUENT ile geliştirilen modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. ANSYS FLUENT'in sabit ısı akısında yüzey sıcaklığı hesabını deneysel hata aralıkları içerisinde gerçekleştirdiği gösterilmiştir. Ayrıca, hesapsal zeka metotları ile elde edilen modellerin ısı akısı hesabının da başarılı olduğu ve bilinen tüm korelasyonlara göre daha düşük hata oranı (% 17) ile hesap ettiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Buhar, HAD, Havuz kaynama, Isı transferi, Silindirik ısıtıcı

ABSTRACT

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER IN POOL BOILING ON CYLINDRICAL SURFACE

Erdem ALIÇ
Ph.D., Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Önder KAŞKA

October 2019, 140 pages

In this thesis, the experimental, numerical and different computational intelligence methods of boiling heat transfer in isolated vapor bubble region on cylindrical surfaces have been investigated. Within the scope of the experimental study, the experimental setup has been carried out, the analyzes have been made with ANSYS FLUENT and the heat flux estimation has been done with different computational intelligence methods. For this purpose, the optimization of the boiling heat transfer has been made with the Artificial Bee Colony algorithm (ABC) as a new approach in the literature. Boiling heat flux models have been developed with different computational intelligence methods. A MATLAB code has been written to calculate the vapor bubble diameter using computerized image processing techniques. The results of the experimental study have been compared with the results of the numerical analysis using the ANSYS FLUENT. The boiling heat transfer analysis has been performed in 3 dimension. The vapor bubble volume fraction results obtained by using the image processing techniques based on the experimental results have been compared with those obtained from the ANSYS FLUENT model. It has been shown that the ANSYS FLUENT performs the calculation of surface temperature at the constant heat flux within the experimental error ranges. In addition, it has been shown that the heat flux calculation of the models obtained by the computational intelligence methods was successful and calculated with a lower error rate (% 17) than all known correlations.

Key Words: CFD, Cylindrical heater, Heat transfer, Pool boiling, Vapor



Değerli Aileme

TEŞEKKÜR

Doktora tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütülmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi, tecrübe ve katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. nder KAŞKA'ya teŐekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez izleme jürimde bulunan ve önerileriyle çalışmalara katkı sağlayan sayın Doç. Dr. Şaban ÜNAL'a ve sayın Doç. Dr. Emrah ÖZAHİ'ye teŐekkürlerimi sunarım. Tez çalışmasının sayısal analiz bölümünde bana sağladığı desteklerinden dolayı sayın Dr. Öğr. Üyesi Nehir TOKGÖZ'e ve değerli mesai arkadaşım sayın Öğr. Gör. M. Safa KAMER'e teşekkür ederim. Yine bu tez çalışmasının hesapsal zeka ve optimizasyon bölümlerinde destek veren sayın Dr. Öğr. Gör. Mehmet DAŞ'a ve değerli mesai arkadaşım sayın Dr. Öğr. Üyesi zdeŐ ÇERMİK'e teşekkür ederim. Tez için yapılması gereken deneylerde laboratuvar, cihaz ve olanaklarını benden esirgemeyen K.S. Makine mühendisliği bölümü adına, bölüm başkanı sayın Prof.Dr. Ahmet KAYA ve tüm çalışanlarına teşekkür ederim. Uzun ve yorucu geçen çalışma boyunca her zaman yanımda olan eşim Arzu ALIÇ, oğullarım İbrahim Yiğit ALIÇ ve Yunus Emre ALIÇ'a maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen başta annem Elife ALIÇ olmak üzere aileme minnet ve Őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İTHAF SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Deneysel Çalışmalar	4
2.1.1. Buhar Kabarcığı Çapı	4
2.1.2. Isı Transferi İyileştirme	7
2.2. Teorik Çalışmalar	13
2.2.1. Optimizasyon Algoritmaları ile Isı Transferi Hesabı	13
2.2.2. Sayısal Analiz	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Hesapsal Zeka Metodu	16
3.1.1. Kara Kutu Algoritmaları	17
3.1.1.1. Gözetimli Öğrenme	18
3.1.1.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)	18
3.1.1.3. Karar Ağacı (KA)	19
3.1.1.4. Destek Vektör Makinesi (DVM)	20
3.1.1.5. Gözetimsiz Öğrenme	22
3.1.2. Beyaz Kutu Algoritmaları	22
3.1.2.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritması	23

3.1.2.2.	Rastgele Arama Kaynaklarının Üretilmesi	25
3.1.2.3.	Öncü Bulucuların Arama Kaynaklarına Gönderilmesi	26
3.1.2.4.	İkinci Bulucuların Gönderilmesi	27
3.1.2.5.	Arama Sonlandırılması	28
3.1.2.6.	Genetik Algoritma	28
3.1.2.7.	İlk Populasyonu Oluşturma	30
3.1.2.8.	Uygunluk Değeri	30
3.1.2.9.	Seçim	30
3.1.2.10.	Çaprazlama	31
3.1.2.11.	Mutasyon	31
3.1.2.12.	Yeni Popülasyon	31
3.1.2.13.	Nesil Sayısı	31
3.1.3.	Beyaz Kutu Algoritmaları Optimizasyon Modeli	32
3.1.3.1.	Mikro Tabaka Gizli Isısı	32
3.1.3.2.	Zamana Bağlı İletim	33
3.1.3.3.	Kızgın Kabarcık Oluşumu	35
3.1.3.4.	Zamana Bağlı Kabarcık Sürüklenme İletimi	36
3.1.3.5.	Radyal Eksen Boyunca Zorlanmış Taşınım	37
3.1.3.6.	Doğal Taşınım Kaynaması	38
3.1.3.7.	Bağlı Hata	39
3.2.	Deney Seti	40
3.2.1.	Tank	41
3.2.2.	Isıtıcı	42
3.2.3.	Açı Ayar Divizörü	43
3.2.4.	Isıtıcı Yüzey Yapısı	43
3.2.5.	Yoğuşturucu	45
3.2.6.	Termokupl	46
3.2.7.	Termokupl Termometresi	46
3.2.8.	Süper Yavaş Çekim Kamerası	47
3.2.9.	Belirsizlik Hesabı	48

3.2.10. Toplam Isı Akısı Belirsizliği	49
3.2.11. Sıcaklık Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlik	50
3.2.12. Isıtıcı Yüzey Sıcaklık Belirsizliği	50
3.2.13. Isı Transfer Katsayısı Belirsizliği	50
3.3. Kaynama Isı Transferinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Modeli . . .	51
3.3.1. 3-B HAD Modeli	51
3.3.2. HAD Çözüm Ağ Yapısı Bağımsızlığı	53
3.3.3. HAD Euler-Euler Yaklaşımı	55
3.3.4. HAD Isıl Analiz Eşitlikleri	58
3.3.5. HAD Başlangıç ve Sınır Şartları	61
3.3.6. HAD Duvar y^+	62
3.3.7. Courant sayısı (CFL)	63
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	64
4.1. Beyaz Kutu Algoritmaları	64
4.2. Kara Kutu Algoritmaları	69
4.2.1. Yapay Sinir Ağları Modeli	70
4.2.2. Destek Vektör Makinesi Modeli	72
4.2.3. Karar Ağacı Modeli	73
4.3. Deneysel Çalışmalar	74
4.3.1. Dijital Görüntü İşleme İle Buhar Kabarcığı Çapı Hesabı	75
4.3.2. Buhar Kabarcığı Dijital İz Haritası	83
4.4. Sayısal Model	85
5. SONUÇ	100
KAYNAKLAR	102
ÖZGEÇMİŞ	115
EK A.MATLAB Optimizasyon Kodları	119
EK B.Deney Sonuçları	121
EK C.MATLAB Buhar Kabarcık Çapı Kodları	140

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Buhar kabarcığı ayrılma çapı	7
Çizelge 3.1. Paslanmaz çelik kabuk XRF sonuçları	44
Çizelge 3.2. Bakır kabuk XRF sonuçları	44
Çizelge 3.3. Alüminyum kabuk XRF sonuçları	44
Çizelge 3.4. Çarpıklık değerlendirme çizelgesi	52
Çizelge 3.5. Ortogonal kalite değerlendirme çizelgesi	52
Çizelge 3.6. Çözüm ağ yapısı istatistikleri	54
Çizelge 3.7. Arayüzey eşitlikleri	57
Çizelge 3.8. Çözüm metodolojisi	61
Çizelge 4.1. Genetik algoritma konfigürasyonu	64
Çizelge 4.2. YAK konfigürasyonu	65
Çizelge 4.3. Farklı NP tiplerine karşı YAK modeli	65
Çizelge 4.4. Hata analizleri	70
Çizelge 4.5. YSA ağ yapısı	71
Çizelge 4.6. Hata analizleri	73
Çizelge 4.7. Hesaplamalarda kullanılan bulgular ve termofiziksel özellikler örnek tablosu	79
Çizelge 4.8. Yeni model hata analizi	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Saf suyun 1 atm kaynama eğrisi [5]	2
Şekil 2.1. Önceki çalışmalar akış şeması	4
Şekil 2.2. Isı transferi iyileştirme [5]	8
Şekil 3.1. Bazı Hesapsal zeka metotları	17
Şekil 3.2. Destek vektör makinesi uzayı	21
Şekil 3.3. YAK arı hareketi	23
Şekil 3.4. YAK akış şeması	26
Şekil 3.5. Genetik algoritma akış şeması	29
Şekil 3.6. Buhar kabarcığı oluşumu	33
Şekil 3.7. Deney seti şematik gösterimi	40
Şekil 3.8. Isıtıcı şematik gösterimleri	41
Şekil 3.9. Fişek ısıtıcı	42
Şekil 3.10. Açık ayar divizörü tasarımı	43
Şekil 3.11. Isıtıcı yüzeyleri SEM görüntüleri	44
Şekil 3.12. Yoğuşturucu şematik görünümü	45
Şekil 3.13. Termokupl	46
Şekil 3.14. Termokupl termometresi	47
Şekil 3.15. Süper yavaş çekim kamerası	48
Şekil 3.16. 3-B Katı Model	51
Şekil 3.17. Çözüm ağ yapısı kesit görüntüsü	53
Şekil 3.18. Çözüm ağ yapısından bağımsızlık	54
Şekil 3.19. Çözüm ağ yapısı	55
Şekil 3.20. Duvar y^+	62
Şekil 4.1. Mevcut sınır şartları ile hata oranı karşılaştırması	66
Şekil 4.2. Çalışma sayısı süre karşılaştırması	67
Şekil 4.3. Doğru N_p değeri seçimi	68
Şekil 4.4. Yeni sınır şartları ile hata oranları karşılaştırması	68
Şekil 4.5. Literatür karşılaştırması	69
Şekil 4.6. YSA modeli	71
Şekil 4.7. DVM karşılaştırma	72
Şekil 4.8. Şematik karar ağacı	73

Şekil 4.9. MAPE karşılaştırma	74
Şekil 4.10. $9 \text{ kW}/\text{m}^2$ ve $R_a=1,275 \mu\text{m}$ çelik ısıtıcı tüm konum açıları	76
Şekil 4.11. MATLAB veri akış şeması	77
Şekil 4.12. MATLAB örnek	78
Şekil 4.13. Yeni model karşılaştırma	80
Şekil 4.14. $R_a=0,23155$ alüminyum yüzeyli ısıtıcıda buhar kabarcığı çapı değişimi	82
Şekil 4.15. $R_a=0,231$ Al. yüzeyli ısıtıcıda kabarcık çapı ısı transfer katsayısı değişimi	82
Şekil 4.16. $36 \text{ kW}/\text{m}^2$ Yatay konumlu ısıtıcı	84
Şekil 4.17. $87 \text{ kW}/\text{m}^2$ ısı akısında 6. saniye buhar hacim oranı	86
Şekil 4.18. $87 \text{ kW}/\text{m}^2$ ısı akısında 6. saniye türbülans kinetik enerji	87
Şekil 4.19. Sayısal analiz sıcaklık farkının zamanla değişimi	87
Şekil 4.20. $87 \text{ kW}/\text{m}^2$ ısı akısında 3. 6. 9. ve 12. saniye sıvı-buhar hacim oranı	89
Şekil 4.21. $87 \text{ kW}/\text{m}^2$ ısı akısında 3. 6. 9. ve 12. saniye TKE	90
Şekil 4.22. $8700 \text{ W}/\text{m}^2$ tek buhar kabarcığı hacim bölgesi (deneysel)	91
Şekil 4.23. $8700 \text{ W}/\text{m}^2$ buhar hacim oranı (HAD)	92
Şekil 4.24. $\alpha = 0^\circ$ 'de ısı akısının sıcaklık farkı ile değişiminin karşılaştırılması	93
Şekil 4.25. Konum açısı değişiminin ısı transfer katsayısına etkisi	93
Şekil 4.26. Konum açısı değişiminin ısı akısı-sıcaklık farkına etkisi	94
Şekil 4.27. 90° konum ısıtıcı $87 \text{ kW}/\text{m}^2$ buhar hacim oranı	95
Şekil 4.28. 90° konumlanmış ısıtıcı $87 \text{ kW}/\text{m}^2$ TKE	96
Şekil 4.29. $\alpha = 0^\circ$ 'de farklı ısı akıları için buhar hacim oranları dağılımı	97
Şekil 4.30. Farklı ısı akılarında $\alpha = 0^\circ$ 'de TKE dağılımı	99

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Alan	(m^2)
$AARE$	Ortalama mutlak bağıl hata	(-)
$ADTree$	Alternatif karar ağacı	(-)
C	Parti büyüklüğü	(-)
c_1	Kabarcıkların kapladığı spesifik alan	(-)
c_2	Kayan kabarcıkların kapladığı spesifik alan	(-)
c_3	Geçici ısı iletiminin sürdüğü spesifik alan	(-)
c_4	c_3 ve c_2 'ye bağlı değişken	(-)
C_p	Özgül ısı	J/kgK
d	Ortalama buhar kabarcığı kalkış çapı	m
E	Bağıl hata	(-)
f	Buhar kabarcığı kopma frekansı	Hz
Gr	Boyutsuz Grashoff sayısı	(-)
h	Isı transfer katsayısı	W/m^2K
h_{fg}	Buharlaşma entalpisi	J/kg
KA	Karar ağacı	(-)
k	Isıl iletkenlik	W/mK
l_s	Kayma mesafesi	m
MAE	Ortalama mutlak hata	(-)
$MAPE$	Ortalama mutlak yüzde hata	%
MSE	Ortalama karesel hata	(-)
N	Buharlaşma bölgesi	(-)
Nc	Doğal taşınım	(-)
Nu	Nusselt sayısı	(-)
OD	Isıtıcı dış çapı	m
P_0	Optimize edilen birinci parametre	(-)
P_1	Optimize edilen ikinci parametre	(-)
P_2	Optimize edilen üçüncü parametre	(-)
P_3	Optimize edilen dördüncü parametre	(-)
P_4	Optimize edilen beşinci parametre,	(-)
P_5	Optimize edilen altıncı parametre	(-)

<i>PPM</i>	Toplam madde miktarının milyonda 1 birimlik kısmı	(-)
<i>Pr</i>	Prandtl sayısı	(-)
<i>Q</i>	Isı	W
<i>q''</i>	Toplam ısı akısı	W/m ²
<i>RBF</i>	Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu	(-)
<i>Re</i>	Reynolds sayısı	(-)
<i>T</i>	Sıcaklık	K
<i>V</i>	Volt	(V)
<i>I</i>	Akım	(A)
<i>YAK</i>	Yapay Arı Kolonisi Algoritması	(-)
<i>YSA</i>	Yapay sinir ağları	(-)
<i>t</i>	Zaman	(s)
<i>u</i>	Hız	m/s ¹
<i>Radf</i>	Radyal zorlanmış taşınım	(-)
$\hat{\alpha}$	Termal difüzyivite	m ² /s
ρ	Yoğunluk	kg/m ³
τ	Frekans	1/s
μ	Viskozite	kg/ms
ω	Pearson parametresi	(-)
γ	Çekirdek boyutu	(-)
Γ^{lv}	Faz değişim oranı	kg/m ³ s
<i>b</i>	Yığın akışkan	(-)
<i>bb</i>	Kızgın buhar kabarcığı bölgesi	(-)
<i>l</i>	Sıvı	(-)
<i>mic</i>	Micro-tabaka buharlaşması	(-)
<i>s</i>	Kayma	(-)
<i>stc</i>	Kayan kabarcık taşınımı	(-)
<i>th</i>	Termokupl konumu	(-)
<i>trns</i>	Zaman bağlı iletim	(-)
<i>v</i>	Buhar	(-)
<i>v</i>	Kinematik Viskozite	Pa.s
λ	Isı penetrasyon derinliği	m

1. GİRİŞ

Kaynama ısı transferi küçük sıcaklık farkları ile yüksek miktarda enerji transferine imkan sağlayan en etkili yöntemlerden biridir. Bu özelliği ile sanayide bir çok alanda karşımıza çıkmaktadır. Nükleer santral reaktörleri, buhar kazanları, gövde borulu taşırnalı buharlaştırıcılar vb. gerçekleştirdikleri enerji dönüşümü için kaynama ısı transferinden faydalanmaktadırlar [1, 2].

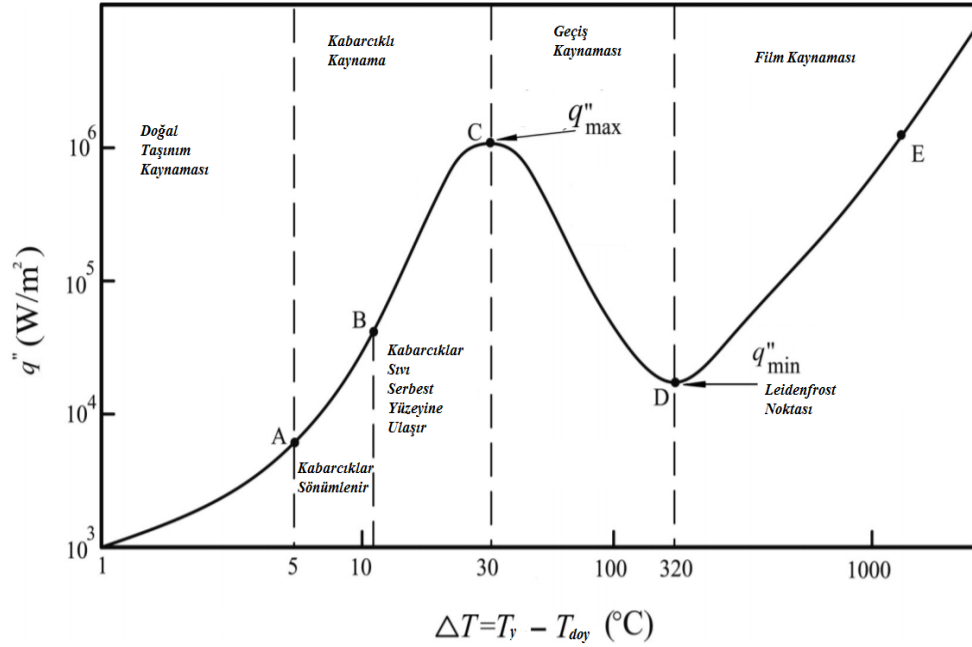
Havuz kaynama, iş akışkanının doyma sıcaklığından daha yüksek sıcaklığa ısıtılan herhangi bir yüzeyin büyük ve durgun bir sıvı kütesinin altında ısıtılması ile akışkanın sıvı fazından buhar fazına geçmesi ile meydana gelir. Kaynama ısı transferi hakkında çalışmalar on sekizinci yüzyılda Leiden'nin [3] buhar filmini gözlemlemesi ile başlar. Isıtma yüzey sıcaklığı ile ısı akısı arasındaki ilişkiyi ise ilk defa Nukiyama [4] ifade etmiştir. Nukiyama, deneysel çalışmasını atmosferik basınç altında, saf su ile gerçekleştirmiştir. Suyun kaynama sıcaklığını 100°C sabit değerde almıştır. Isıtıcının yüzey sıcaklık farkının ise 20-40°C arasında değişimine sebep olan ısı akısı uygulamıştır. Ayrıca ısıtıcı olarak platin, nikel ve nikel-krom teller kullanmıştır. Nukiyama'nın [3] bu çalışması daha sonra gerçekleştirilen bir çok çalışmaya temel teşkil etmiştir.

Havuz kaynaması akışkanın termo-fiziksel özelliklerine, yüzey malzemesine, yüzeydeki çekirdeklenme boşluklarının yapı ve sayısına, ısıtılmış yüzeyin büyüklüğüne ve uygulanan ısı akısına bağlıdır. Havuz kaynaması temel olarak dört esas rejime ayrılır. Bu rejimleri belirlemedeki temel unsur buhar kabarcığının oluşumu, hareketi ve yapısıdır. Bunlardan birincisi doğal taşınım kaynamasıdır. Bu rejimde buhar kabarcığı gözlenmez. İkincisi kabarcıklı kaynamadır. Bu rejimde buhar kabarcıkları tekil veya jet sütunlar şeklinde gözlemlenebilir. Bu rejimde buhar jet sütunları oluşturmaya başlamış ise kabarcıklar sıvı serbest yüzeyine ulaşır. Üçüncüsü geçiş kaynamasıdır. Bu rejimde ise buhar kabarcıkları birleşerek ve ısıtıcı yüzeyinde daha fazla büyüyerek meydana gelirler ve akışkan serbest yüzeyine doğru hareket ederler. Bu rejimde bütün buhar kabarcıkları serbest yüzeye ulaşırlar. Dördüncüsü film kaynamasıdır. Bu rejimde ise ısıtıcı yüzeyi neredeyse tamamen buhar filmi ile kaplıdır. Buhar filminden kopan

büyük buhar kabarcıkları muhakkak akışkan serbest yüzeyine ulaşırlar. Kabarcıklı kaynamada kendi içerisinde ikiye ayrılır. Bunlardan birincisi izole bölge kabarcıklı kaynamadır. İkincisi ise kabarcık jet sütunu bölgesidir [5].

Kaynamada yer alan dört rejim bölgesinden en önemlisi kabarcıklı kaynama rejimi bölgesidir. Bu bölgede ısıtıcı yüzeyi ile akışkan arasında düşük sıcaklık farkı olmasına rağmen yüksek ısı transfer katsayıları elde edilir.

Şekil 1.1 Saf suyun 1 atm (atmosfer) tipik kaynama eğrisini göstermektedir. Bu şekilde doğal taşınım kaynaması A-B noktaları arasındadır. İzole kabarcık bölgesi B-C arasındadır. C-D arası buhar jeti bölgesi B-E arası kabarcıklı rejim bölgesini ifade eder. E-F arası geçiş rejimini ifade eder. F-G arasında kalan bölge ise film kaynama bölgesini göstermektedir.



Şekil 1.1. Saf suyun 1 atm kaynama eğrisi [5]

Bu tezin amacı, silindirik yüzeyler üzerinde gerçekleşen izole bölge kaynama ısı transferinin deneysel, sayısal ve hesapsal zeka metodları kullanılarak ısı transferini incelemektir. Bunu gerçekleştirmek için daha önce literatürde denenmemiş birçok yeni metod kullanılmıştır. Bu çerçevede literatürde daha önce hiçbir araştırmacı tarafından denenmemiş YAK (Yapay Arık Kolonisi) Algoritması ile kaynama ısı transferi

optimizasyonu yapılmıştır. Üç farklı hesapsal zeka metodu (destek vektör makinesi, karar ağacı ve yapay sinir ağı) ile kaynama ısı akısı tahmini gerçekleştirilmiştir. Buhar kabarcığı çapının bilgisayarlı görüntü işleme teknikleri kullanılarak MATLAB platformunda hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak yine MATLAB platformunda izole buhar kabarcığı yükselme mesafeleri dijital olarak ölçülmüştür. Son olarak izole bölgede gerçekleşen kaynama ısı transferi deneyleri yapılmış ve deneysel çalışmanın sonuçları sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırmak için ANSYS FLUENT platformu kullanılmıştır. İlk defa tek ısıtıcı izole bölge kaynama ısı transferinde deneysel sonuçların, 3-B sayısal modellemesi ile karşılaştırılması bu çalışma ile yapılmıştır. Son olarak görüntü işleme tekniği ile elde edilen buhar kabarcığı hacim fraksiyonu sonuçları ile ANSYS FLUENT'ten elde edilen buhar hacim fraksiyonlarının modellenmesi ve ısıtıcı yüzey sıcaklıkları değişimi modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kaynama ısı transferi birçok ısı sistemde kullanılmaktadır. Kullanım alanı geniş olduğu için birçok araştırmacının da ilgi odağı olmuştur. Isı transferi iyileştirme, buhar kabarcığı çapına bağlı ısı transfer katsayısı modelleme vb. çalışmalara literatürde sıklıkla rastlanmaktadır. Kaynama ısı transferi ile ilgili çok kapsamlı bir literatür araştırması yapılmasına rağmen bu tezde çalışılan konuyla doğrudan ilgili olan çalışmalara yer verilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar ana başlık ve alt başlıklar halinde sunulmuştur. Şekil 2.1’de önceki çalışmalar akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.1. Önceki çalışmalar akış şeması

2.1. DeneySEL Çalışmalar

2.1.1. Buhar Kabarcığı Çapı

Literatürdeki birçok çalışma, kabarcıklı havuz kaynamada buhar kabarcığı ayrılma özelliklerini incelemektedir. Bu konudaki ilk çalışmalardan biri de Fritz'e [6] aittir ve havuz kaynama koşullarında bir buhar kabarcığı kalkış çapı modeli oluşturmak için bir kuvvet dengesi yaklaşımı kullanmaktadır. Bu şekilde türetilmiş kalkış çapı modeli, çapın yalnızca Laplace uzunluğunun bir işlevi olduğunu ifade etmektedir.

Kocamustafaoğulları ve Ishii [7] daha sonra bu yaklaşımın basınca bağlı olduğunu ifade etmek için boyutsuz yoğunluk oranı ifadesini ekleyerek geliştirmişlerdir.

Levy[8] kabarcıklaşma modeline bir kuvvet dengesi yaklaşımı eklemiştir. Bu modeli yüzey gerilimi, duvar kayma gerilmesi, sürtünme kuvveti ve kaldırma kuvvetinden oluşturmuştur. Buhar kabarcığının yukarı hareketine yüzey gerilimi ve kaldırma kuvveti sebep olurken diğer etkenlerin buhar kabarcığının yukarı doğru hareketine engel olduğunu ifade etmiştir. Bununla birlikte, Klausner ve ark.[9] daha sonra kaldırma kuvvetlerinin yüksek debilerde ve zorlanmış taşınım içeren akışlarda bile önemli olduğunu göstermişlerdir. Buhar kabarcığı kopma büyüklüğündeki değişimin, sıvı hızındaki ve kızgın duvar sıcaklığındaki dalgalanmadan kaynaklandığını ve kabarcığın duvara tutunma süresi için kararsız bir büyüme terimi öne sürmüşlerdir. Geliştirdikleri model akışkan olarak R-113 kullanan ve düşük ısı akılı sistemlerde kabarcıklaşma özelliklerini iyi tahmin edebildiğini savunmuşlardır[9].

Buhar Kabarcığı davranışını incelemek için yüksek hızlı kamera kullanmaya yönelik en eski çalışmalardan biri Gunther[10] tarafından yapılmıştır. Gunther[10] çalışmasında zorlanmış akışta kabarcık oluşum mekanizması üzerindeki etkisini araştırmıştır. Saniyede 1000 kareye kadar kayıt yapabilen bir film kamerası kullanarak, farklı koşullarda mevcut olan kabarcık boyutunu ve sayısını ölçmüştür.

Görüntüleme teknikleri ilerledikçe zorlanmış akış içeren sistemlerde çekirdeklenme dinamiklerini karakterize etmek için daha fazla çalışma yapılmıştır. Treshchev[11] farklı basınçlarda, farklı ısı akılarında ve farklı akış hızlarında buhar kabarcığı oluşumu hakkında fotoğrafik bir çalışma yapmıştır. Bu parametrelerin çekirdeklenme bölgesi yoğunluğu ve ayrılma çapı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Basınç arttıkça ayrılma çapının azaldığını bulmuştur.

Abdelmessih ve ark.[12] farklı akış hızlarında kabarcıklaşma özellikleri üzerinde benzer bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, akışkan hızındaki artışın kabarcık boyutunun ve ömrünün azalmasına yol açtığını gösterirken, ısı akısındaki artışın kabarcık boyutunun ve ömrünün artmasına neden olduğunu göstermişlerdir. Akışkan

hızının kabarcık oluşum sıklığı üzerinde herhangi bir etki göstermediğini ancak belirli bir değere kadar ısı akısındaki bir artışın belirli bir bölgede kabarcık sıklığında artışa yol açtığını ifade etmişlerdir.

Fritz[6] 1935 yılında yayınladığı çalışmasında buhar kabarcığı ayrılma çapını ifade eden ilk eşitliği geliştirmiştir. Bu ifade de en önemli parametrelerden biri de buhar kabarcığı kopma çapıdır. β ile ifade edilen bu değer saf su için 45° dir ve diğer elektrolitik akışkanlar için 35° dir. Bir çok araştırmacı Fritz'in [6] korelasyonunu referans olarak yeni korelasyonlar üretmişlerdir. Çizelge 2.1'de buhar kabarcığı ayrılma çapı için geliştirilen çeşitli korelasyonlar yer almaktadır.

Ünal[13] deneysel çalışmasında yüksek hızlı kamerayla fotoğraflama tekniğini kullanarak buhar kabarcığı kalkış modelini geliştirmiştir. Kabarcık kalkış çaplarının yaklaşık olarak ortalama kalkış çapına yakın değere sahip olduğunu ifade etmiştir. Ünal[13] bu modeli buhar kabarcığı ayrılma özellikleri için enerji dengesi yaklaşımını kullanarak geliştirmiştir.

Ruckenstein[14], Cole ve Rohsenow[15], Cole [16] ve Fritz [6] modelini değiştirerek içerisinde yüzey sıcaklığının etkisini ve ısı akısının etkisinde dahil etmişlerdir. Yüzey sıcaklığının etkisini dahil etmek için Jacob sayısını kullanmışlardır. Van Stralen ve Zijl[17] kabarcıklı kaynama bölgesinde gerçekleşen kaynama için kabarcık büyüme mekanizmalarını dikkate alarak yeni bir model geliştirmişlerdir.

Jamialahmadi ve ark.[18] elektrolit çözeltilerinin kabarcık çapı için ampirik bir korelasyon geliştirmiştir. Geliştirilen bu korelasyonda sadece ısı akısı etkisini dikkate almıştır. Fazel ve Shafae[19] havuz kaynamada akışkan olarak elektrolit çözeltileri kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında kabarcık ayrılma çapının ısı akısı veya elektrolit konsantrasyonunun artmasıyla arttığı gösterilmiştir. Bu korelasyon ile özellikle elektrolit çözeltilerde buhar kabarcık çapı hesap edilmiştir.

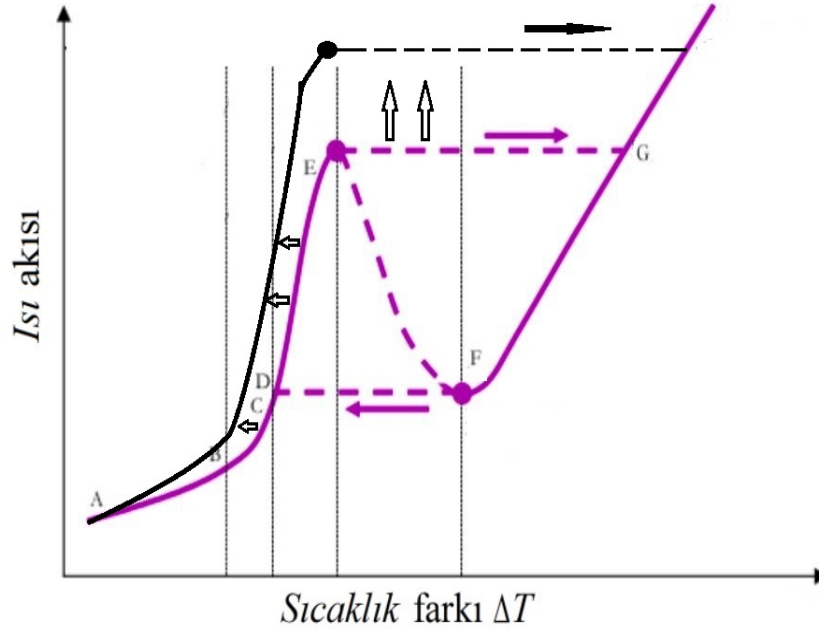
Çizelge 2.1. Buhar kabarcığı ayrılma çapı

Referans	Korelasyon	Deney akışkanı	Not
Fritz [6]	$D_b = 0,0208 \cdot \beta \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_l - \rho_v)}}$	Saf sıvılar ve karışımlar	$\beta = 45suin$
Ruckenstein [14]	$D_b = \left[\frac{3\pi^2 \rho_l \alpha^2 g^{0,5} (\rho_l - \rho_v)}{\sigma^{1,5}} \right]^{1/3} Ja^{1/3} \sqrt{\frac{2\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)}}$		Jacob sayısı $Ja = \frac{c_p(T_w - T_{do})}{h_{fg}}$
Cole ve Rohsenow [15]	$D_b = (1,5 \cdot 10^{-4}) \cdot (Ja^{1,25}) \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_l - \rho_v)}}$	Saf sıvılar	Su için $C = 1,5 \times 10^{-4}$
Cole [16]	$D_b = 0,04 \cdot Ja \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\sigma}{g \cdot (\rho_l - \rho_v)}}$	Saf sıvılar	
Unal [13]	$D_b = 2,4 \cdot 10^{-5} p^{0,709} \frac{a}{\sqrt{b\phi}}$		a,b ve ϕ deiken
Van Stralen ve Zijl [17]	$D_b = 2,63 \left[\frac{Ja^2 \alpha^2}{g} \right]^{1/3} \left[1 + \left(\frac{2\pi}{3Ja} \right)^2 \right]^{1/4}$	Saf sıvılar ve karışımlar	
Kocamustafaoğulları ve Ishii [7]	$D_b = 2,64 \times 10^{-5} \left(\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_l - \rho_v)} \right)^{0,5} \left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \right)^{0,9}$	Saf sıvılar	Yüksek basınç altında
Gorenflo ve ark. [21]	$D_b = C \left(\frac{Ja^2 \alpha^2}{g} \right)^{1/3} \left[1 + \left(\frac{2\pi}{3Ja} \right)^2 \right]^{1/4}$	Düşük sıcaklıkta buharlaşan sıvılar	"C" değişken
Jamialahmadi ve ark.[18]	$\frac{1}{D_b} = 96,75 + \frac{0,01425(q'')}{\ln(q'')}$	Elektrolitik çözeltiler	
Lee ve ark.[22]	$D_b = 2 \left(\frac{25}{2} \sqrt{27} * \alpha * Ja \left(\frac{\rho_l}{\sigma} \right)^{0,5} \right)^2$	Saf sıvılar ve karışımlar	
Fazel ve Shafae [19]	$D_b = 40 \cdot \left(\frac{\mu_v h_{fg} \rho_v}{\sigma \cdot \cos(\beta)} \right)^{1/3} \cdot \left(\sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_l - \rho_v)}} \right)$	Elektrolitik çözeltiler	
Bovard ve ark.[20]	$D_b = c_0 \cdot \left(c_1 + (Ja^2) \cdot (ca^3) \cdot (\alpha/\alpha_s)^{c_4} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_l - \rho_v)}}$	Saf sıvılar	c0,c1,c2,c3,c4 sabit

Bovard ve ark. [20] deneysel çalışmalarında kabarcıklı kaynama bölgesinde gerçekleşen havuz kaynamada yatay silindirik ısıtıcı üzerinde çalışmışlardır. Bu ısıtıcı içerisinde 700 W'lık harici bir rezistans yer almaktadır. Isıtıcının etkin bölgesini hesap ederek ısı transferinin sadece bu bölgeden gerçekleştiği kabulü ile hesaplamalarını gerçekleştirmişlerdir. Isıtıcı yüzey malzemesi olarak paslanmaz çelik, alüminyum, bakır ve pirinç kullanmışlardır. Özellikle bakır ve alüminyum yüzeyler için farklı yüzey pürüzlülükleri de çalışmışlardır. 1000 W/m² - 100000 W/m² ısı akısı aralığında buhar kabarcığı ayrılma çapı hesabı yapmışlardır. Bu çalışmada akışkan olarak artırmış su, ethanol ve aseton kullanmışlardır. Yukarıdaki çalışmalarda elde edilen bazı denklemler Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

2.1.2. Isı Transferi İyileştirme

Isı transferi iyileştirme, ısı sistemlerinin verimini artırmak için çok büyük öneme sahiptir. Kabarcıklı kaynama bölgesindeki ısı transferi iyileştirme çalışmaları, kritik ısı akısı noktasının daha yukarıya denk gelmesini sağlamak için yapılmıştır. Şekil 2.2' de iki ayrı eğri yer almaktadır. Bu eğrilerden yukarıda duran eğri ısı transferinin iyileştiğini göstermektedir. Bu eğriyi takip eden bir sistemin verimi, altta kalan eğriyi takip eden bir ısı sistemine göre fazla olacaktır. Isı transferini iyileştirmek üzere literatürde yapılmış bir çok çalışma yer almaktadır. Bunlardan bazıları bu kısımda verilmiştir.



Şekil 2.2. Isı transferi iyileştirme [5]

Corty ve Foust [23] yatay bakır yüzey üzerinde soğutucu akışkan R – 113, dietilen ve n-pentan kullanarak kabarcıklı kaynama için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü ile kabarcık kopma açısını birlikte ele almışlardır. Ayrıca aktif kabarcıklanma bölgelerini görüntülemişlerdir. Deneyde kullandıkları ısıtma yüzeyinin pürüzlülüğü $0,150 \mu m$ ile $0,575 \mu m$ arasında değişirken, ölçülen temas açısı 45° ile 60° arasında değişmektedir. Duvar sıcaklığının artmasıyla ısı transfer katsayısının ve aktif kabarcıklanma bölgesinde arttığını gözlemlemişlerdir. Pürüzlülüğün duvar sıcaklığını düşürdüğünü ve ısı transfer hızını artırdığını belirtmişlerdir. Corty ve Foust'un [23] deneylerinde yüzey pürüzlülük değerleri oldukça küçük tutulmuştur. Kurihara ve Myers [24] yassı yatay bakır yüzeylerde kaynama ısı transferi deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerinde akışkan olarak saf su, aseton, karbon tetraklorür, n-heksan ve karbon disülfid kullanmışlardır. Genel olarak ısı transfer katsayısının yüzey pürüzlülüğü ile arttığını belirlemişlerdir. Isı transfer katsayısı yüzey sıcaklık farkı grafiğinde, grafik eğiminin pürüzlülük ile arttığını göstermişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün belirli bir değerden sonra ısı transfer hızında bir değişiklik yapmadığını belirlemişlerdir. Çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünün optimum değerini $0,762 \mu m$ olarak ifade etmişlerdir.

Berenson [25] ısıtma yüzeyinin pürüzlendirilerek ısı transfer katsayısının daha fazla artırılabilirliğini ileri sürmüştür. Çalışmasında ısıtıcı yüzeyini pürüzlendirerek, ısı transfer katsayısının % 600 artırılabilirliğini ifade etmiştir. Yüksek pürüzlülüğü olan yüzeylerde, aktif kabarcıklanma bölgesi yoğunluğunun daha fazla olmasından dolayı daha yüksek kaynama ısı transfer katsayısı elde edildiğini ifade etmiştir. Literatürde en çok kullanılan ısı transfer korelasyonlarından biri olan Rohsenow [26] korelasyonu ısı transfer katsayısını hesap etmektedir. Bu korelasyon ısı akısı, basınç değişimi, yüzey gerilimi ve ısıtma yüzeyini göz önünde bulundurarak ısı transfer katsayısı hesabı yapmaktadır.

Prandtl sayısı 0,8-2,0 arasında değişen sıvılar için Eş. 2.1 kullanılır. Rohsenow [26] saf su için bu değeri 1,0 olarak kabul etmiştir. Vachon ve ark. [27] daha sonra Eş. 2.1 de yer alan ve farklı çalışmaların bir parçası olmuş sabitleri bir araya toplayarak denkleme son halini vermişler ve çalışmalarında denklemin bu son halini kullanmışlardır.

$$h = \frac{1}{C_{sf}} \frac{C_{pl}}{(h_{fg})^{0,67}} \left[\frac{1}{\mu_l} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)}} \right]^{-0,33} (q'')^{0,67} (Pr_l)^{-1,7} \quad (2.1)$$

Kozitskii [28] deneysel çalışmasında, ısıtıcı yüzey yapısı iyileştirmeyi amaçlamıştır. Bunun için paslanmaz çelik ısıtıcı üzerinde farklı yüzey pürüzlülükleri çalışmıştır. Bu ısıtıcının yüzey pürüzlülüğü 0,03 μm ile 1,31 μm arasında değişmektedir. 0,095 μm yüzey pürüzlülüğünde en yüksek ısı transfer katsayısı elde etmiştir. Isı transfer katsayısı ile ısı akısı arasında bir ifade üretmiştir. Bu ifade Eş.2.2'de verilmiştir. Bu eşitlikte "m" n-bütan için basınca bağlı olarak 0,15-0,2 arasında değişen bir katsayıdır, h ısı transfer katsayısıdır ve C_1 bir katsayıdır.

$$h = C_1 q'^m \quad (2.2)$$

Kozitskii'ye [28] göre m yüzey pürüzlülüğünden çok az etkilenmektedir. Bu yüzden m=0,7 sabit olarak kabul etmektedir. Kozitskii yüzey pürüzlülüğünün C_1 değerini etkilediğini ifade etmektedir. C_1 değeri için Eş.2.3'ü önermiştir.

$$C_1 = C_2 Ra^n \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.3'te R_a yüzey pürüzlülüğünü ifade eder ve 0,08-0,72 μm arasında değişmektedir. "n" ise basınç düşmesine bağlı değişkeni ifade etmektedir. Burada C_2 'nin basınçla değişmeyen bir sabit olduğu ifade edilmiştir. Nishikawa ve ark. [29] farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip yassı bakır levhalar üzerinde kaynama ısı transferi çalışmışlardır. Akışkan olarak soğutucu akışkan (R-11, R-21, R-113 ve R-114) kullanmışlardır. Pürüzlü yüzeylerin, pürüzsüz yüzeylerden daha fazla yüzey alanına sahip olduklarını ifade etmişlerdir.

Yukarıdaki çalışma ile aynı zamanda Stephan ve Abdelsalam [30] buhar kabarcığı çapının etkisini dahil ettiği yeni bir ısı transfer katsayısı denklemi ortaya koymuşlardır. Eş. 2.4'te yer alan bu ifadenin soğutucu akışkanlar ile ilgili formudur. Diğer akışkanlar için bu denklem farklı biçimler alabilir. Bu ifade buhar kabarcığı çapı değişiminin ısı transfer katsayısını etkilediğini göstermesinden dolayı oldukça önemlidir.

$$\frac{hD_b}{k_l} = 207 \left(\frac{q'' D_b}{k_l T_{doy}} \right)^{0,745} \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right) (Pr_l)^{0,533} \quad (2.4)$$

Stephan ve Abdelsalam [30] Eş.2.4 içerisinde yer alan D_b buhar kabarcığı çapı için yeni bir korelasyon üretmişlerdir. D_b korelasyonu Eş.2.5'te yer almaktadır. Bu ifade de yer alan " β " kopma açısı 45° dir.

$$D_b = 0,146\beta [2\sigma/g(\rho_l - \rho_v)]^{0,5} \quad (2.5)$$

Chowdhury ve Winterton [31], 0,25 μm ile 4,75 μm arasında değişen yüzey pürüzlülüğünde bakır ve alüminyum ısıtıcı ile çalışmışlardır. Isıtıcı duruş açısı 90° dir. Akışkan olarak su ve metanol ile deneyler yapmışlardır. Deneylerinde buhar kabarcığı kopma açısı değişimini de çalışmışlardır. Chowdhury ve Winterton [31] sonuçlarının diğer araştırmacıların sonuçları ile kıyaslamışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasının, Nishikawa ve ark. [30] deney sonuçlarından daha yüksek miktarda ısı transferini

arttırdığını ifade etmişlerdir. Fakat bu gibi deneylerde karşılaştırmaların sadece aynı işleme tabi tutulan yüzeyler arasında yapılması gerektiğini çünkü prosedürün ısı transfer katsayısını önemli ölçüde etkileyebileceğini de ifade etmişlerdir.

Benjamin ve Balakrishnan [32], ortalama pürüzlülüğü $0,20 \mu m$ ile $1,17 \mu m$ arasında değişen alüminyum ve paslanmaz çelik yüzeyler üzerinde su, n-hekzan, aseton ve karbon tetraklorür gibi çeşitli sıvılarla deneyler yapmışlardır. Benjamin ve Balakrishnan [32] ayrıca duvar sıcaklığının bir fonksiyonu olarak buhar kabarcıklarının koaptukları bölgede oluşan aktif boşlukların yoğunluklarını belirlemişlerdir. Bu ifade daha sonra literatürde kabarcıklanma bölgesi yoğunluğu olarak kabul görmüştür. Kabarcıklanma bölgesi yoğunluğunun yüzeyin ortalama pürüzlülüğü arttıkça azaldığını, ısı akısı arttıkça arttığını, kabarcıklanma bölgesi yoğunluğunun sıvıdan sıvıya değiştiğini ifade etmişlerdir. Eş. 2.6'da aktif kabarcıklanma bölgesi yoğunluğu ifadesi yer almaktadır.

$$N = 218,8(\text{Pr})^{1,63} \left(\frac{1}{\gamma}\right) \phi^{-0,4} (\Delta T_{doy})^3 \quad (2.6)$$

ϕ , ortalama pürüzlülük, basınç ve yüzey gerilimi ile değişen boyutsuz bir parametredir. γ , malzeme yüzeyi ve sıvı etkileşimini hesaba katan boyutsuz bir parametredir. Luke [33] çalışmasında ısıtıcı olarak farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip yatay bakır ve çelik silindirik ısıtıcı kullanmıştır. Bu çalışma ile yüzey pürüzlülüğünün ısı transfer katsayısına etkisini araştırmıştır. Kaynama sıvısı olarak propan kullanmıştır. Isıtıcıların yüzey yapısını SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri ile elde etmiş ve 3D topoğrafya olarak göstermiştir.

Sharma ve Hara [34] evaporatif soğutma üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kaynama ısı transferine etki eden bazı parametreleri araştırmışlardır. Akışkan olarak etilen glikol kullanmışlardır. Etilen glikol ile suyu 1/3 oranında karıştırmışlardır. Isıtma yüzeyi olarak alüminyum kullanmışlardır. Optimum yüzey yapısı, pürüzlülüğü ve ısı transfer katsayısını belirlemeye çalışmışlardır. Glikol çözeltisi ile gerçekleştirilen deneylerde elde edilen ısı transfer katsayısının su ile gerçekleştirilen deneylerden daha yüksek olduğu ifade etmişlerdir.

Kang [35], dikey ve yatay silindirik paslanmaz çelik yüzeylerde atmosferik basınçta su ile deneyler yapmıştır. Kang [35], çalışmasını iki farklı pürüzlülükte gerçekleştirmiştir. Çalışmada $0,0151 \mu m$ pürüzsüz ve $0,0609 \mu m$ pürüzlü kabul edilmiştir. Daha önceki araştırmaların bazılarında olduğu gibi, Kang [35], ısı transfer katsayısının yüzey pürüzlülüğü ile arttığına, artışın yatay konumlanmış yüzeylerin aksine dikey yüzeyler için daha önemli olduğu sonucuna varmıştır.

Hahne ve Barthau [36], akışkan olarak $R - 134a$ ve $R - 114$ kullanarak yatay borular üzerinde kabarcıklı kaynama ısı transfer deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Isıtıcının dış yüzeyine çeşitli işlemler uygulayarak farklı yüzey pürüzlülükleri elde etmişlerdir. Altın kaplı bakır boru ($D = 15mm$, $Ra = 0.30 \mu m$), zımparalanmış bakır boru ($D = 8$ ve $15mm$, $Ra = 0.52$ ve $0.40 \mu m$) ve paslanmaz çelik boru ($D = 15mm$, $Ra = 0.18 \mu m$) üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdiler. Yüksek basınçlarda tüpün üst kısmındaki ısı transfer katsayısı düşmesinin ihmal edilebilir olduğunu ifade etmişlerdir. Isıtıcının termal iletkenliğinin azalmasıyla yüzey sıcaklığının daha da artacağını ifade etmişlerdir. Hahne ve Barthau altın kaplamalı ve kumlanmış bakır borular kullanarak yaptığı deneylerde zımparalanmış bakır boruya göre daha yüksek ısı transfer katsayıları elde etmişlerdir.

Pioro ve ark. [37], ısıtma yüzeyi parametrelerinin kabarcıklı kaynama ısı transferi üzerindeki etkilerini içeren kapsamlı bir derleme yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün ısı transfer katsayısını etkileyebilmesi için yüzey pürüzlülüğündeki değişimin aktif kabarcık merkezlerinin çapı aralığında meydana gelmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca ısı transfer katsayısının, yüzey pürüzlülüğü ile maksimuma yükselebildiğinden bahsetmektedirler. Yüzey pürüzlülüğünün kaynama eğrisinde yer alan maksimum ısı akısının ötesine etki etmediğini belirtmişlerdir.

Gorenflo ve ark. [38] sıvı, basınç, malzeme ve yüzey yapısı gibi etkilerin yer aldığı kabarcıklı kaynama içeren bir çok araştırma yürütmüşlerdir. Propan ve bütan gibi hidrokarbonlar dahil olmak üzere birçok soğutucu akışkan test etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün ısı transfer katsayısını artırdığını belirlemişlerdir. Gorenflo ve ark. [39]

diğer bir çalışmalarında kabarcıklı kaynamada yüzeyin aşırı kızgın olması ile buhar kabarcığının büyük olması arasında ilişki olduğunu ifade etmişlerdir. 2000'li yılların başında araştırmacılar ısı transferi çalışmaları için nano yüzeyler ve nano akışkanlar kullanmaya başlamışlardır. Bu çalışmalarda araştırmacılar ısı transfer katsayısından iyileştirmeler elde etmişlerdir [40, 41, 42, 43].

2.2. Teorik Çalışmalar

2.2.1. Optimizasyon Algoritmaları ile Isı Transferi Hesabı

Optimizasyon kelime anlamı itibarı ile en uygun duruma getirme demektir. Isı transferinde de optimizasyondan bahsedince bir çok yöntem akla gelmektedir. Bu kısımda özellikle tez ile ilgili olan sezgisel optimizasyon algoritmaları ve gözetimli öğrenme algoritmaları ile yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Özellikle genetik algoritma 1990'ların ortalarından itibaren araştırmacılar tarafından ısı transferi optimizasyonu için kullanılmaya başlamıştır [44]. Castrogiovanni ve Pasquale [45] çalışmalarında yüksek ısı akılarında boru demeti üzerinde gerçekleşen akış kaynamasında genetik algoritma kullanarak yeni bir model ortaya koymuşlardır. Bu metod tamamen gelişmiş iç akış için tasarlanmıştır. Optimizasyon sonuçları ile deney sonuçlarının uyum içerisinde olduğunu ifade etmişlerdir.

Liu ve ark. [46] çalışmalarında 30 farklı kimyasal katkı maddesi kullanarak ısı transferi iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Deney sonucunu tahmin etmek içinde bir YSA (Yapay Sinir Ağları) modeli oluşturmuşlardır. Bu YSA modelinin tahmin doğruluğunun % 90'dan fazla olduğunu ifade etmişlerdir. YSA modelinin, çalışma akışkanları için uygun katkı maddeleri seçiminde kullanılabilir olduğunu söylemişlerdir.

Balcılar ve ark. [47], ısı transfer katsayısını etkileyen kritik parametreleri belirlemek ve YSA'ya dayanan güvenilir ampirik korelasyonlara sahip olmak için TiO_2 nano-akışkanlarının kaynama ısı transfer özelliklerini incelemişlerdir.

Das ve Swain [48] alışmalarında YSA ve nöro bulanık mantık metodu kullanarak yatay boru demetleri üzerindeki ısı transfer katsayısını tahmin etmişlerdir. YSA metodunda çok katmanlı algılayıcı, genel regresyon sinir ağı ve radyal taban ağı gibi farklı sinir ağı metotlarının performansını, parametreleri değiştirerek incelemişlerdir.

2.2.2. Sayısal Analiz

Kaynama ısı transferi çalışmalarında, deneysel alışmalar Nukiyama'nın [4] ilk deneysel çalışmasından bu yana oldukça büyük mesafe kat etmiştir. Bunun aksine kaynama ısı transferinin sayısal analizi halen gelişim aşamasındadır [49]. Bunun sebebi, bir çok araştırmacı kaynama ısı transferinde düz yüzeylerde 5 farklı ısı transferi mekanizmasının etkili olduğunu belirtmiş olmasına rağmen, sayısal analiz programları ile üç farklı kaynama ısı transferi mekanizmasının etkilerini içeren bir model ortaya koymuşlardır. Bunun sebebi 3-B sayısal analizlerde kaynama ısı transferine etki eden bir çok değişkenin gözardı edilmek zorunda kalınmasıdır. Bunlar yüzey pürüzlülüğü ve yüzey malzemesi vb. olarak araştırmacıların karşısına çıkmaktadır. Bu bölümde son yıllarda kaynama ısı transferi üzerine yapılmış sayısal analizler yer almaktadır.

Liu ve diğ. [50] çalışmalarında kriyojenik gazlar için düz yüzey üzerinden kaynama ısı transferini sayısal olarak modellemişlerdir. Modellerinde VOF (Volume of Fluid) yöntemini kullanmışlardır. Kaynama ısı transferinin tüm bölgelerinde en az birer analiz gerçekleştirmişlerdir. En iyi sonuçları film kaynama bölgesinde elde etmişlerdir [50].

Wang ve ark. [51] sıkıştırılmış sıvı azotun dikey bir yüzey üzerinde kaynama ısı transferini HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Mekanikisi) tabanlı CFX programında UDF (kullanıcı tanımlı kod) yazarak analiz gerçekleştirmişlerdir. alışmalarında iki fazlı akış modellinin ve kabarcıklanma bölgesi yoğunluğu ifadesinin, sıvı azotun kaynama ısı transferi analizinde de kullanılabilir hale getirmeyi amaçlamışlardır. Sonuç olarak ortaya koydukları model ile kısıtlı bir takım verilerin simüle edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Kaynama ısı transferi analizi için geliştirilmiş bir diğer analiz modelide RPI (Rensselaer Polytechnic Institute) dir. RPI içerisinde üç ayrı ısı transfer mekanizması içeren yarı ampirik bir modeldir. Xiaboin ve diğ. [52] deneysel ve sayısal çalışmalarında düz bir yüzey üzerinde sıkıştırılmış sıvı azotun kaynamasını çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar deneysel kaynama eğrileri ile uyumluluk göstermiştir.

Gu ve diğ. [53] RPI modelini kullanarak akış kaynamasının HAD simülasyonunu yapmışlardır. Deneysel verilere kıyasla en doğru çözüm elde etmek için kabarcıklanma bölgesi yoğunluğu (Lemmert ve Chawla [113]), kabarcık ayrılma çapı (Ünal [13]) ve kabarcık frekansı (Cole) [54] etkilerini de çözüme dahil etmişlerdir. Bu korelasyonların modele eklenmesinin daha doğru olduğunu ifade etmişlerdir. Havuz kaynaması karmaşık yapısı nedeniyle birçok sayısal analize de konu olmuştur. Farklı çalışma şartlarında gerçekleştirilen bu analizlerde birbirinden farklı sonuçlar elde edildiği de olmuştur. Boru içi akış kaynamasında Minocha ve ark. [55] optimum konum açısını 75° olarak verirken Abadi ve Meyer [56] $30^\circ - 60^\circ$ arasında optimum konum açısı olacağını belirtmişlerdir.

Alıç ve Kaşka [57] deneysel ve sayısal çalışmalarında silindirik yüzeyler üzerinde gerçekleşen kaynama ısı transferinde ısıtıcı yüzeyine sabit ısı akısı uygulamışlardır. Analizleri zamana bağlı gerçekleştirmişlerdir. Konum açısı yatay düzlem ile 0° olan ısıtıcı için TKE (Türbülans Kinetik Enerji) ve hacim oranlarını zamana bağlı incelemişlerdir. Gerçekleştirdikleri analizde 6. saniyeden itibaren ısıtıcı yüzey sıcaklığında önemli bir değişiklik olmadığını ifade etmişlerdir. 6. saniye için elde ettikleri su buhar hacim oranı ile deney sonuçlarının örtüştüğünü ifade etmişlerdir.

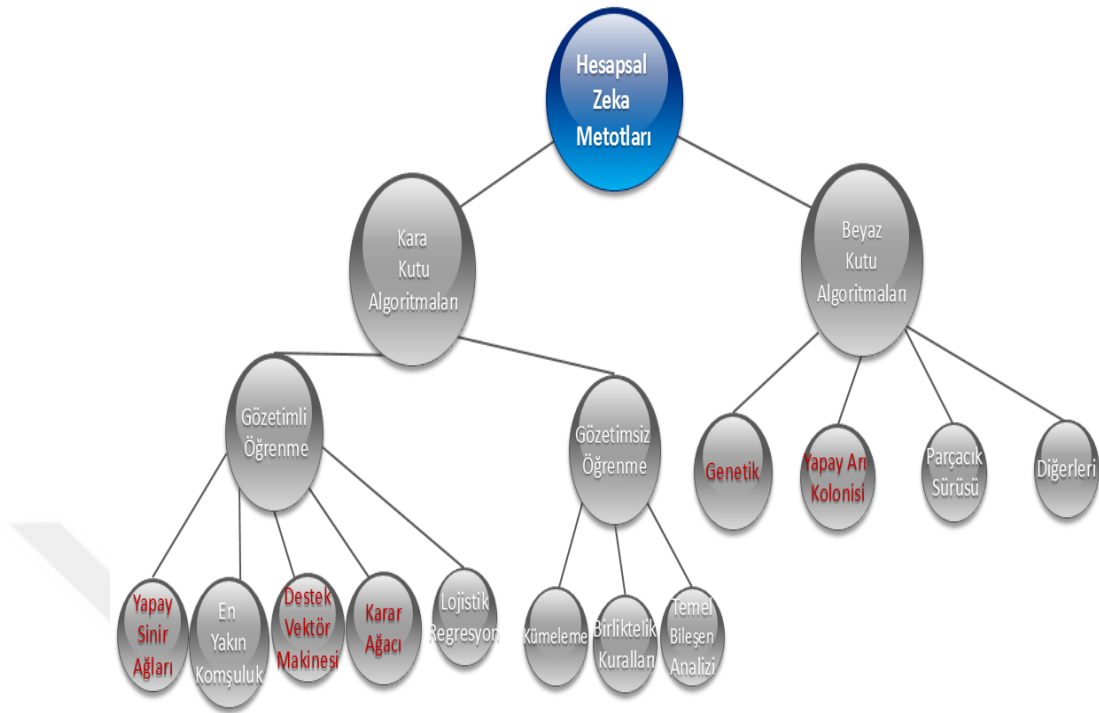
Bu tez çalışmasında literatürden farklı olarak YAK (Yapay Arı Kolonisi) algoritması ile ısı transfer hesabı optimizasyon, makine öğrenmesi algoritmaları ile ısı akısı tahmini ve deneysel sonuçların sayısal analiz ile karşılaştırılması gerçekleştirilecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında bir adet deney seti kurulumu gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ısıtıcı yüzey sıcaklığı, akışkan doyma sıcaklığı, tank basıncı ve ısıtıcıya verilen güç ölçülmüştür. Genel olarak kaynama ısı transferini araştırmak için ısıtıcıya verilen güç ve ısıtıcı yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki gözlemlenmiştir. Deneylerin tekrar edilebilirliğinin sağlanması için akışkan olarak saf su kullanılmıştır. Deneylerde ısıtıcıya sabit güç uygulanmıştır. Isıtıcıya sabit güç sağlamak için varyak kullanılmıştır. Varyak gücü her değiştirildikten sonra yüzey sıcaklığı sabitleşinceye kadar en az 10 dk beklenmiştir. Bu süre sonunda ısıtıcı içerisinde yer alan dört termokupl'ın sıcaklık ortalaması alınmıştır. Yüzey sıcaklığı Fourier ısı iletim kanunu ile hesap edilmiştir. Sayısal çalışmada deneysel çalışma referans olmuştur ve deneysel kurulumun 3-B modeli oluşturularak analizler gerçekleştirilmiştir. Kaynama ısı akısı hesabı için hesapsal zeka metotları ile de optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

3.1. Hesapsal Zeka Metodu

Tez çalışmasının bu bölümünde izole bölgede gerçekleşen kaynama ısı akısı hesabının, hesapsal zeka metodları kullanılarak nasıl tahmin edildiği anlatılmaktadır. Hesapsal zeka metotları genel itibarı ile Şekil 3.1'te gösterilmiştir. Bu metotlar kara kutu algoritmaları ve beyaz kutu algoritması olarak iki grup adı altında incelenmiştir.



Şekil 3.1. Bazı Hesapsal zeka metotları

3.1.1. Kara Kutu Algoritmaları

Hesapsal zeka metotları içerisinde en çok tercih edilen metotlardan biri de kara kutu algoritmaları[58]. Kara kutu algoritmaları yapısal olarak öğrenen ve veriler üzerinde anlamlı tahminler yapabilen bilgisayar algoritmalarını ifade eder ve literatürde makine öğrenmesi olarak isimlendirilir. Bu algoritmalar temelde deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen verilerden model oluşturarak çalışmaktadırlar. Uygulama esnasında çok büyük miktarda verinin elle işlenmesi ve analizinin yapılması çok zordur. Bu sebeple bir problemi çözmek için probleme ait ortamdaki elde edilen veriler kullanılarak, makine öğrenmesi algoritmaları eğitebilir ve çözüm için yeni bir model oluşturulabilir. Oluşturulan yeni model tekrar deney yapılmaksızın tahminsel sonuçları verebilir [58].

Kara Kutu algoritmaları:

1-Gözetimli Öğrenme (Supervised Learning)

2-Gözetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning) olarak 2 guruba ayrılır.

3.1.1.1. Gözetimli Öğrenme

Gözetimli öğrenme metodunda, eğitim verisi içerisinde “label” (etiket) bilgisi yer almaktadır. Yani tahmin için model geliştirmede deneylerden elde edilen verilerden yararlanılmaktadır. Bu şekilde oluşturulan model temel alınarak veri seti içerisinde etiket bilgisi bulunmayan verilerin sonuçlarının tahmin edilmesi hedeflenmektedir[58].

En çok bilinen gözetimli öğrenme algoritmaları sırasıyla aşağıda verilmiştir:

- En Yakın Komşuluk →k-Nearest Neighbors (KNN)
- Yapay Sinir Ağları → Artificial Neural Network (ANN)
- Destek Vektör Makinaları → Support Vector Machine (SVM)
- Karar Ağaçları → Decision Trees (DTs)
- Lojistik Regresyon →Logistic Regression

3.1.1.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

İnsan beyni, gerçek dünyadaki durumlar arasındaki bağlamı bilgisayarların yapamayacağı şekilde yorumluyor. Bu sorunu çözmek için ilk olarak 1950’lerde sinir ağları geliştirilmiştir. Yapay bir sinir ağı ile insan beynini oluşturan nöron ağını taklit etme amaçlanmıştır. Bu şekilde bilgisayara bir şeyler öğrenme kabiliyeti ve insani bir şekilde kararlar alma kabiliyeti kazandırılmaya çalışılmıştır. YSA’lar, bilgisayarları birbirine bağlı beyin elemanları gibi hareket edecek şekilde programlayarak oluşturulurlar. YSA verilen bilgileri anlamlandırmak, öğrenmek ve insan düşüncesini taklit etmek için farklı matematiksel eşitliklerden faydalanırlar.

Tipik olarak, bir yapay sinir ağı, gelişi güzel bir dizi şeklinde düzenlenmiş çok sayıda yapay nöronun (birimler diye de ifade edilir) herhangi bir yerinde bulunabilir. Girişte dış dünyadan çeşitli bilgiler alınır. Bu, YSA' nın işlemeyi veya öğrenmeyi amaçladığı veriyi oluşturur. Girişten sonra veriler bir veya daha fazla gizli katmana gönderilir. Burada gizli katmanın işi, girişi, çıktı biriminin kullanabileceği bir şeye dönüştürmektir [59, 60]. Yapay sinir ağları çoğu zaman bir katmandan diğerine tamamen bağlanabilmektedir. Bu bağlantılar ile bir birimin bir başka birim üzerindeki etkisi tıpkı insan beynine benzer şekilde artmaktadır. Veriler her birimden geçerken, yapay sinir ağı, veriler hakkında daha fazla şey öğrenmektedir. Ağın diğer tarafında (en uç kısım) çıkış birimleri yer almaktadır ve bu ağın kendisine verilen ve işlenen verilere yanıt verdiği yerdir [59, 60]. Bilgisayar bilimcileri yapay sinir ağını ilk denediğinden bu yana, insan beynine benzer bir algoritma geliştirme hususunda çok büyük miktarda yol kat ettiler. İnsan beyninde, girdiler beyine ilk geldiğinde her bir nöron bir bilgi işleme yapar ve sonra bilgi bir üst düzey seviyeye aktarılır. Bu durum tam olarak YSA'lar ile oluşturulmak istenen mekanizmayı açıklamaktadır [61, 62]. Bu şekilde geliştirilen algoritmalar iyi tahminler gerçekleştirebilmektedirler. YSA'ların öğrenmesi için, eğitim seti adı verilen kendilerine tanıtılan çok büyük miktarda bilgiye sahip olmaları gerekir. YSA önemli miktarda veriyle eğitildikten sonra, gelecekteki verileri farklı birimler boyunca gördüklerini (veya veri setine bağlı olarak duyduğunu düşündüklerini) temel alarak sınıflandırmaya çalışacaktır. Eğitim süresi boyunca, makinenin çıktısı, neye uyulması gerektiğinin insan tarafından sağlanan açıklaması ile karşılaştırılır. Aynılırsa, makine onaylanır. Eğer yanlışsa, öğrenmesini ayarlamak için geri yayılımını kullanır [61, 62].

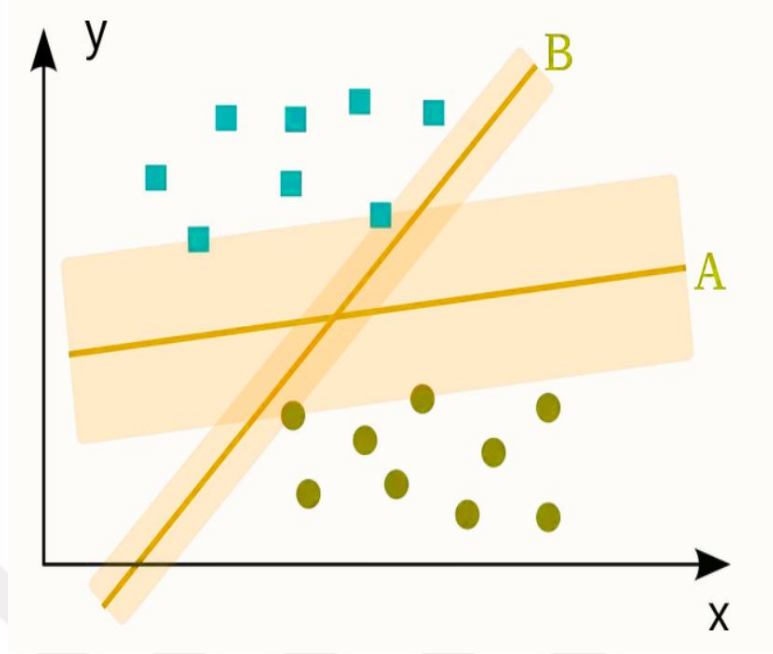
3.1.1.3. Karar Ağacı (KA)

Ağaç tabanlı öğrenme algoritmaları, en çok kullanılan denetimli öğrenme yöntemlerinden biridir. Ağaç tabanlı yöntemler, yüksek doğruluk, kararlılık ve yorumlanma kolaylığına sahip olduğundan tercih edilmektedir. Doğrusal modellerin aksine doğrusal olmayan ilişkileri de oldukça iyi çözümleyebilmektedir. Sınıflandırma veya regresyon öğrenme tekniği, elde edilen her türlü sorunun çözümünde uyarlanabilmektedir [63, 64]. Karar ağacı algoritması, çıkarım yapmak için çok

kullanılan yöntemlerden birisidir. Karar ağacı öğrenmesi, öğrenilen fonksiyonun bir karar ağacı tarafından temsil edildiği, kesikli değerli hedef fonksiyonlarını yaklaştırmak için kullanılan bir yöntemdir. Karar ağacı, sınıflandırma problemlerinde çoğunlukla kullanılan bir denetimli öğrenme algoritmasıdır (önceden tanımlanmış bir hedef değişkene sahiptir). Hem kategorik hem de sürekli giriş ve çıkış değişkenleri için çalışır. Öğrenilen ağaçlar insan okunabilirliğini artırmak için eğer-sonra (if-then) kural setleri olarak temsil edilebilirler. Karar ağacı, bir ağaç yapısı biçiminde sınıflandırma veya regresyon modelleri oluşturmaktadır. Bir veri kümesini daha küçük ve daha küçük alt kümelere bölerken, aynı zamanda ilişkili bir karar ağacı aşamalı olarak geliştirilir. Nihai sonucu, karar düğümleri ve yaprak düğümleri olan bir ağaçtır. Bir karar düğümü, iki veya daha fazla dallara sahiptir. Yaprak düğüm bir sınıflandırma veya kararı temsil eder. Bir ağaçtaki en üstteki karar düğümü, kök düğüm olarak adlandırılan en iyi belirleyiciye karşılık gelir. Karar ağaçları hem kategorik hem de sayısal verileri işleyebilir. Karar ağaçları ikiye ayrılmaktadır [63, 64]. Kategorik Değişken Karar Ağacı: Kategorik hedef değişkeni olan Karar Ağacı, kategorik değişken karar ağacı olarak adlandırılır. Sınıflandırma Karar Ağaçları diye ifade edilebilir [63, 64]. Sürekli Değişken Karar Ağacı: Karar Ağacı sürekli hedef değişkenine sahipse, Sürekli Değişken Karar Ağacı olarak adlandırılır. Regresyon Karar Ağaçları diye ifade edilebilir [63, 64].

3.1.1.4. Destek Vektör Makinesi (DVM)

Destek Vektör Makinesi (DVM) denetimli bir ikili sınıflandırma algoritmasıdır. N boyutlu yerde iki tip nokta kümesi verildiğinde, DVM, bu noktaları iki gruba ayırmak için $(N-1)$ boyutlu bir hiper düzlem oluşturmaktadır [65].



Şekil 3.2. Destek vektör makinesi uzayı

Kağıt üzerinde doğrusal olarak ayrılabilen bir problem ele alınsın. DVM, bu noktaları iki türe ayıran ve mümkün olduğunca tüm bu noktalara yakın yerleştirilen düz bir çizgi bulacaktır. Şekil 3.2’de de görüldüğü üzere düz çizgi A ve B, her ikisi de iki nokta grubunu doğru şekilde ayırmaktadır, ancak A, tüm bu noktalardan olabildiğince uzağa yerleştirilmiştir. DVM, ayırıcı hiper düzlem olarak A’yı seçecektir. Bu şekilde, A ve B çizgilerinin etrafında açık turuncu bir alan yer almaktadır. Buna Marj denir. Hiper düzlemden en yakın noktaya olan mesafesi 2 ile çarpılarak tanımlanır. Başka bir şekilde, hiperdüzlem marjın ortasında kalacaktır. En yüksek marj alanı en uygun hiper düzlemi vermektedir [65]. Makine öğrenmesinde, DVM’ler her geçen gün daha çok kullanılmaktadır. Bununla birlikte DVM, diğer bir çok makine öğrenmesi algoritmasına göre çok daha başarılı sonuçlar elde etmektedir. [66]. Destek Vektör Makinesi (DVM), teorik çözümleri sayısal algoritmalarla birleştiren bir sınıflandırma ve regresyon yöntemidir. İstatistiksel öğrenme teorisinde, bu teknik, Ampirik Risk Azaltma (ARA) yerine Yapısal Risk Azaltmaya (YRA) dayalı bir öğrenme algoritması olarak geliştirilmiştir. DVM endüksiyon prensibi, sonlu numuneler için Vapnik-Chervonenkis [67] (VC) boyutuna bağlı olarak optimal model karmaşıklığını belirlemek için resmi bir mekanizma sağlar. Yapay sinir ağları ile karşılaştırıldığında, DVM tek bir küresel optimal çözüme ulaşabilir ve boyut problemleriyle karşılaşmaz. Bu özellikler genellikle DVM’yi tercih edilen bir teknik haline getirir. Destek

vektör regresyonu (DVR), özellik uzayında doğrusal olmayan bir ilişki yakalama özelliğine sahiptir ve dolayısıyla regresyon analizine etkili bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir [68]. Bu çalışma kapsamında DVM, KA ve YSA metotları ile kaynama ısı transferinde ısı akısı tahmini gerçekleştirilmiştir. Makine öğrenmesi tekniklerinin ısı transferi tahmininde de kullanılabileceği gösterilmiştir. Makine öğrenmesi teknikleri ile yapılan tahmin sonuçları literatürde en çok kullanılan korelasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

3.1.1.5. Gözetimsiz Öğrenme

Gözetimsiz öğrenme metodu ise etiket bilgisi içermez. Veri havuzundaki bileşenler esas alınarak gizli bağlantıların veya grupların ortaya çıkarılması esas teşkil eder[58]. En çok bilinen gözetimsiz öğrenme algoritmaları sırasıyla aşağıda verilmiştir[58]:

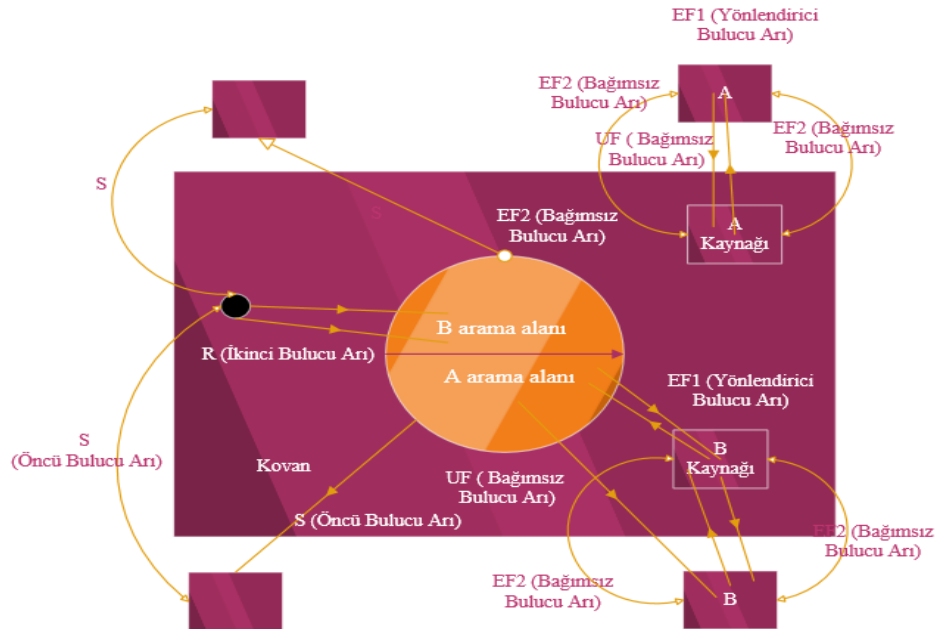
- Kümeleme → Clustering
- Birliktelik Kuralları → Association Rules
- Temel Bileşen Analizi → Principal Component Analysis (PCA)

3.1.2. Beyaz Kutu Algoritmaları

Bu algoritmalarda optimizasyonu yapılacak sayısal model bir operatör tarafından oluşturularak optimizasyon algoritmasına tanıtılır. Optimizasyonun başlangıç ve sınır şartları seçimi yine operatör tarafından gerçekleştirilmektedir. Beyaz kutu algoritmaları, kara kutu algoritmaları gibi doğal süreçleri anlamaya (öğrenmeye) çalışmazlar. Tanımlanan kod için en iyi sonuçları üretmeye çalışırlar. Çeşitli doğa olaylarına benzetilerek üretilmiş çok sayıda beyaz kutu algoritmaları mevcuttur. Bu çalışma kapsamında YAK ve genetik algoritma kullanılmıştır.

3.1.2.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

YAK (Yapay Arı Kolonisi) algoritması Karaboğa [69] tarafından doğada arıların besin arama davranışlarını modellenerek geliştirilmiştir. YAK'da arıların koloniler şeklinde tüm hareketleri bire bir benzetilmiş ve bunun yanı sıra da bazı ihtimaller içinde kabullerde bulunulmuştur. Bu kabullerden biri, her bir nektarın çıkarılmasında sadece bir arının görevli olarak yer almasıdır. Bu yüzden algorithmada yer alan ve belirlenmiş arama sayısı ile görevli bulucu sayısının birbirini ile aynı sayıda olması gerekmektedir. Başka bir kabul ise işçi arı ve gözcü arı sayılarının birbirine kadar olmasıdır. Algoritma bu şekilde çalışmasına rağmen bir sonuca gidip gelen arının görevli olduğu arama kaynağı tükendiğinde (yani sonuca mümkün oluncaya kadar yakın bir şekilde yaklaşımı) bu arının bulucu arı olabilmesi de mümkündür. Bir değer sonuca, aranan sonuca göre ne kadar iyiye, o kaynağın uygunluk değeri de o kadar iyidir. Bu yüzden YAK optimum (en makul) çözümün elde edilmesine çalışır. Bu hususa algorithmayı yöneten kullanıcıyı (operatör) amacı maksimizasyon ya da minimizasyon olsun, optimizasyonun kalitesi çözümün uygunluk değerine denk gelmek zorundadır[69].



Şekil 3.3. YAK arı hareketi

Şekil 3.3'te gösterildiği gibi bulucu arılar aranan sonuç bölgesi etrafında rastgele

olarak değer aramaya başlarlar. Bu şekilde S öncü bulucu arı, R ikinci bulucu arı, UF bağımsız bulucu arı, EF1 yönlendirici bulucu arı ve EF2 ise bağımsız bulucu arıyı ifade etmektedir. Optimizasyon değeri aramasında bulunan bulucu arı bulduğu besin kaynağından optimize edilecek eşitliğe değer iletmeye başlar. Bu değer iletildikten sonra üç ihtimal göze alınır. Bunlar; arama alanına giderek bulduğu sonuç ile ilgili veriyi diğer bulucularla paylaşmak, hiç veri vermeden doğrudan aramaya yönelmek ya da bulduğu sonucu terk ederek yeniden bulucu olarak aramaya gidecektir. YAK ile ilgili genel kod aşağıda yer almaktadır.

Basamak 1: Rastgele arama kaynakları oluşturulur. Bu arama kaynaklarına esas alınarak işçi arayıcı sayısı ve gözcü arayıcı sayısı belirlenir. Buna ek olarak aramanın limit değeri belirlenir ve kontrol için sayaç değişkeni oluşturulur.

Basamak 2: Oluşturulan bu arama kaynaklarının her bir değeri için, çözüm değerleri elde edilmesi amaç fonksiyonunun türüne göre belirlenir.

Basamak 3: Maksimum döngü sayısı kullanıcı tarafından belirlenerek çözüm aranmaya başlanır. Referans sonuçlar alındıktan sonra bu aramaya ait çözüm değeri hesaplanır. Elde edilen çözüm değeri önceki çözüm değerinden daha iyi ise bu çözüm değeri ve çözüm ile ilgili bilgiler kaydedilir. Çözüm değerinde iyileşme varsa limit değeri sıfırlanmaktadır. Çözüm değerinde iyileşme olmadığında ise limit değeri bir miktar artış yapılmaktadır. Limit değeri için belirli bir üst değer belirlemek zorunludur. Belirli bir üst değer belirlenmeyen optimizasyonlarda, optimizasyonun sonsuz döngüye girme durumu söz konusu olacaktır.

Basamak 4: Öncü aramadan sonra ikincil arama başlar. Burada çözüm değeri uygunluk değerine göre bir çözüm kaynağı belirlenir. İkincil aramada yeni çözüm kaynağı üzerinde aramaya başlarlar. Önceki basamakta da ifade edildiği gibi çözüm değerinde iyileşme varsa limit değeri sıfırlanmaktadır. Çözüm değerinde iyileşme olmadığında ise limit değeri bir miktar artış yapılır. Bu basamaktaki en önemli olgu ikinci aramanın uygunluk değerine göre yapılmasıdır.

Basamak 5: Bu basamaktan sonra artık bulucu algoritmaya dahil olur. Bulucu, minimum veya maksimum limit değerlerine takılmadan yeni bir çözüm var mı kontrolünü gerçekleştirir ve yeni bir çözüm değeri üretmeyi amaçlar. Üretilen yeni çözüm değeri ile hafızaya alınmış önceki değer karşılaştırılır. En iyi olan çözüm değeri yeni en iyi olarak belirlenerek bir sonraki basamağa geçilir.

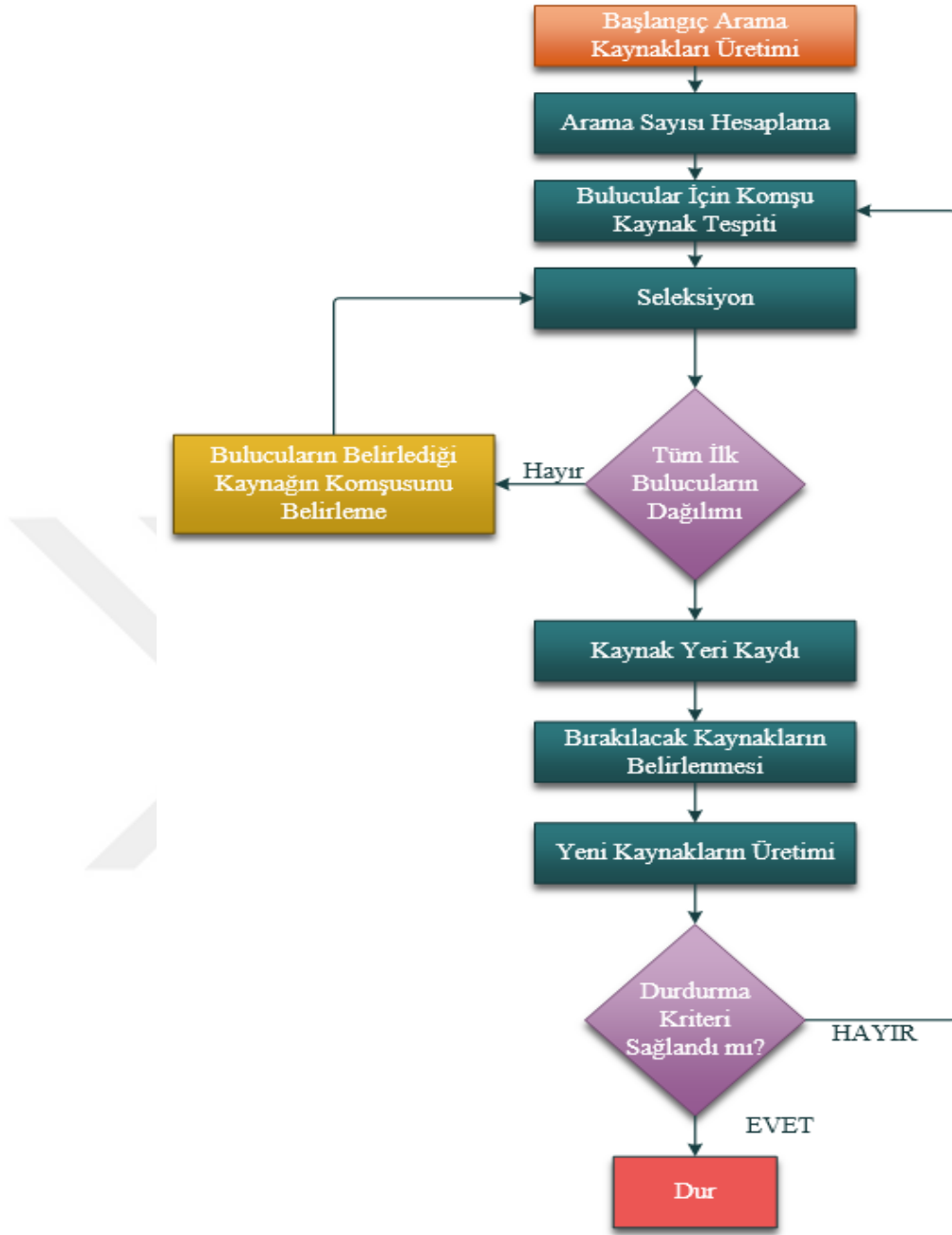
Basamak 6: Maksimum döngü sayısında işlem tamamlanıcaya kadar yukarıdaki işlemler tekrar ettirilir. Durdurma kriterine gelince işlem sonlandırılır. Yukarıda genel hatlarıyla ifade edildiği üzere YAK dörde ayrılabilir. Bunlar rastgele arama kaynaklarının üretilmesi, bulucuların kaynaklarına gönderilmesi, bulucuların uygunluk değerine göre arama kaynağı seçmesi ve en son olarak da arama kaynağının terk edilmesidir.

3.1.2.2. Rastgele Arama Kaynaklarının Üretilmesi

Algoritma için arama kaynakları, arama yapılan çözüm uzayında yer almak zorundadır. Dolayısıyla algoritma ilk olarak arama kaynaklarını belirler. Arama kaynaklarının tespit edilmesi ile ilgili Eş.3.1'de yer almaktadır[69, 70].

$$x_{ij} = x_j^{\min} + rand(0, 1)x_j^{\max} - x_j^{\min} \quad (3.1)$$

Burada arama kaynağı sayısı i ile parametre sayısı ise j ile ifade edilmektedir. Yani önceden belirlenmiş olan bir alt değer ile üst değer arasındaki değerlerden oluşan arama kaynaklarının üretilmesi gerçekleşmiş olur [70, 71].



Şekil 3.4. YAK akış şeması

3.1.2.3. Öncü Bulucuların Arama Kaynaklarına Gönderilmesi

Çözüm aranacak uzayda, çözüm değerleri araştırılırken öncü bulucular arama kaynaklarından herhangi birini rastgele olarak seçerler ve bunu arama kaynağının kalitesini yani çözüm değerini hesaplama için kullanırlar. Elde edilen çözüm değeri kaydedilir. Daha sonra öncü bulucular arama kaynaklarında işlem yaptıkça, kaydedilen bilgiler cevabı aranan problemin amacına göre yenilenerek hafızada tutulmaya devam edilir. Burada sonucu iyileştiren değerler her seferinde hafızada tutulmaya devam eder.

Bu durum aşağıda yer alan Eş.3.2'de yer almaktadır [69, 70, 71].

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij} (x_{ij} - x_{kj}) \quad (3.2)$$

Uygunluk değerlerinin hesaplanmasında literatürde bir çok yöntem yer almaktadır. Bunlardan bazıları turnuva yöntemi, sıralamaya dayalı seçim yöntemi, rulet tekerleği seçim yöntemi, stokastik örneklemedir [71]. YAK' de rulet tekerleği seçim metodu tercih edilmiştir. Rulet tekerleği metodu bir grafik pastasına benzetilebilir. O halde grafik pastanın her bir dilimi bir uygunluk değerini ifade eder. Uygunluk değeri yüksek olan çözüm değeri en büyük pasta dilimini oluşturur. En büyük pasta diliminin sečilme olasılığı diğer dilimlerin sečilme olasılığından daha yüksektir. Aşağıda yer alan Eř.3.3'te bu ifade yer almaktadır.

$$P_i = \frac{uygunluk_i}{\sum_j^{SN} uygunluk_j} \quad (3.3)$$

Bu ifade de hesap edilen uygunluk değerinin toplam uygunluk değerine oranı grafik pastasının dilim genişliğini vermektedir.

3.1.2.4. İkinci Bulucuların Gönderilmesi

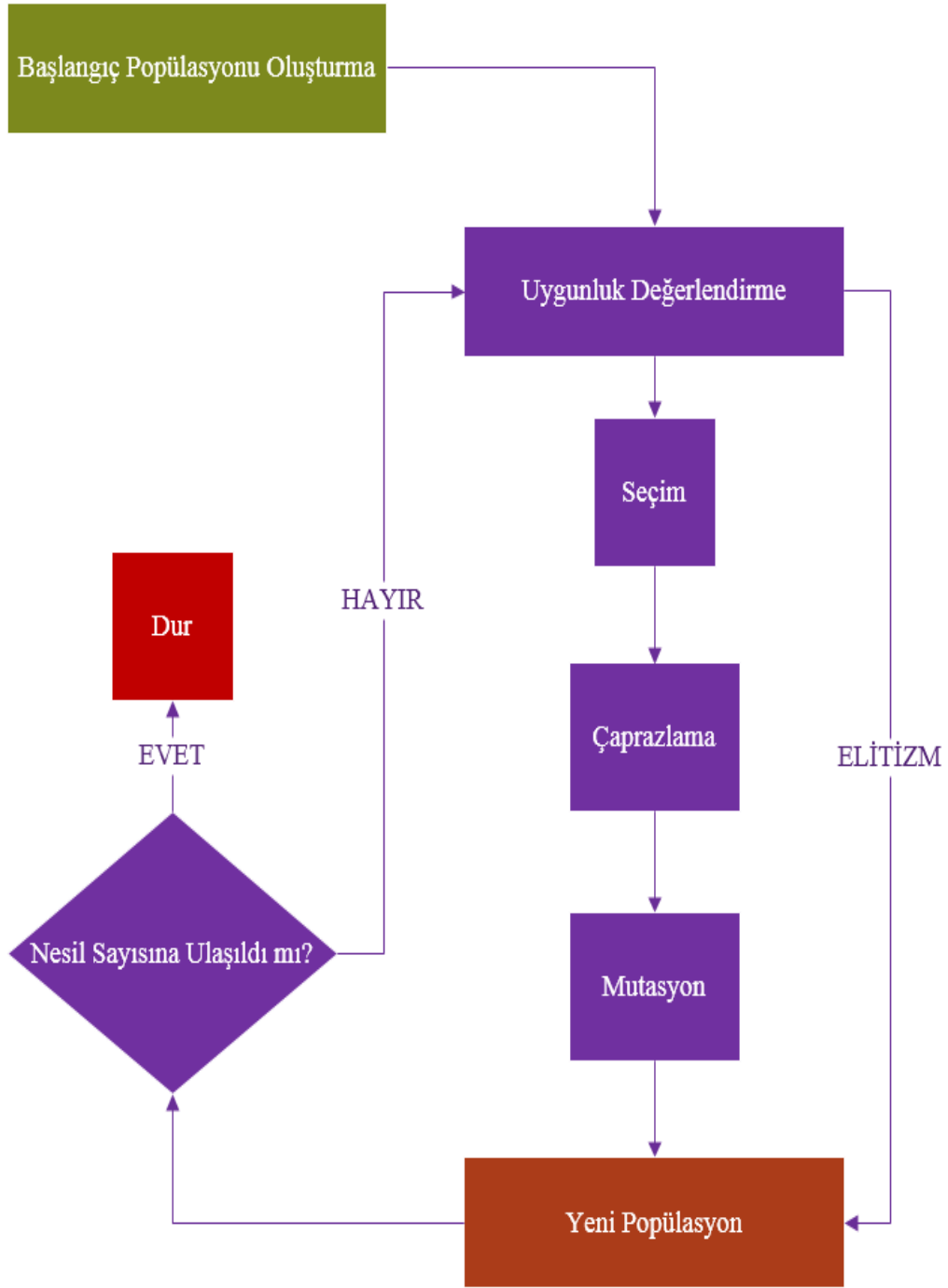
Eşitlik 3.34'te hesaplanan uygunluk değerine göre ikinci bulucular devreye girerler. Algoritma tarafından belirlenen arama kaynaklarında yeni bir çözüm değeri aramaya başlarlar. Buldukları çözüm değeri önceden bulunmuş olan ve kaydedilen çözüm değeri ile mukayese edilir. Bu çözüm değeri önceki çözüm değerinden daha iyi ise sayaç sıfırlanır. İyi değilse sayaç bir arttırılır. İkinci bulucuların tamamı arama kaynağına gidene kadar bu durum kendini sürekli tekrar eder [69, 70, 71]. YAK algoritması akış şeması şekil 3.4'te gösterilmiştir.

3.1.2.5. Arama Sonlandırılması

Çözüm değerinde sonuç iyileşmiyorsa ve maksimum döngü sayısı kadar çalışılarak durdurma kriterine ulaşılmışsa arama sonlandırılarak sonuç ekranda gösterilir[71, 72].

3.1.2.6. Genetik Algoritma

Bu algoritmanın çalışma şeklini anlamak için ilk olarak doğal adaptasyon sürecini iyi ifade etmek gerekir. Çünkü bu algoritmanın felsefesi insanın yeni bir ortama doğal adaptasyon süreci esas alınarak kurgulanmıştır. Bu felsefe genel hatları itibarı ile canlıların uzun yıllar boyunca değişen ortam şartlarına adaptasyonlarını sağlayan ve onları süreç içerisinde "en iyi"leştiren bir proses olarak kabul görmektedir. Adaptasyon fikrinin temel taşlarından biri, Genetik algoritmanın da temelini oluşturur; her zaman sadece "en iyi" olan yaşar ve çoğalır. Başarısız olanlar çoğalamaz ve yok olur. İşte bu sebepten de süre içerisinde kötüye gidiş güçleşir ve sürekli daha iyiye gidilir [73, 74].



Şekil 3.5. Genetik algoritma akış şeması

Esas olarak bu algoritmanın amacı doğal adaptasyon sürecini örnek alarak daha iyi arama ve optimize etmedir. En eski optimizasyon algoritması olması ona çok çeşitli kullanım alanı ve çeşitliliği sunmuştur. Bu algortmada esas olan yöntemin probleme nasıl uyarlandığıdır. Bu algortmanın adapte edilebilir bazı kabulleri (adaptasyon ilkeleri) dışında tüm optimizasyonlarda kullanılacak zorunlulukları (sınırlandırma) yoktur. Algoritma probleme ve operatör seçimine göre biçim alır. Uygulama

açısından literatürde yer alan en esnek optimizasyon algoritmalarından biridir [73, 74]. Bilgisayar ve yazılım tabanında, bu doğal süreci modellemek için diziler ve alt dizilerden yararlanır. Diziler arama alt yapısını, arama değer aralıklarını ve arama özelliklerini içerir. Burada arama değer aralıklarını açacak olursak, çözüm uzayında yer alan ve çözümünde içerisinde yer aldığı birleşik küme içerisindeki tüm öğelerdir. Genetik algoritma yedi ana arama adımından oluşur [73, 74]. Genetik algoritmanın arama adımları başlıklar altında aşağıda ifade edilmiştir. Genetik algoritma akış şeması Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

3.1.2.7. İlk Populasyonu Oluşturma

Populasyon, belirli sayıda optimize edilecek değerden yani çözüm kümesinden meydana gelir. (Birey yerine kromozom ifadesi de kullanılmaktadır.) Başlangıçta populasyon, rastgele oluşturulabilir [73, 74].

3.1.2.8. Uygunluk Değeri

Algoritma birinci populasyonu oluşturduktan sonra, artık her oluşturduğu birey için uygunluk değeri hesaplar. Uygunluk değeri, kromozomların çözüme yakınlıklarını ifade eder. Bu değer ne kadar iyiye, ona sahip olan kromozomun en iyiyi bulmada ömrü o kadar uzundur [73, 74].

3.1.2.9. Seçim

Algoritma uygunluk değeri en yüksek bireyleri, çaprazlanmak üzere seçer. Bunun için YAK'da bahsedilen çeşitli seçim yöntemleri kullanılır. Genetik algoritmada en zahmetsiz (en hızlı) seçim metodu, bireylerin uygunluk değerlerine göre düzenlenip en yüksek değerleri alan bireylere şans tanıma (sıralama seçimi) yöntemidir [74, 75].

3.1.2.10. Çaprazlama

Çaprazlama, en iyi bulma (iyileştirme) prosesini etkileyen önemli bir süreçtir. En iyi sonuçlar arasından gelişigüzel iki birey seçilir ve seçilenler arasında çaprazlama gerçekleştirilir. Genetik algoritma tek noktalı çaprazlama veya iki noktalı çaprazlama gibi farklı çaprazlama yöntemi kullanır.

3.1.2.11. Mutasyon

Var olan yada elde edilen en iyi sonuç, değer havuzunu zenginleştirmek için kullanılır. Bu işlem yapılmadığı takdirde yerel optimum değerlere takılma problemi gerçekleşebilir. Bu durumda da optimizasyon devame etmez [75, 74].

3.1.2.12. Yeni Popülasyon

Yukarıdaki süreç adım-adım uygulandıktan sonra algoritma işlemeye hazır yeni bir popülasyon oluşturur. Bu süreç operatör tarafından ilk başta belirlenecek durdurma kriterine ulaşılıncaya kadar tekrarlanır. Genetik algoritmanın hep doğru sonuç vermesi gerekmez. Zaten bu algoritmanın amacı doğruyu bulmak değil de zamanla en iyi bulmaktır [75, 74].

3.1.2.13. Nesil Sayısı

Algoritma tarafından her iterasyon sonucunda, çaprazlamaya ve mutasyona uğramış bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır ve yeni nesil oluşturulur. Yeni nesil bir önceki nesile göre durdurma kriterine yaklaşmış mı, yaklaşmamış mı kontrol edilir. Durdurma kriteri sağlandıysa optimizasyon durdurulur. Herhangi bir durdurma kriteri belirtilmemişse optimizasyon sonsuza kadar devam eder [74, 76]. Hesaplama zamanı kriteri yönteminde önceden bir hesaplama zamanı veya döngü sayısı belirlenmelidir. Algoritma, bu zaman veya döngü sayısına ulaşıldığında işlem durdurmaktadır. Bu yöntemin faydaları ile birlikte sakıncaları da vardır. Döngünün süreklilik arzetmesi ile iyileşmeler görülebileceği gibi belirlenen döngü sayısı zm için gerekenden fazla

olduğu takdirde işlem çok uzun süreler alabilmektedir.

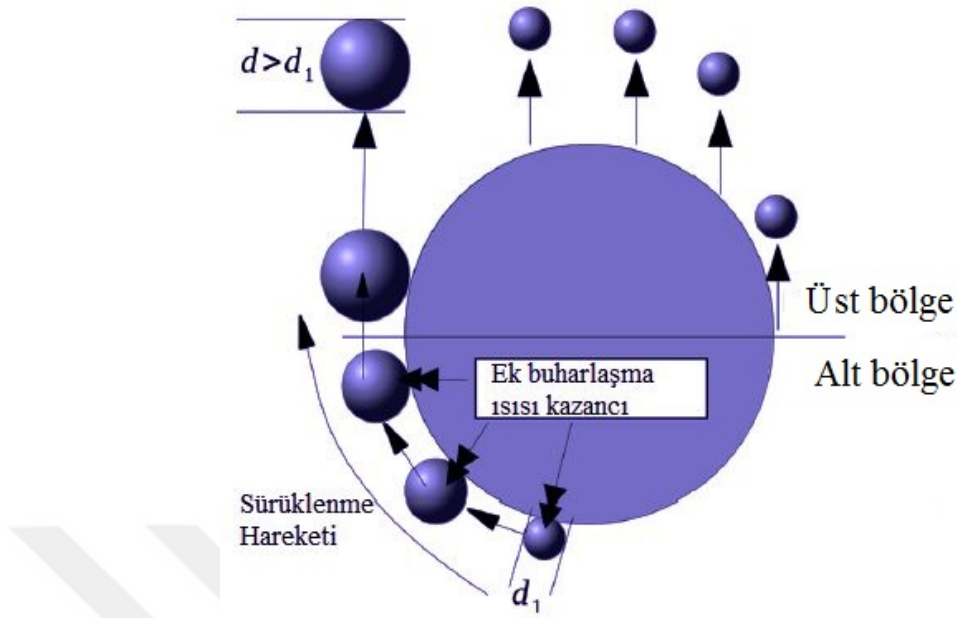
3.1.3. Beyaz Kutu Algoritmaları Optimizasyon Modeli

Bu modelde optimizasyonu yapılacak sayısal model bir operatör tarafından oluşturularak optimizasyon algoritmasına verilir. Optimizasyonun başlangıç ve sınır şartları seçimi yine operatör tarafından gerçekleştirilmektedir. Algoritma durdurma kriteri olarak belirlenen şartlara gelene kadar çalışmaya devam etmektedir. Çıkan sonucun anlamlılığı operatör tarafından ortaya konmak zorundadır.

Bu çalışma kapsamında izole edilmiş buhar kabarcığı bölgesinde gerçekleşen bir kaynama modeli için ısı akısı hesabı optimize modeli ortaya konmuştur. Bu model (1) mikro tabaka gizli ısısı, (2) zamana bağlı iletim, (3) kızgın kabarcık, (4) kayan kabarcık iletimi, (5) zorlanmış taşınım ve (6) doğal taşınımın etkilerini içermektedir.

3.1.3.1. Mikro Tabaka Gizli Isısı

Mikro tabaka gizli ısısı literatürde ilk defa Snyder ve Edwards [77] tarafından ortaya konmuştur. Daha sonra bu fikir diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Buhar kabarcığı büyüme süresi boyunca mikro tabaka buharlaşma ısısını emmektedir. Silindirik ısıtıcı da buhar kabarcığı oluşumu Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu kabule göre mikro tabaka buharlaşmasına bağlı olarak ısı akısı Eş. 3.35'te yer alan ifadeyle hesap edilebilmektedir [78, 79].



Şekil 3.6. Buhar kabarcığı oluşumu

Eş.3.4'te yer alan d buhar kabarcığı çapı, f buhar kabarcığı frekansı, N/A buhar kabarcıklanma bölgesi yoğunluğu, h_{fg} buharlaşma gizli ısısını ifade etmektedir.

$$\left(q''\right)^{mi} = \frac{\pi}{6} d^3 \rho_v h_{fg} \frac{N}{A} f \quad (3.4)$$

Şekil 3.6'ya göre, yatay ısıtma bölümü iki bölgeye ayrılmaktadır. Birinci bölge üst bölge ve ikinci bölge alt bölgedir. Buhar kabarcıkları üst bölgeden kopma gerçekleştirmektedir. Alt bölgeden doğan ve yukarı doğru kıvrımlı bir yolda sürüklenen buhar kabarcığıda üst bölgede kopmaktadır. Sürüklenme hareketi boyunca kabarcıklar buharlaşma ısısı emmeye devam etmektedirler. Sonuç olarak, alt bölgede doğan kabarcıklar, üst bölgeden doğan kabarcıktan daha büyüktür. Eş.3.4'te ortalama kabarcık çapı kullanılmıştır.

3.1.3.2. Zamana Bağlı İletim

Han [80] doktora çalışmasında kaynama ısı transferi esnasında zamana bağlı ısı iletimini incelemiştir. Analiz için aşağıda yer alan bir çözüm modeli önermiştir. Bu eşitliklerde $\delta(t)$ kabarcık penetrasyon derinliğini, $\hat{\alpha}$ termal difüziviteyi, t konumu,

f frekansı, N kabarcıklanma bölgesi yoğunluğunu, d buhar kopma çapını, u hızı, A_{arfc} arayüzey alanını ve P değerleri optimizasyon parametresini ifade etmektedir. Eş.3.5-3.15'te bu ifadeler yer almaktadır.

$$\int_0^{\delta(t)} \frac{\partial T}{\partial t} dx = \int_0^{\delta(t)} \hat{\alpha}_l \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx \quad (3.5)$$

$$T(x=0,t) = T_w \quad (3.6)$$

$$T(\delta(t),t) = T_b \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial T(\delta(t),t)}{\partial t} = 0 \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_0^{\delta(t)} T dx - T_b \frac{\partial \delta(t)}{\partial t} = -\hat{\alpha}_l \frac{\partial T(x=0,t)}{\partial x} \quad (3.9)$$

$$T(x,t) = c_1(t)x^2 + c_2(t)x + c_3(t) \quad (3.10)$$

$$T(x,t) = T_w - T_b \left(\frac{x}{\delta(t)} \right)^2 - 2(T_w - T_b) \frac{x}{\delta(t)} + T_w \quad (3.11)$$

$$\delta(t) = \sqrt{12\hat{\alpha}_l t} \quad (3.12)$$

$$q^{tc}(t) = -k_l \frac{\partial T(x=0,t)}{\partial t} \quad (3.13)$$

$$\left(q'' \right)^{tc} = 2\sqrt{\frac{\rho_l k_l c_{pl}}{3t_w} \Delta T \frac{N}{A} P_1 \frac{\pi}{4} d^2 P_0} \quad (3.14)$$

$$P_0 = \frac{t_w}{\tau} = t_w f \quad (3.15)$$

P_0 'ın sayısal değerinin birçok araştırmacı tarafından 0,75'e eşit olduğu kabul edilmiştir [81]. P_1 Kopen buhar kabarcığı alanının, kalkış sırasında kabarcığın öngörülen alanına oranıdır. P_1 'in sayısal değeri çeşitli araştırmacılar tarafından 1,8 ile 4 arasında bir aralıkta belirtilmiştir [81, 82]. Bu çalışmada P_1 değeri optimizasyon ile araştırılmıştır.

3.1.3.3. Kızgın Kabarcık Oluşumu

Kabarcık oluşumu sırasında, ısı kabarcık gövdesi boyunca buhar fazına nüfuz eder. Sonuç olarak, kabarcıkların içindeki buharın sıcaklığı doyma noktasından daha yukarı bir dereceye kadar kızgınlığı artmaktadır. Buhar fazı için basitleştirilmiş tek boyutlu kararsız hal Fourier-Biot denklemini bütünleştirerek, aşağıdaki gibi bir ifade yazılabilmektedir [83]. Bu eşitlikte $\hat{\alpha}$ ısı difüzyon katsayısını göstermektedir.

$$\int_0^{\delta(t)} \frac{\partial T}{\partial t} dx = \int_0^{\delta(t)} \hat{\alpha}_v \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx \quad (3.16)$$

$$T(x=0, t) = T_w \quad (3.17)$$

$$T(\delta(t), t) = T_b \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial T(\delta(t), t)}{\partial t} = 0 \quad (3.19)$$

İkinci dereceden bir polinom olan Eş.3.16'yı çözmek için aşağıdaki eşitliklerin uygulanması gerekmektedir. Eş.3.17, 3.18 ve 3.19' da yer alan sınır şartları uygulandığında, Buhar fazı boyunca dinamik bir boyutlu sıcaklık dağılımı aşağıdaki biçimi alacaktır. Eş.3.20'de bu ifade verilmiştir.

$$\left(q''\right)^{bsh} = 2\sqrt{\frac{\rho_v k_v c_{pv}}{3t_g} \Delta T \frac{N}{A} P_2 \frac{\pi}{4} d^2 (1 - P_0)} \quad (3.20)$$

P_2 boyutsuz bir parametredir. Buhar kabarcığı çapının maksimum ısıtma alanına oranını ifade etmektedir. Küresel buhar kabarcıkları için çap ifadesi ($x^2 + y^2 = R^2$) olduğuna göre ortalama buhar kabarcığı kopma alanı aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir.

$$A_{ort} = \frac{\int_{-R}^{+R} A dx}{\int_{-R}^{+R} dx} = \frac{\int_{-R}^{+R} (y^2 - R^2) dx}{\int_{-R}^{+R} dx} = \frac{2}{3} \pi R^2 \quad (3.21)$$

Düz bir yüzeyden geçen bir küre şeklinde buhar kabarcığı için için, P_2 'nin teorik değeri Eş.3.22'ye eşit olacaktır.

$$P_2 = \frac{\frac{2}{3} \pi R^2}{\pi R^2} = \frac{2}{3} \quad (3.22)$$

P_2 değeri bu çalışmada yukarıda hesaplanan değerinden farklı olarak ele alınacaktır. Bunun sebebi ısıtıcı yüzeyinin silindirik olmasıdır. Bu sebepten dolayı P_2 değeri optimizasyon ile tahmin edilmiştir.

3.1.3.4. Zamana Bağlı Kabarcık Sürüklenme İletimi

Isıtıcı rezistansın alt bölümünde oluşan buhar kabarcıkları kopmadan önce yukarı doğru sürüklenmeye ve ısıtıcı yüzeyinden enerji almaya devam etmektedirler. Bu durum sürüklenme yapan buhar kabarcığının daha da büyümesine sebep olmaktadır. Thorncroft ve diğ.[84] çalışmalarında sürüklenme yapan buhar kabarcıklarının kopma çapının, sürüklenme yapmadan ısıtıcının üst tarafından kopan kabacıklardan 1,6 kat daha büyük olduğunu belirtmişlerdir.

$$l_s d = P_0 \left(\frac{N}{A}\right)^{-\frac{1}{2}} d \quad (3.23)$$

Zamana bađlı kabarcık sűrűklenme iletiminin hesaplanması için kabarcık sayısının ve kabarcıklanma alanını bilinmesine ihtiyaç vardır. Teorik olarak bunu hesaplamak için Eş.3.23 kullanılmaktadır. Zamana bađlı kabarcık sűrűklenme iletimi denklemini Eş.3.24'te yer almaktadır.

$$\left(q''\right)^{stc} = 2\sqrt{\frac{\rho_l k_l c_{pl}}{3t_w}} \Delta T \frac{N}{A} P_3 d \left(\frac{N}{A}\right)^{-\frac{1}{2}} P_0 \quad (3.24)$$

3.1.3.5. Radyal Eksen Boyunca Zorlanmış Taşınım

Buhar kabarcığı büyüme sırasında, kabarcık içindeki buhar sıvıyı dışarı doğru itmektedir. Bu durumda radyal ekseninde bir kabarcık hareket oluşmaktadır. Radyal ekseninde zorlanmış taşınım ısı akısı hesaplama ifadeleri Eş.3.25-3.30'da verilmiştir. Eş.3.25'te buhar kabarcığının ısıtıcı radyal eksenini boyunca hızını ifade etmektedir. Eş.3.26,3.27 ve 3.28 ile radyal ekseninde ortalama Nusselt [85] sayısı hesaplanmıştır. Eş.3.30 ile radyal eksen boyunca ısı akısı hesaplanmıştır [83].

$$u^{radial} = \frac{d/2}{\tau_w} \quad (3.25)$$

$$Nu_r = 0.453 Re_r^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad (3.26)$$

$$Re_r = \frac{\rho_l u^{radial} (d/2)}{\mu l} \quad (3.27)$$

$$\overline{Nu_r} = \frac{\int_0^r Nu_r 2\pi r dr}{\int_0^r 2\pi r dr} = (4/3) Nu_r \quad (3.28)$$

$$A_{a_{rfc}} = P_4 \frac{N \pi}{A} d^2 (1 - P_0) \quad (3.29)$$

$$\left(q''\right)^{rad} = h_r P_4 \frac{N \pi}{A} \frac{\pi}{4} d^2 (1 - P_0) (T_w - T_b) \quad (3.30)$$

3.1.3.6. Doğal Taşınım Kaynaması

Zuber[86] kabarcıklı kaynamada doğal taşınımın etkisini araştıran ilk çalışmalardan birini yapmıştır. Daha sonraları bir çok araştırmacı doğal taşınım kaynamasını araştırmışlardır. Buhar kabarcıklarının oluşumundan etkilenmeyen ısı transfer alanı doğal ısı taşınımına maruz kalır ve buradaki ısı transferi aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\left(q''\right)^{Nc} = h_{Nc} C_{Nc} (T_w - T_b) \quad (3.31)$$

h_{Nc} taşınım ısı transfer katsayısıdır. Bu tezde, Nusselt sayısı silindirin dış çapına dayanan ortalama Nusselt sayısı Churchill ve Chu [87] korelasyonu ile hesaplanmaktadır.

$$Nu = \frac{h \cdot d}{k} \quad (3.32)$$

$$\overline{Nu}_d = \left(0,6 + \frac{0,387 \cdot (Grod \cdot Pr)^{1/6}}{\left(1 + \left((0,559/Pr)^{9/16}\right)\right)^{8/27}} \right)^2 \quad (3.33)$$

Doğal taşınım ısı transferi hesaplamasında buhar kabarcıklarının hareketinden etkilenmeyen alanda dikkate alınmıştır. Doğal taşınımına özgü alanı C_{Nc} 'yi hesaplamak için kabarcıktan etkilenen tüm alanları toplam yüzey alanından çıkarmak gerekir[86].

Doğal taşınım için spesifik alan Eş.3.34'e eşittir.

$$C_{Nc} = 1 - c_1 - c_2 - c_4 \quad (3.34)$$

$$c_1 = \frac{N \pi}{A} d^2 \left[P_0 \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{4} + (1 - P_0) \right] \quad (3.35)$$

$$c_2 = \frac{\pi}{4} d^2 P_5 \frac{N}{A} \quad (3.36)$$

$$c_3 = \sqrt{\frac{N}{A}} P_3 d \quad (3.37)$$

$$c_4 = P_0 (c_3 - c_2) \quad (3.38)$$

Yukarıdaki eşitlikler (3.34-3.38) ve optimizasyonu gerçekleştirilen deneysel veriler Fazel'in [83] çalışmasından alınmıştır. Optimizasyon algoritmaları en iyiyi bulmak için yazılmış kodlardır. Hangi parametrelere göre en iyiyi bulması gerektiği yine operatör tarafından algoritmaya tanıtılmaldır. Bu tez çalışmasında en iyiyi hesaplamak için bağıl hata kullanılmıştır.

3.1.3.7. Bağıl Hata

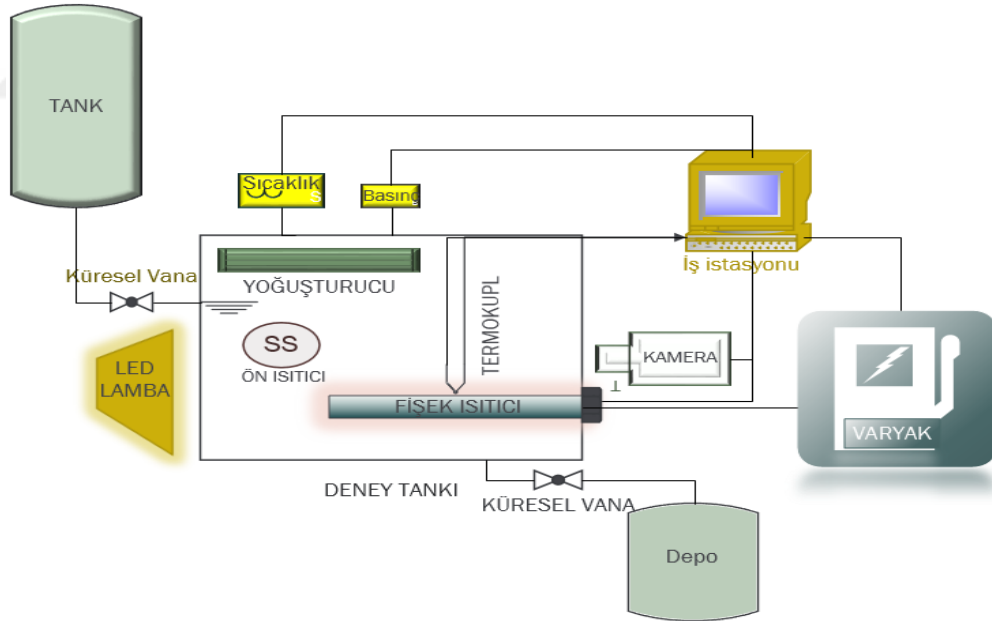
Bağıl hata, gerçek değere ne kadar yaklaşıldığını oransal bir şekilde ifade eden hata çeşididir. Sayısal anlamı ise gerçek değer ile yaklaşık değer farkının gerçek değere oranı olarak ifade edilmektedir. Elde edilen bağıl hata değerleri toplanarak deney sayısına bölüldüğünde ise ortalaması elde edilmiş olunur. Bu tezde sayısal eşitlikleri optimizasyonunda kullanılan bağıl hata ifadesi Eş.3.39'da yer almaktadır.

$$E = \sum_{i=1}^n \text{mut} \left(\left[\frac{(q/A)^{opt}}{(q/A)^{exp}} - 1 \right] \right) \quad (3.39)$$

Optimizasyon için yazılan kod ek.A'da yer almaktadır.

3.2. Deney Seti

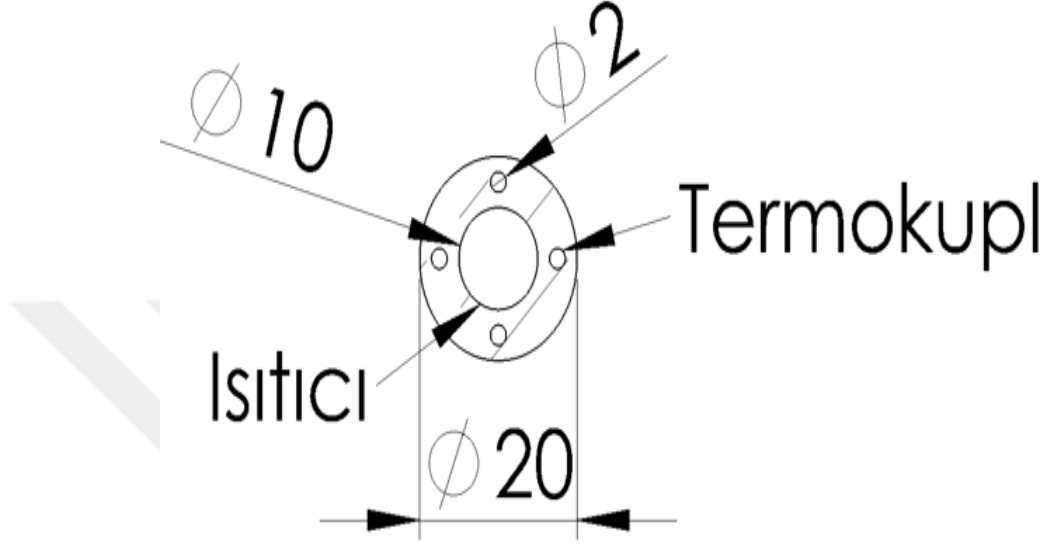
Şekil 3.7’de tasarlanıp, kurulan havuz kaynama sisteminin deneysel şeması verilmiştir. Akışkan olarak saf su kullanılmıştır. Deney atmosfere açık gerçekleştirilmiştir. Kaynama sıvısı doyma sıcaklığındadır. Deneyde kullanılan tank ölçüleri 250 mm x 250 mm x 400 mm dir. Sistemde iki adet ısıtıcı yer almaktadır. İlk ısıtıcı ön ısıtıcı olup sistemi doyma sıcaklığında tutmak için kullanılmaktadır. İkinci ısıtıcı, sistemde deneylerin gerçekleştirildiği ısıtıcıdır ve literatürde fişek [88, 89] ısıtıcı diye tabir edilmektedir. Bu ısıtıcıların en önemli özelliği ısı dağılımını neredeyse homojen olarak gerçekleştirebilmeleridir. Fişek ısıtıcının çapı 20 mm ısıtma yüzeyi uzunluğu 100 mm ve tank içerisine yatayla 0° açı yapacak şekilde konumlanmıştır. Her deneyden sonra yatay ile konum açısı 15° artırılarak 0° - 15° - 30° - 45° - 60° - 75° için deney tekrarlanmıştır.



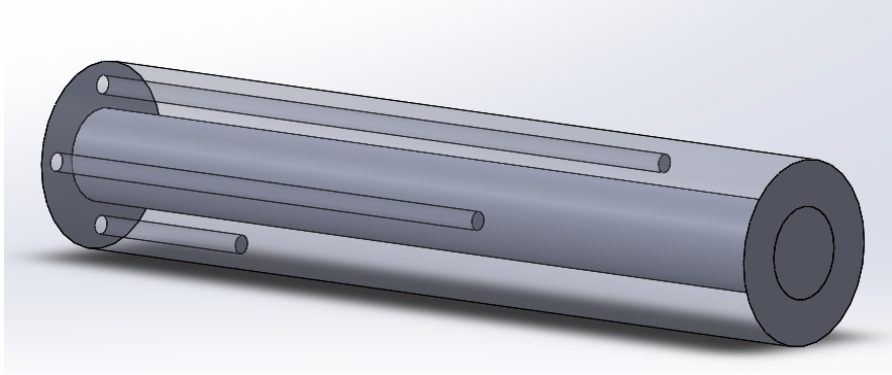
Şekil 3.7. Deney seti şematik gösterimi

Deney esnasında ısı akışı sürekli değiştirilmiş ve her değiştirmeden sonra sistemin dengeye gelmesi beklenmiştir. Sistem dengeye geldikten sonra yüzey sıcaklığı sabitleşmiş ve kamera ile görüntü alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyde ısı akısını değiştirmek için varyak kullanılmıştır. Fişek ısıtıcı yüzey sıcaklığını ölçmek için literatürde en çok kullanılan K tipi termokupl tercih edilmiştir [90, 91, 92]. Fişek

ısıtıcının yüzeyine yakın 4 adet termokupl yerleştirilmiştir. Termokupl'ın yerleşimi Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Ayrıca sistemde iki adet küresel vana, bir adet yükleme deposu, bir adet boşaltma deposu ve DC (Doğru Akım) led projektör kullanılmıştır.



(a) Isıtıcı 2-B teknik resim



(b) 3-B şematik gösterimi

Şekil 3.8. Isıtıcı şematik gösterimleri

3.2.1. Tank

Tank kaynama ısı transferinde, içerisinde yığın şeklinde akışkanın yer aldığı elemandır. Dış cidarı 6 mm kalınlıkta üç kat temperlenmiş şeffaf camdan imal edilmiştir. Tankın üst kısmında kapak yer almaktadır. Bu tankın ölçüleri 250 mm x 250 mm x 400 mm'dir ve 25 lt deney akışkanı almaktadır. Bu tank içerisinde 330 mm yüksekliğine kadar

sabit hacimde deney akışkanı yer almaktadır. Tankın dış cidarı görüntü alabilmek için yalıtılmamıştır. Isıtıcı etrafındaki sıcaklık kaybını gidermek için ikinci ısıtıcı ile akışkan sürekli ısıtılmıştır.

3.2.2. Isıtıcı

Bu çalışmada dış yüzeyi üç farklı malzemedен yapılmış fişek tipi ısıtıcılar kullanılmıştır. Bunlar paslanmaz çelik, bakır ve alüminyumdur. Isıtıcının dış çapı 20 mm ve uzunluğu 100 mm'dir. Fişek ısıtıcı Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Isıtıcının merkezinde 700 W gücünde bir rezistans yer almaktadır. Isıtıcının kabuk kısmında termokupl yerleştirmek için 2 mm çapında delikler yer almaktadır. Her bir deliğe bir adet termokupl yerleştirmek suretiye toplam 4 adet termokupl yerleştirilmektedir.

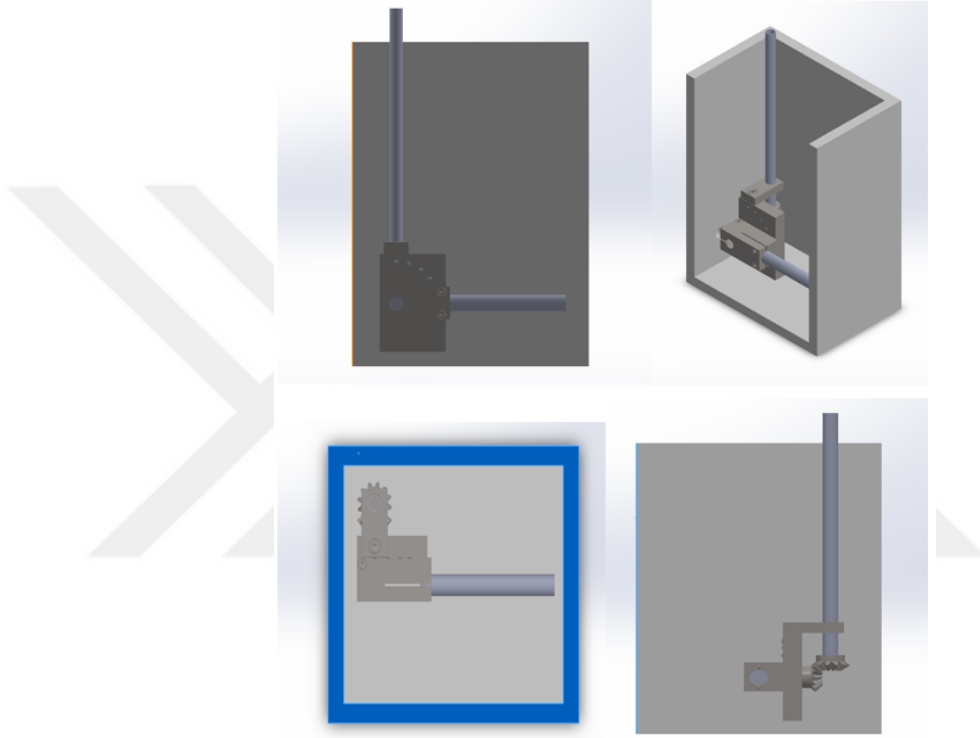


Şekil 3.9. Fişek ısıtıcı

Isıtıcıların yüzey pürüzlülüğü Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yer alan Hommel W5 cihazı ile ölçülmüştür. Isıtıcı yüzeyi oldukça geniş olduğu için 5 mm aralıkla 20 ölçüm alınmış ve deneylerde ortalama yüzey pürüzlülük değeri kullanılmıştır. Malzemelerin yüzeyi mekanik olarak zımparalanarak pürüzlendirilmiştir. Bunun için tornada sabit devir sayısında üzerleri farklı kalınlıklardaki zımparalar ile zımparalanmıştır.

3.2.3. Açı Ayar Divizörü

Deneylerde kullanılan ısıtıcıların açısını ayarlamak için paslanmaz çelikten divizör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Divizörün her bir hareketi ısıtıcının açısını 15° değiştirmektedir. Tasarlanan divizörün şematik gösterimi Şekil 3.10'da verilmiştir.

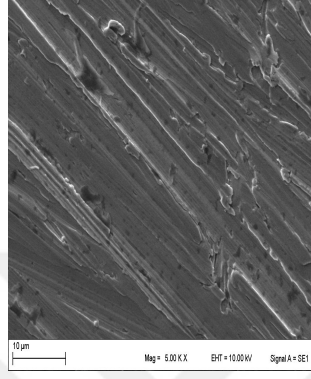


Şekil 3.10. Açı ayar divizörü tasarımı

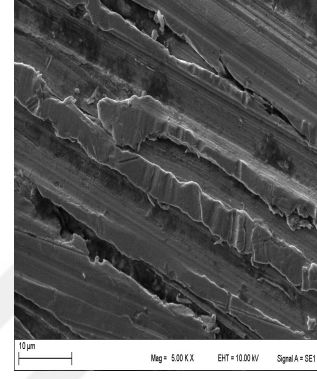
3.2.4. Isıtıcı Yüzey Yapısı

Isıtıcı yüzeyinin pürüzsüz halinin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ÜSKİM (Üniversite-Sanayi-Kamu İşbirliği Geliştirme ve Araştırma Merkezi) laboratuvarında yer alan ZEISS / EVO LS10 cihazı ile alınmıştır. Yüzeyin 5000 kat yakınlaştırılmış görseli Şekil 3.11'de yer almaktadır. Bu işlem ile malzemelerin yüzey karakteristikleri görsel olarak sunulmuştur. Paslanmaz çelik malzemenin yüzey yapısı bakır ve alüminyuma göre daha az girintili-çıkıntılıdır ve derin yarıklar içermemektedir. Yüzey malzemesinin XRF analizleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ÜSKİM laboratuvarında yer alan BRUKER S8 TİGER cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Piyasada çok çeşitli metal

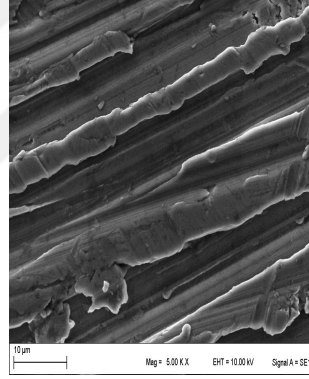
alaşım malzeme yer almaktadır. Bu işlem ile malzeme cinsinden kesin emin olunması amaçlanmıştır. Deneyin tekrar edilebilirliği açısından deneylerde kullanılan malzeme türünün içeriğinin verilmesi gerekli görülmüştür. Çizelge 3.1-3.3'te XRF sonuçları yer almaktadır.



(a) Çelik yüzey SEM görüntüsü



(b) Bakır yüzey SEM görüntüsü



(c) Alüminyum yüzey SEM görüntüsü

Şekil 3.11. Isıtıcı yüzeyleri SEM görüntüleri

Çizelge 3.1. Paslanmaz çelik kabuk XRF sonuçları

Element	Fe	Cr	Ni	Mn	Cu	Na	Si	Mo	Al	Co	V	Cl	S	Ca	K
Konsantrasyon%	70,06	18,47	8,10	1,35	0,45	0,38	0,35	0,22	0,20	0,12	0,10	0,09	0,06	0,03	0,02

Çizelge 3.2. Bakır kabuk XRF sonuçları

Element	Cu	Fe	S	Al	Cr	Zn	Cl	Yb	K	Ni	Ru	Hf
Konsantrasyon%	98,13	0,45	0,35	0,28	0,22	0,14	0,10	0,09	0,07	0,03	0,03	15 PPM

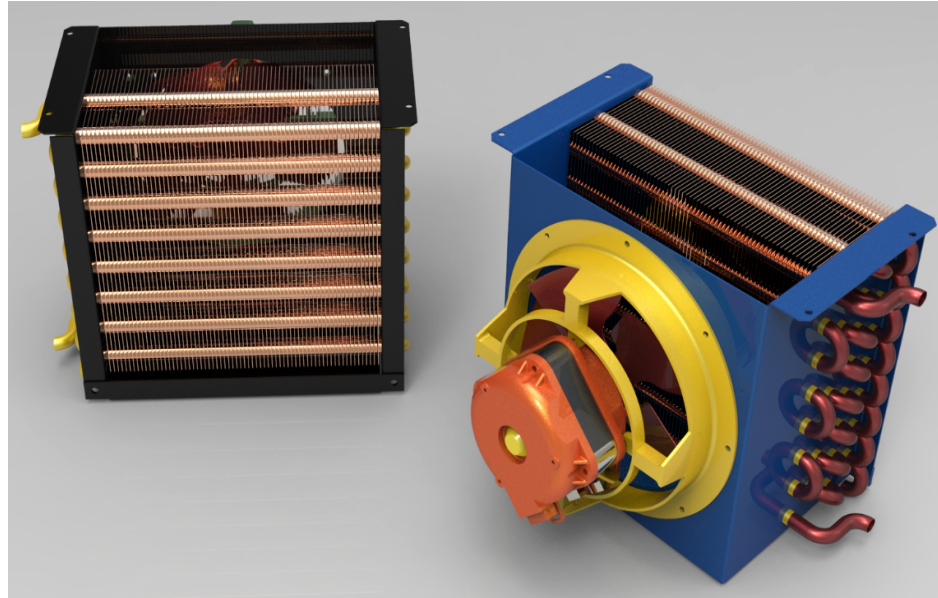
Çizelge 3.3. Alüminyum kabuk XRF sonuçları

Element	Al	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Na	Cr	Mn	Cl	S	K	Zr	Ni,Ti,Pb
Konsantrasyon%	88,94	4,76	2,33	1,34	0,82	0,52	0,35	0,3	0,15	0,11	0,08	0,05	0,04	0,03

Bu çalışmada her bir ısıtıcı elaman için üç farklı yüzey pürüzlülüğü çalışılmıştır. paslanmaz çelik için yüzey pürüzlülüğü $R_a= 0,1162 \mu m$, $0,4373 \mu m$ ve $1,275 \mu m$ dir. Bakır için yüzey pürüzlülüğü $R_a= 0,2185 \mu m$, $0,8151 \mu m$ ve $1,275 \mu m$ 'dir. Alüminyum için yüzey pürüzlülüğü $R_a= 0,2315 \mu m$, $0,6567 \mu m$ ve $2,0982 \mu m$ 'dir. Yüzey pürüzlendirme işlemi sabit $30 d/d$ hızında torna tezgahında 80,200 ve 400'lük (50x50) zımparak kağıdının, sabit hızda 5 kez tüm yüzeye temas ettirilmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Bu işlem ile homojen pürüzlülük dağılımı elde edilmiştir. Pürüzlülük ölçümü KSÜ Makine Mühendisliği laboratuvarında yer alan HOMMEL W5 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.5. Yoğuşturucu

Bu çalışmada hava soğutmalı ısı değiştirici kullanılmıştır. Hava soğutmalı ısı değiştiricilerde sıcak akışkan boru içerisinden akarken diğer taraftan akan soğuk hava ile taşınım ısı transferi sağlamaktadır. Deneyde kullanılan yoğuşturucu şematik modeli Şekil 3.12'de sunulmuştur.



Şekil 3.12. Yoğuşturucu şematik görünümü

3.2.6. Termokupl

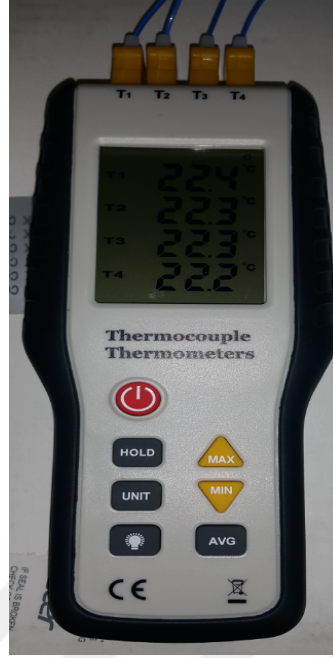
Kaynama ısı transferi çalışmalarında sıklıkla K tipi termokupl kullanılmıştır [90, 91, 92]. K tipi termokupl nikel (-) ve nikelkrom (+) bacaktan oluşur ve bu termokupl oksitleyici ortamlarda daha çok kullanılır. 1300°C'ye kadar mV değeri üretmesine rağmen yaygın olarak 1200°C'ye kadar kullanılabilir. Şekil 3.13'te bu çalışmada kullanılan K tipi termokupl sunulmuştur.



Şekil 3.13. Termokupl

3.2.7. Termokupl Termometresi

Sıcaklık farkına orantılı olarak soğuk nokta uçlarında mV değerlerinde gerilim üretilir. Termokupl termometrelerde bu mV değerindeki akımları okuyarak sıcaklık değerlerine dönüştürür. Bu çalışmada KSÜ Makine Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan 4 kanallı Ht-9815 dijital K Tipi termokupl termometresi kullanılmıştır. Bu termometre Şekil 3.14'te görüldüğü gibidir.



Şekil 3.14. Termokupl termometresi

3.2.8. Süper Yavaş Çekim Kamerası

Bu tez çalışmasında, buhar kabarcıklarının hareketi süper ağır çekim kamerası (Sony DSC-RX III) ile kaydedilmiştir. Bu kamera Zeiss 24-200 mm F2.8 lense sahiptir ve 40x (1000 fps) süper ağır harekete kadar full hd (1920 x 1080 px^2) kayıt yapabilmektedir. Literatürde bir çok araştırmacı saniyede 1000 kare görüntü alan (fps) kamera kullanmışlardır ve bu hızın buhar kabarcığı hareketini takip etmek için yeterli olduğunu ifade etmişlerdir [93, 94, 95, 96, 97, 98]. Ayrıca bu kameranın tercih edilmesinin bir diğer sebebi görüntü alma hızı artmasına rağmen görüntü kalitesinde azalma olmaması ve dahili yakınlaştırma lensi ile buhar kabarcıklarının daha net görüntülenebilmesidir. Şekil 3.15'te süper yavaş çekim kamerası sunulmuştur.



Şekil 3.15. Süper yavaş çekim kamerası

3.2.9. Belirsizlik Hesabı

Deneysel çalışmalarda, sonuçların doğruluğunu etkileyen hata miktarlarının bilinmesi önemlidir. Literatürde yer alan standartlara uygun olarak yapılan bir deney düzeneğinin elde edilen verileri değerlendirildiğinde, hatalar iki farklı şekilde göz önüne çıkmaktadır. Bunlar; deney düzeneğinin ve ölçüm aletlerinin yapısından kaynaklanan kaçınılmaz hatalar ve deney yapan araştırmacının ihmallerinden sebep olduğu hatalardır [99, 100]. Belirsizlik Analizi, sonuçların iyi okunabilmesi için oldukça önemlidir. Belirsizlik analizinde sistemin ölçülmesi gereken büyüklük W ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olsun. Bu durumda W Eş.3.40'daki gibi ifade edilir [99, 100].

$$W = W(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (3.40)$$

Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$ ve W büyüklüğünün hata oranı δW ise, toplam hata Eş.3.41'deki gibi ifade edilir.

$$\delta W = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \dots + \delta_n^2} \quad (3.41)$$

Bu çalışmada belirsizlik dört durum için hesaplanmıştır. Birincisi, termokupl ölçüm hassasiyetidir. İkincisi gücü ölçmek için kullanılan ampermetre ve voltmetrorenin hassasiyetidir. Üçüncüsü ısıtıcı yüzey sıcaklığı hesabında kullanılan ilk iki belirsizliğin toplam etkisidir. Dördüncüsü ise ısı transfer katsayısı hesabında kullanılan yukarıdaki ikinci ve üçüncü belirsizliğin toplam etkisidir. Bu çalışmada, bütün cihazlar dikkatlice kalibre edilmiştir. Bu nedenle, kalibrasyon hatalarına bağlı belirsizlikler ihmal edilebilir düzeydedir. Tüm ölçümler 2 kez tekrarlanmıştır. Her cihazın belirsizliği, üretici tarafından sağlanan kullanma kitapçığındaki verilerden elde edilmiştir.

3.2.10. Toplam Isı Akısı Belirsizliği

Isı akısı belirsizliği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Burada Q ısıtma gücünü V voltu I ise akımı ifade etmektedir. Deney için ölçüm cihazlarının belirsizlikleri kullanım kılavuzlarından alınarak hesap edilmiştir.

$$Q = IV \quad (3.42)$$

$$W_Q = \left[\left(\left(\frac{\partial Q}{\partial I} \right) w_I \right)^2 + \left(\left(\frac{\partial Q}{\partial V} \right) w_V \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.43)$$

$$\frac{W_Q}{Q} = \left[\left(\frac{w_I}{I} \right)^2 + \left(\frac{w_V}{V} \right)^2 \right]^{1/2} = \left[\left(\frac{0,05}{5,5} \right)^2 + \left(\frac{1}{60} \right)^2 \right]^{1/2} = \% \pm 9,1 \quad (3.44)$$

Tahmini maksimum ısı akısı belirsizliği %9 hesaplanmıştır. Bu tezde maksimum $87kW/m^2$ ısı akısında çalışılmıştır. Bu durumda ısı akısı belirsizliği maksimum $\pm 7,830 kW/m^2$ dir.

3.2.11. Sıcaklık Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlik

Termokupl hata oranı kullanım kılavuzunda 0,2 K olarak verilmektedir. Bu durumda dört termokuplın yüzde belirsizliği aşağıdaki şekilde hesaplanır. Burada suyun kaynama sıcaklığı 100 °C olduğu için ifade 100'e bölünmüştür.

$$\frac{4 \times 0,2}{4 \times 100} = \% \pm 0,2 \quad (3.45)$$

3.2.12. Isıtıcı Yüzey Sıcaklık Belirsizliği

Rezistans yüzey sıcaklığı aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$T_y = T_{ih} - \frac{(Q) \ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} \quad (3.46)$$

Hesaplama Eş.3.46 ile aynı biçimde yapılmıştır. Rezistans yüzey sıcaklığına ait toplam belirsizlik 0,22 °C olarak hesaplanmıştır. Burada r1, r2, k ve L belirsizliklerinin ihmal edilmiştir. r1, r2, k ve L değerleri sırasıyla $r_1 = 7,5 \text{ mm}$, $r_2 = 10 \text{ mm}$, $k = 15 \text{ W/mK}$ ve $L = 0,10 \text{ m}$ 'dir.

3.2.13. Isı Transfer Katsayısı Belirsizliği

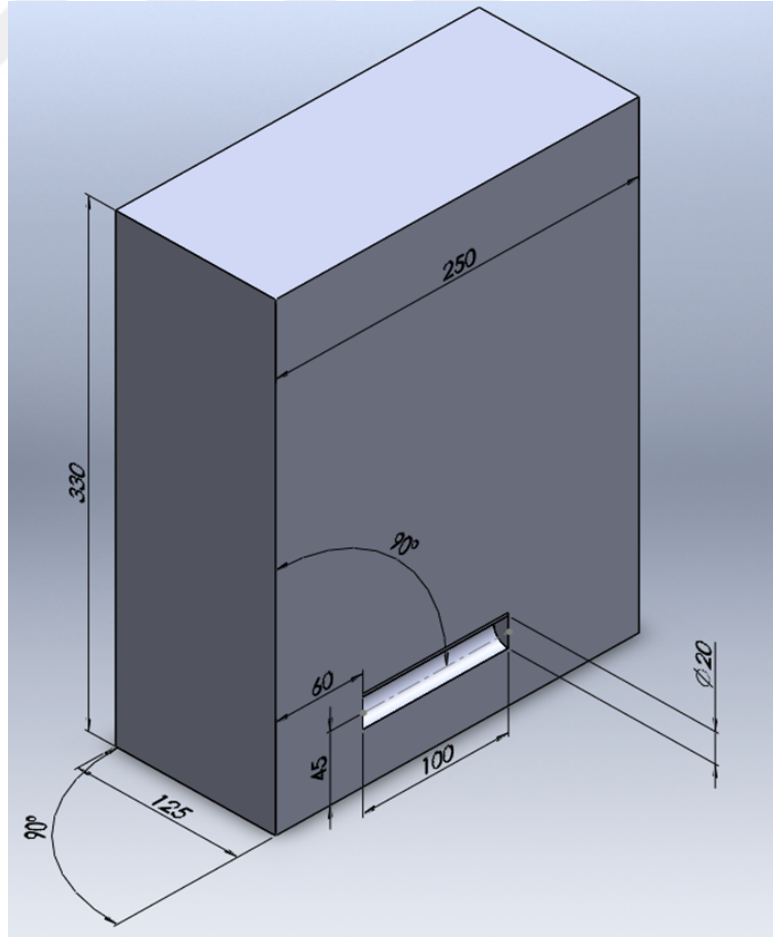
Isı transfer katsayısının belirsizliği Eş.3.40 ve Eş.3.41'den yararlanılarak ve Eş.3.43'teki gibi diferansiyel eşitlik yardımı ile %9 olarak hesaplanmıştır.

$$h = \frac{Q}{\Delta T} (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (3.47)$$

3.3. Kaynama Isı Transferinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Modeli

3.3.1. 3-B HAD Modeli

Bu tez çalışması için deney düzeneğinin üç boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Şekil 3.16'da yatay ile 0° (dikey kenar ile 90°) açı yapacak şekilde konumlanmış ısıtıcı için 3-B HAD modeli gösterilmiştir. Bu model analiz süresinden tasarruf sağlayabilmek ve iş istasyonunun kapasitesini aşmamak için Simetrik olarak gerçekleştirilmiştir. Simetrik analizlerde eleman sayısı yarı-yarıya az olmaktadır. Bu model ile ısıtıcı konum açısının her 15° değişiminde yüzey sıcaklığının değişimi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmı KSÜ Makine Mühendisliğinde bulunan iş istasyonu ve lisansı ANSYS HAD çözücüsü ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16. 3-B Katı Model

Kaynama ısı transferi fiziksel yapısı muhtevasıyla faz değişimi içermektedir. Bu durumda sıvı fazdan, buhar fazına geçiş olmaktadır. Bu sebepten dolayı sayısal analizi çeşitli güçlükler içermektedir. Bunların en önemlilerinden biri çözüm ağ yapısının çok iyi olmasıdır. Bu çalışmada analiz sonuçları ısıtıcının yüzey sıcaklığı ortalaması olarak alınmaktadır. Isıtıcı yüzey sıcaklığının hassas bir şekilde elde edilebilmesi için ısıtıcı civarında çok iyi bir ağ yapısı icra edilmiştir. Analizde 20 mm dış çapında bir ısıtıcı içi boş şekilde tasarlanmıştır. Sonrasında dış çapı 22 mm olacak şekilde bir dış kabuk eklenmiştir. Isıtıcı ile dış kabuk arasında çok iyi bir çözüm ağ yapısı inşa edilmiştir. Isıtıcı civarına inşa edilecek çok iyi çözüm ağ yapısı akışkan hacminde oluşturulacak üçgensel ağ yapısına da referans olmuştur. Isıtıcı civarında oluşturulan ağ yapısı tamamen dikdörtgenlerden oluşturulmuştur, en-boy oranı 1,2-1,7'yi aşmamakla birlikte maksimum çarpılığı 0,135'dir ve minimum ortagonal kalitesi 0,95'dir. Bu değerler literatürde çokça tercih edilen sayısal analiz programlarından biri olan ANSYS-FLUENT için en iyi çözüm ağ kalitesini ifade etmektedir [101, 102, 103]. Çözüm ağ kalitesi sınıflandırma Çizelge 3.4 ve 3.5'de yer almaktadır [104].

Çizelge 3.4. Çarpıklık değerlendirme çizelgesi

Mükemmel	Çok iyi	İyi	Kabul edilebilir	Kötü	Kabul edilemez
0-0,25	0,25-0,50	0,50-0,8	0,8-0,94	0,95-0,97	0,98-1,00

Çizelge 3.5. Ortogonal kalite değerlendirme çizelgesi

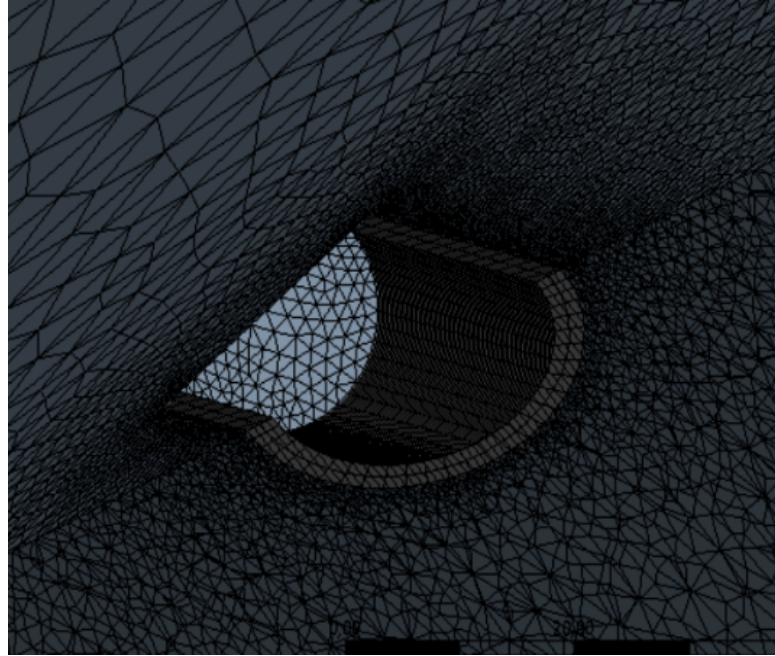
Mükemmel	Çok iyi	İyi	Kabul edilebilir	Kötü	Kabul edilemez
0,95-1	0,7-0,95	0,20-0,69	0,15-0,20	0,001-0,14	0-0,001

Bu çalışmada yüksek kalitede hazırlanan analiz bölgesi çözüm ağ yapısı, analizin kararlılığını sağlamıştır. Isıtıcı silindir-kabuk bölgesi hariç, çözüm ağ yapısında üçgensel çözüm ağı tercih edilmiştir. Üçgensel çözüm ağı kullanılarak ağ eleman sayısının azaltılması amaçlanmıştır. Eleman sayısının artması bilgisayarların işlem kalitesini olumsuz etkilemektedir. Eleman sayısı çok olan analizin sonuçlanması çok daha uzun sürede gerçekleşmektedir. Çözüm süresini en aza indirmek için kabuk bölgesinin dış cidarından başlayarak kaynama havuzunun en dış cidarına

doğru büyüyen bir çözüm ağ yapısı tercih edilmiştir. zm ağ yapısı oluşturma işlemi ANSYS'in tabanında yer alan çözüm ağı (MESHING) oluşturucu ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.2. HAD zm Ağ Yapısı Bağımsızlığı

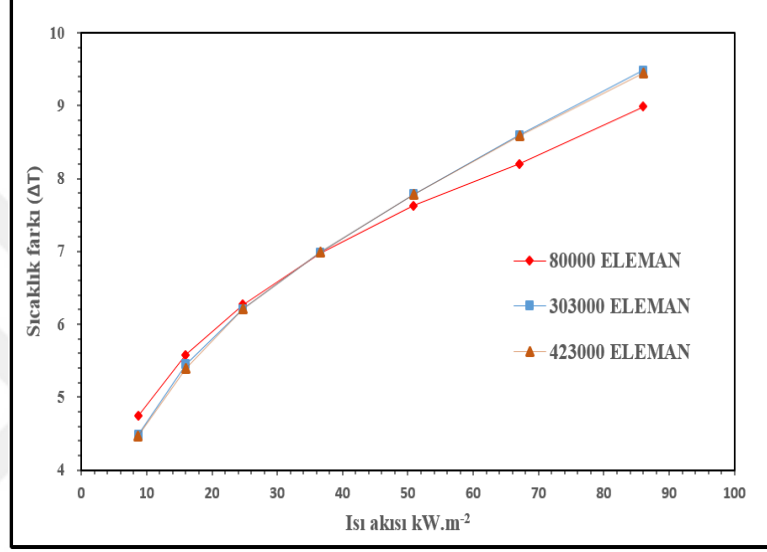
HAD analizlerinde çözümün modeline karar verildikten sonra ağ yapısı hazırlanır. zm ağı (mesh) fiziksel bir tanım aralığını daha küçük tanım aralıklarına (elemanlara) bölme işlemidir. Bununla analiz için zlen diferansiyel denklemin çözümünün kolaylaştırmak amaçlanır. Bu yüzden elde edilecek çözüm sonuçlarının yaklaşık doğruluğu, çözüm ağı içerisinde kullanılan eleman özelliklerine ve eleman sayısına bağlıdır. zm ağının eleman özelliklerinden ve eleman sayısından bağımsız olduğu yapılan analizin doğruluğunu göstermek için oldukça önemlidir. şekil 3.17'de çözüm ağ yapısının detaylı gösterimi yer almaktadır.



şekil 3.17. zm ağ yapısı kesit görüntüsü

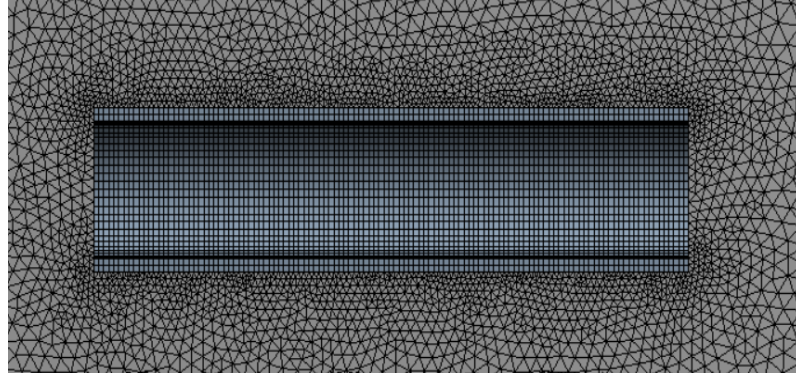
Çizelge 3.6. Çözüm ağ yapısı istatistikleri

Eleman Sayısı	Maks.Çarpıklık	Max. Çözüm Bölgesi Çarpıklığı	Min. Or.Kalite
88452	0,92	0,102	0,20
303189	0,86	0,135	0,20
423412	0,80	0,135	0,20

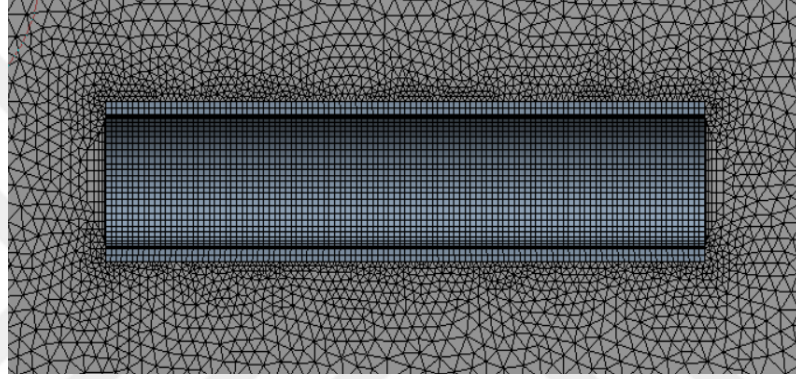


Şekil 3.18. Çözüm ağ yapısından bağımsızlık

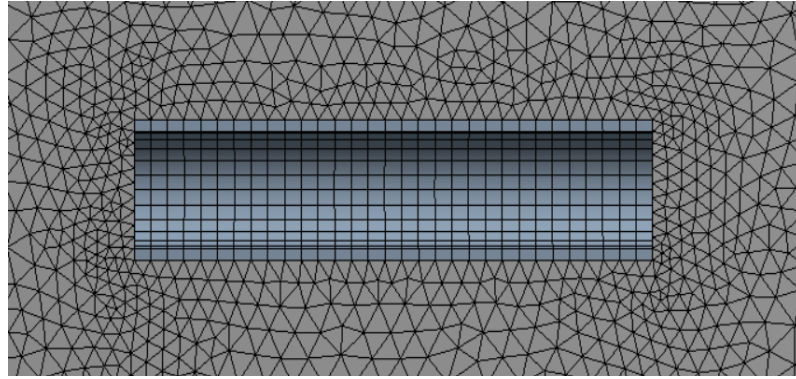
Bu tezde üç farklı ağ yapısı hazırlanarak, çözümün ağ yapısından bağımsız olduğu gösterilmiştir. Çizelge 3.6'da çözüm ağ yapıları istatistiksel bilgileri yer almaktadır. Bu tabloda üç ayrı ağ yapısı istatistiği verilmiştir. 303189 ve 423412 eleman sayılı ağ yapılarının max. çözüm bölgesi çarpıklığı ile minimum ortogonal kalitelerinin eşit olduğu görülmektedir. Şekil 3.18'de ise çözümün ağ yapısından bağımsız olduğunu gösteren grafik yer almıştır. Bu grafikte 423412 eleman sayılı analiz ile 303189 eleman sayılı analizlerin sonuçlarının eşit çıktığı görülmektedir. Bunun temel nedeni analizin çözüm bölgesindeki ağ istatistiklerinin eşit olmasıdır. Bilgisayarlı analizlerin hem kısa sürmesi hem de sonucun değişmemesinden dolayı yaklaşık 303189 elemanlı çözüm ağ yapısı seçilmiştir. Buna ek olarak Şekil 3.19'da bu analiz için oluşturulan üç farklı ağ yapısının detaylı gösterimi sunulmuştur.



(a) 423 bin eleman



(b) 303 bin eleman



(c) 80 bin eleman

Şekil 3.19. Çözüm ağ yapısı

3.3.3. HAD Euler-Euler Yaklaşımı

İki-fazlı akış modeli ise iki farklı yaklaşımla ele alınabilir. Bunlardan birincisi Euler-Euler yaklaşımı ikincisi ise Euler-Lagrange yaklaşımıdır. Euler-Euler yaklaşımı matematiksel olarak fazların birbirleriyle iç içe geçmiş bir şekilde davrandığını,

ayrıca buhar kabarcığı ile geleneksel akışkanın hacimsel oranlarının uzay ve zaman boyutlarında sürekli ve toplamlarının bire eşit olan fonksiyonlar olduğunun kabulü ile çözüm yapmaktadır. Bu yaklaşım da kendi içinde Akışkan Hacmi (Volume of Fluid), Karışım (Mixture) ve Eulerian modeli olmak üzere çeşitli koşullar için üçe ayrılmıştır. Euler-Lagrange modeli akış içerisinde herhangi bir parçacığın hareketini modeller bu yüzden yığın akış modellemesinde tercih edilmez. Bunun yanı sıra çift fazlı akışlarda ikinci fazın hacim oranı önemli ise Euler-Lagrange modeli tercih edilmez[104]. Bu tez çalışmasında literatürde kaynama ısı transferi modellerinde en çok kullanılan Euler-Euler metodu kullanılmıştır. Euler-Euler yönteminde her faz için kütle, momentum ve enerji korunum denklemleri aşağıdaki şekilde verilmiştir [105, 106]. Burada üst indis olan k (continuous phase) akış içerisindeki sürekli fazı p (dispersed phase) ise ayrılmış fazı ifade etmek için kullanılır.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha^k \rho^k) + \nabla \cdot (\alpha^k \rho^k \vec{u}^k) = \dot{\Gamma}^{kp} - \dot{\Gamma}^{pk} \quad (3.48)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\alpha^k \rho^k \vec{u}^k) + \nabla \cdot (\alpha^k \rho^k \vec{u}^k \vec{u}^k) = \\ -\alpha^k \nabla P + \nabla \cdot \tau^k + \alpha^k \rho^k \vec{g} + \dot{\Gamma}^{pk} \vec{u}^k - \dot{\Gamma}^{kp} \vec{u}^k + S_u^k \end{aligned} \quad (3.49)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\alpha^k \rho^k h^k) + \nabla \cdot (\alpha^k \rho^k \vec{u}^k \vec{h}^k) = \\ \alpha^k \frac{\partial P}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{q}^k + Q^{exchange,pk} + \dot{\Gamma}^{pk} h^k - \dot{\Gamma}^{kp} h^k + S_h^k \end{aligned} \quad (3.50)$$

Çizelge 3.7. Arayüzey eşitlikleri

Referans	Formülasyon
Clift ve ark.[107]	$\vec{F}^{k,drag} = \frac{1}{8} C_D A_{interfacial} \rho^k \vec{u}^l - \vec{u}^k (\vec{u}^l - \vec{u}^k)$ $C_D = \max [\min (C_{D,ellipse}, C_{D,cap}), C_{D,sphere}]$ $C_{D,sphere} = \begin{cases} \frac{24}{Re} & Re \leq 0.01 \\ 24 \frac{(1+0.15Re^{0.687})}{Re} & Re > 0.01 \end{cases}; Re = \frac{\rho^k \vec{u}^l - \vec{u}^k d^l}{\mu^k}; d^l = 6 \frac{\alpha^l}{a_{if}}; C_{D,cap} = \frac{8}{3}$ $C_{D,ellipse} = \frac{4}{3} \frac{gd^l (\rho_k - \rho_l)}{U_l^2 \rho_l}; U_l = \frac{\mu^k}{\rho_k d^l} Mo^{-0.149} (J - 0.857); Mo = \frac{(\mu^k)^4 g (\rho_k - \rho_l)}{(\rho^k)^2 \sigma^3}$ $J = \begin{cases} 0.94H^{0.757} & 2 < H \leq 59.3 \\ 3.42H^{0.441} & H > 59.3 \end{cases}; H = \frac{4}{3} Eo Mo^{-0.149} \left(\frac{\mu^k}{0.0009} \right)^{-0.14}; Eo = \frac{g (\rho_k - \rho_l) (d^l)^2}{\sigma}$
Tomiyama[108]	$\vec{F}^{k,lift} = -\vec{F}^{l,lift} = C_L \alpha^l \rho^k (\vec{u}^l - \vec{u}^k) \times (\nabla \times \vec{u}^k)$ $C_L = \begin{cases} \min [0.288 \tanh (0.121 Re), f(Eo_d)] & Eo < 4 \\ f(Eo_d) = 0.00105 Eo_d^3 - 0.0159 Eo_d^2 - 0.0204 Eo_d + 0.474 & 4 < Eo < 10 \\ -0.29 & Eo > 10 \end{cases}$ $Eo_d = \frac{g (\rho^k - \rho^l) (d^l)^2}{\sigma} (1 + 0.163 Eo^{0.757})^{2/3}; Eo = \frac{g (\rho^k - \rho^l) (d^l)^2}{\sigma}$
Antal ve ark.[109]	$\vec{F}^{k,vm} = -\vec{F}^{l,vm} = 0.5 \alpha^l \rho^k \left(\frac{D\vec{u}^l}{Dt} - \frac{D\vec{u}^k}{Dt} \right)$
Burns ve ark..[110]	$\vec{F}^{k,wall} = c_w \alpha^l \rho^k = \vec{u}^l - \vec{u}^k ^2 n_w$ $c_w = \max \left(0, \frac{c_{w1}}{d^l} + \frac{c_{w2}}{y_w} \right); c_{w1} = -0.01; c_{w2} = 0.05$
— [49]	$\vec{F}^{k,dispersion} = -\vec{F}^{l,dispersion} = C_D \frac{\mu^l}{\rho^l Sc_b} \left(\frac{\nabla \alpha^l}{\alpha^l} - \frac{\nabla \alpha^k}{\alpha^k} \right)$

Bu tez çalışmasında RNG k-ε modeli kullanılmıştır. RNG k-ε modeli Eş.3.51-3.53'te yer almaktadır. Literatürde kaynama ısı transferinde türbülans modelleri inceleme çalışmaları yer almaktadır [103]. Literatürde RNG k-ε modelinin performansı detaylı bir şekilde incelenmiş ve diğer türbülans modelleri ile benzer sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Bu tez çalışmasında türbülans çözücüsünün etkisi ayrıca araştırılmamıştır. Euler-Euler yaklaşımı ısı transfer dekleminin son hali Eş.3.55'te yer almaktadır. Tüm arayüzey eşitlikleri Çizelge 3.7'de yer almaktadır.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (3.51)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{2\varepsilon}^* \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.52)$$

$$C_{2\varepsilon}^* = C_{2\varepsilon} + \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \eta / \eta_0)}{1 + \beta \eta^3} \quad (3.53)$$

$$\eta = \frac{Sk}{\varepsilon} \Rightarrow S = (2S_{ij}S_{ij})^{1/2} \quad (3.54)$$

$$Q^{exchange,pk} = h_{arayüzey} A_{arayüzey} (T_p - T_k) \quad (3.55)$$

Euler-Euler yaklaşımı matematiksel olarak fazların birbirleriyle içiçe geçmiş bir şekilde davrandığını, ayrıca buhar fazı ile akışkanın hacimsel oranlarının uzay ve zaman boyutlarında sürekli ve toplamlarının bire eşit olduğunu ifade eder. Burada k üst indisi sıvı ve buhar fazın toplamının bir olduğu indistir. Burada k'nın yerine l yazar ise sıvı fazı v yazıyorsa buhar fazı anlamına gelmektedir. Burada ε türbülans yok olma enerjisini, μ viskoziteyi, ρ^k buhar fazının yoğunluğunu, Γ^k kütle transfer oranını, P basıncı, \vec{u}^k hız vektörünü, α^k hacim oranını, g yer çekimini, S_u^k fazlar arası momentum transferini, S_h^k fazlar arası enerji transferini, h^k entalpiyi, q^k ısı akısını, t zamanı, τ kayma gerilmesini ve $Q^{exchange,pk}$ fazlar arası ısı transferini ifade eder. O halde $T_p - T_k$ fazlar arası sıcaklık farkıdır. Burada k indisi diğer eşitliklerden farklı olarak Eş.3.51 ve Eş.3.52'de türbülans kinetik enerjisini ifade etmek için kullanılmıştır.

3.3.4. HAD Isıl Analiz Eşitlikleri

Bu tez çalışmasında zamana bağlı çözüm gerçekleştirilmiştir. HAD analizi için oluşturulan modelin denklemleri bu bölümde yer almaktadır. Dairesel kesitli cisim dış yüzeyi boyunca kaynamayı modellemek için Kurul ve Podowski [111] 'nin RPI kabarcıklı kaynama modeli kullanılmıştır. RPI modelinde, duvar yüzeyindeki toplam ısı akısı üç farklı ögeye ayrılır: Duvar yüzeyi toplam ısı akısı denklemi Eş.3.56'da yer almaktadır. Bu ifade de \dot{q}_w ısıtma yüzeyindeki toplam ısı akısını ifade eder. \dot{q}_C Doğal taşınım kaynamasını ifade eder. \dot{q}_Q (Quenching) Buhar kabarcığı koparken, boşalttığı yüzeye akışkanın hucum etmesi durumu için bir ısı akısı ifadesidir. Son olarak \dot{q}_E ise buharlaşma ısı akısını ifade eder.

$$\dot{q}_w = \dot{q}_C + \dot{q}_Q + \dot{q}_E \quad (3.56)$$

Eş. 3.57’de yer alan ifade tek fazlı ısı transfer eşitliğidir. Burada $T_w - T_l$ ifade duvar ve sıvı sıcaklık farkını ifade etmektedir. $A_{arayüzey}$ ise arayüzey alanını ifade eder ve Del Valle ve Kennig [112] eşitliği ile elde edilir. $A_{arayüzey}$ kaynama gerçekleşen yüzey hariç taşınım ile ısı transferi içeren sıvı fazın yer aldığı bölgeyi ifade eder. Bu ifade Eş.3.57’de gösterilmektedir.

$$\dot{q}_C = h_C (T_w - T_l) (1 - A_{arayüzey}) \quad (3.57)$$

$$A_{arayüzey} = \min \left(1, K_{DK} \frac{N_W \pi D_W^2}{4} \right); K_{DK} = 4,8 \exp \left(-\frac{1}{80} \frac{\rho_l C_{p,l} (T_{doy} - T_l)}{\rho_v h_{lv}} \right) \quad (3.58)$$

Eş.3.58’de yer alan N_W ifadesi kabarcıklanma alanı yoğunluğunu ifade eder ve Lemmert ve Chawla’nın [113] Eş.3.59’da yer alan ifadesiyle hesaplanmaktadır.

$$N_W = C^n (T_y - T_d)^n; C = 210, n = 1.805 \quad (3.59)$$

RPI modeli için varsayılan kabarcık ayrılma çapı ampirik korelasyonlara dayanmaktadır. Eş. .60’de bu tez çalışmasının sayısal analiz kısmında kullanılan ifade yer almaktadır [114].

$$D_w = \min(0.0014, 0.0006 e^{-\frac{\Delta T_w}{45.0}}) \quad (3.60)$$

$$\dot{q}_Q = \frac{k_l}{\sqrt{\pi \frac{k_l}{\rho_l C_{p,l}} \tau}} (T_w - T_l) \quad (3.61)$$

Buhar kabarcıklarının periyodik olarak ısıtıcı yüzeyinden ayrılmaları, ısıtıcı yüzeyinde Quenching (buhar kabarcığı büyümesi esnasında, ısıtma yüzeyi ile buhar kabarcığı arayüzeyinde meydana gelen sıvı hücum etmesi) oluşturur. Quenching için ısı transfer hızı Eş.3.61 ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{1}{\tau} = \sqrt{\frac{4g(\rho_l - \rho_v)}{3\rho_l D_w}} \quad (3.62)$$

Eş. 3.61'de yer alan τ kabarcık ayrılma süresini ifade etmektedir. τ Eş. 3.62 kullanılarak elde edilmiştir.

$$\dot{q}_E = \frac{\pi}{6} D_w^3 N_w \rho_v h_{lv} \quad (3.63)$$

Buharlaştırma ısı akısı ise Eş.3.63 ile hesaplanmaktadır. Burada h_{lv} buharlaştırma gizli ısısını ifade etmektedir. Buharlaştırma gizli ısısını hesaplamak için Eş.3.64-3.66 arasında yer alan ifadeler kullanılmıştır. Bu ifade de sıvı fazın özgül ısısı $C_{p,l}$ ile ifade edilmiştir.

$$\dot{\Gamma}^{lv,1} = \frac{\dot{q}_E}{h_{lv} + C_{p,l} (T_{doy} - T_l)} \quad (3.64)$$

$$\dot{\Gamma}^{lv,2} = \frac{\dot{q}_l + \dot{q}_v}{h_{lv}} \quad (3.65)$$

$$\dot{q}_l = \frac{k_l N u_l}{D_w} (T_d - T_l); \dot{q}_v = \frac{\alpha_v \rho_v C_{p,v}}{\delta t} (T_{doy} - T_v) \quad (3.66)$$

Eş.3.57 kullanılarak h_{lv} hesaplanır. Nu_l sayısını hesaplamak için Ranz ve Marshall [115] korelasyonu seçilmiştir.

$$Nu_l = 2 + 0.6 Re_l^{1/2} Pr^{1/3} \quad (3.67)$$

$$h_b = \frac{q''_w}{T_{w_ort} - T_{doy}} \quad (3.68)$$

Eş.3.68'de yer alan q''_w ısıtıcı üst yüzeyi toplam ısı akısıdır ve T_{doy} akışkan doyma sıcaklığıdır. Sayısal analiz hesaplarının en sonunda verilen ısı transfer katsayısı konum açısı grafiği bu ifadeden elde edilmiştir.

3.3.5. HAD Başlangıç ve Sınır Şartları

Bu tez çalışmasında sayısal analiz için ANSYS FLUENT 18.1 kullanılmıştır. Modelin yüzeyi pürüzsüzdür. Analiz için sınır ve yakınsama şartları çizelge 3.8’de verilmiştir. Bu tezde literatürde birçok araştırmacının kaynama ısı transferi analizlerinde kullandığı yakınsama kriterleri kullanılmıştır [116, 117]. Yakınsama kriteri değeri enerji denklemleri için 10^{-6} diğer akış denklemleri için 10^{-3} alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.8. Çözüm metodolojisi

Pressure-Velocity Coupling Schema	Phase Coupled SIMPLE
Gradient	Least Squares Cell Based
Momentum	Second Order Upwind
Volume Fraction	Modified HIRC
Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind
Turbulent Dissipation Rate	Second Order Upwind
Energy	Second Order Upwind
Transient Formulation	Second Order Upwind

Bu sayısal analiz için aşağıdaki sınır şartları kullanılmıştır.

1. Akış rejimi türbülanslıdır. Sayısal analiz zaman bağımlıdır.
2. Akışkan özelliklerinin sabit olduğu kabul edilmiştir.
3. Isıtıcı açısı 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° için analiz gerçekleştirilmiştir.
4. Isıtıcı yüzeyi pürüzsüz tanımlanmıştır.
5. Kaynamanın gerçekleştiği havuzun tüm kenarları adyabatik kabul edilmiştir.

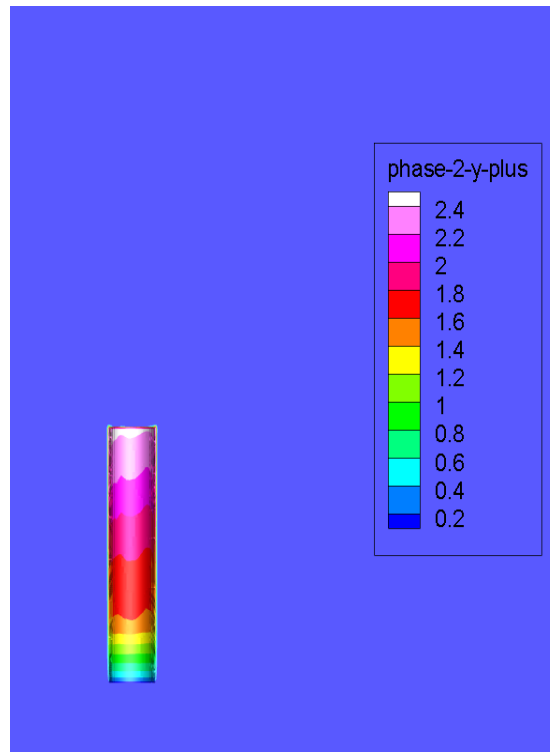
6. Zaman adımı 10^{-3} saniyedir. Her adımda en fazla 50 iterasyon yapılması seçilmiştir. Tüm analizler 12.saniye için gerçekleştirilmiştir. (Çoğu zaman adımda 50 iterasyona ulaşmadan analiz yakınsama şartlarına ulaşmıştır.)

7. Isıtıcı duvarlarında kaymaz durum ve sabit ısı akısı uygulanmıştır. Isı akısı $8-87 \text{ kW}/\text{m}^2$ arasında değişmektedir.

8. Havuzun üst tarafının is akışkanına karşılık gelen doyma sıcaklığına ulaşmak için açık (Pressure Outlet) olduğu kabul edilmiştir.

3.3.6. HAD Duvar y^+

Duvar y^+ değeri, çözüm ağının belirli bir akış için ne kadar kaba ya da ince olduğunu açıklamak için kullanılır. Boyutsuz bir ifadedir. Herhangi bir çözüm hücresinde türbülanslı ve laminer etkilerin arasındaki oranda bu ifade ile hesaplanabilir. Literatürde bir çok araştırmacı çalışmalarında bu değeri 0-10 arası kullanmışlardır [118, 119]. Bu tezde çözümlenen sayısal modelin duvar y^+ değerinin 5'i geçmemesi sağlanmıştır.



Şekil 3.20. Duvar y^+

Şekil 3.20’de analizin 12. saniyesindeki duvar y^+ değeri ve renk skalası yatayla konum açısı 90° olan ısıtıcı için yer almaktadır. Duvar y^+ ifadesi Eş.3.69’da yer almaktadır. Bu eşitlikte τ_w duvar kayma gerilmesini, ρ akışkan yoğunluğunu, y duvara en yakın mesafeyi ve ν ise akışkanın kinematik viskozitesini göstermektedir.

$$y^+ = \frac{\sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \times y}{\nu} \quad (3.69)$$

3.3.7. Courant sayısı (CFL)

ANSYS-FLUENT 18.0 öğretici notlarında yoğunluk tabanlı akış analizlerinde Courant sayısının 5 olduğunu ifade edilmiştir. Daha basit problemler için Courant sayısının 10-20 veya 100 gibi daha yüksek değerler ile hızlı ve kararlı yakınsamalar elde edilebileceğini ifade etmiştir. Bunun yanı sıra, yakınsama problemi yaşanan bazı analizler için Courant sayısının 5’ten düşük alınması gerekebileceğini ifade etmişlerdir [104]. CFL denklemi Eş.3.70’te yer almaktadır. Bu ifade’de yer alan u akışkan hızı, Δt zaman adımı ve Δx ise çözüm bölgesindeki bir hücrenin yaklaşık uzunluğudur.

$$CFL = \frac{u\Delta t}{\Delta x} \quad (3.70)$$

Literatürde akış analizi gerçekleştiren bir çok araştırmacı CFL’in 1’den küçük olarak analizlerini gerçekleştirmişlerdir [120, 121, 122]. Bu analizler VOF-explicit (Volume of Fluid) modelidir. Bu tez çalışmasında da $CFL \leq 1$ olması için gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında kabarcıklı havuz kaynaması dört ayrı yöntem ile araştırılmıştır. Bu araştırma yöntemleri beyaz kutu algoritmaları, kara kutu algoritmaları, sayısal analiz ve deneysel çalışmalardan meydana gelmektedir. Yapılan çalışmaların benzerlikleri ve farklılıklar ele alınarak bu kısmın dört ana başlık altında verilmesi uygun görülmüştür.

4.1. Beyaz Kutu Algoritmaları

Çizelge 4.1. Genetik algoritma konfigürasyonu

Değişken sayısı	6	
Sınır değerleri	[0 0.01 0 0 0.01 0]	[7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5]
Popülasyon tipi	Çifte vektör	6
Popülasyon Büyüklüğü	120	3
Fonksiyon kreasyonu	üniform	6
Fitness ölçeklendirme	Üst	
Fonksiyon seçimi	Üniform	
Mutasyon fonksiyonu	Adaptif fisible	
Çaprazlama	Bağımlı kısıtlı	
Göç	İleri	Varsayılan
Hibrid fonksiyon	Hiçbiri	
Durdurma kriteri	Varsayılan	
Jenerasyon	50	
Durak testi	Ortalama değişim	
Diğerleri	Varsayılan	
Önceki çalıştırmadaki rastgele durumları kullan	Tik	
Kullanıcı işlev fonksiyonu	Seri	

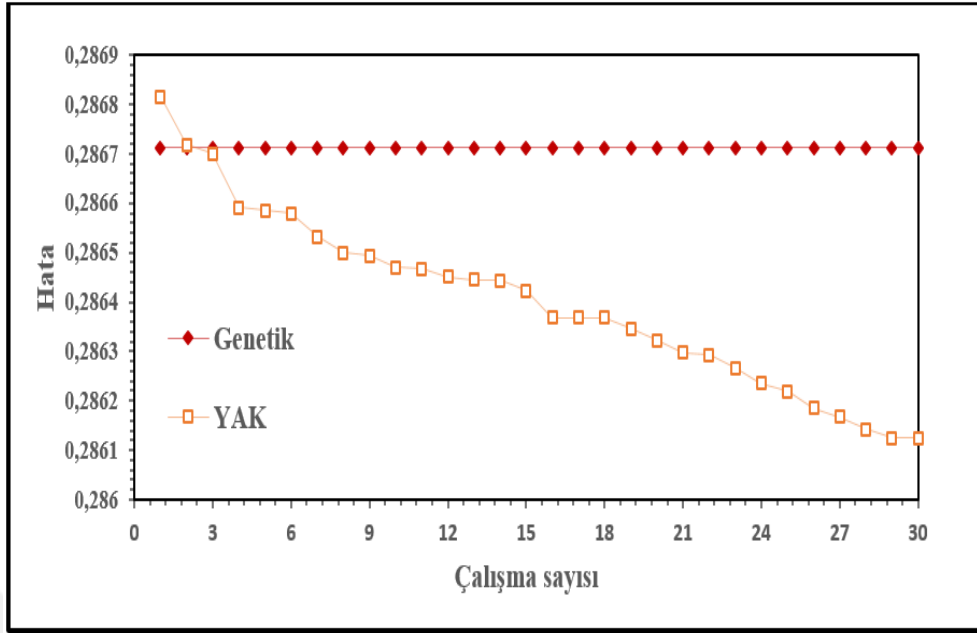
Çizelge 4.2. YAK konfigürasyonu

Değişken sayısı	6	
Çalıştırma sayısı	30	
Np (Koloni büyüklüğü)	120	
Maks. çevrim sayısı	50	
Sınır değerleri	[0 0.01 0 0 0.01 0]	[7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5]

Genetik algoritmanın ve YAK algoritmasının konfigürasyon aşamaları, sırasıyla Çizelge 4.1 ve 4.2’de sunulmaktadır. Ayrıca YAK algoritmasının optimum NP değeri için Tablo 4.3’te görülen koşullarda tespit çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada tüm çözümler için otuz çalışma yapılmıştır. Bazı araştırmacılar, YAK algoritmasının genetik algoritmaya karşı avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştıran araştırmalar yapmışlardır. Elde ettiği sonuçlara göre YAK algoritmasının Genetik algoritmadan daha iyi olduğunu göstermişlerdir [123, 124].

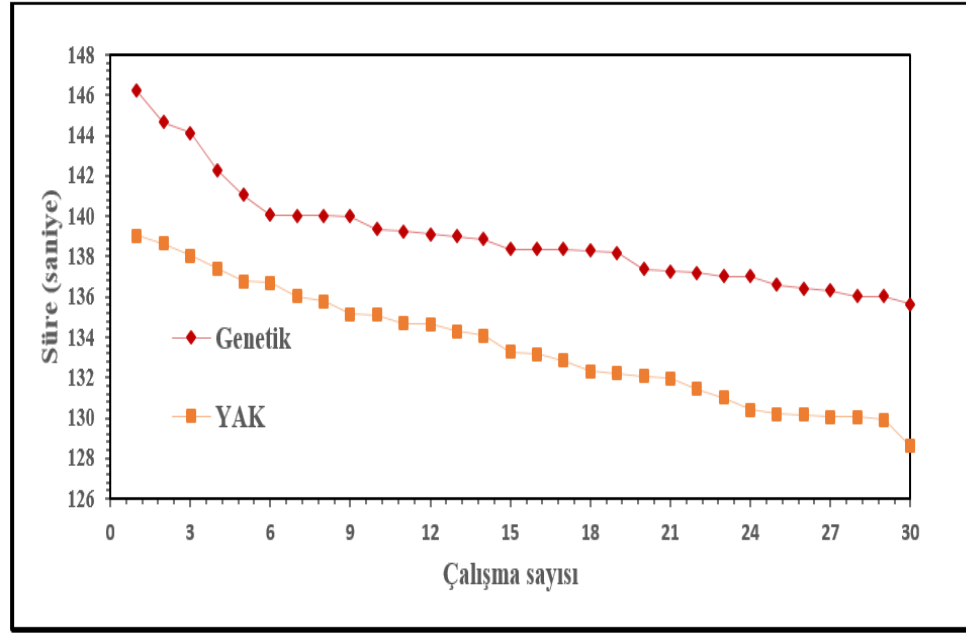
Çizelge 4.3. Farklı NP tiplerine karşı YAK modeli

	Maks. Çevrim	Çalıştırma	NP(%50 İşçi arılar %50 kaşif arılar)
YAK1	50	30	100
YAK2	50	30	120
YAK3	50	30	150



Şekil 4.1. Mevcut sınır şartları ile hata oranı karşılaştırması

Tez çalışmasının bu kısmının amacı kaynama ısı transferinde ısı akısı hesabında kullanılan mevcut konvansiyonel eşitliklerin hata oranında daha düşük hata oranına sahip model geliştirmektir. Eşitliğin hata oranını en aza indirmek için deneysel sonuçlarla oranlamalı bir eşitlik olan bağıl hata ifadesi kullanılmıştır. YAK ve genetik algoritma ile optimize edilen modelden elde edilen sonuçlar literatürde çok bilinen denklemlere göre daha az hata ile ısı akısı hesabı yaptığı belirlenmiştir. Şekil 4.1 hem genetik hem de YAK algoritmaları için ortalama mutlak hatanın karşılaştırmasını göstermektedir. Şekil incelendiğinde çalışma sayısı arttıkça hata, YAK algoritması için azalmaktadır. Genetik algoritma için ise sabit kalmaktadır. Bununla birlikte hem Genetik algoritma için popülasyon ve üretim sayısının hemde YAK algoritması için koloni büyüklüğünün sayısının artırılmasıyla biraz daha iyi sonuçlar elde edilebilecektir. Şekil 4.2’de hem Genetik hem de YAK algoritmaları için optimizasyon süresini göstermektedir. Sonuçlar YAK algoritmasının genetik algorithmadan daha hızlı optimum değerlere ulaştığını göstermektedir.

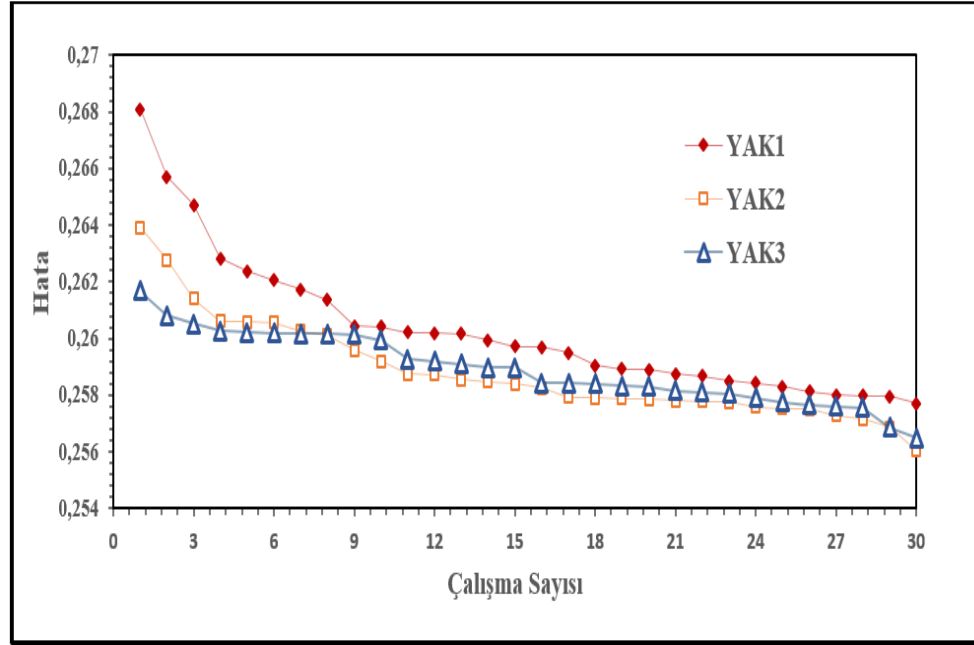


Şekil 4.2. Çalışma sayısı süre karşılaştırması

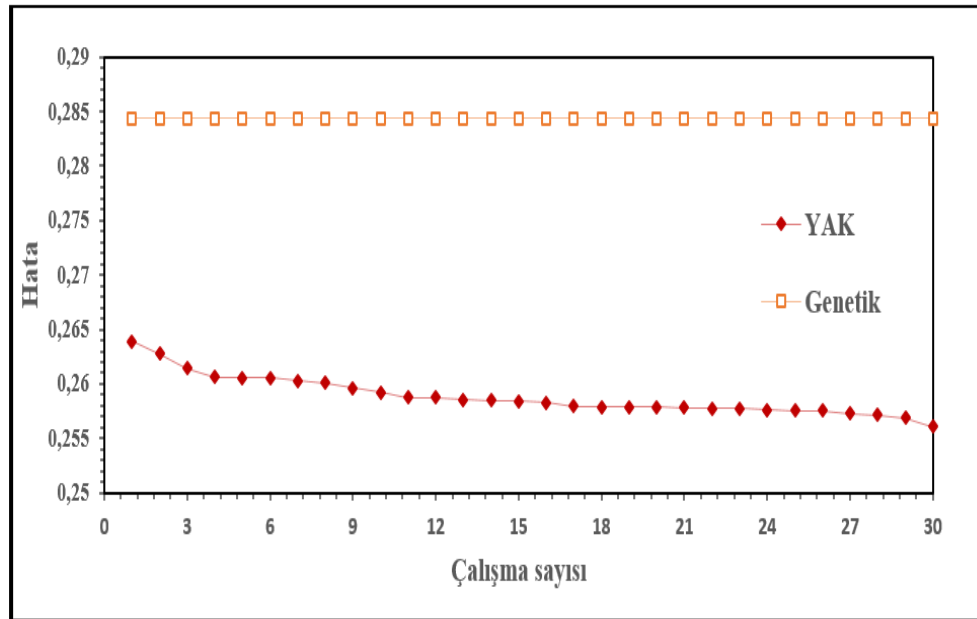
YAK optimizasyon algoritması için yaklaşık 120 NP değeri, birçok araştırmacı [69, 125, 126] tarafından kullanılmıştır. Bu çalışmada, yeni sınır koşulları farklı NP değerleri ile test edilmiştir. (Farklı NP sayılarında üç ayrı YAK1, YAK2 ve YAK3 bulucu modeli araştırılmıştır). Çizelge 4.3' te her modelin özelliklerini ve farklı NP değerlerini gösterilmiştir. Şekil 4.3'te farklı NP türlerinin karşılaştırmasını gösterilmiştir. Optimum NP değeri YAK2 model olarak belirlenmiştir. Bu çalışma için verilen diğer sonuçlar YAK2 modeli kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçları iyileştirmek için farklı sınır şartlarında çalışma yapılmıştır. Optimize edilecek parametrelerin numerik değer aralıkları sınır şartı olarak belirlenmiştir.

Her iki algoritma için yeni sınır şartları olarak [0 7,5] [0.01 7,5] [0 7,5] [0 7,5] [0 7,5] [0.01 7,5] kullanılmıştır. Bu değer aralıklarında optimizasyon en iyi sonuçları elde etmiştir. Şekil 4.4'te hem genetik hem de YAK algoritmaları için yeni sınır koşullarında bağlı hatayı göstermektedir. Genetik algoritma ile yapılan optimizasyonda çalışma sayısı arttıkça hata miktarı 0.284 değerinde sabit kaldığı görülmektedir. Diğer taraftan YAK algoritması optimizasyon için otuz kez çalıştıktan sonra hata miktarı yaklaşık olarak 0.265'ten 0.254'e düşmüştür. YAK algoritması kullanılarak en iyi çözüm elde edilmiştir. Minimum hata en iyi parametreler için hesaplanmıştır. Bu parametreler

$P = [P_0 = 5.02] [P_1 = 0.01] [P_2 = 7.5] [P_3 = 0.85] [P_4 = 7.49] [P_5 = 0.01]$. En iyi parametrelerin kabarcıklı kaynamada ısı akısı (YAK ile elde edilen) hesaplanmasında kullanılabileceği gösterilmiştir. En iyi parametreler hata miktarını azaltmıştır.



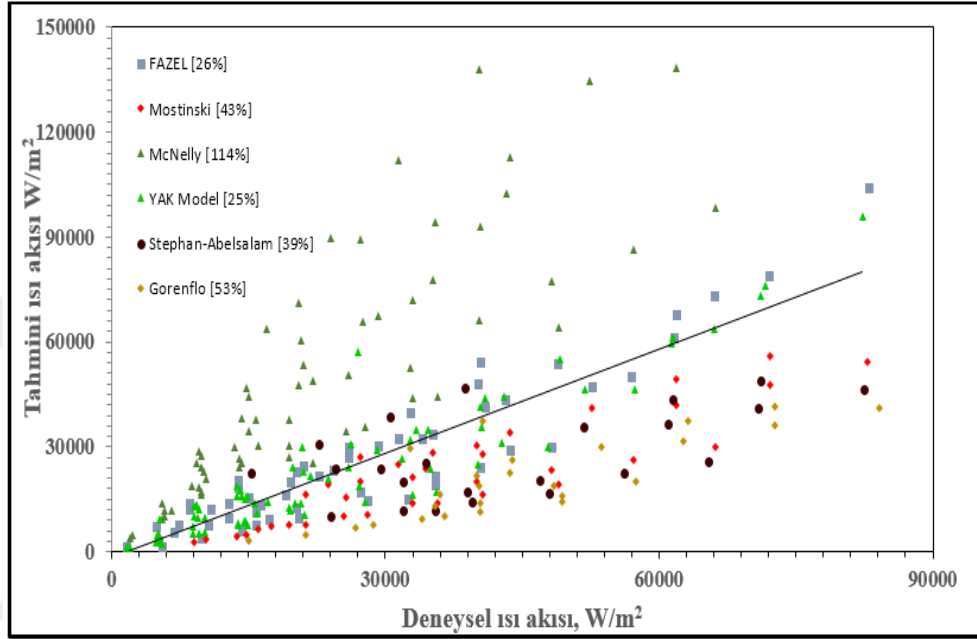
Şekil 4.3. Doğru Np değeri seçimi



Şekil 4.4. Yeni sınır şartları ile hata oranları karşılaştırması

Bu çalışma için gerekli deneysel veriler literatürde yer alan Fazel'in [83] çalışmalarından alınmıştır. Şekil 4.5'te literatürde en çok kullanılan bazı

denklemlerin sonucu ile YAK algoritması ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [30, 83, 127, 128, 129]. YAK ile optimize edilen modelden elde edilen sonuçların literatürde çok kullanılan denklemlere göre daha az hata ile ısı akısı hesabı yaptığı ortaya konmuştur.



Şekil 4.5. Literatür karşılaştırması

4.2. Kara Kutu Algoritmaları

Kara kutu optimizasyonu için oluşturulan modeller 18 parametreye dayanmaktadır. (1) q'' ; (2) T_w ; (3) T_b ; (4) d ; (5) NA ; (6) f ; (7) ρ_l ; (8) ρ_v ; (9) h_{fg} ; (10) C_{pl} ; (11) k_l ; (12) k_v ; (13) C_{pv} ; (14) μ_l ; (15) μ_v ; (16) Gr ; (17) Pr ; ve (18) R_a yüzey pürüzlülüğüdür. Burada kullanılan bazı parametreler FAZEL'in[83] deneysel çalışmasından alınmıştır. (1) T_w ; (2) T_b ; (3) d ; (4) NA ; (5) R_a ; ve (6) f . Geriye kalan değerler ortalama sıcaklık değerleri için EES (ENERGY EQUATION SOLVER) paket programı kullanılarak elde edilmiştir. (1) ρ_l ; (2) ρ_v ; (3) h_{fg} ; (4) C_{pl} ; (5) k_l ; (6) k_v ; (7) C_{pv} ; (8) μ_l ; (9) μ_v ; ve (10) Pr . Akışkanın termo-fiziksel özellikleri Nusselt'in [85] ve Bromley'in [130] film kaynama için değerlendirmelerinde yer verdikleri biçimde gerçekleştirilmiştir. Sıvı fazın özellikleri akışkanın doyma sıcaklığı referans alınarak elde edilmiştir. Buhar fazı ise Eş.4.2'de yer alan ısıtıcı duvar sıcaklığı ile yığın sıcaklığının ortalamasından elde edilen sıcaklık değeri referans alınarak elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında

üç ayrı Kara Kutu tekniği kullanılmıştır. İlk olarak yapay sinir ağları (YSA) ikinci olarak destek vektör makinesi (DVM) üçüncü olarak karar ağacı (KA) tekniğidir. Bu algoritmaların karşılaştırılması için üç ayrı hata hesaplama metodu kullanılmıştır. Bunlar ortalama mutlak hata (MAE), hata kareleri ortalamasının kare kökü (RMSE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE)'dir. Literatürde karakutu algoritmalarında, algoritmanın kurduğu modelin hata oranı hesaplamasında en çok kullanılan eşitliklerdir [131, 132]. Çizelge 4.4'te bu metodlar için en çok kullanılan hata hesaplama eşitlikleri yer almaktadır.

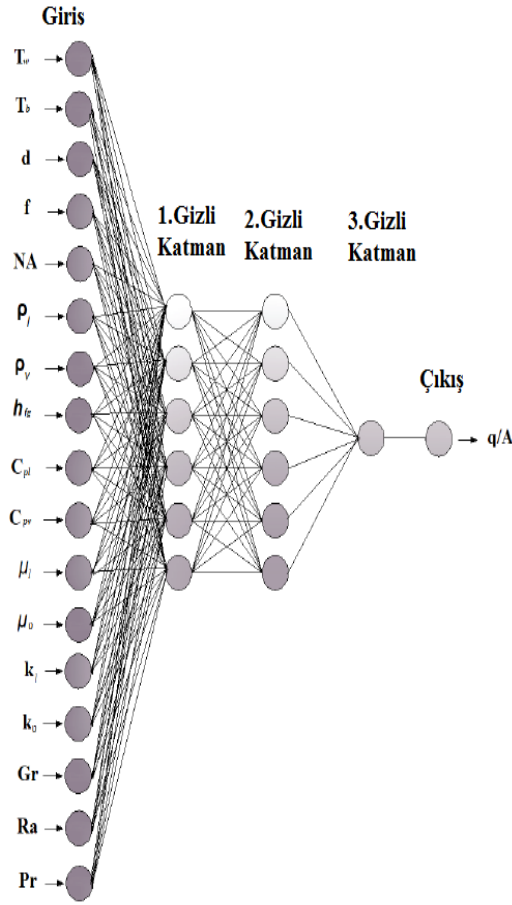
Çizelge 4.4. Hata analizleri

Hata Analizi	Eşitlik	Parametreler
MAE	$\frac{ P1-A1 +\dots+ Pn-An }{n}$	P: Tahmini değer A: Gerçek Değer n: Toplam Hata Değeri
RMSE	$\sqrt{\frac{(P1-A1)^2+\dots+(Pn-An)^2}{n}}$	P: Tahmini değer A: Gerçek Değer n: Toplam Hata Değeri d: Tahmini değer
MAPE	$\sum_p^P \left \frac{d_p - z_p}{d_p} \right \times \frac{100}{P}$	z: Gerçek Değer P: Toplam Hata Değeri

4.2.1. Yapay Sinir Ağları Modeli

Yapay sinir ağları en eski kara kutu optimizasyon tekniğidir. Bir çok alanda (kurutma, nano-akış, Isı değiştirici modelleme, çeşitli enerji sistemleri uygulamaları vb.) başarılı tahminler yapması kara kutu optimizasyon tekniklerine olan ilgiyi artırmıştır. YSA kara kutu optimizasyonunda ilk kullanılan algoritmadır. Diğer tüm kara kutu algoritmaları YSA'dan esinlenilerek yazılmıştır. Bu çalışmada YSA ile de optimizasyon yapılarak diğer algoritmalarla karşılaştırması gerçekleştirilmiştir.

Optimizasyon için oluşturulan temel algoritma modeli Şekil 4.6'da yer almaktadır. Ayrıca kullanılan ağ yapısı Çizelge 4.5.'te yer almaktadır.



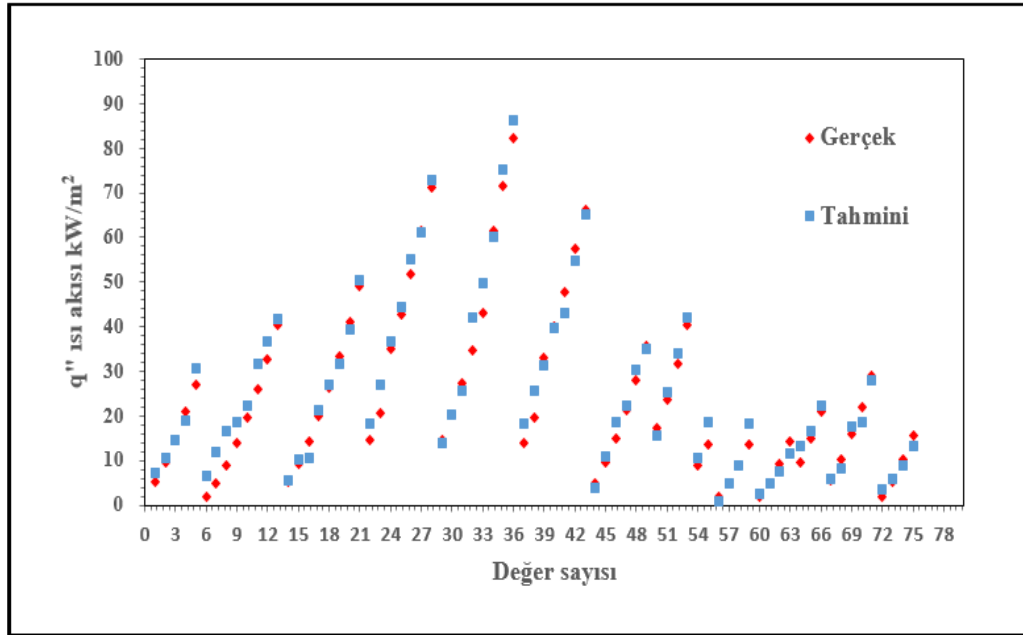
Şekil 4.6. YSA modeli

Çizelge 4.5. YSA ağ yapısı

YSA Ağ Yapısı	
Gizli Katman	3
Katmanlardaki Nöron Sayısı	6-6-1
Ağırlık Oranları	Rasgele
Aktivasyon Fonksiyonu	Softplus
Transfer Fonksiyonu	Tangent Sigmoid Transfer
Öğrenme Fonksiyonu	Backpropagation

4.2.2. Destek Vektör Makinesi Modeli

Deneyisel verilerle hesaplanan q'' değerlerinin tahminsel bir modelini oluşturmak için DVM regresyon hesaplamalı zeka yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem WEKA 3.8.3'teki SMOreg araç kutusu ile yapılmıştır. WEKA açık kaynaklı yazılımdır. Bu yazılımda sınıflandırma, tahmin ve kümeleme kurallarını içeren birçok algoritma vardır. DVM tarafından yapılacak bir sınıflandırma için kullanılacak çekirdek fonksiyonunu ve bu fonksiyonun optimum parametrelerini tanımlamak gerekmektedir. Literatürde en yaygın kullanılan radyal temel fonksiyon (RBF) çekirdekleri, Eş.4.1'de yer alan formül ve parametrelerle birlikte sunulmuştur. Parti büyüklüğü 1000 alınmıştır. C karmaşıklık parametresidir (C eğitim verilerindeki DVM'nin hataları ve marj maksimizasyonu arasındaki dengeleme oranını kontrol eden parametredir.) ve bu çalışma için 200.0 alınmıştır. Filtre tipi standardize kullanılmıştır.DVM ile gerçekleştirilen tahmin sonucu ile gerçek sonuçların karşılaştırması Şekil 4.7'de verilmektedir.

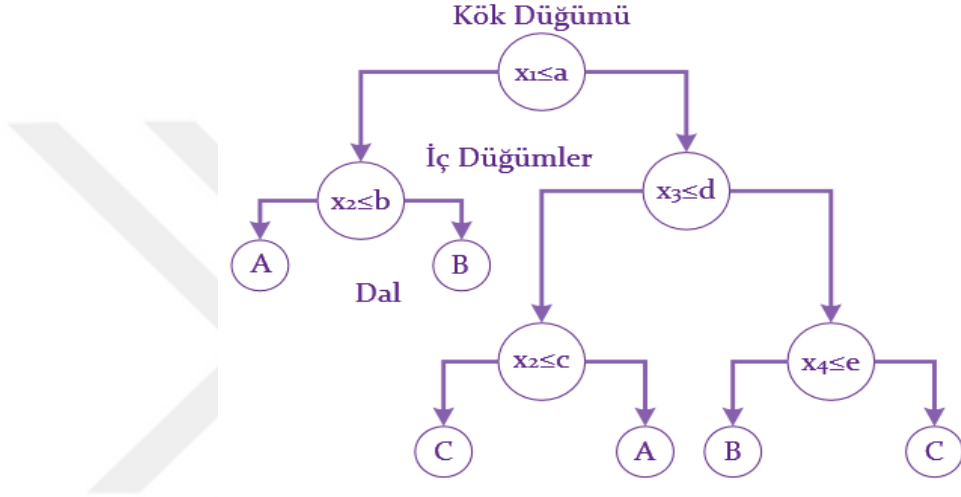


Şekil 4.7. DVM karşılaştırma

$$K(x,y) = e^{-\gamma\|x-x_i\|^2} \quad (4.1)$$

4.2.3. Karar Ağacı Modeli

Bu çalışmada kullanılan karar ağacı modeli kullanılan değişkene bağlı olarak oldukça büyük gerçekleşmiştir. Karar ağacı modeli sonucu diğer yöntemlere göre daha vasattır. Örnek bir karar ağacı modeli Şekil 4.8’de yer almaktadır. Bu tezde kullanılan tüm optimizasyon algoritmalarının hata analizleri Çizelge 4.6’da yer almaktadır.



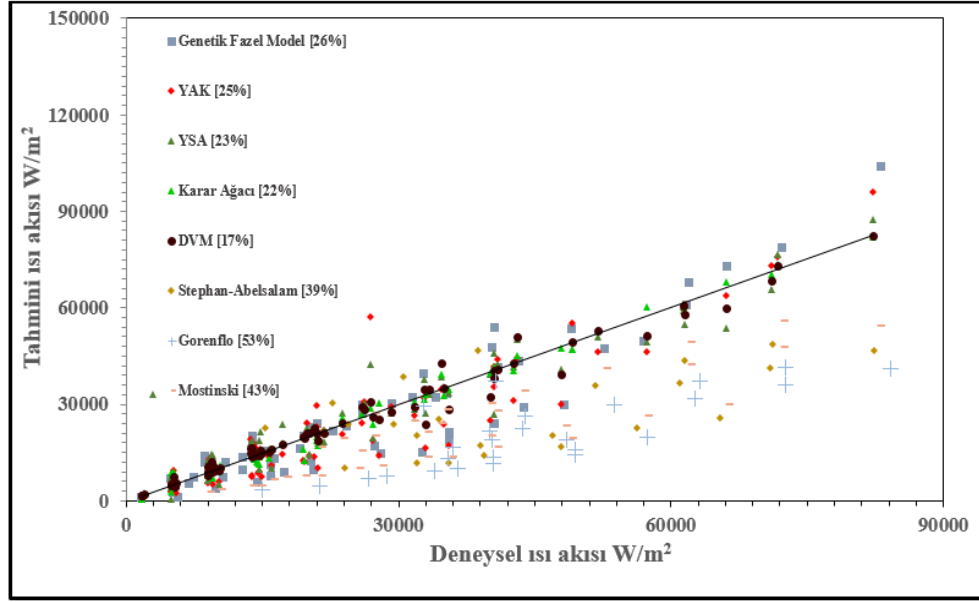
Şekil 4.8. Şematik karar ağacı

Çizelge 4.6. Hata analizleri

Model	MAE	RMSE	MAPE
Genetik [83].	5.1924	6.4435	0.26
YAK [132].	4.9519	5.23758	0.25
YSA [132].	3.5131	4.6221	0.23
Karar Ağacı [132].	3.3826	4.2818	0.22
DVM [133].	2.2716	4.0026	0.17

Şekil 4.9’da da bu tez çalışmasında kullanılan tüm yöntemlerin ve bazı iyi bilinen korelasyonların MAPE karşılaştırması yer almaktadır[127, 128, 129]. Şekil 4.9’a göre en iyi sonucu DVM’nin (%17) verdiği görülmüştür. Literatürde çok kullanılan bazı korelasyonların %40’tan daha fazla hata oranı ile ısı akışı hesabı yaptığı görülmektedir.

Optimizasyon algoritmaları her geçen gün yenilenmekte ve gelişmektedir. Bu husus göze alındığında ileriki yıllarda daha iyi sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir.



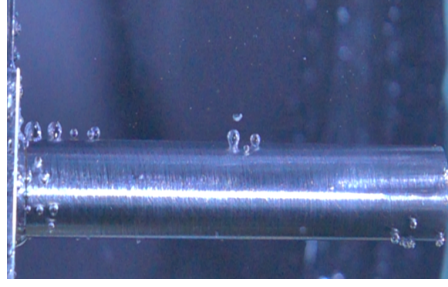
Şekil 4.9. MAPE karşılaştırma

4.3. Deneysel Çalışmalar

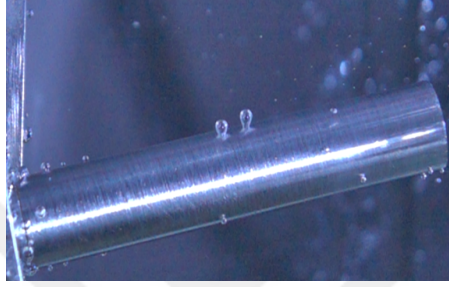
Kaynama en etkili ısı transferi yöntemlerinden biridir. Enerji üretimi, elektronik soğutma ve kimyasal işlemler gibi birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Doyma sıcaklığına erişmiş bir sıvı kendisinden daha yüksek sıcaklıktaki bir yüzeye temas ettiği anda yüzeyden sıvıya ısı transferi olur ve sıvı buharlaşmaya başlar. Gerçekleşen ısı transferinin tipi ve düzeyi, katı yüzeyin sıcaklığı ile artan sıvı sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının da değişmesiyle önemli miktarda değişir. Bununla birlikte buhar kabarcığı oluşumu da kaynama ısı transferini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu sebeple kaynamada buhar kabarcıklarının oluşumu bilim insanları tarafından oldukça ilgi çekici ve karmaşık bir süreç olarak ifade edilmiştir. Halen konu ile ilgili tüm mekanizmalar ortaya konulamadığı için kaynama ısı transferi bilim insanları tarafından yoğun bir ilgiye incelenmektedir. Bu bölümde kurulan deney düzeneği üzerinde yapılan çalışmalar ve bu çalışmalara ait sonuçlar irdelenecektir.

4.3.1. Dijital Görüntü İşleme İle Buhar Kabarcığı Çapı Hesabı

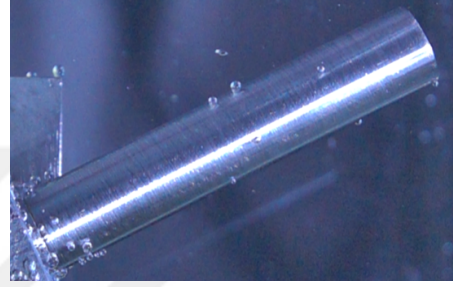
Görüntü işleme tekniği, askeri, su altı, tıp, parmak izi analizi ve havacılık sistemi gibi hayati önem arz eden branşlarda sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışmada MATLAB görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. MATLAB kullanılmasının en önemli sebebi mükemmel grafik işleme yeteneğine sahip olması ve yazılım tabanında güçlü bir programlama dili içermesidir. Şekil 4.10'da $R_a=1,275 \mu m$ pürüzlülüğünde ısıtıcı için tüm konum açısı değişim görselleri verilmiştir. Isıtıcı $9 kW/m^2$ sabit ısı akısında iken alınan bu görsellerden buhar kabarcığı çapı hesabı yapılmıştır. Ek-B'de deneysel sonuçlar yer almaktadır. Deneysel çalışmada yer alan q'' ısı akısını ifade etmektedir. " $\Delta T = T_w - T_b$ " Yığın akışkan sıcaklığı ile yüzey sıcaklık farkı, "d" MATLAB ile hesaplanan ortalama buhar kabarcığı çapını ifade etmektedir. N görüntü işlemede yakalanabilen buhar kabarcığı sayısı ve "f" (1/s) buhar kabarcığı frekansını ifade etmektedir. Buhar kabarcığı frekansı, aynı bölgeden ard arda kopan beş buhar kabarcığının kopma süreleri ortalaması hesaplanarak bulunmuştur. Özellikle yüksek ısı akılarında buhar kabarcığı sayısı ve sıklığı çok olmasından dolayı frekans hesabı için belirli bir sayıda buhar kabarcığını incelemek uygun görülmüştür. Birçok video incelendikten sonra beş buhar kabarcığını takip etmenin frekans hesabı için en uygun sayı olacağı sonucuna varılmıştır. Frekans hesabında, takip edilen buhar kabarcıklarının hacimsel büyüklüklerinin birbirine eşit olmasına dikkat edilmiştir.



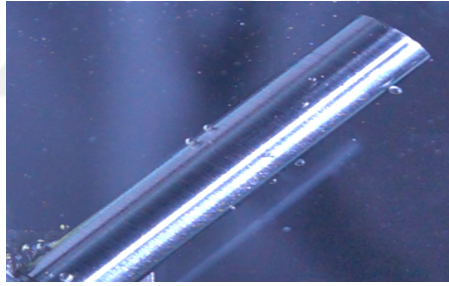
(a) 0 derece



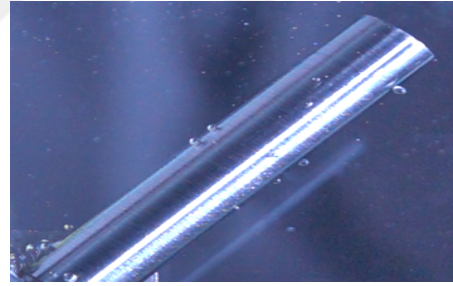
(b) 15 derece



(c) 30 derece



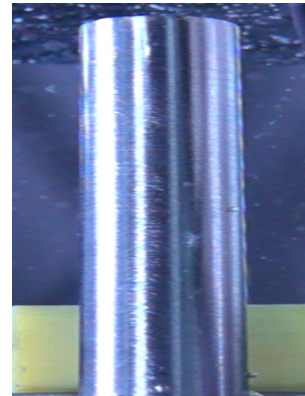
(d) 45 derece



(e) 60 derece

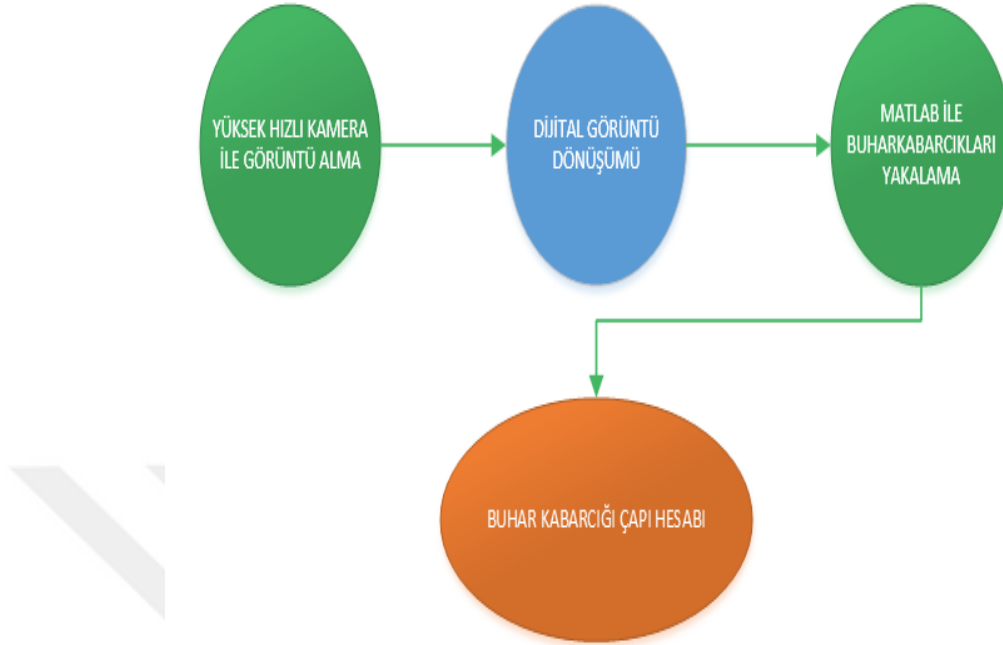


(f) 75 derece



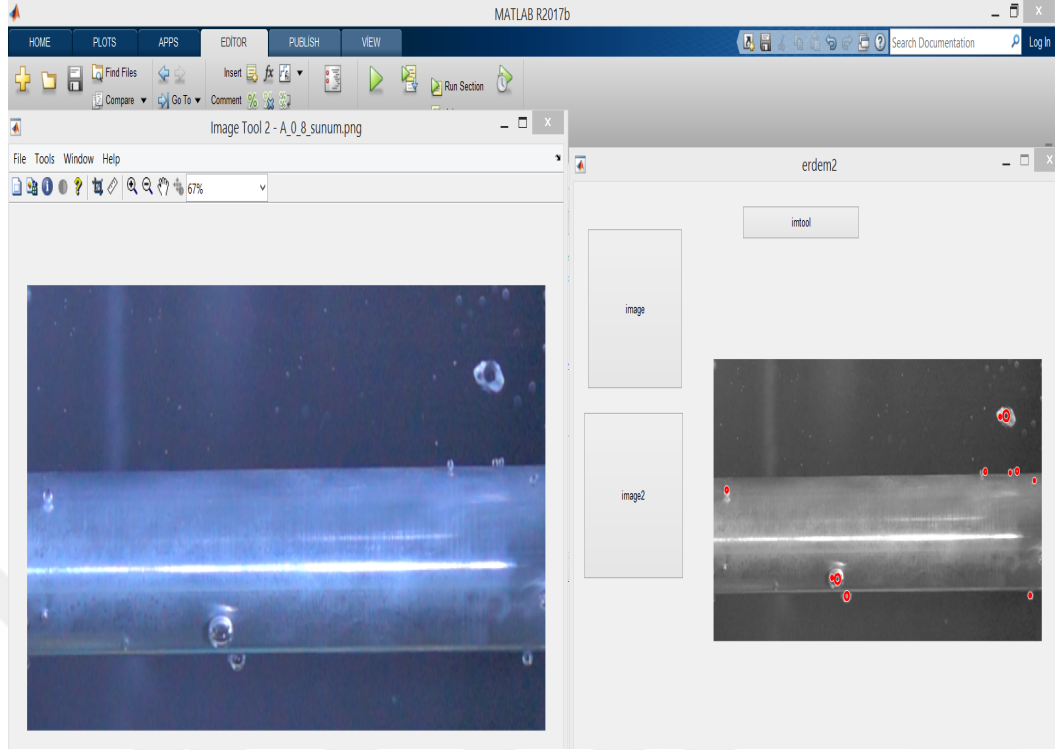
(g) 90 derece

Şekil 4.10. 9 kW/m^2 ve $R_a=1,275 \mu\text{m}$ çelik ısıtıcı tüm konum açılar



Şekil 4.11. MATLAB veri akış şeması

MATLAB’de digitalize edilen görüntüde buhar kabarcıkları piksel-piksel yapılabilmektedir. Şekil 4.11’de örnek yakalanmış buhar kabarcıkları ve piksel cinsinden çapı yer almaktadır. MATLAB’de buhar kabarcığı çapı ile ilgili yazılan kod ek C’de yer almaktadır.



Şekil 4.12. MATLAB örnek

Literatürde yer alan deneysel ve matematiksel modeller, ortalama kabarcık çapının yüzey sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü, yüzey malzemesi ve akışkanın termo-fiziksel özelliklerine bağlı olduğunu ifade etmektedir [25, 26, 27]. Önceki çalışmalar başlığı altında literatürde yer alan bir çok buhar kabarcığı korelasyonuna yer verilmiştir. Akışkan termo-fiziksel özellikleri Eş.4.2’de yer alan ifade ile elde edilmiştir. Bu ifade ısıtıcı yüzey sıcaklığı (T_w) ve akışkanın doyma sıcaklığının (T_d) aritmetik ortalamasını (T_f) hesap etmektedir. Çizelge 4.7’de deneysel sonuçlar ve aritmetik sıcaklık ortalaması ile EES paket programın elde edilen akışkan termofiziksel özelliklerinin örnek gösterimi verilmiştir.

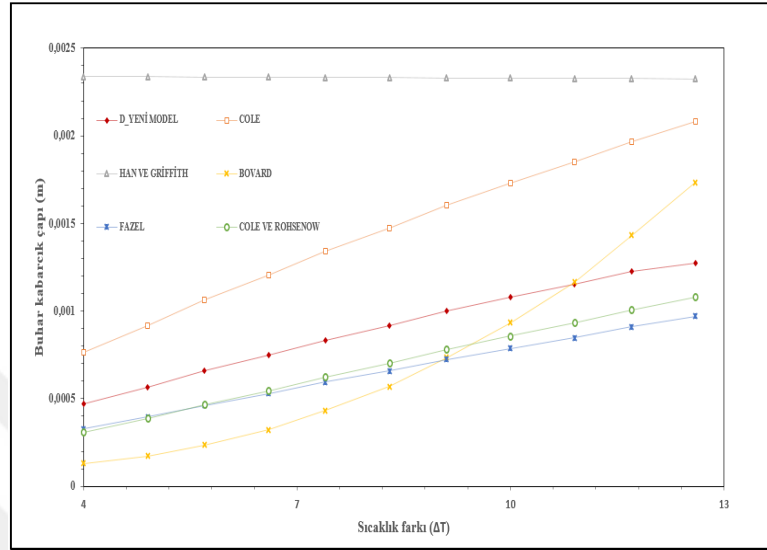
$$T_f = \frac{T_w + T_d}{2} \quad (4.2)$$

Bu tez çalışmasında; buhar kabarcığı çapını belirlemede deneysel sonuçlar kullanılarak, yüzey sıcaklığına bağlı olarak değişen akışkan termo-fiziksel özelliklerinde dahil edildiği bir korelasyon geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni ifade Eş.4.3’te yer almaktadır. Geliştirilen korelasyonun hata analizleri Çizelge 4.8’de yer almaktadır.

Çizelge 4.7.: Hesaplamalarda kullanılan bulgular ve termodinamik özellikler örnek tablosu

q'' (W/m^2)	d(mm)	ΔT	T_w	T_d	ρ_l (kg/m^3)	ρ_v (kg/m^3)	$h_{fg} 10^3$ (J/kg)	C_{pl} (J/kgK)	C_{pv} (J/kgK)	μ_l (kg/ms)	μ_v (kg/ms)	k_l (W/mK)	k_v (W/mK)	Gr^* 10^3	Pr	σ	f(1/s)
8608,5,54	1,5309	10,2455	110,2	100	954,7	0,7071	2243	4224	2063	0,000267	1,24E-05	0,6665	0,02565	14500	1,695	0,05691	156,285
67117,91	1,3695	9,20218	109,2	100	954,7	0,6952	2244	4224	2061	0,000267	1,24E-05	0,6665	0,02559	12920	1,704	0,05712	121,555
50665,23	1,2661	8,23476	108,2	100	954,7	0,6844	2246	4224	2059	0,00027	1,24E-05	0,6665	0,02554	11480	1,712	0,05731	57,579
36334,62	1,2435	6,99701	107	100	954,7	0,6707	2247	4224	2056	0,000267	1,24E-05	0,6665	0,02547	9664	1,723	0,05755	52,095
24751,78	1,1992	6,10794	106,1	100	954,7	0,661	2249	4224	2055	0,000267	1,24E-05	0,6665	0,02542	8379	1,731	0,05772	30,389
15894,88	1,1956	5,14277	105,1	100	954,7	0,6506	2250	4224	2053	0,000267	1,24E-05	0,6665	0,02536	7003	1,739	0,05791	27,350
8645,297	1,163	4,1122	104,1	100	954,7	0,6397	2251	4224	2051	0,000267	1,23E-05	0,6665	0,02531	5556	1,749	0,05811	22,792

$$Bu\ calisma = 0.15 \cdot Ja \cdot \sqrt{0.3 \cdot \left(\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_l - \rho_v)} \right)} \quad (4.3)$$



Şekil 4.13. Yeni model karşılaştırma

Çizelge 4.8. Yeni model hata analizi

	MAPE	MAE	RMSE
Alüminyum ısıtıcı	0,2413	0,3946	0,4775
Bakır ısıtıcı	0,1866	0,2507	0,3054
Çelik ısıtıcı	0,1601	0,2429	0,2782
Tüm ısıtıcılar	0,1722	0,2631	0,3268

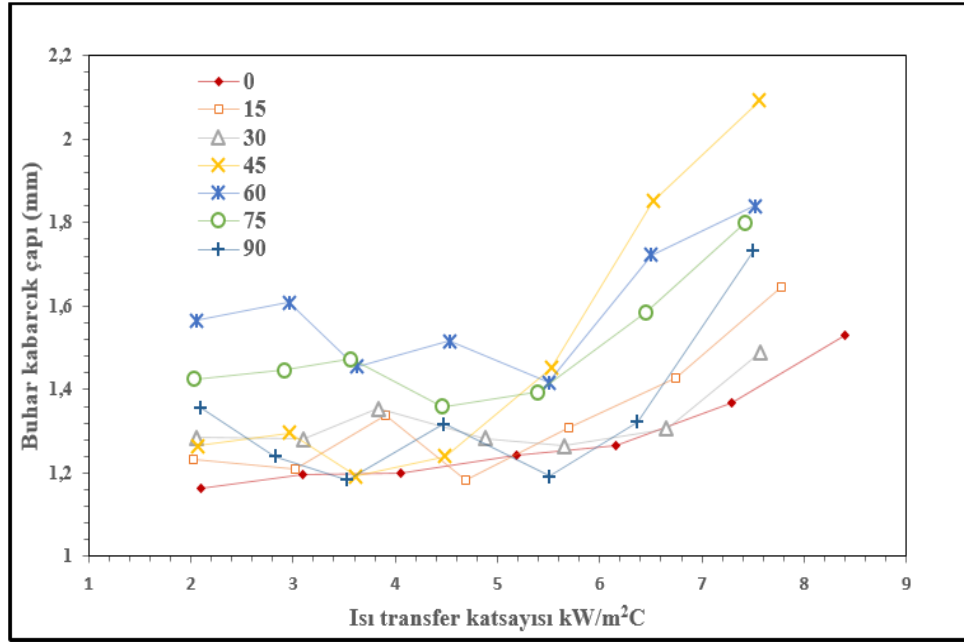
Jakob sayısı (Ja), buharlaşma faz değişimi sırasında meydana gelen duyulur ısının buharlaşma ısısına oranını ifade eden boyutsuz bir sayıdır. Bu boyutsuz sayı sıcaklık arttıkça artmaktadır ve sıcaklık artışının buhar kabarcığı çapı artışına etkisini yansıtmaktadır. Ja sayısı Eş.4.4'de verilmektedir. Eş.4.3'te yer alan "g" yer çekimini ifade etmektedir ve değeri 9.81 m/s^2 'ye eşittir. σ ise akışkanın yüzey gerilimini ifade etmektedir.

Buhar kabarcığının yukarı doğru hareketine, yüzey gerilimi etki etmektedir. Sıcaklık arttıkça yüzey gerilimi azalmakta buhar kabarcığının düzensizliği ve enerjisi

artmaktadır. Bu durumda buhar kabarcığı yukarı doğru hareket etmek zorunda kalmaktadır. Bu hareketlenmenin de buhar kabarcığı çapına etkisi eklendiğinde Eş.4.3'te yer alan model ortaya çıkmaktadır.

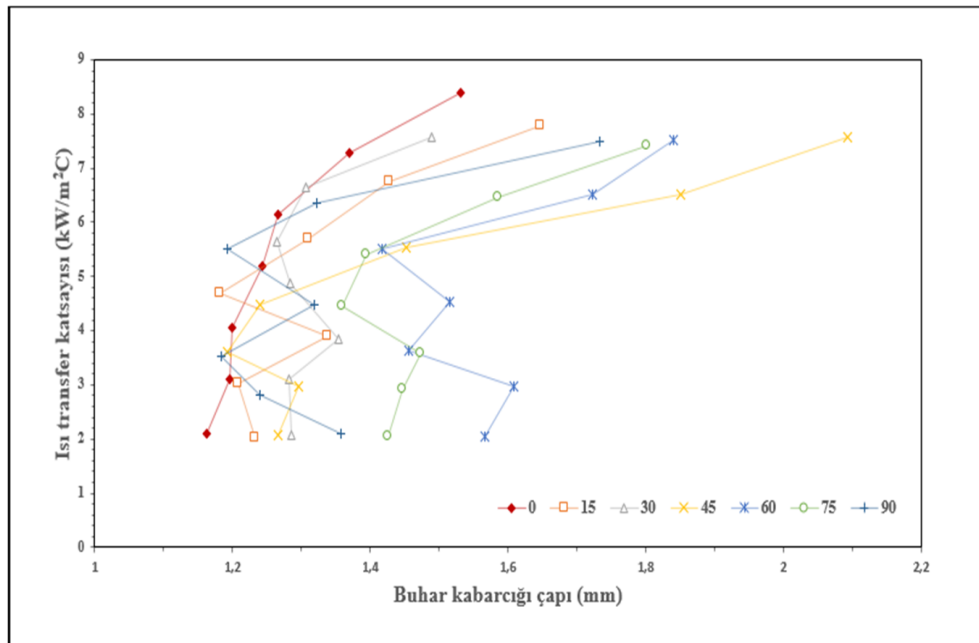
$$Ja = \frac{Cp_l(T_s - T_w)}{h_{fg}} \quad (4.4)$$

Şekil 4.14'te alüminyum $R_a=0,23155$ yüzey pürüzlülüğüne sahip ısıtıcı için sıcaklık farkı buhar kabarcığı çapı değişimi verilmiştir. 60° de genel olarak daha büyük buhar çapları elde edilmiştir. Bunun sebebi buhar kabarcığının koptuktan sonra ısıtıcı etrafında sürüklenmesi olduğu düşünülmektedir. 90° de ısıtıcı yüzey sıcaklığının artması ile de buhar kabarcığının çapının büyüdüğü görülmüştür. Bu durum büyüyen buhar kabarcıklarının ısıtıcı civarından fazla uzaklaşmadan yukarı çıktığından kaynaklandığını göstermektedir. Genel olarak sıcaklık farkının artması buhar kabarcığı çapını büyütüştür. Isıtıcı konumunun buhar kabarcığı çapına etkisi düzenli değildir. Sıcaklık farkının düşük olması yada yüksek olması farklı sonuçlar vermektedir. Benzer şekilde yatay konumlanmış ısıtıcı için (0°) buhar kabarcığı çaplarının ve sıcaklık farkı değişiminin diğerlerine oranla daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise buhar kabarcığının yüzeyden en hızlı kopma ve en az sürüklenmesinin ısıtıcı yatay konumdayken gerçekleştirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Buhar kabarcığı ne kadar hızlı ısıtıcıyı terk ederse ısı transferi o kadar iyi olmakta ve aynı ısı akısında daha düşük yüzey sıcaklığı elde edilebilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü $R_a=0,23155 \mu m$ olan alüminyum ısıtıcı için buhar kabarcık çapının sıcaklık farkı ile değişimi Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. $R_a=0,23155$ alüminyum yüzeyli ısıtıcıda buhar kabarcığı çapı değişimi

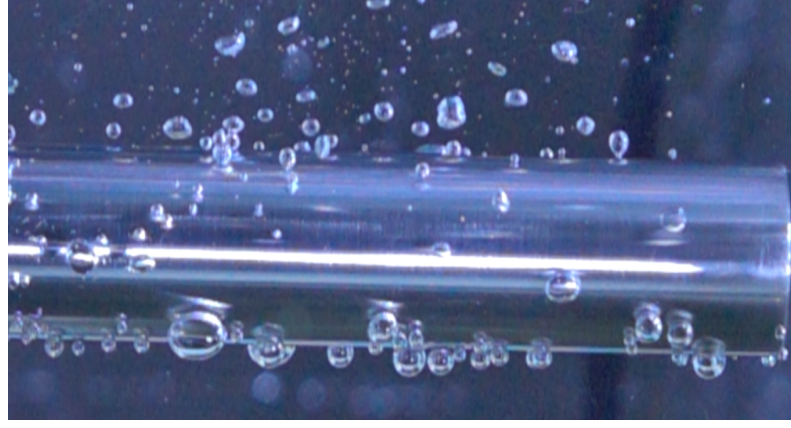
Farklı konumlarda sabit ısı akısında gerçekleştirilen deneylerde, daha düşük ısıtıcı yüzey sıcaklığı ve daha yüksek ısı transfer katsayısı elde edilmesi amaçlanmıştır. Şekil 4.15'te bu durum bir grafik ile açıklanmaktadır. Bu şekilde içi dolu köşegen biçimli gösterim, yatay ile 0° konumlanmış duran ısıtıcının ısı transfer katsayısını göstermektedir. Bu çizgi incelendiğinde en yüksek ısı transfer katsayısına ulaştığı görülmektedir. Tüm deney sonuçları Ek-B'de verilmiştir.



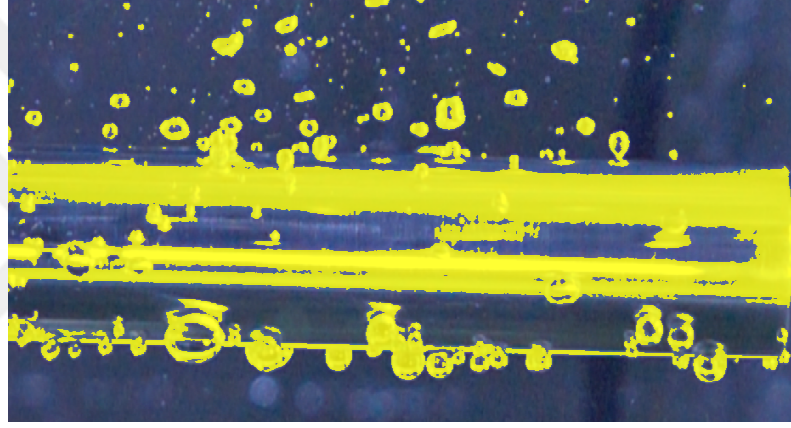
Şekil 4.15. $R_a=0,231$ Al. yüzeyli ısıtıcıda kabarcık çapı ısı transfer katsayısı değişimi

4.3.2. Buhar Kabarcığı Dijital İz Haritası

Şekil 4.16'da yatay (0 derece) duran ısıtıcı ($36kW/m^2$ sabit ısı akısı) civarında yer alan buhar kabarcıkları MATLAB R2017-B kullanarak görüntü işleme tabii tutulmuştur. A görselinde görüntü siyah beyaz hale getirilmiştir. B görselinde buhar kabarcıklarının yoğun olduğu bölge taranmıştır. Bu işlem ile iki boyutlu buhar hacminin bölgesel iz haritası oluşturulmuştur. C görselinde ısıtıcının yer aldığı bölge ve buhar kabarcıklarının yoğun olarak yer aldığı bölgenin iz haritası siyah-beyaz görülmektedir. Bu işlem ile ısıtıcı etrafında buhar fazının yoğun olarak yer aldığı bölge ilk kez dijital olarak gösterilmiştir. Şekil 6.16 incelendiğinde rezistansın alın kısmında buhar hacim oranının daha yoğun olduğu ve yukarı gittikçe azaldığı görülmektedir. İzole buhar kabarcığı bölgesinde, buhar kabarcıkları yüzeyden koptuktan bir süre sonra yoğuşarak tekrar sıvıya dönüşürler. Bu bölgede buhar kabarcıkları yüzeye ulaşmaz [4]. Yapılan bu deneyde de olduğu gibi buhar kabarcıkları yüzeyden bir miktar uzaklaşmasına rağmen daha sonra yoğuşmuşlardır. Buhar kabarcıklarının akım oluşturdukları bölgeleri deneysel çalışmanın bir görseli olan Şekil 4.16'da daha net görülmektedir. Isıtıcı etrafındaki bölgelerde buhar hareketinin daha yoğun olduğu sıvı hareketinde buhar hareketinden etkilendiği görülmektedir.



(a) Gerçek görüntü



(b) İşleme yapılmış görüntü



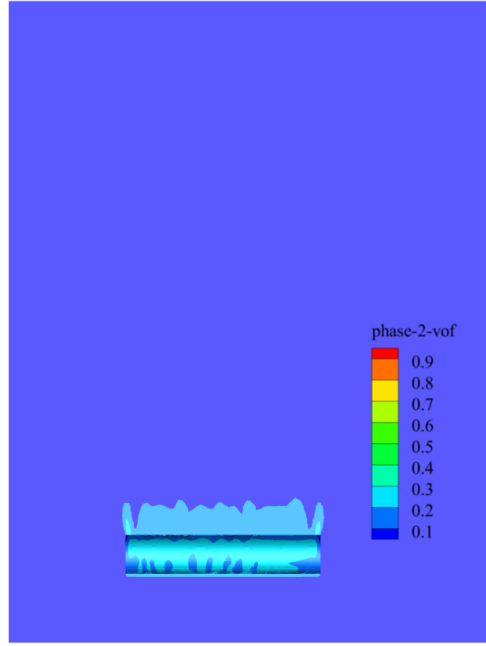
(c) İşleme yapılmış siyah-beyaz görüntü

Şekil 4.16. $36 \text{ kW}/\text{m}^2$ Yatay konumlu ısıtıcı

4.4. Sayısal Model

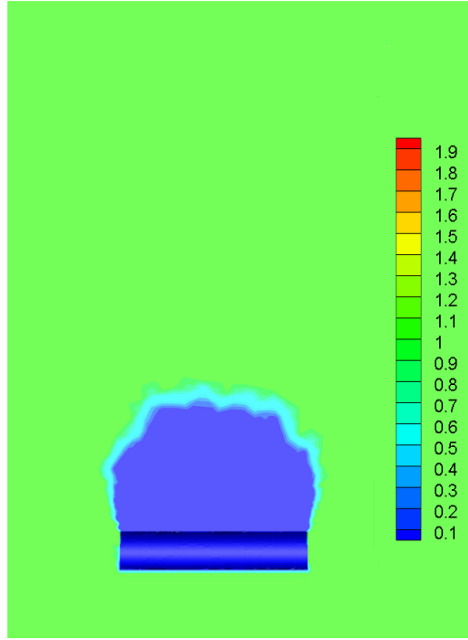
Kaynama ısı transferinde buhar oluşumu sıcak yüzey (katı-akışkan ara yüzeyi) üzerinde gözlenmektedir. Yüzeyde buhar haline dönen akışkanın yoğunluğu azaldığı için buhar kabarcığı kaldırma kuvvetlerinin (yüzey gerilimi) etkisi ile yüzeyden ayrılır. Ayrılan her kabarcığın boşalttığı hacim sıvı ile tekrar kaplanır ve yeni bir buhar kabarcığı oluşumu gerçekleştirir. Yüzeyden ayrılan buhar kabarcıkları sıvı fazda da bir hareketliliğe sebep olur. Bu olaylar çok hızlı gerçekleşir ve süreklilik arz eder. Bu nedenle havuz kaynması modeli olarak türbülanslı modeller tercih edilir. Tezin bu bölümünde kaynama ısı transferi sayısal analizi için ANSYS FLUENT 18.1 RPI kaynama modeli kullanılarak yapılan modelleme çalışmalarına ait bulgular değerlendirilecektir. Daha önce belirtildiği üzere kaynama 3 boyutlu zamana bağlı olarak modellenmeye çalışılmış ve türbülanslı $k - \epsilon$ modeli tercih edilmiştir. Günümüzde bir çok sayısal çalışmada kaynama ısı transferi türbülans modeli kullanılarak modellenmiştir [50, 134, 135].

Şekil 4.17'de ise sayısal analiz sonucu TECPLOT 360 EX2017 R1 programında işlenerek analiz sonuçlarının görselleri elde edilmiştir. Şekil 4.17'de buhar hacim oranı yer almaktadır. Yatay konumlanmış ısıtıcıda buhar hacim oranı ısıtıcı civarında ve yüzeyinde yoğun bir şekilde görülmektedir. Buhar hacmi ısıtıcıdan bir miktar yukarı doğru hareket etmesine rağmen sıvı serbest yüzeyine ulaşmadığı görülmektedir. $87 \text{ kW}/\text{m}^2$ ısı akısı buhar jet kolonu bölgesine oldukça yakın olduğu için ısıtıcının kenar bölgelerinde buhar hareketinin jet hareketine doğru yönelim gösterdiği görülmektedir.



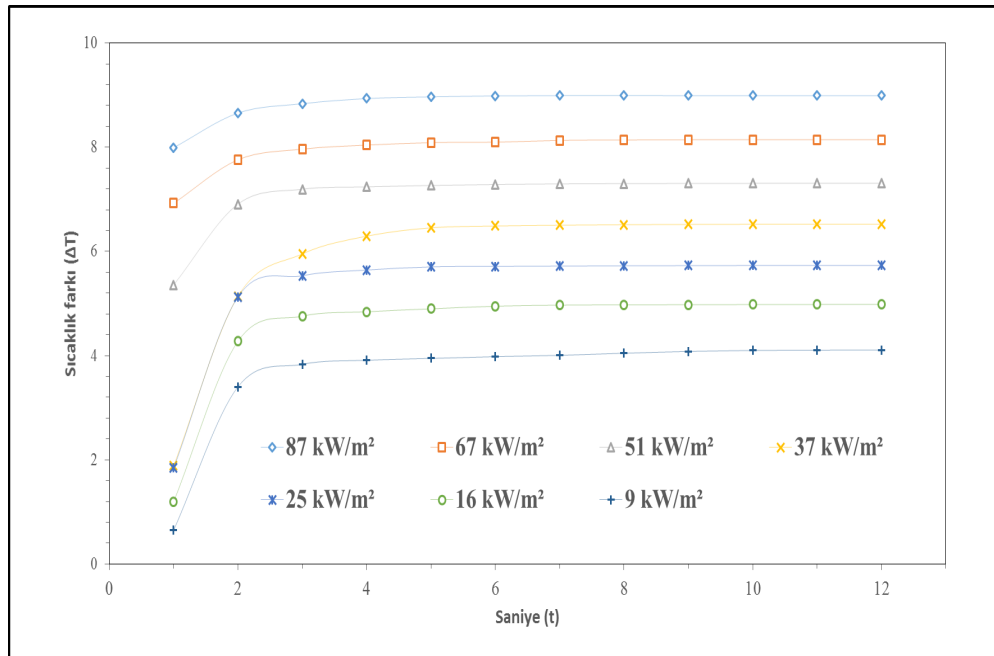
Şekil 4.17. $87 \text{ kW}/\text{m}^2$ ısı akısında 6. saniye buhar hacim oranı

Şekil 4.18’de ise buharın türbülans kinetik enerji dağılımı görülmektedir. Türbülans kinetik enerjisi "k" türbülanslı bir akışta türbülanslı dalgalanmaların sebep olduğu kinetik enerjinin, birim hacme denk gelen kısmını ifade etmektedir. Sayısal analizler de buhar kabarcığının oluşturduğu türbülanslı bölgeyi gözlemleyebilmek için sıvı fazın türbülans kinetik enerjisi başlangıçta 1 alınmıştır. Bu değer ANSYS-FLUENT’in model çözümü için referans değeridir. Buhar kabarcıklarının yoğun olduğu bölgenin yoğunluğu sıvı fazına göre daha düşük olduğu için türbülans kinetik enerji oranı daha az gibi görünmektedir. Türbülans kinetik enerjinin incelenmesinin nedeni türbülanslı akışın meydana geldiği bölgeyi tahmin edebilmektir. Zamana bağlı analizlerde çözüm belirli bir süreden sonra sürekliliğe ulaşmalıdır.



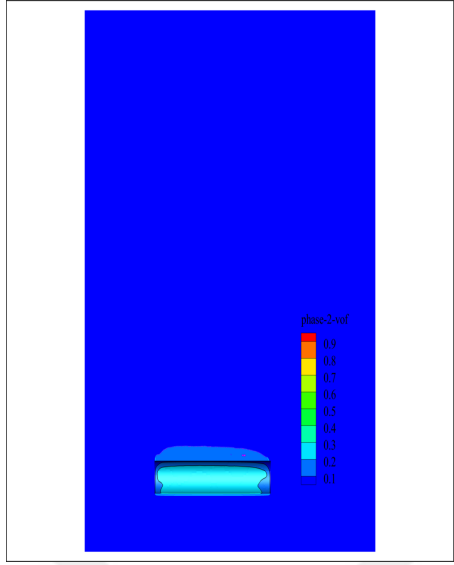
Şekil 4.18. $87\text{ kW}/\text{m}^2$ ısı akısında 6. saniye türbülans kinetik enerjisi

Şekil 4.19’da yer alan grafikte 6.saniyeden sonra ısıtıcı yüzey sıcaklığı değişmediği görülmektedir. Bu analizde çözümün 6.saniyede kararlılığa ulaştığı kabul edilmiştir. Buradan sonra yer alan tüm sıcaklık değişimi ifadeleri 6.saniyede gerçekleşen çözüm içindir. Akış profillerininde 6.saniyede kararlılığa ulaştığı gözlenmiştir.

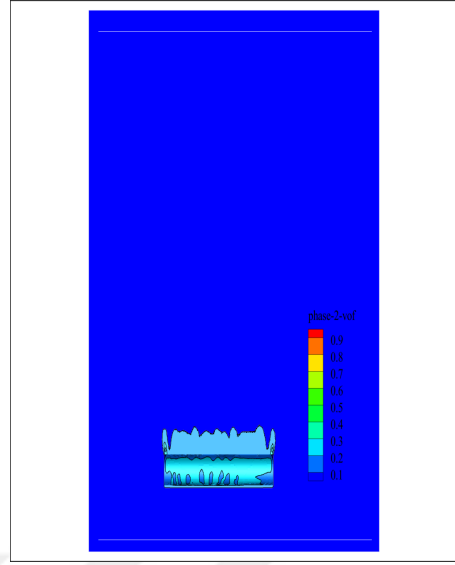


Şekil 4.19. Sayısal analiz sıcaklık farkının zamanla değişimi

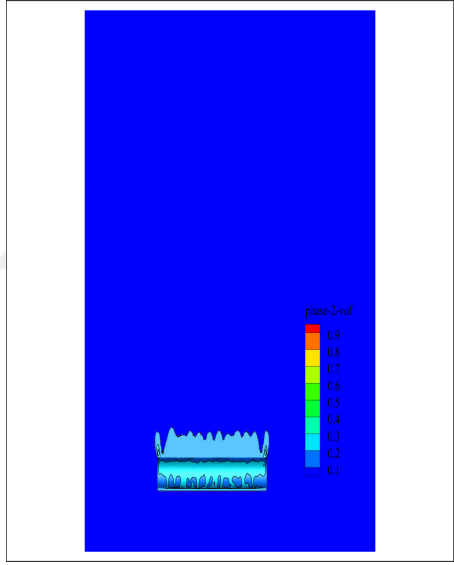
Buhar hacim oranları dağılımı literatürde yer alan önceki çalışmalara benzerlik şekilde göstermiştir [55]. Şekil 4.20'de $87 \text{ kW}/\text{m}^2$ ısı akısında 3.6.9. ve 12. saniyelerdeki su buharı hacim oranları dağılımı elde edilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, analizin 3. ve 6. saniyesinde buhar hacim oranı dağılımının ısıtıcı etrafında ve üst kısmına doğru arttığı görülmektedir. 6. saniyesinde buhar hacim oranının özellikle ısıtıcı yüzeyinde daha da arttığı görülmektedir. Analizin 9. ve 12. saniyesinde buhar hacim oranının değişmediği ve benzer dağılım gösterdiği görülmektedir. Türbülans kinetik enerji (TKE) değişimi ise çok az görülmektedir. TKE'ninde özellikle 9. ve 12. saniyelerde fazla değişmediği Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Yüzey sıcaklığı 6. saniyede sabitleşmesi ısıtıcı etrafında gerçekleşen akış profillerinde kararlı hale gelmesine sebep olmuştur.



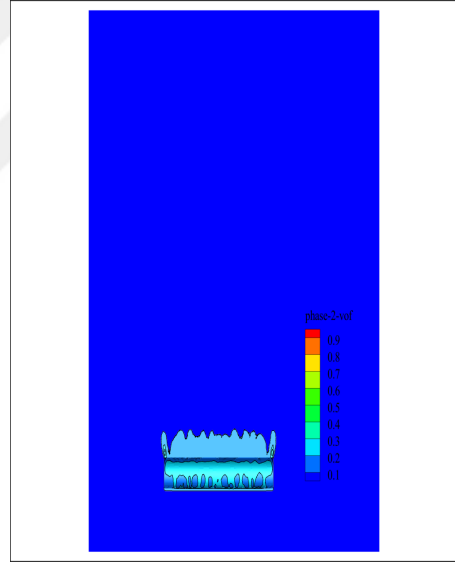
(a) 3.saniye



(b) 6.saniye

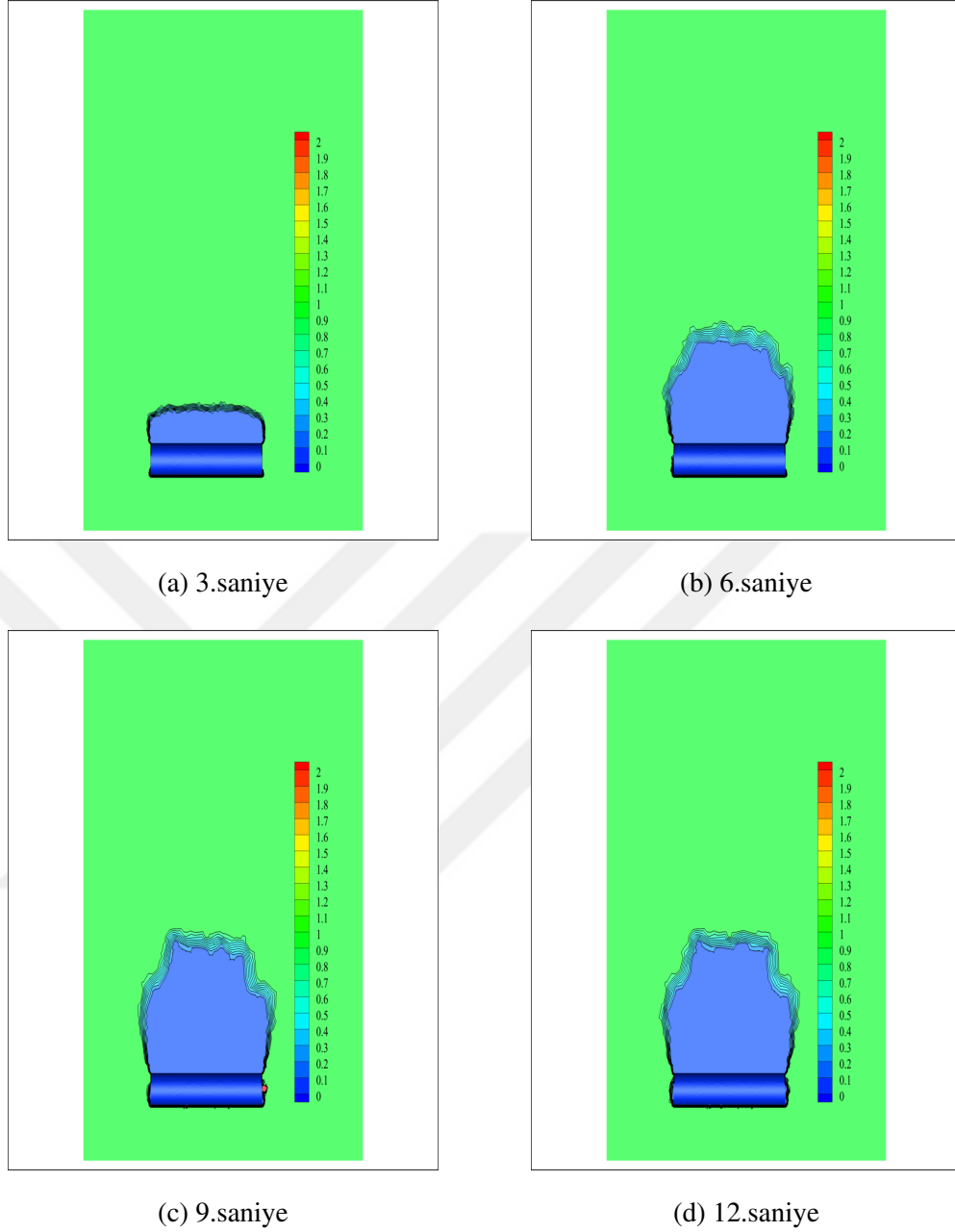


(c) 9.saniye



(d) 12.saniye

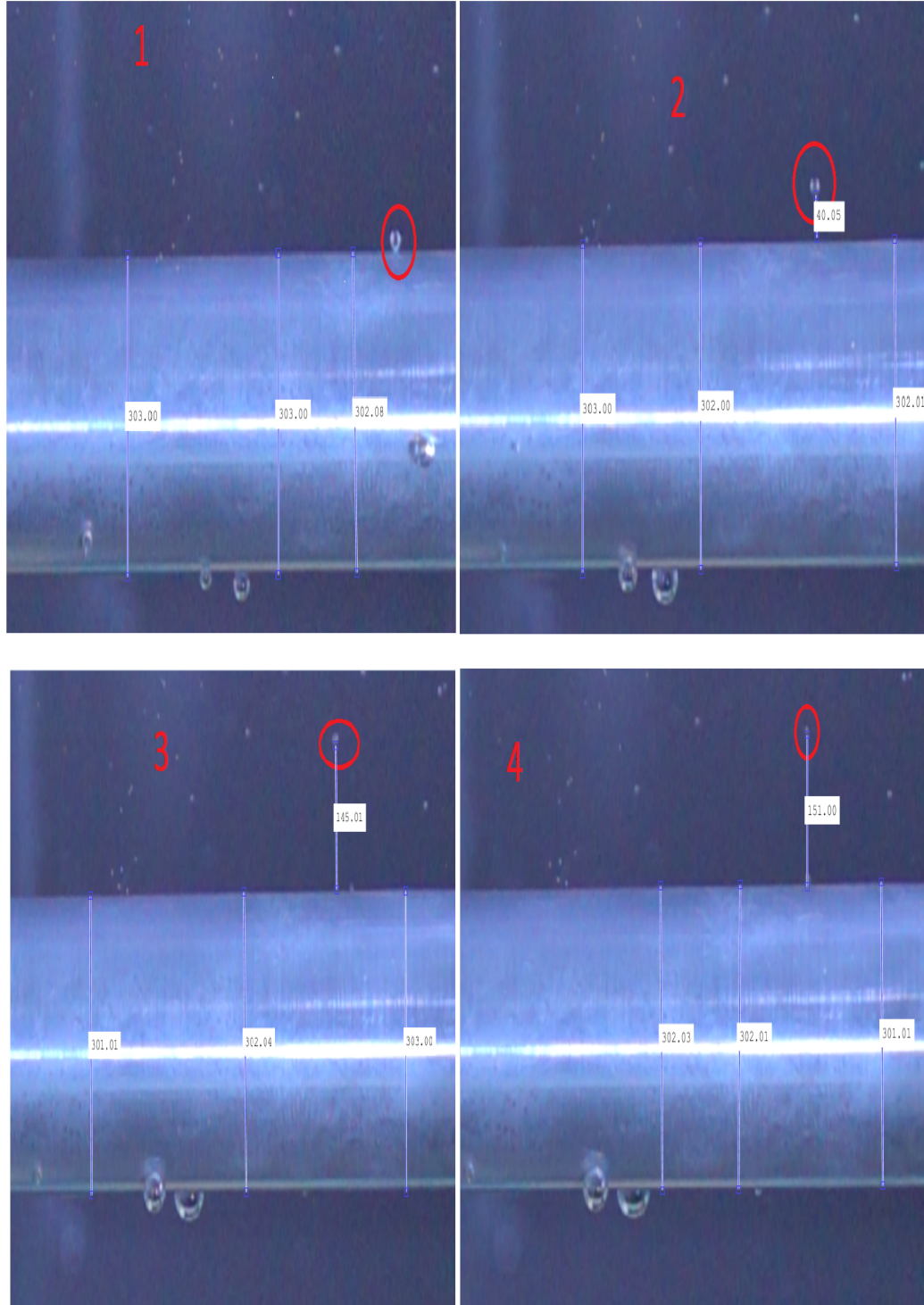
Şekil 4.20. $87kW/m^2$ ısı akısında 3. 6. 9. ve 12. saniye sıvı-buhar hacim oranı



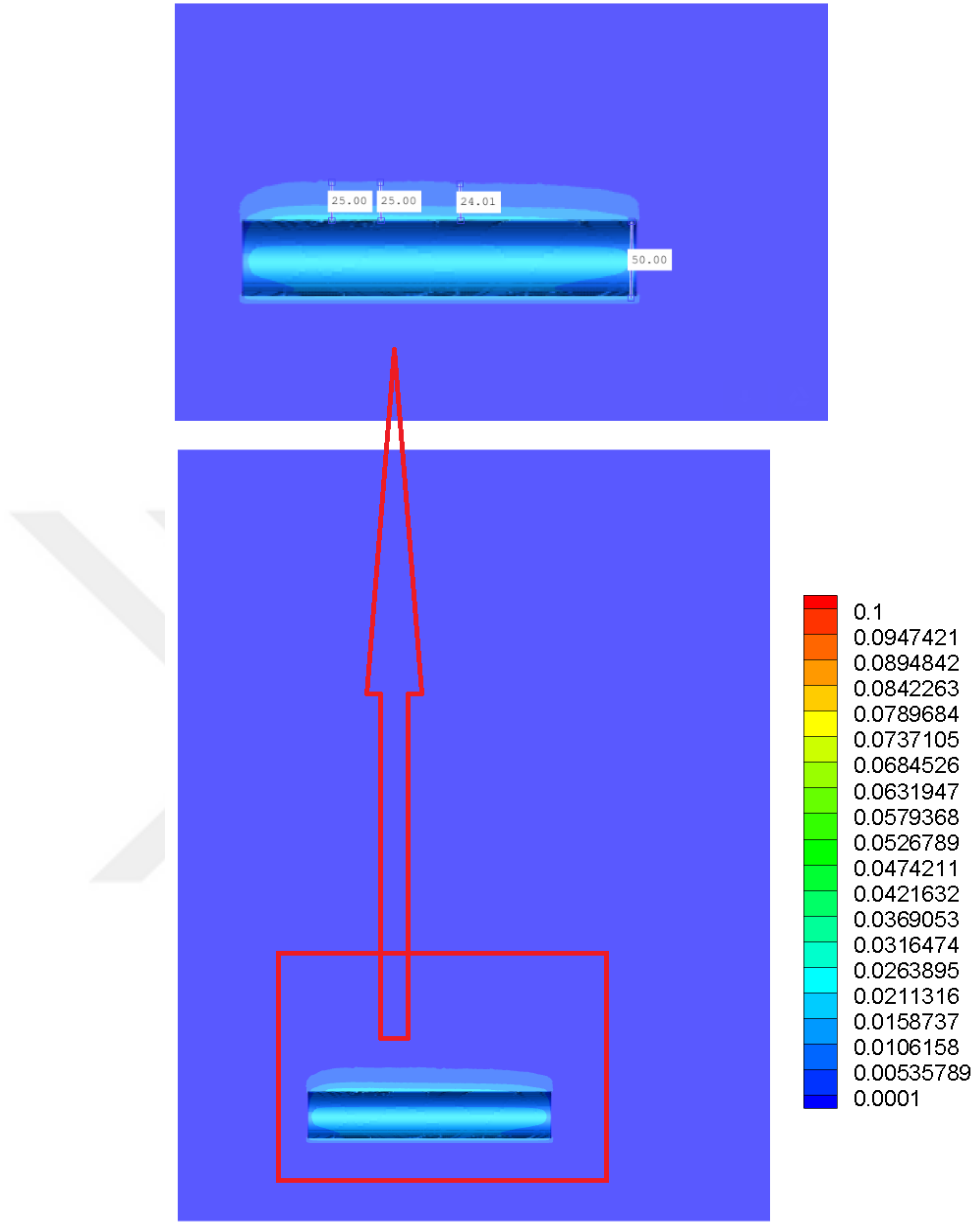
Şekil 4.21. $87kW/m^2$ ısı akısında 3. 6. 9. ve 12. saniye TKE

Şekil 4.22 ve Şekil 4.23 deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların uyumluluğunu göstermektedir. Şekil 4.22’de izole bölgede gerçekleşen kabarcıklı kaynamada tek buhar kabarcığı sıvı serbest yüzeyine ulaşmadan sönmülmektedir. Sönmülmenden önce koptuğu yerden 151 piksel yukarı doğru hareket etmiştir. Basit bir doğru orantı kullanılarak ne kadar yukarı çıktığı hesaplanabilmektedir. Bu deneyde kullanılan ısıtıcının çapı 20 mm yani 303 piksel ölçülmüştür. Buhar kabarcığıda yukarı doğru 151 piksel hareket ettiğine göre takribi 10 mm yükselmiştir. Şekil 4.23’te buhar hacim oranının $8700 W/m^2$ ısı akısı uygulanan ısıtıcı için 12. saniyede ısıtıcı civarındaki

durumu gösterilmektedir. Yine sayısal analizde ısıtıcı çapı 20 mm ve 50 pikseldir. Buhar hacim oranının çıktığı yüksekliği ise 25 piksel dir. Yine basit bir orantı işlemi ile sayısal analizde de buharın 10 mm yükseldiği görülmektedir.

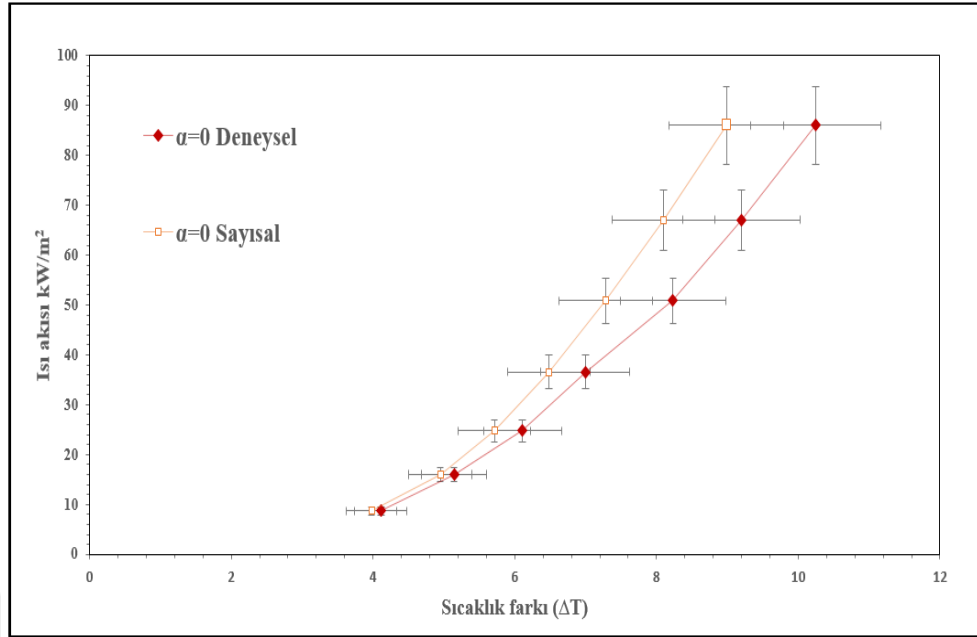


Şekil 4.22. $8700 \text{ W}/\text{m}^2$ tek buhar kabarcığı hacim bölgesi (deneysel)



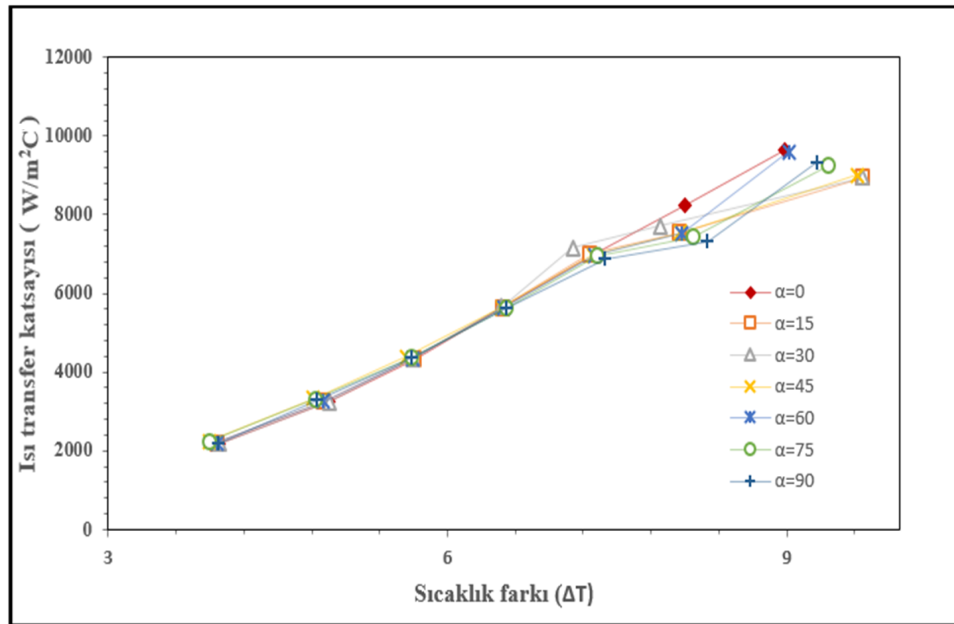
Şekil 4.23. $8700 \text{ W}/\text{m}^2$ buhar hacim oranı (HAD)

Şekil 4.24'de çelik yüzeyli ısıtıcı için yatay konumlanmış (0°) durumda ısı akısının sıcaklık farkı ile değişiminin deneysel ve sayısal sonuçları yer almaktadır. Deneysel çalışmada %9 civarında hata payı olduğu daha önceki belirsizlik analizinde bulunmuştu. Bu grafikte hata oranı çizgileri %9 olarak ayarlanmıştır. Bu şekilde deney sonuçları ile analiz sonuçlarının hata oranı içerisinde örtüştüğü gösterilmiştir.

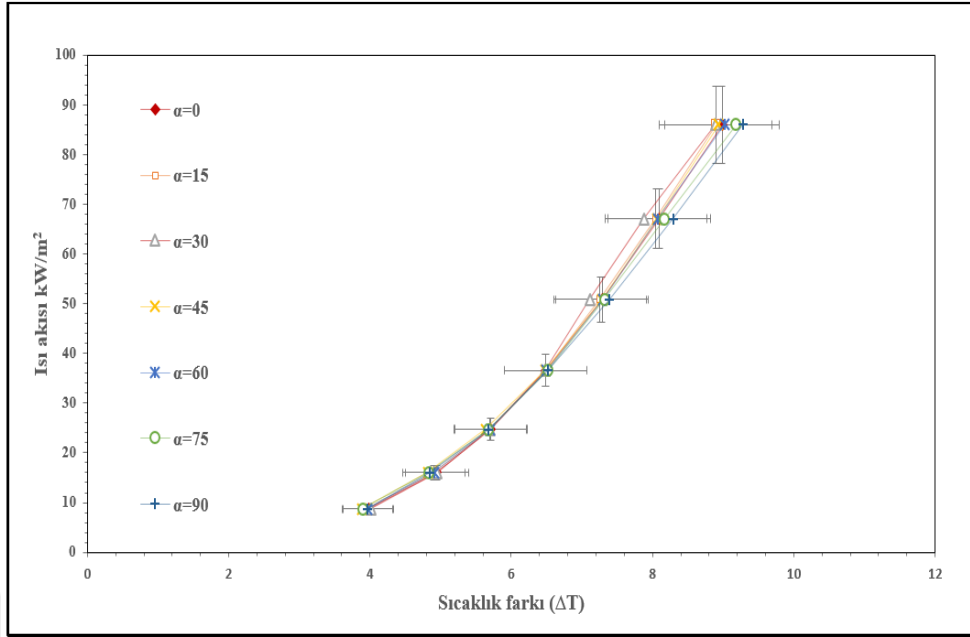


Şekil 4.24. $\alpha = 0^\circ$ 'de ısı akısının sıcaklık farkı ile değişiminin karşılaştırılması

Şekil 4.25'te ısıtıcı konum açısı ısı transfer katsayısına etkisi araştırılmıştır. Düşük ısı akılarında konum açısının etkisi neredeyse yoktur. Isı akısı arttıkça konum değişimi ile birlikte ısı transfer katsayısında da değişiklikler meydana gelmiştir. Deneysel olarak olduğu gibi en yüksek ısı transfer katsayısı $\alpha = 0^\circ$ 'da gerçekleşmiştir. Daha yüksek ısı akılarında konum açısı etkisinin daha belirgin olacağı düşünülmektedir.



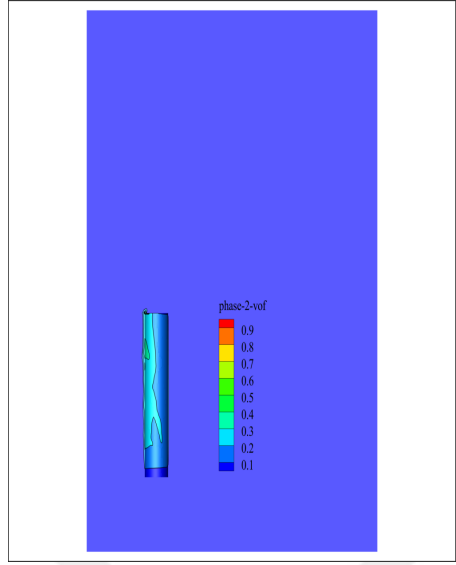
Şekil 4.25. Konum açısı değişiminin ısı transfer katsayısına etkisi



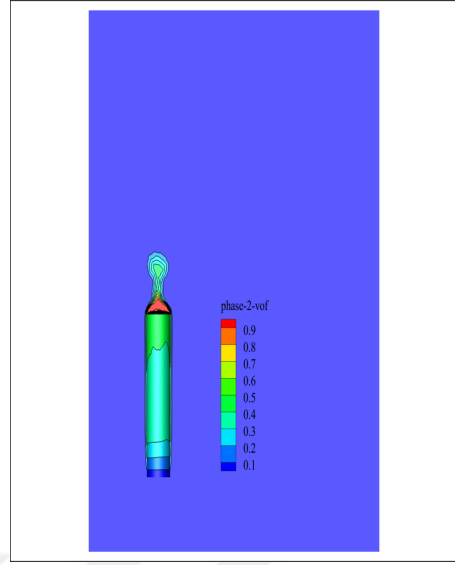
Şekil 4.26. Konum açısı değişiminin ısı akısı-sıcaklık farkına etkisi

Şekil 4.26'de ise yatay konumdan başlayarak her 15° ısıtıcı konum değişimi için yapılan analizlerin sonuçları yer almaktadır. Bu grafikte ısıtıcı konum açısı değişiminin, sıcaklık farkı (ΔT) üzerine etkisinin oldukça az olduğu belirlenmiştir.

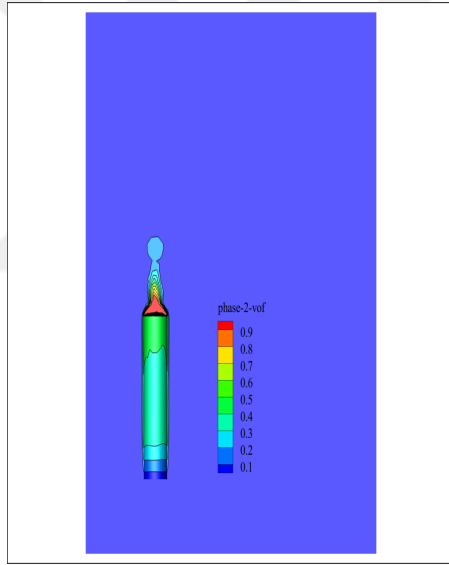
90° konumlanmış ısıtıcı $87 \text{ kW}/\text{m}^2$ buhar hacim oranı Şekil 4.27'de görülmektedir. Isıtıcının üst bölgesinde yoğun bir şekilde buhar yer alırken ısıtıcıdan uzaklaştıkça buharın sönmüldüğü anlaşılmaktadır. Ayrıca ısıtıcı konum değişiminin buhar hareketine referans olduğu ve buhara yön verdiği yatay konumlu ve dikey konumlu ısıtıcılar karşılaştırıldığında anlaşılmaktadır. Isıtıcı dikey konumda yer alırken buhar yüksekliği yatay konumlu ısıtıcıya göre bir miktar daha fazla olmaktadır.



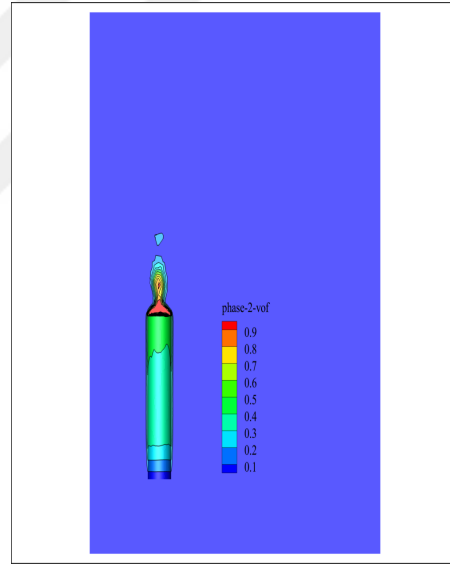
(a) 3.saniye



(b) 6.saniye



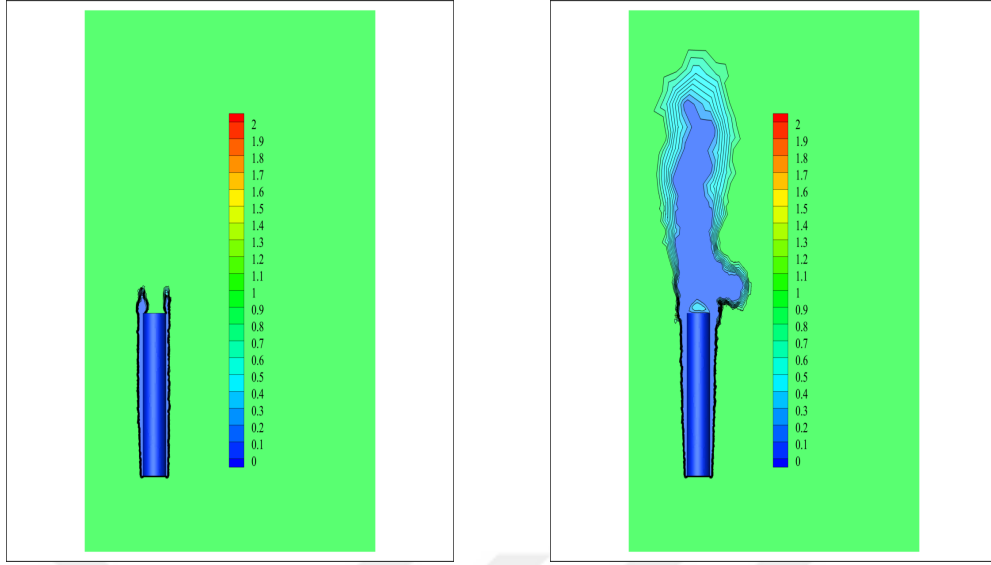
(c) 9.saniye



(d) 12.saniye

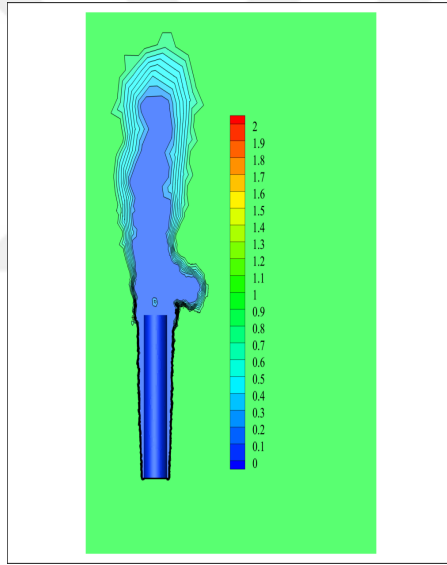
Şekil 4.27. 90 ° konum ısıtıcı 87 kW/m² buhar hacim oranı

90° konumlanmış ısıtıcı 87 kW/m² TKE Şekil 4.28’de görülmektedir. Isıtıcı civarında ve üstünde buhar kabarcığının hareketinden dolayı türbülans oluştuğu fakat bu hareketin yüzeye ulaşmadığı görülmektedir. Bazı düzensiz buhar hareketlerinin de ısıtıcının üst bölgesinde bir miktar sağ yana doğru kaydığı görülmektedir.

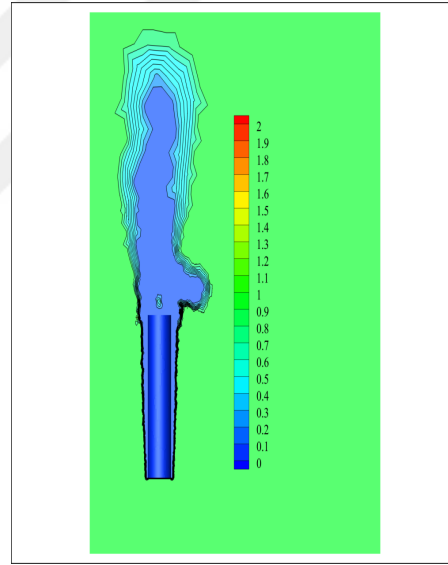


(a) 3.saniye

(b) 6.saniye



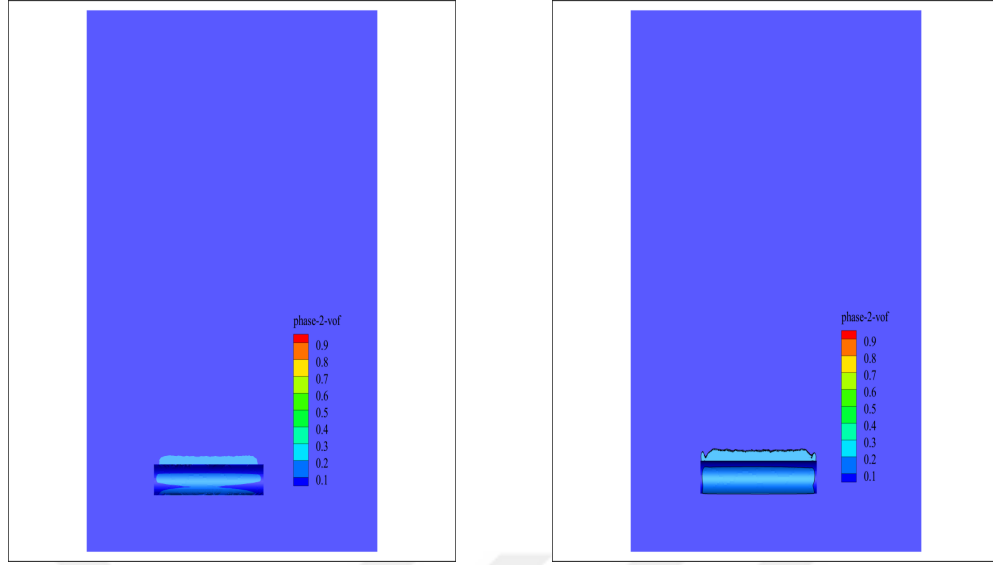
(c) 9.saniye



(d) 12.saniye

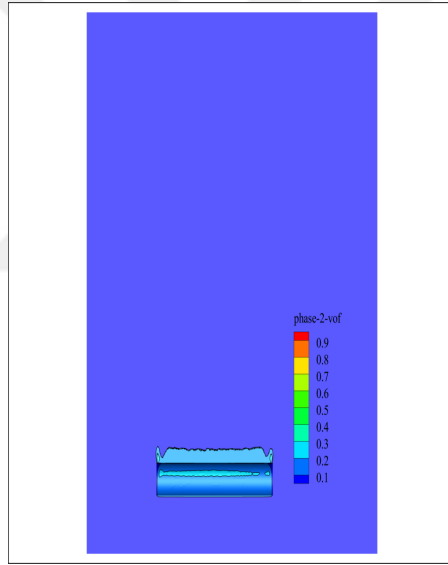
Şekil 4.28. 90 ° konumlanmış ısıtıcı 87 kW/m² TKE

Yatay konumlanmış ısıtıcı için farklı ısı akılarındaki 6. saniye buhar hacim oranları Şekil 4.29'da görülmektedir. Burada 36 kW/m² ısı akısına kadar 6. saniye analizlerinde buhar hacim oranında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. 36 kW/m² ısı akısında ısıtıcı merkez civarında bir miktar değişim gözlenmiştir. Bu yüzden bu Şekil 4.29 36 kW/m² ısı akısından başlamaktadır. Bu ısı akısından sonra buhar fazı için buhar hacim oranında ciddi değişiklikler gözlenmiştir.

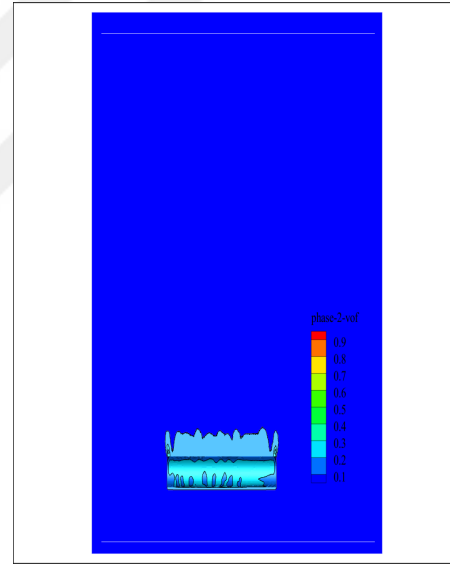


(a) 36 kW/m^2

(b) 50 kW/m^2



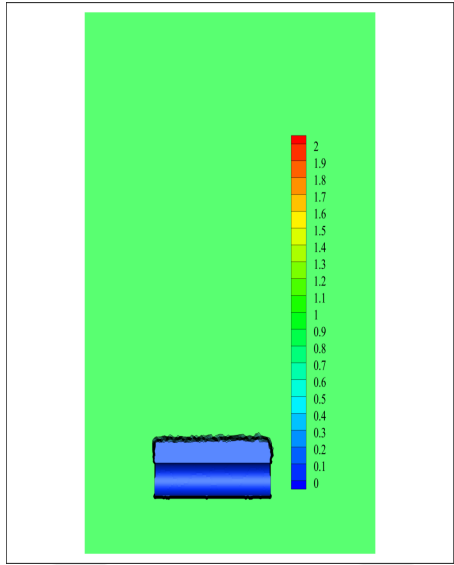
(c) 60 kW/m^2



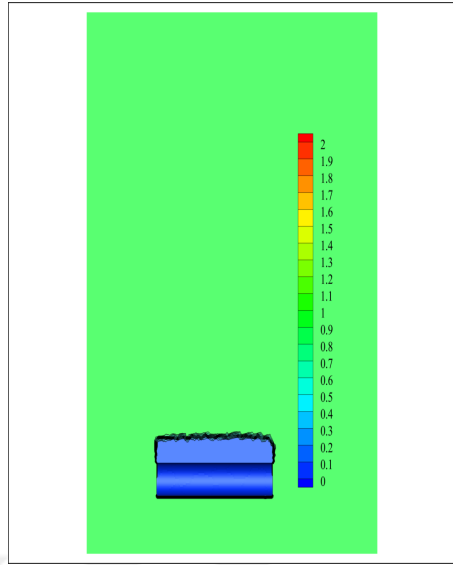
(d) 87 kW/m^2

Şekil 4.29. $\alpha = 0^\circ$ 'de farklı ısı akıları için buhar hacim oranları dağılımı

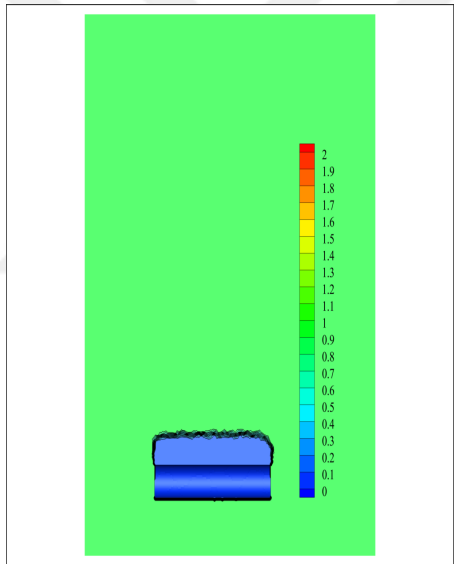
Yatay konumlandırılmış ısıtıcı için farklı ısı akılarındaki 6. saniye TKE Şekil 4.30'da görülmektedir. Burada düşük ısı akılarında doğal taşınım kaynamasının sebep olduğu etkilerden dolayı ısıtıcı civarında bir miktar TKE artışı gözlenmiştir. Yüksek ısı akılarında ise buhar kabarcığı hareketinin etkisi ile TKE'nin gerçekleştiği bölgeninde yüksekliği artmıştır.



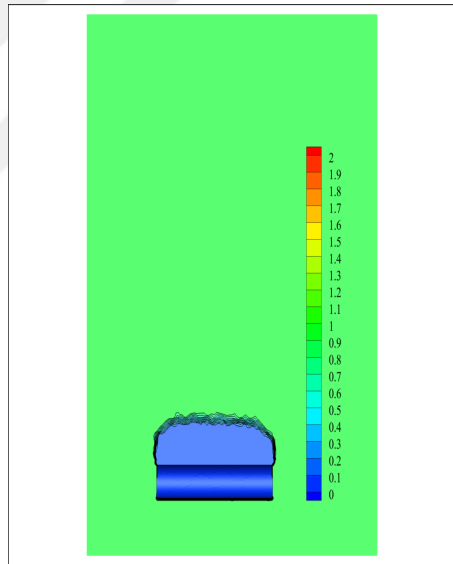
(a) 8 kW/m^2



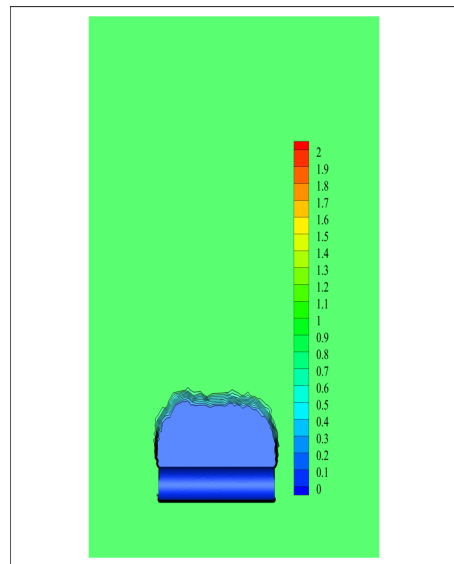
(b) 16 kW/m^2



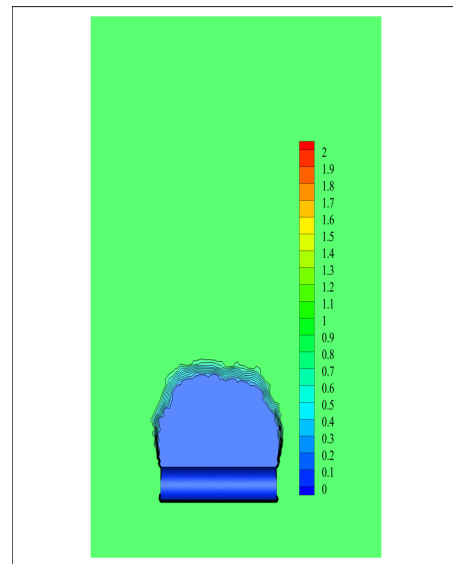
(c) 24 kW/m^2



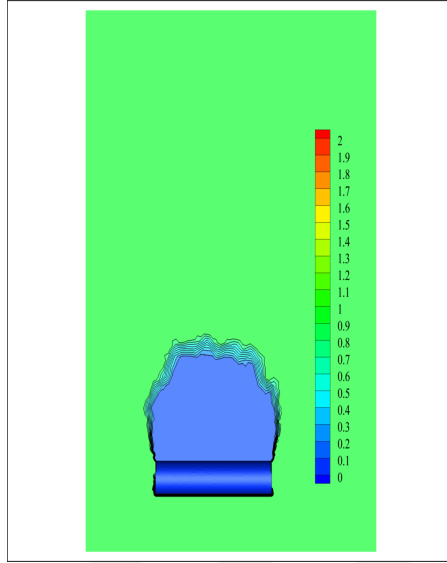
(d) 36 kW/m^2



(e) 50 kW/m^2



(f) 60 kW/m^2



(g) 87 kW/m^2

Şekil 4.30. Farklı ısı akılarında $\alpha = 0^\circ$ 'de TKE dağılımı

5. SONUÇ

Bu çalışmada, izole kabarcık bölgesinde gerçekleşen havuz kaynamasında ısı ve kütle transferi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen teorik ve deneysel bulgular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Bu tez çalışmasında, izole kabarcık bölgesinde gerçekleşen havuz kaynamada ısı akısı hesabı YAK algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. YAK algoritması, genetik algoritma ile karşılaştırıldığında daha kısa sürede daha az hata oranı ile tahmin yapmıştır. Bu optimizasyon sonucunda kaynama ısı akısı %25 hata ile tahmin edilmiştir. Elde edilen bu sonucun literatürde yer alan ısı akısı hesap denklemlerinin sonuçları ile kıyaslandığında en düşük hata oranına sahip olduğu belirlenmiştir. YAK'ın en iyi duruma getirilmiş modeli, bahsedilen korelasyon modelleriyle karşılaştırıldığında anlamlı olarak daha az ortalama mutlak hataya sahip olduğu bulunmuştur.

2. Hesapsal zeka algoritmaları kullanılarak havuz kaynamada ısı akısı tahmini gerçekleştirilmiştir. Kara kutu tekniklerinin, beyaz kutu tekniklerine oranla avantaj ve dezavantajları karşılaştırılarak en uygun hesapsal zeka metodu belirlenmiştir. Bu işlem sonucunda DVM ile yapılan tahminin diğer tüm optimizasyon tekniklerinden daha düşük hata oranı ile ısı akısını tahmin edebildiği gösterilmiştir.

3. Deneysel çalışma kapsamında ısıtıcının farklı konumları için ortalama kabarcık çapındaki değişimler incelenmiştir. Isıtıcı konum açısı değişiminin ortalama kabarcık çapı değişimine etkisi çok az olmuştur. izole bölgede gerçekleşen kaynama ısı transferi ile ilgili yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Kaynama ısı transferine etki eden buhar kabarcığı çapı hesabı için yeni denklem üretilmiştir.

4. Tez çalışmasının dördüncü kısmında, deneysel kurulumunun zamana bağlı sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Analizin 6.saniyesinden sonra ısıtıcı yüzey sıcaklığında değişim olmadığı ve ısıtıcı yüzey sıcaklığının neredeyse sabitlendiği gösterilmiştir. Sayısal analiz sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sayısal analiz ile buhar hacim oranı, TKE ve ısıtıcı yüzey sıcaklığı modelleri incelenmiştir. Farklı ısı

akılarında elde edilen ısı akısı-ısıtıcı yüzey sıcaklığı grafiği eğrisinin deneysel sonuçlar ile benzerlik içinde olduğu ortaya konmuştur.



KAYNAKLAR

- [1] Alavi Fazel, S. A., Sarafraz, M., Arabi Shamsabadi, A., ve Peyghambarzadeh, S. M., Pool boiling heat transfer in diluted water, *Heat transfer engineering*, 34(10-12), 828-837, 2013.
- [2] Çiloğlu, D., Mikro boyutta yapılandırılmış bir yüzeyde havuz kaynama ısı transferinin deneysel incelenmesi, Niğede Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(1), 213-219, 2017.
- [3] Gottfried, B. S., Bell, K. J., Film boiling of spheroidal droplets. Leidenfrost phenomenon, *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 5(4), 561-568, 1966.
- [4] Nukiyama, S., Yoshizawa, Y., Thermal conductivities of water, seawater, and some water solutions, *Society of Mechanical Engineers of Japan Journal*, 37(206), 347-350, 1934.
- [5] Cengel, Y., *Heat and mass transfer: fundamentals and applications*. McGraw-Hill Higher Education, USA, (2014).
- [6] Fritz, W., Berechnung des maximalvolumens von dampfblasen, *Physik, Zeitschr*, 36, 379-384, 1935.
- [7] Kocamustafaogulları, G., Ishii, M., Interfacial area and nucleation site density in boiling systems, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 26(9), 1377-1387, 1983.
- [8] Levy, S., Forced convection subcooled boiling—prediction of vapor volumetric fraction. *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 10(7), 951-965, 1967.
- [9] Klausner, J. F., Mei, R., Bernhard, D. M., & Zeng, L. Z., Vapor bubble departure in forced convection boiling, *International journal of heat and mass transfer*, 36(3), 651-662, 1993.
- [10] Gunther, F. C., Photographic study of surface-boiling heat transfer to water forced convection. *Trans. ASME*, 73, 115-123, 1951.
- [11] Treshchev, G. G., The number of vapor-formation centers in surface boiling, *Convective Heat Transfer In Two-Phase And One-Phase Flows*, 97-105, 1969.

- [12] Abdelmessih, A. H., Hooper, F. C., & Nangia, S., Flow effects on bubble growth and collapse in surface boiling, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 15(1), 115-125, 1972.
- [13] Ünal, H. C., Maximum bubble diameter, maximum bubble-growth time and bubble-growth rate during the subcooled nucleate flow boiling of water up to 17.7 MN/m², *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 19(6), 643-649, 1976.
- [14] Ruckenstein, R., Recent trends in boiling heat transfer research, *Applied Mechanics Revision* 17, 663-672, 1964.
- [15] Cole, Robert., Rohsenow, W. M., Correlation of bubble departure diameters for boiling of saturated liquids, In *Chemical Engineering Program Symposium Series*, Vol. 65, No. 92, 211-213, September 1969.
- [16] Cole, R., Bubble frequencies and departure volumes at subatmospheric pressures. *AIChE Journal*, 13(4), 779-783, 1967.
- [17] Van Stralen, S. J. D., Zijl, Wouter., Fundamental developments in bubble dynamics, In: *International Heat Transfer Conference Digital Library*, Begel House Inc., 1978.
- [18] Jamialahamadi, M., Helaizadeh, A., Müller-Steinhagen, H., Pool boiling heat transfer to electrolyte solutions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(4), 729-742, 2004.
- [19] Fazel, S. A., Shafee, S. B., Bubble dynamics for nucleate pool boiling of electrolyte solutions, *Journal of Heat Transfer*, 132(8), 2010.
- [20] Bovard, S., Asadinia, H., Hosseini, G., & Fazel, S. A., Investigation and experimental analysis of the bubble departure diameter in pure liquids on horizontal cylindrical heater, *Heat and Mass Transfer*, 53(4), 1199-1210, 2017.
- [21] Gorenflo, D., Knabe, V., & Bieling, V., Bubble Density on Surfaces with Nucleate Boiling-Its Influence on Heat Transfer and Burnout Heat Flux at Elevated Saturation Pressures, In: *International Heat Transfer Conference Digital Library*, Begel House Inc., 1986.

- [22] Lee, H. C., Do Oh, B., Bae, S. W., & Kim, M. H., Single bubble growth in saturated pool boiling on a constant wall temperature surface. *International Journal of Multiphase Flow*, 29(12), 1857-1874, 2003.
- [23] Corty, C., Surface variables in nucleate boiling, *Chemical Engineering Progress Symposium Series*. Vol. 51, 1-12, 1955.
- [24] Kurihara, H. M., Myers, J. E., The effects of superheat and surface roughness on boiling coefficients, *AIChE Journal*, 6(1), 83-91, 1960.
- [25] Berenson, P. J., Experiments on pool-boiling heat transfer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 5(10), 985-999, 1962.
- [26] W. M. Rohsenow., A method of correlating heat transfer data for surface boiling liquids, *Journal, Heat Transfer*, vol. 74, 969-976, 1952.
- [27] Vachon, R. I., Nix, G. H., & Tanger, G. E. Evaluation of constants for the Rohsenow pool-boiling correlation, *Journal of Heat Transfer*, 90(2), 239-246, 1968.
- [28] Kozitskii, V. I., Heat transfer coefficients for boiling of n-butane on surfaces of various roughness, *Chemical and Petroleum Engineering*, 8(1), 23-24, 1972.
- [29] Nishikawa, K., Fujita, Y., Ohta, H., & Hidaka, S., Effect of the surface roughness on the nucleate boiling heat transfer over the wide range of pressure, In *International Heat Transfer Conference Digital Library*. Begel House Inc, 1982.
- [30] Stephan, K., Abdelsalam, M., Heat-transfer correlations for natural convection boiling, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 23(1), 73-87, 1980.
- [31] Chowdhury, S. R., & Winterton, R. H. S., Surface effects in pool boiling, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 28(10), 1881-1889, 1985.
- [32] Benjamin, R. J., Balakrishnan, A. R., Nucleation site density in pool boiling of saturated pure liquids: effect of surface microroughness and surface and liquid physical properties, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 15(1), 32-42, 1997.
- [33] Luke, A., Pool boiling heat transfer from horizontal tubes with different surface roughness, *International Journal of Refrigeration*, 20(8), 561-574, 1997.
- [34] Sharma, M. C., and Hara, A., Boiling heat transfer from Shot peened aluminium

- surface to glycol solution, in Seventh International Conference on Shot Peening, Warsaw, Poland, 337-343, 1999.
- [35] Kang, M., Effect of surface roughness on pool boiling heat transfer, *International Journal Of Heat and Mass Transfer*, 43(22) 4073-4085, 2000.
- [36] Hahne, E., & Barthau, G., Heat transfer and nucleation in pool-boiling, *International Journal Of Thermal Sciences*, 45(3), 209-216, 2006.
- [37] Piroo, I. L., Rohsenow, W., & Doerffer, S. S., Nucleate pool-boiling heat transfer, I review of parametric effects of boiling surface, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(23), 5033-5044, 2004.
- [38] Gorenflo, D., State of the art in pool boiling heat transfer of new refrigerants, *International journal Of Refrigeration*, 24(1), 6-14, 2001.
- [39] Gorenflo, D., Chandra, U., Kotthoff, S., & Luke, A., Influence of thermophysical properties on pool boiling heat transfer of refrigerants, *International journal of refrigeration*, 27(5), 492-502, 2004.
- [40] Dong, L., Quan, X., & Cheng, P., An experimental investigation of enhanced pool boiling heat transfer from surfaces with micro/nano-structures, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 71, 189-196, 2014.
- [41] Vemuri, S., & Kim, K. J., Pool boiling of saturated FC-72 on nano-porous surface, *International Communications In Heat and Mass Transfer*, 32(1-2), 27-31, 2005.
- [42] Zhang, B. J., Kim, K. J., & Yoon, H., Enhanced heat transfer performance of alumina sponge-like nano-porous structures through surface wettability control in nucleate pool boiling, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(25-26), 7487-7498, 2012.
- [43] Sarafraz, M. M., Kiani, T., & Hormozi, F., Critical heat flux and pool boiling heat transfer analysis of synthesized zirconia aqueous nano-fluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 70, 75-83, 2016.

- [44] Gosselin, L., Tye-Gingras, M., & Mathieu-Potvin, F., Review of utilization of genetic algorithms in heat transfer problems, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(9-10), 2169-2188, 2009.
- [45] Castrogiovanni, A., & Sforza, P. M., A genetic algorithm model for high heat flux flow boiling, *Experimental thermal and fluid science*, 15(3), 193-201, 1997.
- [46] Liu, T., Sun, X., Li, X., & Wang, H., Neural network analysis of boiling heat transfer enhancement using additives, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45(2), 5083-5089, 2002.
- [47] Balcilar, M., Dalkılıç, A. S., Suriyawong, A., Yiamsawas, T., & Wongwises, S., Investigation of pool boiling of nanofluids using artificial neural networks and correlation development techniques, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(3), 424-431, 2012.
- [48] Swain, A., & Das, M. K., Artificial intelligence approach for the prediction of heat transfer coefficient in boiling over tube bundles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 228(10), 1680-1688, 2014.
- [49] Abadi, S. N. R., Ahmadpour, A., & Meyer, J. P., Numerical simulation of pool boiling on smooth, vertically aligned tandem tubes, *International Journal of Thermal Sciences*, 132, 628-644, 2018.
- [50] Liu, Y., Olewski, T., & Véchet, L. N., Modeling of a cryogenic liquid pool boiling by CFD simulation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 35, 125-134, 2015.
- [51] Wang, S. M., Wen, J., Li, Y. M., Wang, S. H., and Li, Y. Z., Population balance modelling for subcooled boiling flow of liquid nitrogen in a vertical tube, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 60, 632-645, 2013.
- [52] Xiaobin, Z., Wei, X., Jianye, C., Yuchen, W., & Tang, K, CFD simulations and experimental verification on nucleate pool boiling of liquid nitrogen, *Physics Procedia*, 67, 569-575, 2015.

- [53] Gu, J., Wang, Q., Wu, Y., Lyu, J., Li, S., & Yao, W., Modeling of subcooled boiling by extending the RPI wall boiling model to ultra-high pressure conditions, *Applied Thermal Engineering*, 124, 571-584, 2017.
- [54] Cole, R., A photographic study of pool boiling in the region of the critical heat flux, *AIChE Journal*, 6(4), 533-538, 1960.
- [55] Minocha, N., Joshi, J. B., Nayak, A. K., & Vijayan, P. K., 3D CFD simulation of passive decay heat removal system under boiling conditions: Role of bubble sliding motion on inclined heated tubes, *Chemical Engineering Science*, 145, 245-265. 2016.
- [56] Abadi, S. N. R., & Meyer, J. P., Numerical investigation into the inclination effect on conjugate pool boiling and the condensation of steam in a passive heat removal system, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 122, 1366-1382, 2018.
- [57] Alıç, E., & Kaska, Ö., Silindirik yüzeylerde havuz kaynama ısı transferinin deneysel ve sayısal incelenmesi, 22. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Kocaeli, Türkiye, 2019.
- [58] Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S., Understanding machine learning, From theory to algorithms, Cambridge university press, İngiltere, 2014.
- [59] Holland, J. H., Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence, MIT press, 1992.
- [60] Russell, S. J., & Norvig, P., Artificial intelligence: a modern approach, Malaysia, Pearson Education Limited, 2016.
- [61] Mitchell, R. S., Michalski, J. G., & Carbonell, T. M., An artificial intelligence approach, Berlin, Springer, 2013.
- [62] Barr, A., & Feigenbaum, E. A., The handbook of artificial intelligence, Butterworth-Heinemann, 2014.
- [63] Freund, Y., & Mason, L., The alternating decision tree learning algorithm, In *ICML*, 124-133, 1999.

- [64] Demirpolat, A. B., Daş, M., Prediction of viscosity values of nanofluids at different pH values by alternating decision tree and multilayer perceptron methods, *Applied Sciences*, 9(7), 1288, 2019.
- [65] Schölkopf, B., Burgess, C., & Vapnik, V., Proceedings, First International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 1995.
- [66] Ayhan, S., Destek vektör makineleriyle sınıflandırma problemlerinin çözümü için çekirdek fonksiyonu seçimi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 9(1), 175-201, 2014.
- [67] Vapnik, V., *The nature of statistical learning theory*, Springer science & business media, 2013.
- [68] Burges, C. J. C., A tutorial on support vector machines for pattern recognition, *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2), 121–167, 1998.
- [69] Karaboga, D., ve Basturk, B., A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm, *Journal of Global Optimization*, 39(3), 459–471, 2007.
- [70] Karaboga, D., An idea based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization, Technical Report TR06, Erciyes University, (TR06), 10, 2005.
- [71] Karaboga, D., ve Akay, B. A comparative study of Artificial Bee Colony algorithm, *Applied Mathematics and Computation*, 214(1), 108–132, 2009.
- [72] Karaboga, N., ve Cetinkaya, M., A novel and efficient algorithm for adaptive filtering: artificial bee colony algorithm, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 19(1), 175–190, 2011.
- [73] Engin, O., Akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözüm performansının artırılmasında parametre optimizasyonu, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 210, 2001.
- [74] Kurt, M., Semetay, C., Genetik algoritma ve uygulama alanları, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 42(501), 19-24, 2001.
- [75] Özçelik, Y., Energetic optimization of distillation sequences using a genetic based algorithm., *Journal of Thermal Science Technolgy*, 31(1), 19-25, 2011.
- [76] Kurt, Ö. F., & Abuşoğlu, A., Biyogaz motorlu bir birleşik ısı ve güç üretim

sisteminin genetik algoritma yöntemi ile optimizasyonu, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4(1), 109-116, 2019.

- [77] Bankoff, S. G., Colahan Jr, W. J., & Bartz, D. R., Post conference comments, Summary of Conference on Bubble Dynamics and Boiling Heat Transfer Held at the Jet Propulsion Laboratory, 20–137, 1956.
- [78] Hendricks, R. C., Sharp, R. R., Initiation of cooling due to bubble growth on a heating surface, 1964.
- [79] Jung, S., Kim, H., Effects of surface orientation on nucleate boiling heat transfer in a pool of water under atmospheric pressure, Nuclear Engineering and Design, 305(1), 347-358, 2016.
- [80] Han, C., The mechanism of heat transfer in nucleate pool boiling, Massachusetts Institute of Technology, Engineering Institute, PhD Thesis, 76, 1962.
- [81] Sateesh, G., Das, S. K., & Balakrishnan, A. R., Analysis of pool boiling heat transfer: effect of bubbles sliding on the heating surface, International Journal of Heat and Mass Transfer, 48(8), 1543-1553, 2005.
- [82] Manickam, S., Dhir, V., Holographic interferometric study of heat transfer to a sliding vapor bubble, International Journal of Heat and Mass Transfer, 55(4), 925-940, 2012.
- [83] Fazel, S. A., A genetic algorithm-based optimization model for pool boiling heat transfer on horizontal rod heaters at isolated bubble regime, Heat and Mass Transfer 53(9), 2731–2744, 2017.
- [84] Thorncroft, G. E., Klausner, J. F., Mei, R. An experimental investigation of bubble growth and detachment in vertical upflow and downflow boiling, International Journal of Heat and Mass Transfer, 41(23), 3857-3871, 1998.
- [85] Nusselt, W. Die Oberflächenkondensation Des Wasserdampfes, VDI-Zs, 60, 541, 1916.
- [86] Zuber, N., Nucleate boiling the region of isolated bubbles and the similarity with natural convection, International Journal of Heat and Mass Transfer, 6(1), 53-78, 1963.
- [87] Churchill, S., Chu, H., Correlating equations for laminar and turbulent free

- convection from a vertical plate, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 18(11), 1323–1329, 1975.
- [88] Jung, D., Kim, Y., Ko, Y., & Song, K., Nucleate boiling heat transfer coefficients of pure halogenated refrigerants, *International Journal of Refrigeration*, 26(2), 240-248, (2003).
- [89] Kole, M., & Dey, T. K., Investigations on the pool boiling heat transfer and critical heat flux of ZnO-ethylene glycol nanofluids, *Applied Thermal Engineering*, 37, 112-119, 2012.
- [90] Hristov, Y., Zhao, D., Kenning, D. B. R., Sefiane, K., & Karayiannis, T. G., A study of nucleate boiling and critical heat flux with EHD enhancement, *Heat and Mass Transfer*, 45(7), 999-1017, 2009.
- [91] Ahmad, S. W., Lewis, J. S., McGlen, R. J., & Karayiannis, T. G., Pool boiling on modified surfaces using R-123, *Heat Transfer Engineering*, 35(17), 1491-1503, 2014.
- [92] Surtaev, A., Serdyukov, V., Zhou, J., Pavlenko, A., & Tumanov, V., An experimental study of vapor bubbles dynamics at water and ethanol pool boiling at low and high heat fluxes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 126, 297-311, 2018.
- [93] Lee, H. C., Do Oh, B., Bae, S. W., & Kim, M. H., Single bubble growth in saturated pool boiling on a constant wall temperature surface, *International Journal of Multiphase Flow*, 29(12) 1857-1874, 2003.
- [94] Kandlikar, S. G., Mizo, V. R., & Cartwright, M. D., Investigation of bubble departure mechanism in subcooled flow boiling of water using high-speed photography, *Process Convective Flow Boiling Conference*, 161-166. 1996.
- [95] Alıç E., Kaşka Ö., ve Tokgöz N., Measuring the formation of the bubble occurring in pool boiling with an image processing technique, presented at the IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu, Edirne, Türkiye, 2018.
- [96] Yan, X., Jia, Y., Wang, L., & Cao, Y., Drag coefficient fluctuation prediction of a single bubble rising in water, *Chemical Engineering Journal*, 316, 553-562, 2017.
- [97] Jagannathan, T. K., Nagarajan, R., & Ramamurthi, K., Effect of ultrasound on

- bubble breakup within the mixing chamber of an effervescent atomizer, *Chemical Engineering and Processing, Process Intensification*, 50(3) 305-315, 2011.
- [98] Di Marco, P., Grassi, W., Memoli, G., Takamasa, T., Tomiyama, A., & Hosokawa, S., Influence of electric field on single gas-bubble growth and detachment in microgravity, *International Journal of Multiphase Flow*, 29(4), 559-578, 2003.
- [99] Genceli, O. F., *Ölçme Tekniği*, Birsen Yayınevi, Türkiye. 1995.
- [100] Holman, J.P., *Experimental Methods for Engineers*, Mcgraw-Hill, New York, 1989.
- [101] Basu, N., Troshko, A., & Nurnberg, G., *Modeling of Two-phase Flow and Boiling with FLUENT, RELAP5 UGM*, West Yellowstone, Montana, 2003.
- [102] Sun, D. L., Xu, J. L., & Wang, L., Development of a vapor-liquid phase change model for volume-of-fluid method in FLUENT, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(8) 1101-1106, 2012.
- [103] Zhang, R., Cong, T., Tian, W., Qiu, S., & Su, G., Effects of turbulence models on forced convection subcooled boiling in vertical pipe, *Annuals of Nuclear Energy*, 80, 293-302, 2015.
- [104] ANSYS Fluent Tutorial Guide, Release 18.0, 2017.
- [105] Li, X., Yuan, Y., & Tu, J., A parametric study of the heat flux partitioning model for nucleate boiling of nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences*, 98, 42-50, 2015.
- [106] Yeoh, G. H., & Tu, J., *Computational techniques for multiphase flows*, Butterworth-Heinemann, USA, 2019.
- [107] Clift, R., Grace, J. R., & Weber, M. E., *Bubbles, drops, and particles*, Courier Corporation, 2005.
- [108] Tomiyama A., *Struggle with Computational Bubble Dynamics*, Third International Conference on Multiphase Flow, Lyon, France, June 8-12, 1998.

- [109] Antal, S. P., Lahey Jr, R. T., & Flaherty, J. E., Analysis of phase distribution in fully developed laminar bubbly two-phase flow, *International Journal of Multiphase Flow*, 17(5), 635–652, 1991.
- [110] Burns, A. D., Frank, T., Hamill, I., & Shi, J. M., The Favre Averaged Drag Model for Turbulent Dispersion in Eulerian Multi-phase Flows, Fifth International Conference on Multiphase Flow, ICMF-2004, Yokohama, Japan, 2004.
- [111] Kurul, N., On the modeling of multidimensional effects in boiling channels, ANS. Proc. National Heat Transfer Conference, Minneapolis, Minnesota, USA, 1991.
- [112] Del Valle, V. H., & Kenning, D. B. R., Subcooled flow boiling at high heat flux, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 28(10), 1907-1920, 1985.
- [113] Lemmertm, M., Chawla, L.M., Influence of Flow Velocity on Surface Boiling Heat Transfer Coefficient in Heat Transfer in Boiling, Academic Press and Hemisphere, 1977.
- [114] Tolubinsky, V. I., & Kostanchuk, D. M., Vapor bubbles growth rate and heat transfer intensity at subcooled water boiling, 4th International Heat Transfer Conference, Paris, France. 1970.
- [115] Ranz, W. E., & Marshall, W. R., Vaporation from drops, Part I, *Chemical Engineering Progress Symposium Series*, 48(3), 141–146, 1952.
- [116] Mehdipour, R., Baniamerian, Z., & Delauré, Y., Three dimensional simulation of nucleate boiling heat and mass transfer in cooling passages of internal combustion engines, *Heat and Mass Transfer*, 52(5), 957-968, 2016.
- [117] Saleem, A., Farooq, S., Karimi, I. A., & Banerjee, R. A., CFD simulation study of boiling mechanism and BOG generation in a full-scale LNG storage tank. *Computers & Chemical Engineering*, 115(1), 112-120, 2018.
- [118] Mangrulkar, C. K., Abraham, J. D., & Dhoble, A. S., Numerical studies on the near wall y^+ effect on heat and flow characteristics of the cross flow tube bank, In: *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 1240(1), 012110, 2019.

- [119] Liu, M., Li, S., Wu, Z., Zhang, K., Wang, S., & Liang, X. Entropy generation analysis for grooved structure plate flow, *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 77, 87-97, 2019.
- [120] Saufi, A. E., Calabria, R., Chiariello, F., Frassoldati, A., Cuoci, A., Faravelli, T., & Massoli, P., An experimental and CFD modeling study of suspended droplets evaporation in buoyancy driven convection, *Chemical Engineering Journal*, 122006, 2019.
- [121] Hosseini, S. A., & Kouhikamali, R., A numerical investigation of various phase change models on simulation of saturated film boiling heat transfer, *Heat Transfer—Asian Research*, 48(6), 2577-2595, 2019.
- [122] Lee, J., O'Neill, L. E., Lee, S., & Mudawar, I., Experimental and computational investigation on two-phase flow and heat transfer of highly subcooled flow boiling in vertical upflow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 136, 1199-1216, 2019.
- [123] Punninghoff, M., Alvarez, G., ve Contreras, R., Bees and genetic algorithms: A comparison on a classic problem, *XIII Encontro Nacional De Inteligencia Artificial E Computacional*, 265-276, 2016.
- [124] Sooda, K., ve Nair, T. G., Competitive performance analysis of two evolutionary algorithms for routing optimization in graded network, *3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, IEEE, 666–671, 2013.
- [125] Basturk, A., & Akay, R., Performance analysis of the coarse-grained parallel model of the artificial bee colony algorithm, *Information Sciences*, 253, 34-55, 2013.
- [126] Mernik, M., Liu, S. H., Karaboga, D., & Črepinšek, M., On clarifying misconceptions when comparing variants of the Artificial Bee Colony Algorithm by offering a new implementation, *Information Sciences*, 291, 115-127, 2015.
- [127] Mcnelly, M. J., A correlation of rates of heat transfer to nucleate boiling of liquids, *Journal of Imperial College Chemical Engineering Society*, 7, 18–34, 1953.

- [128] Mostinski, I. L., Application of the rule of corresponding states for calculation of heat transfer and critical heat flux, *Teploenergetika*, 4(4), 66–71, 1963.
- [129] Gorenflo, D., *Pool Boiling*, VDI Heat Atlas, VDI-Verlag, Dusseldorf, Germany, 1993.
- [130] Bromley, L. A., *Heat transfer in stable film boiling*, 1949.
- [131] Fissa, M. R., Lahiouel, Y., Khaouane, L., & Hanini, S., QSPR estimation models of normal boiling point and relative liquid density of pure hydrocarbons using MLR and MLP-ANN methods, *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 87, 109-120, 2019.
- [132] Alıç, E., Daş, M., Kaşka, Ö., Heat flux estimation at pool boiling processes with computational intelligence methods, *Processes* 7(5), 293, 2019.
- [133] Alıç, E., Daş, M., & Kaşka, Ö., Destek vektör makinesi ile kaynama ısısı tahmini, *I. International Symposium on Advanced Engineering Technologies*, 94-99, K.Maraş, Türliye, 2019.
- [134] Sato, Y., and Niceno, B., Nucleate pool boiling simulations using the interface tracking method: Boiling regime from discrete bubble to vapor mushroom region, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 105, 505-524, 2017.
- [135] Hu, H. P., Boiling heat transfer on a sphere with turbulent vapour film, *Applied Mathematical Modelling*, 34(11), 3244-3254, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

1. **Adı Soyadı** : Erdem ALIÇ
2. **Doğum Tarihi** : 24 Nisan 1986
3. **Ünvanı** : Öğretim Görevlisi
4. **Öğrenim Durumu** : Yüksek Lisans

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	Makine Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2010
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi	2013
Doktora	Makine Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2014–

5. Akademik Ünvanlar:

Görevi	Bölümü	Kurumu	Yıl
Öğretim Görevlisi	Makine Mühendisliği	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi	2013–

6. İş Tecrübesi:

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Makine Mühendisi	MARAS Asansör LTD. ŞTİ.	2011 – 2013
Öğretim Görevlisi	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi	2013–

7. Ulusal ve Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

ALIÇ ERDEM,ÇERMİK ÖZDEŞ,TOKGÖZ NEHİR,KAŞKA ÖNDER (2019). Optimization of the Pool Boiling Heat Transfer in the Region of the Isolated Bubbles using the ABC Algorithm. Journal of Applied Fluid Mechanics, 12(4), 1241-1248. (Yayın No: 5023195)

ALIÇ ERDEM,DAŞ MEHMET,KAŞKA ÖNDER (2019). Heat Flux Estimation at Pool Boiling Processes with Computational Intelligence Methods. Processes, 7(5), 293, Doi: 10.3390/pr7050293 (Yayın No: 5055749)

TOKGÖZ NEHİR,ALIÇ ERDEM,KAŞKA ÖNDER,aksoy muhammed murat (2018). THE NUMERICAL STUDY OF HEAT TRANSFER ENHANCEMENT USING AL₂O₃-WATER NANOFLUID IN CORRUGATED DUCT APPLICATION. Journal of Thermal Engineering, 4, 1984-1997., Doi: 10.18186/journal-of-thermal-engineering.409655 (Yayın No: 4319564)

ALIÇ ERDEM,ŞİŞMAN ABDULLAH, HER İKİ YÖNE KULLANILABİLEN
TELESKOPIK ASANSÖRKABİN GÜVENLİK KAPISI TASARIMI .
Mühendis ve Makina, 55(658), 66-74, (014. (Kontrol No: 2243216)

ALIÇ ERDEM,KAŞKA ÖNDER,BOR ONUR (2019). Nem Ölçerlerin
Endüstrideki Yeri. Teknik Bilimler Dergisi, 9(1), 8-16. (Uluslararası) (Hakemli)
(MAKALE Derleme Makale) (Yayın No: 4889895)

ALIÇ, E., DAŞ, M., GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ KURUTMA SİSTEMİNDE
ÜRÜN NEM ORANININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ
ANALİZİ, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri
Dergisi, 22 (Özel Sayı), 78-87, 2019.

ALIÇ, E., & KAYA, A., Asansör Montaj Elemanı Eğitim İhtiyacı, Mühendis ve
Makina, (33), 34-42, 2019.

**8. Ulusal ve Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında
basılan bildiriler:**

ALIÇ ERDEM,KAŞKA ÖNDER (2019). SİLİNDİRİK YÜZEYLERDE
HAVUZ KAYNAMA ISI TRANSFERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL
İNCELENMESİ. 22. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (Tam Metin Bildiri/Sözlü
Sunum)(Yayın No:5258546)

ALIÇ ERDEM,DAŞ MEHMET (2019). GÜNEŞ ENERJİSİ
DESTEKLİ KURUTMA SİSTEMİNİN KURUTMA PERFORMANSININ
BELİRLENMESİ VE NÜMERİK ANALİZİ. 22. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi
(Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:5258557)

DAŞ MEHMET,ALIÇ ERDEM (2019). GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ
GIDA KURUTUCUDA NEM İÇERİĞİ DEĞERLERİNİN KARAR AĞACI
YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ. International Symposium on Advanced
Engineering Technologies 2019 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın
No:5068725)

ALIÇ ERDEM,DAŞ MEHMET (2019). GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ
KURUTMA SİSTEMİNDE NEM ORANININ SAYISAL ANALİZİ.
International Symposium on Advanced Engineering Technologies 2019
(Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:5124342)

ALIÇ ERDEM,DAŞ MEHMET,KAŞKA ÖNDER (2019). DESTEK VEKTÖR

MAKİNESİ İLE KAYNAMA ISI AKISI TAHMİNİ. International Symposium onAdvanced Engineering Technologies 2019 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:5124336)

DAŞ MEHMET,ALIÇ ERDEM (2018). Bir İklimlendirme Sisteminde Fan Hızının Isıtma ve Soğutma Yükleri Üzerindeki Etkisi ve Bu Yüklerin Farklı Hesapsal Zekâ Yöntemleri ile Tahmini. I. Uluslararası Akdeniz Sempozyumu, 2(2), 30-41. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4558392)

ALIÇ ERDEM,KAYA AHMET (2018). ASANSÖR MONTAJ ELEMANI EĞİTİM İHTİYACI. 9. Asansör Sempozyumu, 1(1), 183-193. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4416971)

ALIÇ ERDEM,DAŞ MEHMET (2018). Mikro Boyutta Havuz Kaynamada Buhar Kabarcığı Hareketinin Dinamik Modellemesi. I. Uluslararası Akdeniz Sempozyumu, 1(1), 101-109. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4496654)

ALIÇ ERDEM,KAŞKA ÖNDER,TOKGÖZ NEHİR (2018). MEASURING THE FORMATION OF THE BUBBLE OCCURING IN POOL BOILINGWITH AN IMAGE PROCESSING TECHNIQUE. IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu, 1(1), 521-529. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4319582)

TOKGÖZ NEHİR,ALIÇ ERDEM,BOR ONUR (2016). NUMERICAL INVESTIGATIONS ON THE HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN DIFFERENT CORRUGATED DUCTS USING AL₂O₃ WATER NANOFLUID. :2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4128368)

TOKGÖZ NEHİR,ALIÇ ERDEM,KAŞKA ÖNDER (2016). Enhancement Of Heat Transfer Corrugated Channel And Nanofluids. 1st International Conference on Engeneering Technology and Applied Sciences , 2016 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4128400)

ALIÇ ERDEM,TATLI MUZAFFER (2015). EVSEL BİYOGAZ TESİSLERİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞLARIİLE VERİMLİLİK ÖNERİMİ VE ANLIK WEB TABANLİMOBİL YÖNETİM SİSTEMİ. 5.DOĞU AKDENİZ ÜNİVERSİTELERİ AR-GE PROJE PAZARI VE PROJE YARIŞMASI , (Tam Metin Bildiri/Poster)(Yayın No:2244016)

İMAL MUHARREM,TATLI MUZAFFER,ALIÇ ERDEM (2015). Instant

Mobil Management System Which Web Based And Optimization With Neural Network For Small Scale Biogas Facilities. İCCESEN 2015 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:2243459)

ALİÇ ERDEM,ŞİŞMAN ABDULLAH (2014). HER İKİ YÖNE KULLANILABİLEN TELESKOPIK ASANSÖRKABİN GÜVENLİK KAPISI TASARIMI. Asansör Sempozyum Ve Sergisi 2014, 2014(624), 107-121. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:1284332)



EK A. MATLAB Optimizasyon Kodları

```
function [ errorSub ] = subCostFunction( birey,indeks )

load('veriler.mat');

Tb=veriler(indeks,3);

Pr=veriler(indeks,20);

Tw= veriler(indeks,2);

DeltaT=Tw-Tb;

Grod=veriler(indeks,18);

alpha=veriler(indeks,5);

rhol=veriler(indeks,9);

rhov=veriler(indeks,10);

hfg=1000*veriler(indeks,11);

cpl=1000*veriler(indeks,12);

cpv=1000*veriler(indeks,13);

mul=veriler(indeks,14);

muv=veriler(indeks,15);

kl=veriler(indeks,16);

kv=veriler(indeks,17);

f= veriler(indeks,7);

NA=veriler(indeks,8);

dA=veriler(indeks,6);

qA=1000*veriler(indeks,1);

P0=birey(1);

P1=birey(2);

P2=birey(3);

P3=birey(4);
```

$$P4 = \text{birey}(5);$$

$$P5 = \text{birey}(6);$$

$$tw = P0/f;$$

$$tg = 1/f;$$

$$arfc = P4 * NA * (\pi/4) * (dA^2) * (1 - P0);$$

$$ur = (dA/2) * tw;$$

$$Re = \rho_{hol} * ur * (dA/2) / \mu_l;$$

$$Nu = 0.453 * (Re^{1/2}) * Pr^{1/3};$$

$$\alpha_{rfc} = Nu * k_l / 0.021;$$

$$q_{Arfc} = \alpha_{rfc} * arfc * \Delta T;$$

$$C1 = NA * (\pi/4) * (dA^2) * ((P0 * ((P1 + P2 + P3 + P4) / 4)) + (1 - P0));$$

$$C2 = (\pi/4) * (dA^2) * g5 * NA;$$

$$C3 = (\sqrt{NA}) * P3 * dA;$$

$$C4 = P0 * (a3 - a2);$$

$$H = (1 + (0.559/Pr)^{(9/16)})^{(-16/9)};$$

$$\alpha_{hanc} = ((0.6 + 0.387 * ((Grod * Pr * H)^{(1/6)}))^2) * k_l / (0.021);$$

$$q_{Ame} = (\pi/6) * (dA^3) * \rho_{hov} * hfg * NA * f;$$

$$q_{Absh} = 2 * \sqrt{(\rho_{hov} * kv * cpv / (3 * tw))} * \Delta T * NA * P2 * (\pi/4) * (dA^2) * (1 - P0);$$

$$q_{Aic} = 2 * (\sqrt{(\rho_{hol} * kl * cpl / (3 * tw))}) * \Delta T * NA * P1 * (\pi/4) * (dA^2) * P0;$$

$$q_{Aics} = 2 * \sqrt{(\rho_{hol} * kl * cpl / (3 * tw))} * \Delta T * NA * P3 * (dA) * (NA^{-0.5}) * P0;$$

$$Cnc = (1 - C1 - C2 - C4);$$

$$q_{Anc} = \alpha_{hanc} * Cnc * (\Delta T);$$

$$q_{Aop} = (q_{Anc} + q_{Ame} + q_{Absh} + q_{Aic} + q_{Aics} + q_{Arfc});$$

$$\text{errorSub} = (q_{Aop} / q_A);$$

end

EK B. Deney Sonuçları

Alüminyum ısıtıcı pürüzsüz yüzey 0°-45°					
Açı(°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
0	86085,54	10,24	1,531	205	156,285
0	67117,91	9,202	1,369	281	121,555
0	50665,23	8,234	1,266	322	57,579
0	36334,62	6,997	1,243	211	52,095
0	24751,78	6,107	1,199	132	30,389
0	15894,88	5,142	1,195	81	27,350
0	8645,297	4,112	1,163	66	22,792
15	86291,69	11,094	1,647	248	182,333
15	67081,53	9,944	1,426	280	156,286
15	50854,4	8,919	1,309	282	121,556
15	36628,07	7,819	1,181	229	33,152
15	24795,43	6,344	1,338	182	31,257
15	16053,13	5,319	1,208	76	15,408
15	8568,902	4,244	1,233	36	4,067
30	86497,83	11,41	1,489	244	109,400
30	67809,1	10,194	1,306	315	99,455
30	51390,37	9,094	1,264	309	91,167
30	36681,42	7,519	1,284	261	52,095
30	24795,43	6,469	1,354	114	29,568
30	15965,21	5,144	1,281	69	26,048
30	8696,226	4,219	1,285	86	9,041
45	86703,98	11,469	2,094	161	182,333
45	67772,72	10,394	1,851	175	156,286
45	51106,62	9,244	1,151	185	84,154

Alüminyum ısıtıcı pürüzsüz yüzey devamı 45°-90°					
Açı(°)	q'' (W/m ²)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
45	36628,07	8,169	1,239	150	39,071
45	24926,39	6,894	1,191	118	13,506
45	16070,71	5,419	1,236	89	12,721
45	8708,958	4,219	1,375	69	2,902
60	86044,32	11,444	1,840	189	159,588
60	67263,43	10,344	1,722	225	156,187
60	50696,76	9,219	1,417	268	106,847
60	36654,75	8,094	1,516	231	52,650
60	24620,81	6,794	1,455	168	27,708
60	16053,13	5,419	1,609	139	21,678
60	8632,564	4,194	1,565	185	10,895
75	86291,69	11,619	1,801	80	157,371
75	67736,34	10,494	1,584	176	137,954
75	50948,98	9,444	1,394	251	92,260
75	36441,33	8,169	1,358	308	45,813
75	24686,3	6,919	1,472	326	26,486
75	16193,79	5,544	1,447	299	20,641
75	8696,226	4,269	1,425	306	9,939
90	86745,2	11,569	1,732	140	156,286
90	67736,34	10,644	1,322	254	91,167
90	50665,23	9,194	1,193	363	72,933
90	36868,17	8,244	1,318	269	34,188
90	24686,3	6,994	1,183	193	6,112
90	16141,04	5,719	1,239	143	5,185
90	8708,958	4,169	1,3581	143	4,777

Alüminyum ısıtıcı pürüzlü 1 yüzey 0°-45°					
Açı(°)	q'' (W/m ²)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
0	86951,35	10,059	1,864	138	182,333
0	67772,72	8,945	1,807	131	156,286
0	50759,82	8,108	1,584	151	121,556
0	36894,84	6,891	1,475	135	91,167
0	24926,39	5,956	1,557	70	72,933
0	16088,29	5,015	1,556	51	49,727
0	8607,099	4,087	1,523	32	9,271
15	86786,43	10,844	1,9085	104	156,286
15	67990,99	9,694	1,6768	126	136,750
15	51516,48	8,669	1,479	135	121,556
15	36681,42	7,669	1,471	119	91,167
15	24860,91	6,594	1,464	77	78,143
15	16123,46	5,569	1,624	52	32,176
15	8798,085	4,319	1,5125	28	14,395
30	86745,2	11,094	2,081	101	182,333
30	67772,72	9,919	1,782	109	156,286
30	50980,51	8,794	1,626	142	136,750
30	36841,49	7,769	1,604	97	91,167
30	24860,91	6,744	1,666	58	72,933
30	15947,63	5,419	1,519	49	68,375
30	8670,761	4,419	1,567	16	11,163
45	86497,83	11,194	2,261	60	182,333
45	68063,75	10,094	1,935	94	156,286
45	50885,93	8,944	2,007	97	136,750
45	36654,75	8,094	1,735	69	109,400
45	24839,08	6,645	1,815	39	99,455
45	16070,71	5,245	1,729	11	84,154
45	8543,437	4,495	1,496	5	2,777

lüminyum ısıtıcı pürüzlü 1 yüzey devamı 60°-90°					
Açı(°)	q'' (W/m ²)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
60	85961,86	11,194	1,994	107	156,286
60	68100,13	10,094	1,717	169	121,556
60	50822,87	8,969	1,496	200	109,400
60	36708,1	7,969	1,445	137	99,455
60	24620,81	6,594	1,485	92	91,167
60	16246,54	5,194	1,504	51	43,760
60	8747,156	4,619	1,445	47	4,022
75	86910,12	11,144	1,878	81	156,286
75	67372,56	9,994	1,788	128	136,750
75	51012,04	9,019	1,463	163	121,556
75	36734,78	7,895	1,522	143	109,400
75	24598,99	6,695	1,498	111	84,154
75	16211,37	5,444	1,421	88	72,933
75	8810,818	4,769	1,336	73	8,415
90	86497,83	11,044	1,608	82	182,333
90	67190,67	9,594	1,438	145	156,286
90	51201,21	8,644	1,259	169	136,750
90	36708,1	7,519	1,481	157	121,556
90	25035,53	6,394	1,246	94	84,154
90	16439,95	5,194	1,294	41	78,143
90	8785,353	4,869	1,288	40	9,945

Alüminyum ısıtıcı pürüzlü 2 yüzey 0°-45°					
Açı(°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
0	86910,12	7,987	1,692	79	182,333
0	67772,72	7,420	1,637	151	156,286
0	50696,76	6,859	1,539	184	136,750
0	37054,91	6,265	1,604	159	121,556
0	25013,7	5,655	1,445	105	99,455
0	16457,53	5,137	1,422	68	39,071
0	8658,029	3,962	1,483	69	8,164
15	86,70398	8,644	1,627	124	182,333
15	67,19067	8,194	1,479	155	156,286
15	51,01204	7,669	1,422	201	136,750
15	37,05491	7,119	1,312	152	121,556
15	24,53351	6,544	1,530	104	109,400
15	16,33445	5,444	1,508	63	84,154
15	8,670761	4,219	1,449	46	78,143
30	87322,41	9,194	1,723	88	156,286
30	67627,21	8,669	1,792	141	136,750
30	51169,68	8,119	1,489	184	84,154
30	36788,13	7,619	1,497	136	78,143
30	24380,72	6,894	1,368	91	57,579
30	16211,37	6,169	1,381	44	74,253
30	8696,226	5,144	1,407	9	63,935
45	86,95135	9,294	2,355	50	136,750
45	67,73634	8,669	2,072	72	109,400
45	51,23273	8,094	1,942	122	91,167
45	36,92152	7,594	1,953	98	84,154
45	24,46803	6,519	1,832	73	68,375
45	16,33445	5,369	1,709	54	64,353
45	24468,03	4,544	1,980	15	49,727

Alüminyum ısıtıcı pürüzlü 2 yüzey devamı 60°-90°					
Açı (°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
60	16334,45	9,319	1,887	75	156,286
60	8823,55	8,844	1,566	113	136,750
60	51232,73	8,294	1,45	179	121,556
60	36868,17	7,269	1,367	153	91,167
60	24533,51	6,519	1,440	93	68,375
60	16035,54	5,094	1,455	57	64,353
60	8772,62	4,619	1,498	24	60,778
75	86374,15	9,519	1,856	81	156,286
75	67918,24	8,869	1,676	114	136,750
75	51106,62	8,144	1,51	168	121,556
75	36628,07	7,619	1,503	148	99,455
75	24620,81	6,769	1,528	111	91,167
75	16246,54	5,394	1,447	70	84,154
75	8696,226	4,719	1,493	33	52,095
90	86539,06	9,344	2,047	85	182,333
90	67663,59	8,719	1,699	134	156,286
90	50791,34	8,119	1,495	190	121,556
90	36601,39	7,544	1,552	185	99,455
90	24904,57	6,444	1,471	134	91,167
90	16316,87	5,194	1,435	120	84,154
90	8836,282	4,744	1,635	45	68,375

Bakır ısıtıcı pürüzsüz yüzey 0°-45°					
Açı (°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
0	87157,49	10,271	1,554	321	156,286
0	67881,86	9,848	1,365	380	136,750
0	51516,48	9,406	1,327	355	121,556
0	37081,59	8,776	1,132	325	109,400
0	25188,32	8,129	1,080	252	99,455
0	16211,37	7,413	1,094	182	91,167
0	8836,282	6,461	1,090	75	45,583
0	5565,876	5,283	1,1031	57	5,788
15	87281,18	11,694	1,728	140	156,286
15	68463,91	11,069	1,602	202	121,556
15	51863,29	10,319	1,566	154	109,400
15	37295,01	9,444	1,440	118	91,167
15	25057,35	8,644	1,269	74	68,375
15	16352,03	7,744	1,371	61	36,467
15	8696,226	6,419	1,378	43	11,516
15	5565,876	5,344	1,238	24	7,814
30	87817,15	11,719	1,859	180	182,333
30	68282,02	11,119	1,619	218	156,286
30	51358,85	10,444	1,601	197	121,556
30	37001,55	9,494	1,453	150	91,167
30	25297,45	8,644	1,374	103	84,154
30	16510,28	7,744	1,355	66	34,188
30	8823,55	6,219	1,289	43	17,934
30	5658,64	5,369	1,424	46	9,271
45	87858,38	11,919	2,405	94	156,286
45	68536,67	11,319	1,839	129	136,750
45	51611,07	10,619	1,947	122	91,167
45	37214,97	9,794	1,521	127	78,143

Bakır ısıtıcı pürüzsüz yüzey devamı 45°-90°					
Açı (°)	q'' (W/m ²)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
45	25079,18	8,744	1,542	69	64,353
45	16281,7	7,544	1,513	45	26,683
45	8708,958	6,119	1,420	30	10,832
45	5658,64	5,345	1,497	30	8,683
60	87198,72	11,81	2,075	163	121,556
60	68136,5	11,219	1,758	212	109,400
60	51611,07	10,419	1,757	209	99,455
60	36894,84	9,619	1,421	186	91,167
60	25013,7	8,519	1,441	106	47,565
60	16510,28	7,469	1,540	88	39,071
60	8734,423	5,894	1,541	39	25,442
60	5555,569	4,97	1,565	70	10,519
75	87487,32	11,744	1,885	135	154,549
75	68463,91	11,094	1,677	148	132,148
75	51768,71	10,419	1,610	145	108,626
75	37321,68	9,694	1,524	101	92,209
75	25057,35	8,694	1,296	51	72,780
75	16545,44	7,594	1,611	31	45,515
75	8747,156	5,819	1,284	7	22,261
75	5648,333	4,945	1,229	22	10,383
90	87446,09	11,744	1,831	175	128,502
90	67736,34	10,644	1,32	254	109,357
90	50665,23	9,194	1,193	363	88,367
90	36868,17	8,244	1,318	269	73,975
90	24686,3	6,994	1,183	193	56,205
90	16141,04	5,719	1,239	143	30,321
90	8708,958	4,169	1,358	143	14,664

Bakır ısıtıcı pürüzlü 1 yüzey 0°-45°					
Açı (°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
0	87611,01	8,418	1,521	195	136,750
0	68791,31	8,067	1,434	273	109,400
0	51611,07	7,680	1,432	184	72,933
0	37028,23	7,426	1,183	225	54,700
0	25253,8	7,078	1,254	161	42,077
0	16246,54	6,663	1,187	121	37,724
0	8823,55	6,136	1,281	112	12,432
0	5751,405	5,207	1,226	123	8,044
15	87487,32	10,669	1,580	179	109,400
15	69009,58	10,219	1,46	257	99,455
15	51516,48	9,494	1,560	238	91,167
15	37188,3	8,769	1,251	225	68,375
15	25210,14	8,044	1,236	152	47,565
15	16316,87	7,419	1,210	107	29,568
15	8912,677	6,619	1,196	90	19,536
15	5679,255	5,269	1,389	103	17,365
30	87363,63	10,794	1,795	230	121,556
30	68172,88	10,244	1,45	265	109,400
30	51957,87	9,669	1,418	219	91,167
30	37188,3	8,844	1,265	254	84,154
30	25013,7	8,144	1,293	154	64,353
30	16404,78	7,594	1,350	148	60,778
30	8798,085	6,169	1,303	139	52,095
30	5854,477	5,319	1,319	104	14,208
45	87281,18	10,919	1,985	108	109,400
45	68500,29	10,419	1,732	154	91,167
45	51232,73	9,794	1,872	146	84,154
45	37134,94	9,269	1,479	205	78,143

Bakır ısıtıcı pürüzlü 1 yüzey devamı 45°-90°					
Açı (°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
45	25079,18	8,594	1,786	110	72,933
45	16404,78	7,444	1,772	99	37,724
45	8785,353	6,094	1,676	79	17,934
45	5844,17	5,42	1,708	105	10,621
60	88311,89	11,319	1,590	196	121,556
60	68500,29	11,019	1,446	326	109,400
60	52052,46	10,894	1,435	259	99,455
60	36841,49	10,494	1,109	347	91,167
60	25035,53	9,569	1,320	164	47,565
60	16211,37	8,669	1,268	124	39,071
60	8798,085	7,794	1,323	127	9,193
60	5607,104	6,645	1,388	131	5,088
75	87363,63	10,994	1,650	225	144,112
75	68645,8	9,494	1,388	277	136,750
75	52210,1	8,919	1,533	270	109,400
75	36948,2	8,244	1,244	316	84,154
75	25144,66	7,8198	1,334	210	78,143
75	16299,29	7,219	1,296	160	60,778
75	8938,142	6,545	1,341	162	15,194
75	5596,797	5,52	1,373	169	3,398
90	87528,55	10,669	1,713	176	121,556
90	67190,67	9,594	1,438	145	99,455
90	51201,21	8,644	1,258	169	91,167
90	36708,1	7,519	1,481	157	84,154
90	25035,53	6,394	1,246	94	68,375
90	16439,95	5,194	1,294	41	49,727
90	8785,353	4,869	1,288	40	28,051

Bakır ısıtıcı pürüzlü 2 yüzey0°-45°					
Açı(°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
0	88064,52	8,390	1,785	162	121,556
0	68864,07	8,041	1,481	299	84,154
0	52052,46	7,577	1,428	224	52,095
0	37108,26	6,926	1,220	258	49,728
0	25515,72	6,327	1,311	180	36,467
0	16316,87	5,762	1,502	118	27,35
0	9014,536	5,410	1,270	129	25,441
0	5710,176	4,907	1,258	119	8,225
15	87652,24	9,519	1,624	197	121,556
15	68500,29	9,019	1,295	291	109,4
15	51295,79	8,270	1,341	210	91,167
15	37295,01	7,494	1,226	233	78,143
15	25144,66	6,795	1,198	171	64,353
15	16141,04	6,269	1,217	150	33,151
15	9014,536	5,694	1,205	129	31,257
15	5596,797	5,044	1,162	121	6,216
30	87734,69	9,744	1,547	186	136,75
30	68500,29	9,169	1,439	264	109,4
30	51831,76	8,544	1,505	214	99,454
30	37641,81	7,794	1,237	270	57,579
30	25275,62	6,969	1,136	169	52,095
30	16457,53	6,519	1,241	159	47,566
30	8785,353	5,744	1,175	118	35,290
30	5668,947	5,119	1,241	138	4,240
45	86119,5	9,469	2,459	98	136,75
45	69155,1	9,044	1,757	161	109,4
45	51989,4	8,519	1,973	140	91,167
45	37455,07	7,969	1,706	202	78,143

akır ısıtıcı pürüzlü 2 yüzey devamı 45°-90°					
Açı (°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
45	25188,32	7,369	1,7055	113	72,933
45	16615,78	6,769	1,598	100	60,778
45	8938,142	5,669	1,647	93	47,565
45	5854,477	5,071	1,732	99	7,597
60	87940,84	9,419	1,645	216	156,285
60	69082,34	9,019	1,522	288	109,4
60	52115,51	8,494	1,417	269	91,167
60	37268,33	7,919	1,320	324	84,153
60	25231,97	7,394	1,320	201	78,142
60	16387,2	6,694	1,322	142	64,352
60	8798,085	5,619	1,384	143	57,578
60	5679,255	4,895	1,423	133	3,907
75	88105,75	9,719	1,783	199	156,285
75	68463,91	9,269	1,345	302	121,555
75	52241,62	8,794	1,325	274	109,4
75	37161,62	8,194	1,113	312	84,153
75	25275,62	7,644	1,186	213	68,375
75	16369,62	6,919	1,185	141	64,352
75	8976,339	5,919	1,461	138	47,565
75	5772,019	4,82	1,318	148	3,014
90	87982,07	9,869	1,547	187	156,286
90	67663,59	8,719	1,699	134	121,556
90	50791,34	8,119	1,495	190	91,167
90	36601,39	7,544	1,552	185	72,933
90	24904,57	6,444	1,471	134	68,375
90	16316,87	5,194	1,435	120	57,579
90	8836,282	4,744	1,635	45	5,533

Çelik ısıtıcı pürüzsüz yüzey 0°-15°					
Açı(°)	q'' (W/m ²)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
0	94156,06	11,552	1,5934	198	136,750
0	83061,52	10,976	1,5713	194	109,400
0	69875,39	10,674	1,3482	257	99,455
0	55840,81	10,413	1,3745	182	91,167
0	47253,39	9,869	1,218	237	84,154
0	37447,13	9,428	1,2141	189	68,375
0	29233,58	9,072	1,006	251	57,579
0	23063	8,451	0,991	171	54,700
0	16334,51	7,447	1,0241	152	32,176
0	9685,88	6,480	1,06	151	28,789
15	94864,45	12,730	1,7619	59	136,750
15	82141,31	11,818	1,7385	54	121,556
15	70639,33	11,493	1,6647	84	99,455
15	58846,82	11,063	1,7504	72	91,167
15	47670,09	10,513	1,5634	96	84,154
15	38262,01	9,890	1,3725	72	78,143
15	31318,22	9,212	1,1358	109	40,519
15	23641,74	8,221	1,1413	86	37,724
15	16528,96	6,944	1,1578	83	18,233
15	10000,72	6,376	1,2958	80	3,295

Çelik ısıtıcı pürüzsüz yüzey 30°-45°					
Açı(°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
30	94065,78	12,553	2,297	73	136,750
30	83283,76	12,067	2,671	74	121,556
30	69926,32	11,054	2,412	87	109,400
30	57874,52	10,864	1,952	85	99,455
30	47128,38	10,272	1,749	86	91,167
30	37928,65	9,667	1,905	74	84,154
30	31016,12	8,909	1,604	97	78,143
30	23236,62	8,059	1,542	60	68,375
30	16358,81	6,695	1,622	61	42,077
30	9463,642	5,260	1,404	50	9,350
45	94451,22	12,094	2,288	46	136,750
45	83339,32	11,759	2,323	29	109,400
45	70588,4	11,602	2,205	38	99,455
45	58383,82	10,910	2,14	40	91,167
45	47128,38	10,347	1,825	47	84,154
45	38076,81	9,868	1,785	74	72,933
45	31116,82	9,218	1,638	46	68,375
45	23178,75	8,243	1,6687	32	54,700
45	16748,31	6,910	1,62	35	17,934
45	9926,638	5,913	1,763	17	2,041

Çelik ısıtıcı pürüzsüz yüzey 60°-75°					
Açı (°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
60	94215,1	12,305	2,018	70	136,750
60	83450,43	12,167	2,0294	66	121,556
60	70180,96	11,564	2,0573	96	109,400
60	58337,52	10,842	2,0709	95	99,455
60	47378,4	10,158	1,624	107	91,167
60	38076,81	9,619	1,660	99	84,154
60	30948,98	8,869	1,519	125	78,143
60	23728,56	8,283	1,5338	149	72,933
60	16626,19	6,954	1,4449	129	57,579
60	10645,44	6,352	1,477	127	8,288
75	94392,19	12,703	2,088	52	136,750
75	83505,99	12,108	2,001	56	121,556
75	70028,17	11,638	2,186	56	109,400
75	58059,72	11,060	2,202	68	99,455
75	47753,43	10,500	1,839	91	91,167
75	38039,77	9,874	1,719	79	84,154
75	31116,82	8,893	1,742	110	54,700
75	23063	8,360	1,496	98	43,760
75	16407,43	7,313	1,500	81	19,193
75	9667,361	6,028	1,597	65	13,675

Çelik ısıtıcı pürüzsüz yüzey 90°					
Açı (°)	q'' (W/m ²)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
90	94510,26	12,385	1,9423	141	136,750
90	83783,79	12,090	2,163	128	109,400
90	70741,19	11,553	1,856	168	91,167
90	58846,82	11,138	1,956	137	84,154
90	47670,09	10,438	1,86	177	78,143
90	38039,77	9,799	1,795	185	52,095
90	31284,65	9,217	1,561	207	47,565
90	23410,25	8,282	1,538	163	42,077
90	16772,04	7,257	1,592	120	39,071
90	9834,039	5,902	2,072	108	34,188

Çelik ısıtıcı pürüzlü 1 yüzey 0°-15°					
Açı (°)	q'' (W/m ²)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
0	94274,13	10,557	2,701	66	109,4
0	83617,11	10,058	2,240	45	91,167
0	70537,47	9,688	1,906	75	84,154
0	58800,52	9,369	1,893	62	78,143
0	47711,76	8,968	1,682	100	68,375
0	38262,01	8,493	1,688	79	64,353
0	29428,04	8,015	1,404	142	49,727
0	23641,74	7,604	1,375	118	47,565
0	16820,65	6,891	1,414	116	37,724
0	9685,88	5,630	1,4125	117	7,597
15	93152,52	10,244	2,193	69	109,400
15	83117,08	10,192	2,096	58	99,455
15	70079,1	9,965	1,965	74	91,167
15	57967,12	9,583	1,867	67	84,154
15	47461,74	9,259	1,609	84	78,143
15	37891,61	8,87	1,681	69	68,375
15	29428,04	8,365	1,386	104	52,095
15	23265,56	7,742	1,387	95	45,583
15	16626,19	6,749	1,413	98	19,891
15	9704,4	5,476	1,399	107	13,341

Çelik ısıtıcı pürüzlü 1 yüzey 30°-45°					
Açı (°)	q'' (W/m ²)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
30	93683,81	10,731	2,272	72	121,556
30	82728,16	10,482	2,269	62	99,455
30	70486,54	10,472	2,054	87	91,167
30	58244,92	10,112	1,995	68	84,154
30	47795,1	9,754	1,788	109	72,933
30	38039,77	9,080	1,802	74	68,375
30	29363,22	8,501	1,519	108	57,579
30	23265,56	7,892	1,673	100	54,700
30	16650,5	6,944	1,599	116	43,760
30	9778,48	5,540	1,573	116	19,891
45	94274,13	11,032	2,325	79	121,556
45	83172,64	10,682	2,291	70	91,167
45	70486,54	10,447	2,223	110	84,154
45	58198,62	9,970	2,137	71	78,143
45	47920,11	9,608	1,806	84	72,933
45	38039,77	8,980	1,807	94	68,375
45	29039,12	8,205	1,573	116	60,778
45	23149,81	7,562	1,515	99	35,290
45	16942,19	6,796	1,596	128	24,311
45	9778,48	5,240	1,593	98	9,041

Çelik ısıtıcı pürüzlü 1 yüzey 60°-75°					
Açı (°)	q'' (W/m ²)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
60	94333,16	11,022	2,280	70	109,400
60	83561,55	10,693	2,248	68	91,167
60	70537,47	10,338	2,083	85	84,154
60	58059,72	9,768	1,956	59	78,143
60	48045,12	9,612	1,658	101	72,933
60	38076,81	8,924	1,876	89	68,375
60	29557,68	8,318	1,434	130	57,579
60	23381,31	7,548	1,563	108	49,176
60	16456,04	6,227	1,536	140	38,675
60	9667,361	4,984	1,521	112	10,744
75	94569,29	10,533	1,926	57	121,556
75	83228,2	9,923	1,974	48	109,400
75	70893,98	9,804	1,994	74	99,455
75	58291,22	9,305	1,941	87	91,167
75	48003,45	9,019	1,545	117	84,154
75	38113,85	8,593	1,713	131	78,143
75	29298,4	7,987	1,418	192	64,353
75	23468,12	7,184	1,431	185	47,565
75	16626,19	6,023	1,301	216	45,583
75	9889,599	4,971	1,462	213	10,130

Çelik ısıtıcı pürüzlü 1 yüzey 90°					
Açı(°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
90	93506,71	10,535	2,351	77	121,556
90	83672,67	10,574	2,178	62	109,400
90	70639,33	10,271	1,78	95	99,455
90	58152,32	9,753	1,809	112	91,167
90	47461,74	9,384	1,653	159	84,154
90	37669,37	8,842	1,641	156	72,933
90	29395,63	8,171	1,625	194	68,375
90	23207,68	7,427	1,483	230	64,353
90	16553,27	6,211	1,474	195	60,778
90	9574,761	4,849	1,510	251	4,465

Çelik ısıtıcı pürüzlü 2 yüzey 0°-15°					
Açı(°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
0	93801,87	9,861	2,0954	116	91,167
0	82950,4	9,645	1,8703	115	84,154
0	70384,68	9,589	1,684	130	78,143
0	58430,12	9,556	1,861	114	64,353
0	47378,4	9,473	1,4715	142	60,778
0	37928,65	9,373	1,429	120	47,565
0	29395,63	9,170	1,362	167	45,583
0	23091,94	8,721	1,355	163	42,077
0	16917,88	8,400	1,257	134	33,152
0	9630,321	6,964	1,242	132	16,088
15	94333,16	11,022	1,857	96	109,400
15	83839,35	10,971	1,931	95	99,455
15	70639,33	10,871	1,686	120	91,167
15	58615,32	10,751	1,763	112	84,154
15	47503,41	10,227	1,576	147	60,778
15	38039,77	9,880	1,465	129	42,077
15	29168,76	9,333	1,277	158	40,519
15	23207,68	8,827	1,213	142	39,071
15	16844,96	8,137	1,282	128	37,724
15	9482,162	7,064	1,227	124	14,026

Çelik ısıtıcı pürüzlü 2 yüzey 30°-45°					
Açı (°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
30	93624,78	11,390	2,16	68	121,556
30	83450,43	11,286	2,151	59	91,167
30	70995,84	11,187	2,133	88	78,143
30	57874,52	10,874	1,962	62	60,778
30	47545,08	10,545	1,656	92	54,700
30	38150,89	10,286	1,611	77	47,565
30	29330,81	9,756	1,435	118	42,077
30	23178,75	9,157	1,363	101	39,071
30	16820,65	8,266	1,484	104	30,389
30	9574,761	6,949	1,472	89	14,587
45	93801,87	11,486	2,351	140	109,400
45	83339,32	11,130	2,387	47	99,455
45	70384,68	10,964	1,988	60	91,167
45	58476,42	10,824	1,995	70	84,154
45	47545,08	10,396	2,254	84	78,143
45	37521,21	9,841	1,797	77	72,933
45	29233,58	9,347	1,448	116	60,778
45	23207,68	8,652	1,706	96	54,700
45	16796,34	7,845	1,72	84	49,727
45	9778,48	6,765	1,522	105	25,442

Çelik ısıtıcı pürüzlü 2 yüzey 60°-75°					
Açı (°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
60	94510,26	11,518	2,223	95	91,167
60	82283,68	10,831	2,159	99	84,154
60	70435,61	10,805	2,003	113	78,143
60	58106,02	10,410	2,048	130	72,933
60	47670,09	10,075	1,865	121	64,353
60	37632,33	9,673	1,759	127	60,778
60	29298,4	9,112	1,53	183	52,095
60	23352,37	8,378	1,550	173	49,727
60	16480,35	7,398	1,486	181	47,565
60	9722,92	6,224	1,507	173	9,117
75	93329,62	10,890	2,164	53	91,167
75	83339,32	10,730	2,122	65	78,143
75	70690,26	10,613	2,077	95	72,933
75	58707,92	10,335	1,956	96	64,353
75	47545,08	9,970	1,92	120	57,579
75	37484,17	9,448	1,745	115	54,700
75	29492,86	9,154	1,627	140	52,095
75	23063	8,326	1,677	144	49,727
75	16796,34	7,595	1,604	146	27,350
75	9685,88	6,231	1,658	146	5,234

Çelik ısıtıcı pürüzlü 2 yüzey 90°					
Açı (°)	q'' (W/m^2)	ΔT	d (mm)	N (kabarcık sayısı)	f (frekans)
90	93978,97	11,431	2,088	72	72,933
90	83561,55	11,193	1,898	84	68,375
90	70486,54	11,022	1,733	126	60,778
90	57967,12	10,708	2,069	103	57,579
90	47961,78	10,551	1,805	148	47,565
90	37558,25	9,910	1,613	125	45,583
90	29460,45	9,534	1,541	184	37,724
90	23525,99	8,749	1,615	186	11,891
90	16504,66	7,519	1,599	203	7,759
90	9685,88	6,355	1,517	191	4,082



EK C. MATLAB Buhar Kabarcık Çapı Kodları

```
function varargout = erdem2(varargin)

[varargout1 : nargout] = gui_mainfcn(gui_state, varargin); else
gui_mainfcn(gui_state, varargin);

end

( End initialization code - DO NOT EDIT)

function image2callback(hObject, eventdata, handles)

im = imread('A458.png');
grayim = rgb2gray(im);
imshow(grayim);

[centers, radii,] = imfindcircles(im, [7110], 'ObjectPolarity', 'dark', ...Sensitivity', 0.85);
h = viscircles(centers, radii);

(sumradiilerintoplambn2lengthradilerinsaybsbnverir)

length(radii);

sum(radii);

radiiort = sum(radii)/length(radii);

whos('grayim')

(lengthref = 20mm/fiekrezistansenipixel)

lengthref = 20/220;

N = length(radii)

dia = 2 * radiiort * lengthref

function imtoolcallback(hObject, eventdata, handles)

(hObjecthandletoimtool(seeGCBO))

(eventdatareserved – tobedefinedinafutureversionofMATLAB)

(handlesstructurewithhandlesanduserdata(seeGUIDATA))

im = imtool('A458.png');
```